

**Vague D :
campagne d'évaluation 2012 - 2013**

CEDRIC (EA 4629)

Projet scientifique

CEDRIC	2
Equipe Systèmes Sûrs	7
Equipe Ingénierie des Systèmes d'Information et de Décision (ISID)	15
Equipe LAboratoire en ElecTronique, Télécommunications et Automatique (LAETITIA) ..	20
Equipe Media Interaction et Mobilité (MIM)	24
Equipe Méthodes Statistiques de Data Mining et Apprentissage (MSDMA)	27
Equipe Optimisation Combinatoire (OC)	31
Bases de Données Avancées (Vertigo)	36

CEDRIC

1. Présentation de l'unité

a. Historique

La précédente évaluation du CEDRIC par l'AERES a été réalisée en février 2010. Parmi les faits marquants récents nous pouvons mentionner la participation au montage du Labex « Création, Arts et Patrimoines » fin 2010, le renouvellement en 2011 de 6 Masters recherche dans lesquels le CEDRIC joue un rôle clé, l'intégration en 2011 du laboratoire LAETITIA comme nouvelle équipe du CEDRIC (conformément au projet présenté en 2010), la co-accréditation du Cnam (aux côtés de l'UPMC et de Télécom ParisTech) pour l'école doctorale EDITE (ED130) début 2012.

b. Caractérisation de la recherche

Le CEDRIC cherche à préserver un relatif équilibre entre les activités destinées à déplacer les frontières de la connaissance (env. 40%), la participation à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées (env. 40%) et la préparation de réponses directes à des enjeux sociaux, économiques ou culturels (env. 20%), bien qu'une certaine diversité soit présente entre les équipes du laboratoire. Les destinataires des activités du CEDRIC sont, dans l'ordre, le monde de la recherche (à travers la publication des résultats des travaux de recherche et des collaborations académiques), les acteurs socio-économiques et culturels (à travers des projets collaboratifs), les étudiants (nombreux Masters et encadrement de doctorants), les pouvoirs publics (activités d'expertise), l'unité de recherche elle-même (collaborations entre équipes), les citoyens (implication dans la vie numérique).

c. Organigramme fonctionnel et règlement intérieur

Le CEDRIC (EA 4629) a un directeur, un directeur adjoint, un responsable administratif et un Conseil de laboratoire. Le directeur, le directeur adjoint et une majeure partie des membres du Conseil sont élus. Le CEDRIC est composé de 7 équipes de recherche, qui peuvent être structurées en groupes de recherche. Chaque équipe et chaque groupe est animé par un responsable. Le fonctionnement du laboratoire est régi par un règlement intérieur, approuvé par l'Assemblée Générale du CEDRIC le 29 novembre 2010 et présent dans l'annexe A1 du rapport. L'organigramme fonctionnel et l'organisation actuelle du CEDRIC, présentés dans le rapport, ne devraient pas évoluer de façon notable dans la période suivante. Nous souhaitons réunir à nouveau un Conseil scientifique, constitué majoritairement de personnalités externes à l'établissement, pour nous accompagner dans la définition et la mise en oeuvre de la politique scientifique du laboratoire.

2. Auto-analyse et objectifs scientifiques de l'unité

Auto-analyse

• Points forts

Le CEDRIC est un laboratoire bien reconnu dans ses thématiques. Sa forte participation aux pôles de compétitivité franciliens, ses nombreuses conventions de recherche (ANR, CIFRE, FUI, etc.), ses collaborations à travers une ERT et plusieurs PPF sont des signes de son insertion locale et nationale. Sa reconnaissance internationale est illustrée par les projets FP7 et les nombreuses autres collaborations internationales, dont certaines sont pérennes bien que non formalisées.

Le nombre de chercheurs, les résultats scientifiques, le budget du laboratoire ont augmenté depuis 2007. La croissance du budget est liée à l'augmentation de l'activité contractuelle grâce en particulier à la reconnaissance du Cnam, de l'ENSIIE et du CEDRIC dans les milieux professionnels. Cette croissance a lieu tout en conservant une forte cohérence thématique. Aussi, une synergie entre les équipes s'est progressivement mise en place. L'intégration depuis 2011 de l'équipe LAETITIA se déroule très bien. Le fonctionnement du laboratoire est harmonieux et formalisé par un règlement intérieur détaillé. La coordination est bonne avec les trois départements du Cnam dans lesquels la majeure partie des membres permanents du laboratoire effectuent leurs enseignements.

Le CEDRIC est fortement impliqué dans plusieurs Masters restructurés en 2011 et co-habilités avec d'autres établissements reconnus dans les domaines respectifs : le Master Parisien de Recherche Opérationnelle (MPRO, co-habilitation avec de nombreux établissements franciliens), le Master Systèmes d'Information et de Décision (SID, co-habilitation avec Paris 1), le Master Traitement de l'Information et Exploitation des Données (TRIED, co-habilitation avec l'UVSQ et l'Télécom Sud Paris), le Master Systèmes Embarqués et Mobiles Sûrs (SEMS, co-habilité avec l'ENSIIE),

le Master Design et Développement des Objets, Média et Espaces Numériques (DDOMEN, co-habilité avec Paris 8, l'ENSCI et l'INA) et le Master Systèmes de Communications Hautes Fréquences (SCHF, co-habilité avec l'UPE, l'ESIEE et Télécom Sud Paris). Nous attendons une évolution favorable des recrutements de doctorants à partir de ces Masters.

- **Points faibles**

Malgré des évolutions favorables récentes, le laboratoire reste confronté à des problèmes matériels, logistiques et administratifs. Si les ressources récurrentes allouées par le Cnam dans le cadre de son contrat d'établissement sont restées stables, elles sont insuffisantes pour financer des doctorants ou post-doctorants. Par ailleurs, l'école doctorale EDITE dispose de peu de contrats doctoraux (env. 25 par an) par rapport au nombre de chercheurs des laboratoires rattachés (dont LIP6, LTCI, SAMOVAR, CEDRIC, etc.) et ne constitue pas une source significative de financements de thèses. Le financement des doctorants, des post-doctorants et même des stagiaires de Master au CEDRIC repose donc en majeure partie sur les conventions de recherche (CIFRE comprises).

La rénovation de locaux au Cnam a permis de réduire quelque peu la dispersion géographique du laboratoire, présent actuellement dans 4 bâtiments du Cnam Paris au lieu de 8 auparavant, et d'améliorer la qualité de l'environnement de travail. Les locaux sur le site parisien restent toutefois insuffisants, notamment pour accueillir les enseignants-chercheurs de l'ENSIIE membres du CEDRIC lorsqu'ils sont présents au Cnam et pour les nombreux stagiaires de Master. Aussi, des membres de plusieurs équipes ainsi que l'administration du CEDRIC occupent encore des locaux inadaptés et éloignés des bureaux de la majeure partie des membres du laboratoire.

L'encadrement administratif a évolué positivement, l'équipe administrative étant aujourd'hui constituée de quatre personnes (par rapport à deux en 2007 et trois en 2010), mais les qualifications de deux de ces personnes ne leur donnent pas aujourd'hui une polyvalence suffisante pour les activités principales de l'administration d'un laboratoire de recherche. Par ailleurs, l'activité contractuelle a connu sur la période une forte augmentation ; si on tient compte de la complexité actuelle des procédures de gestion, on constate que l'encadrement administratif est encore insuffisant.

Enfin, il faut noter que le Cnam n'accepte toujours pas l'inscription en M1 avec statut d'étudiant, ce qui ne contribue pas à rapprocher du Cnam les étudiants inscrits dans des Masters co-habilités et ne facilite donc pas la recherche de doctorants pour le CEDRIC.

- **Possibilités liées au contexte**

L'implication du CEDRIC dans le Labex « Arts, Créations et Patrimoine » et la participation du Cnam à l>IDEX Paris Novi Mundi Université devraient permettre au CEDRIC d'obtenir de nouvelles ressources financières, à condition d'arriver à établir des collaborations pertinentes avec des partenaires des sciences humaines et sociales.

En 2012, le Cnam a lancé un appel à projets (y compris recherche) doté par l'établissement d'une enveloppe de 1 m€ sur 2 ans. Bien que la durée de 2 ans soit insuffisante pour le financement de thèses, le financement de post-doctorants et de stages de Master est possible. Aussi, l'établissement s'est engagé à relancer de tels appels régulièrement.

L'établissement de tutelle (le Cnam) a subi ces dernières années une transformation profonde de son organisation et la mise en place progressive d'un système d'information. Aussi, la création d'un service commun de la recherche est en préparation. Cela devrait avoir comme conséquence un fonctionnement administratif plus efficace à la fois dans les missions de recherche et d'enseignement, et permettre ainsi aux enseignants-chercheurs de se consacrer plus aux activités d'enseignement et de recherche.

Enfin, les nombreux départs à la retraite dans les quatre années à venir et les recrutements en cours sont l'occasion d'un rajeunissement des enseignants-chercheurs (A et B) du laboratoire.

- **Risques liés au contexte**

Des membres fondateurs du CEDRIC partiront à la retraite dans les années à venir et leur remplacement devra être bien préparé et géré, en collaboration avec les départements concernés (INFO, EASY, IMATH).

Par ailleurs, le recrutement des professeurs Cnam (spécificité de l'établissement) faisant intervenir d'autres critères (comme l'intégration dans les milieux professionnels) que les critères académiques, peut avoir un impact négatif sur le maintien de la cohérence thématique. Nous remarquerons que ces recrutements peuvent toutefois avoir un impact positif sur l'activité contractuelle.

Un repli sur soi des PRES et des IDEX, avec une réduction de la perméabilité aux échanges et collaborations externes, aurait un impact négatif sur les liens académiques traditionnels du CEDRIC avec d'autres laboratoires franciliens hors PRES HESAM.

Objectifs scientifiques de l'unité

Le CEDRIC cherche à s'affirmer comme un laboratoire STIC incontournable en Ile-de-France, en particulier dans le cadre du développement des pôles de compétitivité. Le CEDRIC a ainsi largement participé à l'élaboration du projet d'IRT « Vie numérique » du pôle de compétitivité Cap Digital qui, même s'il n'a pas été retenu par le jury, reste un acte porteur du pôle. Ce domaine d'application motive en partie les activités de plusieurs équipes du CEDRIC et notamment MIM, LAETITIA et Vertigo.

Les thématiques des équipes du CEDRIC évoluent naturellement et cela s'est déjà traduit par l'apparition de nouveaux axes et la disparition de certains autres. On peut noter pour le groupe SEMPIA la disparition de l'axe « systèmes d'exploitation » et le développement des axes « systèmes embarqués » et « intelligence ambiante ». Pour le groupe ILJ, l'évolution vers le design interactif et l'initiation de travaux liés au handicap. Pour Vertigo, le développement d'un axe « grandes bases d'images et de vidéo » et la disparition des axes « bases de données géographiques » et « tatouage des bases de données ». Pour l'équipe MSDMA, la transformation de l'axe « estimation non paramétrique, génomique » en « biostatistique » et l'émergence d'un axe « risque ».

Dans l'étape suivante, plusieurs équipes du CEDRIC (ISID, MSDMA, Vertigo) conserveront leurs axes bien établis mais mettront plus d'accent sur les travaux liés aux problématiques Big Data et Open Data, déjà présents dans leurs travaux actuels.

En dehors de ces aspects Big Data, l'équipe MSDMA souhaite développer aussi des travaux sur des phénomènes critiques liés à des structures en réseau (finance, énergie) dans le cadre de ses axes « risque » et « méthodologie en fouille de données ».

L'équipe LAETITIA, qui a rejoint le CEDRIC début 2011, a achevé de recentrer son activité sur le traitement du signal pour les télécommunications et développera dans la suite une activité de recherche sur la fiabilité des systèmes en intégrant un groupe d'enseignants-chercheurs du Cnam en automatique.

L'équipe OC, tout en conservant ses axes de recherche actuels « programmation mathématique et applications » et « graphes et optimisation », développera ses travaux sur l'optimisation en présence d'incertitudes, l'optimisation des réseaux de télécommunications modernes et l'application de l'optimisation combinatoire au développement durable.

L'équipe CPR cherchera à amplifier la coopération de ses 2 axes principaux, le développement de l'atelier Focalize et la certification d'outils, en renforçant une orientation vers la programmation distribuée. CPR participera à la création d'une équipe commune avec l'INRIA, issue de l'action INRIA Deducteam. Au vu des activités de l'action VESPA et de l'intérêt d'autres équipes du laboratoire pour sa thématique, le conseil du CEDRIC a décidé de permettre son évolution pour redevenir un groupe de recherche, avec CPR, dans une équipe Systèmes Sûrs.

3. Mise en œuvre du projet

Le projet scientifique du CEDRIC ne connaît pas de changement fondamental depuis février 2010, date de la précédente évaluation du laboratoire par l'AERES. Nos thématiques de recherche font partie des thématiques majeures des pôles de compétitivité franciliens Cap Digital et Systematic. Nous visons à poursuivre la croissance du laboratoire, à renforcer nos collaborations structurées avec d'autres laboratoires franciliens et à bien gérer une évolution inévitable des thématiques existantes liée au remplacement d'ici 2018 d'au moins sept professeurs (départs en retraite).

La croissance du laboratoire ces dernières années est due en grande partie au développement des activités contractuelles. Nous poursuivrons cette démarche mais il est primordial de conforter les axes de recherche plus fondamentaux, dont les résultats sont plus incertains et pour lesquels notre expertise est reconnue. La disparition de ces axes à plus long terme assècherait à terme notre capacité de transfert de technologie et donc l'activité contractuelle. Le soutien direct du CEDRIC aux collaborations entre équipes du CEDRIC sur des sujets émergents sera poursuivi. Aussi, le CEDRIC cherchera à mieux exploiter les appels à propositions pour l'allocation de contrats doctoraux par l'IDEX Paris Novi Mundi Université pour promouvoir des sujets situés aux interfaces disciplinaires.

L'objectif d'atteindre une masse critique sur un thème donné et l'accroissement du champ de compétence des équipes a bénéficié de nombreux partenariats qui se sont développés dans le cadre de structures comme les PPF et les

pôles de compétitivité. Cette politique de fédération forte sera poursuivie dans le cadre du PRES HESAM et de l'IDEX Paris Novi Mundi Université, mais en profitant également d'autres opportunités.

Les recrutements d'enseignants-chercheurs devront se faire de façon progressive en gardant une cohérence dans cette évolution des axes porteurs du laboratoire, évolution qui pourra être en partie portée par les nouvelles collaborations stratégiques dans le cadre du PRES HESAM et de l'IDEX Paris Novi Mundi Université.

Notre stratégie se décline sur 4 axes : l'amélioration de la qualité et de la visibilité des travaux, l'augmentation du flux de doctorants et post-doctorants, la consolidation des effectifs et la structuration des collaborations, l'amélioration des conditions de travail.

1. L'amélioration de la qualité et de la visibilité des travaux

Le CEDRIC continuera à chercher à améliorer son potentiel recherche, à travers des recrutements très sélectifs d'enseignants-chercheurs, de doctorants et de post-doctorants, et à renforcer les synergies entre équipes, en allouant des financements de démarrage aux sujets émergents inter-équipes et en profitant des possibilités que l'IDEX Paris Novi Mundi Université devrait offrir pour des sujets situés aux interfaces disciplinaires.

Nous continuerons à chercher à mieux formaliser les nombreuses collaborations internationales en profitant d'appels à projets européens et internationaux. Vu le nombre de collaborations pérennes entre des membres du CEDRIC et des chercheurs actifs aux Etats-Unis, nous espérons un renforcement des programmes d'appels conjoints entre la France ou l'Europe et les Etats-Unis.

Nous poursuivons l'effort d'amélioration de la sélectivité des lieux de publication, prenant mieux en compte les classements internationaux des journaux et des conférences.

2. L'augmentation du flux de doctorants et post-doctorants

Le CEDRIC continuera à s'impliquer fortement dans les Masters co-habilités, ainsi qu'à intervenir dans des Masters externes. Nous attendons une évolution favorable bien que progressive des recrutements de doctorants à partir de ces Masters. Nous poursuivons nos efforts pour faire accepter par le Cnam le principe de l'inscription en M1 avec statut d'étudiant, qui contribuerait à rapprocher du Cnam les étudiants inscrits dans des Masters co-habilités.

Le faible nombre de contrats doctoraux dévolus à l'EDITE ne nous permet pas d'espérer un renforcement significatif des financements de thèses par cette voie. Le CEDRIC cherchera à mieux exploiter les appels à propositions pour l'allocation de contrats doctoraux par l'IDEX Paris Novi Mundi Université afin de promouvoir des sujets situés aux interfaces disciplinaires.

Nous poursuivons le développement des activités contractuelles qui financent la plupart de nos doctorants et post-doctorants : projets (ANR, FUI, Union Européenne), CIFRE, contrats industriels, etc. L'amélioration progressive du support administratif devrait nous faciliter cette tâche.

Fort de ses relations académiques avec différents pays dont l'Algérie (accords de coopération), la Tunisie (accords de coopération), le Liban (membres associés, centre Cnam à Beyrouth), le Brésil (accord CAPES-COFECUB en cours, co-encadrements) et la Chine (co-tutelles en cours), le CEDRIC renforcera son recrutement de doctorants étrangers et les co-tutelles de thèses. Signalons également l'accord avec le Master *Entertainment Computing* de Carnegie-Mellon, qui a déjà permis le recrutement d'une doctorante au CEDRIC.

3. La consolidation des effectifs, la croissance interne et externe, la structuration des collaborations

Nous poursuivons nos efforts pour que, dans le prochain quadriennal, une convention faisant de l'ENSIIE une tutelle secondaire du CEDRIC soit signée par le Cnam et l'ENSIIE. Cela devrait avoir un impact positif sur le recrutement par l'ENSIIE d'enseignants-chercheurs ayant une activité au CEDRIC, ainsi que sur les ressources financières récurrentes du CEDRIC.

Le renouvellement progressif des équipes se poursuivra, dans un contexte de départs à la retraite relativement nombreux. D'ici 2018, au moins sept professeurs devraient être remplacés. Nous chercherons également à maintenir le flux de recrutements de MCF non HDR de ces dernières années, sur les postes rendus disponibles par des départs en promotion de MCF HDR et par des mutations avec mobilité géographique. Nous ne prévoyons pas, pour le moment, d'intégrer au CEDRIC d'autres équipes de recherche du Cnam, mais sommes prêts à examiner toute proposition qui amènerait de nouvelles synergies.

