

RECHERCHES

RAPPORT  
D'ACTIVITÉ  
RECHERCHE

2008/2009/2010

Institut National des Sciences Appliquées  
Ecole publique d'ingénieurs



## Recherche

La recherche et le transfert technologique constituent des missions essentielles de notre établissement. Durant la période 2008-2010, la politique scientifique de l'INSA de Rennes a privilégié les synergies avec son environnement local et régional. Ainsi, l'implication des équipes de l'établissement dans des laboratoires communs aux membres du PRES UEB - Université Européenne de Bretagne permet d'atteindre la masse critique tout en préservant le niveau d'excellence des équipes pour faire face à la compétition internationale.

Dans le rapport d'évaluation du comité d'experts AERES pour la période 2006-2009, la recherche est citée comme un point fort de l'institut, en particulier grâce à des indicateurs favorables, de bonnes ressources et un excellent potentiel.

Le bilan de ces 3 dernières années est ainsi très positif :

- une bonne évaluation des laboratoires,
- une croissance importante de l'activité contractuelle,
- une augmentation des effectifs de doctorants,
- un investissement important dans le PRES UEB,
- une forte participation dans les pôles de compétitivité et les dispositifs d'investissements d'avenir.

L'évaluation des UMR auxquelles participe l'INSA de Rennes a donné les notes suivantes : A+ pour les deux UMR IRISA et IRMAR, A pour les trois UMR FOTON, IETR et SCR et B pour l'Equipe Associée LGCGM. Plus précisément, l'évaluation des équipes INSA au sein de ces unités est très positif ; la plupart ont été notées A, d'autres A+, ce qui témoigne de l'excellence de la recherche menée à l'INSA de Rennes.

L'activité contractuelle avec les industriels s'est fortement développée. Ainsi, le volume financier des contrats a progressé de 30 % durant les 4 dernières années pour atteindre plus de 4 M€ TTC chaque année. La plateforme technologique « génie civil et génie mécanique » a vu le jour en 2010. Elle permettra à l'avenir d'offrir à de nouveaux partenaires industriels des moyens ambitieux de tests grandeur nature. L'effort important effectué en termes de publications, communications et volume de contrats par les différents chercheurs de l'institut a été tout particulièrement apprécié par le comité d'experts AERES.

En relation avec l'augmentation du nombre de projets collaboratifs, le nombre de doctorants et de thèses soutenues a également progressé de façon significative : de 135 doctorants inscrits en 2007/2008 à 159 en 2009/2010 et de 37 thèses soutenues en 2007 à 44 en 2010.

Par ailleurs, l'INSA de Rennes a conforté durant ces 3 dernières années son investissement au sein du PRES UEB, en assurant l'animation de son activité recherche par une vice-présidence du conseil scientifique.

Enfin, l'INSA de Rennes a poursuivi son implication au sein des pôles de compétitivité et a contribué de façon significative à la rédaction d'un grand nombre de dossiers liés aux investissements d'avenir (Labex CominLabs, IRT B-COM, IDEX IC Ouest, SATT, etc.).

L'INSA de Rennes confirme ainsi sa politique ambitieuse de développement de la recherche partenariale en renforçant ses nombreuses coopérations aux niveaux régional, national et international pour relever les défis scientifiques de demain.

Jean-François HELARD  
Directeur de la recherche

Édito



08



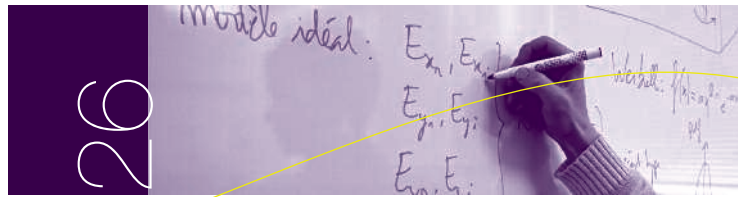
14



20



26



38



32



# Sommaire

04 EN QUELQUES CHIFFRES

08 FOTON-INSA  
Fonctions Optiques pour les Technologies de l'informatiON

14 IETR-INSA  
Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes

20 IRISA-INSA  
Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires

26 IRMAR-INSA  
Institut de Recherche Mathématiques de Rennes

32 SCR-INSA  
Sciences Chimiques de Rennes

38 LGCGM  
Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique





# En quelques chiffres

## Les thématiques de recherche

Durant la période 2008-2010, l'INSA de Rennes a mis en œuvre une meilleure structuration de sa recherche en partenariat avec les établissements de la région Bretagne et les organismes de recherche nationaux, le CNRS et l'INRIA. L'organisation actuelle est le fruit d'initiatives de ses laboratoires de recherche et d'une politique incitative, notamment à travers le redéploiement de ses moyens humains.

Plus précisément, les enseignants-chercheurs et les chercheurs des unités de recherche sont désormais regroupés en deux pôles qui œuvrent au développement de nouvelles technologies de l'information et de la communication (pôle STIC - Sciences et Technologies de l'Information et des Communications) et, à la création de nouveaux matériaux et structures durables et respectueux de l'environnement (pôle MSM - Matériaux, Structures, Mécanique).

Les principaux domaines d'excellence sont regroupés en 5 axes stratégiques :

- Réseaux informatiques, Images et réalité virtuelle,
- Nano structures et photonique sur silicium,
- Antennes et systèmes de communications numériques,
- Ingénierie des matériaux et des systèmes,
- Statistiques et analyse mathématique appliquée.

Ces thématiques de recherche, étroitement liées aux spécialités de la formation d'ingénieurs INSA, permettent de répondre d'une manière globale aux besoins exprimés par le monde socio-économique.

## Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)

### Effectifs en décembre 2010 et dernière évaluation AERES

La recherche est aujourd'hui structurée en 6 laboratoires qui regroupent 112 enseignants-chercheurs et chercheurs, 33 IATOS\* et 159 doctorants. Selon les critères de l'AERES, 90 % des enseignants-chercheurs de l'INSA de Rennes sont considérés comme produisant.

Les résultats des comités des évaluations (AERES, CNRS, INRIA) effectuées en 2010 témoignent de l'excellence de la recherche menée au sein des 5 UMR et de l'équipe associée (EA) :

	Enseignants chercheurs	IATSS*	Doctorants 2009/2010	Evaluation AERES fin 2010
UMR CNRS 6082 : FOTON-INSA Fonctions Optiques pour les Télécommunications	17	9.3	13	A
UMR CNRS 6164 : IETR – INSA Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes	25	7.85	59	A
UMR CNRS 6074 : IRISA – INSA Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires	18	2	29	A+
UMR CNRS 6625 : IRMAR – INSA Institut de Recherche en Mathématiques de Rennes	14	1	4	A+
UMR CNRS 6226 : SCR – INSA Sciences Chimiques de Rennes	11	5	9	A
EA 3913 : LGCGM Laboratoire Génie Civil et Génie Mécanique	27	7.95	45	B
<b>Total</b>	<b>112</b>	<b>33.1</b>	<b>159</b>	

\* Ingénieurs, techniciens, administratifs



# Recherche

### Résultats académiques

Année	Masters*	Thèses soutenues**	Thèses en co-tutelle soutenues**	HDR soutenues**
2008	72	29	1	4
2009	68	30	5	3
2010	63	44	3	1
<b>Total</b>	<b>203</b>	<b>103</b>	<b>9</b>	<b>8</b>

\* inscrits à l'INSA de Rennes - \*\* soutenues durant l'année civile

### Résultats scientifiques et contractuels

Année	Publications internationales	Communications internationales	Recettes des contrats de recherche*	Brevets Extensions
2008	172	229	3 947	1/5
2009	141	256	3 879	2/8
2010	140	199	3 470	4
<b>Total</b>	<b>453</b>	<b>684</b>	<b>11 296</b>	<b>7/13</b>

\* crédits hors CNRS et INRIA en K€ – montant hors taxes





L'INSA de Rennes a bénéficié de financements importants (collectivités locales, CPER, etc.) pour la construction de la Plateforme Technologique (PFT) et pour l'acquisition d'équipements lourds. L'aide des collectivités territoriales se concrétise par les participations du CPER – Contrat de Projets Etat–Région (15 % des financements) mais aussi par les financements d'accueil des enseignants-chercheurs, les allocations de recherche ainsi que de projets de recherche. La participation de l'INSA de Rennes dans les réseaux d'excellence et les projets européens est en progression. Cet effort doit se poursuivre dans les années à venir.

Enfin, la création d'entreprises est une priorité en matière de transfert pour l'INSA de Rennes. Quatre de ces entreprises sont aujourd'hui hébergées par l'établissement et deux d'entre elles ont été lauréates au concours MESR « émergence » et « création-développement ».

Les équipes de recherche ont enregistré une croissance continue et soutenue de la production scientifique, par rapport à la période précédente caractérisée par une augmentation significative du nombre de publications dans les revues internationales (453 publications durant les 3 années), soit une moyenne annuelle de 2,6 publications par Equivalent Temps Plein (ETP) recherche.

Cette production scientifique a été tout particulièrement remarquée par le comité AERES, tout comme le nombre de conférences invitées (40 sur les 3 ans), ce qui est le signe d'une bonne notoriété internationale des chercheurs. De même, les acteurs de la recherche de l'établissement sont très présents dans les conférences et congrès internationaux (684 communications internationales), dont plus d'une dizaine sont organisées chaque année par les équipes de l'INSA de Rennes. En matière de protection des résultats, un portefeuille de 15 familles de brevets et de 30 logiciels déposés est en vigueur fin 2010.

Enfin, le volume financier des contrats de recherche, s'élevant à 11.296 M€ HT sur les 3 ans (hors financements CNRS et INRIA), a également connu une progression significative de 30 % par rapport à la période précédente.

### Les collaborations industrielles, académiques et internationales

#### Partenariats industriels

Les activités de recherche fondamentale et appliquée menées à l'INSA de Rennes s'appuient sur de nombreux partenariats avec le monde industriel. Elles participent activement à la dynamique du développement socio-économique régional et national à travers les pôles de compétitivité et les programmes nationaux, européens et internationaux.

Les ressources de financements des activités de recherche sur la période 2008-2010 proviennent de contrats industriels dans des collaborations et consortia (36%), de conventions ANR (27%), de projets européens (7 %) et de fonds publics régionaux et locaux (30 %). Cette répartition reflète bien la dualité recherche amont - recherche finalisée et le fort partenariat avec les industriels (cf. figure 1). Une nette augmentation des conventions ANR est à noter par rapport à la période précédente ainsi que des projets collaboratifs en relation avec les pôles de compétitivité, ce qui correspond au mode actuel de financement de la recherche.

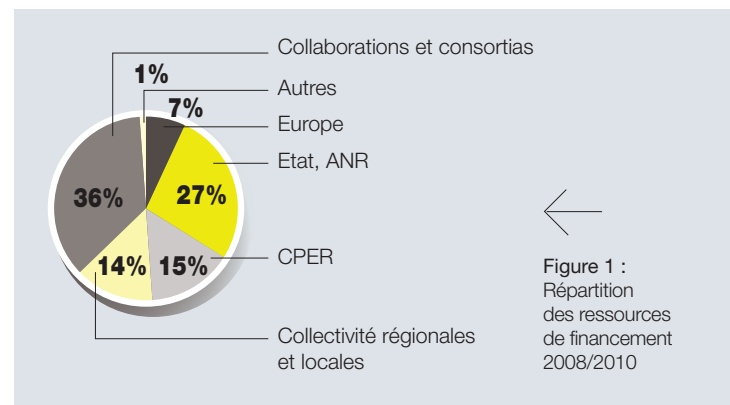


Figure 1 : Répartition des ressources de financement 2008/2010

#### Pôles de compétitivité

Avec ses partenaires académiques et industriels, l'INSA de Rennes a participé à la création de pôles de compétitivité. Aujourd'hui, ses équipes de recherche sont partenaires de plusieurs projets labellisés par quatre pôles de compétitivité : Images & Réseaux, Mer, iD4CAR et EMC2.

Pôles de compétitivité	Projets labellisés
Images et Réseaux	TECHIM@GES, SCALIM@GES, MOBILE TV WORLD, SVC4QoE
	CAPNET, PART@GE, LAMBDA@CCES, CASTEL
	CP2C, ScriptEveryWhere, METAPHORT, MOBISKETCH
Mer	RUBI3, M <sup>3</sup> , CORVETTE TRIMARAN, ARA ICOS-HD, ENGINES
iD4CAR	INTERNET PECHE BAS COUT, GRAND LARGUE, SAPHIR
	CIRHMA, CIFAER

Les enseignants-chercheurs de l'INSA de Rennes sont fortement impliqués dans la gouvernance de deux des quatre pôles et notamment celle du pôle Images & Réseaux à vocation mondiale. La quasi-totalité des projets labellisés par les pôles de compétitivité ont été financés par l'ANR ou la Région Bretagne.

**Contrat de projets Etat-Région**

L'INSA de Rennes a négocié en 2006 avec l'Etat et la Région Bretagne sa participation au contrat de projets Etat-Région 2007-2013. L'établissement a bénéficié du soutien conjoint des deux partenaires pour le développement des projets suivants : PALMYRE 2 (plates-formes pour les futurs systèmes de communication), PONANT (nano-objets pour la photonique sur substrat InP et Silicium), Support Invent'IST (Réalité virtuelle et GRID 5000) et PRINTAN (ingénierie des matériaux et des systèmes).

**Réseaux d'excellence européens**

Les équipes de recherche de l'INSA de Rennes sont actuellement impliquées dans six réseaux d'excellence européens, tant au niveau des comités de pilotage que des groupes de travail. Plusieurs projets de recherche menés en relation avec ces réseaux s'appuient sur les plateaux techniques de l'établissement : la centrale technologique pour les nano-structures (FOTON - INSA) et la base de mesures en champ proche pour les antennes intégrées (IETR - INSA).

Réseaux d'excellence européen	Sigle	Partenaires
Network of excellence (NoE) "Antenna Center of Excellence"	ACE 2	50 partenaires (dont 21 industriels) 17 pays représentés Partiellement prolongé depuis 2008 au sein de l'association européenne EurAAP
NoE Photonic Integrated Components and Circuits	ePIXnet	32 partenaires (dont 9 industriels) 11 pays représentés
NoE Self-Assembled semiconductor Nanostructures for new Devices in photonics and Electronics	SANDIE	28 partenaires (dont 5 industriels) 11 pays représentés
NoE Wireless Communications	NEWCOM ++	33 partenaires 10 pays représentés
NoE Virtual reality and virtual environments applications for future workspaces	INTUITION	68 partenaires 15 pays
NoE Technologies de grilles et de peer-to-peer	CoreGrid	41 partenaires
NoE Architectures orientées services et grille	S-Cube	15 partenaires 10 pays
NoE Résistance aux défaillances et sécurité des systèmes	ReSIST	20 partenaires 8 pays

**Projets européens**

L'INSA de Rennes a participé à de nombreux projets européens, notamment dans le cadre du programme FP7 :

Projets européens	Sigle	Partenaires
ICT FP7 Home Gigabit Area, Converged Ultra High Speed Home and Access Networks	OMEGA	20 partenaires 8 pays représentés
ICT FP7 Wireless Hybrid Enhanced Radio Positioning Procedures	WHERE	14 partenaires 10 pays représentés
ICT FP7 Natural Interactive Walking Project	NIW	6 partenaires 4 pays représentés
ICT FP7 Développement d'une plateforme pour l'auto-réparation de web-services	WS-Diamond	8 partenaires 4 pays représentés
Broadcast for the 21 <sup>st</sup> century (programme CELTIC)	B21C	32 partenaires, dont 24 industriels 7 pays représentés
Enabling Next Generation Networks for Broadcast Services (programme CELTIC)	ENGINES	26 partenaires 5 pays représentés
Projet de l'agence spatiale européenne (grands réseaux d'antennes pour satellite)	ARTES	
NanoBioAll sur les alliages à destination biomédicale (programme EUREKA)	MNT-ERA-net	
Optimisation des performances sismiques des structures acier et mixtes acier-béton	OPUS	7 partenaires, 5 pays représentés

**Collaborations internationales**

D'une manière générale, l'amélioration de la qualité de la production scientifique de l'INSA de Rennes rend ses équipes de recherche plus attractives au niveau international. Outre l'activité contractuelle, deux indicateurs permettent de mesurer cette évolution favorable : l'augmentation d'étudiants étrangers, aussi bien inscrits en Master de recherche qu'en thèse et la croissance continue du nombre de post-doctorants rémunérés par l'établissement sur des contrats de recherche.

Pour inciter à la mobilité internationale des doctorants, le conseil scientifique de l'INSA de Rennes a adopté un dispositif complémentaire à ceux déjà proposés par le PRES UEB et Rennes Métropole. L'objectif à terme est d'offrir une expérience internationale à chaque doctorant de l'établissement. Par ailleurs, durant la période 2008-2010, une quinzaine de thèses ont bénéficié du statut de co-tutelle ou de co-encadrement avec des co-directions assurées dans des laboratoires partenaires de divers pays : Cambodge, Vietnam, Liban, Maroc, Algérie, Sénégal, Tunisie, Suède, Italie, Arménie, etc. Un autre exemple de coopération internationale est le programme UT-INSA-CSC avec la chine ; grâce à ce dispositif, 24 doctorants chinois sont venus renforcer les équipes de recherche de l'INSA de Rennes depuis 2006.

Enfin, l'INSA de Rennes a accueilli chaque année une quinzaine de professeurs invités pour des séjours de 1 à 6 mois. Cette mobilité enseignante permet de compléter la formation de ses étudiants, inscrits en filières d'ingénieurs et/ou en masters de recherche, par des conférences et séminaires et de renforcer son rayonnement international.

**Les formations aux métiers de la recherche**

**Masters de recherche**

Dans le cadre de la co-habilitation avec ses partenaires bretons, l'INSA de Rennes est considéré comme établissement principal pour la gestion de deux masters de recherche (cf. figure 2) :

- Master I-Mars (Microtechnologie Architecture Réseaux et Systèmes de communications)
- Master IMGc (Ingénierie Mécanique et Génie Civil).

Pour les cinq autres masters, l'implication de l'INSA de Rennes est essentiellement pédagogique. Les étudiants inscrits constituent un vivier important pour les laboratoires. Le pourcentage des étudiants étrangers est en augmentation.

**Formation doctorale**

Les laboratoires de l'INSA de Rennes jouent le rôle de véritables équipes d'accueil pour les doctorants. En tant que membre du conseil d'administration des deux écoles doctorales MATISSE (Mathématiques, Informatique, Signal, Electronique et Télécommunications) et SDLM (Sciences De La Matière), l'INSA de Rennes participe activement à l'encadrement des doctorants.

Le nombre de doctorants inscrits est en nette augmentation puisqu'il est passé de 135 pour l'année universitaire 2007/2008 à 159 pour l'année 2009/2010 (cf. figure 3). Cette forte croissance du nombre des inscrits en thèse est à mettre en regard avec l'augmentation des projets collaboratifs sur la période concernée. Durant l'année 2009/2010, 92 doctorants étaient inscrits à l'école doctorale MATISSE et 67 à l'école doctorale SDLM. La figure 3 précise leur répartition dans les différents laboratoires de l'établissement.

Le nombre de soutenances au cours de ces 3 dernières années a également connu une forte progression, passant de 29 en 2008 à 44 en 2010. Durant cette dernière année 2010, les 44 thèses ont été soutenues après une durée moyenne de 40 mois. Par ailleurs, la proportion de doctorants étrangers est importante et dépasse aujourd'hui largement 50 % des effectifs (cf. figure 4), ce qui démontre l'attractivité internationale des équipes de recherche.

Le mode de financement des thèses se diversifie (cf figure 5). Pour la période 2008-2010, la part des allocations de recherche est de 24 %. Le nombre de financements sur contrats de recherche a augmenté sensiblement sur la période et représente plus de 17 % la dernière année. Le nombre de financements au travers de conventions CIFRE a pratiquement doublé par rapport à la période précédente et représente 18 % des financements.

Le suivi de l'insertion professionnelle des docteurs de l'INSA de Rennes est réalisé par l'établissement en collaboration avec les écoles doctorales (cf. figure 6). Leur placement sur le marché du travail est globalement très positif. Ce constat est justifié par le montant des Allocations pour la Recherche d'Emploi (ARE) versé par l'établissement ; celles-ci sont rares et n'excèdent jamais quelques mois.





Figure 2 :  
Flux des entrants en Masters de recherche

	Nouveaux d'étudiants en Master de recherche	dont étrangers	dont élève-ingénieur
2008/09	72	47	28
2009/10	68	50	21

Figure 3 :  
Nombre de doctorants inscrits à l'INSA de Rennes par laboratoire durant l'année universitaire 2009-2010

Année universitaire	FOTON	IETR	IRISA	IRMAR	LGCM	SCR	TOTAL
2009/10	13	59	29	4	45	9	159

Figure 4 :  
Flux des doctorants

	Doctorants inscrits	Nouveaux doctorants	Nouveaux doctorants étrangers
2007/08	135	44	22
2008/09	154	49	25
2009/10	159	39	25

Figure 5 :  
Mode de financement des doctorants inscrits sur la période 2008-2010

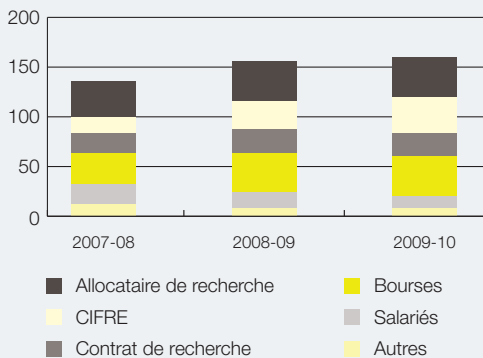
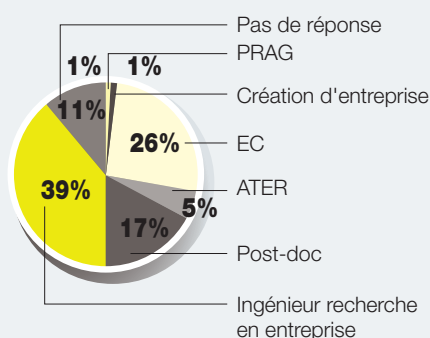


Figure 6 :  
Insertion professionnelle des docteurs de l'INSA de Rennes - Période 2008-2010  
(ATER : Attaché Temporaire à l'Enseignement et à la Recherche, EC : Enseignant-Chercheur, PRAG : Professeur Agrégé)



## Perspectives

L'effort important en termes de publications, communications et volume de contrats, effectué durant ces 3 années 2008-2010 par les différents chercheurs de l'INSA de Rennes a été tout particulièrement apprécié par les experts du comité AERES ; ceux-ci ont souligné l'excellent potentiel de recherche de l'établissement. Cet effort sera maintenu dans les années à venir, en cherchant à augmenter le pourcentage d'enseignants-chercheurs producteurs, pourtant déjà élevé (90%).

