

Cancún 2010

Le CMA à la Conférence des Nations unies sur le changement climatique (COP 16), Cancún 2010



Cette année encore, la visibilité internationale du CMA et de sa Chaire Modélisation prospective au service du développement durable a été assurée par sa participation à l'événement mondial que constitue la Conférence des Nations unies sur le Changement climatique (UNFCCC). À travers ParisTech dont il constitue la délégation officielle observatrice à l'ONU, le CMA était ainsi présent à COP 16, qui a eu lieu à Cancún au Mexique du 29 novembre au 10 décembre 2010.

Département Mathématiques et systèmes

Responsable du département : Pierre Rouchon – Responsable enseignement : Brigitte d'Andréa-Novel

Les travaux du département sont très variés et s'articulent autour des axes suivants :

- le traitement d'images;
- le contrôle et l'optimisation;
- les langages pour les technologies de l'information;
- la bio-informatique.

Traitement d'images

Le Centre de morphologie mathématique (CMM) étudie, comme son nom l'indique, les techniques fondées sur la morphologie mathématique et dont il est à l'origine avec les travaux fondateurs de Georges Matheron et Jean Serra. Cette science s'appuie sur des méthodes stochastiques et algébriques qui lui sont propres. Elle permet d'analyser des images en identifiant et en modélisant les objets qui les composent et en détectant certaines de leurs propriétés structurelles. Les images traitées par la morphologie mathématique sont très variées: radiographies d'objets techniques ou biologiques, images de microscopie électronique, analyse de scènes pour l'aide à la conduite automobile. On assiste aujourd'hui à un retour en force du traitement des images d'origine médicale.

Le Centre de Robotique (CAOR) étudie, quant à lui, des algorithmes permettant l'analyse en temps réel de scènes tridimensionnelles pour des applications asso-

ciées à la voiture intelligente (collaboration avec l'INRIA dans le cadre de la Joint Research Unit LARA) et aux systèmes de cartographie mobile. Le CAOR a également développé une compétence en matière de «réalité virtuelle» et de «téléprésence» lui permettant de mettre en œuvre des applications telles que l'opération de robots à distance.

Contrôle et optimisation

L'automatique, domaine d'excellence historique de l'École depuis la création par Rudolf Kalman en 1968 du Centre Automatique et Systèmes, a formé de nombreux responsables de l'industrie et des organismes publics. Les trois centres impliqués dans ce vaste domaine sont le Centre Automatique et Système (CAS), le Centre de Mathématiques Appliquées (CMA) et le CAOR.

Au CAS, une partie importante des activités portent sur le contrôle des systèmes physiques linéaires et non linéaires avec comme thèmes: les systèmes différentiellement plats, la stabilisation par feedback et synthèse Lyapounov, les observateurs asymptotiques et le filtrage invariant, la fusion de données, les systèmes de dimension infinie gouvernés par des équations aux dérivées partielles. Ces recherches

académiques ont fait l'objet de nombreuses applications : procédés de raffinage et pétrochimie, moteurs à combustion interne, moteurs électriques, minidrones et navigation inertielle, robotique mobile, estimation et contrôle automatique des véhicules terrestres, et spatiaux...

Le CMA déploie ses compétences en modélisation, mathématiques du contrôle de l'optimisation et de la décision, autour d'une activité dédiée aux questions relatives au changement climatique. Notamment, le CMA développe des modèles d'optimisation pour la prospective long terme, apporte son expertise sur la gestion optimale des systèmes énergétiques, travaille sur les marchés de l'électricité et du carbone, a créé une chaire ParisTech sur la Modélisation prospective au service du développement durable, et a développé de nombreuses collaborations, industrielles et internationales.

Langages pour les technologies de l'information

Le Centre de recherche en informatique (CRI) se consacre à l'étude des langages utilisés par les technologies de l'information (langages de programmation, de description de données, d'interrogation ou semi-formels voire naturels), et développe des techniques d'analyse sémantique et de transformation automatiques destinées à répondre aux besoins industriels (performance, coût de développement, time-to-market) et aux besoins administratifs et sociétaux (partage d'information cohérente, normalisation des données, accès à l'information, sauvegarde du patrimoine). Ces travaux trouvent des applications aussi bien dans les systèmes embarqués professionnels ou personnels que dans les grands systèmes d'information.

Le CMA, pour sa part, a longtemps modélisé les systèmes « temps réel » parallèles et distribués, notamment les langages réactifs parallèles synchrones, ce qui a conduit au développement du langage ESTEREL, dont le déploiement industriel a été assuré par la start-up Esterel Technologies.

Bio-informatique

Le Centre de Bio-informatique (CBIO) développe depuis 2006 des méthodes mathématiques et informatiques pour analyser et modéliser des données biologiques et chimiques, notamment au niveau moléculaire, en s'appuyant sur une expertise en apprentissage statistique et en biologie structurale. Le CBIO collabore de manière très étroite avec l'Institut Curie et l'INSERM, dans le cadre d'un laboratoire commun dédié à la bio-informatique et à la biologie systémique du cancer.

Formations spécialisées

Management en mode projet (MMP)

Responsables : Robert Mahl (CRI) et Alain Berdugo (HEC), Paris

Mastère spécialisé (MS), OSE « Optimisation des systèmes énergétiques »(CMA)

Responsable : Gilles Guerassimoff (CMA), Sophia Antipolis.

Mastère spécialisé (MS), Management des systèmes d'information et des technologies full-time (MSIT)

Responsables : Marie-Hélène Delmond (HEC) et Robert Mahl (CRI), Paris et Jouy-en-Josas.

Mastère spécialisé (MS), Ingénierie, production et infrastructures en systèmes ouverts (IPISO)

Responsable : Robert Mahl (CRI), Paris

Mastère spécialisé (MS), Management industriel et systèmes logistiques

Responsable : Hugues Molet (CAOR), Paris.

Mastère spécialisé (MS), Ingénierie des Véhicules Électriques (IVE)

Arts et Métiers ParisTech, École des Ponts ParisTech, ENSTA ParisTech, MINES ParisTech (CAOR, CEP, CGS)
Responsables MINES ParisTech : Arnaud de la Fortelle (CAOR), Jérôme Adnot (CEP)

Badge, Management de la dématérialisation et de l'archivage électronique (MDAE)

Responsable : Fabien Coelho (CRI)

Formations doctorales

Mathématique et automatique

Responsable : Jean Lévine (CAS), Fontainebleau.

Contrôle, optimisation et prospective (COP)

Responsable : Jean-Paul Marmorat, Sophia Antipolis

Informatique temps-réel, robotique, automatique

Responsables : François Irigoien (CRI), Fontainebleau et François Goulette (CAOR), Paris.

Morphologie mathématique

Responsable : Dominique Jeulin (CMM), Fontainebleau.

Bio-informatique

Responsable : Jean-Philippe Vert (CBIO), Fontainebleau.

