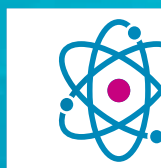


SPICE

20:21
AVRIL
2017

SCIENCES PHYSIQUES :: INGÉNIERIE :: CHIMIE :: ÉNERGIE
DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE À LA RECHERCHE FINALISÉE



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE

ANR

SOMMAIRE

Introduction	03
Programme du jeudi 20 avril	04
Programme du vendredi 21 avril	05
Présentation des projets phares	
SESSION 1 – CHIMIE ET MATÉRIAUX	06
MatDNP	08
ECOM	09
PRINCIPIA	10
COCOON	11
SESSION 2 – ÉNERGIE, TRANSPORT ET VILLE DURABLE	12
BIOPAC	14
MAICANANO	16
SOLARIS	17
EUREQUA	18
SAFE-MOVE	20
SESSION 3 – PHYSIQUE ET NANOSCIENCES	22
QuanDoGra	24
TIQS	25
Jamvible	26
Metakoustik	27
NMGEM	28
SESSION 4 – INGÉNIERIE, INSTRUMENTS ET SYSTÈMES	30
Upcolor	31
HiResAFM	32
SLENDER	33
GYPSI	34
UMEPS	35
Plan d'exposition posters	36
Liste des posters	37
Comité scientifique et équipe d'organisation	38



INTRODUCTION

L'Agence nationale de la recherche organise les 20 et 21 avril prochains, la première édition du colloque SPICE - Sciences Physiques, Ingénierie, Chimie et Énergie / De la recherche fondamentale à la recherche finalisée - à la Maison de la Chimie à Paris.

Dans ce champ scientifique, l'ANR soutient des projets à la fois en recherche fondamentale mais également en recherche finalisée. Ce périmètre scientifique est particulièrement propice à un développement de transfert de technologie à faible niveau de maturation permettant de préparer les applications industrielles de demain.

Ce colloque aura pour objectif d'offrir un panorama de la conjonction des activités financées par l'ANR au travers d'un ensemble de projets de la période 2010-2014, antérieure au passage à l'organisation de la programmation en défis sociétaux.

Les deux journées seront articulées autour de quatre sessions plénières :

- **Chimie et Matériaux ;**
- **Énergie, Transport et Ville durable ;**
- **Physique et Nanosciences ;**
- **Ingénierie, Instruments et Systèmes.**

La première journée sera complétée par une **table ronde sur les « attendus, besoins et outils du transfert technologique ».**

Le positionnement de l'ANR qui soutient le transfert de technologie au travers de projets collaboratifs académique-industrie à faible TRL, de laboratoires communs de recherche ou encore d'un renforcement capacitaire du monde académique à répondre à des contrats directs avec des industriels (programme Carnot) pourra nourrir le débat de la table ronde.

Enfin, une exposition de posters et une série de démonstrateurs issus des projets phares financés par l'ANR seront également l'occasion de rencontres et d'échanges entre les chercheurs.

PROGRAMME

JEUDI 20 AVRIL

- 08h15 - 08h45 Accueil
- 08h45 - 09h00 Allocution d'ouverture
Michael MATLOSZ, Président directeur général de l'Agence nationale de la recherche
- 09h00 - 12h30 **SESSION 1 - CHIMIE ET MATÉRIAUX**
- 9h00 - 9h40 Conférence plénière : Nouvelle Génération de Nanoparticules de Carbures de Fer pour la Catalyse Magnéto-Induite, **Bruno CHAUDRET**, Directeur de recherche LCPNO, INSA Toulouse
- 9h40 - 10h05 Caractérisation des matériaux micro- et nano-structurés par RMN : augmentation de la sensibilité par transferts de cohérences électron-noyau - MatDNP, JCJC, **Olivier LAFON** (Unité de Catalyse et Chimie du Solide, UMR CNRS 8181)
- 10h05 - 10h30 Résines alkydes végétales auto-réticulantes sans siccatif, à haute température de transition vitreuse - ECOM, PRCE, **Olivier MOREILLON** (Ecoat)
- 10h30 - 10h55 Procédés Industriels de Coulée Innovants pour l'Industrie Aéronautique - PRINCIPIA PRCE, **Philippe JARRY** (Constellium CRV)
- 10h55 - 11h20 Revêtements sur surfaces tridimensionnelles - COCOON, Labcom, **Thomas DUGUET** (CIRIMAT)
- 11h20 - 12h10 Session posters et démonstrateurs
- 12h10 - 13h30 Cocktail déjeuner
- 13h30 - 16h20 **SESSION 2 - ÉNERGIE, TRANSPORT ET VILLE DURABLE**
- 13h30 - 14h10 Conférence plénière : Recherches sur la dynamique de la combustion et leur impact fondamental et appliqué, **Sébastien CANDEL**, Professeur émérite à l'École Centrale Paris et président de l'Académie des sciences
- 14h10 - 14h35 Biocatalyseur d'oxydation de l'hydrogène pour les piles à combustible - BIOPAC, PRC, **Elisabeth LOJOU** (Laboratoire Bioénergétique et ingénierie des Protéines, UMR CNRS 7281)
- 14h35 - 15h00 Modélisation de l'adsorption des ions dans des carbones nanoporeux - MAICANANO PRC, **Patrice SIMON** (CIRIMAT)
- 15h00 - 15h25 SOLutions Appliquées à la Recherche d'Innovations Solaires - SOLARIS, Labcom, **David PILLOUD** (Institut Jean Lamour, CNRS), **Aurélien DIDELOT** (Viessmann)
- 15h25 - 15h40 Pause
- 15h40 - 16h00 Évaluation multidisciplinaire et Requalification Environnementale des QUArtiers - EUREQUA PRC, **Sinda HAOUËS-JOUBE** (Université Toulouse II), **Aude LEMONSU** (CNRM)
- 16h00 - 16h25 SAFE MOVE for older drivers - SAFE-MOVE PRCE, **Claude MARIN-LAMELLET** (IFSTTAR)
- 16h30 - 18h00 Table ronde « Attendus, besoins et outils du transfert technologique » animée par **Nicolas CHÂTEAUNEUF**, journaliste à France 2. **Nora BËNHABILES**, responsable des collaborations extérieures et partenariats industriels de la DRF/CEA, **Stéphane DELALANDE**, adjoint au directeur scientifique PSA Peugeot Citroën, **Yves FORT**, directeur des opérations scientifiques, ANR, **Vincent SAUBESTRE**, Total SA, **Cathie VIX** directrice de l'Institut Carnot MICA
- 18h00 - 20h00 Session posters et démonstrateurs - Cocktail apéritif

PROGRAMME

VENDREDI 21 AVRIL

08h30 - 09h00

Accueil

09h00 - 12h30

SESSION 3 - PHYSIQUE ET NANOSCIENCES

9h00 - 9h45

Conférence plénière : Des fluides de lumière dans des cavités à semi-conducteurs
Jacqueline BLOCH, Directrice de Recherches Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies - Campus de Marcoussis UMR CNRS 9001

9h45 - 10h10

Interaction entre des boîtes quantiques semiconductrices individuelles et un mono-feuillet de graphène : études optiques et contrôle électronique du transfert d'énergie et de charge - QuanDoGra, JCJC, **Stéphane BERCIAUD** (Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg, UMR CNRS 7504)

10h10 - 10h35

Thermodynamique de l'Information Quantique avec les Circuits Supraconducteurs - TIQS JCJC, **Benjamin HUARD** (Laboratoire de Physique UMR CNRS 5672)

10h35 - 10h55

Pause - Sessions poster libre

10h55 - 11h20

Au travers de la transition vitreuse d'un milieu granulaire : modes mous, acoustiques et rhéologie - Jamvibe, PRC, **Jorge KURCHAN** (Laboratoire de Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes, UMR CNRS 7636)

11h20 - 11h45

Approche rationnelle pour la réalisation de métamatériaux pour l'acoustique ultrasonore - Metakoustik, PRC, **Jacques LENG** (Laboratory of the Future, UMR CNRS 5258)

11h45 - 12h10

Nanomagnétisme sur Graphène Épitaxié sur Métaux - NMGEN, PRC, **Johann CORAUX** (Institut NEEL, CNRS/UGA UPR2940)

12h10 - 13h20

Cocktail déjeuner

13h20 - 16h30

SESSION 4 - INGÉNIERIE, INSTRUMENTS ET SYSTÈMES

13h20 - 14h05

Conférence plénière : Le microscope électronique : un nano-laboratoire d'expérimentations pour les matériaux, **Thierry EPICIER**, Directeur de Recherches MATEIS-CLYM, INSA Lyon

14h05 - 14h30

Inscription multicolore reconfigurable haute résolution - Upcolor, JCJC, **Nathalie DESTOUCHES** (Université Saint-Étienne)

14h30 - 14h55

Mesures de force d'adhésion à haute résolution - HiResAFM, JCJC, **Ludovic BELLON** (Laboratoire de Physique ENS Lyon)

14h55 - 15h15

Pause

15h15 - 15h40

Structures élancées : stabilité, optimisation, contrôle - SLENDER, JCJC, **Angela VINCENTI** (Institut Jean Le Rond d'Alembert, UMR 7190)

15h40 - 16h05

Simulation Gyrocinétique haute Performance Pour ITER - GYPSI, PRC, **Philippe GHENDRIH** (Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique, CEA)

16h05 - 16h30

Gestion des Incertitudes de la Protection Électromagnétique sur les Systèmes - UMEPS PRCE, **Richard PERRAUD** (EADS)

16h30

Allocution de clôture

**PRÉSENTATION DES PROJETS PHARES
FINANCÉS PAR L'ANR**



SESSION 1

CHIMIE ET MATÉRIAUX

MATDNP

Caractérisation des matériaux micro- et nano-structurés par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) : augmentation de la sensibilité par transferts de cohérences électron-noyau

UNE NOUVELLE MÉTHODE POUR SONDER LA STRUCTURE DES MATÉRIAUX NANOSTRUCTURÉS

Démontrer l'intérêt de la Polarisation Dynamique Nucléaire pour la caractérisation des matériaux nanostructurés

Les matériaux micro- et nano-structurés (nanoparticules, solides micro- et méso-poreux...) sont aujourd'hui utilisés pour de nombreuses applications, telles que la catalyse, les matériaux pour l'énergie, ou la vectorisation de médicaments. La spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) fournit des informations précieuses sur la structure à l'échelle atomique de ces matériaux et permet ainsi d'améliorer leurs propriétés. Cependant, une des limitations majeures de cette technique est son manque de sensibilité, qui rend difficile l'observation des surfaces, des défauts ou des isotopes peu sensibles (^{15}N , ^{17}O ...). Le projet ANR MatDNP visait à explorer les potentialités de la Polarisation Dynamique Nucléaire (Dynamic Nuclear Polarization, DNP, en anglais) pour obtenir des informations nouvelles sur les matériaux nano- et micro-structurés en augmentant la sensibilité des expériences RMN. Lors du dépôt du projet, début 2010, l'intérêt de la DNP-RMN à haut-champ n'avait été démontré que pour des molécules organiques ou des macromolécules biologiques au sein de solutions gelées aux environs de 100 K. De plus, les noyaux détectés par cette technique étaient essentiellement le carbone -13 et l'azote -15.

Les matériaux nanostructurés ont été étudiés par spectroscopies RPE, RMN conventionnelle et DNP-RMN avec rotation à l'angle magique

Dans ce projet, nous avons étudié plusieurs types de matériaux nanostructurés, tels que des silices et des alumines mésoporeuses, des composés hydrides microporeux de type metal-organic framework (MOF) et des nanoparticules (nanodisques d'argile, nanoparticules de silice fibreuse ou d'alumine). Ces matériaux ont été caractérisés par DNP-RMN à 9,4 T dans les conditions de rotation à l'angle magique. Pour cela, des radicaux de type nitroxyde ont été introduits dans les échantillons étudiés. La spectroscopie de Résonance Paramagnétique Électronique (RPE) a permis de suivre l'incorporation de ces radicaux dans les matériaux et de déterminer leur localisation et leur concentration. La sensibilité des expériences DNP-RMN a été comparée à des expériences RMN conventionnelles à température ambiante. Afin d'obtenir des informations structurales nouvelles, la DNP-RMN a été combinée avec des séquences RMN avancées, qui ont été développées sur des spectromètres RMN conventionnels.

Résultats

Il a été montré que la DNP-RMN permet de sonder la structure des surfaces d'alumine (alumine mésoporeuse ou nanoparticules d'alumine) et de nanocatalyseurs à base de silice fibreuse, permettant ainsi de mieux comprendre leur activité catalytique.

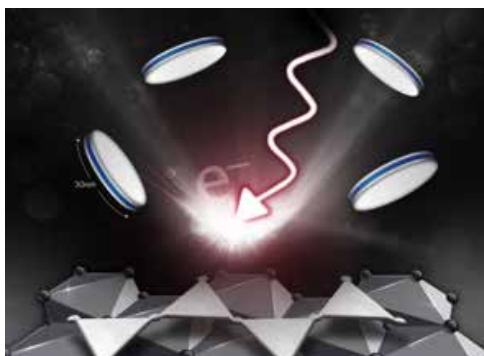
Ce projet ANR a débouché sur des partenariats avec des entreprises (Bruker BioSpin, NMR Service...) et des équipes de recherche françaises et étrangères (projets financés par l'ANR et le CEFIPRA). Ce projet a aussi contribué à la sélection de l'université de Lille pour l'installation d'un spectromètre RMN 1,2 GHz, qui est le premier en France.

Perspectives

Ce projet a contribué à démontrer l'intérêt de la DNP-RMN pour la caractérisation des matériaux. Cette technique ouvre des perspectives nouvelles pour l'étude d'un grand nombre de matériaux (formulations pharmaceutiques, polymères, catalyseurs, matériaux pour l'énergie...). Bien entendu, de nombreux élargissements de ce projet sont envisagés, comme notamment d'employer la DNP-RMN pour caractériser la stabilité des composés de type MOF en présence de vapeur d'eau dans le cadre du projet ANR H₂O-MOF-NMR. Dans le cadre d'un projet CEFIPRA, la DNP-RMN sera utilisée pour étudier la structure de catalyseurs supportés sur des nanoparticules de silice fibreuse. La DNP-RMN sera également employée pour l'étude des nanocatalyseurs pour la valorisation du CO₂ dans le cadre d'un projet ayant permis à Olivier LAFON d'être nommé membre junior de l'Institut Universitaire de France en 2016.

Productions scientifiques

Ce projet a donné lieu à 34 publications dans des revues internationales à comité de lecture (2 Angew. / 1 JACS / 3 Chem Comm...), 26 communications orales dont 13 invitées (+ 33 par affiches) et a permis à son coordinateur d'obtenir le prix Magnetic Resonance in Chemistry Award for Young Scientists.



