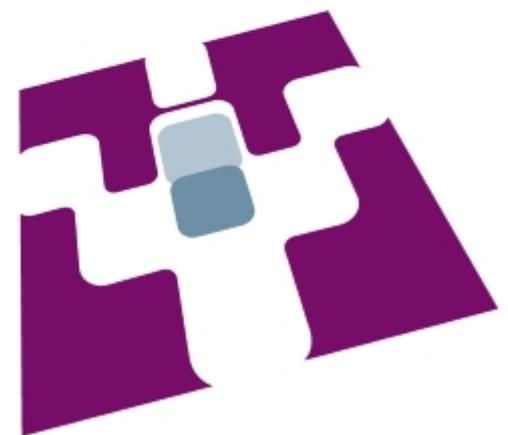


Évaluation du Laboratoire GREYC

Période 2010-2015

GREYC



Copyright © 2015 GREYC UMR 6072 du CNRS, ENSICAEN, Université de Caen Normandie

PUBLICATION DU LABORATOIRE GREYC

Octobre 2015



Table des matières

1	Présentation de l'unité	7
1.1	Présentation de l'unité	7
1.1.1	Politique scientifique	9
1.1.2	Profil d'activités	14
1.1.3	Organisation et vie de l'unité	14
1.1.4	Faits marquants	25
1.2	Réalisations	26
1.2.1	Activités contractuelles	26
1.2.2	Les start-up.	28
1.2.3	Rayonnement et attractivité académique	28
1.2.4	Interactions avec l'environnement social, économique et culturel	29
1.3	Conclusion	30
2	Réalisations de l'unité de recherche	31
2.1	Département Intelligence Artificielle et Algorithmique	31
2.1.1	Équipe Algorithmique, Modèles de calcul, Aléa, Cryptographie, Complexité	31
2.1.2	Équipe Contraintes, Data-Mining, Graphes	37
2.1.3	Équipe Modèles, Agents, Décision	44
2.1.4	Synthèse du département IAA	49
2.2	Département Traitement de l'Information et Reconnaissance des Formes	51
2.2.1	Équipe HULTECH	51
2.2.2	Équipe Image	56
2.2.3	Équipe Monétique & Biométrie	61
2.2.4	Synthèse du département TIRF	66
2.3	Département Analyse et Conception de Systèmes	68
2.3.1	Équipe Automatique	68

2.3.2	Équipe Électronique	74
2.3.3	Synthèse du département ACS	80
3	Implication formation par la recherche	83
3.1	Investissement dans la formation par la recherche en master	83
3.2	Investissement dans la formation doctorale	86
3.2.1	Politique d'accompagnement et d'encadrement des étudiants	88
3.2.2	L'implication du GREYC dans les autres formations du site caennais	91
4	Stratégie et perspectives scientifiques	93
4.1	Stratégie et perspectives scientifiques de l'unité	93
4.1.1	Auto-évaluation	93
4.1.2	Animation scientifique et gouvernance	95
4.1.3	Relations partenariales	97
4.1.4	Positionnement régional, national et international	98
4.1.5	Accompagnement et stratégie des équipes	99
4.1.6	Politique de ressources humaines	101
4.1.7	Rayonnement scientifique	102
4.1.8	Formations par la recherche	103
4.2	Département Intelligence Artificielle et Algorithmique	103
4.2.1	Équipe Algorithmique, Modèles de calcul, Aléa, Cryptographie, Complexité	103
4.2.2	Équipe Contraintes, Data-Mining, Graphes	108
4.2.3	Équipe Modèles, Agents, Décision	114
4.3	Département Information et Reconnaissance des Formes	118
4.3.1	Équipe HulTech (HUMAN Language TECHNOLOGY)	118
4.3.2	Équipe Image	121
4.3.3	Équipe Monétique & Biométrie	127
4.4	Département Analyse et Conception de Systèmes	130
4.4.1	Équipe Automatique & Télécom	130
4.4.2	Équipe Automatique Infini-Dimensionnelle et Applications	135
4.4.3	Équipe Électronique	138
5	Annexes	145
A	Présentations synthétiques	145
A.1	Équipe AmacC	146
A.2	Équipe CODAG	149
A.3	Équipe MAD	152
A.4	Équipe HULTECH	155
A.5	Équipe IMAGE	158
A.6	Équipe Monétique & Biométrie	162
A.7	Équipe Automatique & Télécom	164
A.8	Équipe AIDA	166
A.9	Équipe Electronique	168

B	Organigramme	170
C	Règlement intérieur	171
D	Principaux équipements	189
E	Implication de l'unité dans la fête de la science	189
F	Liste des contrats	191
G	Risques Professionels	197
H	Liste des réalisations et produits de la recherche	203
H.1	Equipe AmacC	203
H.2	Equipe CODAG	217
H.3	Equipe MAD	239
H.4	Equipe HULTECH	259
H.5	Equipe IMAGE	278
H.6	Equipe MONETIQUE & BIOMETRIE	324
H.7	Equipe AUTOMATIQUE	347
H.8	Equipe ELECTRONIQUE	369



1. Présentation de l'unité

1.1 Présentation de l'unité

Le Groupe de Recherche en Informatique, Image, Automatique et Instrumentation de Caen (GREYC) est une unité de recherche mixte associée au CNRS¹, à l'Université de Caen Basse-Normandie (UCBN) et à l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Caen (ENSICAEN). Il a été fondé en 1995 par la fusion de plusieurs équipes d'informatique et d'une équipe d'électronique de l'UCBN et de l'ENSICAEN (alors appelée Institut des Sciences de la Matière et du Rayonnement (ISMRA)), rejointes par le Laboratoire d'Automatique de Procédés (EA 2611) de l'ISMRA en janvier 2003 et par l'équipe Vision et Analyse d'Images du Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg (EEOA 4253) de l'UCBN en janvier 2008. Depuis, le GREYC est le seul laboratoire des Sciences et Technologies de l'Information (STIC) de Basse-Normandie (200 membres autour de 100 chercheurs et enseignants-chercheurs et 17 ITA-IATOS). Il est hébergé par ses tutelles universitaires sur deux sites au campus II situés à l'ENSICAEN A et l'UFR Sciences et un site au campus IV situé à l'ENSICAEN B. Les équipes hébergées à l'ENSICAEN déménageront l'année prochaine dans de nouveaux locaux en construction sur le campus II. Ce regroupement des équipes favorisera les échanges entre les équipes. Des chercheurs du GREYC réalisent des activités de recherche sur l'imagerie médicale au sein d'une antenne située à l'hôpital Pasteur de Cherbourg.

Le GREYC effectue des recherches fondamentales, méthodologiques et appliquées sur des problématiques relevant des STIC. Il est reconnu par des contributions originales, des réalisations matérielles et logicielles, des validations expérimentales et des collaborations pluridisciplinaires aussi bien dans le domaine des Sciences Humaines et Sociales (SHS) que dans le domaine des interactions de l'informatique avec les mathématiques et les sciences de l'ingénieur. La recherche est principalement effectuée au sein des équipes qui jouent un rôle important dans le paysage scientifique régional, national et international.

Les périmètres de certaines équipes ont été redéfinis lors du dernier quadriennal compte tenu des nouvelles orientations de nos activités de recherche, du spectre des affinités des membres du laboratoire, de notre environnement social, économique et culturel, et des recommandations constructives et pertinentes de nos comités d'évaluation sur notre projet scientifique. Une nouvelle structure du laboratoire a été adoptée au début de ce quinquennat en vue de réaliser une politique scientifique plus ambitieuse. Elle se distingue par une organisation basée sur 8 équipes regroupées

1. à titre principal à l'INS2I et à titre secondaire à l'INSIS

en 3 départements avec 4 plateformes comme le montre la figure 1.1, et par une gouvernance assurée par une équipe de direction, un comité scientifique et un conseil de laboratoire. Les services communs offrent un soutien à la recherche aux niveaux technique et administratif.

La politique scientifique du GREYC a été élaborée au conseil scientifique à partir de son projet scientifique en tenant compte des conditions difficiles du passage aux Responsabilités et Compétences Elargies (RCE) de nos tutelles universitaires. Les résultats obtenus sont probants sur l'ensemble de nos activités de recherche : des contributions fondamentales de qualité dans les revues et conférences phares des STIC avec une participation indéniable à l'animation scientifique, une importante activité contractuelle et de valorisation industrielle et une implication vigoureuse en matière de formation par la recherche. Ces résultats ont été très favorables à l'attractivité du GREYC.

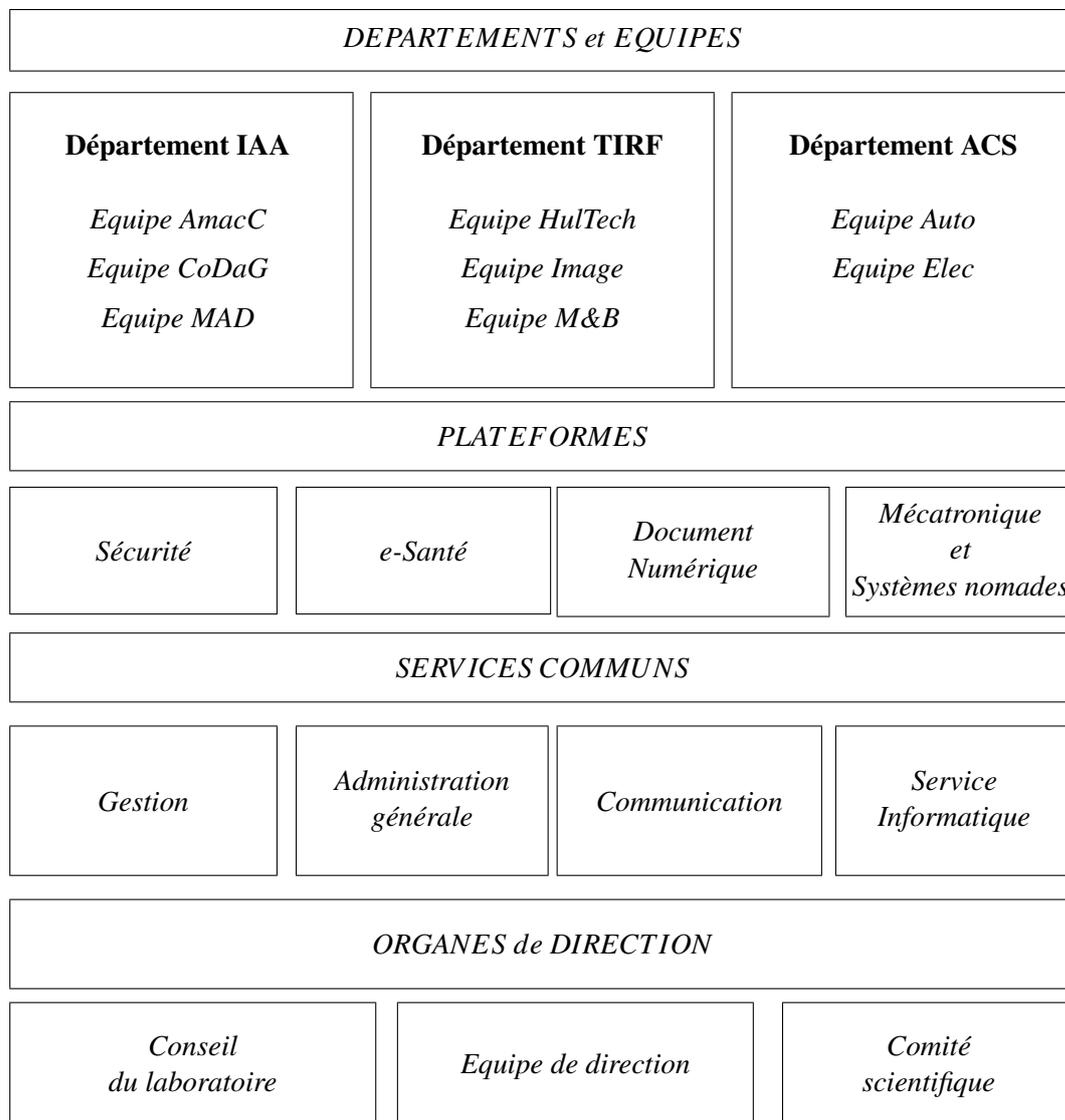


FIGURE 1.1 – Organisation du laboratoire

1.1.1 Politique scientifique

La politique scientifique du GREYC a été définie à partir de son projet scientifique et ses ambitions, compte tenu de sa politique scientifique interne et des opportunités offertes aux niveaux régional, national et international. Les ambitions du GREYC sont conformes au développement des STIC. Elles consistent à conforter l'originalité de sa recherche fondamentale et développer sa recherche méthodologique dans une ambiance scientifique favorable aux interactions entre ses équipes. Les interactions entre les équipes sont particulièrement motivées par le fait que la recherche au GREYC est principalement effectuée au sein de ses équipes, conformément à leurs objectifs de recherche. Dans chaque équipe, la recherche est structurée en thèmes qui constituent un projet de recherche cohérent accompagné d'une stratégie appropriée pour sa réalisation. Durant ce quinquennat, le GREYC est composé de 8 équipes issues d'une reconfiguration des équipes lors du dernier quadriennal.

- L'équipe *Algorithmique, Modèles de Calcul, Aléa, Cryptographie, Complexité (AmacC)*
- L'équipe *Contraintes, Data mining, Graphes (CoDaG)*
- L'équipe *Modèles, Agents et Décision (MAD)*
- L'équipe *Technologies du Langage Humain (HulTech)*
- L'équipe *Image*
- L'équipe *Monétique & Biométrie (M&B)*
- L'équipe *Automatique (Auto)*
- L'équipe *Electronique (Elec)*

Ces équipes de recherche sont regroupées en trois départements scientifiques pour asseoir une vie scientifique du laboratoire conformément aux recommandations faites à l'issue du dernier rapport de l'AERES tout en favorisant une meilleure lisibilité des activités de recherche du laboratoire.

- Le département *Intelligence Artificielle et Algorithmique (IAA)* rassemble les équipes AmacC, CoDaG et MAD. Ces équipes partagent une culture scientifique commune en termes de modélisation (aléa et incertitude, automates cellulaires, processus décisionnels, systèmes dynamiques, systèmes multi-agents, modèles de raisonnement, extraction d'information,...), d'outils formels (logique, complexité, graphes, probabilités,...), et de méthodes algorithmiques (algorithmique de l'approximation, algorithmique probabiliste, optimisation déterministe ou stochastique, programmation linéaire, programmation dynamique,...). Cette culture se distingue par une approche spécifique "Modéliser, Formaliser, Analyser" des problèmes ou des données.
- Le département *Traitement de l'Information et Reconnaissance des Formes (TIRF)* rassemble les équipes HulTech, Image et M & B. Le socle commun de ces équipes relève du traitement de l'information allant des modèles et des outils de modélisation et de représentation de l'information jusqu'aux méthodes algorithmiques qui en découlent. Les recherches qui y sont développées portent sur le traitement des données (signal, image, vidéo, document, texte), la recherche d'information (texte, document, image, multimédia), la reconnaissance de formes et la sécurisation par biométrie.
- Le département *Analyse et Conception des Systèmes (ACS)* rassemble des équipes Auto et Elec qui sont particulièrement concernées par les défis d'une instrumentation à haute valeur ajoutée via un traitement approprié des données et des rétroactions adéquates. Ces défis peuvent être relevés en exploitant judicieusement les compétences de l'équipe électronique sur l'analyse, la réalisation et la mise en oeuvre des capteurs physiques et celles de l'équipe automatique sur la modélisation des signaux et systèmes, la robustesse des asservissements et la synthèse des observateurs. Les observateurs sont des capteurs logiciels qui permettent de réaliser une estimation relativement précise de variables vitales aussi bien pour la commande des systèmes que pour des fins de diagnostic et de pronostic

pour la supervision des systèmes. Cette estimation est issue des mesures disponibles sur le système à partir d'un modèle approprié.

Un effort important a été consenti pour définir clairement le périmètre de chaque équipe et identifier les thèmes de recherche fédérateurs et les compétences du laboratoire. La vocation des départements est d'asseoir une culture scientifique commune du laboratoire autour de ses thématiques scientifiques pour favoriser les échanges entre les équipes et l'émergence de projets fédérateurs innovants. Un animateur pour chaque département a été désigné par la direction pour mettre en place une animation scientifique cohérente avec ses motivations, e.g. séminaires, journées, rencontres pour l'élaboration de projets communs.

Par ailleurs, il a été prévu de réaliser une vitrine de nos compétences et de notre savoir faire au travers de 4 plateformes dans les domaines de la sécurité, du numérique, de la e-santé et de la mécatronique et systèmes nomades. Ces plateformes permettent de mutualiser et pérenniser nos développements logiciels, réaliser nos projets scientifiques pluridisciplinaires et démontrer la faisabilité du transfert technologique de notre ingénierie des systèmes. Complémentaires aux départements, ces nouveaux instruments permettent de favoriser l'émergence de projets communs à plusieurs équipes et d'initier des collaborations avec des entreprises ou autres structures.

Politique scientifique interne

La politique scientifique interne du laboratoire est détaillée dans les bilans des équipes au chapitre suivant. Cette politique scientifique a été définie au sein du comité scientifique du laboratoire et votée lors d'un conseil du laboratoire spécifique. Une présentation concise des bilans des équipes par département est faite au paragraphe consacré aux réalisations du laboratoire. Nous nous focaliserons sur les actions fortes qui ont été menées pour la réalisation de notre politique scientifique et dont la plupart ont été initiées à la fin du dernier quadriennal.

- Une reconfiguration pertinente des équipes d'informatique au cours du dernier quadriennal qui a permis de faire émerger des thématiques très actives autour des équipes AmacC, CoDaG, HulTech et M&B tout en confortant les activités des équipes MAD et Image. Cette reconfiguration a été accompagnée par une politique d'emploi audacieuse par rapport à la dynamique du renouvellement du potentiel scientifique du GREYC dans un contexte d'excellence par un recrutement ouvert vers l'extérieur : 15 sur les 18 recrutements effectués sur ce quinquennat sont extérieurs. La politique d'emploi sera détaillée au paragraphe suivant.
- Une forte volonté de mieux valoriser notre production scientifique à travers des publications dans les revues phares de nos domaines de recherche. Si l'on se réfère au dernier quadriennal, le taux moyen des publications dans des revues internationales est passé de 2.39 à 3.76 et le rapport des publications dans des revues internationales par rapport aux communications dans des conférences internationales est passé de 37.4% à 50.2%.
- Un encouragement soutenu aux activités contractuelles et à la valorisation industrielle comme en témoigne l'activité contractuelle réalisée par les équipes sur ce quinquennat : 17 projets avec les tutelles, 25 projets avec l'état, 40 projets ANR, 53 projets régionaux, 12 projets européens, 3 projets internationaux et 60 contrats industriels. Quatre entreprises innovantes ont été créées autour d'une ingénierie des systèmes à haute valeur ajoutée.
- Une politique incitative aux soutenances des HdR. La formation par la recherche occupe une part importante dans les activités du GREYC qui est soucieux de son potentiel doctoral et du devenir de ses doctorants. La politique d'incitation à l'encadrement élaborée et mise en oeuvre lors du dernier quadriennal a été poursuivie pour préserver et accroître notre potentiel d'encadrement de la recherche. Les membres du laboratoire qui ont une activité de recherche suffisamment mature pour soutenir une HdR sont invités à rédiger leur mémoire HdR. Ce mémoire est ensuite envoyé à une personnalité extérieure, choisie par le responsable d'équipe en accord avec la direction, pour une expertise reposant

sur les critères utilisés pour la qualification des professeurs des universités. Dans le cas d'une expertise positive, la direction donne un avis favorable pour une inscription HdR. La rédaction d'une HdR est un atout pour le soutien de la direction du GREYC aux demandes de délégations CNRS et/ou INRIA et de CRCT. Des allocations ministérielles sont accordées prioritairement aux jeunes HdR pour développer leur activité de recherche. Cette politique s'est avérée fructueuse : le nombre de soutenances HdR est passé de 6 sur la période 2006-2009 à 15 sur la période 2010-2012. 4 HdR ont quitté le GREYC à la suite d'une promotion externe sur des postes PR. Il est important de noter que cet accroissement remarquable de soutenances des HdR est susceptible de s'amenuiser si les équipes ne persévèrent pas dans la préparation d'un vivier de candidats (par exemple par l'implication dans des comités d'encadrement des thèses).

- Une politique d'incitation à la recherche qui a été élaborée lors de la dernière évaluation du laboratoire par l'AERES à partir d'une auto-évaluation pragmatique et responsable pour soutenir les membres non producteurs, i.e. des collègues qui ont des activités relevant de la production scientifique, notamment la participation aux projets de l'équipe, le développement de logiciels et des responsabilités collectives, mais qui ne sont pas suffisamment producteurs selon les critères de l'évaluation des activités de la recherche. Les membres considérés comme *non-producteurs* ont été identifiés et ont exprimé leur volonté d'appartenance à l'unité en élaborant un projet de recherche avec leur responsable d'équipe et en s'engageant à le réaliser. Le projet de recherche a été conçu à partir des compétences du membre concerné et repose sur sa capacité à s'impliquer d'une manière effective dans au moins un thème de l'équipe. Les recommandations suivantes ont été faites aux membres non-producteurs pour pouvoir réaliser leur projet de recherche.
 - Réduire les responsabilités administratives pour mieux se focaliser sur la réalisation de leur projet de recherche .
 - Actualiser leurs connaissances fondamentales via un état de l'art sur leur projet de recherche, étape importante pour recouvrer efficacement une dynamique de recherche.
 - S'impliquer de manière effective dans la vie scientifique du laboratoire par des présentations aux séminaires d'équipe ou de département, ainsi qu'aux projets collaboratifs de l'équipe (ANR, contrat de collaboration, etc.).
 - Participer activement à des encadrements de stagiaires, aux comités d'encadrement des thèses et aux projets collaboratifs de l'équipe (ANR, contrats de collaboration).
 - S'impliquer dans les GDRs pour confronter périodiquement leurs idées avec la communauté scientifique.

Cette politique incitative a permis à plusieurs collègues de recouvrer une dynamique de recherche comme en témoignent les résultats obtenus. La direction du laboratoire a rencontré tous les membres qui n'ont pas respecté leur engagement pour les accompagner vers une bonne dynamique de recherche. Elle a été amenée à proposer au conseil du laboratoire d'enlever deux membres non producteurs de l'organigramme du laboratoire tant qu'ils n'ont pas une activité de recherche. L'un des membres a été remis dans l'organigramme après avoir initié une activité de recherche. L'autre membre a décidé de quitter le laboratoire.

- Création, en 2014, d'un nouveau service de développement et déploiement d'applications (DDA) pour procéder à la conception de plateformes logicielles du laboratoire. Il sera chargé de mettre en place un socle organisationnel commun aux différentes plateformes de développement logiciel, d'organiser une démarche d'amélioration continue de ces plateformes dans un souci de sécurité et de qualité de service, et d'associer ces actions de développement logiciel à la démarche de valorisation déjà engagée par le laboratoire.

Ce service est composé de 5 personnes consacrant de 20% à 100% de leur temps à ces différentes missions, soit 2,75 équivalent temps plein. Ses activités sont réalisées en étroite collaboration avec le service ASR² autour des objectifs suivants.

- Pérennisation et valorisation des développements logiciels du GREYC via la mise en production de la vitrine de promotion du savoir-faire des chercheurs du laboratoire.
- Contribution à la finalisation d'outils logiciels issus des activités de recherche des chercheurs et personnels contractuels amenés à développer eux-mêmes des produits logiciels.

Un séminaire commun aux services ASR et DDA a été mis en place et des formations ont été suivies dans le domaine de la gestion de projets. Deux réalisations ont été faites, en l'occurrence la rédaction d'un guide des bonnes pratiques du développement logiciel et le développement d'une interface web de promotion du savoir-faire des chercheurs du laboratoire. Une journée thématique sur la pratique du logiciel libre et des outils associés à la diffusion de logiciels dans l'Enseignement Supérieur et la Recherche a été organisée pour informer sur les types de licences sous lesquelles un logiciel peut être diffusé.

- La séparation de l'équipe Automatique en deux groupes indépendants suite à des problèmes relationnels en janvier 2013. Ces groupes ont été respectivement nommés *Automatique ENSI* (2PR, 6MC) et *Automatique UFR* (2PR, 4MC) selon le site où ils sont hébergés. Suite à l'échec de plusieurs tentatives de réconciliation entre les deux groupes, la direction a contacté Wilfrid Perruquetti, notre Directeur Adjoint Scientifique à l'INS2I, pour un avis extérieur. Wilfrid Perruquetti est alors venu au GREYC pour rencontrer les deux responsables de groupes et leur a proposé de rédiger deux projets scientifiques différents qui se distinguent par la classe des systèmes considérée. Le groupe *Automatique ENSI* continue à travailler sur les systèmes non linéaires décrits par des équations différentielles ordinaires, alors que le groupe *Automatique UFR* s'est engagé à travailler sur les systèmes à paramètres distribués. Après avoir étudié les deux projets scientifiques et discuté avec les porteurs afin de les affiner, Wilfrid Perruquetti a recommandé la création de deux équipes, préconisant qu'elles soient géographiquement séparées. Une séance du comité scientifique du laboratoire a validé cette recommandation, ce qui a été également conforté lors d'une assemblée générale.

Politique scientifique régionale

Le GREYC est un acteur majeur de la politique du site caennais dans le domaine des STIC. A ce titre, il a conduit différentes actions durant ce quinquennat pour pallier une politique d'aménagement de territoire qui n'est pas favorable à la Normandie pour ce qui concerne les aspects liés à l'enseignement supérieur et la recherche.

- Une forte implication régionale attestée par une relation privilégiée avec le pôle TES, un partenariat dans la création de 4 start-ups relevant de la santé, de la sécurité et du traitement automatique des langues et une importante activité contractuelle autour d'une cinquantaine de projets de recherche régionaux relevant du domaine des services numériques et des territoires intelligents.
- Création de l'Institut Normand des Systèmes Complexes (INSC) (STIC, SHS, Mathématiques et SPI) pour favoriser l'émergence de projets interdisciplinaires novateurs sur toute la Normandie, dans un contexte de fusion proche des régions basse et haute-Normandie. L'INSC est parrainé et financé par le réseau national des systèmes complexes (RNSC).
- La création de la fédération NormaSTIC avec le LITIS le 1 janvier 2014 et dont la convention se termine à la fin de la convention quinquennale du site, soit le 31 décembre 2016. Cette action est le fruit de plusieurs collaborations réussies que le GREYC avait

2. Administration Systèmes et Réseaux

développées avec le LITIS pour promouvoir les synergies scientifiques dans le domaine des STIC en Normandie. L'animation de la recherche au sein de NormaSTIC est structurée en quatre axes, en l'occurrence l'algorithmique et combinatoire, les systèmes complexes, l'analyse et traitement d'images et les données apprentissage et connaissances. Quatre instruments d'animation scientifique ont été retenus sur ce quinquennat : l'organisation de journées thématiques communes, le financement de stages MR communs entre des équipes du GREYC et du LITIS, le soutien des colloques scientifiques en Normandie et la coordination du montage d'un projet Interreg sur le e-tourisme et "Smart Cities".

- Rapprochement des fédérations NormaSTIC et Normandie-Mathématiques pour structurer le potentiel de recherche STIC normand tout en confortant notre identité scientifique régionale par rapport à la ComUE Normandie Université, e.g. le projet d'école doctorale MIIS³. Une journée a été organisée dans le cadre de ce rapprochement pour définir des projets de recherche communs Mathématique-STIC.
- Une forte implication dans la diffusion de la culture scientifique par une participation active à la Fête de la Science, une collaboration soutenue avec Relais d' sciences, une forte implication dans l'enseignement de l'informatique dans les lycées et l'organisation de journées de la culture numérique. Cette diffusion est faite autour des réalisations logicielles du GREYC. La version 2014 des journées de la culture numérique a été marquée par une prestigieuse conférence de Cédric Villani.

Il est important de noter que les fédérations et l'INSC, qui a une forte relation avec le RNSC, sont des outils importants pour notre existence scientifique et des leviers pour figurer dans le paysage national par rapport à l'aménagement du territoire actuel.

Politique scientifique nationale et internationale

Au niveau national, le GREYC s'inscrit dans la politique scientifique de ses instituts de rattachement, en l'occurrence l'INS2I et l'INSIS, et répond aux appels à Projet de l'ANR et du Plan d'Investissement d'Avenir. Plusieurs actions ont été menées conformément aux recommandations du CNRS.

- Proposer des candidats aux distinctions nationales et inciter des candidatures à l'IUF. Jalal Fadili a été nommé Membre Junior de l'IUF.
- Répondre aux différents appels à projets du CNRS : nous avons eu trois projets PEPS sur ce quinquennat.
- Inciter au montage des projets européens : 12 projets dont le projet CHIST-ERA COACHES entre les équipes MAD et Image.
- Une forte implication dans le fonctionnement des GDR ISIS, MIA, IM, Robotique et MACS. Outre une participation scientifique active à ces GDR, des membres du GREYC sont impliqués dans l'animation scientifique de ces GDR : B. Vallée a dirigé le GDR IM de 2010 à 2013, J. Fadili dirige le GDR MIA depuis janvier 2013 et a été Directeur Adjoint du GDR ISIS de janvier 2010 à décembre 2013, B. Zanuttini est co-responsable du thème Intelligence Artificielle Fondamentale du GDR I3 et M. Pouliquen est co-responsable du groupe Modélisation des Systèmes du GDR MACS. Par ailleurs, le site et le serveur des listes des GRD IM et MIA sont hébergés au GREYC.
- Organiser des manifestations scientifiques soutenues par le CNRS
- Inciter de très bonnes candidatures pour le concours de Chercheurs du CNRS
- Accueillir nos DAS Ch. Jutten et W. Perruquetti. Cette rencontre s'est traduite par une présentation du bilan du laboratoire et une visite des plateformes. A cette occasion, W. Perruquetti nous a apporté une aide précieuse par rapport au problème de l'équipe Automatique.

3. ED Normandie Mathématiques, Informatique, Ingénierie des Systèmes

Au niveau international, le GREYC est visible par les actions suivantes

- Une activité contractuelle : deux projets internationaux avec la DARPA et l'ONR sur les magnétomètres à très haute sensibilité et un projet NSF sur les véhicules semi-autonomes en collaboration avec UMASS⁴ et General Motors.
- Des collaborations scientifiques fructueuses, notamment la collaboration avec l'Amérique Latine dans le cadre du projet CNRS STIC-AMSUD qui s'est récemment concrétisée et renforcée par la création d'une nouvelle équipe à l'intérieur du Laboratoire International Associé INFINIS à Buenos Aires. On peut citer également les collaborations avec la Norvège, dans le cadre du programme Asgard, qui ont permis la réalisation de 3 projets européens (2 EUREKA et 1 EUROSTARS).
- L'organisation des colloques internationaux "Philippe Flajolet and Analytics Combinatorics", IFAC Workshops ALCOSP and PSYCO 2013 et des conférences internationales RFIA 2012, ICISP 2012 et 2014.
- Les thèses préparées en co-tutelle : 8 thèses ont été préparées dans ce contexte sur ce quinquennat.

A propos des plateformes

Plusieurs plateformes matérielles et logicielles ont été créées et enrichies au sein du laboratoire durant le quinquennat. La plateforme Biométrie, soutenue dans le précédent CPER, est particulièrement utilisée pour des démonstrations et pour les activités de recherche sur l'évaluation de systèmes biométriques (visage, dynamique de frappe au clavier et empreinte digitale). La plateforme monétique de l'ENSICAEN est utilisée aussi bien pour la formation d'ingénieurs que pour l'expérimentation dans le cadre de projets de recherche relevant de la sécurisation des systèmes de paiement. Une plateforme robotique est en cours de développement au sein de l'équipe MAD dans le cadre du projet européen COACHES pourrait être mutualisée avec d'autres équipes du laboratoire. La plateforme Mécatronique et Systèmes Nomades requiert des espaces appropriés qui sont disponibles dans les nouveaux locaux et un IE à recruter. La création du service DDA, à la suite d'une attribution d'un IE par l'INS2I, facilite la mise en place de ces plateformes dont certaines sont d'ores et déjà utilisées pour la réalisation de contrats industriels et de thèses CIFRE.

1.1.2 Profil d'activités

Nous avons établi les profils d'activités en considérant que les contributions du laboratoire à la recherche académique, à l'interaction avec l'environnement (projets de recherche publics et contrats industriels) et à la formation par la recherche (doctorants et stagiaires) sont respectivement de l'ordre de 30 %, 35 % et 35 %. Les profils d'activités des équipes ont été déterminé à partir d'une modulation des profils du laboratoire par les taux de publication, d'encadrement et de participation à l'interaction avec l'environnement. Cette modulation permet d'identifier les contributions des équipes au laboratoire. En ce qui concerne les personnels ITA du pôle technique, nous avons considéré qu'ils contribuent pour environ 10% à la recherche académique, 10 % à la formation par la recherche et donc 80% en appui à la recherche académique. Quant aux personnels ITA du pôle ressources, nous avons considéré qu'ils contribuent pour environ 10% à la recherche académique, 10 % à la formation par la recherche et 80% en appui à la recherche.

1.1.3 Organisation et vie de l'unité

La recherche est faite par des chercheurs et enseignants-chercheurs motivés et soutenus par des personnels techniques et administratifs de qualité qui ont des projets communs et qui disposent d'un espace viable et de moyens appropriés pour les réaliser.

4. University of Massachusetts

Les ressources humaines

La politique des ressources humaines du GREYC est faite en partenariat avec ses tutelles : le CNRS à travers l'INS2I, l'UCBN et l'ENSICAEN. Le tableau 1.1 montre l'évolution des effectifs du GREYC sur la période janvier 2010 - décembre 2015 qui fait apparaître clairement que le GREYC est essentiellement un laboratoire d'enseignants-chercheurs sous doté en personnels ITA-IATOS. On notera une baisse des effectifs de doctorants et de post-doctorants qui s'explique par la baisse des financements, e.g. notamment les allocations ministérielles et les projets ANR, ainsi que par la baisse du vivier de doctorants motivés par la recherche fondamentale compte tenu du contexte national actuel.

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Juillet 2015
Professeurs	26	27	26	26	27	26	26
Maîtres de conférences	61	64	64	61	64	63	63
Chercheurs	7	7	7	6	6	6	5
PR et DR Emérites	0	0	3	3	2	3	4
ITA-IATOS	17	17	16	17	16	16	16
PRAG	2	2	3	3	2	2	2
PAST	1	2	2	2	2	2	2
Ater	8	6	8	5	7	8	7
Doctorants	71	69	55	49	47	48	46
Post-doc	7	4	9	9	10	3	2
Chercheurs CDD-CNRS	0	1	4	1	0	2	2
Ingénieurs CDD	17	17	13	11	8	9	7
Ingénieurs CDI	0	0	4	4	4	3	3
Total	217	216	214	197	195	191	185

TABLE 1.1 – Evolution des effectifs du GREYC

Les chercheurs

Le nombre de chercheurs du GREYC est passé de 7 (1DR et 6CR) à 5 chercheurs (1DR et 4CR) au cours de ce quinquennat : une arrivée en mutation d'une chargée de recherche (Stéphanie Jehan-Besson) pour un départ en mutation d'un chargé de recherche (Laurent Condat) au gipsa-lab et le départ en retraite de la seule directrice de recherche (Brigitte Vallée) en juillet 2015. La proportion des chercheurs au GREYC en juillet 2015 sera de l'ordre de de 5.5 % par rapport aux membres permanents : une situation préjudiciable pour le potentiel scientifique du GREYC. Trois bonnes nouvelles nous rassurent : Brigitte Vallée restera au laboratoire en tant que DR Emérite, Laurence Mechin, CR en électronique, a été promue DR cette année et une candidate a été sélectionnée pour la seconde phase du concours CNRS CR parmi les 5 candidats que le GREYC a remontés cette année même si elle a été affectée à Rennes. Cette dernière bonne nouvelle résulte naturellement d'un effort louable que le GREYC a consenti pour attirer de bons candidats conformément à ses ambitions d'excellence. Nous noterons que le GREYC demande chaque année un poste de chercheur pour conforter et développer les activités de recherche effectuées au sein du département IAA. Par ailleurs, certains membres de notre laboratoire ont bénéficié de délégations CNRS comme le montre le tableau 1.2.

Année	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	Total
Délégation CNRS 1 année	5	5	1	1	1	13
Délégation CNRS 6 mois	0	2	2	2	1	7
Délégation IRD 1 année	1	1	1	0	0	3
Délégation INRIA 1 année	1	0	0	0	0	1
CRCT 1 semestre	1			1	1	3

TABLE 1.2 – Délégations et CRCT

Les enseignants-chercheurs.

Le nombre d'enseignants-chercheurs du GREYC a peu évolué au cours de ce quinquennat : 26 PR et 63 MC comme le montre le tableau 1.1. Le tableau 1.3 donne le mouvement des enseignants-chercheurs et des chercheurs durant ce quinquennat. Nous constatons que nos tutelles académiques ont maintenu tous les postes qui étaient affectés au GREYC mais l'UCBN a gelé certains postes à la suite des difficultés budgétaires qu'elle a rencontrées lors de son passage aux RCE. La politique de recrutement introduite au précédent quadriennal a été poursuivie. Elle a permis de faire un recrutement ouvert vers l'extérieur tout en étant juste envers les locaux conformément à nos ambitions d'excellence. Le tableau 1.4 donne les recrutements effectués durant ce quinquennat à partir de viviers de candidatures de très bonne qualité. Cette attractivité du GREYC est le résultat d'un investissement soutenu de collègues reconnus dans la communauté STIC aussi bien sur le plan national qu'international.

Mouvement	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Départ à la retraite		3	1	4	1	1	10
Mutation ou promotion externe			3	1	1	1	6
Détachement	1		1		1	1	4
Total des départs	1	3	5	5	3	3	20
Recrutement interne avec mobilité				2			2
Recrutement externe	3	2	4	4	1	1	15
Retour d'une mise en disponibilité	1						1
Total des arrivées	4	2	4	6	1	1	18
Promotion interne		1				1	2

TABLE 1.3 – Mouvement des enseignants-chercheurs et chercheurs titulaires

La politique d'emploi

Elle repose sur une position audacieuse qui consiste à affecter les postes à un projet scientifique et non à une équipe pour remplacer un départ. Elle a été adoptée au conseil scientifique en plusieurs étapes données ci dessous.

- Une présentation des bilans des équipes qui permet de mieux apprécier leurs forces, faiblesses, opportunités et risques en accordant une attention particulière aux besoins requis pour la réalisation de leurs projets scientifiques.

Recrutement	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Interne		1		2		1	4
Externe	3	2	4	4	1	1	15
Total	3	3	4	6	1	2	18

TABLE 1.4 – Recrutement des enseignants-chercheurs

- Evaluation pragmatique du laboratoire à partir d'un bilan des départements pour mettre en exergue ses forces et ses faiblesses et apprécier ses risques et ses opportunités. Une attention particulière est accordée à ses activités de recherche pour mieux apprécier ses thématiques, ses projets et les collaborations inter-équipes et percevoir les éventuelles équipes fragilisées.
- Définition des objectifs de la politique d'emploi à partir de l'analyse effectuée à l'étape précédente. Les objectifs suivants ont été retenus pour ce quinquennat.
 - Ø1.* Soutien des équipes fragilisées par des départs,
 - Ø2.* Soutien et attraction de l'excellence,
 - Ø3.* Soutien des projets inter-équipes d'un département ou du laboratoire,
 - Ø4.* Soutien des thèmes prioritaires au sens de la politique scientifique du laboratoire,
 - Ø5.* Soutien des activités dynamiques sur la période 2012-2015, e.g. projets novateurs et encadrement de la recherche.
- Répartition des 11 postes disponibles (3PR, 8MC) compte tenu des objectifs *Ø1* à *Ø5* et des besoins des équipes en trois temps. Le premier temps traite l'année 2012 avec 3 postes (1PR 27ème section à l'UFR Sciences, 1MC 27ème section à l'ENSICAEN et 1MC 61ème section à l'UFR Sciences), le second temps concerne la période 2011-2014 à partir de 6 postes (1 MC 27ème section en 2013 à l'ENSICAEN, 2MC 27ème section en 2013 à l'UFR Science et l'IUT de Caen, 1 MC 63ème section en 2013 à L'IUT d'Alençon, 1 MC 61/63ème section en 2013 à l'UFR Sciences et 1PR 27ème section en 2014). Quand au troisième temps, il traite l'année 2015 avec deux postes (1PR 63ème section à l'UFR Sciences et 1 MC 27ème section à l'IUT de Caen). La répartition qui a été retenue se distingue par 5 postes pour soutenir les équipes fragilisées, 5 postes pour soutenir l'excellence scientifique et 3 postes pour inciter des projets inter-équipes d'un département.
- Rédaction des profils des postes à partir de la répartition effectuée à l'étape précédente et des besoins en enseignement en concertation avec nos tutelles. Une attention particulière est accordée à la définition des priorités des équipes sur un poste donné pour mieux répondre aux objectifs retenus conformément à nos ambitions d'excellence. Hormis les postes affectés aux équipes fragilisées, des profils ouverts sur les thématiques des équipes avec des priorités aux équipes dont les besoins sont les plus proches des objectifs retenus. Les profils des postes PR sont volontairement larges pour le bénéfice du laboratoire.
- Constitution des comités de sélection avec des collègues reconnus dans nos disciplines et souvent fortement impliqués dans des responsabilités collectives d'animation et d'évaluation de la recherche. Deux recommandations principales sont données aux commissions de spécialistes pour la constitution des CoS, en l'occurrence
 - R1* Strictement plus de la moitié des membres de chaque CoS sont des membres extérieurs
 - R2* Le président de chaque CoS est une personnalité extérieure qui est ou a été éventuellement impliquée dans des responsabilités nationales.

Cette politique d'emploi, qui a été validée par le conseil du laboratoire, s'est avérée très

efficace pour attirer les meilleures candidatures dans un contexte national d'excellence. Le tableau 1.5 donne les équipes qui en ont bénéficié. Nous notons que le recrutement sur des postes d'enseignants-chercheurs en interne est relativement difficile : 15 sur les 18 recrutements effectués sur la période sont extérieurs. 4 MC HdR ont quitté le laboratoire à la suite d'une promotion externe sur ce quinquennat. Nous sommes toutefois très sensibles à certains cas exceptionnels au bénéfice du laboratoire et des tutelles, notamment les doctorants qui ont eu une mobilité et les MC ayant une production scientifique d'excellente qualité. C'est le cas des postes MC 63 en 2013 et du poste PR 27 en 2011.

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015
AmacC			1PR 27	1MC 27		
CODAG						1MC 27
MAD	1MC 27			1MC 27		
HulTech		1PR 27			1PR 27	
Image		1PR 27 1MC 61	1MC 27	1MC 27		
Monétique et Biométrie	1PR 27			1MC 27		
Automatique	1MC 61		1MC 61			
Electronique				2 MC 63		1PR 63

TABLE 1.5 – Répartition des postes d'enseignants-chercheurs sur la période 2010-2015

Les personnels d'accompagnement de la recherche.

Les personnels ITA-IATOS offrent un soutien efficace à la recherche à travers 3 services communs

- Le *service administration générale* assure la gestion administrative du laboratoire et le lien avec les tutelles.
- Le *service gestion* assure la gestion du budget en général en terme de projets, de contrats, de commande et des recrutements de personnels contractuels.
- Le *service informatique* assure la gestion, l'installation et la maintenance du parc informatique du laboratoire, la mise à jour du site du laboratoire et le développement des logiciels

Ces trois services fonctionnent actuellement avec 16 ITA-IATOS répartis sur les deux principaux sites du GREYC au campus II (10 sur le site UFR Sciences et 6 sur le site ENSICAEN A). Compte tenu du fait que certaines personnes travaillent à temps partiel, le nombre de postes plein temps des ITA-IATOS est de 14. Nous notons que le GREYC est sous-doté en personnel ITA-IATOS et n'a pas de service de communication. C'est Mme Marinette Revenu, Professeur Emérite au GREYC, qui est en charge de la communication auprès de la direction avec l'aide du service informatique pour la mise à jour du site du laboratoire.

Durant ce quinquennat, le GREYC a bénéficié de la création par l'UCBN d'un poste de gestionnaire financière et d'un poste d'IE Informatique en développement d'applications par l'INS2I en redéploiement NOEMI. Ces deux postes ont été obtenus à partir de nos demandes prioritaires argumentées par un manque criant de personnel de gestion financière et d'IE pour le développement de nos plateformes logiciels. Mais nous avons perdu un poste de secrétariat que l'UCBN a repris sur le contingent des postes mis à disposition de l'ENSICAEN dans le cadre de la politique du site Caennais et 1/2 poste de secrétaire à l'UFR Sciences à la suite de la mutation de sa titulaire à l'inspection académique. Ainsi le GREYC a un besoin urgent d'un poste de secrétariat supplémentaire sur le site de l'ENSICAEN afin d'assurer toutes les tâches

requis et apporter une aide à la communication du laboratoire.

L'efficacité des services communs est principalement due à une meilleure mutualisation des services et aux compétences des personnels et leur dévouement indéniable. Le GREYC a été labellisé CATI⁵ par le CNRS, ce qui permet aux personnels ingénieurs en informatique du CNRS de bénéficier de la PFI⁶. Ce label est une conséquence naturelle des objectifs communs des deux équipes du service informatique malgré le fait que les réseaux informatiques de nos deux sites soient physiquement indépendants. Par ailleurs, l'équipe informatique participe activement à RESINFO⁷ pour pouvoir communiquer, échanger les compétences et mutualiser les expériences avec tous les ASR.

La direction du GREYC est consciente du dévouement des personnels ITA-IATOS qu'elle apprécie pleinement lors des entretiens annuels, et regrette que nos tutelles n'aient pas les moyens pour les promouvoir régulièrement. Hormis la promotion de notre ancienne secrétaire de gestion (passage catégorie C \mapsto catégorie B) avec une condition de mobilité interne, nos personnels ITA-IATOS n'ont pas bénéficié de promotions au cours de ce quinquennat même si les classements de nos personnels CNRS ont évolué au niveau de la délégation. Pour pallier cette situation, qui résulte d'une forte pression dans les BAP de nos personnels, nous les incitons à passer des concours internes. Une attention particulière est alors réservée à la formation continue pour permettre à nos personnels de préparer des concours compte tenu que les promotions au choix sont relativement exceptionnelles dans le contexte actuel. La correspondante de la formation continue recueille périodiquement les besoins de chacun, informe des opportunités, anticipe certains besoins et établit des priorités avec la direction si besoin est. Elle établit ainsi une feuille de route des formations conformément aux plans de formation de nos 3 tutelles qui sont désormais ouverts à tous nos personnels indépendamment de leurs statuts.

Evolution des ressources humaines

Le tableau 1.6 décrit la pyramide des âges des chercheurs et enseignants-chercheurs, respectivement notés dans le tableau 'ch' et 'ec', du GREYC en 2010 et 2015. On constate un certain vieillissement des enseignants-chercheurs qui nous amène à élaborer une politique prospective des renouvellements des départs à la retraite prévus dans les prochaines années. En ce qui concerne les personnels ITA-IATOS, Nicolle Delamotte, qui était en charge du secrétariat et de la gestion sur le site ENSICAEN, est parti en retraite en juillet 2015. Elle a été remplacée par une nouvelle secrétaire titulaire d'un CDI à l'ENSICAEN.

Intervalles	28-34 ans	35-39 ans	40-44 ans	45-49 ans	50-54 ans	≥ 55 ans
Année 2010	2ch-11ec	2ch-20ec	1ch-20ec	12ec	9ec	2ch-15ec
Pourcentage 2010	13.54	22.92	21.88	12.50	9.38	19.79
Année 2015	9ec	1ch-14ec	2ch-18ec	1ch-19ec	13ec	1ch-17ec
Pourcentage 2015	9.50	15.80	21	21	13.70	19

TABLE 1.6 – Pyramide des âges

Les problèmes cruciaux de nos personnels relèvent des besoins d'évaluation des carrières et/ou de reconnaissance de tout un chacun dans un contexte contraint. Les personnels ITA-IATOS n'ont pas le temps de préparer les concours internes qui constituent un instrument de promotion. Les perspectives de passage local de MCF vers PR sont plutôt faibles. C'est pourquoi, nous incitons fortement nos collègues à passer une HdR pour avoir une indépendance scientifique

5. Centre Automatisé de Traitement de l'Information

6. Prime de Fonction Informatique

7. Fédération des réseaux d'administrateurs systèmes et réseaux

et pouvoir ainsi saisir les opportunités. Quant aux chercheurs, qui conservent la possibilité de passer CR à DR sans mobilité, la difficulté essentielle relève de la réduction des postes. Comment accompagner alors la carrière de nos personnels dans ce contexte restreint pour éviter le risque d'une perte sèche de poste non remplacé ? Cette question requiert une présence au niveau des principales instances de décision de nos tutelles et un réseau régional pour défendre notre cause à partir de nos spécificités, notamment

- Des collaborations interdisciplinaires avec les SHS et les sciences de l'ingénieur.
- Des collaborations industrielles autour d'une ingénierie des systèmes à haute valeur ajoutée.
- Des formations attractives à tous les niveaux académiques.

Ressources financières et politique d'utilisation

Le tableau 1.7, où la moyenne a été calculée sur 5 ans (2010-2014), décrit la répartition des budgets annuels gérés par le laboratoire sur la période 2010 à 2015. Par rapport au dernier quadriennal, nous notons un accroissement moyen de 16.4% avec des nouvelles recettes issues des FEDER et de contrats internationaux d'une moyenne annuelle de l'ordre de 170 keuros depuis 2011. Les dotations de nos tutelles, qui représentent 15.4% de notre budget, ont été maintenues en dépit de la baisse des dotations de nos tutelles universitaires depuis 2012. L'incitation à une implication européenne a été fructueuse puisque le budget des contrats européens a augmenté de 49%. Les recettes issues du budget global du CPER, des projets de recherche avec le ministère et la région ont respectivement augmenté de 5%, 230% et 57%. Nous constatons une baisse respective du budget ANR et des recettes issues des contrats avec les entreprises de 14% et 2.2%.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	moyenne	%
UCBN	92.7	105	113.2	113.5	104.4	125.8	105.8	5.8
ENSICAEN	66	87.9	61.4	61.7	48.3	39.7	65.1	3.6
CNRS	103.6	115	99	11	12	165.3	109.5	6
MENESR	225	317.9	93.3	207.6	133.7	68	195.5	10.8
ANR	607.3	532.9	476.8	379.1	421.6	443.3	483.5	26.6
CPER Etat	174.1	172.8	110.4	38.4	20		103.1	5.7
CPER Région	101.6	121.3	213.7	79	131		129.3	7.1
Région	303.1	248.2	299.2	197.2	141.3	197.3	237.8	13.1
FEDER		85.1	44.3	41.5	70	18.9	48.2	2.7
Entreprises	210	218.6	186.5	218.3	244.6	144.3	215.6	11.9
Incubateur					3.7	61.1	0.74	0
Europe		61.1	84	82.6	72.8	182.8	60.1	3.3
International	41	70	70	60	70	82.4	62.2	3.4
Total annuel	1924.2	2135.8	1851.8	1592.9	1577.4	1528.9	1816.4	100

TABLE 1.7 – Recettes du GREYC en keuros

Les recettes contractuelles intègrent les salaires des contractuels (postdocs, ingénieurs) et certains doctorants et constituent l'essentiel du budget géré par le laboratoire. Le budget du laboratoire est élaboré par l'assistance de direction en concertation avec la direction à partir des bilans des recettes et des dépenses et de nos prévisions budgétaires fournies par les trois personnes en charge de la gestion financière au sein du laboratoire. Nous notons que les seules recettes réparties par la direction du laboratoire sont les budgets récurrents issus des subventions de nos

tutelles. La répartition de ces subventions est principalement basée sur une répartition de nos subventions en quatre parties.

- Une partie réservée aux besoins de fonctionnement du laboratoire. Elle concerne essentiellement les frais occasionnés par les jurys de thèse, les frais de mission des personnes que nous invitons à nos séminaires organisés, les frais d'un ou deux stages MR et les subventions accordées aux manifestations scientifiques du laboratoire, e.g. écoles thématiques, colloques et conférences organisés par des membres du GREYC. Ces crédits viennent renforcer le rayonnement scientifique de notre unité, notamment les invitations de personnalités extérieures à nos séminaires et l'organisation de manifestations scientifiques (qui peuvent aller d'une simple journée de travail à une conférence internationale).
- Une partie essentiellement affectée aux équipements informatiques : maintenance, remplacement et nouveaux investissements.
- Une partie consacrée aux besoins spécifiques de certaines équipes, utilisée principalement pour financer des équipements et consommables de l'équipe électronique.
- Une partie dédiée aux frais de missions des équipes. Le budget alloué aux équipes est déterminé à partir d'une procédure de points qui consiste à attribuer 1 point par enseignant-chercheur titulaire, 1,5 point par chercheur et 0,5 point par doctorant, postdoc, ATER ou ingénieur contractuel.

Animation scientifique

L'animation scientifique au GREYC est faite au sein des équipes, des départements ou dans le cadre du laboratoire en utilisant des outils appropriés.

L'animation scientifique au sein des équipes.

Elle est faite au gré de la vie scientifique des équipes par l'organisation de journées thématiques, de séminaires ou encore de réunions de travail régulières. Les réunions de travail d'une équipe sont généralement organisées en fonction de l'agenda des réunions du comité scientifique (où les principales décisions sont prises), à l'exception de l'équipe MAD qui le fait d'une manière hebdomadaire. Le groupe Auto ENSI organise des journées d'automatique 2 fois par an pour faire un état de l'art de leurs thèmes de recherche, en présence de 4 à 5 collègues de leur communauté. Les séminaires sont organisés par une ou plusieurs équipes à partir d'un agenda bien défini. Le GREYC organise 4 séminaires : le séminaire Algorithmique de l'équipe AmacC, le séminaire Cryptologie & Sécurité co-organisé par l'équipe AmacC avec l'équipe M&B, le LMNO⁸ et Orange Labs, le séminaire Image de l'équipe Image et le séminaire I3 des équipes CoDaG, MAD, et HulTech. Ces séminaires sont généralement donnés par des conférenciers externes invités par les organisateurs. La direction réserve chaque année une enveloppe de 8 keuros pour inviter des scientifiques reconnus à ces séminaires.

L'animation scientifique au sein des départements.

Elle a été principalement faite sous forme de rencontres et de séminaires qui ont permis d'initier une réflexion sur les périmètres des départements par rapport à ceux des équipes. Des présentations unifiées de l'activité scientifique des départements ont été réalisées à partir de la culture commune des équipes qui les composent en privilégiant les thèmes transverses. Ces présentations ont été beaucoup appréciées pour avoir permis une meilleure lisibilité des activités de recherche du laboratoire. Trois demi-journées scientifiques et quatre séminaires ont été organisés au sein du département IAA ; les séminaires ont été mutualisés avec des séminaires Algorithmique et I3. Cette activité a favorisé l'émergence d'interactions prometteuses, notamment l'apprentissage

8. Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme

de préférences dans le cadre du montage de l'InterReg sur le e-tourisme, l'étude en moyenne et en distribution de protocoles pour l'allocation de ressources dans les systèmes multiagents et le projet PEPS HYDRATA (Hypergraphes et Datamining : Algorithmes et Analyses probabilistes). Ce dernier a été accepté en 2015 et sera réalisé par des membres des équipes AmacC et CoDaG. Une volonté de dynamiser les départements TIRF et CAS est perceptible au travers d'un co-encadrement d'une thèse entre les équipes Image et HulTech, de collaborations attestées par des publications communes entre des membres des équipes Auto et Elec et de deux demi-journées du département CAS.

L'animation scientifique au nom du laboratoire.

Plusieurs manifestations scientifiques ont été organisées par les équipes du laboratoire, qui se différencient de par leurs objectifs : synthèses sur nos thématiques de recherche pour l'élaboration de la prospective scientifique du laboratoire, organisation d'écoles thématiques pour les jeunes chercheurs, hommage à des pionniers de notre communauté pour l'originalité de leurs contributions, organisation de conférences donnant une meilleure visibilité de notre potentiel universitaire. Nous distinguons donc trois types de manifestations :

- Des manifestations locales.
 - Ecole Jeunes Chercheurs en Informatique Mathématique (EJCIM) en 2014 avec une édition du recueil des cours dans le livre "Une photographie de l'informatique mathématique".
 - Journées de la culture numérique en 2012 et 2014
 - Journée de l'Institut des Systèmes Complexes en 2014.
 - Journées d'Automatique sur l'identification, l'observation et la commande des systèmes en 2013 et 2014 avec des invités prestigieux.
 - Journée Image-Numérique Normandie en 2013.
 - Atelier sur la protection de la vie privée en 2014.
- Des manifestations nationales.
 - Journées Complexité et Modèles Finis en 2013 à l'occasion du 60ème anniversaire d'Etienne Grandjean.
 - Ecole Jeunes Chercheurs en Informatique Mathématique EJCIM 2014.
 - Conférences nationales CETSIS en 2013 et TALN en 2015.
- Les manifestations internationales.
 - Ecole thématique du CNRS "High Sensitivity Magnetometers, Sensors and Applications".
 - Workshop Philippe Flajolet and Analytic Combinatorics en 2012.
 - IFAC Workshops ALCOSP et PSYCO en 2013.
 - Les conférences IWCMC/HPCS 2010, SAR-SSI en 2012, ICISP 2012 et 2014, ICNF 2013 et FGCMIA 2014.

La diffusion et la vulgarisation de la culture scientifique.

Elles consistent principalement en quatre opérations. La première opération est une participation active à la Fête de la Science où plusieurs réalisations du GREYC sont présentées d'une manière ludique, que ce soit des logiciels de traitement d'image et de développement Web, des outils de biométrie, le dispositif Captail et des systèmes électro-mécaniques pour apprécier l'importance de l'électronique et de l'automatique. L'annexe E page 189 développe davantage notre participation à la fête de la science. La deuxième opération est une participation aux diverses manifestations portes ouvertes organisées par nos tutelles académiques. La troisième opération est l'organisation de journées de la culture numérique à Cherbourg. La version 2014 a été organisée autour de 13

ateliers pour 500 élèves et honorée par une conférence de Cédric Villani. La quatrième opération est une forte implication dans l'enseignement de l'informatique dans les lycées.

Gouvernance de l'unité de recherche.