Centre automatique et systèmes (MINES ParisTech – CAS)

Directeur : Nicolas PETIT

Téléphone 01 40 51 93 30

Courriel nicolas.petit@mines-paristech.fr

Web et publications
<http://www.mines-paristech.fr/Fr/CAS>

Enseignants chercheurs	6
Autres personnels	1
Doctorants MINES ParisTech	15
Doctorant autre établissement	1

Le Centre Automatique et Systèmes (CAS) s'intéresse au contrôle de systèmes de toutes natures (systèmes mécaniques, chimiques, électrotechniques, aéronautiques, mécatroniques, automobiles, pétroliers, énergétiques...). Notre spécialité est la conception d'algorithmes de contrôle et de filtrage qui garantissent un comportement dynamique spécifié à l'avance. Les méthodes mises en œuvre se rattachent aux sciences physiques et mathématiques (théorie du contrôle, stabilisation, identification et modélisation, systèmes dynamiques, optimisation...). Les activités du CAS s'articulent autour de la recherche scientifique académique, de collaborations directes avec l'industrie, de l'enseignement (cours à l'École et Cycle doctoral), et de l'encadrement de thèses.



Formation

Les activités du CAS en matière de formation comportent trois volets :

- cours à l'École et dans plusieurs écoles d'ingénieurs et masters;
- encadrement des doctorants préparant le doctorat *Mathématiques et automatique* de MINES ParisTech;
- participation à des formations spécialisées : séminaires internationaux, cours invités à l'étranger.

Liste des principaux cours

MINES ParisTech

- cours d'Automatique du tronc commun (Nicolas Petit, Pierre Rouchon) et petites classes (Florent Di Meglio);
- enseignement spécialisé *Cryptographie et théorie des nombres* (Pierre Rouchon);
- enseignement spécialisé *Optimisation* (Nicolas Petit);
- participation au cours *Introduction au calcul scientifique* (Laurent Praly);

- participation aux projets *Mécatronique* (Pierre-Jean Bristeau, Jean Lévine, Philippe Martin, Nicolas Petit);
- participation à l'enseignement spécialisé de *Traitement du Signal* (François Chaplais).

ENSTA ParisTech

- cours d'Automatique de 2^e année (Nicolas Petit) et petites classes (Pierre-Jean Bristeau, Eric Dorveaux);
- cours spécialisés de 3^e année de Stabilisation par feedback (Laurent Praly).

École polytechnique

- enseignement en Modules expérimentaux autonomes (Nicolas Petit).

École centrale Paris

- cours d'Automatique du tronc commun (Philippe Martin) et petites classes (Caroline Claasen et Éric Dorveaux).

Masters recherche

- Master MVA ENS Cachan : cours *Contrôle non-linéaire* (Pierre Rouchon);
- Master IST, Université Paris-Sud:
 - cours *Introduction à la commande des systèmes non-linéaires* (Jean Lévine);
 - cours *Stabilisation non-linéaire* (Laurent Praly);
 - cours de *Stabilité* (Laurent Praly).

Cours doctoraux à MINES ParisTech

- Commande adaptative (Laurent Praly);
- Systèmes différentiellement plats (Jean Lévine);
- Stabilisation (Laurent Praly);
- Stabilité (Laurent Praly).



Recherche

Plusieurs axes de recherches en Automatique ont été fondés au laboratoire :

- les systèmes plats (differentially flat systems) pour les systèmes régis par des équations différentielles ordinaires, et les équations aux dérivées partielles;
- la stabilisation par retour de sortie et les observateurs non-linéaires par ajout d'intégrateurs (forwarding).

Le CAS a aussi des contributions dans les domaines suivants :

- contrôle d'écoulements multiphasiques;
- contrôle de moteurs à combustion interne et leurs systèmes de dépollution;

- contrôle de moteurs électriques synchrones et asynchrones;
 - contrôle de procédés de raffinage, chimie, pétrochimie;
 - contrôle de systèmes quantiques;
 - optimisation par inversion dynamique et trajectographie;
 - optimisation de systèmes énergétiques;
 - pilotage/guidage en aéronautique;
 - robotique expérimentale, drones, systèmes embarqués;
 - systèmes de navigation;
 - traitement de signal, filtrage et fusion de capteurs
- Pôle System@tic, projet LOCINDOOR (Localisation indoor par magnétométrie);
 - Schneider-Toshiba Inverter (commande « sans capteur » de moteurs électriques);
 - Statoil (modélisation et contrôle d'écoulements multiphasiques dans les puits pétroliers);
 - Sysnav (navigation pour le forage pétrolier MWD);
 - Total (commande d'écoulements en gas-lift, commande de procédés de raffinage, blending, commande de réacteurs de polymérisation).

Collaborations industrielles

Les collaborations industrielles sont effectuées dans le cadre de contrats de recherche Armines et portent sur des problèmes concrets définis avec nos partenaires. Cette « recherche partenariale » permet de confronter nos travaux théoriques à des cas réels tout en développant une expertise recherchée. Elle constitue une source permanente de renouvellement de nos problématiques scientifiques.

Nos principaux partenaires industriels :

- Air Liquide (contrôle d'unités autonomes de production de gaz à haute pureté);
- AXA (Capteur de mouvement « intelligent » pour la chirurgie prothétique);
- DGA/LRBA (contrôle coopératif de drones);
- EDF (optimisation multi-énergie pour les bâtiments d'habitation);
- IFP (commande de combustion dans les moteurs diesel et essence, positionnement de tête de riser, systèmes de post-traitement des gaz d'échappement);

Plusieurs algorithmes de commande, directement issus de collaborations du CAS, sont utilisés dans l'industrie depuis de nombreuses années: conduite en qualité d'unité de distillation (logiciel Colbin installé sur plus de 30 procédés, Total), conduite avancée d'unités de polymères (Total Petrochemicals), commande et optimisation temps-réel de mélange en raffinerie (logiciel Anamel V4 et V5, utilisé dans 8 raffineries du groupe Total), variateurs de vitesse « sans capteur » pour moteur électrique asynchrone (Schneider Inverter), système de positionnement de précision anti-vibration Base-Stop (Newport).

Le laboratoire a participé à la création d'une startup, SYSNAV, spécialisée dans la conception de systèmes de localisation sans GPS, employant aujourd'hui 10 ingénieurs ou docteurs-ingénieurs, lauréat du concours OSEO 2009, et du prix de l'ingénieur de l'année décerné par l'Usine Nouvelle en 2010. SYSNAV est aujourd'hui un partenaire avec lequel le CAS adresse de manière coordonnée des problématiques applicatives nouvelles.

L'AR.Drone : produit de la recherche partenariale



L'AR.Drone, jeu vidéo volant, consacre un creuset de technologies proposées pour la première fois au grand public. Ce quad-rotor, réalisé par la Société Parrot, a bénéficié d'un partenariat en recherche et développement avec la startup Sysnav et le Centre automatique et systèmes (CAS) de MINES ParisTech.

L'incroyable stabilité de cet appareil, sa maniabilité et sa technologie de navigation/positionnement ont tiré pleinement profit de cette rencontre.



L'AR.Drone a été présenté au CeBIT 2010 et à l'exposition célébrant 200 ans d'histoire du corps des Mines.