Le schéma ci-dessus illustre l'irradiation microonde d'électrons non-appariés dans une expérience DNP-RMN sur des nanodisques d'argile.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

JCJC SIMI8 2010

Date de fin de projet, durée du projet

31/01/2015, 48 mois

Instrument de financement

JCJC

Liste des partenaires

P1 - CNRS, Unité de Catalyse et de Chimie du Solide

Coordinateur

Olivier LAFON,
olivier.lafon@univ-lille1.fr

ECOM

Résines alkydes végétales auto-réculantes sans siccatif, à haute température de transition vitreuse

DÉVELOPPEMENT DE RÉSINES ALKYDES BIOSOURCÉES À SÉCHAGE NON-OXYDATIF

Résines alkydes 100 % biosourcées à haute température de transition vitreuse et séchant *via* un mécanisme non-oxydatif

À l'heure de la chimie verte et du développement durable, la vieille chimie des peintures alkydes a été remise à l'ordre du jour, puisqu'utilisant un liant utilisant déjà en partie des matières premières renouvelables. Cependant la technologie alkyde est toujours confrontée à un double challenge. Le premier implique de trouver des substituts aux composants pétrosourcés, tels que les dérivés phtaliques et benzoïques, *via* l'utilisation de matières premières renouvelables et facilement disponibles. Cette substitution doit conduire à des polyesters ayant des températures de transition vitreuses suffisamment élevées pour permettre l'obtention de films de peintures durs. Le deuxième challenge implique de trouver des alternatives au séchage oxydatif catalysé par les siccatifs toxiques aux sels de cobalt. Des réactions de réticulation à température ambiante entre deux groupements fonctionnels doivent donc être développées et conduire à des performances de séchage au moins équivalentes à celles obtenues avec les siccatifs actuels. La résolution de ces challenges aboutirait à des résines alkydes 100 % biosourcées séchant *via* un mécanisme non-oxydatif. De tels liants permettraient non seulement l'émergence de produits plus éco-responsables, mais apporteraient également une réponse aux principaux inconvénients du séchage oxydatif, à savoir le jaunissement et la prise de dureté lente mais prolongée dans le temps d'un film de peinture alkyde.

Résines alkydes polyuréthanes sans isocyanate et biosourcées à séchage non-oxydatif

Le remplacement des dérivés phtaliques et benzoïques de la résine alkyde par des monomères biosourcés s'est appuyé sur la calorimétrie différentielle à balayage, la chromatographie d'exclusion stérique ou encore l'évaluation du comportement rhéologique. Ces analyses ont permis de corréler la structure du polymère aux propriétés physico-chimiques et aux propriétés finales de la peinture. Le mécanisme de séchage non-oxydatif a quant à lui fait intervenir une réticulation *in situ* impliquant une réaction à température ambiante entre une polyamine et une résine alkyde carbonatée conduisant à la formation de liaisons hydroxyuréthanes. Le bon fonctionnement des mécanismes de réticulation est contrôlé non

seulement chimiquement (dosage, analyse infrarouge ou encore résonance magnétique nucléaire), mais également macroscopiquement par évaluation des performances de séchage des peintures (prise de dureté Persoz, brillance, jaunissement dans le temps *via* un spectrorimètre, goniométrie).

Résumés majeurs

Suite à ces investigations, six résines alkydes 100 % biosourcées ont été développées et commercialisées par la société Ecoat. Un tel avancement n'a été possible que grâce à une parfaite compréhension de la corrélation structure/propriétés physico-chimiques. En effet, il a été mis en évidence que la température de transition vitreuse des résines alkydes est dépendante de la structure du monomère et de la masse moléculaire finale et par conséquent de l'avancement de la réaction. La température de transition vitreuse est ainsi d'autant plus haute que le nombre de liaisons rotatives et/ou la masse moléculaire sont élevés. Ces travaux ont également conduit au remplacement du séchage oxydatif par des mécanismes de réticulation éco-responsable entre deux groupements fonctionnels et aboutit au développement de la première résine alkyde polyuréthane sans isocyanate. Les voies de séchage développées ont également permis de s'affranchir des problèmes de jaunissement ou de prise de dureté habituellement affiliés à la technologie alkyde.

Productions scientifiques et valorisation

Ce projet entrant dans le cadre d'une collaboration avec la start-up Ecoat, le choix a été fait de privilégier une valorisation tournée vers l'industrie. Cinq demandes de dépôt de brevet ont ainsi été réalisées dans le but de protéger différents mécanismes de réticulation, mais également différentes compositions de résines alkydes biosourcées.

Une valorisation plus académique a également été réalisée à travers la publication d'une revue portant sur le carbonate de glycérol, synthon biosourcé à fort potentiel et précurseur des polyuréthanes sans isocyanate. Une partie de ces travaux a enfin fait l'objet d'une communication orale *via* la participation à six conférences internationales et cinq posters de vulgarisation.



IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

CD2I 2012

Date de fin de projet, durée du projet

14/03/2016, 48 mois

Instrument de financement

PRCE

Liste des partenaires

- P1 - ECOAT SAS
- P2 - Université de Nice-Sophia Antipolis, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée
- P3 - Université de Lyon 1, Laboratoire ICBMS - Catalyse, Synthèse et environnement

Coordinateur

Olivier CHOLET,
olivier.choulet@ecoat.fr

PRINCIPIA

PRocédés INdustriels de Coulée Innovants Pour l'Industrie Aéronautique

Enjeux et objectifs du projet PRINCIPIA

Le projet PRINCIPIA vise à apporter une contribution majeure à la définition de procédés innovants d'élaboration et de coulée de plaques destinées à la production de demi-produits corroyés épais (principalement laminés) en alliages d'aluminium à hautes performances (familles 7XXX et 2XXX, notamment nouveaux alliages AlCuLi) pour structures d'avions civils :

- par la compréhension des facteurs influençant la minimisation des porosités et inclusions dans les produits de coulée semi-continue,
- par la modélisation multi-physique et multi-échelle des procédés de fusion et solidification concernés et son intégration en un logiciel métier industriel,
- par expérimentation exploratoire en laboratoire et sur pilote industriels des pistes d'amélioration et d'innovation issues de ces études.

La production de solutions aluminium à haute qualité de fabrication (propreté inclusionnaire, faibles teneurs en porosités, homogénéité de structure métallurgique) et performances accrues (allègement, durabilité) pour les pièces épaisses est un objectif majeur pour Constellium et ses clients avionneurs. Le projet permet à Saint-Gobain CREE de proposer des solutions techniques nouvelles dans le domaine de la fonctionnalisation des réfractaires de spécialité pour l'industrie de la fonderie de l'aluminium.

Approche technique et scientifique développée dans le projet PRINCIPIA et méthodologie associée

Les travaux ont été structurés en 4 tâches principales, associant au moins un industriel (Constellium ou Saint-Gobain CREE) à au moins un laboratoire de recherche publique.

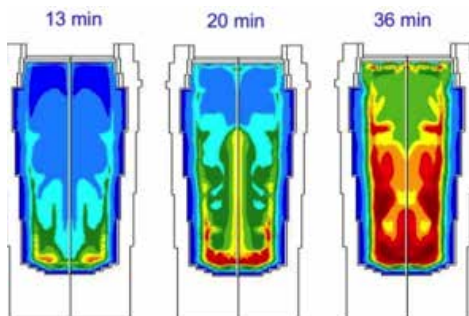
Deux autres tâches concernent le management du projet et l'intégration des résultats. La tâche 2 (fonctionnement des fours à induction à creuset pour la refusion de l'aluminium) vise à livrer un modèle aux éléments finis décrivant l'hydrodynamique dans le four, intégrant un modèle physique de capture des inclusions sous l'effet des forces électromagnétiques. La validation de ce modèle est réalisée sur des fours à induction à l'échelle laboratoire et industrielle. La tâche 3 (modélisation de la structure de coulée et de la formation des porosités) vise à étendre les possibilités d'un modèle existant (code SOLID) afin de décrire la distribution des éléments d'alliage et impuretés lors de la solidification, en incluant celle de l'hydrogène. Les résultats sont validés sur des lingots issus de production industrielle. La tâche 4 (échanges hydriques dans les matériaux réfractaires) vise à livrer un modèle couplant les échanges de chaleur et de matière et s'appuyant sur une étude préliminaire expérimentale des cinétiques d'échange hydrique. La tâche 5 (piégeage de l'hydrogène) explore, par approche expérimentale, différentes voies de piégeage de l'hydrogène dans l'aluminium liquide.

Résultats majeurs du projet

Le projet PRINCIPIA a permis de développer des logiciels et des modèles décrivant les procédés de fonderie (fusion, élaboration, coulée-solidification) pour améliorer la qualité des produits coulés en alliages d'aluminium pour l'aéronautique. Ces modèles, développés par les partenaires académiques, sont validés expérimentalement et mis en œuvre industriellement. Les résultats du projet offrent aux partenaires industriels des perspectives pour l'amélioration ultérieure des procédés de fonderie (homogénéité et santé interne des produits) et des performances des matériaux réfractaires.

Les résultats scientifiques des tâches 2, 3 et 4 du projet PRINCIPIA ont donné lieu à des publications, les principales dans des conférences professionnelles internationales (TMS 2014, 2015 et 2016 aux États-Unis, EUROMAT 2013 à Séville-Espagne), dans des conférences thématiques (International Conference on Advances in Solidification Processes 4 à Windsor-UK, CFD 2014 à Trondheim-Norvège, EPM 2015 à Cannes-France) et dans des revues spécialisées (Journal of the European Ceramic Society, Metallurgical and Materials Transaction B, AIChE Journal).

Trois thèses de doctorat ont été réalisées dans le cadre du projet.



Modélisation avec le logiciel SOLID® de la solidification d'une coulée de fonderie.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

MATETPRO 2010

Date de fin de projet, durée du projet

14/08/2015 ; 54 mois

Instrument de financement

PRCE

Liste des partenaires

- P1 - Constellium C-TEC
- P2 - Saint-Gobain CREE
- P3 - Université de Lorraine, Institut Jean Lamour
- P4 - Université de Paris-Est Créteil, Institut de Chimie et des Matériaux de Paris-Est
- P5 - École Centrale Paris, Laboratoire de Génie des Procédés et des Matériaux

Coordinateur

Pierre LE BRUN,
pierre.lebrun@constellium.com

COCOON

CO-laboratory of COatings ON three-dimensional surfaces

DÉVELOPPER DES SOLUTIONS MATÉRIAUX INNOVANTES POUR LES SATELLITES DE DEMAIN

La durabilité et l'allègement des satellites de communication passent par l'utilisation de nouveaux matériaux composites qui requiert la mise en commun de savoirs et savoir-faire en mécanique et thermique, et en science des matériaux, spécialités respectives des deux partenaires du laboratoire commun.

Enjeux et objectifs

L'allègement des satellites induit le remplacement, par des matériaux plus légers, de composants métalliques qui assurent des fonctions de transmission de l'information. Cependant, les variations importantes de température lors des cycles jour/nuit pendant la rotation autour de la Terre imposent l'utilisation de matériaux durables, avec des propriétés mécaniques adéquates. Certains matériaux composites possèdent de telles propriétés mais requièrent un revêtement fonctionnel afin de recouvrer certaines des propriétés des métaux comme la conductivité électrique, la réflectivité optique, ou l'écrantage magnétique. Dans le cadre de Cocoon, les partenaires proposent de développer une solution à ce verrou technologique, en mettant en commun les compétences de MECANO ID en design et réalisations mécanique et thermique de pièces composites, et les compétences du CIRIMAT dans le développement de procédés innovants pour le revêtement de ces pièces. Au-delà de l'enjeu direct pour le domaine spatial, les matériaux composites qui requièrent un revêtement fonctionnel concernent des secteurs industriels variés, tels que les loisirs, le luxe, ou la microélectronique, accroissant les potentialités du laboratoire commun à plus long terme.

Des procédés innovants propriétaires

Dans le cadre du laboratoire commun, les partenaires ont défini une feuille de route qui exprime les objectifs finaux, en termes techniques, scientifiques et économiques. Cette feuille de route est revue 2 fois par an, en fonction de l'évolution des connaissances, mais aussi du marché. Les partenaires ont mis en commun des moyens humains et matériels, avec par exemple le détachement d'un ingénieur de l'entreprise dans le laboratoire, et le co-financement du travail d'un doctorant, et d'une ingénieure de recherche. Ceci s'est traduit par un fonctionnement efficace, qui a conduit au développement de procédés de fabrication et de revêtement originaux, destinés à remplacer 3 composants à haute valeur ajoutée des satellites de communication.

Perspectives

Les solutions développées sont en cours d'évaluation. Si les essais en environnement représentatif sont concluants, nous aurons réalisé un saut technologique de TRL2-3 à TRL6, en 3 ans d'existence du Labcom. Les travaux futurs devront concerner la réalisation, par un constructeur partenaire, d'un pilote préindustriel

du process qui devra permettre le scale-up, et l'évaluation du coût technico-économique de notre solution. La preuve de principe existe, mais cette étape, qui comporte un risque non-négligeable, doit être réalisée avant d'envisager un transfert de technologie.

Productions scientifiques et brevets

1 brevet et 3 publications



Technologie de guide d'ondes en composite en cours de développement, qui permettrait de réduire d'environ 30 % la masse de ces équipements. Ces derniers assurent la transmission des ondes dans les satellites.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

Labcom Édition 2013

Date de fin de projet, durée du projet

01/04/2014 - 31/03/2017

Instrument de financement

Labcom

Liste des partenaires

P1 - MECANO ID

P2 - Pôles de compétitivité :
Aerospace Valley

Coordinateur

Thomas DUGUET,
CIRIMAT, Toulouse,
thomas.duguet@ensiacet.fr

**PRÉSENTATION DES PROJETS PHARES
FINANCÉS PAR L'ANR**



SESSION 2

**ÉNERGIE, TRANSPORT
ET VILLE DURABLE**

BIOPAC

Biocatalyseur d'oxydation de l'hydrogène pour les piles à combustible

QUELS SUPPORTS CONDUCTEURS POUR L'IMMOBILISATION FONCTIONNELLE DE BIOCATALYSEURS D'OXYDATION DE L'HYDROGÈNE ?

Une économie "verte" basée sur l'hydrogène comme vecteur d'énergie nécessite la levée de verrous technologiques. De nombreux micro-organismes synthétisent des métalloenzymes, les hydrogénases, très efficaces pour l'oxydation de l'hydrogène. Le projet BIOPAC se propose d'utiliser ces hydrogénases comme catalyseurs de piles à combustible. L'un des enjeux est de déterminer les bases moléculaires d'une immobilisation efficace de l'enzyme sur un support conducteur approprié.