A court ou moyen termes, plusieurs actions seront poursuivies ou développées :

- Un renforcement de l'implication des laboratoires au sein des pôles de compétitivité, des programmes de recherche de l'ANR et des programmes européens.
- Dans le cadre des investissements d'avenir, l'INSA de Rennes a contribué à la rédaction de plusieurs dossiers ; il est particulièrement impliqué dans les projets retenus suivants :
  - Le laboratoire d'excellence COMIN – laboratoires FOTON, IETR, IRISA,
  - L'Institut de Recherche Technologique B-COM - laboratoires FOTON, IETR, IRISA,
  - La Société d'Accélération et de Transfert Technologique (SATT) Ouest Valorisation.

Une mobilisation de tous les chercheurs de l'INSA de Rennes permettra d'asseoir le rôle et la visibilité des unités de recherche dans leur ensemble, et de l'établissement en particulier, au sein de ces différents dispositifs. Liés aux investissements d'avenir, ceux-ci se mettent en place pour une durée de 10 ans.

- La recherche de nouvelles ressources et de nouveaux partenariats sera engagée, en cherchant à privilégier des accords à long terme. La direction des relations des entreprises et partenariats devrait permettre de renforcer toujours plus les liens avec les entreprises, les anciens élèves de l'INSA de Rennes et du Groupe INSA ainsi que les collectivités territoriales.
- La plateforme technologique « Génie Civil et Génie Mécanique » permettra d'offrir à de nouveaux partenaires des moyens ambitieux de tests grandeur nature. Plus généralement, le soutien au développement de plateaux techniques performants sera poursuivi.
- Pour entretenir l'attractivité de l'INSA de Rennes et offrir aux jeunes enseignants-chercheurs recrutés un environnement favorable à l'émergence d'une recherche de qualité, le dispositif d'aménagement de service sera poursuivi. De même, la politique d'attribution de CRCT, par exemple pour un passage d'une HDR ou une reconversion thématique porteuse au sein d'un laboratoire étranger, sera maintenue. Dans le même esprit, l'INSA de Rennes continuera de favoriser les demandes de délégation auprès des EPST (CNRS et INRIA) afin de densifier l'activité de recherche des enseignants-chercheurs bénéficiaires.



# FOTON-INSA Fonctions Optiques pour les Technologies de l'information

UMR CNRS 6082

Recherche

**FOTON-INSA** est la composante INSA de l'UMR CNRS 6082 FOTON. Cette Unité Mixte de Recherche regroupe les équipes de recherche de l'Université de Rennes 1, de TELECOM Bretagne, de l'ENSSAT Lannion et de l'INSA de Rennes.

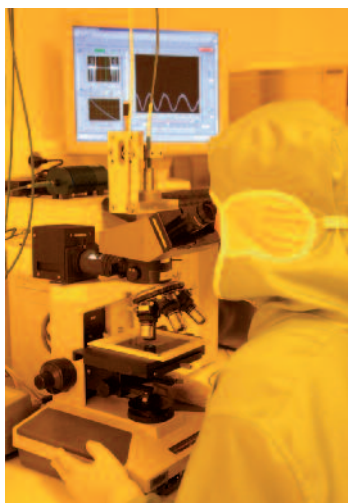
FOTON-INSA est aujourd'hui reconnu pour son excellence dans les nanotechnologies. Ses recherches se concentrent sur la croissance, l'étude et l'exploitation des propriétés électriques, optiques et optoélectroniques des structures à puits et boîtes quantiques.

**FOTON**  
Jean-Claude SIMON  
Directeur

**FOTON-INSA**  
Alain LE CORRE  
Directeur

Tél. +33 (0)2 23 23 83 06  
Fax +33 (0)2 23 23 86 18  
Alain.Le-Corre@insa-rennes.fr  
[www.insa-rennes.fr/foton](http://www.insa-rennes.fr/foton)





**FOTON-INSA**  
**En quelques mots**

- Nanostructures
- Photonique
- Telecom optique
- Composant très haut débit
- Lasers
- Boîtes quantiques
- Nanotubes de carbone
- Epitaxie
- Nanophysique
- Semiconducteurs III-V
- Photonique sur silicium
- Nanotechnologie

**La spécificité de FOTON-INSA réside dans le haut degré de ses compétences vis-à-vis des composants à base de matériaux III-V pour la photonique. Sa maîtrise de la croissance par épitaxie par jets moléculaires le positionne en leader mondial sur les boîtes quantiques pour les zones actives de lasers pour télécommunications.**

**FOTON-INSA est un des laboratoires à l'origine de la création du groupement scientifique GIS-PONANT dans le domaine de l'optique pour les télécommunications. Soutenu activement par la région Bretagne, celui-ci regroupe plusieurs équipes de recherche de TELECOM Bretagne, l'ENSSAT Lannion, l'Université de Rennes 1 et l'INSA de Rennes. FOTON-INSA est également associée à la thématique «télécommunications optiques» au sein du pôle de compétitivité «Image et réseaux».**

**Les équipes de recherche**

FOTON-INSA représente un laboratoire d'environ 40 personnes, réparties sur trois thématiques :

- **Nanostructures pour les Télécommunications optiques**  
Thème de référence du laboratoire.  
Contacts : Rozen Piron, Cyril Paranthoën, Olivier Dehaese
- **Nanostructures pour le moyen infra-rouge**  
Diversification vers le médical, la défense et l'environnement  
Contacts : Nicolas Bertru, Herve Folliot, Mathieu Perrin
- **Photonique sur Silicium**  
Composants à très haut débit pour l'interconnexion optique, cellules photovoltaïques de haute performance.  
Contacts : Olivier Durand, C. Cornet

**Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)**

**Effectifs**

Année	Enseignants-Chercheurs	ATER	Doctorants**	Post-Doctorants	IATOS*
2008	18	1	14	1	8,7
2009	19	0	11	0	8,7
2010	19	0	12	0	8,7

**Résultats académiques**

Année	Masters**	Thèses soutenues	Thèses en co-tutelle	HDR soutenues
2008	12	5	0	0
2009	7	2	1	0
2010	2	5	0	0
Total	21	12	1	0

**Résultats scientifiques et contractuels**

Année	Publications	Communications	Contrats en cours	Brevets
2008	27	30	8	0
2009	19	15	9	0
2010	16	19	9	0
Total	62	64	26	0

\*Ingénieurs Techniciens Administratifs - \*\*Inscrits à l'INSA de Rennes

**Les équipements – les nouvelles acquisitions**

FOTON-INSA dispose aujourd'hui d'équipements de caractérisations optiques (luminescence absorption optique, mesures pompe-sonde subpicosecondes, caractérisations de lasers), de mesures électriques (I-V, C-V, Hall) et de caractérisations nanométriques (AFM) et structurales (Rayons X). Ses plateaux techniques comprennent entre autres deux bâtis d'épitaxie (GSMBE et SSMBE) pour les matériaux III-V, un bâti LPCVD pour les matériaux Si et Ge et une salle blanche.

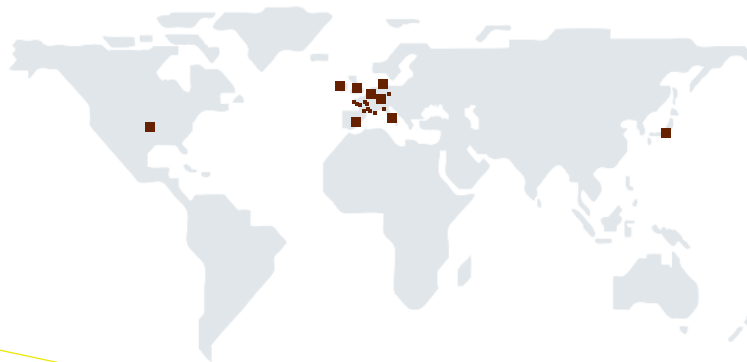
Ces dernières années, l'évolution matérielle du laboratoire a été essentiellement marquée par :

- **l'installation d'une nouvelle chambre d'épitaxie LPCVD (janvier 2010)**  
Ce bâti de nouvelle génération (Riber LPCVD 21) dédié à la croissance Si et Ge est couplé au bâti d'épitaxie III-V (Riber SSMBE compact21). Ce cluster constitue un atout pour la croissance des hétérostructures et nanostructures III-V sur substrat silicium et, le développement des technologies permettant la convergence de la photonique et de la microélectronique sur substrat silicium.
- **la modernisation de la salle blanche**  
Cette salle blanche a été rénovée et agrandie à 140 m2 de surface afin d'y installer un ensemble cohérent d'équipements : 2 bâtis RIE pour la gravure sèche de semi-conducteurs III-V et silicium, un canon à électrons pour les dépôts de contacts métalliques, un bâti de sputtering et un bâti PECVD pour les dépôts de diélectriques. En 2009, le laboratoire FOTON-INSA a fait l'acquisition d'un aligneur nouvelle génération Süss Microtec MJB4 intégrant la nanoimpression.

Les plateaux techniques de FOTON-INSA et de l'équipe microélectronique de l'IETR sont regroupés depuis 2002 au sein de la plateforme NanoRennes qui fait partie du réseau des centrales de technologie de proximité (C'Nano). Cette labellisation a été reconduite par le CNRS en 2009. Cette plateforme est dédiée aux technologies pour la microélectronique et la photonique.

**FOTON-INSA maîtrise aujourd'hui la croissance et la technologie des composants optoélectroniques III-V. Un nouvel axe de développement hautement compétitif est désormais lancé vers la photonique sur silicium. Ce domaine à fort potentiel mènera vers la convergence entre la photonique et l'électronique.**





## Recherche

### Les réseaux et partenariats

FOTON-INSA connaît une véritable reconnaissance internationale due à plusieurs points forts :

- **sa position en leader mondiale sur les boîtes quantiques**
- **sa participation à deux réseaux d'excellence européens SANDIE et ePIXnet**
- **la participation ou l'organisation de workshop internationaux**

En matière de réseaux d'excellence européens, SANDIE est dédié à la croissance et à l'étude de nanostructures quantiques pour lequel FOTON-INSA est reconnu pour son expertise dans le domaine de la croissance de boîtes quantiques. Quant à ePIXnet, celui-ci se consacre davantage aux composants et fonctions optiques de nouvelle génération pour les télécommunications. FOTON-INSA est leader d'un projet sur les lasers ultra-rapides à modulation directe à base de boîtes quantiques.

Dans le cadre de ces deux réseaux, FOTON-INSA travaille en étroite relation avec le LPN (Laboratoire de Photonique et Nanostructures de Marcoussis) pour l'organisation de workshop internationaux :

- IPRM' 2008 20th International Conference on INDIUM PHOSPHIDE AND RELATED MATERIALS
- Workshop international ePIXnet en juillet 2008, intitulé SQDA (Semiconductor Quantum dot Devices and Applications)  
Ce colloque fait suite à IWSQDA et LWQD co-organisés par FOTON-INSA en 2006 et 2007. Sa thématique principale concerne les composants à boîtes quantiques, les techniques de caractérisations associées et les applications optoélectroniques.

Par ailleurs, SANDIE et ePIXnet ont favorisé d'étroits contacts entre l'INSA de Rennes et des établissements universitaires étrangers :

- l'université technique de Berlin (groupe de D. Bimberg) par un échange soutenu de doctorants et un travail en commun sur la simulation de propriétés électroniques de boîtes quantiques
- les universités de Louvain et Eindhoven pour l'étude des boîtes réalisées à l'INSA de Rennes par XSTM et par magnétoluminescence.
- l'université de Sheffield et l'Université Technique du Danemark, en vue d'une collaboration sur les lasers à boîtes quantiques.

Toutes ces activités internationales confortent incontestablement le positionnement thématique de FOTON-INSA.

### FOTON-INSA et ses partenaires

- au niveau local : Telecom-Bretagne et l'ENSAT, membres fondateurs de l'UMR FOTON, l'UMR IETR, l'UMR SCR et l'IPR de l'Université de Rennes 1.
- au niveau national : le LPN de Marcoussis, l'UMR INL de Lyon, le LETI de Grenoble, le CHREA de Valbonne, le CEMES de Toulouse, le LAAS de Toulouse, l'UMR LPCNO de l'INSA de Toulouse et le CEA Saclay.
- au niveau international : TU Eindhoven Hollande, DTU Fotonik Danemark, TU Berlin Allemagne, Université de Sheffield UK Polytecnico Torino Italie, Laboratoires Tyndall Irlande, Université Tohoku de Sendai Japon, Université du Nouveau Mexique USA, Université de Californie Los Angeles USA.

### FOTON-INSA et ses collaborations industrielles

Les collaborations industrielles avec plusieurs PME et entreprises se font essentiellement dans le cadre de projets ou de relations établies par l'équipe.

Nanostructures et composants pour les télécoms : Kerdry Lannion, VectraWave Loges en Josas, Intexsys Toulouse, Orange Lab, 3-5 Lab Alcatel.



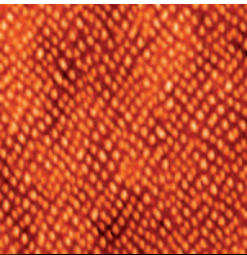


De remarquables résultats de recherche sont à souligner :

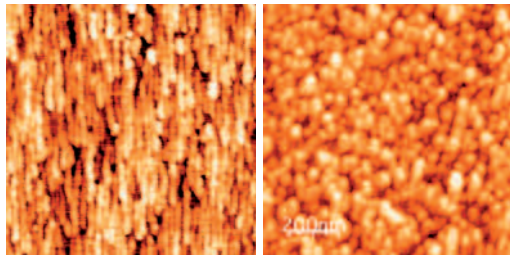
- des lasers et amplificateurs optiques à SC à émission par la tranche à base de boîtes et fils quantiques. (collaboration avec le LPN et AT 3-5 lab)
- des lasers à émission par la surface (VCSEL) à 1.55  $\mu\text{m}$  à base de fils quantiques stabilisés en polarisation (collaboration avec FOTON-ENSSAT et Telecom Bretagne)
- des absorbants saturables rapides à base de nanotubes de carbone pour la régénération de signaux de télécommunications à haut-débit (collaboration avec FOTON-ENSSAT et ONERA-LEM)

↓ **Figure 1 :**  
Croissance des Nanostructures InAs sur substrat InP (113)B et InP (001)

Boîtes quantiques sur substrat InP (113)B



Bâtonnets et boîtes quantiques sur substrat InP (001)



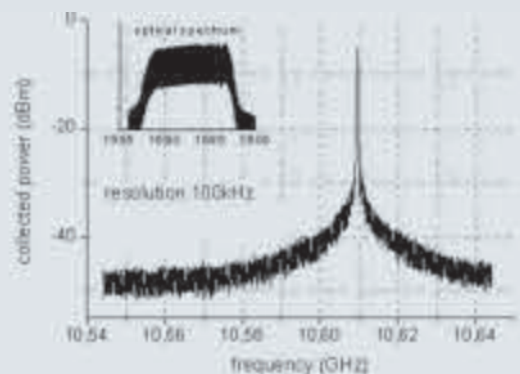
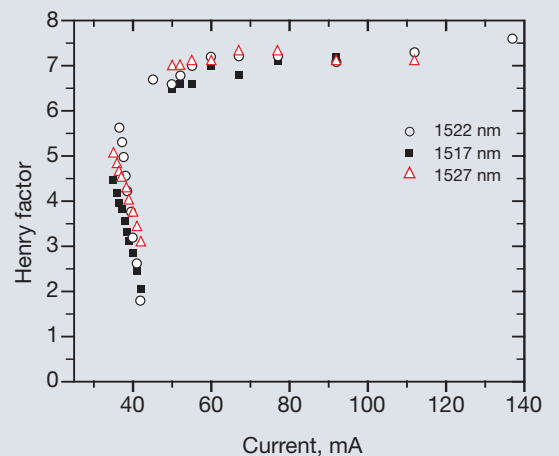
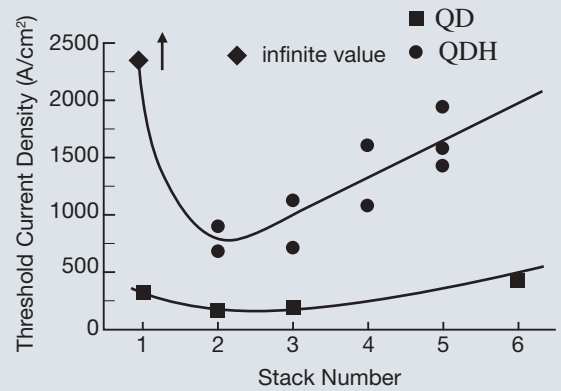
↗ **Figure 2 :**  
Performances des Lasers (rubans larges) à base de boîtes ( $L_{\text{cav}}=3\text{mm}$ ) et bâtonnets quantiques ( $L_{\text{cav}}=1,2\text{mm}$ ) en fonction du nombre de plans (APL 93, 161104, 2008)

→ **Figure 3 :**  
a) Laser Ridge à BQ InAs sur substrat InP(113)B : Mesure du facteur d'élargissement spectral  
b) Laser à blocage de modes à 2 sections à base de batonnets quantiques, Spectre RF du pic fondamental à 10,6 GHz, en insert spectre optique

**FOTON-INSA a une très grande maîtrise de la croissance de nanostructures InAs sur substrat InP.** Pour la réalisation de lasers, une forte densité de boîtes quantiques est requise. L'optimisation des paramètres de croissance a conduit à l'obtention de densités de boîtes quantiques les plus élevées jamais mesurées par l'emploi de substrats (311)B et, plus récemment, par l'emploi de substrat (001) désorienté. Sur substrat (001) nominal, des bâtonnets fortement anisotropes et en grande densité sont obtenus. (cf. figure 1).

Ces nanostructures ont été utilisées pour le développement de sources lasers pour les télécommunications optiques. FOTON-INSA a obtenu des avancées importantes :

- les plus faibles courants de seuil pour les lasers rubans larges (cf. figure 2)
- des lasers monomodes présentant des performances dynamiques améliorées
- des amplificateurs optiques à semiconducteur à base de boîtes quantiques InAs/InP(311)B présentant une bande passante de 70 nm
- des sources lasers impulsionnelles à blocage de mode à base de bâtonnets quantiques fonctionnant à 10GHz (cf. figure 3)



**FOTON-INSA possède également un savoir-faire reconnu pour la réalisation de laser verticaux accordables.** Ces lasers utilisent des miroirs de Bragg de très haute réflectivité à base de Si/SiNx de part et d'autre de la cavité comprenant une zone active à base de nanostructures quantiques et une zone de phase à base de cristaux liquides pour l'accordabilité. Ce projet de lasers VCSEL accordables est financé par l'ANR (projet ANR  $\lambda$ Access) et a été labélisé par le pôle de compétitivité « Images & Réseaux ». Une première démonstration a été réalisée en 2006 en collaboration avec Télécom Bretagne.

Les autres résultats remarquables concernent :

- le développement d'une technologie Flip-chip en collaboration avec Intexys et CEA LETI pour le report de la structure VCSEL sur silicium et l'intégration d'une couche de cristal liquide pour l'accordabilité.
- La première démonstration de la stabilisation de la polarisation de l'émission laser du VCSEL grâce à l'utilisation de bâtonnets quantiques InAs/InP (cf. figure 4)

FOTON-INSA a développé un pôle d'excellence sur la simulation numérique des propriétés électroniques et optiques des nanostructures (méthodes des liaisons fortes, ab-initio et kp) ainsi que des propriétés dynamiques des composants optiques (cf. figure 5)

**FOTON-INSA a démontré l'intérêt des nanotubes de carbone (NTC) pour les applications télécoms.** Le projet ANR CASTEL a pour objet d'exploiter les propriétés optiques non linéaires des NTC pour la réalisation d'absorbant saturable utilisé dans la régénération du signal optique. En comparaison aux AS à base des puits quantiques dopés Fe, les NTC présentent une plus forte transmission différentielle,

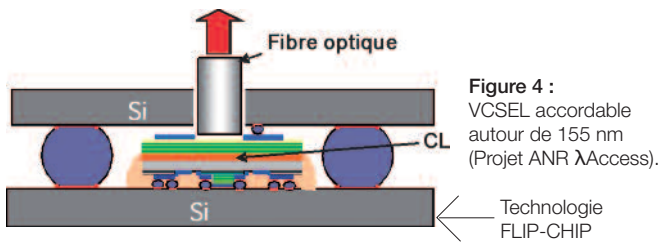


Figure 4 : VCSEL accordable autour de 155 nm (Projet ANR  $\lambda$ Access).

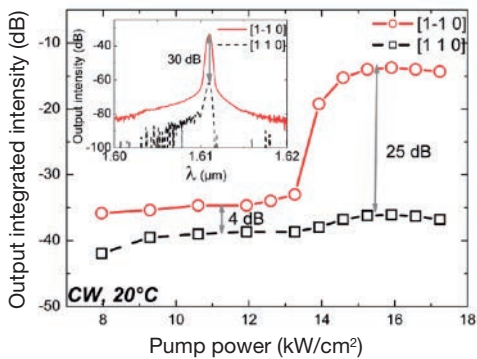
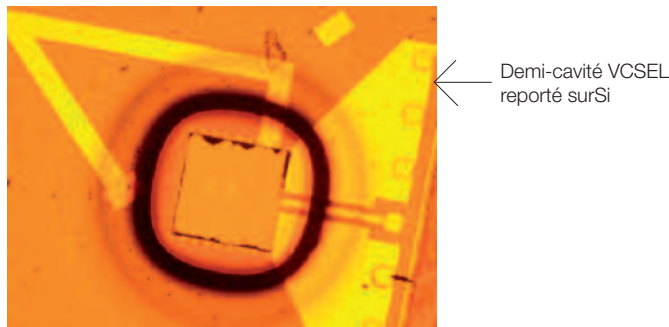
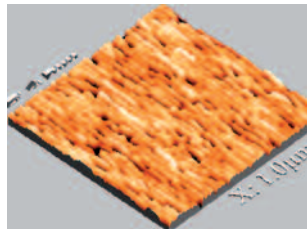


Figure 4 : Stabilisation de la polarisation optique du VCSEL à base de bâtonnets quantiques



une dynamique plus rapide (subpicoseconde), un recouvrement total de l'absorption et une fluence seuil de saturation plus faible (cf. figure 6). La régénération tout optique par des AS à base de NTC sera ensuite étudiée à très haut débit (>10GHz) sur la plateforme PERSYST de FOTON-ENSSAT.