Centre de robotique

(MINES ParisTech – CAOR)

Directeur : Arnaud de LA FORTELLE

Téléphone 01 40 51 92 55
Courriel caor@caor.mines-paristech.fr

Web et publications
<http://www.mines-paristech.fr/Fr/CAOR>

Enseignants chercheurs	18
Autres personnels	14
Doctorants MINES ParisTech	24
Autres étudiants	19
(y compris les Formations spécialisées)	



Formation

Le Centre a une très forte activité d'enseignement au sein de l'École et notamment :

Au niveau du cycle ingénieurs civils

- La responsabilité de la macro-option MAREVA (Mathématiques Appliquées : Robotique, Vision, Automatique) et de l'option SPL (Systèmes de Production et Logistique) en seconde et troisième année;
- L'organisation de cinq enseignements spécialisés : « Réalité Virtuelle », « Systèmes de Production et Logistique », « Chaîne Logistique Globale », « Acoustique, Informatique et Musique », « Apprentissage Artificiel »;
- La participation à l'enseignement de tronc commun en électronique, mathématiques et en probabilités;
- L'enseignement de « Mécatronique », très orienté vers les nouvelles technologies, avec la réalisation de projets innovants;
- L'organisation et le suivi d'un MIG « Carto-3D » (Module d'Intégration Généraliste) en Cartographie numérique tridimensionnelle;
- La co-responsabilité du département mathématiques et systèmes, notamment sur les aspects d'enseignement.

Au niveau des cycles Master et Mastère

- La responsabilité du mastère spécialisé MISL « acronyme de Management Industriel et Systèmes Logistiques »;
- Une implication dans le mastère ParisTech Véhicules Électriques.

Autres formations

- La participation à l'enseignement à ISUPFERE en formation continue ainsi qu'au cycle de formation des corps techniques de l'état (introduction aux SPL).

Récompense

Alexandra Gigon, optionnaire MAREVA, a obtenu le prix Jeunes André Blanc-Lapierre décerné par la SEE (Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication), en récompense

de son travail d'option réalisé à la D&R d'EDF (centre des Renardières), sur la problématique de « l'identifiabilité d'un modèle thermique de bâtiment muni de sa régulation ».



Recherche

Le Centre de Robotique étudie les systèmes robotiques sous deux angles. D'un côté une recherche plutôt académique visant à mieux comprendre leur fonctionnement; de l'autre une recherche appliquée, le plus souvent en coopération avec des industriels, démontrant les capacités de nouvelles méthodes mais offrant aussi la possibilité d'analyser des systèmes réels. Le Centre de Robotique ne vise pas à maîtriser tous les aspects de la robotique, mais un ensemble coordonné de thèmes scientifiques et de techniques permettant de lier théorie et application. Plusieurs choix déterminent cet ensemble: tout d'abord le choix de centrer les applications sur le domaine routier; ensuite celui d'avoir une approche expérimentale, et donc d'être capable de maîtriser des systèmes complets; finalement, le choix de transférer nos savoirs et savoir-faire à l'industrie, qui détermine notre forme de recherche.

La production scientifique du Centre en 2010 comprend 4 thèses, une dizaine publications dans des revues nationales ou internationales, ainsi qu'une trentaine de communications dans des conférences. Deux publications ont été sélectionnées « Best Paper ». Trois brevets à l'issue des travaux de thèse de nos doctorants ont été déposés.

Thèmes scientifiques

Il est classique de présenter un système robotique comme composé des trois fonctions : perception, planification et commande. Le Centre de Robotique possède donc une expertise en traitement du signal et des images pour la perception, en automatique pour la planification et le contrôle. Il développe également une expertise en informatique des systèmes embarqués, en apprentissage, en réalité virtuelle ainsi qu'en recherche opérationnelle pour la logistique.

Applications et techniques

Les applications sont centrées sur le domaine routier et le laboratoire est membre du consortium LaRA (La Route Automatisée), mais des techniques ou des savoirs peuvent être projetés au-delà de ce thème. Le Centre de Robotique est très présent dans les pôles de compétitivité (e.g. System@tic, Moveo, Cap Digital, Numatech Automotive). Au travers de la JRU LaRA, il participe

à de nombreux contrats européens. Ces actions sont complétées par des collaborations directes et suivies avec certains partenaires industriels tels que : VALEO, PSA, SAGEM, MENSI (PME française spécialisée dans les systèmes de numérisation 3D).



CoreBot vainqueur du défi CAROTTE.

Dans le cadre de la navigation autonome, notre robot mobile CoreBot, intégrant en particulier nos algorithmes de SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) et de contrôle, a remporté le défi CAROTTE (exploration et cartographie) organisé conjointement par la DGA et l'ANR. L'équipe CoreBots a remporté la victoire devant les équipes de Thalès et de l'ENSTA ParisTech. À noter que ce robot utilise Cables pour son fonctionnement, un produit issu du projet AROS financé par l'ANR et développé intégralement au centre.

En planification et contrôle, dans la continuité du projet CALK avec Valeo, les estimateurs algébriques et le contrôle sans modèle ont été appliqués avec succès et validés expérimentalement dans le cadre du contrôle Stop&Go de voitures, en présence de dynamiques inconues (pente, forces aérodynamiques...).

En RV et en RA, les expérimentations se font dans la salle immersive 3I² pour valider nos recherches et développements en immersion et en interaction du sujet. Un cas particulier concerne les aspects physiologiques de la vision en relief, soit pour des pilotes d'avions (vision de nuit), soit avec des images de synthèse dans les installations RV, travail mené dans le cadre d'un partenariat de recherche avec l'IRBA (l'Institut de Recherche Biomédicales des armées) pour analyser l'adaptation de l'être humain à ce type de vision.

Partenariats et réalisations

Le Centre de robotique appuie sa recherche sur des expérimentations, à la fois logicielles (matlab, simulateurs) et matérielles. Pour ce faire, nous maintenons des plates-formes expérimentales, notamment une flotte de véhicules (quatre C3 LaRA pour les systèmes coopératifs et LaRA 3D pour la cartographie mobile), des robots mobiles et la salle immersive 3I². Sur ces plates-formes, et sur d'autres systèmes, nous expérimentons et démontrons nos recherches, la plupart du temps effectuées dans un cadre partenarial, comme dans les projets Terra-Numerica et DIVAS où nos véhicules ont été utilisés lors des séminaires de clôture.

L'année 2010 a vu la fin du projet KIVAOU financé par l'ANR et mené par SAGEM, et dont le démonstrateur final a intégré notre technique de ré-identification de piétons entre caméras disjointes. Le projet SPEEDCAM (ANR, avec Valeo, et en lien avec Daimler), visant à mettre au point un système d'adaptation automatique de la consigne de limite maximum, s'est poursuivi en 2010. De même pour le projet DeuFraKo ICADAC (en collaboration avec Audi et Valeo), portant notamment sur la détection automatique de pluie par vision. En ce qui concerne le trafic routier, le projet ANR TRAVESTI s'est vu renforcé par le projet PROBEX finançant l'initiation d'une collaboration dans ce domaine avec Berkeley, et par le démarrage du FUI PUMA, qui doit mettre en place une expérimentation réelle avec un millier de véhicules traceurs dans la ville de Rouen.

Dans le cadre du projet EDONA, le Centre de Robotique a développé EDONA/HMI *Prototyping* (<http://code.google.com/p/edona-hmi/>), une plate-forme innovante et open-source de prototypage d'interfaces graphiques pour les systèmes critiques dans l'automobile. Elle se compose d'un modèle innovant de description des interfaces, d'outils de manipulation des modèles (graphique et fonctionnel), d'un générateur de composants et d'une architecture d'exécution associée. Cet environnement a été appliqué au projet ANR LOVE, où en 2009 nous avons été primé pour la détection embarquée de piétons.