Immobilisation fonctionnelle d'une hydrogénase tolérante à O₂, résistante au CO et à la température pour une biopile H₂/O₂

La plupart des hydrogénases caractérisées à ce jour présentent une forte sensibilité à l'oxygène. BIOPAC repose sur l'utilisation d'hydrogénases extraites de bactéries extrémophiles, qui possèdent une tolérance naturelle à O₂, mais aussi au CO et à la température. Ces enzymes deviennent ainsi des catalyseurs très attractifs pour une utilisation en pile à combustible, en remplacement des catalyseurs chimiques, chers et peu spécifiques, dès lors que leur immobilisation fonctionnelle sur des électrodes est optimisée.

Ce type de biopile n'est cependant pas encore développée car de nombreux challenges subsistent, que BIOPAC se propose d'explorer. En particulier, afin d'augmenter les densités de courant et les puissances susceptibles d'être délivrées par la biopile, le contrôle de l'orientation de l'enzyme à l'électrode, ainsi que l'augmentation du nombre d'enzymes électriquement connectées doivent être réalisés. Les nouveaux matériaux carbonés synthétisés et caractérisés, associés à une modélisation de l'immobilisation orientée de l'enzyme purifiée, doivent permettre de déterminer les bases moléculaires nécessaires pour augmenter les transferts d'électrons interfaciaux dans des électrodes volumiques.

Modélisation et approche électrochimique de l'immobilisation orientée de l'hydrogénase sur supports carbonés mésoporeux conducteurs

Le projet BIOPAC a développé une stratégie interdisciplinaire associant chimistes théoriques, chimistes des matériaux et bioélectrochimistes, pour la modélisation, la définition puis l'optimisation des paramètres physico-chimiques et structuraux qui contrôlent l'interaction entre une hydrogénase résistante à l'oxygène et au CO et un support conducteur pour une oxydation efficace de l'hydrogène. La modélisation des interactions hydrogénase-électrode a permis de définir les modifications à apporter au support conducteur pour une catalyse efficace. De nouveaux matériaux carbonés de porosité contrôlée ont été développés et caractérisés pour une augmentation de la quantité d'enzymes actives électriquement connectées.

Le contrôle des paramètres qui régissent l'immobilisation a permis de définir une bioanode basée sur l'immobilisation de l'enzyme sur des matériaux carbonés poreux pour une application en biopile H₂/O₂.

Résultats

Un biocatalyseur enzymatique (hydrogénase) actif pour l'oxydation de H₂ sur une large gamme de température, et présentant des propriétés essentielles de tolérance à l'oxygène et de résistance au CO a été identifié et produit. Sa modélisation par dynamique moléculaire a permis de définir les paramètres physico-chimiques propres à une immobilisation fonctionnelle sur électrodes analytiques. L'étude fine de son incorporation dans un réseau mésoporeux de nanofibres de carbone optimisées a conduit à une augmentation d'un facteur 100 des densités de courant pour l'oxydation de H₂. Un premier prototype de biopile H₂/O₂, le premier en France et le second au monde, a pu être réalisé, délivrant des densités de puissance de plusieurs centaines de $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Les partenaires du projet sont ainsi devenus leaders dans le domaine des biopiles et sont amenés à communiquer sur le sujet à la fois au sein de la communauté scientifique mais aussi auprès d'un plus large public.

Perspectives

Le projet BIOPAC a permis de dégager les principaux facteurs qui limitent l'immobilisation fonctionnelle des enzymes en particulier membranaires, résultats essentiels qui auront des retombées sur tout procédé utilisant des enzymes (biopile, mais aussi bioréacteur, biocapteurs...). D'un point de vue fondamental, il ouvre des perspectives quant à la compréhension du fonctionnement des enzymes en milieu structuré.

Les données obtenues en modélisation fournissent une première base - encore incomplète - pour rationaliser le transfert d'électrons et maîtriser l'immobilisation d'enzymes sur les surfaces d'électrodes. Un couplage entre électrochimie et spectroscopie s'avère maintenant essentiel pour affiner les modèles d'immobilisation orientée des enzymes.

BIOPAC constitue une base solide pour crédibiliser à terme les procédés type biopile H₂/O₂. L'augmentation et la stabilisation des densités de puissance passeront par la modélisation du transfert de masse au sein de matériaux fonctionnalisés de porosité adaptée, et par le couplage entre spectroscopies de surface et électrochimie pour contrôler l'activité spatio-temporelle de l'enzyme.

Productions scientifiques

Au total 19 publications découlant directement du projet ont été publiées dans des journaux

de rang A de fort impact. Les papiers multipartenaires décrivent le contrôle de l'orientation de l'hydrogénase associé à une augmentation du transfert d'électron interfacial. Au-delà de la maîtrise du comportement électrochimique de l'enzyme, ils mettent l'accent sur l'apport essentiel de la modélisation et de la connaissance fine des matériaux d'incorporation pour l'obtention des densités de courant catalytique élevées atteintes au cours du projet.

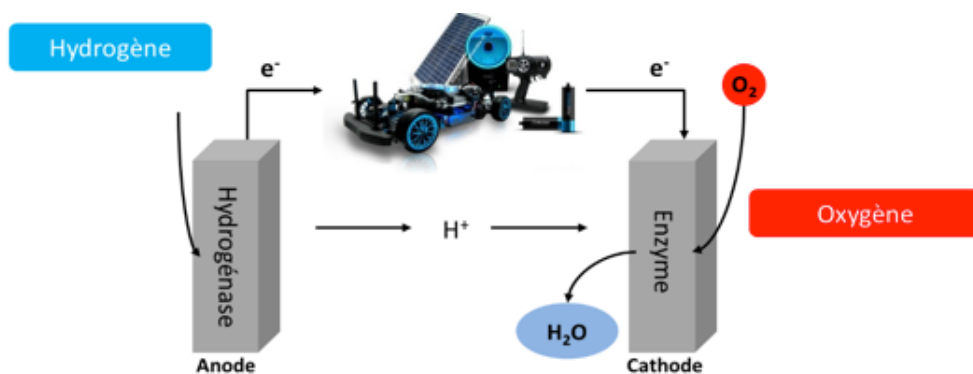
De nombreux papiers issus du projet traitent à la fois de l'influence des détergents nécessaires à la purification de l'enzyme sur le processus d'immobilisation, et du comportement électrochimique de l'hydrogénase sur électrodes analytiques, éventuellement modifiées par des matériaux carbonés commerciaux. Plusieurs revues ont également été publiées qui font référence dans le domaine.

Un papier déjà beaucoup cité par la communauté scientifique décrit la première biopile H_2/O_2 .

À rajouter à ces papiers, plus de trente communications lors de congrès scientifiques nationaux et internationaux, dont 13 communications invitées, et des articles de vulgarisation.

BIOPAC... et après ?

Le projet BIOPAC a été moteur pour fédérer les principaux laboratoires en France travaillant sur les biopiles à combustible au sein d'un même projet (Projet ANR CAROUCELL). Aujourd'hui, un démonstrateur est disponible qui consiste en l'alimentation par la biopile H_2/O_2 d'un capteur de mesures environnementales et du système électronique associé d'envoi sans fil des mesures.



BIOPAC : maîtriser l'immobilisation de l'hydrogénase multi-tolérante sur support conducteur pour produire de l'électricité avec une biopile H_2/O_2 .

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

BIOE 2010

Date de fin de projet, durée du projet

48 mois

Instrument de financement

PRC

Liste des partenaires

- P1 - CNRS, Laboratoire de Bioénergétique et Ingénierie des Protéines (BIP)
- P2 - CNRS, l'Institut de Sciences des Matériaux de Mulhouse (IS2M)
- P3 - CNRS, le Laboratoire de Chimie de Provence (LCP, aujourd'hui Madirel)
- P4 - CNRS, Laboratoire de Biochimie Théorique (LBT)

Coordinateur

Elisabeth LOJOU,
lojou@imm.cnrs.fr

MAICANANO

Modélisation de l'adsorption des ions dans des carbones nanoporeux

LES CARBONES POREUX POUR LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ; APPLICATION AUX SUPERCONDENSATEURS

Compréhension du transport et de l'adsorption des ions dans les carbones nanoporeux

Cette ANR a pour objectif d'étudier l'adsorption et le transport des ions confinés dans des pores inférieurs à 1 nm, en couplant des mesures expérimentales avec la modélisation par des méthodes moléculaires. L'enjeu est d'expliquer les résultats obtenus par des mesures expérimentales, à savoir : i) pourquoi les ions peuvent accéder à des pores inférieurs à la taille des ions solvatés, ii) pourquoi dans ce cas le confinement des ions entraîne des capacités d'adsorption exacerbées et iii) pourquoi le transport des ions dans ces pores confinés reste rapide. Les résultats de cette étude trouvent des applications tout d'abord dans le stockage électrochimique de l'énergie (supercondensateurs), mais également au-delà de ce domaine puisque tous les systèmes mettant en jeu des échanges d'ions au travers de membranes microporeuses sont concernés. On pense par exemple à la désalination de l'eau de mer, ou encore à la biologie...

Ce projet regroupe deux équipes spécialistes de modélisation (PECSA et IFPEN) et une équipe travaillant sur la caractérisation électrochimique (CIRIMAT).

Les résultats de ce programme n'ont pu être obtenus que grâce à une forte interaction entre les différents partenaires qui ont su mettre à la portée de tous leur expertise. À cet égard, il faut souligner le rôle clé joué par les deux séminaires d'une journée chacun (un sur la théorie, par l'IFPEN et le PECSA en mars 2011 et un sur la caractérisation électrochimique par le CIRIMAT en octobre 2011) que les trois partenaires ont organisé les premiers 6 mois pour rendre accessibles leurs travaux entre eux et expliquer leur démarche.

C'est un projet qui a tenu toutes ses promesses du point de vue de la production scientifique, de l'avancement de la connaissance scientifique et des échanges /relations humaines. Ces collaborations vont se prolonger au-delà de cette ANR puisque le coordinateur de ce programme a obtenu en 2012 une Advanced Grant de l'ERC sur ce sujet.

Une approche combinée : le couplage de la modélisation moléculaire avec l'électrochimie

L'approche a consisté à coupler l'expérience et la modélisation. Dans un premier temps, des caractérisations électrochimiques ont montré que les ions d'un électrolyte pouvaient rentrer dans des pores d'une électrode de carbone, pores dont la taille était du même ordre de grandeur que la taille des ions (<1 nanomètre). Dans cette configuration, le nombre d'ions stockés dans les carbones, et donc l'énergie, était doublé. En utilisant la modélisation moléculaire - dynamique moléculaire et Monte Carlo - nous avons pu reconstituer un supercondensateur avec les deux électrodes et l'électrolyte liquide entre

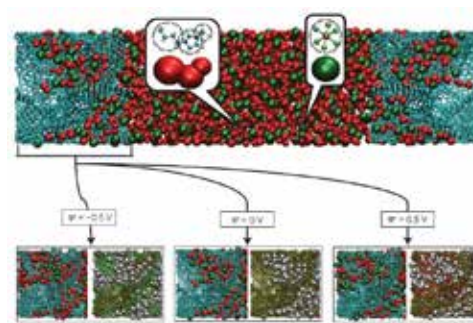
les électrodes (voir figure ci-dessous) et avons simulé le fonctionnement de ce nano-supercondensateur. Les résultats de la modélisation ont permis d'expliquer les résultats expérimentaux et proposer un nouveau mécanisme pour l'adsorption et le transport des ions dans les nanopores (< 1 nm).

Résultats majeurs de ce projet

Dans un liquide ionique pur, en utilisant des structures de carbones réelles, nous avons montré que la charge des carbones situés dans les nanopores était 3 à 4 fois plus élevée que la capacité de carbones présents sur des électrodes planes de graphite, ce qui expliquait les mesures expérimentales. Nous avons aussi montré qu'en présence de solvant, les ions peuvent accéder à des pores de diamètres encore plus faibles. Enfin, en calculant les énergies de désolvatation et les énergies de dissociation des ions, des simulations réalisées dans des nanotubes de carbone ont montré que la taille de pore où l'énergie totale présente un minimum, coïncide avec une taille de pore où la capacitance électrique expérimentale est maximale.

Productions scientifiques

Les résultats obtenus dans le cadre de cette ANR Blanc ont dépassé toutes nos espérances avec plus de 10 publications dont une dans Nature Materials et une dans Nature Communications, 28 conférences invitées (!) et la rédaction d'un brevet par l'IFPEN.



Boîte de simulation utilisée. Le supercondensateur est constitué de deux électrodes de carbone nanoporeux (les liaisons C-C sont représentées en turquoise) et d'un liquide ionique qui joue le rôle d'électrolyte (rouge : cations, vert : anions).

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

BLANC SIMI9 2010

Date de fin de projet, durée du projet

30/11/2013, 36 mois

Instrument de financement

PRC

Liste des partenaires

P1 - Université Toulouse III Paul Sabatier

P2 - Université Paris VI Pierre et Marie Curie

P3 - IFPEN

Coordinateur

Patrice SIMON,
simon@chimie.ups-tlse.fr

SOLARIS

Solutions Appliquées à la Recherche d'Innovations Solaires

DES NOUVELLES GÉNÉRATIONS DE CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES AUTOADAPTIFS

Le laboratoire SOLARIS a pour objectif principal le développement et le transfert à l'échelle industrielle de solutions solaires thermiques innovantes dans un contexte où la visibilité et l'attractivité des applications solaires développées en Europe est en baisse. La stratégie SOLARIS pour redynamiser le marché du solaire thermique vise à introduire en France et en Europe de nouvelles fonctions solaires pour une nouvelle génération de capteurs présentant un meilleur ratio performance/coût, compatible avec le marché actuel et à venir.

Solutionner les problèmes de surchauffes des capteurs solaires thermiques

Tous les capteurs solaires thermiques « hautes performances » actuels présentent des propriétés optiques similaires (absorption solaire supérieure à 94 % et pertes thermiques inférieures à 5 %) ce qui ne permet pas de distinguer facilement un capteur lambda d'un autre d'une part, et entraîne d'autre part un problème généralisé de fiabilité de l'installation solaire thermique lorsque les capteurs sont en condition dite de stagnation. La stagnation intervient généralement lorsque le besoin en énergie solaire est faible ou nul (eau sanitaire à 80°C dans le ballon d'accumulation par exemple) et que le capteur solaire thermique est toujours exposé au rayonnement solaire intense (1000 W/m²). Dans ces conditions, le fluide caloporteur n'est plus en circulation et n'évacue plus la chaleur et des températures maximales de l'ordre de 200 à 220°C sont atteintes. En complément de la dégradation du fluide caloporteur généralement garanti jusqu'à 170-180°C, qui nécessitent des vidanges régulières, les températures élevées nécessitent lors, de la fabrication et de l'installation, des matériaux onéreux et complexe. Actuellement, les quelques solutions proposées sur le marché pour limiter les problèmes liés à la stagnation sont soit complexes à mettre en œuvre, ou nécessitent un circuit annexe de circulation avec un surcoût associé.