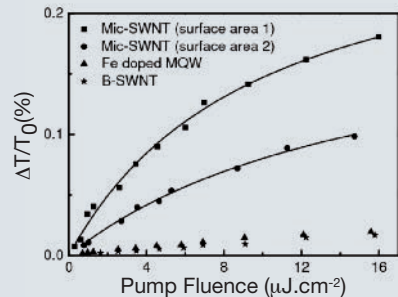
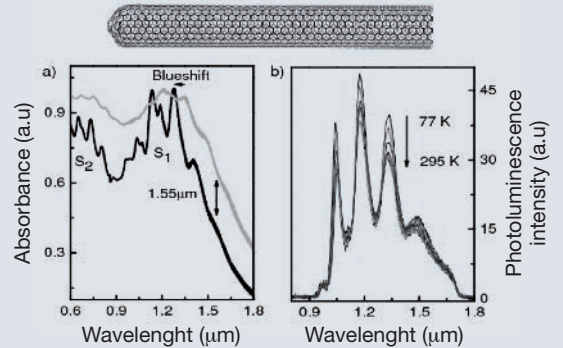
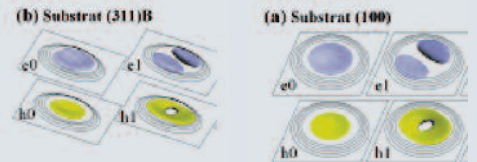
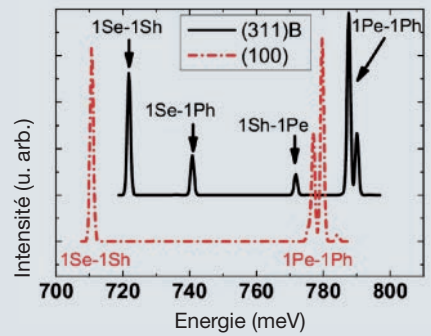
**Dans le cadre du CPER PONANT, FOTON-INSA développe une activité de recherche sur la photonique sur silicium. L'objectif concerne le développement de nouveaux substrats composés de semiconducteurs III-V épitaxiés sur silicium.**

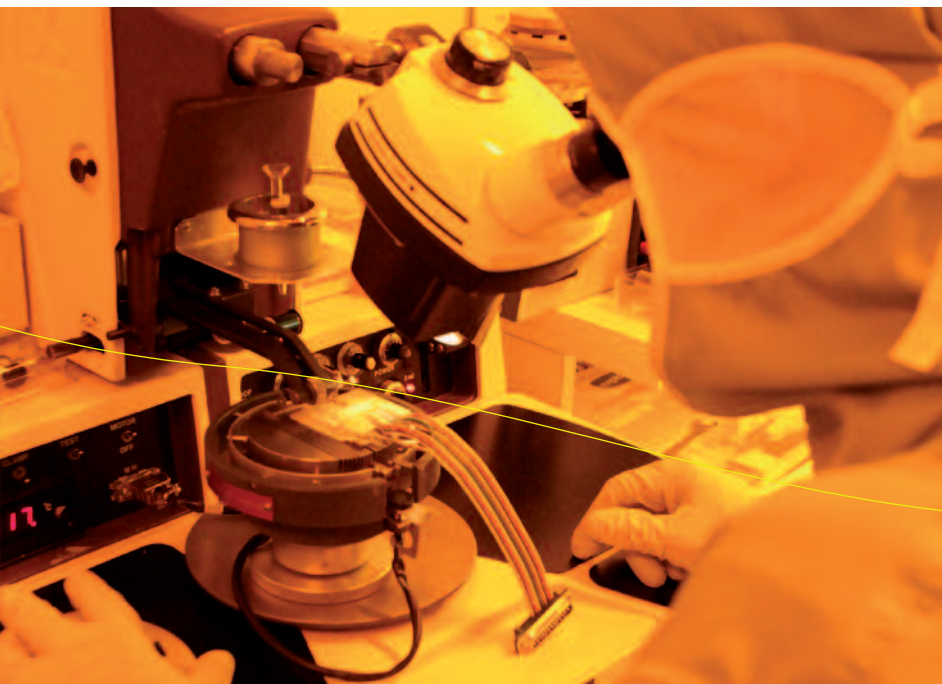
Ceux-ci sont adaptés à l'industrialisation de wafer de grandes dimensions en vue de l'intégration monolithique de dispositifs photoniques sur puces. Cette approche ouvrira une voie vers la convergence entre la photonique et la microélectronique à base de silicium ainsi que le développement de cellules photovoltaïques de haute performance. Ces substrats sont obtenus par croissance MBE de matériaux III-V à azote dilué adaptés en paramètres de maille au substrat silicium. Ces pseudo-substrats doivent présenter une très faible densité de défauts structuraux compatibles avec l'élaboration de dispositifs photoniques de haute performance.

Les axes de travail actuels sont :

- la maîtrise des premiers stades de la croissance de GaP sur silicium
- la croissance de nanostructures III-V sur GaP et Si. Première réalisation d'une DEL à puits quantiques GaAsPN/GaPN sur GaP émettant à 734 nm à température ambiante (cf. figure 7).

Spectre d'absorption pour le cône entier





Recherche

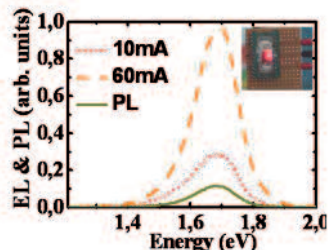


**Figure 5 :**  
Spectres d'absorption et états électroniques de boîtes quantiques InAs/InP à  $T = 0K$  sur substrat (113)B et (001)

**Figure 6 :**  
Absorbant saturable à base de nanotubes de carbone à  $1,55\mu m$   
a) spectre d'absorption et b) photoluminescence de micelles SWNT en fonction de la température ambiante  
c) Transmission différentielle en fonction de la fluence de pompe, comparaison entre MQW dopé Fe et B-SWNT et Mic-SWNT.



**Figure 7 :**  
Electroluminescence d'une DEL GaAsPN/GaPN sur Gap



## Perspectives

Ces dernières années, un grand nombre d'avancées ont été réalisées au sein de FOTON-INSA. L'approfondissement dans la compréhension des phénomènes de croissance des nanostructures et la démonstration de lasers à boîtes quantiques en injection électrique ont permis au laboratoire de bénéficier de dispositifs à boîtes et bâtonnets quantiques qui constituent à l'heure actuelle l'état de l'art des nanostructures réalisés sur InP dans le monde.

Ces avancées positionnent FOTON-INSA comme un partenaire important pour le développement de composants opto-électroniques à boîtes quantiques dans le cadre de projets nationaux et de réseaux d'excellence européens (Sandie et ePIXnet). Au sein de l'UMR FOTON, le laboratoire assure également le rôle d'expertise dans le domaine des composants pour des appels à des programmes régionaux (CPER, PRIR) et nationaux (ACI, salles blanches de proximité, ANR).

Dans un futur proche, FOTON-INSA poursuivra sa progression technologique afin de démontrer les grands intérêts des nanostructures dans des applications optoélectroniques, tels que les lasers ou encore la photonique sur le substrat silicium, nouvelle thématique de recherche du laboratoire. Le savoir-faire de FOTON-INSA associé à l'achat de nouveaux équipements donnent au laboratoire de nouvelles perspectives :

- la maîtrise de la réalisation de lasers monomodes et de la technologie sur silicium, en association avec le CCMO de Rennes (UMR IETR)
- l'évolution de ses activités vers des applications encore plus diversifiées (microprocesseurs, informatique, audio-vidéo, automobile, médical, défense, environnement, énergie, recherche...), des secteurs économiques qui représentent 17% du PIB mondial.



# IETR-INSA Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes

UMR CNRS 6164

Recherche

**IETR-INSA** est la composante INSA de l'UMR CNRS 6164 IETR. L'Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes est une Unité Mixte de Recherche regroupant, sans compter les stagiaires et les invités, environ 280 personnes issues des équipes de recherche de l'Université de Rennes 1, SUPELEC et l'INSA de Rennes.

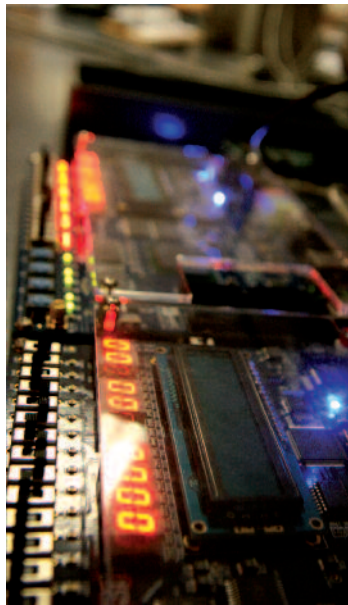
**IETR**  
Daniel THOUROUDE  
Directeur

**IETR-INSA**  
Raphaël GILLARD  
Directeur

Tél : +33 (0)2 23 23 86 61  
raphael.gillard@insa-rennes.fr  
www.insa-rennes.fr/ietr



Antennes  
Circuits hyperfréquences  
Modélisation  
électromagnétique  
Compatibilité  
électromagnétique  
Systèmes de  
communications et  
traitement du signal  
Prototypage rapide  
Canaux de propagation  
Compression et  
interprétation d'images  
Adéquation algorithme  
architecture



Les thématiques de recherche développées au sein de l'IETR s'inscrivent dans le domaine des sciences et technologies de l'information et de la communication. Ses domaines d'excellence s'étendent de l'étude des dispositifs micro-ondes (antennes, circuits, CEM) à la conception de systèmes de communications (codage, modulation, canal) intégrant signal et image. Les applications visées concernent les systèmes de communications de demain et notamment les futurs réseaux cellulaires, réseaux locaux, réseaux personnels et domestiques, les transmissions par satellite, la télévision numérique ou encore les transmissions intra-véhicule. Au delà de ce large spectre de compétences, la force de l'IETR réside dans sa capacité à conduire les travaux qui lui sont confiés depuis l'étude théorique jusqu'à la réalisation et l'expérimentation grandeur nature. Cette complémentarité de compétences et de savoir-faire permet d'offrir aux partenaires dans les différents domaines concernés des résultats concrets exploitables très rapidement.

### Les équipes de recherche

La composante IETR-INSA représente plus de 100 personnes réparties dans 3 équipes de recherche :

- **Antennes et Hyperfréquences**  
Circuits et antennes micro-ondes et millimétriques, modélisation électromagnétique, nouvelles structures de réseaux d'antennes, compatibilité électromagnétique.
- **Communications Propagation Radar**  
Systèmes de communications et techniques de traitement du signal associées (OFDM, MIMO, codage, UWB, retournement temporel, accès multiple...), propagation radioélectrique pour tout type de canaux, prototypage rapide.
- **Image et Télédétection**  
Analyse et caractérisation d'images, représentation et compression d'images et de vidéos 2D / 3D / multi-vues, prototypage sur architectures parallèles et mixtes.

Doté d'un ensemble important de plateaux techniques, propice à la réalisation d'expérimentations en grandeur nature, l'IETR connaît une forte activité de recherche scientifique aux niveaux national et international ainsi que de nombreuses activités contractuelles avec des industriels.

## 1. ANTENNES ET HYPERFRÉQUENCES

**Responsable :** Raphaël GILLARD  
Tél : +33 (0)2 23 23 86 61  
raphael.gillard@insa-rennes.fr

Cette équipe de recherche se concentre principalement sur la recherche de nouveaux types d'antennes pour les réseaux de communications du futur. Ses travaux portent également sur les circuits électroniques associés aux antennes, en particulier dans la bande des hyperfréquences, et sur la compatibilité électromagnétique.

Ses activités sont structurées autour des six thèmes suivants, avec une focalisation particulière pour les deux premiers, au sein de l'INSA de Rennes :

- Modélisation et optimisation électromagnétique
- Compatibilité électromagnétique et intégrité du signal
- Nouveaux concepts et architectures d'antennes
- Antennes reconfigurables et matériaux innovants
- Antennes millimétriques
- Ondes électromagnétiques et vivant

### *Modélisation et optimisation électromagnétique*

Développement de nouvelles approches rigoureuses pour analyser et concevoir les antennes d'aujourd'hui et de demain. Deux directions principales sont privilégiées : La première consiste à appréhender l'antenne dans son environnement et non plus à la traiter comme un composant isolé. Une telle approche globale présente un double intérêt : évaluer l'impact de cet environnement sur les performances de l'antenne et mieux quantifier et maîtriser les niveaux de rayonnement émis dans l'environnement (éventuellement leurs conséquences pour les usagers situés à proximité). La deuxième s'inscrit dans le cadre de la recherche de systèmes reconfigurables. L'antenne doit alors être conçue de façon à s'adapter à son environnement ou au contexte dans lequel elle opère.

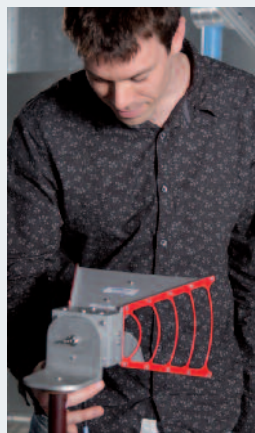
### *Compatibilité électromagnétique et intégrité du signal*

Etude des interactions électromagnétiques qui peuvent exister entre les différents composants électroniques d'un même système ou de systèmes différents. L'équipe vise à renouveler les moyens et méthodes de mesures (chambres réverbérantes électromagnétiques, champ proche...) permettant de mettre en évidence les éventuels dysfonctionnements électroniques et proposer de nouvelles approches de calcul prédictif en phase de conception (application aux grands systèmes : avions, voitures, trains...).

### *Un exemple significatif :*

Mise au point d'une méthodologie d'intégration d'antenne à bord d'un véhicule ferroviaire pour la transmission d'informations de sécurité de la rame vers l'infrastructure de contrôle.

IETR-INSA favorise les études théoriques et la modélisation tout en intégrant une forte dimension technologique. Ses recherches trouvent des applications variées (antennes spatiales, antennes pour terminaux mobiles, etc.) dans le cadre de nombreux partenariats industriels, nationaux et internationaux. Des plateaux techniques de pointe (chambres anéchoïdes, chambre réverbérante, etc.) lui confèrent une capacité de validation expérimentale unique.





## 2. COMMUNICATIONS-PROPAGATION-RADAR

**Responsable :** Ghais EL ZEIN

Tél : +33 (0)2 23 23 86 04

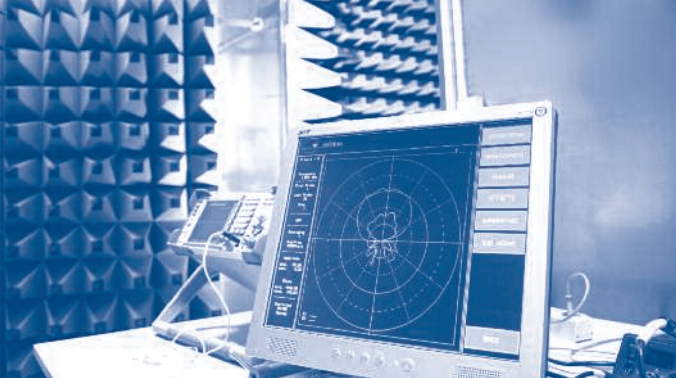
ghais.el-zein@insa-rennes.fr

Cette équipe de recherche étudie **les futurs systèmes de communications** (réseaux cellulaires, réseaux locaux, réseaux personnels et domestiques, télévision numérique, intra-véhicule, transmissions par satellite, etc.) avec pour principal objectif **d'offrir des débits toujours plus élevés tout en garantissant une très bonne qualité de service.**

Ses recherches sont structurées selon trois axes :

### **Systèmes de communications**

**Étude de nouveaux systèmes de communications numériques à haut débit et des techniques de traitement du signal associées** (MIMO, OFDM, UWB, codage, retournement temporel, etc.). L'équipe est fortement impliquée dans différents projets européens ambitieux dans le cadre des 5<sup>ème</sup>, 6<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> PCRD ; le domaine d'excellence de cette équipe couvre toutes les applications sans fil haut débit (réseaux cellulaires post-UMTS et de 4<sup>ème</sup> génération, diffusion de la télévision numérique terrestre et mobile de seconde génération, WLAN, WPAN, maison très haut débit, transmissions par satellite...), la radio verte, mais aussi un grand nombre d'applications sur lignes bifilaires ou par courant porteur.

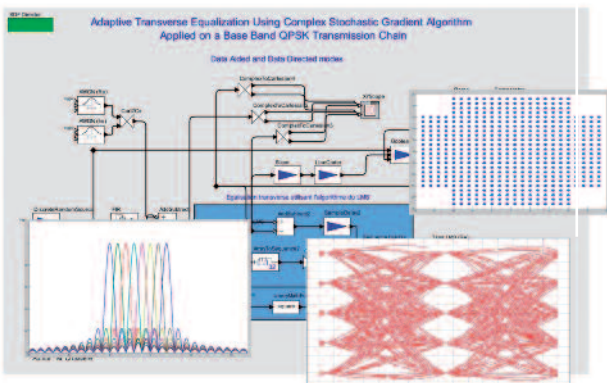


Chambre anéchoïde pour des mesures en champ proche de 0,8 à 6 GHz

Recherche



Simulation de systèmes de communications numériques



### **Prototypage et System on Chip**

Prototypage de diverses applications sur plates-formes hétérogènes et sur « System on Chip (SoC) », avec un accent particulier sur les aspects méthodologiques. Sont alors considérées les contraintes algorithmiques, les solutions matérielles reconfigurables dynamiquement ou à distance et les contraintes applicatives (temps d'exécution, consommation, etc.), ainsi que les problématiques posées par les nouveaux systèmes de communications.

### **Propagation**

**Étude des phénomènes de propagation radioélectrique et leurs impacts sur la qualité de la communication.** Plusieurs types de canaux de transmission sont pris en considération (intra-bâtiment, radio-mobile, atmosphérique, troposphérique, ionosphérique, satellite, filaire, etc.) et ce, dans plusieurs gammes de fréquence, des bandes HF jusqu'à 60 GHz pour les nouveaux systèmes de communications. Ces travaux conduisent naturellement au développement de sondeurs et simulateurs de canaux de propagation et abordent aussi bien les aspects systèmes que les aspects traitement et exploitation du signal.

### **Un exemple significatif :**

#### **La Télévision Numérique Terrestre de seconde génération**

L'IETR-INSA a fortement contribué à l'étude et l'optimisation des futurs systèmes de Télévision Numérique Terrestre et mobile à travers son investissement dans le projet Européen B21C pour « Broadcast for the 21th Century ». L'objectif de ce projet très ambitieux de type CELTIC était de proposer un nouveau système pour la seconde génération de Télévision Numérique de Terre. Les travaux de l'INSA-IETR ont principalement porté sur l'optimisation de la combinaison des techniques OFDM et MIMO, en 3 dimensions, permettant d'obtenir une augmentation du débit pouvant aller jusqu'à 50 % par rapport à la TNT actuelle. Les études sur les futurs systèmes de télévision numérique se poursuivent aujourd'hui dans le cadre du projet ANR M3 et du projet Européen ENGINES qui vise à définir un nouveau standard de télévision numérique mobile.





↑  
Chambre de mesure  
de surface équivalente  
radar de 8 à 40 GHz

### Un exemple significatif :

#### La problématique de l'indexation d'images

Disposant d'une image donnée, l'objectif est d'extraire d'une base de données toutes les images similaires au titre de certains attributs qui peuvent être la forme, la couleur ou la texture. Cette requête est alors émise sur les moteurs de recherche, mais en fournissant par l'analyse les attributs contenus dans chaque image.

Les images, présentes dans la base de données, doivent posséder une représentation efficace fondée sur ces attributs, c'est-à-dire un codage. Pour une bonne efficacité, les traitements de la recherche doivent se faire rapidement, d'où la nécessité d'avoir une parfaite adéquation entre les calculs à effectuer et l'architecture de processeurs de traitement : c'est le rôle de l'adéquation algorithme architecture.

Si enfin, l'ensemble doit constituer un dispositif utilisé de façon déportée sur un véhicule, sont alors concernées les problématiques de la thématique image et systèmes embarqués.



### 3. GROUPE IMAGE ET TÉLÉDÉTECTION

**Responsable :** Olivier DEFORGES

Tél : +33 (0)2 23 23 82 86

olivier.deforges@insa-rennes.fr

Cette équipe de recherche couvre **les deux grands domaines du traitement numérique de l'image, d'une part, l'analyse et l'interprétation et, d'autre part, la représentation et la compression.** Son originalité provient de sa **capacité à associer le développement de nouvelles méthodes de traitement des images au portage quasi-automatique des algorithmes correspondants sur des systèmes numériques embarqués.** Son activité se décline selon quatre axes :

- Analyse pour l'interprétation d'images satellitaires et pour la description et la reconnaissance des formes
- Représentation et codage d'images et de vidéos 2D et 3D
- Adéquation algorithme architecture
- Image et systèmes embarqués

#### Analyse

**Classification et fusion en vue de l'interprétation du contenu informationnel des images de télédétection et analyse multi-échelle** pour la description des formes présentes dans l'image afin d'en permettre la reconnaissance. Le développement d'un système d'indexation d'images pour l'exploration de bases d'images et le suivi d'objets dans une séquence vidéo. Cet axe s'intéresse également à l'extraction d'informations tridimensionnelles à partir d'images et de vidéos multi-vues.

