

LABORATOIRE TRAITEMENT ET COMMUNICATION DE L'INFORMATION

Stratégie 2015–2019



Table des matières

| | |
|---|-----------|
| A Stratégie du LTCI | 4 |
| A.1 Analyse stratégique | 4 |
| A.2 Objectifs stratégiques | 7 |
| A.2.1 Réussir l'intégration à l'université Paris-Saclay | 7 |
| A.2.2 Soutenir les jeunes chercheurs | 8 |
| A.2.3 Renforcer l'interdisciplinarité | 9 |
| A.2.4 Constituer des alliances stratégiques | 9 |
| A.2.5 Augmenter l'impact socio-économique de nos recherches | 10 |
| A.3 Perspectives scientifiques | 11 |
| A.3.1 Contenu et méthode | 11 |
| A.3.2 Vision synthétique | 12 |
| A.4 Axes stratégiques d'établissement | 21 |
| A.4.1 Big data : dynamique des données et des connaissances | 21 |
| A.4.2 Très grands réseaux et systèmes | 22 |
| A.4.3 Confiance numérique : sécurité, sûreté et risques | 24 |
| A.4.4 Interactions réel-virtuel | 24 |
| A.5 Axes stratégiques des départements | 25 |
| A.5.1 Communications et électronique | 25 |
| A.5.2 Informatique et réseaux | 28 |
| A.5.3 Traitement du signal et des images | 30 |
| B Stratégie des équipes | 34 |
| B.1 Radiofréquences et microondes | 35 |
| B.1.1 Expertises stratégiques | 35 |
| B.1.2 Objectifs stratégiques | 36 |
| B.1.3 Leviers prioritaires | 36 |
| B.2 Télécommunications optiques | 37 |
| B.2.1 Expertises stratégiques | 37 |
| B.2.2 Objectifs stratégiques | 38 |
| B.2.3 Leviers prioritaires | 38 |
| B.3 Circuits et systèmes de communication | 39 |
| B.3.1 Expertises stratégiques | 39 |
| B.3.2 Objectifs stratégiques | 40 |
| B.3.3 Leviers prioritaires | 40 |
| B.4 Electronique des systèmes numériques complexes | 41 |
| B.4.1 Expertises stratégiques | 41 |
| B.4.2 Objectifs stratégiques | 41 |
| B.4.3 Leviers prioritaires | 42 |
| B.5 Communications numériques | 43 |
| B.5.1 Expertises stratégiques | 43 |
| B.5.2 Objectifs stratégiques | 43 |
| B.5.3 Leviers prioritaires | 43 |

| | | |
|--------|--|----|
| B.6 | Réseaux, mobilité et services | 44 |
| B.6.1 | Expertises stratégiques | 44 |
| B.6.2 | Objectifs stratégiques | 44 |
| B.6.3 | Leviers prioritaires | 45 |
| B.7 | Systèmes, logiciels et services | 46 |
| B.7.1 | Expertises stratégiques | 46 |
| B.7.2 | Objectifs stratégiques | 48 |
| B.7.3 | Leviers prioritaires | 48 |
| B.8 | Interaction, cognition et complexité | 49 |
| B.8.1 | Expertises stratégiques | 49 |
| B.8.2 | Objectifs stratégiques | 50 |
| B.8.3 | Leviers prioritaires | 50 |
| B.9 | Sécurité et réseaux | 52 |
| B.9.1 | Expertises stratégiques | 52 |
| B.9.2 | Objectifs stratégiques | 53 |
| B.9.3 | Leviers prioritaires | 53 |
| B.10 | Mathématiques, information, communications, calcul | 54 |
| B.10.1 | Expertises stratégiques | 54 |
| B.10.2 | Objectifs stratégiques | 54 |
| B.10.3 | Leviers prioritaires | 55 |
| B.11 | Audio acoustique et ondes | 56 |
| B.11.1 | Expertises stratégiques | 56 |
| B.11.2 | Objectifs stratégiques | 56 |
| B.11.3 | Leviers prioritaires | 57 |
| B.12 | Traitement et interprétation des images | 58 |
| B.12.1 | Expertises stratégiques | 58 |
| B.12.2 | Objectifs stratégiques | 59 |
| B.12.3 | Leviers prioritaires | 60 |
| B.13 | Multimedia | 61 |
| B.13.1 | Expertises stratégiques | 61 |
| B.13.2 | Objectifs stratégiques | 61 |
| B.13.3 | Leviers prioritaires | 61 |
| B.14 | Statistiques et applications | 63 |
| B.14.1 | Expertises stratégiques | 63 |
| B.14.2 | Objectifs stratégiques | 63 |
| B.14.3 | Leviers prioritaires | 64 |

Chapitre A

Stratégie du LTCl

Ce chapitre est consacré à la stratégie et aux perspectives scientifiques du LTCl. Il s'appuie notamment sur les réflexions stratégiques des équipes de recherche de l'unité qui seront détaillées dans le chapitre B.

Comme dans la partie bilan, nous nous plaçons ici dans la perspective proposée pour la période quinquennale 2015–2019 d'évolutions distinctes de deux composantes de l'unité ; d'une part, la composante de l'unité relevant des sciences et technologies de l'information et de la communications (STIC) qui porte le projet de renouvellement du LTCl ; et, d'autre part, la composante de l'unité relevant des sciences humaines et sociales (SHS) dont la perspective est celle de la création d'une unité multi tutelles (CNRS, Télécom ParisTech, Mines ParisTech, Ecole Polytechnique) relevant disciplinairement des SHS et centrée autour du thème de l'innovation (projet *I3 : Institut interdisciplinaire de l'innovation*). Dans la suite de ce chapitre, le terme LTCl est donc utilisé pour désigner la composante STIC de l'unité actuelle structurée en quatorze équipes réparties dans les trois départements, Communications et électronique (COMELEC), Informatique et réseaux (INFRES) et Traitement du signal et des images (TSI) dont le bilan pour la période 2008–2013 est détaillé dans les parties I à IV du document bilan (voir la table 2.1 pour une vision synthétique des équipes et départements)¹.

A.1 Analyse stratégique

Le LTCl est une unité mixte de recherche rattachée à l'Institut des sciences de l'information du CNRS et à Télécom ParisTech (Institut Mines-Télécom). **Ses missions sont de contribuer à l'avancement des connaissances dans le champ des sciences de l'information ainsi qu'au développement du potentiel d'innovation français dans le domaine du numérique.** Pleinement intégré au projet de l'Université Paris-Saclay, le LTCl a également pour ambition de contribuer à certains de ses objectifs majeurs que sont, **le renforcement de la formation par la recherche, l'émergence de recherches interdisciplinaires, le développement du potentiel d'innovation et de transfert** ainsi que **le rayonnement international**.

Pour analyser les perspectives du LTCl, nous utilisons dans cette partie le canevas conventionnel d'une analyse «SWOT» résumée par la table A.1.