La technologie thermochrome pour la régulation thermique

L'innovation proposée consiste à mettre en œuvre une nouvelle couche sélective intelligente au niveau de l'absorbeur solaire afin de contrôler passivement et de façon réversible les propriétés optiques de la couche en fonction de la température. Ainsi à faible température la nouvelle couche se comporte comme un absorbeur solaire thermique traditionnel afin de garantir un bon rendement à l'installation, et permet au-delà de 80-100°C d'augmenter significativement les pertes thermiques afin de réduire la température de stagnation à 140-160°C maximum. Pour ce faire, une combinaison innovante d'oxydes de vanadium est étudiée et commercialisée à l'aide d'un procédé innovant en cours de développement par Viessmann. Une autre alternative pour réduire les températures de stagnation est de pouvoir faire varier simplement l'absorption solaire en fonction de la température.

Cette seconde piste sera également à l'étude dans le cadre de SOLARIS.

Résultats

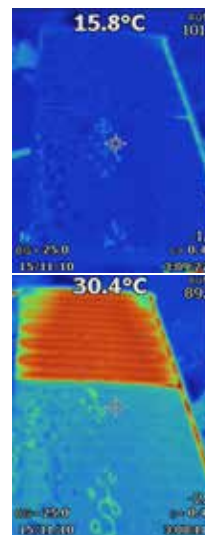
Le doctorat d'Aurélien DIDELOT concernait le dopage du vanadium avec de l'aluminium suivi d'un recuit rapide dans l'air pour obtenir la phase VO₂ avec une augmentation de Tc. En effet, ce type de dopant, avec une valence III inférieure à celle du vanadium dans VO₂ (valence IV), est connu pour augmenter la Tc de VO₂. Cependant le dopage ne montre pas d'augmentation de Tc mais nous avons observé une augmentation de l'amplitude de la variation d'émissivité maximale lorsque la teneur en aluminium est égale à 8 %. On obtient un $\Delta\epsilon = 0,15\%$ pour VO₂ mais $\Delta\epsilon = 0,28\%$ pour le meilleur film dopé. Ces résultats ont été utiles pour ajuster les paramètres afin de lancer la nouvelle génération de capteurs adaptatifs tels que définis dans les objectifs du Labcom. David PILLOUD, engagé en tant qu'ingénieur de recherche dans le cadre de ce Labcom est chargé de différents aspects liés au projet, dont l'installation et la validation de 3 machines de PVD (Vinci Technologies) installées sur le projet TUBE de l'IJL. Il a conduit également une étude sur l'oxydation rapide de films minces de VN en montrant son potentiel comme nouveau précurseur de couche sélective pour les capteurs solaires. Son travail est à l'origine d'une nouvelle thèse ISITE du programme Impact, le dispositif phare du programme Lorraine Université d'Excellence.

Perspectives

Depuis le démarrage du Labcom, une nouvelle génération d'absorbeurs solaires thermiques à base de terres rares a été identifiée. Elle est caractérisée par une très bonne absorption de l'énergie solaire (>90 %) et permettrait de réguler passivement la température maximale du capteur à une valeur inférieure à 150°C. En vue de leur intégration dans les prochaines générations, nous avons recruté Alexis BOILEAU en septembre 2015. Des résultats prometteurs sont à l'origine d'une thèse ADEME/VISSMANN/IJL débutée en septembre 2016 sur les pérovskites, ainsi qu'une thèse Cifre VISSMANN/IJL (Daria KHARKHAN) débuté en janvier 2017. La thèse Cifre se déroulera sur la machine semi-industrielle et concernera l'uspcaling de la nouvelle génération de couches sélectives.

Productions scientifiques et brevets

Le principe de production de la nouvelle couche solaire et ses performances sont décrits dans l'article : D. Mercks, et al, Proceedings of the 4th International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC) 91 (2016) 84-93. Un brevet détaille également le fonctionnement de la couche VO₂ et son dopage à l'aluminium : D. Mercks, et al Absorbent material and solar panel using such a material WO 2014140499 A1 (2014) Brevet International.



Prototype de capteur hybride associant les 2 technologies : standard (partie basse) et thermochrome (partie haute). Mise en évidence de l'effet thermochrome (augmentation du rayonnement thermique) à l'aide d'une caméra infrarouge.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

Labcom

Date de fin de projet, durée du projet

01/09/2014 - 01/09/2017

Instrument de financement

Labcom

Liste des partenaires

Viessmann Faulquemont SAS

Pôle de compétitivité

Matériaia

Coordinateur

Fabien CAPON, Institut Jean Lamour, UMR 7198 (UL, CNRS), équipe 202

COMMENT FAIRE ÉMERGER UNE CONCEPTION DE LA QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE DU CADRE DE VIE QUI ARTICULE UNE RÉFLEXION RENOUVELÉE SUR LA MATÉRIALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT URBAIN AVEC LES APPROCHES SENSIBLE ET SOCIALE DE LA RELATION À L'ENVIRONNEMENT ?

Le projet EUREQUA questionne les enjeux de la requalification environnementale du cadre de vie urbain à l'échelle des quartiers. Les objectifs scientifiques du projet sont :

- Mieux comprendre les interférences à l'échelle d'un quartier entre des phénomènes physiques mesurables et modélisables (climat, acoustique et qualité de l'air), en prenant en compte les interactions avec certains usages et pratiques.
- Mieux comprendre les facteurs qui jouent dans la perception par les habitants et les usagers des ambiances environnementales et urbaines des lieux, et saisir leurs représentations de la qualité environnementale, en les mettant en perspective avec celles des acteurs en charge de l'amélioration du cadre de vie.
- Identifier et analyser les convergences et les décalages entre caractéristiques mesurées de l'environnement (relatives au climat, au bruit et à la qualité de l'air) et ressenti des ambiances, et en déduire des propositions d'ajustements des indicateurs de la qualité du cadre de vie mobilisés par les acteurs du projet urbain.

Une méthodologie radicalement interdisciplinaire combinant approches des sciences humaines et sociales avec celles des sciences pour l'ingénieur

Le projet EUREQUA adopte une approche méthodologique originale (fig.1) qui s'appuie sur une équipe pluridisciplinaire associant urbanistes, géographes, sociologues, physiciens de l'atmosphère, acousticiens et architectes, en collaboration avec des responsables du cadre de vie urbain. L'équipe travaille sur des quartiers situés à Paris, Toulouse et Marseille. À partir de critères déterminés de manière interdisciplinaire, la première phase du projet a permis de choisir des quartiers où émergent des enjeux environnementaux singuliers appelant une action de requalification. Sur ces quartiers, la notion de qualité environnementale du cadre de vie est ensuite travaillée en croisant des démarches issues de traditions scientifiques différenciées :

- Une approche géographique et sociale mobilisant notamment les techniques de l'enquête sociale (parcours commentés, entretiens, questionnaires, focus groupes, etc.) pour saisir les logiques en jeu dans la construction de la notion de qualité environnementale et dans son appréhension du point de vue des habitants.
- Une approche fondée sur les phénomènes physiques du cadre de vie (acoustique, qualité de l'air et microclimat), leurs interactions et l'impact associé de certains usages et représentations.

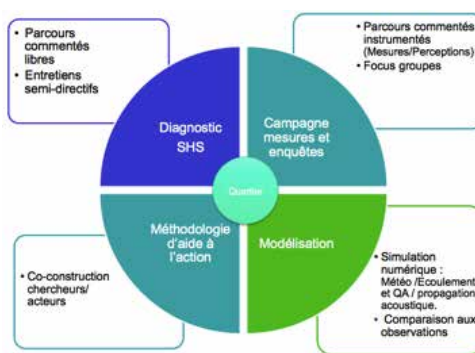


Fig1. Une démarche interdisciplinaire originale.



Fig2. Les « Parcours commentés et instrumentés ».

L'une des principales tâches du projet - de par son caractère fortement interdisciplinaire et participatif - a consisté à concevoir et à réaliser des campagnes simultanées de mesures physiques (fixes et mobiles) et d'enquêtes (questionnaire adossé à un parcours + focus-groupes) dans les 3 quartiers retenus. Ces campagnes reposent sur un protocole interdisciplinaire original - parcours commentés et instrumentés (fig.2) - qui permet le recueil simultané de mesures mobiles et de données d'enquêtes par questionnaire auprès d'un panel de volontaires (habitants et personnes extérieures au quartier). Nous avons ainsi généré collectivement une base de données empiriques qui a fait l'objet de nombreux traitements disciplinaires et interdisciplinaires.

Quelques résultats

Le traitement des données des enquêtes sociales (qualitatives et quantitatives) a mis en évidence l'expertise fine dont font preuve les habitants dans l'évaluation de la qualité environnementale de leur quartier. On observe d'une part différentes manières d'énoncer et de hiérarchiser les composantes de la qualité environnementale (bruit, pollution de l'air et climat urbain), d'autre part des attitudes contrastées face aux nuisances (occultation, acceptation et engagement), et enfin différents prismes (effet de lieu, fragmentation urbaine, satisfaction résidentielle, attachement, rapports sociaux) qui infléchissent les perceptions et attentes des habitants en matière de qualité du cadre de vie. L'analyse des données du questionnaire a notamment permis de comparer les perceptions des habitants avec celles de personnes extérieures au quartier.

Le traitement des données de microclimat a permis de documenter la variabilité spatiale à fine échelle des paramètres climatiques et de la relier à l'hétérogénéité morphologique observée dans la zone d'étude. L'analyse des données acoustiques a donné lieu au calcul d'indicateurs acoustiques numériques de différentes natures (énergétiques, statistiques, spectraux et dynamiques), dont la combinaison permet de décrire et de cartographier des zones acoustiquement homogènes au sein des quartiers étudiés.

La base de données a aussi fait l'objet d'analyses statistiques visant à croiser données perceptives et données de mesures et à interpréter les convergences et les décalages observés.

En matière de modélisation, le chaînage des modèles physiques (fig.3) a notamment permis de simuler les effets de scénarios partiels de réaménagement - construits de manière participative avec les habitants - sur la dispersion des polluants et la propagation du bruit dans les quartiers.

Enfin, s'inscrivant dans une perspective opérationnelle, l'équipe a réfléchi à réinvestir certaines méthodes et résultats du projet pour construire un outil d'aide à l'action pour la requalification environnementale en milieu urbain. Un guide méthodologie à destination des acteurs de l'urbanisme a ainsi été conçu, détaillant une démarche participative d'expertise des espaces publics ou collectifs à requalifier associant simultanément enquête et mesures.

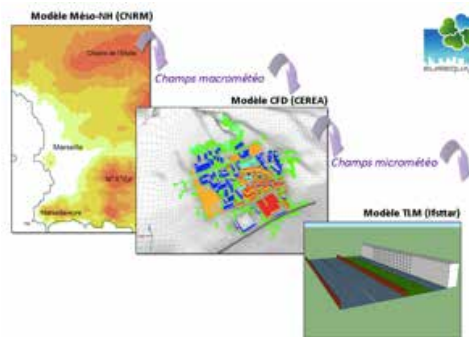


Fig3. Principe du « chaînage en cascade » du modèle météorologique à méso-échelle (Meso-NH/CNRM-GAME), du modèle micrométéorologique (CFD/CEREA) et du modèle de propagation acoustique (TLM/Ifsttar).

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

VILD 2011

Date de fin de projet, durée du projet

1^{er} mars 2012 - 28 février 2017

Instrument de financement

PRC

Liste des partenaires

- P1 - LISST
- P2 - CNRM
- P3 - IFSTTAR
- P4 - CEREA
- P5 - LATTIS
- P6 - LPED
- P7 - LRA
- P8 - IAU Île-de-France
- P9 - Ateliers Lion associés

Coordinateur

Sinda HAOUES-JOUVE,
LISST (CNRS-UTJJ),
sinda.haoues-jouve@univ-tlse2.fr

SAFE-MOVE

SAFE MOVE for older drivers

POUR UNE MOBILITÉ SÛRE ET DURABLE DES CONDUCTEURS ÂGÉS

Quelles relations entre les auto-estimations de la cognition et de la capacité de conduite ?

Aider les conducteurs les plus âgés à garder leur mobilité sans augmenter le risque d'accident est un défi majeur à relever. Il s'agit là de maintenir la conduite aussi longtemps qu'il est raisonnable, compte tenu de l'état cognitif et, dans le même temps, d'aider les personnes âgées à prendre conscience de la réduction de certaines de leurs performances cognitives, et à mettre en place une régulation adaptée de la conduite.

L'hypothèse de SAFE MOVE est qu'une bonne auto-estimation de ses capacités cognitives est nécessaire pour adapter ses habitudes de conduite aux changements liés au vieillissement. Si certains conducteurs prennent conscience de la réduction de leurs performances cognitives et régulent leur activité de conduite de façon adaptée, d'autres n'en sont pas capables et surestiment leurs capacités, conduisent d'une manière qui peut surpasser leurs capacités réelles.

SAFE MOVE avait comme objectifs d'étudier les liens entre l'auto-estimation des capacités cognitives et de conduite des personnes âgées, l'impact des programmes de stimulations cognitives accompagnées ou non de séances de conduite sur simulateur et enfin l'apport des technologies embarquées de type ADAS permettant le monitoring de l'activité du conducteur.

L'approche pluridisciplinaire de SAFE MOVE combinant l'épidémiologie, la psychologie Cognitive, l'Ergonomie, l'Ingénierie Cognitive et l'Ingénierie

Plusieurs avancées méthodologiques importantes ont été réalisées à l'occasion de ce projet :

- Une cohorte de 1204 conducteurs âgés de plus de 70 ans, avec un recueil initial très complet grâce à des entretiens en face à face avec un psychologue et un suivi à deux ans par voie postale ;
- Une expérimentation sur route avec 145 conducteurs visant à déterminer trois profils de conducteurs : ceux qui surestiment, sous-estiment ou estiment correctement leurs capacités de conduite à partir d'une double évaluation objective de leur performance de conduite (moniteur auto-école et observateur dans le véhicule) ;
- L'évolution de l'impact d'un programme d'entraînement cognitif pur comparé à un entraînement cognitif associé à des exercices sur simulateur auprès de 100 conducteurs de 70 ans et plus surestimant ou sous-estimant leurs capacités cognitives ;
- Le développement de fonctions de monitoring basé sur les données collectées à bord d'un véhicule instrumenté immergé dans le trafic, auprès d'un panel de 76 conducteurs âgés surestimant et sous-estimant leurs capacités cognitives ;

- Le développement de deux démonstrateurs, l'un sur simulateur de conduite et l'autre sur véhicule.