Les organes décisionnels du laboratoire sont la direction, le comité scientifique et le conseil du laboratoire.

- Le *comité scientifique* est le lieu privilégié pour traiter les diverses questions relatives à la politique scientifique, la gestion des ressources, l'organisation et le fonctionnement du laboratoire. Il est composé des responsables d'équipe (8 membres), des animateurs des départements (3 membres), des anciens directeurs du GREYC (3 membres) et de 6 membres extérieurs au laboratoire. Les membres internes au laboratoire consolident et développent l'esprit du laboratoire, alors que les membres extérieurs viennent, en portant un regard extérieur sur notre politique, contribuer à une meilleure lisibilité de nos orientations de recherche sur le plan national. Le comité scientifique se réunit mensuellement pour étudier des sujets définis à l'avance sur la base d'un calendrier précis adapté à nos échéances (demandes de moyens, classement des sujets de thèses et des demandes d'allocations de thèses, élaboration de la politique d'emploi, recrutement des enseignants-chercheurs, etc.). Les membres extérieurs ne participent qu'aux deux réunions consacrées à la présentation du bilan des activités du laboratoire et l'élaboration de la politique scientifique.
- Le *conseil du laboratoire* est l'organe statutaire du laboratoire. Il est consulté par la direction du laboratoire une fois par trimestre sur les diverses questions relatives à la politique scientifique, la gestion des ressources, l'organisation et le fonctionnement du laboratoire qui ont été préalablement étudiés au comité scientifique. Tous les avis sont soumis à des votes. Il est composé de 17 membres : la direction (3 membres), des représentants du collège A (3 membres), du collège B (2 membres), des techniciens (2 membres), des doctorants et post-doctorants (2 membres) et de 4 membres nommés par la direction avec un accord du comité scientifique. Toutes les décisions du comité scientifique ont été validées par le conseil du laboratoire qui est aussi un lieu privilégié pour échanger sur les orientations nationales de la recherche. Les réunions du conseil du laboratoire sont ouvertes aux membres du laboratoire.
- L'*équipe de direction* est composée du directeur du laboratoire et de deux directeurs-adjoints. Elle prépare et organise les réunions du comité scientifique et du conseil du laboratoire, conforte la visibilité et la culture du laboratoire, assure la gestion quotidienne des deux sites du laboratoire, veille au suivi des carrières des personnels ITA-IATOS, organise des rencontres avec les tutelles, la région et les pôles de compétitivité et prend des décisions rapides si besoin est. La direction se réunit tous les lundis pour faire le point, préparer les différentes réunions et visites et accueillir tous les membres désireux de la voir. Elle bénéficie de l'aide précieuse d'une assistante de direction qui suit les dossiers en cours, rappelle les échéances et réunit et diffuse les informations.

Un planning des diverses réunions du comité scientifique et du conseil du laboratoire est élaboré chaque année en septembre puis mis sur le site du laboratoire. Les ordres du jour des réunions du comité scientifique (resp. du conseil du laboratoire) ne sont envoyés qu'aux membres du comité scientifique (resp. conseil du laboratoire), alors que les compte-rendus de ses réunions sont rédigés par l'assistante de direction et diffusés à tout le laboratoire (via son intranet) après une relecture. Des relevés de décision sont envoyés à tout le laboratoire immédiatement à l'issue des réunions du comité scientifique (resp. du conseil du laboratoire) pour une meilleure transparence, depuis septembre 2014. Des réunions entre la direction et des équipes sont organisées pour faire un bilan des problèmes scientifiques et humains si besoin est.

Les assemblées générales du laboratoire sont essentiellement organisées à la suite d'événements importants qui nécessitent une adhésion de l'ensemble du laboratoire. Deux assemblées

générales ont été organisées au cours de ce quinquennat. La première a été consacrée aux états généraux de la recherche, alors que la seconde était dédiée au projet et à l'organisation du laboratoire pour le nouveau quinquennat.

Hygiène et sécurité

Les activités de notre laboratoire sont essentiellement de nature intellectuelle. Les équipes Automatique et Electronique travaillent sur des plateformes expérimentales mais aucun accident de travail n'a été à déplorer. Un technicien du laboratoire a suivi une formation en 2008 à l'issue de laquelle il a été nommé ACMO⁹ en 2009. En tant qu'ACMO du GREYC, il participe aux visites de sécurité et est en charge du respect des règles d'hygiène et sécurité. Pour ce faire, il a mis en place un registre hygiène et sécurité, affiché les consignes de sécurité et indiqué les dangers et les moyens de prévention pour chaque salle de manipulation.

Implication dans la vie des structures

Au cours de ce quinquennat, des collègues ont eu des responsabilités importantes au niveau national et local.

Au niveau national

- B. Vallée a été DAS de l'INS2I en charge du domaine "Informatique" du 01/05/2013 au 31/08/2014.
- B. Vallée est la représentante du CNRS au CNNum¹⁰ depuis janvier 2013.
- J. Fadili est le directeur du GRD MIA depuis janvier 2013 et a été le directeur adjoint du GDR ISIS de janvier 2010 à décembre 2013.
- F. Jurie et A-I. Mouaddib sont des membres de comités scientifiques de l'ANR depuis 2011.
- F. Jurie a présidé l'Association Française pour la Reconnaissance et l'Interprétation des Formes (AFRIF) entre 2006 et 2012.

Au niveau local

- F. Jurie est le directeur de l'école doctorale SIMEM
- L. Brun est le directeur de la fédération NormaSTIC
- B. Cremilleux est le directeur du département informatique de l'UFR des Sciences
- S. Flament est le responsable de la spécialité électronique et physique appliquée de l'ENSICAEN
- Ch. Rosenberger est le responsable de la spécialité informatique de l'ENSICAEN
- S. Saez est le responsable du département "Mécatronique et Systèmes Nomades" de l'ESIX – UniCaen
- B. Zanuttini est le responsable de la spécialité DECIM¹¹ du master informatique
- E. Grandjean est le responsable de la spécialité e-SECURE¹² du master informatique
- Y. Chahir est le responsable de la spécialité IMALANG¹³ du master informatique
- F. Rioult est le responsable de la spécialité DNR-2I¹⁴ du master "document"
- C. Dolabdjian est le responsable du Master EEOA¹⁵ (F. Giri et JM Routoure sont respectivement les responsables des parcours "Automatique et Informatique Industrielle" et "Electronique et Ondes")

9. Agent chargé de la mise en oeuvre des règles d'hygiène et de sécurité

10. Conseil National du Numérique

11. Décision et Optimisation

12. Réseaux et Sécurité des Systèmes Informatiques

13. Traitement Automatique de l'Image et de la Langue

14. Master Document Numérique en Réseau, Ingénierie de l'Internet

15. Electronique, Electrotechnique, Ondes et Automatique

- JM Routure est le responsable de la licence “Sciences pour l’Ingénieur”
- JM Le Bars est le responsable de la licence “Informatique”
- C. Dolabdjian est le responsable de la licence professionnelle “Microcircuits, cartes et applications”
- M. Bouzid-Mouddib est la responsable de la licence professionnelle “Activités et techniques de Communication – spécialité Webmestre”
- V. Van Assche est le responsable de la licence professionnelle “Conception et supervision des systèmes automatisés”
- P. Langlois est le responsable de la licence professionnelle “Acquisition et traitement d’images”
- F. Bourdon est le responsable de la licence professionnelle “Audit et sécurité des réseaux”

1.1.4 Faits marquants

Parmi les réalisations de notre laboratoire, nous avons souhaité mettre en avant les aspects suivants :

- Une formation par la recherche de qualité et une excellente insertion de nos docteurs : un résultat naturel du potentiel HdR, du nombre de doctorants, de la variété des modes de financement et de la durée raisonnable des thèses.
- Une forte implication dans le fonctionnement des GDR ISIS, MIA, IM, Robotique et MACS. Outre une participation scientifique active à ces GDR, des membres du GREYC sont impliqués dans l’animation scientifique de ces GDR : B. Vallée a dirigé le GDR IM de 2010 à 2013, J. Fadili dirige le GDR MIA depuis janvier 2013 et a été Directeur Adjoint du GDR ISIS de janvier 2010 à décembre 2013, F. Jurie a présidé l’AFRIF entre 2006 et 2012, B. Zanuttini est co-responsable du thème Intelligence Artificielle Fondamentale du GDR I3 et M. Pouliquen est co-responsable du groupe Modélisation des Systèmes du GDR MACS. Par ailleurs, le site et le serveur des listes des GRD IM et MIA sont hébergés au GREYC.
- Une inter régionalisation accrue et cohérente avec notre ambition d’être les acteurs des STIC en Normandie. La création de la fédération NormaSTIC en 2014 avec nos collègues du LITIS s’inscrit dans cette ambition. Le rapprochement de NormaSTIC avec la fédération Normandie-Mathématiques est principalement motivé par une meilleure visibilité de notre recherche fondamentale au sein de la ComUE Normandie Université.
- Une interaction vigoureuse avec l’environnement, attestée par un partenariat industriel de qualité (19 thèses CIFRE et 60 collaborations industrielles sur le quinquennat), une ouverture européenne (12 projets) et des projets internationaux avec la DARPA et l’ONR sur les magnétomètres à très haute sensibilité et la NSF sur les véhicules semi-autonomes.
- Une forte implication dans la création et l’accompagnement d’entreprises innovantes, notamment DATEXIM sur l’imagerie médicale qui a eu un prix national d’aide à la création d’entreprises (catégorie création-développement), SAMSIC sur l’authentification d’objets et de documents qui a eu un prix national d’aide à la création d’entreprises (catégorie émergence), IX-LAB on "Algorithms for the social web, adversarial information retrieval, data science, approximate verification ou encore WhizzOmics spécialisée dans l’analyse de bases de données dites *omiques* (qui consiste à appréhender la complexité du vivant au moyen de nouvelles méthodologies).
- G’MIC¹⁶ : un logiciel libre et gratuit offrant plusieurs interfaces utilisateurs pour la manipulation d’images génériques avec des algorithmes développés par David Tschumperlé. Le succès de G’MIC (1.5 Millions de téléchargements) a été conforté par une utilisation artistique pour générer des oeuvres d’art numériques.

16. GREYC’Magic for Image Computing

1.2 Réalisations

Les réalisations du GREYC sont principalement celles de ses équipes puisque la recherche au GREYC est principalement faite dans les équipes ; elles sont donc détaillées dans les bilans des équipes au chapitre suivant. Comme il a été mentionné au paragraphe consacré à la politique scientifique interne, le laboratoire est en bonne santé comme le montre le tableau 1.8 qui donne la production scientifique du GREYC. RI et RN désignent respectivement les revues internationales et nationales, CI et CN désignent respectivement les communications internationales et nationales, ODOCO désigne les ouvrages, directions d'ouvrages et chapitres d'ouvrages et BL désigne les brevets et logiciels.

RI	RN	CI	CN	ODOCO	BL
369	38	735	178	(16, 15, 74)	(14, 15)

TABLE 1.8 – Bilan des publications du GREYC sur la période 2010-2015

On peut compléter ce bilan par un additif sur les activités contractuelles et une présentation de son activité d'essaimage.

1.2.1 Activités contractuelles

Les tableaux 1.9 et 1.10 (où Int. désigne International) décrivent respectivement la répartition des projets par équipe et les montants associés (en Keuros) sur ce quinquennat et permettent de faire un constat global sur les activités contractuelles du laboratoire.

- Le GREYC est bien inséré dans le programme de l'ANR. Le tableau 1.11 décrit la ventilation des 22 projets ANR du GREYC qui ont été labellisés sur la période 2010-2014. Nous notons que 6 projets ont été coordonnés par des membres du GREYC et que plus de la moitié de ces projets ont été montés avec des entreprises. Les équipes MAD et Image sont particulièrement impliquées dans plusieurs projets, les autres équipes sont partenaires dans au moins un projet à l'exception de l'équipe automatique.
- Une remarquable ouverture européenne et internationale particulièrement due à la dynamique des équipes MAD, Image, M&B et Elec.
- Une très bonne insertion dans les projets de la région avec une importante activité industrielle au sein des équipes.

Par ailleurs, nous pouvons déterminer les taux de production moyens des activités contractuelles des équipes pour mieux apprécier leur participation à l'effort consenti par le laboratoire en la matière. Cette information est donnée dans la tableau 1.12 qui indique que l'équipe automatique doit faire un effort pour s'insérer dans des projets de recherche et développer des collaborations industrielles. Si nous adoptons une attitude pessimiste par rapport aux ressources génériques du laboratoire, nous pouvons constater que certaines équipes pourraient manquer de ressources pour conforter et développer leurs activités fondamentales et de formation par la recherche.

Nous pouvons compléter les remarques qui ont été faites sur la production scientifique en déterminant trois autres taux de production moyen que l'on déterminera avec les publications dans des revues internationales, les communications dans des conférences internationales, les ouvrages et chapitres d'ouvrages, les thèses soutenues par rapport au potentiel HDR du laboratoire et les recettes de l'ensemble des activités contractuelles et que nous notons respectivement TPMRI, TPMCI, TPMOCO, TPMFR et TPMAC. Le tableau 1.13 donne ces quatre taux de production moyens du laboratoire durant le dernier quinquennat.

Equipes	Tutelles	Etat	Région	ANR	Europe	Industrie	Int.	Total
AmacC	2	6	2	3		3	1	17
CoDaG	3		8	3	2	1		17
MAD	1	4	5	7	1	8		26
HulTech		3	6	4	1		1	15
Image	3	5	18	8	2	6		42
M&B		6	6	2	3	5	1	23
Auto	0	1			1	2		4
Elec	5	2	1	1	1	7	5	22

TABLE 1.9 – Répartition globale par équipe des projets sur la période 2010-2015

Equipes	Tutelles	Etat	Région	ANR	Europe	Industrie	Int.	Total
AmacC	54	207	177	340.8		69.4	5	853.2
CoDaG	25.5		274	366.7	62.2	100		828.4
MAD	10	124.7	151.5	528	287	241		1342.2
HulTech		197.6	279.5	453.5	44.2		12	986.8
Image	40	944.7	767	822	259.3	432.2		3264.9
M&B		260.8	414	290.4	155.5	402.5	40	1563.2
Auto		116.7			11.7	23		151.4
Elec	99.8	95.3	44.1	147	67.1	143.5	454.3	1051.1
Total	229.3	1946.8	2107.1	2948.2	887	1411.6	511.3	10041.2

TABLE 1.10 – Répartition globale par équipe des contrats sur la période 2010-2015

Projets ANR	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Non thématiques	3	2		3	2	10
Avec des entreprises	3	1	2	2	4	12
Total annuel	6	3	2	5	6	22
Coordonnés par le GREYC	1			1	4	6

TABLE 1.11 – Projets ANR du GREYC sur la période 2010-2014

Equipes	AmacC	CoDaG	MAD	HulTech	Image	M & B	Auto	Elec
TPMAC	77.6	82.8	167.8	109.6	181.2	156.3	10.1	61.8

TABLE 1.12 – Taux de production moyen des activités contractuelles des équipes sur la période 2010-2015

TPMRI	TPMCI	TPMOCO	TPMFR	TPMAC
3.76	7.5	1.1	2.6	102.4 keuros

TABLE 1.13 – Taux de production moyens du GREYC sur la période 2010-2015

1.2.2 Les start-up.

Le GREYC est très sensible à l'essaimage comme l'indique ses activités d'accompagnement scientifique des entreprises, de transfert technologique et de création d'entreprises. Il a été impliqué dans la création de quatre entreprises sur ce quinquennat, et pour certaines, l'implication est importante.

La start-up DATEXIM a été créée en 2011 à l'issue d'un processus d'incubation sur la période 2009-2010, période durant laquelle le GREYC a été le Laboratoire partenaire. DATEXIM est issue d'un projet de recherche sur les nouvelles méthodes de traitement d'images et de données fondé par J.H Pruvot (ancien doctorant du GREYC) et A. Renouf, avec l'appui d'A. Elmoataz (PR de l'équipe Image). Elle compte actuellement 5 anciens doctorants du GREYC et 5 ingénieurs, et valorise entre autres des travaux de recherche de l'équipe Image en imagerie médicale microscopique et en analyse de données. Datexim a notamment développé CytoSuite, une solution de traitement et d'analyse d'images innovante qui offre aux pathologistes une aide précise, efficace et peu onéreuse pour le diagnostic et le pronostic en cancérologie. DATAXIM a été lauréate de 2 concours du ministère de la recherche de création d'entreprises innovantes d'abord en catégorie émergence (2009) puis en catégorie création/développement (2012).

La start-up SAMSIC est issue d'un projet de recherche sur l'authentification mobile d'objets par signatures invariantes et chaotiques porté par A. Sadi (ancien doctorant du GREYC) avec l'appui d'A. Elmoataz (PR de l'équipe Image). Elle a été admise dans un processus d'incubation en 2014 après une année de pré-incubation. La vocation de cette start-up est de développer une nouvelle gamme de systèmes de lutte anti-contrefaçon basés sur la biométrie des matériaux. SAMSIC a été lauréate du concours national 2014 d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et la Bpifrance dans la catégorie émergence. Ce concours permet de faire émerger et de soutenir les meilleurs projets de création d'entreprises de technologies innovantes, en leur offrant une aide financière et un accompagnement adapté. Une "jeune pousse" devrait voir le jour vers la fin de l'année 2015.

La start-up IX Labs est une SARL qui a été créée par S. Peyronnet (PR de l'équipe AmacC) en août 2014. Elle est spécialisée dans le secteur d'activité de la programmation informatique.

WhizzOmics est une start-up fondée par G. Poezevara, jeune docteur-entrepreneur en informatique issu du GREYC. Durant ses travaux de recherche il collabore au GREYC avec B. Crémilleux (PR), et B. Cuissart (MC) ; il collabore également avec les équipes du CERMN, en particulier A. Lepailleur (MC HDR) et R. Bureau (PR et directeur adjoint du CERMN). WhizzOmics vise à créer une société spécialisée dans l'analyse de bases de données dites *omiques* (qui consiste à appréhender la complexité du vivant au moyen de nouvelles méthodologies) au travers de l'outil informatique. Son ambition est de viser le marché de l'industrie pharmaceutique et de l'étude (pré)clinique (services de biochimie métabolique des hôpitaux, médecine personnalisée, etc.) en proposant des alternatives moins coûteuses en termes de tests biologiques ou de suivis de patients.

1.2.3 Rayonnement et attractivité académique

Le rayonnement et l'attractivité académique des membres du laboratoire sont détaillés dans les bilans des équipes à partir de plusieurs informations.

- Le GREYC est fortement impliqué dans de nombreuses manifestations scientifiques, présidence de comités scientifiques, comités scientifiques, comités d'organisation, conférences plénières, conférences invitées, édition scientifique au sens large : revues et ouvrages.
- Des collègues ont des responsabilités dans des groupes de recherche ou des sociétés savantes : membres de bureaux, de comités techniques, de comité de pilotage et de conseils scientifiques

- Des prix obtenus lors de conférences internationales ou par des sociétés savantes, e.g. Premier prix au "Pascal Inference Challenge", "Carl Smith Award" lors des conférences Discovery Science 2012, Prix de la meilleure contribution scientifique aux conférences JFSMA 2012, RFIA 2014, CORESA 2013, ACM ICMR 2014, CP 2014.
- Une forte implication dans la diffusion de la culture scientifique par une participation active à la Fête de la Science, une forte implication dans l'enseignement de l'informatique dans les lycées et l'organisation de journées de la culture numérique. Cette diffusion est faite autour des réalisations logicielles du GREYC, e.g. G'MIC et Sydonie, et d'un dispositif spécialement conçu pour la médiation scientifique issu du projet Captil qui a permis au GREYC d'être le lauréat du Prix Musée Schlumberger en 2013. La version 2014 des journées de la culture numérique a été marquée par une prestigieuse conférence de Cédric Villani.
- Organisation d'un nombre important de manifestations scientifiques : journées, écoles, ateliers et colloques dédiés et des conférences nationales et internationales, notamment EJCIM 2014, CETSIS 2013, TALN 2015, IFAC Workshops ALCOSP and PSYCO 2013, RFIA 2012, ICISP 2012 et 2014. Une attention particulière au colloque "Philippe Flajolet and Analytics Combinatorics" à la mémoire de Ph. Flajolet : 200 participants avec des invités prestigieux et une édition des oeuvres complètes du colloque chez Cambridge Press.
- Une activité contractuelle plurielle et soutenue : projets avec les tutelles, les collectivités territoriales et l'état, projets ANR, actions européennes et internationales.
- Succès du GREYC dans un nombre important de défis, e.g. Vice-champions du défi DGA/ANR CAROTTE 2010-2011 (cartographie par robot d'un territoire), 2 défis instrumentation aux limites autour de la conception de bolomètres à détectivité ultime et de capteurs chimiques à haute sélectivité.
- Des prix de l'innovation qui permettent de mettre en valeur les liens entre recherche académique et innovation industrielle, e.g. 2 prix nationaux d'aide à la création d'entreprises en catégorie création développement et émergence.
- Des distinctions prestigieuses. J. Fadili a été nommé Membre Junior de l'IUF et B. Vallée a été élevée au grade de Chevalier de l'Ordre National de la Légion d'Honneur.
- Des responsabilités nationales importantes : B. Vallée a été Directrice Adjointe Scientifique de l'INS2I en charge du domaine Informatique de mai 2013 à août 2014 et est la représentante du CNRS au CNNum¹⁷ depuis janvier 2013, Frédéric Jurie et Abdel-Allah Mouaddib sont membres de comités scientifiques de l'ANR.
- Le GREYC est fortement impliqué dans des actions d'expertise auprès des régions, des CoS, de l'ANR, de l'AERES, du CNU, des comités de programmes, etc.
- L. Brun est le président du "IAPR Membership Committee" dont le rôle est d'inciter des collaborations internationales sur le thème "Pattern recognition". A ce titre, il représente l'IAPR à l'AFRIF¹⁸.
- 7 professeurs invités sur le quinquennat.

1.2.4 Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Le GREYC a un rôle moteur dans le domaine des STIC en Basse Normandie. Ce rôle est attesté par une activité pédagogique de qualité, une activité de recherche soutenue avec l'ensemble des forces vives inscrites dans le développement régional et des initiatives vigoureuses de structuration du potentiel de recherche normand comme en témoignent les faits suivants.

- Des formations attractives.

17. Conseil National du Numérique

18. Association Française pour la Reconnaissance et l'Interprétation des Formes

- Une structuration du potentiel STIC Normand par la création de la fédération NormaSTIC avec le LITIS.
- Une activité de recherche soutenue avec les collectivités territoriales avec une attitude positive à toutes les sollicitations, en l'occurrence les rencontres organisées par la Miriade et NAE.
- Une relation privilégiée avec les pôles TES et Mov'eo, un partenariat industriel important.
- Une recherche interdisciplinaire avec la MRSH¹⁹ à partir des projets CPER et CPIER dans le domaine du Numérique.
- Une force de propositions, au sein de la ComUE Normandie Université, pour la structuration du potentiel de recherche normand à partir d'un rapprochement avec la fédération Normandie-Mathématiques issue de nos collaborations scientifiques.
- Une activité d'essaiimage soutenue à partir d'une ingénierie des systèmes à haute valeur ajoutée.
- Une participation active à la RIS3²⁰ en Basse-Normandie dans les domaines de la santé, des services numériques et territoires intelligents et des énergies marines renouvelables.
- Des collaborations fructueuses avec la Norvège qui ont permis la réalisation de 3 projets européens (2 EUREKA et 1 EUROSTARS)

1.3 Conclusion

Le GREYC effectue une recherche de très bonne qualité sur les aspects fondamentaux, méthodologiques et appliqués dans le domaine des STIC. Son rayonnement scientifique est le résultat de ses contributions fondamentales originales dans des revues et conférences phares des STIC avec une participation indéniable à l'animation scientifique, une importante interaction avec son environnement et une implication vigoureuse en matière de formation par la recherche. L'interaction avec l'environnement est attestée par une très bonne activité contractuelle avec une valorisation industrielle, notamment une bonne insertion dans le programme ANR et la création de quatre entreprises innovantes autour d'une ingénierie des systèmes à haute valeur ajoutée. La formation par la recherche occupe une part importante des activités du GREYC qui est soucieux de son potentiel doctoral et du devenir de ses doctorants.

En dépit d'une structure cohérente avec son ambition scientifique, le GREYC doit conforter et développer la dynamique de l'animation scientifique au sein des départements ainsi que la mutualisation de ses compétences pour favoriser l'émergence de projets fédérateurs. Les contours scientifiques des départements et des équipes qui les constituent devraient être redéfinis pour asseoir une culture scientifique commune et permettre une meilleure fédération des compétences du laboratoire. Les contributions fondamentales de certaines équipes ne sont pas judicieusement exploitées pour développer une recherche méthodologique génératrice d'une activité contractuelle. Le vivier de doctorants n'est pas à la hauteur du potentiel d'encadrement du laboratoire. De plus, les doctorants ne sont pas motivés par la recherche fondamentale dans le contexte académique actuel. La politique d'accompagnement des membres du laboratoire qui n'ont pas une activité de recherche percevable doit être poursuivie d'une manière plus vigoureuse pour que chaque membre du laboratoire soit produisant. Une attention particulière doit être accordée à la communication du GREYC dans le nouveau contexte régional et national.

19. Maison de la Recherche en Sciences Humaines

20. Research Innovation Strategies for Smart Specialisation



2. Réalisations de l'unité de recherche

2.1 Département Intelligence Artificielle et Algorithmique

Le département IAA rassemble les équipes AmacC, CoDaG et MAD. Ces équipes partagent une culture scientifique commune en termes de modélisation (aléa et incertitude, automates cellulaires, processus décisionnels, systèmes dynamiques, systèmes multi-agents, modèles de raisonnement, extraction d'information,...), d'outils formels (logique, complexité, graphes, probabilités, ...), et de méthodes algorithmiques (algorithmique de l'approximation, algorithmique probabiliste, optimisation déterministe ou stochastique, programmation linéaire, programmation dynamique, ...). Cette culture se distingue par une approche spécifique caractérisée par ses étapes principales, soit "Modéliser, Formaliser, Analyser", à partir des problèmes et des données qui y sont associées.

2.1.1 Équipe Algorithmique, Modèles de calcul, Aléa, Cryptographie, Complexité

Au sein du laboratoire généraliste qu'est le GREYC, l'équipe AmacC se caractérise par une identité culturelle forte, celle de l'informatique mathématique (IM). Dans un tel contexte, chacun a un rôle à jouer : grâce à son insertion dans le GREYC, l'équipe AmacC peut rester au contact de problématiques de la vie « réelle » informatique, et elle peut aussi sensibiliser le laboratoire à sa culture propre, et notamment aux problèmes de complexité et d'algorithmique fondamentale. L'équipe organise d'ailleurs le séminaire ALGO¹ (créé en 1998) qui est ouvert à toutes les problématiques ayant des aspects algorithmiques ou formels.

L'équipe AmacC se retrouve d'abord autour de deux concepts génériques, l'algorithme et la complexité, qui sous-tendent toutes ses activités. Elle y adopte des points de vue complémentaires. Le premier étudie les modèles de calcul et la notion de complexité, dans le pire des cas, via les classes de complexité, tandis que le second travaille dans un cadre aléatoire, avec des modèles probabilistes. L'équipe a aussi des spécialités algorithmiques bien marquées : elle travaille en amont de la Protection de l'Information, notamment en codage et cryptographie, où elle s'appuie sur ses compétences en théorie de l'information et en arithmétique. Elle s'ouvre désormais aussi à d'autres thématiques, liées à la sécurité (internet des objets ou l'environnement embarqué sécurisé) ou à l'algorithmique du web. Elle se structure en trois thèmes :

- Thème 1 : Modèles de calcul et complexité descriptive.

1. <https://clementj01.users.greyc.fr/semalgo/>

- Thème 2 : Structures aléatoires et analyse d'algorithmes.
- Thème 3 : Protection et traitement de l'information.

La responsabilité de l'équipe a été assurée successivement par Brigitte Vallée en 2010, puis par Sylvain Peyronnet de 2011 à mai 2014 et enfin par Julien Clément depuis mai 2014. Au 1er octobre 2015, l'équipe comprend

- 1 collègue A (1 PR à l'UFR Sciences) ;
- 9 collègues B (1 CR CNRS, 6 MC à l'UFR Sciences : 1 MC à l'ENSICAEN, 1 MC à l'IUT) ;
- 4 doctorants ;
- 4 membres associés (2 collaborateurs Orange Labs, 1 DR CNRS émérite, 1 MC retraité resté associé).

Permanents, chercheurs et enseignants chercheurs. L'équipe a connu de multiples changements pendant la période 2010-2015 :

- deux d'entre nous sont partis à la retraite en 2014 (Jean Saquet et Jacques Madelaine) ;
- quatre habilitations ont été soutenues entre 2010 et 2011, et deux de ces nouvelles habilités ont été promus PR à l'extérieur (Fabien Laguillaumie à Lyon et Ayoub Otmani à Rouen) ;
- l'un d'entre nous a rejoint une autre équipe début 2014 (Jean-Marie Le Bars, équipe Monétique et Biométrie) ;
- nous avons recruté en 2012 un professeur qui a demandé en 2014 un détachement pour création d'entreprise (Sylvain Peyronnet) ;
- nous avons recruté un MC en 2013 (Thomas Largillier) ;
- nous accueillons pour 20 mois (janvier 2015 à août 2016) un MC de l'Université de Clermont-Ferrand mis à disposition et nous espérons prolonger cette période d'accueil au-delà (Florent Madelaine) ;
- la DR devient émérite en juin 2015 (Brigitte Vallée).

Prénom et nom	Fonction	T1	T2	T3	Date d'entrée/sortie
Ali Akhavi	MC UFR Sciences	✓	✓	✓	2000
Julien Clément	CR CNRS		✓	✓	2005
Etienne Grandjean	PR UFR Sciences	✓			1985
Jerzy Karczmarczuk	MC UFR Sciences	✓			1988
Fabien Laguillaumie	MC UFR Sciences			✓	2006–2012
Thomas Largillier	MC IUT Caen		✓	✓	2013
Jean-Marie Le Bars	MC UFR Sciences			✓	1999-2014
Loïck Lhote	MC ENSICAEN		✓	✓	2007
Florent Madelaine	MC UFR Sciences	✓			2015
Jacques Madelaine	MC UFR Sciences			✓	1985-2014
Ayoub Otmani	MC ENSICAEN			✓	2004-2012
Sylvain Peyronnet	PR UFR Sciences		✓	✓	2012-2014
Ionona Ranaivoson	MC UFR Sciences	✓			1991
Gaëtan Richard	MC UFR Sciences	✓		✓	2009
Jean Saquet	MC UFR Sciences			✓	1985-2014
Véronique Terrier	MC UFR Sciences	✓			1991
Brigitte Vallée	DR CNRS		✓	✓	1990–2015

Doctorants, ATER, Post-Doctorants ou Ingénieurs. Huit thèses ont été soutenues pendant la période (voir le tableau correspondant p. 203). Parmi les docteurs qui ne sont plus post-doctorants, quatre travaillent en entreprise, l'un est enseignant-chercheur et le dernier est professeur de CPGE. En mai 2015, il n'y avait plus que deux doctorants. Depuis, la situation s'est un peu améliorée mais reste préoccupante.

Nous avons accueilli quinze tels personnels. En plus de nos doctorants (accueillis en ATER en fin de thèse) listés dans la première partie du tableau, nous avons accueilli dix autres personnes ;

cinq d'entre elles sont maintenant enseignants-chercheurs, cinq sont ingénieurs, une en recherche d'emploi.

C. Faits marquants

Les faits marquants suivants éclairent et caractérisent bien notre équipe.

Résultats scientifiques. Nous avons obtenu durant la période, et de manière régulière, des résultats scientifiques bien reconnus : par exemple, en 2011, 2012, 2013 et 2014, nous avons quatre articles acceptés à STACS², sur des thématiques variées et caractéristiques d'AmacC (automates cellulaires, analyse d'algorithmes, combinatoire).

À la mémoire de Philippe Flajolet. Nous avons joué un rôle moteur dans l'organisation d'un colloque international à la mémoire de Philippe Flajolet³, et nous faisons partie du comité d'édition de ses œuvres complètes (sept volumes à paraître chez Cambridge Press).

Projets ANR. Depuis la création de l'ANR, l'équipe s'investit pour répondre aux appels à projets et y réussit souvent bien. Sur la période, l'équipe a participé à 10 projets ANR (essentiellement du programme Blanc), 1 fois comme porteur, 6 fois comme partenaire, et 3 fois avec des participations individuelles (voir p. 204 la liste des projets ANR de l'équipe).

GdR IM. Nous sommes fortement impliqués dans le GdR Informatique Mathématique. Prise dans son ensemble, l'équipe participe de manière active à beaucoup de groupes de travail de ce GdR (cinq à six sur une vingtaine en tout). Sur la période, nous avons organisé en particulier les journées annuelles de deux d'entre eux. L'équipe a organisé l'EJCIM 2014 (École Jeunes Chercheurs en Informatique Mathématique) à Caen en 2014. En plus des tâches générales d'organisation, l'équipe a pris en charge trois des cinq cours, et a édité le recueil des cours dans le livre « Une photographie de l'informatique mathématique 2014 » [99]. Enfin, deux d'entre nous sont membres du comité de direction du GdR IM. Nous sommes également responsables du site internet et du serveur de listes du GdR, tous deux hébergés par le GREYC.

Amérique du Sud. Nous tissons des liens resserrés avec l'Amérique du Sud. Le projet CNRS STIC-AMSUD (Argentine, France, Uruguay) que nous portons depuis 2013 s'est récemment renforcé en automne 2014 : le thème ALÉA a intégré le laboratoire international associé (LIA) INFINIS à Buenos Aires (Argentine) en y créant, avec ses partenaires, une nouvelle équipe « Combinatorics and analysis of algorithms in number theory, information theory and cryptography ».

Conseil National du Numérique. L'une d'entre nous est membre du Conseil National du Numérique (proposée par le CNRS) et a notamment participé à la rédaction de trois rapports : Inclusion (automne 2013) [121], Éducation (automne 2014) [127] et Ambition numérique (été 2015) [120].

Formation des enseignants. L'équipe s'implique fortement dans la formation des enseignants de l'informatique dans les lycées (Informatique et Sciences du Numérique). En coordination avec le rectorat, elle a contribué à la mise en place de la formation ; elle anime et participe à la formation elle-même.

Création d'une entreprise. L'un de nous a créé une entreprise, l'entreprise IX-LABS « *Algorithms for the social web, adversarial information retrieval, data science, approximate verification* ».

2. La conférence STACS (*Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science*), se situe parmi les cinq conférences internationales en Informatique Théorique les plus « cotées ». Nous avons également accepté la proposition du *steering committee* de STACS d'accueillir la conférence en 2018 à Caen (présidence du comité de programme et comité d'organisation).

3. Philippe Flajolet (1948-2011) est un scientifique de renommée internationale qui a fondé le domaine de la combinatoire analytique [124]. Il a eu une influence déterminante sur l'identité et la construction de l'équipe et joué un rôle scientifique essentiel dans le thème « Structures aléatoires et analyse d'algorithmes ».

Description des thèmes scientifiques

La description qui suit constitue une version résumée d'une version plus longue, un peu trop longue peut-être compte-tenu des critères AERES, mais qui nous semble aussi plus informative scientifiquement, et que le lecteur intéressé pourra trouver à l'adresse

<http://clementj01.users.greyc.fr/hceres/amacc-hceres.pdf>

Thème 1 : Modèles de calcul et complexité descriptive

Description générale. Ce thème réunit l'équipe autour d'une étude comparative des modèles de calcul centrée d'abord sur leurs algorithmes et leur complexité. Nous nous intéressons aussi aux modèles de calcul en tant que systèmes dynamiques. Le modèle actuellement le plus étudié dans ce thème est celui des automates cellulaires, d'abord en dimension 1, mais aussi, plus récemment, en dimension 2 ou supérieure. Dans une moindre mesure, on s'intéresse aussi aux modèles de calcul en tant qu'outils de modélisation de phénomènes complexes, en particulier l'évolution des systèmes quantiques.

L'activité du thème s'organise en quatre volets.

Le volet 1 est dédié à l'*algorithmique et la complexité des automates cellulaires*, et développe, au travers de problèmes spécifiques, les outils algorithmiques propres à ce modèle de calcul massivement parallèle [38–40, 45, 123]. Nous étudions les automates cellulaires à comportements complexes, cherchons à construire et à dégager leurs caractéristiques fondamentales en tant que systèmes dynamiques [71]. Enfin, nous étudions les petites classes de complexité, pour lesquelles l'apport du parallélisme est remarquable par rapport au mode séquentiel [68, 87, 112, 128].

Le volet 2 travaille sur la *complexité descriptive* des problèmes et des langages. Sur la période, on a obtenu des caractérisations logiques des langages reconnaissables d'images, en toutes dimensions ; on a obtenu une caractérisation similaire pour la classe des langages (de mots ou d'images) reconnus en temps linéaire sur automates cellulaires non déterministes, ceci toujours en toutes dimensions [28, 70].

Le volet 3 est dédié à l'étude de la *complexité des requêtes conjonctives* (qui sont centrales dans les bases de données et qui constituent de plus un formalisme équivalent aux CSP) en liaison avec les propriétés de l'hypergraphe associé à chaque requête [47, 102].

Le volet 4 définit un cadre pour modéliser les algorithmes « à la façon des systèmes dynamiques symboliques » ou encore avec un point de vue algébrique.

Résultat marquant. Concernant le volet 1 (algorithmique et complexité des automates cellulaires), nous avons développé une famille d'algorithmes sur automates cellulaires qui résolvent le problème d'élection de leader sur des configurations périodiques. La généralisation du problème des configurations de dimension 1 aux configurations de dimension 2, et, finalement, à celles de dimension quelconque, a fait émerger à la fois des concepts clés comme celle de racine primitive d'un mot périodique de dimension 2 et également des outils algorithmiques essentiels comme celui d'horloge spatiale [39, 40, 123].

Thème 2. Structures aléatoires et analyse d'algorithmes

Description générale. Les recherches de ce thème se déclinent selon quatre volets avec des interactions. L'analyse dynamique, spécialité locale qui mélange méthodes d'analyse en moyenne et méthodes issues de systèmes dynamiques, et bien décrite dans [91], est un fil conducteur important sous-jacent (mais non omniprésent) dans les trois premiers volets. De plus, ce thème, surtout dans ses deux derniers volets, élabore des méthodes et des outils, qui sont souvent appliqués dans le thème « Protection et traitement de l'information ».

Le volet 1 modélise le concept de source dans un cadre très général en théorie de l'information, et les propriétés qui sont essentielles dans l'analyse des structures de données construites sur

ces sources ; L'équipe y a associé une série génératrice de probabilités, essentielle pour décrire l'asymptotique fine des structures de données et des algorithmes travaillant sur les mots de la source, et a obtenu une suite de résultats fins sur la géométrie de ses pôles. Elle élucide différentes notions d'entropie et des problèmes liés au codage de source.

Le volet 2 est dédié à l'analyse probabiliste des algorithmes du texte et de la fouille de données : recherche de motifs textuels (de nature très diverse : ensemble de mots, table des bords, ou motifs cachés), mots sturmiens aléatoires (assez récemment), motifs et fouille de données (via l'analyse des traverses minimales dans les hypergraphes), analyse d'algorithmes de tri et de recherche (lorsque les clés sont vus comme des mots, et le coût considéré le nombre de symboles comparés), et enfin arbres digitaux (analyse unificatrice sur les tries et des arbres digitaux de recherche, construits sur des sources générales).

Le volet 3 est dédié à l'analyse probabiliste des algorithmes en arithmétique, généralement motivée par la cryptologie ; les analyses qui ont une application plus directe en cryptologie sont mentionnées dans le thème « Protection et traitement de l'information ». C'est un volet original et porteur, car, en général, les cryptologues se préoccupent assez peu d'analyse probabiliste, et les analyseurs en moyenne, assez peu de cryptologie. L'équipe étudie des problèmes liés au développement en fraction continue (étude probabiliste des rationnels à « petits quotients », la pseudo-randomness de suites de Kronecker,) et à l'algorithme d'Euclide sur les nombres ou les polynômes (distribution des coûts de l'algorithme, complexité fine de l'algorithme sur les polynômes, ou étude d'un algorithme du pgcd en grande dimension).

Le volet 4 s'est installé suite au recrutement de S. Peyronnet et T. Largillier. Il est dédié aux approches probabilistes de l'algorithmique des « grands systèmes », que ce soit des réseaux (au sens d'un ensemble d'entités connectées entre elles : ensemble de pages web ou réseau social par exemple) qui apparaissent en algorithmique du web ou des systèmes (probabilistes ou non déterministes) qui apparaissent en vérification : les programmes informatiques donnent des exemples de systèmes probabilistes, tandis que la plupart des protocoles qui sont influencés par un comportement humain ou adversarial (enchères, etc.) donnent des exemples de systèmes non déterministes. Ces approches donnent lieu à des applications dans le thème « Protection et traitement de l'information ».

Résultat marquant. L'équipe a élaboré un cadre unificateur pour l'analyse en moyenne des algorithmes classiques de tri et de recherche, qui permet d'évaluer la complexité de ces algorithmes, lorsqu'ils travaillent sur des mots (issus d'une source générale) et que l'opération élémentaire est la comparaison entre symboles. Il y a un double intérêt : la méthode elle-même, et aussi les résultats, qui exhibent des constantes qui expliquent bien l'interaction entre la stratégie de l'algorithme et les propriétés probabilistes de la source [23, 24, 58].

Thème 3. Protection et traitement de l'information.

Description générale. Avec le départ de cinq de ses membres (2 promotions de professeur à l'extérieur, 2 départs en retraite, 1 changement d'équipe) et l'arrivée de deux nouveaux membres, le thème a vu son contour scientifique évoluer au cours du quinquennal. Dans notre projet en 2010, il s'appelait « Protection de l'information, codage et Cryptographie » et il se retrouve maintenant sous le descriptif général « Protection et traitement de l'information ». Il regroupe des travaux orientés vers les applications, qui trouvent souvent leur méthodologie et leurs outils « en amont » dans le thème « Structures aléatoires et analyse d'algorithmes ». Les thématiques historiques autour des réseaux euclidiens, de l'internet des objets ou de l'étude en amont des outils issus de la cryptographie restent bien présentes. Les travaux sur les procédés cryptographiques et le codage laissent la place, sans disparaître, à des recherches sur la sécurité du web. Une nouvelle thématique se crée autour de l'algorithmique du web. Finalement, les recherches de ce thème s'organisent autour de trois volets :

Le volet 1 est à l'amont de la protection de l'information. Il étudie l'algorithmique de quatre principaux objets qui y sont centraux : les couplages et les courbes elliptiques, les codes correcteurs d'erreurs (notamment les codes quasi-BCH), les fonctions booléennes (en particulier la génération aléatoire de fonctions booléennes cryptographiques) et automates booléens (comme les automates-XOR), et enfin les réseaux euclidiens (réduction des réseaux et modélisations simplifiées). Ce dernier thème qui étudie la réduction des réseaux euclidiens constitue une des spécialités historiques de l'équipe.

Le volet 2 est centré sur la protection de l'information et fait de la cryptographie « en tant que telle », explorant de multiples facettes via des protocoles de nature variée (chiffrement, signature, délégation de calcul...) qu'on construit, analyse ou détruit via la cryptanalyse. Citons l'étude des serveurs de re-chiffrement, la délégation de calculs, la cryptographie à base d'attributs ou basée sur les codes, le chiffrement homomorphe...

Le volet 3 regroupe des travaux autour de la représentation et du traitement de l'information, qui est présente dans le web, ou transite plus généralement sur un réseau. Il s'articule autour de recherches sur l'information présente dans l'image (tatouage d'images) dans la structure du web (détection de communautés, filtrage de contenus) et a débouché par ailleurs sur deux plateformes, l'une consacrée à l'internet des objets IoTa⁴, et la seconde à l'information géographique THEMAMAP⁵ (voir dans l'annexe p. 207).

Résultat marquant. Le chiffrement par attributs gère des groupes d'utilisateurs et définit une politique fine de déchiffrement, qui limite la possibilité de déchiffrement à ces groupes tout en assurant des propriétés d'anonymat. L'équipe a conçu un tel protocole, qui permet des politiques assez expressives, tout en restant efficace (taille constante des chiffrés). C'est une première étape fondamentale vers un protocole qui serait optimal à la fois en termes de sécurité, d'expressivité et d'efficacité [11, 73].

Synthèse de la production scientifique et éléments de visibilité.

Nous résumons ici les informations qui sont détaillées dans l'annexe à partir de la page 203.

Publications	Nombre total (dont importantes)
Revue Internationales	28 (12)
Revue Nationales	1
Conférences Internationales	51 (12)
Chapitres d'ouvrage	8 (2)
Directions d'ouvrages	3
Thèses	8 (dont 1 cotutelle)
HDR	4
Brevets et logiciels	0+2

Contrats et projets	Nombre
Contrat industriel (prestation, accompagnement de thèse...)	3
Projets FUI	1
Projets ANR	1 (porteur) + 6 (partenaire) + 4 (indiv.)
Projets nationaux (autres)	1
Projets Européens	0
Projets internationaux (hors Europe)	3

	Nombre
Conférences invitées	7
Comité de rédaction et éditeurs invités	2
Comité de pilotage de conférences	2
Comité de programme de conférences	23
Organisation de conférences, d'écoles, d'ateliers	14
Évaluation et expertise	10
Responsabilités scientifiques	7
Jurys thèse et HDR hors équipe	26

4. <https://forge.greyc.fr/projects/iota-pub>

5. <https://themamap.greyc.fr/>

2.1.2 Équipe Contraintes, Data-Mining, Graphes

L'équipe CoDaG s'intéresse à l'étude des COntraintes, du DAta-Mining et des Graphes, avec une vision orientée intelligence artificielle. En particulier, elle s'intéresse à la "chaîne de décision" qui va du recueil et traitement des données, l'extraction de connaissances et l'utilisation de ces connaissances dans les processus de décision. Une partie importante de ses activités est dévolue aux applications, telle que la découverte de structure en chimie moléculaire ou la découverte d'information dans les textes biomédicaux. Cet aspect pluridisciplinaire et interactif est au cœur d'une démarche "science des données".

Structuration scientifique

L'équipe est structurée en trois "coeurs de métiers" : les contraintes, le data-mining et les graphes, qui donnent naissance à des hybridations variées entre eux et avec les champs d'applications. *Ces hybridations forment une des spécificités de l'équipe et un des objectifs de l'équipe depuis sa création est de favoriser les échanges et la fertilisation croisée entre ses thèmes.* C'est pourquoi de nombreux travaux s'organisent autour des thèmes transverses qui sont :

- les contraintes pour le data-mining
- la fouille de graphes (avec applications à la chimie)
- la fouille de texte
- les décompositions de graphes pour aider à la résolution de problèmes complexes.

Membres

Permanents.

La table 2.1 indique la répartition des membres. Arnaud Lallouet est le responsable de l'équipe pour la période 2011-2015.

Contraintes	Data-Mining	Graphes
Patrice Boizumault, PR Arnaud Lallouet, PR Samir Loudni, MC	Bruno Crémilleux, PR Bertrand Cuissart, MC François Rioult, MC Antoine Widlöcher, MC	Alain Bretto, PR Jean-Jacques Hébrard, MC

TABLE 2.1 – Composition (permanents) de l'équipe CoDaG.

S. Loudni et B. Cuissart sont en poste à l'IUT de Caen, A. Widlöcher à l'UFR LVE (Langues Vivantes Étrangères). L'équipe compte actuellement deux membres extérieurs "associés" aux travaux de l'équipe : Thierry Charnois et Alban Lepailleur. Ce dernier est chémoinformaticien et fait partie du CERMN (Centre d'Etudes et de Recherche sur le Médicament de Normandie).

Depuis sa création, l'équipe a perdu un de ses membres, Thierry Charnois, qui a obtenu un poste de professeur en 2013 à Paris 13. D'autre part, Arnaud Lallouet a demandé un congé pour mener une activité de recherche dans le secteur privé à partir de septembre 2015 et va quitter l'équipe à cette date. Le premier recrutement de l'équipe s'effectue en 2015 (Albrecht Zimmermann, recruté sur un poste MC à l'IUT de Caen).

Doctorants.

L'équipe a encadré ou encadre quinze thèses⁶ durant la période (voir la table 2.2). Cependant, en juillet 2015, il n'y a plus qu'un seul doctorant à plein temps dans l'équipe (dont la soutenance est prévue en 2016), et un doctorant en cotutelle basé à Oran. L'équipe va bénéficier de l'arrivée

6. Les thèses de M. Lopez et J. Vautard ont été soutenues à l'université d'Orléans et celle de A. Ducournau à Saint-Etienne.

d'un doctorant sur un financement MESR en octobre 2015 et d'un autre doctorant en co-tutelle. La situation reste toutefois préoccupante et on peut craindre un ralentissement des activités de l'équipe jusqu'à ce que la situation se rétablisse.

Nom	Année	Financement	Co	Da	G	Situation actuelle
J.-P. Métivier	2010	MESR	X			Post-doc
J. Vautard	2010	Orléans	X			ingénieur
L. Ben Othman	2011	Cotut. Tunis		X		MC (Tunis)
M. Lopez	2011	Orléans	X	X		ingénieur
G. Poezevara	2011	MESR		X	X	entrepreneur
A. Ducournau	2012	Saint-Etienne			X	ingénieur
M. Khiari	2012	MESR	X	X		ingénieur
M. Fontaine	2013	CNRS/Région	X		X	ingénieur
W. Voravuthikunchai	2013	CNRS/OSEO (avec Image)		X		ingénieur
X. Dupont	2014	MESR	X			ingénieur
T.V.H. Nguyen	2014	Microsoft Research	X			post-doc
L. Serrano	2014	Cifre Cassidian (avec MAD)		X		post-doc
W. Ugarte	2014	MESR	X	X		ATER
B. Kane	en cours	MESR		X	X	—
A. Ouali	en cours	Cotut. Oran	X	X		—

TABLE 2.2 – Thèses soutenues et en cours dans l'équipe CoDaG.

Post-doctorants et invités.

Nous avons eu le plaisir d'accueillir 10 post-docs sur la période : Ryan Bissell-Siders (2009/2010), Peggy Cellier (2009/2010), Leander Schietgat (2011), Solen Quiniou (2011/2012), Nicolas Béchet (2011/2013), Julien Rabatel (2011/2013), Solen Guillaume Poezevara (2013/2014), Charlotte Roze (2013/2014), Jean-Philippe Métivier (2011/2015) et Amina Kemmar (2014/2015). Sur ces 10 post-docs, seuls 2 ont soutenu leurs thèses à Caen et leur provenance (la Finlande, la Belgique et l'Algérie pour les plus lointains) témoigne d'une attractivité de l'équipe. Le devenir de ces post-docs est varié : 3 sont maintenant maîtres de conférences, 1 est maître assistante, 2 ont créé leur entreprise, 2 sont ingénieurs, 2 poursuivent en post-doc. Parmi les 2 post-docs qui ont créé leur entreprise, on notera en particulier "WhizzOmics", montée par G. Poezevara, qui est une société spécialisée dans l'analyse de bases de données dites "omiques" (qui consistent à appréhender la complexité du vivant au moyen de nouvelles méthodologies) au travers de l'outil informatique. L'ambition du projet de WhizzOmics est de s'attaquer au marché de l'industrie pharmaceutique et de l'étude (pré)clinique (e.g. services de biochimie métaboliques des hôpitaux, médecine personnalisée) en proposant des alternatives moins coûteuses en termes de tests biologiques ou de suivis de patients.

Invités.

L'équipe a accueilli 4 professeurs invités : Guozhu Dong (Wright State University, Dayton, USA), Sergei Kuznetsov (National Research University in Moscow), Yahia Lebbah (Université d'Oran, Algérie) et Jimmy H. M. Lee (University of Hong Kong). Des publications communes ont été produites pour chacune de ces invitations (sauf celle de G. Dong, qui a eu lieu en 2015 et où la rédaction d'un article est en cours). D'autre part, nous avons aussi eu l'opportunité de travailler avec d'autres invités, essentiellement au niveau doctorat, pour une période plus courte : Salvador Abreu (Universidade de Évora, Portugal), Kahina Bouchama (Université de Bejaia, Algérie), Thomas Fannes (KU Leuven, Belgique) et Benameur Ziani (Université de Laghouat, Algérie).

Production scientifique

Coeur de métier : Contraintes.

Notre travail s'est décliné sur différents aspects, tels que la relaxation de contraintes globales, les contraintes sur les flux de données, les Constraint Games. Trois thèses ont été soutenues dans ces domaines, de nombreux résultats ont également été produits lors du projet ANR Ficolofa dont le porteur local était Samir Loudni.

La thèse de Jean-Philippe Métivier a porté sur la relaxation des contraintes globales, dans le cadre disjonctif défini par Thierry Petit. Deux nouvelles sémantiques de violation ont été proposées pour la contrainte globale *all-different* permettant de prendre en compte les préférences formulées par l'utilisateur. J-P. Métivier a ensuite proposé plusieurs relaxations possibles pour chacune des contraintes globales *gcc* et *regular*. Les résultats obtenus ont été appliqués avec succès à la résolution des Nurse Rostering Problems, problèmes d'emplois du temps sur-contraints et de grande taille.

La programmation par contraintes est habituellement utilisée pour résoudre des problèmes combinatoires pour lesquels l'ensemble des solutions est de cardinalité finie. Cette approche, bien adaptée aux problèmes d'ordonnancement, est moins applicable aux problèmes de planification, pour lesquels l'horizon doit être borné, et est inapplicable à des problèmes temporels sans horizon. Dans sa thèse, Xavier Dupont a proposé un cadre alternatif appelé *StCSP* (Stream CSP) dans lequel les domaines des variables sont des séquences symboliques infinies. Il devient ainsi possible de spécifier des contraintes sur ces variables et de générer des solutions qui satisfont certaines contraintes. Elles sont ensuite résolues en calculant l'ensemble des solutions qui est représentable par un automate de Büchi.

La représentation classique d'un jeu en théorie des jeux est faite par une multi-matrice de valeurs représentant l'utilité de chaque joueur dans chacune des situations possibles. Cette représentation a l'inconvénient d'être exponentielle en le nombre de joueurs. C'est pourquoi l'enjeu d'une représentation compacte est très importante. Thi-Van-Anh Nguyen a montré dans sa thèse l'intérêt des constraint games (où l'objectif de chaque joueur est représenté par un CSP) pour la modélisation en représentant très simplement de nombreux jeux, y compris comportant des contraintes globales. De plus, trouver un équilibre de Nash dans un jeu général est un problème très difficile, ce qui n'est expliqué qu'en partie par sa NP-complétude (Σ_2^P -c pour les constraint games car chaque joueur doit résoudre un CSP pour calculer sa déviation). Nous avons développé un algorithme complet incluant une détection online de stratégies dominées et une tabulation intelligente des résultats intermédiaires [211]. Les résultats sont très intéressants puisque le solveur obtenu dépasse le solveur état de l'art Gambit d'un ou deux ordres de magnitude.

Le projet ANR Ficolofa (Filtrage par Cohérence Locales Fortes pour les réseaux de fonctions de coûts)⁷ a eu pour objectif de construire de nouvelles cohérences locales plus fortes et des fonctions de coût globales pour les réseaux de contraintes pondérés, afin d'offrir un cadre naturel et puissant pour la modélisation et la résolution de nouveaux problèmes réels d'optimisation de très grande taille. La première approche du projet était de généraliser les contraintes globales aux fonctions de coût. En poursuivant sur cette base, nous avons introduit la notion de décomposition de fonctions de coût globales et nous avons montré comment les contraintes globales décomposables peuvent être relâchées sous la forme de fonctions de coût globales décomposables, ayant la même structure de décomposition. Ainsi, une large famille de fonctions de coût globales, décomposables, a été analysée [165] et implémentée dans le solveur état de l'art Toulbar2⁸. Dans ce cadre, nous avons participé à une compétition internationale (PIC⁹ challenge 2011). Notre

7. <http://costfunction.org>

8. <https://mulcyber.toulouse.inra.fr/projects/toulbar2/>

9. <http://www.cs.huji.ac.il/project/PASCAL/>

solveur a fini premier ex aequo avec l'équipe de Rina Dechter dans la catégorie CPU-1h. La qualité des résultats obtenus a permis que nous soyons invités à une communication orale à la session UAI'12 consacrée à la présentation des résultats de cette compétition.

Coeur de métier : Data-Mining.

La *découverte de motifs sous contraintes* est l'une des tâches fondamentales de la fouille de données. C'est un domaine de recherche que nous avons richement exploré au GREYC dans le contexte du projet Bingo2¹⁰ (qui s'est terminé en décembre 2011) puis en développant ces activités avec des chercheurs provenant de différents domaines (programmation par contraintes, chémoinformatique, traitement automatique des langues, sport).

En collaboration avec des chercheurs d'autres laboratoires (LI, LIPN, LIRIS, LORIA) nous avons contribué au domaine de la classification supervisée en proposant une méthode de classification associative sans paramètre pour des problèmes multi-classes [140] ainsi qu'une méthode d'extraction de motifs δ -libres dans les séquences et leur utilisation pour la classification avec comme idée forte "prendre une décision au plus tôt" [187]. Un cadre générique pour l'extraction efficace (en profondeur, délai polynomial) de motifs minimaux a été proposé [223]. Les résultats obtenus sont importants car ils établissent des propriétés fondamentales pour la fouille de motifs sous contraintes, notamment au moyen de méthodes complètes.

Nous avons réalisé un important effort pour traiter des données de nature variée. Ainsi, nous avons proposé une représentation condensée de motifs émergents de sous-graphes qui s'avère précieuse pour la recherche de contrastes entre classes [153]. Sur les données séquentielles, nous nous sommes intéressés à l'extraction de motifs sous contraintes multiples et nous avons montré l'impact applicatif de ces méthodes sur les textes biomédicaux [170, 179]. En collaboration avec l'équipe Image, nous avons conçu des méthodes fondées sur les motifs afin d'améliorer certaines tâches de vision par ordinateur comme le re-ordonnancement d'images [813]. Il s'agit d'une thématique qui est seulement émergente au niveau international. Nos recherches ont aussi porté sur des applications caractéristiques de l'équipe :

- les valeurs manquantes : la thèse de Leila Ben Ohtman a proposé une méthode de complétion fondée sur les modèle d'apparition de ces valeurs ;
- le sport réel et le sport électronique (jeux vidéos compétitifs), avec une étude stratégique des configurations spatiales des joueurs [154].