En balayant les facteurs mentionnés dans la table A.1 de haut en bas, et en commençant donc par les facteurs internes, on trouve tout d'abord des aspects liés au **positionnement du LTCl** par rapport notamment aux laboratoires avec lesquels il est comparé, en France comme à l'international. L'unité a été évaluée collectivement au niveau A+ par l'AERES en 2010, avec toutes ses équipes au niveau A ou A+. L'unité a par ailleurs sur la période écoulée montré une forte attractivité, avec des recrutements de très bon niveau tant via le CNRS que Télécom ParisTech.

1. Les références numériques (partie I, table 2.1, ...) font référence au document bilan 2008–2013.

| | POSITIF | NEGATIF |
|----------------|--|--|
| INTERNE | <ul style="list-style-type: none"> • Unité de 130 permanents de niveau A+ • Forte attractivité pour le recrutement de jeunes chercheurs (CNRS et Télécom ParisTech) • 220 Doctorants & 75 CDD • Couverture thématique large des STIC • Grande capacité de recherche partenariale • Intégré à une grande école du <i>top ten</i> centrée sur les STIC | <ul style="list-style-type: none"> • Peu de A++ • Difficulté à faire émerger des thèmes portés par les jeunes chercheurs • Hétérogénéité des non permanents • Peu de travaux interdisciplinaires • Faible production de propriété intellectuelle • Faible capacité à briguer des financements très compétitifs • Inhomogénéité de la charge d'enseignement • Faible capacité d'attraction des diplômés Télécom ParisTech en doctorat |
| EXTERNE | <ul style="list-style-type: none"> • IMT : Réseau national, politique internationale • UPSay : Visibilité, attractivité • UPSay : Dynamique pluridisciplinaire et pluri-établissements • UPSay : Emulation scientifique • UPSay : Doctorat «diplôme phare» de l'UPSay • Le Numérique-STIC est la thématique centrale du LTCI | <ul style="list-style-type: none"> • Complexité multi-référentiels (Télécom ParisTech, IMT, UPSay) • UPSay : Départ de chercheurs de valeur, perte de relations structurantes • UPSay : Perte d'efficacité par complexité organisationnelle • UPSay : Manque de capacité d'adaptation de l'organisation interne (du LTCI et de Télécom ParisTech) • Déplacement du barycentre des activités du numérique en dehors de l'Europe • Conjoncture économique difficile qui risque de réduire nos ressources |

TABLE A.1 – Analyse SWOT du LTCI (abréviations : IMT – Institut Mines-Télécom, UPSay – Université Paris Saclay).

A l'inverse, l'unité est moins bien placée en ce qui concerne la mise en valeur du potentiel individuel de ses chercheurs (absence de lauréat ERC, des récompenses et distinctions prestigieuses — cf. tableau 2.6 — mais obtenues plutôt par des chercheurs confirmés ou des doctorants du LTCI). Il nous semble indispensable de mieux accompagner les chercheurs sur ces aspects, en particulier en début ou milieu de carrière. Cette question prendra d'autant plus d'importance au sein de l'Université Paris-Saclay, environnement stimulant où la concurrence pour attirer les meilleurs talents se fera au plus haut niveau.

En ce qui concerne les **personnels non permanents** ceux-ci sont nombreux au LTCI (environ 220 doctorants et 75 chercheurs sous contrat ou postdoctorants). Ils constituent une force de recherche considérable portée par un taux de ressources propres très significatif (environ 215 personnels non permanents sont directement financés sur des ressources propres). Néanmoins, au sein de cet ensemble, on note une certaine inhomogénéité tant dans les missions que sur les niveaux de recrutement ; aspects sur lesquels il nous faudra travailler, en lien notamment avec l'ambition du site Paris-Saclay de faire du doctorat le diplôme phare de la future Université Paris-Saclay.

Sur l'**interdisciplinarité**, le LTCI a un potentiel important de par sa couverture très large du domaine des STIC ainsi que, sur un autre plan, de par sa proximité avec les équipes du département Sciences humaines et sociales (SES) de Télécom ParisTech. Néanmoins sur la période écoulée, les points saillants en matière d'interdisciplinarité restent peu nombreux et le cloisonnement au sein des ensembles disciplinaires que constituent les équipes et les départements reste assez déterminant. Il s'agit sans aucun doute d'un aspect sur lequel le potentiel de l'unité n'est pas suffisamment exploité.

La grande capacité de **recherche partenariale** est un des atouts de l'unité qui bénéficie pleinement de l'action volontariste de Télécom ParisTech et de l'Institut Mines-Télécom sur cet aspect, notamment, à travers le montage de projets d'envergure de type chaires ou laboratoires communs. Le bilan de la période 2008–2013 fait apparaître une croissance significative des ressources propres de l'unité (voir tableau 2.9) en lien avec le soutien fort des pouvoirs publics au niveau national sur cette période². Cette croissance des ressources ne s'est pas systématiquement traduite par un accroissement de la production que se soit en termes de publications scientifiques ou en terme de propriété intellectuelle (brevets, transferts). Par ailleurs, tant l'abondance de ces ressources propres que le temps de permanents qu'elles mobilisent constituent probablement un des facteurs à l'origine de notre présence, comparativement faible, sur des financements d'excellence. Compte tenu de ces éléments, une réflexion est nécessaire pour privilégier les instruments qui, tout en préservant un niveau de ressources propres indispensable au fonctionnement de l'unité, nous permettent d'atteindre au mieux nos deux objectifs essentiels que sont une recherche scientifique de haut niveau et une contribution significative à l'innovation et au transfert.

La contribution de l'unité à **l'enseignement et la formation** s'effectue, de façon majoritaire, dans le cadre privilégié qui est celui d'une grande école de référence, au niveau national, dans le domaine du numérique. Cette grande adéquation entre l'identité de l'école Télécom ParisTech et les recherches menées au LTCl constitue un atout. Néanmoins, l'implication des personnels de l'unité en enseignement se répartit de façon assez inhomogène entre les équipes, la capacité de recherche de certains enseignants-chercheurs de l'unité s'en trouvant impactée. Par ailleurs, le taux de poursuite en doctorat des élèves ingénieurs de Télécom ParisTech est faible (moins de 5%) ce qui nous conduit également à nous interroger sur la capacité d'attraction du LTCl envers les diplômés de Télécom ParisTech.

Si on passe aux facteurs externes (partie inférieure de la table A.1), l'unité bénéficie tout d'abord fortement de son rattachement à deux établissements nationaux, **le CNRS et l'Institut Mines-Télécom**, qui confèrent une grande visibilité à son action, lui assurent une bonne légitimité, vis à vis notamment des acteurs publics, et disposent de leviers d'actions — on pense notamment à l'international ou aux aspects liés aux partenariats et à la valorisation — précieux pour l'unité. Depuis 2012, Télécom ParisTech et le LTCl s'inscrivent également dans le cadre particulièrement ambitieux d'un projet national de création d'une université de classe mondiale construite par fédération des différents acteurs (au moins une douzaine d'établissements supérieurs et une demi douzaine d'organismes nationaux) qui gardent leurs identités propres. Ce projet d'**Université Paris-Saclay** est porteur pour l'unité d'enjeux particulièrement importants en termes de collaborations, d'émulation scientifique, de visibilité et d'attractivité.