Résultats majeurs

Les résultats obtenus ont confirmé que l'auto-estimation cognitive était déterminée par des variables de personnalité, de genre, de mode de vie et qu'elle était bien reliée à l'auto estimation de la performance de conduite. Cette autoestimation cognitive présente un caractère dynamique car elle peut être modulée par un training cognitif, même aspécifique, surtout chez les conducteurs sous estimateurs.

La spécification, la conception et le développement de démonstrateurs de fonctions d'assistance pour les seniors sur simulateur et sur véhicule réel réalisés dans ce projet ont démontré l'intérêt des conducteurs âgés pour ces technologies et identifié les situations critiques pour lesquelles une aide serait utile.

Productions scientifiques et brevets

Le projet SAFE MOVE a produit 22 communications multi partenaires au niveau international et 8 articles sont en cours de finalisation avant soumission à des revues internationales de rang A. Par ailleurs, 3 séminaires internationaux ont été organisés par le projet. Plusieurs de ces publications et événements ont associé les équipes suédoises qui travaillaient sur le projet « jumeau » en Suède.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

TTD 2011

Date de fin de projet, durée du projet

30/11/2015, 48 mois

Instrument de financement

PRCE

Liste des partenaires

- P1 - IFSTTAR – LESCOT
- P2 - CONTINENTAL
- P3 - PSA Peugeot-Citroën
- P4 - Université Bordeaux
- P5 - SEGALEN
- P6 - Sommeil, Attention et
- P7 - Neuropsychiatrie Hôpital
- P8 - Pellegrin - CNRS
- P9 - IFSTTAR - UMRESTTE
- P10 - INSERM-U1075/ UNICAEN
- P11 - OKTAL
- P12 - IFSTTAR - LEPSIS
- P13 - IFSTTAR-COSYS

Coordinateur

M. Claude MARIN-LAMELLET,
IFSTTAR,
Claude.marin-lamellet@ifsttar.fr

**PRÉSENTATION DES PROJETS PHARES
FINANCÉS PAR L'ANR**



SESSION 3

**PHYSIQUE
ET NANOSCIENCES**

QuanDoGra

Interaction entre des boîtes quantiques semiconductrices individuelles et un monofeuillet de graphène : études optiques et contrôle électronique du transfert d'énergie et de charge.

INTERACTION ENTRE UN NANO-ÉMETTEUR UNIQUE ET UN FEUILLET DE GRAPHÈNE

Hétérostructures hybrides à base de graphène et de nanostructures semiconductrices en vue d'applications en optoélectronique

L'objectif principal du projet QuanDoGra est d'étudier les propriétés optoélectroniques d'hétérostructures hybrides composées de feuillets de graphène sur lesquels sont déposés des nanostructures semiconductrices (nanocristaux, nanoplaquettes de CdSe, notés respectivement NC, NP). Le graphène en tant que semi-métal bidimensionnel constitue un canal conducteur quasi-transparent d'excellente qualité, alors que les NC et NP possèdent des propriétés optiques remarquables (absorption large bande, émission robuste et étroite spectralement) et très pertinentes pour des applications en optoélectronique. À cet effet, nous avons mis en place des techniques de spectroscopie optique permettant de sonder l'interaction (notamment le transfert d'énergie de type Förster et le transfert de charge) au sein de ces hétérostructures, mais aussi les propriétés de base des briques élémentaires (notamment le graphène) qui les constituent. Nous avons également réalisé et entièrement caractérisé des phototransistors munis de grilles électrochimiques très efficaces, grâce auxquels des études optoélectroniques ont pu être entreprises.

Ces recherches permettent de mieux comprendre les mécanismes fondamentaux qui régissent le fonctionnement de la plupart des dispositifs optoélectroniques et offrent des perspectives intéressantes pour la réalisation et l'optimisation de photodétecteurs hybrides.

Études fondamentales du transfert d'énergie et du transfert de charge dans des hétérostructures hybrides, réalisation de phototransistors.

Nous avons mis en place un dispositif polyvalent de micro-spectroscopie optique afin de caractériser quantitativement l'interaction entre un NC ou une NP unique et un feuillet de graphène. Dans un premier temps, nous avons effectué plusieurs caractérisations avancées de feuillets de graphène exfoliés mécaniquement ou crus par dépôt chimique en phase vapeur par spectroscopie Raman (diffusion inélastique de la lumière par l'intermédiaire des modes de vibration du graphène).

Nous avons ensuite déposé des NC et NP, issus d'une solution colloïdale très diluée sur des couches de graphène afin de pouvoir les utiliser individuellement. Grâce à des techniques de comptage de photon corrélé en temps, nous avons ensuite mesuré le temps de vie des états excités optiquement dans les NC ou NP et analysé comment cette quantité dépend de la distance entre le donneur (NC ou NP) et l'accepteur (graphène). Afin de contrôler la distance entre le graphène et le nano émetteur, nous avons déposé des couches minces diélectriques.

Enfin, nous avons mis au point un procédé de fabrication en salle blanche pour réaliser des

phototransistors au graphène munis d'une grille électrochimique, à base de polymère électrolyte. Ces transistors ont ensuite pu être étudiés sur notre dispositif optique.

Résultats

Un transfert d'énergie de type Förster, efficace à $> 95\%$ a été mis en évidence entre un nano-émetteur isolé (NC ou NP) et une monocouche de graphène. Le taux de transfert d'énergie a été étudié quantitativement, notamment en fonction de la distance émetteur-graphène, mais aussi en fonction de la taille de l'émetteur ou du nombre de couches de l'échantillon de graphène. Ces résultats ont mis en évidence le rôle de la dimensionnalité (0D vs 2D) sur l'efficacité du couplage et offrent des perspectives fondamentales et appliquées intéressantes.

Le fonctionnement de nos phototransistors au graphène a été analysé en détails ce qui ouvre la voie à des études plus avancées dans des transistors hybrides. Le projet QuanDoGra a aussi permis d'obtenir des résultats importants sur les propriétés optiques, électroniques et vibrationnelles intrinsèques du graphène et d'autres systèmes bidimensionnels, comme les dichalcogénures de métaux de transition (TMD) et d'élargir notre activité aux hétérostructures de van der Waals (expl : graphène-TMD).

Plusieurs collaborations locales, nationales et internationales ont également été initiées et consolidées dans le cadre de QuanDoGra.

Productions scientifiques

À ce jour, le projet QuanDoGra a donné lieu à dix publications (dont 3 Nano Letters, 1 ACS Nano, 1 Phys Rev Lett, 1 Phys Rev Applied, 1 Phys Rev B) dans des revues internationales à comité de lecture et plus d'une vingtaine de présentations, (5 invitées, 7 orales, 1 par affiches) dans des conférences internationales. Un des principaux articles en lien avec le projet (F. Ferderspiel et al., Nano Lett. 2015) a bénéficié d'une actualité scientifique sur le site du CNRS et a été repris comme fait marquant dans le rapport d'activité de l'Université de Strasbourg.

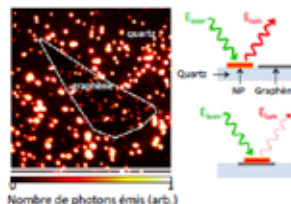


Image de photoluminescence (gauche) de nanoplaquettes semiconductrices de CdSe déposées sur un substrat de quartz partiellement recouvert d'une couche de graphène (contour en pointillés). L'émission est nettement moins intense lorsque les nanoplaquettes sont déposées sur le graphène que lorsqu'elles reposent sur le substrat transparent de quartz.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

JCJC SIMI 10 2012

Date de fin de projet, durée du projet

14/02/2016, 40 mois

Instrument de financement

JCJC

Liste des partenaires

P1 - Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS)

Coordinateur

Stéphane BERCIAUD,
stephane.berciaud@ipcms.unistra.fr

TIQS

Thermodynamique de l'Information Quantique avec les Circuits Supraconducteurs

À TRAVERS LA TRANSITION DE BLOCAGE

Explorer les liens entre information et énergie dans le régime quantique

La thermodynamique de l'information explore les liens entre échange d'information et d'énergie. Depuis quelques années seulement, des expériences en testent les prédictions dans le domaine de la physique classique. Le projet vise à explorer expérimentalement la thermodynamique de l'information dans le régime quantique. Dans ce cas, l'information devient non locale grâce au principe d'intrication et son transfert perturbe l'état du système par rétroaction de la mesure. Les transferts énergétiques eux-mêmes sont modifiés et il faut revoir nos définitions de travail et chaleur en conséquence.

Par ce projet, on se propose de réaliser des expériences sur des systèmes élémentaires explorant ce régime. Avec des circuits supraconducteurs, on veut fabriquer un « démon de Maxwell » utilisant l'information qu'il acquiert pour refroidir un bit quantique et en extraire l'énergie. Ces recherches pourront stimuler un domaine essentiellement théorique en le confrontant à la réalité. Par ailleurs, la connaissance des échanges de chaleur limites est intéressante en vue de l'optimisation ultime des processeurs informatiques dont la consommation énergétique est un enjeu sociétal majeur.

Comment manipuler l'information et mesurer les échanges énergétiques dans le régime quantique ?

Le projet bénéficie des avancées récentes dans la manipulation de l'état quantique des circuits supraconducteurs. Le système élémentaire est un bit quantique supraconducteur placé dans une cavité, elle-même supraconductrice.

Dans une première expérience, le démon de Maxwell est simulé par une carte de traitement informatique. La difficulté majeure de cette expérience consiste à réaliser un système de mesure et de traitement permettant de connaître l'état d'excitation du bit quantique et de demander à en extraire l'énergie s'il en a avant que le bit ne perde ses propriétés quantiques. Pour cela, nous avons développé un amplificateur micro-ondes très performant et avons programmé une carte FPGA (Field Programmable Gate Array) permettant de traiter l'information et réagir en moins de 500 ns.

Dans une seconde expérience, le démon de Maxwell est lui-même un système quantique, à savoir un mode de la cavité. Nous avons par ailleurs indépendamment mesuré continuellement le canal d'énergie extraite du bit quantique.

Résultats majeurs

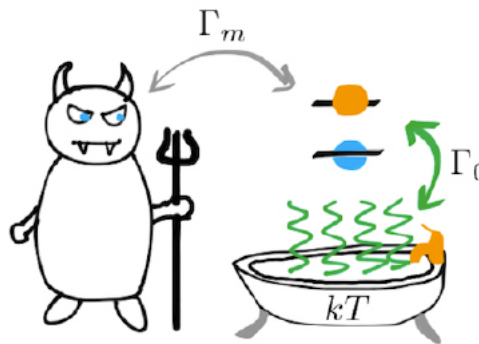
Nous avons réalisé un démon de Maxwell classique et un autre quantique avec un système élémentaire basé sur des circuits supraconducteurs. Ceci ouvre

la voie à différents types de machines thermiques dans le régime quantique.

Par ailleurs, nous avons réalisé l'amplificateur radiofréquence non-dégénéré et limité quantiquement la plus large bande existant à l'heure actuelle. Enfin, nous avons mis en évidence expérimentalement la dualité entre préparation et post-sélection en mécanique quantique.

Productions scientifiques et brevets

Nous avons publié 4 articles dans Science, Physical Review X, Physical Review Letters and Applied Physics Letters. Ces travaux ont été présentés dans 17 exposés dont 9 à l'occasion d'invitation dans des conférences internationales et 2 actions de vulgarisation.



IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

JCJC 2012

Date de fin de projet, durée du projet

31/08/2015, 36 mois

Instrument de financement

JCJC

Liste des partenaires

P1 - CNRS/ENS Paris,
Laboratoire Pierre
Aigrain

Coordinateur

Benjamin HUARD,
benjamin.huard@lpa.ens.fr

JAMVIBE

Au travers de la transition vitreuse d'un milieu granulaire :
modes mous, acoustiques et rhéologie

À TRAVERS LA TRANSITION DE BLOCAGE

Bloqué/débloqué un destin granulaire

Pour quiconque s'étant déjà trouvé coincé dans un embouteillage inhérent à la circulation urbaine, la notion de transition de blocage revêt un caractère tellement intuitif qu'il n'est pas nécessaire d'insister pour rappeler la phénoménologie profondément collective et fluctuante des phases d'arrêt et de redémarrage. Néanmoins, pour la plupart des gens, il est difficile de croire que ces moments pénibles se rapportent à l'une des questions les plus débattues de la physique de la matière condensée et est à la source d'interrogations profondes sur la nature de la transition vitreuse.

Cette expérience nous enseigne que sans la coopération de chacun des acteurs – échelle microscopique - ou en l'absence d'un contrôle actif de l'écoulement – échelle macroscopique - la situation de blocage ne peut que s'amplifier pour finir dans le plus profond des marasmes. Des situations similaires alternant phases de coincement et de décoinement se produisent de manière générique dans la matière en grain.

On peut même affirmer qu'un système simple comme un empilement de grains secs constitue une situation paradigmatique permettant d'éclairer de manière décisive les comportements de toute une classe de matériaux comme les verres, les gels, les mousses ou bien les pâtes colloïdales.

En ce qui concerne plus spécifiquement les matériaux granulaires, il est manifeste que dans le contexte industriel, la fiabilité de nombreux processus est souvent perçue comme problématique. Les ingénieurs sont souvent déçus par les performances médiocres des prototypes industriels. Des études ont montré que l'on observait en pratique des réductions des rendements pouvant atteindre 40% des niveaux espérés par les études préliminaires. De nombreuses nuisances comme les blocages inopportuns, le vieillissement des propriétés mécaniques, les ségrégations, les instabilités d'écoulement produisant des inhomogénéités de composition, sont observées et mal contrôlées. Les solutions proposées sont parfois ingénieuses mais manquent de généralité pour être entièrement satisfaisantes.

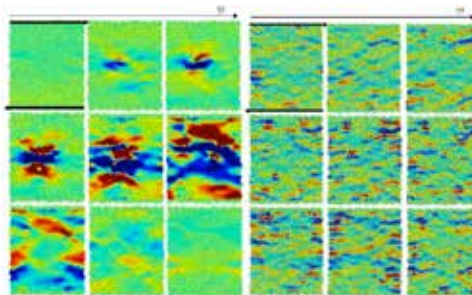
Non-localité, la rhéologie granulaire revisitée

Ce projet, avait pour objectif d'étudier expérimentalement et numériquement les propriétés des matériaux granulaires au voisinage des seuils de mise en mouvement ou bien d'arrêt. En particulier, nous nous sommes attachés à dégager des concepts pertinents permettant d'appréhender simultanément la présence de phases bloquées et de phases en écoulement. Nous avons pour objectif l'établissement d'un jeu d'équations constitutives basées sur l'observation du caractère critique - ou tout du moins fortement hétérogène - de cette transition. Pour ce faire, nous

avons mis en place des expérimentations simples mais cruciales. La présence d'activation mécanique comme des vibrations ou du cisaillement permet de modifier les comportements rhéologiques de manière déterminante. Ces études expérimentales ont été relayées par des travaux numériques permettant de répondre à des questions simples mais difficilement atteignables par l'expérimentation.