Coeur de métier : Graphes.

Ce cœur de métier est porté par Alain Bretto qui travaille sur les aspects algébriques et topologiques des graphes et des hypergraphes. Les graphes et les hypergraphes se retrouvent dans de nombreux champs disciplinaires, mathématiques, informatiques et applications telles que l'analyse d'image, la finance... De manière plus précise, un des axes est l'isomorphisme de graphes, problème bien connu des combinatoriciens. Nous avons élaboré (A. Faisant, F. Henne-card, Institut Camille Jordan UMR CNRS 5208 et A. Bretto) des graphes provenant de groupes (G-graphes) généralisant en quelque sorte les graphes de Cayley [135]. Par ailleurs des notions topologiques telles que les similarités ont été étudiées sur les hypergraphes [134].

Thème transverse : Contraintes pour le data-mining.

Ce thème transverse porte sur l'étude des *apports respectifs entre fouille de données et programmation par contraintes* (PPC). Il considère le cadre déclaratif de la modélisation de la PPC comme support pour la découverte de motifs. Cette thématique, initiée au GREYC par la thèse de Medhi Khiari, était très peu abordée par la communauté au moment du démarrage de cette thèse en 2008. Elle est maintenant en plein essor (workshops internationaux associés aux conférences majeures en Intelligence Artificielle et Fouille de Données, séminaires Dagstuhl en 2011 et 2014, projet européen FET "Inductive Constraint Programming" en 2012-2014, projet ANR DAG

10. <https://bingo2.greyc.fr/>

2010-2013). Plusieurs invitations, des publications de qualité (e.g., CP, ECAI, IDA, Artificial Intelligence Journal), prix du meilleur article aux conférences Discovery Science 2012 et COSI 2015 témoignent d'une visibilité de notre activité relative à cette thématique.

Un premier travail (thèse de Mehdi Khiari) a concerné la découverte de motifs dont l'intérêt dépend des autres motifs (un tel motif est appelé motif n-aire). M. Khiari a proposé un cadre unifié pour modéliser et résoudre les contraintes n-aires en fouille de données [194]. L'extraction de motifs n-aires est modélisée sous forme de CSP, puis un langage de requêtes à base de contraintes de haut niveau est proposé. Les apports principaux de ce cadre sont sa déclarativité et sa généralité. Il s'agit du premier cadre générique et flexible permettant la modélisation et la résolution de contraintes n-aires en fouille de données.

La thèse de Willy Ugarte avait pour but de répondre à deux verrous importants en fouille de données : *l'introduction de souplesse dans le processus d'extraction de motifs et l'utilisation de préférences par l'utilisateur*. Ces deux verrous se rejoignent dans l'idée générale de réduire (voire de supprimer) l'impact du paramétrage des méthodes de fouille de données. Les principaux résultats portent sur (1) la définition d'un cadre général mettant en oeuvre les contraintes souples de seuil dans un extracteur de motifs en utilisant la relaxation de contraintes en PPC [156, 224], (2) l'extraction des motifs Pareto-optimaux (appelés skypatterns) ainsi que leurs versions relaxées [155, 227], (3) la construction du cube des skypatterns qui permet d'étudier les différents ensembles de skypatterns selon les préférences [225, 228] et (4) la notion de motif optimal selon une préférence utilisateur qui permet de modéliser de façon générique de nombreux problèmes d'extraction d'ensembles de motifs : skypatterns, top-k, motifs fermés. L'aspect déclaratif de son approche, fondée sur l'utilisation des CSP dynamiques, ouvre la voie à la définition et la découverte de nouveaux types d'ensembles de motifs. Ces contributions ont été évaluées à travers des applications en chimoinformatique (menées avec le laboratoire CERMN) sur la découverte de fragments moléculaires toxicophores et la fragments mutagènes.

Thème transverse : Fouille de graphes (avec applications à la chimie).

Notre activité en chimoinformatique et chimogénomique s'inscrit dans le contexte d'une collaboration menée maintenant depuis plusieurs années avec le Centre d'Études et de Recherche sur le Médicament de Normandie (CERMN) sur des domaines applicatifs réels tels que la découverte de toxicophores et de composants mutagènes ou l'étude de l'interaction entre ligands et protéines.

Le projet *Nouvelles méthodes de fouille de données informatiques pour la toxicologie prédictive* (septembre 2012–septembre 2015) se situe dans le domaine de la *toxicologie informatique*. Il a rassemblé le GREYC, le CERMN et la société Adn'Tox¹¹. Ce projet vise à développer des modèles informatiques permettant de mieux comprendre la toxicité des molécules. Nous nous sommes intéressés spécifiquement à l'extraction de *structures d'alerte* liées à l'étude du *caractère mutagène* des molécules. Une structure d'alerte désigne un fragment chimique dont la présence au sein d'une molécule va favoriser la toxicité de cette dernière. Nous avons proposé une nouvelle méthode [151] de découverte de structures d'alertes dont l'originalité résulte à la fois dans la prise en compte de conjonction de fragments comme structure d'alerte et une technique de sélection fondée sur la *stabilité d'un concept formel*. Les structures d'alerte issues de cette technique se révèlent très intéressantes et font actuellement l'objet de tests biologiques.

Le projet *Extraction de connaissances chimiques à partir de données omiques (MINOMICS)* (avril 2015-mars 2017) associe le GREYC et le CERMN. L'objectif est de réaliser une plateforme permettant de fouiller les données *omiques*, données hétérogènes massives renseignant l'activité chimique de petites molécules sur des protéines. Au niveau scientifique, ce projet va nous permettre de développer des techniques d'exploitation de "big data".

Thème transverse : Fouille de texte.

11. <http://www.adntox.com/>

L'utilisation de ressources textuelles est un élément incontournable pour la découverte d'information, tout particulièrement dans le domaine bio-médical auquel sont consacrés plusieurs de nos travaux. Nous avons abordé cette problématique avec l'idée générale d'hybridation de méthodes de fouille avec le traitement automatique des langues (TAL). Cette activité a connu un important développement notamment grâce à l'impulsion donnée par le projet ANR Hybride (2011-2015).

En nous appuyant sur la notion de motifs séquentiels, et avec la volonté de produire des résultats intelligibles aux experts, nous avons conçu une méthode d'extraction de motifs sous contraintes multiples [170]. Nous avons montré, non seulement son intérêt applicatif, mais aussi ses qualités en termes de temps d'exécution et en nombre de motifs extraits. L'outil est disponible via le site <https://sdmc.greyc.fr/>.

En terme d'applications, ces techniques ont permis des avancées pour la découverte d'interactions entre gènes [139] (illustration sur un corpus de 520.000 textes issus de PubMed disponible à l'ensemble de la communauté via le site <http://bingotexte.greyc.fr/>) et, dans le cadre du projet ANR Hybride, pour l'extraction de relations entre gènes et maladies rares d'une part [171] et, plus récemment, pour la découverte de liens exprimés dans les textes entre signes/symptômes et maladies d'autre part. Dans le cadre du projet ANR ProDescartes (2009-2014), où notre contribution visait plus généralement l'application de méthodes de recherche d'information et d'exploration de données au corpus cartésien, des techniques de fouille de données (fouille ensembliste et séquentielle) ont été exploitées, notamment pour l'aide à la découverte de cooccurrences conceptuelles significatives et pour la mise en évidence contrastive de motifs propres à certains sous-corpus de Descartes.

D'autre part, en lien étroit avec l'équipe HulTech, des travaux sont menés sur l'évaluation de la qualité de données textuelles multi-annotées, préalable nécessaire à l'estimation de la qualité des connaissances qui peuvent en être extraites. Un article récemment accepté à la revue *Computational Linguistics* [513] confirme la dynamique enclenchée sur cette thématique.

Thème transverse : Décompositions de graphes pour les Contraintes.

La résolution de problèmes d'optimisation sous contraintes tire rarement parti de la structure du problème traité, bien qu'il existe de nombreux problèmes réels fortement structurés. Les travaux menés jusqu'à présent exploitent les décompositions arborescentes uniquement dans le cadre des méthodes de recherche complète. La thèse de Mathieu Fontaine étudie l'apport des décompositions arborescentes pour les méthodes de recherche locale de type VNS (Variable Neighborhood Search) [143]. Ses contributions portent (1) sur un schéma générique (DGVNS), exploitant la décomposition arborescente pour guider efficacement l'exploration de l'espace de recherche, (2) la proposition de deux raffinements de la décomposition arborescente et (3) deux extensions de DGVNS qui exploitent à la fois le graphe de clusters et les séparateurs. Chaque contribution a été validée sur plusieurs instances difficiles issues de différents problèmes : RFFAP, GRAPH, SPOT5 et TagSNP. Toutes les méthodes développées ont été intégrées et sont désormais disponibles dans le solveur TOULBAR2¹²

Actuellement, les matériels sont conçus pour fournir des unités de calcul multiples, sur des architectures parallèles différentes. L'exploitation de telles propriétés pour la conception et la mise en œuvre de méthodes d'optimisation hybrides parallèles nous offre la possibilité de résoudre des problèmes combinatoires complexes de grande dimension. Ainsi, dans sa thèse, Abdelkader Ouali travaille à la conception et mise en œuvre de nouvelles méthodes hybrides parallèles qui exploitent la décomposition arborescente du problème pour accélérer le processus de résolution. Il a proposé un schéma de parallélisation de la méthode DGVNS et des stratégies parallèles permettant la production rapide de solutions intermédiaires pour alimenter l'échange d'informations entre les esclaves [214].

12. <https://mulcyber.toulouse.inra.fr/projects/toulbar2/>

Rayonnement et attractivité académiques

Plusieurs éléments illustrent le rayonnement et l'attractivité de l'équipe :

- des publications de très grande qualité (e.g. conférences AAAI, CP, ECAI, ICDM, IDA, IJCAI, PAKDD toutes de rang A ou A* dans le classement CORE) et dans des revues allant de nos coeurs de métiers (e.g., *Artificial Intelligence J.*, *Constraints*, *Theoretical Computer Science*) à nos domaines d'application (e.g., *Int. J. of Chemical Information and Modeling*, *J. of Biomedical Semantics*). Ces applications sont aussi pour nous un moyen d'identifier des verrous scientifiques posant de vrais problèmes de recherche amont.
- de nombreuses invitations à des workshops sur invitation seulement : Dagstuhl (Allemagne, 2011, 2014), Spring Workshop on Mining and Learning (Belgique, 2010, 2012, 2014), workshop mining patterns and subgroups (Leiden, NL, 2010), Shonan (Japon, 2012), workshop de clôture de l'ANR DAG (2013).
- l'accueil de 10 post-doc dont 8 ne proviennent pas de l'université de Caen et l'accueil de chercheurs étrangers de renommée internationale (cf. la partie "membres" de l'équipe à la page 38).
- une présence dans les comités de programmes de conférences de grande qualité : AAAI, CP, ECAI, ECML/PKDD, ICDM, IDA, IJCAI, PAKDD (toutes de rang A ou A* dans le classement de CORE).
- la présidence du comité de programme des Journées Francophones de Programmation par Contraintes (JFPC) en 2011 ; la co-présidence de 4 workshops (LML 2103 : workshop on Languages for Data Mining and Machine Learning associé à ECML/PKDD 2013, workshops on Interactions between Data Mining and Natural Language Processing associés à ECML/PKDD 2014 et 2015, PhD session à ECML/PKDD 2014) et la co-organisation des JFPC 2010.
- prix du meilleur article à CP 2014, DS 2012 et COSI 2015, solveur premier ex aequo dans la catégorie CPU-1h à la compétition internationale PIC 2011.
- une bonne insertion régionale avec plusieurs projets labélisés dans le domaine de la chémoinformatique ainsi qu'une participation active à la fédération NormaSTIC (ANR en commun avec le LITIS, 2 stages de master co-encadrés entre le GREYC et le LITIS, co-animation de l'axe "Données, Apprentissage, Connaissance" de la fédération) ainsi que la participation à 6 projets ANR (dont la coordination d'un projet).
- l'essaimage de la société WhizzOmics.

Publications	Nombre total
Revue internationale	29
Revue nationale	6
Conférences internationales	70
Conférences nationales	46
Ouvrages et chapitres	9
Thèses et HDR	13 + 1
Brevets et logiciels	0

	Nombre
Contrat industriel (prestation, accompagnement de thèse...)	2
Projets FUI	0
Projets ANR	6
Projets nationaux (autres)	8
Projets européens	0
Projets internationaux (hors Europe)	1

	Nombre
Conférences invitées	10
Comité de rédaction et éditeurs invités	2
Comité de pilotage de conférences	1
Comité de programme de conférences	50+
Organisation de conférences, d'écoles, d'ateliers	3
Évaluation et expertise	3
Responsabilités scientifiques	0
Jurys thèse et HDR hors équipe	38

Thème « Modèles »	Thème « Agents »	Thème « Décision »
Maroua Bouzid, PR Alexandre Niveau, MC (2013) Bruno Zanuttini, MC HDR	Grégory Bonnet, MC (2010) François Bourdon, PR Bruno Mermet, MC Gaële Simon, MC	Laurent Jeanpierre, MC Abdel-Allah Mouaddib, PR

TABLE 2.3 – Composition de l'équipe MAD

Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Le thème *fouille de graphes pour la chimie* a clairement un grand impact sociétal. Les techniques de fouille de données permettent de cribler, de prévoir et bientôt de synthétiser les molécules qui constitueront les médicaments de demain. Les techniques mises au point dans l'équipe permettent de préparer le travail d'exploration nécessaire à la découverte des nouveaux usages des molécules, mais aussi à proposer des candidats à la synthèse. Le travail s'effectue en lien avec deux membres du CERMN (Centre d'Etudes et de Recherche sur le Médicament de Normandie), Ronan Bureau (PR) et Alban Lepailleur (MC HDR, membre associé de CoDaG).

De façon plus générale, une grande partie des travaux de l'équipe met l'accent sur les applications : collaboration avec l'INSERM sur les maladies rares, l'analyse de données concernant le sport ou encore l'apport de la fouille de données à la linguistique.

2.1.3 Équipe Modèles, Agents, Décision

Les travaux de l'équipe MAD (Modèles, Agents, Décision) se situent en **intelligence artificielle**, touchant aux problématiques des agents autonomes, en interaction avec un environnement incertain, avec un ou plusieurs êtres humains, ou encore avec d'autres agents artificiels. L'équipe a une **approche formelle** (modélisation de problèmes réels, algorithmique, complexité). Elle part toutefois souvent d'**applications**, étudiées dans le cadre de partenariats industriels notamment, en particulier en robotique et en extraction de connaissances depuis des sources ouvertes. Sur cette période, l'équipe résumait ses activités par la phrase suivante :

Étudier et proposer des méthodes pour permettre à un groupe d'agents adaptatifs, temps réel et sous contraintes de ressources, plongé dans un environnement dynamique, de prendre des décisions rationnelles pour la réalisation d'une mission.

Structuration scientifique et vie d'équipe

L'équipe est structurée en trois thèmes : « Modèles » (de raisonnement, 3 permanents), « Agents » (systèmes multi-agents — SMA, 4 permanents), et « Décision » (prise de décision en environnement incertain, 2 permanents) ; cf. table 2.3. Elle compte par ailleurs plus d'une dizaine de doctorants, de façon constante. À noter, Gaële Simon et Bruno Mermet sont enseignants au Havre ; François Bourdon et Laurent Jeanpierre enseignent à l'IUT d'Ifs. Par ailleurs, Grégory Bonnet a été recruté en 2010, et Alexandre Niveau en 2013. Enfin, Serge Stinckwich, en délégation à l'IRD sur toute la période, a officiellement quitté l'équipe au 1^{er} janvier 2014.

Bruno Zanuttini assure la responsabilité de l'équipe.

Le thème « Modèles » s'intéresse au temps et à l'espace, aux préférences, et à l'algorithmique du raisonnement ; le thème « Agents », à la spécification et la vérification formelle de comportements d'agents et de SMA, et à la confiance et la manipulation dans les réseaux pair-à-pair ; le thème « Décision », aux processus décisionnels de Markov (MDP) et leurs extensions, pour la prise de décision autonome en environnement incertain. Ces thèmes rendent plus compte de cultures générales légèrement différentes, et d'appartenance à des communautés scientifiques bien identifiées à l'international comme en France, que d'un intérêt pour des problématiques

réellement différentes. En effet, les thèmes interagissent largement, comme en témoignent des publications communes et des participations communes à des projets financés. Par ailleurs, le développement d'une importante bibliothèque de modèles et algorithmes, qui a vocation à être distribuée au-delà de l'équipe, constitue une activité transverse.

Les communautés scientifiques concernées par les travaux de l'équipe sont, à l'international, celles des grandes revues (*Artificial Intelligence*, *J. Artificial Intelligence Research*, etc.) et des grandes conférences (*IJCAI*, *AAAI*, *ECAI*) généralistes de l'intelligence artificielle. L'appartenance des membres à des communautés scientifiques clairement identifiées, selon les trois thèmes, correspond à des conférences plus spécialisées :

- pour « Modèles » : *KR* (représentation de connaissances et raisonnement), *TARK* (rationalité et logique épistémique), *TIME* (temps) à l'international, *IAF* (intelligence artificielle fondamentale)¹³ et le *RNSC* (réseau national des systèmes complexes)¹⁴ en France ;
- pour « Agents » : *AAMAS* (agents autonomes et systèmes multi-agents) à l'international, et *JFSMA* (systèmes multi-agents) en France ;
- pour « Décision » : *ICAPS* (planification et ordonnancement) à l'international, et *JFPDA* (planification et décision)¹⁵ en France.

L'intégration de ces cultures *a priori* différentes est l'une des spécificités de l'équipe par rapport au paysage français et international. L'équipe aborde des problèmes d'intelligence artificielle avec des techniques allant des analyses avancées de complexité [354, 361] aux réalisations concrètes [Robots Malins]¹⁶, en utilisant des approches logiques [359] et des approches probabilistes [347, 370].

Les interactions entre les cultures des membres, sur des problématiques partagées, est notamment permise par l'importance attachée à la **vie d'équipe**. Ceci se traduit en particulier par un « groupe de travail » interne, hebdomadaire, auquel toute l'équipe assiste et où chacun présente tour à tour, informellement, résultats et idées¹⁷. Ce groupe de travail assure une importante visibilité des uns sur les travaux des autres, et le partage d'une culture scientifique, pour les permanents comme pour les doctorants et les étudiants de master, qui sont conviés. Les aspects plus organisationnels et politiques de l'équipe (sujets de thèse prioritaires, participation aux enseignements liés aux thèmes de recherche, recrutements, etc.) sont également traités lors de réunions (3 ou 4 par an) auxquelles participent permanents et non permanents.

Production scientifique

Nous présentons tout d'abord les principaux enjeux traités par chacun des thèmes et les principales réalisations sur la période écoulée, puis les activités transverses. Les publications de l'équipe sont recensées à partir de la page 244, et résumées en chiffres dans la table 2.4 page 48. Nous tenons à souligner que toute l'équipe est produisante, et que la production est bien répartie sur tous les membres.

Thème « Modèles » La culture de ce thème est celle de la **représentation de connaissances**, essentiellement logique, et du **raisonnement**, avec une attention particulière portée à la représentation du temps et de l'espace, d'une part, et à l'expressivité et l'algorithmique des fragments logiques, d'autre part. On développe essentiellement des modèles formels, pour des applications, et des algorithmes ou preuves de complexité. Le thème a été renforcé par le recrutement d'Alexandre Niveau en 2013.

La thèse de Quentin Cohen-Solal, débutée à l'automne 2014, intègre tous ces aspects,

13. <http://gdri3iaf.info.univ-angers.fr/>

14. <http://rnsf.fr/tiki-index.php>

15. <http://www.loria.fr/projets/PDMIA/>

16. Les références non numériques renvoient aux projets financés (page 239) et aux thèses (page 242).

17. <https://www.greyc.fr/node/1434>

en coencadrement, pour comparer les langages de représentation du temps sous l'angle de l'expressivité, de la compacité, et de l'efficacité algorithmique des opérations principales [Cohen-Solal]. Cette thèse aborde par ailleurs, dans une dernière dimension, un thème cher à l'équipe, celui de l'**interaction avec l'être humain**, en étudiant les langages sous l'angle de leur aspect « naturel » : capacité à représenter des expressions temporelles à différentes granularités (secondes, jours, mois...), à convertir de l'une dans l'autre, ou encore à représenter des expressions floues ou imprécises (« après le dîner »). Quentin Cohen-Solal a ainsi montré que certaines tâches de raisonnement nécessitent l'utilisation conjointe de plusieurs granularités, et exhibé un algorithme mettant en œuvre ce processus [343].

Ce travail fournit une nouvelle perspective, à la fois pour les travaux du thème dans le domaine des connaissances temporelles et spatiales [337, 338, 360], qui sont là étudiées sous un angle formel plutôt qu'applicatif, et pour ses travaux sur la comparaison de langages logiques [354]. L'interaction avec l'être humain est également abordée sous un angle formel et systématique, en complément de travaux menés sur des applications particulières : par exemple, dans le cadre d'un projet ANR pluridisciplinaire sur les risques dans l'aménagement socio-économique [CRITERE], ou encore pour la représentation d'événements dans un contexte d'extraction de connaissances à partir de documents, dans le cadre de plusieurs thèses CIFRE [Serrano, Vaïsse-Lesteven, Nicart] avec Airbus Defence & Space [452, 457]. Par ailleurs, pour ce dernier point, les thèses CIFRE de Laurie Serrano et Arthur Vaïsse-Lesteven sont en coencadrement avec l'équipe HulTech, qui apporte son expertise sur l'interaction avec l'être humain en termes de traitement du langage.

Thème « Agents » La culture de ce thème est celle des systèmes multi-agents, vus à la fois comme des outils que l'on conçoit et met en œuvre, et comme des objets d'analyse, en particulier dans un contexte d'interaction stratégique. Les outils sont formels (théorie des jeux, preuve de théorème) et expérimentaux (simulation). Ce thème a pris un important essor sur la période, avec le recrutement de Grégory Bonnet en 2010, deux thèses [Vallée, Merciol] et un projet ANR [ETHICAA] démarrés, et un gain en visibilité des travaux sur les *Goal Decomposition Trees*.

Concernant la conception de systèmes, on s'intéresse dans ce thème à la spécification et à la **validation formelle de systèmes multi-agents**, en utilisant la preuve de théorème, ce qui constitue une approche originale de la validation [323, 371]. Il s'agit de proposer des langages formels dans lesquels décrire des comportements d'agents, potentiellement en interaction, et des outils permettant de prouver que des systèmes implantant ces spécifications atteignent bien des buts donnés. Il s'agit là d'une approche complète de la conception de SMA, et l'équipe développe également des outils pratiques permettant de mettre en œuvre ces modèles (*Goal Decomposition Trees*). Les méthodes utilisées touchent là également au génie logiciel, et incluent un important travail de développement. Dans la même perspective, l'équipe a développé des utilisations originales des SMA, en particulier pour le stockage réparti et sécurisé de documents, en utilisant des agents mobiles [379].

Dans une perspective d'analyse des systèmes, le thème s'intéresse à l'**interaction stratégique entre agents**, dans des problématiques liées aux systèmes décentralisés : réputation et confiance, formation de coalitions. L'approche développée ici mêle l'analyse formelle (théorie des jeux, apprentissage) à la simulation. L'équipe a en particulier obtenu des résultats sur l'analyse des protocoles de réputation et des mécanismes de formation de coalition, et leur manipulation par des agents malveillants [341, 381, 382, 459]. Une des applications cibles de ce travail est formée par les réseaux pair-à-pair [329, 367, 390].

Le projet ANR ETHICAA, porté par l'équipe et impliquant des informaticiens et des philosophes, intègre tous ces aspects. Il s'agit là de travailler sur l'éthique des agents autonomes, en s'intéressant à définir ce que devrait être un système composé d'un ou plusieurs agents artificiels, capables de gérer des conflits éthiques et de justifier leurs choix de manière explicite [385, 386].

Ce projet illustre particulièrement bien l'intégration d'une culture commune de l'équipe, les approches envisagées impliquant raisonnement (sur les valeurs et sur les arguments éthiques) et prise de décision (intégration des critères d'éthicité).

Thème « Décision » La culture de ce thème est plutôt algorithmique, et inclut une partie importante d'implémentation et d'expérimentations concrètes. C'est un thème de l'équipe particulièrement visible au niveau international.

On s'intéresse là à la résolution de processus de décision markoviens (MDP), qui modélisent des problèmes de **prise de décision en environnement incertain** (stochastique), et de leurs extensions à des environnements partiellement observés (POMDP) ou à plusieurs agents coopératifs (DEC-MDP et DEC-POMDP). L'équipe a développé de nouvelles techniques de résolution des versions décentralisées [347, 368, 370], et mis en œuvre les modèles et algorithmes dans un certain nombre de réalisations concrètes.

Parmi celles-ci, l'équipe a utilisé les modèles et algorithmes des DEC-POMDP pour des problèmes de cartographie de zones inconnues, à plusieurs agents et sans communication (explicite) à l'exécution. Ce travail a donné lieu à une utilisation réelle, sur des robots, dans le cadre d'un défi ANR/DGA [Robots Malins], dont l'équipe a de nouveau été vice-championne en 2012 (après 2011), en collaboration avec l'équipe Image pour les aspects liés à la vision. Les modèles markoviens sont aussi utilisés dans le cadre de plusieurs thèses CIFRE en collaboration avec Airbus Defence & Space, pour des problèmes de détection de comportements de groupes [373, Patrix], de gestion de la menace [Le Guillaume] et de collecte d'information, notamment via des réseaux de capteurs [Renoux, Debras]. Un brevet a été déposé avec Airbus [489].

Enfin, le projet européen COACHES, porté par l'équipe, se propose de mettre en œuvre ces techniques pour des robots de service à la personne, dont le déploiement sera expérimenté dans un centre commercial. Au-delà des problèmes de prise de décision, ce projet pose la problématique de l'interaction homme-agent, et de la prise en compte de l'humain dans le processus de décision. Le projet s'appuie pour cela sur l'expertise de l'équipe de Luca Iocchi, à l'université de Rome.

Activités transverses Les cultures et outils différents des membres de l'équipe se concentrent sur la thématique résumée en une phrase en introduction de ce bilan. Cette thématique partagée donne lieu à de nombreuses interactions entre thèmes (notamment via le groupe de travail).

Parmi les travaux transversaux aux thèmes, l'**interaction homme-agent** occupe une place privilégiée. Ainsi, la thèse de Nicolas Côté a étudié la problématique de la recommandation (par l'humain) à des agents, à cheval sur les thèmes « Modèles » et « Décision » [346, Côté]. Ce travail sera prolongé par une thèse qui commence en octobre 2015 [Benavent].

Les représentations factorisées de MDPs, utilisant la logique, forment également un thème important, notamment étudié dans le cadre d'un projet ANR [LARDONS], impliquant à nouveau « Modèles » et « Décision ». De nouvelles approches ont ainsi été proposées pour la **planification**, avec (i) le premier algorithme [365] traitant directement les représentations compactes du langage standard PPDDL, pourtant relativement ancien, et (ii) la proposition et l'étude approfondie de nouvelles représentations des plans pour des problèmes à observabilité partielle, en utilisant les logiques épistémiques [362–364].

Sur des problématiques plus spécifiques, les membres de différents thèmes ont également travaillé ensemble à des publications [382], et participent à des projets communs [GARDES].

Enfin, une importante bibliothèque de code est en cours de développement, avec pour but de fournir et de diffuser des implantations, largement réutilisables, de modèles et algorithmes, provenant de la littérature ou plus directement des travaux de l'équipe. Ce projet de longue date a connu un important essor grâce à un stage d'ingénieur effectué dans MAD sur l'année 2013–2014, et la bibliothèque commence à être réellement utilisée pour la vulgarisation, et comme support à des projets et stages d'étudiants, en attendant sa diffusion plus large.

Type de publications	Nombre
Revue internationale	15
Revue nationale	4
Conférences internationales	90
Conférences nationales	38
Ouvrages et chapitres	10
Thèses et HDR	15
Brevets et logiciels	1

Type de contrat/projet	Nombre
Contrat industriel (prestation, accompagnement de thèse...)	11
Projets FUI	0
Projets ANR	7
Projets nationaux (autres)	4
Projets européens	1
Projets internationaux (hors Europe)	0

Élément de rayonnement	Nombre
Conférences invitées	3
Comité de rédaction et éditeurs invités	3
Comité de pilotage de conférences	1
Comité de programme de conférences	≥50
Organisation de conférences, d'écoles, d'ateliers	7
Évaluation et expertise	4
Responsabilités scientifiques	4
Jurys thèse et HDR hors équipe	27

TABLE 2.4 – Éléments quantitatifs sur la production et le rayonnement de l'équipe MAD

Rayonnement et attractivité académiques

Les indicateurs de rayonnement sont listés en annexe, à partir de la page 239 (voir aussi la table 2.4). Comme pour les publications, nous tenons à souligner que le rayonnement de l'équipe est porté par tous ses membres.

L'équipe est active dans l'**animation de la recherche** au niveau national. Elle a coorganisé (avec d'autres équipes du GREYC) RFIA 2010 et les JFPC 2010, organisé les JFSMA 2012, présidé les JFPDA 2011 et les RJCIA 2014. Par ailleurs, elle a cofondé l'institut normand des systèmes complexes¹⁸, a participé au CA de l'AFPC¹⁹, et coanime le groupe IAF. Les GDR proches sont l'ex-GDR I3 (via le groupe IAF) et le GDR RO. La reconnaissance nationale se manifeste aussi dans les jurys de thèse et HDR, en tant qu'examinateur et souvent, rapporteur.

À l'international, les membres de l'équipe sont présents dans les comités de programme des principales conférences de leurs domaines, et ceci pour quasiment toutes les éditions : ICAPS, KR, AAMAS, AAI, IJCAI (toutes de rang A* dans le classement CORE) ; deux membres ont été *senior PC members* pour IJCAI 2015. L'équipe a par ailleurs coorganisé plusieurs *workshops* internationaux sur la période : MSDM@AAMAS/AAAI/IJCAI (*Multiagent Sequential Decision Making Under Uncertainty*, un membre faisant partie de l'*advisory committee*), BGBTP@CP 2014, et RDA2@ECAI 2012, et Abdel-illah Mouaddib est membre du *technical committee* de la *Robotics and Automation Society* sur les systèmes multi-robots²⁰.

Cette activité des membres de l'équipe, et la reconnaissance des travaux, s'est traduite sur la période par un **nombre important de projets académiques**. L'équipe a porté ou porte deux projets ANR blancs [LARDONS, ETHICAA] et un **projet européen** [COACHES], participe à un projet financé par la NSF aux États-Unis²¹, et participe ou a participé à de nombreux autres projets financés (cf. liste page 239). L'équipe entretient des relations suivies avec les universités de Regina au Canada (séjour de Malek Mouhoub en mai 2015), de Cracovie en Pologne (cotutelle d'une thèse [Jobczyk], venue d'Antoni Ligeza comme professeur invité en 2016), de Linköping

18. <http://iscn.univ-lehavre.fr/>

19. <http://afpc.greyc.fr/web/>

20. <http://www.ieee-ras.org/multi-robot-systems>, <http://www.multirobotssystem.org/?q=people>.

21. http://www.nsf.gov/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=134033&org=NSF&from=news

en Suède [361], du Massachusetts à Amherst [372] (séjour de Shlomo Zilberstein en 2014).

Enfin, l'équipe se montre **attractive** pour le recrutement de doctorants et de maîtres de conférences. Grégory Bonnet (2010, auparavant à Troyes) et Alexandre Niveau (2013, Lens) ont été recrutés sur la période, et de nombreux doctorants viennent directement d'autres universités (Krystian Jobczyk de Cracovie et Fabio Valerio Ferrari de Vérone, pour les plus lointains). L'attractivité est manifeste également à l'Université de Caen Normandie, avec deux ou trois stages de recherche encadrés tous les ans. Ceci s'explique notamment par un investissement important en enseignement (encadrement de projets à tous les niveaux, soin apporté aux sujets de projets, options « intelligence artificielle » en L3 et M1, responsabilité du master « décision et optimisation », des projets de L3, etc.).

Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Dans une grande partie de ses travaux, l'équipe met l'accent sur les applications, ou part de ces applications pour identifier des verrous scientifiques, puis les traiter de manière plus académique. Ceci est manifeste dans un nombre important de **collaborations avec l'industrie** et les collectivités, en particulier sur cette période (table 2.4, et annexe page 239).

Les thèses CIFRE ont été nombreuses, avec une collaboration très suivie avec Airbus Defence & Space à Val-de-Reuil (Eure) : pas moins de 7 thèses CIFRE sur la période, sur les thèmes « Modèles » et « Décision ». La thèse de Jérémy Patrix a par ailleurs débouché sur un brevet commun [489]. L'équipe collabore également avec la DGA, Dassault, Nexter : thèses cofinancées [Canu, Lelerre], projet ANR/DGA [GARDES]. Plus récemment, l'équipe s'est rapprochée des **collectivités locales** : l'agglomération de Caen la Mer est impliquée dans le projet européen porté par l'équipe [COACHES], une thèse financée par la Région démarre en 2015 [Benavent], et le pôle de compétitivité « Transactions Électroniques Sécurisées » a été impliqué dans le montage d'un projet ANR générique en 2015 (AEIOU, non retenu à l'issue de la 2^e phase). Ces interactions nourrissent, via les applications, de nombreuses problématiques scientifiques de l'équipe.

2.1.4 Synthèse du département IAA

Les tableaux 2.5, 2.6 et 2.7 donnent une vue globale sur les effectifs, les publications et les activités contractuelles des équipes du département IAA.

Equipes	Permanents	Doctorants	Docteurs	Autres
AmacC	1DR, 1PR, 1CR et 8MC dont 2HDR	2	8	6
CoDaG	4PR et 6MC	2	12	3
MAD	3PR et 5MC dont 1HDR	11	14	

TABLE 2.5 – Effectifs du département IAA sur la période 2010-2015

Equipes	RI	RN	CI	CN	ODOCO	BL
AmacC	28	0	51	0	(1,3,8)	(0,2)
CoDaG	29	6	70	46	(3,1,6)	
MAD	15	4	90	38	(0,4,6)	(1,0)

TABLE 2.6 – Publications du département IAA sur la période 2010-2015

Equipes	Tutelles	Etat	Région	ANR	Industrie	Europe	Int.	Total
AmacC	2 54	6 207	2 117	3 340.8	3 69.4		1 5	17 853.2
CoDaG	3 25.5		8 274	3 366.7	1 100	2 62.2		17 828.4
MAD	1 10	4 124.7	5 151.5	7 528	8 241	1 287		26 1342.2

TABLE 2.7 – Activité contractuelle du département IAA sur la période 2010-2015

Le département IAA comprend 29 membres permanents : 2 chercheurs CNRS (1DR et 1CR) et 27 enseignants-chercheurs de la 27ème section du CNU (8 PR, 19 MCF). Il accueille 15 doctorants et 9 enseignants-chercheurs associés. Durant la dernière période quatre enseignants-chercheurs ont quitté le laboratoire pour des raisons diverses (retraite, promotion externe ou détachement) et quatre enseignants-chercheurs ont été recrutés. Au sein du département 34 thèses ont été soutenues et 15 thèses sont en cours. Le potentiel d'encadrement est passé de 16 HdR à 12 HdR sur ce quinquennat.

Les bilans des trois équipes donnent une idée précise de celles-ci. Nous en effectuons maintenant une synthèse qui s'appuie aussi sur les tableaux 2.5, 2.6 et 2.7.

Les chercheurs et enseignants-chercheurs du département IAA effectuent une recherche fondamentale de qualité, avec une bonne activité contractuelle et un investissement important dans la formation par la recherche. Ils s'investissent fortement dans les responsabilités collectives et jouent un rôle important dans l'animation scientifique, notamment au plan national. Les membres du département participent activement à la structuration des STIC en Normandie via la fédération NormaSTIC et le réseau normand des systèmes complexes. La qualité de leur production scientifique est attestée par des publications dans des revues et des conférences internationales bien reconnues du domaine (e.g. AAAI, AAMAS, CP, ECAI, ICDM, IJCAI, LICS, PAKDD, STACS) ainsi que des prix de la meilleure contribution scientifique (DS 2012, CP 2014, COSI 2015). Les membres du département réussissent à bien s'insérer dans les programmes de l'ANR (notamment le programme dit " blanc "), et commencent à réussir aussi dans l'insertion européenne et internationale.

Chacune des trois équipes a aussi ses spécificités, scientifiques et culturelles :

- L'équipe AmacC entretient une collaboration scientifique fructueuse avec l'Amérique Latine dans le cadre du projet CNRS STIC-AMSUD, qui a été confortée par la création d'une nouvelle équipe à l'intérieur du Laboratoire International Associé INFINIS à Buenos Aires. Elle est fortement impliquée dans l'animation scientifique du laboratoire et joue un rôle important dans le GDR IM. Elle joue un rôle actif dans la définition de la politique scientifique nationale.
- L'équipe CoDaG a des interactions régionales importantes avec une ouverture européenne. Elle a été impliquée dans la gestion du dernier projet CPER " Les STIC et la Sécurité " qui était porté par le GREYC. Elle est fortement impliquée dans l'animation scientifique du laboratoire au sein du département et de la fédération NormaSTIC.
- L'équipe MAD a une importante collaboration industrielle qui est particulièrement perceptible par son important vivier de doctorants. Outre une claire ouverture européenne et internationale, elle a des interactions internes aussi bien avec les équipes du département

IAA qu'avec les équipes du département TIRF comme en témoignent ses collaborations privilégiées avec l'équipe Image. Elle est impliquée dans l'animation du Thème Intelligence Artificielle Fondamentale de l'ex-GDR I3.

En dépit de points très positifs comme décrits dans ce chapitre, le département IAA présente cependant certaines faiblesses et risques :

- Les équipes CoDaG et AmacC ont des difficultés à financer et à recruter des doctorants et leur nombre de doctorants n'est pas à la hauteur de leur potentiel d'encadrement ni de leur ambition scientifique. Cette faiblesse pourrait être surmontée en exploitant l'opportunité de certains thèmes de recherche porteurs et le potentiel de leur activité contractuelle. D'autre part, proposer des sujets plus appliqués pourraient attirer plus de doctorants.
- L'équipe AmacC a été récemment fragilisée par plusieurs départs (B. Vallée, DR CNRS, devient émérite ; S. Peyronnet, professeur, est détaché pour monter une entreprise ; F. La-guillaumie et A. Otmani ont été promus professeurs à l'extérieur). L'équipe MAD pourrait perdre un MC HdR à la suite d'une promotion externe. Il nous faut prendre en compte cette situation et ce risque, en proposant deux postes de PR au recrutement. Par ailleurs, l'équipe CoDaG est affaiblie par le départ en septembre 2015 d'A. Lallouet pour une activité de recherche dans le secteur privé (T. Charnois, promu professeur à l'extérieur, a aussi quitté cette équipe en 2013).
- Il existe encore des membres qui ne sont pas suffisamment producteurs.

2.2 Département Traitement de l'Information et Reconnaissance des Formes

Le département TIRF rassemble les équipes Hultech, Image et M & B. Compte tenu de leurs spécificités scientifiques, le socle commun de ces équipes relève du traitement de l'information allant des modèles et des outils de modélisation et de représentation de l'information jusqu'aux méthodes algorithmiques qui en découlent. Les recherches qui y sont développées portent sur le traitement des données (signal, image, vidéo, document, texte), la recherche d'information (texte, document, image, multimédia), la reconnaissance de formes et la sécurisation par biométrie. L'ultime motivation du département TIRF est d'asseoir une culture scientifique transversale sur le spectre de compétences de ses équipes, de favoriser les échanges scientifiques et de faire émerger des projets communs. Ainsi, le département TIRF participerait à une reconnaissance accrue du laboratoire sur les thématiques scientifiques du traitement de l'information.

2.2.1 Équipe HULTECH

Présentation de l'équipe

L'équipe HULTECH (*HUMAN Language TECHNOLOGY*) propose des modèles dans le domaine des Technologies du Langage Humain. Ceux-ci doivent permettre aux humains d'interagir avec les ordinateurs à partir de services ayant des capacités de langage naturel. Dans ce cadre, HULTECH propose une approche différentielle du langage naturel en définissant des modèles qui soient (le plus possible) indépendants de la langue, du genre ou du domaine utilisés. Ainsi, ces modèles peuvent être développés dans le cadre d'applications réelles multilingues comme la recherche d'information ou la veille d'information sans que de nouveaux paramétrages ou apprentissages soient nécessaires. Comme média préférentiels, HULTECH traite des données hétérogènes et multilingues du Web, en portant un intérêt particulier aux dispositifs nomades et à l'accessibilité des contenus pour les déficients visuels.

L'équipe HULTECH propose une approche projet de la recherche et dans ce cadre organise ses recherches à la confluence de 5 axes thématiques préférentiels : l'ingénierie des documents (ACM I.7.2), l'ingénierie des langues (ACM I.2.7), l'ingénierie des connaissances textuelles (ACM I.2.6), la recherche d'information (ACM H.3.3) et la communication homme-machine

(ACM H.1.2). En particulier, HULTECH regroupe 10 membres permanents dont l'activité de recherche est décrite dans le Tableau 2.8.

	ID	IL	ICT	RI	CHM
Gaël Dias, PR		x	x	x	x
Marc Spaniol, PR	x	x	x	x	
Nadine Lucas, CR-HDR		x	x	x	
Emmanuel Giguet, CR-HDR*		x	x	x	
Hervé Le Crosnier, MC-HDR	x			x	
Stéphane Ferrari, MC-HDR		x	x	x	x
Pierre Beust, MC-HDR		x			x
Serge Mauger, MC	x	x			
Fabrice Maurel, MC	x	x			x
Yann Mathet, MC	x	x	x		
Jean-Marc Lecarpentier, PRCE	x			x	x

* mis à disposition de SEMIOTIME

TABLE 2.8 – Composition de l'équipe HULTECH en personnel permanent

Afin de renforcer ses critères d'excellence, HULTECH a nommé une commission d'experts internationaux dont le but est de guider l'équipe dans ses choix stratégiques. La commission est composée de Eduard Hovy (*Carnegie Mellon University, USA*) spécialiste de l'Ingénierie des Langues, Ricardo Baeza-Yates (*Yahoo! Research Labs, Espagne*) spécialiste de la Recherche d'Information et Djoerd Hiemstra (*Université de Twente, Pays-Bas*) spécialiste de la Communication Homme-Machine.

La direction de l'équipe a été assurée alternativement par Nadine Lucas (2010-2012), Gaël Dias (2012-2014) et Marc Spaniol (2014-Présent).

Production scientifique

Les principales productions scientifiques de l'équipe sont résumées en quelques chiffres dans le Tableau 2.9. En particulier, l'équipe a publié 167 communications dont 44 de rang A*/A selon CORE²² pour l'international et l'AERES pour le national, et produit 10 ressources informatiques, la plupart mises à la disposition de la communauté scientifique en accès libre.

Publications	Nombre total	Nombre de Rang A*/A
Revue Internationales	19	5
Revue Nationales	20	0
Conférences Internationales	68	21
Conférences Nationales	38	18
Ouvrages et chapitres	22	NA
Thèses Doctorat	10	NA
HDR	3	NA
Brevets et logiciels	10	NA

TABLE 2.9 – Synthèse de la production scientifique

Afin de mieux appréhender la qualité de ses recherches, nous décrivons les principales avancées scientifiques de l'équipe HULTECH durant ce quinquennat.

22. <http://www.core.edu.au/>

Recherche d'information temporelle (RI/IL/ICT)

Une part importante des requêtes faites sur les moteurs de recherche a une connotation temporelle sans que celle-ci soit explicitement mentionnée. Comprendre cette intention sous-jacente est un problème majeur en recherche d'information [499] dont l'équipe est l'un des acteurs majeurs à l'international. Dans ce cadre, l'équipe a proposé différents modèles de désambiguïsation temporelle de requêtes basés sur des fonctions d'agrégation de mesures de similarité distributionnelle de troisième ordre [549]. Comme directe application de ces recherches, nous avons proposé des méthodes de partitionnement éphémères temporels [547] et défini une nouvelle fonction linéaire de classement temporel [546]. Afin de mieux comprendre la dimension temporelle d'une requête (i.e. si elle est passée, présente ou future), différentes caractéristiques pertinentes ont été proposées dans le cadre d'un apprentissage supervisé ensembliste [574]. HULTECH a étendu ces recherches aux images en se basant sur leur contenu textuel. Ainsi, à partir de l'analyse statistique de catalogues de requêtes et la génération automatique de requêtes temporelles, il est possible de proposer des techniques de partitionnement éphémère temporel dans le cadre général du Web [560]. Des méthodes basées sur l'analyse des métadonnées des images géolocalisées dans les réseaux sociaux (ici Flickr) ont permis de mieux appréhender leur dimension temporelle [624]. L'équipe a également proposé des modèles de classification supervisée ordinaire afin d'étiqueter temporellement les images dans un cadre multimodal (contenu visuel et textuel) [925]. Enfin, dans un cadre pluri-disciplinaire, des études centrées utilisateurs ont été menées afin de comprendre la conceptualisation du temps à travers différentes cultures et sociétés [608]. L'ensemble de ces travaux a donné lieu à plusieurs indicateurs majeurs : 5 publications internationales de rang A*/A (ACM CS, SIGIR, MM, CIKMx2), Prix de la meilleure thèse de doctorat du Fraunhofer Challenge Portugal, Prix du meilleur article de la *16th International Conference on Human-Computer Interaction*, Participation à la compétition internationale NTCIR-11 Temporalia (1ère place sur une mesure) et Production de la série de services Web GTE.

Digestion d'information (RI/CHM/IL)

La surproduction d'information disponible sur la toile rend difficile l'accès à l'information. Ceci est d'autant plus vrai pour l'accessibilité des contenus par les déficients visuels. Résumer l'information à son essentiel est donc une tâche importante pour son accès utile. Dans ce cadre, l'équipe a proposé des méthodes de partitionnement éphémères des résultats Web à partir de données endogènes [601] et exogènes [602]. En particulier, elle se base sur des avancées en terme de mesures de similarité d'ordre N [604], d'optimization multi-objectif [538], de partitionnement dual [605] et d'opérations sur les espaces vectoriels continus [?]. Récemment, de nouvelles métriques d'évaluation ont été proposées afin de mieux appréhender la distribution des documents Web [603]. Dans le cadre de l'accessibilité des documents du Web, l'équipe propose une approche combinée de balayage et d'écramage qui la distingue. En particulier, afin de permettre un balayage rapide des documents Web aux déficients visuels, elle a proposé une méthode de compréhension des textes basée sur la structure des documents et a construit un dispositif haptique adapté aux dispositifs nomades [1518]. Ainsi, différentes techniques de segmentation logico-sémantique ont été proposées [1626] [1627]. L'accès au contenu est ensuite disponibilisé par un synthétiseur multi-canal qui produit des tonnerres de mots clefs, réalisant ainsi l'écramage. L'ensemble de ces travaux a donné lieu à plusieurs indicateurs majeurs : 7 publications internationales de rang A*/A (JLNE, ACL, JCDL, SIGIRx2, EACL, COLING), Participation aux compétitions internationales NTCIR-10 Intent-2 (1ère place sur une mesure) et NTCIR-11 iMine (1ère place sur une mesure), Production du logiciel GREYCIR, Production du prototype haptique TACTINET et Projet ANR ART-ADN. De plus, ces travaux ont été sélectionnés pour être présentés sur le stand du CNRS à la *21st International World Wide Web Conference (WWW)*.

Ontologies (ICT/IL/RI)

Le langage naturel est un vecteur d'information mais aussi de connaissances. Dans ce cadre, l'équipe a proposé trois directions de recherche. En premier lieu, un modèle basé sur la théorie de la prétopologie a été proposé permettant de construire des ontologies lexicales à partir de textes bruts avec un minimum d'informations externes [553]. Une fonction d'adhérence a d'abord été proposée à partir de la combinaison prétopologique de mesures d'associations de premier ordre. Ensuite, afin d'améliorer les performances de ce premier modèle, une nouvelle fonction d'adhérence est apprise dans le cadre d'un apprentissage semi- et auto-supervisé. En deuxième lieu, l'équipe a proposé d'augmenter des ressources existantes telles que WordNet avec des informations supplémentaires telles que la connotation temporelle. Dans ce cadre, l'équipe a produit plusieurs modèles de propagation de la temporalité dans WordNet à partir de techniques d'apprentissage semi-supervisées : propagation lexicale [559] et propagations probabiliste et hybride [573]. Finalement, si l'on conçoit que les connaissances évoluent dans un cadre spatio-temporel, il devient intéressant de pouvoir aligner différentes bases de connaissances suivant leur domaine culturel et leur temporalité. Dans ce cadre, une nouvelle méthode d'alignement de taxonomies a été proposée [611] qui se base sur l'enrichissement sémantique des textes à partir de données liées (*linked data*). L'ensemble de ces travaux a donné lieu à plusieurs indicateurs majeurs : 3 publications internationales de rang A*/A (WWW, CIKM, EACL), Participation aux compétitions internationales SEMEVAL Task 17 (1ère place sur une mesure) et SEMEVAL Task 3 (8ème place), Production de la ressource TEMPOWORDNET, Production de la plateforme SEMCOMP, Projet CPER SEMCOMP et Délégation CNRS de Guillaume Cleuziou, Maître de Conférences à l'Université d'Orléans.

Veille d'information (IL/RI/ID)

La plupart des systèmes d'alerte sont basés sur les flux de données des agences de presse qui produisent majoritairement leurs communiqués en anglais. Or, les premiers signes d'épidémie sont souvent énoncés dans la langue des personnes atteintes et non en anglais (langue utilisée par les systèmes concurrents). Dans ce cadre, l'équipe a développé un modèle multilingue d'alerte épidémiologique basé sur le grain caractère et la structure des textes [590]. Ainsi, à partir d'une liste de maladies répertoriées en accès libre sur le Web, les flux de données rédigés dans différentes langues sont analysés par rapport à leurs séquences de caractères. L'apport structurel du texte et l'analyse du style journalistique permettent d'extraire des informations récurrentes pertinentes [543]. Ce modèle a été appliqué à plus de 20 langues [651] et confronté aux personnels de santé pour évaluation [534]. Analyser les opinions est également une application importante dans le domaine de la veille d'information. Dans ce cadre, l'équipe s'est attachée à traiter des problématiques complexes souvent ignorées par la communauté scientifique. En particulier, le rôle de la négation dans le calcul de l'intensité et de la polarité est un problème qui n'a pas été traité par les modèles d'apprentissage machine. Afin de palier à ce manque, nous avons développé un modèle sémantique qui s'applique à la fois au français et au chinois [638] [637]. De plus, la plupart des modèles d'analyse de sentiments ont traditionnellement été développés dans le cadre d'un domaine particulier. Or, quand ils sont appliqués à de nouveaux domaines, ceux-ci montrent rapidement leurs faiblesses. Afin de répondre à ces limitations, l'équipe a proposé un modèle de co-apprentissage transverse pour la classification des textes basé sur des caractéristiques de haut niveau linguistique [508]. L'ensemble de ces travaux a donné lieu à plusieurs indicateurs majeurs : 1 publication internationale de rang A (AIME), 2 publications nationales de rang A (TALN), Production de la plateforme DANIEL, Création de la start-up SEMIOTIME, Projet ANR BINGO2 et Projet ANR ONTOPITEX.

Document numérique (ID/IL/RI)

Dans un cadre pluri-disciplinaire, l'équipe développe des plateformes de gestion, d'exploration, d'annotation et d'évaluation des documents numériques. Pour la gestion des documents du Web et leur édition, l'équipe a proposé un modèle arborescent de gestion de collections de documents Web basé sur les FRBR (*Functional Requirements for Bibliographic Records*) [586] [584] qui permet de coder simplement les différentes versions d'un même document et ainsi de favoriser leur édition. Dans le cadre de l'exploration et l'annotation, la plateforme Glozz propose un environnement d'exploration de corpus et d'annotation fortement configurable et non limité a priori au contexte discursif [632]. Dans le cadre précis de l'alignement et des mesures d'accord sur des textes multi-annotés pour la constitution de corpus de référence, l'équipe a proposé d'unifier la méthode gamma pour l'accord inter-annotateur [598] [513]. Finalement, des travaux sur la sémiotique ont été entrepris pour détecter les faux dans les documents numériques, notamment les images [643]. L'ensemble de ces travaux a donné lieu à plusieurs indicateurs majeurs : 2 publications internationales de rang A*/A (CL, COLING), 2 publications nationales de rang A (TALN), Production du framework SYDONIE, Production de la plateforme GLOZZ, Projet ANR DESCARTES, Projet ANR DOCSCOPE, Projet CPER/FEDER SYDONIE, Organisation de la compétition internationale INEX Book Search (2010, 2011, 2012, 2013).

Rayonnement et attractivité académiques

Bien qu'étant une jeune équipe, HULTECH a déjà montré un rayonnement et une attractivité importante tant régional, national qu'international. Pour en témoigner, nous présentons un bilan chiffré de quelques indicateurs majeurs dans le Tableau 2.10.

	National	International
Conférences invitées	7	6
Comité de rédaction et éditeurs invités	1	5
Comité de programme de conférences	9	47
Organisation de conférences, d'écoles, d'ateliers	2	7
Organisation de compétitions	0	4
Evaluation et expertise	2	1
Responsabilités scientifiques	1	0
Jurys thèse et HDR hors équipe	13	6
Projets ANR	6	NA
Projets nationaux (autres)	3	NA
Projets FUI	1	NA
Projets bilatéraux	NA	1

TABLE 2.10 – Éléments de rayonnement de l'équipe

Au niveau régional, l'équipe HULTECH tient un rôle majeur dans le domaine du Document numérique en pilotant cet axe de la fédération NormaStic et en participant au Pôle Document numérique de la MRSH. Au niveau national, l'équipe organise régulièrement un nombre important de manifestations dont la prestigieuse conférence TALN 2015. Elle participe à un nombre non négligeable de projets (ART-ADN, DOCSCOPE, SAMAR, NARECA, BINGO2, ONTO-PILEX, PRODESCARTES) avec des partenaires privilégiés comme le LIFO, l'IRIT, le LIMSI, l'ERSS, l'ENS Cachan et le LIRIS. Elle prend également part au développement du Traitement automatique des langues en France à travers le comité de rédaction de la revue nationale TAL de rang A. C'est certainement à l'international que l'équipe a un rayonnement plus important. Elle a co-publié plus de 34 communications avec des partenaires internationaux dont les Universités

de Helsinki (Finlande), Kyoto et Waseda (Japon), Porto (Portugal), l'Institut Max Planck (Allemagne), l'IIT-Patna (Inde), Yahoo ! Barcelone (Espagne) et Microsoft Research Cambridge (Angleterre). Elle a reçu plusieurs prix internationaux dont celui de meilleur article à HCI 2014 et de meilleure thèse de doctorat au challenge Fraunhofer 2013. Elle a organisé 7 ateliers et 4 compétitions. Finalement, elle a recruté deux Professeurs des universités à l'international (Portugal, Allemagne) ainsi que plusieurs thésards (Inde, Syrie, Colombie) et chercheurs invités (Japon, Inde, Bulgarie, Brésil).

Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Une part non négligeable de la recherche de l'équipe est transférée dans le tissu économique. Lauréat national Oséo de la création d'entreprise de technologie innovante, la start-up SEMIOTIME émane des travaux sur la fouille d'information de l'équipe. Les projets ART-ADN, DOCScope, SEMCOMP ont donné lieu à des développements et co-publications avec les entreprises SEMIOTIME, NOOPSIS et EXOMAKINA. Deux thèses CIFRE ont également été soutenues (ORANGE, PERTIMM). Un effort de divulgation autour du Document numérique est également mené à travers des démonstrations aux Fêtes de la Science et relayé par C&F EDITIONS dirigée par l'un des membres de l'équipe.

2.2.2 Équipe Image

A) Composition de l'équipe

L'équipe Image est composée de membres d'origines variées (informatique, traitement du signal, mathématiques appliquées, intelligence artificielle) couvrant ainsi plusieurs sections du CNU. Cette variété de compétences constitue l'un des atouts de l'équipe et lui permet d'aborder le traitement, l'analyse des images, vidéos ou encore des données discrètes selon plusieurs points de vue ou paradigmes de modélisation complémentaires.

En 2010, l'équipe comprenait 16 enseignants-chercheurs (5 PR, 11 MCF dont 2 HDR) 2 CR CNRS, et 16 doctorants. En 2015, elle comprend le même nombre de permanents avec un PR émérite, et 14 doctorants. Trois permanents ont quitté l'équipe (2 MCF, 1 CR (mutation)), et un départ à la retraite (PR émérite). Quatre permanents ont rejoint l'équipe : 3 MCF recrutés et 1 CR (mutation), voir Table 2.11.

Thème 1	Thème 2	Thème 3	Thème 4
Condat Laurent (CR1) [†] Elmoataz Abderrahim (PR)* Fadili Jalal (PR, IUF) Janik Jean Marie (MCF) [‡] Jehan-Besson Stéphanie (CR1) [‡] Lézoray Olivier (PR) Rabin Julien (MCF) [‡] Schupp Sophie (MCF) Tschumperlé David (CR1)	Bougleux Sébastien (MCF) Brun Luc (PR) Fourey Sébastien (MCF) Mahboubi Amal (MCF) Mokhtari-Brun Myriam (MCF) Simon Loïc (MCF) [‡]	Chahir Youssef (MCF HDR) Jurie Frédéric (PR) Lechervy Aléxis (MCF) [‡]	Charrier Christophe (MCF HDR) [†] Clouard Régis (MCF HDR) Porquet Christine (MCF) Revenu Marinette (PR émérite)

TABLE 2.11 – Composition de l'équipe Image.* Responsable équipe. † Départ de l'équipe en cours de contrat. ‡ Arrivée dans l'équipe en cours de contrat.

B) Structuration scientifique et vie de l'équipe

Les activités de recherche de l'équipe sont centrées sur le développement de nouvelles méthodes de traitement et d'analyse de signaux/images/vidéos ou de données discrètes, en s'attachant à lever les verrous théoriques, algorithmiques, méthodologiques et pratiques. Plusieurs de ces méthodes sont mises à l'épreuve pour la résolution de problèmes avec des données réelles, en bénéficiant notamment de collaborations avec des centres de recherche bas-normands en imagerie biomédicale (Cyceron, CHU de Caen, Centre F. Baclesse, Centre Hospitalier

Public du Cotentin). L'expertise de l'équipe porte d'une part sur, (i) le développement de modèles mathématiques de représentation (géométriques, topologiques, statistiques, fonctionnels, symboliques), et d'algorithmes de traitement, et d'autre part sur (ii) l'extraction et la gestion des connaissances en traitement et analyse d'images (classification, ingénierie des connaissances).