#### Représentation et codage

**Développement de schémas de compression et étude des standards actuels.** Les études menées sur ce thème s'étendent de la compression à très bas débit à la compression sans perte d'images et vidéos 2D ou 3D (i.e. multivues) en intégrant des fonctionnalités avancées (scalabilité, codage par région d'intérêt, codage global, etc). Cet axe intègre désormais la sécurité des données, la compression et la sécurisation tendant alors à fusionner dans une phase conjointe de codage.

#### Adéquation algorithme architecture

**Recherche et développement d'une méthodologie assurant la portabilité des algorithmes de traitement d'images sur des architectures spécialisées.** Les résultats se concrétisent sous forme d'outils logiciels d'aide à l'implantation d'algorithmes sur des architectures cibles existantes multi-DSP (Digital Signal Processor) et ASIC (Application Specific Integrated Circuits). Ces outils se nomment PREEISM, Graphiti, SDF4J et Orcc et sont disponibles sur SourceForge (<https://sourceforge.net/>).

#### Image et systèmes embarqués

**Appréhension de la problématique d'intégration de systèmes de traitement d'image,** en proposant une continuité entre les phases de définition des algorithmes jusqu'à leur mise en œuvre sur cible embarquée et distribuée.

## Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)

### Effectifs

L'UMR IETR regroupe 280 enseignants-chercheurs, doctorants, ingénieurs, techniciens ou administratifs. Le laboratoire IETR-INSA représente environ 100 personnes, à savoir :

Année	Chercheurs	Enseignants Chercheurs	Doctorants**	ATER	Post-Doc	PAST	IATOS*	Total
2008	2	22	53	1	3	1	11	93
2009	2	23	58	0	2	1	16	102
2010	2	25	55	1	3	0	19	105

### Résultats académiques

Année	Masters**	Thèses soutenues	HDR soutenues
2008	31	10	1
2009	25	13	2
2010	45	17	0
Total	101	40	3

### Résultats scientifiques et contractuels

Année	Publications	Communications	Contrats en cours	Brevets/Extensions PCT
2008	32	94	43	1/2
2009	35	167	42	2/1
2010	44	104	61	1/1
Total	111	365	146	4/4

Année	Communications			
	Actes de congrès avec comité de lecture	Communications invitées	Communications orales	Communications affichées (posters)
2008	87	2	5	-
2009	152	4	11	-
2010	87	1	16	-
Total	326	7	32	-

\*Ingénieurs techniciens administratifs - \*\*Inscrits à l'INSA de Rennes

↓  
Embarquement de technologies CPL à bord de véhicules



↑  
Prototypage de systèmes électroniques embarqués

## Les équipements – les nouvelles acquisitions

L'IETR-INSA dispose de plusieurs moyens de simulations, de réalisation de maquettes et d'instruments de mesures ainsi que d'un ensemble unique de plateaux techniques :

- deux chambres anéchoïdes et une chambre réverbérante pour les mesures d'antennes jusqu'à plusieurs GHz,
- une base de mesure sous pointe de 45 MHz à 65 GHz,
- un laboratoire mobile pour des mesures de propagation radio,
- des plates-formes pour le prototypage rapide et la radio-logicielle.

## L'innovation et le transfert de technologie

### Création d'entreprises

IETR-INSA est à l'origine de la création et du développement d'entreprises : IPSIS (1986), ST2E (1992), SIRADEL (1994), ADVANTEN (2004), RF MONITORING (2007) et SCORVITECH (2008). Les relations avec ces sociétés et avec d'autres PME-PMI du tissu industriel local sont aujourd'hui toujours très actives.

### Dépôts de brevets

Dans la période considérée, 4 brevets ont été déposés :

- Un brevet sur la **minimisation du PAPR d'un signal de télévision numérique** (contribution à la future norme de télévision numérique mobile DVB-NGH),
- Un brevet sur **les antennes reconfigurables en faisceau et en fréquence**,
- Un brevet sur **la réduction de longueur de canal**,
- Un brevet sur **les communications à retournement temporel**.

### Outils Open Source

- PREESM et ORCC dans le domaine du prototypage.

## Les réseaux et partenariats

Depuis sa création en 2002, l'IETR a développé une forte activité partenariale avec le tissu industriel régional, national et international. Fortement impliqué dans les projets européens, les réseaux d'excellence et les pôles de compétitivité Images & Réseaux, iD4CAR et Mer Bretagne, l'IETR se positionne ainsi en partenaire de choix pour le monde industriel.

### Réseaux d'excellence européens

- Réseau d'excellence européen ACE-2 (antennes) ; certaines activités prolongées depuis 2008 au sein de l'association européenne EurAAP
- Réseau d'excellence européen NEWCOM++ (nouveaux systèmes de communications)

### Projets européens

- Projet européen **ICT FP7 OMEGA** (maison très haut débit)
- Projet européen **ICT FP7 WHERE** (réseaux cellulaires 4G et localisation)
- Projet européen **CELTIC B21C** (télévision numérique terrestre ou TNT de seconde génération)
- Projet **ARTES** de l'Agence spatiale européenne (grands réseaux d'antennes pour satellite)

### Autres collaborations internationales

- Programme **CEDRE** avec l'Université Libanaise (microcapteur sans contact pour la détection des signaux vitaux)
- Animation et responsabilité des programmes de thèses en cotutelle avec la Chine (programme CSC) et avec le Liban (programme UL&UT-INSA)





Mesures en chambre réverbérante à brassage de modes

#### Participation à des comités de normalisation

- Groupes **MPEG** et **JPEG** (futurs standards pour respectivement la vidéo et les images fixes)

#### Pôles de compétitivité

- « Images et réseaux » à vocation mondiale (projets Techim@ges, Scalim@ges, SVC4QoE, FUTURIMAGE, Mobile TV World, CAPNET) ; implication du laboratoire dans la gouvernance du pôle par un membre au Conseil d'Administration (CA) et un membre au Comité de Suivi et d'Evaluation (CSE)
- « Automobile haut de gamme » devenu « iD4CAR » (projet CIRMHA)
- « Mer Bretagne » (projets Internet-Pêche et SAPHIR)

#### Projets nationaux ANR/RNRT/PREDIT

CAIMAN, PERSEE, MIRTEC, R3MEMS, CIFAER, METAPHORT, VIPERE.

#### Projets régionaux PRIR/UEB

CAPTIV, IGCYC.

#### CPER – PALMYRE II

Palmyre II est un projet centré sur les communications sans fil. Son objectif : mettre à la disposition des laboratoires de recherche publique et des industriels une plate-forme de développement et d'évaluation des transmissions vidéo large bande sur canaux radioélectriques. Le projet réunit six centres de recherche de Bretagne à travers les laboratoires IETR et Lab-STICC avec un financement de l'État et de la Région Bretagne dans le cadre d'un CPER. Lancé en 2007 pour sept ans, Palmyre II est le prolongement d'un premier projet sur la période 2000-2005. Grâce à ces projets, le laboratoire a pu se doter de plusieurs équipements (appareils de mesure, unités de calcul, plates-formes pour prototypage rapide, moyens pour la conception et la réalisation de circuits imprimés hyperfréquences).

#### Activités contractuelles

Avec de nombreux **partenaires industriels et étatiques** (Orange Labs, Thales Alenia Space, Technicolor (ex-Thomson), Mitsubishi Electric ITE, CEA-LETI, DGA, CNES, PSA, Renault, Alstom, Valeo, Siradel, Advanten, Texas Instruments, Thales Systèmes Aéroportés, Delta dore, INNES, AtlanticRF, NXP/ST Ericsson, etc.).

#### Animation de thématiques dans les GdR du CNRS

- GdR ISIS : Adéquation algorithme architecture,
- GdR Ondes : Modélisation des phénomènes de diffraction et de propagation électromagnétique et acoustique, Dispositifs en champ proche, Compatibilité électromagnétique.

#### Perspectives

Dans les prochaines années, l'IETR-INSA compte étendre son champ d'investigation et développer notamment les études sur :

- Les communications vertes
- Les interactions entre systèmes rayonnants complexes et leur environnement
- Le transport intelligent
- Les réseaux de capteurs

Plusieurs thématiques seront prioritairement renforcées :

- Les antennes reconfigurables
- La caractérisation en champ proche et en chambre réverbérante
- Les techniques de communications avancées (MIMO, UWB, retournement temporel)
- L'optimisation inter-couche des systèmes de communications, les techniques coopératives et à relais
- La compression 2D/3D et la sécurité d'images
- Le codage vidéo intelligent

Un nouveau projet Européen et deux nouveaux projets ANR seront développés :

- Le projet Européen **ENGINES** : étude et optimisation d'un nouveau système pour la seconde génération de Télévision Numérique Mobile
- Le projet **Multimédia en Mobilité - M3** : convergence des réseaux de télécommunication 3GPP-LTE et de diffusion DVB-NGH pour un futur service de télévision numérique mobile
- Le projet **TRIMARAN** (retournement temporel et focalisation spatiale)



# IRISA-INSA Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires

UMR CNRS 6074

Recherche

**IRISA-INSA** est la composante INSA de l'UMR CNRS 6074 IRISA. Cet Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires est un pôle de recherche public regroupant environ 580 personnes. Ses partenaires sont le CNRS, l'Université de Rennes 1, l'ENS Cachan et l'INSA de Rennes. De plus, l'UMR IRISA est associé au Centre INRIA Rennes – Bretagne Atlantique.

#### IRISA

Bruno Arnaldi - Directeur par interim

#### IRISA-INSA

Bruno ARNALDI  
Directeur

Tél : +33 (0)2 99 84 72 61  
Bruno.Arnaldi@irisa.fr  
[www.insa-rennes.fr/irisa](http://www.insa-rennes.fr/irisa)



IRISA-INSA

En quelques mots

**P2P**  
**Cloud**  
**Systèmes distribués**  
**Document numérique**  
**Réalité virtuelle**  
**Humain virtuel**  
**Apprentissage**  
**Diagnostic**  
**Systèmes d'informations logiques**  
**Systèmes dynamiques**  
**Multimédia**  
**Indexation**

## Les équipes de recherche

Les équipes de recherche de l'IRISA-INSA représentent environ 40 personnes. Elles sont structurées, en référence à une nomenclature proposée et définie au niveau de l'UMR IRISA, selon quatre axes thématiques : système large échelle, langage et génie logiciel, média et interaction et gestion des données et de la connaissance. En d'autres termes, les objectifs scientifiques poursuivis par les équipes du laboratoire concernent principalement les sujets suivants :

- **L'amélioration des systèmes informatiques à large échelle :**  
La généralisation de l'accès à Internet, le développement des réseaux sociaux et l'utilisation croissante des infrastructures "cloud" par le plus grand nombre font de ce thème un enjeu majeur pour la construction de l'Internet du futur et de la société numérique de demain.
- **L'image, du traitement à la synthèse, du document numérique à l'interaction multimodale.** Cette thématique connaît un développement significatif depuis ces dernières années.
- **L'abstraction, la représentation et l'organisation de données complexes.**  
Dans un contexte de système d'information logique ou de données multimédia, la capacité à traiter des données complexes et en grande quantité est toujours déterminante.
- **Le traitement numérique de la connaissance et la modélisation formelle de phénomène complexe** pour améliorer la connaissance ou le contrôle de systèmes industriels ou naturels.

## 1. SYSTÈMES LARGES ÉCHELLE

**Équipe Asap :** As Scalable As Possible, Fondements des systèmes large-échelle dynamiques

Contact : Marin.Bertier@irisa.fr

L'objectif de l'équipe est de fournir un ensemble d'abstractions et d'algorithmes pour construire des applications distribuées à large-échelle, mettant ainsi en relation un nombre important d'entités aux capacités limitées, géographiquement distantes et potentiellement mobiles.

**Équipe Myriads :** Environnements et systèmes autonomes à large échelle

Contact : Jean-Louis.Pazat@irisa.fr

L'objectif de l'équipe MYRIADS est de concevoir et d'implémenter des environnements et systèmes autonomes à large échelle pour la gestion des services et des ressources. Nous cibons particulièrement les architectures virtualisées distribuées de type « Cloud ». Dans ce cadre, nous proposons des méthodes et outils permettant l'exécution fiable d'applications et la gestion efficace de ressources pour le futur « Internet des Services ».

## 2. LANGAGE ET GÉNIE LOGICIEL

**Équipe Triskell :** Construction fiable et efficace d'applications par assemblage de composants logiciels

Contact : Arnaud.Blouin@irisa.fr

Le thème de l'équipe concerne l'utilisation de l'IDM pour construction fiable et efficace d'applications par assemblage de composants logiciels. Les domaines abordés sont : l'ingénierie des modèles, la manipulation formelle de modèles UML, la conception par contrat avec composants et aspects et la vérification et validation intra et intercomposants.

## 3. MÉDIA ET INTERACTIONS

**Équipe Intuiloc :** Intuitive User-Interaction for Document

Contact : Eric.Anquetil@irisa.fr

Les travaux de l'équipe se focalisent sur le domaine de la composition et de l'analyse interactive de document. L'interaction manuscrite est au cœur des recherches permettant de concevoir de nouvelles modalités de communication homme-document.

**Équipe Texmex :** Techniques d'Exploitation des documents Multimédias - Exploration, indexation, recherche dans de très grandes bases

Contact : Pascale.Sebillot@irisa.fr

Les travaux de recherche concernent la structuration de documents multimédias, de flux audiovisuels et de très grandes collections de documents, l'analyse et la description multimodales des documents ainsi que l'application à la recherche d'information, à l'exploration de grandes collections, à la compréhension de corpus, à la détection de copies et à la ré-éditorialisation.

**Équipe VR4i :** Virtual Reality for Improved Innovative Immersive Interaction

Contact : Bruno.Arnaldi@irisa.fr

Les activités de recherche concernent la simulation temps réel de systèmes dynamiques complexes dans un contexte d'interaction entre les utilisateurs et ces systèmes. Les sujets de recherches abordés sont : la simulation mécaniques, le contrôle de systèmes dynamiques, la simulation temps réel, l'interaction haptique, l'interaction multimodale, l'interaction collaborative et la modélisation d'environnement virtuels.

## Un résultat marquant :

Mise en œuvre de la nouvelle plate-forme de réalité virtuelle : Immersia3. Ce projet est très partenarial puisqu'il regroupe les partenaires de l'IRISA, INRIA et les collectivités territoriales dans la réalisation d'un équipement de réalité virtuelle immersive de niveau mondial. Cet équipement est déjà intégré dans des projet collaboratif nationaux et internationaux (Infrastructure FP7 VISIONNAIRE par exemple).



#### 4. GESTION DES DONNÉES ET DE LA CONNAISSANCE

**Équipe Dream :** Diagnostic, Raisonnement Et Apprentissage, Modélisation

Contact : Laurence.Roze@irisa.fr

Aide à la surveillance et au diagnostic de systèmes ou activités complexes évoluant dans le temps. Il s'agit d'inférer l'état d'un système à partir d'observations issues de capteurs afin de détecter et de caractériser un éventuel dysfonctionnement de ce système.

**Équipe Lis :** Systèmes d'Information Logiques

Contact : Mireille.Ducasse@irisa.fr

Développement de modèles formels pour des systèmes d'information permettant la navigation, l'interrogation, la mise à jour et l'analyse de collections de données hétérogènes. Le modèle de base pour la représentation de l'information est l'analyse de concept logique.

**Équipe Modal :** MODélisation ALgébrique de systèmes dynamiques

Contact : Farida.Benmakrouha@insa-rennes.fr

Modélisation algébrique des approches de type "boîte noire", calcul formel, réseaux de neurones et développement d'applications dans les domaines de l'environnement et de la santé.



Plate-forme  
Grid5000 sur le  
site de l'IRISA



#### Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)

##### Effectifs

L'UMR IRISA regroupe 582 personnes dont 173 chercheurs ou enseignants-chercheurs, 196 doctorants, 139 ingénieurs, techniciens ou administratifs et de nombreux collaborateurs contractuels ou invités internationaux pour des séjours de plus courte durée. Le laboratoire IRISA-INSA représente plus de 40 personnes, à savoir :

	Enseignants Chercheurs	ATER	Doctorants*	IPAST	ATOS**
2008	20	0	20	0	3
2009	20	0	20	0	3
2010	19	1	20	0	3

##### Résultats académiques

	Masters**	Thèses soutenues	HDR soutenues
Chiffres approximatifs annuels	12	6	6

##### Résultats scientifiques et contractuels

	Publications dans des revues nationales à comité de lecture	Publications dans des revues internationales à comité de lecture	Proceedings des actes de congrès avec comité de lecture
Chiffres approximatifs annuels	3	13	39

\*Ingénieurs techniciens administratifs - \*\*Inscrits à l'INSA de Rennes





Plate-forme PIM  
de l'IRISA

## Les équipements – les nouvelles acquisitions

### **Immersion3 : plate-forme de réalité virtuelle**

(cf. résultat marquant p. 21)

### **Grid5000 : grille nationale de calcul**

Grid5000 est une action de recherche visant à développer une infrastructure d'expérimentation sur les grilles de calcul à l'échelle nationale. Cette grille est composée de clusters de machines réparties principalement sur 9 sites et reliées par un réseau à haut débit. 17 laboratoires participent à ce projet permettant de réaliser des expériences dimensionnantes à tous les niveaux logiciels, depuis les protocoles réseau jusqu'aux applications. Fin 2010, la configuration du site rennais comportait 1 cluster de 40 HP Proliant (80 CPU x 12 cores), 1 cluster de 25 SUN FIRE x2270 (50 CPU x 4 cores), 1 cluster de 64 machines CARRI Systems (128 CPU x 4 cores) et 1 cluster de 33 DELL PowerEdge 1950 (66 CPU x 2 cores).

### **PIM : plateforme d'indexation vidéo**

La plate-forme expérimentale Telemex est une plate-forme financée par l'INRIA, le FNADT, l'Université de Rennes 1 et l'INSA de Rennes. Elle comporte trois parties :

- un serveur d'acquisition de données télévisuelles et de visualisation des données stockées, le tout commandable à distance par le biais d'une interface Web
- une bibliothèque de fonctions permettant à partir d'un programme de récupérer très facilement des données images ou sons stockés sur le serveur
- un outil d'annotation de flux audiovisuels

La plate-forme, couplée à un cluster de calcul d'une trentaine de processeurs, a une capacité de stockage de 100 To.

## Les réseaux et partenariats

IRISA-INSA est très fortement impliqué dans des réseaux de collaborations internationales. A travers sa participation à de nombreux réseaux d'excellence européens (NoE), ses équipes de recherche entretiennent des partenariats stratégiques avec les autres grands laboratoires et industriels européens des domaines concernés. Ces réseaux favorisent des liens propices au montage de futurs projets.

### **Réseaux d'excellence européens**

- **FP6 - INTUITION** (Virtual Reality and Virtual Environments Applications for Future Workspaces). Fédération des activités en réalité virtuelle - 68 partenaires européens de 15 pays différents. IRISA-INSA est membre du Core Group.  
En savoir plus : [www.intuition-eunetwork.net](http://www.intuition-eunetwork.net)
- **FP7 - NIW** (Natural Interactive Walking Project) : Ce projet est un STREP de 5 partenaires européens dont l'objectif est de proposer des modalités innovante de navigation dans des environnements virtuels.  
En savoir plus : [www.niwproject.eu](http://www.niwproject.eu)
- **FP6 - CoreGrid** : Unique réseau d'excellence européen sur les technologies de grilles et de peer-to-peer. Coordination par l'équipe IRISA-INSA / PARIS.  
En savoir plus : [www.coregrid.net](http://www.coregrid.net)
- **FP7 - S-cube** : Architectures Orientées Service : Ce réseau d'excellence de 15 partenaires adresse les problèmes d'adaptation dynamique des architectures orientées service depuis le niveau « business » jusqu'au niveau infrastructure. IRISA-INSA est responsable du WP infrastructure.  
En savoir plus : [www.s-cube-network.eu](http://www.s-cube-network.eu)
- **FP6 - ReSIST** : Résistance aux défaillances et la sécurité des systèmes - 20 partenaires.  
En savoir plus : [www.resist-noe.org](http://www.resist-noe.org)



### Autres projets européens

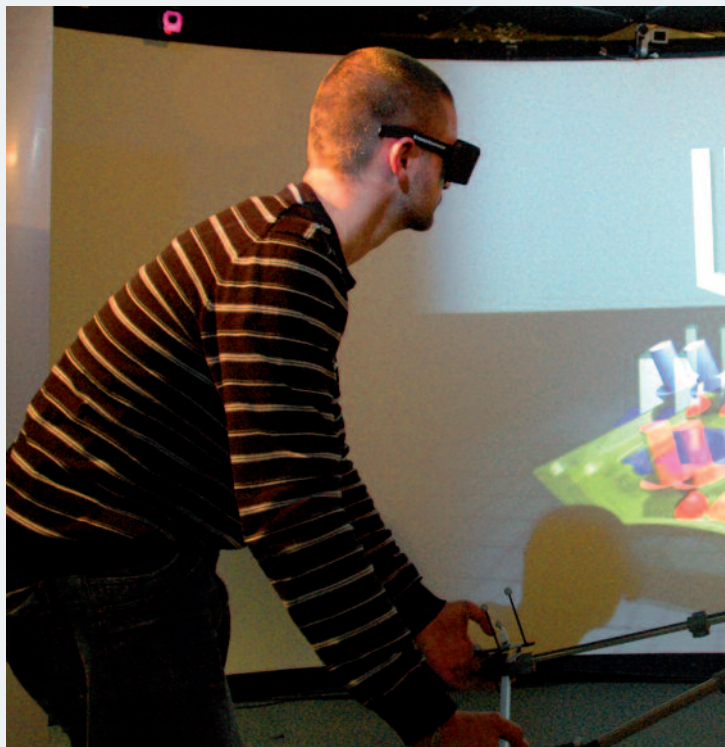
IRISA-INSA est également fortement impliqué dans des projets européens collaboratifs :

- **STREP - WS-Diamond** : Développement d'une plate-forme pour l'auto-réparation de web services.  
En savoir plus : [wsdiamond.di.unito.it](http://wsdiamond.di.unito.it)

### Equipes associées INRIA

Enfin, IRISA-INSA participe à des équipes associées (équipe INRIA bi-localisée, une partie dans un centre de recherche INRIA et l'autre partie dans un grand laboratoire étranger) :

- **Equipe associée Epi-net** : Equipe associée sur la conception de mécanismes pair-à-pair basés sur le Gossip (Vrije universiteit in Amsterdam et l'équipe ASAP de l'IRISA).
- **Equipe associée SER-OS** : Equipe associée sur la gestion d'infrastructures virtualisées pour le calcul hautes performances (Oak Ridge National Lab. USA et l'équipe MYRIADS de l'IRISA)



## L'innovation et le transfert de technologie

### Création de start-up

#### • Powedia :

Fondée en 2010 par un ancien post-doc de l'IRISA suite aux travaux de mise en place de la plate-forme PIM, Powedia vise à commercialiser des produits d'aide au montage et à la diffusion de contenus vidéos sur de multiples canaux et vers des terminaux variés (PC, box, smart-phones).