Au final nous avons pu caractériser les propriétés dynamiques du fluage de part et d'autre de la transition de blocage en proposant des équations macroscopiques testées numériquement et sur des situations expérimentales mais aussi nous avons cherché à identifier les modes locaux de déformation permettant le mouvement microscopique des particules.

Ce travail a fait l'objet de nombreuses publications scientifiques dans des journaux à fort impact. Ce travail est aussi au centre d'un important et vigoureux débat scientifique sur la nature des équations rhéologiques non-locales.



Modes locaux de déformation d'un granulaire cisailé. Granulaire mou (panel de gauche) les modes sont localisés et se forment par succession d'avalanches. Granulaires durs (panel de droite) les modes sont délocalisés et diffus dans la structure de l'empilement.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

BLANC 2010

Date de fin de projet,
durée du projet

19/12/2014, 48 mois

Instrument de financement

PRC

Liste des partenaires

P1 - CNRS – UMR
7636 – Physique et
Mécanique des Milieux
Hétérogènes

P2 - CNRS Paris B

Coordinateur

Jorge KURCHAN,
jorge@pmmh.espci.fr

METAKOUSTIK

Approche rationnelle pour la réalisation de métamatériaux pour l'acoustique ultrasonore

APPROCHE RATIONNELLE POUR LA RÉALISATION DE MÉTAMATÉRIAUX POUR L'ACOUSTIQUE ULTRASONORE

Les métamatériaux acoustiques sont des matériaux artificiels, n'existant pas à l'état natif, structurés de façon à ce que les ondes acoustiques s'y propagent de façon non-conventionnelle. Les propriétés attendues pour ce type de matériaux sont extrêmement variées et laissent entrevoir de nombreuses applications tant dans le domaine de l'imagerie que de l'isolation acoustique. Si de nombreuses voies de recherches ont été explorées par des voies mécaniques ou micromécaniques pour la réalisation de matériaux solides bidimensionnels agissant dans le domaine des fréquences audibles, les réalisations de matériaux tridimensionnels, à matrice fluide ou malléable, et opérationnels dans le domaine ultrasonore sont beaucoup plus rares. Ce projet a pour objectifs la conception, la synthèse et la caractérisation de métamatériaux acoustiques tridimensionnels agissant dans le domaine des fréquences ultrasonores (fréquence typiquement supérieure à 20 kHz). D'un point de vue technologique, l'obtention de tels matériaux est susceptible d'ouvrir la voie à de nombreuses réalisations dans le domaine de l'imagerie ultrasonore ou de l'acoustique des systèmes sous-marins. Nous proposons d'explorer des méthodes de fabrication basées sur la microfluidique et l'émulsification afin de réaliser des particules colloïdales qui se comportent comme des inclusions localement résonantes et qui présenteront des propriétés acoustiques exotiques.

Synthèse de résonateurs acoustiques par des techniques de mise en forme de la matière molle : émulsions et microfluidique

L'approche expérimentale que nous proposons consiste en la mise en forme de phases liquides par des techniques d'émulsification et de microfluidique. La réalisation de résonateurs acoustiques dans le domaine ultrasonore passe par la fabrication d'objets de tailles colloïdales calibrées et de structures microscopiques parfaitement maîtrisées. L'utilisation de ces techniques permet de surmonter certaines des difficultés rencontrées lors de la fabrication de métamatériaux solides bidimensionnels obtenus grâce à des techniques de micro-mécaniques. Ainsi, l'approche développée dans ce projet permet la production de quantités importantes d'objets micrométriques parfaitement définis autorisant la réalisation d'échantillons macroscopiques (de volume typiquement de l'ordre de la dizaine de cm^3).

Résultats

- Possibilité d'utiliser les techniques de microfluidique pour synthétiser des particules de type « cœur dur coque molle ». Synthèse par microfluidique de cœurs denses métalliques de taille et de distribution de tailles contrôlées ;
- Possibilité d'utiliser des résonateurs de Mie pour générer des résonances dans des matériaux

« tous fluides » éventuellement accordables par un champ magnétique externe ;

- Synthèses et mesures acoustiques des propriétés de métamatériaux acoustiques tridimensionnels à indices négatifs ;
- Synthèse et caractérisation acoustique de matériaux poreux à indice acoustique modulable ;
- Une alternative potentielle aux particules de type cœur-coque a été identifiée : une dispersion aléatoire de particules sphériques denses sans coque, dans laquelle la matrice élastique joue le rôle initialement dévolu à la coque, et qui présente aussi une résonance sub-longueur d'onde. La synthèse, la caractérisation acoustique et la modélisation de ces dispersions ont été réalisées.

Productions scientifiques

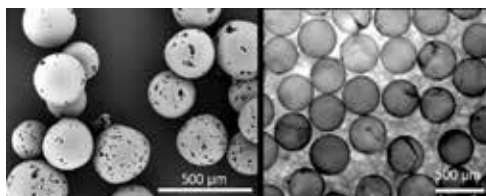
10 articles de revues internationales, 34 conférences internationales et 11 nationales, tous multipartenaires.

4 articles de vulgarisation scientifique : Le Monde, le Journal du CNRS, Science & Vie, Industries & Technologies.

6 sites web en plus de ceux des partenaires : Nanowerk, Futura Sciences, Science 2.0, Science World Report, Next Big Future, Science Daily.

Diffusion au travers des médias : communiqué de presse CNRS, reportage TV, émission Radio-Campus : Sciences à l'Antenne et film C-Your Mag de Cap Sciences.

Participation au comité local d'organisation de la conférence international Metamaterials.



Clichés de microscopie électronique à balayage des micro-résonateurs poreux (gauche : silicone poreux ; droite : silice poreuse) qui forment les constituants de base des métamatériaux acoustiques tridimensionnels dans le domaine ultrasonore.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

BLANC SIMI9 2011

Date de fin de projet, durée du projet

30/09/2015, 48 mois

Instrument de financement

PRC

Liste des partenaires

- P1 - Centre de Recherche Paul Pascal (CRPP)
- P2 - Laboratoire du Futur (LOF)
- P3 - Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M)
- P4 - Laboratoire Ondes Matières d'Aquitaine (LOMA)
- P5 - Institut Jean Le Rond d'Alembert, Université Pierre et Marie Curie

Coordinateur

Olivier MONDAIN-MONVAL,
mondain@crpp-bordeaux.cnrs.fr

NMGEM

Nanomagnétisme sur Graphène Épitaxié sur Métaux

NANOMAGNÉTISME NON CONVENTIONNEL DANS LES HYBRIDES DE GRAPHÈNE ET DE MÉTAUX

Structure, interactions, et magnétisme dans des nanostructures magnétiques à base de graphène épitaxié sur métaux

Le graphène, emblématique matériau bidimensionnel à l'épaisseur d'un atome, n'est pas intrinsèquement ferromagnétique. Il n'en demeure pas moins une plateforme originale accueillant des nano-objets magnétiques.

À l'heure où démarre le projet NMGEM en 2011, cet aspect est cependant peu étudié. Le consortium réunissant l'Institut Néel, le CEA-INAC, et l'Institut Lumière et Matière s'est attelé à l'exploration fine de la structure entre le graphène de très haute qualité, un substrat métallique, et des nanoparticules ainsi que des films ultra-minces magnétiques en contact. Cette étude avait pour but de révéler et de modéliser les interactions physico-chimiques en jeu, et de mettre en évidence, puis de comprendre, de nouveaux comportements magnétiques dictés par des effets d'interface entre un métal de transition ferromagnétique et une couche légère de finesse ultime, le graphène. Ces objectifs devaient permettre d'ouvrir de nouveaux champs de recherche amont, exploitant des phénomènes de spinterface avec le graphène.

Science des surfaces au laboratoire et sur installations synchrotron couplées aux simulations multi-échelles

Le projet envisageait notamment l'utilisation de sondes expérimentales alors peu communes dans l'étude du graphène. La diffusion des rayons X de surface, très adaptée pour déterminer à très haute résolution la structure des interfaces, est un exemple. Le dichroïsme magnétique des rayons X en est un autre, qui permet de sonder des faibles quantités de matière magnétique d'intérêt. Également très originale, et unique à ce jour, fut l'utilisation de la microscopie d'électrons lents résolue en spin, qui résout la texture magnétique de surfaces. Au chapitre des simulations, il était déjà notoire que les simulations *ab initio* des propriétés structurales et électroniques apportaient quantité de points de comparaison pertinents avec l'expérience. La prise en compte de la polarisation en spin dans ces calculs était l'un des objectifs du projet, permettant de traiter des interfaces avec des métaux magnétiques. Enfin, aussi instructives qu'elles soient, les simulations *ab initio* ne peuvent traiter des systèmes de grosses tailles. Un effort considérable a été fourni afin d'établir un lien fort entre ces simulations et des simulations par potentiels paramétriques, beaucoup plus versatiles.

Résultats

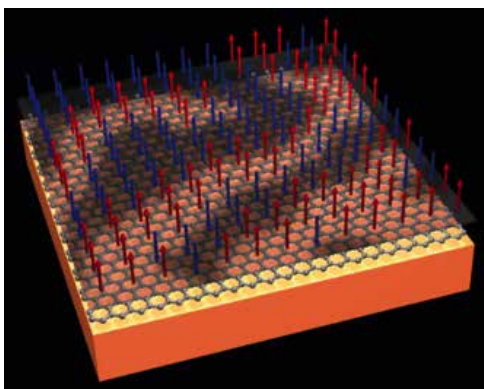
- Un film ferromagnétique ultra-mince tend à coucher son aimantation selon sa surface. Une couche protectrice d'épaisseur atomique, le graphène, contraire fortement à cette tendance, et une texture

magnétique non conventionnelle est obtenue. On prévoit ainsi des systèmes d'anisotropie magnétique géante, d'intérêt pour le stockage à haute densité de l'information.

- Le graphène sur un métal présente des nano-ondulations périodiques. Des nanoparticules se déplaçant sur ce paysage s'ordonnent régulièrement, et étonnamment, elles « s'arrangent » pour former une interface cristalline avec le graphène. La méthode permet d'envisager de former des bits nanométriques d'information.
- Les forces d'interaction faibles à longue portée, dites de van der Waals, ont un rôle tout particulier pour le graphène. Étant bidimensionnel, il est habituellement contacté à un autre matériau. Avec des matériaux à forte densité d'électrons libres, tels les métaux, l'écrantage des forces de van der Waals peut devenir considérable.

Productions scientifiques

Une vingtaine d'articles ont été publiés dans des revues internationales à comité de lecture, dont certaines à fort impact (par exemple *Physical Review Letters*, *Nano Letters*, *Accounts of Chemical Research*), et plusieurs autres sont en cours de préparation.



Texture magnétique d'un film ultra-mince de cobalt, influencée par l'interface avec le graphène.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

Blanc SIMI 10 2010

Date de fin de projet, durée du projet

31/03/2015, 51 mois

Instrument de financement

PRC

Liste des partenaires

P1 - Institut Néel

P2 - CEA, Institut de Nanosciences et Cryogénie (INAC)

P3 - Laboratoire de Physique de la Matière Condensée et Nanostructures (LPMCN)

P4 - Laboratoire de Spectrométrie Ionique et Moléculaire (LASIM)

Coordinateur

Johann CORAUX,
johann.coraux@grenoble.cnrs.fr



SESSION 4

**INGÉNIERIE,
INSTRUMENTS
ET SYSTÈMES**

UPCOLOR

Inscription multicolore reconfigurable haute résolution

INSCRIPTION MULTICOLORE HAUTE RÉOLUTION RECONFIGURABLE OU PÉRENNE

Contrôle local de la taille et de l'organisation de nanoparticules métalliques au sein de films inorganiques

La photo-inscription concerne aujourd'hui un large éventail d'applications telles que la reproduction d'images, le stockage de données ou le marquage de produits à des fins de traçabilité ou de lutte anti-contrefaçon. Le projet a permis de développer une technique d'écriture de motifs colorés, reconfigurables ou pérennes, ne nécessitant aucun post-traitement chimique ou thermique. Elle est basée sur la maîtrise des conditions de croissance et d'oxydation de nanoparticules métalliques dans des matrices solides d'oxyde de titane poreux et tire bénéfice du caractère photochromique de ces composés. Ce savoir-faire, qui s'appuie à la fois sur la synthèse par voie sol-gel de films à porosité contrôlée, sur la maîtrise de procédés d'inscription et sur une modélisation appropriée, présente les caractéristiques innovantes suivantes : inscription réversible ou pérenne de motifs multicolores sur un même support avec une résolution micrométrique. Deux procédés ont été mis en œuvre, l'un « tout optique », basé sur l'usage de lasers émettant à différentes longueurs d'ondes et permettant le traitement de larges surfaces, l'autre « électrique », basé sur l'usage d'un microscope à force atomique (AFM).

Oxyde de titane, argent et lumière laser, une synergie structurante pour des effets colorés

Le projet a permis de mettre en place un dispositif optique permettant l'inscription semi-automatisée de motifs colorés avec une résolution micrométrique sur des surfaces de quelques centimètres de large et la caractérisation spectrale des échantillons *in situ* avec une résolution micrométrique également. Il combine un laser émettant à différentes longueurs visibles et un microscope dans lequel entre le faisceau laser et auquel sont reliés par fibre optique une source de lumière blanche et un spectrophotomètre alignés de manière confocale avec le laser. Un programme informatique a été développé pour permettre la gestion automatique des platines de translation et de l'ouverture laser afin de pouvoir gérer l'inscription de motifs variés. Un système d'écriture sous microscope pour un laser ultraviolet a également été mis en place. Pour l'inscription électrique un microscope AFM commercial déjà présent au laboratoire a été utilisé. Parmi les deux procédés étudiés, le « tout optique » est sans conteste le plus performant et reproductible. Il a donné lieu aux résultats les plus marquants du projet.

Résultats

Comme attendu, nous sommes aujourd'hui en mesure de réaliser des inscriptions multicolores effaçables ou pérennes sur un même support et avec une résolution micrométrique au moyen de

ce que l'on pourrait appeler un « stylo-effaceur laser ». Nous avons démontré, en travaillant notamment sur le contrôle de la porosité des films, que les inscriptions multicolores effaçables pouvaient être stables pendant plusieurs années avant effacement par laser, ceci étant une avancée importante par rapport à l'état de l'art. Nous avons montré que la forme de motifs effaçables complexes et micrométriques pouvait être sauvegardée sans dégradation et utilisée dans le domaine de la traçabilité sécurisée. Des études plus fondamentales ont également permis de mieux comprendre les mécanismes de ré-oxydation des nanoparticules sous insolation monochromatique. Le volet « inscriptions pérennes » de cette étude a quant à lui permis de mettre en évidence un phénomène non attendu : la croissance auto-organisée de nanoparticules métalliques dans une couche mince sous excitation lumineuse homogène. Cette retombée du projet ouvre la voie à de nouvelles études fondamentales et appliquées parmi lesquelles la création de motifs présentant un lustre coloré aux propriétés dichroïques innovantes.