Plus spécifiquement, nos travaux s'organisent autour de quatre thèmes :

Thème 1 : Problèmes variationnels et représentations sur les variétés pour les images et les données Les travaux dans cette thématique portent sur la conception et sur l'étude de nouvelles représentations pour les signaux/images, ou encore les données représentés sous formes de graphes ou de fonctions sur graphes, ainsi que sur la modélisation et la résolution de problèmes inverses en traitement d'images ou de données discrètes.

Thème 2 : Modélisation géométrique et topologique Les travaux portent sur l'étude d'espaces discrets à partir de différentes métriques, sur les noyaux sur graphes, et sur les noyaux à base de motifs complexes.

Thème 3 : Reconnaissance d'objets dans les images et vidéos Les travaux portent sur l'apprentissage semi-supervisé, sur l'introduction d'informations sémantiques de la saillance en reconnaissance et sur l'apprentissage des distances. Ce travaux visent à apporter des contributions à différents tâches de vision par ordinateur.

Thème 4 : Ingénierie des connaissances Les travaux dans cette thématique portent sur la construction automatique de chaînes de traitements d'images adaptées à un objectif donné par réutilisation d'expériences.

Ce découpage thématique n'est pas cloisonnant, et plusieurs projets transversaux existent entre les thèmes en fonction des opportunités scientifiques et contractuelles.

L'animation et la vie scientifiques de l'équipe s'appuient sur deux instruments. Tout d'abord, un séminaire régulier (bi-mensuel ou mensuel), avec des orateurs invités en grande majorité des extérieurs. Nous avons aussi mis en place un groupe de lecture (reading group) doctorants sur un rythme hebdomadaire, animé par un ou plusieurs permanents. C'est devenu un rendez-vous important pour l'équipe permettant aux doctorants de se maintenir à jour sur l'état de l'art et de partager leurs compétences.

C) Production scientifique

▷ Synthèse et analyse de la production

Le dynamisme de l'équipe en termes de production scientifique est attesté par ses nombreuses publications d'audience internationale : 98 revues internationales, 155 conférences internationales avec actes et comités de lecture et 19 chapitres d'ouvrages (voir synthè Table 2.12). A titre de comparaison, elle comptait 63 revues internationales, 158 conférences internationales et 10 chapitres sur le contrat précédent. Cela fait une augmentation de plus de moitié du nombre de revues et de chapitres. Une majorité des revues est A ou A* (selon classement CORE) comme International Journal of Computer Vision (IJCV), IEEE Trans. on Image Processing, IEEE Signal Processing Magazine, IEEE Transactions on Information Theory, Journal of Mathematical Imaging and Vision (JMIV), SIAM J. on Imaging Sciences, Applied and Computational Harmonic Analysis (ACHA). Parmi les conférences majeures (dont plusieurs A ou A* classement CORE) on peut citer CVPR, ICCV, ACCV, NIPS, ICML, ECCV, SSVM, mais aussi ICIP, ICASSP et EUSIPCO.

▷ Quelques contributions et résultats marquants

Problèmes inverses, régularisation faible complexité et optimisation non-lisse Les problèmes inverses peuvent être résolus dans un cadre variationnel associant des termes de fidélités aux données et des termes de régularisation. Pour ces problèmes, l'équipe a développé plusieurs résultats originaux et reconnus internationalement pour des régularisations de faible complexité, dont la parcimonie est la plus populaire. Dans [742, 743, 789], pour les problèmes

Type	2006-2010	2010-2015
Revue internationale	63	98
Revue nationale	2	2
Conférence internationale	158	155
Conférence nationale	36	38
Ouvrage	1	1
Chapitres d'ouvrage	10	19
Direction d'ouvrages	2	4
Thèses + HDR soutenues	15+2	24+2
Brevets	3	4
Logiciels déposés à l'APP		4
Logiciels libres	10	10

TABLE 2.12 – Synthèse de la production scientifique sur le contrat écoulé et le précédent.

inverses avec bruit aléatoire non-nécessairement Gaussien blanc, nous avons proposé le premier estimateur (quasi)-optimalement minimax en D -dimensions pour la régularisation de James-Stein, favorisant la parcimonie structurée par blocs dans le domaine de trames hilbertiennes. Dans [810–812, 866, 966, 1030], nous avons proposé la première analyse unifiée des garanties théoriques de reconstruction (sans bruit, stabilité au bruit et sensibilité aux paramètres) pour les problèmes inverses, avec une classe de régularisation la plus large de la littérature (i.e. fonctions dites partiellement lisses). Cette classe couvre les cas populaires en image (comme les normes ℓ_1 , $\ell_1 - \ell_2$, nucléaire ou la semi-norme de la variation totale), mais d'autres moins classiques comme la norme ℓ_∞ et bien d'autres. L'équipe a aussi été très active sur le front des algorithmes d'optimisation pour résoudre ces problèmes variationnels. Ainsi, nous avons proposé dans [748, 761, 796, 818, 907–910] plusieurs résultats nouveaux, notamment des nouveaux schémas d'éclatement proximaux à convergence garantie et résolvant des classes larges de problèmes jusqu'à lors non couvertes par la littérature. Plusieurs de ces résultats ont été élaborés dans le cadre de collaborations nationales (e.g. CEA, CEREMADE-Dauphine, IMB-Bordeaux) ou internationales (e.g. UC Louvain-Belgique, UC London-UK, U. Oregon-USA).

Transport optimal pour le traitement d'images Nous avons étudié de nouveaux modèles variationnels pour les problèmes d'imagerie qui incluent des contraintes statistiques (par exemple sur la distribution des couleurs ou des coefficients d'ondelette d'une image). Nous avons pour cela exploité et étendu le cadre théorique du transport optimal de masse en y intégrant des *a priori* de régularité (variation totale sur graphe notamment) et des relaxations sur les contraintes de préservation de la masse [867, 940], qui étaient à l'origine de nombreux artefacts restreignant les applications à l'image. Nous avons par ailleurs proposé [1068] une approximation du transport optimal exploitant la transformation de Radon, et permettant un traitement rapide de gros volume de données (nuage de points dépassant le million d'échantillons). Nous avons démontré la pertinence des méthodes proposées pour une large variété d'applications (transfert de couleurs, synthèse de texture, classification d'image, (co)segmentation d'image supervisée et non-supervisée [939, 941]).

EdP pour l'analyse de graphes ou de signaux sur graphes Le traitement de signaux portés par des graphes est d'une grande actualité, dans un domaine émergent qui est en train de se structurer au niveau international. Nos récents travaux de recherche portent sur les équations aux dérivées partielles (EDP) sur graphes, leur analyse, et le développement de modèles et algorithmes pour leur application en traitement et analyse locales et non locales d'images, ainsi qu'en analyse de données sur graphes et/ou de grande dimension. L'équipe a été pionnière dans ce domaine, elle a développé plusieurs résultats originaux et reconnus internationalement. Ces recherches sont réalisées dans un nouveau cadre que nous avons introduit et développé, celui des équations aux différences partielles sur graphes (EdPs). Ce cadre permet de transcrire,

d'adapter et de résoudre des EDPs sur des graphes. Ainsi, nous avons proposé d'adapter et de généraliser plusieurs types d'EDPs géométriques continues en les transposant en EdPs sur graphes : équations du p -Laplacien et de l'infini-Laplacien sur graphes [759, 760], équation de Hamilton-Jacobi et équation Eikonale [751, 807], équations de propagation de fronts sur graphes comme les équations de mouvement par courbure moyenne sur graphes [758, 855]. D'un point de vue théorique, on s'intéresse à l'analyse de ces EdPs (existence, unicité) et de leurs liens avec les EDPs continues. Ces travaux de recherches sont menés en parallèle avec des projets applicatifs principalement dans deux domaines : i) en imagerie médicale microscopique grand champ pour l'analyse et le traitement de grandes masses de données issues de lames virtuelles [798, 961] ; ii) en traitement et analyse d'images sur surfaces ou nuages de points 3D pour la mise en valeur du patrimoine culturel 3D [782, 918].

Photographie computationnelle et traitement d'image artistique Ici, nos travaux de recherche portent sur les problématiques de traitement d'images rencontrées dans le domaine de la retouche de photographies et de vidéos, et la création artistique. Avec la démocratisation des appareils photos numériques et des logiciels de retouche ou de peinture digitale, les besoins de nouveaux traitements d'image focalisés sur la création artistique deviennent en effet de plus en plus importants. Nos contributions ont porté sur plusieurs fronts. D'une part, l'élaboration d'algorithmes d'inpainting d'image et de vidéos performants [729], via le projet national "Grand Emprunt" 3DS sur 3 ans dont le GREYC est partenaire (voir détails en annexe H.5). Et d'autre part, par des travaux sur la conversion optimale de photos couleurs en noir et blanc [1007], la transformation d'images en dessins [963], le transfert de couleurs entre images. C'est dans cette optique que nous avons également développé le logiciel libre G'MIC [964], aujourd'hui reconnu [1091] (+ de 1.5 millions de téléchargements depuis 2008). Ce logiciel qui propose une infrastructure complète pour le traitement d'image a permis de développer de nouveaux algorithmes très rapidement, et de fédérer une communauté active d'artistes et de photographes autour de ce logiciel. L'accès à cette communauté permet de mieux appréhender les besoins de ces artistes en matière de traitement d'images, et les possibilités de nouveaux algorithmes pour satisfaire ces besoins.

Apprentissage, classification et reconnaissance de formes La reconnaissance structurelle de formes permet de reconnaître des objets codés par des relations entre un ensemble d'attributs, e.g. une molécule est un ensemble d'atomes liés par des forces de valence. Dans ce contexte nous avons conçu de nouveaux noyaux adaptés à la reconnaissance de formes 2D et 3D tubulaires (par codage du squelette). Cette activité a été faite en collaboration avec l'institut des neurosciences de Grenoble²³ et a débouché sur la livraison d'un logiciel d'analyse automatique d'épines dendritiques. En collaboration avec le laboratoire MIVIA (Italie)²⁴ nous avons défini une nouvelle méthode de clustering et d'indexation de trajectoires (codées par chaînes). Une application à la détection de trajectoires anormales a également été proposée. Nous avons enfin travaillé sur la classification ou à la prédiction des propriétés de molécules. Cette dernière discipline connue sous le nom de chémoinformatique fait l'objet depuis 6 ans d'une collaboration suivie avec le Laboratoire de Chimie Moléculaire et Thio-organique²⁵. Nous avons conçu une nouvelle famille de noyaux basés sur l'énumération explicite de motifs de molécules. Cette dernière propriété permet une identification des pharmacophores (éléments actifs d'une molécule pour une propriété). Nous avons également proposé une prise en compte explicite des cycles des molécules et de la stéréochimie. Ce travail a fait l'objet de deux thèses de nombreuses publications comme [765, 766, 872, 877, 883, 1019].

Apprentissage de descripteurs pour la reconnaissance visuelle Les informations extraites

23. <https://neurosciences.ujf-grenoble.fr/accueil>

24. <http://mivia.unisa.it/>

25. <http://www.lcmt.ensicaen.fr/>

des images en vue de leur interprétation (sacs-de-mots, réseaux convolutions profonds, etc.) sont généralement constituées de descripteurs de grandes dimensions dont seule une fraction est utile pour l'interprétation de l'image, le reste agissant comme du bruit. Cela pose la question de l'apprentissage de représentations pertinentes pour des tâches données, sur la base de la connaissance de données annotées. Pour aborder cette question, nous avons investigué différentes approches dont en particulier : l'utilisation de techniques de recherche de motifs fréquents et de motifs émergents [813, 971], la mise au point de nouveaux algorithmes d'apprentissage de métriques [927, 928] et leur application à la reconnaissance de visages ou à la ré-identification de personnes, la mise au point de modèles à base d'attributs sémantiques [806], la réalisation d'algorithmes de représentations locale des images [896, 953], le développement de modèles reposant sur des propriétés géométriques des objets et des scènes [897, 951, 952], ou encore plus récemment le développement d'auto-encodeurs discriminants [797].

D) Rayonnement et attractivité académiques

Prix et distinctions L'un des faits les plus marquant pour l'équipe est l'admission d'un de ses membres à l'IUF en 2013. Des productions issues de l'équipe ont reçu plusieurs prix et distinctions : prix du meilleur papier ACM ICMR 2014, 5 papiers parmi les "top 10%" ICIP 2014, nomination " Best paper award " : ICIP 2014 (9 papiers sur 1219 acceptés), prix du meilleur article RFIA 2014, prix de thèse AFRIF 2014, prix du meilleur article CORESA 2013, 2 prix nationaux d'aide à la création d'entreprises innovantes en catégorie émergence (2014) et en catégorie développement/création (2012).

Animation de la recherche Un membre de l'équipe dirige le GDR MIA depuis 2013 et a été directeur scientifique adjoint du GDR ISIS de 2010 à 2013. Un autre membre est directeur de la fédération Normande NormaSTIC. Des membres de l'équipe font partie de comité technique ou de bureau de sociétés savantes comme IFIP (TC7 WG 7.4 "Inverse Problems and Imaging"), IAPR (TC15 "Graph based Representations"), AFRIF ou IEEE Communications Society.

L'équipe a organisé ou co-organisé de nombreuses conférences internationales dont : International Conference On Image and Signal Processing (ICISP, présidence et co-organisation des éditions 2010, 2012 et 2014), Mathematical Image Analysis 2012 et 2014 (présidence en 2014), IFAC ALCOSP 2013 (co-présidence). Les membres de l'équipe ont co-organisé des sessions spéciales et des minisymposia dans des conférences internationales majeures du domaine : ICIP'14, SampTA'13, SIAM Imaging Sciences'10-14, SPIE Wavelets'11-13, PICO'12, ISMP'15, ICIAM'15. L'équipe a également organisé ou co-organisé des événements nationaux : RFIA 2010 (Caen), journée de la culture numérique 2014 (Cherbourg) avec la participation exceptionnelle de Cédric Villani médaille Field de Mathématiques.

Invitations Des membres de l'équipe ont effectué des séjours invités à l'étranger ou en France (MIT, EPFL, Toulouse). Plusieurs membres ont aussi donné des conférences invitées ou plénières dans des conférences et workshops nationaux et internationaux.

Projets et contrats Nous avons obtenu 31 projets financés, dont 12 ANR. 4 ANR sont coordonnées par l'équipe. Un membre de l'équipe est co-PI de workpackages dans deux ERC (advanced et starting). Un membre est partenaire d'un projet national "Grand Emprunt". Voir annexe H.5 pour les détails.

Responsabilités éditoriales et comités Trois membres de l'équipe sont éditeurs associés pour des revues internationales (dont IEEE Trans. Sig. Proc, SIAM J. Imaging Sciences, Computer Vision and Image Understanding), ou ont été éditeur invité de numéros spéciaux (JMIV en 2012 et 2014). Plusieurs membres font partie ou président des comités scientifiques, de programme ou de pilotage de conférences internationales. Voir annexe annexe H.5.

Evaluation de la recherche Les membres de l'équipe sont régulièrement sollicités pour évaluer

2.2 Département Traitement de l'Information et Reconnaissance des Formes 61

des thèses et HDR (rapporteur ou examinateur) au niveau national voire international (e.g. EPFL, Suisse), ou à faire partie de comités de recrutement d'enseignant-chercheurs en France ou à l'étranger (e.g. Allemagne). Plusieurs membres participent à l'évaluation des projets ou d'unités de recherche au niveau national (ANR, AERES/HCERES, ANRT) et international (ERC, CHIST-ERA, Computer Science group du NSERC Canada, Medical Research Council UK). Deux membres font partie respectivement du CNU 27 et du comité national du CNRS Section 7.

Attractivité académique L'équipe est attractive aussi bien pour les doctorants, post-doctorants que pour les chercheurs et les enseignants-chercheurs. Julien Rabin (2011), Loïc Simon (2012) et Alexis Lechervy (2013) ont été recrutés MCF à l'extérieur durant le contrat. Stéphanie Jehan-Besson a rejoint l'équipe en tant que CR1 CNRS en 2012. Tous les ans, l'équipe s'emploie à attirer au moins un candidat au concours CR2 CNRS avec le GREYC en 1^{er} choix (deux CR2 ont été recrutés ainsi par le passé). Plusieurs doctorants et post-doctorants proviennent d'autres établissements nationaux (e.g. Telecom SudParis, Orsay-Paris Sud) ou internationaux (e.g. Jiao Tong Shanghai, Saarland et Munster en Allemagne). Etant très active dans les formations Image en Basse-Normandie (Majeure Image ENSICAEN et M2 IMALANG UCBN), l'équipe attire plusieurs étudiants en stage ou en thèse de ces deux formations.

E) Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

L'équipe entretient plusieurs relations avec le tissu économique au niveau régional et national. Ceci se manifeste notamment par 8 thèses CIFRE et des contrats industriels. L'équipe Image est très bien implantée au niveau régional avec de nombreuses collaborations avec les établissements hospitaliers de Basse-Normandie, notamment le CHU de Caen et le CHR de Cherbourg. Elle a obtenu 3 bourses de thèse 100% région, et 2 co-financées par l'Association Coeur-Cancer-Région. Elle a une importante activité de valorisation et de transfert de technologies puisque des membres de l'équipe ont fondé deux start-ups (Datexim en 2001 et SAMSIC 2014), récompensées par des prix d'innovation (voir plus haut). L'équipe est très impliquée dans la diffusion logicielle (e.g. G'MIC + de 1.5 millions de téléchargements depuis 2008), et dans la diffusion de la culture scientifique et numérique auprès des collègues et lycées bas-normands. Deux membres de l'équipe sont co-fondateurs et vice-présidents de l'association NOVIMAGE pour la promotion de l'imagerie et la réalité virtuelle dans la région.

2.2.3 Équipe Monétique & Biométrie

A) Présentation

L'équipe "Monétique & Biométrie" du laboratoire GREYC réalise des travaux de recherche en **Sécurité Informatique** dans deux thèmes de recherche (confiance et biométrie) avec une **continuité des aspects théoriques vers les applications, les deux s'enrichissant mutuellement**. Les thèmes de recherche contribuent à la sécurisation de transactions électroniques en s'attaquant à différents verrous scientifiques en collaboration avec des laboratoires de recherche et industriels. L'application privilégiée des travaux de recherche est la monétique (sécurisation des transactions bancaires), l'équipe est à ce titre un acteur académique incontournable au niveau national et du Pôle de Compétitivité TES (situé à Caen).

Le responsable de l'équipe "Monétique & Biométrie" a été Christophe Rosenberger (PR à l'ENSICAEN) sur le quinquennat 2010-2015. Cette équipe comprend 11 membres permanents avec 8 enseignant-chercheurs (au début du quinquennat, elle en comptait 3 enseignant-chercheurs).

- 3 collègues A (3 PR),
- 8 collègues B (5 MCF dont 1 HDR, 3 ING CDI).

Prénom et nom	Fonction	Thèmes T1 T2	Date d'entrée	Date de départ
Morgan Barbier	MCF ENSICAEN	X	2013	
Christophe Charrier	MCF HDR IUT Cherbourg Manche	X	2013	
Estelle Cherrier	MCF ENSICAEN	X	2011	
Julien Dary	ING ENSICAEN	X	2007	
Patrick Lacharme	MC ENSICAEN	X	2010	
Jean-Luc Lambert	PR UNICAEN	X	2012	2015
Jean-Marie Le Bars	MCF UNICAEN	X X	2014	
Marc Pasquet	PR ENSICAEN	X	2009	
Joan Reynaud	ING ENSICAEN	X	2007	
Christophe Rosenberger	PR ENSICAEN	X	2007	
Sylvain Vernois	ING ENSICAEN	X	2007	

TABLE 2.13 – Liste des membres permanents

B) Thèmes scientifiques

Deux thèmes scientifiques sont traités dans cette équipe : la confiance et la biométrie.

- **Thème T1 : Confiance**

Responsable : P. Lacharme

Ce thème couvre plusieurs aspects de la sécurité informatique comme la protection de la vie privée, la cryptographie appliquée, la sécurité des systèmes embarqués et la lutte contre la fraude. Il est lié avec le thème biométrie pour tout ce qui concerne l'évaluation sécuritaire d'un système biométrique, la protection des données biométriques, et de manière plus générale à la mise en place de systèmes et protocoles d'authentification.

Durant ce quinquennat, nous avons travaillé dans le domaine de la protection de la vie privée notamment au travers de deux thèses CIFRE soutenues en 2013. La première avec la société SFR a porté sur la gestion des identités numériques via un smartphone (thèse de Johan Vincent) [1208, 1210], avec une représentation par des ontologies et la définition de règles de sécurité et de protection de la vie privée d'un utilisateur. Le système mis en place permet une prise de décision fiable sur la fourniture de données personnelles d'un utilisateur (contacts, position GPS ...) à une application tout en ayant une description compacte de sa politique de protection de la vie privée. La deuxième thèse a concerné la protection des données personnelles dans les systèmes de e-santé et de paiement en ligne (thèse d'Aude Plateaux). Le but était de minimiser la divulgation de données personnelles auprès des différents acteurs agissant dans ces systèmes et de permettre aux utilisateurs un contrôle de ces données. L'approche a consisté en l'usage de protocoles cryptographiques (cryptographie asymétrique et dédiée à la protection de la vie privée comme le ZKPK) et a donné lieu à la publication [1191] d'un nouveau protocole proposant une amélioration par rapport au protocole 3D-secure actuellement utilisé en e-commerce. Ce travail réalisé dans le cadre d'une collaboration académique internationale (Université de Toronto) et industrielle (société BULL) a également donné lieu à un brevet international [1276]. Nous avons aussi travaillé en cryptographie appliquée au travers l'étude des générateurs de nombres aléatoires (notamment le générateur `/dev/random`), la sécurité des passeports électroniques ainsi que les liens entre stéganographie et codes correcteurs (typiquement sur l'amélioration des algorithmes de décodage des codes de Reed-Solomon). De nouveaux algorithmes en cryptographie pour la protection de la vie privée (signatures de groupes

et accreditations anonymes) ont aussi été proposés et implémentés sur smartphone dans le cadre de l'ANR Lyrics (et de la venue de Roch Lescuyer comme post-doctorant en 2013) [1140, 1152]. Nous travaillons aussi dans le domaine de la sécurité des systèmes embarqués, en particulier sur la sécurité des cartes de paiement. La thèse CIFRE de Vincent Alimi, soutenue en 2012, a porté notamment sur l'étude de la sécurité de ces cartes par des techniques de *fuzzing* [1097], tandis qu'une autre thèse (Germain Jolly) est actuellement en cours sur la formalisation de propriétés attendues vis à vis des spécifications fonctionnelles de l'application et d'enjeux sécuritaires. Pour compléter le domaine de la sécurité embarquée, une thèse vient de commencer sur l'analyse statistique automatique des *dumps* de cartes (thèse de Thomas Gougeon) en collaboration avec l'IRISA. Pour finir, l'équipe étudie la lutte contre la fraude bancaire dans le cadre des paiements sur mobile, notamment à travers une thèse CIFRE qui a été soutenue en 2013 (thèse de Chrystel Gaber). Ce travail propose une nouvelle méthode pour identifier efficacement les fraudeurs dans des services de transfert de monnaie mobile [1158, 1232] avec une collaboration internationale (Fraunhofer de Darmstadt) [1217]. Ce dernier travail a fait l'objet d'une publication à la conférence ARES 2014 nommée pour le prix du meilleur papier.

Ces travaux ont été diffusés dans des publications dans des conférences internationales importantes en sécurité informatique (SecureComm, ASIACCS, ARES, SECRIPT, IWCMC, ISIT, PST) et des revues internationales (Journal Trust Management). L'équipe Monétique & Biométrie participe aussi activement à l'organisation des conférences et colloques francophones spécialisés dans la sécurité informatique comme SARSSI 2012 (sécurité des réseaux et des systèmes d'information), APVP 2014 (protection de la vie privée) et JCS 2014 (codes et stéganographie), ainsi que le workshop international à la conférence CTS organisée chaque année sur le thème des transactions électroniques sécurisées. Une collaboration étroite avec le pôle TES (Transactions Electroniques Sécurisées) est réalisée dans le domaine de l'identité numérique (Jean-Claude Paillès ingénieur au sein de l'équipe a été le responsable du département identité numérique du pôle TES). Nous participons à l'organisation du séminaire "Cryptographie & Sécurité" avec l'équipe AMACC du GREYC, le laboratoire LMNO et Orange Labs.

- **Thème T2 : Biométrie**

Responsable : C. Rosenberger

Ce thème couvre plusieurs enjeux de la biométrie comme la définition de nouveaux systèmes biométriques, la biométrie douce pour le profilage des individus, l'évaluation de systèmes biométriques, la définition de métriques de qualité de données biométriques, la protection des données biométriques. Ce dernier aspect notamment permet une étroite collaboration avec le thème Confiance de l'équipe sur le thème de la protection de la vie privée.

La biométrie est une technologie émergente d'authentification d'individus pour une transaction électronique. L'équipe "Monétique & Biométrie" s'attaque à différents verrous scientifiques dans ce domaine en ciblant des niches thématiques pour se différencier des autres équipes nationales et internationales. Dans un premier temps, nous développons des systèmes biométriques opérationnels, c'est à dire minimisant les données nécessaires à l'enrôlement [1113, 1116, 1166]. Cette faible quantité de données d'apprentissage est également une contrainte intéressante d'un point de vue algorithmique. Afin de stabiliser la performance des systèmes biométriques dans le temps (notamment pour la biométrie comportementale), nous avons proposé des premiers schémas originaux de mise à jour de modèle biométrique ayant montré une grande efficacité (thèse de Romain Giot se poursuivant dans le cadre de la thèse d'Abir Mhenni) [1168, 1169, 1171]. Les modalités biométriques étudiées sont variées

(empreinte digitale, dynamique de frappe au clavier, dynamique d'interaction avec un écran tactile...) avec un intérêt particulier pour les modalités comportementales (d'un usage intéressant et plus complexe à définir). Nos travaux sur la dynamique de frappe au clavier sont reconnus au niveau international (23 publications de l'équipe sur le sujet pendant le quinquennat largement citées dans la littérature). Les travaux de thèse de Syed Zulkarnain Syed Idrus ont montré la possibilité de profilage d'un individu (biométrie douce) à partir de cette modalité [1126, 1199]. L'évaluation de systèmes biométriques est également un enjeu important d'un point de vue scientifique mais aussi pour les industriels. Nous avons développé une méthode générique d'évaluation intégrant la prise en compte de la performance, de la sécurité et des usages. Cet axe concerne en particulier les thèses de Mohamad El-Abed et Benoît Vibert [1109, 1110]. Des travaux originaux vis à vis de l'état de l'art concernent également la définition d'une mesure générique de qualité d'une donnée biométrique combinant la qualité d'image et de descripteurs (thèses de Zhigang Yao et Xinwei Liu) [1108, 1213, 1214]. Enfin, des travaux sur la protection de la biométrie sont en cours afin de garantir le respect de la vie privée de l'individu. Un schéma permettant la révocabilité d'empreintes digitales a été proposé dans le cadre de la thèse de Rima Belguechi [1100, 1101]. L'intérêt de cette technique réside également dans l'amélioration associée à ce procédé des performances du système biométrique. Des protocoles d'authentification originaux ont été proposés afin de permettre une vérification biométrique non rejouable (modes synchrone et asynchrone).

L'équipe "Monétique & Biométrie" se positionne comme expert sur ce domaine au niveau national et international de par sa collaboration avec des équipes nationales et internationales reconnues (Bio-Identité de Telecom SudParis, NisLab en Norvège...), la publication dans des revues du domaine (IET Biometrics, Elsevier Computers & Security...), sa participation aux conférences internationales majeures en biométrie (BTAS, ICB, ISBA...) et à la valorisation nationale et internationale dans ce domaine (plusieurs contrats industriels et deux projets européens). Les applications privilégiées de ces travaux concernent le contrôle d'accès logique pour des transactions électroniques (notamment mobile comme la thèse CIFRE de Julien Hatin avec Orange Labs) et le paiement (thèse CIFRE d'Antoine Cabana avec la société ELITT). Des collaborations avec l'équipe HULTECH du GREYC ont été initiées sur le profilage d'individus en combinant une analyse comportementale et sémantique d'un texte libre saisi. Des collaborations ont été réalisées avec l'équipe IMAGE du GREYC sur la qualité de données biométriques représentées par une image (empreintes digitales, veines, visage). Orange Labs est un partenaire local très intéressé par cette thématique (plusieurs contrats, 2 thèses CIFRE, 2 personnels PAST).

En ce qui concerne les applications de l'équipe, elles ont concerné l'identité numérique (projets OFFPAD, LUCIDMAN, ARDEOC), le paiement mobile (projets PAY2YOU PLACES, CAPI, ADS+) et la sécurité des applications mobiles (projet INOSSEM). Une majorité de contrats (hors accompagnement de thèse CIFRE) a adressé la biométrie notamment comme méthode d'authentification dans un contexte d'identité numérique ou de paiement. Les travaux sur l'évaluation des systèmes biométriques (qui est une spécificité caennaise au niveau national) intéressent beaucoup les industriels.

C) Rayonnement scientifique

Le tableau 2.2.3 permet d'illustrer la visibilité de l'équipe au niveau national (avec une bonne participation aux jurys de thèse) et international avec un grand nombre de conférences invitées. Ce bilan est très positif compte tenu que plusieurs membres nous ont rejoint durant le quinquennat et en effectuant une reconversion thématique.

Le tableau 2.2.3 recense les thèses soutenues de l'équipe, il est à noter que ce nombre est

2.2 Département Traitement de l'Information et Reconnaissance des Formes 65

	Nombre
Conférences invitées	16
Comité de rédaction et éditeurs invités	3
Comité de pilotage de conférences	1
Comité de programme de conférences	18
Organisation de conférences, d'écoles, d'ateliers	11
Evaluation et expertise	9
Responsabilités scientifiques	5
Jurys thèse et HDR hors équipe	21

TABLE 2.14 – Éléments de visibilité de l'équipe

satisfaisant pour l'équipe et que 5 de ces docteurs sont enseignant-chercheurs en France ou à l'étranger.

	Nombre
HDR	1
Thèse	9
Thèse en cotutelle	0

TABLE 2.15 – Liste de thèses et HDR soutenues

La production scientifique de l'équipe est donnée dans le tableau 2.2.3. Elle est très bonne compte tenu que l'équipe ne compte que 8 enseignant-chercheurs avec seulement 3 en début de quinquennat. Il est à noter que des collaborations industrielles ont permis la publication de 5 brevets et logiciels (la précédente évaluation avait identifié cette marge de progression).

Publications	Nombre total
Revue Internationale	32
Revue Nationale	3
Conférence Internationale	83
Conférence Nationale	32
Ouvrages et chapitres	7
Thèses et HDR	9
Brevets et logiciels	5

TABLE 2.16 – Synthèse de la production scientifique

D) Valorisation

La valorisation est un point fort de l'équipe "Monétique & Biométrie" avec des interactions avec des industriels nationaux et internationaux. La somme de **2.2 millions d'euros** a été obtenue sur la période pour le financement des activités de recherche de l'équipe.

	Nombre	Montant
Contrat industriel (prestation, accompagnement de thèse...)	24	583K
Projets FUI	5	485K
Projets ANR	2	290K
Projets nationaux (autres)	4	768K
Projets Européens	2	165K
Projets internationaux (hors europe)	1	20K

TABLE 2.17 – Valorisation de l'équipe

2.2.4 Synthèse du département TIRF

Les tableaux 2.18, 2.19 et 2.20 donnent une vue globale sur les effectifs, les publications et l'activité contractuelle des équipes du département TIRF.

Le département TIRF est actuellement composé de 3 chercheurs (3CR), de 29 enseignants-chercheurs (7PR, 22MC), 3 ingénieurs contractuels (1 IE et 2 IR) et 51 membres non permanents (29 Doctorants, 2 PR-EM et 20 Ater, Postdocs et IE). Deux chercheurs (2CR) et 8 enseignants-chercheurs (3PR, 5MC) sont partis pour des raisons diverses, i.e. retraite, mutation, promotion externe et détachement, et 1CR et 8 enseignants-chercheurs (2PR, 6MC) sont arrivés. 26 thèses ont été soutenues au département et 29 thèses sont en cours avec un potentiel d'encadrement qui est passé de 20 HdR à 16 HdR sur ce quinquennat.

Equipes	Permanents	Doctorants	Docteurs	Autres
HulTech	2PR, 2CR* et 6MC dont 5HDR*	3	10	8
Image	5PR, 2CR et 11MC dont 2HDR	14	8	8
M&B	2PR, 5MC, 2IR et 1 IE dont 1HDR	12	8	6

* 1CR-HDR mis à disposition de SEMIOTIME

TABLE 2.18 – Effectifs du département TIRF sur la période 2010-2015

Equipes	RI	RN	CI	CN	ODOCO	BL
HulTech	26	18	100	24	(7,3,19)	(5,5)
Image	98	2	155	38	(2,4, 19)	(4, 14)
M&B	32	3	83	32	(0,0,7)	(4,1)

TABLE 2.19 – Publications du département TIRF sur la période 2010-2015

Une lecture attentive des bilans des équipes permet de faire une synthèse concise sur le bilan du département TIRF confortée par les tableaux 2.18, 2.19 et 2.20.

Les équipes du département TIRF effectuent une recherche fondamentale de qualité

2.2 Département Traitement de l'Information et Reconnaissance des Formes 67

Equipes	Tutelles	Etat	Région	ANR	Industrie	Europe	Int.	Total
HulTech		3 197.6	6 279.5	4 453.5		1 44.2	1 12	15 986.8
Image	3 40	5 944.7	18 767	8 822	6 432.2	2 259.3		42 3264.9
M&B		6 260.8	6 414	2 290.4	15 402.5	3 155.5	1 40	32 1563.2

TABLE 2.20 – Activité contractuelle du département TIRF sur la période 2010-2015

avec une activité contractuelle soutenue et bien valorisée et une participation importante dans la formation par la recherche. Elles ont un rayonnement scientifique incontestable issu d'une forte implication dans l'animation scientifique et les responsabilités collectives. La qualité scientifique est attestée par des publications dans les revues et les conférences phares du département et des prix de la meilleure contribution scientifique lors de conférences phares en informatique, e.g. RFIA 2012, ICIP 2014, une bonne insertion dans le programme ANR et une ouverture européenne. Toutes les équipes sont particulièrement impliquées dans l'animation scientifique du laboratoire par l'organisation des journées de la culture numérique, de la journée Image - Numérique Normandie, d'un atelier sur la protection de la vie privée, des colloques internationaux IFAC ALCOSP en 2013 et MIA 2014, des conférences nationales SAR-SSI 2012 et TALN 2015 et des conférences internationales IWCMC/HPCS 2010 et ICISP 2012-2014.

Des équipes du département ont plusieurs projets ou des co-encadrements de thèse sur les thématiques du département (comme par exemple les équipes Image et HULTECH).

Chacune des trois équipes a aussi ses spécificités, scientifiques et culturelles. Elles ont aussi chacune ses forces :

- Une montée en puissance de l'équipe image par rapport au dernier quadriennal avec un important accroissement du nombre de publications dans les revues internationales, i.e. 63 \mapsto 98, et du nombre de projets de recherche, i.e. 35 \mapsto 42, avec une ouverture sur l'Europe via 2 projets tout en préservant les activités consacrées à la formation par la recherche.
- Une ascension remarquable de l'équipe HulTech qui a une bonne production scientifique issue d'une recherche académique de qualité, i.e. des publications dans les revues phares des thèmes porteurs de l'équipe, une activité contractuelle appréciable et une très bonne formation par la recherche. Cette ascension est le fruit d'une bonne dynamique de l'équipe, qui était très fragile au début du quinquennat, soutenue par le laboratoire conformément à sa politique d'emploi.
- Un effort soutenu de l'équipe M&B avec une bonne répartition entre la recherche académique, les activités contractuelles et la formation par la recherche. Cette dynamique s'est avérée attractive puisque 4 enseignants-chercheurs du laboratoire (1PR, 1HdR et 2MC) ont rejoint l'équipe M&B au cours de ce quinquennat.

En dépit de points très positifs décrits dans ce paragraphe, le département TIRF présente cependant certaines faiblesses et risques :

- En dépit de l'émergence de quelques sujets communs et de certains co-encadrements, l'animation scientifique au sein du département est à renforcer. Quelques instruments pour ce faire seraient un séminaire commun régulier ainsi que l'organisation de journées du

département.

- L'équipe HulTech a été fragilisée par le départ d'un MC HdR à la suite d'une promotion externe.
- Il existe encore des membres qui ne sont pas suffisamment producteurs. Cette situation peut être surmontée en poursuivant la politique d'accompagnement personnalisé et d'intégration de ces membres dans la dynamique remarquable de leurs équipes.

2.3 Département Analyse et Conception de Systèmes

Le département ACS est constitué des équipes Automatique et Electronique qui sont particulièrement concernées par les défis d'une instrumentation avancée comme en témoignent leurs activités de recherche dédiées à la synthèse de capteurs logiciels et à la conception de capteurs physiques performants. Elles utilisent une approche système dont les composantes de modélisation, de conception et de supervision sont issues de la théorie des systèmes. L'ultime motivation du département ACS est de faire émerger des projets de recherche communs en instrumentation avancée en exploitant judicieusement les compétences de l'équipe électronique sur la conception des capteurs physiques et celles de l'équipe automatique sur la modélisation des signaux et systèmes et la synthèse des observateurs. Les faits suivants constituent l'essence d'une telle motivation.

- Les capteurs logiciels sont des observateurs qui réalisent une estimation consistante de variables vitales aussi bien pour la commande des systèmes que pour des fins de diagnostic et de pronostic pour la supervision des systèmes. Cette estimation est issue des mesures disponibles sur le système à partir d'un modèle approprié.
- La valeur ajoutée d'un capteur est essentiellement aux performances intrinsèques à la nature de la rétroaction et l'efficacité du traitement des données sous-jacents.

2.3.1 Équipe Automatique

A) Présentation

L'équipe "Automatique" du laboratoire GREYC réalise des travaux de recherche en automatique et traitement du signal. Les thèmes de recherche s'articulent autour de **l'Identification et le Traitement du Signal, l'Observation et la Commande des systèmes non linéaires**.

Depuis juillet 2012, l'équipe Automatique s'est restructurée en deux groupes distincts dénommés respectivement **groupe Automatique & Télécom** et **groupe AIDA**. Ce dernier est installé à titre provisoire dans les locaux d'enseignement de l'UFR des Sciences. Depuis cette date, chaque groupe travaille de façon indépendante et de ce fait les différents éléments sont présentés séparément.

Au cours du quinquennat 2010-2015, un collègue de rang B est parti à la retraite et un autre a rejoint l'équipe "Monétique & Biométrie". Un nouveau collègue a été recruté en 2012 et a rejoint le groupe Automatique & Télécom. A l'heure actuelle, le groupe Automatique & Télécom comprend 8 membres permanents (2 PR et 6 MCF) et le groupe AIDA comprend 6 membres permanents (2 PR et 4 MCF). Un tableau au début de l'annexe H.7 récapitule ces informations.

B) Groupe Automatique & Télécom

a) Thèmes de recherche

Les travaux de recherche du groupe portent sur les aspects fondamentaux de la théorie des systèmes. La recherche fondamentale concerne l'identification des systèmes et le traitement du signal (**thème 1**), l'observation et la commande des systèmes non linéaires (**thème 2 et thème 3**). Les études développées sont validées expérimentalement sur des applications (**thème 4**). Le volume de la production scientifique et le nombre de thèses au sein du groupe (soutenues et en

cours) sont présentés en annexe.

Thème 1 : Identification des Systèmes et Traitement du Signal

Dans ce premier thème nous nous intéressons d'une part à la modélisation des systèmes dynamiques échantillonnés et d'autre part à des applications du traitement du signal attendant aux systèmes de télécommunications.

- L'équipe a développé des solutions originales d'identification dans un contexte de bruit borné (non stochastique). Les solutions proposées sont basées sur des algorithmes de type ellipsoïdal et permettent l'identification de systèmes sous différentes structures : boucle ouverte, boucle fermée, non-linéarité, entrée inconnue [1361, 1437, 1439, 1440, 1621].
- Dans la continuité du quadriennal précédent, l'équipe a contribué au développement des méthodes d'identification par sous-espaces. Les solutions proposées concernent l'identification en boucle fermée [1369, 1436, 1458] et l'identification de systèmes à nonlinéarité en entrée [1438].
- En terme d'identification et d'égalisation de systèmes multi-porteuses à étalement de spectre, nous avons proposé l'utilisation de codes chaotiques pour l'égalisation de canaux MC-CDMA [1446] et aussi développé un algorithme LMS basé sur les moments d'ordre supérieur pour l'identification de ces systèmes [1341, 1363, 1367, 1443–1445]. En terme de localisation de sources rayonnantes, un propagateur d'ordre cinq pour l'estimation des angles d'arrivée a été développé [1350]. Une méthode de propagateur pour l'estimation des DOA et de l'élévation en utilisant un réseau uniforme circulaire (UCA) a aussi été étendue [1352, 1409]. A noter, qu'il a été démontré que si le nombre d'éléments d'antennes est au moins deux fois supérieur au nombre de sources alors il est possible de choisir un opérateur parmi un ensemble d'opérateurs [1351].

Thème 2 : Observation des systèmes non linéaires

L'observation des systèmes linéaires multivariables est actuellement bien maîtrisée. Son extension aux systèmes non linéaires constitue un domaine de recherche très ouvert. La recherche menée par le groupe est principalement réalisée en adoptant une approche du type grand gain à partir des formes normales d'observabilité caractérisant des classes de systèmes uniformément observables. Quatre contributions principales se distinguent :

- Synthèse d'observateurs d'état à gain adaptatif : pour améliorer les performances vis-à-vis des bruits de mesures de l'observateur à grand gain, nous avons remplacé l'unique paramètre de réglage, généralement pris constant et élevé, par un paramètre variant dans le temps dont la dynamique tient compte de la puissance moyenne de l'erreur d'observation de sortie, calculée sur une fenêtre glissante. La synthèse de l'observateur a tout d'abord été réalisée pour une classe particulière de systèmes non linéaires multi-sorties observables pour toute entrée [1340], puis étendue, modulo un effort important, à la forme normale la plus générale pour les systèmes observables pour toute entrée [1359].
- Synthèse d'observateurs pour les systèmes à retard. Nous avons proposé un observateur de type grand gain pour les systèmes uniformément observables exhibant des retards connus au niveau des nonlinéarités [1323, 1335, 1408, 1449, 1451, 1453]. Nous poursuivons ce travail en vue de caractériser l'ensemble des systèmes pour lesquels l'identification du retard intervenant au niveau d'un état non mesuré est possible et procéder par la suite à la synthèse d'observateurs pour l'estimation conjointe des états et du retard. Un autre problème d'actualité concerne les systèmes avec des sorties retardées. Nous avons déjà proposé des solutions lorsque le retard est connu en considérant respectivement le cas d'un retard constant et d'un retard variant dans le temps arbitrairement grands [1338, 1403, 1406]. Notons que nous étions les premiers auteurs à proposer une solution

- pour l'observation des systèmes avec un retard variable arbitrairement grand [1338, 1478].
- Approche systématique pour la synthèse d'observateurs continus avec des mesures échantillonnées éventuellement retardées : nous avons proposé une méthode permettant de concevoir des observateurs continu-discrets permettant de réaliser une estimation continue de l'état du système à partir des mesures disponibles aux instants d'échantillonnage [1405, 1476]. La synthèse de ces observateurs est effectuée à partir d'un observateur conçu avec des mesures continues en adoptant une approche de Lyapunov adaptée à l'analyse des systèmes impulsifs. L'approche proposée a été étendue pour la synthèse d'observateurs adaptatifs continus-discrets avec des paramétrisations non linéaires ainsi qu'à des classes de systèmes pouvant inclure des termes incertains ou des retards sur la sortie [1321, 1450].
 - Approche unifiée pour la synthèse d'observateurs adaptatifs : nous avons tout d'abord proposé un observateur adaptatif en adoptant une approche adaptative pour une classe de systèmes uniformément observables avec des paramètres inconnus, intervenant avec une paramétrisation linéaire et/ou non linéaire [1336, 1379, 1425]. L'introduction de la notion des indices caractéristiques associés aux paramètres inconnus a permis d'utiliser des techniques de type grand gain pour la synthèse de l'observateur adaptatif. Nous avons ensuite montré que cet observateur peut aussi être conçu par l'approche observateur étendu en utilisant encore le concept grand gain et la notion d'indices caractéristiques. Un effort particulier a été consenti pour montrer l'équivalence aussi bien des équations des observateurs conçus par les deux approches, qui paraissent *a priori* différentes, que des conditions d'excitation persistante requises pour leur synthèse [1404, 1475].

Thème 3 : Commande des systèmes non linéaires

Les contributions du groupe sur la commande des systèmes non linéaires sont essentiellement basées sur une loi de commande avec retour d'état du type grand gain issue de nos travaux sur l'observation et sur le concept de commande floue adaptative.

- Commande des systèmes non linéaires : nous nous sommes intéressés à la synthèse de systèmes de commande pour des classes de systèmes non linéaires en nous inspirant de la dualité entre l'observation et la commande et du concept de backstepping [1407, 1479]. Nos travaux sur cette thématique sont très récents et nous sommes en train d'approfondir les différents résultats préalables obtenus.
- Commande adaptative floue des systèmes non linéaires. Ce thème de recherche a été particulièrement développé dans le cadre d'une collaboration avec des collègues de l'Université de Jijel en Algérie. Plusieurs problèmes d'observation et de commande ont été étudiés en exploitant judicieusement nos connaissances respectives sur les propriétés d'approximation universelle des systèmes flous, la robustesse des algorithmes d'adaptation paramétrique et la synthèse des observateurs. Des algorithmes d'observation et de commande adaptatives floues ont été proposés pour des classes spécifiques de systèmes non linéaires, en l'occurrence les systèmes non affines en la commande, les systèmes avec une direction de commande connue ou inconnue et les systèmes exhibants des non linéarités sur les actionneurs et des retards variables dans le temps sur les variables d'état [1309–1316, 1318, 1319, 1463].

Thème 4 : Aspects méthodologiques

Un effort important a été consacré au sein du groupe à la recherche méthodologique pour conforter et développer notre savoir-faire en matière d'ingénierie des systèmes.

- Une approche expérimentale pour la conduite des bioréacteurs est en cours de développement en collaboration avec l'Unité de Recherche "Aliments Bioprocédés Toxicologie

Environnements" (ABTE, EA 4651) de l'Université de Caen. Le problème de régulation du taux d'oxygène au sein d'un bioréacteur a été étudié dans le cadre de la thèse de L. Fall. Des résultats ont été obtenus en simulation et validés expérimentalement [1405, 1469].

- Commande des systèmes électro-mécaniques. Les contributions du groupe sur l'observation et la commande des systèmes non linéaires ont été judicieusement exploitées pour développer deux méthodologies de commande pour les moteurs asynchrones [1384, 1418, 1419, 1447]. Des résultats probants ont été obtenus lors des validations expérimentales réalisées [1474].
- Analyse et contrôle de systèmes électriques. Ces recherches se font en collaboration avec LUSAC. Elles portent sur l'étude des systèmes de stockage et de transformation d'énergie. Nous avons proposé une méthodologie pour la régulation et le diagnostic d'un convertisseur DC/DC et pour la commande du convertisseur Buck [1402]. Sur le système de stockage, un outil simple (à base d'identification) pour l'estimation de l'état de vieillissement des supercondensateurs a aussi été développé [1360, 1433].
- Sur le présent quinquennal une collaboration a été initiée avec l'équipe électronique. Cette collaboration, pour notre part, porte sur l'identification (boucle ouverte et boucle fermée), la commande et le diagnostic de bolomètre [1491, 1492, 1571, 1574, 1653].

b) Animation scientifique

Depuis septembre 2013, plusieurs séminaires internes au groupe ont été organisés. Nous avons en particulier organisé quatre journées sur l'observation et la commande des systèmes dynamiques (2013 et 2014). Les programmes de ces journées avec les intervenants sont donnés en annexe. De même, plusieurs enseignants-chercheurs et doctorants d'universités étrangères ont effectué des séjours scientifiques au sein de notre groupe tout au long du quinquennal.

c) Rayonnement et attractivité académiques

Le groupe est présent sur la scène scientifique nationale et internationale. Cette présence se traduit notamment par les aspects suivants (plus de détails en annexe) :

- Participations à des jurys de thèses et de HDR et participations à des commissions de recrutement ;
- Activités au sein des GDR MACS et ISIS ;
- Comités de programmes et d'organisation de conférences et organisation de sessions invitées ;
- Co-encadrement de thèses en cotuelles et participation à des écoles d'Automatiques.

d) Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Un seul de contrat de type prestation a été conclu sur la période 2010-2015 (société Nomadic Solutions). Le groupe était impliqué dans le projet HYCON2 (projet Européen d'excellence) et il participe actuellement, avec des partenaires privés et publics, à un projet DGE (ex DGCIS). Notons aussi qu'une thèse portant sur les EMR et financée par le conseil régional de Basse-Normandie va débiter en octobre 2015 et qu'un dossier pour un projet H2020 vient aussi d'être déposé.

C) Groupe AIDA

a) Thèmes de recherche et production scientifique

- **Thème 5 (T5) : Synthèse d'observateurs pour des systèmes soumis à des contraintes de communication**

Ce thème traite de la synthèse des observateurs non linéaires continus en présence des

contraintes de communication incluant l'échantillonnage, les protocoles d'ordonnement dans le réseau et les retards de transmission. La présence de ces contraintes fait que les mesures utilisées par l'observateur sont entachées d'erreur. Ceci peut considérablement dégrader les performances des observateurs qui ont été synthétisés sans prise en compte des effets induits par ces contraintes. Le but de notre travail est de refaire la synthèse des observateurs en tenant compte de ces contraintes et de déterminer des conditions suffisantes sur les bornes du retard et de la période d'échantillonnage qui garantissent que l'observateur possède les mêmes propriétés de convergence qu'en temps continu. Pour ce faire, nous utilisons principalement des outils de Lyapunov, ainsi que ceux du théorème du petit gain adaptés aux systèmes hybrides et aux systèmes à retards. Nous avons obtenus plusieurs résultats dont la synthèse d'une classe d'observateurs à grand gain pour des systèmes multi-sorties communicants avec l'observateur à travers un réseau piloté par un protocole d'ordonnement. Plus précisément nous avons donné des conditions suffisantes sur le gain de l'observateur ainsi que sur la période de transmission qui assurent une convergence globale exponentielle de l'erreur d'observation. Nous avons également proposé un observateur basé sur plusieurs observateurs à grand gain en cascade qui reconstruit l'état du système en utilisant uniquement des mesures retardées. Nous avons aussi développé plusieurs classes d'observateurs à gain variant dans le temps pour des classes de systèmes avec données échantillonnées. L'introduction de ce gain variant dans le temps a pour conséquence d'augmenter considérablement la période d'échantillonnage et de réduire l'effet des bruits de mesures. Nous avons également développé pour deux grandes classes de système de nouveaux prédicteurs d'états non linéaires qui peuvent réaliser des prédictions de l'état à partir de mesures qui arrivent avec un retard important. En utilisant des outils issus du théorème du petit gain, nous avons donné des conditions mathématiques reliant le retard et certaines constantes caractérisant les systèmes considérés qui assurent une convergence exponentielle de nos prédicteurs. Ces prédicteurs ont été ensuite utilisés afin de synthétiser des contrôleurs pour des classes de systèmes avec entrée retardée. Tous ces résultats ont été publiés dans des revues internationales très prestigieuses comme [1300], [1301], [1302], [1303], [1322], [1326], [1349].

• **Thème 6 (T6) : Identification des systèmes non linéaires structurés en blocs**

Nous avons développé des méthodes d'identification s'appliquant à différents types de systèmes non linéaires structurés en blocs. Les méthodes développées se caractérisent par leur capacité à prendre en compte plusieurs classes d'opérateurs non linéaires complexes. Dans ce cadre, nous prenons en compte aussi bien des opérateurs statiques non inversibles que des opérateurs à mémoire modélisés à l'aide d'EDO non linéaires. Les méthodes d'identification élaborées combinent l'approche prédictive et l'approche fréquentielle et, de ce fait, elles font appel à des techniques d'optimisation non linéaire, y compris les algorithmes évolutionnaires (génétiques, bio-social) pour traiter des structures complexes (multi-blocs et multi-branches). Certaines méthodes élaborées font aussi recours à des observateurs adaptatifs, notamment pour aborder le cas d'opérateurs de type hystérésis. La synthèse de signaux assurant une excitation persistante constitue un aspect crucial dans les méthodes d'identification développées. A ce propos, nous avons démontré l'intérêt de certaines classes de signaux périodiques, comprenant les signaux à MLI et les signaux impulsionnels. Cette activité a donné lieu à plusieurs articles et communications parus dans des revues [1345], [1362] et des conférences internationales [1442], [1441], [1428], [1427], [1414], [1415], [1421] et [1375]. Elle a également donné lieu à l'édition d'un livre collectif [1460].

- **Thème 7 (T7) : Commande des systèmes non linéaires présentant des modes souples**

Cette thématique fait l'objet d'une collaboration avec Laurent Burlion, ingénieur de recherche à l'ONERA. Elle a pour but d'établir une nouvelle méthode de synthèse de lois de commande non linéaires sur des systèmes non linéaires présentant un grand nombre de modes souples. Généralement les méthodes de commande de structures souples sont souvent linéaires et pourtant beaucoup de coefficients s'expriment à partir de polynômes ou de fonctions plus complexes. Dans le cadre de la thèse de Mademoiselle Elodie Duraffourg, nous avons exploré des commandes non linéaires basées sur la théorie de Lyapunov pour améliorer le comportement des modes souples tout en garantissant les objectifs de poursuite. Nous avons obtenu des résultats prometteurs sur certaines classes de système en utilisant des fonctions de Lyapunov spécifiques qui tiennent compte des modes souples représentés par la dynamique des zéros. Nous avons aussi proposé une nouvelle commande basée sur les techniques du Backstepping. La nouveauté réside dans le fait que la dynamique des zéros qui correspond à la partie souple du système est stabilisée avant la partie rigide. Ces résultats ont été publiés dans des conférences internationales [1376], [1377], [1385] et [1386].

- **Thème 8 (T8) : Commande des systèmes d'énergie**

Cette activité comprend deux volets : commande d'ensemble convertisseur-machine et commande des systèmes d'énergie renouvelable. S'agissant de la commande d'ensemble convertisseur-machine, l'originalité de nos travaux dans ce domaine ne s'est pas limitée à la synthèse de régulateurs de vitesse non linéaires à retour de sortie. Nous avons développé des systèmes de contrôle-commande d'ECM²⁶ respectant les impératifs suivants : (i) régulation de vitesse dans des conditions de rendement énergétique optimal ; (ii) régulation de vitesse dans des conditions de conformité aux normes liées à la pollution harmonique : Correction de Facteur de Puissance (PFC). Nous sommes parmi les rares à avoir apporté des contributions qui traitent simultanément de tous ces aspects. Ainsi, nous avons développé des systèmes de contrôle-commande comprenant des observateurs et des lois de commandes non linéaires et adaptatives, des optimisateurs de consignes de flux élaboré sur la base de la caractéristique du circuit magnétique, des dispositifs de PFC conçus sur la base d'une prise en considération des éléments de conversion placés en amont de la machine (redresseur et onduleur). La fiabilité d'ensemble est augmentée par le fait que les observateurs mis en jeu sont sans capteurs mécaniques et ne s'appuient que sur des mesures échantillonnées des grandeurs électriques. Cette activité a donné lieu à des articles de revues internationales [1357], [1358], [1327], [1328], [1329], [1330], des communications de conférences internationales [1387], [1388], [1389], [1390], [1391] et des chapitres de livres. Elle a également donné lieu à l'édition d'un livre collectif [1459].

En ce qui concerne la commande des systèmes d'énergies renouvelables, notre activité vise à développer des systèmes de commande permettant : (i) une extraction optimale d'énergie de la source, en dépit des fluctuations des conditions ambiantes (MPPT²⁷) ; (ii) une mise en forme satisfaisante de l'énergie délivrée à la charge. L'originalité de nos travaux réside dans la prise en compte du caractère non linéaire et incertain des systèmes commandés. L'incertitude porte sur le système et sur les conditions ambiantes. Les régulateurs élaborés sont dotés de capacités d'adaptation paramétrique. En outre, dans les applications embarquées (par exemple dans les véhicules électriques), il est fait recours aux convertisseurs statiques parallèles et aux

26. Electronically Commutated Motor

27. Maximum Power Point Tracker

supercondensateurs. Ces éléments imposent de nouveaux impératifs : (i) le partage équitable du courant total entre les différentes branches du convertisseur ; (ii) le pilotage de la charge du supercondensateur en vue d'assurer un fonctionnement dans des conditions de rendement énergétique optimal. Cette activité a aussi donné lieu à des articles de revues internationales [1304], [1305], [1306], [1307], [1308], [1331], [1364] et des communications de conférences internationales [1387], [1391] , [1392] et [1397].

b) Réseau de collaborateurs

Depuis trois ans, les membres du groupe ont mis en place une véritable politique de collaborations scientifiques tant avec des chercheurs français qu'étrangers. Cette politique, qui a largement porté ses fruits comme l'attestent les différentes publications du groupe, a permis de mettre en place un véritable réseau de collaborateurs dans lequel on retrouve des chercheurs de renommée internationale. Nous pouvons citer les professeurs M. Krstic (Université San Diego), E. Fridman (Université Tel Aviv) ainsi que le professeur I. Krafyllis (Université Technique Athènes). Nous avons également accueilli plusieurs chercheurs, venant de plusieurs universités marocaines et algériennes, avec lesquels nous collaborons sur la commande des systèmes d'énergie. Enfin, sur le plan national, les membres du groupe collaborent avec F. Lamnabhi-Lagarrigue dans le cadre du réseau d'excellence HYCON2 dans lequel certains membres du groupe sont très actifs.

c) Rayonnement et attractivité académiques

Les membres du groupe ont une très bonne visibilité, tant sur le plan national qu'international. Ceci peut se mesurer à travers notre participation dans plusieurs comités de programme de conférences internationales reconnues ainsi que dans plusieurs comités de lecture de revues de rang A. Les membres du groupe sont sollicités pour participer, soit comme rapporteur soit comme examinateur, à des jurys de thèses ou d'HDR aussi bien en France qu'à l'étranger. Enfin, la présence des membres du groupe dans plusieurs comités techniques IFAC est devenue systématique depuis plus d'une décennie (H.7).

d) Interactions avec l'environnement social, économique et culturel

Les membres du groupe sont impliqués dans plusieurs contrats avec des partenaires académiques et industriels. La liste des contrats sur la période 2010-2015 est détaillée en annexe (H.7).

