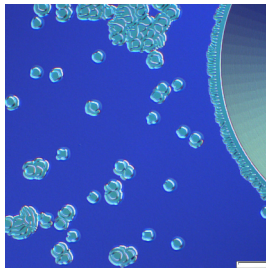
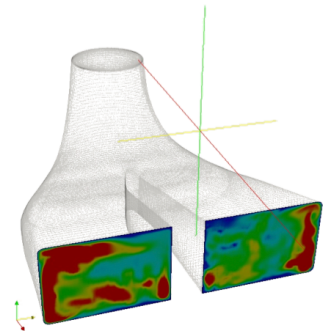
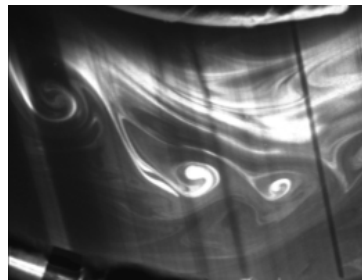
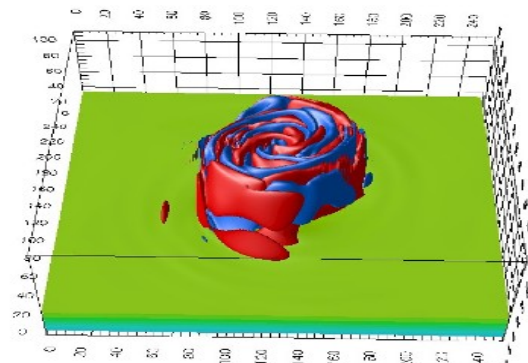
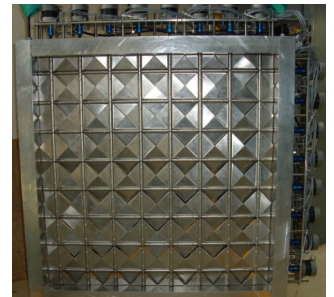




**LABORATOIRE DES ECOULEMENTS  
GÉOPHYSIQUES ET INDUSTRIELS**



**CONTRAT QUADRIENNAL  
PROJET  
2011-2014**





# Contrat Quadriennal : Projet

2011 – 2014

JUIN 2009

## **LEGI UMR 5519**

BP 53 – DOMAINE UNIVERSITAIRE 38041 GRENOBLE CEDEX 9

TEL 33 4 76 82 50 28 – FAX 33 4 76 82 52 71

MEL : CONTACT@LEGI.INPG.FR

[HTTP://WWW.LEGI.INPG.FR](http://www.legi.inpg.fr)



Sommaire	
Préambule .....	3
Positionnement Scientifique de l'unité .....	3
<b>Partie 1 : Auto-Analyse</b> .....	<b>5</b>
<b>Partie 2 : Projet et objectifs scientifiques de l'unité</b> .....	<b>9</b>
Structuration Interne et Organigramme du Laboratoire .....	10
• Instances de décisions de l'unité .....	10
• Fonctionnement des services de l'unité .....	10
• Organigramme prévisionnel de l'unité pour la période 2011-2014 .....	12
• Organisation des services de l'unité pour la période 2011-2014 .....	13
Politique d'incitation à l'émergence de sujets innovants .....	14
Projets et perspectives scientifiques des équipes de recherche .....	16
• E1-EDT .....	17
• E2-ENERGETIQUE .....	23
• E3-ERES .....	29
• E4-HOULE .....	35
• E5-MEOM .....	40
• E6-MIP .....	46
• E7-MOST .....	51
<b>Partie 3 : Mise en Œuvre</b> .....	<b>57</b>
Animation de l'Unité .....	58
Moyens humains et financiers .....	59
Valorisation des travaux de recherche .....	60



# LABORATOIRE DES ECOULEMENTS GÉOPHYSIQUES ET INDUSTRIELS

## PROJET DE RECHERCHE

### ► PREAMBULE

*" Les Directeurs d'Unités sous-signés estiment que la contractualisation auprès de l'EPCS (et dès que possible auprès de l'Université de Grenoble) des laboratoires et fédérations partagés est la seule alternative permettant l'élaboration d'une stratégie de site qui soit à la mesure de l'ambition légitime du bassin Grenoblois. Pour le quadriennal 2011-2014, ils demandent donc que l'unité dont ils ont la responsabilité soit contractualisée auprès de l'EPCS (et à terme de l'Université de Grenoble)."*

Signataires : Christophe Baudet (DU LEGI), , Benoît Boulanger (Néel), Philippe Cardin (porteur du projet ISTERre = LGIT + LGCA), Alain Cartellier (DU LEGI sortant), Jean-Marc Chassery (GIPSA-lab), Joel Cibert (Néel), Jacques Desrues (DU 3S-R), Thierry Dombre (DU LSP), Alain Fontaine (Néel), Yannick Frein (DU GSCOP), Nicolas Halbwachs (Verimag), Olivier Joubert (LTM), Laurent Levy (FMN), André Sulpice (Néel), Bart van Tiggelen (DU LPMMC), Eric Vieil (DU LEPMI).

### ► POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE DE L'UNITE

Depuis sa création en 1992, le LEGI est une Unité Mixte de Recherche (UMR 5519) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de Grenoble-INP et de l'Université Joseph Fourier (UJF). L'ensemble des personnels du LEGI reste attaché au statut d'unité mixte de recherche de l'unité. En janvier 2009, la direction du LEGI a été informée par ses deux tutelles universitaires du changement de sa tutelle de rattachement principal confiée dorénavant à Grenoble-INP.

Au travers de leurs missions de formation et de recherche, les équipes du LEGI entretiennent des relations très étroites avec différents laboratoires du site Grenoblois (en particulier Rhéologie, 3S-R, LJK), ainsi qu'avec les laboratoires de la région Rhône-Alpes (notamment le LMFA, l'INSA et l'ENS-Lyon à Lyon). Les enseignants-chercheurs et chercheurs de l'unité interviennent dans de nombreuses composantes de formation du site Grenoblois : UFR de Mécanique, UFR de Physique, IUT, IUFM et ENSE3, dans les filières de niveaux L1 à M2.

Le socle disciplinaire du LEGI reste celui de la Mécanique des Fluides, décliné selon deux axes principaux : les écoulements de fluides complexes dans les systèmes industriels et le génie des procédés, d'une part, la dynamique des fluides géophysiques dans les systèmes naturels, d'autre part. Bien que caractérisés par des échelles temporelles et spatiales très différentes, ces deux grands axes de recherche partagent des problématiques communes : la prise en compte du caractère turbulent ainsi que des aspects multi-échelles et multi-physique des systèmes étudiés. La prévalence de ces trois propriétés dans la plupart des situations auxquelles s'intéressent les chercheurs du LEGI est un élément fédérateur de l'activité scientifique de l'ensemble des membres du LEGI à travers un langage de description et des outils communs : modélisation, analyses statistiques, confrontation des approches numérique et expérimentales, méthode de visualisations et d'imagerie. C'est la raison pour laquelle les membres du LEGI ont réaffirmé avec force, lors de la journée de prospective scientifique et de réflexion sur l'avenir du LEGI qui s'est tenue à Autrans en juin dernier pour préparer le contrat quadriennal de l'unité, leur volonté de préserver l'équilibre actuel des thématiques du LEGI. Dans ce but, l'équipe de direction, après avis favorable du conseil

des équipes et du conseil de laboratoire, a demandé le rattachement de l'unité à deux structures fédératives locales (rattachées à G-INP et à l'UJF), l'OSUG et la fédération 3G « Mécanique, Procédés et Ingénierie de l'environnement » (dont une demande de reconnaissance a été déposée auprès de l'INSIS).





## AUTO-ANALYSE

## 1. AUTO-ANALYSE

- *Points forts*
  - Implication du LEGI dans des domaines scientifiques à forte demande sociétale (Environnement, Développement Durable, Energie, Evolution du climat global).
  - Equilibre entre recherche appliquée et recherche amont : globalement au sein de l'unité comme à l'intérieur de chaque équipe.
  - Fort sentiment de partage des intérêts scientifiques de la communauté des chercheurs et enseignant-chercheurs du LEGI : turbulence, systèmes multi-échelles et multi-physique.
  - Spectre large de domaines d'intérêt : systèmes industriels, milieux naturels processus géophysiques.
  - Compétences reconnues dans des techniques de pointe : expérimentales (vélocimétrie acoustique et en optique intégrée, mesures Lagrangiennes, nano-particules luminescente, sondes optique), numériques (DNS, LES) et d'analyse (assimilation de données).
  - Installations expérimentales uniques (Coriolis, Soufflerie, Canaux à Houle, ...).
  - Forte implication dans les structures de recherche et d'enseignement locales et régionales.
  - Participations dans de grands projets d'envergure à l'échelle nationale et internationale (HYDRALAB, ONR, ALTIKA).
  - Grands partenaires industriels (EDF, SNECMA, ALSTOM, ...) pérennes dans des domaines porteurs (lanceurs spatiaux, énergies nucléaire et hydraulique),
  - Insertion professionnelle très satisfaisante des doctorants du LEGI : à l'université comme dans l'industrie
  - Incubation de sociétés à caractère technologique.
  - Fortes capacités d'auto-financement résultant d'une activité contractuelle soutenue de la part des chercheurs et enseignant-chercheurs.
  - Fort taux de recrutement externe et des candidatures de qualité confirmant l'attractivité du LEGI.
  - Fort taux de retour positif des appels d'offre ANR dans lesquels le LEGI est impliqué.
  
- *Points faibles*
  - Déficit de communication interne entre chercheurs et entre équipes, induit par l'alourdissement des tâches administratives et pédagogiques dévolues aux enseignants-chercheurs.
  - Déficit de communication externe en direction du public et des étudiants associé à la difficulté à répondre aux sollicitations externes en matière d'information et de connaissance scientifique faute d'outils et de supports de communication appropriés.
  - Dispersion des enseignants-chercheurs dans de multiples composantes de formation (UFR de mécanique, UFR de Physique, IUT, DLST à l'UJF, ENSE3 à G-INP).
  - Faible représentation du LEGI dans les instances de recherche et d'enseignement nationales (notamment CoCNRS, CNU).
  - Difficulté à recruter des doctorants, en raison du nombre limité d'allocations ministérielles dont disposent les écoles doctorales du site Grenoblois.
  - Bi-localisation des sites expérimentaux : à l'Est sur le domaine universitaire de Saint-Martin d'Hères et à l'Ouest sur le polygone scientifique (structure LEGI-GRETH au CEA et plateforme Coriolis).
  - Absence de support technique en électronique depuis les départs consécutifs d'un IR et d'un IE en électronique au cours de ces 10 dernières années.
  - Absence chronique de lieux de vie et de réunion permettant dans de bonnes conditions un échange d'opinions et d'information entre les membres du LEGI de toutes catégories.
  - Mauvais état général des bâtiments et locaux qui nuit à l'attractivité (en particulier vis à vis des doctorants) et à l'image (notamment en direction des partenaires industriels potentiels) du LEGI.
  - Manque de disponibilité des chercheurs et enseignant-chercheurs de rang A pour assurer des responsabilités collectives au sein des structures locales, régionales et nationales.

- *Opportunités*

- Intérêt croissant de la société civile et du public pour les deux axes thématiques de recherche majeurs du LEGI : « Energie » et « Environnement et Développement Durable ».
- Mise en place de l'EPCS » Université de Grenoble. »
- Implication forte de l'UJF dans la thématique « Environnement et Développement Durable » et celle de Grenoble-INP dans la thématique « Energie » à l'occasion du plan Campus « Grenoble Université de l'Innovation ».
- Rattachement du LEGI aux deux fédérations du pôle scientifique Grenoblois l'OSUG et la future fédération 3G-Mécanique « Mécaniques, Procédés, Ingénierie de l'Environnement » (dont le statut de FR est en cours d'examen par l'INSIS-CNRS).
- Implication des équipes du LEGI dans des projets européens à venir (notamment Hydralab IV et Euhit).
- Collaborations multiples avec plusieurs laboratoires du CEA-Grenoble.
- Construction d'un nouveau bâtiment de bureaux dans le cadre du CPER.
- Soutien de l'institut Carnot « Energies du Futur » pour la mise en place d'une démarche qualité en vue de l'attribution d'une labellisation ISO 9001 du LEGI.
- Fusion des composantes de formations UFR de Mécanique, Observatoire et UFR de Physique en une composante unique (UFR "MOP").
- Implication financière forte des équipes, sur leur fonds propres, dans la réhabilitation de leur lieu de travail.
- Participation du LEGI à la mise en place de plateformes « Recherche, Formation, Valorisation ».
- Qualité des services de gestion, capacité de dialogue et compétence des personnels de l'administration centrale de Grenoble-INP.

- *Menaces*

- Bi-polarisation des sites de recherche et de formation entre les campus Est (domaine Universitaire de St Martin d'Hères) et Ouest (Polygone Scientifique).
- Manque de concertation entre tutelles locales sur les politiques de recherche et de formation.
- Conséquences du départ programmé de l'ENSE3 sur le site du polygone scientifique à l'Ouest de Grenoble, source de perte de temps et d'énergie pour les enseignants-chercheurs de Grenoble-INP.
- Vétusté des locaux expérimentaux source de difficulté à mettre en œuvre une politique d'hygiène et sécurité et de mise à niveau des grandes installations expérimentales.
- Impact des travaux de construction des futurs bâtiments (Coriolis et extension des bâtiments G et H) sur le fonctionnement quotidien du LEGI.
- Multiplication des structures de recherche à l'échelle locale et régionale (Institut Carnot, Pôles Envirhonalp, Tennerdis, Axelera, ...).
- Augmentation récente et continue des coûts d'infrastructure refacturés au LEGI par notre hébergeur Grenoble-INP au cours des quatre dernières années.
- Accroissement des charges des services (administration et informatique) associée à la complexification croissante des règles administratives (hygiène et sécurité, sécurité informatique, gestion budgétaire ...) depuis la mise en place de la LRU.



# 2

## PROJETS ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE L'UNITE

## 2. PROJETS ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE L'UNITE

### ▶ STRUCTURATION INTERNE ET ORGANIGRAMME DU LABORATOIRE

#### INSTANCES DE DECISIONS DE L'UNITE

L'organisation fonctionnelle du LEGI s'articule autour de quatre conseils dont le rôle est précisé par le règlement intérieur datant de 2003.

■ Le **Conseil du Laboratoire**, statutaire, intervient sur les questions relatives aux grandes orientations scientifiques (dont demandes de postes et de moyens), à la gestion (budget, titularisations, projets immobiliers...), à l'organisation et au fonctionnement de l'unité. Son avis est aussi sollicité face aux évolutions intervenant au niveau de nos tutelles ou encore concernant l'engagement du laboratoire dans les structures de recherche aux échelons régional ou national.

■ Le **Conseil des Equipes** est constitué de l'ensemble des responsables d'équipe et d'un représentant ITA/ITARF. Ce conseil intervient sur toutes les questions scientifiques, administratives et financières relatives au fonctionnement interne du laboratoire.

■ La **Commission Paritaire** joue un rôle classique (examen et amélioration de la qualité des dossiers, classements internes en vue des promotions de personnels...). Son rôle est prépondérant pour les classements des agents CNRS à l'occasion des demandes de promotions. Son rôle s'avère plus limité pour les agents relevant des tutelles universitaires car ces dernières possèdent leurs propres commissions paritaires. Enfin, la Commission Paritaire est sollicitée lors de la mise en place de nouvelles réglementations ou de nouvelles modalités de gestion des ressources humaines (entretiens d'activité, évaluation...).

10

■ Le **Conseil de Prospective**, créé en 2001 assiste la direction sur la définition et le suivi des grandes orientations scientifiques du laboratoire. Ses travaux complètent les prospectives d'équipes, par le biais notamment de l'élaboration de dossiers sur des thématiques transversales. Ce conseil a aussi en charge la gestion de l'**Appel d'Offre** interne au LEGI. Le Conseil de Prospective décide de l'attribution de moyens sur la base d'une expertise des projets par des personnalités externes au laboratoire. Outre son rôle initial d'incitation à l'émergence de projets collaboratifs inter-équipe, l'appel d'offre aura également vocation à servir de levier (co-financement) pour favoriser l'aboutissement des demandes de financement sur projet des jeunes chercheurs et enseignants-chercheurs de l'unité auprès des organismes régionaux et nationaux. Une réflexion à l'échelle de l'unité nous paraît nécessaire pour redéfinir les missions et le fonctionnement du conseil de prospective dont l'intérêt ne semble pas perçu à sa juste mesure par l'ensemble des membres de l'unité (les deux réunions organisées par celui-ci ont eu une faible audience).

#### FONCTIONNEMENT DES SERVICES DE L'UNITE

■ L'**Équipe de Direction** est composée de la Responsable Administrative de l'unité, des deux Directeurs-Adjoints, d'un chargé des relations industrielles et du Directeur. Le rôle du chargé des relations industrielles (J-P. Thibault) est d'assister et de conseiller les chercheurs dans la phase délicate de mise en place et de définition des contrats industriels (choix de la filiale, propriété industrielle, exploitation de brevet, ...)

■ Le **Service Administratif et Financier** est composé de 4 personnes dont la Responsable Administrative. Une personne est en charge de la gestion des contrats au CNRS, une autre de celle des contrats des tutelles (G-INP et UJF) et de leurs deux filiales (INP-SA et Floralis) la dernière est responsable des missions. Sur les 4 personnes du service administratif, deux sont en situation précaire et le LEGI souhaite pouvoir dans un avenir proche les stabiliser sur des postes permanents. En outre, compte tenu des évolutions récentes (passage des deux tutelles universitaires au logiciel SIFAC) et des évolutions annoncées (passage à la RCE et à la délégation unique de gestion), il est important qu'une mutualisation des tâches et des responsabilités soit mise en place pour assurer une meilleure continuité des services rendus aux chercheurs. Dans cette perspective, l'équipe de direction de l'unité veillera à offrir des possibilités de formation (notamment aux outils informatisés de gestion) aux personnels administratifs pour leur garantir la polyvalence nécessaire au bon fonctionnement de l'unité.

■ Les **Services Techniques** sont répartis en équipes, correspondant soit à des sites expérimentaux (bâtiments G-H du Domaine Universitaire et plaque Coriolis) soit à des compétences particulières (électronique et techniques de visualisation). Cette répartition sera maintenue, mais l'équipe de direction souhaite qu'à l'intérieur des équipes techniques soit instaurée une mission pérenne de responsabilité de chaque grande installation du laboratoire. Cette responsabilisation individuelle des personnels techniques (désignation d'un unique référent pour chaque grande installation) a plusieurs objectifs. Le premier de ces objectifs est de valoriser le travail et la carrière des personnels. Le deuxième objectif est d'assurer un suivi plus étroit des installations, en termes d'hygiène et de sécurité mais aussi en termes d'évolution technique (suivi des plans et des modifications, suggestions d'amélioration de fonctionnement). Un dernier objectif est celui d'une aide des techniciens à la mise en œuvre de ces installations complexes pour les jeunes chercheurs non permanents (doctorants, stagiaires, post-doctorants) du laboratoire.

■ Le **Service Informatique** est en charge du bon fonctionnement et du déploiement des moyens informatiques (mise à disposition de ressources partagées, de logiciels libres, outils de communication) et du bon fonctionnement des connections extérieures de l'unité. L'évolution constante et la multiplication des règles de sécurité a conduit à une augmentation très significative de la charge de travail des deux personnes du service. L'installation du serveur de calcul, sa maintenance quotidienne et ses mises à niveau constituent également une charge de travail importante : il est nécessaire que les moyens humains du service informatique soient renforcés par le recrutement d'un Ingénieur d'Etudes ou d'un Ingénieur de Recherche. Enfin, pour favoriser un travail collaboratif entre équipes et entre chercheurs, la direction souhaite mettre en place une politique d'incitation à l'utilisation de logiciels libres pour les différentes activités de recherche : modélisation (simulation numérique), traitement des données (images, signaux), acquisition et archivage.

## ORGANIGRAMME PREVISIONNEL DE L'UNITE POUR LA PERIODE 2011-2014

La structuration actuelle en équipes de l'unité est le résultat d'un profond remaniement opéré sous l'impulsion de l'équipe de direction précédente (passage de 10 équipes à 7 équipes) à la fin du précédent contrat quadriennal. Compte tenu du caractère récent de cette restructuration et en dépit de quelques disparités de taille des équipes, il ne nous paraît pas opportun d'envisager dans l'immédiat une nouvelle restructuration.

<b>ERES</b>	<b>HOULE</b>	<b>MIP</b>
<b>C. STAQUET, PR-HDR</b> C. BRUN, MCF - JB. FLOR, CR - HDR L. GOSTIAUX, CR J. SOMMERIA, DR - HDR B. VOISIN, CR	<b>H. MICHALLET, CR</b> E. BARTHELEMY, PR - HDR J. CHAUCHAT, MCF D. HURTHER, CR P. LARROUDE, MCF	<b>L. DAVOUST, CR - HDR</b> J-L. ACHARD, DR - HDR (80%) B. CROSS, MCF C. PICARD, MCF A. SOUCEMARIANADIN, PR-HDR S. TARDU, MCF- HDR, 50%
<b>MOST</b>	<b>ENERGETIQUE</b>	<b>MEOM</b>
<b>G. BALARAC, MCF</b> C. CORRE, PR - HDR (50%) O. METAIS, PR- HDR  P. BEGOU, IR	<b>P. MARTY, PR- HDR</b> J-L. ACHARD, DR-HDR (20%) F. AYELA, PR-HDR S. BARRE, CR- HDR N. CANEY, MCF C. CORRE, PR – HDR (50%) S. FERROUILLAT, MCF R. FORTES PATELLA PR-HDR J-P. FRANC, DR -HDR E. GONCALVES, MCF F. JOUSSELLIN, MCF JL. KUENY, PR - HDR S. LE PERSON, MCF F. Mac CLUSKEY, PR - HDR T. MAITRE, MCF- HDR C. PELLONE, CR-HDR B. JANIAUD, MCF	<b>B. BARNIER, DR-HDR</b> P. BRASSEUR, DR - HDR E. COSME, MCF J. LE SOMMER, CR T. PENDUFF, CR J. VERRON, DR – HDR A. WIRTH, CR  J. BRASSEUR, TCS, 70% J-M. BRANKART, IR2 C. LACHIZE, CDD 50% J-M. MOLINES, IR1
<b>EDT</b>		
<b>J-P. THIBAUT, CR</b> C. BAUDET, PR – HDR M. BOURGOIN, CR A. CARTELLIER, DR-HDR JP. MATAS, MCF P. SECHET, MCF S. TARDU, MCF- HDR (50%)		



## ORGANISATION DES SERVICES DE L'UNITE POUR LA PERIODE 2011-2014

### DIRECTION

**Directeur :** C. BAUDET, PR

**Directeur adjoint :** C. CORRE, PR

**Directeur adjoint :** J. SOMMERIA, DR

**Responsable**

**administrative :** P. ARGENTINO TCE  
en charge du personnel

**Relations avec l'industrie :** J.P. THIBAUT, CR

### FONCTIONS SPECIFIQUES

**ACMO :** J. M. BARNOUD, TCE  
J.VIRONE, TCN

**RESEAUX :** J.-M. BARNOUD, TCE  
M. RIONDET, IE2

**Responsable Sécurité des  
Systèmes Information (RSSI) :** G.MOREAU, IR2

### SERVICES INTERNES

#### SERVICE ADMINISTRATIF :

**Comptabilité :** N. BOURHY, TCS  
J. GERMINARIO, 3D CDD

**Missions :** S. CHAMPAVIER, AdjA, 80%

**Personnel :** P. ARGENTINO TCE

#### SERVICE INFORMATIQUE :

G. MOREAU, IR2  
O. DE MARCHI, ASI

#### SERVICE :

L. VIGNAL, IR2  
M. LAGAUZERE, IE2 80%

#### EQUIPES TECHNIQUES :

**Equipe CAMPUS :**

P. CARECCHIO, IE1  
JM. BARNOUD, TCE  
V. GOVART, TCN 50%  
M. KUSULJA, TCN  
S. MERCIER, TCN  
M. RIONDET, IE2  
J. VIRONE, TCS

**Equipe CORIOLIS :**

S. VIBOUD, IE2

## ▶ POLITIQUE D'INCITATION A L'EMERGENCE DE SUJETS INNOVANTS

Outre les projets figurant dans la prospective scientifique des équipes, le LEGI souhaite faire émerger plus particulièrement les projets innovants qui suivent.

### 1) *Projet Ventilation Naturelle dans la perspective d'un Développement Durable*

Il existe une forte demande de la société civile en matière d'Environnement et de Développement Durable. La thématique Environnement et Développement Durable a été, par ailleurs, mise en avant par l'Université Joseph Fourier, à l'occasion du plan Campus « Grenoble Université de l'Innovation ». Enfin, cette problématique est présentée comme un enjeu majeur par la communauté urbaine de Grenoble. Pour cette raison, le LEGI souhaite mettre à profit la construction de l'extension de ses nouveaux locaux pour faire émerger un nouveau sujet de recherche et d'étude sur la ventilation naturelle des bâtiments visant à concilier les contraintes souvent contradictoires d'isolation thermique (économie d'énergie et récupération d'énergie alternative) et de renouvellement de l'air (qualité de l'air). Des compétences existent déjà au LEGI sur des problèmes voisins dans le domaine de l'habitat : le stockage d'énergie thermique par utilisation de matériaux à changement de phase. Une collaboration avec le CSTB a été mise en place depuis quelques années par les chercheurs de l'équipe Energétique. Au sein du LEGI, le projet vise à faire émerger une collaboration entre les deux équipes ERES (J-B. Flor) et ENERGETIQUE (F. Jousselin et B. Janiaud), les compétences apportées par l'équipe ERES concernant la modélisation et l'expérimentation (visualisation par tranches LASER, mesure par PIV tomographique) des phénomènes de transfert (de masse et d'énergie) en situation de stratification dans les systèmes fortement confinés. A notre connaissance, cette problématique étudiée au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, ne fait l'objet d'aucune étude en France. Les chercheurs du LEGI impliqués dans ce projet ont pris contact récemment avec le CETHIL à l'INSA-Lyon (fortement impliqué dans les aspects de thermique du bâtiment), pour mettre en place une collaboration. Il est envisagé également de demander un soutien à l'ADEME et à l'agence Européenne du Développement Durable pour que soit réalisée une instrumentation du futur bâtiment d'extension du LEGI, dans l'optique d'études en grandeur réelle.

### 2) *Projet Simulation numérique d'écoulements complexes et optimisation en présence d'incertitude*

Ce projet concerne la modélisation des incertitudes dans le contexte d'écoulements complexes. L'évaluation des incertitudes dans les simulations d'écoulements est désormais perçue comme cruciale pour obtenir une solution qui soit effectivement prédictive. L'idée est de pouvoir simuler numériquement un phénomène physique en fournissant la marge d'erreur de la solution discrète, comme on le fait actuellement pour une mesure expérimentale. Des techniques d'évaluation des incertitudes (basées par exemple sur le Chaos Polynomial) seront intégrées dans les outils de simulation développés au LEGI et exploitées pour l'analyse des écoulements en lien avec les approches expérimentales. Cette complexité peut être liée à la thermodynamique (fluides complexe du point de vue moléculaire ou proches de conditions de saturation), ou à la dynamique de l'écoulement (comme dans le cas des interactions entre la turbulence et l'interface dans les écoulements diphasiques). Les modèles développés, une fois leur validité établie, seront appliqués à différents cas d'étude, tels que la simulation des turbines fonctionnant sur la base de cycles de Rankine à basse température, et la simulation d'écoulements turbulents diphasiques. Le but final de ce projet est de contribuer à l'avancement des connaissances sur l'analyse de la fiabilité des résultats issus de simulations numériques, et d'appliquer les techniques d'analyse les plus performantes, développée sur le plan théorique par la communauté des Mathématiques Appliquées, plus spécifiquement à des enjeux actuels en mécanique des fluides. Ce projet est par nature transversal vis-à-vis des thématiques spécifiques aux différentes équipes de l'Unité : ses champs d'application intéressent de façon directe les équipes Energétique, MOST mais aussi EDT et MIP.

Cette thématique est actuellement développée au sein du LEGI par C. Corre et un post-doctorant financé par l'Institut Carnot « Energies du Futur ».