Cet environnement particulièrement privilégié ne va pas néanmoins sans poser des questions importantes pour l'avenir de l'unité. Tout d'abord, le fait d'appartenir à des référentiels multiples génère une complexité organisationnelle et structurelle difficile à gérer, peu motivante pour les personnels et très consommatrice de temps. Un exemple parlant est celui de la recherche de financements doctoraux qui est devenu depuis quelques années un véritable jeu de pistes avec une dizaine de guichets différents où potentiellement déposer une même demande³. Au delà d'un certain degré de complexité on constate malheureusement que la balance entre l'augmentation du nombre d'opportunités de financement et le temps de personnels chercheurs ou enseignants-chercheurs investi dans le montage de projet (tant pour la soumission en elle-même que pour l'évaluation) n'est plus suffisamment équilibrée. Cette situation est d'autant plus préoccupante pour la période transitoire qui nous sépare de 2017 dans laquelle les forces du laboratoire sont mobilisées à la fois pour construire les nouveaux instruments du site Paris-Saclay

2. Sur la base des chiffres 2011–2012, les ressources propres de l'unité se répartissent en 17% de financements européens, 57% de financements publics nationaux et 26% de financements impliquant des partenaires industriels ; ces derniers correspondent environ pour moitié à des encadrements de thèses CIFRE ou à des chaires, qui bénéficient également de mesures incitatives sur financements publics (subvention ANRT pour les thèses CIFRE, et Crédit Impôt Recherche pour les chaires).

3. Appel DGA «Club des partenaires ParisTech», financements du RTRA Digiteo et des Labex Digicosme, LMH et SMART, campagne interne à l'Institut Mines-Télécom «Futurs et ruptures», appels à projets interdisciplinaires de l'Index Paris-Saclay, allocations de l'école doctorale EDITE, ...

(grands projets structurants, écoles doctorales, formations de masters) mais également pour faire fonctionner les instruments existants : école doctorale EDITE, formations de masters (avec l'Université Pierre et Marie Curie), laboratoires (par exemple le LINCS) et projets communs (GIS avec le LIP6, Labex SMART) avec des partenaires parisiens. Enfin, il est clair que l'intégration à l'Université Paris-Saclay nécessitera une grande capacité d'adaptation de nos personnels et de nos structures internes — même si l'aspect recherche est probablement celui qui sera le moins impacté dans la période 2015–2019 — qui seront soumis à rude épreuve. La section A.2 ci-dessous présente quelques pistes de réflexion autour de ces thèmes qui seront bien sûr à approfondir, notamment durant la phase qui nous sépare de la reconduction, proposée, de l'unité en 2015.

Le dernier aspect concerne le **positionnement thématique** du LTCI sur un domaine, celui de **la société de l'information et du numérique**, identifié comme stratégique au niveau national⁴. Ce fort soutien, assis sur une analyse des attentes économiques et sociétales fortes autour des STIC, constitue manifestement un atout majeur pour le LTCI. Néanmoins la conjoncture est difficile et il est peu vraisemblable d'imaginer un soutien plus significatif qu'il ne l'a été au cours de la dernière décennie de la part des pouvoirs publics et on peut au contraire légitimement tabler sur une érosion lente des moyens disponibles au niveau des tutelles de l'unité pour la période 2015–2019. De même, sur certains domaines au cœur de l'activité du LTCI comme les télécommunications, l'industrie nationale, ou même européenne, montre des signes de faiblesses préoccupants. La section «Objectifs» ci-dessous comporte plusieurs propositions d'actions (renforcer l'interdisciplinarité, nouer des partenariats stratégiques) qui tiennent compte de ces incertitudes pesant sur l'avenir du domaine phare du LTCI.

A.2 Objectifs stratégiques

Cette section présente les objectifs majeurs de l'unité pour la période 2015–2019 ainsi que certaines pistes pour s'en rapprocher. Il ne s'agit en l'état que de possibilités qui vont demander un nouveau travail de consultation et de construction au sein de l'unité d'ici à son renouvellement en 2015.

L'identification de ces objectifs stratégiques résulte à la fois de l'analyse de la situation actuelle du LTCI et de ses perspectives présentée ci-dessus, des points saillants apparus lors du processus de réflexion stratégique engagé au niveau des quatorze équipes de l'unité ainsi que de la prise en compte des grandes orientations de l'établissement Télécom ParisTech.

A.2.1 Réussir l'intégration à l'université Paris-Saclay

Plus qu'un simple projet immobilier de déménagement, le déplacement de Télécom ParisTech dans sa future implantation de Palaiseau (livraison second semestre 2017) doit être envisagé comme un véritable projet d'intégration dans une construction plus ambitieuse (l'Université Paris-Saclay) qui se propose d'avancer vers la fédération et la mutualisation des forces des différents partenaires dans le respect de leurs identités propres.

Ce projet implique notamment une refonte totale des engagements de l'unité dans les formations de master ainsi que la sortie progressive, à partir de 2015 (avec un biseau jusqu'en 2017 pour les thèses débutées en 2014), de l'École doctorale EDITE Informatique, télécommunications, électronique (ED130) que Télécom ParisTech co-animait avec l'Université Pierre et Marie Curie⁵. Comme souligné dans le paragraphe précédent, ce mouvement, inédit à l'échelle

4. «Information, communications et nanotechnologies» était un des trois axes mis en avant dans la Stratégie nationale de recherche et d'innovation en 2009 ; «Société de l'information et de la communication» est un des neuf Défis sociétaux identifiés dans l'Agenda stratégique France Europe 2020 en 2013.

5. Au moment de rédiger ce document, il ne nous est pas encore possible d'avoir une vision entièrement stabilisée des projets d'écoles doctorales et de masters Paris-Saclay pour la période 2015–2019 qui seront finalisés pour la fin de l'année 2013 uniquement. Il est d'ores et déjà acquis néanmoins que le LTCI sera associé très majoritairement à la future école doctorale STIC (dont l'Institut Mines-Télécom sera co-opérateur) et, plus marginalement, aux écoles doctorales Mathématiques et *Electrical, Optical & Bio Engineering*.

de Télécom ParisTech, comporte des risques, puisqu'il implique de mettre fin à des relations fructueuses établies de longue date, et sa réussite, en particulier pendant la phase de transition entre 2015 et 2017, est un des objectifs majeurs de la période tant pour l'établissement Télécom ParisTech que pour l'unité.

De la même façon, il importera de développer des collaborations renforcées et efficaces avec les autres unités du domaine STIC (et au delà) du site Paris-Saclay. Deux phases distinctes sont envisagées à cet égard. D'ici à 2017, Télécom ParisTech n'aura pas encore déménagé et la modalité principale d'interaction scientifique avec les partenaires du site de Saclay se fera sous la forme de projets transversaux inter-établissements. Le LTCI est en particulier fortement impliqué dans le RTRA Digiteo, le Labex Digicosme (Mondes numériques Données, programmes et architectures distribués) et de façon plus modeste dans le Labex LMH (Labex Mathématique Hadamard). Télécom ParisTech a par ailleurs joué un rôle moteur dans le montage de plusieurs projets soutenus dans le cadre de l'appel à projets structurants de l'Idex Paris-Saclay en 2013 (Institut de la société numérique, Plateforme Nanodesign) et est impliqué dans plusieurs projets qui pourraient être soutenus en 2014. Dans une seconde phase, à partir de 2017, il s'agira de préparer le mandat suivant de l'unité en envisageant les évolutions possibles pour le LTCI dans son nouveau contexte saclaysien.