Dans le cadre des nouvelles structures fédératives et mécanismes thématiques de cadrage de la recherche mises en place par le programme « Investissements d'avenir », le Cnam a fait le choix de participer à la création du PRES Hautes Études - Sorbonne - Arts et Métiers (HESAM) et de l'IDEX Paris Novi Mundi Université (PNMU). Bien que le

PRES HESAM et l'IDEX PNMU soient plutôt centrés sur les sciences humaines et sociales, le CEDRIC a été très actif, avec d'autres laboratoires du PRES HESAM, dans le montage fructueux du LABEX « Création, Arts et Patrimoines » et dans les réponses à l'appel à propositions pour l'allocation de contrats doctoraux de l'IDEX PNMU.

Le CEDRIC soutient la volonté de l'équipe CPR de participer à la création d'une équipe commune avec l'INRIA, issue de l'action INRIA Deducteam. Nous examinerons d'autres opportunités pour constituer, dans nos thématiques, des équipes communes avec des EPST.

Le CEDRIC a des liens forts, au sein du PRES HESAM, avec le Centre de Recherche en Informatique (Univ. Paris 1), avec lequel l'équipe ISID du CEDRIC a mis en place un Master co-habilité, et des échanges avec le laboratoire Statistique, Analyse, Modélisation Multidisciplinaire (Paris 1). Le CEDRIC examinera les possibilités de renforcement et structuration de ces échanges et collaborations.

Par ailleurs, nous profiterons de toute nouvelle opportunité pour structurer nos collaborations traditionnelles avec des laboratoires franciliens (LIP6, LTCl, LRI, etc.) ou d'ailleurs. Dans le passé, de telles collaborations avaient été formalisées par la création de plusieurs PPF et d'une ERT.

4. L'amélioration des conditions de travail

Nous renouvellerons nos demandes de locaux, conjointement avec les départements concernés (INFO, EASY, IMATH), afin de réduire la dispersion géographique du laboratoire (ses membres sont présents actuellement dans 4 bâtiments du Cnam Paris et à l'ENSIIE à Evry), d'augmenter les capacités d'accueil (notamment pour les enseignants-chercheurs de l'ENSIIE membres du CEDRIC lorsqu'ils sont présents au Cnam, pour les nombreux stagiaires de Master recherche et pour une augmentation des effectifs de doctorants et post-doctorants) et de quitter certains locaux qui sont dans un mauvais état d'entretien.

L'évolution positive de l'encadrement administratif du CEDRIC (l'équipe est aujourd'hui constituée de 4 personnes par rapport à 2 en 2007 et 3 en 2010) ne doit pas cacher l'augmentation significative des besoins (conséquence d'une augmentation significative de l'activité contractuelle et de l'inclusion de LAETITIA), ni le fait que les qualifications ne sont pas toutes en adéquation avec les activités principales de l'administration d'un laboratoire de recherche. Nous chercherons à améliorer l'encadrement administratif par des demandes d'affectation et des formations, et à faire en sorte (entre autres, à travers notre présence forte dans les différentes instances du Cnam) que le Cnam simplifie les procédures liées aux activités de recherche lors de la création d'un service commun de la recherche. Enfin, nous chercherons à obtenir des ressources nous permettant de contribuer, en concertation avec la Direction de la recherche du Cnam et autres laboratoires de l'établissement, à la mise en place de systèmes d'information de laboratoires.

Equipe Systèmes Sûrs

Les travaux de l'équipe « Systèmes Sûrs » ont pour objectif le développement de systèmes à fort degré de confiance, i.e. des systèmes qui satisfont les propriétés attendues.

L'assurance est apportée par des techniques sémantiques et formelles différentes mais complémentaires mises en oeuvre dans les deux groupes de recherche. Les évolutions scientifiques propres à chacun de ces groupes sont détaillées ci-dessous. Néanmoins, dans la période future les deux groupes chercheront à collaborer et à proposer des travaux communs. Dans un premier temps, des séminaires communs seront organisés et une collaboration au travers de l'encadrement de stagiaires et de doctorants est envisagée, en particulier autour des sujets liés aux systèmes distribués et aux architectures logicielles.

GR Conception et Programmation Raisonnées (CPR)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

L'équipe CPR, durant cette période, s'est fédérée autour de 2 axes principaux, le développement de l'atelier Focalize et la certification d'outils ; ce dernier axe recouvre principalement la certification de preuves mécanisées et la certification de compilateurs. Dans la période future, nous chercherons à maintenir cet équilibre autour de Focalize et de la preuve d'outils et d'algorithmes avec une orientation vers la programmation distribuée. L'aspect lié au développement de techniques de preuve interactive et de déduction automatique sera fortement présent et transverse. La collaboration avec l'équipe INRIA Deducteam récemment créée favorise ce dernier point.

b. Caractérisation de la recherche

Les activités de l'équipe se placent aux confins de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée. Notre but ultime est de vérifier les « vrais » programmes et/ou de proposer des méthodes techniques et outils pour produire des logiciels sûrs en nous appuyant sur des techniques de preuve formelle essentiellement. Le challenge est de faire adopter plus amplement les méthodes formelles au niveau industriel, et ceci passe en particulier par un haut degré d'automatisation, mais aussi la production d'interfaces non seulement faciles à utiliser mais proches des habitudes des développeurs et de leurs processus de développement.

Nous tentons de déplacer les frontières de la connaissance en informatique (40%) afin de participer à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées, par l'élaboration de méthodes et de logiciels (40%) et de préparer des réponses directes à des enjeux sociaux et économiques en travaillant sur des applications diverses (20%), mais plus particulièrement les applications critiques.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe

Analyse

• Points forts

L'équipe CPR, durant cette période, s'est fédérée autour de 2 axes principaux, le développement de l'atelier Focalize et la certification d'outils ; ce dernier axe recouvre principalement la certification de preuves mécanisées et la certification de compilateurs. L'accent fort mis sur ces axes a été concrétisé, dans la période passée, par les recrutements respectifs de R. Rioboo, qui a fondé Focal avec T. Hardin, et de J. Forest qui avait fait un stage post-doctoral dans l'équipe dans le cadre du projet A3PAT. L'intégration de N. Lévy, professeur au Cnam a relancé le thème autour des composants en le réorientant vers l'étude des architectures logicielles pour les systèmes complexes. Le recrutement récent (1^{er} septembre 2012) de Tristan Crolard, comme professeur au Cnam comble le manque de professeur dans l'équipe CPR au sein du département d'informatique du Cnam. Il permet aussi d'anticiper le départ en retraite de V. Viguié Donzeau Gouge au cours de la période prochaine. Notons aussi nos interactions avec d'autres équipes du laboratoire, qui ont donné lieu au co-encadrement de 2 thèses (G. Levieux avec ILJ et B. Robillard avec OC), des publications communes et le montage du master SEMS.

Les membres de l'équipe CPR ont été et sont fortement impliqués dans des projets nationaux. L'équipe a une grande visibilité au plan national et aussi au plan international, de nombreux membres de l'équipe ayant des collaborations internationales, concrétisées par des publications ou des directions communes ou participations à des

comités de programme pour des conférences d'audience internationale. L'ouverture vers le monde industriel s'est concrétisé ces derniers temps par l'encadrement de plusieurs thèses CIFRE.

L'équipe s'est appuyée en particulier sur l'ENSIIE pour attirer des étudiants en thèse. Le public auquel nous nous adressons est généralement peu enclin à la poursuite en thèse une fois obtenu le diplôme d'ingénieur ou de master.

La visibilité de l'équipe est assurée en partie grâce aux modules et logiciels développés, ainsi que par leur intégration dans les plates-formes de nos partenaires.

- Points faibles

La bi-localisation de l'équipe sur les deux sites ENSIIE et Cnam a conduit à deux types de difficultés : d'une part elle a été un frein au niveau administratif pour la gestion des contrats, des missions etc. D'autre part, elle exige une grande mobilité d'un certain nombre de participants, qui travaillent en groupe sur l'un ou l'autre site, suivant les exigences horaires des enseignements.

On peut constater qu'au cours d'une grande partie de la période les deux professeurs de l'équipe (V. Vigié Donzeau Gouge étant en délégation depuis mai 2006) étaient tous deux à l'ENSIIE, le manque d'un professeur établi au Cnam se fait sentir, notamment en ce qui concerne l'implication dans les masters. Récemment cette situation s'est un peu améliorée avec l'intégration à l'équipe CPR de N. Lévy, professeur au Cnam. L'arrivée d'un nouveau professeur, T. Crolard, au 1^{er} septembre 2012, devrait régler le problème.

Un de nos points faibles est le manque de collaborations internationales formalisées. Mais des contacts avec la Norvège, l'Autriche et le Brésil devraient pouvoir donner lieu à des échanges ou des projets. Un projet Erasmus d'échanges avec la Norvège a été déposé au printemps 2012 sur le thème de la certification des solveurs de contraintes à domaines finis.

- Risques liés au contexte

Deux maîtres de conférence habilités vont très vraisemblablement quitter l'équipe au cours de la période suivante, et ce afin de prendre un poste de professeur. Ces deux départs pourraient nous amener à revoir partiellement nos objectifs. Mais ils devraient nous permettre également d'essayer et de poursuivre au travers de nouvelles collaborations.

L'équipe CPR, étant composée d'enseignants-chercheurs issus du Cnam et de l'ENSIIE, est tributaire de l'évolution des relations entre ces deux établissements, notamment en ce qui concerne la demande de sceau secondaire pour l'ENSIIE. Les futurs recrutements dans l'équipe en dépendent assez fortement.

- Opportunités

En janvier 2011, G. Dowek (INRIA) et C. Dubois ont rédigé une proposition d'équipe-projet commune sur le thème de la déduction modulo et de l'interopérabilité des preuves. Cette proposition a été remise à plus tard mais a donné lieu, au 1^{er} janvier 2012, à la création de l'action exploratoire Deducteam (<http://www.rocq.inria.fr/deducteam/>). Ce projet a fédéré les travaux autour de la démonstration automatique de G. Burel, D. Delahaye, C. Dubois et M. Jacquél. Au cours de l'année 2013, nous tenterons de proposer à nouveau un projet commun Cnam - INRIA.

Projet et objectifs scientifiques

Dans les 4 années à venir, l'objectif est non seulement de se maintenir sur les axes présents mais aussi en les faisant coopérer davantage. L'axe de coopération transverse aux différents axes est le développement et la coopération de techniques de déduction automatique sûres. Ici sûre suppose que les outils dédiés automatiques doivent être capables de fournir des éléments permettant de certifier la preuve qu'ils ont fournie (comme réalisée pour Cime3 traçant). Qui doit vérifier ces preuves ? Un assistant à la preuve offrant des garanties fortes. Deux bons candidats possibles sont Coq, car son noyau a été vérifié formellement et sa phase de vérification des preuves est simple (celle-ci se ramène à une vérification de types), et/ou Dedukti, un vérificateur de démonstrations basé sur la déduction modulo, car il est facile d'y vérifier des preuves provenant de différents prouveurs, en particulier venant de Coq, et car son noyau est très simple. Un autre point transverse aux 2 axes principaux de l'équipe est l'intégration du calcul dans les démonstrations. En effet, le calcul présenté sous forme de règles de réécriture doit vérifier certaines propriétés, les outils tels que Cime peuvent aider à la vérification de celles-ci. Un premier pas vers l'intégration du calcul dans le prouveur Zenon a été réalisé pour la théorie des ensembles de B, la poursuite des travaux concernera la généralisation de cette approche à toute théorie (qui présente les caractéristiques nécessaires - à déterminer). Zenon est aussi le prouveur de l'atelier Focalize, nous envisageons de lui adjoindre de manière similaire des aspects déduction modulo dédiés.

Tout aussi importante est la fourniture de moyens à l'utilisateur pour s'assurer que ce qu'il cherche à prouver est conforme aux exigences du cahier des charges. Il faut par exemple qu'il puisse tester la formule qu'il veut valider grâce à des outils de test et qu'il puisse éliminer des lemmes proposés par une méthode de recherche de preuves. Dans ce dernier cas, il lui faut comprendre pourquoi la formule n'est pas satisfaite. Une interface adéquate et efficace de preuve est bien entendu requise. Pour ce dernier point notre collaboration s'inscrit et s'inscrira dans la cadre du projet ANR ITP-Paral auquel CPR participe.

Enfin, notons que deux domaines d'application principaux guident nos travaux ces derniers temps et seront très présents lors de la période suivante, à savoir les obligations de preuve et règles de la méthode B et les algorithmes distribués.

Ci-dessous sont listées, axe par axe, les perspectives principales. Celles-ci n'intègrent pas les perspectives de travail de T. Crolard, tout nouvellement recruté, cependant T. Crolard est à la croisée des thèmes existants, permettant aisément encadrement et communication.

Axe 1. Développement de techniques de preuve et vérification de programmes/outils

Certification d'outils. Un solveur de contraintes sur les domaines finis vérifié formellement a été développé en utilisant Coq [CDG12]. Ce solveur ne traite que des contraintes binaires et ne prend pas en considération des contraintes globales comme la contrainte alldiff. Le traitement de ce type de contraintes demande de mettre en oeuvre des algorithmes spécifiques qui utilisent la théorie des graphes et l'optimisation combinatoire. Ce sujet permettra une nouvelle collaboration avec l'équipe OC et prolongera celle avec A. Gotlieb du laboratoire Certus (Oslo). Plus largement, nous comptons mettre en place un cadre de vérification des résultats issus de solveurs utilisant non seulement un solveur formellement vérifié (comme celui déjà développé) mais aussi une approche à base de certificats émis par des solveurs existants comme Sicstus Prolog.

Vérification de programmes : génération automatique d'invariants. Ce travail a débuté en fin de la période précédente dans le cadre d'une collaboration avec l'entreprise AdaCore. Une méthode classiquement utilisée pour prouver un programme consiste à générer des conditions de vérification. Si on peut les démontrer alors on a l'assurance que ce programme respecte sa spécification exprimée à l'aide de pré et postconditions. Cette technique demande d'annoter le programme, à certains endroits, avec des assertions, en particulier des invariants de boucle. Le travail concerne la génération automatique de ces invariants en utilisant des patrons de boucles très simples mais très fréquents, opérant sur des variables scalaires ou des tableaux. Plusieurs résultats de modularité et de maximalité locale pour les invariants ont été établis [ACM12]. Ces travaux seront poursuivis dans le cadre d'une collaboration industrielle formalisée et devrait aller jusqu'à la mise en oeuvre complète de la méthode sur des programmes Spark (ou issus d'un sous-ensemble de Spark). En particulier, les premiers travaux considèrent un langage intermédiaire d'affectations parallèles et gardées. L'étape suivante requiert de traduire les programmes Spark Ada (ou un sous-ensemble de ce langage) vers ce langage intermédiaire. Une perspective importante est aussi de déterminer un catalogue de patrons assez large, reflétant les programmes réels.

Preuve de programmes distribués. Les travaux concernés ici concernent la définition d'un cadre formel dédié à la preuve de correction de protocoles locaux distribués sur des réseaux dynamiques de capteurs et ont débuté dans le cadre du projet DIM Digiteo Pactole porté par X. Urbain. Jusqu'à présent la correction de tels systèmes était abordée au prix d'hypothèses très contraignantes (caractéristiques et statuts des nœuds inchangés au cours de l'exécution, etc.), hypothèses possiblement irréalistes dans les réseaux rencontrés en pratique et donc inadaptées. Nous souhaitons établir les preuves de correction de tels systèmes dans le cadre de modèles formels capables d'exprimer le comportement dynamique de réseaux sujets à de fréquents changements, avec le plus d'automatisation possible. Notre approche repose sur quatre tâches : la définition de techniques de preuve automatique adaptées aux algorithmes distribués, l'étude de preuves mécaniques (potentiellement automatisées) génériques pour certaines topologies de réseaux, la génération de conditions de vérification pour les systèmes tolérants aux pannes, la spécification et la conception de services fondamentaux pour les réseaux de capteurs mobiles. Les travaux actuels concernent la formalisation de preuves d'impossibilité dans le cadre de réseaux de robots mobiles, notamment des résultats publiés par Bouzid (TCS 411, 2010), l'automatisation de preuve de propriétés dans les modèles de calculs locaux (en collaboration avec des chercheurs du LRI et du LABRI). Les perspectives s'attachent en particulier aux points suivants :

- Définition d'un langage d'annotations adapté au cadre distribué, définition d'une sémantique à la Floyd-Hoare (la définition d'un cadre formel à l'ordre supérieur permettra de raisonner sur des classes entières d'algorithmes et donc d'établir des résultats d'impossibilité).

- Techniques et outils de preuve automatique dédiés. Les propriétés principales sont la terminaison sous différents aspects mais aussi la confluence (non spécifiques au distribué) ainsi que les propriétés du distribué : autostabilisation, vivacité, convergence ou rendez-vous de robots (cf. projet Pactole). A nouveau, les techniques développées devront pouvoir être certifiées dans un assistant à la preuve (en priorité Coq) à l'aide des développements formels de l'équipe.

Toujours dans ce même cadre, une collaboration entre Sempia et CPR est entamée autour de la preuve de propriétés dans un modèle formel pour la programmation réactive/synchrone. L'objectif est ici de produire une plate-forme certifiée de vérification de programmes utilisant ce langage.

Extraction de programmes à partir de spécifications inductives. Dans la période précédente un gros effort a été porté sur l'extraction de programmes fonctionnels ML à partir de spécifications inductives. Un plugin d'extraction a été développé pour Coq, il est distribué avec Coq depuis décembre 2011. En fin de période, avec la thèse de P.-N. Tollitte nous nous sommes intéressés à la production de ces programmes directement dans le formalisme des constructions inductives, plus particulièrement Coq. La difficulté est ici la terminaison des programmes : il est en effet impossible de produire une fonction Coq sans montrer sa terminaison. Nous avons proposé des solutions pour des fonctions structurellement récursives. Nous envisageons d'étendre le processus aux fonctions récursives générales. Un challenge important est également de pouvoir traiter des spécifications dont on veut extraire des fonctions qui ne terminent « naturellement » pas comme un interprète d'un langage avec boucle.