En partenariat avec les équipementiers et les constructeurs d'automobiles dans le cadre du projet IHS10 qui s'est terminé en 2010, nos dernières recherches ont eu pour résultats la modification de conception de produits directement en immersion. Entre autres, la possibilité de modifier la forme de surfaces en temps réel par une interaction manuelle et naturelle. Ces recherches se poursuivent avec Dassault Systèmes cadre du projet Modelisar ou en collaboration avec le CHU de Bordeaux dans le projet Agathe, où l'application visée est la rééducation en se servant de ces techniques.

Le Centre de Robotique continue de travailler avec de nombreuses universités étrangères. On peut citer en particulier Berkeley (USA), où une coopération sur les méthodes de reconstruction de trafic est en cours (avec notre partenaire INRIA); l'université de Yeungnam (une des plus importantes de Corée du sud) avec qui un accord a été signé; l'université de Carnegie Mellon (USA) où un de nos doctorants a été recruté en post-doc et poursuit des recherches en reconstruction 3D et l'université d'Aalto (Finlande) sur le même thème; l'institut SwRI (USA) avec qui nous collaborons sur l'automatisation de la conduite; l'université de Brisbane (Australie) où le Pr. Laurgeau a été invité un mois.

Centre de bio-informatique

(MINES ParisTech – CBIO)

Directeur : Jean-Philippe VERT

Responsable communication :
Isabelle Schmitt

Téléphone 01 64 69 47 81

Courriel cbio@cbio.mines-paristech.fr

Web et publications

<http://www.mines-paristech.fr/Fr/CBIO>

Enseignants chercheurs 4

Autres personnels 3

Doctorants MINES ParisTech 4

Doctorant autre établissement 1



Formation

Le CBIO intervient dans la formation des ingénieurs civils des Mines en assurant les cours d'option, les enseignements spécialisés en biotechnologie et en participant au MIG *L'ingénieur et la santé*. Il contribue également aux enseignements de 2^e année du master *Mathématiques, vision et apprentissage* de l'École normale supérieure de Cachan, en assurant le cours *Apprentissage statistique par méthodes à noyaux*. Les personnels du CBIO interviennent par ailleurs ponctuellement pour enseigner dans des universités et instituts de recherche divers, comme par exemple à l'Institut génomique de Malaisie, en novembre 2010.



Recherche

L'activité principale de recherche au CBIO consiste à développer des méthodes mathématiques et informatiques innovantes pour l'analyse et la modélisation de données biologiques et chimiques. En 2008 nous avons noué un partenariat privilégié avec l'Institut Curie et l'unité mixte INSERM U900 *Cancer et Génome : bioinformatique, biostatistiques et épidémiologie d'un système complexe*. Le CBIO constitue l'équipe *Apprentissage statistique et modélisation des systèmes biologiques* de cette unité, dédiée à la recherche en biostatistique et bioinformatique pour la recherche contre le cancer.

Vers une médecine prédictive et personnalisée

L'apparition de nouvelles technologies permettant de caractériser les tumeurs au niveau moléculaire, telles les puces à ADN pour mesurer l'expression des gènes, ou l'hybridation génomique comparative (CGH) pour détecter les aberrations génomiques, ouvre la voie à nouvelles méthodes pour le diagnostic, le pronostic sur l'évolution probable de la maladie, et la prédiction d'efficacité des traitements. Ces nouveaux outils impactent la prise en charge des malades, par une meilleure prise en compte des spécificités de chaque cancer et l'arrivée d'une médecine de plus en plus personnalisée et efficace. Dans cette optique nous avons proposé de nouvelles méthodes pour l'estimation de signatures moléculaires et avons mis en lumière les limites de méthodes couramment utilisées en termes de robustesse et de précision. Nous avons développé une nouvelle méthode pour la détection rapide d'aberrations fréquentes dans des ensembles de profils de nombre de copie d'ADN, qui peut notamment être utile pour la détection de facteurs diagnostiques et pronostiques dans la structure de l'ADN.

Enfin, nous avons développé une nouvelle méthode basée sur le formalisme des réseaux Bayésiens pour identifier les mutations génomiques à partir de données de séquençage à haut débit. Ces développements méthodologiques s'accompagnent de nombreuses collaborations avec des médecins et chercheurs de l'Institut Curie et d'autres instituts, notamment sur le cancer du sein, de la vessie, de la prostate, et sur le neuroblastome. Nous avons également entamé un projet européen (NADINE) avec 16 partenaires académiques et privés, dans le but de développer de nouveaux biomarqueurs pour le diagnostic précoce de maladies neuro-dégénératives, notamment la maladie d'Alzheimer.

Inférence de réseaux biologiques

De nombreuses voies de signalisation, régulation, et métaboliques, impliquant des interactions entre de nombreux gènes, jouent un rôle critique dans l'initiation et le développement des tumeurs. Notre connaissance de ces systèmes reste cependant très parcellaire. Il semble possible de combler ces lacunes

en exploitant les grandes quantités de données générées par les différentes technologies en génomique et protéomique. Afin de reconstruire *in silico* les informations manquantes sur ces réseaux, nous avons continué à développer un cadre général d'inférence de graphe à partir de données génomiques hétérogènes, en nous appuyant sur des nouveaux développements en apprentissage statistique. Nous avons poursuivi notre collaboration avec William Noble (University of Washington), sur la prédiction à grande échelle du réseau d'interaction protéine-protéine à partir de structures 3D des protéines, et avec plusieurs institutions japonaises (universités de Kyoto et Tokyo, Institut technologique de Tokyo, CBRC) sur la reconstruction de réseaux métaboliques. Nous avons établi un nouveau lien méthodologique entre le problème de reconstruction de réseaux biologiques et le problème d'apprentissage statistique multi-instance, qui ouvre la voie à de nouvelles stratégies d'inférence. Nous avons développé une nouvelle méthode pour la priorisation de gènes d'intérêt par intégration de données hétérogènes, qui surpasse les approches existantes en performance, ainsi qu'une nouvelle méthode pour la reconstruction de réseaux de régulation à partir de données d'expression, basée sur des outils d'apprentissage statistique pour la sélection de variables.

Bio-informatique structurale, interactions moléculaires et criblage virtuel

Nous avons combiné nos expertises en biologie structurale et en apprentissage statistique pour prédire les interactions entre protéines et petites molécules, à l'aide de modèles statistiques utilisant des informations sur les structures 3D des molécules. La prédiction de ces interactions est utile, à la fois pour comprendre la fonction de protéines ayant un intérêt thérapeutique, et pour identifier des molécules susceptibles d'inhiber des cibles thérapeutiques connues. Nous avons ainsi poursuivi nos recherches en chémogénomique *in silico*, visant à prédire systématiquement les interactions entre une banque de petites molécules et une famille de protéines, dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Kyoto. Nous avons notamment développé une nouvelle mesure de similarité entre poches de fixation de ligands sur des structures 3D de protéines. Ces développements méthodologiques trouvent leurs applications pour la recherche de nouveaux traitements contre divers

cancers, et pour la prédiction des effets secondaires de molécules candidates. Nous travaillons notamment sur la recherche d'inhibiteurs de la protéine phosphatase calcineurine et sur la tyrosine kinase TYRO3, en collaboration avec des chercheurs de l'Institut Curie.