### 3) *Projet Modélisation de la turbulence de sub-mésoéchelle dans l'océan, de son impact sur la circulation, les écosystèmes marins, et son observabilité par la couleur de l'eau.*

Le LEGI est très soucieux de préserver l'intégralité de son périmètre scientifique dans le domaine de la géophysique en raison de ses implications dans la thématique Environnement et Développement Durable. A ce titre le LEGI a fortement soutenu l'initiative de l'équipe MEOM de répondre aux propositions du CNRS concernant les créations de chaires couplées CNRS-Université. Le profil de chaire couplée présenté par l'équipe MEOM, dont le thème est centré sur le développement d'outils d'observation innovants (couleur de l'eau) pour la compréhension du climat global, se place très clairement dans la perspective Environnement et Développement Durable. Les progrès réalisés au cours des vingt dernières années en océanographie ont montré le rôle essentiel de la dynamique de moyenne échelle sur la circulation océanique ainsi que sur les interactions de l'océan avec d'autres composantes du système climatique (atmosphère, biosphère). Des simulations récentes à très haute résolution de même que l'observation directe des écoulements océaniques indiquent que l'activité à sub-mésoéchelle (fronts, filaments) peut être plus énergétique encore que la turbulence de moyenne échelle, avec un impact sur l'intensité des transferts verticaux entre l'océan superficiel et les couches profondes et sur les échanges large/côtier. Toutefois, l'importance de ces processus sur le fonctionnement de l'océan de l'échelle synoptique jusqu'aux variations climatiques reste encore mal comprise. Les recherches entreprises auront pour objectif de consolider les connaissances actuelles de la turbulence océanique intégrant la sub-mésoéchelle, et de représenter ses effets dans les modèles réalistes de la circulation et du couplage entre l'hydrodynamique, les traceurs physico-biogéochimiques et les écosystèmes marins. Les approches étudiées s'appuieront sur les compétences reconnues du LEGI en matière de simulation des écoulements océaniques, sur l'analyse de mesures *in situ* et d'observations spatiales (notamment de la couleur de l'eau), et sur l'assimilation de données dans les modèles numériques. Les travaux seront menés en collaboration avec les partenaires scientifiques et institutionnels de l'équipe MEOM concernés par ces thématiques, dans le cadre des programmes de recherche nationaux (LEFE/INSU), européens (GMES) et internationaux (GODAE Ocean View) auxquels le laboratoire contribue.

### 4) *Projet Dpa Turbulence et Magnéto-hydrodynamique*

Le LEGI est activement engagé dans un projet de collaboration régionale, regroupant des laboratoires de la région Rhône-Alpes sur des activités expérimentales en hydrodynamique des fluides et magnétohydrodynamiques. Ce projet est soutenu par la direction des partenariats du CNRS (Dpa CNRS), la Région Rhône-Alpes, l'ENS-Lyon, les Universités Lyon 1 et Grenoble 1, l'Ecole Centrale de Lyon. Les laboratoires impliqués sont entre autres : le LMFA (Centrale Lyon), le Laboratoire de Physique de l'ENS-Lyon, le LGIT et le LEGI à Grenoble. Dans le cadre de ce projet, plusieurs équipes du LEGI collaboreront avec une équipe du LGIT sur le développement d'une instrumentation de vélocimétrie acoustique multi-capteurs.

## ► PROJETS ET PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES DES EQUIPES DE RECHERCHE

Sont présentées ci-dessous, sous la responsabilité de chaque équipe, la prospective scientifique pour la période 2011-2014 du prochain Contrat Quadriennal.

<b>Intitulé des équipes</b>	<b>Responsable</b>
<b>Environnement, Rotation Et Stratification ERES</b>	<b>C. STAQUET</b>
<b>Ecoulements Diphasique et Turbulences EDT</b>	<b>J-P. THIBAUT</b>
<b>Ondes de Gravité et Hydrodynamique Sédimentaire HOULE</b>	<b>H. MICHALLET</b>
<b>Modélisation des Ecoulements Océanique à Moyenne et grande échelle MEOM</b>	<b>B. BARNIER</b>
<b>Microfluidique Interfaces Particules MIP</b>	<b>L. DAVOUST</b>
<b>Modélisation et Simulation de la Turbulence MOST</b>	<b>G. BALARAC</b>
<b>Energétique ENERGETIQUE</b>	<b>Ph. MARTY</b>

# EDT

## ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES ET TURBULENCES

### PROJET

#### ▶ AUTO-ANALYSE

L'équipe est née du rapprochement des thèmes turbulence et écoulements diphasiques. Elle est liée par une forte activité expérimentale et se concentre sur l'étude de mécanismes de base. Le bilan de la fusion de l'ex-équipe Diphasique avec une partie de l'ex-équipe THEO peut être considéré comme une réussite il s'appuie sur un dénominateur thématique commun ciblant des domaines d'applications variés.

#### POINTS FORTS

- Etudes de systèmes contrôlés et complexes focalisées sur l'identification de mécanismes
- Modélisation s'appuyant sur des expériences qui se renouvellent et utilisent des méthodes instrumentales de pointe voire innovent autour de ces méthodes
- Nombreuses expériences soit antérieures au 4enal mais en évolution : soufflerie, jets libres, colonnes à bulles, tunnel hydrodynamique ; soit réalisées pendant 4enal: bio-réacteur, flashing, contrôle...
- Instrumentation : développements méthodologiques nouveaux (acoustique, sondes optiques, analyse d'image) et utilisation des instruments mutualisés Laboratoire : Interféromètre à Phase Doppler, granulomètre à diffraction laser, PTV stéréo, PIV
- Collaborations nombreuses tant entre équipes de recherche académique qu'avec des centres de R&D industriels. Bonne implantation dans les réseaux nationaux et internationaux.
- Forte contribution de l'équipe à direction du LEGI
- Forte contribution de l'équipe aux formations et aux projets du site
- Diversité des thématiques scientifiques et des installations expérimentales favorable à l'épanouissement des jeunes chercheurs-enseignants-chercheurs (CEC) et facilitant le placement de nos doctorants
- Outils et méthodes partagés autour des thématiques variées

#### POINTS FAIBLES

- Certaines thématiques nécessiteraient un renforcement et/ou une pérennisation des postes CEC
- Diminution du taux d'encadrement technique entraînant notamment une perte de compétence en électronique et un déficit en conduite de projets
- Difficultés à recruter des Doctorants
- Les extrêmes de nos thématiques sont assez éloignés
- Nombreuses installations expérimentales handicapées par l'état de délabrement et d'insécurité de nos bâtiments qui brident les projets de développement de nouveaux projets.
- Concrétisation par des publications pas assez rapide en dépit de la bonne qualité des travaux
- Animation scientifique interne et ouverture aux collaborations internationales à renforcer.

#### OPPORTUNITES

- Implication dans les réseaux locaux et nationaux
- Réponse raisonnée à l'appel des milieux industriels, en particulier des secteurs aéronautique et espace
- Implication dans la création des nouvelles plates-formes du site
- Recrutement des doctorants : effort de communication et d'ouverture internationale. Plus forte implication dans les projets liés aux formations du site.

- Publications : responsabilisation des Doctorants et encadrants sur la nécessité de publier leurs résultats
- Pérennisation et développement du séminaire interne équipe
- Renforcement des relations internationales

#### RISQUES / MENACES

- Difficulté à maintenir une activité expérimentale lourde et aux frontières de la discipline de base.
- Menace de limiter l'ambition et l'innovation de nos projets expérimentaux en raison du déficit en compétence technique et en personnel.
- Difficulté à recruter des Doctorants en particuliers expérimentateurs
- Inquiétude face à l'éloignement programmé des sites de formation (ENSE3) et du laboratoire
- Forte contribution de l'équipe à direction du LEGI et aux diverse structures des tutelles
- Forte contribution de l'équipe à la formation (y compris pour les chercheurs)

### ► PROJETS ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

L'étude exhaustive menée ces dernières années au sein de l'équipe EDT sur le *transport turbulent de particules matérielles* a révélé, contrairement aux idées reçues, la robustesse des statistiques face aux variations de taille et de densité des particules. Ce résultat marquant suggère que les propriétés grandes échelles de l'écoulement turbulent porteur, ont une influence importante (jusque là couramment négligée) sur la dynamique particulaire. Notre objectif, à court terme, est donc d'étudier le rôle précis sur la dynamique des particules: (i) de la nature ouverte ou confinée de l'écoulement porteur des particules, (ii) des effets d'anisotropie et d'inhomogénéité à grande échelle et (iii) de l'intensité de la turbulence porteuse. Ce travail expérimental sera mené en collaboration avec l'ENS-Lyon, le LMFA de Lyon et l'observatoire Cassiopée de Nice au travers de l'ANR "DSPET" (Dynamique et Statistiques de Particules dans un Ecoulement Turbulent).

Sur le plan expérimental, la soufflerie est en cours de modification pour recevoir un dispositif de grille active (voir figure 1), d'ores et déjà opérationnel, qui élargit considérablement les possibilités expérimentales de la soufflerie en donnant accès à une plus large gamme de nombres de Reynolds et qui permet un contrôle des grandes échelles de l'écoulement (échelle intégrale). Enfin, le fait de disposer d'une grille active nous permettra de renforcer nos opérations de collaboration nationales (ENS-Lyon, LMFA à Lyon) et internationales (Imperial College à Londres, MPI à Goettingen, Cornell-USA), avec des groupes de recherche travaillant sur des systèmes turbulents analogues.

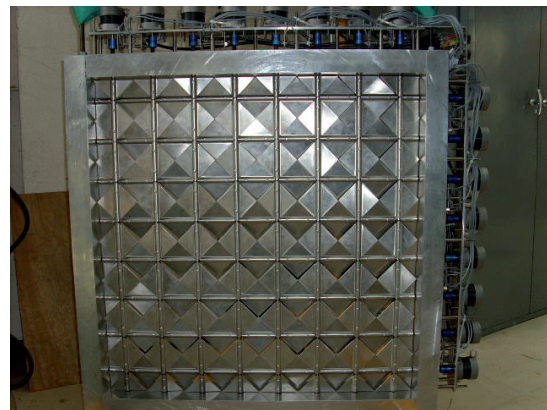


Figure 1 : Grille active constituée de barreaux de volets actionnés indépendamment permettant de contrôler la solidité effective de la grille et l'inhomogénéité à grande échelle du forçage.

Sur le plan instrumentation, le suivi Lagrangien acoustique utilisé jusque là, sera complété d'un suivi optique tridimensionnel à haute résolution spatiale et temporelle. Ceci permettra, notamment, d'accéder à des statistiques multi-particulaires afin de caractériser simultanément la dynamique individuelle et la dynamique d'ensemble de particules en interaction avec la turbulence. Ce thème fera l'objet de poursuites de collaborations avec les partenaires lyonnais (ENSL, LMFA) et avec R. Monchaux (ENSTA). Par ailleurs, le LEGI est actuellement impliqué avec le LGIT dans le dépôt d'un projet intitulé "Turbulence hydrodynamique et magnétohydrodynamique" auprès de la

Direction des Partenariat du CNRS. Ce projet regroupant plusieurs laboratoires de la région Rhône-Alpes (Lyon, Grenoble, Saint-Etienne) a notamment pour objectif de développer une instrumentation de PIV acoustique susceptible de caractériser les champs de vitesses dans des fluides opaques et/ou géophysiques.

Pour ce qui concerne *la turbulence développée aux très grands nombres de Reynolds*, nous poursuivons l'étude de la turbulence hydrodynamique cryogénique dans des écoulements turbulents d'Hélium au voisinage de la transition "normal" (à très faible viscosité) – "superfluide" (viscosité nulle et vortex quantifiés). Cette thématique fait l'objet d'une collaboration étroite avec le Service des Basses Températures au CEA-Grenoble (qui met en oeuvre les installations cryogéniques), l'ENS-Lyon, l'Institut Néel à Grenoble et le CEA-Saclay dans le cadre de l'ANR Blanche "SHREK" (Superfluide à Haut Reynolds en Ecoulement de von Karman). L'objectif est : (i) de caractériser l'effet de la transition normale/superfluide sur les propriétés statistiques de cet écoulement turbulent confiné et (ii) de tester la prédiction théorique de la "Beltramisation" de la turbulence à Reynolds tendant vers l'infini, autorisant alors la détermination d'une "température" de la turbulence en analogie au théorème "fluctuation – dissipation". Au plan expérimental, nous disposerons prochainement d'un cryostat de dimension métrique permettant d'atteindre des nombres de Reynolds jamais atteints en laboratoire ! Dans cette collaboration, le LEGI apporte ses compétences en instrumentation acoustique (mesure spectrale directe de vorticités par diffusion acoustique dynamique et mesure Lagrangienne par anémométrie acoustique Doppler) et en anémométrie à fil chaud. En particulier, il est envisagé au cours de l'ANR, de déposer une demande de chaire d'excellence pour le Pr S. Van Sciver, spécialiste de visualisation dans l'Hélium cryogénique, pour implémenter les méthodes de suivi optique (PIV) et acoustique (vitesse Lagrangienne) dans l'expérience SHREK.

En *turbulence pariétale*, plusieurs axes de recherche, s'appuyant sur des simulations numériques directes et des expérimentations en tunnel hydrodynamique, seront poursuivis dont :

- l'analyse de schéma de contrôle, tels que le contrôle dual, capables de modifier les cycles de production turbulente voir de les rendre prédictibles et ainsi contrôlables. Ces schémas reposent sur l'interaction de deux schémas de contrôle, un schéma en boucle ouverte par soufflage localisé en espace et périodique en temps, suivi d'un schéma en boucle fermée de type suboptimal.
- l'analyse de schémas de contrôle présentant une réalisabilité et un bilan énergétique positif. Il poursuivra en particulier l'analyse de schémas de contrôle actifs conditionnés par la mesure des fluctuations de vitesse et/ou de vorticités.

En ce qui concerne les *écoulements à bulles non confinés*, l'investigation expérimentale de l'agitation induite permettra de consolider notre scénario de transition entre lois d'échelle. Parallèlement, l'exploitation du modèle hybride sera poursuivie, et si nécessaire raffinée, afin de retrouver au mieux les résultats expérimentaux. Les développements numériques seront menés avec des collègues du LEGI et de l'IMFT. Sur ce thème, nous comptons aussi mettre en place une nouvelle collaboration avec le Brésil (Univ. Brasilia, Univ. Rio de Janeiro). Nous envisageons d'entamer l'examen du comportement de la microstructure et de l'agitation induite au voisinage de parois, ingrédient qui nous permettra de revenir sur la dynamique des colonnes à bulles et en particulier sur la prédiction de la distribution des phases. Dans ce contexte, un projet de collaboration avec l'INSAT de Tunis a été soumis en association avec l'équipe MOST, projet qui englobe expérimentations et simulations et qui vise à terme la prise en compte des transferts de masse (dissolution). L'un des enjeux est ici d'accompagner le développement d'une solide équipe de recherche à Tunis. Pour les *écoulements à bulles confinés*, le comportement de la vitesse relative apparente pourrait s'expliquer par l'existence de cheminements préférentiels du gaz au sein du massif poreux. L'enjeu principal consistera à tester de manière aussi directe que possible cette hypothèse. Une autre piste de progrès concerne le domaine de validité du modèle que nous avons proposé en termes de rapport de taille de pore à la longueur capillaire.

En ce qui concerne *les bio-reacteurs* plusieurs pistes seront poursuivies. Concernant le modèle 1D, il semble plus pertinent de gérer la phase bactérienne proprement dite d'un côté et les Exo-Polymères (EPS) d'autre part, les lois de production régissant ces derniers ne suivant pas forcément des cinétiques de types Monod (classiquement employées). La plate-forme expérimentale développée sera utilisée pour des expériences complémentaires visant à mesurer in situ les évolutions de composition du biofilm en fonction des conditions opératoires (ratio EPS/cellules bactériennes notamment). Ces investigations sur pilote, seront complétées par des expérimentations en micro-cellule (voir figure 2), afin de décrire le plus finement possible les paramètres régissant l'évolution du biofilm (composition, aire interfaciale, taux de détachement), distribution spatiale) sous sollicitation imposée et contrôlée. Ces développements s'appuient sur des collaborations déjà en cours au niveau du campus (tomographie X : L3SR, microbiologie : LTHE, microscopie confocale : Laboratoire de Rhéologie).

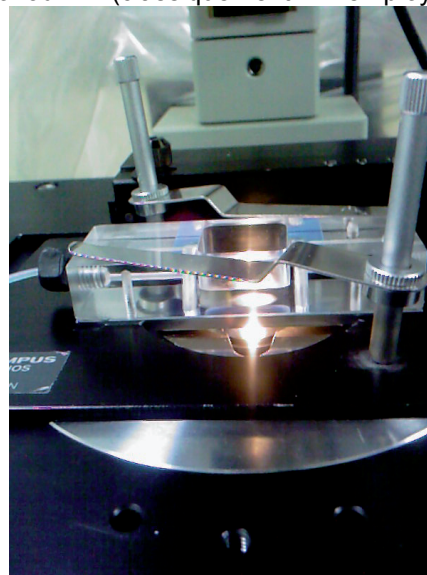


Figure 2 : Micro-cellule pour étude de croissance de biofilms sous écoulement

L'objectif à long terme de ces investigations est de passer à un bio-réacteur diphasique en s'appuyant sur les résultats déjà acquis pour les écoulements à bulles confinés en lit fixe. Un projet consiste à *utiliser* la propension des lits fixes granulaires à produire des bulles commensurables avec la taille des pores, pour réaliser un système de génération de bulles de taille contrôlée. L'aération du bio-réacteur par le biais de ces bulles de tailles contrôlées devrait alors permettre de mieux appréhender les couplages entre chaque phase, en séparant les effets du à l'écoulement du gaz de ceux du à la croissance du biofilm.

En *atomisation assistée*, plusieurs axes de recherche seront poursuivis dont :

- l'analyse du comportement de l'atomisation assistée de films liquides très minces (qq 100 $\mu$ m), les quelques données déjà acquises démontrant une modification drastique des conditions critiques d'arrachement,
- l'identification des paramètres affectant l'instabilité drapeau (mode à large échelle) afin d'ouvrir la voie à des scénarii de contrôle,
- le test de techniques de contrôle des diverses instabilités interfaciales mises en jeu, dans le but de piloter la taille et le flux de gouttes produites,
- la quantification des conditions d'éjection des gouttes, nécessaire pour alimenter les simulations de combustion diphasique développées par d'autres partenaires du programme INCA (dont Cerfacs, EM2C, IMFT).

Les investigations menées au LEGI seront fondées sur la théorie de stabilité linéaire, sur l'expérimentation fine et la modélisation phénoménologique. Dans le cadre des projets en préparation (ANR Dynaa2, STREP FIRST - Fuel Injector Research for Sustainable Technology - piloté par Rolls Royce UK à soumettre au FP7 Call 3 en 2010), nous prévoyons de mener des comparaisons quantitatives avec les simulations développées notamment par l'Institut d'Alembert, le CORIA, et l'ONERA-CERT pour l'aspect atomisation primaire et par l'IMFT pour la dynamique du spray. Ces études s'inscrivent aussi dans un projet de collaboration (soumis) avec l'Université de Séoul et avec le KARI (Korea Aerospace Research Institute).

Parallèlement, l'expérience de jet dépressurisé (voir figure 3) qui est désormais opérationnelle nous permettra d'analyser les spécificités de mode d'atomisation par *vaporisation explosive* et d'en extraire des lois d'échelles transposables à des cas réels.



Cette étude concerne en effet le transitoire d'allumage des moteurs cryotechniques (coll. Snecma, CNES): elle est menée parallèlement à l'étude de la phase de remplissage en collaboration avec F. McCluskey de l'équipe Energétique.

Concernant nos *installations expérimentales* malgré les manques soulignés en support technique nous poursuivront notre effort en réalisation de nouvelles expériences dédiées à l'étude de phénomènes : atomisation assistée et effervescente, flashing, bio-réacteur, contrôle thermodynamique d'ergols cryotechniques... Nous soulignons également la nécessité que nos expériences génériques telles que : soufflerie, tunnel hydrodynamique, bénéficient d'opérations de jouvence portant aussi bien sur leur mise en conformité électrique que sur l'amélioration de leur limites de fonctionnement.

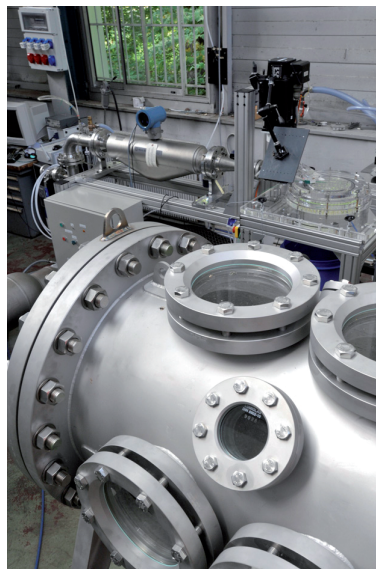


Figure 3 : Installation d'étude de la vaporisation sous vide (premier plan) et circuit d'alimentation (second plan)

Concernant l'*instrumentation*, les enjeux que nous souhaitons aborder portent sur la mesure simultanée de taille et de vitesse d'inclusions (particules, gouttes, bulles) reposant aussi bien sur des méthodes acoustiques, d'imagerie (3D), de sondes optiques... Les études envisagées nécessiteront d'améliorer les performances de détection et de traitement et également la mise en oeuvre simultanée ou successive de diverses techniques.

Concernant les *ressources humaines*, l'équipe a proposé deux profils CEC :

- Un poste de maître de conférence ou assimilé (60/62) en **modélisation des bioprocédés**. Ce profil est identifié depuis plusieurs années dans les demandes du laboratoire.
- Un poste de professeur ou assimilé (60) en **turbulence expérimentale**. Ce profil est mis en avant en raison de la nécessité de maintenir, malgré les départs en retraite (effectif pour E. Hopfinger, prévu pour Y. Gagne), le niveau d'expertise reconnu de notre laboratoire.

Nous soutenons également la demande récurrente du laboratoire pour un poste ITA : IE **Electronicien** (signal analogique) destiné à compenser la perte de compétence liée au départ en retraite de J-P Barbier Neyret. Enfin nous proposons la création d'un poste IR en **conception et conduite de projet** qui nous paraît indispensable pour que la mutualisation effective de nos équipes techniques se poursuive tout en maintenant le haut niveau de nos installations expérimentales nouvelles et existantes.

Nous nous efforcerons de renforcer la collaboration avec les équipes du LEGI impliquées en modélisation et simulation numérique. A cet égard : une partie de l'équipe EDT, avec des membres de l'équipe Most, sont partenaires du projet de GdR " Ruissellement et films en écoulements cisailés". Nous poursuivrons notre implication dans les GDR : Structure turbulence et mélange, Contrôle des décollements. Nous nous impliquerons également dans :

- l'organisation de manifestations comme : le symposium "Drop Formation and Spray Dynamics" par A. Cartellier et M. Herrmann (Arizona State) inclus dans le prochain meeting conjoint Europe/ASME FEDSM 2010 (Montreal).

- Les programmes et structures nationaux : INCA (atomisation et sprays, flashing), ou régionaux : Turbulence /Rhône Alpes : Centre Henri Bénard, Envirhonalp PEI, pôle Axelera

Enfin nous poursuivrons notre implication dans les collaborations de recherche avec les partenaires industriels, ces dernières reposent essentiellement sur une relation directe et bicéphale qui peut, comme elle l'a déjà fait, conduire à des dépôts de brevet et opérations de valorisation.



## ► THEME 1 : CHANGEMENT DE PHASE

### **Ebullition en micro-canaux et structuration de surface**

[N.Caney, S. Leperson, Ph. Marty]

Ces études seront menées à la fois au LEGI-campus et au LEGI-GRETh. Nous continuerons de travailler sur l'analyse des mécanismes physiques de l'ébullition en micro-canaux, de la spécificité apportée par le confinement et l'influence des phénomènes spécifiques aux faibles dimensions sur les transferts thermiques par ébullition. Les directions prometteuses investiguées pour la structuration de surface seront poursuivies. D'autres brevets devraient voir le jour sur les méthodes de structuration destinées à contrôler le caractère hydrophile/phobe des parois dans le but d'intensifier les échanges par ébullition. L'ANR blanche NANOSURF qui vient d'être acceptée et dont le LEGI est porteur de projet, permettra de renforcer cette thématique en lien avec d'autres grands laboratoires Rhône-alpins de thermique tels que le CETHIL à Lyon ou l'IUSTI à Marseille. Un nouveau doctorant débutera en Septembre 2009 sur ce thème, venant ainsi renforcer les travaux de Hai Trieu Phan qui soutiendra sa thèse en 2010. L'application au refroidissement de piles à combustible sera considérée. Des études sur la compréhension des mécanismes de transports et de transferts de matière, de charge et de chaleur au cœur des piles permettront d'obtenir des modèles fiables du fonctionnement des PAC. La finalité de ces études permettra d'étudier le comportement d'une pile à combustible en situation réelle pour le marché du résidentiel et du tertiaire. Ces travaux seront menés en collaboration avec le LEPMI.

### **Simulation Numérique Directe appliquée au changement de phase**

[C. Corre]

La version du code NGA qui sera opérationnelle à l'issue de la première phase de développement sera utilisée pour effectuer des analyses physiques d'écoulements avec changement de phases étudiés par ailleurs de façon expérimentale au sein des équipes Energétique et EDT du LEGI. L'interaction avec G. Balarac de l'équipe MOST va se poursuivre pour explorer la construction de modélisations sous-mailles d'écoulements avec changements de phase en s'appuyant sur les Simulations Numériques Directes désormais disponibles.

De plus, des contacts vont être repris avec des laboratoires partenaires potentiels afin de définir les implémentations de modèles à réaliser pour améliorer la capacité prédictive du code. On pense plus particulièrement au LEPMI pour le rôle des incondensables dans les transferts aux interfaces et au SIMAP pour investiguer la micro-physique de la nucléation par simulation à l'échelle moléculaire.

Un autre axe important de travail va consister à transférer les ingrédients numériques de NGA, désormais bien maîtrisés et validés, dans un code de type non-structuré afin d'autoriser la prise en compte souple de géométries complexes.

### **Métrologie en cavitation**

[F. Ayela]

Cette activité est initiée par F. Ayela, Professeur recruté au laboratoire en Octobre 2008. Elle concerne l'étude thermodynamique de l'implosion d'une bulle de cavitation à l'aide de nanoparticules luminescentes, et à moyen terme son application au traitement des effluents pollués.

Les progrès dans la synthèse et la fonctionnalisation de nanoparticules permettent de travailler de façon inédite dans des conditions expérimentales extrêmes. Des traceurs fluorescents peuvent être incorporés dans des nanoparticules fonctionnalisées en surface, pour les rendre par exemple hydrophiles ou hydrophobes. Sous l'effet d'une brève irradiation laser, les traceurs fluorescents vont émettre un rayonnement monochromatique transitoire dont l'intensité maximum et la décroissance sont fonction de la température, et dans une moindre mesure de la pression. Les traceurs inorganiques à base de terre rare offrent une large plage de temps de décroissance. Ces derniers, comparativement aux traceurs organiques, offrent l'avantage d'une meilleure résistance à des sollicitations physico-chimiques agressives, ce qui en fait des candidats privilégiés pour des mesures thermiques localisées à haute pression et haute température.

Nous voulons exploiter ces objets de très faible capacité thermique pour étudier in situ le phénomène d'implosion d'une bulle de cavitation. Les effets d'érosion dus à la cavitation ont fait l'objet jusqu'à présent de nombreux travaux. Mais la connaissance de la valeur des paramètres thermodynamiques régnant à l'intérieur de ces bulles, lorsque leur diamètre devient inférieur au micromètre, reste imprécise. On estime que des conditions extrêmes de pression et de température sont atteintes ( $\approx 1000$  bars et  $10000$  K !) sans pour autant être en mesure de déterminer rigoureusement la valeur de ces paramètres.

Ce programme a l'ambition de progresser dans ce domaine, en inséminant une bulle avec des nanotraceurs fluorescents pour réussir à suivre l'évolution de la température et de la pression 'in situ' dans la bulle.; l'utilisation des moyens de micro et nanofabrication de la plateforme 'Nanofab' du CNRS, et la collaboration avec une équipe du Laboratoire de Physico Chimie des Matériaux Luminescents (Lyon) disposant d'un banc de microscopie confocale permettront d'étudier de façon localisée ces phénomènes. La possibilité d'utiliser des nanoparticules de tailles et donc de capacités thermiques différentes est un moyen de remonter aux véritables valeurs de pression et température au sein de la bulle.