Déduction automatique et déduction modulo. L'arrivée de G. Burel en septembre 2010 a favorisé l'éclosion de ce thème au sein de l'équipe CPR et a permis de définir un ensemble de sujets de recherche communs à CPR et Deducteam, action INRIA dirigée par G. Dowek. La déduction modulo permet l'intégration du calcul dans les démonstrations pour les simplifier. Le lambda-Pi-calcul modulo (formalisme de représentation des preuves en déduction modulo) est un formalisme puissant qui permet d'encoder par exemple tous les calculs de la famille des Pure Type Systems (PTS), résultat prouvé par D. Cousineau et G. Dowek en 2007. Ces calculs sont à la base des assistants à la preuve comme Coq, PVS, HOL, Isabelle. On peut donc envisager le lambda-Pi-calcul modulo comme formalisme pour encoder les preuves provenant de ces assistants et ainsi fournir une certaine interopérabilité entre ces prouveurs. Ce dernier point est un des axes fondateurs de la collaboration CPR-Deducteam. Les points sur lesquels nous souhaitons nous engager sont les suivants :

- Intégration de la déduction modulo dans d'autres prouveurs, notamment ceux basés sur la superposition comme E ou SPASS, à l'heure actuelle les prouveurs automatiques généraux les plus avancés.
- Transformation automatique de théories en règles de réécriture et compilation de ces dernières (dans le cadre de la déduction modulo et de la superdéduction).
- En vue d'obtenir une interopérabilité des prouveurs via le lambda-Pi-calcul modulo, encodage d'autres formalismes comme celui de PVS - Coopération des prouveurs.
- En collaboration avec D. Doligez et O. Herman, introduction de la déduction modulo dans Zénon.
- Application à la théorie des ensembles, en particulier celle de la méthode B et à la preuve des obligations de preuve issues de B.

Un grand nombre de ces points font l'objet du projet ANR INS Bware accepté récemment, proposé et porté par D. Delahaye. L'objectif de ce projet est de fournir une plateforme de vérification intégrant différents outils de preuve notamment le solveur SMT Alt-Ergo développé au LRI (partenaire du projet) et des outils de preuve intégrant la déduction modulo. Cette plateforme sera connectée à l'Atelier B, outil développé par la société Clearisy (partenaire du projet) pour prouver les obligations de preuve issues de développements B, en particulier des obligations provenant des applications développées en B à Mitsubishi (partenaire du projet). Enfin, un aspect lié à la performance des outils sera développé par la société OcamlPro (partenaire du projet). Un effort particulier sera mis pour confronter les approches « déduction modulo » et « superdéduction » aux autres outils. Outre des évaluations expérimentales, notre objectif est aussi de participer aux différentes compétitions organisées en marge des conférences internationales.

Axe 2. Développement de l'atelier Focalize. Les perspectives autour de ce thème sont multiples et sans ordre de priorité nous envisageons de :

- revisiter les aspects sémantiques, notamment en utilisant une formalisation en lambda-Pi-calcul,
- automatiser les preuves en prenant en compte les théories présentes dans les développements, en déléguant leur recherche à des prouveurs spécialisés, basés sur la déduction modulo,
- en particulier, automatiser le plus possible les preuves de terminaison de fonctions, augmenter le pouvoir d'expression du langage de spécifications en permettant de décrire des aspects comportementaux ou un état interne modifiable,

- exploiter davantage la complémentarité du test et de la preuve,
- conforter Focalize comme outil pour les mathématiques effectives et la formalisation des politiques de sécurité.
- développer un nouveau *backend* basé sur le lambda-Pi modulo et Dédukti. Ce travail démarré dans le cadre de la délégation de C. Dubois au sein de l'action INRIA Deducteam demande en particulier l'étude des traits orientés objets de Focalize en lambda-Pi modulo et la traduction des preuves dans ce langage. Ce travail devra aussi permettre de voir comment faire interopérer, au sein de l'environnement Focalize, des preuves issues de Coq et des preuves issues de Zenon étendu à la déduction modulo (voir les perspectives de l'axe 1).

Axe 3. Mise en oeuvre d'approches formelles pour les architectures logicielles

- L'objectif est de poursuivre la réflexion sur les aides à la conception de systèmes complexes prenant en compte les problèmes de sûreté de fonctionnement et de réutilisation. Les approches visées doivent de plus intégrer l'utilisation de méthodes formelles et d'outils de preuve permettant de valider le résultat, en particulier ceux développés dans les axes 1 et 2. Une telle approche a été proposée dans le projet PRUSH, soumis à l'appel à projets ANR TecSan (avec l'Université de Versailles Saint Quentin) mais non accepté. Plusieurs pistes sont actuellement à l'étude.
- Utilisation de l'approche Ligne de Produits pour la réutilisation : contrairement aux approches actuelles qui considèrent en général la création *ex-nihilo* d'une nouvelle ligne de produits, nous proposons de développer une ligne de produits en partant de quelques produits existants et en exhibant des composants ou parties communs et/ou réutilisables. Notre démarche s'appuiera sur la définition de règles de transformation et d'abstraction des produits.
- Prise en compte de critères de qualité très tôt dans le processus de développement : ce travail en cours, mais qui va se poursuivre, se fait en collaboration avec l'équipe de F. Losavio de l'Université Centrale du Venezuela à Caracas. Selon le domaine d'application les critères à prendre en compte et les mesures applicables ne sont pas les mêmes. Nous sommes amenés à étudier et manipuler différents standards, que nous représentons à l'aide d'ontologies.

3. Mise en oeuvre du projet

La politique de l'équipe s'inscrit actuellement dans un regroupement autour de thèmes fédérateurs. Il est important que l'axe transverse se développe et vienne nourrir les autres thèmes.

Les membres de l'équipe ont tous été impliqués dans des projets nationaux, à des degrés divers (porteur national, porteur local par exemple). Il convient de continuer sur ce point. En particulier nous avons proposé un projet ANR autour de la vérification des obligations de preuve B à l'aide de multiples prouveurs. Pour cela des partenaires industriels ont été contactés, dont Clearsy qui développe l'Atelier B. L'utilisation de telles techniques pour vérifier les règles de preuve ajoutées dans l'Atelier B intéresse également Siemens (une thèse CIFRE qui a défloré le sujet est sur le point de s'achever). Le travail sur les invariants se fait avec la société Adacore, là encore nous cherchons à formaliser la collaboration. L'ouverture vers les industriels passe aussi par les thèses CIFRE, nous avons utilisé ce moyen au cours de la période écoulée et espérons pouvoir continuer ainsi.

L'équipe CPR se soucie de publier ses résultats dans des conférences ou des journaux de bons, voire très bons niveaux. Il est important aussi de faire concourir nos outils, dans les compétitions associées aux conférences, non seulement pour mesurer leur efficacité mais encore et surtout faire connaître nos techniques. Nous avons fait cet effort sur la période mais comptons le faire plus amplement prochainement (avec Zenon augmenté de capacités de superdéduction iProver modulo par exemple). D'autre part, nos développements sont mis à disposition et intégrés dans les plateformes de nos partenaires, ce qui nous assure une certaine visibilité.

GR Vérification et Evaluation de Systèmes Parallèles Asynchrones (VESPA)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

L'objectif scientifique de nos travaux de recherche a porté sur la spécification et la vérification formelle des systèmes concurrents asynchrones complexes tant sur le plan théorique qu'algorithmique.

Il existe de nombreux travaux universitaires poursuivant le même objectif, toutefois nos recherches sont conduites sous un angle spécifique, à savoir : tirer avantage de la structure et de la sémantique de vraie concurrence associées aux formalismes dérivés des réseaux de Petri, et ce de manière à appréhender des problèmes prioritaires rencontrés dans la conception de ces systèmes tels que la complexité exponentielle des espaces d'états et le manque de méthodes facilitant la vérification compositionnelle du raffinement et des propriétés.

b. Caractérisation de la recherche

Nous souhaitons approfondir nos travaux en maintenant la qualité de nos relations extérieures tout en développant une collaboration pérenne avec des équipes de notre laboratoire, et contribuer à la mise en pratique des méthodes formelles dans l'industrie.

Nos projets de recherche visent les objectifs suivants : (i) déplacer les frontières de la connaissance : 30% (maîtrise de la complexité de la vérification basée modèle, vérification compositionnelle et synthèse) ; (ii) participer à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées : 40% (systèmes orientés services, systèmes embarqués temps réel) ; (iii) préparer les réponses directes à des enjeux sociaux, économiques : 30% (sûreté et qualité de service des systèmes logiciels et matériels).

Les principaux destinataires des activités de notre équipe restent le monde de la recherche, les acteurs socio-économiques, la formation par la recherche.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe (env. 2 à 3 pages A4)

Analyse SWOT

• Points forts

Cohérence entre les travaux antérieurs et les perspectives de recherches tracées.

Collaborations extérieures fortes à dimension internationale.

Activité soutenue d'encadrement doctoral.

Disposition marquée à initier et développer des collaborations locales.

• Points faibles

Difficultés à répondre à des projets à forte composante industrielle en raison d'une insuffisance notable d'enseignants-chercheurs permanents (recrutement zéro depuis 2002).

Faible collaboration avec les autres équipes du CEDRIC.

• Opportunités

Améliorer la visibilité par le renforcement des collaborations internationales.

• Risques

Ne pas parvenir à une taille critique en termes de ressources humaines.

Ne pas pouvoir remplacer l'éventuel départ d'une maître de conférences habilitée.

Description du projet

Nous identifions les axes de recherche suivants :

A. Avancement de la théorie des réseaux de Petri centré sur les trois volets suivants :

- (1) Continuer à faire progresser nos travaux et résultats sur la théorie structurelle des réseaux de Petri (RdP). L'objet de cette théorie est d'identifier les relations entre les propriétés structurelles et les propriétés comportementales du modèle. Il s'agit d'une reconnaissance fondamentale du fait de son impact potentiel sur les techniques de vérification paramétrée et compositionnelle des systèmes communicants asynchrones. Nous comptons renforcer notre collaboration sur ce thème avec Jörg Desel de *FernUniversität Hagen*.
- (2) Développer des techniques de réduction de la redondance induite par la sémantique de l'entrelacement. Plus précisément, nous cherchons à approfondir le caractère structurel de la propriété de persistance dans les réseaux de Petri. Une collaboration est en cours de développement avec E. Best de *Universität Oldenburg*.
- (3) Affiner l'analyse des Réseaux de Petri temporels où la combinatoire induite par la sémantique d'entrelacement est aggravée par la prise en compte explicite du temps. Nous recherchons ici à mieux

préciser les conditions d'application des techniques d'ordre partiel sur ces réseaux et en particulier à mieux comprendre les conditions structurelles assurant l'indépendance des propriétés comportementales vis-à-vis des propriétés temporelles. Ces travaux sont menés en collaboration étroite avec H. Boucheneb de l'Ecole Polytechnique de Montréal.

B. Vérification, évaluation et optimisation de systèmes orientés services

Participation à l'effort de proposition d'approches formelles rigoureuses pour le développement d'applications complexes à base de services Web.

Le modèle (RECATNets) basé sur les réseaux de Petri algébriques et récurrents, que nous avons développé pour spécifier et vérifier la cohérence des processus métiers (workflows) flexibles et sous contraintes temporelles, sera l'ingrédient de base pour déceler les incompatibilités structurelles ou temporelles qui peuvent surgir dans une chorégraphie dans laquelle les services Web supportent des communications asynchrones.

Ce travail pourra servir à concevoir des mécanismes de génération de médiateurs et à la synthèse d'une composition de services paramétrée et compatible.

Une collaboration en cours avec H. Boucheneb de l'Ecole Polytechnique de Montréal et H.R Motahari Nezhad, de HP Labs, Palo Alto est appelée à être renforcée.

C. Spécification et vérification des architectures logicielles

Nous avons proposé un ADL doté d'une sémantique opérationnelle formelle basée sur la logique de réécriture et ses extensions, permettant et la distribution des calculs et la vérification de la correction d'une configuration d'une architecture via l'utilisation du *model checker* RT-Maude.

Nous travaillerons, dans le cadre de nos projets communs avec L'ENIT Tunis et l'Université de Constantine, à enrichir notre modèle par l'intégration de contraintes de QoS et de sécurité, et par le développement d'une approche de vérification hiérarchique et modulaire exploitant la construction par assemblage de composants configurables sous jacente à ces architectures.

Cette collaboration se veut résolument ouverte à nos collègues groupe CPR du CEDRIC.

D. Synthèse de superviseur pour les systèmes d'allocation de ressources

Les systèmes d'allocation de ressource (RAS) sont des systèmes à événement discrets qui peuvent être compris comme un ensemble de ressources en interaction allouées à la réalisation simultanée d'une somme d'activités. L'importance des phénomènes de synchronisation et surtout des conflits liés aux ressources partagées, rend difficile la maîtrise de leur pilotage en raison du risque d'occurrence de situations de blocage et de famine.

Notre récente coopération avec le groupe « Systems Control and Automation » de l'Université de Xidian (RP Chine) portera sur de nouvelles méthodes de synthèse de superviseur paramétré et modulaire, basées sur le formalisme des réseaux de Petri, qui soient les plus permissives à moindre coût, et tenant compte d'événements incontrôlables, d'incertitudes ou de défaillances.

Une collaboration à ce sujet est engagée avec des automaticiens de l'équipe LAETITIA du CEDRIC.

E. Analyse et optimisation de performances

Dans le cadre de nos coopérations avec SysCom de l'ENIT et Lamos de l'Université de Bejaia, nous continuerons à développer nos travaux d'évaluation de performances (modèles analytiques ou de simulation) basés sur la théorie des files d'attente et les réseaux de Petri stochastiques non markoviens.

Nos travaux seront essentiellement consacrés à l'évaluation de la vulnérabilité et de la résilience des réseaux de communication ainsi qu'à celle de la performance d'une nouvelle architecture de type bus applicatif fondée sur un procédé de traitement massivement parallèle.

3. Mise en œuvre du projet

Dans tous les domaines de recherche que nous avons ciblés, notre équipe bénéficie d'une expertise reconnue qui nous encourage à nous saisir ces challenges avec confiance. La recherche de complémentarité de compétences dans le choix de nos collaborations extérieures est un plus significatif pour l'accomplissement de nos objectifs.

Nous ambitionnons de renforcer notre visibilité en veillant à la qualité de diffusion de nos résultats.

- Adéquation des moyens humains et financiers de l'unité avec le projet

En soulignant notre capacité réelle d'encadrement doctoral, nous escomptons corriger notre déficit en terme de recrutement de jeunes chercheurs afin d'être en mesure d'engager des projets de recherche avec l'industrie.

- Politique d'animation de l'unité

Développement du groupe de recherche parisien Mefosyloma (ateliers, séminaires, conférences internationales).

Par ailleurs, le groupe finance régulièrement la participation de doctorants à des écoles d'été françaises et internationales.

Equipe Ingénierie des Systèmes d'Information et de Décision (ISID)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

Depuis sa création en 1998, l'équipe ISID a pour fil conducteur l'ingénierie des systèmes d'information dans leurs évolutions successives : les systèmes transactionnels, les systèmes décisionnels, les systèmes Web, les systèmes ambiants. L'ingénierie des systèmes d'information doit s'envisager dans une approche globale incluant tout le cycle de vie. Après avoir, dans les années antérieures, apporté des contributions sur chaque phase du cycle de vie de ces différents types de SI (conception, modélisation, intégration, évolution, rétro-conception, etc.), le savoir-faire a fait place au savoir-mieux-faire et l'équipe est devenue incontournable en France dans le domaine de la « qualité des systèmes d'information » au sens large, incluant l'évaluation, la sécurité et l'efficacité.

Depuis la dernière évaluation, un virage a été amorcé dans l'objectif de fédérer l'équipe autour du thème de la sémantique et la qualité des SID. L'équipe a développé une compétence forte dans ce domaine comme l'attestent les résultats décrits dans le bilan. Ces nouveaux acquis vont maintenant pouvoir être mis au service d'un nouveau projet articulé autour des problématiques récentes des Big Data et des Open Data qui possèdent des exigences supérieures et spécifiques tant en matière d'évaluation, de sécurité que d'efficacité des SID.

b. Caractérisation de la recherche

Comme nous l'avons indiqué dans le bilan, notre approche est ancrée dans une double perspective : une recherche théorique fondée sur le développement d'approches et de modèles et une recherche appliquée guidée par le souci de fournir, notamment aux utilisateurs, les prototypes et les outils leur garantissant un niveau de qualité de leurs SID. Cette fertilisation croisée entre ces deux approches de recherche nous a permis d'accroître notre visibilité académique notamment au niveau international. Elle nous a permis aussi d'améliorer notre ancrage dans le monde industriel, comme l'attestent les projets industriels traités pendant la période de référence. L'objectif du précédent projet était principalement de réaliser la convergence de l'ensemble de l'équipe autour du thème unificateur de la sémantique et la qualité des SID. **Nous pensons que cet objectif est acquis et qu'il convient de mettre nos compétences au service d'un thème novateur et important, celui des Big Data et des Open Data.**

Le traitement scientifique de ce thème requiert de lever des verrous notamment en ce qui concerne la protection, la restructuration, la publication, la qualité et la sémantique des données. Notre ambition est donc de participer au déplacement des frontières de la connaissance dans ce domaine. De manière indirecte, nous souhaitons aussi apporter des réponses aux demandes des détenteurs des Open Data pour les inciter à publier leurs données sous réserve qu'elles répondent aux normes de qualité et de sécurité souhaitées. Dans ce sens nous souhaitons apporter notre contribution aux enjeux sociaux, économiques et culturels que représentent ces outils de communication. A ce stade, nous envisageons aussi d'accompagner nos résultats par des développements de prototypes et d'applications. Un équilibre sera recherché entre le déplacement des frontières de la connaissance et les réponses aux enjeux sociaux et économiques, sans pour autant négliger le développement d'applications spécifiques.

Les principaux destinataires de nos activités de recherche sont, d'une part, les détenteurs des données (agences gouvernementales, organismes privés, etc.) et, d'autre part, ceux qui peuvent ou pourraient en bénéficier (utilisateurs, acteurs sociaux, etc.). Nous continuerons la voie empruntée dans le passé en nous assurant que notre recherche est caractérisée par une fertilisation croisée entre les aspects fondamentaux et les finalités industrielles. Rappelons que, pendant la période précédente, les résultats de nos recherches ont été appliqués dans plusieurs domaines : sciences humaines et sociales (projet Wiktionnaire), médecine (projet Rhéa, projet Selkis), politique urbaine (projet VIVA). Dans le domaine médical, notre recherche sur la sécurisation des systèmes d'information intéresse au premier niveau les DSI des hôpitaux soucieux de garantir la disponibilité, l'intégrité, la confidentialité et la traçabilité des données médicales. Dans le cadre de la réanimation, les destinataires sont des chercheurs ayant le besoin de colliger les nombreuses données recueillies au lit du malade, avec des méthodes reproductibles et objectives. Dans le domaine des sciences sociales et humaines (SHS), nos travaux sur la contextualisation de la sémantique et sur la prise en compte du multilinguisme devraient favoriser les échanges et le partage des connaissances entre chercheurs en SHS. Au niveau de la politique urbaine, notre cible est le décideur qui doit anticiper le concept de « *smart city* ». Nous avons également une activité de fédération de la recherche à destination de la communauté scientifique à travers la création et l'organisation de conférences.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe (env. 2 à 3 pages A4)

Analyse SWOT

• Points forts

Comme nous l'indiquions dans le bilan, notre équipe est organisée autour des compétences relatives aux fondamentaux des SID, à savoir la modélisation et le web sémantique, l'évaluation de la qualité incluant l'intégration des exigences de sécurité et l'indexation des données. Notre point fort est notre compétence reconnue pour apporter des réponses aux problématiques liées à la sémantique et à la qualité des SID.