Criblage multi-cellulaire à haut débit

L'utilisation de cribles à haut débit, basés sur le phénotypage cellulaire par microscopie, est une approche expérimentale pour tester l'activité et les effets phénotypiques de petites molécules qui va devenir une force d'innovation majeure pour la biologie des décennies à venir. Cette technologie est de plus en plus utilisée en recherche bio-médicale, et a le potentiel de devenir un outil versatile pouvant être utile dans de nombreux domaines en biologie cellulaire, biologie du développement, et génétique. La modélisation et l'analyse des données produites par cette technologie, qui caractérise le phénotype de chaque cellule au sein de chaque population à l'aide d'un grand nombre de paramètres, reste cependant un défi à relever. Nous poursuivons le développement du logiciel CellRA pour l'analyse statistique de ces données, en particulier pour l'identification de relations cause-effet entre un traitement appliqué aux cellules et le phénotype de la population. Nous avons poursuivi notre collaboration avec le CEA et l'entreprise IMSTAR pour identifier des kinases et des micro-ARN susceptibles de devenir des cibles thérapeutiques contre le cancer de la prostate, et avec les entreprises Pierre Fabre, ADCIS et le CNRS pour la recherche de nouvelles molécules anti-mitotiques. Nous avons également initié des collaborations avec des chercheurs de l'Institut Curie sur la biophysique de la migration cellulaire, ainsi que plusieurs projets visant à cribler des banques moléculaires sur différents phénotypes d'intérêt.



Faits marquants

Nous avons participé à la compétition internationale DREAM5, sur la reconstruction *in silico* de réseaux de régulations, et avons obtenu une mention honorable décernée lors d'une conférence à l'Université de Columbia à New-York, en septembre 2010. Deux étudiants du CBIO ont soutenu leur thèse en 2010 : Mikhail Zaslavskiy, sur l'alignement de graphes et ses applications en vision et bio-informatique, et Fantine Mordelet, sur les méthodes d'apprentissage à partir d'exemples positifs et sans label et leurs applications en bio-informatique.

Centre de mathématiques appliquées (MINES ParisTech – CMA)

Directrice : Nadia MAÏZI

Téléphone 04 97 15 70 79
Courriel cma@cma.mines-paristech.fr

Web et publications
<http://www.mines-paristech.fr/Fr/CMA>

Enseignants chercheurs	11
Autres personnels	12
Doctorants MINES ParisTech	21
Autres étudiants (y compris les Formations spécialisées)	17



Formation

Le CMA intervient dans le cycle Ingénieurs civils, organise le MIG *Systèmes embarqués*, participe aux semaines Athens, est responsable de la formation doctorale *Contrôle, optimisation et prospective* de MINES ParisTech co-accréditée avec l'École Doctorale STIC de l'UNS et participe aux enseignements des masters de l'UNS et de l'Université de Marseille-Provence.

Le CMA est responsable du mastère spécialisé en *Optimisation des systèmes énergétiques* (OSE, <http://www.ose.cma.fr/>).



Recherche

Prospective et changement climatique

L'objet de ce projet est de dégager une expertise originale pour l'application de modèles mathématiques à l'aide à la décision dans le domaine de l'énergie en s'appuyant sur l'ensemble des compétences du centre en modélisation, optimisation et recherche opérationnelle, mathématiques du contrôle et de la décision, informatique du temps réel. Nous avons développé une approche prospective fondée sur des modèles d'optimisation de la famille MARKAL/TIMES et représentons officiellement la France dans le programme cadre de l'AIE (Agence internationale de l'énergie).

Éclairer des politiques publiques : initiée dans le cadre de la Commission énergie du conseil d'ana-

lyse stratégique pour évaluer les voies de réduction d'émissions de CO₂ soutenables à l'horizon 2050, notre approche a ensuite permis au CAS d'évaluer les conséquences pour la France des engagements européens à l'horizon 2020 et a été poursuivie en 2010 par l'achèvement du projet européen RES2020 dédié au couplage de modèles nationaux européens pour l'analyse de stratégies optimales de réalisation des objectifs d'énergie renouvelable.

Éclairer des choix technologiques : notre collaboration avec l'IFP, l'INRA et le FCBA dans le cadre du projet Valerbio financé par la fondation TUCK pour l'évaluation prospective de la valorisation de la biomasse en France à l'horizon 2050 s'est terminée en 2010 et se poursuit par une collaboration avec l'université suédoise SLU sur le thème de prospective biomasse et stratégie forestière.

Approfondir la compréhension des systèmes : la chaire *Modélisation prospective* a initié deux nouvelles thèses. La première concerne l'étude des smart grids. La seconde s'intéresse aux synergies eau-énergie. La thèse en collaboration avec le département d'*Éco efficacité et procédés industriels* d'EDF sur l'arbitrage entre technologies pour les secteurs industriels gros consommateurs d'énergie a été soutenue et trois autres thèses sont en cours d'écriture : l'une en partenariat avec EDF sur le comportement des ménages sous la contrainte carbone, la deuxième en partenariat avec *Schneider Electric* sur l'intégration spatio-temporelle des dynamiques de réseau et la troisième sur les secteurs industriels diffus. Une thèse intitulée « l'optimisation face aux risques marchés : le cas de la multi-génération » a été initiée.

Chaire *Modélisation prospective* au service du développement durable

Lancée en 2008 et dotée d'un budget de 2,5 millions d'euros sur 5 ans par ses partenaires industriels : l'ADEME, EDF, RENAULT, SCHNEIDER ELECTRIC et TOTAL, la Chaire *Modélisation prospective* au service du développement durable poursuit son objectif de constituer une force vive visant à faciliter la prise de décision dans les débats touchant aux enjeux scientifiques et technologiques liés à la double contrainte énergie-climat. Pour ce faire, la Chaire assure une présence renforcée de ses laboratoires fondateurs, MINES ParisTech, École des Ponts ParisTech et AgroParisTech, dans les lieux importants de l'expertise nationale et

internationale, notamment à travers sa participation à diverses conférences internationales (IAEE, IEW, EMF, WEC...) et aux conférences sur le climat, cette année, COP16 à Cancún.

La seconde journée de la Chaire intitulée « *Prospective des enjeux énergie-climat* » s'est tenue le 20 novembre 2010 à Paris.

La chaire a co-organisé avec l'Université Total, la direction scientifique et la direction du Développement durable et de l'Environnement de Total, une conférence sur le thème : « *Décisions politiques et économiques face aux enjeux énergie-climat* », le 18 février 2010 à l'auditorium Coupole de Total à la Défense, Paris.

Deux événements internationaux portés par la Chaire ont été organisés par le CMA : « *Long term in energy economy and environment* » un *stream* de 4 sessions à EURO en juillet 2010 et « *Optimisation in electrical engineering* » un *symposium* à ENGOPT en septembre 2010.

Smart Grids

Le CMA s'investit dans la recherche sur les réseaux intelligents : ses compétences en informatique temps réel, optimisation des systèmes énergétiques et prospective long terme sont essentielles pour relever les défis des réseaux. En ce sens, le CMA participe au projet GRID-TEAMS labélisé par le pôle de compétitivité CAPE-ENERGIES. Par ailleurs, en plus des travaux effectués sur l'adéquation de l'offre à la demande et sur la sécurisation des réseaux électrique en collaboration avec Schneider-Electric et EDF, une thèse a été débutée en fin d'année sur l'intégration des smart grids dans une vision prospective.