Ce programme a bénéficié en 2009 du soutien de l'UJF (une année de post doctorat pour M Medrano, à partir de septembre 2009, et une allocation ministérielle prioritaire), de la région Rhône Alpes (une allocation de recherche, thèse en cotutelle LEGI – LPCML) et du CNRS (25 k€ obtenus pour des projets exploratoires « métrologie du futur et énergie »).

### **Refroidissement des aimants à champ intense**

[J.P. Franc, M. Riondet]

Notre équipe poursuit son activité en collaboration avec le LNCMI (Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, F. Debray) en vue d'optimiser le refroidissement des aimants qui s'effectue au travers de mini-canaux de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, à des vitesses élevées jusqu'à  $40$  m/s, dans des conditions de flux thermique extrêmes pouvant atteindre  $4$  MW/m<sup>2</sup> et en écoulement monophasique ou diphasique. Une branche vient d'être ajoutée à la boucle PREVERO du laboratoire afin de tester et d'optimiser diverses configurations en cours de définition.

## **► THEME 2 : TURBOMACHINES, HYDROLIENNES ET CAVITATION**

24

### **Projet HARVEST**

[J.-L. Achard, J.-P. Franc, T. Maitre, C. Pellone, M. Riondet]

Les perspectives de recherche se déclinent suivant les 3 thématiques décrites dans notre bilan auxquelles s'ajoute une nouvelle activité.

- Interactions pales tourbillons

Deux axes de progrès sont poursuivis : le premier concerne la diminution des coûts calculs afin de pouvoir mettre en place des méthodes d'optimisation pour la géométrie de la turbine. La thèse de Sylvain Antheaume, démarrée en 2008, a pour objectif le développement de la « Time Spectral Method » (TSM) qui permet d'obtenir directement le régime périodique établi d'un écoulement en s'affranchissant de la phase transitoire. Les facteurs de gain prévisibles vont de 5 à plusieurs dizaines suivant les configurations étudiées. Le second concerne la consolidation des validations des simulations à l'aide de champs locaux (vitesse, vorticité, ...). Une thèse ADEME-EDF démarre en Octobre 2009 avec pour objectif le développement d'une méthode de Vélométrie par image de particules (PIV).

Un nouvel axe concerne l'hydrodynamique de la turbine lorsqu'elle est munie de carénages. En effet, ces derniers peuvent augmenter la puissance fournie d'un facteur 3 à 5 pour une taille de rotor donnée. Cependant les carénages, en augmentant fortement les vitesses dans le rotor, accroissent le phénomène de fatigue et le risque de cavitation. La thèse ADEME-EDF de Ané Mentxaka, démarrée en Octobre 2008, a pour objectif l'optimisation (hors cavitation) des carénages pour les hydroliennes à flux transverse.

- Cavitation

La thèse de Vivien Aumelas, démarrée en 2008, vise deux objectifs : la consolidation du code de calcul développé par Eugenio Sansone (turbulence, modèle de cavitation, maillage) et son utilisation dans un but d'optimisation des profils de pales. Il s'agit de déterminer les profils de pales (type, cambrure, calage, solidité) qui procurent un rendement optimum sous conditions cavitantes (avec ou sans carénages) tout en préservant leurs tenues mécaniques. Un lien fort existe entre

cette thèse et celles concernant les carénages et la PIV. Une PIV en écoulement diphasique est envisageable.

- Parcs d'hydroliennes

Cette recherche ouvre sur un domaine plus fondamental concernant la simulation des sillages (d'hydroliennes ou autres). La communauté scientifique est active sur le sujet et propose par exemple des couplages « éléments aux frontières » pour le rotor et LES pour le sillage. Bien adaptée pour les éoliennes classiques, cette méthode l'est moins pour les turbines à flux transverse qui développent des décollements dynamiques. Il s'agit ici de mettre en place un modèle de turbine peu gourmand en temps calcul mais qui retranscrit correctement le sillage, au moins en champ lointain puisque les turbines ne sauraient opérer dans le sillage proche des autres. Une fois cette difficulté surmontée, une optimisation de l'architecture du parc est envisageable, par exemple avec un algorithme génétique qui permet de tracer plusieurs objectifs. Un post-doc pourrait être recruté sur ce sujet.

- Interaction fluides-structures

Un nouveau thème portant sur le couplage fluides-structures est en discussion avec le LaMCoS. Le travail de simulation pourrait s'appuyer sur les logiciels EDF Saturne pour le fluide et Aster pour la structure.

En ce qui concerne le développement industriel, un démonstrateur de 40 kW sera installé début 2009 sur le canal du barrage EDF de Pont de Claix. La thèse Cifre-EDF de Thomas Jaquier, démarrée en Octobre 2009 accompagne scientifiquement ce projet, tant au niveau des études amonts que des essais. Le retour d'expérience de ce démonstrateur permettra d'installer des prototypes en rivières (France et Québec) dans les 2 prochaines années.

### **Modélisation de la cavitation et effets thermodynamiques associés**

[S. Barre, R. Fortes-Patella, E. Goncalves]

- Approche expérimentale et numérique de la modélisation physique de la cavitation

Les travaux expérimentaux sur la couche de mélange cavitante vont être poursuivis afin d'approfondir la compréhension des liens reliant la turbulence et la cavitation. On se posera en particulier la question, en collaboration avec les numériciens, des limites de validité des approches homogènes (approche par code mono-fluide) actuellement employées à la fois au LEGI et à SNECMA pour le calcul des écoulements cavitants en turbomachines spatiales.

Les travaux numériques de simulation des écoulements cavitants se poursuivent, notamment dans le cadre d'activités avec le CNES et la SNECMA. Les objectifs pour la période 2009-2012 sont

(a) l'implémentation, la comparaison et la validation de différents modèles physiques décrivant le mécanisme de cavitation instationnaire en régime turbulent,

(b) la réalisation de calculs d'écoulements cavitants 3D en géométrie d'inducteur en vue d'étudier les mécanismes d'instabilités

(c) l'exploration, le développement et l'amélioration de schémas numériques, de modèles diphasiques et de modèles de turbulence dédiés à la simulation d'écoulements cavitants et multiphasiques en turbomachines.

Des collaborations sont en cours de constitution, sous le parrainage du CNES et de SNECMA, avec l'IUSTI à Marseille (Professeur Saurel) et l'équipe MOST du LEGI (Guillaume Balarac, Christophe Corre et Olivier Métais). Le groupe de travail réunit des compétences dans les domaines de la cavitation, des turbomachines, de la turbulence, de la modélisation physique diphasique et de la modélisation numérique (compressible et/ou incompressible) associée.

Ces collaborations visent à évaluer de nouvelles approches de modélisations de type multi-phatique et aussi de préciser les éventuels apports de la LES pour le calcul des écoulements envisagés et surtout pour supporter l'éventuelle modélisation diphasique à mettre en place. Tous ces travaux devront s'accompagner de la mise en place d'une expérience dédiée pouvant servir de cas-test de référence pour cette approche coordonnée. Sauf imprévu, les travaux expérimentaux débuteront dès l'automne 2010 alors que la phase d'approche théorique et numérique pourra être engagée plus tôt.

- Mesure du taux de vide par absorption de rayonnements ionisants au sein des turbopompes spatiales

La maîtrise des effets thermodynamiques en turbopompes spatiales cavitantes nécessite la connaissance des volumes de vapeur présents au sein de la machine et aussi, si possible, de la température à l'intérieur des poches de cavitation. De ce fait, on envisage, comme suite à ces études, de pratiquer des tomographies 3D à forte résolution (de l'ordre du  $\text{mm}^3$ ) pour préciser le champ spatial de taux de vide et aussi pour avoir une estimation très précise du volume de vapeur inclus dans la machine car ce paramètre est crucial pour la connaissance de la fonction de transfert hydraulique du système complet d'alimentation du moteur que ce soit en fonctionnement stationnaire cavitant ou transitoire normal ou même transitoire accidentel. De plus, nous envisageons de réaliser une expérience visant à créer artificiellement un accident de pression sur la ligne d'alimentation de la machine pendant une phase de fonctionnement cavitant de façon à évaluer le comportement global du système lors d'un accident. Une expérience plus basique est également envisagée (sur une configuration 2D de poche attachée par exemple) afin de mesurer la réponse dynamique d'une telle poche de cavitation lorsqu'elle est soumise à une perturbation extérieure de pression. Tous ces travaux sont actuellement en phase de discussion avec le CNES et la SNECMA.

### **Etude expérimentale des instabilités tourbillonnaires dans les diffuseurs de turbomachines hydrauliques**

[S. Barre, J.-L. Kuény]

A partir des résultats obtenus lors des doctorats de Cédric Duprat (équipe MOST) et Sylvain Tridon (équipe ENERGETIQUE) des perspectives ont été dressées. Nous sommes ainsi en négociation avec ALSTOM pour lancer deux thèses (une expérimentale et une numérique) sur la thématique des instabilités globales dans les écoulements d'aspirateurs de turbines Francis. La thèse numérique consistera à affiner les calculs LES déjà effectués en utilisant de manière plus approfondis les résultats expérimentaux disponibles. On s'attachera en particulier à approfondir les travaux suivant deux points :

- Mise en œuvre de la méthode "Validation & Vérification" (V&V) qui consiste à systématiser les procédures de LES en vue d'une optimisation du couple résultats/coût de calcul.
- Intégration de la LES dans les codes de calculs existants en vue de son utilisation de plus en plus fréquente et "routinière" chez l'industriel.

26

Pour atteindre de manière fiable et validée ces objectifs la thèse expérimentale devra se focaliser sur deux aspects fondamentaux qui pour l'instant sont des verrous assez forts pour l'amélioration de la fiabilité des calculs :

- obtention de conditions initiales et aux limites particulièrement précises à la fois sur les champs moyens et turbulents mais aussi et surtout sur les caractéristiques spatio-temporelles de ces mêmes champs.
- description précise des zones de proche paroi avec en particulier description des champs de vitesse jusqu'à des valeurs de  $y^+$  de l'ordre de 40, voire moins, accompagnée de mesures de frottement pariétal ainsi que des gradients de pression.

### **Erosion de cavitation**

[R. Fortes-Patella, J.-P. Franc, M. Riondet]

Notre équipe a été récemment sollicitée par l'Office of Naval Research (ONR) pour contribuer à un programme de recherches de trois ans (2009-2011) sur l'érosion de cavitation en collaboration avec plusieurs partenaires américains (Dynaflow Inc., Naval Surface Warfare Center, Naval Research Laboratory). Cette opération s'inscrit dans le cadre du programme NICOP (Naval International Cooperative Opportunities in Science and Technology Program) soutenu par l'ONR. Le LEGI a la charge de réaliser des essais d'érosion sur son moyen d'essais propre et de comparer les résultats à ceux qui seront obtenus en parallèle par les collègues américains sur des moyens d'essais différents. L'un des objectifs prioritaires est de développer une méthode pour estimer le potentiel érosif d'un écoulement cavitant qui permettra de comparer des essais d'érosion réalisés sur des installations différentes. Le LEGI sera également chargé de dégager les règles de similitude que suit le potentiel érosif ainsi défini dans le but de permettre une transposition de résultats d'essais obtenus sur modèle réduit à un prototype. Enfin, notre équipe apportera une contribution au niveau modélisation dans un objectif de prévision numérique des dégâts d'érosion par cavitation. Parallèlement à cette activité ONR, notre équipe a été sollicitée par DCNS pour

tester la résistance à la cavitation de divers matériaux utilisés pour les propulseurs de sous-marins et en particulier de solutions technologiques nouvelles incluant l'utilisation de systèmes composites. A noter que notre équipe a été invitée à présenter une conférence plénière sur l'érosion de cavitation lors du 7ème symposium international sur la cavitation qui se tiendra en août 2009 à Ann Arbor (Michigan, USA).

Un Projet PROTEUS en partenariat avec l'Université de Ljubljana a également démarré en 2009. Ce projet porte sur le développement de méthodes expérimentales et numériques pour la prédiction de l'érosion de cavitation. Les travaux prévus auront comme objectifs l'étude du comportement instationnaire des écoulements cavitants, l'analyse du phénomène d'érosion de cavitation et la proposition d'un modèle de prédiction d'endommagement par cavitation.

A la suite de la thèse de T. Choffat, l'équipe a été contactée par EDF-R&D et une nouvelle collaboration dans le domaine de la modélisation et prédiction de l'érosion de cavitation démarrera en 2010.

### **Traitement de l'eau par cavitation**

[J.-P. Franc, C. Pellone]

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans le cadre du programme ANR / ADEME CAVHYTE ("cavitation hydrodynamique et traitement de l'eau") piloté par le CREMHYG. Pour sa part, le LEGI apporte une contribution sur les aspects modélisation en développant un calcul permettant d'évaluer les conditions extrêmes de température et de pression régnant au cœur d'une bulle de cavitation en fin d'implosion. Les hautes températures sont à l'origine de phénomènes de pyrolyse et de production de radicaux hydroxyles par dissociation des molécules d'eau piégées dans la bulle, deux phénomènes utilisés pour la dégradation de polluants. L'objectif d'ensemble du programme est de qualifier l'efficacité d'une cavitation de type hydrodynamique en matière de traitement des eaux par comparaison à une cavitation de type ultrasonore.

## **► THEME 3 : STOCKAGE DE L'ENERGIE**

### **Simulation énergétique de bâtiments économes: couplage thermique/électrique**

[F.Joussellin]

L'efficacité énergétique des bâtiments nécessite de s'adapter à l'environnement, à l'usage, aux besoins, notamment en couplant les aspects électrique, thermique, contrôle-commande. L'objectif de l'étude est de réaliser un environnement de simulation virtuel et flexible avec une application aux locaux rénovés de PREDIS-ENSE3, la plate-forme de recherche « Usages » sur l'énergie intégrée à ENSE3 (financement Grenoble INP, BQR 2008-2010). 4 laboratoires sont impliqués dans ce projet pour coupler les modèles des équipements du bâtiment qu'ils soient électriques (G2ELAB), ou thermiques (LEGI), pour développer des méthodes et des outils de pilotage optimal des composants et des systèmes inspirés de la gestion optimale de production (G-SCOP), et enfin pour définir des agents intelligents répartis et communicants (LIG).

Ces méthodes et outils de simulation permettront alors d'évoluer selon les scénarios d'utilisation du bâtiment par les usagers (prédictions de fonctionnement) en ajoutant ou enlevant des charges, en modifiant les moyens de stockage thermiques ou électriques...

Depuis septembre 2008, ces 4 laboratoires réunis autour d'une thèse (Hervé CHENAILLER), ont permis de réaliser les premières modélisations thermiques/électriques. La mise en route de la plate-forme « Usages » avec son instrumentation qui sera livrée en été 2009, permettra de tester en direct les scénarios de contrôle-commande et de les optimiser en fonction du comportement des usagers.

### **Efficacité énergétique par utilisation de Matériaux à Changement de Phase (MCP)**

[A. Bontemps, S. Ferrouillat]

Le stockage par chaleur latente permet d'envisager des capacités volumiques de stockage plus importantes que le stockage par chaleur sensible avec réservoir à stratification classique : les travaux sur le stockage par MCP seront ainsi poursuivis, notamment par le soutien de l'ANR STOCK-E où nous avons déposé le projet ??? et par celui de l'Institut Carnot « Energie du Futur ». Nous cherchons ainsi à identifier de nouvelles options de stockage de l'énergie thermique à moyenne et haute température par l'utilisation de matériaux à changement de phase (MCP). Les objectifs sont à la fois scientifiques et technologiques. Après une identification des MCP

compatibles avec les gammes de températures visées, une caractérisation expérimentale des propriétés physiques sera réalisée. Une approche analytique, expérimentale et numérique, sera ensuite menée afin d'étudier les phénomènes locaux régissant les transferts thermiques au sein du système de stockage. L'approche expérimentale sera réalisée sur un banc d'essais permettant de tester différents MCP sur une géométrie d'échangeur à plaques fonctionnant dans les conditions réelles de températures (entre 150°C et 300°C). L'augmentation des transferts sera analysée expérimentalement avec le test de différents systèmes d'intensification (ailettes, mousse métallique, introduction de micro ou nanoparticules au sein du MCP).

### **Stockage de l'hydrogène**

[Ph. Marty]

Dans le cadre de cette activité, en extrêmement forte croissance, nous cherchons à augmenter le rendement de stockage en récupérant l'énergie d'absorption de l'hydrogène dans des matériaux à changement de phase (MCP) : ce travail, qui présente un lien fort avec nos autres recherches sur le bâtiment, sera effectué par des travaux expérimentaux et numériques. La collaboration fructueuse avec l'Institut Néel et McPHY se poursuivra et des partenariats nouveaux avec le CEA-LITEN sont en cours de définition.



## Equipe ERES : PROSPECTIVES

Les prospectives de l'équipe ERES s'organisent autour de thématiques qui reflètent la double orientation de nos recherches : sur les études de processus en fluide stratifié tournant, liées ici aux ondes internes et à la turbulence de paroi, et sur les applications aux milieux naturels, qui sont la qualité de l'air et la ventilation naturelle dans les bâtiments. La plate-forme Coriolis fait l'objet d'un point particulier.

### ONDES INTERNES DE GRAVITÉ (JB FLOR, L. GOSTIAUX, J. SOMMERIA, C. STAQUET, B. VOISIN)

#### **Modélisation théorique**

La recherche théorique sur les ondes internes de gravité sera poursuivie dans trois directions :

- Passage du problème de l'émission à celui de la diffusion et de la diffraction. Ce point est un des objectifs du projet ANR Blanc PIWO (Physics of Internal Waves for Oceanography, 2009-2011). L'approche est celle du physicien, en ce qu'une attention particulière sera portée à la façon dont se transposent les concepts usuels de l'optique et de l'acoustique (interférences, trous d'Young, diffraction par un bord d'arête, principe de Babinet, diffractions de Fresnel et de Fraunhofer, approximation de Born, diffusion Rayleigh, etc.).
- Passage d'une topographie idéalisée (cylindre ou sphère) à une topographie quelconque. Il sera fait appel à la méthode numérique des éléments intégraux de frontière (Boundary Element Method), couramment utilisée pour les problèmes elliptiques dans les écoulements potentiels ou de Stokes et en acoustique. Un séjour de B. Voisin de 2 mois auprès de S. Llewellyn Smith à l'Université de Californie à San Diego a permis de jeter les bases de son adaptation au problème hyperbolique des ondes internes. Une collaboration ultérieure est envisagée dans le cadre d'un projet soumis à la NSF en mars 2009.
- Auto-focalisation. L'étude de l'émission des ondes internes par une sphère a révélé la présence de plusieurs singularités dans le fluide, appelées respectivement singularités focalisantes et annulaires. Ces singularités sont liées à la géométrie conique des ondes, et sont susceptibles de provoquer déferlement et mélange. On se propose de considérer théoriquement et expérimentalement des formes d'émetteurs plus spécifiques, favorisant l'émergence des singularités, et d'étudier leur incidence sur le mélange.

29

#### **Aspects expérimentaux**

L'étude de l'interaction des ondes internes avec des topographies sera poursuivie en lien avec la théorie, en identifiant les phénomènes de réflexion et diffraction. Ces interactions seront étudiées en trois dimensions grâce au développement de la PIV 3D sur la plate-forme Coriolis et du système de mesure adéquat (tranche laser avec balayage volumétrique). Les effets non-linéaires associés, induisant instabilités, turbulence et mélange, seront étudiés. Ces résultats seront comparés à des simulations numériques, ainsi qu'à des observations in-situ. La génération spontanée d'ondes internes de gravité par des médies lenticulaires analogues à ceux rencontrés en Méditerranée sera également étudiée. En un deuxième temps, l'étude portera sur la possibilité de reproduire en laboratoire des régimes de turbulence d'ondes, résultant d'interactions multiples dans un domaine clos. Des configurations plus complexes (topographies non régulières, forçages intermittents) seront alors utilisées, afin de reproduire au laboratoire un spectre d'ondes internes plus proche du continuum observé dans l'océan. Enfin, l'effet de transport des ondes internes sur les sédiments sera étudié, dans le but de comprendre comment la forme du fond océanique peut être influencée par les ondes internes, en particulier au niveau du talus continental. Ce problème présente des similarités avec l'effet des vagues sur la morphodynamique du littoral, et une collaboration avec l'équipe 'Houle' sera développée.

#### **Aspects numériques**

Les simulations numériques seront menées en lien étroit avec les études théoriques et expérimentales ci-

dessus. Dans le cadre du projet PIWO, on étudiera la diffusion d'ondes internes par des obstacles bi- et tridimensionnels, la transformation non linéaire d'ondes internes interagissant avec une topographie, la formation d'attracteurs d'ondes internes en domaine confiné tridimensionnel et l'on tentera de comprendre comment se forme le spectre des ondes internes.

#### **Auto-analyse :**

- Points forts

- Expertise conjointe, au sein de l'équipe, dans les approches théorique, expérimentale, numérique et par des mesures in-situ des ondes internes, permettant une coopération fructueuse.
- Réseau de collaborations nationales et internationales.
- Disponibilité d'équipements uniques : plate-forme Coriolis, générateurs d'ondes planes, vélocimétrie par imagerie 3D en volume (PIV).

- Points faibles

Recrutement d'étudiants en thèse insuffisant au niveau expérimental (en partie dû aux incertitudes sur le calendrier de déménagement de la plate-forme Coriolis).

- Opportunités

- Intérêt actuel de la communauté internationale et des agences de financement pour la marée interne.
- Soutien par l'ANR PIWO.

- Risques

La dynamique nationale et surtout internationale va créer une concurrence forte (nos collègues commençant à travailler sur ces thématiques avec de forts moyens humains et des délais de réaction rapides). Ainsi, ne serait-ce que sur l'émission de la marée interne par une topographie oscillante, on peut citer trois groupes concurrents aux États-Unis, à San Diego, Boston et Austin.

## **TURBULENCE DE PAROI ET TOURBILLONS (JB FLOR, J. SOMMERIA)**

Cette thématique regroupe différentes études fondamentales sur la turbulence, essentiellement expérimentales, incluant la formation de tourbillons cohérents, les effets de rotation et stratification. Les projets se structurent autour de trois contrats financés par l'ANR.

### **ANR ANISO (2009-2011, responsable C. Cambon, LMFA Lyon, collaboration CORIA-Rouen et LMFA )**

Afin d'étudier l'anisotropie de la turbulence de paroi, des structures anisotropes seront étudiées expérimentalement dans une turbulence de grille (au CORIA), et l'évolution d'un tourbillon isolé sous l'effet de cisaillement et/ou de rotation fera l'objet d'une étude numérique et expérimentale au LEGI. En complément, des études théoriques sur la description statistique et dynamique de la turbulence seront effectuées en collaboration avec le LMFA.

Le but du projet est d'élargir le champ des recherches vers une théorie de turbulence plus réaliste qui inclut les inhomogénéités - et structures cohérentes - induites aux parois ou par un cisaillement moyen. Cette étude permettra une meilleure paramétrisation de la turbulence de paroi et aura de nombreuses applications dans l'industrie et les écoulements géophysiques.

### **ANR Transtek (2010-2012, responsable T. Dubos, Laboratoire de Météorologie dynamique, Palaiseau)**

Il s'agit de mettre en évidence les structures cohérentes dans les expériences de couche limite d'Ekman sur la plate-forme Coriolis. Ceci sera réalisé en lien avec des approches théoriques, des modèles numériques et des observations de couche limite atmosphérique réalisées au LMD à Palaiseau.

### **ANR STATOCEAN (2010-2013, responsable F. Bouchet, INLN Nice, collaboration X. Carton, LPO, Brest)**

Le but est de comprendre l'existence d'équilibres multiples des courants océaniques comme le Kuro-Shio.

Une étude expérimentale en cuve tournante est prévue, en lien avec une approche théorique de mécanique statistique permettant d'expliquer les équilibres multiples comme des états les plus probables du système turbulent. Par ailleurs, des études expérimentales de prédictabilité, utilisant l'assimilation de données dans un modèle numérique, sont prévues sur ces configurations.

#### **Auto-analyse :**

- Points forts

Ces projets bénéficient d'un bon soutien financier par trois contrats ANR.

Un des atouts majeurs de l'ANR ANISO est la complémentarité entre les approches (expériences de laboratoire fondamentales, expériences reproduisant des configurations industrielles, analyses théoriques, simulations numériques idéalisées). Les équipements et le savoir-faire nécessaires pour ces études sont présents, permettant de combiner différentes techniques de mesures (PIV 3D, films chauds, diffusion acoustique). Les ANR Transtek et STATOCEAN s'appuient sur la plate-forme Coriolis et les équipements annexes. Elles bénéficient d'une coordination étroite entre expériences de laboratoire, approches théoriques innovantes, modélisation numérique et observations in-situ en milieu naturel.

- Points faibles

Très faible potentiel technique du LEGI dans le domaine électronique. Cela conduit à de fortes contraintes et à des retards dans l'avancement des recherches.

- Opportunités

Collaboration avec d'autres laboratoires; échange de connaissance sur les modèles de la turbulence, technique de mesures et approches (statistique, spectrale et dynamique de turbulence)

- Risques

Difficulté à recruter étudiants ou post-doctorants.

## **DYNAMIQUE DE LA COUCHE LIMITE ATMOSPHÉRIQUE ET QUALITÉ DE L'AIR (C. BRUN, JP CHOLLET, C. STAQUET)**

31

Les études de la couche limite atmosphérique (CLA) continueront à associer les études de processus sur des systèmes modèles et des études sur des sites réels qui permettent de remettre en situation les phénomènes observés et analysés dans des cas simplifiés.

- **Simulation à haute résolution de la CLA stable en relief complexe.** Des études numériques à haute résolution de la CLA stable sur pente variable et en vallée idéalisée seront poursuivies, en utilisant les modèles Meso-NH et WRF. L'objectif de cette étude sera de décrire les phénomènes de transfert et de mélange turbulent en surface, en menant des études de sensibilité. On en déduira à la fois des paramétrisations plus fines pour le comportement des flux en surface et pour les fermetures sous-maille des modèles LES en situation stablement stratifiée. Cette étude servira de référence dans son extension à des simulations réalistes sur terrains complexes.
- **Modélisation du transport de scalaire dans la CLA stable en relief complexe.** Le problème de la pollution atmosphérique et de la qualité de l'air en CLA stable sera intégré à ces études de processus via la description précise des phénomènes de transport turbulent de scalaires eulériens et lagrangiens. Ces scalaires seront considérés dans un souci de réalisme croissant : scalaires passifs, puis réactifs et enfin sous forme d'aérosols. Les résultats permettront de proposer des paramétrisations LES pour les flux turbulents de scalaires. Pour les cas réactifs on s'intéressera à la modélisation des coefficients de ségrégation d'espèces chimiques.
- **Variabilité intra-journalière de l'atmosphère d'une agglomération urbaine en vallée, application à l'exposition à des polluants.** Des atmosphères réelles sont considérées dans les Alpes de manière à disposer d'un cadre dans lequel insérer analyses et paramétrisations élaborées au cours de l'étude de processus des configurations simplifiées. Le site de Grenoble continuera à être utilisé, car combinant

agglomération urbaine et relief en confluent de vallées, en se focalisant sur des situations stables, en hiver ou durant des nuits d'été. Une très forte variabilité se produit en espace et en temps (intra-journalière en particulier), amplifiée par le relief et les différences de nature du sol entre zones urbaine et rurale ou forestière. Une application de ce travail est de déterminer l'exposition à des polluants de populations ciblées, en collaboration avec des médecins.

#### **Auto-analyse :**

- Points forts

- Longue expérience sur la turbulence stratifiée, bien reconnue, et sur le couplage chimie-dynamique de la couche limite atmosphérique en zone de montagne.

- Responsabilité d'un projet du Cluster Environnement de la région Rhône-Alpes et de projets IDAO/LEFE de l'INSU depuis quelques années.

- Points faibles

- En dehors de JP Chollet, émérite, absence de compétences dans l'équipe sur le couplage de la chimie atmosphérique avec la dynamique en site réel. Un nouveau recrutement sur ce thème devrait être envisagé durant le prochain quadriennal.

- L'application aux situations réelles en relief complexe rend un soutien informatique indispensable (aucune aide de ce type n'est apportée à cette thématique). Deux codes de calcul devront en effet être idéalement utilisés, Meso-NH (lien avec Météo-France) et WRF (collaboration avec Atmo Rhône-Alpes, qui est l'agence de qualité de l'air grenobloise).

- Pas encore de projet national d'envergure de type ANR.