2.3.2 Équipe Électronique

a) Présentation

L'équipe Électronique a développé depuis un bon nombre d'années des compétences et des savoir-faire reconnus au plan international, dans le domaine de la mesure à bas niveau de bruit. Ses recherches portent plus généralement sur l'étude, la caractérisation, la conception et l'instrumentation de composants et/ou de capteurs, et de systèmes en vue d'applications. Le développement de nouveaux dispositifs, l'amélioration de leurs performances et l'optimisation de leur mise en œuvre sont les principaux objectifs visés par ses travaux. Ces derniers doivent notamment permettre de comprendre, d'identifier et de réduire les sources de bruit afin d'accroître la sensibilité et/ou la dynamique de mesure des systèmes développés.

b) Thèmes scientifiques

Pour ce quinquennal, l'équipe électronique était organisée en deux thèmes. Ces derniers regroupaient les deux principales activités de l'équipe : l'étude de composants (principalement à base de LSMO ou semi-conducteurs) et de leur bruit à basse fréquence, et l'étude de capteurs à

très haute sensibilité (principalement magnétique) et s'intitulaient, respectivement, "**Thème I : Microcapteurs à base d'oxydes fonctionnels & Bruit 1/f**" et "**Thème II : Magnétométrie à très haute sensibilité - Du capteur à l'instrument**". Nos travaux ont consisté dans les différents axes de ces thématiques (cf. bilan ci-après) à étudier, concevoir, réaliser et mettre en œuvre des dispositifs et des capteurs à très haute sensibilité et à très faible niveau de bruit.

Bilan du Thème I

Axe 1 : Détecteurs de rayonnement à base de LSMO

Nous étudions la composition $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$, notée LSMO, car elle présente une transition métal-isolant à la température ambiante, ce qui entraîne une variation de résistance importante en fonction de la température. Nous avons réussi à évaluer les potentialités de couches minces LSMO pour la bolométrie non refroidie dans le cadre de la thèse d'A. Aryan (2013). Nous disposons maintenant de modèles électrothermiques permettant l'optimisation des géométries de nos capteurs. Grâce à l'optimisation du procédé de fabrication de ponts suspendus par micro-usinage du silicium, nous avons démontré également des performances proches de la limite théorique pour des détecteurs thermiques non refroidis dans la gamme visible - $3\mu\text{m}$ (Thèse S. Liu, 2013). Ces travaux ont été possibles grâce à l'obtention de couches minces épitaxiées de très bonne qualité sur silicium, soit par ablation laser (PLD) au GREYC, soit par épitaxie à jets moléculaires réalisée grâce à une collaboration avec l'université de Cornell aux USA.

Axe 2 : MEMS à base d'oxydes

Avec l'objectif de réaliser des MEMS, nous avons optimisé les conditions de dépôts de couches piézoélectriques épitaxiées de BaTiO_3 sur une électrode conductrice SrRuO_3 sur YSZ/Si (thèse A. Galdi 2011). Les études par diffraction de rayons X et spectroscopie Raman effectuées en collaboration avec le laboratoire CIMAP à l'ENSICAEN ont montré que sur SrRuO_3 /YSZ les couches BaTiO_3 sont orientées selon une direction privilégiée. Une collaboration a alors été initiée avec le LAAS à Toulouse avec pour objectif d'obtenir de plus forts coefficients piézoélectriques sur des structures silicium nanométriques afin d'améliorer les performances des nanosystèmes pour la biodétection. Des mesures du module d'Young du BaTiO_3 par analyse fréquentielle ont été réalisées.

Axe 3 : MR et microscopie dans LSMO

LSMO est ferromagnétique avec une température de Curie de 360 K, ce qui permet d'envisager des applications à température ambiante. Nous avons démontré les potentialités de LSMO pour la magnétorésistance à faible champ magnétique. Les propriétés micromagnétiques associées ont été étudiées par microscopie Magnéto-optique Kerr (MOKE) développée au GREYC dans le cadre de la thèse de D. Fadil (2012). Nous avons également bénéficié de collaborations avec l'université de Constance en Allemagne pour réaliser par microscopie utilisant le dichroïsme magnétique circulaire de rayons X (XMCD) des géométries LSMO de taille submicroniques, et avec l'institut IMDEA à Madrid pour caractériser finement l'anisotropie de nos couches minces dans le cadre d'un programme PICS du CNRS (2013-2015).

Axe 4 : Bruit

LSMO Pour étudier le bruit dans LSMO, nous avons développé une électronique d'amplification et de polarisation adaptée aux valeurs de résistance électrique à mesurer en tenant particulièrement compte des résistances de contact sur ces matériaux et de la géométrie utilisée (en collaboration avec l'université de Salerne en Italie, dans le cadre notamment d'un programme PICS du CNRS terminé en 2010). Nous avons ainsi obtenu les résultats marquants suivants :

- Dépendance du bruit dans LSMO avec les dimensions des échantillons

Nous avons montré que pour une épaisseur de couche mince donnée, le bruit ne dépend pas du volume. Afin de vérifier l'indépendance en volume jusque dans des dimensions

sub-microniques, nous avons également réalisé des mesures sur des nanofils LSMO en collaboration avec l'IEF à Orsay. Nous avons montré que jusque dans des nanofils de largeurs 50 nm, aucune augmentation du niveau de bruit n'a été mesurée, ce qui est très prometteur en vue de futurs nanodispositifs à base de LSMO.

— **Corrélation entre des propriétés électriques DC et le bruit en $1/f$**

Le niveau de bruit a été systématiquement mesuré dans de nombreuses couches minces LSMO déposées sur SrTiO_3 et sur SrTiO_3/Si en fonction de la déformation de la maille LSMO, noté ϵ_{001} , de la résistivité électrique à 300 K, noté ρ_{300K} , et de la température de transition en l'état métallique et l'état isolant, noté TMI (Thèse S. Wu, 2012). Alors qu'aucune corrélation n'apparaît entre le niveau de bruit et la déformation de la maille, ou entre le niveau de bruit et la résistivité électrique à 300 K, nous avons mis en évidence une corrélation claire entre le niveau de bruit et la température de transition métal – isolant. Ce résultat est intéressant, car c'est la première fois qu'une telle corrélation entre le bruit et une propriété de transport électrique en continu est observée dans les manganites.

Composants Silicium : MOSFETs nanométriques La collaboration avec IMEC (Leuven / Belgique) s'est poursuivie dans le cadre du projet "PHC Tournesol FL". Des nouveaux transistors de type FD UTBOX SOI MOSFET issus de plusieurs générations présentant différents diélectriques et épaisseurs d'oxyde enterré et de film de Si ont été caractérisés. Ces structures fabriquées en technologie 16 nm présentent un intérêt croissant pour les applications 1T-DRAM puisqu'elles s'affranchissent de l'utilisation d'une capacité externe. L'étude bruit basse fréquence a été utilisée comme outil de diagnostic non destructif pour évaluer la qualité du processus d'oxydation et notamment pour identifier des pièges dans ces films de Si, qui influent sur le temps de rétention, en utilisant la spectroscopie du bruit basse fréquence. La collaboration avec l'université de Tizzi Ouzou se poursuit (soutenance des thèses de Mlle R. TALMAT et M. H. ACHOUR, respectivement en 2011 et 2014) dans le dépôt d'un projet Coopinter CNRS 2015. Nous avons accueilli un doctorant brésilien en 2014 dans le cadre d'une collaboration qui a émergé en 2013 à travers des publications avec un partenaire de l'université de Sao Paolo.

InN Nous avons participé de 2008 à 2012 au projet européen de formation initial "ITN" (Initial Training Network) intitulé RAINBOW coordonné par le laboratoire CIMAP (Centre de Recherche sur les Ions, les Matériaux et la Photonique) à l'ENSICAEN et incluant 14 laboratoires européens. Nous avons étudié le bruit à basse fréquence dans les couches minces d'InN, notamment lors de la thèse de Geeta Rani Mutta (soutenue en 2012). Un résultat important a été la mise en évidence de l'existence de pièges dans les couches d'InN influençant le transport électrique grâce à des mesures de bruit en fonction de la température.

Bilan du Thème II

Axe 1 : Étude de capteurs magnétiques

L'étude et le développement de capteurs magnétiques à très haute sensibilité, ayant un bruit intrinsèque d'environ $100\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ à 1 Hz, une large bande passante pour un volume actif effectif inférieur à 1 cm^3 , de résolution spatiale avoisinant le millimètre et fonctionnant à température ambiante, reste l'un des enjeux majeurs de nos recherches. Nos activités antérieures nous ont permis d'identifier deux dispositifs prometteurs : les dispositifs à effet magnéto-inductif géant (MIG) et ceux à effet magnéto-électrique (ME). Durant ces cinq dernières années, les travaux sur les capteurs magnétiques se sont concentrés sur ces deux dispositifs.

Capteurs MIG et collaborations avec l'École Polytechnique de Montréal (CA) La thèse de Basile Dufay, en cotutelle avec l'École Polytechnique de Montréal (CA), a permis

d'explorer deux pistes d'optimisation. La première s'est intéressée à l'optimisation des matériaux. Le critère d'optimisation étant l'augmentation de la sensibilité (maximale), nous avons montré que des matériaux à aimantation à saturation et résistivité élevés sont à privilégier et qu'il existe une amplitude optimale de courant d'excitation. La seconde piste s'est attachée à mettre à profit l'ensemble du tenseur d'impédance de surface du fil MIG dans l'optimisation du capteur. Ainsi, nous avons montré que la meilleure configuration est obtenue en polarisant le fil et en prélevant l'information par une bobine de capture. Sa conception a permis d'assurer un compromis entre un nombre de tours élevé, la présence d'une capacité parasite et le choix de la fréquence de polarisation. Un capteur optimisé a été réalisé. Son bruit magnétique équivalent a été mesuré en zone de bruit blanc entre $600\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ et $800\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$. De plus, pour la première fois, un bruit induit par l'élément sensible domine la réponse aux basses fréquences (bruit en $1/f$), ouvrant de nouvelles pistes d'optimisation. Elodie PORTALIER a commencé une thèse pour poursuivre ces travaux. Il est à noter que Basile DUFAY a été lauréat du prix spécial du jury dans le concours de la meilleure thèse de l'École Polytechnique de Montréal.

Capteurs ME et collaborations avec Virginia Tech (US) L'étude des capteurs magnéto(-élasto)-électriques a été réalisée en partenariat avec le département des sciences des matériaux et d'ingénierie de Virginia Tech dans le cadre d'un projet de la DARPA. Dans le cadre de la thèse de X.Zhuang, un modèle de MASON du capteur et de ses bruits a été développé pour les quatre principaux modes de mise en œuvre en mode passif (champs électrique et magnétique longitudinaux ou transverses par rapport à l'élongation). Ce modèle, corroboré par les mesures en large bande, a permis d'identifier des pistes d'optimisation tant sur les matériaux (notamment par la réduction des pertes mécaniques) que sur la géométrie (par la réalisation de systèmes multicouches dans lesquels 80% de l'épaisseur est celle du matériau magnétostrictif). L'ensemble des optimisations du dispositif et de son électronique de conditionnement a permis de réduire de deux ordres de grandeur le bruit équivalent en champ, par rapport aux valeurs mesurées en début de projet. Ainsi, des niveaux de $5\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ à 1 Hz, inférieur à $1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ en zone de bruit blanc et de $50\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ à la résonance ont été atteints avec les meilleurs échantillons. Un capteur opérant directement à la résonance a été réalisé afin de mettre à profit ce très faible bruit. Le signal magnétique à mesurer et celui qui excite le ME à la résonance sont mélangés par les non-linéarités du dispositif. Ainsi, après démodulation, le bruit à basse fréquence a été réduit, ces travaux d'étude du bruit équivalent en champ en régime non-linéaire se poursuivent actuellement dans le cadre de la thèse de M.Yang.

Capteurs de champs électriques utilisant les effets non-linéaires d'un matériau diélectrique La thèse de Maria TIMOFEEVA a permis de mettre en évidence les potentialités d'une approche transposant le fonctionnement des "search coils" (bobine associée à un noyau ferromagnétique) pour la mesure du champ magnétique vers un système de mesure du champ électrique utilisant condensateur planaire et diélectrique. En utilisant la non-linéarité de la permittivité diélectrique de composés ferroélectriques, il est possible de transposer le fonctionnement du "fluxgate" vers un capteur de champ électrique. Afin de progresser dans cette démarche, des instruments non disponibles sur le marché se sont avérés nécessaires. Il s'agit d'une source de champ électrique statique programmable (0 – 500 kV/m-1), qui a été réalisée et d'une source dynamique plus large bande, qui est en cours de réalisation. Nous pensons que l'absence de source de champ électrique, aisée de mise en œuvre, est un verrou de la caractérisation des capteurs de champ électrique, verrou que nous venons de lever.

Axe 2 : Étude et modélisation d'instruments pour des mesures magnétiques

De manière plus générale, nos objectifs en magnétométrie restent l'étude, l'optimisation, la réalisation, la mise en œuvre de divers capteurs magnétiques à haute sensibilité et la réalisation de démonstrateurs mettant en œuvre un contrôle, une mesure ou l'observation d'un signal magnétique. L'évaluation de leurs performances intrinsèques et extrinsèques doit également permettre de clarifier le réel potentiel de ces différents instruments. Durant ce quinquennat, nous avons poursuivi les travaux en contrôle non destructif à courant de Foucault et en détection de nanoparticules magnétiques, notamment lors des thèses de Rimond HAMIA et de Kamel FODIL.

Contrôle non destructif par Courant de Foucault (CND par CF) Une partie importante du travail réalisé vise à étudier, analyser et améliorer les performances des systèmes de CND par CF utilisant des magnétomètres à base de GMR et développés au sein de l'équipe Électronique. Les performances ont été étudiées et analysées en détail vis-à-vis des différents paramètres du système de détection. Un modèle numérique 3-D basé sur la méthode des éléments finis a été utilisé afin de réaliser cette étude. Les résultats des simulations ont conduit à l'amélioration de certains paramètres du système de détection, comme le rapport signal sur bruit, la résolution spatiale et la fréquence d'excitation. Les systèmes développés possèdent d'excellentes performances (notamment une grande dynamique de mesure) et offrent la capacité de détecter des défauts enfouis à grande profondeur. Une méthode d'excitation originale de détection de défauts orientés a également été développée. Elle repose sur le principe d'un champ magnétique tournant et consiste à utiliser deux inducteurs filaires perpendiculaires parcourus par des courants alternatifs dont les amplitudes sont modulées de façon adéquate afin de créer des courants induits d'orientation ajustable dans les zones inspectées. Les résultats montrent que le système est capable de qualifier simplement l'orientation du défaut détecté en analysant le champ magnétique induit dans la pièce testée à l'aide de classiques courbes de Lissajous.

Détection de nanoparticules magnétiques Généralement, les NanoParticules Magnétiques (NPMs) sont utilisées comme marqueurs, agents de ciblage ou agents de contraste. Nous nous sommes concentrés sur les performances de méthodes magnétiques permettant leur détection, notamment avec la thèse de Kamel FODIL. Deux systèmes de localisation et d'évaluation de concentrations dans le cadre de mesure à une ou deux dimensions (1D, 2D) ont été développés. Ils portent sur la détection de NPMs dans des microcanaux pour des applications biomédicales (1D) et l'imagerie magnétique de nanoparticules magnétiques (IMNP) (2D). Le système 1D a fait l'objet d'une collaboration avec l'équipe biomems de l'IEMN et d'un financement C-NANO. Pour chacune de ces méthodes, une modélisation complète du système a été réalisée. Il tient compte des propriétés des NPMs, du bruit intrinsèque du capteur magnétique, du système électronique d'excitation et de l'ensemble de la chaîne de mesure. Cette modélisation permet d'une part, d'évaluer les seuils théoriques de détection au regard du volume et de la concentration des NPMs en fonction des paramètres du dispositif expérimental et d'autre part, de décrire la résolution spatiale ultime qu'il est possible d'obtenir, après reconstruction, en fonction de paramètres clés tels que le lift-off, la taille du pixel observé et du bruit magnétique équivalent apparaissant lors de la mesure. Afin de valider ces analyses, les modèles théoriques ont été confrontés à des mesures expérimentales en 1D et 2D, un capteur MIG étant mis en œuvre. La détection dans un microcanal d'un volume de NPMs de 20 nl et de concentration de 230 mmol/l, ainsi que la reconstruction d'image 2D avec une résolution spatiale inférieure au mm ont pu être validées expérimentalement. L'ensemble des résultats obtenus est en totale adéquation avec les modèles théoriques. Les limites théoriques montrent l'inadéquation actuelle de ce type de détection avec des applications biomédicales. Cependant, une valorisation de ces travaux dans les domaines du CND ou de l'anti-contrefaçon est envisagée.

AXE 3 : Études et modélisations d'instruments pour des mesures bolométriques

Le pivot de ces travaux est le brevet déposé internationalement en 2009 protégeant une nouvelle méthode de contre-réaction de chaleur pouvant être appliquée au détecteur de rayonnement infrarouge de type bolomètre résistif. Les développements se sont alors structurés selon trois directions : (1) la mise en œuvre de la technique brevetée et la démonstration de ses potentialités avec notamment un accent mis sur l'implémentation de fonctionnalités évoluées de contrôle et de diagnostic (financement DEFI-instrumentation 2013) ; (2) l'intégration progressive de la technique sur silicium (financement PSoC-INS2I et collaboration avec l'université de Tokyo) et (3) la modélisation à haut niveau pour la simulation comportementale des fonctionnalités évoluées (collaboration avec NXP-Semiconductor).

En octobre 2012, a eu lieu la troisième édition de l'école thématique CNRS, "High Sensitivity Magnetometers, "Sensors & Applications"", Blainville sur mer (France). Avec la participation de 101 personnes venant de 21 pays (USA, Canada, Brésil, Chine, Afrique du Sud, pour les plus lointains), le rayonnement international de cette manifestation a encore augmenté. Elle nous a permis de renforcer notre position de leader notamment dans les réseaux français et européen de la magnétométrie à haute sensibilité.

Conclusion

Les activités de l'équipe sur le quinquennal ont mené à une bonne production scientifique et des contrats d'importance. Comme nous l'avons énoncé dans nos perspectives en 2009, nous avons poursuivi nos recherches dans les principaux axes susmentionnés. Elles ont permis d'aboutir à de nombreux faits marquants qui positionnent nos résultats au niveau de l'état de l'art. Nous avons également renforcé nos nombreuses collaborations internationales dans le cadre de diverses caractérisations et analyses du niveau de bruit de composants et/ou de capteurs, ce savoir et savoir-faire restant l'originalité forte des travaux de l'équipe.

Analyse SWOT

Points forts

- Une excellente production scientifique, en particulier dans des revues internationales de premier plan
- Une excellente visibilité à l'international sur plusieurs thématiques
- Une bonne activité contractuelle et des contrats d'importance à l'international
- Une multidisciplinarité des compétences : du matériau aux capteurs, à l'instrument
- Une forte implication dans la diffusion de la culture scientifique.

Points faibles

- Faiblesses des interactions entre les thèmes
- Recrutement de doctorants difficile. L'équipe doit compter sur son insertion nationale (ou internationale) pour le recrutement de doctorants
- Manque de personnels techniques pour la gestion journalière de la salle blanche,
- Quelques membres faiblement produisant
- L'équipe doit rester vigilante au fait que le rayonnement international dépende de quelques individualités
- Une intégration au niveau régional et national moyenne, au regard des activités internationales

Risques

- Interaction difficile avec les autres équipes du GREYC au regard de la spécificité de nos thématiques
- Une réorganisation des masters en discussion qui pourrait nuire au rayonnement de nos activités et bloquer le recrutement local de doctorants

- Augmentation des charges en termes de responsabilités administratives/enseignements de plusieurs de ses membres

Opportunités

- Nouvelles perspectives ou poursuites de contrats à l'international (Europe et Amérique du Nord)
- Déménagement dans des nouveaux locaux
- Renforcement de l'EEA par le développement des filières locales d'ingénieurs (ENSI-CAEN & ESIX "mécatroniques et systèmes nomades")

c) Rayonnement scientifique

Le tableau 5.24 présente une synthèse des éléments de visibilité de l'équipe. Il est complété par les tableaux 5.21 et 5.20, qui décrivent respectivement le nombre de thèses soutenues dans l'équipe et une synthèse de sa production scientifique.

d) Valorisation

Le tableau 5.22 présente une synthèse des opérations de valorisation, le détail étant donné en section H.8.

2.3.3 Synthèse du département ACS

Les tableaux 2.21, 2.22 et 2.23 donnent une vue globale sur le effectifs, les publications des équipes du département ACS et l'activité contractuelle.

Equipes	Permanents	Doctorants	Docteurs	Autres
Automatique	4PR et 11MC	6	9	2
Electronique	4PR, 1CR et 12MC dont 4HdR	3	14	3

TABLE 2.21 – Effectifs du département ACS sur la période 2010-2015

Equipes	RI	RN	CI	CN	ODRCO	BL
Auto	69	2	87	2	(3,0, 4)	
Electro	72	2	86	8	(0,0,4)	(0,3)

TABLE 2.22 – Publications du département ACS sur la période 2010-2015

Equipes	Tutelles	Etat	Région	ANR	Industrie	Europe	Int.	Total
Auto		1 116.7			2 11.7	1 23		4 151.4
Elec	5 99.8	2 95.3	1 44.1	1 147	7 143.5	1 67,1	5 454.3	22 1051.1

TABLE 2.23 – Activité contractuelle du département ACS sur la période 2010-2015

Le département ACS est actuellement composé d'une chercheuse DR qui a été promue cette année, de 16 enseignants-chercheurs de la 63ème section (5 PR, 11 MCF) dont un PR a été promu cette année, de 15 enseignants-chercheurs de la 61ème section (4 PR, 11 MCF) et 14 membres non permanents (9 Doctorants, 2 Ater, 1PR-EM, 1 Postdoc et 1 IE). Quatre enseignants-chercheurs (2 PR, 2 MC) sont partis à la retraite et 3 enseignants-chercheurs (3 MC) sont arrivées. 21 thèses ont été soutenues au département et 9 thèses sont en cours avec un potentiel d'encadrement qui est passé de 11 HdR à 12 HdR sur ce quinquennat.

Une lecture attentive des bilans des équipes permet de faire une synthèse concise sur le bilan du département ACS confortée par les tableaux 2.22 et 2.23.

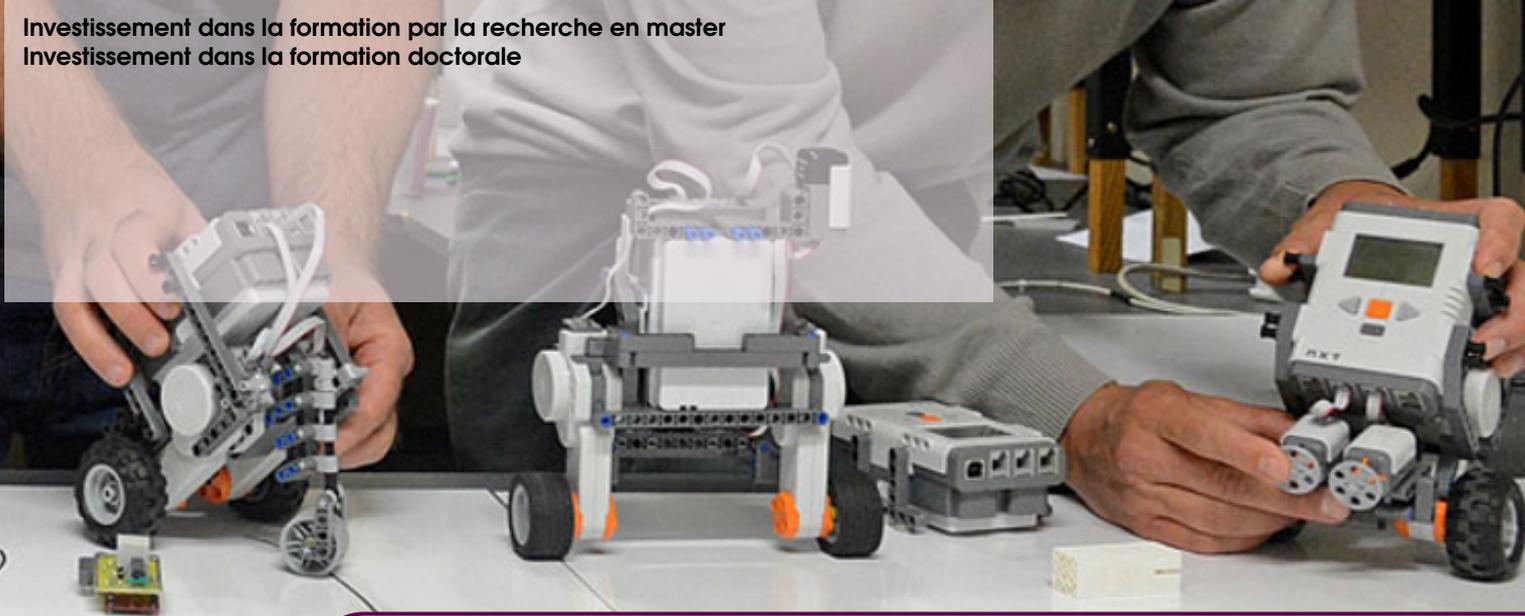
Les équipes du département ACS effectuent une recherche fondamentale de qualité avec une bonne activité de formation par la recherche compte tenu du potentiel HdR des équipes, i.e. 9 thèses avec 4 HdR pour l'équipe automatique et 14 thèses pour 6 HdR pour l'équipe électronique sur la période 2010-2015. La qualité scientifique est attestée par des publications dans les revues et les conférences phares des domaines de recherche du département. Le rayonnement scientifique du département ACS est essentiellement dû à l'investissement de ses équipes dans des responsabilités collectives et l'animation scientifique. Durant ce quinquennat, elles ont particulièrement organisé 4 journées d'automatique, une école thématique internationale sur les magnétomètres à haute sensibilité, la conférence nationale CETSIS 2013, deux colloques internationaux IFAC ALCOSP et PSYCO en 2013 et une conférence internationale ICNF 2013. On constate une meilleure dynamique des deux équipes par rapport au dernier quadriennal comme l'indiquent les constats suivants.

- Un effort louable du point de vue de la recherche académique attesté par des publications dans les principales revues des équipes avec un important accroissement du nombre de publications dans les revues internationales, i.e. $35 \mapsto 69$ (resp. $42 \mapsto 72$) pour l'équipe automatique (resp. l'équipe électronique).
- Un accroissement des projets de recherche de l'équipe électronique, i.e. $14 \mapsto 22$, avec une ouverture internationale remarquable.
- Une attitude positive de l'équipe automatique envers ses membres non producteurs dont certains ont réussi à recouvrer une dynamique de recherche remarquable.
- Une volonté de dynamiser le département ACS par une animation scientifique soutenue, i.e. des demi-journées régulières du département. Cette animation conforte les collaborations actuelles entre certains membres du département et favorise l'émergence de nouvelles collaborations entre les deux équipes.

Les équipes automatique et électronique ont des faiblesses de nature différente, notamment un seul projet ANR, des membres ayant une importante activité pédagogique et une activité de recherche insuffisante, un vivier de doctorants de l'équipe électronique qui n'est pas à la hauteur de son potentiel d'encadrement et une faible activité contractuelle de l'équipe automatique. Elles disposent toutefois de plusieurs opportunités pour surmonter ses faiblesses, en l'occurrence des compétences communes indéniables, des formations attractives et des projets régionaux de grande envergure sur les énergies marines renouvelables et le concept d'usine nouvelle.

Les équipes automatique et électronique doivent néanmoins adopter une attitude préventive pour anticiper les risques éventuels. On distingue trois risques intrinsèques aux situations des équipes. Le premier risque est la fragilité de l'équipe automatique par des problèmes relationnels susceptibles de persister. Le second risque résulte des lourdes charges pédagogiques

des collègues, qui sont relativement importantes à l'ENSICAEN compte tenu de l'attractivité de la majeure SATE. Et le troisième risque relève de la problématique du vivier des doctorants de l'équipe électronique. Ces risques peuvent être anticipés par une vigilance de la future direction par rapport aux problèmes relationnels entre les deux groupes d'automatique, un recrutement d'un MC en automatique à l'ENSICAEN et le montage d'un Master Recherche attractif en exploitant judicieusement les enseignements de la majeure SATE et de la filière Mécatronique et Systèmes Nomades de l'ESIX.



3. Implication formation par la recherche

Le GREYC est fortement impliqué dans la formation par la recherche, au bénéfice des étudiants et du laboratoire. Des formations attractives avec de bonnes perspectives d'emploi sont offertes à nos étudiants, qui sont aussi initiés au monde de la recherche par les enseignements de qualité de nos Masters.

3.1 Investissement dans la formation par la recherche en master

L'organisation du *Master Informatique* et du *Master Electronique, Electrotechnique, Ondes et Automatique* repose essentiellement sur les membres du GREYC.

Sur le quinquennat 2012-2017, le Master Informatique comporte trois spécialités :

- **Décision et Optimisation.** Cette spécialité vise à former des étudiants dans les principaux domaines de l'aide à la décision, tels que l'optimisation déterministe ou stochastique et l'extraction de connaissances dans les données, et dans différentes thématiques de l'intelligence artificielle (décision, raisonnement logique, complexité). Du point de vue des techniques, et en cohérence avec les axes du laboratoire, le parti pris est celui de l'analyse et de la formalisation. Il s'agit donc de former des personnes capables d'analyser, de modéliser, et de résoudre des problèmes d'analyse décisionnelle et d'intelligence artificielle, ceci en concevant de nouvelles méthodes ou de nouveaux outils, et/ou en mettant en oeuvre des méthodes et outils spécifiques existants.
- **Réseaux et Sécurité des Systèmes Informatiques.** La spécialité repose scientifiquement sur les fondements sécurité et informatique fondamentales du laboratoire. Un premier volet intègre à la fois l'informatique de confiance, les structures aléatoires, les théories sous-jacentes à la cryptographie, les codes correcteurs d'erreurs et la compression, la théorie des nombres et la cryptologie. Un second volet comprend la sécurité des réseaux et des échanges de données, la surveillance des réseaux, la voix sur IP, les principes d'authentification sur un système d'information et la sécurisation des applications embarquées.
- **Traitement Automatique de l'Image et de la Langue.** Cette spécialité vise à dégager les fondements de l'analyse de documents multimédia, en se focalisant principalement sur le texte, l'image et leur combinaison (dans une moindre mesure sur la vidéo). L'accent est placé sur la représentation des informations (texte, images, documents) au moyen d'attributs pertinents, leur traitement automatique, la construction de modèles permettant la classification des documents et leur indexation. Le texte, l'étude de la structure des

langues, les approches sémantiques et la fouille de textes sont approfondis. Concernant l'image, c'est sur la segmentation d'images, la restauration des images, l'indexation multimédia, la géométrie algorithmique et discrète que nous portons l'attention.

Les différentes responsabilités pédagogiques sont occupées par des membres de l'unité. La première année du Master a été placée sous la responsabilité d'Arnaud Lallouet puis d'Ali Akhavi (lorsque Arnaud Lallouet est devenu "directeur des études" du master). La spécialité DECIM a été construite par Bruno Crémilleux et Bruno Zanuttini puis placée sous la responsabilité de Patrice Boizumault et Bruno Zanuttini dans un premier temps (Bruno Crémilleux est devenu directeur du département d'informatique), puis de Bruno Zanuttini seul (lorsque Patrice Boizumault a pris la responsabilité du L2 Informatique). La spécialité e-SECURE a été construite par Fabien Laguillaumie et Christophe Rosenberger puis placée sous la responsabilité de Gaëtan Richard puis d'Etienne Grandjean. La spécialité IMALANG a été construite par Luc Brun, Youssef Chahir et Stéphane Ferrari et placée sous la responsabilité de Gaël Dias et Youssef Chahir, et actuellement de Youssef Chahir seul (suite à un congé maladie de Gaël Dias). Ces changements de direction n'ont pas impacté le fonctionnement des différentes spécialités, chacun ayant abordé sa tâche avec une grande motivation.

Les spécialités DECIM et e-SECURE ont un responsable des stages, respectivement Jean-Jacques Hébrard et Florent Madelaine. Leur rôle est la validation des sujets, le suivi, et l'affectation des tuteurs.

Les enseignants universitaires, appartenant tous au GREYC, sont épaulés par des vacataires venant de l'industrie. Mis à part ces enseignements assurés par des vacataires extérieurs, tous les enseignements de ces trois spécialités ont été construits par des membres du laboratoire.

Chacune des spécialités de Master a un profond et réel adossement à la recherche dans le laboratoire GREYC. Pour DECIM, il s'agit principalement des équipes CODAG et MAD, qui effectuent des recherches en IA au sens large, incluant la représentation des connaissances, la logique, l'optimisation, l'apprentissage, le data-mining, les systèmes multi-agents, la planification et la complexité. Pour e-SECURE, il s'agit principalement des équipes AMACC et Monétique & Biométrie, qui effectuent des recherches en modèles de calcul, analyse en moyenne d'algorithmes, complexité des requêtes, cryptographie, sécurisation des systèmes de paiement, biométrie. Enfin, IMALANG est adossé aux équipes HULTECH et IMAGE, qui effectuent des recherches en traitement automatique des langues, IHM, recherche d'information, traitement d'images. Dans chacun des cas, cela se traduit naturellement par la proposition de stages orientés recherche en M2, mais également par la proposition de projets liés aux activités de recherche en M1. Certaines conférences d'ouverture sont également effectuées par des chercheurs invités auxquels on demande un exposé plus pédagogique.

Le département informatique a lancé durant l'hiver 2014/2015 sa réflexion pour la future offre de formation 2017/2022, en y incluant la tenue d'une assemblée générale. L'adossement à la recherche des parcours du futur master informatique a été un point fort des discussions. Sur ce sujet, deux éléments ont plus particulièrement été étudiés. D'une part, veiller à ce que chaque équipe du GREYC dispose d'un "réservoir" d'étudiants intéressés par ses thématiques de recherche dans au moins un des parcours et, d'autre part, faciliter la poursuite en thèse en informatique des étudiants suivant l'enseignement de l'actuelle spécialité "Document Numérique en Réseau Ingénierie de Internet" mais qui relève du master document porté par les sciences humaines et sociales. Ce souhait de ramener cet enseignement dans le master informatique se traduira par une évolution des parcours. Les orientations, en discussion au moment de l'écriture de ce rapport, conduisent à plusieurs hypothèses de parcours pour le futur master : (1) IDC (Internet, Données, Connaissance) qui est ancré dans le monde de l'internet et de ses usages, avec des caractéristiques fortes sur les moteurs de recherche, ingénierie documentaire, ingénierie des langues ; (2) e-SECURE qui porte sur un thème historique et important au niveau régional,

	2012-2013	2013-2014	2014-2015
Nb d'inscrits pédagogiques en M1	29	39	44
Nb d'inscrits pédagogiques du M1 admis en M2	15	26	—
Nb d'inscrits pédagogiques en DECIM	19	12	15
Nb d'inscrits pédagogiques en DECIM ayant validé	15	9	—
Nb d'inscrits pédagogiques en e-SECURE	36	32	33
Nb d'inscrits pédagogiques en e-SECURE ayant validé	32	27	—
Nb d'inscrits pédagogiques en IMALANG	24	28	23
Nb d'inscrits pédagogiques en IMALANG ayant validé	15	18	—

TABLE 3.1 – Flux d'étudiants du Master d'Informatique

adossé à une thématique de recherche forte du GREYC ; (3) ODAIA (Optimisation, Données, Algorithmes, Intelligence Artificielle) qui s'appuie sur l'acquis de l'actuel parcours DECIM en l'élargissant à des éléments d'apprentissage statistique, du big data et en développant les liens avec le futur master "mathématique et applications, statistiques" et (4) et un parcours autour des masses de données multimédia et le traitement d'image en collaboration avec les mathématiciens. D'autre part, le GREYC relevant de l'Université de Caen Basse-Normandie et de l'ENSICAEN, le renouvellement du master informatique va être demandé en poursuivant la co-habilitation sur ces deux établissements. Notons qu'il existe déjà des cours communs entre ces deux établissements et que chaque année entre 20 et 30 étudiants de l'ENSICAEN suivent les enseignements et sont diplômés du master informatique.

Concernant le Master Electronique, Electrotechnique, Ondes et Automatique, celui-ci comprend quatre spécialités dont deux sont co-habilitées avec l'ENSICAEN et l'Université du Havre.

- **Automatique (AII)**. Cette spécialité est principalement fondée sur la majeure SATE¹ de l'ENSICAEN. Elle permet de doter les étudiants de toutes les compétences requises pour la conduite des procédés industriels sous une forme cohérente en adoptant une approche système. Les enseignements dispensés permettent aux élèves de maîtriser toutes les connaissances requises pour la synthèse d'un système de conduite et sa mise en oeuvre, i.e. les capteurs, les méthodes de modélisation (expérimentale) et de commande des systèmes et les systèmes embarqués. Les principales compétences acquises concernent la conception d'asservissements robustes et de systèmes de communication et d'instrumentation avancés et les systèmes embarqués. Elles permettent de participer activement au développement d'une ingénierie des systèmes à haute valeur ajoutée et de suivre l'évolution technologique des systèmes embarqués.
- **Electronique et ondes (EO)**. Après une première année de formation générale en électronique, électrotechnique et automatique, deux parcours sont proposés en seconde année : le parcours "bruit, capteurs et microélectronique" à Caen et le parcours "Ondes" au Havre avec un tronc commun regroupant les humanités et les fondamentaux en électronique et ondes. La formation spécifique au parcours "bruit, capteurs et microélectronique" est faite autour de trois thèmes : capteurs, composants microélectroniques avancés et microélectronique. La formation spécifique au parcours "Ondes" est construite autour de divers thèmes

1. Signal, Automatique pour les Télécommunications et Systèmes Embarqués

	2012-2013	2013-2014	2014-2015
Nb d'inscrits pédagogiques en M1	28	30	24
Nb d'inscrits pédagogiques du M1 admis en M2	14	12	—
Nb d'inscrits pédagogiques en AII	32	34	25
Nb d'inscrits pédagogiques en AII ayant validé	29	27	—
Nb d'inscrits pédagogiques en EO	5	12	
Nb d'inscrits pédagogiques en EO ayant validé	5	8	

TABLE 3.2 – Flux d'étudiants du Master Electronique, Electrotechnique, Ondes et Automatique

relevant de la physique et des méthodes de traitement des données : propagation d'ondes dans les matériaux, acoustique non linéaire, traitement numérique du signal, contrôle non destructif, inspection et maintenance. Les compétences acquises vont de la conception de circuits microélectroniques au développement des transmissions sécurisées avec une maîtrise du contrôle non destructif.

Les différentes responsabilités pédagogiques sont occupées par des membres du GREYC : Ch. Dolabdjian a été le porteur du Master, M. Farza est responsable de la première année du Master, F. Giri est responsable de la spécialité AII et J.M. Routoure de la spécialité EO. Chacune des spécialités de Master est adossée à la recherche au GREYC. L'équipe automatique du GREYC est principalement impliquée dans le Master AII. Elle effectue des recherches sur les principales thématiques de l'automatique, notamment l'identification, l'observation et la commande des systèmes dynamiques avec des applications privilégiées aux réacteurs (bio) chimiques et aux systèmes électro-mécaniques. Le Master EO concerne principalement l'équipe électronique qui effectue des recherches sur la magnétométrie, les microcapteurs à base d'oxydes fonctionnels et le bruit en 1/f. L'adossement des Masters AII et EO au GREYC se traduit par des stages orientés recherche en M2 et des conférences ludiques effectuées par des chercheurs invités.

3.2 Investissement dans la formation doctorale

Le GREYC a réalisé un encadrement doctoral de qualité, reposant sur ses 43 HDR. 74 thèses ont été commencées sur la période 2010-2014, en dépit d'un contexte économique plus difficile que celui du dernier quadriennal, où le nombre de thèses commencées sur la période 2005-2009 était de 85. Le vivier des doctorants du GREYC n'est pas essentiellement constitué par les étudiants issus de nos propres formations. De plus, de nombreuses thèses sont co-encadrées avec des partenaires à Caen, en France, en Afrique, en Asie ou en Europe. Enfin, notons que tous nos doctorants ont publié dans des conférences et/ou dans des revues reconnues de leur domaine durant leur thèse.

Le GREYC est rattaché à la formation doctorale au travers de l'Ecole Doctorale ED 181 - Structures, Information, Matières et Matériaux (SIMEM). L'ED SIMEM regroupe, au sein de l'Université de Caen Basse-Normandie et de l'ENSICAEN, des doctorants de formations diverses (mathématiques, informatique, physique, instrumentation, sciences des matériaux, sciences de la Terre) constituant un large éventail de domaines scientifiques aux multiples interfaces. L'Ecole Doctorale est en phase avec les pôles de compétitivité ou d'excellence fortement soutenus que sont le Pôle Transactions Electroniques Sécurisées (TES)², le Pôle Mov'eo³ ou encore

2. www.pole-tes.com

3. www.pole-moveo.org

Année du début de thèse	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Bourse MENESR	5	3	4	5	2	19
Bourse Région-CNRS	2		1			3
Bourse Région-Autres		1	1		2	4
Bourse Région		1	1		1	3
Bourse CIFRE	7	1	3	3	5	19
Bourse DGA					1	1
Bourse ERC				1		1
CDD ANR	1			2	2	5
CDD non ANR	1	1	1	2	1	6
Financement étranger	1	2	3	4	2	12
Financement propre	1					1

TABLE 3.3 – Financement des thèses sur la période 2010-2014

le Pôle Nucléopolis⁴. Elle a donc également, à ce titre, un lien fort avec la plupart des forces vives du secteur industriel local et régional. L'ED s'appuie en amont sur un réseau de Masters régionaux en phase avec les priorités de ses unités d'accueil, avec 16 spécialités de master relevant de 6 disciplines : Chimie, Electronique, électrotechnique, ondes, automatique, Informatique - Document, Mathématiques et applications, Physique, Sciences des environnements continentaux et côtiers. Cette proximité permet un lien fort entre les permanents des différents laboratoires et les futurs doctorants et l'organisation sur le site d'un très grand nombre de formations scientifiques de haut niveau pouvant être offertes aux doctorants de l'ED.

Cette ED est très soucieuse de la qualité de la formation par la recherche et du devenir des doctorants comme l'indiquent ses diverses activités, e.g. formation complémentaire, accompagnement des doctorants, journées scientifiques, etc. La répartition des contrats doctoraux dit "ministériels" est faite au sein du Conseil de l'ED dans une ambiance plutôt sereine en fonction du potentiel d'encadrement des laboratoires, de la valeur scientifique des sujets de thèse et de la qualité du parcours de formation des candidats. 19 allocations ont été attribuées au GREYC sur la période 2010-2015. Ce nombre est en baisse par rapport au dernier quadriennal où 28 allocations ministérielles avaient été attribuées au GREYC sur la période 2005-2009.

Flux de doctorants

Comme nous l'avons remarqué ci-dessus, le flux de doctorants dans l'unité est en légère baisse durant la période de référence. La figure 3.1 montre le nombre de nouveaux inscrits en thèse par année universitaire⁵, en moyenne autour de 15 nouveaux doctorants par an.

Financement des thèses

Le tableau 3.3 donne la répartition et l'évolution des financements de thèses commencées entre 2010 et 2014. On notera la diversité des sources de financement et leur adéquation avec la nature de nos activités de recherche : 27 financements d'excellence i.e. les bourses MENESR, Région, Région-CNRS, DGA et ERC, 19 bourses CIFRE et 11 financements sur des projets de recherche. On constate une diminution notable des financements par rapport au dernier quadriennal puisqu'ils passent de 71 à 61. Cette diminution concerne principalement les bourses MENESR dont le nombre est passé de 28 à 19.

4. www.nucleopolis.com

5. pour l'année 2014-2015 ; le nombre indiqué est celui du nombre de nouveaux inscrits avant le 20 mars 2015 ; il est susceptible d'augmenter de quelques unités d'ici la clôture des inscriptions

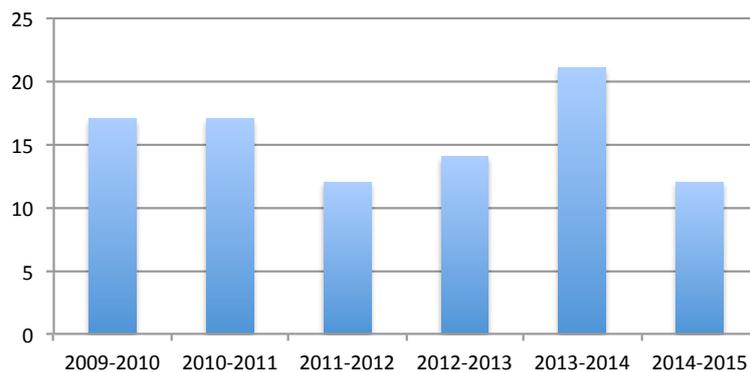


FIGURE 3.1 – Nombre de nouveaux doctorants du GREYC inscrits par année universitaire, sur la période de référence.

Durée des thèses

La durée des thèses a été beaucoup réduite au cours de ce quinquennat. La figure 3.2 montre que seulement 15% des thèses soutenues en 2010-2011 n'avaient nécessité que 3 inscriptions, alors que c'est le cas pour plus de 70% des thèses soutenues en 2014-2015. Le nombre de thèses d'une durée de plus de 3 ans était de 3 en 2014-2015. Cette baisse a été rendue possible en confortant les dispositions mises en place lors du précédent quadriennal :

- Plus grande sensibilisation des directeurs de thèses
- Limitation à 2 missions d'enseignement au cours de la thèse
- Priorité des postes Ater aux docteurs ou aux doctorants n'ayant pas besoin de se ré-inscrire (soutenance dans l'année).

Ces dispositions ont permis de réduire la durée moyenne de thèse de 48 mois sur la période 2006-2009 à 43 mois sur la période 2010-2015. Cette durée est passée de 46 mois en 2010 à 40.6 mois en 2013 et 2014 et passerait à 40.5 en 2015.

Il est important de noter que la durée moyenne des thèses en cotutelle est de l'ordre de 4 ans. Cette durée s'explique par le fait que ces doctorants, en provenance d'Afrique du nord pour la plupart, ont de lourdes charges pédagogiques dans leur pays (200 à 300 heures par année). Par ailleurs, les doctorants en cotutelle sont intéressés par une carrière d'enseignants-chercheurs et tiennent absolument à avoir des publications de bonne qualité pour pouvoir réussir aux concours enseignant-chercheur de leurs pays respectifs.

Devenir des doctorants

Le tableau 3.4 indique le devenir des docteurs qui ont soutenu sur la période 2010-2014 à partir de leur situation actuelle ou celle attendue à la fin de l'année 2015. On constate que parmi nos récents docteurs, près de 36% sont employés dans le privé avec des missions principales en recherche et développement, 20.5% sont des enseignants-chercheurs permanents, en France et à l'étranger, et 24% sont en situation ATER ou de Postdoc (dont 6 Postdocs en Europe et au Canada). Les positions d'enseignants-chercheurs ou de Postdocs à l'étranger témoignent de la vitalité de nos collaborations avec les universités étrangères.

3.2.1 Politique d'accompagnement et d'encadrement des étudiants

Le GREYC a consenti un grand effort pour définir une politique de suivi des thèses de ses doctorants. Outre un encadrement de qualité, nous avons réussi plus particulièrement à sensibiliser nos HdR à la durée des thèses et au respect de la charte des thèses.

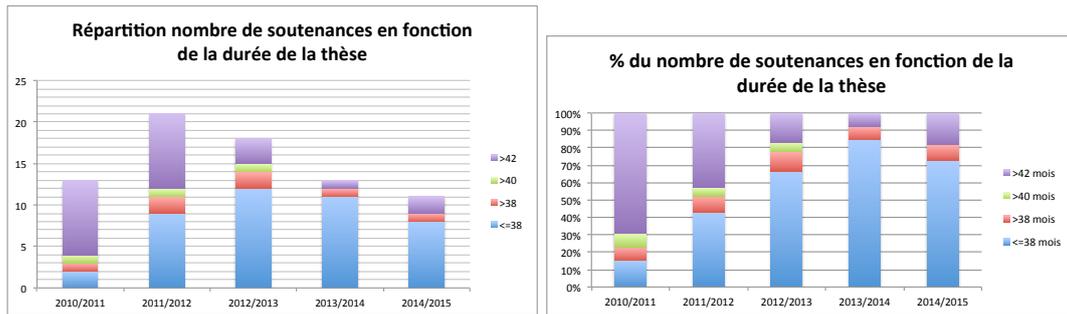


FIGURE 3.2 – Durée des thèses. Nous distinguons les thèses ayant duré moins de 38 mois (ne nécessitent pas de ré-inscription en 4^{ème} année), celles entre 38 et 40, celles entre 40 et 42 et celles d’une durée supérieure à 42 mois. La figure de gauche montre le nombre de soutenances par année universitaire et par durée. La figure de droite représente la même information mais représentée en pourcentage du nombre de soutenances.

Les doctorants

La politique d’accompagnement des doctorants est élaborée au sein des équipes du laboratoire sous la responsabilité scientifique du directeur de thèse ou d’un comité d’encadrement. Le comité d’encadrement est choisi à la fois en fonction des compétences des collègues et de la volonté à soutenir les collègues désireux de préparer une HdR. Les sujets de thèse sont présentés au comité scientifique pour apprécier les contributions scientifiques attendues et montrer la faisabilité des travaux sous-jacents sur une période de trois années. On notera que les sujets fédérateurs inter-équipes au sein d’un département ou du laboratoire sont particulièrement appréciés et peuvent être prioritaires.

Tous les doctorants accueillis au GREYC ont un financement. Ce dernier est issu des contrats doctoraux obtenus auprès de notre ED, des contrats du laboratoire, des universités étrangères ou des postes ATER. A titre exceptionnel, un financement est pris sur les recettes des projets d’une équipe à l’issue d’un financement principal.

Tous les doctorants publient leurs travaux dans des conférences et des revues et sont souvent en bonne position sur les publications. C’est le fruit d’une incitation permanente à la publication conformément à la politique scientifique du laboratoire. Les frais de mission des doctorants sont pris en charge par leur équipe, alors que les frais de déplacement des jurys de thèse sont pris en charge par la direction du laboratoire qui participe aussi à hauteur de 100 euros pour les pots des thèses.

Implication dans la formation doctorale

Le GREYC est également investi dans la formation doctorale dans le contexte de l’Ecole Doctorale SIMEM :

- Le directeur du GREYC est membre du conseil de l’ED, au sein duquel il participe à la définition et à la mise en place de mesures permettant un meilleur déroulement des thèses, une meilleure formation des doctorants et une meilleure insertion professionnelle.
- Elodie Portalier, doctorante au GREYC, est membre du conseil d’administration de l’association de doctorants OPTIC⁶. Elle est également en charge de l’organisation des manifestations pour les doctorants (journées de l’école doctorale, tables rondes sur l’insertion des

6. assoc-optic.fr

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
RBS	2	10	4	2	2	1
RBI	2	6	2	6	4	2
RPS	7	3	6	2	1	0
RPI	0	3	3	5	3	0
NBS	1	1	0	1	0	0
NBI	0	0	0	0	0	0
NPS	0	0	0	0	1	0
NPI	1	1	0	0	1	0
CHO	0	0	0	0	1	0
INA	0	0	0	0	0	0
DEC	0	0	0	0	0	0
INC	1	2	3	2	0	0
Total	14	26	18	18	13	3

TABLE 3.4 – Devenir des doctorants. **RBS** : Activité de recherche, dans le secteur public, engagement d'une durée supérieure à deux ans, **RBI** : Activité de recherche, dans le secteur public, engagement d'une durée inférieure ou égale à deux ans, **RPS** : Activité de recherche, dans le secteur privé, engagement d'une durée supérieure à deux ans, **RPI** : Activité de recherche, dans le secteur privé, engagement d'une durée inférieure ou égale à deux ans, **NBS** : Activité hors recherche, dans le secteur public, engagement d'une durée supérieure à deux ans, **NBI** : Activité hors recherche, dans le secteur public, engagement d'une durée inférieure ou égale à deux ans, **NPS** : Activité hors recherche, dans le secteur privé, engagement d'une durée supérieure à deux ans, **NPI** : Activité hors recherche, dans le secteur privé, engagement d'une durée inférieure ou égale à deux ans, **CHO** : Sans emploi, **INA** : Inactif, **DEC** : Décédé, **INC** : Situation inconnue.

doctorants, etc.).

- La mise en place d'un bilan de fin de première année, en présence d'un membre extérieur à l'encadrement de la thèse, a permis l'amélioration du suivi des thèses et a contribué à la réduction de la durée des thèses.
- La politique visant à confier les missions d'enseignement prioritairement aux doctorants en 1ère et seconde année a permis de réduire la durée des thèses. Le fait d'attribuer les postes d'ATER prioritairement aux doctorants ayant soutenu ou ayant un manuscrit rédigé a aussi contribué à réduire la durée des thèses.
- Depuis plusieurs années le GREYC veille à ce que toutes les fins de thèse soient financées. Les demandes de dérogation pour des quatrième années de thèse ne sont validées que si un financement est prévu pour l'ensemble de la fin de thèse.
- Enfin, il convient de noter que le directeur actuel de l'ED SIMEM, tout comme le directeur durant le prochain quinquennat, sont membres du GREYC.

Les étudiants de master ou PFE

Le laboratoire participe à la formation par la recherche des étudiants en accueillant des stagiaires issus des écoles d'ingénieur en seconde année et en PFE⁷ ainsi que dans le cadre des filières universitaires, i.e. Licences et Masters.

7. Projets de Fin d'Etudes

3.2.2 L'implication du GREYC dans les autres formations du site caennais

En plus des Masters, le GREYC est fortement impliqué dans les diverses formations du site caennais. Il est important de noter que le taux d'encadrement en automatique, informatique et électronique est relativement faible et que la plupart des enseignants-chercheurs du GREYC ont des responsabilités pédagogiques importantes aussi bien à l'UFR Sciences, dans les IUT de l'UCBN qu'à l'ENSICAEN. Ces lourdes charges et responsabilités pédagogiques, nécessaires pour le bon déroulement des enseignements, sont parfois réalisées par certains enseignants-chercheurs au détriment de leurs activités de recherche. La direction du GREYC milite pour une répartition équitable des responsabilités collectives.

Nous donnons ci-dessous la liste des formations où interviennent les enseignants-chercheurs et les chercheurs du GREYC.

ENSICAEN.

- Tronc commun
- Spécialités Electronique et Physique Appliquée : Tronc commun et Majeure SATE
- Spécialités Informatique de l'ENSICAEN : Tronc commun, Majeure Monétique et Sécurité Informatique et Majeure Image et Multimédia.
- Master Professionnel en Informatique

UCBN.

- DUT Mesures Physiques à l'IUT de Caen
- DUT Informatique à l'IUT de Caen
- DUT Réseaux et Télécoms à l'IUT de Caen
- DUT Génie Mécanique et Productique à IUT Alençon
- DUT Métiers du Multimédia et de l'Internet à l'IUT Saint-Lô
- Licence Professionnelle Microcircuits, cartes et applications
- Licence Professionnelle Activités et techniques de Communication – spécialité Webmestre
- Licence Professionnelle Conception et supervision des systèmes automatisés
- Licence Professionnelle Acquisition et traitement d'images
- Licence Professionnelle Audit et sécurité des réseaux
- Licence Sciences pour l'Ingénieur
- Licence Informatique
- Master Electronique, Electrotechnique, Ondes et Automatique
- Master Décision et Optimisation
- Master Réseaux et Sécurité des Systèmes Informatiques
- Master Traitement Automatique de l'Image et de la Langue
- Master Document Numérique en Réseau, Ingénierie de l'Internet
- ESIX formation d'ingénieurs Spécialités Systèmes Embarqués (Mécatronique et systèmes nomades)



4. Stratégie et perspectives scientifiques

4.1 Stratégie et perspectives scientifiques de l'unité

Le Groupe de Recherche en Informatique, Image, Automatique et Instrumentation de Caen (GREYC), tout comme son contexte, a beaucoup évolué au cours du dernier quinquennat. Il a cherché à préserver et à développer sa dynamique interne tout en maintenant une cohérence scientifique entre les thèmes de recherche de ses équipes, à conduire des projets de recherche innovants, à conforter une meilleure ambiance de travail et d'échanges scientifiques, à développer des compétences en matière de sciences de l'information et d'ingénierie des systèmes et favoriser l'émergence de nouveaux projets de recherche impliquant notamment plusieurs équipes. Il nous paraît important, à l'aube de ce nouveau quinquennat, d'analyser son positionnement afin d'en dégager une stratégie et des perspectives. Nous commencerons par présenter une analyse SWOT¹ à partir de laquelle nous positionnerons notre projet en termes de structuration, animation et gouvernance.

Ce projet est porté par la future direction du laboratoire, qui sera composée d'un directeur (Frédéric Jurie) et de deux directeurs-adjoints (Christophe Dolabdjian et Christophe Rosenberger).

4.1.1 Auto-évaluation

Forces

1. Recherches fondamentales et appliquées sur les problématiques des STIC autour de l'information et des systèmes ; composante pluridisciplinaire avec des actions interdisciplinaires dans le domaine des SHS, des interactions de l'informatique avec les mathématiques, avec l'EEA ou la santé, lui permettant de se positionner sur des thématiques prioritaires nationales ou européennes comme le développement durable, les services numériques, la santé, le "big data", etc.
2. Rôle structurant : plus grand laboratoire STIC de Normandie, la qualité de ses travaux en fait un acteur majeur de la recherche en Normandie ; en bonne synergie avec le LITIS² au sein de la fédération NormaSTIC³ ; implication de ses membres dans les pôles de

1. Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
2. Laboratoire d'Informatique, du Traitement de l'Information et des Systèmes (LITIS - EA 4108), unité de recherche dans le domaine des sciences et technologies de l'information de Haute-Normandie
3. <http://www.normastic.fr/>

compétitivité et les structures locales.