Enfin, tout au long de la période qui vient il sera important de porter une attention particulière aux questions liées aux personnels. On sait en effet que tant le bouleversement des habitudes de travail que le manque de perspective d'amélioration rapide de la desserte en transports du site de Palaiseau (la ligne 18 de métro de surface depuis Massy est annoncée pour 2023) sont des facteurs qui peuvent fragiliser l'adhésion des personnels au projet. Au niveau de l'unité, nous veillerons en particulier à renforcer tous les aspects qui peuvent concourir au renforcement de la cohésion (meilleure diffusion de l'information, partage plus large des responsabilités, notamment avec les responsables des équipes) en utilisant également le potentiel des nouveaux locaux de Télécom ParisTech à partir de 2017, notamment pour favoriser l'organisation d'événements fédérateurs au niveau du laboratoire (workshops, séminaires, colloques).

A.2.2 Soutenir les jeunes chercheurs

Le développement, l'épanouissement puis la consolidation de la carrière des jeunes chercheurs contribuent évidemment à la visibilité scientifique du laboratoire mais demandent des attentions et aménagements particuliers qui ne sont pas nécessairement ancrés dans le mode de fonctionnement du LTCI et de Télécom ParisTech

Un effort spécifique va être entrepris dans l'accompagnement de jeunes chercheurs pour la constitution de dossiers de bourses et/ou de mécénats d'excellence comme les projets ERC, à l'échelle européenne, les chaires Idex du site Paris-Saclay, ou pour des financements privés comme les Google Awards.

De manière plus modeste, nous souhaitons revoir la communication interne à l'unité de façon à mieux partager l'information concernant, notamment, les modes de financement de thèses qui se sont multipliés ces dernières années et ont fini par devenir illisibles pour les nouveaux arrivants.

Il nous semble également indispensable de mieux faire connaître l'activité des chercheurs du LTCI, notamment des nouveaux arrivants, au sein de la population étudiante de Télécom ParisTech. Il est clair que la configuration actuelle des locaux ne nous aide pas et que des opérations comme la Fête de la science ne rencontrent, à Télécom ParisTech, qu'un écho assez faible. A partir de 2017, nous envisageons d'utiliser le potentiel des nouveaux locaux pour organiser des événements autour du LTCI impliquant plus fortement la population des étudiants de Télécom ParisTech. Cette meilleure visibilité de la recherche du LTCI peut, entre autres facteurs, contribuer à augmenter la proportion d'étudiants de Télécom ParisTech qui poursuivent leurs études en doctorat (pas nécessairement au LTCI), ce qui constitue un des objectifs stratégiques de Télécom ParisTech pour la période à venir.

A.2.3 Renforcer l'interdisciplinarité

Par rapport à d'autres d'unités STIC de taille comparable, le LTCI se caractérise par une grande continuité thématique qui couvre un spectre large au sein du domaine des STIC, avec des aspects qui vont de la modélisation de la propagation dans des média physiques (antennes ou fibres optiques) jusqu'à des aspects qui relèvent en partie des mathématiques (méthodes algébriques pour la cryptographie par exemple). Cet atout n'est pas encore suffisamment exploité et les travaux les plus emblématiques de l'unité ne sont que rarement associés à des recherches impliquant les expertises de plusieurs équipes du LTCI.

Pour favoriser l'émergence de tels travaux, une première étape d'importance a constitué à identifier, dans le cadre de notre réflexion stratégique pour la période 2015–2019, des *Axes stratégiques d'établissement* susceptibles de fédérer largement nos forces de recherche, au delà des frontières d'équipes ou de départements, voire au delà de l'unité en prenant en compte les orientations stratégiques du département Sciences économiques et sociales (SES) de Télécom ParisTech (qui devrait, à partir de 2015, développer une dynamique propre en dehors du LTCI). Ces axes stratégiques sont décrits dans la section A.4 tandis que leur articulation avec les thématiques prioritaires des départements et des équipes est analysée et illustrée dans la section A.3.2.

Une question qui reste à approfondir est de savoir si certains de ces axes stratégiques peuvent également donner lieu à revisiter l'organisation interne de l'unité, par exemple en faisant apparaître des actions ou projets transversaux, réunissant plusieurs équipes de recherche autour d'un axe de travail. Cette option n'est néanmoins pas jugée prioritaire car peu réaliste compte tenu des difficultés actuelles liées au locaux (éparpillement des équipes sur trois sites distants) mais sera évaluée d'ici à l'emménagement dans les nouveaux locaux de Télécom ParisTech (en 2017).

Une action à plus court terme consiste à rechercher, parmi les unités et établissements du site Paris-Saclay, des partenaires susceptibles de s'impliquer sur des projets de grande envergure autour de ces axes stratégiques. Plusieurs contacts en ce sens sont en cours concernant, notamment, les axes «Big data» et «Très grands réseaux». L'Université Paris-Saclay fournit en effet un cadre très favorable au développement de projets interdisciplinaires. Ce soutien peut prendre la forme de grands projets structurants comme l'*Institut de la Société Numérique* (un des projets lauréats de l'appel IDEX en 2013) dans lequel nous avons prévu de développer des recherches pluridisciplinaires impliquant des chercheurs du LTCI ainsi que des membres du département de SES de Télécom ParisTech. Une autre modalité d'action de l'Université Paris-Saclay consiste à soutenir l'interdisciplinarité par des actions plus ciblées (projets de recherche, allocations doctorales, soutien à des groupes de travail) qui sont bien adaptées à la mise en valeur de certaines expertises spécifiques d'excellence du LTCI comme l'imagerie médicale (en lien avec l'*Electrical engineering* et les Sciences du vivant) ou l'information quantique (en lien avec la Physique).

Ces pistes représentent un enjeu particulièrement significatif pour l'unité dans la mesure où, s'il est incontestable que son champ d'action prioritaire se situe dans le domaine des STIC, l'unité développe également des recherches, de niveau reconnu, aux frontières des STIC sur des thèmes qui recoupent de grands défis sociétaux comme l'énergie (amélioration de l'efficacité énergétique des réseaux de communication), la mobilité (réseaux véhiculaires), la santé (imagerie médicale) ou le domaine spatial (communications et imagerie satellitaires).

A.2.4 Constituer des alliances stratégiques

La très grande majorité des partenariats tant académiques qu'industriels du laboratoire repose pour l'instant sur des relations directes de chercheurs de l'unité. Il en résulte, notamment en ce qui concerne les partenariats internationaux, un manque de lisibilité et une difficulté à soutenir ces partenariats au delà des invitations régulières de chercheurs étrangers au LTCI (selon une politique, gérée au niveau de Télécom ParisTech, qui nous amène à soutenir une quinzaine de séjours sabbatiques de courte durée par an ainsi que quelques séjours à l'étranger de personnels de l'unité).