Productions scientifiques

Le projet a donné lieu à 10 publications dans des RICL (+ 2 soumises à la date de clôture du projet) et à 31 communications orales dont 8 invitées et 4 ayant donné lieu à des articles de conférences (SPIE). Un brevet a également été déposé durant le projet.

Onze articles ont été publiés dans le cadre du projet et deux autres sont actuellement soumis. Ceux ayant donné lieu aux résultats majeurs du projet sont cités par un nombre entre crochets dans les paragraphes précédents. Parmi les autres indicateurs d'impact, on notera en particulier le dépôt d'un brevet sur le procédé d'organisation des nanoparticules induit par laser. Ce projet a également débouché sur un nouveau projet ANR PHOTOFLEX, financé en 2012.

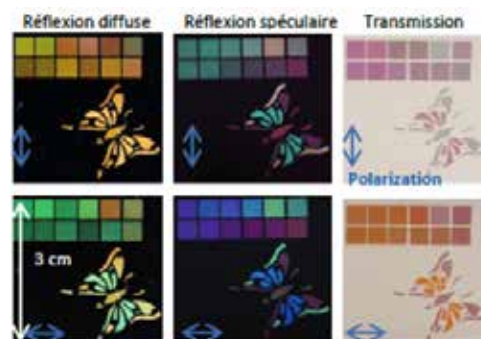


Photo-inscription de motifs multicolores effaçables ou permanents avec une résolution micrométrique sur des supports flexibles grâce à la formation et l'assemblage de nanoparticules sous le faisceau d'un stylo laser.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

JCJC SIMI 10 2010

Date de fin de projet, durée du projet

14/01/2014, 37 mois

Instrument de financement

JCJC

Liste des partenaires

P1 - Université Saint-Étienne (LaHC), Laboratoire Hubert Curien

Coordinateur

Nathalie DESTOUCHES, nathalie.destouches@univ-st-etienne.fr

HIRESAFM

Mesures de force d'adhésion à haute résolution

Adhésion à l'échelle nanométrique : capillarité et interaction de Van der Waals

Ce projet expérimental sur les forces d'adhésion propose une étude spécifique de deux cas très importants en pratique :

- Les forces capillaires résultent de la condensation d'un liquide depuis sa vapeur en géométrie confinée. Ce thème de recherche académique actif est lié à des questions de physique statistique, comme la compétition entre les effets de taille finie et ceux de surface, le rôle du désordre, ou l'hystérésis et la nucléation lente liés à une transition de phase du premier ordre. Les applications sont nombreuses : géologie, construction, microélectronique, industrie pétrolière, métallurgique, alimentaire, cosmétique...
- Les forces de Van der Waals sont incontournables dans la compréhension de la physique des objets à l'échelle nanométrique. Elles sont par exemple le mode d'interaction principal des nanotubes de carbone avec leur environnement. Pour mettre en œuvre les étonnantes propriétés mécaniques ou électriques des nanotubes, la compréhension de cette interaction est incontournable. Le nombre croissant de leurs applications potentielles, ou leur utilisation générique comme banc d'essai des phénomènes physiques fondamentaux à l'échelle nano en font un choix pertinent pour l'étude des forces de Van der Waals.

Mesure de forces attractives : un instrument haute résolution pour une approche directe

Une mesure directe de la dépendance en distance de la force entre deux surfaces en interaction est a priori une méthode très puissante d'étude de ces forces attractives, donnant un accès direct au profil d'énergie potentielle et à des données quantitatives d'intérêt pratique. Toutefois, cette approche est souvent impossible à cause d'une instabilité mécanique dans le cas attractif : la raideur finie du capteur empêche l'accès aux séparations les plus faibles (et les plus intéressantes).

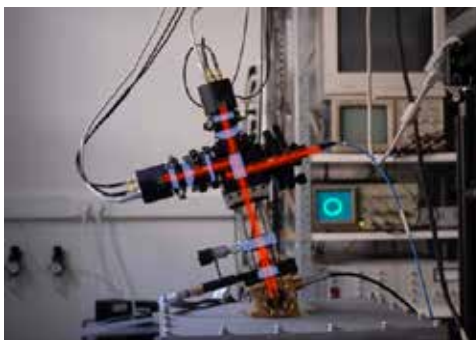
Nos expériences sont basées sur un microscope à force atomique innovant, développé au Laboratoire de Physique de l'ENS Lyon. Conçu pour l'étude des fluctuations à l'échelle nanométrique, cet outil est également très performant dans les mesures de force à haute résolution. Sa caractéristique principale est sa très grande précision de mesure de la déflexion de la sonde de force, de l'ordre du picomètre. Cette sensibilité hors norme permet de surmonter la difficulté intrinsèque des mesures de forces attractives : des leviers bien plus raides permettent d'éviter l'instabilité sans sacrifier la résolution de mesure. La totalité de la courbe force-distance est ainsi accessible, et l'adhésion peut être caractérisée.

Résultats majeurs

Nous avons quantifié l'énergie d'adhésion de nanotubes de carbones sur plusieurs substrats (Graphite, Mica, Or, Platine, Silicium) et caractérisé finement la nano-mécanique du contact, qui met en évidence le rôle des défauts. Notre instrument a été encore amélioré d'un facteur 100 dans ce projet, et deux brevets déposés. Parmi les retombées inattendues, nous pilotons un échauffement spectaculaire (1400°C) des pointes de microscopie à force atomique. Cet effet trouvera des applications multiples, notamment dans nos recherches sur la capillarité.

Productions scientifiques et brevets

Le projet a permis la préparation de 2 thèses, conduit à la publication de 5 articles et à 12 présentations des résultats en conférence. 2 brevets concluent également nos développements instrumentaux, et plusieurs collaborations (nationale et internationale) démarrent à la suite de ce projet.



Notre instrument de mesure est basé sur un interféromètre différentiel à quadrature de phase illustré sur cette image avec le schéma optique superposé. Sa sensibilité est 100 fois supérieure à un appareil standard. © L. BELLON, LPENSL

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

JCJC 2011

Date de fin de projet, durée du projet

31/12/2015, 46 mois

Instrument de financement

JCJC

Liste des partenaires

P1 - ENS Lyon, Laboratoire de Physique

Coordinateur

Ludovic BELLON,
Ludovic.Bellon@ens-lyon.fr

SLENDER

Structures élancées : stabilité, optimisation, contrôle

Contexte et objectifs du projet

Ce projet de recherche a pour objectif l'étude (modélisation, conception et optimisation) et le développement (dimensionnement, validation numérique et expérimentale, réalisation de démonstrateurs) de structures composites multistables en forme de plaques ou coques, qui peuvent se comporter comme des surfaces qui adaptent leur forme en subissant des grands déplacements et rotations sous l'effet de chargements externes et d'une actuation embarquée. On dit multistable une structure qui possède plusieurs configurations distinctes d'équilibre stable : dans les applications, on peut imaginer que chaque configuration stable puisse correspondre à une géométrie optimale/adaptée à une condition/point de fonctionnement de la structure.

C'est le principe de structures adaptatives ou intelligentes, c'est-à-dire capables d'adapter leur forme à des régimes de fonctionnement différents. Dans ce contexte, l'intérêt des structures multistables réside dans le fait que chaque configuration stable peut être maintenue sans apport de forces d'actionnement extérieur. L'actionnement sera alors nécessaire seulement pour permettre la transition entre équilibres stables. Les domaines d'application sont très variés (aéronautique et espace, architecture, électronique et micro-mécanique) : les structures multistables, aussi présentes en Nature, sont les composantes de dispositifs modernes, comme des structures déployables et adaptatives pour l'aéronautique et l'espace ou en génie civil, ou encore miroirs adaptatifs, écrans minces, etc.

Enjeux scientifiques

D'un point de vue scientifique, cette recherche implique l'étude de phénomènes non linéaires complexes qui ont lieu lors des grands déplacements de structures élancées (poutres, arcs, plaques ou coques) afin de développer des modèles et des outils pour la prédiction, la conception et le contrôle de ces phénomènes. Les non linéarités importantes sont le facteur crucial pour comprendre la stabilité ou la perte de stabilité de structures élancées, et ces phénomènes peuvent être contrôlés par la combinaison de comportements anisotropes des matériaux et de champs de précontraintes, par exemple induits par couplages ou par déformations plastiques. D'autre part, d'un point de vue expérimental, la réalisation de structures multistables se heurte à la présence d'imperfections de fabrication, qui introduisent des perturbations et peuvent affecter la réponse non linéaire, et donc la multistabilité, de ces structures.

Résultats remarquables

Dans le cadre de ce projet, on a étudié comment obtenir divers scénarios de multistabilité par la combinaison de propriétés matériaux anisotropes plus ou moins marquées (métaux laminés, composites stratifiés), de précontraintes (déformations plastiques dans les métaux, déformations thermo-élastiques dans les stratifiés) et de la géométrie initiale des plaques ou coques. Aussi on a abordé la conception de systèmes efficaces d'actionnement (actionnement quasi-statique et sans snap dynamique) pour une

transition contrôlée entre configurations stables, et on a validé expérimentalement les résultats théoriques et numériques par la fabrication de démonstrateurs. Les deux familles de structures étudiées sont :

- Coques bistables en cuivre laminé caractérisées par une très faible énergie d'actionnement (Figure 1) : la transition continue entre configurations stables (tour complet et contrôlé de la coque à 360°) a été implémentée par l'utilisation de patchs piézo-électriques (la surface des patchs correspond à seulement 30 % de la surface de la structure) ;
- Coques bi- et tri-stables en composites stratifiés (Figure 2) : la combinaison de la géométrie initiale et de l'orthotropie des stratifiés permet d'obtenir des formes différentes de configurations stables, ainsi que divers scénarios énergétiques, ouvrant ainsi la voie à l'optimisation de structures multistables pour des applications en ingénierie.

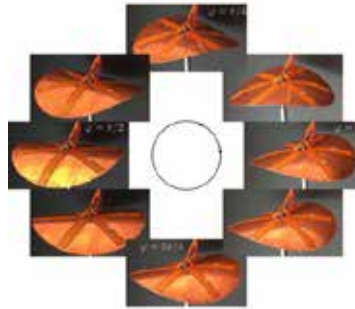


Figure 1 : Contrôle de forme d'une coque bistable en cuivre laminé par actionnement piézo-électrique.

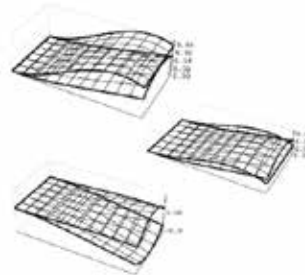


Figure 2 : Conception et optimisation de coques multistables en composites stratifiés.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

JCJC Edition 2013

Date de fin de projet, durée du projet

01/01/2014 - 31/12/2018

Instrument de financement

JCJC

Liste des partenaires

- P1 - Institut Jean Le Rond d'Alembert
P2 - Université Pierre et Marie Curie, Sorbonne Universités

Coordinateur

Angela VINCENTI,
angela.vincenti@upmc.fr

GYPSI

Simulation GYrocinétique haute Performance Pour ITER

Vers les plasmas en combustion thermonucléaire dans ITER

Les plasmas en régime de combustion thermonucléaire seront étudiés expérimentalement dans la machine internationale ITER, en cours de construction à Cadarache, et qui mobilise des moyens très importants. Dans ce dispositif de confinement magnétique les difficultés sont moins liées à la combustion thermonucléaire elle-même qu'à l'obtention des conditions d'auto-entretien de la réaction ; il faut maintenir le plasma à très haute température (typiquement 100 millions de Kelvin) en maîtrisant le transport turbulent. Ce transport équilibre ou limite la performance de confinement. En cela il détermine la température que l'on peut atteindre dans le plasma ; il est au cœur de la problématique expérimentale d'ITER. Un deuxième enjeu de cette expérience réside dans l'utilisation optimale des campagnes expérimentales. Dans ce contexte, et compte tenu de la difficulté de la mesure dans ces plasmas, les outils de simulations numériques sont un enjeu essentiel pour le déroulement de cette entreprise et pour tirer le meilleur parti de cet effort international. Le projet GYPSI s'insère dans cette logique en permettant les simulations du transport dans les plasmas à partir de l'équation fondamentale, en physique des plasmas : l'équation cinétique de Vlasov-Landau.

Une nouvelle frontière de la recherche : les simulations numériques des systèmes complexes

Dans la vaste famille des systèmes complexes, qui constituent l'infinie normalité des problèmes que nous rencontrons, les plasmas de fusion présentent le double avantage d'être des systèmes presque fermés et surtout qui sont régis par des propriétés de symétrie permettant une représentation mathématique rigoureuse. Par ces aspects, la physique des plasmas en régime de combustion thermonucléaire participe du monde de la simulation des systèmes complexes avec une structure robuste et une grande homogénéité dans le traitement numérique. Nous pouvons ainsi aborder le problème avec un code unique, pour nous le code GYSELA, qui résout un système réduit à seulement trois équations couplées. Par ailleurs, la possibilité de développer par étape l'outil numérique en levant progressivement différentes approximations a permis d'ajuster le développement de l'outil de simulation, et en conséquence la physique étudiée, aux ressources disponibles. La croissance de la puissance des calculateurs auxquels nous pouvons avoir accès, et l'impératif économique et politique de participer à ce développement au meilleur niveau, ont été des éléments porteurs. Nous sommes aujourd'hui approximativement à mi-chemin de notre défi, en pleine progression, mais avec du recul, une nouvelle expertise, de nouvelles exigences.

Dans ce contexte GYPSI c'est :

- Une approche pluridisciplinaire physique, mathématique, science informatique pour le développement du code GYSELA de simulation de la turbulence en régime cinétique
- L'innovation et le développement de méthodes de référence pour le calcul Numérique Haute

Performance (High Performance Computing), appliquées aux simulations des plasmas de fusion.