- Opportunités

- Bonne dynamique grenobloise et fort soutien de la région Rhône-Alpes : collaboration (de longue date) avec le LGGE; début de collaboration avec le LSP pour l'obtention de mesures in situ par Lidar; intérêt marqué d'Atmo Rhône-Alpes pour poursuivre la collaboration sur le couplage chimie/dynamique et la simulation en site réel.

- Peu de concurrence internationale sur ce sujet pour l'instant, en dehors d'une équipe à l'Université d'Oklahoma (USA).

- Risques

- Disparition de l'activité par manque de compétences pérennes sur les applications.

## **HYDRALAB IV ET CORIOLIS II (L. GOSTIAUX, J. SOMMERIA)**

Le projet Européen 'Integrated Infrastructure Initiative' Hydralab IV sera soumis fin 2009 pour couvrir la période 2011-2015. Ce projet vise à promouvoir les installations expérimentales uniques dans le domaine de l'hydraulique et de l'environnement, dont la plate-forme Coriolis fait partie. Par rapport au projet en cours Hydralab III, ce projet s'ouvre résolument vers les problèmes de transport sédimentaire et les liens entre hydrodynamique et écologie des milieux aquatiques, avec le slogan 'more than water'. Le projet est constitué de trois volets:

- 'Networking': il s'agit d'activités de coordination.

- 'Access': il s'agit d'un programme d'accès pour des équipes de chercheurs extérieurs, similaire aux programmes dont a bénéficié la plate-forme Coriolis depuis 1992 .

- 'Joint Research Activities (JRA)'. Il s'agit de projets de recherche destinés à améliorer la qualité des infrastructures expérimentales. L'équipe participera à deux projets de ce type:

- Instrumentation du transport sédimentaire par des approches conjointes d'acoustique et d'imagerie optique.

- Mise en place de bases de données expérimentales dans le domaine de l'hydraulique.

### **Auto-analyse :**

- Points forts

Grande installation unique, reconnue au niveau international.

- Points faibles

Manque d'expertise de l'équipe dans les domaines de transport sédimentaire et écologie qui deviennent au cœur du projet Hydralab. Cela devra être compensé par des collaborations, en particulier avec l'équipe 'Houle'.

- Opportunités

La reconstruction de la Plate-forme Coriolis sur le campus est désormais décidée. Ceci permettra d'améliorer l'équipement et de valoriser les échanges scientifiques et humains entre les personnels affectés à Coriolis, leurs visiteurs Européens et le reste du laboratoire.

- Risques

- Risques sur le financement de la nouvelle plate-forme Coriolis.

- Incertitudes pénalisant dès à présent l'élaboration de projets, en particulier pour les sujets de thèses.

- Rejet du projet Hydralab IV par la Commission Européenne (peu probable étant donné le retour encourageant suite à une première soumission faite en 2008).

## **VENTILATION NATURELLE DES BÂTIMENTS (JB FLOR, AVEC C. BRUN ET C. STAQUET)**

L'étude sur la ventilation des bâtiments concerne les écoulements autour et dans les bâtiments. Elle est motivée par le contrôle de la qualité de l'air intérieur, qui est déterminée par sa température et son taux de pollution. Le lien entre l'écoulement à l'intérieur du bâtiment et l'extérieur est obtenu par ventilation naturelle ou par ventilation mécanique au travers d'ouvertures. Cet écoulement est turbulent, et suite aux différences de densité induites par la température, est fortement affecté par la force de flottabilité. Le but de cette recherche est de comprendre l'organisation et la nature des écoulements autour et à l'intérieur des bâtiments, et d'obtenir des lois simples et robustes qui permettent d'optimiser la qualité de l'air intérieur pour un minimum d'énergie fournie. Ces lois sont utilisées par les architectes et permettent de contrôler la qualité de l'air dans les bureaux, les hôpitaux et les habitats. Elles s'appliquent également à la climatisation naturelle des bâtiments ainsi qu'à leur chauffage. Ce sujet de recherche a été développé il y a une quinzaine d'années par Paul Linden (Professeur à UCSD, San Diego, Etats-Unis) et a été repris depuis par d'autres chercheurs en mécanique des fluides (par ex. A. Woods, BP institute, Cambridge; C. Caulfield et S. Dalziel au DAMTP, Cambridge; G. Hunt et I. Eames, Londres). Ces activités sont aujourd'hui connues sous le nom de "Architectural Fluid Mechanics" (Linden, Ann. Rev. Fluid Mech. 1999) et un journal a été créé sur ce sujet ("Indoor Air"). A notre connaissance, aucun laboratoire en France n'a développé cette approche expérimentale pour modéliser la circulation dans les bâtiments. Notre but au LEGI est d'utiliser les compétences existant en turbulence, mélange et transport de chaleur pour développer cette activité en France.

### **Auto-analyse :**

- Points forts

Au LEGI, l'expertise en modélisation expérimentale et la connaissance dans les domaines concernés (transfert thermique, turbulence, fluides stratifiés, énergétique) acquises au cours des années offrent des conditions propices au développement de cette recherche. Le projet sera soutenu par l'activité des équipes ERES (Jan-Bert FLOR) et ENERGETIQUE (Florence JOUSSELIN).

- Opportunités

Recherche en phase avec les besoins de la société sur les économies d'énergie. Ce thème de recherche a été proposé par un chercheur extérieur au laboratoire, que le LEGI souhaite recruter au CNRS.

- Risques : thème nouveau, conditionné par le recrutement d'un chercheur.



# HOULE

## ONDES DE GRAVITE ET HYDRODYNAMIQUE SEDIMENTAIRE PROJET

### ■ AUTO-ANALYSE

#### Points forts

Les points forts de l'équipe en terme de compétences sont :

- la modélisation et la simulation numérique de l'hydrodynamique de la zone de surf ;
- une expertise en matière d'expériences de morphodynamique en canal à houle et d'étude de processus dans les écoulements sédimentaires ;
- la conception, la réalisation et le suivi d'expériences de terrain pour l'étude de la dynamique littorale et des processus dans la zone de surf ;
- une expertise en instrumentation acoustique et optique adaptée à la mesure, en laboratoire et *in situ*, des processus hydro-sédimentaires en zone benthique.

Les points forts de l'équipe sur le plan scientifique sont :

- des apports importants dans la connaissance de la réponse du substrat sédimentaire aux sollicitations des vagues, des couches limites oscillantes, de la production de turbulence par les rugosités de fond, des suspensions ...
- la constitution d'un important jeu de données hydrodynamiques et morphodynamiques mis à disposition de la communauté pour, entre autres, servir à la validation des modèles numériques ;
- de fortes collaborations établies ou renforcées sur le plan national (EPOC Bordeaux, Univ. Pau PA, IMAGES Perpignan, G2M Montpellier, CEMAGREF, etc.) et international (EPF Lausanne, POL Grande-Bretagne, PUC Chili, Univ. Aveiro Portugal, Univ. Utrecht Pays-Bas, UPC Barcelone, etc.), dans le cadre de nombreux projets, financés par divers organismes (INSU, MEDAD, SHOM-DGA, CEE, ANR). Ces collaborations sont fructueuses en particulier en terme de publications.

#### Points faibles

- L'activité de publication est variée (en terme de thèmes et méthodes) mais reste limitée. D'une part la gestion de la recherche et de l'enseignement, en particulier l'implication croissante d'un des membres de l'équipe à l'animation de GINP, restreint la capacité recherche de l'équipe. D'autre part, l'implication de l'équipe sur des campagnes de mesures de grande envergure a nécessité un investissement important et sera vraisemblablement valorisée au cours du prochain quadriennal.
- Sur le dernier quadriennal, nous n'avons été à même d'accueillir qu'un seul professeur invité pour un séjour recherche. Relativement peu de chercheurs post-doctorants ont été accueillis.

#### Opportunités

- Le recrutement d'un Maître de Conférences GINP (septembre 2009) renforce les compétences de l'équipe en modélisation du transport sédimentaire.
- Nos compétences permettront de poursuivre le développement des systèmes de mesures acoustiques et optiques.
- Les collaborations renforcées au cours du précédent quadriennal faciliteront le montage de nouveaux consortiums pour répondre aux appels d'offre de la CEE, ANR ou DGA.
- Les connections avec d'autres équipes du laboratoire sont recherchées, en terme de partage de moyens, d'échanges scientifiques à travers les actions thématiques transverses. La poursuite de collaborations, avec les équipes EDT et ERES en particulier, pourront être envisagées.
- Le recrutement d'étudiants en M2R et en thèse a été assuré à un rythme régulier au cours du dernier quadriennal. On peut penser que l'intérêt des étudiants pour l'environnement en général, plus particulièrement le littoral, les cours d'eau et la physique du transport sédimentaire associé, ne faibliront pas dans les prochaines années. Le recrutement d'étudiants s'appuie en particulier sur les formations attenantes au laboratoire (Ecole E3, M2R STUE, M2R ME, ...).

## Risques / Menaces

- Les activités de l'équipe ont bénéficié d'un support technique en électronique qui se trouve très affaibli par le départ à la retraite en 2007 de J.-P. Barbier-Neyret (service commun du laboratoire). Notre activité métrologie s'en trouve menacée. C'est pourquoi, et au-delà des besoins propres de notre équipe, le recrutement d'un Ingénieur en électronique nous semble indispensable pour maintenir les activités de développement d'instrumentation.
- Quadriennal après quadriennal, la vétusté de nos locaux ne participe pas à une impression favorable vis-à-vis des jeunes étudiants et des visiteurs.
- Les budgets associés à nos activités dans le domaine ont été obtenus à un rythme régulier. On peut toujours craindre que les possibles réductions budgétaires des différents organismes rendent plus difficiles l'obtention de financements nécessaires à la poursuite de nos recherches.

## ■ PROJET ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Le transport de sédiments est d'une importance primordiale pour l'ingénierie des rivières et du littoral. Par ailleurs, c'est une thématique qui recèle des questions scientifiques de premier ordre qui touchent à la mécanique des fluides (interactions turbulence / particules), aux milieux granulaires et au comportement micromécanique des sols.

Le projet focalise sur la caractérisation des processus sur la verticale, du substrat sédimentaire à la surface libre. L'objectif est de déterminer les processus dominants la déstabilisation des particules qui constituent le sol, leur entraînement et leur transport. Le projet associe des approches expérimentales et de modélisation. Nous chercherons à affiner les capacités de mesures par le développement d'instrumentation acoustique et optique. Nous développerons en parallèle des modélisations diphasiques pour mieux décrire le milieu granulaire et les suspensions turbulentes.

En 2007 et 2008, une quantité de données considérable a été acquise, lors d'expériences de terrain (Biscarrosse 2007, Truc Vert 2008 – projet ECORS-SHOM/DGA) et d'expériences de laboratoire dans de grandes installations européennes (Canal de Barcelone et Tunnel de Delft – projets SANDS-HYDRALAB III et TRANSKEW-ACCESS) et le grand bassin de génie océanique GINP – Sogréah (projets MODLIT-INSU/DGA et ANR COPTER). Le traitement de ces données n'a fait que débuter. Nous chercherons à caractériser les processus évoqués ci-dessus à l'aide des mesures acquises. L'analyse de la morphodynamique à l'échelle de la plage sera également poursuivie.

## Dynamique de l'interface sol / écoulement

Nous menons depuis plusieurs années des recherches expérimentales (de laboratoire et *in situ*) sur la liquéfaction des sables induite par l'interaction des houles avec des structures marines. Nous mettons à profit cette expertise acquise pour aborder la compréhension de la mobilisation des couches superficielles des substrats sédimentaires par le forçage de la houle. Le travail de thèse de Céline Berni porte précisément sur ce sujet. Il s'appuie sur l'expérience de terrain ECORS de mars 2008 et l'expérience de laboratoire MODLIT qui s'est déroulée de septembre à décembre 2008.

Nous envisageons de réaliser des expériences de turbulence de grille oscillante. Par le passé, la production de ce type de turbulence diffusive bien contrôlée nous a permis de déterminer le flux de chute des sédiments cohésifs en milieu turbulent. Elle a permis par ailleurs d'améliorer les modèles de réduction de bruit Doppler pour l'estimation des quantités turbulentes. Nous comptons utiliser cette installation pour reproduire à nouveau des suspensions isotropes et stationnaires, et la déstabilisation du sol et l'érosion du sédiment. Ces expériences permettront de calibrer les capteurs optiques, en cours de développement, qui ont pour vocation de mesurer la concentration des sédiments en suspension et la stabilité du substrat. Ces capteurs, couplés à des mesures de pression interstitielles, devraient nous aider à déterminer la profondeur de remaniement du sol à haute fréquence. Chaque vague transporte une quantité considérable de sédiments dans une direction puis dans la direction opposée. Le bilan net de transport n'en est qu'un résidu. La



détermination précise de chaque processus (mobilisation des grains, arrachement, chute en milieu turbulent) est un enjeu majeur et ne pourra aboutir que par une approche couplée mesures / modèles.

Le travail de thèse d'Emanuelle Catalano (co-encadrement avec B. Chareyre, géomécanicien du laboratoire 3S-R) porte sur la modélisation micro-mécanique, par couplage d'un modèle éléments discrets et d'un modèle *pore-network*, de la dynamique d'un substrat sédimentaire saturé, forcé par écoulement de type alternatif lié à la houle. L'objectif est de comprendre comment se déstabilisent les toutes premières couches de grains sous sollicitations réalistes.

### Caractérisation de la couche de *sheet flow*

Les expériences réalisées à l'automne 2007 dans le Grand Tunnel Hydrodynamique de Delft ont permis d'effectuer des mesures dans la couche de fond fortement concentrée en sédiments. Ces essais consistaient à reproduire un grand nombre de cycles d'écoulements oscillants, pour différentes caractéristiques d'asymétrie. Les vitesses maximum produites sont du même ordre de grandeur que celles observées en milieu naturel dans la zone de déferlement. Ces expériences ont ainsi reproduit des conditions de *sheet flow* stationnaire. L'interprétation de mesures acoustiques et conductives devrait permettre de mieux caractériser la dynamique de cette couche (de l'ordre du cm d'épaisseur et de plusieurs centaines de g/L) et de quantifier le transport résultant. Cette analyse sera menée en collaboration avec les Universités d'Aveiro et d'Utrecht.

Dans un second temps, des essais spécifiques sont prévues dans le canal à houle du LEGI. Le sédiment léger utilisé permet d'obtenir du *sheet flow*. Les outils de mesures à notre disposition (ADVP, capteurs optiques, capteurs de pressions interstitielles) seront utilisés. Des expériences prototypes pour générer une couche de grains mobiles sur un plan incliné sont envisagées. Ces essais permettraient d'évaluer la précision de mesure des capteurs en cours de développement. En parallèle, des efforts de modélisation diphasique sont envisagées.

Ces approches de modélisations physique et théorique nous permettront d'améliorer l'interprétation des mesures acquises lors des campagnes de terrain.

### Paramètres dominants le forçage du transport

Dans le cadre de la thèse de Florent Grasso, nous avons déterminé les états d'équilibre de plage pour différents types de climats de vagues. Ces états d'équilibre sont intéressants car le transport sédimentaire peut y être intense (de type charriage, suspension et *sheet flow* pour les différentes parties de plage de la zone de levé au jet de rive en passant par le déferlement) sans que la position moyenne de niveau de fond ne varie. Cette stationnarité à l'échelle morphologique permet de répéter un grand nombre d'expériences pour analyser les mesures de vitesses et de concentration en grandeurs moyennes, oscillantes et turbulentes. Cette méthodologie permet de dissocier les effets de couche limite, d'asymétrie des vagues en termes de vitesse et d'accélération, de courant de retour, de groupes de vagues, au travers de la zone de déferlement. Ces études sont au centre du travail de thèse de François-Xavier Chassagneux. Un des objectifs est de mieux caractériser la contrainte de cisaillement, la turbulence dans la zone de déferlement et leurs couplages au flux d'érosion et au transport sédimentaire net dans la direction de propagation des vagues.

La thèse de F. Grasso a également permis d'acquérir des données dans des configurations de migration de barres de déferlement. Ces migrations observées en nature n'y sont pas caractérisées avec une très bonne résolution. Dans le cadre de nos expériences de laboratoire en similitude, nous avons une description fine des évolutions morphologiques et hydrodynamiques. Le jeu de données ainsi obtenu est utilisé par de nombreux collègues afin d'améliorer les modélisations numériques, en particulier dans le cadre du projet MODLIT. Les mesures hydrodynamiques sont encore en cours d'analyse. On s'attache en particulier à caractériser l'asymétrie des vagues (en terme de vitesse et d'accélération). Ces effets ont une importance

prépondérante sur le transport sédimentaire. Nous cherchons ainsi à relier la morphodynamique à ces paramètres clefs. Les efforts de modélisation sur la base des équations de Serre, avec couplage d'un module de transport, seront poursuivis dans ce sens (projet CONYCIT). Pour cette problématique aussi, les connaissances acquises permettront une analyse plus juste des données acquises *in situ*.

### Analyse des expériences en bassin

Des expériences ont été menées de septembre à décembre 2008 dans le grand bassin océanique de GINP-SOGREAH. Il s'agissait de reproduire en laboratoire la formation de courants sagittaux (*rip currents* ou courants de baïne). Différents climats de houle irrégulière ont été produits et ont conduit à la mise en place de ces courants et des modulations associées de la topologie de plage. Ces expériences auront un fort impact sur les activités prochaines de l'équipe. Nous chercherons à mettre en évidence les différents processus du transport sédimentaire, ici en rapport avec la mise en place des circulations de grandes échelles. La thèse de L. Suarez (co-tutelle PUC-Chili) portera sur la modélisation de ces expériences de morphologie 3D influencée par les *rip currents*.

### Dynamique sédimentaire en présence de rides en migration

La formation de vortex de rides sous l'effet des vagues a fait l'objet de nombreuses études hydrodynamiques en laboratoire et de très peu d'analyses en condition *in situ*. Ces travaux ont permis de déterminer les conditions critiques de séparation de l'écoulement en fonction des paramètres de houle et de forme des rides. Cependant, le couplage de ce processus hydrodynamique à la mise en suspension du sable et la migration des rides n'a été abordé que de manière qualitative ou empirique par manque d'outils de diagnostic adaptés. En particulier, les estimations de diffusivité verticale du sable restent à ce jour limitées à des mesures distinctes (dans différents volumes de mesure) de vitesse et de concentration. Par conséquent, les effets turbulents liés au processus de détachement et de formation du vortex de ride ne sont pas pris en compte dans les valeurs de diffusivité actuellement utilisées pour le calage de modèles numériques. Les essais menés en condition de laboratoire (Hydralab III SANDS) et sur le terrain (ECORS-SHOM-DGA) ont pour objectifs de répondre à ces questions grâce aux mesures de profils de flux sédimentaires obtenus à l'aide du prototype ADVP.

### Métrologie et instrumentation en acoustique

Le travail de thèse de M. Bricault (soutenu en Décembre 2006) a porté sur l'application de la rétro-diffusion ultrasonore incohérente en mode pulsé à la mesure de profils de concentration sédimentaire dans les écoulements fortement turbulents. En parallèle, le développement d'un système de mesure multi-fréquence dans le cadre du projet européen Hydralab III-SANDS (en collaboration avec P.D. Thorne et U. Lemmin), a permis la mise au point d'une nouvelle méthode d'inversion bi-fréquentielle de l'intensité acoustique pour un calcul stable du profil de concentration dans la zone benthique. Cette dernière est habituellement très fortement chargée en sédiments avec des concentrations pouvant dépasser les  $100 \text{ kg/m}^3$ . Récemment, des essais dans le grand canal à houle de Barcelone ont démontré le potentiel du prototype ADVP dans la mesure simultanée des profils de vitesse et du profil de concentration au sein du même volume de mesure. Les profils de flux d'érosion turbulents et le transport net de sédiment dans la direction de propagation des vagues ont ainsi pu être calculés et ont donné des résultats préliminaires très prometteurs dans l'étude des processus de transport.

Pour les quatre années à venir, nous prévoyons un nouveau développement de système acoustique (soumission du projet Hydralab IV-WISE en décembre 2009) basé sur le principe du prototype ADVP. L'objectif principal étant le passage d'une mesure multi-directionnelle sur un profil (version actuelle) à une mesure sur une surface voire un volume insonifié. Le développement

*hardware* envisagé (*i.e.* système de capteurs, électronique d'émission, de réception, de démodulation, d'acquisition, de traitement numérique des échos acoustiques) dépasserait amplement le développement antérieur en terme d'innovation technologique. Ce travail se ferait en étroite collaboration avec P. D. Thorne (POL-NERC, RU) et sa faisabilité dépendra directement du soutien attendu d'un ingénieur en électronique. Ce projet a reçu un soutien de l'ensemble des partenaires du consortium Hydralab III en soulignant les avancées significatives qu'un tel projet permettrait sur la l'étude des processus de transport sédimentaire dans les écoulements géophysiques.

### Suivi des flux d'eau et de matières en suspension dans les cours d'eau

Le suivi en continu des flux de matières en suspension (MES) dans les cours d'eau est lourd à mettre en œuvre et coûteux. Pourtant, l'observation et l'analyse de la dynamique des MES (sources, propagation, piégeage, re-suspension) répondent à des enjeux forts (dispersion de polluants et nutriments, envasement des retenues, etc.). Parmi les mesures indirectes du transport en suspension, les méthodes acoustiques s'avèrent prometteuses, ne serait-ce que parce qu'elles sont extrêmement peu sensibles à l'encrassement et parce qu'elles peuvent être couplées à une mesure de profil de vitesse par effet Doppler pour parvenir au profil de flux sédimentaire. Ce travail fait l'objet d'un co-encadrement de thèse (S. Moore, depuis nov. 2008) dirigé par le CEMAGREF Lyon (J. Le Coz et A. Paquier). Il a pour objectif : (a) de déterminer les sources d'erreurs, les incertitudes et les configurations optimales pour les mesures en continu de vitesse par ADCP-H (ADCPs montés horizontalement en position fixe sur les berges de rivières ou fleuves) ; (b) d'établir une méthodologie de calcul et de calage des paramètres associés pour l'estimation du débit ; (c) d'établir une méthodologie d'inversion de l'intensité acoustique rétrodiffusée pour le calcul du profil de concentration.

### Etude, par la simulation 2DH, de la morphodynamique côtière

L'objectif du projet ANR-VULSACO est double : (1) identifier et estimer des indicateurs de vulnérabilité des côtes basses sableuses à l'érosion et à la submersion marine, en tenant compte du changement climatique à échéance des années 2030 ; (2) identifier le rôle aggravant ou modérateur que peut avoir le facteur d'occupation humaine du littoral sur cette vulnérabilité. Le système côtier est défini par sa morphologie, ses caractéristiques physiques, l'occupation et l'utilisation de son espace. Les échelles temporelles vont du court-terme (échelle des tempêtes) au long-terme (décennies), tandis que les échelles spatiales vont de quelques dizaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres. La vulnérabilité est étudiée grâce à l'utilisation de modèles numériques du comportement physique du système. Ce travail nécessite d'analyser la pertinence des paramètres prédominants dans la morphodynamique des plages sableuses à travers l'approche numérique.

Les développements des modélisations et des méthodologies de simulation faites dans le quadriennal précédent vont permettre l'étude des paramètres moteurs dans la morphologie des littoraux. Ces techniques numériques vont nous permettre de faire des grands nombres de simulation moyen terme (de l'échelle de la tempête au mois) dans l'objectif de faire des analyses statistiques sur les paramètres prédominants à l'érosion des côtes. Ces études vont avoir comme support deux types d'environnements côtiers : les plages sableuses et les lagunes. Nous étudierons les formules de transport sédimentaire au regard d'évolutions morphodynamiques pour des échelles de temps de la journée à l'année. Nous ferons aussi de l'expérimentation numérique pour améliorer la représentativité numérique de la rugosité de fond dans la continuité du projet MICROLIT.

### ► PROJET 2011 - 2014

#### 1. Auto-analyse

- **Points forts**

Sont énoncés ci-dessous les principaux points forts identifiés au sein de l'équipe.

- Océanographie: Entretien d'une forte compétence en océanographie physique, en dynamique des fluides géophysiques (DGF), dans les domaines de l'altimétrie spatiale et des flux air-mer, formant le socle de notre interprétation des résultats des simulations numériques, en lien avec la théorie, l'observation et le développement des outils.

- Méthodes et Outils: Compétence et longue expérience dans le domaine de la modélisation, l'assimilation de données, la simulation réaliste à haute résolution et le calcul intensif en océanographie, dans une gamme d'échelles spatio-temporelles pertinentes pour les questions climatiques et opérationnelles. Cette compétence se décline autant sur le plan des développements méthodologiques que sur celui du développement et de la mise en œuvre des outils permettant leurs applications à diverses échelles. Elle repose sur la compétence et la motivation exceptionnelles des deux ingénieurs de recherche de l'équipe, et sur une coopération étroite durable avec le LJK.

- Organisation: Culture de fonctionnement en équipe, doublée d'une longue expérience de leadership de grands projets de recherche fédérateurs favorisant une vision intégrée de la recherche en océanographie. Très bonne insertion de l'équipe et de ses activités dans le tissu scientifique local, national et international, avec en particulier une forte présence et des responsabilités importantes de ses membres dans diverses instances et programmes majeurs (cf. document Bilan), contribuant à construire une vision pertinente des enjeux scientifiques dans le domaine de l'océanographie.

- **Points faibles**

Sont énoncés ci-dessous les principaux points faibles identifiés au sein de l'équipe. Certains sont le revers de points forts mentionnés précédemment.

- Soutien technique: La **quantité** de soutien d'ingénieur est très insuffisante, proportionnellement à la taille et aux engagements de l'équipe. L'équipe possède la maîtrise et contribue grandement au développement des outils de modélisation (NEMO et outils de post-traitement associés) et d'assimilation de données (SEEK, SESAM) qu'elle met en œuvre. Outre le soutien aux développements de recherche de l'équipe elle-même, ce qui inclut une part importante de formation de personnels temporaires (doctorants, post-doctorants, visiteurs) aux outils complexes, un volume très significatif de l'activité des deux ingénieurs de l'équipe est de nature communautaire, dédié au transfert de compétence vers une communauté plus large (NEMO, NEMO-assim, DRAKKAR, MERCATOR-OCEAN, GLORYS). La complexité et la lourdeur toujours croissante de nos outils est telle que le soutien IR doit croître impérativement.

- Organisation: La forte implication de l'équipe dans de nombreuses instances et dans la direction de grands projets (3 chercheurs en particulier), et le volume d'enseignement des enseignant-chercheurs (1 enseignant-chercheur concerné) affectent la force effective de travail de recherche de l'équipe (partiellement compensée par des chercheurs contractuels).

- Tissu local: L'océanographie est un domaine de recherche singulier dans l'environnement grenoblois. Bien que l'équipe compense par son insertion nationale/internationale (voir les points

forts), cela se traduit aussi par une relative marginalisation de nos activités au niveau local (peu d'enseignements en océanographie, attractivité limitée pour les étudiants locaux) et par une absence d'attractivité pour les programmes de recherche régionaux.

- **Opportunités**

Les éléments externes qui sont à même de favoriser l'émergence de notre projet sont listés ci-dessous.

- Observations. La mise en œuvre de nouvelles missions spatiales d'observation de l'océan, avec en particulier l'altimétrie en bande Ku (AltiKa) et le développement l'altimétrie à large fauchée (mission SWOT Surface-Water/ Ocean-Topography), et l'observation de la couleur de l'eau par des satellites géostationnaires (OCAPI), qui augmenteront de façon significative le spectre des échelles spatio-temporelles observées.

- Opérationnel. La consolidation des Marine Core Services au niveau européen (GMES), qui exigera une évolution/amélioration permanente des méthodes et outils de simulation et de prévision.

- Climat. Les impacts croissants des changements climatiques sur l'environnement (GIEC) exigeront une approche régionale et pluridisciplinaire pour l'étude de variabilité et de scénarios.

- Calcul. Une évolution favorable des moyens de calcul nationaux (GENCI) et locaux, y compris le stockage et l'accès aux bases de données.

- **Risques**

Les éléments externes qui sont de nature à contrarier la réalisation du projet relèvent surtout de la structuration locale et nationale de la recherche.

- Calcul. Une évolution insuffisante de la puissance des moyens de calcul nationaux et des capacités de stockage serait limitante quant à la gamme d'échelles spatiales et temporelles que nous pourrions étudier.