Un autre point fort réside dans notre capacité à intégrer les préoccupations du monde industriel. Cela s'est traduit par des retombées rapides de nos résultats dans les entreprises. Ainsi, les deux principaux domaines de recherche amorcés sur la période, la qualité et la sécurité des systèmes d'information, répondent à un besoin croissant face aux masses complexes de données ambiantes.

Un troisième point fort de notre équipe est son implication au niveau international et sa reconnaissance en particulier à travers une présence dans de nombreux comités de programmes et comités éditoriaux.

Enfin, un dernier point fort réside dans la capacité de l'équipe à organiser un master dans ses thèmes de recherche et à développer des collaborations inter-équipes au sein du laboratoire, notamment :

- avec le groupe SEMPIA (co-encadrement d'un stage de master, collaboration commune avec le Musée des Arts et Métiers, participation à un projet industriel commun, réponses communes à appels d'offres),
- avec l'équipe Vertigo (co-encadrement de 2 thèses, participation à plusieurs projets de recherche et publications).

• Points faibles

Comme on peut le constater dans le bilan, notre équipe a été impliquée dans un bon nombre de projets pendant la période de référence. Toutefois on constate une diminution récente de financement par les projets. Notre point faible actuel est lié aux difficultés rencontrées pour concrétiser plusieurs soumissions de projets, bien que ceux-ci correspondent à de véritables besoins et que leur qualité scientifique n'ait pas été mise en doute.

Bien que le nombre de nos publications dans des revues internationales soit honorable (13 articles dont plusieurs de rang A), il nous semble qu'il existe une marge de progression dans ce domaine, notamment pour les publications de rang A+.

Enfin, la taille de l'équipe actuelle ne favorise pas le développement de projets européens.

• Opportunités

L'équipe ISID est un des précurseurs dans la modélisation de la qualité et de la sécurité des SID. L'intérêt de plus en plus marqué des grands groupes industriels pour ce thème est une opportunité pour amplifier nos compétences et notre présence, notamment au niveau international.

Le thème émergent des Big Data et des Open Data constitue une opportunité pour notre équipe. Une convergence devient possible entre les besoins des détenteurs de données et notre compétence à en renforcer la qualité et la sécurité.

L'appartenance du laboratoire au labex CAP est une opportunité pour l'équipe ISID qui s'y implique à travers l'initialisation de collaborations avec l'ENSAM, l'ENSCI et les musées participants. Le domaine de l'art est riche en problématiques pour les systèmes d'information et constitue un point de convergence entre les techniques de l'information et l'intelligence ambiante. La visibilité de l'équipe ISID sera renforcée au niveau international grâce à la politique d'exposition du labex.

Enfin, l'arrivée en septembre 2012 du MCF nouvellement recruté, Fayçal Hamdi, va renforcer le dynamisme de l'équipe et va en particulier accélérer les travaux de l'axe web sémantique.

• Risques

Le nombre extrêmement faible de bourses attribuées par l'école doctorale rend plus difficile le recrutement d'étudiants d'excellent niveau. Le risque associé est de ne pas pouvoir faire avancer de façon plus rapide les axes de l'équipe. Plus précisément, il est ardu de synchroniser la disponibilité d'un doctorant potentiel brillant et d'un financement.

A court ou moyen terme, l'habilitation de trois autres MCF et, plus tard un départ à la retraite, contraint l'équipe à anticiper un renouvellement partiel mais important des membres de l'équipe.

Description du projet

Les travaux de l'équipe s'orientent naturellement vers les problématiques des futurs systèmes d'information lesquels deviennent de plus en plus volumineux, complexes, ambiants et ouverts à tous. Ces problématiques sont associées à deux concepts phares que sont l'Open Data et le Big Data.

L'Open Data vise à démocratiser l'accès aux données en offrant au plus grand nombre d'individus un accès gratuit à des données dites publiques, ainsi que la possibilité de les utiliser. Ce concept connaît un intérêt croissant auprès de diverses communautés visant le développement d'applications et de services autour de ces données provenant de secteurs aussi variés que le transport, la santé, l'environnement ou l'éducation.

Le concept de Big Data fait référence, quant à lui, à des données très volumineuses, et pour lesquelles une représentation sous forme relationnelle est généralement inadaptée. Il peut s'agir par exemple de données recueillies par des capteurs de toutes sortes (données météorologiques, médicales, etc.), de données collectées à partir des réseaux sociaux, de vidéos, etc.

Les thèmes d'Open Data et de Big Data soulèvent, au niveau du système d'information, les verrous suivants :

- Le premier verrou concerne la protection des données. Les techniques actuelles de contrôle d'accès gèrent mal la protection des données sensibles.
- Le deuxième verrou est lié à la publication des données rendue difficile compte tenu du volume des données concernées.
- Le troisième verrou est lié à la restructuration des données, initialement formatées et stockées selon des besoins différents de ceux des utilisateurs situés dans un nouveau contexte.
- Le quatrième verrou concerne la qualité des données. L'exploitation des données ouvertes peut parfois s'avérer inefficace du fait de leur inadéquation avec les exigences de l'usage souhaité. D'une part, en l'absence de structures sous-jacentes, le contenu est hétérogène, difficile à comprendre et à exploiter. Il est important de pouvoir évaluer l'adéquation de ce contenu à l'usage souhaité. D'autre part, les données étant souvent « coupées » de leurs contextes de définition et d'usages initiaux, il est parfois difficile d'attester de leur fraîcheur, de leur fiabilité ou de leur complétude.
- Le cinquième verrou est lié à l'absence de sémantique des données provenant de sources hétérogènes. Dans le cas des Open Data, seulement une infime partie des données est actuellement représentée selon les standards du Web sémantique (LinkedData). Pour les Big Data, la représentation et la prise en compte de la sémantique sont des questions de recherche cruciales.

Ces verrous nous orientent, en ce qui concerne l'Open Data et du Big Data, vers les directions de recherche suivantes :

- l'enrichissement sémantique et contextualisation ;
- la qualité et la sécurité des données ;
- la restructuration et l'indexation.

Ces directions de recherche sont totalement en cohérence avec les thématiques de l'équipe (Web sémantique, qualité des SID, et modélisation multidimensionnelle).

Pour ce projet se dégagent, en particulier, les problématiques de recherche suivantes :

- le prétraitement des données en vue de gérer la diversité des vocabulaires qui peuvent parfois être conflictuels. Il s'agira d'enrichir sémantiquement ces données (utilisation du contexte de définition, collecte de méta données etc.) ;
- l'utilisation de techniques d'agrégation et de visualisation des résultats, l'adaptation des concepts d'OLAP et de l'analyse multidimensionnelle pour la prise en compte de nouveaux formats de données ;
- l'indexation des Big Data (bases de données NoSQL) ;
- la gestion de la qualité des données en développant des familles d'usage et des mesures adéquates permettant d'aligner des données aux familles d'usage. Il est donc nécessaire de caractériser précisément les problèmes de qualité liés à l'Open Data et au Big Data et d'associer, à ces problèmes, des méthodes d'évaluation adéquates ;
- le développement d'une méthodologie de brouillage permettant une diffusion en Open Data de données sensibles ;

- et enfin, le développement d'outils d'interrogation intégrant la qualité des requêtes formulées et celle de leurs résultats.

Vision de l'évolution à 4 et 8 ans

Plusieurs événements sont à considérer dans la définition de notre vision : d'une part, l'habilitation à très court terme de trois MCF supplémentaires impliquant un risque de départ, et d'autre part, le départ à la retraite du responsable de l'équipe dans quatre ans. Il est donc essentiel pour l'équipe d'envisager des recrutements et d'élargir l'ouverture internationale.

La taille de l'équipe et la spécificité de la thématique de recherche nécessitent un partenariat avec d'autres laboratoires et avec des industriels, notamment dans le cadre de projets ANR et européens.

Enfin, des compétences existent au sein de certaines équipes du laboratoire CEDRIC dont nous allons solliciter la collaboration.

3. Mise en œuvre du projet

• Adéquation des moyens humains et financiers de l'unité avec le projet

Rappelons que l'équipe ISID est actuellement composée de neuf membres (un MCF a rejoint l'équipe début septembre) et de huit doctorants. Le recrutement d'un nouveau MCF est prévu à la prochaine rentrée. La taille de l'équipe et son expertise devraient lui permettre d'aboutir très prochainement à des résultats. Deux demandes de financement de thèses ont été déposées (l'une auprès du gouvernement tunisien et l'autre auprès du PRES HESAM) en vue d'étoffer l'équipe. De plus, on envisage de recruter un post-doc, via une demande au Labex CAP.

En ce qui concerne l'aspect financier, nous disposons d'un financement issu de notre dernier projet de SCRAMBLING (brouillage de données) nous permettant de financer une partie du projet. Bien entendu nous continuerons, comme par le passé, à répondre à des appels d'offre de type ANR, industriel et européen.

Un accord bilatéral de collaboration est en cours de validation par le Cnam et l'Université de Campinas (Brésil) afin de faciliter les réponses à des projets et l'échange d'étudiants de master et de thèse sur ce projet. Nous envisageons notamment une réponse au projet européen FP7-ICT-2013-EU-Brazil.

• Politique d'animation de l'unité

L'équipe ISID se réunit annuellement afin de définir la politique scientifique. De plus, elle se réunit mensuellement pour exposer ses travaux de recherche en cours et discuter des perspectives de recherche et des orientations à prendre. Un site web est maintenu avec les informations principales de l'équipe alors qu'un intranet permet aux membres d'ISID d'échanger informations et documents. Des professeurs étrangers sont régulièrement invités à présenter leurs travaux devant les membres de l'équipe. Enfin, les doctorants et les stagiaires de master encadrés par les membres de l'équipe participent régulièrement aux séminaires mensuels.

• Analyse prospective à moyen et long terme des besoins et des compétences nécessaires aux mutations scientifiques et techniques identifiées, la politique de formation

La présence du groupe ISID dans un grand nombre de comités de programme, comités de rédaction de revues, ou présentations dans des colloques (sur sélections et sur invitations) permet à ses membres de se maintenir à jour sur les mutations scientifiques et techniques. Cette veille technologique est renforcée par une forte implication dans des projets bénéficiant d'un contexte industriel marqué.

Conscients de l'évolution de notre discipline, nous avons créé un Master dont nous venons de réactualiser le programme et dont un des buts est de former une nouvelle génération de doctorants.

Nos doctorants sont financés pour assister à des cours ainsi qu'à des conférences et colloques.

• Politique de construction de partenariats

Nous souhaitons renforcer les collaborations établies avec l'équipe Vertigo qui se sont déjà traduites par la participation commune à trois projets ANR et plusieurs publications.

Nous avons démarré et nous allons amplifier la relation avec le groupe SEMpIA. Un encadrement de Master 2 et un projet sur le web sémantique ont déjà eu lieu, facilitant ainsi une réponse à des appels d'offres plus ambitieux.

La collaboration avec des membres du Labex CAP a déjà été initiée et est appelée à se développer.

Nous avons également un fort partenariat que nous souhaitons poursuivre avec deux universités anglaises (Salford et Cardiff) dans la perspective notamment de soumettre des projets européens.

En augmentant l'accueil de chercheurs invités par le groupe ISID, nous espérons également renforcer les collaborations internationales sur notre projet.

Les nombreux contacts industriels nous ont permis jusqu'à présent de financer plusieurs thèses CIFRE et de monter différents projets. Nous souhaitons continuer cette politique en prospectant de nouvelles collaborations industrielles sur notre projet de recherche. Nous avons également établi différentes co-tutelles avec des universités du Maghreb, que nous entendons poursuivre. Enfin, au niveau de l'enseignement et de la formation, nous comptons renforcer nos collaborations avec d'autres universités, au-delà de celle qui existe avec l'université de Paris I pour le master SID.

- La capacité de l'unité à valoriser ses travaux de recherche

Notre activité de recherche sur le brouillage des données dans le projet SCRAMBLING a donné lieu à un développement industriel repris par la société INSO.

Le logiciel développé dans le cadre du projet RNTS Rhéa est utilisé depuis cinq ans dans une trentaine d'hôpitaux et est actuellement en cours de portage sur une plate-forme Java.

Le développement réalisé dans le cadre de la bourse CIFRE avec la CAF est partiellement opérationnel.

Un dépôt de brevet est prévu en 2013 sur la prothèse de mémoire développée dans le cadre du projet VIVA.

Equipe Laboratoire en Electronique, Télécommunications et Automatique (LAETITIA)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

L'équipe LAETITIA est issue de la fusion de plusieurs équipes de recherche en électronique du Cnam. Ces équipes, dirigées il y a une dizaine d'années par les professeurs Maurice Bellanger (Electronique et Communications), Bernard Fino (Radiocommunications) et Han Vu-Thien (Signaux et Systèmes), se sont d'abord regroupées sous la forme d'une équipe d'accueil autonome (EA4133), puis cette équipe s'est intégrée au CEDRIC en janvier 2011 pour en devenir une des composantes.

Cette année, à l'occasion de la nouvelle évaluation par l'AERES, plusieurs enseignants chercheurs en automatique du Cnam, qui étaient associés à des équipes extérieures ou qui n'avaient plus d'équipe d'accueil, ont choisi de rejoindre l'équipe LAETITIA. L'équipe LAETITIA présentée dans ce document devrait, à terme (horizon 4 ans), comporter une vingtaine de membres.

b. Caractérisation de la recherche

L'équipe LAETITIA est principalement spécialisée dans le domaine du traitement du signal pour les télécommunications. Elle possède aussi des fortes compétences dans le domaine du traitement des flux vidéo et dans le domaine du prototypage des solutions algorithmiques sur des cibles matérielles de type DSP et FPGA. Comme précisé au paragraphe précédent, un sous-groupe d'enseignants chercheurs en automatique a apporté une nouvelle compétence en fiabilité des systèmes à l'équipe.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe

Analyse SWOT

• Points forts

Le principal point fort de l'équipe vient de ses relations privilégiées avec le monde industriel. Cette particularité est liée aux caractéristiques du Cnam où la plupart des enseignants-chercheurs ont, préalablement à l'enseignement supérieur, passé une première partie de leur carrière dans l'industrie. Ces liens avec les industriels et les opérateurs du domaine des télécommunications permettent à l'équipe d'avoir, en permanence, plusieurs projets collaboratifs en cours.

L'équipe comporte actuellement 16 membres, cette taille lui permet de mobiliser des ressources importantes pour animer un séminaire interne, participer à des projets, ou, comme très récemment, prendre totalement en charge l'organisation d'un important congrès international (conférence ISWCS 2012).

• Points faibles

Comme pour chaque équipe du Cnam, le point faible principal provient du fait que le Cnam est à la fois un établissement d'enseignement supérieur et un établissement de formation professionnelle continue. Si le public de la formation professionnelle conforte le lien avec l'industrie, évoqué précédemment comme un point fort, il n'est malheureusement que rarement intéressé par la poursuite vers des études doctorales. Dans le domaine de l'électronique et de l'automatique, le Cnam n'a donc que très peu d'élèves en formation initiale sous statuts étudiants. Le recrutement de thésards reste ainsi un problème difficile.

Le Cnam a aussi la particularité d'être un établissement en réseau. Les enseignants doivent donc, lorsqu'ils sont responsables d'une unité d'enseignement (et c'est le cas de tous les enseignants chercheurs de l'équipe), contrôler et animer le déploiement de cette unité dans tous le réseau du Cnam (c'est à dire dans tous les centres régionaux et étrangers). Ce travail est très intéressant, mais demande un investissement en temps important.

• Opportunités

L'équipe LAETITIA présentée dans ce document comporte 16 membres. Ceci lui permet d'avoir une taille conséquente pour pouvoir développer plusieurs projets en parallèle. L'équipe est de plus clairement spécialisée et reconnue dans le domaine du traitement du signal pour les systèmes de télécommunications. Elle a, depuis longtemps, une compétence établie en traitement d'antenne ainsi que dans le domaine des formes d'onde à base de bancs de filtres (*Filter Bank*

MultiCarrier, FBMC). Cette expertise dans le domaine des bancs de filtres a permis à l'équipe de coordonner le projet européen PHYDYAS (FP7 *call* 4) et d'être actuellement impliquée, de manière très active, dans un nouveau projet européen du FP7 *call* 8, intitulé EMPHATIC.

L'intégration d'un groupe de chercheurs en automatique au sein de l'équipe représente une opportunité importante pour rapprocher deux disciplines (électronique et automatique) qui abordent fréquemment des problèmes assez similaires avec des outils différents dans leurs formalisations, mais finalement très proches dans leurs principes.

- Risques

La spécialisation de l'équipe dans le domaine des communications numériques pour les futurs systèmes de radiocommunications sans fil rend les activités de l'équipe relativement sensibles à l'évolution de ce secteur économique. Or, depuis plusieurs années, le poids de l'industrie et de la recherche française dans ce domaine est en régression. Plusieurs grands centres de recherche (Centre National d'Etude en Télécommunications, CNET), ont été transformés et ont aujourd'hui une activité plus réduite. Les grands industriels du secteur des télécommunications civiles se sont regroupés (fusion Alcatel-Lucent) et sont aujourd'hui fortement concurrencés par des industries nouvelles. A cet égard, le cas le plus marquant est celui des sociétés chinoises Huawei (fondée en 1988) et ZTE (fondée en 1985), qui sont aujourd'hui les concurrents les plus dangereux de la société Alcatel-Lucent. Les activités en communications militaires (Thalès, EADS) restent à des niveaux conséquents mais connaîtront sans doute des réductions, compte tenu des économies budgétaires que doit conduire l'Etat.

Description du projet

Les grands défis des systèmes de télécommunications sans fil pour les 4 années à venir devraient principalement concerner : la résistance aux pannes, la consommation d'énergie et la réduction de la fracture numérique.