3. Rayonnement scientifique : très bonne production scientifique, tant par sa quantité que sa qualité, tant sur les aspects fondamentaux que sur les aspects appliqués ; visibilité scientifique internationale d'un bon nombre de ses membres ; ses équipes jouent un rôle important dans le paysage scientifique français ; forte implication dans les réseaux d'animation de la recherche (GDR, AFIA, AFRIF, fédération Normastic, etc.) ; un de nos membres est membre de l'IUF ; très actif dans l'organisation de colloques, conférences et d'écoles d'été internationales majeures des domaines concernés ; contribution à la diffusion de la culture scientifique auprès du grand public.
4. Implication dans les instances de recherche nationales : responsabilités de (et dans des) direction scientifique adjointe d'institut CNRS, comités d'évaluation ANR, comités d'évaluation HCERES, CNU, alliance ALLISTENE, etc.
5. Excellente activité contractuelle et de valorisation industrielle : grand nombre de contrats de collaboration scientifique, forte présence de doctorants CIFRE, Start-up incubées, projets ANR avec présence d'industriels, etc.
6. Forte implication dans les formations avec des retombées positives sur la recherche : présence de stagiaires de M2, vivier de doctorants sensibilisés à nos thématiques.

Points à améliorer

1. Dynamique de groupe, recherche de l'intérêt général (dans un cadre de développement du laboratoire, projet) : bien que le laboratoire soit très actif, l'implication des membres dans l'unité, le partage des tâches, la mutualisation de nos savoirs et compétences, la résolution collective des problèmes, l'émergence de nouvelles idées, la mutualisation des ressources (matérielles, financières, humaines, etc.), la mutualisation de nos savoir-faire au sein des plateformes pourraient encore être développés.
2. Mise en réseau, pérennisation de partenariats régionaux, nationaux ou internationaux : si les collaborations nationales sont riches et nombreuses (principalement à l'occasion de projets collaboratifs) elles doivent être consolidées et rendues plus pérennes ; les partenariats internationaux sont globalement à renforcer ; la participation à des sociétés savantes (IEEE, IAPR, etc.) doit être accrue ; nous devons adopter une position plus proactive dans les réseaux régionaux.
3. Diversification des sources de financement : les partenariats industriels peuvent encore être renforcés ; la participation à des contrats européens est encore faible au regard de la qualité des recherches que nous conduisons.
4. Politique scientifique sur des sujets transverses et sociétaux (le document numérique, les EMR, etc.) : elle est à coordonner au niveau du laboratoire et doit dépasser le niveau des personnes ou des équipes ; l'animation scientifique, en particulier dans les départements, est à renforcer.
5. Soutien individuel aux personnes (accueil des nouveaux entrants, suivi des carrières, déroulement des thèses et insertion professionnelle des doctorants) : il peut être amélioré ; la préparation au passage d'une HDR et à la prise d'autonomie scientifique doivent être renforcées dans certaines équipes.
6. Membres non ou faiblement produisant : malgré des progrès importants, un meilleur accompagnement des personnes en difficulté est encore nécessaire.
7. Politique de communication : elle est embryonnaire à ce jour et doit être renforcée.

Opportunités liées au contexte

1. Politiques nationales et contacts à l'international : la mise en réseaux de nos travaux, en particulier avec les plus importants centres de recherche sur nos thématiques est une bonne opportunité pour développer notre activité, en particulier dans le contexte actuel

où la Normandie n'est pas reconnue comme un site d'enseignement et de recherche à vocation mondiale par la politique nationale d'aménagement du territoire (pas d>IDEX en particulier) ; notre production scientifique de qualité doit nous permettre d'accentuer cette mise en réseau.

2. Structuration régionale : la COMUE, la Fédération Normastic, le rapprochement avec la fédération de Maths, la future Ecole Doctorale Math/Stic (ED MIIS), le partenariat avec les pôles de compétitivité en région constituent des atouts importants pour l'avenir. Une politique scientifique commune et volontariste, un partenariat étroit entre les unités de recherche concernées doit nous permettre de renforcer notre visibilité nationale. La création d'un service de valorisation au sein de la COMUE Normandie Université va encore dans ce sens.
3. Potentiel intrinsèque à l'unité de recherche : notre unité contient des chercheurs de renommée internationale, des membres occupant des responsabilités nationales variées, des membres experts en montage de projets, etc. ; l'expertise présente dans notre unité doit permettre, par une meilleure mutualisation de nos compétences, de faire globalement progresser notre structure sur l'ensemble de ces points.
4. Présence de formations en lien avec la recherche : les besoins en enseignement d'informatique et plus généralement en STIC devraient favoriser des recrutements sur les thématiques du laboratoire ; la création en 2017 d'une nouvelle ED MIIS peut renforcer l'attractivité du GREYC en matière de formation doctorale.

Risques liés au contexte

1. Financement de la recherche : la baisse des dotations de l'ANR, le gel de postes, les restrictions budgétaires font planer des risques sur la dynamique et le financement de nos recherches dans les prochaines années ; la difficulté des jeunes docteurs à trouver des postes de chercheur ou enseignant-chercheur fait hésiter les nouvelles générations à s'engager dans des études longues, telles les thèses ; les fonds Européens demeurent difficiles d'accès ; la recherche de contrats de collaboration peut nuire aux projets de recherche structurants des équipes et leur faire perdre leur identité.
2. Complexité administrative liée à la multiplication des tutelles : l'introduction d'un niveau administratif supplémentaire dans l'organisation de la recherche en région (COMUE) complexifie un système déjà ardu (CNRS, ENSICAEN, Université de Caen, Fédérations, COMUE, fusion des deux régions normandes) ; le classement des ATER par les A.C.S. en est un exemple.
3. Politique d'emploi : il faut trouver un bon équilibre entre recrutements extérieurs et promotion des enseignants-chercheurs ; la difficulté à trouver des doctorants de bon niveau s'accentue ; la baisse du nombre d'allocations doctorales s'accentue.
4. Politique nationale visant à renforcer les pôles de recherche à vocation mondiale : le maintien d'une recherche de haut niveau en STIC en Normandie peut être remis en question par la politique actuelle d'aménagement du territoire ; l'échec récent de notre projet d'I-SITE⁴ conforte ce risque.
5. Manque criant d'ITA et difficulté dans leur promotion : ces deux points constituent une menace sérieuse sur le fonctionnement de notre unité.

4.1.2 Animation scientifique et gouvernance

Bien que l'organisation interne de notre unité de recherche (centrée autour des équipes de recherche structurées en départements, services communs, plateformes, comité scientifique et conseil de laboratoire) soit fonctionnelle et l'ambiance de travail bonne, notre auto-évaluation

4. Initiatives d'excellence (IDEX) : Initiatives-Science – Innovation – Territoires – Economie

laisse apparaître des points à conforter. Ces derniers sont principalement : la nécessité d'accroître la dynamique de groupe et la recherche de l'intérêt général, le renforcement de l'animation scientifique, l'amélioration du fonctionnement des plateformes, des départements, ou encore de clarifier les liens entre le comité scientifique et le conseil de laboratoire. Nos propositions s'articulent autour de 3 points : la structuration, l'animation et la gouvernance.

Pour ce qui concerne la structuration, nos actions prioritaires sont :

1. Renforcement du rôle des départements : les départements joueront un plus grand rôle dans l'animation scientifique (organisation d'au moins deux demi-journées de travail par an sur des thèmes transverses).
2. Soutien à la création puis au renforcement des plateformes : nous mettrons en place une politique visant à favoriser l'émergence de plateformes sur la base d'appel à candidature (plutôt que de décider à l'avance de leurs contours comme cela avait été envisagé à ce jour). Les plateformes seront un élément de la communication du laboratoire et de la politique de valorisation de nos recherches.
3. Montée en puissance du service *Développement et Déploiement d'Applications* : créé en 2014 grâce à l'affectation d'un ingénieur d'étude par le CNRS, nous renforcerons son rôle dans la mise en place d'un socle organisationnel commun aux plateformes et l'associerons plus fortement aux démarches de valorisation. La participation des ingénieurs CDD sur projets permettra l'enrichissement des logiciels et outils mutualisés.
4. Création d'un statut de *membre associé* : pour les chercheurs / enseignants-chercheurs rattachés à une autre unité de recherche, mais ayant des liens durables avec le GREYC ; ils pourront disposer ponctuellement des ressources de l'unité (budget, équipements, locaux, etc.) ; liste des membres associés mise à jour annuellement, après avis du conseil de laboratoire ; personnes en contrat à durée déterminée (contractuels, stagiaires, doctorants, etc.), membres émérites, et PAST seront des membres associés.

Le laboratoire GREYC mène des activités de recherches fondamentales, méthodologiques et appliquées sur des problématiques autour de l'informatique, l'automatique et l'électronique. Il est souhaitable que ses membres partagent une culture et des valeurs communes, ce qui est un défi pour un laboratoire comptant près de 200 membres. Afin de favoriser le développement de cette identité, nous proposons plusieurs actions :

1. Renforcement de l'animation scientifique : par l'action des animateurs des départements, mais en donnant également une place plus grande aux séminaires. Nous renforcerons les journées du laboratoire en impliquant davantage de membres dans leur organisation et en veillant à construire des programmes encore plus attractifs.
2. Mutualisation accrue des financements : en complément à une répartition basée sur des indicateurs quantitatifs actuellement en vigueur (nombre de permanents, etc.), nous inciterons à une plus grande mutualisation des ressources (lors du montage de projets et durant l'exécution des projets) au sein des équipes, et aussi entre équipes.
3. Création d'un vivier de compétences : les compétences ou expériences spécifiques (acquises par certains d'entre nous, par exemple lors de la participation à des comités de sélection, au CNU, au CNRS, etc.) seront mises au service de la collectivité (sur la base du volontariat) : lecture des dossiers de candidature, de projets, etc. ; organisation de petits séminaires de formation basés sur le partage d'expérience (par exemple comment fonctionne le CNU, etc.).
4. Communication interne : Nous chercherons à valoriser les réussites des membres du laboratoire (résultats scientifiques novateurs, prix, distinctions, etc) en mettant la science et la culture scientifique en avant chaque fois que cela est possible.
5. Renforcement du système d'information interne : nous mettrons en place un dispositif plus dynamique et interactif permettant aux membres du GREYC d'accéder rapidement à une

synthèse des informations internes (historique de la répartition des moyens, suivis financiers, présence des personnels administratifs, agenda du laboratoire, dates clés, historique des différents dossiers, CR, etc.).

Nous proposons enfin les évolutions suivantes en terme de gouvernance :

1. Gestion de l'unité en *mode projet* : elle nous permettra d'adopter une gestion plus collaborative et transversale par la définition des priorités et la mise en place d'actions délimitées dans le temps, auxquelles sont associés des acteurs identifiés. Les objectifs / actions seront définis et révisés chaque année, à l'échelle des équipes et services communs, tout comme à l'échelle du laboratoire.
2. Comité scientifique et lien avec le conseil du laboratoire : le comité scientifique sera composé d'un noyau stable (responsables d'équipes + équipe de direction) auquel s'ajouteront des invités, en fonction de l'ordre du jour. Il se réunira mensuellement et se consacrera principalement aux questions de nature opérationnelle. Le conseil de laboratoire (4 réunions par an) formulera, quant à lui, principalement des avis sur la stratégie à long terme et la vie du laboratoire.
3. Nomination de chargés de mission via des appels à candidatures ouverts à tout le laboratoire ; nous chercherons ainsi à impliquer davantage des membres dans la vie de l'unité ; cela nous permettra d'avancer plus vite sur les dossiers en question.
4. Dans la continuité du précédent quinquennat, l'équipe de direction se réunira hebdomadairement.

4.1.3 Relations partenariales

Sur la période 2010-2015, les membres du laboratoire ont participé à plus de 210 projets collaboratifs impliquant des académiques et/ou des industriels. Ces collaborations scientifiques ont permis la production de nombreux résultats de recherche valorisés dans des publications et thèses conjointes contribuant à la visibilité du GREYC. D'un autre côté, l'ensemble des ressources financières du laboratoire entre 2010 et 2014 s'élève à 8,9 millions d'euros (voir Table 1.7). Sur cette période, 40 projets ANR ont été obtenus par le GREYC représentant une somme de 2,4 millions d'euros soit 27% des ressources financières du laboratoire. Cette dépendance aux financements de l'ANR est un risque identifié. Le GREYC collabore activement avec les industriels (19 thèses CIFRE et 60 collaborations industrielles sur le précédent quinquennat). Il est à noter que certains projets sont récurrents chaque année (Airbus, Orange Labs, Safran, Gemalto). Nous avons des coopérations internationales importantes (DARPA, NSF, ONR, EUREKA) mais ces ressources financières ne représentent que 7,9% de celles du laboratoire. Diversifier nos sources de financements et renforcer les financements extérieurs est devenu une réalité incontournable. Au delà de la question des financements, ces collaborations sont essentielles à la fertilisation croisée de nos recherches. Nos actions prioritaires dans ce domaine sont les suivantes :

1. Développer la collaboration avec nos partenaires académiques nationaux et internationaux (thèse en co-direction ou co-tutelle, stage de doctorants, invitation à des séminaires ou de séjours de professeur invité).
2. Renforcer nos liens avec nos cellules de valorisation (invitations à des comités scientifiques spécifiques, communiquer sur les appels à proposition).
3. Accroître notre présence auprès des collectivités et tutelles (systématiser la participation du GREYC aux différents évènements).
4. Mieux collaborer au sein de l'unité sur le montage des projets (collaborations scientifiques ou entraide pour le montage des dossiers) et mieux partager au sein de notre unité notre savoir-faire par la mise à disposition de ressources (pr exemple propositions de projets qui ont été financées).

5. Imaginer de nouvelles possibilités de transfert (plateformes par exemple).
6. Définir des conventions de collaboration avec des industriels ciblés pour pérenniser nos relations et les développer (chaires industrielles).

4.1.4 Positionnement régional, national et international

Sur le plan régional, le paysage scientifique est en pleine mutation : création de la fédération NormaSTIC, du réseau normand des systèmes complexes (STIC, SHS, Mathématiques et SPI), rapprochement avec la fédération Normandie-Mathématiques, montée en puissance de la COMUE Normandie Université, création de l'Ecole doctorale MIIS⁵, affirmation d'une politique de recherche en Région. Une mise en commun de nos forces en région doit nous permettre d'occuper une position forte sur le plan national entre les grands pôles de recherche que sont Lille et Rennes. De cette observation, découlent nos priorités dans ce domaine :

1. Nous impliquer davantage dans la fédération de recherche NormaSTIC et la faire vivre et accentuer la synergie entre les laboratoires Maths-STIC en région (GREYC, LITIS⁶, LMNO⁷, LMRS⁸, LMAH⁹, LMI¹⁰) ; nous organiserons annuellement une réunion des directeurs de ces laboratoires.
2. Renforcer notre implication dans les nouvelles structures normandes (direction d'école doctorale, implication dans les conseils de la COMUE, etc.) et être force de proposition dans les actions régionales.
3. Mettre en place une politique claire sur les thèmes scientifiques prioritaires en lien avec la politique régionale et la défendre activement auprès de la région (allocations de thèse, projets régionaux) ; contribuer à faire exister les STIC en région.

Sur le plan national, un fossé tend à se creuser entre les sites à vocation mondiale bénéficiant des initiatives d'excellence (IDEX, LABEX, etc.) et les autres, les premiers ayant plus de facilité à financer leur recherche. Il nous paraît essentiel de mettre en place une stratégie qui nous permette d'exister à l'échelle nationale. Dans ce domaine, nos priorités sont :

1. Renforcer notre implication dans les structures nationales : le GREYC est fortement impliqué dans les GDR : ISIS, MIA, IM, Robotique et MACS (animation, direction, responsabilités de thème). Nous devons continuer. Le GREYC doit également continuer son insertion dans les sociétés savantes (AFIA, AFRIF) et pôles de compétitivité (TES, MOVEO),
2. Renforcer notre implication dans les instances nationales (CNU, comité national CNRS, ANR, Allistene, etc.),
3. Etre force de proposition pour les futurs dépôts de projets structurants (I-SITE¹¹). Le projet I-SITE Normand déposé cette année n'a pas été retenu mais il sera retravaillé et re-soumis au prochain appel.

Enfin, bien que la visibilité internationale du GREYC (en tant qu'unité de recherche) demeure limitée, un certain nombre de nos membres ont une visibilité internationale, en raison de la qualité de leur recherche et/ou les recherches partenariales qu'ils ont su mettre en place avec des laboratoires étrangers. Des collaborations scientifiques internationales fructueuses, notamment la collaboration avec l'Amérique du Nord et l'Amérique Latine (projets DARPA & CNRS STIC-AMSUD par exemple) en sont de bons exemples. Nous renforcerons notre politique dans ce domaine en adoptant les priorités suivantes :

5. Normande Mathématiques, Informatique, Ingénierie des Systèmes
 6. Laboratoire d'Informatique, du Traitement de l'Information et des Systèmes
 7. Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme
 8. Laboratoire de Mathématiques Raphaël Salem
 9. Laboratoire de mathématiques appliquées du Havre
 10. Laboratoire de Mathématiques de l'INSA de Rouen
 11. Initiatives d'excellence (IDEX) : Initiatives-Science – Innovation – Territoires – Economie

1. Inciter et aider les membres du GREYC à postuler sur les appels ERC en y impliquant leur équipe de recherche, ce qui semble à la portée de certains de nos membres.
2. Avoir une démarche proactive au niveau européen pour faire partie de projets collaboratifs H2020, INTERREG, EUREKA (faire connaître notre volonté de participer à des projets, exploiter les cellules Europe de l'Université de Caen).
3. Poursuivre l'effort d'organisation de conférences internationales,
4. Accentuer notre implication dans des sociétés savantes internationales (EURASIP, IAPR, IEEE, IFIP, etc.).

4.1.5 Accompagnement et stratégie des équipes

Une réflexion interne sur les périmètres scientifiques des équipes a conduit au maintien des périmètres actuels de 7 des 8 équipes : AMACC, CODAG, MAD, HULTECH, Image, Monétique & Biométrie et Electronique. Concernant l'équipe Automatique, des problèmes relationnels majeurs nous ont conduit à une restructuration en deux équipes autonomes : l'équipe *Automatique Infini-Dimensionnelle et Applications* (AIDA) et l'équipe *Automatique & Télécom* (A&T). Tant le comité scientifique du laboratoire que l'INS2I du CNRS, qui a été impliqué dans la gestion de cette crise, ont conclu que cette solution était la seule issue possible. Le GREYC accompagnera l'ensemble de ses équipes durant le prochain quinquennat, et se focalisera particulièrement sur les points suivants :

- AmacC : équipe de référence en algorithmique et complexité, possédant grâce à ses résultats scientifiques une très bonne visibilité nationale, souvent internationale ; l'équipe possède également une excellente insertion dans la communauté nationale ; AmacC est fragilisée par de nombreux départs (promotions PR et départs en retraite). Nous pensons que cette équipe doit être renforcée par le recrutement d'une part, d'un PR afin de maintenir les capacités d'encadrement de l'équipe, et d'autre part d'un MCF afin de palier à un possible départ. Le GREYC doit également accompagner cette équipe dans : 1) la mise en place d'une stratégie en vue d'augmenter son nombre de doctorants, 2) la pérennisation de son groupe de travail dans le but de dynamiser et renforcer les collaborations internes, 3) l'intensification de sa participation régionale aux thématiques de sécurité, 4) le développement de sujets d'ouverture dans le département IAA.
- CODAG : l'équipe a été créée en 2011 et son positionnement scientifique, mettant en avant les interactions entre ses thèmes, s'est avéré pertinent ; sa production scientifique s'appuie sur des publications dans des conférences et des revues internationales de très grande qualité ; elle va être renforcée cette année par un nouveau MCF, mais se trouve fragilisée par le départ (disponibilité) du PR responsable d'équipe et par la manque de doctorants. Le GREYC doit l'accompagner dans la réalisation de sa politique, qui comprend en particulier : 1) la mise en place d'une stratégie en vue d'augmenter son nombre de doctorants (le recrutement de doctorants "CIFRE" semble possible compte tenu du positionnement scientifique), 2) la mise en place de nouvelles collaborations avec les équipes Image (fouille d'images), Hultech et les SHS (documents), AmacC (analyse des algorithmes de fouille), 3) la mise en place de nouveaux contrats de collaboration.
- MAD : équipe dont les thématiques de recherche, allant des applications vers les modèles formels et leur traitement algorithmique, lui permettent de nombreuses collaborations tant académiques qu'industrielles ; production scientifique dans les conférences internationales du meilleur niveau, forte attractivité et visibilité, tant sur le plan national qu'international ; MAD possède également une vie et culture d'équipe très développées ; le GREYC doit encourager l'équipe dans sa volonté d'intensifier sa production scientifique dans des revues internationales et dans sa politique de valorisation des logiciels.
- HULTECH : a effectué un travail conséquent de repositionnement scientifique et a mis en

place une politique scientifique audacieuse qui porte ses fruits (production scientifique) et lui a permis de retrouver une très bonne dynamique ; elle est bien reconnue dans la communauté scientifique sur les aspects recherche dans le web et extraction d'information ; ses thématiques (temporalité, sémantique, interface) sont porteuses ; l'équipe est fragilisée par le départ (promotion externe) d'un MC HdR et par les changements de responsable d'équipe. Il nous paraît important : 1) de la soutenir par le recrutement d'un MCF dans un avenir proche, 2) de continuer à l'aider à maintenir son cap scientifique.

- Image : équipe ayant une production scientifique importante (en qualité et quantité), une bonne reconnaissance nationale et internationale sur plusieurs thématiques et une forte capacité à attirer d'excellents candidats extérieurs ; elle a une très bonne activité contractuelle, une forte implication dans la diffusion de la culture et dans le développement logiciel. Nous soutiendrons cette équipe 1) dans le renforcement de sa culture d'équipe, 2) dans le renforcement de son implication dans des programmes européens.
- Monétique & Biométrie : équipe jeune et sur une bonne dynamique (effectif, production scientifique, relations partenariales, reconnaissance internationale) ; l'accroissement rapide des effectifs de l'équipe s'explique en grande partie par le fait que 3 membres d'autres équipes sont venus la rejoindre durant le précédent quinquennat. Un des défis sera de stabiliser et de faire travailler ensemble des personnes arrivant d'horizons et de cultures différents. Nous accompagnerons cette équipe dans la réalisation de ses objectifs : 1) la poursuite de son effort dans l'amélioration de la qualité de sa production scientifique 2) le renforcement de ses collaborations avec les autres équipes du GREYC, 3) le suivi des membres faiblement produisant.
- AIDA est une nouvelle équipe qui s'est positionnée sur un programme scientifique ambitieux ; cet objectif comporte des risques. Le GREYC devra l'accompagner dans la réalisation de ce programme scientifique en 1) veillant à ce que tous les membres puissent y contribuer (ce qui nécessite pour certains une reconversion thématique) 2) l'aidant à renforcer son activité partenariale, 3) l'aidant à recruter davantage de doctorants, 4) veillant à ce que des MCF de l'équipe aient pour objectif de passer l'HDR et prendre de l'autonomie scientifique (à ce jour, aucun des MCF n'est HDR).
- Automatique & Telecom : s'inscrit dans la continuité des travaux de l'ancien groupe Automatique de l'ENSICAEN. Elle va ainsi s'appuyer sur une ligne scientifique pour laquelle elle bénéficie d'une reconnaissance certaine, due en particulier à sa bonne production scientifique. Nous accompagnerons cette équipe 1) dans sa politique de recherche de nouveaux contrats, 2) dans la mise en place de sa stratégie sur les énergies marines renouvelables 3) dans la nouvelle dynamique de recherche des MCF et dans leur accompagnement vers la soutenance de leur HDR. Ce dernier point est d'autant plus critique que l'un des deux PR l'équipe est susceptible de prendre sa retraite durant le prochain quinquennat.
- Electronique : l'équipe a une très bonne production scientifique, une bonne reconnaissance internationale sur plusieurs thématiques et une activité partenariale conséquente, notamment à l'international. Le GREYC l'accompagnera dans 1) l'accroissement de son vivier de doctorants, 2) dans le renforcement des liens entre développement de capteurs et le développement d'instruments 3) le soutien à l'expérimentation.

Durant le prochain quinquennat, le nombre de départs en retraite devrait se situer autour de 3 MCF (CODAG, 2xHULTECH), 1 CR (HULTECH), 1 PAST (M&B), 3 PR (AMACC, A&T, M&B). Compte tenu des incertitudes sur les dates de ces départs en retraite (qui pour la plupart sont relativement éloignés), des incertitudes liées à des départs pour promotions externes et des incertitudes quant aux politiques d'emploi des établissements, il ne nous semble pas raisonnable, au moment où nous écrivons ces lignes, d'établir une politique d'emploi plus précise que la vision stratégique évoquée ci-dessus : 2 PR dans le département IAA (l'un ouvert largement sur

l'intelligence artificielle, l'autre pour renforcer la capacité d'encadrement d'AMACC) et deux MCF pour les équipes HULTECH et AMACC. Cette politique sera affinée au cours du temps.

Concernant la définition des profils de postes d'enseignants-chercheurs, nous poursuivons d'une manière générale une politique basée sur le soutien 1) des activités fragilisées par des départs, 2) de l'excellence, 3) des projets inter-équipes (émergence de nouveaux thèmes), 4) de thèmes prioritaires au sens de la politique scientifique du laboratoire et 5) des activités dynamiques. Nous privilégierons d'une manière générale les candidatures extérieures au laboratoire tout en veillant toutefois à garder un bon équilibre avec les recrutements locaux.

4.1.6 Politique de ressources humaines

Nous avons mis en avant dans notre bilan la difficulté de certains membres à retrouver une dynamique de recherche forte et la difficulté que rencontrent nos ITA à accéder à des promotions. La bonne insertion de nos doctorants est également une de nos préoccupations. Nous noterons que les collaborateurs externes à l'unité n'ont pas actuellement de statuts clairs, ce qui soulève des questions vis-à-vis de l'accès aux ressources du laboratoire. De ces observations, il découle nos priorités pour le prochain quinquennat, que nous présentons en termes de mesures d'aide aux personnes et mesures de défense de l'emploi.

Aide aux personnes :

1. Politique d'aide aux promotions : mise en place de dispositifs d'aide à la préparation des dossiers de candidature à des promotions ; partage de retour d'expérience (partage de dossiers par exemple), relecture des dossiers par des membres de l'unité éclairés sur ces questions (membres actuels ou passés du CNU) ; idem pour l'obtention de qualifications, du dossier d'HDR, de concours IATOSS ou encore de promotions ; politique de renforcement de l'accompagnement des MCF vers l'HDR et plus généralement vers l'indépendance scientifique permettant ainsi de saisir des opportunités externes.
2. Renforcement de la politique d'aide aux membres *non produisant* ou *insuffisamment produisant* : les situations sont à discuter au cas par cas (santé, isolement, etc.) mais, d'une manière générale, nous mettrons systématiquement en place un dispositif d'aide spécifique adapté à la réalisation d'un projet de recherche. Ce dispositif, au sein duquel le responsable d'équipe jouera un rôle central, comprendra un suivi régulier (fréquence de 3 mois par exemple au début), la réduction des charges pédagogiques ou administratives (quand celles-ci font obstacle à la réalisation du projet de recherche), la réalisation d'un état de l'art, des présentations aux séminaires d'équipe ou de département, l'implication dans les projets collaboratifs de l'équipe (ANR, contrat de collaboration, etc.), la participation active à l'encadrement de stagiaires, aux comités d'encadrement des thèses et aux GDR. Le responsable d'équipe devra jouer un rôle clé dans ce dispositif. Le maintien d'un membre dans l'unité doit être validé par le responsable d'équipe et par la direction de l'unité, sur la base de la capacité du membre à s'impliquer d'une manière effective dans au moins un thème de l'équipe.
3. Mise en place d'entretiens individuels annuels, pour ceux qui le souhaitent, entre le responsable d'équipe (ou de service) et chacun des membres. Il permettra de faire le point sur la situation du membre, de pouvoir mieux anticiper certaines questions (promotions, passage de l'HDR, retraite, etc.) et de mettre en place des actions adaptées (CRCT, demandes de délégations, etc.).
4. Meilleur accompagnement des nouveaux arrivants : actions auprès de nos tutelles afin de favoriser les décharges de service ; désignation d'un parrain aidant à l'intégration au sein du laboratoire.
5. Mise en place de comités de thèse, en lien avec l'école doctorale, pour permettre un meilleur suivi du travail des doctorants, incluant un regard extérieur sur le travail, et

renforcer l'aide à l'insertion professionnelle des doctorants.

Défense de l'emploi :

1. Défendre nos besoins en postes auprès du CNRS : ITA, CR et DR ; mise en place d'une politique plus forte en matière de recherche de candidats CNRS (CR), en particulier mieux tirer partie de nos réseaux et d'événements comme les jurys de thèse, les séminaires, les conférences/workshops/écoles d'été, GDR, etc., pour attirer des candidats.
2. Maintien de l'emploi scientifique dans nos domaines : nous impliquer plus fortement encore dans les instances de décision de nos tutelles, en faisant valoir, en sus de la qualité scientifique de nos travaux, des spécificités telles que : nos collaborations interdisciplinaires avec les SHS et les sciences de l'ingénieur, nos collaborations industrielles autour d'une ingénierie des systèmes à haute valeur ajoutée, nos formations attractives à tous les niveaux académiques.

4.1.7 Rayonnement scientifique

D'un point de vue qualitatif, nous avons vu dans le bilan que nous publions dans les meilleures revues et conférences, pour la majorité des domaines scientifiques, et plusieurs contributions majeures ont été primées lors de conférences phares en informatique. D'un point de vue numérique, la production scientifique du laboratoire est passée de 2.5 à 3.5 publications par an et par personne, en moyenne. Le rapport des publications dans des revues internationales par rapport aux publications dans des conférences internationales est lui de 52% sur ce quinquennat contre de 37% sur le précédent. Ce travail résulte de la politique scientifique des équipes, que le laboratoire accompagne. Il nous paraît possible toutefois d'accroître le rayonnement de notre production par la mise en place de différentes actions :

1. Politique de mise en réseau : comme nous l'avons déjà souligné, s'associer avec les plus grands centres de recherche constitue un moyen efficace d'avoir des échanges scientifiques fructueux, de développer une recherche partenariale, de pouvoir bénéficier d'opportunités en matière de financement de la recherche ; il nous paraît important de renforcer cette politique.
2. Mise en place d'une politique de publication dans chacune des équipes : définition d'une liste de journaux et colloques dans lesquels l'équipe souhaite publier ; incitation à publier dans cette liste.
3. Politique d'incitation à la valorisation logicielle : des travaux comme G'MIC¹² constituent un exemple que nous aimerions voir suivi par d'autres membres du GREYC ; le GREYC développe de nombreux logiciels et codes scientifiques de valeurs qui pourraient être mieux valorisés ; le service de développement logiciel jouera un rôle clé dans cette politique.
4. Meilleure communication externe : désignation d'un responsable pilotant un réseau de correspondants dans les équipes ; organisation d'un séminaire ouvert sur l'extérieur présentant des contributions et des faits marquants du laboratoire en plus des séminaires réguliers des équipes et des départements (keynote speeches diffusés en streaming sur internet) ; mise en place d'un *show room* permettant de présenter de manière attractive des résultats de recherche et de faire des démonstrations ; mise en place d'une stratégie de communication en direction des structures environnant le GREYC (Université, départements CNRS, Collectivités, Écoles, etc.) et renforcement de la présence du GREYC à l'extérieur : collectivités, fête de la science, pôle de compétitivité ; optimisation de nos outils de communication : site Web, modèles (lettre, présentation, posters...), réalisation de feuille de poster type et de nouveaux supports : flyers, vidéos (compte Dailymotion, 1 an au GREYC), etc. ; meilleure mise en valeur de nos compétences et de nos résultats (presse, informations aux tutelles, collectivités, industriels, etc.).

12. GREYC'Magic for Image Computing

4.1.8 Formations par la recherche

Comme nous l'avons montré dans le bilan, l'offre de formation dans l'environnement du GREYC est riche : filière Mécatronique de l'ESIX, Masters EEA¹³ et Informatique (Décision et Optimisation ; Réseaux et Sécurité des Systèmes Informatiques ; Traitement Automatique de l'Image et de la Langue), DNR2I (Document Numérique en Réseau, Ingénierie de l'Internet) de l'Université de Caen Basse-Normandie, majeures Instrumentation avancée, Signal, Automatique et Télécommunications, Image et Multimédia et Monétique et Sécurité Informatique de l'ENSICAEN. Il faut que nous soyons vigilants à maintenir une cohérence entre l'offre de formation et la recherche que nous conduisons au GREYC. Il faut que nous veillions également au maintien d'une bonne compréhension mutuelle entre les enseignants de l'ENSICAEN de ceux de l'UCBN (les fonctionnements des deux établissements sont très différents). Enfin, la difficulté à recruter de bons étudiants en thèse doit certainement être prise en compte. Nous aurons trois actions prioritaires dans ce domaine :

1. Renforcer les liens entre enseignement (master/formations doctorales) et recherche, en particulier lors de l'élaboration des maquettes.
2. Améliorer les relations entre ENSICAEN et UCBN en veillant à la mise en place d'échanges de services, conduisant à une meilleure compréhension mutuelle des structures.
3. Mise en place d'une politique incitative dans le développement de partenariats avec des formations étrangères, participation à des enseignements dans des universités disposant de bons viviers d'étudiants.

4.2 Département Intelligence Artificielle et Algorithmique

4.2.1 Équipe Algorithmique, Modèles de calcul, Aléa, Cryptographie, Complexité

L'équipe garde la même organisation en trois thèmes, avec les mêmes dénominations, même si le thème « Protection et traitement de l'information » évolue dans son contenu.

- Thème 1 : Modèles de calcul et complexité descriptive.
- Thème 2 : Structures aléatoires et analyse d'algorithmes.
- Thème 3 : Protection et traitement de l'information.

Permanents, chercheurs et enseignants chercheurs Au 1er janvier 2016, il y aura un unique collègue A (qui partira en retraite en 2018) et 8 collègues B. Parmi ces collègues B, il y a deux titulaires de l'HDR dont l'un est CR CNRS. Jerzy Karczmarczuk prendra sa retraite au 1er septembre 2016 et n'apparaît donc pas ici.

Prénom et nom	Fonction	T1	T2	T3	Dates d'entrée/sortie
Ali Akhavi	MC UFR Sciences	✓	✓	✓	2000
Julien Clément	CR CNRS– HDR		✓	✓	2005
Etienne Grandjean	PR UFR Sciences	✓			1985 – 2018
Thomas Largillier	MC IUT Caen		✓	✓	2014
Loïck Lhote	MC ENSICAEN		✓	✓	2007
Ionona Ranaivoson	MC UFR Sciences	✓			1991
Gaétan Richard	MC UFR Sciences	✓		✓	2009
Véronique Terrier	MC UFR Sciences – HDR	✓			1991

Membres associés

13. Electronique, Electrotechnique, Ondes, Automatique

Prénom et nom	Statut	T1	T2	T3	Date d'entrée
Marc Girault	Orange Labs			✓	2010
Sébastien Canard	Orange Labs			✓	2010
Florent Madelaine	Mis à disposition		✓		2015
Jacques Madelaine	Collaborateur		✓		2014
Sylvain Peyronnet	PR en disponibilité		✓	✓	2014
Brigitte Vallée	DR émérite CNRS		✓	✓	2015

Florent Madelaine est mis à disposition par l'université de Clermont-Ferrand en 2015-2016 (pour une durée de 20 mois) ; nous souhaitons prolonger cet accueil, et nous l'incluons donc dans notre projet.

Doctorants. Le faible nombre des doctorants est très préoccupant.

Prénom et nom	Financement	T1	T2	T3	Date d'entrée
Nicolas Bacquey	CNRS + Région	✓			oct. 2012
Jean Creusefond	Ministère		✓	✓	oct. 2013
Dimitri Darthenay	Ministère		✓	✓	oct. 2015
Pablo Rotondo	ANR DynA3S (associé)		✓		oct. 2015

Analyse SWOT

Points forts et opportunités

- un rôle de référence en algorithmique et complexité au sein du laboratoire, surtout dans les thématiques du thème « Modèles de calcul et complexité descriptive » ;
- une réelle vie d'équipe ;
- une participation dynamique à la vie du laboratoire, via l'organisation du séminaire Algo (qui se veut plus large qu'un séminaire d'équipe) ;
- des résultats scientifiques bien diffusés et fondés souvent sur des approches originales ;
- une très bonne visibilité nationale, souvent internationale ;
- une excellente insertion dans la communauté nationale (GdR IM et projets ANR) ;
- beaucoup de thèses (8) et d'habilitations (4) soutenues durant la période.
- le recrutement de la paire PR +MC a été une occasion d'ouvrir le profil de l'équipe, et nous voulons conserver cette ouverture malgré le départ du professeur en développant les interactions avec son entreprise ;
- le renforcement des interactions entre thèmes « Modèles de calcul et complexité descriptive » et « Structures aléatoires et analyse d'algorithmes », qui se concrétise aussi par la remise en route du groupe de travail ;
- le rôle des membres associés d'Orange et la complémentarité avec l'équipe « Monétique et Biométrie » en matière de sécurité (organisation du séminaire Cryptographie & Sécurité, interactions dans le Master E-Secure).

Points faibles et risques

- la multiplicité des changements en personnel qui sont intervenus, et leurs répercussions sur les thématiques de l'équipe ;
- le départ des spécialistes de protection de l'information, qui affaiblit le thème « Protection et traitement de l'information » ;
- l'affaiblissement très problématique de l'encadrement, avec actuellement deux collègues A (une DR qui devient émérite en 2015, l'autre collègue A qui prend sa retraite en 2018).
- de fortes interactions culturelles entre les thèmes qui, pourtant, ne se concrétisent pas par des publications communes ;
- une adéquation difficile entre le profil de l'équipe et celui des étudiants ; Il s'ensuit un recrutement local de doctorants difficile, pour cette équipe où le bagage des étudiants doit comporter une base importante de mathématiques. L'équipe doit beaucoup compter sur son insertion nationale (ou internationale) pour le recrutement de doctorants.

- une certaine difficulté à diffuser, au sein du laboratoire, les thématiques autour de l’analyse et la complexité en moyenne du thème « Structures aléatoires et analyse d’algorithmes », alors que celles, relatives à la complexité dans le pire des cas, du thème « Modèles de calcul et complexité descriptive » sont mieux comprises ; c’est explicable car le type de mathématiques utilisé dans le thème « Structures aléatoires et analyse d’algorithmes » est plus loin du centre de gravité de la culture du laboratoire.

Stratégie

Conforter les points forts

- L’équipe AmacC joue un rôle dynamique dans l’animation locale, via l’organisation du séminaire Algo qui est l’une de ses réussites. Elle veut continuer à s’y investir.
- L’équipe est une des équipes de province sur lequel le GdR IM peut s’appuyer, alors que l’informatique mathématique se concentre de plus en plus dans les grands centres. Nous voulons continuer à nous investir dans la vie scientifique et organisationnelle de ce GdR.
- Nous avons eu de très bons succès dans nos dépôts de projets ANR durant la période écoulée. Nous comptons montrer le même dynamisme dans la période future dans une conjoncture sans doute plus difficile.
- Nous sommes bien insérés dans la communauté internationale AofA (*Analysis of Algorithms*). Nous sommes particulièrement actifs en Amérique du Sud, où nous développons des collaborations très fructueuses, en particulier au sein du LIA Infinis. Nous continuerons à nous y investir, et nous développerons nos collaborations avec Taïwan.
- Nos publications sont de qualité, et nous voulons continuer cette politique de publications, et accentuer notre effort en publiant plus de résultats intermédiaires dans les grandes conférences internationales du domaine.

Pallier les points faibles et faire face aux risques :

- En 2018, il n’y aura plus de membres collègues A dans l’équipe¹⁴. Le recrutement d’au moins un PR est indispensable et urgent.
- Le nombre de doctorants (et de post-doctorants) est beaucoup trop faible : il faut profiter de notre bonne insertion aux niveaux national et international pour recruter des étudiants.
- Afin de dynamiser et de renforcer les collaborations et interactions entre thèmes, nous avons remis en route le groupe de travail ; il faut maintenant le pérenniser.
- Nous devons conserver et dynamiser notre participation régionale aux thématiques de sécurité en renforçant les liens avec le groupe d’Orange Labs, l’équipe Monétique et Biométrie et le laboratoire LITIS (au sein de Normastic) ;
- Nous devons conserver notre ouverture en algorithmique plus appliquée notamment via les collaborations avec *ix-Labs* et, plus généralement, via les thématiques du thème 3 « Protection et traitement de l’information ».
- Il faut aussi développer les sujets d’ouverture au sein du département IAA, comme le PEPS HYDRaTA avec l’équipe CODAG ou l’étude en moyenne de protocoles multi-agents avec l’équipe MAD. Cela permettra de renforcer la cohérence du département.

B. Projet de recherche de l’équipe AMACC

Comme pour le bilan, la description qui suit constitue une version résumée d’une version plus longue, un peu trop longue peut-être, compte tenu des critères AERES, mais qui nous semble aussi plus informative scientifiquement, et que le lecteur intéressé pourra trouver à l’adresse

<http://clementj01.users.greyc.fr/hceres/amacc-hceres.pdf>

14. Nous pouvons compter par ailleurs sur la promotion DR de J. Clément.

B.1. Thème 1 : Modèles de calcul et complexité descriptive

Description générale. L'activité du thème s'organise autour de quatre volets.

Le volet 1 regroupe des travaux sur l'algorithmique et les classes de complexité des automates cellulaires. C'est la suite directe des travaux en cours, avec un focus sur les automates cellulaires à comportement complexe, et les petites classes de complexité. Le groupe étudie ainsi le comportement et l'utilisation de ces automates cellulaires, et notamment ce qu'ils permettent de modéliser en tant que systèmes dynamiques. Il s'agit toujours, au travers de problèmes spécifiques, de développer les outils algorithmiques propres à ce modèle de calcul massivement parallèle.

Le volet 2 est dédié à la « Tight Complexity », plus particulièrement dans le cadre des automates cellulaires et des problèmes probabilistes. Il s'agit de relier, de façon la plus précise possible – *tightly* –, d'une part, l'algorithmique et l'analyse des algorithmes, et d'autre part, la complexité algorithmique : complexité définie donc à une constante multiplicative près, $O(n)$, $O(n \log n)$, $O(n^2)$, etc. Cela passe bien sûr par l'étude précise des modèles de calcul – RAM, automates cellulaires, essentiellement – et leur algorithmique, mais aussi par la complexité descriptive qui donne une caractérisation logique des classes de complexité, et établit donc leur caractère intrinsèque, indépendant des machines. Ces dernières années, nous avons étudié la complexité précise des problèmes d'énumération (délai constant ou linéaire sur RAM), puis, plus récemment, la complexité linéaire des automates cellulaires *non déterministes*. Notre objectif maintenant est, d'une part, de caractériser en logique la classe du temps linéaire des automates cellulaires *déterministes*, d'autre part, de mieux cerner et unifier la « tight complexity » (sur RAM) des problèmes *probabilistes*, intégrant à la fois les aspects Las Vegas et Monte-Carlo.

Le volet 3 est dédié à l'étude des CSP infinis et de fragments de la logique monadique du second ordre. De tels fragments sont réapparus récemment en bases de données et en représentation des connaissances avec la notion de « requête hybride ». Pour les CSP, la *conjecture de la dichotomie* énoncée par Feder et Vardi stipule que tout problème de contrainte est soit facile (dans P) soit difficile (NP-complet). Il serait intéressant de savoir si ces fragments suivent une dichotomie entre P et NP-complet.

Le volet 4 définit un point de vue symbolique (via des systèmes de réécriture) sur les algorithmes. Un algorithme est un système dynamique qui, à partir de la donnée d'entrée, effectue une séquence de transformations élémentaires jusqu'à obtenir le résultat. Ici, cet ensemble de transformations élémentaires devient l'alphabet et une exécution s'écrit alors comme un mot sur celui-ci. Nous souhaitons traduire les propriétés classiques des systèmes de réécriture (notamment une mesure de la localité de ces règles) en terme de propriétés des algorithmes associés. Un des objectifs de ce travail est également de relier la complexité des algorithmes à la croissance de leurs groupes d'automorphismes.

B.2. Thème 2 : Structures aléatoires et analyse d'algorithmes

Comme dans la période précédente, l'activité du thème s'organise autour de quatre volets.

Le volet 1 est méthodologique et regroupe des travaux généralistes en combinatoire analytique. Ce volet évolue notablement et cherche à aborder des questions générales sous un angle unificateur. La combinatoire analytique, surtout quand elle s'applique à des algorithmes ou des structures de texte, adopte souvent une démarche indirecte et, souvent, peut prendre plusieurs chemins en fonction des méthodes utilisées (dont les noms sont la transformée de Mellin, les formules de Rice et de Newton). Nous souhaitons donc comparer les méthodes d'analyse en profondeur afin de les comparer. Un autre aspect méthodologique est lié à l'irruption assez intrigante dans des travaux récents de lois bêta et nous souhaitons mieux comprendre le cadre algorithmique générique où peuvent apparaître de telles lois, en exhibant –comme on le fait pour les lois gaussiennes– des conditions sur les séries génératrices bivariées (et leurs singularités) qui conduisent à de ces lois. Enfin dans notre cadre original de la combinatoire dynamique, nous

travaillons naturellement avec des séries génératrices de type Dirichlet, et nous pourrions revisiter toutes les approches classiques de génération aléatoire, qui utilisent des séries génératrices classiques pour les adapter aux séries génératrices de Dirichlet de notre contexte ¹⁵.

Le volet 2 est dédié à l'analyse probabiliste des algorithmes du texte et de la fouille de données, dans la lignée de la période précédente. Il y a deux thématiques liées à ce volet : la première s'attache à l'étude précise de sources qui produisent des mots (à travers la modélisation de sources, les calculs de taux d'entropie, y compris lorsque le processus est d'entropie de Shannon nulle); une autre thématique cherche à analyser les comportements moyens des structures construites à partir de telles sources ainsi que les algorithmes qui les manipulent. Les objets d'étude sont variés : algorithmes de tri et de recherche sur des données textuelles, hypergraphes et mots sturmiens.

Le volet 3 est dédié à l'analyse probabiliste des algorithmes en arithmétique. Il s'agit de revisiter l'analyse d'algorithmes classiques de la dimension 1, mais aussi de tenter des analyses en dimension supérieure. Récemment, plusieurs travaux reprenant des résultats déjà obtenus par l'équipe utilisent la méthode dite « des moments » pour l'analyse en moyenne d'algorithmes classiques de calcul de pgcd. Nous aimerions confronter notre approche à celle-ci pour en comparer avantages et inconvénients. Des algorithmes arithmétiques résistent encore à une analyse complète (tel l'algorithme SRT du nom de ses auteurs) par nos méthodes dites d'analyse dynamique et constituent donc un challenge intéressant auquel nous souhaitons nous attaquer. Enfin un autre défi est de passer à la dimension supérieure en analysant les algorithmes d'Euclide multi-dimensionnels qui calculent des approximations rationnelles simultanées (algorithmes de Jacobi-Perron, Brun, Selmer-Euclide...), et sont utilisés en géométrie discrète par exemple.

Le volet 4 est dédié aux approches probabilistes de l'algorithmique des grands systèmes. Les recherches que nous avons menées jusqu'ici mettent en place des méthodes qui déclassent l'effet des votes malicieux au sein des sites web communautaires. Nous voulons maintenant mettre en place des méthodes collaboratives de classement, élection, détection du webspam, et cherchons à utiliser des concepts issus de la théorie des jeux. Ces méthodes devront être robustes, c'est-à-dire insensibles à l'action d'une minorité d'utilisateurs malicieux. Il existe déjà quelques travaux embryonnaires, mais surtout une abondante littérature (dans le domaine de la théorie de la décision en économie, et notamment dans la théorie du choix social) qui aborde des problèmes similaires, et nous voudrions l'adapter à notre contexte particulier.

B.3. Thème 3 : Protection et traitement de l'information

L'activité du thème s'organise en trois volets, déjà présents lors de la période précédente, auquel s'ajoute un quatrième volet regroupant les nouvelles activités en informatique musicale ainsi qu'en sciences des données.

Le volet 1 est dédié à l'étude amont des objets cryptographiques et se concentre sur deux objets principaux : les fonctions booléennes et surtout les réseaux euclidiens. Nous voulons d'abord continuer l'analyse de fonctions booléennes, dans un cadre un peu différent (celui des diagrammes de décision binaire). Nous voulons réfléchir aux réductions entre problèmes « pire-cas, cas-moyen » qui sont utilisées dans l'étude de la difficulté de problèmes de la « crypto-réseaux ». Enfin nous projetons surtout de nous attaquer à deux études autour des réseaux euclidiens et de leur réduction : étude du pire des cas de la dimension 3, modélisations simplifiées des réseaux et de leur réduction. Le recentrage sur l'objet « réseaux euclidiens » est motivé par le rôle croissant des réseaux euclidiens en cryptographie et par les compétences historiques de l'équipe.

15. Les thématiques de ce volet sont très présentes dans un nouveau projet ANR auquel l'équipe participe. C'est le projet ANR MetaConc « Méthodes analytiques non-conventionnelles en Combinatoire » de l'appel « Projets de Recherche Collaborative – International » entre France et Taiwan, accepté à la session 2015.

Le volet 2 est dédié aux protocoles cryptographiques. La cryptographie à base de réseaux euclidiens est en plein essor, et c'est ce qui justifie que nous conservions ce volet, même si à l'heure présente, aucun membre de l'équipe n'est spécialiste de ce domaine. Nous comptons ici sur la présence à Caen du groupe de Cryptographie Appliquée d'Orange Labs. C'est un partenaire historique de l'équipe et deux de ses membres sont associés à AmacC et ont co-encadré plusieurs thèses. Le Master E-Secure porté pour moitié par l'équipe (avec l'équipe de Monétique-Biométrie) et les interactions potentielles avec l'équipe de Monétique-Biométrie sont également des éléments qui soutiennent ce volet.

Dans le volet 3, les activités autour de l'internet des objets disparaissent, tandis que les recherches autour du web et de l'information géographique restent bien présentes. Dans le domaine du web, nous allons continuer à travailler sur la détection de communautés dans les environnements Web et réseaux sociaux, et sur le filtrage de contenu disponible sur le web. La plateforme ThemaMap offre une large palette de représentations visuelles des données statistiques géo-localisées et permet aussi de réaliser de nombreux calculs. Il reste néanmoins à intégrer d'autres opérateurs (calcul de résidus, quelques opérateurs d'analyse spatiale), et à utiliser du parallélisme (*threads*) pour améliorer les performances. Nous souhaitons également proposer de nouvelles fonctionnalités utilisant de manière original des systèmes dynamiques (par exemple pour détecter des frontières).

Dans le volet 4, l'équipe souhaite s'ouvrir à deux nouveaux domaines d'application : l'informatique musicale et à la recherche d'informations qui y est associée, et la fouille de données, en liaison avec les hypergraphes du thème 2 « Structures aléatoires et analyse d'algorithmes ».

En informatique musicale, nous souhaitons initier un projet autour de la recherche d'informations dans les représentations musicales (audio ou symboliques). Il s'agit de développer des outils mathématiques et informatiques pour formaliser des structures musicales, avec des applications qui concernent la transcription automatique, la recherche de motifs musicaux, l'analyse musicale. Concernant la fouille de données, le projet HYDRATA est un projet PEPS (Hypergraphes et Datamining : Algorithmes et Analyses probabilistes), porté par l'équipe et accepté en 2015. Il réunit des membres des équipes AmacC (J. Clément, L. Lhote et B. Vallée) et CoDaG (ainsi que d'autres équipes parisiennes). La structure d'hypergraphe est au cœur du projet, et est étudiée sous des angles complémentaires (combinatoire analytique et fouille de données). L'analyse d'algorithmes permettra sans doute d'expliquer finement les phénomènes qu'on observe en fouille de données sur des problèmes difficiles, dans le pire des cas ou en moyenne. Ceci ouvre à la voie à des améliorations algorithmiques ou à une meilleure compréhension de la structure fine des hypergraphes rencontrés en pratique.

4.2.2 Équipe Contraintes, Data-Mining, Graphes

Points forts, points faibles, risques et opportunités.

L'analyse SWOT de l'équipe CoDaG fait ressortir les points suivants.

Points forts.

- L'équipe, créée en 2011, s'est construite sur un projet original mettant en avant les interactions entre ses thèmes. Elle a su acquérir une visibilité sur ses activités comme en témoigne son bilan scientifique et, par exemple, possède une identité forte sur les thématiques contraintes et fouille et leur interaction.
- Sa production scientifique, avec des publications dans des conférences et des revues internationales de très grande qualité (e.g. conférences AAAI, CP, ECAI, ICDM, IDA, IJCAI, PAKDD ; revues *Artificial Intelligence J.*, *Theoretical Computer Science*, *Int. J. of Chemical Information and Modeling*).
- L'équipe partage une culture commune autour d'une solide modélisation formelle et des

applications. Ses activités bénéficient aussi des sollicitations venant des applications.

- L'équipe est bien insérée au sein de la fédération NormaSTIC (ANR en commun avec le LITIS, 2 stages de master co-encadrés entre le GREYC et le LITIS, co-animation de l'axe "Données, Apprentissage, Connaissance" de la fédération) et plus généralement au niveau régional notamment avec son activité en informatique chimique.
- Une bonne insertion dans la spécialité Decim du master informatique qui lui assure une diffusion de ses thématiques.

Points faibles.

- On constate une difficulté à trouver des financements qui conduit souvent à ce que de bonnes idées soient laissées en friche.
- Le nombre de doctorants (et de post-doctorants) est trop faible : en juillet 2015, il y a un seul doctorant à plein temps dans l'équipe (dont la soutenance est prévue en 2016) et un doctorant en cotutelle basé à Oran. Même si un doctorant sur un financement MESR et un autre doctorant en co-tutelle sont attendus en octobre 2015, cette situation ne permet pas à l'équipe de réellement développer ses thèmes de recherche.
- La valorisation logicielle et la diffusion des prototypes développés restent limitées.
- Une forte charge administrative des membres de l'équipe : la responsabilité d'une année de licence, d'une année de master, du master informatique, du département de LEA, du département d'informatique (cette dernière responsabilité s'arrêtant en octobre 2015).

Risques.

- La difficulté à obtenir du personnel et des financements pour mener à bien nos activités, un manque de forces est à craindre par rapport aux ambitions des projets.
- Notre volonté de travailler en lien avec des applications signifie qu'il est nécessaire de consacrer du temps pour appréhender les domaines applicatifs ainsi que pour le développement logiciel et l'expérimentation (ce travail est actuellement fait par les enseignants-chercheurs, doctorants et post-doctorants ou il n'est pas fait...).
- Les conséquences du départ d'Arnaud Lallouet en septembre 2015 (pour mener une activité de recherche dans le secteur privé) fragilisent dès le court terme les activités de l'équipe. Toujours en ce qui concerne la composition de l'équipe, mais les risques associés sont plus lointains, deux membres de l'équipe devraient soutenir prochainement leurs HDRs, ce qui pourrait signifier de nouveaux départs. Enfin, un des membres de l'équipe prendra sa retraite au 1er septembre 2016.

Opportunités.

- La demande industrielle en analyse et exploration de données pourrait donner lieu à des collaborations avec des entreprises et des thèses Cifre.
- Les thèmes de l'équipe sont importants par rapport aux enjeux technologiques et sociétaux dans un contexte pluridisciplinaire. Nous pouvons nous appuyer sur le dynamisme que connaît actuellement la science des données ainsi que le développement de structures comme le GDR Madics.
- La forte interaction avec le CERMN autour de la fouille de données pour la chimoinformatique joue un rôle de levier sur nos interactions régionales et au-delà. Plus généralement, les thématiques de recherche au niveau régional offrent plusieurs opportunités comme le traitement de données biomédicales (par exemple dans le cadre du projet ARCHADE ¹⁶) ou les collaborations avec le LITIS soutenues par la fédération NormaSTIC (nous travaillons au dépôt commun en 2015 d'un projet ANR avec le LITIS). À un niveau plus local, notre expérience avec les linguistes montre que les SHS sont un domaine particulièrement fructueux de collaborations et nous pouvons pour cela nous appuyer sur le pôle document

16. <http://archade.fr/>

numérique de la MRSH (Maison de la Recherche en Sciences Humaines, CNRS USR 3486, Université de Caen). Notre activité sur le sport électronique bénéficie d'une étroite collaboration avec des membres du Centre d'Etude Sport et Actions Motrices (EA 4260, Université de Caen) et du laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme (CNRS UMR 6139, Université de Caen).

- La fouille de données a un apport potentiel dans de nombreux domaines et le GREYC est un cadre favorable pour développer des collaborations : avec l'équipe Image (en vision par ordinateur), avec l'équipe HulTech (pour la découverte d'information dans les données textuelles), avec l'équipe Monétique et Biométrie (par exemple sur la détection de fraudes). Nos compétences sur les graphes et hypergraphes sont aussi intéressantes pour l'exploration de données textuelles ou la fouille d'images.
- Le département IAA offre aussi l'opportunité de contribuer à des sujets d'ouverture comme ceux du PEPS HYDRaTA (Hypergraphes et Datamining : Algorithmes et Analyses probabilistes). Ce projet, porté par l'équipe AmacC, étudie de façon fine les comportements d'algorithmes de fouille de données sur des problèmes difficiles dans le pire des cas et en moyenne.
- Le recrutement d'Albrecht Zimmermann en 2015 (poste MC à l'IUT de Caen).

Nous complétons cette analyse par quelques éléments généraux de stratégie.

L'équipe doit réfléchir à élargir *ses moyens de financement, notamment en recherchant des financements de thèses*. La cause première du déficit en doctorant est la raréfaction générale des allocations du ministère, qui conduit aujourd'hui au GREYC à une espérance d'un doctorant par HDR tous les 10 ans financé par une allocation ministérielle. Il est donc particulièrement nécessaire de se tourner vers d'autres financements, notamment privés, comme par exemple les thèses Cifre. Un premier objectif est d'augmenter la contractualisation afin de faire vivre les projets de l'équipe (un projet FUI devrait être prochainement déposé).