En savoir plus : [www.powedia.com](http://www.powedia.com)

#### • Golaem :

Créée en 2009, cette société valorise les travaux scientifiques de l'équipe Bunraku concernant les humanoïdes virtuels. Que ce soit dans le domaine industriel (usine numérique) ou celui du multimédia, les produits proposés par Golaem permettent de traiter à la fois la mobilité et le comportement des humanoïdes virtuels.

En savoir plus : [www.golaem.com](http://www.golaem.com)

### Participation aux programmes de recherche collaborative

IRISA-INSA est impliqué dans les programmes nationaux de recherche collaboratives relatifs aux STIC :

#### • Programmes de l'ANR

**Plate-forme RNTL Part@ge** : Projet coordonné par l'INSA de Rennes et labellisé par le pôle « Image et Réseaux » sur l'interaction collaborative.

En savoir plus : [www.rntl-partage.org](http://www.rntl-partage.org)

**Plate-forme RNTL Collaviz** : Ce projet concerne l'analyse et la collaboration distante avec des résultats de simulation scientifique.

**ANR Corvette** : Corvette (COLlaboRative Virtual Environment Technical Training and Experiment) est un projet qui propose des innovation dans le domaine de la formation industrielle (maintenance et sécurité) en exploitant les techniques de réalité virtuelle. Ce projet traite plus particulièrement de travail collaboratif et d'interaction humain virtuel – humain réel. Les partenaires de Corvette sont l'INSA de Rennes, l'ENIB, le CEA-List, Nexter Training, Virtualys et Golaem.

**RNRT SensLab** : Projet d'installation de quatre plate-formes (Lyon, Lille, Rennes et Strasbourg), composées de 256 capteurs permettant d'expérimenter, dans des conditions réelles, les protocoles réseaux sans fil, les algorithmes distribués.

**RNRT SVP** : Projet sur la conception de solutions à base de réseaux de capteurs. Etude, réalisation et expérimentation d'une architecture ambiante intégrée.

**ANR ARA SSIA SafeScale** : Projet sur la sécurité et la sûreté dans les systèmes ambiants et les environnements P2P.

**ANR MobiSketch** : (<http://mobisketch.irisa.fr/>, Labellisé par le pôle de compétitivité « images et réseaux ») : Ce projet vise à élaborer une solution logicielle générique orientée stylo pour la rétro-conversion et la production de documents techniques (schémas, plans...) en intégrant explicitement l'utilisateur dans le processus d'analyse. Il rassemble, l'équipe de recherche INTUIDOC, le laboratoire CRPCC de l'Université de Rennes 2 et la société Script&Go.

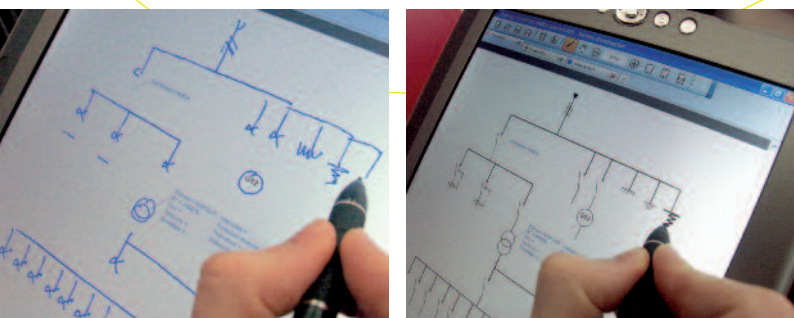
#### • Masses de Données

Participation aux projets ACI DEMI-TON (outils d'études de grands corpus audiovisuels), ANR Navidomass (développement d'outils d'analyse d'image pour la navigation dans des masses documentaires), ANR Alpage (algorithmes pour les plateformes à large échelle) et ANR ARA ICOS-HD (espaces de représentations permettant à la fois la compression et la description des flux). Ce dernier est labellisé par le pôle de compétitivité « Images et Réseaux ».

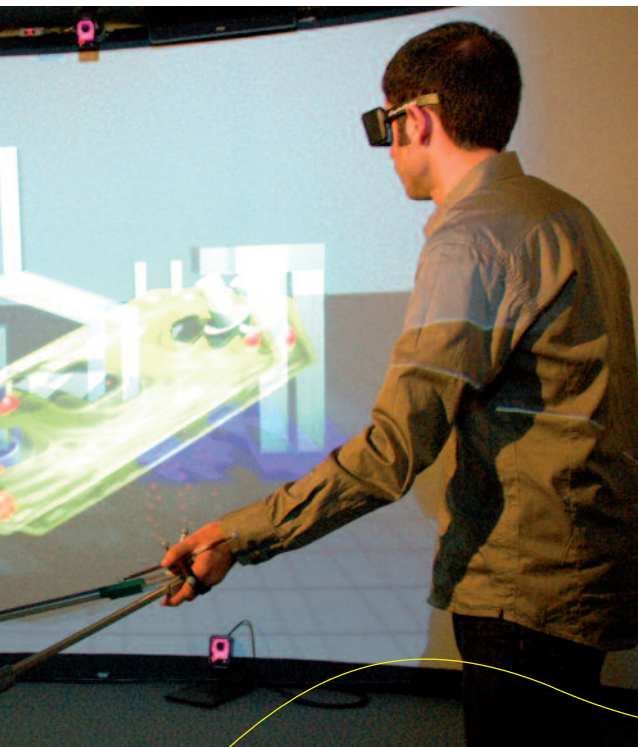
#### • Divers

**Projet Région Bretagne ScriptEverywhere** (labellisé par le pôle de compétitivité « images et réseaux »). Ce projet vise à concevoir une solution logicielle de saisie et de révision à main levée de schémas électriques sur Tablet PC. Il rassemble, l'équipe de recherche INTUIDOC, la société de contrôle APAVE Nord Ouest (un industriel pilote), et la société Evodia.

Contrat de collaboration de recherche entre INTUIDOC et



L'image de gauche représente les tracés de l'utilisateur, tandis que l'image de droite représente le schéma reconnu et mis en forme au fur et à mesure des tracés



Projet Part@ge :  
démonstration de l'interaction  
collaborative locale et distante  
Porté par l'INSA de Rennes (équipe  
VR4i), cette plate-forme ANR a produit  
des résultats scientifiques et techniques  
démontrant la pertinence et l'intérêt  
applicatif des techniques de travail  
collaboratif sur la maquette  
numérique. Pour plus de détail :  
[www.rntl-partage.fr/](http://www.rntl-partage.fr/)



## Recherche

**l'École de Technologie Supérieure (ETS) - Université du Québec :**  
Ce projet explore, dans le contexte du travail collaboratif, l'interaction homme-document pour réaliser des annotations et des schémas sur Tableaux Blancs Interactifs (TBI) ou tabletPC pour des applications liées au milieu médical et à l'éducation.

**Contrat de collaboration de recherche entre INTUIDOC et l'École Polytechnique de Montréal (Laboratoire Scribens) :**  
L'objectif est d'exploiter des connaissances dérivées de la théorie cinématique des mouvements humains (modèles Sigma-Lognormaux) pour améliorer les algorithmes dédiés à la reconnaissance évolutive et auto-adaptative de l'écriture manuscrite.

**Projet Grand Largue :** Projet labellisé en février 2007 par le Pôle « Mer Bretagne » sur l'introduction d'un système automatisé de voiles dans la marine de travail.

**Programme OSEO Quaero :** Ce programme allie un projet de recherche et de développement de nouvelles technologies, des campagnes d'évaluation de ces technologies, et des projets applicatifs portés par des industriels, basés sur les technologies développées. Ces projets concernent l'emploi des techniques d'analyse des données multimédias pour proposer des services de recherche d'information, des portails sur le web, des services audiovisuels ou d'exploitation d'archives.

**NextTV4All :** Ce projet porte sur la définition et le développement d'un système de distribution de contenus audiovisuels enrichis s'appuyant sur l'IMS (IP Multimedia Subsystem) en assurant la Convergence Fixe Mobile à la fois au niveau réseaux et services, permettant la disponibilité du contenu partout et à tout moment.

### **Collaborations industrielles directes**

- **Projet GVT :** Réalisation d'un outil de formation générique, très performant et original : GVT@, grâce à un étroit partenariat avec la société Nexter-Systems. GVT@ associe l'information, les procédures et la pratique dans un environnement virtuel.  
En savoir plus : [www.gvt-nexter.fr](http://www.gvt-nexter.fr)
- **Projet de Recherche avec les archives départementales des Yvelines :** projet portant sur la transcription assistée de mots manuscrits dans des documents d'archives administratifs, financé par le conseil général des Yvelines.

### Perspectives

A court et moyen termes, l'IRISA-INSA poursuivra plusieurs objectifs complémentaires :

Une affirmation de l'excellence scientifique par l'augmentation de la visibilité des contributions, tant par leur qualité que par leur valorisation.

Une continuité dans la mise en place de longs partenariats stratégiques, académiques et industriels. De la pérennité des collaborations résulte l'efficacité du montage de projets nationaux et européens d'envergure.

Une profonde réflexion sur la valorisation des travaux et une attention spécifique à l'impact sociétal des activités de recherche (santé, environnement et développement durable).

Un développement de plates-formes technologiques, point fort pour favoriser les sujets scientifiques et les collaborations.

Un renforcement des thématiques actuelles, en particulier les clouds et systèmes P2P, la réalité virtuelle, les documents numériques et multimédia et les systèmes d'information logique.

Une veille sur l'émergence de nouveaux thèmes de recherche à fort potentiel, tel le génie logiciel qui a été renforcé dans le laboratoire.

Enfin, IRISA-INSA est fondé sur l'activité de recherche d'enseignants-chercheurs, de doctorants et de stagiaires et le soutien d'équipes techniques. Une attention particulière sera portée sur l'harmonie de l'équilibre obtenu.



# IRMAR-INSA Institut de Recherche Mathématiques de Rennes

UMR CNRS 6625

Recherche

**L'IRMAR-INSA** est la composante INSA de l'UMR CNRS 6625 IRMAR. Cet Institut de Recherche en Mathématiques est un pôle de recherche public regroupant 143 personnes. Ses partenaires sont l'Université de Rennes 1, l'ENS Cachan et l'INSA de Rennes.

**IRMAR**  
Félix ULMER  
Directeur

**IRMAR-INSA**  
James LEDOUX  
Directeur



Tél. +33 (0)2 23 23 83 98  
James.Ledoux@insa-rennes.fr  
[www.insa-rennes.fr/irmar](http://www.insa-rennes.fr/irmar)

Calcul scientifique  
Contrôle de systèmes  
Courbes et surfaces  
Equations aux dérivées partielles  
Homogénéisation de milieux composites  
Modèles markoviens  
Océanographie  
Statistique de données dépendantes



Figure 1 : Interpolant d'Hermite sur un réseau rectangulaire avec contrainte de monotonie suivant x

## Les équipes de recherche

L'IRMAR-INSA représente 14 enseignants-chercheurs et est structuré autour de deux axes :

- Modélisation et analyse numérique
- Probabilités et statistiques

L'objectif commun à ces deux axes est **d'élaborer des modèles théoriques en vue d'applications dans divers domaines : dessin industriel, économie, filtrage de données, imagerie médicale, matériaux composites, sûreté de fonctionnement et thérapie.**

### 1. MODÉLISATION ET ANALYSE NUMÉRIQUE

Ce groupe concentre ses activités autour des neuf thèmes suivants :

- Approximation
- Étude des champs tayloriens
- Imagerie mathématique
- Evolution d'interfaces et équations de Hamilton-Jacobi
- Homogénéisation des milieux composites
- Contrôle optimal et robuste des systèmes dynamiques et équations de Hamilton-Jacobi
- Modélisation, calibration et méthodes numériques
- Océanographie
- Modélisation de transport quantique et classique dans les nanostructures

#### Approximation

Les deux principaux thèmes de recherche développés sont **les méthodes de subdivision et les quasi-interpolants**, utilisées en CAGD (Computer Aided Geometric Design).

Les méthodes de subdivision constituent une nouvelle approche de la construction et du tracé de courbes et surfaces [DM] pour la construction d'images aussi bien dans le domaine médical que dans les jeux vidéo. Ces dessins sont obtenus par des algorithmes itératifs construisant de nouveaux ensembles de points à partir d'anciens et formant à la limite une courbe ou une surface continue.

Les méthodes d'approximation basées sur des quasi-interpolants polynomiaux ou splines (P. Sablonnière) créent rapidement des courbes et des surfaces [LMS] proches d'un ensemble de points donnés sans avoir à résoudre de grands systèmes d'équations linéaires (cf. figure 1). Ces thématiques sont développées en collaboration avec C. Dagnino (Turin) D. Barrera (Grenade) et D. Sbibih (Oujda) et font l'objet de thèses en cotutelle avec ces universités.

**Les principales applications de ces recherche sont l'imagerie et le dessin industriel (automobiles, bateaux, avions par exemple), mais aussi les images de synthèse pour les films d'animation.**



#### Etude des champs tayloriens

E. Le Gruyer propose une formulation mathématique consistante des principes de stabilité pour les schémas d'extension pour les champs d'ordre  $m$  dans les espaces hilbertiens et pour les fonctions d'une seule variable réelle. Un résultat important sur le problème de l'extension minimale est l'obtention de l'inner expression de la constante de Lipschitz d'un champ d'ordre 1, avec comme conséquence: un théorème de prolongement de Whitney dans un Hilbert quelconque. Le lien entre les extensions harmonieuses et les solutions de viscosité du laplacien infini est établi et une méthode numérique convergente pour approcher les Absolutely Minimal Lipschitz Extensions définies dans des espaces métriques, métriquement convexe a été proposée (cf. figure 2).

#### Imagerie mathématique

**Les recherches actuelles portent sur la modélisation mathématique de problèmes concrets issus de l'imagerie. Leur finalité est la quantification de l'information et l'aide au diagnostic.** Une attention particulière est portée sur les problématiques de segmentation et de registration.

La segmentation d'images consiste à partitionner l'image en sous-ensembles et à détecter les contours d'intérêt. L'utilisation des méthodes Level Set pour modéliser le contour qui évolue induit une grande flexibilité des formes. C. Le Guyader et L. Vese (Californie) développent un modèle de segmentation fondé sur les contours actifs géodésiques préservant les formes [LV]. Des simulations 3D sont validées sur le cortex humain (cf. figure 3).

Considérant deux images appelées respectivement « template » et « référence », l'objectif de la registration est de déterminer une transformation géométrique afin que l'image template déformée coïncide avec l'image de référence. Actuellement, C. Le Guyader et L. Vese mettent au point un modèle autorisant de larges déformations. C. Le Guyader, D. Apprato et C. Gout travaillent sur la construction de déformations préservant la topologie.

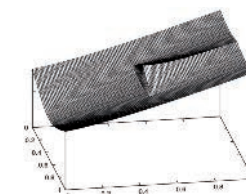


Figure 2 : Interpolant Approximation d'une AMLE dans un espace métrique



Figure 3 : Segmentation du cerveau sous contrainte topologique

### Evolution d'interfaces et équations de Hamilton-Jacobi

Les interfaces et les frontières libres apparaissent dans de très nombreux contextes : en physique, en sciences de l'ingénieur et des matériaux, en biologie, en imagerie, etc. Les travaux d'O. Ley et de ses collaborateurs s'appuient sur l'approche par lignes de niveaux et la notion de solutions de viscosité pour obtenir existence et unicité d'un flot géométrique modélisant des évolutions d'interfaces avec une vitesse normale prescrite. Les principales contributions concernent :

- la dynamique des dislocations qui explique certaines propriétés plastiques macroscopiques des cristaux [BCLM] (cf. figure 4) ;
- un modèle de croissance de polymères ;
- certains systèmes de FitzHugh-Nagumo apparaissant en biologie [BCLM] ;
- des flots de gradient apparaissant en optimisation de formes.

Collaborations : G. Barles (Tours), P. Cardaliaguet (Paris-Dauphine), H. Mitake (Tokyo), R. Monneau (Ecole des Ponts et Chaussées), A. Montillet (Brest) dans le cadre de l'ANR « Mouvements d'interfaces, calcul et applications ».

### Homogénéisation des milieux composites

L'homogénéisation décrit les caractéristiques physiques macroscopiques d'un matériau composite à partir d'informations microscopiques. Les travaux de M. Briane et M. Camar-Eddine portent, entre autres, sur l'étude des problèmes de conduction à fort ou faible contraste.

A. Braides (Rome 2), M. Briane et J. Casado-Díaz (Séville) montrent la stabilité par homogénéisation de la conduction à fort contraste en dimension 2. Par contre, M. Briane et M. Camar-Eddine mettent en évidence l'apparition de dégénérescences dans le cas de l'élasticité bidimensionnelle à forte raideur.

M. Briane et G.W. Milton (Utah) [BM] obtiennent des méta-matériaux composites qui, par la combinaison de la géométrie et du contraste entre les phases, induisent des pathologies en électro-physique classique (cf. figure 5) : changement de signe du coefficient de Hall (a) (© Dylon Whyte), effet Hall géant (b), effet Hall antisymétrique (c).

### Contrôle optimal et robuste des systèmes dynamiques et équations de Hamilton-Jacobi

Deux thèmes sont principalement étudiés : le contrôle optimal et robuste de systèmes d'équations aux dérivées partielles non linéaires par A. Belmiloudi, F. Mahé (UR1), A. Rasheed, et J.-P. Yvon, et les équations de Hamilton-Jacobi par F. Camilli (Rome), F. Da Lio (Padoue), N. Ichihara (Hiroshima) S. Koike (Saitama) et O. Ley.

Les principales applications : la physique fondamentale, avec l'étude de fluctuations en supraconductivité et en solidification ; l'océanographie ; le transfert de chaleur et de masse ; le contrôle optimal stochastique, la mécanique ; le comportement asymptotique de certains systèmes.

A. Belmiloudi a publié un livre [B] sur la théorie du contrôle robuste et la stabilisation de systèmes dynamiques gouvernés par des EDP non linéaires couplées (avec ou sans retards en temps).

L'approche de Bellman en contrôle optimal consiste à ramener le problème de contrôle à l'étude d'une équation aux dérivées partielles (non-linéaire) que satisfait la fonction valeur du problème. Dans le cadre de l'ANR « Hamilton-Jacobi et théorie KAM faible », le comportement en temps grand des solutions des équations de Hamilton-Jacobi est étudié.

### Modélisation, calibration et méthodes numériques

A. Belmiloudi et A. Rasheed ont développé un nouveau modèle de solidification d'alliages binaires sous l'influence de champs magnétiques avec des méthodes numériques adaptées.

Pour analyser et améliorer le comportement thermodynamique des plaques de plâtre, A. Belmiloudi et F. Mahé ont amélioré les modèles existants par l'introduction de paramètres important en thermique mais généralement négligés par le génie civil.

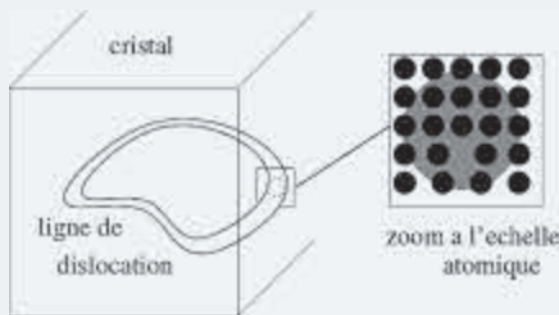


Figure 4 : Dislocation dans un cristal



(a) Cotte de mailles



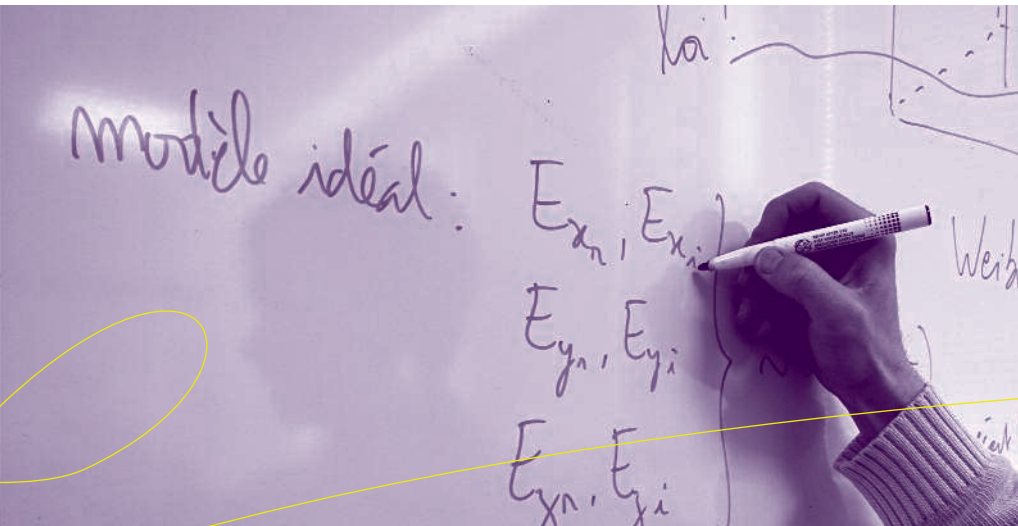
(b) Laminé



(c) Hélice

Figure 5 : Trois méta-matériaux composites





**Océanographie**

On observe des anomalies de circulation de l’océan dans le canal du Mozambique. Le niveau de l’océan s’est en effet accru le long de la côte Ouest de Madagascar noyant les terres les plus basses. L. Monier et F. Razafimahery (UR1) ont développé un modèle tridimensionnel (cf. figure 6) [MR] de la circulation océanique dans cette zone en simulant les variations saisonnières de la circulation océanique et de la topographie de surface. Ils ont étudié l’impact du vent et de la force de Coriolis sur la circulation et testé les modèles sur des domaines réalistes (canal du Mozambique) en les forçant par des données satellites.