La résistance aux pannes est un sujet très sensible actuellement. On peut citer à cet égard l'exemple de la panne qui a touché le réseau Orange début juillet 2012 (mais on pourrait aussi citer les pannes de Telefonica en 2012, de RIM en 2011, de ATT en 2011...). Cette interruption, finalement courte (moins de 12 h) du réseau, était liée à un dysfonctionnement au niveau de la base de données centrale (*Home Location Registry*, HLR), du réseau mobile Orange. Cette panne a mis en exergue le fait que l'architecture très centralisée du GSM, n'est sans doute plus tout à fait adaptée à l'évolution du trafic de données sur le réseau sans fil. La réflexion sur les évolutions des architectures des réseaux radio est un sujet de recherche important mais un peu éloigné des domaines de compétences de l'équipe LAETITIA. Ce sujet devrait néanmoins être un thème de collaboration entre LAETITIA et les autres équipes du CEDRIC, plus impliquées dans des travaux liés aux réseaux.

La consommation d'énergie est un autre sujet important pour les réseaux sans fil. La consommation énergétique des dizaines de milliers de stations de base d'un réseau et des millions de terminaux est très conséquente. Mettre au point des réseaux à base de *femto cells* avec des puissances d'émission très faibles, tant pour le mobile que pour la station de base est un défi important des années à venir. L'équipe LAETITIA, par ses travaux sur les mécanismes de relaying, sur les allocations de puissance, ou enfin sur les formes d'ondes mono-porteuse (SC-FDMA), peut contribuer, de manière significative, à cette thématique de recherche.

La réduction de la fracture numérique a pour but d'assurer un débit radio important en tous points du territoire. Pour arriver à cet objectif il est nécessaire d'optimiser au mieux l'utilisation du spectre radioélectrique et de choisir la meilleure solution radio. On rejoint ici le concept de « radio cognitive » qui a été abordé dans le projet PHYDYAS et concrétisé à travers plusieurs thèses de doctorat conduites dans l'équipe LAETITIA (cf. thèses de Nicolas Paul et Hajian Zhang, par exemple). La radio cognitive implique généralement de disposer d'une forme d'onde à spectre compact et pouvant s'insérer, sans synchronisation temporelle, de manière opportuniste, dans des bandes libres du spectre. Ces bandes libres pouvant typiquement être des bandes TV laissées libres par la migration vers la télévision numérique terrestre (TV *White Space*, TVWS). Depuis plusieurs années, l'équipe s'est focalisée sur de telles formes d'onde et a proposé des solutions à base d'OFDM filtré de type *Filter Bank MultiCarrier* (FBMC) (cf. thèse de Yahia Medjahdi, par exemple).

Le projet principal de l'équipe, pour les 4 années à venir, consistera donc :

- à poursuivre les travaux sur les formes d'ondes post-OFDM pour la 5^{ème} génération de téléphonie mobile. Le projet européen EMPHATIC sera l'élément fédérateur principal de ces travaux.
- à participer à des expérimentations en grandeur nature, l'équipe a ainsi soumis un projet européen (TRIOMPH, FP7 *Call* 8) avec British Télécom, la BBC, le groupe Philips et d'autres partenaires afin de conduire de telles expérimentations. Le projet n'a malheureusement pas été retenu mais sera resoumis sous une autre forme (sans doute à l'occasion du FP8 de la Commission Européenne).

- à développer des solutions de démodulations aveugles pour s'affranchir des éléments de référence des formes d'onde (pilotes, symboles de références, ...).
- à valider des solutions algorithmiques pour implémenter facilement des récepteurs FMBC sur des cibles DSP et FPGA (cf. la thèse actuelle de Rabah Maoudj).
- à poursuivre des travaux d'allocations de ressources pour des systèmes à bases de relais.
- à prendre en compte les problèmes de consommation électrique des chaînes d'émission (en incluant le traitement des non linéarités).
- à poursuivre des travaux sur l'annulation des interférences pour anticiper la densification des réseaux d'accès radio.
- à poursuivre des travaux sur la localisation (techniques de goniométrie), pour des applications militaires ou civiles, comme le traitement des appels d'urgence.

Le projet d'intégration d'un groupe d'enseignants-chercheurs en automatique consistera à développer une activité de recherche sur les systèmes « sûrs ». Ce groupe de chercheurs apportera à l'équipe LAETITIA la capacité de mener des réflexions sur les formalisations communes, en traitement du signal et en automatique, sur les systèmes bouclés. Ceci aura pour intérêt de proposer de nouvelles approches sur plusieurs thématiques « télécom », comme par exemple les systèmes à boucle de retour (*feedback*, cf. thèse de Mme Hajer par exemple).

Vision de l'évolution à 4 et 8 ans

Depuis l'intégration des différentes équipes d'électronique du Cnam, l'équipe LAETITIA poursuit une stratégie de regroupement des enseignants chercheurs du Cnam sur une thématique de recherche liée aux systèmes de communications sans fil.

Sur une période allant de 4 à 8 ans, l'équipe devrait continuer à croître (recrutement de nouveaux MCF et PU) et devrait pouvoir être organisée autour de 3 sous-groupes de recherche. Un sous-groupe spécialisé sur l'implémentation des solutions algorithmiques sur cibles matérielles (avec une spécialisation sur les FPGA incluant des cœurs DSP). Un sous-groupe spécialisé en communications numériques, avec une spécialisation sur les systèmes à base de multiporteuses filtrées. Un sous-groupe spécialisé en automatique avec une spécialisation sur les systèmes sûrs à commandes robustes.

Le quatrième volet potentiel de recherche en électronique, lié aux composants électroniques haute fréquence, restera localisé au sein de « l'équipe sœur » ESYCOM (équipe mixte Cnam - UPE - ESIEE - Télécom Sud-Paris). L'équipe LAETITIA a formalisé sa relation privilégiée avec cette équipe à travers la participation au GIS DIAMON. Les travaux avec cette équipe concernent la modélisation des canaux de propagation dans de nouvelles bandes de fréquences (typiquement supérieures à 60 GHz).

3. Mise en œuvre du projet

• Adéquation des moyens humains et financiers de l'unité avec le projet

L'équipe LAETITIA comporte 17 membres et le recrutement d'un nouveau MCF est prévu pour l'année 2013. En 2014 ou 2015, il devrait être possible (si le volume d'heures d'enseignement à assurer au Cnam ne décroît pas) de recruter un MCF et un PU. Les moyens humains de l'équipe sont en accord avec ses objectifs, à l'exception de la perte d'un poste d'IGR cette année au Cnam, pour des besoins de redéploiement d'emplois.

L'établissement apporte, dans la mesure de ses moyens, un support concret aux activités de l'équipe. Les bourses de thèses peuvent être obtenues, soit via l'école doctorale EDITE, soit via le PRES HESAM. Cependant, la majorité des financements provient encore des contrats de recherche européens. Cette particularité du financement de l'équipe la rend assez dépendante des thématiques retenues soit par l'ANR, soit par la commission européenne.

Politique d'animation de l'unité

L'animation de l'équipe LAETITIA reste classique pour une unité de ce type. Un séminaire est organisé avec des interventions des chercheurs de l'équipe ou de chercheurs extérieurs. L'équipe prend en charge très régulièrement l'organisation de journées d'études ou de colloques internationaux. L'année 2012 fut, à cet égard, assez prolifique avec l'organisation de journées d'étude de l'URSI, l'accueil d'un colloque de l'ANFR (groupe SE43 de la CEPT) et surtout l'organisation de la conférence ISWCS2012.

- Analyse prospective à moyen et long terme des besoins et des compétences nécessaires aux mutations scientifiques et techniques identifiées, la politique de formation

L'aspect « implémentation » sur cibles matérielles a toujours été présent dans les activités de recherche en électronique au Cnam. L'équipe dispose de compétences établies sur ce sujet. Cependant le volet publication dans ce domaine n'est pas à la hauteur des travaux réalisés dans le laboratoire. Il faudra donc, dans la période à venir, améliorer cette capacité à diffuser et à formaliser les résultats des réalisations matérielles effectuées. Ceci demandera la mise en place d'une méthodologie de mesure et de comparaisons des performances des solutions implémentées.

Dans le domaine de l'automatique, le démarrage d'un groupe de recherche actif demandera aussi, de renforcer certaines compétences et surtout de relancer une dynamique d'accueil d'étudiants de master et de thésards.

- Politique de construction de partenariats

Au sein du CEDRIC nous poursuivrons les collaborations avec les équipes travaillant sur :

- les réseaux de télécommunications (MIM-SEMplA),
- les algorithmes d'optimisation combinatoire (OC),
- les méthodes statistiques d'analyse de données (MSDMA).

A l'extérieur du CEDRIC, le cas de la collaboration, via le GIS DIAMON, avec l'équipe ESYCOM et le groupe Thalès a déjà été évoquée. Des liens particuliers avec des établissements d'enseignement supérieur et de recherche en Tunisie et au Brésil sont aussi très actifs.

- La capacité de l'unité à valoriser ses travaux de recherche

Les travaux de l'équipe sont valorisés à travers les publications classiques : revues à comité de lecture, conférences, livres, brevets, ...

Equipe Media Interaction et Mobilité (MIM)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

L'équipe MIM a été créée en 2007 par restructuration de l'équipe Réseau Système et Multimédia. Elle est composée de deux groupes de recherche : Interactivité pour Lire et Jouer (ILJ) et SEMPIA (Système Embarqué et Mobiles pour l'Intelligence Ambiante). Les deux groupes ont en commun l'étude de concepts, d'architectures et d'outils pour les systèmes ayant une forte composante interactive avec, en général, une architecture très répartie relevant des systèmes ubiquitaires et l'intelligence ambiante. Les domaines d'applications communs sont les jeux, les systèmes muséaux et l'accessibilité. Ceci s'est traduit, par exemple, dans les projets PLUG et ARTSENSE. ILJ est centré sur les dispositifs et modalités d'interaction et les méthodes et outils d'écriture et de production de contenus. SEMPIA est centré sur les concepts et outils pour l'architecture système. Durant la dernière période, les deux groupes ont vécu une évolution importante de leurs personnels.

La recherche de MIM est au cœur de ce qui est communément appelé « la vie numérique » et à un degré moindre le « transmedia ». Des jeux ubiquitaires et pervasifs à la ville intelligente en passant par les technologies pour la formation et la diffusion du savoir scientifique et culturel, les deux groupes ont porté, durant la dernière période, des travaux et des projets dont l'application porte sur tous ces aspects de la « vie numérique ». Notons que MIM et le CEDRIC ont largement participé à l'élaboration du projet d'IRT « Vie numérique » de Cap Digital, qui n'a pas été retenu par le ministère mais reste un acte porteur du pôle. Nous pensons que ce domaine d'application motive et structure l'équipe, mais en nous concentrant sur les axes qui sont ceux des deux groupes : interaction et contenu pour Lire et Jouer, architecture et technologie des systèmes embarqués (enfous ou mobiles) pour SEMPIA.

b. Caractérisation de la recherche

Les recherches menées dans l'équipe MIM sont en général directement appliquées dans les domaines précités. La pluridisciplinarité d'une partie des travaux situe également l'implication socio économique de nos travaux. On peut tenter de caractériser cet aspect par la répartition suivante :

- Déplacer les frontières de la connaissance : 10% (relation entre les outils et l'écriture media par exemple, modèle de l'interacteur et du joueur).
- Participer à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées : 50% (architecture des systèmes enfous et mobiles appliqués aux jeux ubiquitaires et services, *game design* des jeux vidéo et des jeux sérieux).
- Préparer les réponses directes à des enjeux sociaux, économiques ou culturels : 40% (systèmes ubiquitaires pour la culture (musée, tourisme), système d'aide au handicap, jeux pour l'orientation professionnelle, écriture artistique).

Les principaux destinataires des activités de l'équipe sont par ordre de priorité décroissante :

1. Les acteurs socio-économiques et culturels (via en particulier les contrats de recherche collaboratifs).
2. Le monde de la recherche (en particulier dans le cadre des collaborations développées).
3. Les étudiants (la recherche est liée et participe à la création de nombreuses formations : Masters DDOMEN, JVMI, SEMS, Mastère IDE, Diplôme d'ingénieur par apprentissage Science et technologie de Media Numérique en création).
4. Les citoyens (via l'implication dans la vie numérique).
5. L'unité de recherche elle-même.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe

Analyse SWOT

Points forts

Le point le plus fort est le dynamisme et la variété des compétences allant des aspects théoriques à une connaissance précise des applications. Citons également un intérêt commun pour l'expérimentation de la recherche dans des domaines d'application ciblés, les travaux en cours sur le musée intelligent et les promenades dans les villes virtuelles et réelles sont des exemples significatifs. Une des causes et également une des conséquences de ces points est une forte intégration de l'équipe dans le monde de la recherche industrielle, qui se caractérise par les nombreux projets

de recherche collaborative dans lesquels l'équipe est impliquée. Le travail de recherche est très complémentaire des domaines d'enseignements : les masters SEMS, JVMI, DDOMEN, le Mastère IDE et, l'an prochain, le diplôme d'ingénieur STMN facilitent à la fois le recrutement permettant d'avoir des profils recherche et enseignement cohérents et autorisent de développement dans le cadre des stages. Suivant les recommandation de la dernière évaluation, l'équipe a développé une ouverture accrue à l'international : projet européen ARTSENSE, travail dans le cadre du projet Alma, signatures de conventions de coopération à Montréal avec la SAT/UdM (suite de l'invitation du professeur Luc Courchesne), thèse en cotutelle avec l'université de Flynders en Australie, invitation d'enseignants au SRI Coopération avec CMU...

Points faibles

L'équipe mène une recherche appliquée et expérimentale qui nécessite des moyens relativement importants. Elle est surtout dépendante des financements hors ministère pour les thèses. Ceci entraîne une dépendance financière des contrats de recherche collaborative et par voie de conséquence une difficulté à cadrer strictement les thématiques de recherche. Comme tout le laboratoire, MIM souffre du poids des contraintes administratives et du sous-encadrement en personnel de gestion, mais la dépendance des contrats accroît la charge administrative portée par les chercheurs de l'équipe.

Nous avons de nombreuses collaborations informelles avec des structures de recherche française (U. Paris 8, U. Paris 6, U. La Rochelle, Lutin) mais elles manquent de structure et de formalisation. Nous avons commencé à travailler dans ce sens d'une part dans le cadre du PRES HESAM et de la création du Labex « Création, Art, Patrimoine », et d'autre part sur des projets de co-habilitation de diplômes avec le LIP6 et l'Institut de la Vision.

MIM souffre d'un certain déséquilibre de répartition des profils : nous manquons d'enseignants-chercheurs de rang A dans ILJ et peut-être de rang B dans SempIA, un travail sur les recrutements futurs doit être fait.

Risques liés au contexte

En conséquence de l'analyse précédente, le risque principal qui guette l'équipe MIM est de « perdre son âme ». Cette perte peut prendre deux formes. L'une est la perte de la notion d'axes de recherche et de la continuité des travaux au delà des contrats et des applications qui les motivent. L'autre est le risque d'une scission de l'équipe en une équipe « contenu » et une équipe « architecture », le ciment constitué par les domaines d'application perdant de son efficacité. Ce dernier risque est accru par le départ à la retraite de Stéphane Natkin dans les quatre à cinq ans.

Poids grandissant des tâches administratives.

Possibilités liées au contexte

De nombreux projets sont en cours de maturation :

- En 2014, l'ENJMIN disposera de nouveaux locaux (2500 m²) et d'une plate-forme d'accueil de projets de recherche.
- La restructuration de l'Université de la Méditerranée a retardé l'avancement du projet d'école et de plate-forme sur Marseille mais il est toujours d'actualité.
- Dans le cadre des appels d'offres transverses au Cnam, MIM et plusieurs laboratoires de l'école management et société ont proposés un ambitieux projet fédérateur portant sur le développement d'un simulateur de ville et de formation à la décision.
- L'intégration de la chaire Handicap à l'équipe n'a pu se faire dans le cadre de la période, mais nous avons développé plusieurs activités dans ce champ. Grâce au recrutement de Jérôme Dupire, nous nous sommes positionnés comme co-organisateur du congrès Handicap 2012 et organisateur du concours jeux pour le handicap. Nos relations avec l'équipe de Paris 8 qui porte ce domaine se sont confortées. Un nouveau recrutement de professeur Cnam, sur le profil handicap et dépendance, peut également nous aider dans ce déploiement.
- Le diplôme d'ingénieur STMN ouvrira en 2013 sur Angoulême puis ensuite sur Paris.
- Il est envisagé d'ouvrir la co-habilitation de DDOMEN au LIP6 dans le cadre d'une collaboration recherche portant sur la vie numérique.
- Enfin, de nouvelles collaborations sont en cours de maturation (UPMC, ENSCI, Gobelins, Université de la Méditerranée, SRI, SAT, Université de Montréal, *Carnegie Mellon University*, *San José State University*).

Description du projet

Notre projet à court et moyen termes est centré sur trois points :

1. Maintenir et « conceptualiser » les axes de recherche : la vision de l'utilisateur et la vision de l'architecte. La vision de l'utilisateur est portée par la nature des applications grand public (lire et jouer...), les dispositifs et d'une interaction située, le modèle de l'utilisateur et l'environnement de conception correspondant. La vision de l'architecte propose des combinaisons de technologies pour satisfaire les besoins applicatifs. Ceci va, dans le cadre de SEMPIA, des caractéristiques des protocoles et supports de communication à la satisfaction des besoins fonctionnels comme la sécurité et les performances. Nous identifions nos deux axes à l'intergiciel en se basant sur les réseaux mobiles et sans fil. Les perspectives recherche sont à la fois la continuité et l'innovation, en particulier, les nouvelles applications mobiles de l'informatique ubiquitaire.
2. Tout en se faisant porter par la vague « vie numérique ». Ceci nous conduit développer des recherches ayant comme domaines d'application ceux dans lesquels nous sommes déjà investis :
 - le musée et, plus généralement le tourisme ubiquitaire,
 - le transmedia et la ville intelligente,
 - le handicap et la dépendance,
 - les jeux sérieux,
 - les architectures de déploiement de ces applications sur les mobiles,
 - les propriétés non fonctionnelles (confiance, qualité de services) nécessaire pour le déploiement des applications dans des environnements embarqués et mobiles.
3. Améliorer les coopérations formalisées avec d'autres structures de recherche de façon à amplifier et à rendre plus visible notre capacité à nous investir dans une recherche multidisciplinaire.

A long terme l'objectif de MIM est de se positionner comme l'équipe « vie numérique » la plus à même de conjuguer les aspects architecture, contenu, domaine d'application et collaboration trans-disciplinaire (du technologique aux sciences humaines). Cet objectif est devenu plus significatif avec l'opérationnalité du PRES HESAM.