Pour la période à venir, nous souhaitons tout d'abord, donner un cadre plus pérenne à des relations structurantes qui existent déjà avec certains partenaires industriels du laboratoire, en particulier à travers les outils que sont les chaires et laboratoires communs ; cet aspect sera développé dans le paragraphe suivant.

En ce qui concerne les collaborations académique nationales, en particulier au sein de l'Université Paris-Saclay, nous souhaitons là encore, lorsque c'est possible et pertinent, donner un cadre à des relations plus structurantes notamment à travers des outils comme les fédérations de recherche CNRS — des contacts sont en cours notamment sur les thèmes des réseaux et de l'information quantique — mais également en tirant parti des outils proposés, soit directement par l'Idex Paris-Saclay soit par les projets associés (Labex Digicsome et LMH, Equipex Digiscope, IRT SystemX, projets ISN et NanoDesign).

Le même objectif se décline à l'international en s'appuyant sur des relais qui peuvent être des structures existantes — unités de recherche mixtes internationales (Laboratoire Poncelet à Moscou, CMM au Chili notamment) ou hôtels à projets internationaux (des contacts sont par exemple en cours avec le LIAMA en Chine sur le thème des réseaux) — mais également sur les ressources de l'Institut Mines-Télécom, d'une part, et de l'Université Paris-Saclay, d'autre part, qui ont pour objectif de développer des politiques internationales volontaristes. L'Institut Mines-Télécom a par exemple inauguré en juillet dernier un laboratoire de recherche commun avec quatre partenaires académiques sud-coréens (dont la KAIST) autour du thème de l'Internet des objets, projet qui pourrait à terme impliquer des chercheurs du LTCI. De même, Télécom ParisTech a pour ambition de contribuer à la politique internationale de l'Université Paris Saclay, ce qui devrait nous permettre de développer des liens privilégiés avec certains des principaux partenaires académiques de l'unité en Chine (Jiao Tong à Shanghai, Tsinghua à Pékin), en Inde (Indian Institute of Science, Bangalore), aux Etats-Unis (Stanford, Carnegie Mellon), en Amérique du Sud (Universidad de la República, Uruguay) et en Europe (Politecnico de Turin et de Milan, UPC à Barcelone, Université d'Edimbourg. . .)

A.2.5 Augmenter l'impact socio-économique de nos recherches

Le LTCI inscrit ses recherches dans un axe identifié comme prioritaire par les pouvoirs publics, notamment du fait de son fort impact attendu sur le développement économique national. Eu égard à cette ambition, il apparaît essentiel d'amplifier l'efficacité de l'unité dans les domaines du transfert et de l'innovation à travers des dispositifs adaptés. Cette orientation est cohérente avec la stratégie de l'école Télécom ParisTech qui a pour ambition d'être reconnue, au sein de l'Université Paris Saclay, pour son action en faveur de l'entrepreneuriat et de l'innovation dans le domaine du numérique.

Une première direction envisagée consiste à **développer les chaires et laboratoires communs**. Les chaires et laboratoires communs consacrent tous les deux des relations pérennes entre des industriels et des chercheurs de confiance et de compétence éprouvées sur un périmètre scientifique donné. Les deux instruments procurent une grande souplesse dans l'utilisation des moyens qu'ils apportent, laissant une forme d'autonomie et d'initiative aux chercheurs, et garantissent surtout la visibilité (d'une durée minimale de trois ans) nécessaire à des travaux de recherche ambitieux. Les chaires n'ont en général pas d'implication directe en terme de valorisation ou de transfert puisqu'elles relèvent du mécénat mais permettent de rendre visibles les activités de l'unité en lien avec de grands défis sociétaux du domaine du numérique. A l'inverse, les laboratoires communs manifestent le caractère stratégique de certaines recherches et conduisent en général à une valorisation à court ou moyen terme des travaux par le partenaire industriel du laboratoire commun. Le montage de chaires bénéficie à Télécom ParisTech du fort soutien de la Fondation Télécom. Le LTCI compte proportionnellement peu de chaires (celles-ci sont plus nombreuses dans la partie de Télécom ParisTech qui relève des SHS) et six laboratoires communs actifs. Parmi les pistes envisagées figurent le lancement d'une seconde chaire sur le Big data, consacrée plus spécifiquement aux problématiques du commerce en ligne. En ce qui concerne les laboratoires communs, sont actuellement en discussion la concrétisation d'une col-

laboration de longue date avec Thales sur les réseaux mobiles ad-hoc ainsi que la pérennisation de nos relations avec Samsung autour du multimedia.

L'autre direction privilégiée consiste à **développer les actifs de propriété intellectuelle — brevets et logiciels** – pour lesquels l'action de l'unité peut être amplifiée⁶. Un premier pas important a été franchi début 2013 par Télécom ParisTech qui a introduit, en se basant sur les retours d'expérience des chercheurs qui avaient précédemment déposé des brevets au LTCl, une procédure simplifiée dite *démarche conjointe publications brevets*. Le principe est de synchroniser les calendriers de publication académique et de dépôt de brevet en réduisant significativement le délai inhérent à la protection. Par ailleurs cette démarche vise également à susciter le réflexe d'intégrer au fil de la production scientifique un questionnement sur l'opportunité d'une protection de la propriété intellectuelle. Plus qu'une course systématique au nombre de brevets, il est souhaitable de mieux anticiper et faire fructifier le potentiel de valorisation. En ce qui concerne la valorisation, le LTCl devrait bénéficier, d'une part, d'un accord signé en 2013 entre l'Institut Mines-Télécom et France Brevets qui permet de déléguer la valorisation (à France Brevets) et, d'autre part, de la mise en place progressive du système d'innovation de l'Université Paris-Saclay et notamment d'une Société d'accélération de transfert de technologie propre au site Paris-Saclay. Par ailleurs, une voie possible de valorisation est le lancement de spin-offs, aspect sur lequel le LTCl a d'ores et déjà acquis une expérience positive (voir la table 2.8 dans la partie I du bilan) sur laquelle nous souhaitons mieux communiquer, notamment en direction des doctorants qui sont des porteurs naturels de ce type de projets.

A.3 Perspectives scientifiques

A.3.1 Contenu et méthode

Trois visions stratégiques emboîtées, de granularité, de portée et de nature différentes sont présentées dans ce chapitre. Elles résultent toutes d'une consultation *bottom-up*, des équipes vers les départements, qui s'est déroulée sur une période de trois mois entre avril et juin 2013. Ce travail d'élaboration stratégique par équipe a également été mené à bien au niveau du département Sciences économiques et sociales (SES) de Télécom ParisTech. Enfin, l'ensemble des équipes et des départements — y compris le département SES — ont partagé leurs réflexions (notamment lors d'un séminaire commun qui a eu lieu début juillet 2013) en s'appuyant également sur les grandes orientations stratégiques de l'établissement Télécom ParisTech et de sa tutelle, l'Institut Mines-Télécom.