**Modélisation de transport quantique et classique dans les nanostructures**

Dans le cadre du projet ANR « QUATum TRANsport In Nanostructures », R. El Hajj s’intéresse à la modélisation et la simulation de transport électronique dans les nanostructures. Ses travaux, en collaboration avec N. Ben Abdallah (Toulouse), portent essentiellement sur les thèmes suivants:

- modélisation mathématique de transport de spins depuis le microscopique (quantique) vers le macroscopique (dérive-diffusion) ; application à la simulation de spin-FET (cf. figure 7) ;
- étude et approximation du système Schrödinger-Poisson dans des structures partiellement confinées telles que les gaz d’électrons bidimensionnels [EB] ;
- approximation fluide de transport des particules en présence de champs magnétiques forts.

**2. PROBABILITÉS APPLIQUÉES ET STATISTIQUES**

Ce groupe concentre ses activités autour des 6 thèmes suivants :

- Théorèmes limites pour les processus markoviens
- M-estimation de données markoviennes
- Filtrage stochastique et fiabilité
- Biostatistique
- Statistique de modèles vectoriels autorégressifs
- Equations estimantes et inférence statistique

**Théorèmes limites pour les processus markoviens**

L. Hervé, J. Ledoux, D. Ferré (doct.) et D. Guibourg (doct.) développent des théorèmes limites dans le cadre markovien. Plus particulièrement, ils quantifient la qualité de l’approximation gaussienne pour l’analyse de longues séries de données via des résultats de type Berry-Esseen, développement d’Edgeworth. Les théorèmes de renouvellement sont également abordés. La vitesse de convergence de l’approximation poissonnienne pour le recensement d’événements rares a été étudiée. Enfin, des théorèmes limites avec des lois stables sont établis dans [HH].

**M-estimation de données markoviennes**

Les méthodes statistiques d’aide à la décision s’appuient pour l’essentiel sur des théorèmes limites probabilistes bien connus dans le cas des données indépendantes mais qui continuent de faire l’objet de nombreuses études dans le cas d’observations dépendantes. L. Hervé, D. Ferré, J. Ledoux et V. Patilea développent des aspects statistiques des résultats sur les théorèmes limites pour des données markoviennes mentionnés dans le précédent thème.

**Filtrage stochastique et fiabilité**

J. Ledoux axe une partie de ses travaux sur l’estimation des paramètres de modèles markoviens cachés via des techniques de filtrage stochastique. Ceci permet d’adopter une approche bayésienne des problèmes de fiabilité de systèmes. Dans un contexte de réduction de complexité du filtrage de la composante directrice d’une chaîne de Markov additive, J. Ledoux a donné, avec G. Brush et L. White (Adelaïde), les conditions sous lesquelles le filtre d’une fonction de l’état caché satisfait une dynamique linéaire [LWB].

**Biostatistique**

V. Patilea a poursuivi ses travaux sur les applications des méthodes statistiques en biologie et médecine. Avec D. Böhning (Reading Univ.) il a mené une étude sur la construction de seuils à partir desquels, on présume la présence d’une maladie (défaillance) lors des tests de dépistage d’une maladie (défaut) basés sur la mesure d’un indicateur à valeurs continues. I. van Keilegom (UCL Louvain), O. Lopez (Paris 6) et V. Patilea ont mis au point une nouvelle procédure d’estimation d’un modèle de régression à direction révélatrice unique en présence de censure.

**Statistique de modèles vectoriels autorégressifs**

V. Patilea et H. Raïssi s’intéressent à l’estimation et à la validation de modèles vectoriels autorégressifs ajustés à des processus ayant une volatilité dépendant du temps. En particulier des tests s’appuyant sur l’estimation adaptative de la volatilité sont proposés pour la spécification de dynamiques temporelles. H. Raïssi a également analysé les effets de la présence de non linéarités dans des systèmes cointégrés [R].

**Equations estimantes et inférence statistique**

V. Patilea intervient dans un projet sur l’inférence statistique à partir des équations estimantes. Dans ce contexte, il étudie avec P. Lavergne (Simon Fraser) et O. Lopez l’estimation et le test des paramètres en présence des données incomplètes. Ce travail prolonge les résultats obtenus par Lopez et Patilea [LP] dans le cas d’un modèle de régression. M. Saumard a démarré une thèse sur les équations estimantes dans un contexte de variables fonctionnelles.

Figure 6 : Simulation 3D de l’écoulement océanique

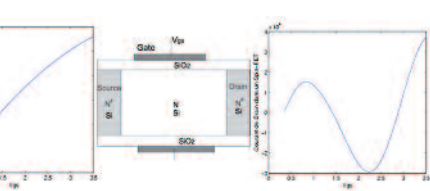
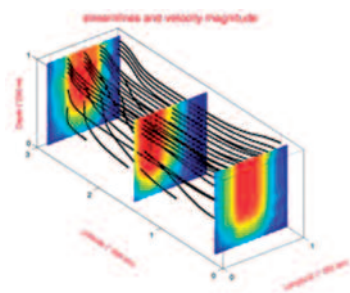


Figure 7 : Transistor de type MOSFET et ses caractéristiques courant-tension sans effet de rotation de spin (à gauche) et avec rotation de spin (à droite).

## Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)

### Effectifs

L'UMR IRMAR regroupe 143 personnes réparties en 108 enseignants-chercheurs (53 professeurs et 55 maîtres de conférences), 18 chercheurs CNRS (4 directeurs de recherche et 14 chargés de recherche) et 17 membres ITA-IATOSS (ingénieurs, techniciens et administratifs). La composante IRMAR-INSA représente 23 personnes, à savoir :

	Enseignants-Chercheurs	Doctorants**	IATOS*
Total	14	8	1

### Résultats académiques

Années	Thèses soutenues	Thèses en co-tutelle
2008		
2009		1
2010	1	1
Total	1	2

### Résultats scientifiques et contractuels

Années	Publications	Communications	Contrats en cours
2008	29	4	1
2009	18	6	1
2010	18	6	
Total	65	16	1

Années	Publications			
	Publications dans des revues nationales à comité de lecture	Publications dans des revues internationales à comité de lecture	Proceedings des actes de congrès avec comité de lecture	Ouvrages
2008	-	28	4	1
2009	-	18	6	
2010	-	18	6	
Total	-	64	16	1

Années	Communications		
	Communications invitées	Communications orales	Communications affichées (posters)
2008	7		
2009	5		
2010	7		
Total	19		

\* Ingénieurs techniciens administratifs - \*\* dirigé par un EC de la composante IRMAR-INSA

### Quelques publications significatives

[BCLM] Barles G., Cardaliaguet P., Ley O. & Monteillet A., Uniqueness Results for Nonlocal Hamilton-Jacobi Equations, *J. Funct. Anal.*, 257 (2009), 1261-1287.

[B] Belmiloudi A., Stabilization, Optimal and Robust Control. Theory and Applications in Biological and Physical Sciences, Springer-Verlag, London, (2008).

[BM] Briane M. & Milton G.W., Homogenization of the three-dimensional Hall effect and change of sign of the Hall coefficient, *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 193 (3) (2009), 715-736.

[DM] Dubuc S. & Merrien J.-L., Hermite Subdivision Schemes and Taylor Polynomials, *Constr. Approx.*, 29 (2009), 219-245.

[EB] El Hajj R. & Ben Abdallah N., High density limit of the stationary one dimensional Schrödinger-Poisson system, *Multiscale Model. Simul.*, 7(1) (2008), 124-146.

[HH] Hennion H. & Hervé L., Stable laws and products of positive random matrices, *J. Theoret. Probab.*, 21 (4) (2008), 966-981.

[LWB] Ledoux J., White L.B. & Brushe G.D., On the relationships between lumpability and filtering of finite stochastic systems. *J. Appl. Probab.*, 45(3) (2008) 650-669.

[L] Le Gruyer E., Minimal Lipschitz extensions to differentiable functions defined on a Hilbert space, *Geom. Funct. Anal.*, 19 (2009), 1101-1118.

[LV] Le Guyader C. & Vese L., Self-repelling snakes for topology-preserving segmentation models, *IEEE Trans. Image Process.*, 17(5), (2008), 767-779.

[LMS] Lyche T., Manni C. & Sablonnière P., Spline quasi-interpolating projectors in several variables, *J. Comp. Appl. Math.* 221 (2008), 416-429.

[MR] Monier L., Brossier F. & Razafimahery F., Validation of the Three-dimensional modelisation of the Ocean Circulation. *American Institute of Physics (AIP) Conf. Proc.*, Vol. 1067, (2008), 271-278.

[LP] Lopez O. & Patilea V., Nonparametric lack-of-fit tests for parametric mean-regression models with censored data, *J. Multivariate Anal.*, 100(1), (2009), 210-230.

[R] Raïssi H., Testing the cointegrating rank when the errors are uncorrelated but nonindependent. *Stochastic Anal. Appl.*, 27, (2009), 24-50.

## Les réseaux et partenariats

L'IRMAR-INSA participe à de nombreux réseaux :

- ANR MICA « Mouvements d'Interfaces, Calcul et Applications » ANR-06-BLAN-0082
- ANR KAM FAIBLE « Hamilton-Jacobi et Théorie KAM faible » ANR-07-BLAN-0361
- ANR QUATRRAIN « QUAtum TRAnsport In Nanostructures » 2007-2011
- GdR 3273 MOA « Mathématiques de l'Optimisation et Applications »
- GdR RO « Recherche Opérationnelle »
- Projet CPER Nord-Pas-de-Calais « Dynamiques de l'économie de l'art et de la culture » Participation au volet « relations de long terme avec le prix de l'art »
- GdR FQM-309 2007-10 financement régional de l'Andalousie
- Spanish National Project MTM2008-00306 2008-11

Au sein de l'IRMAR-INSA, les échanges internationaux se traduisent essentiellement par des collaborations avec des chercheurs étrangers et des co-tutelles de thèse.

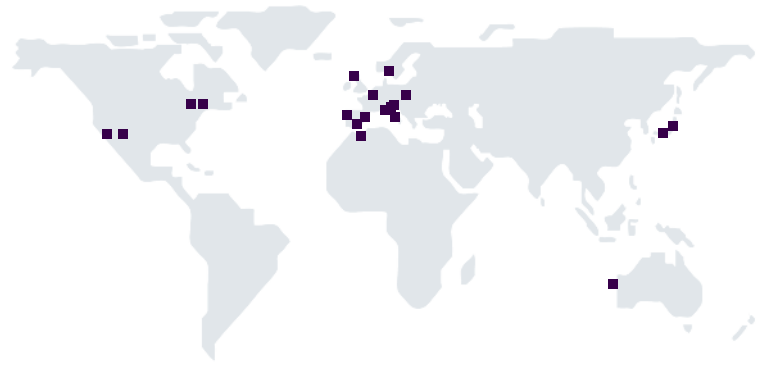
Ses partenaires principaux sont :

### • Amérique du Nord

S. Dubuc - Université de Montréal, G. Milton - Université de l'Utah, S. Damlin - Université de Georgia Southern, P. Lavergne - Simon Fraser University et L. Vese - Université de Californie

### • Australie

L. White - Université d'Adelaide



### • Europe Méridionale et Magrheb

A. Daniilidis - UAB Barcelone, D. Barrera - Univ. de Grenade, A. Braides, L. Gori et C. Manni - Univ. de Rome 2, F. Camilli et V. Nesi - Univ. de Rome 1, J. Casado Diaz - Univ. de Séville, C. Dagnino et V. Demichelis - Univ. de Turin, F. Da Lio - Univ. de Padoue, I. C. Delatta et B. Franchi - Univ. de Bologne, D. Sbibih - Univ. d'Oujda

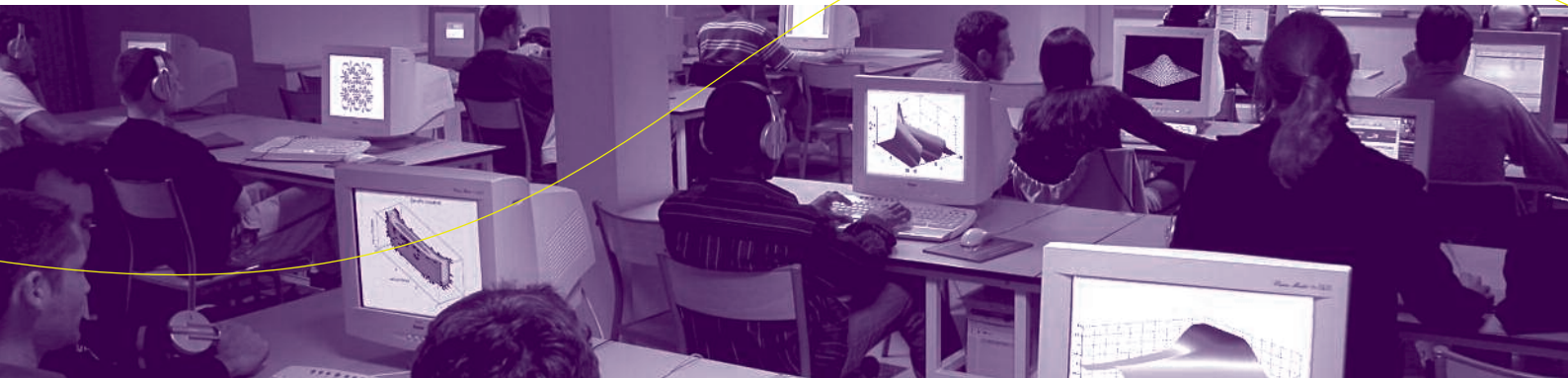
### • Europe du nord

D. Böhning - Reading University, I. van Keilegom - UCL Louvain, T. Lyche - Univ. d'Oslo, T. Sauer - Univ. de Giessen, V. Spokoiny - Humboldt Universität

### • Japon

N. Ichihara et H. Mitake - Univ. de Hiroshima, S. Koike - Univ. de Saitama

# Recherche



## Perspectives

Au regard des recrutements de ces cinq dernières années, les activités de la composante IRMAR-INSA se concentrent aujourd'hui autour de deux thématiques avec les objectifs suivants :

- Renforcer et nouer des collaborations
  - entre membres de la composante IRMAR-INSA autour, en particulier,
    - des équations aux dérivées partielles et leurs applications, un sujet fédérateur pour la partie analyse appliquée ;
    - des statistiques ; annoncé dans le précédent rapport, ce projet a été initié et soutenu, notamment, par l'apport d'un nouveau MCF et de nouveaux doctorants. Ces collaborations seront validées par des publications dans le prochain rapport.
  - avec les membres des équipes de l'aléatoire et de l'analyse de l'IRMAR.
  - avec des chercheurs d'autres disciplines.
- À l'international
  - participation à des programmes de recherche internationaux ;
  - invitations de chercheurs étrangers ;
  - accueil de doctorants étrangers.

Les indicateurs, en particulier de production scientifique, montrent que les orientations scientifiques et la politique de recrutement menée doivent être poursuivies.



# SCR-INSA Sciences Chimiques de Rennes

UMR CNRS 6226

Recherche

L'INSA de Rennes compte deux équipes SCR :

- SCR / CM – INSA :  
Equipe « Chimie-Métallurgie »
- SCR / MI – INSA :  
Equipe « Chimie du Solide et Matériaux »

Créée le 1er janvier 2006, l'**UMR CNRS 6226 SCR - Sciences Chimiques de Rennes** est une Unité Mixte de Recherche regroupant environ 400 personnes dont 231 permanents réparties sur trois établissements d'enseignement supérieur du site rennais : l'Université de Rennes 1, l'ENSCR et l'INSA de Rennes. Elle est constituée de douze équipes de recherche, solidairement engagées sur un projet scientifique commun.

Trois thématiques principales sont développées :

- Synthèses et procédés
- Molécules fonctionnelles et matériaux
- Chimie pour le stockage, le transport et le traitement de l'information

#### SCR

Dr. Jean-Luc ADAM  
Directeur

#### SCR / CM - INSA

Thierry GLORANT  
Directeur

Tél : +33 (0)2 23 23 82 41 / 82 40  
thierry.gloriant@insa-rennes.fr  
www.insa-rennes.fr/scr-cm

#### SCR / MI - INSA

Olivier GUILLOU  
Directeur

Tél : +33 (0)2 23 23 84 38  
olivier.guillou@insa-rennes.fr  
www.insa-rennes.fr/scr-mi





SCR / CM - INSA  
En quelques mots

Alliages  
Fusion  
Diffusion  
Nitruration  
Titane  
Microstructure  
Biomatériaux

## Les équipes de recherche

L'activité du laboratoire SCR / CM - INSA porte sur **la synthèse, l'étude et le développement d'alliages métalliques, et plus particulièrement d'alliages à base de titane ou de zirconium**. L'une de ses spécificités est la diversité de son potentiel en moyens d'élaborations, sous atmosphère contrôlée, **d'alliages à haut point de fusion** : four à arc, fours à induction magnétique moyennes et hautes fréquences, traitements thermiques divers. Son objectif est de répondre aux enjeux industriels dans les secteurs de l'aéronautique et de l'automobile (alliages base titane, aluminium), du nucléaire (alliages base zirconium) et du biomédical (alliages base titane allié au molybdène ou au tantale, nitruration).

### 1. TEXTURES ET COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES ALLIAGES DE ZIRCONIUM ET DE TITANE

En d'autres termes : **étude des alliages de titane pour des applications aéronautiques**.

Une analyse du comportement mécanique et des évolutions structurales dans les matériaux de structure hexagonale a été effectuée sur l'alliage industriel TA6V afin de préciser l'influence de l'anisotropie du matériau. Une étude sur les textures d'échantillons prélevés dans une tôle de départ a alors été menée :

- Analyse de l'influence du laminage à froid sur les textures cristallographiques de la phase alpha après déformation plastique et traitement thermique de recristallisation sous vide
- Mesures des évolutions de texture spécifiques juste après déformation plastique seule et après recuit de recristallisation
- Essais de traction afin de caractériser l'anisotropie du matériau en termes de limite d'élasticité, d'allongement à rupture et d'endommagement

### 2. ELABORATION ET CARACTÉRISATION MÉTALLURGIQUE D'ALLIAGES DE TITANE POUR APPLICATIONS BIOMÉDICALES

En d'autres termes : **élaboration d'alliages biocompatibles pour des applications comme substitut osseux (prothèse de hanche)**.

Cette élaboration est réalisée par fusion en lévitation en creuset sectorisé sous atmosphère contrôlée. La phase  $\beta$  est retenue par traitement thermique haute température suivi d'une trempe dans l'eau. Les éléments d'alliages bétagènes et biocompatibles comme le Mo, le Fe et/ou le Ta ont été utilisés. La caractérisation des alliages a été effectuée par diffraction des rayons X (goniomètres poudres et textures), E.B.S.D., microscopie optique et électronique, résistivimètre électrique et microduromètre.

Ces travaux ont permis d'**obtenir une structure granulaire présentant des propriétés mécaniques plus proches de l'os**. Le comportement biocompatible de ces nouveaux alliages a été évalué vis-à-vis d'une population d'ostéoblastes humains ou

## SCR / CM – INSA Sciences Chimiques de Rennes Equipe « Chimie – Métallurgie »

d'ostéoblastes issus d'explants d'embryons de poulet. La cytotoxicité a été mesurée et l'évaluation de l'adhésion, de la migration et de la densité cellulaire (prolifération) a été observée (partenariat avec le laboratoire Génie Biomédical, UMR 6600 à l'UTC).

### 3. VERRES MÉTALLIQUES ET ALLIAGES NANOSTRUCTURÉS

En d'autres termes : **caractérisation de nanocristaux**

Les verres métalliques suscitent énormément d'intérêts. La nanocristallisation thermiquement activée conduit à des propriétés mécaniques résultantes pouvant devenir meilleures que celles de la matrice amorphe mère. Une optimisation de ces propriétés a ainsi été envisagée à partir du contrôle de la répartition et de la fraction volumique des nanocristaux dans la matrice amorphe mère. La caractérisation des nanocristaux a été obtenue par sonde atomique tomographique.

Ce thème a été développé à travers des collaborations nationales et internationales : le « Groupe de Physique des Matériaux » de l'Université de Rouen et le « Department of Materials Science and Metallurgy » de l'Université de Cambridge.

### 4. NITRURATION ET DIFFUSION DANS LES ALLIAGES BASE TI

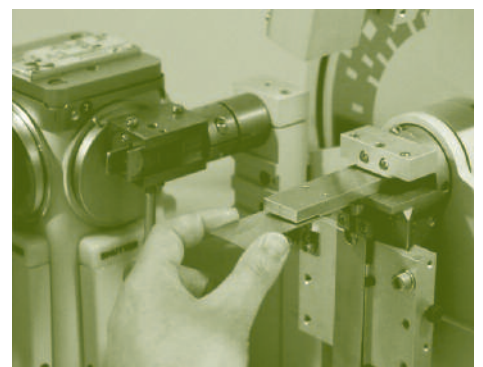
En d'autres termes : **exploration des possibilités de modification de la microstructure superficielle des alliages**

Le but de la nitruration est d'obtenir un durcissement superficiel des alliages de titane en vue de leur utilisation en situation de frottement. Les expériences menées de nitruration ont permis une exploration des possibilités de modification de la microstructure superficielle des alliages. Les interactions des alliages de titane avec les gaz chauds ont été abordées pour mieux cerner les problèmes de diffusion-réaction-précipitation dans les ternaires ainsi que ceux de traitements de surface par réaction gaz-solide (évolution structurale des zones traitées au cours de traitements thermiques, incidence sur les propriétés mécaniques de surface, etc.).