- Opérationnel. La structuration au niveau national des relations entre la recherche et l'opérationnel dans le domaine de la simulation à très haute résolution des circulations océaniques à l'échelle globale aura également un impact sur la nature des problèmes que nous pourrions traiter à l'avenir.

- A plus long terme. Difficulté de maintenir une "pyramide de compétences" équilibrée au sein de l'équipe, entre chercheurs "débutants" et "expérimentés", en cas d'évolution négative des possibilités de recrutement au CNRS.

## 2. **Projet Scientifique :**

Notre équipe confirme pour son projet, son appartenance affirmée à l'INSU, et la continuité de ses engagements dans les programmes d'océanographie opérationnelle (MCS GMES), d'observation spatiale (JASON, ALTIKA, SMOS ...) et d'étude des changements climatiques (CLIVAR). Nous confirmons également la continuité de notre organisation selon les trois axes décrits dans le bilan, "Méthodologies", "Simulations, réanalyses, processus" et "Systèmes d'observation". Notre document projet insiste donc plus spécialement sur les nouvelles orientations que nous envisageons à l'horizon 2011-2014.

- **Enjeux et frontières**

Notre projet scientifique est défini par les nouvelles frontières que les progrès réalisés dans nos domaines de compétences ont fait émerger. Il met au premier plan une des spécificités de l'équipe, qui est l'aspect multi-échelles de son approche, les outils développés visant à capturer la plus large gamme d'échelles possibles, les limites étant souvent fixées par celles des moyens de calcul.

Nouveaux enjeux de l'observation spatiale: Les programmes d'observation spatiale de l'océan en préparation nous promettent des d'informations/images différentes de celles que nous avons traitées jusqu'à présent. La réalisation de la mission d'altimétrie ALTIKA/SARAL, le projet d'une mission d'**altimétrie à large fauchée** (SWOT) ouvre pour nous, au delà des usages plus classiques de l'altimétrie, la perspective d'une observation altimétrique fine incluant les processus de sub-mésoéchelle. L'observation de la **couleur de l'eau** par des satellites géostationnaires augmentera de façon très significative le spectre des échelles spatio-temporelles observées.

La frontière de la sub-mésoéchelle océanique pour la bio-géochimie marine: Les moyens d'observation cités ci-dessus ouvrent la perspective d'une amélioration sensible de la connaissance de la dynamique océanique de sub-mésoéchelle, dont la signature sur l'évolution de la biologie marine et des flux biogéochimiques est qualifiée de majeure. Il est donc important de repousser la frontière que représente la sub-mésoéchelle dans les modèles, conjointement à un accroissement de notre implication vers la biogéochimie marine et le couplage de la physique et des écosystèmes.

Vers de nouveaux développements méthodologiques: L'utilisation de ces nouvelles observations, tant pour la validation, que pour la contrainte (assimilation, forçage) des modèles, demandera le développement de nouvelles méthodologies qui devront prendre en compte cette augmentation de la gamme d'échelles présente dans les observations et à représenter dans les simulations.

Les changements climatiques: Les travaux récents du GIEC (IPCC AR4, 2007) ont fait apparaître la nécessité d'études sur la régionalisation des changements climatiques, thématique qui demandera de développer de nouveaux systèmes de simulation des circulations océaniques à l'échelle régionale.

- **Thèmes scientifiques et organisation**

De l'analyse ci-dessus procèdent les choix de thématiques et d'organisation scientifiques de l'équipe MEOM pour la période 2011-2014. A l'évidence, dans ce qui suit nous ne dressons pas un tableau exhaustif des activités de l'équipe sur la période 2011-2014 mais soulignons les axes que nous souhaitons renforcer et l'approche de travail que nous mettrons en œuvre.

Poursuivre le développement des outils et des méthodologies. Concernant les outils de modélisation, nous proposons d'accompagner le développement du système NEMO vers la *sub-mesoéchelle*. Ceci consiste en particulier à développer et adapter les paramétrisations du mélange latéral et vertical dans ce régime. Les efforts porteront aussi sur l'amélioration des forçages atmosphériques. La problématique du forçage des modèles d'océan sera par ailleurs abordée par le biais de méthodes de désagrégation (dynamique ou statistique) des variables composantes atmosphériques de surface, ce qui ouvre la perspective d'études de scénarios climatiques dans un cadre de simulations forcées. Concernant les méthodes d'assimilations, nous proposons de poursuivre les développements théoriques d'une part et de contribuer activement au développement de NEMO-assim. Les développements méthodologiques pourront en particulier s'articuler autour des deux axes transverses ci-dessous :

- la réduction des *incertitudes*: Les méthodes d'assimilation de données seront mise en œuvre pour estimer les incertitudes de modélisation et optimiser le choix des paramètres des modèles (tant physiques que biogéochimiques). On engagera parallèlement une réflexion sur le traitement systématique des incertitudes en modélisation (approches stochastiques).

- le traitement de séries d'*images*: Les nouvelles sources de données (altimétrie à large fauchée, couleur de l'eau) posent le problème du traitement systématique de séries d'images et de la contrainte ou la validation de modèles au moyen de ces séries. Dans la continuité des travaux engagés dans le cadre de l'ANR ADDISSA et en lien avec les mathématiciens du LJK, on se propose de poursuivre cette réflexion sur l'exploitation de l'information contenue dans des séries d'images.

Poursuivre l'étude de la variabilité océanique dans un contexte global. DRAKKAR s'est montré très structurant pour l'équipe et la communauté océanographique nationale, et nous travaillerons à pérenniser ce concept. Nous avons par ailleurs la conviction que l'effort associé à la réalisation de simulations réalistes à haute résolution de la circulation océanique à l'échelle globale de type DRAKKAR et au maintien des bases de données multi-résolution associées est essentiel et doit être envisagé de manière collective à l'échelle nationale. Cet effort pourra être coordonné avec MERCATOR-Océan, en particulier au travers des projets sur les réanalyses océaniques. La coopération avec les acteurs opérationnels sera probablement indispensable pour le passage à des résolutions encore plus élevées. Nous souhaitons contribuer au développement de ce service à la communauté recherche. Ce cadre général à l'échelle globale nous permettra de tirer le meilleur parti de la complémentarité entre modèles et observations. On souhaite organiser notre activité scientifique autour des questions suivantes :

- Etude de la variabilité océanique à l'échelle globale, avec comme objectifs majeurs la différenciation des composantes intrinsèques et forcées, et la caractérisation statistique (événements extrêmes notamment) de la variabilité de la topographie de surface l'océan en lien étroit avec les missions d'altimétrie spatiale.
- Rôle des interactions d'échelles dans le climat global, et en particulier le rôle de la mésoéchelle sur le maintien des eaux modales, et rôle des processus de fine échelle dans la dynamique des courant profond de bord ouest.
- Etudes sur les impacts régionaux du changement climatique dans certaines régions océaniques clés, par le biais de **laboratoires régionaux** fortement imbriqués dans un contexte de circulation globale. Ces laboratoires seront utilisés pour étudier les impacts régionaux du changement climatique, par le biais de la désagrégation des forçages extraits des simulations de scénarios IPCC.

Renforcer la thématique Bio-géochimie et Ecosystèmes. Le rôle de la mésoéchelle et de la sub-mésoéchelle océanique est crucial, tant sur la dynamique des écosystèmes que sur les cycles biogéochimiques. Une part des activités de l'équipe est déjà organisée autour de ces questions. La modélisation de la production primaire océanique est abordée depuis 2002 au travers de problèmes d'assimilation de données dans un système couplé physique-bio-géochimie simplifié de l'Atlantique Nord. La réponse des cycles biogéochimiques à échelle plus globale est quant à elle abordée dans l'équipe depuis plus récemment dans le cadre d'études jointes avec le LSCE portant sur la variabilité des flux de CO<sub>2</sub> dans l'océan austral. Nous souhaitons consolider cet axe thématique en nous concentrant sur les questions liées au traitement des *incertitudes dans le système couplé physique-bio-géochimie*, et plus précisément sur :

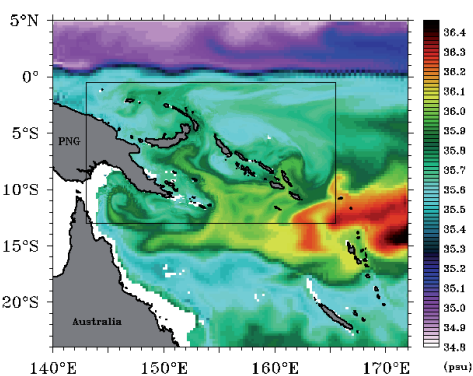
- la quantification des erreurs dans les simulations couplées physique-bio-géochimie, en particulier en tirant profit des nouvelles observations de couleur de l'eau disponibles à cette échéance,
- la réduction des incertitudes liées à la représentation (i) des processus physiques de méso-échelle et de subméso-échelle dans la continuité du projet SOUTHERNCROSS, (ii) des cycles biogéochimiques (notamment par des approches permettant l'estimation des paramètres des modèles biogéochimiques), (iii) du couplage entre processus physiques et cycles biogéochimiques, et en particulier la dépendance de ce couplage aux échelles spatiales résolues.

Cet effort s'inscrit dans le cadre d'un environnement structuré auquel les membres de l'équipe contribuent activement (GODAE Ocean View, missions spatiales en préparation OCAPI et Sentinel III). Enfin l'équipe prend part à la structuration en cours de la communauté nationale autour du système NEMO-PISCES en particulier au sein de DRAKKAR.

Structurer l'expertise autour de Laboratoires Régionaux. Les différents volets de notre projet exigent des sauts quantitatifs, soit en termes de résolution de modèle (de la méso à la sub-mésoéchelle), soit à cause d'une montée en puissance des simulations couplant la physique et la bio-géochimie. Les ressources à mobiliser seront donc très importantes, et il nous apparaît

essentiel de concentrer nos efforts sur des zones géographiques pertinentes (i.e. homogènes dynamiquement ou climatiquement), qui serviront de cadre réaliste aux études méthodologiques et seront également par eux même des objets d'études. Afin de rationaliser la mise en œuvre de ces outils, on se propose d'organiser notre activité autour de 3 *Laboratoires Régionaux*. Ces Laboratoires correspondent à des configurations régionales de modèle de haute ou très haute (<10 km) résolution, capables d'intégrer d'une part des contraintes de circulation globale sur le long terme, et d'autre part tous les éléments (dynamique, bio-géochimie, forçages, assimilation, ...) indispensables aux objectifs scientifiques visés. Le choix des régions a été guidé afin de permettre des interactions fructueuses avec les campagnes de mesures in situ. A terme ces régions constitueront des laboratoires privilégiés pour l'étude du couplage entre physique et bio-géochimie et des interactions océan-atmosphères à l'échelle régionale.

la Mer des Salomon. Cette région mal connue est située au nord est de l'Australie. Elle constitue un prototype de connexion entre latitudes moyennes et océan tropical et est impliquée dans le déclenchement des événements El Nino. Elle est caractérisée par une géométrie complexe propice à évaluer les apports de l'altimétrie haute résolution (ALTIKA et SWOT). Cette région fait actuellement l'objet d'un projet ANR en cours (SOLWARA) et d'une collaboration avec l'IRD.



*Fig. 1. Salinité à 112 m dans l'ouest du Pacifique tropical, simulée par une imbrication d'un modèle à 1/12° de la mer des Salomon (cadre intérieur noir) dans un modèle régional à 1/4° du Pacifique Sud-Ouest, lui même forcé à ses frontières par la solution d'un modèle global au 1/4° qui a été intégré sur la période 1958-2007. Cette figure illustre le potentiel de nos outils de simulations pour la construction de "laboratoires régionaux" à très haute résolution intégrant l'influence des grandes échelles de temps et d'espace sur la dynamique locale.*

l'Océan Austral. Ce bassin, qui assure la connexion entre les grands bassins océaniques joue un rôle crucial dans l'évolution du climat global. Il intervient en effet de manière active dans le cycle du carbone global et le contrôle du transport méridien de chaleur. Il fait l'objet de plusieurs projets en cours au sein de l'équipe (dont l'ANR SOUTERNCROSS) et de collaboration avec le LGGE. Un intérêt particulier pourrait être porté sur la zone de l'Indien Sud où se concentrent plusieurs efforts d'observations de l'océan physique et biogéochimique.

l'Atlantique Nord. Ce bassin océanique joue un rôle essentiel dans le climat global. En tant que zone de formation d'eau dense, il contrôle activement la circulation méridienne et le transport de chaleur de l'océan global. Il sera un objet d'étude central du projet DRAKKAR (en coopération avec le LPO, l'IFM Kiel et DFO Canada qui conduisent également des observations dans la région).

### 3. Mise en œuvre

- **Adéquation des moyens humains et financiers.**

L'ensemble des personnels permanents de l'équipe (soit 3 DR CNRS, 3 CR CNRS, 1 MdC UJF, 2 IR CNRS, 0,8 A UJF en CDI), sera engagé dans ce projet. Comme par le passé, nous comptons sur 5 à 7 Doctorants et 5 à 7 Postdoctorants en permanence dans l'équipe (soit environ 20 personnes en moyenne). Un renforcement du potentiel permanent IR et CR sera nécessaire. Nous financerons ce projet par le biais des appels d'offre TOSCA, ANR, GMMC, LEFE-INSU, GENCI, UE.



- **Analyse prospective en termes de moyens**

Pour mener à bien ce projet, l'équipe aura besoin de:

- Recruter 1 IR calcul scientifique pour soutenir le développement des nouvelles méthodologies, la construction et l'application des nouveaux outils, et l'élargissement du spectre disciplinaire des activités.
- Recrutement d'un chercheur sur l'axe thématique "biogéochimie et écosystèmes" afin de consolider les compétences de l'équipe en matière de couplage physique-biogéochimie.

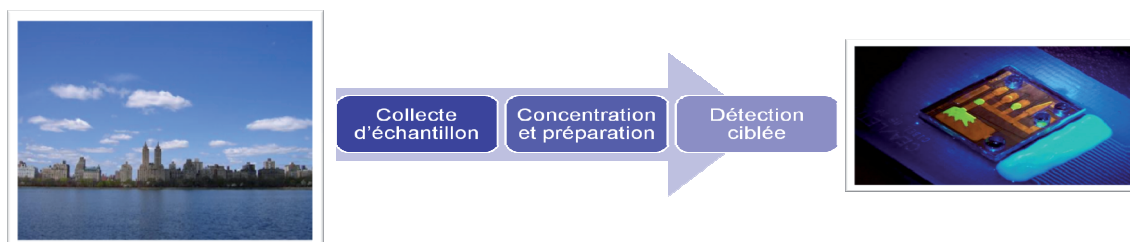
- **Partenariats et Coopérations**

Notre projet exige des fortes coopérations, dans la continuité des coopérations existantes, avec au premier rang le LJK à Grenoble, le groupe international DRAKKAR et MERCATOR-OCEAN/MCS pour les méthodologies et les outils. Pour les activités autour des laboratoires régionaux, les coopérations suivantes seront développées. DRAKKAR, LGGE, LSCE, LOV, CSIRO et FSU pour les laboratoires Austral et Atlantique Nord. IRD, SCRIPPS, CSIRO pour laboratoire régional Mer des Salomon. LOCEAN, LSCE, GODAE Ocean View pour le couplage physique- biogéochimie. CERFACS et le LGGE pour les méthodes de désagrégation des forçages.

### ► PROSPECTIVES POUR L'ÉQUIPE MIP

#### 1. Dispositif d'extraction de nano et microparticules (J-L ACHARD, J-M ROUX)

La qualité de notre environnement est devenu un sujet de préoccupation et sa surveillance un enjeu de santé publique. Pour ce faire, des technologies doivent être développées afin de collecter des échantillons d'air ou d'eau, de les préparer en vue d'une analyse appropriée.



Les cibles recherchées ont une taille caractéristique comprise entre le nm (toxines et prions) et 10 µm (bactéries) en passant par quelques 100 nm (virus). Les dispositifs de capture sont généralement fondés sur des principes inertiels efficaces pour la capture de bactéries mais en revanche inefficaces pour la capture de petites particules comme les virus.

Les petites particules comme les virus ne sont donc pas prises en compte. Un premier macro-dispositif, fondé sur un principe innovant de collecte électrostatique humide, est en cours de développement dans le service BioSoC du DTBS/LETI/CEA Grenoble pour effectuer une collecte de large spectre. Ce dispositif a été développé dans le cadre de la convention de collaboration PIM avec le LEGI.

Les objectifs de ce projet sont :

1. modéliser et simuler numériquement le dispositif de collecte dans sa globalité. Cela suppose de prendre en compte de nombreux phénomènes physiques couplés : champs hydrodynamique et thermique au sein deux écoulements gazeux co-courants, décharge couronne & vent ionique, dispersion d'un nuage de particules entraîné par le gaz périphérique et sa dérive pariétale sous l'effet des forces de coulomb, nucléation & croissance de gouttelettes à partir de ces particules solides ...
2. Miniaturiser le dispositif de collecte en s'appuyant sur la modélisation précédente afin i) de le rendre réellement autonome et portable, ii) de déployer un grand nombre de collecteurs/analyseurs pour pouvoir les placer en des points clés vis-à-vis des écoulements d'air et iii) de favoriser/faciliter son intégration par l'emploi des micro-technologies développées au LETI

Galbrun E., Achard J-L, Fouillet Y. & Charles R., Dispositif d'extraction air/eau par collection électrostatique semi-humide et procédé utilisant ce dispositif, Brevet CEA/CNRS n° WO 2007/012447 A1, Date de dépôt :28 juillet 2005

Forces	Faiblesses	Opportunités	Risques
Ligne de recherche pérenne ayant déjà donné lieu à plusieurs avancées.	Aucune faiblesse identifiée	Le développement des maladies nosocomiales (700 000 malades par an en France) d'une part et les risques de bioterrorisme et de guerre biologique d'autre part créent	Le sujet est extrêmement concurrentiel. Sur le plan commercial, des systèmes apparaissent régulièrement sur le marché. L'étude
Facilité de mise en			

œuvre de nouvelles puces au CEA/LETI		une pression considérable sur le développement de systèmes d'alerte de contamination (ou de microsystèmes pour ce qui nous concerne). Plusieurs industriels se trouvent impliqués dans des activités de R&D avec le CEA / LETI / DTBS avec lequel nous travaillons en partenariat dans le cadre de PIM.	scientifique rigoureuse de leurs performances est longue et délicate.  Du point de vue scientifique la multiplicité des phénomènes & disciplines mis en jeu est un sérieux obstacle à une optimisation rationnelle des systèmes nouvellement conçus.
--------------------------------------	--	---	--

## 2. Détection sans marquage intégrée dans un labopuce digital (L. DAVOUST)

L'objectif de ce projet est le même que certaines techniques comme les micro-cantilevers ou les SPR (*Surface Plasmon Resonance*) qui visent à détecter sans marquage fluorescent des biomolécules cibles. Cependant dans notre cas, on cherche à privilégier une intégration naturelle au sein d'un labopuce digital (à gouttes). En pratique, il s'agit de détecter des cibles moléculaires en les capturant à la surface d'une goutte fonctionnalisée par des sondes tensioactives. La faisabilité d'une détection opto-fluidique à une surface liquide - sans marquage fluorescent - a été démontrée par Picard & Davoust (2009) en utilisant pour systèmes modèles des lipides et des séquences d'oligonucléotides complémentaires. Il a été démontré qu'un réseau d'ondes capillaires confinées pouvait entrer en résonance en mesurant par interférométrie un spectre de modes et de fréquences propres (10-100Hz). La grande sensibilité de ce spectre de résonance à la tension de surface dynamique a ainsi été mise en évidence. Typiquement, avec une interface eau/air recouverte par des lipides DOGS, on assiste à une modification de la signature spectrale des ondes qui dépend de la quantité de sondes lipidiques présentes à la surface liquide. Le spectre est encore plus modifié lorsque des séquences ADN sont capturées aux lipides (discrimination ADN hybridé / ADN non-hybridé prouvée).

Nous proposons la miniaturisation de ce nouveau phénomène de résonance capillaire. Notre objectif est de développer un micro-dispositif de détection sans marquage en s'appuyant sur les fondamentaux précédents. En pratique, le projet consiste à entretenir une résonance capillaire à la surface d'une gouttelette. Les ondes sont tout susceptibles d'entrer en résonance capillaire dans le cas d'une gouttelette si la ligne de contact dans le plan de mouillage est directement sollicitée par une contrainte normale électrique alternative (électromouillage oscillatoire). Ces ondes capillaires comportent une composante progressive centripète (de la ligne de contact vers l'apex de la goutte) qui doit permettre d'entretenir une résonance à l'apex tout en concentrant les complexes cible-sonde, améliorant au passage par concentration fluidique tout autre moyen de détection classique par fluorescence. Du point de vue valorisation scientifique et industrielle, en concentrant notre effort sur la résonance capillaire en gouttes, les avantages attendus sont les suivants :

- 1.) la totale intégration (compatibilité) d'un moyen de détection sans marquage dans (avec) un labopuce à gouttes,
- 2.) la simplicité et la rapidité de mise en œuvre d'un biocapteur embarquable voire consommable,
- 3.) une économie de réactifs (volume d'une goutte : 0.1-1 ml),
- 4.) une détection ultra-résolue par concentration fluidique des cibles à l'apex d'une goutte (possibilité éventuelle de contourner une PCR),
- 5.) et enfin, l'accélération d'un processus de reconnaissance sonde-cible par un micro-vortex au sein de la goutte induit par la composante progressive des ondes électriquement excitées.

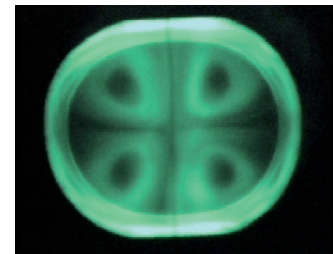
Picard, C. & Davoust, L. (2009) A "fluid cantilever" to detect amphiphilic biomolecules, Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects, **343**, 12-19

Picard, C., Davoust, L. (2008) Transient aging of a liquid-gas interface stretched by standing waves: on the interplay of chemical kinetics, J. Colloid & Interface Sci., **327**(2), 412-425

Forces	Faiblesses	Opportunités	Risques
1. Facilité de conception et mise en œuvre de nouvelles puces <i>via</i> la convention PIM. 2. Ce sujet bénéficie d'un candidat et d'une bourse de doctorat. 3. Brevet CEA/CNRS/G-INP en cours de dépôt. 4. Ce projet s'appuie sur le concept de résonance capillaire à un ménisque mis en évidence dans la thèse de C. Picard.	Nécessité de développer des tests sur une panoplie significative de cibles biologiques, ce qui n'est pas le cœur d'activité de MIP.	La détection sans marquage est depuis peu identifiée dans la littérature comme un thème prioritaire émergent. Elle constitue une étape intéressante pour les laboratoire sur puces à gouttes en favorisant leur valorisation par rapport à des technologies fondées sur des microcanaux.	Le sujet est très concurrentiel. Une conférence internationale a été consacrée au thème de la détection sans marquage en 2008 (1 <sup>st</sup> int. workshop on label free biosensing, Eschende, Pays-Bas).

### 3. Brassage électrique en goutte (L. DAVOUST, Y. FOUILLET)

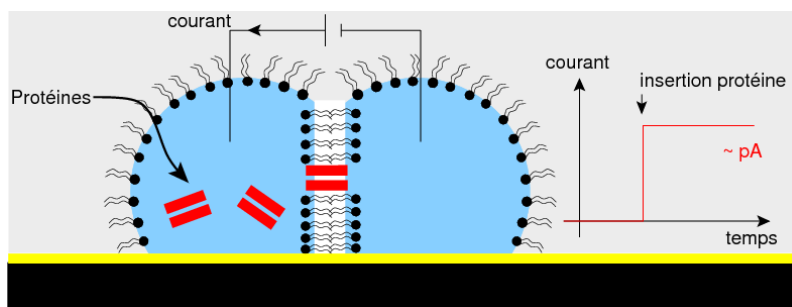
La microfluidique en gouttes s'impose progressivement dans les labopuces destinés aux analyses biologiques ou biotechnologiques. Des fonctions telles que la vectorisation d'analytes, leur distribution, leur concentration ou détection sont confiées à des gouttes déplacées, fusionnées ou fragmentées, par électromouillage sur diélectrique (EWOD). La purification d'échantillons biologiques reste une fonction indispensable pour laquelle un micro-procédé intégrable dans un labo-puce gagnerait à être développé. Dans ce projet avec le CEA/LETI/DTBS, la centrifugation couplée à une fragmentation pour extraire des espèces est envisagée comme un micro-procédé de purification. Récemment, un mouvement de brassage très vigoureux a été mis en évidence dans une goutte en position statique (actuation EWOD mais pas de déplacement); l'électrohydrodynamique (EHD) semble être le mécanisme permettant d'expliquer ce brassage. Les expériences actuellement menées dans la thèse de R. Malk ont vocation à confirmer ce diagnostic; elles portent sur des configurations d'électrodes dévolues à l'émergence contrôlée de vortex au sein d'une goutte.



GENERATION EHD DE 4 VORTEX

Forces	Faiblesses	Opportunités	Risques
Facilité de conception et de mise en œuvre de nouvelles puces au CEA/LETI	Aucune faiblesse évidente	Le développement d'un démonstrateur de laboratoire sur puce digital est devenu une priorité pour le partenaire CEA/LETI/DTBS.  La préparation des échantillons liquides émerge comme une priorité.	Le sujet est devenu très concurrentiel du point de vue scientifique. Trois équipes internationales (coréenne, américaine et hollandaise) focalisent également leur effort de recherche sur le thème du brassage EWOD.

#### 4. NanoBioDrop (B. CROSS, M. VIVAUDOU, E. PEBAY-PEROULA)



Le LEGI poursuit sa collaboration avec l'Institut de Biologie Structurale (IBS) avec l'étude de l'activité de protéines membranaires. Ce projet, initié fin 2007, a bénéficié du récent soutien du programme Interface du CNRS : « Physique, Chimie,

Biologie : soutien à la prise de risque » (appel d'offre de mars 2008) et du RTRA Nanosciences (2009). Il s'agit de construire des membranes biomimétiques en rapprochant par électromouillage des nanogouttes recouvertes par une monocouche lipidique afin d'étudier l'insertion spécifique de protéines membranaires et de caractériser leur activité. Les enjeux de Nanobiodrop sont principalement d'intégrer les fonctions de détection électrique de l'activité protéique au sein d'un microsystème et de créer un réseau dynamique constitué de nanogouttes afin de mimer aussi bien que possible un réseau biologique. Cette nouvelle activité pluridisciplinaire doit permettre de compléter les activités de MIP avec une nouvelle problématique (réseau biomimétique) à la fois fondamentale et à visée applicative.

Forces	Faiblesses	Opportunités	Risques
1. L'électromouillage et l'EHD sont devenus des thèmes familiers de MIP ces dernières années.	Aucune faiblesse identifiée	1. Le partenaire IBS apporte la complémentarité idéale du point de vue des compétences	Aucun risque identifié pour l'instant

#### 5. Micro-Melange Actif (S. TARDU)

Le projet consiste à court terme à montrer la faisabilité technique de la stratégie de micro-mélange active et à développer à long terme un prototype dans un micro-canal. Nous avons d'ores et déjà commencé à simuler des jets synthétiques interactifs réels par simulation de Lattice-Boltzmann et les résultats sont encourageants. Un des points culminants du projet consiste à utiliser les effets électrocinétiques pour créer les structures vorticitaires artificielles.

Tardu, S. & Nacereddine, R. (2009) *A new active micro-mixing strategy*, Heat Transf. Eng., 30(1-2), 113-120

Tardu, S., Nacereddine, R. & Doche, O. (2008) *An interactive bypass transition mechanism in wall-bounded flows*, J. Fluid Mech., (615), 345-369

Forces	Faiblesses	Opportunités	Risques
1. Un étudiant en M2 travaillera sur le sujet avec prolongation éventuelle en thèse 2. Le sujet concerne le mélange local dans les microsystèmes ; cette problématique est identifiée comme importante par la communauté microfluidique.	Aucune faiblesse identifiée	Partenariat avec l'Un. de Newcastle (L. Djenidi)	1. Difficultés éventuelles dans la réalisation du prototype.

## 6. Nouvelle technique hybride d'impression pour les piles à combustible

(A. SOUCEMARIANADIN, M. TEMBELY)

D'un point de vue scientifique, ce projet porte sur la compréhension de l'atomisation de fluides d'un nouveau dispositif « *Spray on Demand* ». Nous avons choisi une voie multidisciplinaire utilisant largement l'approche déterministe et une analyse statistique. Les applications potentielles de ce dispositif concernent plus particulièrement l'éjection de fluides complexes (non-newtoniens, fluides chargés avec particules).