Un second objectif est d'augmenter la visibilité de l'équipe par *une meilleure diffusion des logiciels*. Nous comptons pour cela nous appuyer sur la récente cellule "développement" du GREYC. Un premier pas est la mise en ligne d'un site web dédié à la diffusion d'un logiciel de d'exploration du cube des skypatterns.

Un troisième aspect concerne le *renforcement de la dynamique d'équipe*. Nous avons travaillé en vue d'acquérir une culture commune, mais ce travail n'est pas si facile à maintenir surtout en raison de thèmes d'application, comme la chimie, qui nécessitent des compétences pointues longues à acquérir. Cependant, le groupe de travail "chémo-informatique" peut se targuer d'un franc succès puisqu'il réunit aussi bien des informaticiens de l'équipe CoDaG et de l'équipe Image que des chimistes du CERMN autour d'un séminaire quasi-mensuel. Ce fonctionnement reste à améliorer pour l'équipe. De même, l'implication des étudiants du master dans le groupe de travail de l'équipe est à renforcer.

Perspectives scientifiques.

L'équipe compte poursuivre ses grandes directions de recherche. En effet, CoDaG est une équipe jeune (création en 2011) et les résultats sur la période montrent que ses thèmes sont toujours en plein essor. Pour le prochain quinquennal, CoDaG veut adopter une structuration portant sur des triplets en interaction : Applications - Méthodes - Données (voir la figure 4.1). Les méthodes sont centrales et définissent l'identité de l'équipe autour de techniques formelles de fouille, de contraintes et de graphes. Un objectif de l'équipe est de continuer notre travail sur les méthodes et de contribuer à leur avancée. Pour cela, notre démarche fait appel aux données, qui peuvent être de nature complexe et hétérogène : bases de données, textes, séquences, traces, trajectoires, graphes, images... Les applications fournissent un cadre d'exercice pour les méthodes et permettent d'identifier de nouveaux verrous méthodologiques. Parmi les applications

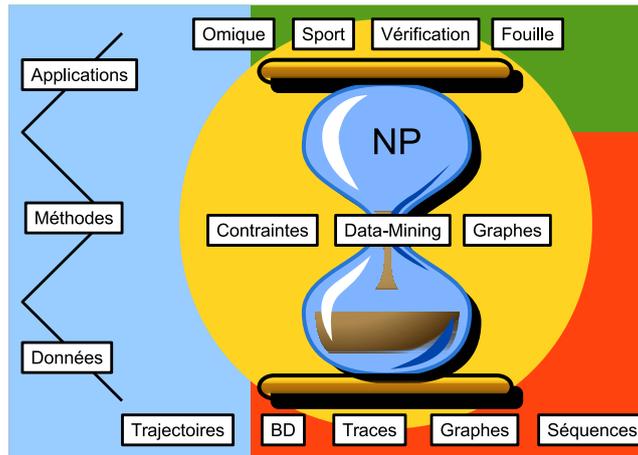


FIGURE 4.1 – Schéma d'action de Codag

visées, on trouve le traitement des données omiques, l'étude des trajectoires dans le sport, la vérification de programmes, ... Un objet d'étude de l'équipe CoDaG est ainsi un triplet AMD où A est une application, M une méthode et D un type de données.

Le projet de l'équipe est défini comme l'étude de triplets AMD que nous décrivons maintenant. On peut constater qu'une méthode peut parfaitement être un objet d'étude (i.e. une application) : la fouille, par exemple, est considérée comme une méthode lorsqu'elle s'applique à la chémoinformatique, mais comme un objet lorsqu'on cherche à développer des méthodes de contraintes pour l'étudier. Ces triplets partagent des éléments conduisant à des interactions entre les travaux à mener sur l'ensemble de ces triplets.

Fouille-Contrainte-Base de données

Cette activité considère le cadre déclaratif et générique de la modélisation de la programmation par contraintes (PPC) comme support pour la découverte d'ensembles de motifs en fouille de données. Nous comptons nous appuyer sur les résultats acquis pour proposer des contributions dans les directions suivantes qui correspondent à des verrous importants.

La notion de *préférence utilisateur* est encore peu utilisée en fouille de données, alors qu'elle permet à l'analyste d'exprimer plus facilement les requêtes qu'il pose au système de fouille (par exemple, exprimer l'optimisation simultanée de plusieurs mesures plutôt que définir des seuils associés à des contraintes). En faisant ressortir les motifs de compromis entre mesures, les skypatterns [155] (qui sont des motifs Pareto optimaux) sont un premier élément de réponse. Cependant, les mesures actuellement utilisées restent limitées et s'appliquent à des données transactionnelles. Comment concevoir et intégrer des mesures portant sur d'autres types de données comme les textes ou exprimant la connaissance du domaine ? D'autre part, les préférences sont supposées connues mais il serait intéressant d'effectuer un apprentissage de préférences ou même de contraintes.

À partir de nos travaux sur le cube des skypatterns, nous souhaitons mieux comprendre le rôle et l'apport de chaque mesure au problème étudié et mettre en place des méthodes de navigation entre les différents ensembles de skypatterns. Notre objectif, à plus long terme, est de concevoir des méthodes de fouille considérant des *cycles rapides* pour interroger les données et les motifs qu'elles contiennent plutôt que des cycles nécessitant de coûteux temps de calcul pour extraire des résultats plus ou moins pertinents. Nous pensons que cette stratégie est un élément de réponse au manque d'interaction entre les spécialistes en fouille de données et les experts des

domaines applicatifs, manque qui est un frein à la dissémination des méthodes de découverte de motifs. Ce mode d'interaction permet aussi de nouvelles ambitions comme la prise en compte de l'évolution des données (quel est l'impact de l'ajout ou du retrait de quelques données sur les ensembles solutions ?). Cet axe de recherche bénéficiera du travail mené dans le PEPS PRÉFUTE.

Une autre direction de recherche est la mise en place de *mécanismes d'optimisation* dans les processus de fouille de données afin de se focaliser sur les meilleurs motifs. Cette démarche est une façon à la fois de limiter le nombre de motifs et de se concentrer sur l'ensemble des motifs a priori les plus utiles. Notre objectif est que ces mécanismes d'optimisation soient exploitables de façon simple et déclarative.

La *représentation des données dans les approches PPC* est un verrou pour l'efficacité des méthodes de fouille fondées sur la PPC. En effet, toutes ces méthodes reposent sur un encodage booléen. La taille de cet encodage dépend du nombre de transactions du jeu de données et constitue un frein pour traiter des jeux de grande taille. L'objectif de la thèse de Valentin Lemièrre, qui démarre en octobre 2015, est de proposer de nouveaux encodages permettant le passage à l'échelle.

Fouille-Contraintes-Séquences

La fouille de séquences est bien connue pour poser de multiples défis algorithmiques. Nous nous proposons de revisiter cette tâche en nous appuyant sur le paradigme de la programmation par contraintes. Notre objectif est d'élaborer de nouvelles contraintes globales pour l'extraction de motifs plus riches tels que les sous-groupes pertinents ou encore les sky-séquences. Nous souhaitons aussi explorer l'autre direction de la fertilisation croisée entre la PPC et la fouille de séquences, à savoir *comment la PPC peut bénéficier des techniques d'élagage utilisées dans les algorithmes de fouille de séquences*. Un premier résultat [191] dans cette direction est la définition d'une nouvelle contrainte globale qui exploite le principe des bases projetées en fouille de données pour améliorer les performances de la PPC.

Fouille-Graphe-Base de données

L'aspect algébrique des graphes et des hypergraphes a subi un regain d'activité ces dernières années grâce notamment aux graphes d'expansions. Néanmoins la théorie des groupes continue d'être très utilisée afin d'explicitier les propriétés des graphes et des hypergraphes. Dernièrement, avec l'Institut Camille Jordan, nous avons introduit de nouveaux groupes associés aux graphes. Nous espérons développer les propriétés de ces groupes afin d'éclairer des problèmes liés aux graphes tels que l'hamiltonicité, la planarité, . . . Par ailleurs, avec TelecomParisTech, nous développons des notions très proches des espaces métriques et cela pour comprendre des objets de géométrie discrète. Dernièrement, nous avons introduit un type de complexité algorithmique associé aux compacts d'un espace métrique. L'étude plus poussée de ce genre d'invariant devrait être centrale dans notre travail futur. D'autre part, la structure d'hypergraphe est au coeur du projet HYDRaTA (Hypergraphes et Datamining : Algorithmes et Analyses probabilistes) porté par l'équipe AmacC. Ce travail devrait permettre une meilleure compréhension des algorithmes de fouille.

Texte-Fouille-Séquences

Nous souhaitons poursuivre notre activité sur la fouille de données textuelles. Les résultats obtenus pour croiser les méthodes de fouille de données (notamment la fouille de motifs séquentiels) et le traitement des langues vont être généralisés. *Sur le plan des données*, il s'agit de traiter de corpus hétérogènes ou bruités comme les dialogues oraux (cas d'étude du projet ANR NARECA). Pour cela, une piste est de relâcher localement la contrainte d'ordre entre éléments du texte. *Sur le plan des méthodes*, l'objectif est de développer des techniques de fouille

intégrant des résultats du traitement automatique des langues (telles que des annotations et des enrichissements textuels) pour des applications comme la détection de ruptures ou de tendances dans les textes.

Omique-Fouille-Graphes

Nous allons nous concentrer sur deux problèmes posés en traitement de l'information médicale : *la fouille de données pour la conception de médicaments en polypharmacologie et l'aide à la découverte de connaissance en biologie systémique*. Les méthodes de fouille appliquées à la polypharmacologie sont envisagées comme un prolongement des méthodes que nous avons développées ces dernières années dans le cadre de la toxicologie prédictive. La difficulté supplémentaire réside principalement à deux niveaux : l'exploitation de modélisations complexes des molécules (conformations multiples, informations spatiales) et la diversité des contraintes qu'un motif "polypharmacologique" intéressant doit satisfaire. Ces projets reposent sur plusieurs opportunités : une solide expérience en fouille de données chimiques, des connaissances techniques pour découvrir et utiliser les motifs solution d'un problème d'optimisation à plusieurs critères (les skypatterns). Sur un plan stratégique, ces travaux sont l'occasion d'effectuer la mutation vers les méthodes de découverte de connaissance à partir des données systémiques produites par la chimie et la biologie.

Sport-Fouille-Trajectoires

Nos travaux sur le sport réel concerneront l'analyse du tennis, grâce à une énorme base de données de trajectoires de balles, issues du système Hawk-Eye, qui équipe les courts depuis 2003. Nous souhaitons nous investir dans la détection et la caractérisation des routines des joueurs. Les données Hawk-Eye devraient nous offrir la possibilité de dresser des profils de joueurs au travers de la trajectoire de la balle : utilisent-ils plus familièrement le lift, le slice ou la force brute, en coup droit ou revers ? Leurs routines devraient également être accessibles : service/volée, enchaînement dans les diagonales, etc.

Nous nous intéressons également aux *trajectoires des athlètes* pour leur suivi longitudinal : contenu des séances d'entraînement, absorption alimentaire et traitement médical, suivi de la performance grâce à des objets connectés (cardio-fréquence-mètre, accéléromètre, GPS). Ces trajectoires, analogues à celles de patients, permettent d'intervenir dans le domaine de la gestion de la performance et la prévention du sur-entraînement.

Enfin, nous poursuivrons nos travaux sur le *sport électronique*, qui connaît une affluence croissante. À la différence du sport traditionnel qui nécessite un appareillage électronique lourd (caméras, objets connectés), le sport électronique produit de nombreuses traces d'une grande richesse, en particulier des trajectoires de mouvement. Nos perspectives concernent l'analyse stratégique de ces trajectoires, en particulier leur enrichissement sémantique afin d'obtenir des séquences de comportements à l'échelle de l'équipe. L'objectif est de faire émerger des comportements collectifs dont l'analyse affinerait l'appréhension des stratégies collectives. Ces travaux pourraient être transposés à l'étude du sport collectif réel.

Cette activité va bénéficier de l'arrivée dans notre équipe d'Albrecht Zimmermann qui est très impliqué dans la communauté "Sports analytics", avec entre autres l'organisation récurrente de l'atelier "Machine Learning and Data Mining for Sports Analytics" à ECML/PKDD.

Vérification-Fouille-Trajectoires

L'aide à la localisation d'erreurs à partir de traces d'exécution est une question cruciale lors de la mise au point de logiciels critiques. En effet, quand un programme contient des erreurs, un model-checker fournit une trace d'exécution qui est souvent longue et difficile à comprendre, et de ce fait d'un intérêt très limité pour le programmeur qui doit déboguer son programme. Nous

souhaitons formaliser le problème de la localisation d'erreurs dans un programme comme un problème de classification supervisée (exécutions correctes versus exécutions erronées) en fouille de données et utiliser une approche PPC pour l'extraction des instructions les plus suspectes. Pour cela, nous nous appuyerons sur nos récents travaux sur l'extraction des skypatterns pour localiser les instructions Pareto-dominantes les plus suspectes.

4.2.3 Équipe Modèles, Agents, Décision

La composition de l'équipe n'est pas amenée à changer sur la prochaine période. Bruno Zanuttini continuera à en assurer la responsabilité.

Auto-évaluation (analyse SWOT)

Points forts Les principaux points forts de l'équipe sont :

- sa capacité à interagir (i) avec le **monde socio-économique**, dans une perspective de recherche allant des applications vers les modèles formels et leur traitement algorithmique, puis vers les réalisations pratiques, et (ii) avec le **monde académique**, notamment au travers de nombreux projets financés de recherche fondamentale (ANR, Chist-ERA) et de nombreuses collaborations en France comme à l'étranger,
- sa **production scientifique**, dans les conférences internationales du meilleur niveau,
- sa **visibilité** nationale et internationale (notamment du thème « Décision »), son attractivité,
- sa vie et sa culture d'équipe.

Sur la période à venir, l'équipe entend conforter ces atouts, en continuant à mener une activité contractuelle importante en utilisant les acquis de la période en la matière, et en renforçant ses liens avec l'environnement direct (au niveau régional, voir ci-dessous).

Points faibles Un point faible en revanche, est la **production en revues internationales**. Si, de façon générale en intelligence artificielle, la sélectivité et la visibilité des conférences internationales sont similaires à celui des grandes revues (environ 20 % d'articles acceptés dans des conférences telles qu'IJCAI, AAMAS, ICAPS... , toutes classées A* dans le classement CORE), ce manque de publications en revue traduit une difficulté à mener à terme certains de nos travaux. L'activité de projets, et le nombre important de travaux menés dans le cadre de thèses, vont là parfois à l'encontre d'un approfondissement des thématiques sur le long terme.

L'évaluation de 2011 avait identifié le risque de dispersion lié aux nombreux projets collaboratifs menés par l'équipe. Nous avons ainsi veillé, pour les nouveaux projets déposés, à impliquer plusieurs membres permanents de l'équipe, afin d'en partager largement les thématiques. Nous avons fait de même pour le recrutement d'Alexandre Niveau en 2013, en affichant un profil visant à renforcer les thématiques existantes sur un volet théorique (en l'occurrence, le thème « modèles »). Ce recentrage s'est manifesté notamment par le démarrage d'une thèse coencadrée par Maroua Bouzid et Alexandre Niveau, dès l'arrivée de ce dernier dans l'équipe [Cohen-Solal].

Pour la période à venir, nous comptons poursuivre cet effort de recentrage, et bénéficier de notre visibilité et de notre expérience pour intégrer de façon plus importante nos thématiques privilégiées aux projets fondamentaux ou appliqués auxquels nous participons. À titre d'exemple, le projet AEIOU, soumis au programme générique de l'ANR en 2015 (non retenu à l'issue de la 2^e phase), était porté par l'équipe, en impliquait quatre permanents, et se focalisait sur la planification dans l'incertain, les représentations factorisées et la prise de décision multi-agents.

Cet effort s'accompagnera bien entendu d'une incitation à prendre du temps pour étendre et rédiger des travaux qui n'ont jamais été soumis à des journaux internationaux. Nous pourrions pour cela mettre à profit l'important travail réalisé sur la période pour développer la bibliothèque de code de l'équipe, en intégrant, par exemple, des algorithmes conçus dans des travaux passés, ce qui permettra de les revisiter et de faciliter le travail d'expérimentation, essentiel pour des

publications dans les journaux du domaine. Un exemple concret, parmi de nombreux autres, est celui des algorithmes conçus par Boris Lesner pendant sa thèse (soutenue en 2011), qui ont donné lieu à de très bonnes publications dans des conférences internationales [365, 407], mais n'ont jamais été approfondis depuis son départ.

Risques Les principaux risques pour l'équipe, pour la période à venir, sont la diminution des budgets de l'ANR ainsi qu'une restructuration partielle d'Airbus Defence & Space, impactant directement la structure de Val-de-Reuil dans laquelle se sont déroulées les thèses CIFRE de l'équipe. Le financement (non récurrent) de l'équipe repose en effet particulièrement sur ces deux sources. Nous devons donc veiller à maintenir au mieux notre positionnement dans les projets ANR et à composer avec la restructuration d'Airbus, tout en envisageant d'autres partenariats. Au-delà de l'intérêt évident des collaborations académiques et industrielles, les ressources correspondantes nous ont en effet permis d'envoyer les doctorants de l'équipe à de nombreuses écoles thématiques, et de financer deux thèses sur fonds propres [Jobczyk, Cohen-Solal].

Opportunités Une opportunité qui se présente à l'équipe est la **stratégie de la région** en termes de priorités scientifiques. En effet, parmi les cinq domaines mis en avant dans sa « stratégie de recherche et d'innovation pour une spécialisation intelligente » (RIS3), figurent le domaine « numérique et société » et ses sous-domaines « Silver économie » (sic), « tourisme » et « services mobiles ». Nous comptons saisir cette opportunité pour positionner les travaux de l'équipe sur la robotique de service et sur les services et les objets connectés. Nous avons ainsi obtenu, en 2015, un financement régional pour un sujet de thèse sur la recommandation de l'humain à l'agent [Benavent]. Les applications potentielles de ce sujet sont essentiellement au tourisme, via des guides « virtuels », déployés sur smartphones, et capables d'interagir avec les touristes qu'ils assistent. Toujours dans l'écosystème régional, le pôle de compétitivité « Transactions Électroniques Sécurisées » (TES) a été associé au montage du projet ANR AEIOU, et l'équipe et le projet COACHES ont été présentés au grand public à l'occasion du *Caen FrenchTech Day*¹⁷, organisé par l'agglomération, le pôle TES et l'association Relais d'Sciences.

Une autre opportunité est le renforcement des liens entre le GREYC et le LITIS (Rouen et Le Havre) dans le cadre de la **fédération NormaSTIC**. En particulier, en cohérence avec notre projet scientifique incluant pour une grande part la prise en compte de l'être humain, nous avons désormais des interactions privilégiées avec l'équipe Mind du LITIS (Multi-Agent, Interaction, Décision). Cela s'est notamment traduit par une journée scientifique commune sur l'« interaction entre agents artificiels et être humain » en février 2015. Nous envisageons ainsi, en 2015–2016, de proposer des sujets de stages de recherche de master 2, voire des thèses coencadrées.

Perspectives scientifiques

L'équipe compte poursuivre ses grandes directions de recherche, tout en recentrant ses activités sur les thématiques transverses aux thèmes, et en nourrissant les projets de chaque thème de la culture et de la problématique des autres. Ainsi, nous maintiendrons notre structuration en trois thèmes, « Modèles », « Agents » et « Décision », car cela fournit une bonne lisibilité à nos activités en regard des communautés nationales et internationales (cf. discussion en page 44). Toutefois, afin d'insister sur les objectifs communs de l'équipe, nous nous fixons pour la période à venir un projet fédérateur, intitulé « **modèles et algorithmes pour les systèmes ouverts et hétérogènes** ». La nouveauté est ici l'accent mis sur :

- la conception et l'analyse de systèmes d'agents artificiels et humains, dans lesquels des agents peuvent entrer ou sortir à tout instant (systèmes ouverts), comme pour le déploiement de robots dans des environnements humains [COACHES] ou des guides virtuels pour des groupes de touristes,

17. http://relais-sciences.org/index.php?page=fiche_actu&id_manifestation=1452

- la prise en compte d'agents de natures différentes dans un même système (hétérogénéité), en particulier, la prise en compte de l'être humain que ce soit comme un élément de l'environnement (imprédictible, difficilement modélisable), comme un interlocuteur ou un donneur d'ordre (robotique de service), ou comme un partenaire (extraction de connaissances de documents pour assister des opérateurs humains).

L'accent mis sur ces aspects est justifié en particulier par le développement important d'applications, d'objets, et de robots en interaction directe avec les utilisateurs, et connectés entre eux. Les sujets traditionnels de l'intelligence artificielle qui font notre cœur de métier (représentation de connaissances et raisonnement, prise de décision, systèmes multi-agents) restent bien évidemment très pertinents pour ces applications, mais il s'agit là d'adapter les problématiques fondamentales aux évolutions des applications. Les activités de l'équipe seront donc décrites désormais par la phrase

Permettre à un ou plusieurs agents artificiels, évoluant dans un environnement dynamique, incertain, et en interaction avec l'homme, d'apprendre, de raisonner et de prendre des décisions pour réaliser une mission ou un service.

Ce projet général se décline en problématiques plus précises, que nous détaillons ci-après. Il faut noter que chacune de ces problématiques implique les différents thèmes de l'équipe, et s'appuie sur des travaux et des projets existants.

Systèmes ouverts Nous qualifions un système d'« ouvert » si des agents peuvent y entrer ou en sortir, potentiellement en suivant des schémas connus à l'avance (nombre maximal d'agents dans le système à tout instant, probabilités d'entrées/sorties à un instant donné, etc.). Cette propriété est inhérente à la plupart des systèmes réels. Dans les cadres qui nous intéressent, par exemple, des êtres humains et des robots peuvent entrer ou sortir d'un environnement dans lequel des robots de service sont déployés, ou encore, des pairs peuvent rejoindre ou quitter un réseau *ad hoc* à tout instant. La prise en compte de **l'être humain comme élément d'un système ouvert** est une évolution significative, mais naturelle, des thématiques de l'équipe, favorisée par l'interaction avec l'équipe de Luca Iocchi (Rome) dans le cadre du projet européen COACHES.

Dans ce domaine, nous souhaitons étendre les travaux menés par les différents thèmes. La *détection et le suivi de comportements*, au cœur de travaux antérieurs et actuels de l'équipe [Patricx, COACHES, Le Guillarme], pose des problèmes fondamentaux importants dans ce cadre : on ne peut plus se reposer sur une bibliothèque de comportements de groupes, le groupe lui-même étant dynamique. De façon plus générale, nous souhaitons développer le modèle des Open-Dec-POMDP, que nous avons introduit récemment, pour la prise de décision d'un groupe ouvert. Ce cadre pose le problème du calcul de décisions, mais aussi de la sémantique d'une décision optimale (doit-on, par exemple, recalculer la stratégie du groupe lorsqu'il change, ou cela fait-il sens de « parier » sur ses configurations futures ?). Le fait d'aborder cette problématique dans des modèles formels, en amont des applications, constituera une originalité par rapport aux principaux travaux internationaux, souvent spécialisés sur des applications en robotique (comme ceux, par ailleurs très visibles, de l'équipe de Manuela Veloso à CMU).

Dans le domaine des systèmes multi-agents, les systèmes ouverts sont au cœur des problèmes de gestion de la confiance et de la réputation. Si l'on considère des groupes hautement dynamiques, se posent les problèmes de la confiance en les nouveaux venus, mais aussi de la manipulation des mécanismes par des attaques consistant, pour un agent malveillant, à sortir puis à rentrer sous une autre identité. Nous comptons poursuivre les travaux déjà menés dans cette perspective [382], avec un accent particulier sur ces aspects.

Enfin, dans la perspective de l'analyse et de la conception, nous comptons poursuivre un travail démarré dans le cadre d'une thèse [Merciol], sur la vérification formelle de propriétés émergentes dans les systèmes multi-agents. Les propriétés naturelles de ce type (comme

l'émergence de colonies de fourmis) impliquent naturellement un grand nombre d'agents, et des phénomènes robustes à l'arrivée ou au départ d'un certain nombre d'agents. Pour leur étude, la méthodologie formelle des *Goal Decomposition Trees*, développée dans l'équipe, fournit une approche originale et prometteuse.

Pour tous ces cadres, l'équipe aura à renforcer une culture forte sur les modèles pertinents, et à imaginer des modélisations des phénomènes d'arrivée et de départ qui permette des études formelles. Des modélisations statistiques et probabilistes fourniront des premiers modèles de choix, en cohérence avec notre expertise sur l'incertain stochastique.

Langages pour l'interaction homme-agent Les problématiques que nous aborderons ici sont liées à l'hétérogénéité, et en particulier à l'**interaction avec l'être humain**, qui forme une thématique déjà étudiée par l'équipe sur la période écoulée [336, 345, 401]. Il s'agit là, de façon générale, de concevoir des langages formels permettant à un agent artificiel et un être humain de communiquer, en maintenant la précision nécessaire pour le calcul, mais également un caractère suffisamment naturel pour l'homme.

Dans la lignée de la thèse de Quentin Cohen-Solal, l'équipe s'intéressera ainsi aux langages de représentation du temps et de l'espace, et de façon plus générale aux propriétés des langages possédant des caractéristiques similaires (langages d'actions, par exemple) : différents niveaux de granularité (pièce d'un immeuble, parlant pour l'être humain, *versus* coordonnées GPS, permettant le calcul et la navigation), expression du flou (« près de l'entrée »), caractère hiérarchique, etc. Ces travaux pourront tirer parti du cadre de la compilation de connaissances, également étudié dans l'équipe [354] et qui fournit un cadre formel original pour de telles études.

Nous nous intéresserons également à des langages permettant à l'être humain de parler du comportement des agents de façon naturelle, tout en maintenant le lien avec des spécifications formelles de comportement. Cet axe de recherche émane naturellement de travaux en cours dans l'équipe : pour l'étude des comportements éthiques des agents [ETHICAA], on souhaite permettre aux concepteurs de systèmes d'énoncer de façon naturelle des principes tels que le respect de la loi ; pour la vérification formelle de comportements [323, 371], on souhaite proposer un langage de conception aussi naturel que possible.

Enfin, nous continuerons les travaux sur l'interaction homme-agent dans le processus de décision [Côté], en particulier dans le cadre de la thèse de Florian Bénavent. Il s'agit là de fournir des langages permettant à l'humain de prendre connaissance des plans d'un agent, et d'agir sur eux. Cette problématique est notamment pertinente pour le partage d'autorité et l'autonomie ajustable, comme étudiés dans le projet ANR/DGA GARDES et dans le projet sur les véhicules autonomes en collaboration avec l'U. Mass. Une piste importante, tirant parti de l'interaction entre les thèmes « Modèles » et « Décision » de l'équipe, consiste à explorer l'utilisation de logiques épistémiques pour permettre aux agents de raisonner sur la connaissance qu'ils ont (ou que l'humain a) d'une situation plutôt que sur des perceptions de bas niveau [363, 404].

De façon générale pour cet élément du projet, l'originalité réside dans l'utilisation de langages logiques, de représentations efficaces et de méthodes de raisonnement, qui constituent l'expertise du thème « Modèles ». Ceci contraste par exemple, pour la question de la recommandation, avec des approches totalement fondées sur les modèles de décision markoviens, telles que l'approche populaire de l'*inverse reinforcement learning*, et fournit ainsi de nouvelles perspectives.

Algorithmes pour la planification La prise en compte de systèmes ouverts et hétérogènes soulève naturellement de nouvelles questions algorithmiques, en particulier pour la prise de décision. Nous étudierons donc les problèmes algorithmiques soulevés par la prise de décision intégrant les nouveaux langages que nous proposerons, et pour des systèmes ouverts.

En considérant en particulier la prise en compte d'interactions avec l'humain formulées en logique, nous poursuivrons naturellement des travaux menés dans l'équipe sur la **prise de déci-**

sion dans des modèles factorisés [365]. La factorisation de l'environnement sur des variables descriptives (*features*) fournit en effet un pont naturel entre les processus de décision markoviens et les langages logiques. Dans le même esprit, nous mènerons les études algorithmiques liées aux plans à base de connaissances, que nous avons récemment proposés, mais pour l'instant seulement étudiés du point de vue de la complexité et dans un cadre mono-agent [363, 364, 404].

Autres projets L'équipe continuera à développer une **bibliothèque de code**, avec pour objectif concret de la diffuser à la communauté sur la période. Elle pourra pour cela s'associer à la politique générale du laboratoire en termes de plateformes.

Par ailleurs, nous souhaitons mener des collaborations avec d'autres équipes du laboratoire, en particulier du département Intelligence Artificielle et Algorithmique. Une collaboration a déjà été entamée avec l'équipe AmacC, visant à l'analyse en moyenne de plusieurs paramètres de protocoles d'allocation de ressources dans les systèmes multi-agents. Il s'agit là de tirer parti d'outils et de types d'analyses peu répandus dans la communauté d'intelligence artificielle, avec l'espoir d'obtenir des résultats en rupture. De façon plus générale, nous souhaitons mettre à profit l'expertise de l'équipe AmacC dans le domaine de l'aléatoire, pour apporter de nouvelles techniques à l'analyse et à la résolution des processus markoviens.

Enfin, l'équipe entretient des relations suivies avec le laboratoire CREM (Économie et Management) de l'Université de Caen Normandie, via des participations réciproques aux séminaires sur des thématiques liées au choix social et au vote. Nous souhaitons maintenir ces interactions qui, *a minima*, permettent une ouverture vers d'autres problématiques et d'autres manières d'aborder des problèmes. Un moyen concret de travailler ensemble dans un cadre plus formalisé consistera à chercher à proposer des stages de recherche de master co-encadrés.

4.3 Département Information et Reconnaissance des Formes

4.3.1 Équipe HulTech (HUMAN Language TECHNOLOGY)

Durant les cinq prochaines années, l'équipe effectuera un recentrage thématique visant à mettre en avant nos points forts et évitant la dispersion de nos activités de recherche. Pour cela, nous avons identifié trois thèmes prioritaires qui font l'objet de ce projet :

- Thème 1 : Temporalité
- Thème 2 : Sémantique
- Thème 3 : Informatique de la société

L'activité de recherche de l'équipe est décrite dans le Tableau 4.1.

	Temporalité	Sémantique	Informatique de la société
Gaël Dias, PR	✓	✓	✓
Marc Spaniol, PR	✓	✓	✓
Nadine Lucas, CR-HDR		✓	✓
Emmanuel Giguët, CR-HDR*		✓	✓
Hervé Le Crosnier, MC-HDR	✓	✓	
Stéphane Ferrari, MC-HDR	✓	✓	
Pierre Beust, MC-HDR		✓	✓
Fabrice Maurel, MC			✓
Yann Mathet, MC	✓	✓	
Jean-Marc Lecarpentier, PRAG		✓	✓

* mis à disposition de SEMIOTIME

TABLE 4.1 – L'activité de recherche de l'équipe HULTECH en personnel permanent

Analyse SWOT

Forces (Strengths)

- Thématiques porteuses (temporalité, sémantique, interfaces)
- Dynamisme retrouvé
- Publications de haute qualité
- Bonne visibilité dans la communauté scientifique concernant la recherche dans le web et l'extraction d'information
- Nombreuses soutenances d'HdR et de thèses
- Arrivées de nouveaux membres et collaborateurs dont en particulier le PR Marc Spaniol

Faiblesses (Weaknesses)

- Perte de masse critique : seulement 2 entrées pour 7.5 départs (en incluant les doctorants)
- Manque de projets internationaux
- Changements fréquents à la tête de l'équipe
- Départ de doctorants (après leur PhD) qui n'ont pas pu obtenir une position permanente ici
- Manque de doctorants et recrutements difficiles provoqués par le manque de candidats qualifiés
- mise à dispo d'un CR

Opportunités (Opportunities)

- Compétence excellente dans le domaine du Big Data, domaine qui connaît une importance croissante
- Renforts des collaborations dans le domaine de la temporalité
- Démarrage de projets internationaux
- Renforcement des collaborations avec des partenaires non-académiques au niveau national (Internet Memory Foundation, Paris) ainsi qu'international (Yahoo !, Sunnyvale et Bing, Mountainview)
- Recrutement prévu d'un nouveau MCF et potentiellement un PR
- Recrutement de nouveaux étudiants en thèse
- Bon positionnement de l'équipe dans le nouveau mastère IDC "Internet, (Big) Data et Connaissance"

Menaces (Threats)

- Pérennité de la production logicielle et scientifique due à la perte de masse critique
- Perte de thématiques porteuses due à la perte de masse critique
- L'arrêt du mastère ImaLang nécessite un remplacement adéquat
- Lutte difficile contre les principaux acteurs du domaine (universités, centres de recherche privés) par manque de ressources informatiques (datasets, serveurs, etc.)

Perspectives scientifiques

De nouveaux défis sont en train d'apparaître dans le domaine du Big Data, pour tout ce qui concerne le traitement temps réel (extraction et agrégation) de sources d'information liées au Web et aux médias sociaux hétérogènes. La compétence de l'équipe HULTECH concernant l'acquisition, le traitement et l'extraction des informations dans un contexte de Big Data provenant du Web sera bientôt un avantage stratégique pour nous, dans beaucoup de domaines (du business intelligence jusqu'au tracking épidémiologique et le monitoring). Dans cette perspective, l'expertise dans l'archivage, la récolte et l'enrichissement sémantique des contenus de type Big Data nous permettra de donner naissance à une infrastructure stratégique pour la recherche de demain.

Pour comprendre le dynamisme et les interactions entre les données hétérogènes du Web, il

devient inévitable de détecter et analyser les événements ainsi que de détecter et suivre les entités qui sont liées à ces événements. D'un point de vue stratégique, nous prévoyons d'intensifier nos recherches sur le *Temporal Web Mining* et le Big Data par le montage de nouveaux projets nationaux et européens. Nous avons également des relations avec d'autres groupes dans le laboratoire et à l'université Caen Normandie. Dans le laboratoire, ces aspects seront importants en particulier pour les équipes HULTECH, Image, MAD (ontologie), M&B ou encore CODaG. Concernant les équipes liées à d'autres disciplines au sein d'Unicaen Normandie, nous devons renforcer ou établir des collaborations avec nos collègues qui travaillent dans les humanités et/ou les documents numériques.

Durant les 5 prochaines années, nous nous pencherons plus particulièrement sur les aspects suivants :

Temporalité

Si nous prenons comme exemple le 25^{ième} anniversaire du World Wide Web ou le 20^{ième} anniversaire de l'archive Internet en 2016, nous ne pouvons que constater qu'une collection numérique littéralement énorme vient de naître durant ces deux dernières décades. Avec la croissance très rapide des contenus digitaux ainsi qu'avec l'archivage de l'internet (par exemple au sein de l'Internet Archive), nous disposons désormais de plus de 150 milliards de pages Web (> 2Pétaoctet dans l'Internet Archive – et ce seulement pour les états Unis !). Ces archives agrègent l'évolution du contenu de l'internet et reflètent aussi le "Zeitgeist" des différentes périodes de deux décades. Cela sert déjà et servira de plus en plus comme une mine d'or potentielle pour les chercheurs d'autres disciplines (par exemple les sociologues, politologues, analystes des media et des marchés) ainsi que, pour les experts en propriété intellectuelle (par exemple dans le domaine des brevets). La recherche de la dimension temporelle des contenus du Web offrira de nouvelles possibilités pour les analystes. Il sera possible, par exemple, de comparer les notions actuelles de "amis en ligne" et "réseaux sociaux" avec celles utilisées il y a cinq ou dix ans. Autre exemple, des analystes d'affaires ou des journalistes, pourrons suivre l'évolution de sujets comme les tablettes ou la musique en ligne. De la même manière, il sera possible d'évaluer systématiquement, pour exemple en coopération avec l'équipe CODaG, la structure des interconnexions des documents dont nous disposons dans les archives. Nous pourrons découvrir comment les structures d'un site (voire même d'un domaine) se développent avec le temps, découvrir si/quand ils sont affectés par du spam, découvrir quelles sont les structures qui prévalent, en général ou dans certains domaines.

Le coeur de notre recherche est l'investigation du contenu digital ancien (typiquement il y a 20 ans), ainsi demandant une exploitation plus systématique de notre héritage culturel. Si les premières années (les années 90) du Web sont presque totalement perdues, les contenus du Web liés aux bibliothèques nationales, les archives digitales et les institutions d'archivage (comme l'Internet Archive Foundation) sont heureusement disponibles. Ces données constituent une mine d'or pour l'analyse temporelle du Web pris dans son ensemble. Jusqu'à maintenant, l'impact social ou scientifique de l'analyse du Web temporel n'a pas été suffisamment étudiée. Ces problèmes revêtent importance croissante pour la recherche. Pour obtenir des résultats plus réalistes, nous combinerons nos recherches avec les connaissances et expériences des acteurs industriels.

Sémantique

Dès lors que l'analyse concerne les textes ou les données du Web, il est très important d'identifier les entités (gens, lieux, produits, organisations, etc.). Le Web contient des informations sur ces entités, informations qui elles-mêmes sont cruciales pour leur analyse. Pour l'exploration sémantique de données réelles et donc bruitées du Web, il faut agréger des données provenant de sources variables si l'on veut pouvoir comprendre leurs contenus dans leur contexte temporel.

Les noms ne sont souvent pas univoques (le même nom peut avoir plusieurs significations). Il est ainsi nécessaire de développer des méthodes et des outils qui permettent des analyses entités pour arriver du mot-clé jusqu'à la sémantique. Les entités sont – en premier lieu – des noms (par exemple “Steve Jobs”) ou des phrases (par exemple “the Apple founder”). Ces notions d'entités sont découvertes par des méthodes “Named Entity Recognition” (NER) qui sont souvent basées sur des modèles probabilistes et/ou graphiques ou par un dictionnaire de noms pour les entités (qui devra contenir aussi les sobriquets, les rôles, les raccourcissements, les acronymes, etc.).

La recherche actuelle dans ces domaines a connu d'importants progrès pour ce qui concerne la classification fine des entités les plus importantes parmi des taxonomies hiérarchiques. Mais ces approches ne délivrent pour l'instant de résultats acceptables que pour la reconnaissance d'entités déjà déclarées dans des bases de connaissance. Pour arriver à une reconnaissance plus robuste et pour traiter des entités qui ne sont pas répertoriées dans des bases de connaissances, il nous faudra étudier de nouvelles méthodes qui pourront utiliser des données d'entraînement bruitées et qui disposeront de moins d'informations contextuelle sur les entités. Nous établirons un focus de nos recherches sur le design et l'évaluation des modèles de classification d'entités non-répertoriées, par exemple du type “émergent” ou du type “inconnu”. En particulier, en coopération avec l'équipe MAD (ontologie) ou Image nous étudierons le dynamisme inhérent dans la dimension temporelle. En plus, nous établirons des liens croisées pour les entités clés qui sont déclarées dans des bases de connaissance comme DBpedia¹⁸ ou YAGO¹⁹.

Informatique de la société

Concernant l'*informatique sociale* nous avons identifié de nouveaux sujets de recherche liés au volume énorme des données à traiter. Le développement de nouvelles méthodes permettant une analyse temps-réel des “Linked Open Data” et “Social Media” sera nécessaire. Cela pourrait ouvrir la route vers l'investigation de la sauvegarde de la vie privée avec l'équipe M&B pour l'identification des entités “cross-community” avec la reconnaissance du type d'entité, en particulier concernant les entités qui ne sont pas encore connues. Le problème le plus important sera de trouver l'identité des entités indépendamment de leur nom (éventuellement différent), de l'utilisateur, basé seulement sur le comportement des utilisateurs et qui sera dérivé de la reconnaissance et du contexte du type d'entité. Nos recherches dans cette direction profiteront beaucoup de nos méthodes “d'extraction d'informations sémantiques”.

Les communautés dites en lignes sont des réseaux sociaux ayant de propriétés spécifiques liées aux rôles de leurs participants. Les rôles des membres d'une même communauté sont très dynamiques, ce qui impose d'avoir un monitoring permanent de ce qu'il se passe dans la communauté, si l'on veut comprendre ce qu'il s'y passe. Les changements dépendent de la dimension de ces communautés. Pour fournir une telle analyse temporelle nous proposerons des techniques d'aggregation permettant leur suivi, de même que des mesures permettant d'observer l'évolution de ces communautés. Pour étudier les dépendances entre tous les intervenants, nous allons considérer des modèles des communautés temporelles.

4.3.2 Équipe Image

A) Auto-évaluation (Analyse SWOT)

Points forts

- Une production scientifique intense en qualité et quantité, en particulier dans les revues internationales de premier plan.
- Une reconnaissance nationale et internationale sur plusieurs thématiques.

18. <http://wiki.dbpedia.org/>

19. <http://www.mpi-inf.mpg.de/yago/>

- Une bonne activité contractuelle (ANR, CIFRE, contrats industriels), et quelques participations à des projets européens (CHIST-ERA, ERC).
- Une bonne intégration au niveau régional due notamment à sa présence sur plusieurs sites universitaires (Caen, Cherbourg, St-Lô).
- Une bonne activité de valorisation et de transfert concrétisée par des créations d'entreprises.
- Une forte implication dans la diffusion de la culture scientifique au travers de journées grand public, et d'ateliers dans les collèges et les lycées.
- Un fort développement logiciel.

Points à améliorer

- Les collaborations entre les membres de l'équipe ne sont pas assez nombreuses. Les renforcer passera en particulier par conforter la culture d'équipe, et par le montage de projets structurants à l'échelle de l'équipe intégrant de façon cohérente ces compétences. C'est dans cette optique qu'a été construit le projet ANR GRAPHSIP obtenu en 2014, coordonné par l'équipe autour du traitement des signaux sur graphes, auquel participent 5 de ses enseignants-chercheurs.
- Aucun projet européen n'est porté par l'équipe. C'est clairement un point sur lequel nous désirons porter un effort particulier notamment dans le cadre des appels à projets H2020 (e.g. ERC, FET).
- L'équipe doit rester vigilante au fait que le rayonnement international dépende de quelques individualités. Elle compte ainsi inciter et aider les autres membres, notamment les jeunes recrues, à consolider leur visibilité.
- Depuis la dernière évaluation AERES, l'équipe s'était engagée sur une politique d'accompagnement et d'appui de membres non ou peu publiants (5 à cette époque dont 1 a quitté le laboratoire en cours de contrat). Cette politique, menée par le biais de projets scientifiques bâtis avec des PR référents, a connu du succès pour plusieurs membres (2). Nous devons continuer dans cette voie.

Risques

- Position de l'« Image » dans le master Informatique : dans les projets de maquettes du master, la place de l'Image est assez incertaine. La majeure « Image et Multimédia » de l'ENSICAEN quant à elle, dont les élèves fournissent tous les ans un bon contingent d'étudiants dans IMALANG, se porte bien avec une très bonne visibilité auprès des entreprises et des laboratoires, des débouchés sur les nombreux métiers de l'imagerie et ses applications et un club de partenaires solides. A partir de ce constat, il nous apparaît risqué de se couper du vivier des masters, et inversement de priver les étudiants de l'université des métiers (académiques ou non) de l'imagerie et du multimédia. Pour pallier ce risque, un projet de master commun avec les mathématiques appliquées est en cours de montage.
- Augmentation des charges de responsabilités de plusieurs des membres de l'équipe sur le futur contrat : future direction du laboratoire, direction de la future ED normande mathématiques-STIC (MIIS²⁰), responsabilité de la spécialité « Informatique » de l'ENSICAEN, chef de département à l'IUT de St-Lô.

Opportunités

- Nouvelle structuration de la recherche au niveau régional : dans sa stratégie de recherche et d'innovation 2014-2020 (RIS3), la région a identifié cinq domaines clés. Les activités de l'équipe Image s'inscrivent naturellement dans deux d'entre eux : « Sciences et technologies biomédicales » et « Numérique et société », ce qui offre plusieurs opportunités pour l'équipe. Pour les « Sciences et technologies biomédicales », l'équipe est concernée en premier lieu par les sous-domaines « Nucléaire et santé » et « E-santé ». Le traitement et l'analyse d'images, et l'imagerie plus largement, y tiennent un rôle central, et l'expertise de l'équipe dans ces

20. Mathématiques, Information, Ingénierie des Systèmes.

domaines est naturellement et explicitement reconnus dans le document de synthèse RIS3. L'équipe devrait en outre être en mesure d'apporter son expertise dans l'Equipex ARCHADE²¹ qui vise à créer un centre européen de recherche et développement en hadronthérapie à Caen.

Pour le « Numérique et société », les sous-domaines en lien étroit avec nos compétences sont la « Numérisation intelligente des documents » et la « réalité virtuelle et 3D », avec pour application la valorisation du patrimoine historique et culturel. La manipulation, le traitement et le stockage des grandes masses de documents numériques et de données 3D nécessitent des outils de pointe aux confluent des mathématiques appliquées et du traitement des images qui sont au coeur des compétences de l'équipe. C'est d'ailleurs dans ce cadre que l'équipe a des collaborations avec la MRSH²² sur le traitement et la structuration des manuscrits médiévaux numérisés, ou encore avec le M2C²³ sur l'acquisition et le traitement des nuages de points 3D pour la valorisation du patrimoine du littoral normand.

- Construction des nouveaux locaux pour la recherche à l'ENSICAEN (livraison 2015-2016) : elle permettra de rassembler dans le même bâtiment tous les membres de l'équipe, actuellement répartis sur deux sites. Les possibilités de collaboration et de consolidation d'une culture d'équipe s'en trouveront naturellement accrues.
- Fédération Normastic : l'« Analyse et Traitement d'images » est un des axes de la fédération. Ce cadre a permis la création de synergies et de collaborations avec d'autres équipes Normandes sur des thématiques théoriques, méthodologiques et applicatives (e.g. imagerie médicale et document numérique). Il faudra continuer dans cette lignée pour asseoir une recherche en imagerie normande de haut niveau.

B) Projet scientifique

▷ Vue d'ensemble du projet

Au vu du bilan de l'équipe, les membres de l'équipe proposent d'évoluer dans le prochain contrat vers une organisation mieux resserrée autour de deux thèmes scientifiques. Nous continuerons à travailler sur les thématiques qui constituent une spécificité et/ou une reconnaissance caennaise. Par ailleurs, un travail de prospective a été mené dans l'équipe pour faire émerger de nouveaux axes novateurs, et considérés comme cruciaux et ouverts dans la communauté tant sur le plan fondamental qu'appliqué. Pour chaque axe, nous avons cerné les problèmes ouverts, les verrous scientifiques à lever, qui constitueront autant de défis pour les prochaines années. Ainsi, les deux thèmes que l'on propose sont :

Thème 1 : Variationnel, EDP et Statistiques pour le traitement des images. C'est le thème bas-niveau dont le socle scientifique commun s'articule autour des méthodes variationnelles et les problèmes inverses, l'optimisation, les EdP et les signaux sur graphes, les nuages de points et la 3D, les statistiques en haute dimension pour l'image (estimation, décision, transport optimal), la photographie computationnelle et la morphologie mathématique multivariée.

Thème 2 : Reconnaissance de formes et recherche d'information dans les images/vidéos. C'est le thème haut-niveau dont le socle scientifique commun s'organise autour de la reconnaissance de formes, les graphes et les chaînes, l'apprentissage de métriques, les descripteurs et l'apprentissage pour l'image, et l'ingénierie des connaissances pour la conception d'applications en image.

La répartition des membres permanents de l'équipe dans les deux nouveaux thèmes est détaillée au Tableau 4.2. Elle est équilibrée avec une masse critique pour chacun des thèmes.

Nous allons maintenant détailler les axes scientifiques dans chacun des deux thèmes du projet, les verrous scientifiques correspondants, les approches que nous comptons déployer pour

21. <http://archade.fr/>.

22. <http://www.unicaen.fr/recherche/mrsh/>.

23. <http://www.unicaen.fr/m2c/?lang=fr>.

Thème 1	Thème 2
Bougleux Sébastien (MCF)	Brun Luc (PR)
Elmoataz Abderrahim (PR)	Chahir Youssef (MCF HDR)
Fadili Jalal (PR, IUF)*	Clouard Régis (MCF HDR)
Jéhan-Besson Stéphanie (CR1)	Fourey Sébastien (MCF)
Lezoray Olivier (PR)	Jurie Frédéric (PR)
Rabin Julien (MCF)	Lechervy Aléxis (MCF)
Sophie Schupp (MCF)	Mahboubi Amal (MCF)
Tschumperlé David (CR1)	Mokhtari-Brun Myriam (MCF)
	Porquet Christine (MCF)
	Simon Loïc (MCF)

TABLE 4.2 – Composition de l'équipe Image pour le projet.* Responsable équipe.

les lever et leur originalité, ainsi que notre positionnement au niveau national et/ou international.

▷ **Thème 1 : Variationnel, EDP et Statistiques pour le traitement des images**

Problèmes inverses, modèles variationnels et optimisation Nous avons proposé dans nos travaux la notion de régularité partielle offrant la classe de régularisations de faible complexité des problèmes inverses la plus large de la littérature, pour laquelle nous avons établi une analyse unifiée des garanties théoriques de reconstruction [810, 1030], et les implications algorithmiques pour l'optimisation non-lisse [908–910]. Toutefois, nos résultats ne couvrent que le cas convexe en dimension finie et ne sont valides que sous conditions suffisantes de non-dégénérescence. L'extension de ces résultats au cas non-convexe (dimension finie) est clairement un problème ouvert et le résoudre serait une rupture importante dans la littérature. De même, l'extension de la notion de régularité partielle et de nos garanties de reconstruction à la dimension infinie (en convexe), est aussi ouvert et très difficile. S'il est résolu, il permettrait de s'attaquer de manière unifiée à des problèmes inverses ardues comme la super-résolution [1–3] ou la tomographie. Enfin, relâcher les conditions de non-dégénérescence et trouver les conditions nécessaires pour établir les garanties de reconstruction permettrait de comprendre les limites ultimes de la régularisation faible complexité des problèmes inverses.

Estimation statistique en grande dimension pour les signaux/images Dans cet axe, nous continuerons notre effort sur les méthodes d'estimation statistique avancées pour le traitement des signaux et des images. En particulier, nous nous pencherons sur l'agrégation d'estimateurs, qui offre un cadre théorique permettant d'étudier les propriétés d'un estimateur formé par combinaison de pré-estimateurs. L'intuition étant qu'une bonne agrégation ferait idéalement mieux que chaque pré-estimateur individuel. Nous viserons la mise en place d'estimateurs par agrégation adaptative permettant de couvrir une large classe de modèles allant au delà de la simple régression, avec des modèles d'a priori plus généraux, et au delà de la parcimonie déjà étudiée dans la littérature [8]. Un de nos objectifs principaux est d'établir systématiquement les inégalités oracle/PAC Bayes de la façon la plus fine possible. Enfin, un verrou important est l'implémentation rapide de ces estimateurs et leur application à des problèmes de grande dimension.

Segmentation d'images La segmentation d'images est un problème classique et fondamental en traitement d'images. Deux aspects seront investigués. L'estimation d'une forme dite "mutuelle" permettra de combiner de manière optimale des informations (segmentations) issues de différents algorithmes ou utilisateurs. Cette forme mutuelle, définie par un critère continu à optimiser, sera mise à profit pour développer des méthodes génériques de segmentation de formes complexes et multi-régions. La segmentation interactive sera abordée par l'extraction

de contours définis par des points de contrôle reliés entre-eux par des chemins minimaux par morceaux. Les contours extraits intégreront une notion de simplicité afin d'éviter recouvrement et intersection, et les chemins minimaux exploiteront une définition d'un potentiel dynamique intégrant les caractéristiques des structures à détecter.

Photographie computationnelle Cet axe se propose de développer des formalismes et algorithmes permettant de manipuler le contenu de photographies dans le contexte de la photographie dite "computationnelle", e.g. assistée par ordinateur. Le filtrage géométrique ou photométrique sélectif sera abordé avec pour objectif le filtrage sélectif de certaines régions de l'image en fonction des propriétés géométriques (forme) ou photométriques (texture) tout en préservant les informations ou régions importantes. Le transfert de caractéristiques entre images (pour la colorisation, la synthèse de texture) sera développé par la manipulation explicite et robuste de statistiques des images à l'aide de modèles variationnels exploitant le transport optimal et de solutions parcimonieuses et régulières. Enfin, la retouche de photographies pour la création artistique sera considérée, afin de mieux répondre aux besoins de traitement d'images des artistes à travers des problèmes d'inpainting, de stylisation, et de sharpening, et ceci pour des images de modalités différentes (e.g., RGBD ou HDR).

Traitement et analyse de signaux sur graphes Nous aborderons ici plusieurs problèmes encore ouverts relatifs au traitement et à l'analyse de données de grandes dimensions qui résident sur des graphes (signaux sur graphes). La représentation de ces signaux sera abordée avec le développement de transformées sur graphes qui soient efficaces, compactes, adaptatives et multi-échelle. Nous étudierons les propriétés de régularité de ces signaux au travers de leurs transformées. En exploitant cette régularité, des problèmes de traitement et d'analyse de signaux sur graphes seront abordés selon un point de vue variationnel, les fonctionnelles associées seront minimisées par la conception d'algorithmes d'optimisation non-lisse distribués et efficaces. Par ailleurs, pour les EDPs sur graphes, nous continuerons à explorer les connexions entre les EDPs continues locales/non locales et des problèmes provenant de la théorie des graphes. Nous aborderons deux problématiques : (i) la transposition de problèmes variationnels provenant de la théorie des graphes (e.g. coupures sur graphes comme le cheeger ou le normalised cut) en EDPs sur graphes traditionnellement résolus par analyse spectrale, (ii) l'adaptation d'EDPs continues sur graphes, comme le p -laplacien normalisé, l'étude de ces analogues discrets leur convergence dans le cas de grands graphes denses. Plusieurs des travaux de cet axe seront menés en synergie avec ceux de l'axe 1.

Morphologie mathématique adaptative pour données multivariées L'extension de la morphologie mathématique à des données multivariées sera étudiée pour le traitement non-linéaire d'images. Ceci passera par la définition d'un ordre total adapté aux données en exploitant des représentations arborescentes du signal associées à une transformée de rang. Les traitements seront adaptés aux images par une construction locale d'éléments structurants exploitant des caractéristiques locales (patches ou histogrammes) ou bien en les intégrant directement dans la construction d'un treillis complet.

▷ **Thème 2 : Reconnaissance de formes et recherche d'information dans les images/vidéos**

Reconnaissance structurelle de formes Nous comptons poursuivre nos activités liées à l'approximation de la distance d'édition entre graphes, en explorant 2 axes : i) l'approximation de cette distance pour de grands graphes ou de grandes bases de données de graphes, ii) l'étude des relations entre la distance d'édition et le problème de l'affectation quadratique (quadratic assignment problem) ; l'objectif sera d'obtenir une meilleure estimation de la distance d'édition. Cette activité de recherche se fera en étroite collaboration avec le laboratoire MIVIA (Italie).

Concernant les méthodes à noyaux sur graphes et sur chaînes, nous comptons poursuivre nos

activités concernant la définition de mesures de similarités définies positives. Nous comptons poursuivre cette recherche dans trois domaines distincts : i) la reconnaissance de gestes, de trajectoires et ré-identification de personnes dans les vidéos en collaboration avec les laboratoires MIVIA et LI de Tours. ii) la prédiction des propriétés de molécules en collaboration avec le laboratoire LCMT, et enfin, iii) la reconnaissance de formes géométriques 2D et 3D. Nous comptons combiner les avantages des approches basées sur les contours de formes comme le shape context et ses extensions aux approches basées sur le squelette que nous avons étudié dans le précédent quadriennal et qui fournissent naturellement des hiérarchies de formes.

Ingénierie des connaissances et construction dynamique de prog. de traitement d'images Nous proposons d'aborder la problématique du développement de programmes pour le traitement d'images sous l'angle du pilotage de codes en utilisant un raisonnement à partir de cas. Les verrous scientifiques sont deux ordres : modéliser les opérations de traitement d'images pour permettre leur réutilisation dans un contexte similaire (les cas), et identifier puis représenter les connaissances sur le domaine d'application pour guider la sélection et le paramétrage des cas. La valorisation du travail se fera sur le cas du traitement d'images de manuscrits médiévaux afin d'automatiser une partie de l'édition électronique d'ouvrages anciens. Les images de manuscrits se caractérisent typiquement par une très grande variabilité (variété des polices de caractères, des supports et des altérations du temps).

Interprétation des images Le domaine de l'interprétation du contenu des images a connu des bouleversements radicaux lors des 5 dernières années avec la montée en maturité des méthodes à bases de Deep CNN [4]. Une des limitation de ces méthodes est que leur structure est fixe et définie à l'avance par le concepteur du réseau. Nous pensons qu'il est intéressant que le nombre de neurones voire la topologie du réseau puisse s'apprendre conjointement avec les paramètres du modèle. Nous avons d'ores et déjà commencé à explorer cette voie dans [5] et continuerons dans le futur. D'autre part, l'utilisation de modèles à base de partie à montré dans le passé son intérêt pour l'interprétation des images, permettant la recherche d'informations localisées et discriminantes [806]. La recherche de telles parties discriminantes conduit à des problèmes combinatoires pour lequel des heuristiques pertinentes sont nécessaires, et nous projetons de continuer nos effort dans ce sens, dans la suite de [7].

Apprentissage de métriques De nombreuses tâches de vision par Apprendre une métrique de manière à optimiser les performances d'un algorithme (recherche d'images, classification d'images, etc.) est une approche qui a fait ses preuve mais soulève des questions, comme en particulier celle de la régularisation de la métrique. Une des voies que nous nous proposons d'explorer est celle de l'apprentissage de métrique par boosting, et pour laquelle nous avons déjà des résultats préliminaires qui viennent d'être présentés dans [6].

Reconnaissance de poses/gestes à partir de vidéos ou images en profondeur Concernant la caractérisation et l'identification des gestes humains, postures, et séquences d'actions, une attention particulière sera dédiée à l'exploration de *sens* en se plaçant dans des contextes variés d'activités humaines. Nous continuerons à travailler sur une représentation parcimonieuse et pertinente de la séquence vidéo basée sur des points d'intérêt spatio-temporels et des primitives 2d+t et suivrons 2 axes : i) l'analyse multi-dimensionnelle fondée sur les tenseurs et les moments spatio-temporels, ii) l'utilisation conjointe des harmoniques sphériques avec le calcul de fonctions de densité de forme 3D. Pour la phase de reconnaissance des activités, nous allons explorer d'autres approches de type deep learning comme les *Hidden Conditional Random Fields* qui semblent bien adaptés à notre problématique.