Les activités actuelles de SCR/CM – INSA destinées aux applications biomédicales ont suscité une étude sur la nitruration des alliages de titane avec les éléments bétagènes de type Ti-Zr, Ti-Mo et Ti-Ta. Les études antérieures de l'interdiffusion dans tout le domaine d'existence de la phase beta de haute température des systèmes binaires Ti-V, Ti-Nb, Ti-Ta, Ti-Mo et Ti-Hf, ainsi que celles relatives à la diffusion dans le ternaire Ti-Mo-Ta ont été complétées par la caractérisation de la diffusion dans le binaire Ti-Zr et le ternaire Ti-Hf-Zr.



Diffraction des rayons X : goniomètres de textures et de poudres



## Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)

### Effectifs

L'équipe SCR/CM - INSA représente 15 personnes, à savoir :

Année	Enseignants-Chercheurs	Doctorants**	IATOS*
2008	7	5	3
2009	7	5	3
2010	7	5	3

### Résultats académiques

Année	Masters**	Thèses soutenues
2008	-	1
2009	1	1
2010	1	1
Total	2	3

### Résultats scientifiques et contractuels

Année	Publications	Communications
2008	8	12
2009	8	12
2010	14	10
Total	30	34

\*Ingénieurs techniciens administratifs - \*\*Inscrits à l'INSA de Rennes

## Les équipements – les nouvelles acquisitions

Le SCR/CM - INSA maîtrise en particulier la technique de fusion en lévitation magnétique, en creuset froid sectorisé. Cette technologie a nécessité l'installation d'une plate-forme « élaboration par fusion » pour le développement d'alliages innovants pour l'industrie. Le laboratoire s'est équipé en 2009 d'une plate-forme de caractérisation mécanique de surface combinant la nano-indentation, un dispositif scratch-test et la microscopie à force atomique (Projet MECASURF)



↑ Synthèse d'alliages par fusion

## Les réseaux et partenariats

Le savoir-faire de SCR/CM – INSA est aujourd'hui un partenaire reconnu internationalement et impliqué dans de nombreuses collaborations scientifiques, industrielles et institutionnelles :

### Collaborations scientifiques

A titre d'exemples, le SCR/CM – INSA est particulièrement impliqué dans les programmes suivants :

- Programmes d'échange avec l'Autriche (PAI Amadeus) sur la nitruration d'alliages à base de titane
- Programme de recherche avec la Roumanie (Research of Excellence-CEEEX program network) sur les biomatériaux à base de titane
- Collaboration avec l'Université de Cambridge sur les alliages nanostructurés
- ANR TIBBIA : Titane Beta Biocompatible Adaptatif (programme thématique MatetPro)
- Programme Européen EUREKA / MNT-ERA-net : NanoBioAll sur les alliages à destination biomédicale

Le domaine des biomatériaux est particulièrement porteur au niveau européen. **La spécificité du SCR/CM – INSA en matière d'élaboration d'alliages positionne le laboratoire en amont des projets relatifs aux alliages à base de titane pour des applications biomédicales.**

### Collaborations industrielles

Les activités de recherche du SCR/CM – INSA intéressent essentiellement les industriels de la métallurgie, en particulier ceux utilisant ou développant des alliages à base de titane et de zirconium.

A ce titre, plusieurs exemples de collaboration peuvent être cités :

- Corrélations entre la nanostructure et les propriétés mécaniques des alliages de titane bêta métastables, en partenariat avec le segment titane de la SNECMA Moteurs.
- Etude de la diffusion de l'azote dans les tubes de zirconium utilisés comme gaines à combustibles, en partenariat avec AREVA.
- Transfert de technologies vers les PME du secteur biomédical pour le développement de dispositifs en titane à usages dédiés (agrafes, clips, stents, prothèses, implants, etc.).
- 2 contrats CIFRE avec la société Quertech Ingénierie

### Collaborations institutionnelles

Le SCR/CM – INSA a connu un important soutien des collectivités territoriales pour ses activités dans les biomatériaux :

- Rennes Métropole : financement d'une partie des équipements d'élaboration à haute température, et plus particulièrement de la fusion en lévitation magnétique
- Région Bretagne : multiples aides liées au renouvellement des équipements et au financement d'un doctorant

## Perspectives

Fort de son savoir-faire et de sa reconnaissance, le SCR/CM - INSA a été expertisé de manière très positive par les instances du CNRS en 2010 dans le cadre du nouveau contrat quadriennal pour la période 2012-2016.



Lanthanides  
 Polymères de coordination  
 Complexes polynucléaires  
 Clusters de Molybdène  
 Cristallogénèse  
 Caractérisation structurale  
 Porosité  
 Magnétisme moléculaire  
 Luminescence  
 Chromophores  
 Thermoélectricité



## SCR / MI – INSA Sciences Chimiques de Rennes Equipe « Chimie du Solide et Matériaux »

### Les équipes de recherche

Les polymères de coordination font actuellement l'objet de très nombreuses recherches à travers le monde. Cet engouement est essentiellement lié à l'intérêt qu'ils présentent dans le domaine du stockage des gaz. L'activité du laboratoire SCR / MI – INSA liée aux polymères de coordination à base de terres rares date d'une quinzaine d'années. Celui-ci a joué un rôle de pionnier en développant des techniques de synthèse originales (utilisation des gels, synthèse basse température, lyophilisation) qui répondent aux critères de la chimie verte. Les enjeux sociétaux actuels de développement durable et d'économie d'énergie renforcent l'intérêt des recherches menées par cette équipe. Depuis quelques années, les matériaux hybrides font l'objet d'une vive concurrence mondiale entre les équipes de recherche. Fort de son expérience, le SCR / MI - INSA conserve sa spécificité, son originalité et sa reconnaissance nationale et internationale.

### Quelques résultats marquants

#### Porosité

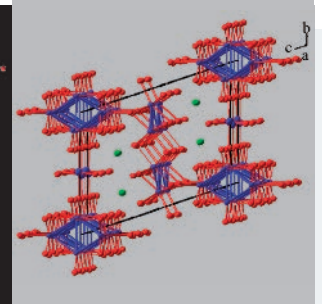
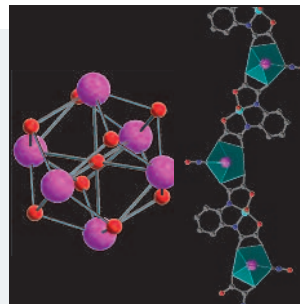
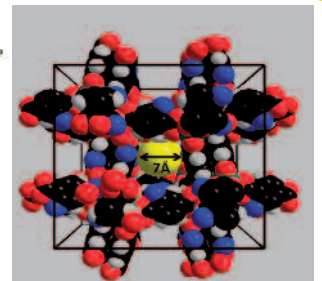
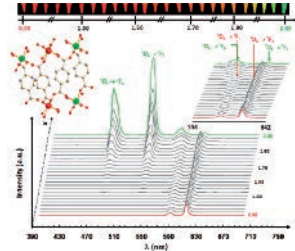
SCR / MI – INSA a récemment obtenu les polymères de coordination à base de terres rares présentant la plus forte porosité potentielle. Ces composés de formule chimique générale  $\text{Ln}(\text{abcd})(\text{Habcd})_n \cdot n\text{H}_2\text{O}$  où abcd signifie amino-benzène di-carboxylate, cristallisent dans le système cubique et présentent des canaux de section  $50\text{Å}^2$ . Ces composés, obtenus par des procédés respectueux de l'environnement sont activables à température ambiante par simple déshydratation sous flux d'azote. Ils présentent une surface spécifique de l'ordre de  $2000\text{m}^2\text{g}^{-1}$ .

#### Luminescence

La famille de composés iso structuraux de formule chimique  $\text{Ln}_2(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_4$  où Ln = La-Tm ou Y peut être citée comme exemple. Ces composés peuvent contenir une, deux, trois, voire quinze terres rares différentes simultanément et dans des proportions contrôlées. Nous avons démontré par diffraction des rayons X que les ions lanthanides étaient aléatoirement distribués et que ces composés polynucléaires consistaient bien en des composés monophasiques et non en un mélange de composés homo-nucléaires. Irradiés sous UV, certains d'entre eux émettent dans le visible avec des rendements quantiques de l'ordre de 30 à 40%. Ce système, unique à ce jour, est particulièrement intéressant tant sur le plan fondamental que sur celui des applications technologiques potentielles (il est à la base de la technologie développée par la société Olnica). Nous utilisons actuellement ce système pour approfondir notre connaissance des mécanismes à l'origine de la luminescence dans le but d'obtenir des chromophores performants susceptibles de constituer une alternative aux luminophores actuellement utilisés.

#### Magnétisme moléculaire

Dans le cadre de la synthèse de matériaux hybrides, notre équipe s'est récemment attachée à synthétiser des édifices moléculaires possédant également des propriétés magnétiques. Ainsi des chaînes



et molécules-aimants ont été obtenues dont certaines associent à leur caractère magnétique des propriétés de luminescence. Ces composés ont pour particularité de se comporter comme des aimants au niveau moléculaire. Ainsi, un seul cristal rassemble une infinité de nano-aimants possédant chacun sa propre aimantation. Cette aimantation possède alors un caractère quantique et non plus classique. Ces composés sont dès lors de potentiels qubits (supports au calcul quantique) et d'excellents porteurs de spin (pour la spintronique notamment).

#### Composés à base d'oxydes de molybdène

$\text{Nd}_4\text{Mo}_{18}\text{O}_{32}$  et  $\text{Sm}_4\text{Mo}_{18}\text{O}_{32}$  sont de nouveaux sous-oxydes de molybdène présentant une transition métal-isolant. Nous avons précédemment isolé la série de composés  $\text{Ln}_4\text{Mo}_{18}\text{O}_{32}$  (Ln = Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu et Y) par réaction solide-solide en creuset scellé de molybdène. Tous ces composés cristallisent dans le groupe d'espace monoclinique P2/c et leur structure cristalline comporte trois types différents de chaînes métalliques infinies qui se développent toutes parallèlement à l'axe b de la maille monoclinique :

- chaînes linéaires similaires à celles observées dans  $\text{MoO}_3$  et constituées d'atomes de molybdène alternativement espacés de 2,572 et 3,091 Å.
- chaînes formées de rhomboïdes  $\text{Mo}_4$  à arêtes communes semblables à celles observées dans  $\text{NaMo}_2\text{O}_4$ .
- chaînes infinies de clusters octaédriques  $\text{Mo}_6$  à arêtes communes présentant un appariement des octaèdres comme dans  $\text{Gd}_4\text{Mo}_4\text{O}_{11}$ . L'intérêt de ces composés réside dans leurs propriétés électriques puisqu'ils présentent tous une transition métal-isolant entre 70 et 100K.

## Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)

### Effectifs

L'équipe SCR/MI - INSA représente environ 10 personnes, à savoir :

Année	Enseignants-Chercheurs	Doctorants**	IATOS*
2008	4	5	4
2009	4	5	6
2010	4	5	3

### Résultats académiques

Année	Masters**	Thèses soutenues	HDR soutenues
2008	3	2	-
2009	0	1	-
2010	0	1	-
Total	3	4	-

Année	Publications	Communications	Contrats en cours	Brevets
2008	17	17	5	5
2009	13	17	4	0
2010	19	7	6	3
Total	49	41	15	8

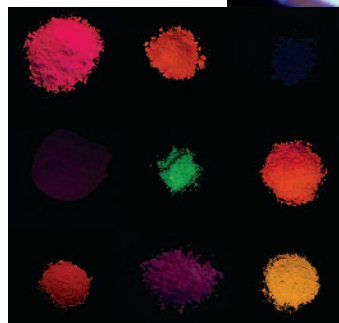
\*Ingénieurs techniciens administratifs - \*\*Inscrits à l'INSA de Rennes



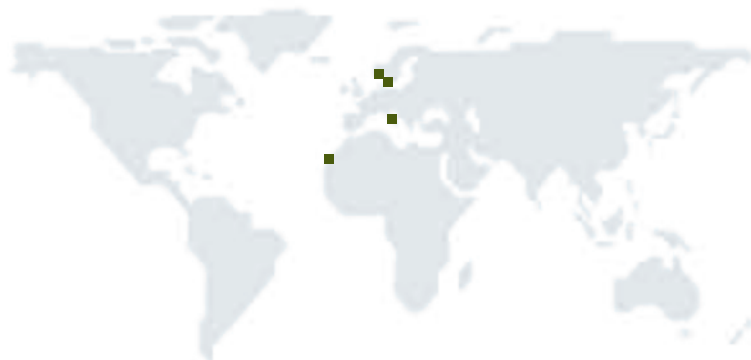
## Les équipements – les nouvelles acquisitions

Le SCR/MI - INSA dispose de moyens matériels importants dans divers domaines :

- **synthèse et cristallo-génèse** (chambre froide, boîte-à-gants, rampes de Schlenk, lyophilisateur, réacteurs grands volumes, centrifugeuses, fours, etc.). Ces équipements permettent de réaliser des synthèses allant du mg à plusieurs kg.
- **caractérisations physico-chimiques et analyse** (DRX, ATG/TD, FTIR, ICP, MEB)
- **étude des propriétés optiques** (Fluorimètre et absorption UV-vis, colorimètre).



Poudres luminescentes sous irradiation UV



## Les réseaux et partenariats

SCR/MI - INSA a développé d'étroites collaborations avec de nombreux laboratoires industriels ou académiques, français ou étrangers.

A titre d'exemples : l'ICMMO - Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay, Laboratory of Molecular Magnetism (Université de Florence / Italie) ou encore l'EPFL – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne / Suisse. La mise en place d'un partenariat avec l'Université de Dakar / Sénégal est également en cours.

## L'innovation et le transfert de technologie

SCR/MI – INSA déploie une forte activité dans le domaine de la recherche finalisée. Au côté du LGCGM, SCR/MI – INSA est engagé dans plusieurs actions de recherche en Génie Civil. A titre d'exemple, SCR/MI – INSA est engagé dans un contrat pluriannuel avec la Ville de Rennes pour établir un diagnostic de dégradation de l'ensemble du réseau d'eaux usées rennais. SCR/MI – INSA intervient dans les analyses physico-chimiques indispensables à l'établissement du diagnostic de dégradation par le LGCGM.

L'équipe est également engagée dans des études de durabilité et de comportement au feu de matériaux à base de liants sulfatiques

SCR/MI – INSA consacre actuellement beaucoup d'énergie à la valorisation des résultats de ses recherches fondamentales. Certains composés issus de la recherche fondamentale présentent des propriétés de luminescence et de stabilité thermique et chimique telles qu'il est possible de les utiliser comme marqueurs de matériaux et lutter ainsi efficacement contre la contre-façon. Deux familles de brevets ont été déposées sur ce sujet et licenciées à la société Olnica.



## Recherche

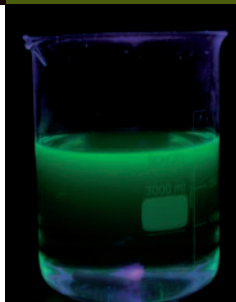
### Un résultat marquant

#### Création de la société Olnica

Le laboratoire a développé une gamme de marqueurs luminescents et a décidé de s'engager dans une démarche de création d'entreprise. En décembre 2007, il a créé en son sein la "Business Unit" Olnica® dont l'objectif était de mener à bien ce projet de création d'entreprise. Pendant deux ans cette Business Unit a développé le projet (études de marché, études toxicologiques, conception de prototypes de lecteur, prospection commerciale...). La société vient d'être créée.

Ce projet a été lauréat des 10ème et 11ème Concours National d'Aide à la Création d'Entreprises de Technologies Innovantes OSEO – MESR respectivement dans les catégories "En émergence" en 2008 et "Création Développement" en 2009.

La pertinence de la politique de protection industrielle de l'équipe a été reconnue et récompensée par l'attribution par l'INPI du Trophée Régional 2008 de l'Innovation en catégorie "Laboratoires".



Suspension de nanoparticules luminescentes sous irradiation UV

### Perspectives

Les ions des terres rares sont des ions métalliques très peu toxiques et impliqués dans des applications technologiques de plus en plus nombreuses et porteuses d'avenir (éclairage, dépollution, télécommunications...). Le laboratoire SCR/MI-INSA consacre l'essentiel de son activité à la synthèse et à la caractérisation de matériaux contenant des ions des terres rares. Il bénéficie dans ce domaine d'une certaine reconnaissance et a pour ambition d'augmenter sa visibilité en développant notamment ses activités dans les domaines de la chimie verte et des matériaux polyfonctionnels.



# LGCGM Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique

UPRES EA 3913

Recherche

**Le LGCGM** - Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique - est une Equipe d'Accueil regroupant des équipes de recherche de l'INSA de Rennes et de l'Université de Rennes 1 (IUT de Rennes et de St Malo).

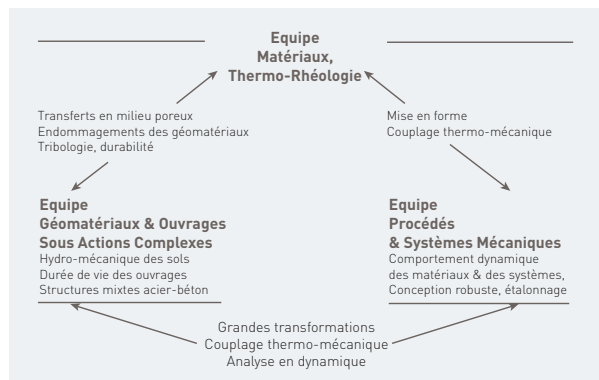
**Le LGCGM représente environ 80 personnes réparties autour de trois équipes :**

- Géomatériaux et Ouvrages Sous Actions Complexes
- Procédés et Systèmes Mécaniques
- Matériaux, Thermo-Rhéologie

**LGCGM**  
Christophe LANOS  
Directeur

Tél : +33 (0)2 23 23 85 09 / 83 13  
Christophe.lanos@univ-rennes1.fr  
[www.insa-rennes.fr/lcgcm](http://www.insa-rennes.fr/lcgcm)

- Mécanique
- Matériaux
- Structures
- Rhéologie
- Milieux poreux
- Milieux aquatiques
- Fluides complexes
- Assemblages
- Durabilité
- Thermique
- Tribologie
- Grandes déformations
- Mise en forme
- Robotique



## Les équipes de recherche

### 1. GÉOMATÉRIAUX ET OUVRAGES SOUS ACTIONS COMPLEXES

**Responsable :** William PRINCE AGBODJAN  
 Tel : +33 (0)2 23 23 85 15  
 William.Prince-Agbodjan@insa-rennes.fr

L'équipe est structurée en deux axes thématiques qui ont en commun d'une part, le recours à l'expérimentation à la modélisation ou la simulation pour aborder les différents problèmes scientifiques d'autre part un champ d'observation et d'analyse multi-échelle pour décrire les objets et systèmes soumis à l'étude.

#### Modélisation multi-échelle et multi-physique des géomatériaux dans leur environnement

L'objectif principal est d'étudier les géomatériaux (sols, roches, matériaux de construction) dans leur environnement en prenant en compte leur hétérogénéité, l'effet du temps et l'effet des sollicitations sévères. Parmi les thèmes traités on peut citer la simulation des défauts d'interfaces entre couches de chaussées, le transfert multiphasique en milieux poreux et la durabilité des matériaux. Le dernier thème intègre en particulier les problématiques du développement durable ; il vise à élaborer des matériaux innovants ou à faibles impacts environnementaux, à étudier leur comportement sous sollicitations sévères et à déterminer leur durabilité.

**Quelques sujets traités :** Modélisation numérique de la diffusivité de mortiers fissurés. Modélisation numérique à l'échelle mésoscopique du comportement du béton ; application à l'alcali-réaction. Modélisation numérique 3D du comportement des matériaux cimentaires ; application à la lixiviation. Etude numérique et expérimentale du déplacement de particules solides dans un milieu poreux. Colmatage des matériaux poreux soumis à un écoulement polyphasique. Comportement des interfaces de chaussées mixtes ; auscultation Radar et Modélisation discrète. Auscultation structurelle des chaussées mixtes : détection de défauts d'interface à l'aide de la déflection.

#### Modélisation multi-physique du comportement et de la durabilité des structures

Cet axe vise à développer une modélisation fine pour expliquer le comportement des structures de génie civil, comprendre leur endommagement, aider au développement des règles de calcul et à la mise en place des stratégies de maintenance et de rénovation. La démarche adoptée vise à intégrer plus finement le comportement du matériau et celui de la structure en prenant en compte les interactions couplées et l'évolution des interfaces. Cette démarche intègre également les notions de classes d'environnement et les principales pathologies qui peuvent limiter la durabilité des ouvrages ou conduire à leur ruine : fissuration précoce, carbonatation, corrosion, alcali-réaction, attaque sulfatique. Plusieurs techniques non destructives d'auscultation sont mises en place dans ces études : émission acoustique, propagation d'onde ultrasonore, thermographie infrarouge.

**Quelques sujets traités :** Modélisation du comportement non-linéaire des structures mixtes acier-béton. E.F. poutres 3D en grands déplacements : approche co-rotationnelle. Comportement des assemblages par brides boulonnées. Raboutage par couvre-joints des poutres de ponts mixtes acier-béton. Raboutage par chevêtre des poutres de ponts mixtes acier-béton. Ductilité des poutres acier et mixte. Etude de l'interface acier béton à l'aide de techniques non destructives.

Les thématiques de recherche développées au sein du LGCGM abordent :

- des problèmes posés par la construction des ouvrages de Bâtiments et de Travaux Publics, en termes de sols, de matériaux ou de structures.
- des sujets liés à l'optimisation des outils de production industrielle tels que la mise en forme et l'assemblage de pièces ou la conception, l'étalonnage et la commande de robots manipulateurs.