L'objectif finalisé de ce projet, financé par l'ANR CATIMINHY (*Couches Actives développées par des Technologies d'IMpression HYbrides*), est la fabrication de piles à combustibles par des techniques d'impression. Le LEGI est responsable du sous-projet « Nouvelles techniques hybrides d'impression ». Les étapes sont les suivantes :

1. Étude de la formation de spray à partir d'un jet aléatoirement déstabilisé, une collaboration avec l'université de Bristol sera mise en place. Un code numérique pour la modélisation est en cours de développement avec le Prof. Jens EGGERS.
2. Etude d'instabilités linéaires pour l'atomisation ultrasonique.
3. Développement d'un modèle complet de formation de spray en couplant les méthodes Monte Carlo, le Principe du Maximum d'Entropie et le Principe de Hamilton Modifié.
4. Caractérisation du dispositif de spray à la demande par des mesures granulométriques (LEGI et CORIA)
5. Étude de l'impact de gouttes et spray sur divers substrats poreux, non-poreux et/ou réactifs
6. Développement d'un modèle théorique multi-échelle pour modéliser la métallisation
7. Optimisation des différents types de métallisation (cuivre et or).

Tembely, M., Lecot, C. & Soucemarianadin, A. (2009) *On the theoretical and experimental Analysis of a Novel Ultrasonic Atomization device*, J. of Vibrat. & Acoustics (soumis)

Tembely, M., Lecot, C. & Soucemarianadin, A. (2009) *Drop-Size Distribution of on Demand Spray*, J. Appl. Mech. (soumis)

# MOST

## MODELISATION ET SIMULATION DE LA TURBULENCE

### PROJET

#### ► INTRODUCTION

Les objectifs scientifiques de l'équipe MOST portent sur l'étude, par simulation numérique tridimensionnelle, des écoulements turbulents. Nos objectifs sont de deux ordres. Il s'agit d'abord de développer de nouveaux outils permettant de simuler numériquement des écoulements turbulents plus complexes, géométriquement ou physiquement. Nous travaillons donc sur de nouvelles techniques numériques ou de nouveaux modèles physiques. Ensuite, nous avons vocation à utiliser nos simulations comme des expériences numériques. L'objectif est alors de comprendre finement la dynamique de l'écoulement et ses conséquences. Pour atteindre ces objectifs, nous travaillons sur différents codes de calcul. Ces codes sont développés en interne ou font l'objet de collaboration avec des centres de recherche extérieurs.

Pour nos études, nous utilisons en particulier la technique dite de simulation des grandes échelles (SGE). Cette méthode permet de prendre en compte les instationnarités de l'écoulement avec des coûts de calcul abordables. La philosophie de cette technique consiste à résoudre uniquement les échelles les plus significatives de l'écoulement : les grandes échelles du mouvement. Il reste donc à modéliser la contribution des petites échelles de l'écoulement. Ces dernières sont modélisées à l'aide de modèles sous-maille. De nombreux ouvrages détaillent cette technique (Sagaut, 2003 ; Lesieur *et al.*, 2005).

La suite de ce document détaille notre projet scientifique pour le prochain quadriennal en distinguant quatre thématiques : la SGE d'écoulements physiquement complexes, la SGE en géométrie complexe, la simulation instationnaire d'écoulement diphasique et l'évaluation de la fiabilité d'une simulation numérique.

#### ► LA SGE POUR DES ECOULEMENTS PHYSIQUEMENT COMPLEXES

Différentes communautés scientifiques souhaitent aujourd'hui utiliser la SGE pour leurs problèmes spécifiques mêlant la turbulence à d'autres complexités physiques : écoulements réactifs, écoulements multiphasiques, écoulements magnéto-hydro-dynamiques, écoulements de gaz réels... Ces nouvelles demandes nécessitent de modéliser de nouvelles quantités. Nous souhaitons collaborer avec ces différentes communautés afin de leur apporter notre expertise en modélisation pour la SGE. Ce projet est un projet majeur du quadriennal à venir en raison du potentiel scientifique qu'il représente mais également en raison des nombreuses collaborations envisagées.

Pour répondre aux nouveaux besoins en terme de modélisation pour la SGE, des nouvelles techniques visant à mesurer de façon systématique la performance des procédures de SGE ont été proposées. Ainsi, Moreau *et al.* (Phys. Fluids, 2006) définissent un estimateur optimal qui permet de calculer l'erreur minimale que l'on peut espérer d'un modèle sous-maille. Cet estimateur optimal est défini en fonction du jeu de paramètres d'entrée du modèle. Balarac *et al.* (Phys. Fluids, 2008a et b) ont appliqué cette méthode au domaine de la combustion. Cela a permis de définir les meilleurs jeux de paramètres et de minimiser l'erreur des relations algébriques dans les modèles pour la variance scalaire et pour le taux de dissipation scalaire. A ce jour, le concept n'a été appliqué que pour mesurer et corriger des modèles existants. L'objectif sera désormais d'utiliser directement en simulation des estimateurs des termes de sous-mailles dont on sait qu'ils commettent la plus petite erreur possible. Cette nouvelle approche permettrait d'étendre

considérablement le champ d'applications de la SGE.

Le projet que nous souhaitons mener vise à explorer les possibilités offertes par les nouvelles procédures d'optimisation dans le cadre de la modélisation d'écoulements turbulents. L'objectif est d'élaborer un estimateur efficace (au sens de l'erreur quadratique) des termes sous-mailles qui doivent être modélisés en SGE. Nous réaliserons des simulations directes (SND) de haute résolution qui constitueront la base de données pour élaborer le modèle de substitution. Il faudra ensuite trouver la meilleure combinaison de paramètres physiques pertinents et le type de modèle de substitution. D'un point de vue des mathématiques appliquées, le problème se résume à déterminer une relation algébrique entre une sortie, i.e. la quantité sous-maille à modéliser, et des entrées, i.e. le jeu de paramètres d'entrée du modèle. Ce problème n'est pas nouveau, il est connu sous le nom de *modélisation « boîte-noire » (black-box)* en théorie de systèmes. Par ailleurs, depuis de longues années, les statisticiens étudient ce problème sous le nom de « régression non-paramétrique ». Dans le cadre de la SGE, il y a plusieurs aspects particuliers pour la mise en place de cette méthode. D'abord, il faut s'attendre à une dimension de régression relativement élevée, impliquant une approximation paramétrique de grande complexité. De plus, des algorithmes d'estimation sous contraintes devront parfois être utilisés. En effet, le modèle doit approcher au mieux le flux sous-maille mais reproduire également certaines de ces fonctions essentielles telles que son rôle dissipatif dans de nombreux cas. Enfin, le nombre de données à traiter est très important et nécessitera une algorithmique adaptée.

Pour les aspects qui viennent d'être évoqués, des collaborations sont envisagées avec des laboratoires de mathématiques appliquées tel que le LJK (Grenoble) et le LRI (Orsay). De plus, de nombreuses collaborations sont envisagées au niveau régional, national et international pour la réalisation de SGE dans différents domaines d'applications. Ainsi, en thermohydraulique, dans le domaine de la sûreté nucléaire, une étude en collaboration avec le CEA (Grenoble) vise à améliorer la modélisation du terme sous-maille dans l'équation de transport de la température. L'objectif est de tenir compte des propriétés moléculaires du fluide. Ceci est important pour certains réacteurs de quatrième génération qui utilisent des fluides aux propriétés moléculaires particulières. Ce projet bénéficie d'une bourse de recherche de Grenoble-INP. Une autre collaboration sera également poursuivie avec le LASEF (Lisbonne) et l'université du Texas à Austin. Dans ce cas, il s'agit de modéliser les termes sous-mailles spécifiques à la simulation d'écoulements réactifs. Un effort particulier doit porter sur la modélisation du taux de dissipation sous-maille d'un scalaire. Des contacts sont également établis avec des astrophysiciens de l'université Stanford et du centre NASA Ames pour la réalisation de SGE réalistes de la magnéto-convection solaire. Dans ce cas, il s'agit d'évaluer et d'améliorer la performance des modèles du flux magnétique sous-maille qui apparaît dans l'équation de transport du champ magnétique. Enfin, dans le cadre d'une collaboration avec le SIMUNEF (Paris), des simulations de gaz dense seront réalisées. L'objectif sera alors d'évaluer la nécessité de corriger les modèles sous-maille classiquement utilisés pour les SGE de gaz parfait. Ce projet bénéficie du soutien du LEGI dans le cadre d'un appel d'offre interne.

## ▶ LA SGE EN GEOMETRIE COMPLEXE

Un autre volet concernant le développement de la SGE est la prise en compte de géométries complexes. En effet, pour être attractif, la SGE doit pouvoir être utilisée dans des géométries réelles. C'est ce que nous avons initié depuis le précédent quadriennal avec l'étude par SGE de l'écoulement d'un diffuseur de centrale hydraulique. Cette étude se poursuit en collaboration avec Alstom Power montrant l'intérêt des industriels pour la SGE en géométrie réelle. Cette étude a également mis en avant la nécessité d'un certain nombre de développements pour systématiser l'utilisation de la SGE. Par exemple, le développement de « lois de paroi » adaptées nous a permis de nous affranchir des contraintes d'une discrétisation trop lourde. De plus, le développement de conditions d'entrée instationnaires réalistes a été primordial pour l'obtention de résultats corrects.



De cette première étude, il ressort que le verrou principal à une SGE en géométrie complexe est la définition des conditions aux limites (paroi, entrée, sortie, ...). C'est donc vers la définition de conditions limites plus performantes que nos recherches vont s'orienter. De nombreuses pistes sont envisagées. Premièrement, nous souhaitons corriger les « lois de parois » que nous avons développé pour prescrire également le bon niveau d'intensité turbulente. En effet, seules les vitesses moyennes sont explicitement définies par les « lois de paroi » actuelles. Ensuite, nous souhaitons étendre ces « lois de parois » aux écoulements compressibles. Nous souhaitons également étudier les possibilités d'utiliser des techniques de résolution hybride couplant technique de simulation statistique (RANS) et SGE. Cette notion de couplage multi-échelle doit également pouvoir être utilisée pour définir des conditions d'entrée adaptées. Nous souhaitons ainsi poursuivre notre effort pour permettre l'interfaçage entre nos SGE et des résultats de mesures expérimentales ou de simulations statistiques. A terme, dans le cas de couplage RANS/SGE, on envisagera un couplage *two-way* où l'interfaçage se fait dans les deux directions : le RANS sert de condition aux limites pour la SGE et inversement. De cette façon des événements particulièrement influents de l'écoulement traité par SGE pourraient être pris en compte dans les conditions de sortie du calcul RANS. Ce travail se poursuivra en particulier avec une partie de l'équipe ENERGETIQUE sur des thématiques liées aux machines hydrauliques. Des discussions sur la poursuite d'une collaboration avec Alstom Power sont également en cours.

### ► SIMULATION INSTATIONNAIRE D'ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES

La simulation d'écoulements diphasiques a été récemment entreprise dans notre équipe. Nous nous sommes ainsi dotés d'un code de simulation diphasique dans le cadre d'une collaboration avec le *Center for Turbulence Research* de l'université Stanford. Ce code utilise des techniques de suivi d'interface de type « level set » et utilise une méthode de type « Ghost Fluid » pour la prise en compte des conditions de saut à l'interface. Dans le cadre de l'Institut Carnot « Energie du Futur », nous avons développé un modèle de transfert de masse permettant de prendre en compte les phénomènes d'ébullition dans nos simulations.

Dans ce domaine, nos perspectives sont de deux ordres. Tout d'abord, nous souhaitons développer des simulations d'écoulements diphasiques en géométrie complexe. Ainsi, dans le cadre d'une collaboration avec G.-H. Cottet (LJK, Grenoble), nous souhaitons mettre en place des méthodes particulières pour le transport d'un scalaire (dans le cas d'un écoulement diphasique, le scalaire transporté étant la fonction « level set »). Cette méthode nous permettra de traiter des géométries complexes, mais également d'avoir un raffinement local dans les régions où les gradients scalaires sont importants, ce qui est particulièrement adapté à la présence d'interfaces diphasiques. De plus, cela permettrait d'utiliser des niveaux de résolution découplés pour le transport de la quantité de mouvement et le transport de l'interface. On pourra ainsi résoudre la dynamique de l'écoulement par SGE tout en restant au niveau d'une résolution directe pour la dynamique de l'interface.

Nous voulons également poursuivre nos efforts de modélisation des transferts de masse (ébullition, cavitation, ...). Une première étape serait d'étendre nos techniques de simulations d'écoulements diphasiques aux écoulements compressibles. Ensuite, nous souhaitons bénéficier de la forte expertise de certains membres du LEGI pour développer une modélisation numérique adaptée. A court terme, l'objectif est d'être capable de réaliser des simulations directes (SND) de ces écoulements. Ces SND pourront alors servir de base de données pour le développement de modélisations sous-maille en vue de réaliser des SGE de ces écoulements. Nous utiliserons alors les procédures évoquées plus haut.

## ► FIABILITE DES SIMULATIONS NUMERIQUES

Désormais, les simulations numériques sont largement répandues pour l'étude de la mécanique des fluides. Elles peuvent être utilisées aussi bien pour des problèmes fondamentaux que des applications industrielles. Elles sont également de plus en plus utilisées dans des domaines où des expériences ne sont pas réalisables pour des raisons de sûreté ou de coût. Ainsi, la question de la fiabilité des simulations se pose nécessairement. La dernière thématique que l'équipe souhaite développer concerne ainsi l'évaluation de la capacité prédictive d'une simulation. Cet axe de recherche est connu sous le vocable standard de « Validation & Vérification » (V&V) d'après le travail pionnier de Roache (1998). L'objectif du V&V est d'inscrire la simulation dans une démarche rigoureuse. Deux aspects seront pris en compte : la sensibilité de la simulation aux différentes sources d'erreur et l'incertitude intrinsèque de certains paramètres de la simulation.

Les simulations numériques actuellement réalisées comportent un nombre important de sources d'erreur. En effet, ces erreurs peuvent provenir :

- des méthodes numériques (les différents termes des équations résolues sont approximés par des schémas numériques)
- de la modélisation de la turbulence (les différents modèles sous-maille en SGE, par exemple)
- de la modélisation des conditions limites (traitement de la paroi, condition d'entrée, condition de sortie, ...)
- des modèles physiques du fluide (comme le choix de la loi d'état pour les écoulements compressibles, le modèle de changement de phase pour les écoulements diphasiques, ...)
- ...

Il s'agira dans un premier temps d'analyser finement les principales sources d'erreur. L'ensemble conduira au développement d'une métrique de validation permettant de déterminer, par exemple, si les différences entre deux calculs de configurations proches peuvent être considérées comme un résultat physique ou comme des incertitudes de l'outil de simulation. Ce travail se fera en étroite collaboration avec les travaux expérimentaux qui serviront de référence pour la validation. Ce travail permettra d'identifier les sources d'erreurs les plus importantes et de les corriger. Les efforts d'amélioration pourront alors porter sur les erreurs les plus nuisibles aux résultats. Inversement, si nous arrivons à quantifier les différentes sources d'erreur, il sera alors possible de déterminer quels aspects du calcul ont peu d'influence sur le résultat final. L'idée sera alors de favoriser des techniques peu coûteuses numériquement pour ces aspects et de concentrer le coût du calcul sur les parties les plus critiques de la simulation. On peut espérer avoir une optimisation du couple « coût de calcul / précision ».

Dans cette démarche, il faudra également considérer les paramètres qui peuvent influencer le résultat des simulations sans que l'on puisse les interpréter comme des erreurs. Nous chercherons ainsi à évaluer l'influence d'incertitudes intrinsèques aux problèmes (incertitudes sur les conditions de fonctionnement, la loi d'état des gaz, ...). L'évaluation de ces incertitudes est particulièrement importante lorsque l'on compare des résultats expérimentaux et numériques. Un travail dans ce sens a déjà été initié dans l'équipe par P. Congedo et C. Corre. Il s'agit de simuler des écoulements de gaz dense avec une prise en compte des incertitudes sur les conditions opérationnelles, le modèle thermodynamique et la géométrie. L'idée de base est de comprendre la classe d'incertitude la plus influente et de pouvoir ainsi augmenter la fiabilité de la simulation numérique obtenue en fournissant une solution moyenne et sa variance.

La procédure mise en place pour évaluer la capacité prédictive d'une simulation devra être largement applicable. Ainsi, elle doit être indépendante des applications traitées (géophysiques ou industrielles), du type de simulation (stationnaire ou instationnaire, SGE ou RANS, bi ou tri-dimensionnelle, ...) et du simulateur (code ouvert ou logiciel commercial). En ce sens, cette problématique doit pouvoir être traitée de façon mutualisée au LEGI avec l'ensemble des équipes ayant recours à la simulation. De plus, la proximité avec les expérimentateurs doit nous permettre

de mettre en place les comparaisons très fines entre simulation et expérience indispensables à la conduite de ce projet. C'est ce qui a déjà été entamé dans le cadre de l'étude avec le diffuseur de centrale hydraulique. C'est également ce qui est envisagé avec des expériences de couches de mélange monophasiques et de couches de mélange cavitantes.

## ► CONCLUSION

Les axes de recherche que souhaite développer l'équipe durant le prochain quadriennal ont été exposés. Ces axes de recherche ont un double objectif : renforcer les activités où MOST est déjà reconnu internationalement, comme la technique SGE, et développer de nouvelles expertises, comme la simulation d'écoulements diphasiques. Ce projet est fortement lié aux autres activités de recherche du LEGI comme l'illustre la description du dernier axe de recherche que nous souhaitons mutualiser au niveau du laboratoire.

La force de ce projet de recherche est d'être porté par un grand nombre de collaborations régionales, nationales et internationales. Cela témoigne de l'intérêt de la communauté scientifique et des partenaires industriels pour les axes de recherche proposés et nous assure le développement d'une certaine multidisciplinarité des projets. Soulignons que la demande actuelle en terme de SGE dans des domaines applicatifs variés est une opportunité importante à laquelle MOST doit pouvoir répondre.

Les risques principaux pouvant être préjudiciables au bon déroulement du projet lors de ce prochain quadriennal concernent principalement les ressources humaines. Comme nous l'avons évoqué lors du bilan, nous devons améliorer notre recrutement de doctorants et post-doctorants. En ce sens, un certain nombre de solutions sont mises en place avec un accueil de stagiaires de niveau License ou Master 1<sup>ère</sup> année et avec une implication forte dans l'école de Grenoble-INP qui est proche de nos thématiques de recherche.

Finalement, le recrutement d'un chercheur permanent à la frontière entre la mécanique des fluides et les mathématiques appliquées nous permettrait de mieux lancer la thématique portant sur l'évaluation des capacités prédictives des simulations. Il serait également un soutien important pour le développement de nouveaux modèles sous-maille pour la SGE.



3

**MISE EN OEUVRE**

### 3. MISE EN ŒUVRE

Cette dernière partie du projet de l'unité, consacrée aux moyens de sa mise en œuvre et aux modalités de sa valorisation, se veut une synthèse des conclusions qui peuvent être tirées du contenu des projets scientifiques détaillés présentés dans la partie précédente par chaque équipe de l'unité.

#### **Animation de l'unité**

Un séminaire hebdomadaire est organisé au LEGI tous les mardi matin de 11h à midi. L'intervenant est ensuite convié par le laboratoire à un repas à l'extérieur, avec quelques-uns des membres de l'équipe qui l'a invité. A la demande du responsable des séminaires, les chercheurs et enseignants-chercheurs qui le souhaitent sont invités à participer à leur frais à ce repas pour prolonger la discussion scientifique ou établir des contacts plus étroits.

En période de recrutement (concours CNRS et concours universitaires), la périodicité hebdomadaire du séminaire général du LEGI s'est avérée inadaptée au nombre souvent important de candidats potentiels. En concertation avec l'équipe de direction, il a donc été décidé par souci d'équité, que ces candidats déclarés n'interviendraient pas dans le cadre du séminaire général du laboratoire mais dans des séminaires restreints au périmètre de l'équipe intéressée et ouverts à tous les membres du LEGI.

#### *Comité d'évaluation annuel "hors les murs"*

En raison de la multiplicité et de la dispersion des activités de formation des enseignants-chercheurs, le maintien d'une qualité et d'un niveau d'échanges scientifiques satisfaisantes entre les chercheurs du LEGI est un enjeu très important pour le fonctionnement du laboratoire. La nouvelle équipe de direction a décidé de mettre en place une réunion de l'ensemble des personnels du LEGI, dans un lieu extérieur au laboratoire. Cette réunion sera annuelle, et s'étendra sur une durée minimum de deux jours. L'objectif principal de cette réunion, entièrement financée par le laboratoire, est de faciliter la communication interne, l'information et l'implication de toutes les catégories de personnel du LEGI dans les activités de recherche du laboratoire. Une telle réunion, qui n'est pas une assemblée générale, a pour ambition de reproduire de façon annuelle mais de façon moins formelle, le déroulement des comités d'évaluation quadriennaux pour sensibiliser les membres de l'unité à l'importance d'une forme d'auto-évaluation. Les représentants des tutelles et des deux fédérations de rattachement du LEGI seront également invités.

A l'occasion de cette réunion scientifique, est envisagé le déroulement des événements suivants :

- Présentation des nouveaux entrants.
- Exposé des doctorants.
- Actualité scientifique (exposés) des équipes.
- Intervention des services communs et informations sur les nouveaux outils et règles de fonctionnement.
- Exposé des travaux du conseil de prospective.
- Travaux en atelier, par exemple : recherche de nouveaux axes de prospectives, réflexion sur l'achat d'équipements mutualisés.

A l'issue de la réunion, les documents présentés seront mis à la disposition de tous sur le serveur du LEGI.

Une première réunion s'est tenue en juin 2009 à Autrans (sur une seule journée, faute d'anticipation suffisante) et a semble-t-il été fortement appréciée : elle a réuni près de 90% des effectifs permanents du LEGI.

## **Moyens humains et financiers de l'unité**

### **• Aspects financiers**

Depuis plusieurs années, le LEGI dispose d'un budget non consolidé relativement stable, dont la majeure partie est constituée de ressources contractuelles. Le montant total de la dotation attribuée par nos trois tutelles est de l'ordre de 320 keuros/an (hors infrastructure) pour un nombre total de permanents d'environ 80 chercheurs, enseignants-chercheurs et personnels techniques. Cette dotation est fortement grevée par l'augmentation permanente des coûts d'infrastructure supplémentaires facturés par notre hébergeur pour compléter la dotation ministérielle affectée à l'unité au titre de l'infrastructure.

### **• Locaux**

L'état de vétusté des locaux de l'unité est un problème récurrent qui a été souligné par les deux équipes précédentes et reconnu par les comités d'évaluation antérieurs. S'ajoutent à la vétusté des problèmes de sécurité : chute de verrière des toitures, sécurité électrique, hygiène des locaux, isolation thermique et phonique, absence de détection incendie, qui mettent en péril les personnes et les équipements de l'unité. La construction dans les 2 ans à venir d'un nouveau bâtiment à usage de bureaux dans le cadre du CPER permettra d'améliorer les conditions de travail de tous. Le programme de construction du nouveau bâtiment est en cours de rédaction en étroite concertation avec le service infrastructure de G-INP, le maître d'ouvrage. Le principe d'un objectif ambitieux de haute qualité énergétique est désormais établi (financement d'une mission AMO HQE). En outre, l'enjeu de ce nouveau bâtiment sera aussi d'améliorer et de rationaliser le fonctionnement global du LEGI en améliorant notamment l'accueil et la circulation dans les bâtiments G, H et le nouveau bâtiment de Coriolis. En effet, conséquence du projet Giant de réaménagement du polygone scientifique, le principe de la reconstruction du bâtiment abritant la plateforme CORIOLIS est acquis (financé par les collectivités locales). Le prochain enjeu immobilier, pour le CPER à venir devra porter sur la réhabilitation des bâtiments expérimentaux G et H.

### **• Moyens humains**

Le LEGI souffre d'un manque chronique de personnels techniques et du faible engagement de ses tutelles universitaires en moyens humains. Les priorités du LEGI pour le prochain contrat quadriennal sont les suivantes :

#### Fonctionnement des services

- Recrutement d'un agent au niveau TC pour stabiliser les effectifs du service Administratif et assurer la continuité des services.
- Recrutement d'un IR en électronique pour pallier les deux départs (1 IR et 1 IE) survenus au cours des dix dernières années. Cette compétence est essentielle pour le développement des projets d'instrumentation, en acoustique notamment.
- Recrutement d'un IE ou d'un IR en informatique pour répondre à la forte augmentation des demandes des équipes numériques et aux exigences de sécurité formulées par les DSI.

#### Soutien aux projets de recherche

- Chaire couplée UJF-CNRS sur la thématique *Modélisation de la turbulence et observabilité de la couleur de l'eau*.

- Poste de MCF 60-62 (G-INP ou UJF) sur les Bio-procédés de dépollution (demandé depuis 2 ans).
- Poste de MCF 62-28 (UJF) Métrologie de la Cavitation.
- Poste de PR 60 (UJF) : Turbulence expérimentale et numérique – Contrôle de la Turbulence pour pallier le départ du Pr Y. Gagne fin 2011.
- Poste de PR 60 (INPG) sur la thématique Hydroliennes et production d'énergie marine.
- Poste CR section 10 (CNRS) : développement de la thématique Evaluation de l'Incertitude dans la Modélisation en Mécanique des Fluides.
- Poste CR section 10 (CNRS) : mise en place de la thématique « Architectural Fluid Mechanics », Ventilation Naturelle et Qualité de l'Air dans les bâtiments.

### **Valorisation et diffusion des travaux de recherche de l'Unité**

Comme le montre le bilan des publications de l'unité réalisé sur la période 2005-juin 2009, le LEGI a su valoriser de façon satisfaisante les travaux de recherche menés au sein de chaque équipe, tant par la production d'articles dans des revues internationales, que par la présentation des résultats scientifiques dans des conférences nationales et internationales et par le dépôt de brevets. Ce volet de la diffusion de l'information scientifique et technique devrait donc continuer à être correctement couvert par l'Unité, la dynamique développée au cours de la période 2005-juin 2009 étant clairement orientée en ce sens et l'originalité des projets de recherche proposés augurant d'un potentiel de publication satisfaisant. Le bilan réalisé pourrait toutefois conduire à une sélection d'un nombre un peu plus restreint de revues pour les publications des chercheurs et enseignants-chercheurs, en se concentrant sur les revues aux facteurs d'impact les plus élevés, selon les thématiques scientifiques propres à chaque équipe.

Un volet de la diffusion de l'information scientifique et technique qu'il serait souhaitable de voir se développer au sein de l'Unité concerne la formation scientifique à destination des doctorants en particulier (Ecole d'Eté ou de Printemps), dans laquelle les personnels de l'Unité restent globalement assez peu impliqués – il est clair cependant que cette moindre implication trouve souvent son origine dans le temps dédié par ces mêmes personnels à des activités de formation à destination des étudiants.

En ce qui concerne la diffusion de l'information scientifique et technique en interne, ce point a été abordé un peu plus haut, au titre de l'animation de l'Unité. De plus, la journée de prospective scientifique et de réflexion sur l'avenir du LEGI a mis en évidence l'intérêt marqué de l'ensemble des personnels des équipes pour les travaux des autres équipes, intérêt qui trouve à s'exprimer dès lors qu'une opportunité de communication inter-équipes se présente. Le conseil de prospective du LEGI a donc d'ores et déjà prévu de renouveler l'organisation de journées ou ½ journées thématiques internes au Laboratoire, bien ciblées sur des thématiques pour lesquelles plusieurs équipes ont exprimé leur intérêt préalable ; sont ainsi programmés des échanges autour de la thématique de l'incertitude et de sa prise en compte au niveau de l'expérience, de la modélisation et de la simulation numérique.