Références

- [1] E. J. Candès and C. Fernandez-Granda. Towards a mathematical theory of super-resolution. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 67(6) :906–956, 2013.

- [2] Y. de Castro and F. Gamboa. Exact reconstruction using beurling minimal extrapolation. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 395(1) :336–354, 2012.
- [3] V. Duval and G. Peyré. Exact support recovery for sparse spikes deconvolution. *Foundation of Computational Mathematics*, 2015. to appear.
- [4] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, pages 1097–1105, 2012.
- [5] Praveen Kulkarni, Joaquin Zepeda, Frederic Jurie, Patrick Perez, and Louis Chevallier. Learning the structure of deep architectures. In *26th British Machine Vision Conference*, 2015.
- [6] Romain Negrel, Alexis Lechervy, and Frederic Jurie. Boosted metric learning for efficient identity-based face retrieval. In *26th British Machine Vision Conference*, 2015.
- [7] Ronan Sire and Frédéric Jurie. Discriminative part model for visual recognition. *Computer Vision and Image Understanding*, to appear.
- [8] Alexandre B. Tsybakov. Aggregation and high-dimensional statistics. In *Saint-Flour lectures*. July 8-20 2013.

4.3.3 Équipe Monétique & Biométrie

Le projet de l'équipe Monétique & Biométrie s'appuie sur une analyse SWOT.

Points forts

L'équipe peut compter sur plusieurs points forts :

- Très bonne dynamique (création en début de quinquennat, passage de 3 à 8 enseignant-chercheurs, 9 thèses soutenues et 10 en cours, bonne ambiance) ;
- Bonne production scientifique (32 revues et 83 conférences internationales) ;
- Relations partenariales et contractuelles excellentes (valorisation contractuelle de 2.2 M euros, 4 brevets, 6 thèses CIFRE) ;
- Reconnaissance internationale (3 projets européens, invitations en conférence invitée, 6 thèses co-dirigées avec l'étranger) sur plusieurs travaux de l'équipe (dynamique de frappe au clavier, détection de la fraude, biométrie révoquée ...).

Points faibles

Plusieurs points restent à améliorer :

- Positionnement géographique isolé de l'équipe (site distant) ;
- Quelques membres faiblement produisant ;
- Faible collaboration avec les autres équipes du GREYC malgré plusieurs tentatives (thèse avec l'équipe HULTECH non financée, projet régional porté par l'équipe Monétique & Biométrie impliquant toutes les équipes d'informatique du GREYC non retenu).

Risques

- Prise de responsabilités des membres de l'équipe (plusieurs responsabilités de formations à l'ENSICAEN et l'UNICAEN, direction adjointe du GREYC, Normandie Université) ;
- Encadrement de thèses reposant actuellement sur 2 HDR actifs.

Opportunités

- Déménagement au site A dans les nouveaux locaux du GREYC qui facilitera les collaborations avec les autres équipes ;
- Continuer à participer à des consortiums de projets H2020 (notamment en cybersécurité) ;
- Favoriser la soutenance de plusieurs HDR (au moins 2 prévues sur le quinquennat : Jean-Marie Le Bars et Estelle Charrier).

Perspectives scientifiques

Pour la prochaine période, les deux thématiques de recherche (T1 : confiance et T2 : biométrie) de l'équipe seront conservées avec pour chacune d'elle le même souci de consolidation et de développement des activités de recherche. Christophe Charrier, Maître de conférences HDR à l'IUT de St Lô, a été élu comme nouveau responsable d'équipe pour le prochain quinquennat.

- **Perspectives du Thème Confiance T1**

Responsable : P. Lacharme

L'équipe travaille depuis plusieurs années sur la sécurité des systèmes embarqués, en particulier dans le domaine de la carte à puce. Nous comptons poursuivre cette étude en nous intéressant à l'analyse statistique des données stockées dans les cartes. Plus précisément, ces données ne peuvent pas être analysées à l'aide des tests statistiques connus (comme ceux du NIST), l'objectif est donc de créer un cadre d'étude comprenant une batterie de tests applicable à de très courtes séquences de données. Dans le prolongement de cette étude, nous souhaitons également analyser quantitativement et qualitativement l'aléa contenu dans ces données. De manière plus générale, les travaux réalisés depuis quelques années dans le domaine de la biométrie sur carte à puce, ainsi que certaines améliorations du logiciel WSCT (qui permet d'analyser et de rejouer des transactions entre une carte et un lecteur), vont se développer sur l'analyse d'applications embarquées pour des applications bancaires ou en biométrie. Au niveau de la cryptographie appliquée, nous envisageons plusieurs perspectives, aussi bien au niveau théorique qu'applicatif, dans la poursuite des travaux de plusieurs membres de l'équipe. Ainsi, on prévoit d'un côté d'étudier certains types de fonctions booléennes, que l'on envisage d'appliquer aux codes correcteurs d'erreur et en cryptographie symétrique. En particulier, nous étudions actuellement une sous-classe des fonctions booléennes, qui possèdent des propriétés intéressantes (aussi bien au niveau combinatoire qu'algorithmique), que l'on souhaite approfondir. De même, nous envisageons l'étude d'autres codes correcteurs d'erreurs, dont les propriétés sont intéressantes pour des applications en stéganographie et en cryptographie. D'un autre côté, on prévoit d'étudier l'utilisation de la stéganographie et de la cryptographie, en boîte noire, pour améliorer les propriétés de vie privée. Enfin, nous souhaitons analyser les possibilités d'appliquer des crypto-systèmes homomorphes pour des applications en biométrie et en protection de la vie privée et nous avons prévu d'expertiser plus finement les crypto monnaies existantes et le principe de *block chain*. Par ailleurs, des travaux sur la détection de fraudes dans des flux de transactions bancaires ont également été engagés. Ces travaux s'appuient notamment sur les outils d'apprentissage automatique, également utilisés dans le domaine de la biométrie. Ces travaux se poursuivront par une étude des outils d'apprentissage automatique les plus récents, tels l'apprentissage multi-vues, multi-labels ou bien l'apprentissage à architecture profonde. La mise à jour du modèle en fonction du temps fait également partie des pistes d'étude. Enfin, des applications à des flux non bancaires sont également envisagées.

- **Perspectives du Thème Biométrie T2**

Responsable : C. Charrier

L'équipe travaille depuis près de 8 ans notamment sur des modalités biométriques comportementales (comme la dynamique de frappe au clavier) jugées moins intrusives par les utilisateurs mais moins performantes. Nous avons l'intention de poursuivre ces travaux qui nous permettent d'avoir une bonne visibilité internationale en nous intéressant à plusieurs verrous scientifiques comme la mise à jour du modèle biométrique ou la définition de métriques de comparaison de signaux de tailles différentes (traduisant un comportement). Nous allons poursuivre nos travaux concernant la protection des données biométriques en nous focalisant sur des modalités comportementales : cet aspect est peu étudié dans la littérature et l'utilisation du BioHashing permet de gagner en performance ce qui est un aspect intéressant pour ce type de modalité en plus de la protection de la vie privée de l'utilisateur. Nous avons commencé récemment à définir des protocoles d'authentification combinant des concepts de biométrie révocable avec une donnée biométrique comportementale. Ces protocoles sont très originaux par rapport à l'état de l'art (par exemple la généralisation de la notion de mots de passe à usage unique asynchrones ou synchrones avec de la biométrie) et intéressent beaucoup des industriels souhaitant exploiter ce type de solution dans différentes applications allant du paiement à la

gestion d'identité numérique centralisée ou décentralisée. Cette dernière application est traitée dans le cadre du projet européen OffPAD. Un aspect important qui sera développé dans le prochain quinquennat est l'évaluation de systèmes biométriques. Nos activités sur la définition de métriques de qualité de données biométriques sont visibles au niveau international (nous avons proposé par exemple la seule méthode de l'état de l'art pour l'instant permettant de qualifier la qualité d'un template de minuties d'empreintes digitales). La plateforme EVABIO est centrale dans ce contexte et nous permet à la fois de collaborer avec des industriels mais aussi de doter l'équipe d'un outil performant et automatisé de validation d'algorithmes. Cette plateforme permet en effet de générer rapidement des simulations et faciliter nos publications scientifiques au meilleur niveau sur des bases de données biométriques toujours plus grandes. Les interactions avec le thème confiance s'accroissent notamment sur des applications mobiles où la biométrie (notamment comportementale) est une solution intéressante pour l'authentification de l'utilisateur.

L'équipe Monétique & Biométrie va poursuivre sa collaboration avec les industriels pour contribuer au financement de l'équipe (missions, ingénieurs, matériel) mais également pour anticiper les futurs besoins dans le domaine de l'identité numérique et de la monétique (domaine qui reste notre premier secteur d'application de nos travaux de recherche).

- **Organisation de l'équipe**

Un des principaux changements de l'équipe Monétique & Biométrie a trait à son déménagement du site B pour rejoindre les autres équipes de laboratoire dans le nouveau bâtiment dont la date de livraison est programmée fin 2015. Du fait de son éloignement géographique avec les autres équipes, l'équipe Monétique & Biométrie a développé ses plateformes logicielles ainsi que des services développement de type SCN sur des serveurs gérés par les ingénieurs de l'équipe. Avec ce regroupement des équipes dans un même bâtiment, il conviendra à l'équipe de procéder au redéploiement des services sur les serveurs du GREYC et ainsi rejoindre l'environnement de développement, et notamment le serveur de gestion des projets. En outre, le fait de rejoindre les autres équipes dans un même bâtiment permettra aux membres de l'équipe d'initier de nouvelles collaborations inter-équipes et de renforcer celles existantes (principalement AMACC, HULTECH et IMAGE).

Le mode de fonctionnement actuel, même s'il donne satisfaction aux membres de l'équipe, sera amélioré de manière à étendre les échanges scientifiques entre les différents membres. Ainsi, le planning pour des réunions bi-mensuelles sera programmé à chaque début d'année universitaire. De même, des séminaires internes à l'équipe seront mis en place à une fréquence d'un tous les deux mois de manière à ce que les personnes qui ont présenté des articles dans des conférences fassent une présentation de leurs travaux aux autres membres de l'équipe. Tout ceci permettra de conserver la cohésion excellente au sein de l'équipe en permettant à tous de connaître les domaines d'expertise de chacun et d'éviter d'avoir des membres faiblement produisant.

- **Politique scientifique**

Sur le plan national, l'équipe envisage de se rapprocher du GdR-ISIS afin de pouvoir développer une action spécifique autour de la biométrie de manière à fédérer les équipes de recherche nationales. Cela permettra également de promouvoir cette thématique de recherche au sein de la communauté scientifique et ainsi de renforcer la visibilité de l'équipe (et ainsi du laboratoire). Un ou plusieurs projets ANR seront ainsi déposés sur une des thématiques de recherche qui intéresse l'équipe Monétique & Biométrie en concertation et collaboration avec les acteurs

majeurs du domaine, qu'ils soient industriels (Morpho, Thalès défense & Security, etc.) ou académiques (EURECOM, IRISA, Univ. Paris 6, etc.).

Dans une autre mesure, l'équipe a développé une stratégie de valorisation et de transfert technologique avec le monde industriel qui lui permet de développer régulièrement de nouvelles collaborations et d'accroître ainsi sa notoriété auprès des industriels. Afin de pouvoir répondre à cette demande qui est en constante augmentation, l'équipe a décidé de mettre en place une équipe d'ingénieurs de recherche et d'étude qui travaillera conjointement et en concertation avec les enseignants-chercheurs de l'équipe. Ceci nous permettra d'optimiser la gestion des projets, processus qui fait défaut actuellement et qui malheureusement ne nous permet pas de pouvoir répondre de manière positive à toutes les sollicitations industrielles. La question de pérennisation de ces ingénieurs est un problème majeur, il devient nécessaire de trouver une solution permettant de conserver leurs expertises (création d'une startup associée à l'équipe...).

Sur le plan international, les collaborations existent notamment grâce aux co-directions de thèses. Elles seront maintenues au niveau existant et renforcées par la participation de membres de l'équipe à des projets européens (appels H2020, Eurostars, Interreg). Le développement des co-tutelles des thèses sera encouragé en lieu et place des co-directions. L'objectif à terme étant d'accroître et de renforcer la visibilité de l'équipe sur le plan international et de définir un réseau solide et pérenne.

4.4 Département Analyse et Conception de Systèmes

4.4.1 Équipe Automatique & Télécom

A) Points forts et faibles, risques et opportunités

Le bilan des réalisations, présenté dans la section 2.3.1, nous permet la description suivante de l'état de l'équipe.

Points forts

Les principaux points forts de l'équipe sont :

- La qualité de sa production scientifique, cette qualité est attestée par le nombre de publications dans des revues internationales et conférences internationales de premier plan.
- Sa bonne visibilité nationale et internationale.
- Le bon rapport (nombre de doctorants)/(nombre d'enseignants-chercheurs), actuellement 5 thèses sont en cours et 2 thèses (une bourse région et une cotutelle) démarreront en octobre 2015.

Points faibles

Les principaux points faibles de l'équipe sont :

- Le nombre réduit de contrats et projets (1 contrat et 1 projet sur la période 2010-2015), ce faible nombre réduit les capacités de financement de l'équipe.
- Le déficit en HDR (aucun Maîtres de Conférences HDR).
- L'absence d'un ingénieur d'études pour le développement de plate-formes.

Risque d'entrave pour le développement de nos activités

- Réduction des financements publics.

Opportunités

Malgré ce risque, l'équipe entend combler ses lacunes en profitant des opportunités suivantes :

- Le développement du département Systèmes et collaborations avec d'autres équipes du GREYC.
- Le développement de collaborations industrielles via les projets industriels émergents (notamment application de l'observation des systèmes aux Energies Marines Renouvelables et AMI portant sur la maîtrise des procédés).
- Le réseau des étudiants SATE. Depuis quelques années, la majeure SATE (Signal, Automatique, pour les Télécoms et les systèmes Embarqués) draine parmi les meilleurs étudiants de l'ENSICAEN. Cette majeure est dirigée par un membre de l'équipe, Miloud Frikel, et l'équipe souhaite profiter davantage de ce flux d'étudiants.

B) Perspectives

L'équipe souhaite poursuivre ses travaux de recherche dans la continuité de ses activités du précédent quinquenal mais aussi renforcer son périmètre scientifique via le développement de ses activités liées au traitement du signal et Télécom.

Les travaux de recherche de l'équipe seront organisés en 4 thèmes : les trois thèmes de recherche fondamentale (Identification des Systèmes, Traitement du Signal et Télécom, Observation des systèmes non linéaires et Commande des systèmes non linéaires) et le thème applicatif (Aspects méthodologiques).

Thème 1 : Identification des Systèmes, Traitement du Signal et Télécom

Le projet de l'équipe sur ce thème est double. Il repose d'une part sur un renforcement de problématiques déjà portés par l'équipe et d'autre part sur le développement d'idées transverses (croisement Identification et Télécom). Nous pensons que cette dualité va permettre une meilleure interaction entre les membres de l'équipe et l'émergence de solutions nouvelles et originales.

- Dans le contexte de l'identification des systèmes en présence de bruit borné, nous souhaitons poursuivre notre effort afin de permettre la proposition et l'analyse d'autres solutions. Il s'agit par exemple de l'identification de systèmes non linéaires (par exemple nonlinéarité par bloc ou bien données quantifiées en sortie) en présence de bruit borné et de l'estimation de modèles sous forme de représentation d'état en présence de bruit borné.
- Traitement du signal pour les Télécommunications (Egalisation). Nous développons actuellement des algorithmes d'égalisation aveugle, c'est à dire non-supervisée. Ces algorithmes s'inspirent d'algorithmes d'identification de type Set-Membership. Les avantages des solutions proposées sont multiples : paramétrisation aisée de l'algorithme, faible charge de calcul et mise en oeuvre aisée en temps réel. Nous souhaitons à présent compléter nos analyses de performances et proposer des variantes s'adaptant à différentes structures de canal ou différents types de modulation. Sur ce thème, une thèse en cotutelle avec la Tunisie est prévue pour octobre 2015.
- Traitement du signal multidimensionnel pour la géolocalisation. Ce projet concerne l'étude et le développement de nouvelles méthodes de localisation de sources large bande pour des structures d'antennes quelconques. Il s'agira en particulier d'étudier et de développer des méthodes à haute résolution pour l'estimation des directions d'arrivée, d'en étudier les performances et la sensibilité à la structure de l'antenne. L'intérêt de ces nouvelles structures est d'appliquer la localisation à des systèmes de radiocommunication cellulaire. Parmi les pistes de recherche à envisager, on s'intéressera à l'adaptation des méthodes à haute résolution classiques (bande étroite) pour la problématique des antennes quelconques. Il sera par ailleurs nécessaire d'établir les performances de ces méthodes et de réaliser une étude de leur sensibilité aux variations du

diagramme de rayonnement. Ce projet sera l'occasion d'acquérir une expertise dans les domaines de recherche liés au traitement d'antenne et à l'analyse spectrale. Il s'agit de thématiques qui donneront lieu à de nombreuses applications industrielles : géolocalisation, radiocommunication, systèmes de localisation dans un réseau de capteurs sans-fil, etc. Ces travaux de recherche font actuellement l'objet d'une thèse en collaboration avec le Maroc.

- **Identification et Traitement du Signal pour l'analyse de données.** Nous avons constaté une proximité entre la formulation de certains problèmes d'identification pour des systèmes non linéaires et des problèmes de classification en analyse de données (notamment problème d'identification des systèmes à sortie binaire et algorithme type SVM ou problème de clustering de sous-espaces). Notre objectif est de proposer des solutions de classification supervisée ou non-supervisée issues de notre culture propre de l'identification. Ce travail de recherche s'appuiera en partie sur la thèse d'A. Goudjil (2014-2017) portant sur des problèmes d'identification et d'analyse de données.

Thème 2 : Observation des systèmes non linéaires

L'équipe automatique effectue une recherche sur l'observation des systèmes, depuis septembre 1997, dont l'ultime motivation est d'exhiber des formes normales pour des systèmes non nécessairement uniformément observables permettant la synthèse d'observateurs pour ces systèmes. Ensuite, l'approche grand gain est adoptée pour la synthèse des observateurs.

Les contributions de l'équipe offrent de nombreuses perspectives d'investigation relatives aux problèmes ouverts suivants.

- **Caractérisation des systèmes multivariables uniformément observables.** On se propose dans cette étude d'exhiber une forme normale caractérisant la classe la plus large des systèmes uniformément observables. Des formes normales d'observabilité ont été proposées dans [1339, 1340, 1359, 1477] avec des synthèses spécifiques d'observateurs. Les connaissances acquises nous motivent à poursuivre cette étude en vue d'une généralisation des formes normales obtenues.

- **Approche unifiée pour la synthèse d'observateurs adaptatifs.** Les recherches dans ce thème se situent aussi dans la continuité de nos travaux sur la synthèse des observateurs adaptatifs. Nous travaillons sur la synthèse d'observateurs étendus pour l'estimation conjointe de l'état et de paramètres inconnus. La synthèse de ces observateurs est effectuée en adoptant une approche de type grand gain et la leur convergence est établie sous des hypothèses d'excitation persistante bien déterminées. Nous avons déjà montré que lorsque l'état du système est uniformément observable, alors la convergence de l'observateur étendu est garantie sous une hypothèse d'excitation persistante ne faisant intervenir que certaines fonctions impliquant les paramètres inconnus (notion d'indices caractéristiques). De même, l'observateur étendu peut toujours s'écrire sous une forme adaptative faisant apparaître explicitement et de manière séparée les gains d'observation d'une part et les gains d'adaptation paramétrique d'autre part. Des résultats sur la synthèse d'observateurs étendus pour une classe de systèmes MIMO non forcément uniformément observables ont d'ores et déjà été obtenus et seront soumis à publication.

- **Synthèse d'observateurs pour les systèmes à retard.** Plusieurs problèmes inhérents aux systèmes à retard restent ouverts et nous continuerons à travailler pour la recherche de certaines solutions à ces problèmes. Nous pouvons par exemple citer le cas des systèmes exhibant des retards inconnus qui interviennent au niveau des états non mesurés. Nous travaillons actuellement pour caractériser l'ensemble des systèmes pour lesquels l'identification du retard intervenant au niveau d'un état non mesuré est possible et procéder par la suite à la synthèse d'observateurs pour l'estimation conjointe des états et du retard. Un autre problème d'actualité concerne les systèmes avec des sorties retardées. Nous avons déjà proposé des solutions lorsque le retard est connu en considérant respectivement le cas d'un retard constant et d'un retard variant dans le temps [1338, 1403, 1406, 1478]. Nous travaillons actuellement pour affaiblir les conditions

requis pour la synthèse d'un observateur lorsque le retard est variable. Par ailleurs, nous cherchons aussi à établir le lien entre la synthèse d'observateurs pour les systèmes à retard d'une part et les systèmes échantillonnés d'autre part. Enfin, nous exploiterons tous ces résultats pour élaborer un contexte de synthèse de systèmes de commande prédictive pour les systèmes exhibant des retards sur les entrées, les sorties et les variables d'état.

- Synthèse d'observateurs à entrées inconnues. La motivation de cette étude est d'étendre d'abord nos travaux [1348, 1366] à une large classe de systèmes multivariables observables pour toute entrée et non linéaires par rapport aux entrées inconnues. Des conditions suffisantes pour l'estimation conjointe des variables d'état et des entrées inconnues seront établies. Nous exploiterons ensuite ces résultats pour l'observation des systèmes singuliers. Les observateurs ainsi conçus seront judicieusement utilisés pour traiter des problèmes de diagnostic et de supervision.
- Approche systématique pour la synthèse d'observateurs avec des sorties échantillonnées. Nous chercherons à améliorer les résultats que nous avons obtenus et qui permettent une resynthèse systématique d'observateurs fonctionnant avec des sorties disponibles en temps continus pour obtenir des versions continues-discrètes. Il s'agit en l'occurrence relâcher la condition requise sur le processus d'échantillonnage en vue de pouvoir considérer des périodes d'échantillonnage relativement grandes. De même et comme nous l'avons énoncé précédemment, nous chercherons à établir un lien entre la synthèse d'observateurs continus-discrètes avec celle des systèmes exhibant des retards sur la sortie.

Thème 3 : Commande des systèmes non linéaires

Outre une vigoureuse valorisation de nos contributions sur la commande du type grand gain par des publications dans des revues, toutes nos contributions seront confortées et développées à travers les problématiques suivantes.

- Commande avec retour d'état incorporant un observateur des systèmes multivariables. Cette étude consiste à étendre le contexte de synthèse de systèmes de commande du type grand gain développé au sein de l'équipe pour les systèmes triangulaires [1426] à des classes de systèmes commandables et observables pour toute entrée caractérisées par une forme canonique composée par une cascade de sous-systèmes avec des couplages non triangulaires [1407]. Pour ce faire, on exploitera judicieusement le concept de dualité observation-commande pour tirer le meilleur profit de nos résultats sur l'observation des systèmes.
- Commande adaptative non linéaire. Ce thème est essentiellement développé à partir d'une commande du type grand gain incorporant un observateur adaptatif du type grand gain conformément au principe d'équivalence certaine. On exploitera d'abord nos résultats sur la synthèse des observateurs adaptatifs et des systèmes de commande avec retour d'état du type grand gain pour proposer des algorithmes de commande adaptative en supposant que la condition d'excitation persistante requise pour la convergence paramétrique est satisfaite. On cherchera ensuite à relâcher la condition d'excitation persistante en utilisant des modifications appropriées des lois d'adaptation paramétriques sous-jacentes.
- Commande non linéaire des systèmes échantillonnés. Cette étude consistera à proposer des lois de commande échantillonnées pour des systèmes incertains observables pour toute entrée, notamment celles décrites par une cascade de systèmes avec des structures non complètement triangulaires. Comme pour l'observation, la synthèse des systèmes de commande échantillonnée est effectuée en reconsidérant celle des systèmes de commande continus en adoptant une approche de Lyapunov adaptée pour les systèmes impulsifs. On montrera que la loi de commande échantillonnée pourra être couplée avec des observateurs continu-discrètes pour faire la synthèse de systèmes de commande avec retour de sortie.
- Commande adaptative floue des systèmes non linéaires. A partir des résultats déjà établis, nous chercherons à développer une méthodologie de commande floue adaptative pour les

systèmes complexes, qui nécessite des modifications appropriées des algorithmes d'adaptation paramétrique et des lois de commande sous-jacentes. Ces modifications sont principalement motivées par des considérations de mise en œuvre, e.g. les mesures ne sont disponibles qu'aux instants d'échantillonnage et la commande est appliquée à partir d'une opération de conversion numérique-analogique donnée. Néanmoins, elles nécessitent des études fondamentales pour préserver les résultats de convergence établis dans le contexte de synthèse continue adopté. Deux modifications peuvent être envisagées dans un premier temps. La première consiste à utiliser des algorithmes d'adaptation issus d'une approche ensembliste en utilisant les derniers résultats de l'équipe sur l'identification des systèmes. La seconde relève de la reformulation des problèmes de synthèse compte tenu du processus d'échantillonnage envisagé.

Thème 4 : Aspects méthodologiques

Un effort important continuera à être consacré à la recherche méthodologique pour conforter et développer notre savoir-faire en matière d'ingénierie des systèmes. Comme nous l'avons déjà mentionné, cette recherche méthodologique est particulièrement motivée par notre souci de participer activement aux projets de la région, notamment le projet EMR, et de développer des collaborations industrielles et des projets avec nos collègues.

- Une approche expérimentale pour la conduite des bioréacteurs. Nous continuerons nos travaux sur l'observation et la commande des bioréacteurs. Les connaissances que nous avons acquises aussi bien sur la modélisation des bioréacteurs que sur la conception des observateurs dans le contexte des systèmes échantillonnés nous permettront de développer une méthodologie de conduite de bioréacteurs à haute valeur ajoutée [1321]. Ces travaux se feront dans la continuité de notre collaboration avec l'Unité de Recherche "Aliments Bioprocédés Toxicologie Environnements" (ABTE, EA 4651) de l'Université de Caen.
- Commande des systèmes électro-mécaniques. Nous exploiterons les résultats que nous avons établis pour les étendre par la prise en compte du processus d'échantillonnage lors de la synthèse des systèmes de commande. La solution proposée pourrait être valorisée à travers des collaborations industrielles.
- Développement d'un outil modulaire paramétrable pour une chaîne de communication numérique avancée. Nous envisageons de développer un outil modulable pour la définition et la validation d'une chaîne de transmission numérique. Le projet ambitionne d'intégrer des technologies transversales et les éléments suivants peuvent être étudiés : la résistance à la mobilité en présence de canaux de propagation multi-trajets, les modulations multi-porteuses, l'étalement du spectre par différents codes, l'efficacité spectrale, et les systèmes MIMO. L'objectif est par ailleurs de valider la chaîne de traitement par le biais de la réalisation d'un démonstrateur. Les résultats attendus du projet sont : (1) de type méthodologique avec le développement de cet outil de simulation de la chaîne de transmission pour l'exploration architecturale, (2) un enrichissement scientifique et technique pour le présenter à d'éventuels partenaires et comme support pour des stagiaires et doctorants.
- Application des observateurs non-linéaires aux télécommunications. Les observateurs non-linéaires peuvent trouver leurs applications dans le domaine des télécommunications, notamment dans le domaine de la sécurité des transmissions basés sur les systèmes chaotiques. En effet, les systèmes chaotiques possèdent des propriétés très intéressantes qui sont utilisées pour le cryptage de l'information dans les systèmes de transmissions des données. Pour la cryptographie chaotique, un des concepts les plus importants de démodulation cohérente est la synchronisation par l'utilisation des observateurs, c-à-d, que le récepteur tend à reconstruire les états de l'émetteur à partir du signal transmis, signal considéré comme la sortie du système à observer, et ensuite à récupérer le message crypté considéré comme une entrée inconnue. L'opération de synchronisation des systèmes chaotique pour le décryptage de l'information peut être par

conséquent une application directe d'observateurs non-linéaires développés au sein de l'équipe.

- Amélioration des éclairages multi couleurs à LED. Dans le cadre d'un projet H2020 portant sur l'optimisation des éclairages multi-couleurs LED et regroupant différents partenaires (privés et publics) allemands, hollandais et français, l'équipe se propose de développer un algorithme pour l'asservissement de la température de couleur d'un éclairage de type LED. La solution proposée permettra le maintien de la température de couleur en dépit des perturbations thermiques modifiant le comportement des LEDs. Elle devra permettre de suivre des profils de changement de couleur non agressifs pour les êtres vivants. Il est à noter que cette approche entièrement en boucle fermée est novatrice et fera sans doute l'objet d'un brevet. Un deuxième volet de ce travail sera la mise au point d'une loi de commande non linéaire des drivers de LEDs. Cet algorithme devra minimiser le nombre de capteurs à placer dans ce driver et être capable d'assurer des performances constantes quelque soit le courant de charge et la tension d'alimentation. La loi de commande non linéaire du driver sera dimensionnée de manière à être intégrée dans un chip.
- En parallèle avec les développements théoriques sur l'identification et traitement du Signal pour l'analyse de données, et en continuité avec le projet DGE attendant à l'identification et au traitement du signal, nous souhaitons poursuivre nos efforts de diffusion de notre savoir-faire en analyse de données via des collaborations industrielles (discussion en cours).

4.4.2 Équipe Automatique Infini-Dimensionnelle et Applications

Points forts

- Qualité de la production scientifique (29 revues et 51 conférences internationales, 2 ouvrages collectifs) ;
- Bonne visibilité internationale (conférences invitées, membres de comités IFAC, présidence du comité IFAC TC 1.2, thèses co-dirigées avec l'étranger, membres de comités éditoriaux pour Control Engineering Practice, Mathematical problems in Engineering Control) ;

Points faibles

- Peu de participation dans des projets ou contrats, ceci malgré plusieurs tentatives ;
- Déficit en doctorants ;
- Seulement deux membres HDR dans l'équipe ;

Opportunités

- Solide réseau de collaborateurs aussi bien en France qu'à l'étranger ;
- Possibilité de thèses en co-tutelles ;
- Projets en partenariat avec d'autres équipes de recherche (INTERREG actuellement en cours de montage) ;

Evolution de l'équipe AIDA (Automatique Infini- Dimensionnelle et Applications)

Porteur du Projet : T. Ahmed-Ali (PR ENSICAEN)

Le projet de l'équipe s'inscrit pour l'essentiel dans le cadre de l'automatique des Systèmes à Paramètres Distribués (SPD) appelés aussi Systèmes à Dimension Infinie. Il s'agit des systèmes dont l'état est une fonction, non seulement de la variable temps, mais aussi d'une autre variable, couramment dite d'espace, communément notée x , variant dans un domaine Ω . Les équations aux dérivées partielles (EDP) constituent l'outil naturel de modélisation de l'évolution spatio-temporelle de ces systèmes. La trajectoire d'état s'exprime alors à l'aide d'un générateur infinitésimal associé à l'EDP et est considérée comme un élément d'un espace fonctionnel qui

n'est pas de dimension finie. C'est donc dans ces espaces communément appelés espaces de Sobolev que se formulent les problèmes d'automatique concernant les SPD.

Les phénomènes physiques modélisés par des EDP sont très nombreux. On peut citer à cet égard, plusieurs types d'écoulements fluides, de propagations d'ondes, de rayonnements de plasmas,... Ces phénomènes se trouvent au cœur de plusieurs systèmes technologiques comme les engins supersoniques, les réacteurs à fusion, les échangeurs thermiques, les systèmes d'irrigation, les structures flexibles (en génie civil, dans les engins aéronautiques, dans certains dispositifs nano-technologiques...), certains procédés chimiques, les moteurs à combustion interne, les lignes de transmissions.

Dans le cadre du présent projet, l'intérêt sera porté en priorité sur les aspects commande et observation. L'aspect identification pourra être abordé ultérieurement. L'équipe abordera des problèmes théoriques, relevant de ces différents aspects, en vue de lever des verrous scientifiques dont un certain nombre sont d'ores et déjà clairement identifiés. Le volet applicatif fait également partie des préoccupations majeures. Les membres de cette équipe mènent depuis plusieurs années une activité de recherche couvrant de nombreux aspects de l'Automatique, dont les suivants :

- Commande adaptative robuste des systèmes linéaires et non linéaires,
- Commande non linéaire échantillonnée,
- Observateurs non linéaires, adaptatifs et échantillonnés de systèmes continus et retardés et connectés à un réseau,
- Commande de systèmes linéaires retardés et/ou contraints,
- Commande non linéaire des systèmes d'énergies renouvelables avec diverses sources (éoliennes, photovoltaïques, piles à combustible),
- Commande non linéaire des ensembles convertisseur-machine.

• **Thème 1 : Observation**

En matière de synthèse d'observateurs, l'équipe a déjà largement entamé le développement d'une activité dédiée aux SPD. Cette activité a permis d'élaborer plusieurs observateurs exponentiellement convergeant pour différentes classes de SPD modélisés, entièrement ou partiellement, à l'aide d'EDP. Des observateurs continus, échantillonnés, et adaptatifs ont ainsi été conçus en collaboration avec M. Krstic et F. Lamnabhi-Lagarrigue. La démarche suivie dans la synthèse et l'analyse est une forme duale de l'approche du backstepping pour la commande. Cette activité se poursuivra naturellement en vue de couvrir d'autres structures de systèmes dans le cadre de systèmes connectés au travers d'un réseau (NCS²⁴). Nous pensons particulièrement aux classes de systèmes de type parabolique, hyperbolique et de transport (retard).

• **Thème 2 : Commande**

Dans le domaine de la commande des SPD, l'activité de l'équipe portera sur la stabilisation et la poursuite de trajectoires de référence, en présence de diverses contraintes. Ces dernières incluent les contraintes d'entrée/sortie induites par les actionneurs et les capteurs et les contraintes de communication liées à la présence d'un média de communication fonctionnant suivant un protocole donné. Ces problèmes seront abordés pour différentes classes de systèmes dont la modélisation combine des équations différentielles ordinaires (EDO) et des EDP linéaires ou non. Parmi les classes d'EDP qui seront considérées, on peut citer celles de type parabolique (décrivant les processus de réaction-diffusion), hyperbolique (équations d'ondes),

24. Network Communications System

et transport (retards). A ce propos, il convient de souligner que, contrairement aux systèmes modélisés par des EDO, il n'existe pas pour les PDE de méthodologie générale de synthèse de régulateurs. Notre démarche s'inscrit essentiellement dans le cadre de l'approche du backstepping, initialement développée pour les systèmes EDO non linéaires, et étendue aux SPD par M. Krstic. Cette approche consiste à mettre en évidence des lois de commande transformant le système de départ en un "système cible" stable au sens de Lyapunov. Comme référence essentielle, on peut citer l'ouvrage de A. Smyshlyaev et M. Krstic²⁵. Notre projet vise l'extension de cette approche à des systèmes de structures plus complexes modélisés à la fois par des EDO et des EDP. Nous envisageons aussi de combiner les méthodes du backstepping développés par M. Krstic avec des commandes de type modes glissants en vue de mettre au point des schémas de commandes robustes. Nous visons aussi à tirer profit du savoir-faire acquis dans ce domaine en vue de développer certaines formes du principe de séparation et proposer des régulateurs à retour de sortie, adaptatifs ou non, échantillonnés ou non.

• Thème 3 : Applications

Sur le plan applicatif, l'accent sera essentiellement mis sur les systèmes d'énergies renouvelables, avec une attention particulière aux EMR²⁶. Ce domaine d'application est privilégié pour plusieurs raisons compte-tenu de son importance économique et écologique. D'ailleurs, la région de Basse-Normandie en fait un axe de développement prioritaire. Par ailleurs, les membres de cette équipe mènent depuis plus de dix ans une activité de recherche portant sur la commande des systèmes d'énergie électrique et possèdent donc déjà un savoir-faire dans ce domaine. La nouveauté dans ce projet consistera en l'insertion de lignes de transmission d'énergie reliant, par exemple, les sources aux utilisateurs. La présence de ces lignes dans les systèmes d'énergies renouvelables sera prise en compte à l'aide d'EDP ce qui introduira la dimension SPD dans ces derniers.

La liste des membres est donnée dans le tableau 4.4.2 ci-après. On y trouve six membres permanents ainsi que quatre membres associés avec lesquels des collaborations existent depuis plusieurs années.

Membres permanents	
Tarek AHMED-ALI	Professeur ENSICAEN
Fouad GIRI	Professeur UCBN
Philippe DORLEANS	Maître de Conférences UCBN
Jean-François MASSIEU	Maître de Conférences UCBN
Eric MAGAROTTO	Maître de Conférences UCBN
Vincent VAN ASSCHE	Maître de Conférences UCBN
Membres associés	
Laurent BURLION	Ing. Rech., ONERA
Hassan EL FADIL	Professeur ENSA, Kenitra, Maroc
Hamid OUADI	Professeur Univ. de Casablanca, Maroc
Mounaim EL MAGRI	Professeur ENSET, Mohammedia, Maroc

TABLE 4.3: Liste des membres de l'équipe AIDA

25. A. Smyshlyaev and M. Krstic, Adaptive Control of Parabolic PDEs, Princeton University Press, 2010.

26. Energies Marines Renouvelables

4.4.3 Équipe Électronique

Les perspectives scientifiques de l'équipe Electronique se situent dans la continuité des travaux en cours, c'est-à-dire l'étude et le développement de capteurs ou dispositifs à faible niveau de bruit.

Les points forts que nous souhaitons conforter sont :

- l'étude du bruit à basse fréquence dans les matériaux, composants et capteurs ;
- l'étude, la mise en œuvre, la caractérisation, l'optimisation de capteur (de rayonnement, de champ magnétique, électrique et chimique) ;
- la maîtrise de la chaîne complète de fabrication en salle blanche de capteurs en couches minces d'oxydes fonctionnels.

Ces dernières années, l'équipe a réussi à mettre en place de nombreuses collaborations sur les plans nationaux et internationaux, certaines sont déjà formalisées par des contrats de recherche. Dans le prochain quinquennal, elle tient à poursuivre ces efforts dans ce sens afin de consolider son positionnement.

Points à améliorer

Les points que nous souhaitons développer sont le renforcement des liens en interne entre les projets de développements de capteurs à partir du matériau en couches minces et les projets de développements d'instruments. Ces deux activités, correspondant aux deux thèmes dans l'organisation précédente de l'équipe, étaient menées en parallèle jusqu'à présent. Les progrès réalisés permettent aujourd'hui d'envisager de nouvelles interactions.

Risques

Un risque important pour les travaux de l'équipe est la nature expérimentale d'une bonne partie de ses activités (fabrication de composants en salle blanche, réalisation de bancs de test, et de démonstrateurs). Ces activités nécessitent du temps et l'implication de personnels techniques. Outre le personnel permanent il est nécessaire de prévoir dans les contrats le recrutement de personnels afin de soutenir nos activités de valorisation.

Opportunités

Les résultats acquis et les activités nouvelles qui sont apparues lors du précédent quinquennal nous ont amenés à réviser l'organisation de l'équipe et à la structurer en cinq groupes de travail GT (décrit ci-après). La responsabilité de l'équipe change et sera assurée par L.Méchin qui s'efforcera de coordonner ces 5 GT afin de développer les activités scientifiques de l'ensemble de l'équipe. La création d'un axe transverse, "valorisation / prestation de services", permettra de valoriser nos compétences sur le développement d'instrumentation auprès de laboratoires, d'autres équipes du GREYC ou d'entreprises. De plus, le déménagement de l'équipe dans des nouveaux locaux est programmé fin 2015 / début 2016. Il sera l'occasion d'une meilleure installation matérielle avec plus de surface disponible, de meilleures conditions de travail dans les bureaux, et également des collaborations renforcées avec les autres équipes du GREYC et le CIMAP. Enfin, différents projets internationaux, européens (OPEN FET), et ANR sont en cours d'évaluation. Dans l'hypothèse où ils sont acceptés, ils constitueront de façon évidente de véritables et nouvelles opportunités de développement de nos activités.

Nous noterons également l'arrivée de 2 collègues enseignant/chercheur de Cherbourg qui s'intégreront plus particulièrement dans les GT1 et GT2.

GT1 : Analyse physique par le bruit à basse fréquence (coord. : B. Cretu)

Étude du bruit à basse fréquence dans des transistors MOS nanométriques

Les études du bruit de génération – recombinaison en fonction de la température permettent d'identifier des pièges dans la zone de déplétion (film Si enterré) des transistors en utilisant

Responsable : Laurence Méchin

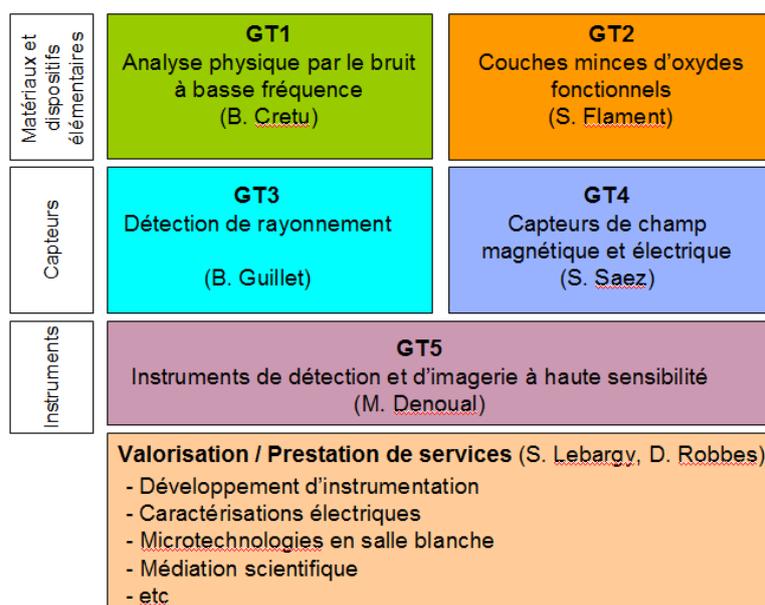


FIGURE 4.2 – Structure proposée pour l'équipe Électronique

Prénom et nom	Fonction	Groupe de travail				
		1	2	3	4	5
Bertrand BOUDART	Pr.U.	X	X			X
Régis CARIN	Pr.U. Emérite	X				
Christophe DOLABDJIAN	Pr.U.				X	X
Stéphane FLAMENT	Pr.U.		X		X	X
Didier ROBBES	Pr.U.				X	X
Jean Marc ROUTOURE	Pr.U.	X				
Sébastien SAEZ	Pr.U.				X	X
Laurence MECHIN	CR1 CNRS (HDR)	X	X	X		
Gilles ALLEGRE	MC			X		X
Christophe CORDIER	MC				X	X
Bogdan CRETU	MC (HDR)	X				
Matthieu DENOUAL	MC				X	X
Basile DUFAY	MC				X	X
Yannick GUEL	MC	X	X			X
Bruno GUILLET	MC(HDR)	X		X		
Chantal GUNTHER	MC			X		
Corentin JOREL	MC		X		X	X
Marc LAM CHOK SING	MC				X	X
Pierre LANGLOIS	MC	X		X		
Olivier MARESCHAL	MC		X			X

TABLE 4.4 – Répartition des membres permanents par groupe de travail

la méthode de spectroscopie du bruit. Depuis plusieurs années, une expertise unique dans ce domaine a été développée au GREYC. Les procédés ont été optimisés en étroite collaboration avec l'IMEC, dans le cadre de plusieurs projets PHC Tournesol, permettant l'échange des étudiants et des chercheurs. L'originalité des résultats obtenus jusqu'à présent sur des transistors de type FinFET 32 nm et des transistors de type FD SOI UTBOX 16 nm motivent la poursuite de la collaboration avec IMEC, en proposant l'utilisation du bruit basse fréquence comme outil de diagnostic non destructif pour les nouvelles générations de transistors nanométriques. Ces activités seront effectuées dans le cadre d'une thèse de doctorat à l'université de Caen et des mobilités internationales des jeunes chercheurs. Les études seront focalisées sur des transistors de type gate-all-around/nanowire SOI sub-10 nm, avec ou sans extensions et avec ou sans jonctions. Outre la technologie, l'impact de la géométrie et de l'orientation de croissance de Si peuvent avoir un impact sur les performances en bruit. L'analyse du comportement de bruit basse fréquence en fonction de la température permettra une meilleure compréhension de la qualité de l'empilement de grille et des mécanismes de transport de charge régnant dans le canal d'inversion. L'utilisation de la spectroscopie du bruit pourra donner la possibilité d'identifier des pièges dans la zone de déplétion, permettant ainsi la formulation d'une éventuelle optimisation des processus technologiques.

Etude du bruit à basse fréquence dans les transistors de type HEMT III-V (ANR LHOM 2014-2017)

A la suite de notre participation au projet européen de formation initial ITN intitulé RAINBOW (2008 – 2012) coordonné par le laboratoire CIMAP à l'ENSICAEN et incluant 14 laboratoires européens, projet dans lequel nous avons étudié le bruit à basse fréquence dans les couches minces d'InN, nous participons à un projet ANR LHOM (2014-2017). Il joint les efforts de 2 laboratoires de l'ENSICAEN pour mener une caractérisation électrique, en particulier le bruit à basse fréquence (GREYC) et structurale (CIMAP) de transistors à haute mobilité électronique (HEMT) à base d'AlInN. Le projet implique également un partenaire industriel (III-V lab à Marcoussis) qui va réaliser la croissance des matériaux et l'optimisation des structures transistors, ainsi que l'Institut de Microélectronique et de Nanotechnologie de Lille (IEMN Lille) qui va fabriquer les dispositifs. Ce travail est motivé par le fait que la qualité du matériau AlInN limite considérablement les performances actuelles des HEMTs qui n'atteignent pas les prévisions théoriques. L'originalité du projet se trouve dans la très grande complémentarité des techniques d'investigation qui seront utilisées de façon itérative pour l'optimisation des conditions de croissance des couches et de la technologie de fabrication. En plus des caractérisations systématiques du bruit à basse fréquence dans les composants, nous allons chercher à identifier les défauts d'isolation dans la couche d'InAlN grâce à des études par microscopie à force atomique dans le mode conducteur. Nous espérons ainsi réussir à identifier les défauts piégés ou non piégés qui dégradent les performances des HEMT afin de les éliminer.

Etude du bruit bf dans les HEMT III-V

Lié à l'arrivée de nos collègues Cherbourgeois, nous étudierons également l'impact du vieillissement de transistors de type HEMT III-V, filière nitrure de gallium (soumis à des stress électriques DC, à des irradiations ionisantes de type gamma ou neutronique en collaboration avec l'Ecole des Applications Militaires de l'Energie Atomique (EAMEA Cherbourg)) sur leurs caractéristiques électriques dc et sur leur bruit BF.

GT2 : Couches minces d'oxydes fonctionnels (coord. : S. Flament)

Les oxydes fonctionnels présentent de nombreuses propriétés (isolants, semiconducteurs, métaux, supraconducteurs, ferroélectriques, ferromagnétiques, piézoélectriques, etc.), et des transitions entre ces propriétés, qui sont potentiellement intéressantes pour la réalisation de

nombreux capteurs basés sur de nouveaux concepts. Préalablement à la réalisation de capteurs, il reste beaucoup d'études à réaliser sur ces propriétés physiques et sur l'optimisation de la croissance en couches minces afin de contrôler ces propriétés de manière reproductible. C'est l'objectif de ce groupe de travail.

Effet des contraintes et du champ électrique sur les propriétés électriques et magnétiques de $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO)

Au-delà des propriétés magnétorésistives et thermorésistives du LSMO (famille des manganites) qui conduiront au développement de bolomètres (GT3) et de magnétorésistances (GT4), nous nous intéresserons ici à l'exploitation de la forte corrélation entre la structure, les propriétés de transport électrique et les propriétés magnétiques, au sein de ce matériau, pour la conception de nouveaux capteurs. Nos connaissances sur les effets de contraintes statiques et sur la micro-fabrication de structures suspendues sur silicium développées pour les bolomètres, nous permet de proposer des dispositifs suspendus sur silicium micro-usiné afin d'appliquer des contraintes locales, contrôlées, et d'étudier ainsi les effets des contraintes sur le bruit, l'anisotropie magnétique et la magnétorésistance dans le LSMO. Ces travaux ont déjà commencé dans le cadre d'une thèse de doctorat à l'université de Caen (2014-2017). Nous allons compléter cette étude par l'effet du champ électrique sur les propriétés physiques du LSMO en collaboration avec l'IMDEA à Madrid.

Couches minces d'oxydes sur silicium

Nous avons démontré la possibilité de la croissance de couches minces épitaxiales d'oxydes fonctionnels (tels YBCO ou LSMO) sur silicium par ablation laser. Il reste encore à optimiser plusieurs paramètres pour ces matériaux (nature de la couche tampon, conditions de croissance) en vue d'étendre ensuite notre expertise à la croissance d'autres oxydes tels que les piézoélectriques BaTiO_3 et PZT par exemple. Ces études doivent alimenter l'ensemble de nos travaux sur les capteurs en couches minces d'oxydes fonctionnels. D'autre part nos collègues cherbourgeois poursuivront l'étude des propriétés de couches minces de CeO_2 sur silicium par pulvérisation RF magnétron pour le développement de capteurs (ex : capteur d'humidité).

GT3 : Détection de rayonnement (coord. : B. Guillet)

Détecteurs de rayonnement non refroidis LSMO pour l'infrarouge et le THz

Le domaine d'application de nos bolomètres LSMO suspendus aux performances proches de la limite théorique pour des détecteurs thermiques non refroidis n'est pas la caméra infrarouge, mais concerne les applications nécessitant un petit nombre de capteurs très performants, dans la gamme infrarouge jusqu'au THz. Nous avons montré dans le bilan les potentialités des couches minces LSMO suspendues pour la détection bolométrique non refroidie dans le visible/proche infrarouge. A court/moyen terme, nous poursuivrons l'optimisation de bolomètres suspendus à base de couches minces LSMO pour la détection dans le proche/moyen infrarouge. A moyen/long terme, il faudra travailler sur le couplage rayonnement – détecteurs afin d'adapter les détecteurs aux gammes de longueur d'onde où il manque des détecteurs non refroidis performants. Nos bolomètres LSMO couplés à des antennes adaptées devraient notamment pouvoir répondre aux besoins de détection dans la gamme THz et l'infrarouge lointain. Dans ce cadre nous avons initié une collaboration avec l'ESPCI pour des caractérisations à quelques centaines de GHz et avec le synchrotron Soleil.

Capteurs de gaz NDIR

Une voie prometteuse d'application de nos bolomètres LSMO pourrait être les capteurs de gaz non dispersifs (NDIR) où un nombre réduit de capteurs est nécessaire. Les capteurs NDIR sont constitués d'une source infrarouge, d'une cellule gaz, et d'un capteur infrarouge. Selon les gaz présents dans la cellule gaz, des raies d'absorption caractéristiques sont détectées. Dans

ce contexte, les très grandes performances de nos détecteurs sont attractives afin de réduire la consommation globale des capteurs NDIR, notamment de la source infrarouge, et de rendre plus compacte les cellules gaz grâce à la plus grande sensibilité et à la faible constante de temps des bolomètres. Nous coordonnons le dépôt d'un projet ANR 2015 intitulé Gas2Sens sur ce sujet, dont la pré-proposition a été acceptée en mars 2015. Un des partenaires est le CEA-LETI qui développe déjà de tels capteurs NDIR. Cette équipe a notamment mis au point des micro-sources infrarouges intégrées dans des capteurs NDIR. Ils seront chargés d'intégrer les bolomètres LSMO que nous aurons fabriqués dans les systèmes complets. Etant donné l'enjeu pour ce type d'application, deux partenaires industriels sont également impliqués : 3D-oxides qui serait chargé de développer des procédé de dépôt de couches minces LSMO sur des substrats 4 pouces en silicium avec couches tampons YSZ ou SrTiO₃, et eLichens à Grenoble qui serait chargé de définir les spécifications et de commercialiser les capteurs NDIR.

Explorer les potentialités d'autres matériaux pour des capteurs de rayonnement

Maintenant que notre technologie de réalisation de ponts suspendus est maîtrisée, nous pouvons imaginer la transposer à beaucoup d'autres oxydes. Les propriétés pyroélectriques de couches piézoélectriques, telles que PZT ou LiNbO₃ pour la détection de rayonnement, pourraient être amplifiées si les couches sont suspendues selon le même principe que celui utilisé pour les bolomètres. Il peut être aussi intéressant d'exploiter les propriétés thermoélectriques des couches minces d'oxydes suspendues. Il existe également de nombreux autres oxydes présentant des transitions métal-isolant potentiellement intéressantes, tels que par exemple les nickelates. Ces couches minces optimisées viendront de la synergie avec le GT2. Il conviendra d'étudier le bruit à basse fréquence dans ces matériaux avant de les considérer pour des bolomètres (en lien avec le GT1).

GT4 : Capteurs de champ magnétique et/ou de champ électrique (Coord. : S. Saez)

Par une approche systémique, nous souhaitons poursuivre l'optimisation de capteurs de champ magnétique et électrique. L'originalité de cette approche permet de ne pas considérer la transduction de manière isolée. En effet, les performances du capteur dépendent du système pris dans son ensemble.

Optimisation des capteurs GMI, ME et utilisation des effets non-linéaires

Le bilan de l'activité menée dans le développement des capteurs de champ magnétique (GMI et ME) a montré la richesse des travaux menés et leur pertinence. Les performances obtenues constituent à ce jour l'état de l'art. Soutenus par des collaborations scientifiques fortes avec l'École Polytechnique de Montréal (Canada) et VirginiaTech (USA), les travaux dans le domaine vont se poursuivre. Deux thèses en cours, celles d'Elodie PORTALIER et de May-Tia YANG, ont, respectivement, pour objectif l'optimisation des capteurs GMI et ME. Une réduction du bruit à basse fréquence des magnétomètres étudiés et une meilleur utilisation des comportements non-linéaires sont recherchées. Par ailleurs, le couplage des champs magnétique et électrique inhérent aux équations de Maxwell permet le développement de capteurs de champs électriques innovants (par exemple, les dispositifs ME ou ceux utilisant les propriétés des matériaux diélectriques, avec ou sans modulation).

Magnétorésistances à base de LSMO

Nous étudions par microscopie magnéto-optique Kerr les mécanismes de retournement de l'aimantation dans des couches minces LSMO déposées sur SrTiO₃ (001). Nous poursuivrons ces études sur des couches LSMO sur SrTiO₃ vicinaux. Le contrôle du retournement d'aimantation et la non dégradation du bruit dans les échantillons LSMO vicinaux par rapport à ceux déposés sur substrats SrTiO₃ (001) classiques ont été montrés. Différentes géométries doivent être étudiées et optimisées pour atteindre des valeurs de densité spectrale de bruit magnétique inférieures au

nT/ $\sqrt{\text{Hz}}$.

Étude de dispositifs émergents

Lors de la dernière édition (en 2012) de notre école internationale de magnétométrie “High Sensitivity Magnetometers "Sensors & Applications””, deux nouveaux types de capteurs magnétiques, les “Diamond magnetometer” et les “Magnonic magnetometer”, ont retenu notre attention. Il nous paraît opportun, au regard de notre expérience, de les étudier dans les années à venir, afin d’en étudier les performances ultimes.

Approche systémique et multi-physique dans la mise en œuvre des capteurs

Les progrès réalisés ces dernières années, par les automaticiens, dans l’identification et la commande de systèmes non-linéaires décrits par leurs équations d’état permettent d’envisager l’utilisation de ces techniques dans le cadre de l’optimisation et de la mise en œuvre de nos capteurs. Nous envisageons, en partenariat avec nos collègues automaticiens du GREYC, de travailler dans ce sens afin d’explorer de nouveaux conditionnements permettant une prise en compte des non-linéarités. Cette démarche peut conduire à nous réinterroger sur la nécessité d’une mise en œuvre de nos capteurs dans un système bouclé. Plus généralement, il s’agit d’étudier nos capteurs comme des systèmes complexes, associant les comportements non-linéaires, le bruit et plusieurs domaines de la physique.

GT5 : Instruments de détection et d’imagerie à haute sensibilité (Coord. : M. Denoual)

L’activité de recherche du groupe de travail 5 s’appuie sur une démarche d’analyse et de modélisation au service du développement d’instruments de détection et d’imagerie à haute sensibilité. Cette démarche, déclinée dans le contexte du contrôle non-destructif par courant de Foucault et de l’imagerie à partir de nanoparticules magnétiques lors du quadriennal précédent, sera conservée et ouverte à deux autres domaines physiques, ceux de la mesure du champ électrique et de la mesure thermique, et de nouveaux champs d’application seront explorés. Le groupe de travail dispose de relations au niveau international et industriel qu’il entend entretenir et accroître dans les années à venir. Par ailleurs, des contrats ou projets sont déjà établis qui structurent le début du quadriennal et les perspectives de recherche. Fondés sur un savoir-faire expérimental commun et une démarche d’analyse complète, les axes de recherches envisagés s’attachent d’une part à l’approfondissement de l’existant et d’autre part à l’ouverture à de nouveaux contextes applicatifs. Les axes approfondis sont ceux en lien avec le magnétisme, en particulier le contrôle non-destructif, et avec la mesure thermique. Dans le prochain quadriennal, l’ouverture des travaux menés par le groupe est portée par les activités émergentes autour du développement d’instruments fondés sur la mesure de champ électrique. La synergie avec les travaux antérieurs sur les instruments fondés sur la mesure de champ magnétique est anticipée à moyen terme pour converger vers le développement d’instruments d’impédancemétrie résolue en volume, ouvrant par la même le groupe à un champ vaste d’applications scientifiques et industrielles nouvelles.

Quelques projets du groupe de travail 5 peut être listés : détection d’anomalies magnétiques mobiles, contrôle non-destructif par courants de Foucault, imagerie de nanoparticules magnétiques, imagerie de champ électrique (application à la détection de mines antipersonnel), détection de champ électrique pour la mesure à distance de tension électrique, contrôle non-destructif électrique, détection chimique (capteur mono-corps d’épreuve à transduction multiple), détection chimique ou biologique de type thermique, détecteur de type thermique intelligent, impédancemétrie résolue en volume, cartographie thermique de composants électroniques (par spectroscopie Raman visible et UV).