Optimisation des marchés du carbone et de l'électricité

Afin d'évaluer la valeur carbone et sa sensibilité à différents paramètres (nature du mix, volatilité des prix sur le marché de CO₂, niveau de taxe...), nous développons, en collaboration avec le projet TOSCA de l'INRIA, une approche de pricing par prix d'indifférence, conduisant à la résolution d'une équation d'Hamilton-Jacobi-Bellman.

Le projet européen OPTIMATE, regroupant des gestionnaires européens de transport d'électricité et des partenaires académiques, et dont l'objectif est de construire une plateforme d'analyse technique et réglementaire des différentes manières d'intégrer en un marché unique l'ensemble des marchés de

l'électricité en Europe est passé à sa phase de développement logiciel.

Contrôle et optimisation pour le domaine spatial

Bien que relevant de la théorie linéaire des systèmes, la conception de régulateurs multi-objectifs performants pour le contrôle d'attitude est un problème qui n'a toujours pas reçu de solution définitive. Ce problème motive nos études en collaboration avec ESA et Thales-Alenia-Space sur la factorisation de la boucle fermée et le paramétrage de la variété différentielle des régulateurs stabilisant un système donné et fait l'objet d'une thèse en cours de rédaction. Le paramétrage des systèmes sans pertes est également utilisé dans un logiciel maintenu au CMA et livré à Thales-Alenia-Space, aboutissement d'une étude en collaboration avec le projet APICS de l'INRIA sur la synthèse des filtres hyperfréquence et l'optimisation de la réponse de multiplexeurs de sortie dans les satellites de télécommunication.

Identification et problèmes inverses dans les applications biomédicales

Nous étudions, avec les projets APICS et ODYSSEE de l'INRIA, une classe de problèmes inverses concernant la détection de sources dipolaires à partir de données d'électro- ou de magnéto-encéphalogrammes. Dans les deux cas le modèle interne est régi par un Laplacien et on recherche les singularités internes de la solution connue au bord. Ce problème mal posé est traité par des méthodes d'approximation rationnelle dans divers plans de coupe. Nous testons ces méthodes sur des données simulées ou collectées dans le milieu médical.

Systèmes embarqués critiques et sécurité de zones maritimes

Le CMA continue sa participation au projet SECMAR du pôle de compétitivité MER-PACA avec comme objectif la détection multi-capteurs de comportements nominaux, transgressifs et agressifs des bateaux. La thèse sur l'étude des comportements par les méthodes probabilistes de Markov se poursuit et fait l'objet de publications internationales. Le prototype constitué d'un radar, d'un sonar, de caméras et d'un centre à terre de traitement des données fonctionne désormais sur deux sites du Grand Port Maritime de Marseille et est en cours d'exploitation par les opérateurs du port. L'année 2011 permettra les retours d'expérience.

Centre de morphologie mathématique (MINES ParisTech – CMM)

Directeur : Fernand MEYER

Téléphone 01 64 69 47 06

Courriel cmm@cmm.mines-paristech.fr

Web et publications
<http://www.mines-paristech.fr/Fr/CMM>

Enseignants chercheurs 11

Autres personnels 3

Doctorants MINES ParisTech 9

Autre étudiant 1

(y compris les Formations spécialisées)

Depuis sa fondation, en 1967, le CMM a contribué à la croissance et à la diffusion du corpus théorique et algorithmique de la morphologie mathématique, en s'appuyant sur des domaines d'application très larges, fournissant ainsi un terrain d'expérimentation riche pour le développement de nouveaux concepts et outils. Ses activités s'articulent autour de l'enseignement, de la recherche et des collaborations avec l'industrie.



Formation

Le CMM est responsable des enseignements spécialisés de l'École : *Vision et Morphologie* ; *Physics and Mechanics of random media* (2 sessions en 2010) et *Introduction aux Nanomatériaux*, en collaboration avec plusieurs Centres de l'École. Les chercheurs du CMM interviennent également dans des formations à l'extérieur : enseignement en traitement d'image en cycle ingénieur à l'ENSTA ou à l'Université Polytechnique de Valence (Espagne), cours de 15 heures en 3e cycle.



Recherche

En 2010, la recherche s'est développée à travers différents pôles de compétitivité (*Medicen Santé*, *Cap Digital Minalogic*, *Cancer Bio Santé*), grâce aux collaborations entreprises avec les autres écoles des Mines, au sein de l'*Institut Carnot Mines*, et, enfin, avec l'*Institut Fraunhofer ITWM* (Allemagne). Sur le plan théorique, elle se développe dans les directions suivantes :

- La morphologie adaptative adapte ses opérateurs au contenu de l'image et peut même devenir non locale ;
- L'abstraction des images sous forme de graphes et arbres permet de développer des méthodes de segmentation très efficaces et très rapides ;

- Le croisement des méthodes morphologique, de l'apprentissage statistique et de la géométrie de l'information est très fécond pour la reconnaissance de défauts dans des textures ;
- Le passage par des ontologies permet une analyse fine et compréhensible par les biologistes de phénomènes complexes tels que la division cellulaire.

Principaux domaines d'applications

Multimédia

Le CMM a contribué au développement d'un prototype multimédia combinant un navigateur d'images 3D géographiques avec un moteur de recherche basé image. En particulier, le CMM a développé un système de localisation de texte enfoui en milieu urbain afin d'apporter une information sémantique dans des systèmes de navigation enrichis. Cette fonctionnalité doit être intégrée sur la plateforme *THD* (Très Haut Débit) de Cap Digital.

Physique des Milieux Hétérogènes

Le Groupe de réflexion *Nanomines* sur les nanomatériaux, créé à notre initiative en 2006, fédère l'ensemble des écoles des mines de l'Institut Carnot M.I.N.E.S autour du projet de recherche « *Nanostructures* ». Cette action a permis la modélisation du comportement mécanique de nano-composites, avec prise en compte des propriétés des interfaces, en résolvant les équations de l'élasticité sur des images par itérations de FFT. Cette méthode a été mise en œuvre pour la prédiction, à partir de micro-tomographies, de la perméabilité macroscopique et des conductivités anioniques et protoniques de matériaux pour la membrane centrale de piles à combustible (projet européen *Ideal Cell*, piloté par le Centre des Matériaux).

Par la même technique a été entreprise l'étude du VER statistique et la localisation des champs élastiques dans des mortiers, dans le cadre d'une thèse avec EDF. Une nouvelle méthode de segmentation probabiliste multi-échelle de matériaux granulaires, suivie d'une analyse du comportement thermique de ces matériaux a été développée sur des images 3D de micro-tomographie, en collaboration avec la DGA-CEG de Gramat. Par ailleurs, un modèle de prédiction du comportement acoustique de composites fibreux en fonction de leur microstructure a été validé (thèse ANR) et une modélisation de réseaux de fibres complexes a été développée (thèse avec l'*Institut Fraunhofer ITWM* de Kaiserslautern).

La modélisation hydrodynamique du dépôt de peinture sur les tôles d'acier rugueuses (thèse avec *ARCELOR Research*) a été validée par une série d'études expérimentales de suivi de la topographie en cours de séchage. Une étude réalisée en coopération avec Michelin a permis d'extraire automatiquement des textures de surface.