**CONTRAT QUADRIENNAL**  
**3.5 Formulaire Projet**

**LEGI UMR 5519**

BP 53 – DOMAINE UNIVERSITAIRE 38041 GRENOBLE CEDEX 9

TEL 33 4 76 82 50 28 – FAX 33 4 76 82 52 71

MEL : CONTACT@LEGI.INPG.FR

[HTTP://WWW.LEGI.INPG.FR](http://www.legi.inpg.fr)



**intitulé complet de l'unité de recherche**

Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels

**responsable**

M.	Nom	Prénom	Corps-Grade	Etablissement d'enseignement supérieur d'affectation ou organisme d'appartenance
M. <input checked="" type="checkbox"/> J'autorise la diffusion de mon nom sur internet (annuaire des unités de recherche).	BAUDET	Christophe	PR1	Université Joseph Fourier-Grenoble I (UFR de Physique)

**établissement(s) de rattachement de l'unité (tutelles)**

**Tout dossier déposé doit être préalablement validé par l'ensemble des tutelles de l'unité.**

**établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche**

établissement de rattachement : Université Joseph Fourier-Grenoble I  
Institut Polytechnique de Grenoble

**organisme(s) de recherche**

organisme : CNRS      département ou comm. de rattachement : INST2I et INSU

**Préciser l'établissement ou organisme responsable du dépôt du dossier :**  
(sauf exception, le dossier est déposé par l'hébergeur de l'unité de recherche)

Institut Polytechnique de Grenoble

**Préciser le cas échéant le délégué unique de gestion : .....**

**autres partenaires de l'unité (hors tutelles)**

établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche : .....  
organisme(s) de recherche : .....  
entreprise(s) : .....  
autres : .....

**type de demande**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> nouvelle unité (création « ex-nihilo »)                                    | <input type="checkbox"/> unité issue de l'éclatement d'une unité reconnue    |
| <input checked="" type="checkbox"/> renouvellement de l'unité<br>(avec ou sans changement de label) | <input type="checkbox"/> fusion de plusieurs unités reconnues                |
|   | <input type="checkbox"/> « éclatement-fusion » de plusieurs unités reconnues |

**filiation de l'unité (éventuellement plusieurs unités)**

Etablissement de rattachement	Label(s) et n° dans le cadre du contrat précédent	Nom du responsable précédent	Intitulé de l'unité
Université Joseph Fourier-Grenoble I	UMR 5519	Alain Cartellier	Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels
.....	.....	.....	.....

---

**rattachement prévu à une école doctorale en 2011-2014**

(établissement de rattachement envisagé, n° en cas de demande de renouvellement de l'ED, intitulé et responsable s'ils sont connus)

Ingénierie-Matériaux Mécanique Energétique Environnement Procédés Production, Grenoble-INP/GRENOBLE 1, ED 510, I-MEP2, Jacques Fouletier

Terre Univers Environnement GRENOBLE 1/Grenoble-INP, ED 105, TUE, Etienne Jaillard

qui la composent peuvent être réparties entre plusieurs écoles doctorales." (art. 3 de l'arrêté du 7 août 2006). Dans ce cas, préciser sur le tableau suivant l'ED de rattachement de chacune des équipes internes.

---

**participation prévue à une (exceptionnellement plusieurs) structure fédérative en 2011-2014** (établissement, intitulé, responsable)

UJF-Grenoble 1 et Grenoble-INP, UMS832 :

Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble,  
Henri-Claude NATAF

UJF-Grenoble 1 et Grenoble-INP, FR??? INSIS/CNRS  
: "Mécanique, procédés et ingénierie de  
l'environnement", A. Cartellier ou J. Mazars demande  
de reconnaissance en cours)

---

**classement thématique****domaine(s) scientifique(s)**

indiquer, en début de ligne, "P" pour le domaine scientifique principal, "S" pour le ou les domaines scientifiques secondaires éventuels

- 1 Mathématiques et leurs interactions
- S 2 Physique
- S 3 Sciences de la terre et de l'univers, espace
- 4 Chimie
- 5 Biologie, médecine, santé
- 6 Sciences humaines et humanités
- 7 Sciences de la société
- P 8 Sciences pour l'ingénieur
- 9 Sciences et technologies de l'information et de la communication
- 10 Sciences agronomiques et écologiques

**secteur(s) disciplinaire(s) (cf nomenclature)**

reporter les codes des secteurs par ordre d'importance :

821, 822, 304, 831, 211, 823, 824

**mots-clés (cf nomenclature mots-clés)**

prédéfinis : mécanique des fluides - thermique, énergétique - physique, chimie des océans - changement climatique global

libres : Energie, écoulements géophysiques, turbulence (4 maximum)

**domaine applicatif, le cas échéant**

indiquer, en début de ligne, "P" pour le domaine principal, "S" pour le ou les domaines secondaires éventuels

- Santé humaine et animale
- Alimentation, agriculture, pêche, agroalimentaire et biotechnologies
- S Nanosciences, nanotechnologies, matériaux et procédés
- Technologies de l'information et de communication
- Production de biens et de services & nouvelles technologies de production
- Énergie nucléaire
- S Nouvelles technologies pour l'énergie
- S Environnement (dont changement climatique)
- S Espace
- Aménagement, ville et urbanisme
- Transport (dont aéronautique) et logistique
- Cultures et société
- Economie, organisation du travail
- Sécurité
- P Autre

## **nomenclature ERC (European Research Council)**

*indiquer, en début de ligne, "P" pour le secteur principal, "S" pour le ou les secteurs scientifiques secondaires éventuels*

### **Physical Sciences & Engineering**

- PE1 Mathematical foundations : all areas of mathematics, pure and applied, plus mathematical foundations of computer science, mathematical physics and statistics
- PE2 Fundamental constituents of matter : particle, nuclear, plasma, atomic, molecular, gas, and optical physics
- PE3 Condensed matter physics : structure, electronic properties, fluids, nanosciences
- PE4 Physical and analytical chemical sciences : analytical chemistry, chemical theory, physical chemistry/chemical physics
- PE5 Materials and synthesis : materials synthesis, structure-properties relations, functional and advanced materials, molecular architecture, organic chemistry
- S PE6 Computer science and informatics : informatics and information systems, computer science, scientific computing, intelligent systems
- PE7 Systems and communication engineering : electronic, communication, optical and systems engineering
- P PE8 Products and processes engineering : product design, process design and control, construction methods, civil engineering, energysystems, material engineering
- PE9 Universe sciences : astro-physics/chemistry/biology; solar system; stellar, galactic and extragalactic astronomy, planetary systems, cosmology, space science, instrumentation
- S PE10 Earth system science : physical geography, geology, geophysics, meteorology, oceanography, climatology, ecology, global environmental change, biogeochemical cycles, natural resources management

### **Social Sciences & Humanities**

- SH1 Individuals, institutions and markets : economics, finance and management
- SH2 Institutions, values and beliefs and behaviour : sociology, social anthropology, political science, law, communication, social studies of science and technology
- SH3 Environment and society : environmental studies, demography, social geography, urban and regional studies
- SH4 The Human Mind and its complexity : cognition, psychology, linguistics, philosophy and education
- SH5 Cultures and cultural production : literature, visual and performing arts, music, cultural and comparative studies
- SH6 The study of the human past : archaeology, history and memory

### **Life Sciences**

- LS1 Molecular and Structural Biology and Biochemistry : molecular biology, biochemistry, biophysics, structural biology, biochemistry of signal transduction
- LS2 Genetics, Genomics, Bioinformatics and Systems Biology : genetics, population genetics, molecular genetics, genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, bioinformatics, computational biology, biostatistics, biological modelling and simulation, systems biology, genetic epidemiology
- LS3 Cellular and Developmental Biology : cell biology, cell physiology, signal transduction, organogenesis, evolution and development, developmental genetics, pattern formation in plants and animals
- LS4 Physiology, Pathophysiology and Endocrinology : organ physiology, pathophysiology, endocrinology, metabolism, ageing, regeneration, tumorigenesis, cardiovascular disease, metabolic syndrome
- LS5 Neurosciences and neural disorders : neurobiology, neuroanatomy, neurophysiology, neurochemistry, neuropharmacology, neuroimaging, systems neuroscience, neurological disorders, psychiatry
- LS6 Immunity and infection : immunobiology, aetiology of immune disorders, microbiology, virology, parasitology, global and other infectious diseases, population dynamics of infectious diseases, veterinary medicine
- LS7 Diagnostic tools, therapies and public health : aetiology, diagnosis and treatment of disease, public health, epidemiology, pharmacology, clinical medicine, regenerative medicine, medical ethics
- LS8 Evolutionary, population and environmental biology : evolution, ecology, animal behaviour, population biology, biodiversity, biogeography, marine biology, ecotoxicology, prokaryotic biology
- LS9 Applied life sciences and biotechnology: agricultural, animal, fishery, forestry and food sciences; biotechnology, chemical biology, genetic engineering, synthetic biology, industrial biosciences; environmental biotechnology and remediation

---

**coordonnées de l'unité**

Localisation et établissement : Domaine universitaire de Saint Martin d'Hère, Institut Polytechnique de Grenoble

Numéro, voie : 1023, Rue de la Piscine

Boîte postale : BP 53

Code Postal et ville : 38041 Grenoble Cedex 9

Téléphone : 04 76 82 50 28

Adresse électronique : [legi-directeur@legi.inpg.fr](mailto:legi-directeur@legi.inpg.fr)

---

**Date et signature du responsable de l'unité**

Le 15 septembre 2009, à Grenoble



---

**Projet transmis avec l'accord du responsable de ou des établissement(s) d'enseignement supérieur de rattachement de l'unité (\*)**

*(\*) Pour les organismes, une liste globale des entités transmises à l'AERES vaudra accord*

Nom et prénom du responsable de l'**établissement de rattachement déposant** :

Qualité :

Date :

Signature :

Nom et prénom du responsable de l'**établissement de rattachement**, le cas échéant :

Qualité :

Date :

Signature :

Nom et prénom du responsable de l'**établissement de rattachement**, le cas échéant :

Qualité :

Date :

Signature :



### 1 – Thématiques de recherche et structuration de l'unité proposée au 1er janvier 2011

N°	Intitulé de l'équipe interne (sous-composante fonctionnelle correspondant à l'organigramme de l'unité, une ligne par équipe)	Responsable	Etablissement ou organisme hébergeant l'équipe interne	Effectifs EC, chercheurs EPST et cadres scientifiques EPIC en ETPT (1)	Effectifs ITA, IATOS et non-cadres EPIC permanents en ETPT (2)	Le cas échéant, ED de rattachement des équipes internes (n°, intitulé, étab. support)	Thèmes de recherche par équipe				
<i>Cas d'une unité sans équipes internes : inscrire ci-contre les thèmes de recherche de l'unité.</i>											
<i>Cas d'une unité comprenant des équipes internes : remplir la partie ci-dessous Ce découpage est principalement destiné, pour les unités de grande taille, à permettre une évaluation différenciée des équipes composant l'unité.</i>											
E1	EDT : Ecoulements Diphasiques et Turbulences	THIBAUT Jean-Paul	GRENOBLE-INP	5,25	0,00	ED 510, FMEFZ, Grenoble-INP/UJF-GRENOBLE 1	Turbulence Développée	Ecoulements Diphasiques à forts courants	Instabilités et Interfaces	Instrumentation	
E2	ENERGETIQUE	MARTY Philippe	GRENOBLE-INP	9,45	0,00	ED 510, FMEFZ, Grenoble-INP/UJF-GRENOBLE 1	Changements de phase	Turbomachines et Hydroliennes	Stockage de l'énergie	Cavitation	
E3	ERES : Environnement, Rotation Et stratification	STAQUET Chantal	GRENOBLE-INP	5,50	0,00	ED 105, 10E, Grenoble-1/Grenoble-1/INP	Mécanique des fluides Equipemental	Ecoulements en Rotation	Ecoulements Stratifiés	Turbulence Atmosphérique	
E4	HOULE : Ondes de gravité et hydrodynamique sédimentaire	MICHALLET Hervé	GRENOBLE-INP	3,00	0,00	ED 105, 10E, Grenoble-1/Grenoble-1/INP	Ecoulements Sédimentaires	Ecoulements à Surface Libre	Ondes de Gravité	Anémométrie acoustique Doppler	
E5	MEOM : Modélisation des Ecoulements Océaniques à Moyenne et grande échelle	BARNIER Bernard	GRENOBLE-INP	6,50	2,00	ED 105, 10E, Grenoble-1/Grenoble-1/INP	Circulations océaniques multi-échelles (climat)	Modélisation, simulation numérique	Systèmes d'observation (climat)	Océanographie opérationnelle	
E6	MIP : Microfluidique Interfaces Particules	DAVOUST Laurent	GRENOBLE-INP	3,05	0,00	ED 510, FMEFZ, Grenoble-1/INP	Microfluidique	Interfaces	Electrohydrodynamique	Rhéologie de surface	
E7	MOST : Modélisation et Simulation de la Turbulence	BALARAC Guillaume	GRENOBLE-INP	1,25	1,00	ED 510, FMEFZ, Grenoble-1/INP	Turbulence	Ecoulements complexes et	Contrôle d'écoulements	Modélisation sous-maille	
SC1	Service administratif	ARGENTINO Patricia		0,00	1,80						
SC2	Service informatique	MOREAU Gabriel		0,00	2,00						
SC3	Service instrumentation	VIGNAL Laure		0,00	1,80						
SC4	Equipe technique Campus	CARECCHIO Pierre		0,00	6,50						
SC5	Equipe technique Coriolis	DIDELLE Henri		0,00	3,00						
<b>Total en ETPT</b>				<b>28,75</b>	<b>18,10</b>						

(1) Equivalent temps plein travaillé. Les enseignants-chercheurs et chercheurs intervenant dans plusieurs équipes internes seront décomptés au prorata des temps respectifs.  
Exemples : Un EC travaillant dans une seule équipe interne = 0,5. Un EC travaillant dans deux équipes internes à égalité de temps = 0,25 dans chacune d'entre elles.  
Un chercheur travaillant dans une seule équipe interne = 1. Un chercheur travaillant dans deux équipes internes à égalité de temps = 0,5 dans chacune d'entre elles.

Les cadres scientifiques des EPIC seront comptabilisés dans cette colonne.

(2) En équivalent temps plein travaillé. Les ITA/IATOS intervenant dans plusieurs équipes internes sont décomptés au prorata des temps respectifs.  
Exemple : Un personnel à temps plein dans l'unité qui travaille dans 2 équipes internes à égalité de temps comptera 0,5 dans chacune d'entre elles (0,25 s'il est à mi-temps).

## 2 – Ressources humaines

### 2.1 - Liste nominative des professeurs des universités et maîtres de conférence (et assimilés) proposée au 1er janvier 2011 (hors recrutements escomptés)

(à classer par établissement de rattachement ou, s'il en existe, par équipe interne)

Nomenclature à respecter : PREX, PR1, PR2, DIRH, DIRP, Physicien, Astro, PUPHEX, PUPH1, PUPH2, MCF, MCFP, Phys-adj, Astro-adj, MCUPHHC, MCUPH1, MCUPH2

Libellé de l'établissement

Code établissement = code

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Corps grade (1)	Section CNU (2 chiffres)	HDR (2)	PEDR (3)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (4)	Etablissement d'enseignement supérieur d'affectation (5)	Code de l'établissement d'affectation (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)	N° des 5 dernières productions (8)
BAUDET	CHRISTOPHE	H	1958	PR1	28	oui	oui	E1	GRENOBLE I	0381838S	10/1999	E1-06-ACL8, E1-07-ACL1, E1-07-ACL2, E1-07-ACL8, E1-08-ACL6
GAGNE	YVES	H	1949	PR1	60	oui	oui	E1	GRENOBLE I	0381838S	01/1995	E1-06-ACL8, E1-07-ACL1, E1-07-ACL8, E1-08-ACL6, E1-09-ACL3
JANIAUD	BEATRICE	F	1966	MCF	60		non	E1	GRENOBLE I	0381838S	10/1995	
MATAS	JEAN-PHILIPPE	H	1976	MCF	60		non	E1	GRENOBLE I	0381838S	01/2007	E1-08-ACL5, E1-09-ACL2, E1-07-ACT13, E1-08-ACTN1, E1-08-ACTN2
SECHET	PHILIPPE	H	1969	MCF	60		non	E1	GRENOBLE-INV	0381912X	10/1998	E1-06-ACL10, E1-08-ACL4, E1-09-INV1, E1-09-INV2, E1-09-ACT19
TARDU	SEDAT	H	1959	MCFHC	60	oui	oui	E1	GRENOBLE I	0381838S	01/1995	E1-08-ACL8, E1-08-ACL9, E1-09-ACL4, E1-09-ACL5, E1-09-ACL6
AYELA	FREDERIC	H	1965	PR2	62	oui	oui	E2	GRENOBLE I	0381838S	09/2008	E2-05-ACL15, E2-06-ACL17, E2-07-ACL16, E2-08-ACL10, E2-09-ACL7
BONTEMPS	ANDRÉ	H	1944	PR1	62	oui	oui	E2	GRENOBLE I	0381838S	10/1999	E2-07-ACL6, E2-07-ACL7, E2-08-ACL4, E2-08-ACL12, E2-09-ACL8
CANEY	NADIA	F	1974	MCF	62		non	E2	GRENOBLE I	0381838S	01/2007	E2-07-ACL1, E2-07-ACL4, E2-07-ACL9, E2-09-ACL9, E2-09-ACT11
CORRE	CHRISTOPHE	H	1969	PR2	60	oui	non	E2	GRENOBLE-INV	0381912X	09/2006	E2-06-ACL4, E2-07-ACL14, E2-08-ACL6, E2-08-ACL7, E2-08-ACL8
FERROUILLAT	SEBASTIEN	H	1977	MCF	62		non	E2	GRENOBLE I	0381838S	01/2007	E2-06-ACL7, E2-06-ACL8, E2-06-ACL9, E2-08-ACT15, E2-08-ACT16
FORTES PATELLA	REGIANE	F	1965	PR2	60	oui	oui	E2	GRENOBLE-INV	0381912X	09/1996	E2-08-ACL5, E2-08-ACL13, E2-08-ACL14, E2-09-ACL4, E2609-ACL5
GONCALVES DA SILVA	ERIC	H	1973	MCF	60		non	E2	GRENOBLE-INV	0381912X	09/2002	E2-08-ACL13, E2-09-ACL4, E2-09-ACL5, E2-09-ACT13, E2-09-ACT15
JOUSSELLIN	FLORENCE	F	1959	MCF	60		non	E2	GRENOBLE I	0381838S	01/2007	E2-05-INV1, E2-06-ACT19, E2-07-ACTN8, E2607-ACT15
KUENY	JEAN-LOUIS	H	1947	PR1	60	oui	non	E2	GRENOBLE-INV	0381912X	11/1995	E2-06-ACL13, E2-05-ACT19, E2-06-ACT111, E2-06-ACT112, E2-06-ACT113
LE PERSON	STEPHANE	H	1969	MCF	62		non	E2	GRENOBLE I	0381838S	02/1999	E2-06-ACL10, E2-06-ACL14, E2-08-ACL9, E2-08-ACL11, E2-09-ACL6
MAITRE	THIERRY	H	1960	MCFHC	60	oui	oui	E2	GRENOBLE-INV	0381912X	11/1995	E2-05-ACL7, E2-05-ACL12, E2-06-ACL3, E2-08-ACL1, E2-09-ACL10
MARTY	PHILIPPE	H	1954	PR1	62	oui	oui	E2	GRENOBLE I	0381838S	10/1999	E2-08-ACL2, E2-08-ACL3, E2-09-ACL1, E2-09-ACL2, E2-09-ACL9
MC CLUSKEY	FRANCIS	H	1956	PR2	62	oui	non	E2	GRENOBLE I	0381838S	01/2007	E2-07-ACL13, E2-07-ACT18
BRUN	CHRISTOPHE	H	1970	MCF	60		non	E3	GRENOBLE I	0381838S	09/2008	E3-06-ACL11, E3-06-ACL6, E3-08-ACL7, E3-08-ACL8, E3-08-ACL9
STAQUET	CHANTAL	F	1958	PR1	60	oui	oui	E3	GRENOBLE I	0381838S	10/1997	E3-06-ACL8, E3-06-ACL9, E3-07-ACL7, E3-08-ACL2, E3-09-ACL4
BARTHELEMY	ERIC	H	1960	PR2	60	oui	non	E4	GRENOBLE-INV	0381912X	01/1995	E4-09-ACL2, E4-09-ACL3, E4-09-ACL4, E4-09-ACL5, E4-09-ACL8
CHAUCHAT	Julien	H	1978	MCF	60		non	E4	GRENOBLE-INV	0381912X	09/2009	
LARROUDE	PHILIPPE	H	1967	MCF	60		non	E4	GRENOBLE I	0381838S	10/1996	E4-08-ACL3, E4-08-ACL4, E4-08-ACL5, E4-07-ACT11, E4-08-INV1
COSME	EMMANUEL	H	1974	MCF	37		non	E5	GRENOBLE I	0381838S	01/2007	E5-07-ACL8, E5-09-ACL1, E5-09-ACL6, E5-09-ACL7, E5-08-ACT114
CROSS	BENJAMIN	H	1974	MCF	60		non	E6	GRENOBLE I	0381838S	09/2006	E6-06-ACL4, E6-07-ACL8, E6-08-ACL5, E6-08-ACL6, E6-08-ACL7
PICARD	Cyril	H	1980	MCF	62		non	E6	GRENOBLE I	0381838S	09/2009	
SOUCEMARIANADIN	ARTHUR	H	1952	PR1	60	oui	non	E6	GRENOBLE I	0381838S	01/2003	E6-05-ACL8, E6-09-ACL6, E6-08-ACT18, E6-08-ACT19, E6-09-ACT13
TARDU	SEDAT	H	1959	MCFHC	60	oui	oui	E6	GRENOBLE I	0381838S	01/1995	E6-05-ACL4, E6-07-ACL6, E6-08-ACL4, E6-08-ACL8, E6-09-ACL3
BALARAC	GUILAUME	H	1980	MCF	60		non	E7	GRENOBLE-INV	0381912X	09/2008	E7-08-ACL3, E7-08-ACL4, E7-08-ACL5, E7-09-ACL1, E7-09-ACL4
CORRE	CHRISTOPHE	H	1969	PR2	60	oui	non	E7	GRENOBLE-INV	0381912X	09/2006	E7-05-ACL3, E7-07-ACL2, E7-08-ACL6, E7-08-ACL7, E7-09-ACL2
METAIS	OLIVIER	H	1959	PREX	60	oui	oui	E7	GRENOBLE-INV	0381912X	10/1997	E7-07-ACL3, E7-07-ACL4, E7-08-ACL1, E7-09-ACL3, E7-09-ACL4

Récapitulatif EC	Nombre d'EC	dont HDR
Etablissement de rattachement déposant : INPS	10	7
Etablissement de rattachement : UJF	20	10
Etablissement de rattachement : .....		
Autres établissements		
<b>Total EC</b>	<b>30</b>	<b>17</b>

- (1) PREX, PR1, PR2, DIRH, DIRP, Physicien, Astro, PUPHEX, PUPH1, PUPH2, MCF, MCFP, Phys-adj, Astro-adj, MCUPHHC, MCUPH1, MCUPH2.
- (2) Inscrire "oui" dans les cases correspondant aux enseignants-chercheurs habilités à diriger des recherches, y compris les PR.
- (3) Inscrire "oui" si l'enseignant-chercheur est bénéficiaire de la PEDR au 1er octobre 2008.
- (4) Cf tableau 1.
- (5) Etablissement d'enseignement supérieur et de recherche figurant sur l'arrêté d'affectation de l'enseignant-chercheur.
- (6) Sélectionnez l'établissement dans la liste ci-dessus pour afficher le code ou reportez-vous aux nomenclatures en annexe.
- (7) Mois et année.
- (8) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

Professeurs des universités et assimilés	PREX	Professeur des universités, du Collège de France, du MNHN, de l'INALCO, du CNAM, de l'ECAM
	PR1	
	PR2	
	DIRH	Directeur de recherche EHESS
	DIRP	Directeur de recherche EPHE, EFE, Ec. Nat. Chartes
	Physicien	Physicien
Maîtres de conférences et assimilés	Astro	Astronome
	PUPHEX	
	PUPH1	Professeurs des universités-Praticiens hospitaliers
	PUPH2	
	MCFHC	Maître de conférences des universités, de l'EHESS, du MNHN
	MCF	
	MCFP	Maître de conférences EPHE, EFE, Ec. Nat. Chartes
	Phys-adj	Physicien adjoint
	Astro-adj	Astronome adjoint
	MCUPHHC	
	MCUPH1	Maître de conférences des universités-Praticiens hospitaliers
MCUPH2		

## 2 – Ressources humaines

### 2.2 - Liste nominative des autres enseignants et enseignants-chercheurs (secteurs privé et public) proposée au 1er janvier 2011 (hors recrutements escomptés)

(à classer par établissement de rattachement ou, s'il en existe, par équipe interne)

Nomenclature à respecter : CCA, AHU, PREM, PAST, PRAG, PRCE, EC contractuel, CBIB, EC autres min., autre

Libellé de l'établissement

code établissement = **code**

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Statut (1)	HDR (2)	Etablissement employeur (3)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (4)	Etablissement d'enseignement supérieur d'exercice, le cas échéant (5)	Code de l'établissement d'exercice (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)	N° des 5 dernières productions (8)
CHOLLET	JEAN-PIERRE	H	1948	PREM	oui	UJF-GRENOBLE I	E3	GRENOBLE I	0381838S	01/1995	E3-05-ACL9, E3-06-ACL1, E3-06-ACL2, E3-06-ACL3, E3-08-ACL3
FAVRE MARINET	MICHEL	H	1947	PREM	oui	GRENOBLE INP	E2	GRENOBLE INP	0381912X	01/1995	E2-06-ACL10, E2-06-ACL14, E2-08-ACL9, E2-08-ACL11, E2609-ACL6
LESIEUR	MARCEL	H	1945	PREM	oui	GRENOBLE INP	E7	GRENOBLE INP	0381912X	01/1995	E7-06-ACL1, E7-07-ACL1, E7-07-ACL4, E7-07-ACL5, E7-09-ACL5

Total 3

dont HDR 3

(1) CCA, AHU, PREM, PAST, PRAG, PRCE, EC contractuel, CBIB, EC autres min., autre.

(2) Inscrire "oui" dans les cases correspondant aux enseignants-chercheurs habilités à diriger des recherches.

(3) Préciser le nom de l'établissement, institution... qui emploie l'enseignant ou enseignant-chercheur.

(4) Cf tableau 1.

(5) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici l'établissement d'enseignement supérieur où l'enseignant ou enseignant-chercheur effectue son activité. Sélectionnez l'établissement dans la liste ci-dessus pour afficher le code ou reportez-vous aux nomenclatures en annexe.

(6) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici le code de l'établissement d'enseignement supérieur où l'enseignant ou enseignant-chercheur effectue son activité. Si l'unité est rattachée à un seul établissement d'enseignement supérieur, indiquer le code de cet établissement.

Si l'enseignant ou enseignant-chercheur est hébergé dans d'autres locaux que ceux des établissements d'enseignement supérieur de rattachement, indiquer le code de l'établissement d'enseignement supérieur support de l'unité.

(7) Mois et année.