3. Mise en œuvre du projet

Le Cnam et en particulier le CEDRIC a anticipé depuis plus de dix ans la place que prendrait la communication numérique dans notre vie quotidienne. Des exemples comme la création de l'ENJMIN, du laboratoire DICEN, de l'équipe MIM, des diplômés IDE et DDOMEN, la participation à la création et à l'activité de Cap Digital, l'exposition Museogame en sont les preuves. Cette implication dans la vie numérique et la connaissance du domaine ne fait que croître. L'équipe MIM s'est positionnée d'emblée comme un contributeur au croisée de trois domaines : les architectures pour les systèmes ambiants, les interfaces et les usages. Elle a su se positionner dans des projets où cette confluence était indispensable et développer des collaborations avec les structures de recherche complémentaires à une recherche transdisciplinaire de qualité.

Pour maintenir cette capacité nous nous appuyons d'une part sur la volonté politique du Cnam de développer des projets transverses (appel d'offre de la direction), des collaborations qui sont en train de s'établir dans le PRES HESAM, des collaborations qui se sont nouées au travers de projets de recherche (équipe d'IA du LIP6, équipe handicap de Paris 8, Lutin) ou la création de diplômés (Ecole de Gobelins, ENSCI). Nous nous appuyons également sur les projets internationaux en cours en particulier concernant la SAT et l'UDM à Montréal, le SRI et l'équipe d'*Entertainment Computing* de CMU. Notre implication dans le TC14 de l'IFIP (organisation d'ICEC, montage de groupes sur le handicap) est également un moyen de collaboration et de rayonnement.

Un effort de plus dans une politique de publications, peut être moins nombreuses mais plus ciblées, est sans doute nécessaire pour améliorer notre notoriété. Ceci fait partie d'un effort général de « conceptualisation » de nos axes de recherche.

Durant la prochaine période nous allons créer plusieurs formations et des environnements qui seront le cœur de notre formation par la recherche : diplôme d'ingénieur, amélioration et repositionnement des partenariats des Masters et du Master IDE, plate forme d'accueil de projet à Angoulême, Marseille et Paris (en particulier dans le cadre d'une structure de support aux projets des étudiants basée sur la fondation Abbé Grégoire).

L'équipe dispose des compétences dans les principaux domaines nécessaires dans la mesure où nous nous appuyons sur des partenariats dans les disciplines hors de l'informatique (électronique à une extrémité de la chaîne, psychologie et sociologie des usages à l'autre). Un rééquilibrage des postes en rang A et B devra être étudié et le remplacement de Stéphane Natkin anticipé.

Equipe Méthodes Statistiques de Data Mining et Apprentissage (MSDMA)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

La période écoulée s'est caractérisée par la transformation de l'axe « Estimation non paramétrique, génomique » en « Biostatistique », la création de l'axe « Risque » et la mise en sommeil de l'axe « Nouvelles technologies pour l'enseignement de la statistique » à la suite de la nomination de deux professeurs en 2010 et respectivement 2011. A noter qu'aucun recrutement n'avait eu lieu depuis 2005.

L'objectif de l'équipe s'inscrit toujours dans la problématique de la fouille de données massives.

« *Traitement de données par des méthodes statistiques et informatiques. Le concept fédérateur est celui du « data mining », discipline qui a émergé ces dernières années à la frontière de la statistique, de l'intelligence artificielle et des bases de données et se propose de découvrir des relations, des structures dans des données préexistantes. La théorie de l'apprentissage lui donne ses fondements conceptuels : on distingue traditionnellement apprentissage supervisé ou non supervisé* ». Les modèles proviennent ici des données et non d'*a priori*.

Les publications ont été guidées plus par le développement d'éléments méthodologiques que par des nécessités industrielles, comme le recommandait en conclusion le rapport de l'AERES : « Prendre son histoire en main pour faire émerger des thèmes forts en se laissant moins diriger par les contrats industriels ». Une autre recommandation de l'AERES, faire collaborer les points de vue « analyse de données » et « réseaux de neurones », a été suivie d'effet avec le démarrage de la thèse de Mory Ouattara codirigée par F. Badran et N. Niang sur la mise en place d'une méthode de classification multicritère.

La prochaine période devrait se caractériser par une orientation vers l'analyse et le traitement des *Big Data*, en particulier dans le domaine de la santé (avec des applications à l'assurance), des phénomènes critiques liés à des structures en réseau (finance, énergie), mais sans abandonner ce qui a fait la réputation de l'équipe en analyse des données multidimensionnelles (réduction de dimension, méthodes *sparse* et multiblocs), réseaux de neurones et méthodes robustes pour la qualité.

b. Caractérisation de la recherche

Par nature, les thématiques émergentes en statistique appliquée sont le plus souvent issues de problématiques posées par des disciplines connexes.

Même si on ne peut parler de recherche fondamentale, comme ce serait le cas en statistique mathématique ou en calcul des probabilités, nos recherches font évoluer la connaissance en apportant des réponses méthodologiques nouvelles à des problèmes concrets. De façon grossière les activités de l'équipe se répartissent comme suit :

Déplacer les frontières de la connaissance : 50%

Participer à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées : 25%

Préparer les réponses directes à des enjeux sociaux, économiques ou culturels : 25%

Principaux destinataires des activités de l'équipe : le monde de la recherche ; les acteurs socio-économiques et culturels ; les pouvoirs publics.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe

Analyse SWOT

• Points forts

Renouvellement de l'équipe : commencé en 2010 avec l'arrivée du professeur M. Béra, puis en 2011 avec celle du professeur A. Latouche, elle s'est poursuivie par le recrutement pour septembre 2012 d'une MCF en modélisation statistique du risque (E. Di Bernardino) et se poursuivra en 2013 par le recrutement d'un MCF en fouille de données.

Un élément très positif est la possibilité de mobiliser les membres extérieurs de l'équipe : des anciens doctorants Pour la plupart qui continuent à publier sous le signe du CEDRIC L'équipe dispose d'une bonne notoriété nationale et internationale avec un réseau de correspondants et jouit d'une insertion forte dans les sociétés savantes (Société Française de Biométrie, Société Française de Statistique, Institut International de Statistique).

Il existe également une bonne complémentarité des profils des membres pour des projets de recherche pluridisciplinaires avec d'autres entités Cnam et hors Cnam.

- Points faibles

Collaboration avec les autres équipes du CEDRIC encore insuffisante, en contraste avec les collaborations hors CEDRIC. Activité de publication inégale entre les membres de l'équipe. Absence d'HDR pour les MCF anciens.

- Risques liés au contexte

Difficultés d'avoir à sa disposition les bases de données nécessaires en raison de politiques strictes de confidentialité pour des données sensibles.

- Opportunités liées au contexte

Demande forte des pouvoirs publics et d'opérateurs privés (assurances, mutuelles, fournisseurs d'énergie) d'analyser leurs masses de données pour détecter des situations à risque ou inattendues.

Projet

Le renouvellement de l'équipe permet d'envisager un développement fort des axes « Biostatistique » et « Risque » avec des interactions entre eux concernant l'exploitation des grandes bases de données de santé. Les axes « Modélisation par réseaux de neurones à partir de données empiriques », qui ne comporte plus qu'un seul membre produisant, et « Analyse des données multidimensionnelles » qui interagissaient dans la période précédente seront sans doute amenés à se regrouper en un axe « Méthodologie en fouille de données », tandis que l'axe « Contrôle de qualité multivarié, robustesse, détection de rupture, valeurs aberrantes » poursuivra sur son créneau spécifique peu représenté en France.

Les grandes lignes selon les axes principaux sont alors les suivants :

« Méthodologie en fouille de données »

Devant l'afflux de données qui continuera sa croissance vertigineuse, les méthodologies de réduction de dimension seront toujours plus nécessaires. Les techniques de sélection de variables, de régularisation, les méthodes « *sparse* » seront au cœur des recherches. L'expérience accumulée au cours de la période précédente permettra de continuer à travailler avec des généticiens et bioinformaticiens.

Dans de nombreux problèmes les données sont partitionnées naturellement en blocs. Nous poursuivrons les méthodes d'analyse multiblocs déjà développées dans l'équipe en ayant en vue de grands nombres de blocs comme en génétique où les gènes correspondent à des groupes de variables comme les SNP, d'où le développement de méthodes de type « *group-sparse* ». On comparera également l'analyse en composantes simultanées avec les méthodes STATIS.

La prise en compte de relations structurelles entre blocs (graphes de liaisons ou de causalité) sera explorée. Parmi les projets en cours qui continueront leur développement on peut citer l'analyse des déterminants du stress au travail en collaboration avec la chaire d'Hygiène et Sécurité et l'EA 4628 (Modélisation et surveillance des risques pour la sécurité sanitaire).

Lorsque l'on dispose d'un très grand nombre de variables, un risque est de trouver des modèles instables ou non-pertinents. Nous continuerons nos travaux sur les épreuves de validité non-paramétriques.

N. Niang poursuivra le travail de thèse de M. Ouattara sur la recherche de consensus entre plusieurs partitions pour l'étendre à des partitions avec contraintes de contiguïté.

En collaboration avec l'équipe MMSA du laboratoire LOCEAN de l'UPMC dans le cadre de projets avec l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) ainsi qu'avec le laboratoire de traitement de l'information de l'Ecole Supérieure Polytechnique - de l'Université Cheikh Anta Diop au Sénégal, nous nous intéresserons aux problèmes de multicolinéarité dans l'analyse des données environnementales.

Deux projets de thèse dirigées par G.Saporta sont en cours de finalisation portant tous deux sur la détermination de schémas causaux (e.g. réseaux bayésiens) : le premier pour définir des leviers d'action sur des variables de réponse en présence de multicolinéarité (applications en marketing et sciences sociales) et le second en cotutelle avec un établissement tunisien sur la capacité des graphes de causalité à représenter les relations entre variables.

« Biostatistique »

Le thème principal sera la modélisations et l'analyse des données longitudinales.

L'analyse de l'Echantillon Démographique Permanent (EDP) constituera, pour le prochain quadriennal, le support majeur pour les développements méthodologiques relatifs à l'analyse des trajectoires socioprofessionnelles et leur impact sur les mortalités spécifiques à une cause (cancer, maladie cardiovasculaire). L'échantillon démographique permanent est le premier panel sociodémographique de grande taille mis en place en France (900 000 Français suivis depuis 1967). Ce projet est réalisé en collaboration avec l'équipe du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès. Deux financements de 3 années ont été obtenus (Institut National du Cancer et L'Institut de Recherche en Santé Publique) et permettront notamment de financer une thèse (début en octobre 2012).

Le second projet est pluridisciplinaire et concerne l'analyse de données de tests cognitifs réalisé par un dispositif expérimental inédit (Joel Fagot, Laboratoire de psychologie cognitive UMR6146). Nous disposons de données enregistrées en temps réel retraçant l'ensemble des tests cognitifs d'une fratrie de 30 babouins. L'analyse de ces données répétées massives soulève des problèmes de classification et d'inférence du fait des sources de corrélation (individuelles et spatiales) d'un échantillon de taille modeste.

Un projet d'application des méthodes de classification au domaine de la pharmacovigilance sera développé en collaboration d'une part avec les membres du laboratoire GBA (EA4627 Génomique Bioinformatique et Applications) du Cnam et d'autre part N. Niang et A. Latouche de l'équipe MSDMA.

« Risque »

Cet axe a pour but de mettre en place des méthodes statistiques de modélisation des risques, en approche souvent pluridisciplinaire.

Le thème majeur de recherche en matière financière et assurantielle est défini comme suit pour les années qui viennent : prolonger l'esprit de statisticien de la recherche, en partant des données et une réflexion inférentielle pour calibrer des réponses en matières de risques ; s'appuyer sur la montée en puissance des volumes de données disponibles (que l'on appelle désormais Big Data) et des outils statistiques nouveaux (par ex. *stream learning*) permettant de construire par apprentissage et inférence des modèles robustes satisfaisants des risques (par ex. analyse des graphes de connectivité inter-agents économiques).

Une seconde piste majeure a été dégagée depuis les cours donnés en 2011-2012 dans le cadre du Mastère Spécialisé de Santé Publique Cnam - Pasteur : adapter et tester les méthodes de statistiques financières et assurantielles en contrôle des risques sur ces nouvelles sortes de données massives que sont les données de la santé publique (bases de données de médicaments et d'actes hospitaliers) et de la recherche médicale (génomique, environnementome, bactériome, etc.), qui viennent s'ajouter désormais aux outils de la médecine classique pour améliorer les modèles de soins. M. Béra s'est rapproché pour ce faire de l'APHP / Centre Cochrane français et de la CNAM, qui mène une réflexion de nouvelle mesure des risques (par ex. le Mediator) à partir de données jamais encore « data minées » en ce sens.

Un troisième et dernier volet, qui se veut plus pluridisciplinaire qu'opportuniste, provient des relations amicales qu'entretient la chaire de modélisation statistique du risque avec d'autres départements du Cnam et avec le monde académique extérieur, tant de SITI que de MS : l'industrie électrique avec EDF et les problèmes de *smart grids*, les problèmes de tempêtes extrêmes en hydrologie, les problèmes de calibration de dangerosité en environnement. C'est également dans ce cadre pluridisciplinaire que l'on projette de construire une information grand public (troisième mission du Cnam) sous forme de conférences sur les risques induits par les catastrophes extrêmes, dont le « temps de retour » (pour l'une d'entre elles, toutes catégories confondues) est de l'ordre de 4 ans depuis 500 ans : éruptions de volcans, tremblements de terre, éruptions solaires, épidémies majeures, etc. A court terme une conférence sur les risques de tempête solaire majeure et son impact sur le monde numérique actuel est prévue.

L'arrivée d'Elena di Bernardino, spécialiste des valeurs extrêmes et des risques liés (copulas) comme maître de conférences, permet d'envisager sereinement ces développements.

« Contrôle qualité, robustesse »

Dans les prochaines années, L. Jaupi poursuivra ses travaux en analyse multidimensionnelle des données (classiques et robustes) et les plans d'expériences et leurs applications pour la mise en œuvre de procédures robustes pour rechercher, hiérarchiser et optimiser les paramètres critiques d'un processus complexes, ainsi que des travaux de recherche collaborative, sur l'utilisation des méthodes robustes en télédétection, traitement d'image et leur utilisation pour la maîtrise d'un processus complexe. Les objectifs scientifiques et technologiques principaux consisteront à la création d'un cadre de travail innovant pour la conception, le développement, la production et l'assurance de la qualité des produits complexes, sans risque et disponibles à des prix abordables.

N. Niang poursuivra ses travaux sur les méthodes multiblocs appliquées à des fabrications par lots, ainsi qu'à l'exploitation de données de pollution.

3. Mise en œuvre du projet

L'équipe répondra également à des sollicitations internes et externes au Cnam, par le montage de contrats CIFRE et la réponse à des appels d'offre rentrant dans son domaine de compétence, mais sans rechercher systématiquement des financements : la pénurie de statisticiens pouvant facilement déboucher sur des demandes de développement plus que de recherches. Parmi les projets porteurs internes au Cnam mentionnons les travaux avec la chaire « techniques ferroviaires » sur la régularité des trains, ainsi que des potentialités avec la chaire industrielle en sciences nucléaires qui se constitue actuellement.

Sur le plan de la diffusion, outre les vecteurs classiques (revues à comité de lecture, colloques), l'accent sera mis sur le développement de packages R pour assurer une large diffusion dans la communauté scientifique.

La notoriété passe également par l'organisation de manifestations scientifiques : l'équipe a déjà été sollicitée pour organiser en 2014 la conférence internationale sur les méthodes PLS. Des événements ponctuels seront également organisés en partenariat avec les établissements du PRES HESAM, mais pas exclusivement.

La mixité 26-27 de l'équipe MSDMA qui en faisait une de ses originalités doit persister et le poste de MCF en fouille de données qui sera publié pour la rentrée 2013 aura un double profil statistique et informatique.

Deux MCF passeront leur HDR pendant le prochain contrat selon toute probabilité.

Le réseau international de l'équipe sera bien sûr mis à profit avec des invitations pour un mois ou deux par an de collègues étrangers et l'accueil de post-docs (si les ressources financières le permettent).

Equipe Optimisation Combinatoire (OC)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

Evolution de l'effectif : durant la période écoulée Frédéric Roupin est parti pour un poste de Professeur à l'Université Paris 13, Amélie Lambert a été recrutée comme MCF, Marie-Christine Costa est partie en détachement pour l'ENSTA, tout en restant dans l'équipe, et Sourour Elloumi a obtenu une mutation du Cnam vers l'ENSIIE. L'effectif est donc resté constant mais il augmentera à la rentrée 2012 par le recrutement d'un maître de conférences (Cédric Bentz, avant MCF à Paris-Sud) qui renforcera l'axe « Graphes et Optimisation ». Pour la prochaine période, il est prévu un changement important par le départ à la retraite de deux seniors, dont le responsable actuel de l'équipe. Nous avons demandé la publication d'un poste de Professeur des Universités au Cnam pour la rentrée 2013, dans l'axe « Programmation mathématique et applications ». Cette demande a été appuyée par le CEDRIC. L'équipe est également concernée par le départ en 2013 du Professeur du Cnam dans la spécialité Recherche Opérationnelle. Le Professeur actuel ne fait pas partie du laboratoire mais nous demandons que son remplaçant soit intégré à l'équipe afin de la renforcer. Cela assurerait également une reconnaissance de la discipline au sein du Cnam et permettrait de développer davantage les collaborations industrielles.

Les travaux de recherche de l'équipe se répartissent en deux axes : « Programmation mathématique et applications » et « Graphes et optimisation ». Ces deux axes, qui ont des thèmes communs, seront conservés à moyen terme tout en développant des travaux, déjà commencés, sur des sujets émergents de l'optimisation combinatoire comme, par exemple, l'optimisation en présence d'incertitudes, l'optimisation des réseaux de télécommunications modernes et l'application de l'optimisation combinatoire au développement durable. Sur la période écoulée, l'équipe a continué à avoir une activité scientifique importante notamment en termes de publications dans les bonnes revues de la discipline.

Pendant la période écoulée, l'équipe a largement contribué aux responsabilités collectives : direction du CEDRIC (jusqu'en 2009) et de la Formation Doctorale, direction des relations internationales à l'ENSIIE, responsabilités pédagogiques, participation à différents conseils. Ses interactions avec l'environnement social, économique et culturel ont été importantes notamment en développant des activités de recherche à destination des entreprises (France Télécom-Orange, SNCF) et également par sa participation à de nombreuses expertises. Elle s'est également fortement impliquée dans la formation à et par la recherche notamment par la mise en place du Master Parisien de Recherche Opérationnelle (MPRO). Ce master devrait fortement aider à augmenter le flux de doctorants de l'équipe.

b. Caractérisation de la recherche

• Activités de l'équipe

L'Optimisation Combinatoire est une discipline à la frontière de l'informatique et des mathématiques. Nos travaux de recherche visent à utiliser des outils mathématiques et algorithmiques afin d'améliorer le calcul de solutions (par l'ordinateur) de problèmes d'optimisation discrète. Ces problèmes permettent de modéliser de très nombreuses situations, par exemple dans l'économie, l'industrie ou le développement durable. Nous tentons donc de déplacer les frontières de la connaissance en mathématiques et informatique (60%) afin de participer à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées, par l'élaboration de méthodes et de logiciels (15%) et de préparer des réponses directes à des enjeux sociaux et économiques en travaillant sur des applications diverses (25%).