**Un accent est mis sur les problèmes d'interfaces et d'interaction : assemblages et liaisons dans les structures, interfaces fluide-solide, pâte-paroi, matière-outil, couplage matériaux-procédés-machines, etc.**

Les objets étudiés sont soumis à des sollicitations diverses et parfois sévères : grandes déformations des matériaux, aspects dynamiques (sismique, dynamique rapide, thermique en régime varié), actions couplées (thermo-mécaniques, thermo-hydriques, hydro-mécaniques), incendie, etc. La plupart des problématiques sont traitées sous l'angle de l'expérimentation, de la modélisation ou de la simulation : analyse des matériaux et des structures, étude des procédés de mise en forme, etc. Les équipes de recherche pratiquent des approches multi-échelles et multi physiques qui permettent de décrire de manière plus complète un système ou un processus : échelle microscopique (composants minéralogiques, grains, pores, constituants des matériaux composites et alliages métalliques), échelle mésoscopique (ensemble de grains, élément de poutre ou de poteau) et échelle macroscopique de l'ouvrage (pont, bâtiment, etc.) ou du système de fabrication (matériau-outil-machine).

Le LGCGM est également une unité support de l'école doctorale

« Sciences de la Matière » de Rennes et du Master « Ingénierie Mécanique et Génie Civil », co-habilité entre l'INSA de Rennes, l'Université de Rennes 1 et l'Université de Bretagne Sud.



« Essai comparatifs de rupteurs thermiques »  
 Boitiers isolants structurels avec béton coulé en place et avec prédalle  
 Rupteurs linéaires avec béton coulé en place



## 2. PROCÉDÉS ET SYSTÈMES MÉCANIQUES

**Responsable :** Eric RAGNEAU

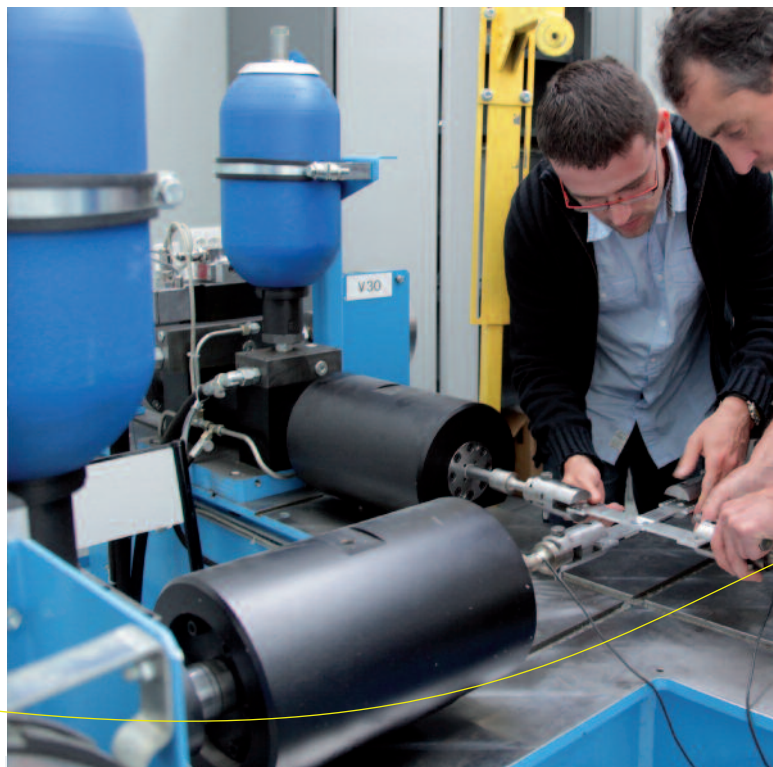
Tél : +33 (0)2 23 23 86 54

Eric.Ragneau@insa-rennes.fr

Cette équipe est structurée autour de deux axes principaux de recherche : un axe « Matériaux, Procédés de mise en forme et d'assemblage » et un axe « Systèmes Mécaniques ».

### Matériaux, Procédés de mise en forme et d'assemblage

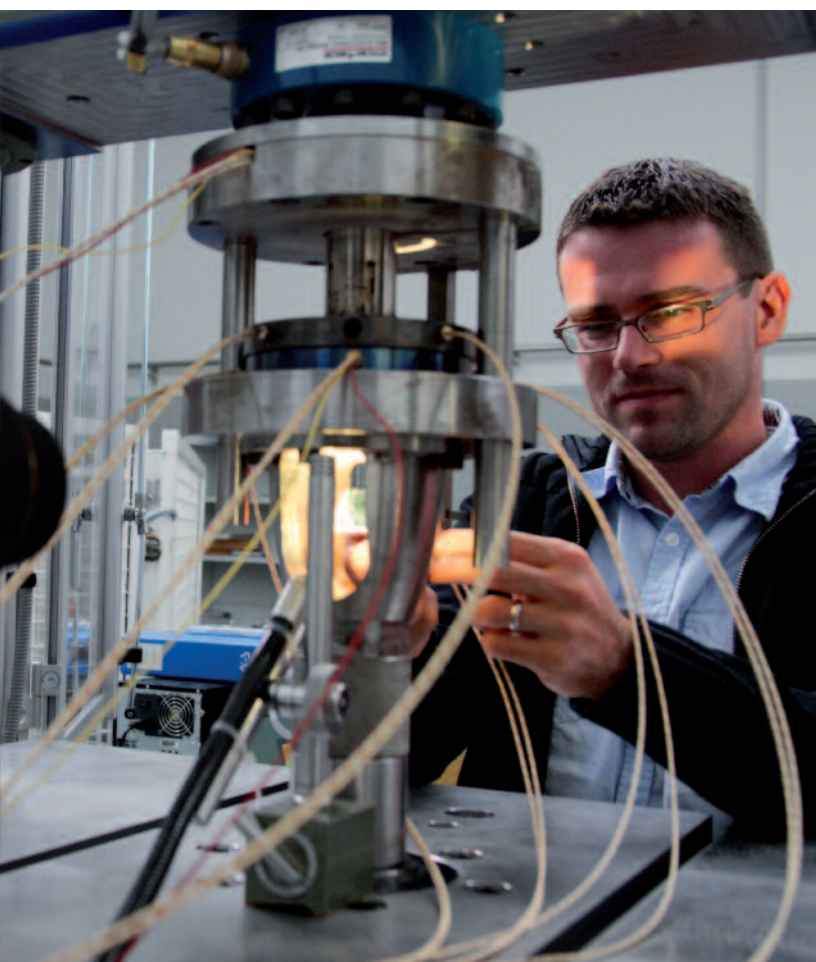
Les recherches menées dans cet axe portent sur l'identification des comportements rhéologiques (comportement thermo-visco plastique, anisotropie, limite de formabilité, ...) et tribologiques de matériaux métalliques et polymériques soumis à des sollicitations sévères : grandes déformations, hautes températures, grandes vitesses de déformation. Ces conditions sont couramment rencontrées dans les procédés de mise en forme « classiques » de type forgeage, extrusion, dans les procédés dits « innovants » tel que l'hydroformage, l'emboutissage à chaud, ou dans les procédés d'assemblage (soudage laser, FSW, ...). Les procédures d'identification développées nécessitent des bases expérimentales fiables. Pour cela, plusieurs dispositifs expérimentaux (dispositif d'emboutissage de type « Marciniak », banc d'essais de traction bi-axiale dynamique, machine d'essais mono-axiale dynamique, banc de fatigue, caméra dynamique) ont été mis en place. L'ensemble de ces moyens expérimentaux ont servi de support à différents travaux de thèses dont l'objectif commun vise à améliorer la prédiction des modèles rhéologiques implémentés dans les codes de calcul numérique.



### Systèmes Mécaniques

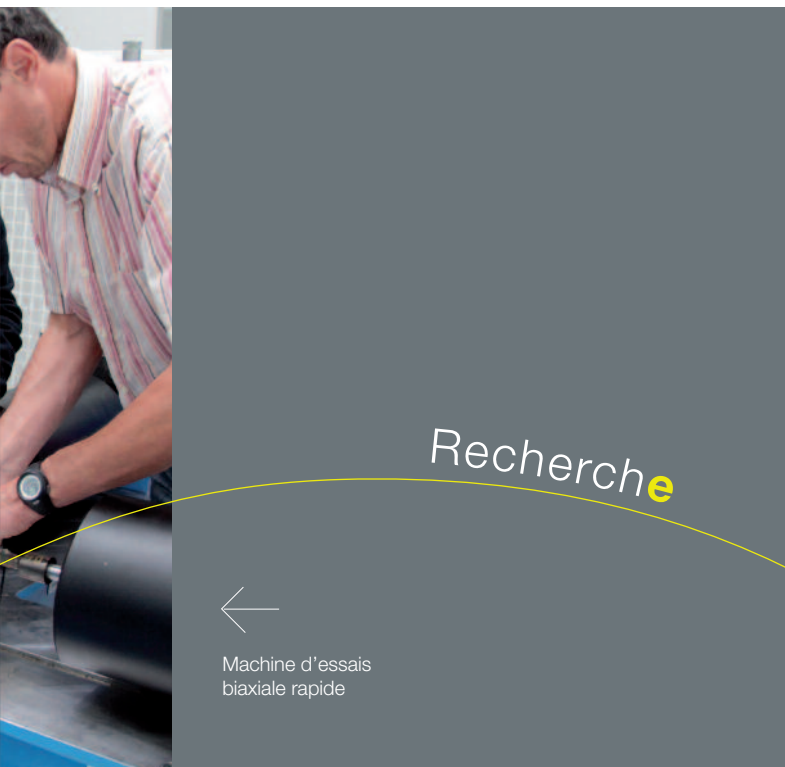
L'objectif principal est d'améliorer la précision des machines et robots manipulateurs (sérial et parallèles) en appréhendant toutes les étapes qui vont de leur conception à leur commande. Les points suivants donnent une description des actions réalisées en ce sens.

- **Conception robuste des systèmes poly-articulés :** une nouvelle famille de robots manipulateurs parallèles a été proposée offrant des avantages multiples : augmentation de la précision, utilisation de différentes sources d'énergie des actionneurs, réduction des charges. D'autres mécanismes et dispositifs ont aussi été inventés et conçus pour améliorer la précision statique et/ou dynamiques de systèmes existants dans l'industrie (transstockeurs, machines à mesurer tridimensionnelles) et dans le domaine médical. Les résultats ont donné lieu à la publication de cinq brevets, au dépôt de deux autres et à deux thèses.
- **Précision des machines (modélisation, étalonnage et commande) :** l'objectif est d'améliorer la précision de pose et de trajectoires de machines existantes. Ceci passe par la proposition de méthodologies de modélisation innovantes, de méthodes d'étalonnage efficaces et de nouveaux schémas de commande. Les travaux réalisés ont fait l'objet de trois thèses.
- **Identification du comportement de systèmes non-linéaires via des systèmes d'inférence floue :** une méthodologie de modélisation des systèmes mécaniques fortement non-linéaires via des modèles de types « boîtes grises » a été proposée. Par opposition aux modèles « boîte noire », les modèles « boîte grise » reposent sur une structure paramétrée connue dont certains paramètres sont identifiés expérimentalement et intégrés via des systèmes d'inférence floue. Ces travaux ont fait l'objet d'une thèse réalisée dans le cadre du projet Grand Laguez labélisé par le Pôle Mer Bretagne.



Banc de caractérisation des matériaux





Machine d'essais  
biaxiale rapide

### 3. MATÉRIAUX, THERMO-RHÉOLOGIE

**Responsable :** Christophe LANOS  
Tél : +33 (0)2 23 23 40 67  
Christophe.Lanos@univ-rennes1.fr

Cette équipe est structurée autour de plusieurs thématiques :

#### Rhéologie et rhéométrie des fluides complexes

La rhéométrie adaptée aux fluides complexes (boues, pâtes, mortiers, bétons), trouve différentes applications, dont l'extrusion et la formulation des géocomposites (thèses de F. Micaelli et A. Pierre) et l'analyse

du comportement tribologique (thèse VH Hoang). Les travaux sur les suspensions naturelles ont mis en évidence les interrelations entre la qualité des milieux aquatiques, les dépôts biogènes et la dynamique sédimentaire (partenariat IFREMER et Géosciences).

#### Rhéologie du béton durci

Différents modèles de comportement associant endommagement et plasticité sont développés (thèse de A. Hammouda).

#### Synthèse et durabilité des matériaux minéraux

Cette équipe s'est attachée à la valorisation de matériaux locaux (thèse de K. Sisaykéo) et à la formulation de matériaux de protection au feu (thèse de K.S. Nguyen). La caractérisation thermo-hydrrique de matériaux à faibles impacts environnementaux (béton de chanvre, laine de chanvre, enduit chanvre-chaux, etc.) a alimenté des modèles de transfert et de transport à l'échelle de la paroi.

#### Caractérisation du transfert thermo-hydrrique

La caractérisation thermo-hydrrique de matériaux est abordée dans le cadre de la protection au feu pour les hautes températures (thèses de K.S. Nguyen et A. Rojo) et pour les éco-matériaux caractérisés par de faibles impacts environnementaux (béton de chanvre, laine de chanvre, enduit chanvre-chaux, etc. : thèse de J. Chamoin). Ces travaux conduisent à la mise en place de modèles de transfert et de transport à l'échelle de la paroi (thèse Y. Aït Oumeziane).

#### Energétique

L'équipe dispose à la fois de moyens expérimentaux et de simulations. L'amélioration de l'efficacité énergétique est visée en tenant compte de l'enveloppe, des matériaux qui la constituent, et des équipements (générateurs, réseaux de chauffage, réseaux de refroidissement, etc.) (thèses M. Slavu, M. Ghetu et P. Byrne). L'écoulement dans les échangeurs de chaleur avec des nano particules d'oxydes métalliques dans les fluides caloporteurs (nanofluides) permet d'accroître considérablement les performances d'échange. Après des tests sur un prototype d'échangeur, différents travaux d'analyse énergétique sont amorcés (thèse R. Luciu).



En haut : Maîtrise de la formulation des mousses minérales.  
En bas : Caractérisation thermo-hydrrique du béton de chanvre.

### Les effectifs et résultats (2008-2009-2010)

#### Effectifs

Le LGCGM regroupe des enseignants-chercheurs de l'INSA de Rennes (départements « Génie Civil et Urbain » et « Génie Mécanique et Automatique ») et de l'Université de Rennes 1 (département « Génie Civil » de l'IUT de Rennes et « Génie Industriel et Maintenance » de St Malo).

Année	Enseignants-Chercheurs	ATER	Doctorants**	Post-Doctorants	PAST	IATOS*
2008	38	1	32	1	1	8,4
2009	38	1	35	1	1	8,4
2010	38	2	38	-	1	8,4

#### Résultats académiques

Année	Masters**	Thèses soutenues	HDR soutenues
2008	25	5	2
2009	35	11	1
2010	33	11	0
Total	93	27	3

#### Résultats scientifique et contractuels

Année	Publications	Communications	Contrats en cours	Brevets	Ouvrages
2008	34	61	25	-	2
2009	35	44	25	3	1
2010	35	24	30	1	1
Total	104	129	80	4	4

\*Ingénieurs techniciens administratifs - \*\*Inscrits à l'INSA de Rennes

Par ailleurs, le LGCGM s'est impliqué dans l'organisation de différents colloques et réunions scientifiques ou techniques :

- "Journées des Jeunes Rhéologues" du Groupe français de Rhéologie, Erdevén, 26-28 mars 2008.
- "27<sup>ème</sup> rencontres universitaires du Génie Civil" St Malo, 3-5 juin 2009.

## Les équipements - les nouvelles acquisitions

Le LGCGM dispose aujourd'hui de plusieurs plateaux techniques :

- Plateforme d'essais mécaniques de 120 m<sup>2</sup> avec jeu de vérins à haute capacité (1500 kN),
- Machines et presses d'essais statiques et dynamiques de différentes capacités,
- Presse dynamique multiaxiale. Appareils asservis de compressibilité et de cisaillement des sols,
- Robots sériels et parallèles,
- Appareils de rhéométrie : plastomètre, tribomètre plan et rotatif, viscosimètres, extrudeuses, rhéomètres à béton,
- Source de visualisation laser avec système d'acquisition (caméra) et d'analyse d'images,
- Enceintes thermo-régulées, Enceinte biclimatique, fours à céramique, plaque chaude gardée, CTmètre, Caméra IR,
- Centrales d'acquisition des mesures à haute vitesse et haute précision, système de métrologie 3D sans contacts,
- Outils de simulation numérique en mécanique et thermique des fluides et des solides : Abaqus®, Plaxis®, Fluent®, Forge2®, Castem, Comsol®, etc.
- Dispositif d'émission acoustique et de mesure de célérité d'ondes ultrasonores
- Perméamètre à hélium
- Dispositif de mesure de caractéristiques thermiques des matériaux (Conductivité, diffusivité, capacité calorifique), d'analyse thermique (ATG, DSC)
- Dispositif de mesures de surface spécifique, de mesure de volume réel et volume apparent porosité
- Enceinte brouillard salin, enceinte climatique, enceinte de carbonatation

## Les réseaux et partenariats

### Réseaux locaux et régionaux

En collaboration avec différentes équipes de recherche de l'Université de Rennes 1, de Bretagne Sud et de Bretagne Occidentale, le LGCGM est un partenaire impliqué dans plusieurs projets régionaux :

- Programmes Pluri-Formation
  - Phénomènes de transport dans les milieux poreux de structure évolutive
  - De la mise en forme au comportement dynamique des matériaux métalliques
- Structure fédérative « Ingénierie des matériaux et des systèmes »
- Projet CPER « PRINTAN » : plate-forme mécanique et matériaux (JBS-INSA Rennes)

Le LGCGM a bénéficié de plusieurs financements PRIIR - Programmes de Recherche d'Intérêt Régional.

### Réseaux nationaux et internationaux

Le LGCGM est également impliqué dans différents projets multi-partenaires.

A titre d'exemples :

- Projets ANR Physepat (Physique de l'extrusion des pâtes) et Bétonchanvre (procédés de fabrication du béton de chanvre)
- Projet National Mikti sur le comportement des ponts mixtes acier-béton, en partenariat avec des industriels et le ministère de l'Équipement
- Programme PECO sur l'efficacité énergétique et la qualité des ambiances dans les bâtiments, impliquant notamment des équipes de recherche de Roumanie et de Hongrie
- Projet européen OPUS sur l'optimisation des performances sismiques des structures acier et mixtes acier-béton avec des partenaires des pays suivants : Allemagne, Italie, Grèce, Belgique et Luxembourg



Les collaborations internationales du LGCGM prennent également la forme de **thèses de doctorat en co-tutelle**. En 2008 et 2009, 14 thèses ont bénéficié de ce statut, avec des co-directions assurées dans des laboratoires partenaires de divers pays : Allemagne (1), Italie (1), Roumanie (3), Algérie (5), Arménie (1), Vietnam (2), Australie (1).

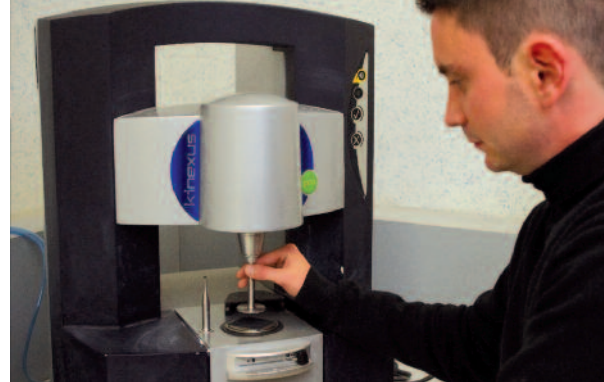




« Essai comparatifs de rupteurs thermiques »  
Boitiers isolants structurels avec béton coulé en place et avec prédalle  
Rupteurs linéaires avec béton coulé en place



Rhéométrie sur suspensions concentrées.



## L'innovation et le transfert de technologie

### Collaborations industrielles

Pendant la période 2008, 2009 et 2010, le LGCGM a mené de nombreux travaux sous la forme de contrats de recherche pour le compte d'entreprises ou d'organismes et sous la forme de thèses en convention CIFRE.

Quelques exemples de partenariat industriel :

Partenaires	Contrat d'études
ADEME/EDF R&D	Suivi expérimental de la résidence HQE Solaris
AIRBUS	Industrie Simulation de l'étirage de panneaux simple courbure
ARCELOR	Recherche de solutions technico-économiques pour le raboutage de tabliers de ponts mixtes
Comité Rance (COEUR)	Suivi de la sédimentation et analyse des dépôts dans l'estuaire de la Rance
CSTB	Méthodes simplifiées et guide d'application pour le calcul des poutres-mixtes acier-béton
EDF	Absorption de l'iode et du césium par une argilite
Société KP1	Rhéométrie et extrusion d'éléments constructifs

	Convention CIFRE
CTICM	Modélisation des ossatures mixtes : comportement au feu
CTICM	Modélisation des assemblages par brides
EDF	Comportement de matériaux constitutifs de barrages en enrochements
Société EXTHA	Comportement thermo-chimique des matériaux minéraux
Société K&Co	Maîtrise de l'adjuvantation dans les suspensions concentrées
Société ISIS	Optimisation du système robotisé SurgiScope
Société SYDEL	Nouvelle structure de transtockeur à grandes capacités dynamiques

Recherche

### Dépôt de brevets

Dans la période considérée, trois brevets ont été déposés dans le domaine de la robotique industrielle.

### Perspectives

Les projets à court terme des équipes du LGCGM s'inscrivent dans le prolongement des axes actuels de développement :

- Comportement mécanique et hydro-mécanique des géomatériaux et des structures à long terme : endommagement des géocomposites, des granulats et des bétons, transferts dans les milieux poreux, comportement cyclique des assemblages,
- Rhéologie des fluides complexes et étude de la transition fluide-solide, étude des échangeurs de chaleur à base de nano-fluides et des transferts dans les matériaux à faible impact environnemental,
- Mise en forme des structures raidies et des tôles minces (hydroformage), modélisation géométrique, élastique et dynamique et commande des systèmes mécaniques poly-articulés.

Le LGCGM compte également renforcer sa politique de réseaux, locale et régionale.





**Service de la Recherche**

20, avenue des Buttes de Coësmes  
CS 70839

F – 35708 RENNES Cedex 7

Tél. + 33 (0) 2 23 23 84 87  
recherche@insa-rennes.fr

[www.insa-rennes.fr](http://www.insa-rennes.fr)



UNIVERSITÉ  
EUROPÉENNE  
DE BRETAGNE

Membre fondateur de l'UEB