(8) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

CCA	Chef de clinique assistant
AHU	Attaché hospitalier universitaire
PREM	Professeur émérite
PAST	Professeur associé à temps partiel
PRAG	Professeur agrégé
PRCE	Professeur certifié
EC contractuel	Enseignant-chercheur contractuel (dont contrats LRU)
CBIB	Conservateur de bibliothèques
EC autres min.	Enseignant-chercheur autres ministères
autre	autre statut

## 2 – Ressources humaines

### 2.3 - Liste nominative des chercheurs des EPST et cadres scientifiques des EPIC proposée au 1er janvier 2011

(à classer par équipe interne s'il en existe)

Nomenclature à respecter : DRCE, DR1, DR2, CR1, CR2, Cadres scientifiques EPIC (supérieur, confirmé, débutant), autre

Libellé de l'établissement ▼

Code établissement = code

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Organisme de recherche d'appartenance (1)	Corps grade (2)	Section ou comité d'évaluation de l'organisme	HDR (3)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (4)	Etablissement d'enseignement supérieur d'exercice, le cas échéant (5)	Code de l'établissement d'exercice, le cas échéant (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)	N° des 5 dernières productions (8)
BOURGOIN	Mickaël	H	1975	CNRS	CR1	10		E1	GRENOBLE-IMP		10/2004	E1-06-ACL7, E1-06-ACL9, E1-07-ACL1, E1-07-ACL6, E1-08-ACL6
CARTELLIER	Alain	H	1959	CNRS	DR2	10	oui	E1	GRENOBLE-IMP		01/1995	E1-06-ACL10, E1-07-ACL5, E1-08-ACL4, E1-08-ACL6, E1-09-ACL7
THIBAUT	Jean-Paul	H	1955	CNRS	CR1	10		E1	GRENOBLE-IMP		01/1995	E1-06-ACL13, E1-06-ACL15, E1-07-ACL10, E1-07-ACL11, E1-06-BRV1
ACHARD	Jean-Luc	H	1949	CNRS	DR2	10	oui	E2	GRENOBLE-IMP		01/1995	E2-06-ACL12, E2-06-ACL16, E2-08-ACL1, E2-08-ACL15, E2-09-BRV2
BARRE	Stéphane	H	1964	CNRS	CR1	10	oui	E2	GRENOBLE-IMP		01/2001	E2-09-ACL5, E2-06-ACL11, E2-06-ACL12, E2-06-ACL13, E2-08-ACL4
FRANC	Jean-Pierre	H	1957	CNRS	DR2	10	oui	E2	GRENOBLE-IMP		01/1995	E2-05-ACL7, E2-07-ACL12, E2-09-ACL3, E2-09-ACL10, E2-07-ACL13
PELLONE	Christian	H	1952	CNRS	CR1	10	oui	E2	GRENOBLE-IMP		01/1995	E2-06-ACL3, E2-07-ACL12, E2-09-ACL10, E2-08-ACL13, E2-09-ACL11
FLOR	Jan-Bert	H	1959	CNRS	CR1	19	oui	E3	GRENOBLE-IMP		10/1996	E3-05-ACL4, E3-06-ACL4, E3-06-ACL12, E3-07-ACL2, E3-07-ACL3
GOSTIAUX	Louis	H	1980	CNRS	CR2	10		E3	GRENOBLE-IMP		03/2008	E3-06-ACL7, E3-07-ACL1, E3-07-ACL4, E3-09-ACL2, E3-08-INV1
SOMMERIA-KLEIN	Joël	H	1957	CNRS	DR2	10	oui	E3	GRENOBLE-IMP		11/1999	E3-07-ACL8, E3-08-ACL1, E3-08-ACL4, E3-08-ACL5, E3-09-ACL1
VOISIN	Bruno	H	1964	CNRS	CR1	10		E3	GRENOBLE-IMP		01/1995	E3-07-ACL5, E3-08-ACL7, E3-09-ACL4, E3-09-ACL2, E3-09-ACL5
HURTHUR	David	H	1972	CNRS	CR1	10		E4	GRENOBLE-IMP		01/2003	E4-08-ACL1, E4-08-ACL2, E4-09-ACL2, E4-09-ACL4, E4-09-ACL7
MICHALLET	Hervé	H	1968	CNRS	CR1	10		E4	GRENOBLE-IMP		10/1999	E4-09-ACL5, E4-09-ACL6, E4-09-ACL8, E4-09-ACL9, E4-09-ACL10
BARNIER	Bernard	H	1954	CNRS	DR2	19	oui	E5	GRENOBLE-IMP		01/1995	E5-08-ACL9, E5-08-ACL11, E5-08-ACL12, E5-09-ACL2, E5-09-ACL9
BRASSEUR	Pierre	H	1966	CNRS	DR2	19	oui	E5	GRENOBLE-IMP		10/1995	E5-09-ACL4, E5-09-ACL5, E5-09-ACL6, E5-09-ACL7, E5-09-ACL8
LE SOMMER	Julien	H	1978	CNRS	CR2	19		E5	GRENOBLE-IMP		10/2004	E5-06-ACL1, E5-07-ACL6, E5-07-ACL9, E5-09-ACL9, E5-09-ACL13
PENDUFF	Thierry	H	1969	CNRS	CR1	19		E5	GRENOBLE-IMP		10/2001	E5-08-ACL8, E5-08-ACL9, E5-09-ACL9, E5-09-ACL10, E5-09-ACL11
VERRON	Jacques	H	1950	CNRS	DR1	19	oui	E5	GRENOBLE-IMP		01/1995	E5-09-ACL3, E5-09-ACL4, E5-09-ACL5, E5-09-ACL6, E5-09-ACL7
WIRTH	Achim	H	1968	CNRS	CR1	19		E5	GRENOBLE-IMP		10/2005	E5-05-ACL1, E5-06-ACL14, E5-08-ACL6, E5-08-ACL12, E5-08-ACL13
ACHARD	Jean-Luc	H	1949	CNRS	DR2	10	oui	E6	GRENOBLE-IMP		01/1995	E6-07-ACL5, E6-08-ACL9, E6-09-ACL2, E6-09-ACL4, E6-09-ACL5
DAVOUST	Laurent	H	1970	CNRS	CR1	10	oui	E6	GRENOBLE-IMP		10/1997	E6-07-ACL7, E6-08-ACL1, E6-08-ACL2, E6-08-ACL3, E6-09-ACL1

Récapitulatif chercheurs (préciser l'organisme de recherche)	Nombre de chercheurs CNRS	dont HDR	Nombre de chercheurs .....	dont HDR	Nombre de chercheurs .....	dont HDR	Total ch.
exerçant dans l'établissement de rattachement déposant : INPG							0,00
exerçant dans l'établissement de rattachement : UJF	20,00	11,00					20,00
exerçant dans l'établissement de rattachement : .....							0,00
<b>Total chercheurs</b>	<b>20,00</b>	<b>11,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>			<b>20,00</b>

(1) EPST ou EPIC employeur : CNRS, Inserm, INRA, IRD, CEA, IFREMER, CIRAD...

(2) DRCE, DR1, DR2, CR1, CR2, Cadre sc. EPIC, autre.

(3) Cocher les cases (X) correspondant aux chercheurs habilités à diriger des recherches.

(4) Cf tableau 1.

(5) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(6) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici le code de l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(7) Mois et année.

(8) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

DRCE	
DR1	Directeur de recherche EPST
DR2	
CR1	Chargé de recherche EPST
CR2	
Cadre supérieur	
Cadre confirmé	Cadre scientifique des EPIC
Cadre débutant	
autre	autre statut

## 2 – Ressources humaines

### 2.4 - Liste nominative des autres chercheurs (secteurs privé et public) proposée au 1er janvier 2011 (hors recrutements escomptés)

(à classer par équipe interne s'il en existe)

Libellé de l'établissement <input type="text"/>											
code établissement = <b>code</b>											
Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Statut (1)	HDR (3)	Institution d'appartenance (2)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (4)	Etablissement d'enseignement supérieur d'exercice, le cas échéant (5)	Code de l'établissement d'exercice, le cas échéant (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)	N° des 5 dernières productions (8)
MORRA	Christophe	H	1972	autre		Floralis (Provadesme)	E1	GRENOBLE 1	0381912X	2009	sans objet
GLUCK	Stéphane	H	1974	autre		Sté A2 Photonics	E1	Grenoble INP	0381912X	2005	sans objet
LOPEZ	Brice	H		autre		Sté Siliflow	E2	Grenoble INP	0381912X	2004	sans objet
<b>Total</b> 3					dont HDR						

(1) PH, CJC, Ch. contractuel, autre. Les DR émérites (DREM) seront inscrits dans ce tableau.

(2) Préciser le nom de l'organisme, établissement, fondation, entreprise, ministère etc. qui emploie le chercheur.

(3) Cocher les cases (X) correspondant aux chercheurs habilités à diriger des recherches.

(4) Cf tableau 1.

(5) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(6) Dans le cas d'une unité rattachée à plusieurs établissements d'enseignement supérieur, indiquer ici le code de l'établissement d'enseignement supérieur où le chercheur effectue son activité.

(7) Mois et année.

(8) Inscrire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

<b>DREM</b>	Directeur de recherche émérite
<b>PH</b>	Praticien hospitalier
<b>CJC</b>	Contrat jeune chercheur INSERM (CDD 3 / 5 ans, Avenir)
<b>Ch. contractuel</b>	Chercheur contractuel
<b>autre</b>	autre statut

## 2 – Ressources humaines

2.5 - Liste nominative des ingénieurs, techniciens, administratifs, personnels ouvriers et de service (ITA des EPST, IATOS de l'enseignement supérieur) et des personnels d'accompagnement cadre et non cadre des EPIC, titulaires au 30 juin 2009  
(à classer par équipe interne s'il en existe)

Nomenclature à respecter :  
IATOS ministère : CASU, APAEN, AAEN, SASU ; IGR, IGE, ASI, TCH, ADT, AGT  
ITA organismes : IR, IE, AI, TCH, AJT, AGT Personnels EPIC (Cadre et Non cadre)

Libellé de l'établissement

code établissement = code

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Corps grade ou niveau de classement (1)	B.A.P. (2)	HDR (3)	Participation à l'unité en ETPPT (4)	Organisme de recherche d'appartenance pour les personnels EPST ou EPIC, Etablissement d'enseignement supérieur d'affectation pour les IATOS (5)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (ou SC services communs) (7)	Date d'arrivée dans l'unité (8)
BEGOU	Patrick	H	1962	IR	E		1	CNRS	E7	01/1995
BRANKART	Jean-michel	H	1969	IR	E		1	CNRS	E5	11/2001
DIDELLE	Henri	H	1946	IR	C		1	CNRS	SC5	01/1995
MOLINES	Jean-marc	H	1956	IR	E		1	CNRS	E5	01/1995
MOREAU	Gabriel	H	1967	IR	E		1	CNRS	SC2	01/2006
VIGNAL	Laure	F	1978	IR	C		1	CNRS	SC3	12/2005
CARECCHIO	Pierre	H	1961	IE	C		1	CNRS	SC4	09/1998
LAGAUZERE	Muriel	F	1974	IE	C		0,8	CNRS	SC3	09/1999
RIONDET	Michel	H	1962	IE	C		1	CNRS	SC4	01/1995
VIBOUD	Samuel	H	1972	IE	C		1	CNRS	SC5	11/2001
BARNOUD	Jean-marc	H	1959	TCH	C		1	GRENOBLE 1	SC4	01/2000
ARGENTINO	Patricia	F	1955	TCH	I		1	CNRS	SC1	06/2009
BOURHY	Nicole	F	1957	TCH	I		1	CNRS	SC1	12/1996
CHAMPAVIER	Sylvie	F	1970	SASU	I		0,8	GRENOBLE INP	SC1	09/2002
DE MARCHI	Olivier	H	1977	ASI	E		1	GRENOBLE INP	SC2	12/2008
GOVART	Vincent	H	1961	TCH	C		0,5	GRENOBLE 1	SC4	01/2007
KUSULJA	Mile	H	1972	TCH	C		1	GRENOBLE INP	SC4	01/2000
MERCIER	Stéphane	H	1970	TCH	C		1	GRENOBLE 1	SC4	01/2000
VIRONE	Joseph	H	1967	TCH	C		1	CNRS	SC4	09/2000

Récapitulatif IATOS titulaires (ministère)	Nombre d'IATOS en ETPPT	dont HDR
Etablissement de rattachement déposant : INPG.	3,00	
Etablissement de rattachement : CNRS	13,00	
Etablissement de rattachement : UJF	3,00	
Autres établissements		
<b>Total IATOS</b>	<b>19,00</b>	<b>0,00</b>

Récapitulatif ITA titulaires (préciser l'organisme de recherche)	Nombre d'ITA... en ETPPT	dont HDR	Nombre d'ITA... en ETPPT	dont HDR	Nombre d'ITA... en ETPPT	dont HDR	Total ITA
exerçant dans l'établissement de rattachement déposant : INPG.	3,00		2,80				5,80
exerçant dans l'établissement de rattachement : CNRS	13,00		12,80				25,80
exerçant dans l'établissement de rattachement : UJF...	3,00		2,50				5,50
<b>Total ITA</b>	<b>19,00</b>	<b>0,00</b>	<b>18,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>37,10</b>

(1) IATOS ministère : CASU, APAEN, AAEN, SASU ; IGR, IGE, ASI, TCH, ADT, AGT.

ITA organismes : IR, IE, AI, TCH, AJT, AGT.

Personnels non cadre des EPIC : Non cadre EPIC.

(2) Branche d'activité professionnelle, de A à H ou I.

(3) Cocher les cases (X) correspondant aux personnels habilités à diriger des recherches.

(4) En équivalent temps plein travaillé (1 = temps complet dans l'unité ; 0,5 = mi-temps dans l'unité etc...)

Exemple : Un personnel à temps plein qui travaille dans 2 unités de recherche à égalité de temps comptera 0,5 dans chacune d'entre elles (0,25 s'il est à mi-temps)

(5) Pour les IATOS : nom de l'établissement d'affectation. Pour les ITA : nom de l'organisme de recherche employeur (CNRS, Inserm, INRA, IRD, CEA, CIRAD...).

(6) Cf tableau 1.

(7) Mois et année.

ATOS	CASU	Conseiller d'administration scolaire et universitaire
	APAEN	Attaché principal d'administration de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur
	AAEN	Attaché d'administration de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur
	SASU	Secrétaire d'administration scolaire et universitaire
ITRF	IGR	Ingénieur de recherches
	IGE	Ingénieur d'études
	ASI	Assistant ingénieur
	TCH	Technicien de TEN ou de laboratoire
	ADT	Adjoint administratif
ITA	AGT	Agent administratif ou de laboratoire
	IR	Ingénieur de recherches
	IE	Ingénieur d'études
	AI	Assistant ingénieur
	TCH	Technicien de recherche
Personnels EPIC	AJT	Adjoint de recherche
	AGT	Agent de recherche
	Cadre EPIC / Non cadre EPIC	Personnels cadres des EPIC / Personnels non cadres des EPIC

## 2 – Ressources humaines

### 2.6 - Liste nominative des ingénieurs, techniciens, administratifs, personnels ouvriers et de service contractuels (secteurs privé et public) proposée au 1er janvier 2011 (hors recrutements escomptés)

(n'inscrire que les personnels en CDI ou en CDD supérieur à 6 mois)

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance (XXXX)	Corps grade (1)	B.A.P. (2)	Participation à l'unité en ETPT (3)	Etablissement employeur (4)	Type et durée du contrat (5)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (ou SC services communs) (6)	Date d'arrivée dans l'unité (7)
GERMINARIO	Julie	F	1981	CT.	I	1	Grenoble-INP	CDD 10 mois	SC1	01/2009
BRASSEUR	Josiane	F	1963	CT.	I	0,7	GRENOBLE 1	CDI	E5	04/1995
LACHIZE	Christelle	F	1985	CT.	I	0,5	CNRS	CDD 12 mois	E5	06/2009
LACIPERE	Jérôme	H	1984	CT.	C	1	CNRS	CDD 12 mois	E3	06/2009
LEMIEUX-DUDON	Bénédicte	F	1971	CT.	C	1	CNRS	CDD 24 mois	E5	09/2009

**Total en ETPT** 4,2

(1) C.T.A, C.T.B, C.T.C, ou C.T.

(2) Préciser si possible la BAP équivalente (branche d'activité professionnelle, de A à H ou I).

(3) En équivalent temps plein travaillé (1 = temps complet dans l'unité ; 0,5 = mi-temps dans l'unité etc...).

Exemple : Un personnel à temps plein qui travaille dans 2 unités de recherche à égalité de temps comptera 0,5 dans chacune d'entre elles (0,25 s'il est à mi-temps).

(4) Préciser le nom de l'organisme, établissement, fondation, entreprise, ministère etc. qui emploie l'ITA.

(5) Préciser : CDI, CDD 6 mois, CDD 12 mois...

(6) Cf tableau 1.

(7) Mois et année.

## 2 – Ressources humaines

### 2.7 - Liste des doctorants à la date de dépôt du dossier (à classer par équipe interne s'il en existe)

En cas de reconfiguration de l'unité (fusion, éclatement...), mentionner les doctorants qui feraient partie de la nouvelle unité.  
Ne seront pas mentionnés les doctorants dont la date de soutenance est fixée avant le 1er janvier 2011.

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance	Etablissement ayant délivré le master (ou diplôme équivalent) du doctorant	Directeur(s) de thèse	Date de début de thèse (1)	Financement du doctorant (2)	FI / FC (3)	N° des productions issues du travail du doctorant (4)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (5)
AESCHILMANN	Vincent	H	1983	Grenoble-INP	BARRE Stéphane - LEGOUPIL Samuel (co-dir)	10/2007	CNES - SNECMA	FI		E2
ANTHEAUME	Sylvain	H	1982	Grenoble-INP	MAITRE Thierry PELLONE Christian	10/2007	A	FI	<b>E2-08-ACL1, E2-07- ACT11, E2-07-ACT19, E2608-ACT15, E2- 07-ACTN2, E2-07- ACTN3</b>	E2
AUMELAS	Vivien	H	1985	Grenoble-INP	PELLONE Christian / MAITRE Thierry	10/2008	A	FI		E2
BAGHERIMIAB	Fereshteh	F	1977	Université de Téhéran (Iran)	EPFL: Christophe ANCEY / David HURTHUR	4/2008	Bourse FNRS	FI	E4-09-ACT15	E4
BANSART	Patrick	H	1984	Université Nice Sophia Antipolis	Jacques BLUM LJD, Jacques VERRON	10/2007	A	FI		E5
BERNI	Céline	F	1984	GRENOBLE 1	BARTHELEMY Eric / MICHALLET Hervé	09/2008	AC	FI	<b>E4-09-ACL10</b>	E4
BOURRILHON	Thibaut	H	1978	Grenoble-INP	Thibault JP / Cartellier A	11/2004	CIFRE	FI	E1-06-BRV1	E1
CATALANO	Emanuele	H			3SR: Bruno CHAREYRE / Eric BARTHELEMY	12/2008	BQR Grenoble-INP	FI		E4
CHAMPAGNAC	Maxime	H	1981	Grenoble-INP	GONCALVES Eric	10/2007	A	FI	E2-08-ACT14	E2
CHASSAGNEUX	François Xavier	H	1983	GRENOBLE 1	BARTHELEMY Eric / HURTHUR David	12/2007	A	FI	<b>E4-09-ACL7, E4-09- ACT13</b>	E4
DE MALMAZET	Erik	H			BERTHOUD Georges SE2T / HOPFINGER Emil	10/2005	INDUSTR	FI		E1
DELLINGER	Nicolas	H	1981	Université Pierre et Marie Curie Paris VI	FORAY Pierre / ACHARD Jean-Luc	09/2006	AC	FI	E2-06-ACTN5, E2-08- ACT11	E2
DESNOUS	Clélia	F	1985	ENSIETA	MATAS Jean-Philippe / CARTELLIER Alain	11/2008	CIFRE	FI		E1
DESRUES	Tristan	H	1983	ENSP Grenoble	MARTY Philippe / FOURMIGUE Jfrançois	12/2007	CIFRE	FI		E2
DUCHEZ	Aurélie	F	1984	ISITV / Université de Toulon	VERRON Jacques FRAUNIE Philippe LSEET-LEPI /	10/2007	A	FI	E5-08-ACT14	E5
DUFOUR	Carolina	F	1985	ISITV / Université de Toulon	BARNIER Bernard / GEHLEN Marion	10/2008	bourse CEA Saclay	FI		E5
DUPRAT	Cédric	H	1981	Grenoble-INP	METAIS Olivier	10/2006	ADEME	FI		E7
FOUGAIROLLE	Pierre	H	1981	Grenoble-INP	HERVIEU Eric CEA / GAGNE Yves	10/2004	bourse CEA	FI	E1-07-ACTN8	E1
FREYCHET	Nicolas	H	1983	GRENOBLE 1	COSME Emmanuel / BRASSEUR Pierre	10/2008	A	FI		E5
GARRIER	Sylvain	H	1983	ISTI Lyon	MARTY Philippe / DE RANGO Patricia inst néel	11/2007	CARNOT	FI		E2
GRASSO	Florent	H	1982	GRENOBLE 1	BARTHELEMY Eric / MICHALLET Hervé	11/06	A	FI	<b>E4-07-ACL5, E4-09- ACL5, E4-09-ACL8, E4-09-ACL10, E4-07- ACTI2, E4-07- ACTN4, E4-07- ACTN5</b>	E4
GRISOUARD	Nicolas	H	1983	Université Joseph Fourier	STAQUET Chantal	10/2007	DGA	FI	<b>E3-08-ACL2, E3-09- ACTI6</b>	E3
HAMDI	Nassereddine	H	1971	Grenoble-INP	KUENY Jean-Louis	09/2007	ETR	FI		E2
HERENGER	Nicolas	H	1984	ENSTA	MCCLUSKEY Francis	01/2008	CIFRE	FI		E2
HUANG	Yu lin	H	1978		DAVOUST Laurent	10/2005	CROUS	FI	<b>E6-08-ACL2, E6-08- ACTI6</b>	E6
JAQUIER	Thomas	H	1982	GRENOBLE 1	ACHARD Jean-Luc	12/2008	CIFRE	FI	E2-08-BRV2, E2-09- BRV1	E2
JUZA	Mélanie	F	1980	Université de Bretagne Occidentale	BARNIER Bernard / PENDUFF Thierry	12/2008	CNRS	FI		E5



Nom	Prénom	H/F	Année de naissance	Etablissement ayant délivré le master (ou diplôme équivalent) du doctorant	Directeur(s) de thèse	Date de début de thèse (1)	Financement du doctorant (2)	FI / FC (3)	N° des productions issues du travail du doctorant (4)	N° de l'équipe interne de rattachement, le cas échéant (5)
KUBICKI	Vincent	M	1982	ENSP Grenoble	Jean-Luc HARION / Sédad TARDU	01/10/06	Ecole des Mines Douai	FI		E1
LARGERON -CHETAIL	Yann	H	1984	ENSMa Poitiers	STAQUET Chantal	10/2007	COLL TERR	FI	E3-09-ACL4, E3-08-ACT11	E3
LECOINTRE	Albanne	F	1983	GRENOBLE 1	BARNIER Bernard PENDUFF Thierry	10/2006	BDI CNES-CNRS	FI	E5-07-ACT17	E5
LEVEDER	Tanguy	H	1982	Grenoble-INP	Stefan Landis CEA LETI / DAVOUST Laurent	10/2005	CEA	FI	E6-07-ACL2, E6-07-ACL3, E6-07-ACL4, E6-07-ACL7, E6-08-ACL3, E6-08-ACT13, E6-07-ACTN2, E6-07-ACT11, E6-08-ACT15	E6
MALK	Rachid	H	1984	Grenoble-INP	DAVOUST Laurent / FOUILLET Yves (LETI)	10/2007	CIFRE	FI		E6
MBAYE	Serigne	H	1979	Université Louis Pasteur de Strasbourg	SECHET Philippe / PIGNON Frédéric(Rhéologie)	10/2007	A	FI		E1
MEINVIELLE	Marion	F	1984	GRENOBLE 1	BRASSEUR Pierre / BARNIER Bernard	12/2008	BDI CNRS/CNES	FI		E5
MELET	Angélique	F	1982	Ecole Centrale Lyon	VERRON Jacques	10/2006	INSU	FI		E5
MENTAKA ROA	Ane	F	1984	Grenoble-INP	MAITRE Thierry / PELLONE Christian	10/2008	ADEME	FI	E2-08-ACT12, E2-09-ACT11	E2
MOORE	Stephany	F	1983	Université Dalhousie Canada	CEMAGREF: J. LE COZ et A. PAQUIER / David HURTHER	11/2008	EDF / CNR	FI	E4-09-ACT14	E4
PHAN	Hai Trieu	H	1984	INSA Lyon	MARTY Philippe / CANEY Nadia	10/2007	CEA	FI	E2-09-ACL9, E2-08-ACT10, E2-09-ACT11, E2-09-ACTN1, E2609-ACTN4	E2
SCOLAN	Hélène	F	1984	ENS LYON	FLOR Jan Bert	09/2008	AM	FI		E3
SINGH	Jitendra	H	1983	Indian Institute of Technology Guwahati, India	GLIERE Alain CEA LETI / ACHARD Jean-Luc	10/2006	CEA-CFR grant	FI	E6-09-ACL4, E6-08-ACT13	E6
SOLLIER	Elodie	F	1982	GRENOBLE 1	FOUILLET Yves / ACHARD Jean-Luc	10/2006	CEA (CTBU)	FI	E6-09-ACL2, E6-07-ACT12, E6-08-ACT14, E6-09-ACT11, E6-09-ACT12, E6-08-BRV4, E6-08-BRV6	E6
SOUPREMANIEN	Ulrich	H	1981	Université Paul Sabatier	LE PERSON Stéphane / BULTELL Yann	10/2006	A	FI	E2-07-ACL15, E2-09-ACT12	E2
TEMBELY	Moussa	H	1981	Ecole Nat. Sup. de l'Aéro et de l' Espace (SUPAERO)	SOUCEMARIANADIN Arthur(GRENOBLE 1)/LECOT Christian (Univ. Savoie)	10/2006	ETR	FI	E6-08-ACT18, E6-08-ACT19, E6-09-ACT13	E6
TRIDON	Sylvain	H	1982	Grenoble-INP	BARRE Stéphane / CIOCAN Gabriel	10/2006	A	FI	E2-08-ACT14	E2
BOSSARD	Jonathan	H	1986	dispensé	FRANC Jean-Pierre	10/2009	ADEME	FI		E2
BOUGHERRA	Nizar	H	1980	INSA Lyon	MARTY Philippe	10/2009	ANR NANOSURF	FI		E2
BOUHTIER	Pierre-Antoine	H	1985	GRENOBLE 1	VERRON Jacques	10/2009	ANR VODA	FI		E5
DECAIX	Jean	H	1986	Grenoble-INP ENSE3	FORTES PATELLA Régiane / GONCALVES Eric	10/2009		FI		E2
DURI	Davide	H	1984	GRENOBLE 1	BAUDET Christophe	10/2009	BDI-E CEA-CNRS	FI		E1
HAMAWY	Lara	F	1983	Université International	BARRE Stéphane	10/2009	ETR	FI		E2
TOUBLANC	Florence	F	1986	Université Paul Sabatier	STAQUET Chantal	10/2009	A	FI		E3
MOURCHED	Bachar	H	1985	Univ Science et lettre Montpellier	AYELA Frédéric	10/2009	A	FI		E2

**Total des doctorants à la date de dépôt du dossier** 50

(1) Mois et année.

(2) A, AM, AC, AMX, ATER, CIFRE, SECD, BDI CNRS, INDUSTRI, ASSOC, COLL TERR, ETR, Autre (préciser), AUCUN.

(3) FI : formation initiale, FC : formation continue.

(4) Inscire les numéros permettant d'identifier les productions dans la liste figurant dans la Partie I : Bilan scientifique.

(5) Cf tableau 1.

Financement du doctorant	<b>A</b>	Allocataire de recherche
	<b>AM</b>	Allocataire-moniteur
	<b>AC</b>	Allocation couplée
	<b>AMX</b>	Allocataire-moniteur polytechnicien
	<b>ATER</b>	Assistant temporaire d'enseignement et de recherche
	<b>CIFRE</b>	Convention industrielle de formation par la recherche
	<b>SECD</b>	Enseignant du second degré
	<b>BDI CNRS</b>	Bourse de doctorat pour ingénieur - CNRS
	<b>INDUSTR</b>	Bourse industrie
	<b>ASSOC</b>	Bourse association
	<b>COLL TERR</b>	Bourse collectivité territoriale
	<b>ETR</b>	Etranger
	(...)	Autre financement à préciser
<b>AUCUN</b>	Aucun financement	

### 3 – Surfaces recherche (en m<sup>2</sup> SHON\*) prévues pour l'unité de recherche au 1<sup>er</sup> janvier 2011

*Les surfaces occupées par les structures fédératives feront l'objet d'une identification spécifique dans le dossier de la structure fédérative.*

Etablissement(s) d'enseignement supérieur et/ou organisme(s) prenant en charge des coûts d'infrastructures " recherche" de l'unité	Ventilation des surfaces en m <sup>2</sup>
Institut National Polytechnique de Grenoble	6000
Etablissement de rattachement : .....	
Etablissement de rattachement : .....	
Organisme de recherche : .....	
Organisme de recherche : .....	
Autres (AP-HP, CHU, CHR, autre à préciser) : .....	
<b>TOTAL des surfaces</b>	<b>6000</b>

\* Surface hors œuvre nette. Surface SHON = surface utile x 1,4.

Surface utile : surface d'une pièce mesurée à l'intérieur des murs porteurs et des cloisons.

Surface hors œuvre nette : surface administrative utilisée lors du dépôt du permis de construire qui correspond à la somme des surfaces délimitées par les périmètres extérieurs de la surface horizontale de chaque étage clos ou sous-sol aménagé déduction faite des surfaces non exploitables (balcons, terrasses, volumes non clos).