A l'issue de ce processus, il a été choisi de retenir trois types d'éléments. Tout d'abord, les **stratégies des équipes** sont présentées en détail dans le chapitre B. Ces réflexions stratégiques d'équipe s'articulent autour d'un canevas commun qui met en évidence des *expertises* qui décrivent l'activité actuelle de l'équipe, des *objectifs* qui correspondent aux orientations principales de la recherche de l'équipe pour la période 2015–2019 et enfin les *leviers* prioritaires d'action envisagés au niveau de l'équipe. Le deuxième élément constitutif de la stratégie scientifique se situe au niveau de chaque département pour lesquels on a défini des **axes stratégiques de département** qui fédèrent les expertises stratégiques des équipes du département. Les axes stratégiques des départements sont présentés dans la section A.5. Enfin, ont également été définis des **axes stratégiques de l'établissement Télécom ParisTech** (abrégiés en AXSE pour « axes stratégiques d'établissement » de façon à les différencier de ceux qui précèdent). Il est important de préciser que ces quatre axes stratégiques d'établissement ne partitionnent en rien toutes les activités de recherche du LTCl. Par ailleurs, ils prennent également en compte la stratégie scientifique des équipes du département SES ainsi que les orientations stratégiques de Télécom ParisTech, raison pour laquelle ils sont qualifiés « d'établissement ». Ces axes stratégiques ont été identifiés comme présentant un fort potentiel de fédération de nos forces de

6. Une étude réalisée par l'Institut INS2I du CNRS en 2013 sur les laboratoires communs, brevets et spin-offs a permis de nous benchmarker avec les autres unités rattachées à l'INS2I nous situant plutôt dans la moyenne des laboratoires sur ces critères.

recherche — de façon transversale aux frontières d'équipes ou de département — autour de grands défis de la société numérique. Ces axes stratégiques (décrits ci dessous dans la section A.4) fournissent par ailleurs une grille de lecture accessible de nos orientations thématiques majeures partageable, notamment, avec nos partenaires industriels ou avec les acteurs publics.

Au niveau de la stratégie des équipes et des départements, un soin particulier a été apporté à fournir, pour chaque orientation thématique, des **éléments de dimensionnement** : nombre de chercheurs concernées, principales actions en cours, contrats ou projets liés à cette thématique, etc. Bien entendu, ces données ne fournissent qu'un ordre de grandeur, en général basé sur les chiffres observé en 2012, et n'ont pas une vocation prédictive pour la période 2015–2019.

A.3.2 Vision synthétique

Dans le même objectif de dimensionner, d'étayer et de mettre en relation les différents éléments de la réflexion stratégique, sont présentés dans cette section les liens qui existent entre d'une part les axes stratégiques d'établissement et ceux des département et, d'autre part, entre ces derniers et les expertises des équipes.

Axes stratégiques d'établissement

| Axes stratégiques des départements | Axes stratégiques d'établissement (AXSE) | | | |
|---|--|--|--|--|
| | <i>AXSE 1. Big data : dynamique des données et des connaissances</i> | <i>AXSE 2. Très grands réseaux et systèmes</i> | <i>AXSE 3. Confiance numérique : sécurité, sûreté et risques</i> | <i>AXSE 4. Interactions réel-virtuel</i> |
| COMelec | | | | |
| Axe 1. Confiance numérique : sécurité physique et sûreté matérielle | | | X | |
| Axe 2. Débit à la demande, de la physique jusqu'au système | X | X | | |
| Axe 3. Flexibilité numérique : couche physique et intelligence intégrée | | X | | X |
| INFRES | | | | |
| Axe 1. Modélisation pour l'évaluation, la vérification, l'optimisation (réseaux, systèmes embarqués, systèmes distribués) | X | X | | |
| Axe 2. Systèmes large échelle, autonomie, systèmes dynamiques, systèmes non déterministes, nouveaux paradigmes architecturaux et protocoles | X | X | | |
| Axe 3. Sécurité et sûreté de fonctionnement : identité, protection des ressources, tolérance aux fautes, définition et vérification de mécanismes de sécurité | | | X | |
| Axe 4. Données, interactions, raisonnement | X | | | X |
| TSI | | | | |
| Axe 1. Modélisation : méthodes et applications (images, 3D, video, audio, signaux physiologiques) | X | | | X |
| Axe 2. Apprentissage statistique et intelligence artificielle | X | | | |
| Axe 3. Interactions entre les activités humaines et le virtuel | | | | X |

TABLE A.2 – Positionnement des axes stratégiques d'établissement vis-à-vis des axes stratégiques des départements.

La tableau A.2 présente la façon dont les axes stratégiques d'établissement reposent sur les axes stratégiques identifiés au niveau de chacun des trois départements du LTCI. Ce tableau met notamment en évidence le caractère interdisciplinaire des AXSE qui impliquent assez largement les différents départements en s'appuyant sur leurs expertises qui sont d'essence beaucoup plus disciplinaires (voir les sections A.4 et A.5 pour le détail des axes identifiés). L'axe «Big data» est celui qui s'appuie sur le plus grand nombre d'axes département (6 sur 10), sans surprise, compte tenu de l'omniprésence des défis liés au « passage à l'échelle » dans la société numérique. Par ailleurs, cet axe recouvre également de manière forte des aspects liés aux disciplines du département SES de Télécom ParisTech (en particulier, l'économie et la sociologie) autour de problématiques liées, notamment, à l'utilisation de données personnelles (thème de la chaire « Valeurs et politiques des informations personnelles » lancée en 2013 avec Télécom SudParis et Télécom Ecole de management).