- La réalisation emblématique en 2013 d'un calcul avec plus de 450 000 cœurs utilisés en parallèle et à haute performance, soit tous les processeurs du plus gros ordinateur en Europe
- L'étude de l'auto-organisation du transport turbulent avec la mise en évidence de plusieurs régimes de confinement, dont l'établissement de barrières de transport

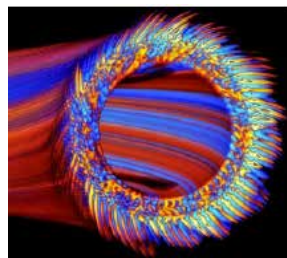
Le programme de développement autour de GYSELA se déroule selon quatre axes indépendants : un programme axé sur les propriétés mathématiques et physiques de l'équation de Vlasov-Landau, un programme de physique des plasmas de fusion à partir des simulations numériques comprenant la confrontation à l'expérience, un programme de développement du code pour faire évoluer la physique du code, et enfin un programme d'augmentation des performances du code : vérification du code, amélioration de la précision, augmentation du nombre de cœurs (CPU), amélioration de la parallélisation, gestion optimisée de la mémoire, tests de non-régression, etc. Alors que ces programmes peuvent être menés de manière indépendante, les avancées dans un domaine favorisent directement la progression dans les autres domaines. L'objectif du projet GYPSI est de mettre en œuvre les synergies entre ces différentes compétences. En particulier que la production scientifique, en général sous forme d'articles publiés dans des revues différentes pour chaque communauté, participe néanmoins à une culture commune autour du développement de GYSELA et de la problématique du transport turbulent dans ITER.

Résultats majeurs

- La démarche scientifique mise en œuvre dans GYPSI a conduit à présenter avec succès de nouveaux projets nationaux et européens.
- L'amélioration du code a permis d'utiliser l'ensemble des cœurs du ordinateur le plus important en Europe (JUQUEEN avec plus de 450 000 cœurs) avec une très bonne efficacité.
- Des simulations avec deux espèces de particules ioniques dans le plasma sont maintenant réalisées, plus récemment dans une version ions-électrons.
- Enfin, la confrontation des résultats de simulation aux expériences a conduit à identifier un régime d'amélioration du confinement dans le tokamak TORE SUPRA.

Productions scientifiques et brevets

Plus de 100 papiers ont été publiés dans des revues internationales avec comité de lecture. Le nombre de présentations dans les conférences et workshops, nationaux et internationaux, reflète la richesse de cette production. Il convient aussi de citer le succès rencontré lors de la soumission des dossiers de demande d'allocation de temps de calculs permettant d'obtenir plusieurs dizaines de millions d'heures monoprocesseur par an. De nombreuses thèses se sont inscrites dans la dynamique de GYPSI.



Expansion d'un front de chaleur dans la géométrie torique d'un tokamak dans une simulation de la turbulence plasma avec le code GYSELA. Les paramètres physiques de cette simulation sont ceux attendus dans ITER.

IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

BLANC SIMI9 2010

Date de fin de projet, durée du projet

31/05/2015, 54 mois

Instrument de financement

PRC

Liste des partenaires

P1 - CEA - Centre d'Études Nucléaire Saclay (IRFM)

P2 - Institut de Recherche Mathématique Avancée (IRMA)

P3 - Centre de Physique Théorique (CPT)

Coordinateur

Philippe GHENDRIH,
philippe.ghendrih@cea.fr

UMEPS

Gestion des Incertitudes de la Protection Électromagnétique sur les Systèmes

MODÉLISER L'INCERTAIN POUR L'ÉTUDE DES EFFETS ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LE DOMAINE AÉROSPATIAL

Enrichir le panel des méthodes et des outils d'aide à la décision en CEM industrielle par des démarches probabilistes

La maîtrise d'une méthodologie probabiliste applicable à un système complexe tel qu'un avion va résoudre dans le sens d'une réponse mieux adaptée aux exigences des clients tant civil que militaire, et constitue à ce titre pour l'industriel un avantage compétitif certain.

L'objectif du projet UMEPS est d'enrichir le panel des méthodes et des outils d'aide à la décision en CEM industrielle par des démarches probabilistes. Trois grands domaines d'études sont abordés dans UMEPS : la Compatibilité Électromagnétique d'une électronique de puissance, les champs forts induits sur un hélicoptère et les effets indirects foudre sur un bâtiment. Des modèles avancés de ces systèmes (modèles circuits ou tridimensionnels paramétrés) et des liens avec l'outil Openturns (wrappers) sont réalisés. Après avoir défini les paramètres incertains pour chacun des trois problèmes (résistance de connexion de panneau sur hélicoptère, mise à la masse des bâtiments, installation câblage,...) nous avons pu mettre en évidence l'intérêt des modèles réduits et des analyses statistiques réalisées.

L'approche classique dite « pire cas » est comparée par rapport à l'analyse statistique. Les stratégies de calcul mise en place dans UMEPS ont démontré toute leur pertinence et elles pourront être introduites dans les futurs développements de programme.

S'appuyer sur des méthodes de réduction de modèles électromagnétiques linéaires ou non linéaires associées à Openturns, logiciel de gestion des incertitudes

La première phase du projet a consisté à faire un état des lieux de la gestion des marges électromagnétiques des systèmes embarqués complexes et de sélectionner les phases d'analyses CEM où des méthodes probabilistes basées sur la propagation d'incertitudes pourraient être appliquées (avec des notions des coûts associés). Deux axes scientifiques importants ont été abordés durant le projet : la réduction de modèles linéaires et non linéaires. Le but recherché était de proposer une méthode de résolution rapide des équations de Maxwell de façon à rendre opératoire une analyse statistique basée sur un grand nombre de calculs. Le premier cas a été étudié par IMACS et a pu être utilisé sur les deux modèles de structure pour les applications champs forts et foudre (méthode de réduction basée sur l'analyse multiport). Un effort important de modélisation a été mené avec la méthode BEM qui a montré tout son intérêt pour les analyses probabilistes. Le second cas a été utilisé sur une problématique CEM avec un modèle non linéaire ; un certain nombre de « réalisations » de calcul étant nécessaire pour qu'un modèle basé sur les ondelettes puisse être développé. La dernière phase du projet

a démontré la mise en place de calculs statistiques en complément de calculs déterministes pour un coût de calcul faible.

Résultats majeurs

Les résultats majeurs du projet sont : une réflexion sur la politique de gestion des marges, une analyse des paramètres incertains contribuant à une certaine variabilité, une analyse des méthodes de réduction de modèles pour les systèmes complexes, des méthodologies de calcul innovantes pour l'étude CEM des systèmes, la démonstration du caractère opératoire des méthodes utilisées, la rédaction d'un guideline pour expliquer la démarche à adopter pour réaliser une analyse probabiliste en CEM et analyser l'effort nécessaire pour la mettre en place, la dissémination des travaux au travers de présentation dans le domaine public (GDR, congrès CEM, ...).

Productions scientifiques et brevets

Le projet UMEPS a été présenté à la communauté scientifique au travers de deux papiers présentés, l'un au GDR ondes en octobre 2013 à Dijon et l'autre au colloque CEM France à Clermont-Ferrand en juillet 2014. Des opportunités de workshop sont à l'étude pour la fin de l'année 2014 à travers le GT6 du GDR ondes. Par ailleurs, une présentation du projet lors des journées Électromagnétisme et Guerre Électronique sera certainement proposée pour 2015.

Les résultats de UMEPS sont en cours dans un DGA RAPID dénommé MOSCEM (IMACS + Airbus Group Innovations) 2016-2019.



IDENTITÉ DU PROJET

Appel à projets / édition

ASTRID

Date de fin de projet, durée du projet

28/02/2014, 24 mois

Instrument de financement

PRCE

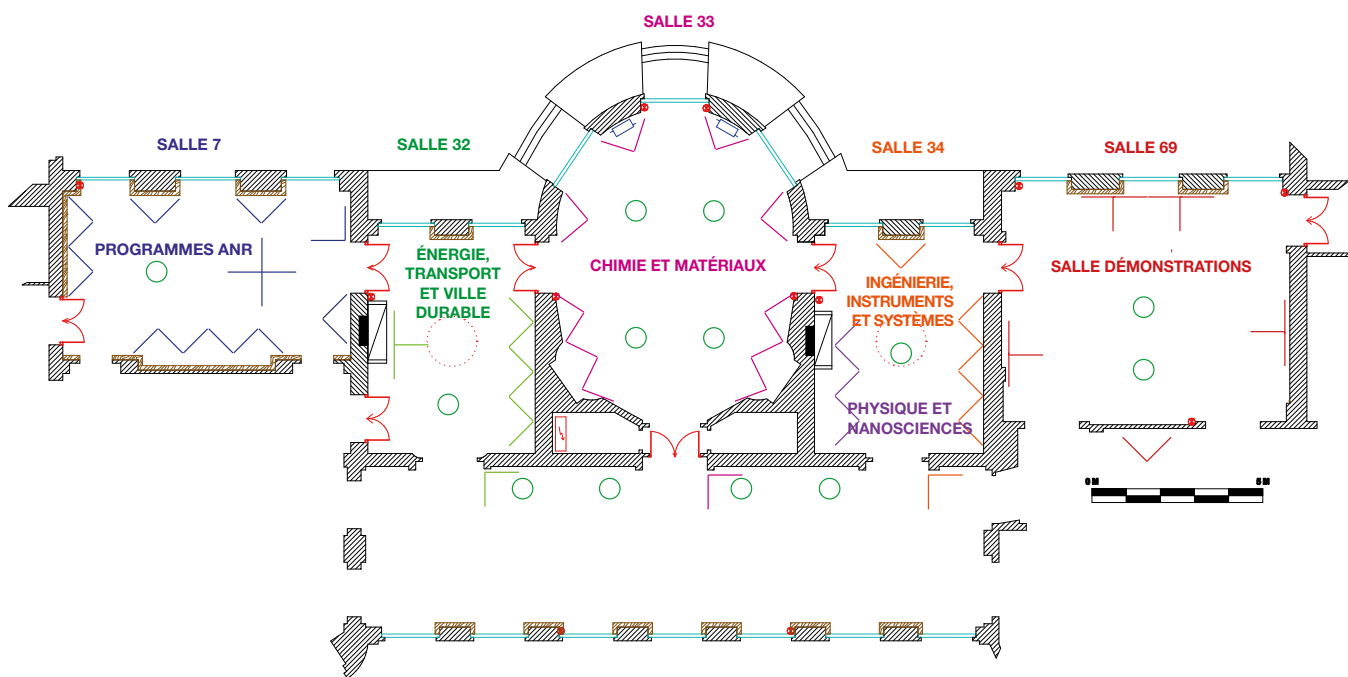
Liste des partenaires

- P1 - EADS France
- P2 - EUROCOPTER SAS
- P3 - ASTRIUM SAS
- P4 - École Centrale de Lyon, Laboratoire AMPERE
- P5 - Ingénierie Mathématique et Calcul Scientifique (IMACS)

Coordinateur

Richard PERRAUD,
richard.perraud@eads.net

PLAN D'EXPOSITION POSTERS



LISTE DES POSTERS

CHIMIE ET MATÉRIAUX

ACLASOLV
CHARADES
CHEMOSWITCH
ECCOFIC
GELCELLS
IDEFFAAR
IRMMAF
MESONNET
NEQSON
OptoMaTS
PROFOR
RAMACO
VAHIIA
XLproteinSSNMR

ÉNERGIE TRANSPORT ET VILLE DURABLE

CEPHORCAS
ENaMU PRC
MAEVIA
MagCool
PHIMS
PRECCISION
PROSSIS2
SESCO
TRICOM
VENISE

PHYSIQUE ET NANOSCIENCE

CALDIRO
ESPERADO
SIMPSSON
SPINHALL
SUPERHYBRIDS-II

INGÉNIERIE, INSTRUMENTS ET SYSTÈMES

3D BROM
CAPSHYDR
CNOC
HIRIS
MAGTWIN
NAHDEVI
PELIICAEN
SIMMIC

PROJETS EN COURS

AMO-COPS
BioSiPharm
CARPE DIEM
CrystOS
EMMA-PIV
HYMALAYAN
HYSINANO

IMPROVMURE
MC²
MeMnAl Steels
MERUBBI
MOSAIC
NADIA
OLYMPIA
RESCOFIS
TE FLIC
TEAM2ClayDesicc

PROGRAMMES ANR

Carnot
H2 et PAC
Labcom
Nanomédecine
PRCE
Projets SPICE

DÉMONSTRATION

HYPERCAMPUS
MIGRANI
MOSAIC
PEPS
Reflex
XXS Forming

COMITÉ SCIENTIFIQUE

ET ÉQUIPE D'ORGANISATION

Comité scientifique

Francis ALLARD

Enseignant chercheur - Université de la Rochelle

Alain BERNARD

Professeur - IRCCyN Nantes

Xavier BOUJU

Directeur de recherche - CEMES

Pascal BRAULT

Directeur de recherche - Université d'Orléans/
CNRS

Cathy CASTELAIN

Chargée de recherche - Université de Nantes/
CNRS

Hervé CHARRUE

Directeur de la Recherche
et du Développement - CSTB

Emmanuel CLAUSE

PCN Transport H2020 - Ministère de l'industrie

Jean DAILLANT

Directeur général - Synchrotron Soleil

Arnaud DE LA FORTELLE

Directeur du Centre de Robotique - MINES
Paris Tech

Franck DUMEIGNIL

Professeur - Université Lille 1

Sylvie GENTIER

BRGM

Georges HADZIANNOU

Directeur de recherche - ENSCBP/CNRS

Serge HUBERSON

Professeur - Université de Poitiers

Ahmed JERRAYA

Directeur de recherche - CEA Grenoble

Eric LAFONTAINE

Responsable adjoint du domaine scientifique
matériaux, chimie et énergie - DGA

Michel LAROCHE

Retraité - SAFFRAN

Florence LEFEBVRE-JOUD

CEA Grenoble

Alexandre LEGRIS

Professeur - Université Lille 1

Gilles MAILHOT

Directeur de recherche - Université Blaise
Pascal Clermont-Ferrand/CNRS

Carole MOLINA-JOUE

Directrice de recherche - INA Toulouse/CNRS

Francois MONNET

Solvay

Bernard MULTON

Professeur - ENS Rennes

Jérôme PERRIN

Directeur scientifique - Renault

Catherine PINEL

Directrice - IRCÉLYON

Françoise PRETEUX

Directrice de recherche - École des Ponts
Paris Tech

Jacques ROUDIER


Président - IREX

Jean-François TASSIN

Directeur de recherche - CNRS

Nadège TROUSSIER

Professeure - Université de technologie
de Troyes



Équipe d'organisation

Jennifer CERCLEY

Chargée de communication - ANR

Rémi GRODZKI

Chargé de projets scientifique SPICE - ANR

Corinne LE NY GIGON

Directrice de l'information et de la communication - ANR

Liz PONS

Coordinatrice scientifique SPICE - ANR

Olivier SPALLA

Responsable du département SPICE - ANR

Un grand merci
à tous nos
collaborateurs !



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE

ANR

www.anr.fr



Twitter@agencerecherche



ANR

agencezebra.com