Vision par ordinateur

Le CMM et le CAOR participent à l'initiative Num@tec Automotive (pôle d'innovation technologique SYSTEM@TIC). Le projet PREDIT LOVE (comprenant Renault, Valeo et différents laboratoires de recherche), qui s'est achevé cette année, en est issu. Celui-ci porte sur les outils d'imagerie embarqués pour la reconnaissance des piétons. Dans le cadre de ce projet, le CMM a développé des algorithmes de détection de régions de vigilance afin d'améliorer la détection de piétons.

Le CMM a de plus développé des outils de segmentation de scène et de suivi de personnes dans le cadre du projet KIVAOU (vidéosurveillance et biométrie). Issu du programme COSEG (Concepts Systèmes et Outils pour la Sécurité Globale), et labellisé par l'ANR, le projet, mené en collaboration avec la SAGEM-Sécurité, EVITECH, FACING-IT, l'Institut Telecom et le centre de Robotique de l'école des mines, s'est achevé cette année.

Le projet IVP (*Intuitive Vision Programming*) labellisé par le pôle MINALOGIC vise à développer des méthodes d'imagerie pour l'inspection de cartes électroniques. Ce projet, commencé fin 2009, est porté par VI-Technology, avec PIGE-Électronique et l'INRIA Rhône-Alpes comme partenaires. Il est financé dans le cadre du FUI et soutenu par le pôle MINALOGIC. Au cours de la période, le CMM a élaboré des algorithmes rapides et robustes de segmentation automatique des composants présents sur des cartes électroniques et de leurs constituants à fin d'inspection et de contrôle de qualité.

Enfin, dans le domaine du contrôle non destructif et dans le cadre du projet TOCATA, le CMM a développé des outils génériques pour l'inspection de surfaces métalliques, en vue de détecter les défauts. Dans ce même cadre, une collaboration avec la société COLAS a été entreprise.

Architectures logicielles et matérielles

Afin de satisfaire les besoins de nombreuses applications nécessitant un temps de traitement rapide, temps-réel et plus, le CMM développe de nouvelles architectures de logiciels et de processeurs de traitement d'image rapide. Cette activité s'est poursuivie en collaboration avec le CRI, pour obtenir une meilleure adéquation entre matériel et logiciel.

Biomédical

Le CMM collabore avec L'Oréal dans le but de développer des outils de quantification d'images issues de la microscopie multi-photon de la peau. Le projet *TeleOphtha*, financé par l'ANR, permettra de consolider et valoriser le savoir-faire du CMM en matière de dépistage de la rétinopathie diabétique sur des images couleur du fond de l'œil. Le projet RAMIS s'achève avec la réalisation d'un outil de recherche de nouvelles molécules anti-

cancéreuses, grâce à l'étude du phénotype de cellules mises en culture en présence de drogues perturbant la division cellulaire (Pierre Fabre, ADCIS, CBIO, CMM).

Imagerie Multi/Hyper-spectrale

Le CMM développe de nouvelles méthodes et algorithmes pour l'extension de la morphologie mathématique au traitement des images hyperspectrales. Celles-ci sont très performantes pour l'analyse des images en télédétection. Nos recherches en imagerie multispectrale se poursuivent dans le cadre du projet IHMO (ANR-TecSan 2008-2011) pour l'étude des cellules sanguines en microscopie hybride (multispectrale + spectroscopie Raman).

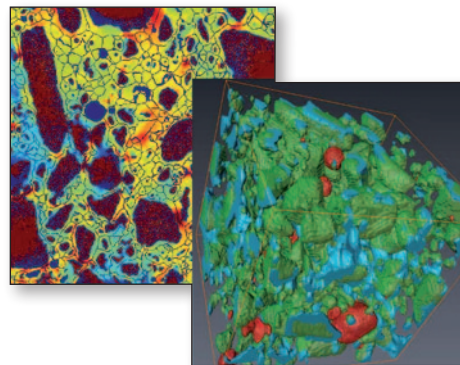
Dans le domaine des sciences de la terre et de l'environnement, une thèse avec collaboration industrielle est en cours avec pour objectif d'établir une passerelle entre le traitement d'images et l'exploitation des données spatiales cartographiques.



Faits marquants

Le groupe *Approches probabilistes en Mécanique des Milieux Hétérogènes* de l'association MECAMAT (Mécanique et Matériaux), animé par D. Jeulin, a accueilli 45 participants pour 25 communications à l'Université de Marne-la-Vallée (3-4 mai). D. Jeulin a participé en tant que Conférencier invité aux Congrès Internationaux *ECMI* (Wuppertal, 26-30 juillet), au workshop *Matériaux hétérogènes et composites* (Briançon, 2-3 septembre) et *Felix Klein Summer School* (Kaiserslautern, 20-24 septembre).

À l'international, le CMM a organisé le *Workshop W3D* (Fontainebleau, 76 participants) en partenariat avec l'*ITWM (Fraunhofer, Kaiserslautern)*. Cette coopération a par ailleurs permis d'obtenir un soutien de l'Université franco-allemande pour la création d'un collège doctoral franco-allemand *Traitement d'image mathématique* (2011-2013).



Analyse multiéchelle de la répartition des contraintes élastiques dans un mortier (thèse de J. Escoda).

Centre de recherche en informatique (MINES ParisTech – CRI)

Directeur : Robert MAHL

À partir du 1^{er} janvier 2011: François IRIGOIN

Téléphone 01 64 69 47 08

Courriel cri@cri.mines-paristech.fr

Web et publications
www.mines-paristech.fr/Fr/CRI

Enseignants chercheurs 6

Autres personnels 4

Doctorants MINES ParisTech 7

Doctorant autre établissement 1

Autres étudiants 95
(y compris les Formations spécialisées)

Le Centre de recherche en informatique se consacre à l'étude des langages utilisés par les technologies de l'information (langages de programmation, de description de données, d'interrogation ou semi-formels voire naturels) et développe des techniques d'analyse sémantique et de transformation automatiques destinées à répondre aux besoins industriels (performance, coût de développement, *time-to-market*) et aux besoins administratifs et sociétaux (partage d'information cohérente, normalisation des données, accès à l'information, sauvegarde du patrimoine).



Formation

Au niveau des activités pédagogiques de l'École, le CRI participe activement à l'Acte d'entreprendre et aux cours de l'option *Management des systèmes d'information* dont il assure l'organisation et l'encadrement. Quatre enseignements spécialisés en informatique sont proposés aux élèves ingénieurs : *Architecture matérielle et logicielle des ordinateurs*, *Systèmes d'information*, *Informatique fondamentale* et *Applications Réparties*.