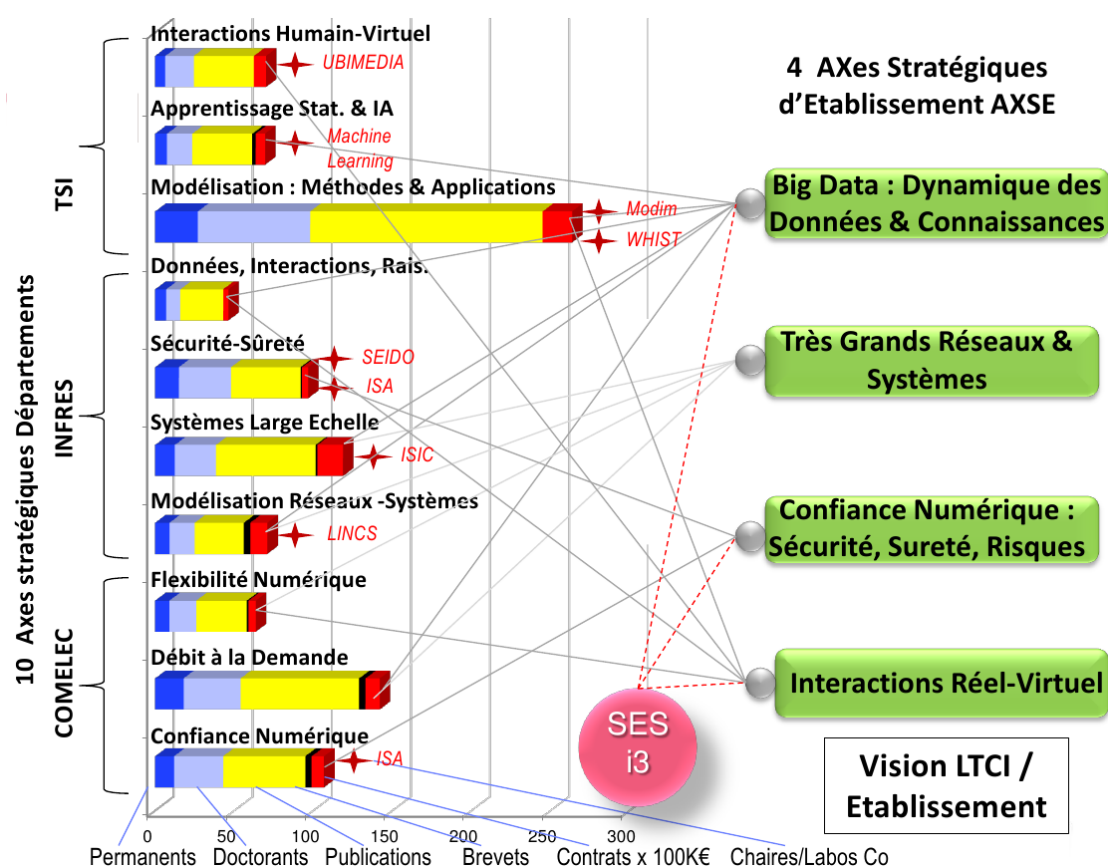


FIGURE A.1 – Fondations des axes stratégiques d'envergure : Les Axes stratégiques des départements étayés par leurs forces de recherche et leurs productions scientifiques.

La figure A.1 complète le tableau A.2 sur deux aspects. Elle permet tout d'abord de visualiser le nombre et l'étendue des fondations scientifiques des AXSE en matérialisant les connexions entre les AXSE et les axes stratégiques des départements. On note par exemple que « Big data » est le plus connecté, « Confiance numérique » le moins. Ont été rajoutées sur la figure A.1 les interactions pluridisciplinaires, au-delà des départements STIC du LTCI avec le département SES de Télécom ParisTech (i3 faisant référence au projet d'UMR porté par ce département).

Le figure A.1 comporte également une synthèse graphique des données de dimensionnement des axes de départements qui figurent dans la section A.5. Chaque graphique en bâton illustre les données de dimensionnement de l'axe stratégique de département correspondant en figurant les différents éléments : forces de recherche (permanents, doctorants), productions

scientifiques en 2012 (publications, brevets-licences, contrats, chaires et laboratoires communs). Les chaires et laboratoires communs existants se rapportant à un axe stratégique sont représentés individuellement par des étoiles. Un facteur d'échelle de 100 k€ rend compatible les ordres de grandeur des montants de contrats de recherche avec les autres données. Cette représentation permet une comparaison rapide des différents axes stratégiques de département sur l'ensemble des critères retenus pour le dimensionnement.

On note sur la figure A.1 que les données de dimensionnement des axes stratégiques de départements sont à peu près comparables, sauf pour ce qui concerne l'axe du département TSI intitulé *Modélisation : méthodes et applications*. Cette singularité correspond à des caractéristiques propres au domaine du traitement du signal et des images que sont, d'une part, l'importance donnée à la modélisation et, d'autre part, le spectre large des signaux envisagés : audio, vidéo, 3D, imagerie médicale, ... (voir également la figure A.4) Cette singularité mérite d'être considérée plus en détail — Provient elle d'une granularité trop importante au niveau des axes du département TSI ? Nécessite-t-elle la mise en place d'un cinquième axe d'établissement plus disciplinaire sur ce thème ? — lors de la phase de mise en place opérationnelle de la stratégie à la fois au niveau de l'unité et au sein de Télécom ParisTech.

Axes stratégiques du département Communications et électronique

Le tableau A.3 et la figure A.2 présentent un travail analogue portant cette fois sur les axes spécifiques au département Communications et réseaux (COMELEC). Les fondations scientifiques des trois axes stratégiques du département COMELEC reposent sur des combinaisons des *expertises stratégiques* des cinq équipes de COMELEC, C2S, ComNum, GTO, RFM et SEN-LabSOC (ces expertises étant décrites plus précisément dans le chapitre B).

A l'instar de la figure A.1, la figure A.2 présente le dimensionnement des fondations scientifiques des axes stratégiques du département COMELEC sous forme de barres verticales dont la taille reflète directement les forces de recherche (permanents, doctorants) et les productions scientifiques (publications, brevets, contrats).

Les degrés de connexion des trois axes stratégiques du département aux dix expertises des équipes sont très semblables. Sept des dix expertises stratégiques présentent des données de dimensionnement relativement homogènes. L'expertise « Design methodologies for AMS nanoscale systems », de l'équipe C2S souffre d'un effectif très réduit de 1.1 permanent. Une réflexion devra être entreprise pendant la période 2015–2019 sur les manières de traiter au mieux cette situation. Les expertises de l'équipe SEN-LabSOC, dont les données de dimensionnement traduisent l'importance désormais acquise par cette équipe, lui confèrent un rôle central dans l'axe « Confiance numérique » du département COMELEC et, par la suite, un rôle important dans l'axe stratégique d'établissement du même nom (cf. figure A.1).

Axes stratégiques du département Informatique et réseaux

Le tableau A.4 détaille les fondations scientifiques des quatre axes stratégiques du département INFRES, en lien avec les expertises stratégiques des équipes du département (RMS, S3, IC2, SR, MIC2).

L'axe « Systèmes large échelle » s'appuie sur le plus grand nombre d'expertises stratégiques (5 sur 11). A l'inverse, l'axe « Données interactions raisonnement » est celui qui repose intégralement sur les deux expertises stratégiques de l'équipe IC2.

La figure A.3 représente, comme précédemment, les liens entre les axes stratégiques du département INFRES et les expertises stratégiques de ses équipes, ainsi que les éléments de dimensionnement associés. L'expertise stratégique « Modèles stochastiques et géométrie aléatoire » de l'équipe MIC2 appelle une attention particulière, eu égard à sa taille très faible (sur tous les critères) par rapport aux 10 autres expertises.