• Principaux destinataires des activités de l'équipe

L'Optimisation Combinatoire est une discipline transverse qui peut s'adresser à de nombreux organismes publics ou privés (transports, télécommunications, énergie, santé, industrie manufacturière, etc.). Nous avons actuellement des collaborations avec de grandes entreprises comme France Télécom Orange et la SNCF et nous nous intéressons à des thèmes de société comme la protection de la biodiversité et les énergies renouvelables. Notre activité de recherche s'adresse également au monde académique : aux chercheurs à travers les questions scientifiques auxquelles nous essayons de répondre, aux étudiants en participant activement à la formation à et par la recherche et à notre unité de recherche notamment par des collaborations inter-équipes.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe

2.1 Analyse SWOT

• Points forts

Grande cohésion de l'équipe : OC est une véritable équipe de recherche avec de nombreux travaux communs à plusieurs de ses membres (pas toujours les mêmes). Encadrement soutenu des doctorants et stagiaires qui sont totalement intégrés à l'équipe.

Les thématiques sont bien identifiées sur deux axes : « programmation mathématique et applications » et « graphes et optimisation ». Plusieurs résultats significatifs ont été obtenus dans les deux axes générant une production scientifique importante en termes de publications notamment dans les revues internationales de la discipline. La forte expertise de l'équipe est reconnue dans le milieu académique (invitations, conférences, séminaires, expertises) et dans le milieu industriel.

Globalement, l'équipe OC maîtrise la plupart des domaines importants de l'optimisation combinatoire : optimisation linéaire et non linéaire en nombres entiers, graphes, complexité des algorithmes et des problèmes, méthodes polyédriques, programmation semi-définie, ce qui lui permet d'être efficace sur un large spectre et en particulier dans des domaines émergents. De fortes compétences en informatique et un environnement étudiant riche lui ont permis de réaliser plusieurs logiciels et ainsi de mieux diffuser ses résultats théoriques.

Tous les membres de l'équipe participent à la formation à et par la recherche. Ils assurent plusieurs cours de niveau M2 (Cnam, ENSIIE, ENSTA). Ils ont été actifs dans le parcours RO du Master MOCS avant de s'investir dans le montage du MPRO puis dans son fonctionnement.

L'équipe OC a de nombreuses collaborations nationales et internationales. Elle mène des travaux de recherche transverses avec 2 autres équipes du CEDRIC (CPR et LAETITIA).

L'implication de ses membres dans 3 établissements offre à l'équipe l'opportunité de profiter de l'environnement de chacun de ces établissements (étudiants, contacts extérieurs, financements).

• Points faibles

Plusieurs projets ANR ont été soumis sur la période. Ces soumissions ont demandé un investissement humain très lourd mais un seul projet a été accepté.

Le fait que le laboratoire ne soit pas soutenu par des organismes nationaux comme le CNRS ou l'INRIA nous semble pénalisant.

L'éparpillement géographique et l'implication administrative et pédagogique dans 3 établissements entraînent une diminution du temps consacré à la recherche.

Le recrutement de doctorants compétents et motivé a été un peu difficile.

• Risques liés au contexte

Incertitude sur le remplacement (en termes de poste) de membres quittant l'équipe.

Difficultés rencontrées par 2 MCF HDR pour obtenir un poste de professeur. Cela peut être source de démotivation pour eux et pour les collègues plus jeunes (pas de HDR sur la période).

Déménagement de l'ENSTA-ParisTech à Saclay. Les inconvénients liés à l'éparpillement géographique pourraient l'emporter sur les avantages.

• Opportunités liées au contexte

Le MPRO a démarré en 2011-2012 avec environ 25 étudiants venant en majorité des établissements partenaires. Ce master devrait fortement aider à augmenter le flux de doctorants. Actuellement, 6 stagiaires de ce master font leur stage dans l'équipe.

Recrutement de Cédric Bentz (MCF) qui devrait renforcer significativement l'axe « Graphes et Optimisation ».

L'implication dans le nouveau Programme Gaspard Monge pour l'Optimisation et le partenariat de l'ENSIIE avec l'Institut Mines-Télécom pourraient générer des contacts fructueux et de nouveaux financements, en particulier de doctorants et post-doctorants.

Le marché de l'emploi en optimisation est dynamique. Les jeunes diplômés de l'équipe trouvent rapidement du travail soit dans le milieu académique soit dans le milieu industriel grâce à leur double compétence RO-Informatique.

L'intégration de l'équipe LAETITIA au CEDRIC a favorisé une collaboration très prometteuse avec cette équipe.

2.2 Projet Scientifique

Nous présentons notre projet selon les thèmes abordés par l'équipe. Le thème « Multiflots et multicoups », très présent au cours de la période précédente dans l'axe « Graphes et optimisation », n'apparaît plus. Certains thèmes seront poursuivis, de nouveaux thèmes ont émergé.

Thème « Optimisation non linéaire en nombres entiers »

Un des objectifs est de continuer à progresser dans la résolution des problèmes d'optimisation quadratique. Ce modèle étant très général, tout progrès obtenu dans sa résolution aurait des retombées importantes dans de nombreux domaines. Pour parvenir à résoudre des problèmes de grande taille, des verrous scientifiques sont à lever, ce qui concentre l'intérêt de plusieurs équipes de chercheurs à travers le monde. Nous avons récemment obtenu de très bons résultats qui ont abouti à un ensemble de méthodes adaptées à chaque grand type de problèmes. Dans le cas le plus général, nous avons développé l'approche QCR et ses extensions ainsi que la plateforme logicielle SMIQP. Nous avons beaucoup de perspectives d'amélioration et de nombreux champs d'application sont à explorer dans les prochaines années comme, par exemple, certains problèmes d'ordonnancement. Une perspective à court terme est l'extension au cas où l'aspect quadratique est présent à la fois dans la fonction économique et dans les contraintes, ce qui correspond à un modèle encore plus général.

Thème « Optimisation robuste »

L'un des nouveaux enjeux de l'optimisation combinatoire est la prise en compte de l'incertitude des données et l'adaptation rapide des solutions en fonction d'une information dynamique. Nous étudions actuellement cette approche pour la planification de l'utilisation des engins à la SNCF, le dimensionnement d'un parc hybride de production d'électricité et le design de réseaux optiques de télécommunications. Il s'agit de déterminer des solutions « robustes » c'est-à-dire des solutions qui se comportent bien dans toutes les situations susceptibles de se produire. Les collaborations avec France Télécom Orange et la SNCF se poursuivront. Concernant l'optimisation d'un parc de production d'énergie, des contacts ont été pris avec EDF et un projet vient d'être sélectionné par le PGMO (Programme Gaspard Monge pour l'Optimisation). Selon les applications, les modèles et les résolutions de programme robuste sont assez différents et de nombreux chercheurs travaillent sur ce sujet. Nous voudrions généraliser les démarches que nous avons suivies et les adapter pour résoudre de grandes classes de problèmes de robustesse en PLNE.

Thème « Optimisation et développement durable »

Un travail a été initié dans le domaine de l'optimisation combinatoire appliquée au développement durable (énergies renouvelables et protection de la biodiversité). Il existe de nombreux problèmes pertinents à la frontière de ces deux disciplines. Il s'agit d'un sujet d'actualité (voir, par exemple, la création d'une chaire « Microsoft-CNRS Optimisation et développement durable » à l'Ecole Polytechnique). On s'intéressera à des phénomènes sur lesquels l'homme peut agir en prenant les « meilleures » décisions possibles. Dans ce contexte, l'optimisation des ressources et des processus, domaine de prédilection de l'optimisation combinatoire, revêt un aspect fondamental. Nous avons déjà obtenu certains résultats montrant l'intérêt des méthodes d'optimisation appliquées à ce domaine. Un enseignement a été créé sur le sujet dans le Master Parisien de Recherche Opérationnelle (MPRO). Les collaborations avec d'autres équipes et également avec les décideurs du domaine sont à mettre en place.

Thème « Localisation discrète »

Il s'agit d'un des plus vastes champs d'application de l'Optimisation Combinatoire. Nous projetons de poursuivre des travaux engagés sur ce thème avec une étude théorique et appliquée des structures duales de la nouvelle formulation pour le problème de localisation p-median afin d'en déduire des algorithmes de résolution heuristique ou exacte plus performants. Par ailleurs, nous tenterons de généraliser des approches de résolution hybrides basées sur la méthode de génération de colonnes à d'autres problèmes de grande taille qui se prêtent à une décomposition de type Dantzig-Wolfe.

Thème « Traitement du signal »

Il s'agit d'une collaboration émergente avec l'équipe LAETITIA du CEDRIC. Le but de ce projet est de trouver des algorithmes efficaces pour résoudre les problèmes d'allocation de ressources radio dans la technologie 4G. Ces problèmes sont déjà largement considérés dans la littérature de la communauté de traitement de signal appliqué aux télécommunications et dans la communauté d'optimisation dite « globale ». En effet, les problèmes traités sont modélisés comme des problèmes d'optimisation non-linéaire continue, convexes ou non. Néanmoins, certains problèmes réels ont des aspects discrets. Nous travaillons sur la prise en compte de ces aspects. Nous encadrons

actuellement un stage de M2 du Master Parisien de Recherche Opérationnelle et nous souhaitons prolonger ce travail dans le cadre d'une thèse de Doctorat.

Thème « Tomographie discrète »

Ces dernières années, nous avons étudié les problèmes de tomographie discrète essentiellement sous l'angle de la complexité des algorithmes et des problèmes. Des recherches seront poursuivies sur la décomposition et la reconstruction de matrices binaires en collaboration avec F. Jarray, maître de conférences à associé à notre équipe, et avec A. Frosini, maître de conférences à l'Université de Florence. Une demande de financement pour ce projet vient d'être déposée auprès du ministère italien de la recherche. Par ailleurs, une étude a commencé l'année dernière sur la façon d'aborder les problèmes de tomographie discrète par la programmation mathématique. Plusieurs formulations sont possibles pour ces problèmes. Les premiers résultats obtenus montrent l'efficacité de l'approche à condition de choisir une bonne formulation. Ils nécessitent d'être étendus à des problèmes plus généraux et également à des applications réelles.

Thème « Graphes: sécurité des réseaux »

Nous continuerons d'étudier la conception de réseaux robustes à travers 2 problèmes. D'une part, nous poursuivons la recherche déjà avancée de d -bloqueurs ou de d -transversaux dans les graphes : notre but est de généraliser les résultats obtenus pour les couplages et les stables maximum. Outre des résultats d'algorithmique et de complexité, on s'intéressera également à la résolution pratique de ces problèmes. Un sujet de thèse a été proposé reliant les deux aspects. D'autre part, nous venons de commencer l'étude d'une nouvelle classe de problèmes, les « extenseurs » : il s'agit de déterminer la plus petite composante d'un réseau à protéger de façon à garantir le fonctionnement global du système en cas d'attaques ou de pannes sur le reste du réseau. D'une façon équivalente, il s'agit de déterminer le plus grand sous-ensemble A d'un ensemble E d'éléments (sommets ou arêtes) tel que toute solution partielle sur A peut être complétée dans $E-A$ pour obtenir une solution optimale. Les collaborations actuelles avec l'EPFL et l'université Paris-Dauphine seront poursuivies sur ces deux sujets, en particulier à travers les projets ANR et GDR en cours.

Thème « Programmation et optimisation »

Nos travaux sont dans la continuation de travaux sur la preuve de programmes et sur l'utilisation de la programmation logique par contraintes pour générer des tests. Un solveur de contraintes pour les domaines finis a été récemment développé dans l'équipe CPR. Ce solveur ne traite que des contraintes binaires. Il faudrait y intégrer des contraintes globales. A ce stade des questions de théorie des graphes et d'optimisation apparaissent. Un stage de master et peut être une thèse, encadrés par les deux équipes OC et CPR, dans la continuation de la thèse soutenue par Benoît Robillard, permettraient d'avancer sur ce sujet.

Conclusion

Il existe de nombreux liens entre ces thèmes. Ils font appel à des outils communs comme la programmation mathématique ou les graphes. Certains, comme la tomographie sont développés dans les deux axes de l'équipe, « Programmation mathématique et applications » et « Graphes et optimisation ». Les études sur la robustesse ou la sécurité, développées dans différentes directions, regroupent une grande partie de l'équipe. De ce fait les membres de l'équipe continueront de travailler les uns avec les autres, tout en développant des contacts extérieurs avec d'autres équipes du CEDRIC ou avec des équipes d'autres laboratoires français et étrangers. L'axe « Graphes et optimisation », faiblement représenté, sera renforcé par l'arrivée en septembre 2012 d'un maître de conférences, en particulier pour les travaux sur les d -bloqueurs et d -transversaux.

3. Mise en œuvre du projet

Notre projet scientifique s'inscrit en grande partie dans les enjeux d'avenir. L'arrivée ces vingt dernières années de méthodes sophistiquées, de logiciels performants et d'ordinateurs puissants a permis la résolution des grandes classes de problèmes de PLNE déterministe. Cela conduit les chercheurs vers l'étude de nouveaux problèmes encore plus difficiles comme les problèmes non linéaires en nombres entiers ou ceux d'optimisation discrète robuste sur lesquels nous travaillons. Etant leader, avec QCR et ses extensions, pour la résolution de programmes quadratiques généraux, nous espérons progresser encore de façon significative dans la résolution de ces problèmes. Par ailleurs, nos premiers résultats sur la robustesse (2 articles soumis) sont prometteurs.

L'optimisation discrète est aujourd'hui une préoccupation grandissante dans les entreprises comme le montre leur implication dans la ROADEF en France ou dans l'EURO et l'IFORS à l'étranger. Les acteurs du monde socio-économique sont en attente continue d'outils de résolution de nouveaux problèmes, comme la prise en compte de l'incertitude. Nos liens avec France Telecom-Orange et la SNCF vont dans ce sens. La sécurité des réseaux, que l'on

peut représenter par des graphes, est une préoccupation permanente dans tous les pays. Notre approche se situe en amont des recherches pratiques dans ce domaine. Nous espérons que nos travaux théoriques sur les d-bloqueurs, d-transversaux et d-extenseurs pourront aider à mettre au point de nouveaux outils de protection des moyens de télécommunications. Il en est de même de nos travaux sur la tomographie discrète qui pourront s'appliquer dans le domaine médical (décryptage des images de scanners). Enfin, la (relative) diffusion des méthodes de la discipline permet d'envisager son application dans de grands domaines d'avenir comme la protection de la biodiversité ou le développement des énergies nouvelles qui sont les nouveaux sujets applicatifs sur lesquels nous travaillons.

Dans tous ces domaines, notre équipe a des capacités et des connaissances qui la placent en position de faire basculer certains verrous scientifiques. La complémentarité et les multiples relations entre les chercheurs d'une équipe soudée de 8 (bientôt 9) membres permanents est notre richesse. Confortées par les nombreuses relations nouées à l'extérieur, cela devrait nous permettre d'obtenir de nouveaux résultats importants au cours de la prochaine période.

Par ailleurs, notre grande implication dans le MPRO et dans 2 filières spécialisées de grandes écoles nous offre l'opportunité de recruter des doctorants, futurs chercheurs recherchés par le monde académique et les entreprises de secteurs variés. La participation de nombreuses grandes entreprises et sociétés de service au MPRO en est la preuve. Le MPRO est aussi l'occasion de nouer ou renforcer des liens avec les établissements partenaires (X, Télécom Paris et Evry). Ces liens, qui s'ajoutent à ceux déjà solides existant en France avec le LAMSADE (Paris-Dauphine) et le LIPN (P13-Paris Nord) et à l'étranger avec l'EPFL (Suisse), l'université de Klagenfurt (Autriche), l'université de Bilkent (Turquie) et l'université de Florence, nous apportent les échanges d'idées nécessaires au développement de nos travaux.

Pour maintenir son niveau de compétence, l'équipe veut inciter ses membres à partir plus régulièrement en congé pour recherche ou en mobilité afin qu'ils aient davantage de temps à consacrer à la recherche. Ce sera possible pour une MCF en 2013, d'autres devraient suivre. Le départ de certains (promotion, détachement, retraite) doit permettre l'arrivée de forces nouvelles : cela est déjà le cas avec l'arrivée de 2 MCF, l'un en 2010 et l'autre en 2012, mais reste à obtenir pour le recrutement futur de 2 ou 3 professeurs.

L'investissement dans la mise au point de lourds projets ANR ou européens non retenus a affaibli notre potentiel de recherche. Nous avons l'intention de recentrer nos recherches de financement sur des projets moins lourds et davantage susceptibles d'être acceptés (GDR CNRS, PGMO, CIFRE, Institut Mines-Télécom, ou projets de même type à l'étranger comme celui déposé actuellement en Italie).

Enfin, en ce qui concerne la diffusion de nos résultats, l'équipe vise à rester au même niveau de publications (en quantité et qualité) ainsi qu'à développer et maintenir les logiciels proposés. L'aide d'un ingénieur spécialisé serait précieuse. Etant gros utilisateurs de logiciels libres ou fournis gracieusement par les entreprises, nous voulons garder libre l'accès à ceux que nous proposons.

Bases de Données Avancées (Vertigo)

1. Présentation de l'équipe

a. Historique

Le groupe de recherche Vertigo a développé une compétence forte dans la structuration et l'interrogation de données faiblement structurées : collections d'images ou de vidéos, données issues du Web, documents complexes. Ce thème exige des compétences dans le domaine des données Web, des index multidimensionnels et métriques, de l'analyse d'images et de l'apprentissage statistique. Les travaux récents dans le groupe de recherche se situent à la pointe de l'état de l'art sur plusieurs sujets, comme la mise au point de descriptions de niveau intermédiaire pour le contenu visuel (entre le bas niveau directement extrait du signal et le haut niveau sémantique) combinant descriptions locales et configurations spatiales, ou la conception de techniques de syndication basées sur des structures d'index innovantes. Nous avons soutenu ces activités par des financements solides essentiellement basés sur des projets ANR.