Le CRI organise par ailleurs quatre mastères spécialisés, dont trois en mode Exécutif (temps partiel), ainsi qu'un BADGE. Le premier, *Management des systèmes d'information et des technologies* (MSIT), est co-encadré avec HEC et a lieu pour moitié à MINES ParisTech (à Paris) et pour moitié à HEC (Jouy-en-Josas) ; la douzième promotion, rentrée en septembre 2010, comporte 28 étudiants, qui profitent des fruits d'une collaboration active entre les deux écoles, tant au niveau des enseignants que des services administratifs, financiers ou de communication. La troisième promotion de la version

Exécutif du mastère MSIT compte, en 2010, 16 participants issus du monde de l'industrie et des services. Le troisième mastère, *Ingénierie production et infrastructures en systèmes ouverts* (IPISO), issu d'une collaboration avec l'École des mines de Saint-Étienne, l'École des mines de Nancy et France Télécom, se concentre sur un problème clé pour les entreprises : la production informatique et les infrastructures techniques. La promotion rentrée fin 2009 comporte 12 étudiants. Le dernier mastère, *Management : méthodes et pratiques* (MMP), est organisé au Maroc en partenariat avec la Caisse de dépôt et de gestion ; la quatrième promotion est rentrée en janvier 2010 avec 37 participants. Enfin, la seconde promotion du BADGE *Management de la dématérialisation et de l'archivage électronique* (MDAE), organisé en collaboration avec la Fedisa, a rassemblé 8 participants pour la rentrée 2010.



Recherche

Les travaux de recherche du CRI s'articulent autour d'un axe principal : l'étude des langages de programmation ou de description de données. Ces travaux trouvent des applications aussi bien dans les systèmes embarqués professionnels ou personnels que dans les grands systèmes d'information.

Langages de programmation

L'objectif général de cet axe de recherche est de réduire les coûts d'utilisation des ordinateurs, qu'il s'agisse des coûts de développement ou d'exploitation, en développant des outils aussi automatiques que possible pour effectuer des analyses, instrumentations et transformations de programmes. Ces outils sont utilisés en développement pour faciliter la réutilisation de code, vérifier des propriétés ou effectuer de la synthèse de logiciel ou de tests. Ils sont aussi utilisés pour réduire les temps d'exécution de logiciels, sans augmenter sensiblement les coûts de développement ou de maintenance.

Deux directions de recherche particulières ont été poursuivies en 2010 : l'extension des analyses et des transformations de notre outil PIPS pour mieux couvrir le langage C et l'optimisation de code hétérogène pour deux accélérateurs FPGA de traitement d'images (projet FREIA) et pour les processeurs graphiques de type GPGPU (projet OpenGPU). L'extension de PIPS est menée en coopération avec la société HPC Project. Pour les calculateurs hétérogènes, le compilateur PIPS est utilisé pour optimiser la partie du code source qui peut être avantageusement exécutée sur un accélérateur, pour découper

le code de l'application entre le code de la machine hôte et le code de l'accélérateur, pour générer les communications entre hôte et accélérateur et, enfin, pour configurer ou pour générer le code de l'accélérateur. Ce dernier point donne lieu à une collaboration avec l'équipe Alchemy de l'INRIA. Deux nouvelles directions de recherche ont été choisies en 2010 : l'analyse des systèmes de transitions et la détection automatique du parallélisme de tâches.

Le développement d'une extension du langage OpenMP pour le stream-computing sur architectures multi-cœurs s'est achevée, dans le cadre d'une thèse en cours, avec de bons résultats expérimentaux pour le prototype d'implémentation dans une branche publique du compilateur GCC. Ces travaux, menés en collaboration avec l'équipe ALCHEMY, visent une intégration dans le langage OpenMP dans sa version 4.0. Ce projet de standardisation a reçu un financement de l'INRIA afin de promouvoir notre extension auprès de l'organisme responsable de la spécification du langage, l'Architecture Review Board (ARB).

Pour le projet ANR ASTREE, dans lequel le CRI étudie la définition et l'implantation efficace du langage synchrone fonctionnel FAUST adapté au traitement du signal audio en temps réel développé par le Centre national de création musicale GRAME, deux sémantiques formelles, de typage et dénotationnelle, ont été définies. Ces sémantiques spécifient deux nouvelles extensions importantes du langage FAUST : une extension vectorielle et une extension multifréquentielle, destinées à adapter le langage aux signaux de vecteurs pour pouvoir traiter les algorithmes tels que les FFT. Elles sont en cours d'implantation par le GRAME, implantation suivie par le CRI. Le CRI effectue en outre une étude comparative des langages synchrones pour évaluer la pertinence de FAUST pour le traitement du signal audio par rapport aux autres langages du domaine (CSound, SuperCollider, Pure Data, ChuckK, Signal, Lustre, OCaml, OpenMP Stream, Matlab).

Langages de données

Cet axe de recherche s'attache à capitaliser les compétences en technologie avancée des langages de données et, en particulier, des couches applicatives au-dessus de XML, en vue de développer de nouveaux systèmes d'information facilitant la collaboration de nombreux partenaires grâce à la normalisation des données.

Les outils développés au CRI sont utilisés dans des nombreux projets liés aux données publiques, notamment en relation avec le Ministère du travail et la Direction des journaux officiels. Ils sont également à la base de la solution déployée dans le nouveau service Légimobile d'accès au droit sur téléphone mobile, projet subventionné par la Délégation aux usages d'Internet dans le

cadre de l'appel à projets Proxima Mobile. Par ailleurs, nous participons au projet ANR NEOPPOD consacré à la mise au point de solutions de stockage objet distribué de volumes de données de l'ordre du pétaoctet.

Autres travaux

Le CRI s'intéresse à l'utilisation des nouvelles technologies pour la musique, en particulier celles issues des jeux vidéo. Une thèse vient de s'achever concernant la création et le test de deux environnements collaboratifs pour la musicothérapie de groupe : MINWii et MAWii.

Dans le projet MAWii, le CRI a conçu un instrument numérique novateur fondé sur l'interface 3D « Wiimote » de Nintendo. Suite au succès des tests achevés en 2009, le CRI a démarré en 2010 l'industrialisation de MAWii, dont la nouvelle version, fortement étendue, sera centrée sur la création d'avatars sonores et l'analyse automatique des improvisations des patients. Destinée à être diffusée gratuitement sous license GPL chez les professionnels de la musicothérapie, cette nouvelle mouture « clé en main » fera l'objet d'une évaluation de longue durée par les thérapeutes et chercheurs de l'Institut de psychologie de l'Université Paris Descartes à partir de mars 2011.

Dans le projet MINWii, une interface homme-machine destinée à la renarcissisation par la pratique musicale des patients souffrant de la maladie d'Alzheimer a été développée. Deux campagnes d'évaluation, l'une avec le docteur Péquignaud (Médecine et réadaptation, hôpital St-Maurice, Val-de-Marne) et l'autre avec la professeure Rigaud, spécialiste renommée en gérontechnologie (service de gérontologie, hôpital Broca, Paris), ont été achevées en 2010. Elles ont confirmé la pertinence du design de MINWii : (1) les patients, même à un stade avancé de la maladie, demeurent capables d'apprendre inconsciemment le maniement de l'interface, ce qui signifie que MINWii mobilise précisément les capacités qui persistent le plus longtemps dans la maladie et (2) patients et soignants ont exprimé un grand enthousiasme pour le projet, justifiant là aussi la refonte d'une version production, disponible depuis octobre 2010 (www.minwii.org). Une étude de l'impact thérapeutique de MINWii sur les capacités attentionnelles et les symptômes dépressifs des patients âgés atteints de démence est prévue à l'hôpital Broca pour 2011.



Faits marquants

Le CRI mène une forte activité de valorisation de ses travaux de recherche grâce à la société Luxia, qui a été créée en 2009 pour exploiter les résultats obtenus dans le domaine des langages de données et outils associés.