La taille restreinte de l'équipe (6 permanents) nous amène à construire notre projet sur une thématique fédératrice qui rassemblera nos compétences autour d'un objectif commun. Nous avons travaillé à l'élaboration d'un projet centré sur la gestion distribuée de documents et cherché un financement cohérent avec cet objectif. Le projet est décrit dans ce qui suit. Il combine des aspects liés à la modélisation, à la production de descripteurs soutenant des recherches basées sur le contenu et des problématiques spécifiques de recherche et de classement. Le financement FUI Polymathic, d'un montant de 530 K€ pour notre équipe, fournit les moyens humains et financiers, ainsi qu'une valorisation potentielle pour ce travail.

b. Caractérisation de la recherche

L'équipe Vertigo travaille à la conception de méthodes fondées scientifiquement pour représenter, manipuler et interroger de grandes masses de données. Notre démarche passe par une étape de formalisation, que ce soit, au niveau logique, pour définir les opérations à appliquer dans le cadre d'un modèle bien défini ou, au niveau plus système, pour caractériser la complexité en temps et en espace des structures de données ou des méthodes algorithmiques proposées. Cette première étape est habituellement complétée par une phase d'expérimentation afin de valider les aspects qui peuvent difficilement être étudiés à un niveau abstrait (par exemple le comportement d'une structure sur des données très biaisées ou la qualité d'une recherche d'information évaluée par les utilisateurs eux-mêmes). Les problèmes auxquels nous nous confrontons relèvent des domaines bien identifiés du traitement de données à grande échelle et de la recherche d'information, et notre approche suit les méthodes scientifiques établies pour ces domaines.

Nous avons pour ambition de fournir des solutions applicables dans un contexte industriel, et à ce titre notre recherche vise naturellement à une valorisation sous diverses formes : publication de logiciels libres, contrats avec des entreprises, ou création. Nous considérons que nos activités sont destinées à déplacer les frontières de la connaissance (40%), participer à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées (40%) et préparer les réponses directes à des enjeux sociaux, économiques ou culturels (20%). Les principaux destinataires de nos activités sont le monde de la recherche, les acteurs socio-économiques et culturels, les étudiants.

2. Analyse SWOT et objectifs scientifiques de l'équipe

Analyse SWOT

• Points forts

Notre principal point fort est le regroupement de compétences à la frontière entre, d'une part, gestion de données traditionnelle, basée sur la structuration de l'information traitée et sur l'élaboration de méthodes et langages pour la manipuler, et d'autre part la proposition de techniques avancées pour la recherche par similarité dans de grandes collections d'objets complexes, et le classement du résultat. Cette complémentarité est renforcée par le fait que nos travaux couvrent plusieurs couches, allant du stockage/indexation à la formalisation des opérations. Nous considérons que ce positionnement nous place en bonne situation pour étudier les propriétés d'environnements actuels comme les grands ensembles de documents faiblement structurés, avec des problématiques de distribution, répllication et recherche combinée structure/contenu.

• Points faibles

Le thème de recherche de Vertigo étant situé au point de rencontre entre les bases de données, l'analyse d'images et l'apprentissage statistique, l'équipe est impliquée dans trois communautés différentes sans appartenir complètement à l'une d'entre elles. Cela entraîne des problèmes de visibilité, auxquels s'ajoutent des difficultés plus générales d'attractivité du Cnam, avec un impact négatif sur la facilité de recrutement (de permanents, doctorants ou stagiaires), ainsi que sur la mise en place de collaborations et partenariats. L'absence de parcours proche du thème de recherche du groupe Vertigo dans le Master informatique du Cnam a aussi contribué aux difficultés de recrutement de stagiaires M2 recherche et de doctorants. Nous examinons des possibilités pour ouvrir un tel parcours en co-habilitation.

Les collaborations internationales du groupe Vertigo, actuellement très ciblées, pourraient être à la fois plus larges et mieux approfondies. Une meilleure visibilité du groupe est importante pour attirer les partenaires. On peut enfin noter que, dans le thème de recherche abordé, la validation (qui conditionne la publication dans des revues et conférences majeures) ne peut pas être exclusivement théorique mais passe nécessairement par des évaluations à grande échelle, avec des exigences fortes en termes de développement logiciel et de volume d'expérimentation.

• Opportunités

Le groupe Vertigo est une des rares équipes en France à s'intéresser au thème de la gestion de collections documentaires à grande échelle. Le développement de ce domaine en France devrait soutenir les activités du groupe, à condition qu'il améliore sa visibilité / lisibilité et atteigne une taille critique lui permettant de lancer plus d'actions et de répondre à plus de sollicitations. Les liens étroits avec d'autres groupes parisiens dont les recherches ont des points communs avec le thème de Vertigo permettent d'envisager des fédérations.

• Risques

La taille restreinte de l'équipe la rend sensible aux mobilités et aux investissements de ses membres dans des activités parallèles à l'action de recherche. Actuellement P. Rigaux est en disponibilité, M. Crucianu assume la direction du laboratoire et V. Gouet-Brunet a obtenu une promotion externe qui l'amène à quitter l'équipe en septembre 2012. Par ailleurs, nous sommes confrontés à une difficulté croissante à recruter des doctorants de bon niveau. Cette difficulté impacte notablement notre capacité à mener des recherches coûteuses en temps, notamment quand il s'agit d'investir dans des tâches de développement et d'expérimentation.

Description du projet

L'équipe Vertigo est actuellement spécialisée dans la conception de méthodes pour la structuration et l'interrogation de grands corpus de données peu structurées au départ. Les applications dépendant de cette problématique sont en plein essor, en relation notamment avec les possibilités grandissantes offertes à tout un chacun de « publier » des données personnelles. A une échelle individuelle, nous sommes tous confrontés à une augmentation continue de la quantité de contenus numériques que nous devons gérer, personnellement et dans nos activités professionnelles. Nous passons beaucoup de temps à organiser notre espace de travail, à y chercher où se trouve tel ou tel document, à les échanger, par des moyens primitifs et lourds, avec d'autres utilisateurs. Ces problèmes sont multipliés dans les projets collaboratifs au sein d'une entreprise ou d'une institution par les impératifs de partage, d'échange et de distribution. Quand on considère l'échelle du Web et des millions ou milliards de documents que l'on peut collecter en quelques jours ou en quelques semaines sur des sites collaboratifs ou des réseaux sociaux, le problème passe encore à un autre ordre de grandeur.

Nous considérons que le défi principal face à cette avalanche de données, produites de manière hétérogène et sans lien les unes avec les autres, est de construire de la structuration, une organisation, des index et des méthodes de classement permettant aux utilisateurs de les explorer de manière ordonnée. A moyen terme, l'équipe Vertigo poursuivra donc ses travaux dans l'élaboration de systèmes de gestion de documents complexes, en privilégiant deux axes principaux : (i) formalisation des opérations liées à la gestion collaborative de documents dans un environnement distribué et étude des techniques efficaces d'évaluation de ces opérations et (ii) conception et validation de techniques de recherche avancées pour de telles collections. Ces deux axes sont complémentaires, couvrent les compétences présentes dans l'équipe et correspondent à des opportunités fortes en matières de coopérations, projets et valorisation.

Notre objectif général dans le premier axe est de reconsidérer de manière fondée la gestion collaborative de documents en distinguant plusieurs niveaux de modélisation, dans l'esprit de la séparation logique/physique adoptée avec succès depuis longtemps dans le domaine traditionnel des bases de données centralisées. Notre première tâche sera l'identification des principales opérations impliquées dans la gestion de collections de documents distribuées (incluant la recherche d'informations mais aussi la fouille de données) et leur formalisation dans un modèle cohérent.

Dans la lignée de travaux récents sur la modélisation des contenus Web et la spécification de systèmes distribués orientés données, nous souhaitons définir un langage de règles permettant de spécifier de manière globale et uniforme ces opérations : description, recherche, transformations, extraction de descripteurs, workflows, localisation, distribution, partage, méthodes d'accès, etc. Ce langage doit se comprendre comme un niveau de spécification abstrait, apte à exprimer des règles comme « toutes les images annotées de telle manière doivent être répliquées de manière cohérente de mon portable vers mon mobile avec transformation de format ». Une première approche a été élaborée et présentée au projet WebDam (projet ERC dirigé par S. Abiteboul) dont le langage WebDamLog constitue une base de départ appropriée.

Dans un second temps nous utiliserons ce modèle pour la conception de systèmes interactifs orientés vers les utilisateurs. Le contenu d'un document correspond en effet souvent à un artefact éditable par un logiciel bureautique. De tels documents sont lus par le logiciel approprié, édités, puis sauvegardés sur un disque local ou partagé. L'outil typique de gestion est le simple système de fichiers sous-jacent, qui offre des fonctionnalités d'organisation, recherche et partage très limitées, notamment quand le nombre de documents devient important. Notre objectif est de virtualiser nos collections de documents sous la forme de systèmes de fichiers afin de recréer l'environnement familier de l'utilisateur. Les manipulations usuelles (copier, coller, éditer, etc.) seront transcrites en opérations gérées par le système sous-jacent. Nous travaillerons sur cet aspect avec l'équipe du Prof. Darrel Long (Univ. Santa Cruz) qui nous rend visite tous les ans et nous enverra une post-doctorante spécialisée en systèmes de fichiers intelligents en mai 2013.

Le second axe, complémentaire du premier, sera consacré aux techniques d'indexation, de recherche et d'organisation des résultats. Une partie de nos travaux porte sur la mise en place de descripteurs des contenus visuels, fixes comme animés, qui soient discriminants et qui passent à l'échelle. Nous nous intéressons aux descripteurs visuels de bas niveau, notamment ceux à base de points d'intérêt, pour leurs propriétés de généralité, et avons proposé des solutions permettant d'améliorer la description des contenus en combinant plusieurs types de descripteurs, en présupposant de leur complémentarité, pour des applications liées à l'audiovisuel, à l'imagerie satellitaire haute résolution, au patrimoine culturel, à l'aide à la personne.

En complément des points d'intérêt, nous avons aussi étudié une approche de description et d'indexation des formes locales dans les images, avec pour application la recherche par croquis, dans le cadre d'une collaboration naissante avec l'université brésilienne de Minas Gerais. Dans le cadre du projet Polymathic, ce travail devrait être étendu à la recherche d'images par contenu visuel en général, ainsi qu'à l'indexation de formes 3D. Nous nous intéressons également aux primitives visuelles de niveau intermédiaire que sont les relations spatiales entre entités dans les images, ces entités pouvant être des primitives visuelles de bas niveau comme des objets symboliques. L'extraction de ce type d'information permet d'améliorer la description des contenus mais aussi des scénarios d'interrogation plus évolués.

Une autre partie des travaux que nous menons dans cette direction concerne la modélisation des structures dans les contenus hétérogènes par apprentissage actif et l'exploration interactive des bases d'images par boucle de pertinence. Dans le contexte des bases d'images satellite et aériennes géo-localisées, nous avons développé des méthodes d'interrogation basées sur les machines à vecteurs de support (SVM) par classification adaptative sur des modèles génératifs de type mélange de gaussiennes. Nous avons aussi abordé le passage à l'échelle des méthodes en boucle de pertinence par MIL (*Multiple Instance Learning*) sur des représentations hiérarchiques. Ces résultats ont fait l'objet d'une thèse de doctorat soutenue fin 2011, thèse co-encadrée dans le Centre de Compétence CNES-DLR-Télécom ParisTech. Ces travaux ouvrent la voie à plusieurs pistes prometteuses, comme l'apprentissage à des niveaux intermédiaires basés sur la pré-structuration de la base des documents, le co-apprentissage de structures sémantiques et l'apprentissage en contexte. Ces idées seront explorées dans la thèse de Hicham Randrianarivo, en démarrage, co-encadrée avec l'ONERA. A plus long terme, ces travaux s'inscrivent dans une vision fédératrice des bases de données multi-modales où les différents types de contenus participent à une structuration adaptative capable de supporter des interrogations à de multiples niveaux sémantiques.

D'une manière générale, la recherche dans de grandes bases de données peu structurées s'appuie sur l'extraction de descripteurs, la classification et l'établissement de liens avec d'autres sources d'informations, par exemple des ontologies décrivant un domaine donné. Les documents textuels, par exemple, peuvent être annotés par des entités référencées dans une ontologie (cf. Yago ou même Wikipédia). A la sortie de ce prétraitement les métadonnées produites fournissent autant de chemins d'indexation, par stockage soit en RAM soit sur disques dans des listes inversées. Les applications peuvent alors requêter les données par opérations booléennes sur les attributs des listes inversées, et effectuer des synthèses par manipulations des attributs en RAM. Le maintien de ces index et le soutien qu'ils peuvent apporter à des requêtes expressives sera étudié.

Enfin, les travaux précédents relatifs aux aspects langages, modèle et interaction seront complétés par une étude du niveau « physique » et notamment de l'évaluation des opérations (recherches, extraction, transformation) dans un environnement distribué en parallélisant les traitements. Actuellement, le paradigme pour les traitements massivement parallèles est MapReduce, que l'on peut voir comme la combinaison de deux fonctions de second ordre (c'est à dire prenant d'autres fonctions en argument) dotées de bonnes propriétés d'indépendance et de tolérance aux fautes. Nous pensons possible d'étendre ce paradigme pour capturer plus d'expressivité et formaliser des choix actuellement laissés au programmeur (sélection des clés, matérialisation ou pipeline, etc.). Nous sommes en contact pour cet aspect avec l'équipe du Prof. Volker Markl (TU Berlin) dont le projet Stratosphere correspond à la problématique mentionnée ci-dessus.

Vision de l'évolution à 4 et 8 ans

Nos perspectives de croissance interne sont limitées, mais l'équipe entretient des relations étroites avec plusieurs groupes de travail offrant des possibilités de partenariat. C'est le cas de l'équipe Traitement et Interprétation des Images du LTCl, du LIP6, de l'INRIA Saclay (projet Oak), du projet ERC WebDam, de Nicéphore Cité, de plusieurs universités brésiliennes (São Paulo, Unicamp, Minas Gerais), du *New Jersey Institute of Technology* et du DLR (*German Aerospace Center*). La société *Internet Memory*, dont l'activité est centrée sur l'extraction de données structurées à partir de large corpus Web, sera également un partenaire privilégié à l'avenir, avec de fortes perspectives de valorisation des travaux menés dans l'équipe.

3. Mise en œuvre du projet

- Adéquation des moyens humains et financiers de l'unité avec le projet

Nous avons cherché et obtenu pour ce projet un financement dans le cadre de l'AAP « Numérisation et valorisation des contenus : Technologies de numérisation et de valorisation des contenus culturels, scientifiques et éducatifs » du Fond National pour la Société Numérique (FSN). Ce projet de deux ans a débuté en juillet 2012, et son objectif est de créer une base documentaire à grande échelle dédiée aux artefacts graphiques utilisés dans la conception et le développement de jeux vidéo. Il implique plusieurs studios de jeux, l'équipe Vertigo étant chargée de la conception de l'infrastructure de stockage et de recherche. La problématique qui nous est confiée correspond parfaitement à une mise en pratique d'une partie du projet de recherche développé précédemment. Le groupe Vertigo a obtenu un financement de 530 K€ correspondant, entre autres, au recrutement de 3 post-docs sur 18 mois chacun et 3 ingénieurs sur 2 ans chacun.

Le projet Mex-Culture (Indexation de collections multimédia pour la préservation et la dissémination de la culture mexicaine, ANR Blanc International II), 2012-2014, permet de financer un doctorant, Andrei Stoian, co-encadré avec le LABRI et qui travaillera sur l'indexation de flux vidéo compressés (en format de compression scalable) tenant compte d'exigences d'indexation multimédia (image, vidéo, audio et parole).

Enfin le projet ANR NEUMA, qui s'est conclu en décembre 2011, a débouché sur une plate-forme d'indexation de partition musicale qui est en plein essor. Nous envisageons de demander un financement complémentaire, cette fois probablement piloté par le groupe des chercheurs en sciences humaines travaillant sur ce projet, afin de renforcer la plate-forme. Noter qu'il s'agit d'une application entrant pleinement dans le champ de l'équipe, car elle consiste à développer des techniques de recherche d'information sur des corpus de documents complexes.

Politique d'animation de l'unité

Nous organisons régulièrement des réunions du groupe de recherche, nous maintenons un intranet Wiki, nous échangeons régulièrement nos réflexions et travaux dans le cadre d'ateliers ou séminaires organisés avec des groupes proches.

- Analyse prospective à moyen et long terme des besoins et des compétences nécessaires aux mutations scientifiques et techniques identifiées, la politique de formation

Nous choisissons tous les ans, en fonction du profil du doctorant et de l'évolution des travaux de thèse, des enseignements (de l'école doctorale, du Cnam ou d'autres établissements) que le doctorant doit suivre. Par ailleurs, le groupe finance régulièrement la participation de doctorants à des écoles d'été françaises et internationales.

- Politique de construction de partenariats

Au sein du CEDRIC nous poursuivrons les collaborations avec les équipes ISID (actuellement co-encadrement de deux doctorants) et MIM (actuellement suivi conjoint de post-doc) et renforcerons la coopération avec MSDMA (récemment participation à un comité de suivi de thèse). Nous souhaitons renforcer les partenariats parisiens actuels, notamment avec l'INRIA, Télécom ParisTech où le MCF recruté dans Vertigo en 2009 avait été post-doctorant et le LABRI

(Bordeaux) avec lequel nous coopérons dans le cadre du projet Mex-Culture. Au niveau international nous échangeons régulièrement avec le groupe du Prof. Darrell Long (Univ. Santa Cruz, visites croisées et accueil d'un post-doc en 2013-2014), les universités brésiliennes UNICAMP (C. Bauzer Medeiros et Ricardo Torres) et USP (Roberto Cesar) et UMG (A. de Albuquerque), et enfin avec FORTH en Crète (V. Christophides, flux RSS).

Le projet Polymathic, avec la position clé occupée par Vertigo en tant que concepteur de l'infrastructure de stockage, d'indexation et de recherche, est également très porteur pour le développement et la fédération de l'équipe.

Dans la recherche de nouveaux partenariats, nous privilégions les académiques, mais sommes aussi tournés vers les industriels intéressés par une recherche ambitieuse dans le cadre de thèses financées (sur l'exemple de Survison, de l'INA et de Nicéphore Cité).

- La capacité de l'unité à valoriser ses travaux de recherche

Les travaux de recherche seront valorisés comme ils l'ont été dans le passé récent à travers des transferts industriels vers Survison, Mandriva, l'INA et Internet Memory. Le projet Polymathic offre également un débouché potentiel vers une valorisation, le contexte et le partenariat étant très favorables.