| Expertises stratégiques des équipes | Axes stratégiques du département COMELEC | | |
|---|--|---|---|
| | <i>Confiance Numérique : sécurité physique et sûreté matérielle-logicielle</i> | <i>Débts à la demande : de la physique jusqu'au système</i> | <i>Flexibilité numérique : couche physique et intelligence intégrée</i> |
| RFM Radio-fréquences et micro-ondes | | | |
| 1. Conception et modélisation conjointes de sous-systèmes RF, antenne et canal | X | X | |
| 2. Large bande sans fil, antenne, circuits, métamatériaux | | X | X |
| GTO Télécommunications optiques | | | |
| 1. Traitements numériques et matériels du signal adaptés aux propriétés spécifiques et à l'architecture des systèmes optiques | | X | X |
| ES2. Propriétés fonctionnelles des dispositifs photoniques | | X | |
| C2S Circuits et systèmes de communication | | | |
| 1. Smart analog et mixed signals (AMS) design for wireless systems | | X | X |
| 2. Design methodologies for AMS nanoscale systems | X | X | |
| SEN-LabSOC Electronique des systèmes numériques complexes | | | |
| 1. Architecture et méthodes de conception de systèmes intégrés et embarqués | X | X | |
| 2. Analyse de la sécurité et de la sûreté des architectures des circuits et systèmes embarqués | X | | |
| ComNum Communications numériques | | | |
| 1. Codage algébrique et théorie des réseaux de points : codage de réseau, sécurité par la couche physique, MIMO, stockage distribué | X | X | X |
| 2. Théorie de l'information : gestion de l'interférence, communications interactives, grandes matrices aléatoires | | X | X |
| Nombre de permanents | 12 | 18 | 9 |
| Nombre de doctorants | 31 | 36 | 17 |
| Publications en 2012 | 52 | 75 | 32 |
| Brevets licences en 2012 | 4 | 4 | 1 |
| Contrats commencés en 2012 x 100 k€ | 7,8 | 9 | 4,66 |
| Chaires | 0 | 0 | 0 |
| Labos communs | 1 (Morpho) | 0 | 0 |

TABLE A.3 – Positionnement des axes stratégiques du département COMELEC vis-à-vis des expertises stratégiques de ses cinq équipes : RFM, GTO, C2S, SEN-LabSOC et ComNum.

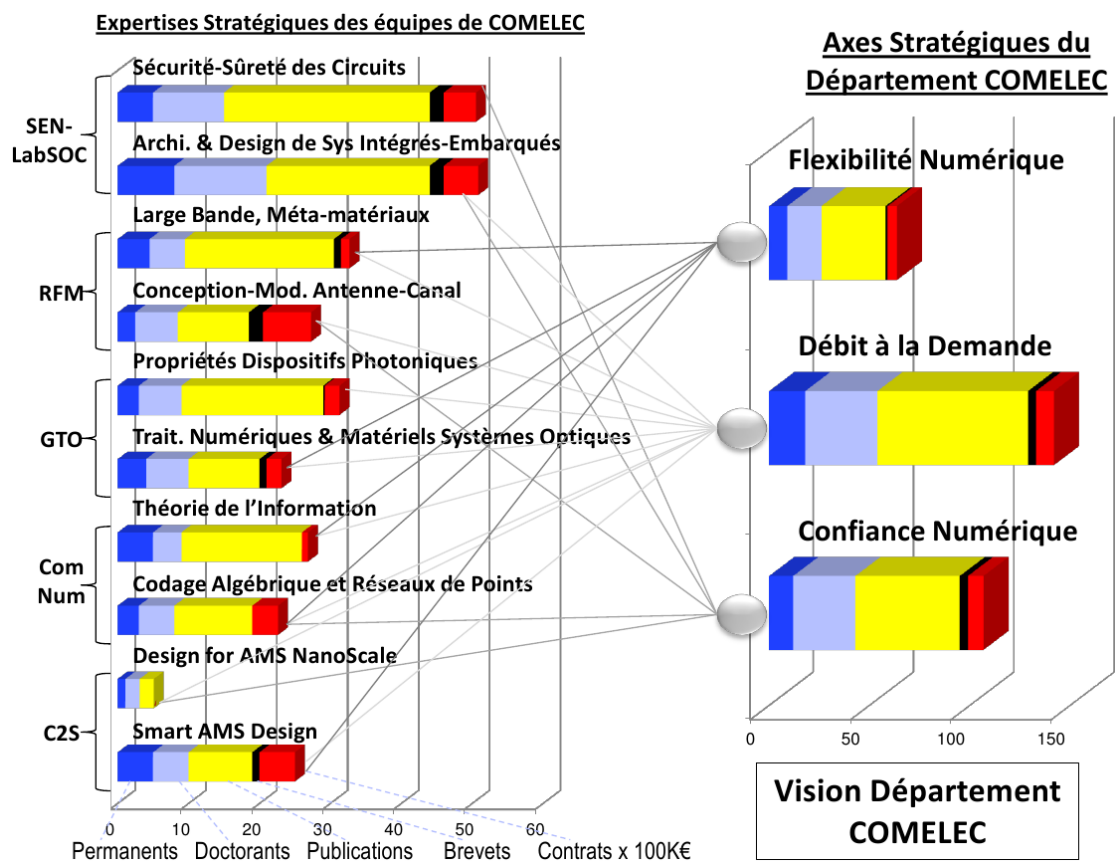


FIGURE A.2 – Fondations des Axes stratégiques du département COMELEC : les expertises stratégiques (ES) de ses cinq équipes, avec leurs forces de recherche et leurs productions scientifiques.

| Expertises stratégiques des équipes | Axes stratégiques du département INFRES | | | |
|--|--|--|--|---------------------------------------|
| | Modélisation pour l'évaluation, la vérification et l'optimisation (réseaux, systèmes embarqués, systèmes distribués) | Systèmes large échelle, autonomie, systèmes dynamiques, systèmes non déterministes, nouveaux paradigmes architecturaux et protocoles | Sécurité et sûreté de fonctionnement : identité, protection des ressources, tolérance aux fautes, cryptographie et cryptographie quantique, définition et vérification de mécanismes de sécurité | Données, interactions et raisonnement |
| RMS Réseaux, mobilité et services | | | | |
| 1. Pervasive access (wireless and optical networks) | | X | | |
| 2. Very large networks (future internet, cloud, internet of things, smart grid). | | X | | |
| 3. Modeling and performance evaluation (traffic engineering, optimization, metrology and testbed) | X | | | |
| S3 Systèmes, logiciels et services | | | | |
| 1. Systèmes répartis (informatique autonome, intergiciels, algorithmique répartie, génie logiciel, sûreté, langages, vérification) | | X | | |
| 2. Systèmes embarqués critiques (ingénierie des modèles, systèmes de systèmes, sûreté, vérification, temps réel) | X | | X | |
| IC2 interaction, cognition et complexité | | | | |
| 1. Web (big) data management and mining | | X | | X |
| 2. Human-computer interaction and visualization | | | | X |
| SR Sécurité et réseaux | | | | |
| 1. Information quantique | | | X | |
| 2. Sécurité des réseaux | | | X | |
| MIC2 Mathématiques de l'information, des communications et du calcul | | | | |
| 1. Mathématiques discrètes | | | X | |
| 2. Modèles stochastiques et géométrie aléatoire | X | X | | |
| Nombre de permanents | 9,1 | 12,5 | 15 | 7 |
| Nombre de doctorants | 16 | 26 | 33 | 9 |
| Publications en 2012 | 31 | 63 | 44 | 27 |
| Brevets licences en 2012 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Contrats commencés en 2012 x 100 k€ | 10,9 | 16,3 | 3,75 | 3,3 |
| Chaires | 0 | 1 (ISIC) | 0 | 1 (Modim) |
| Labos communs | 2 (LINCS & SEIDO) | 0 | 2 (ISA & SEIDO) | 1 (Ubimedia) |

TABLE A.4 – Positionnement des axes stratégiques du département INFRES vis-à-vis des expertises stratégiques de ses cinq équipes : RMS, S3, IC2, SR, MIC2.)

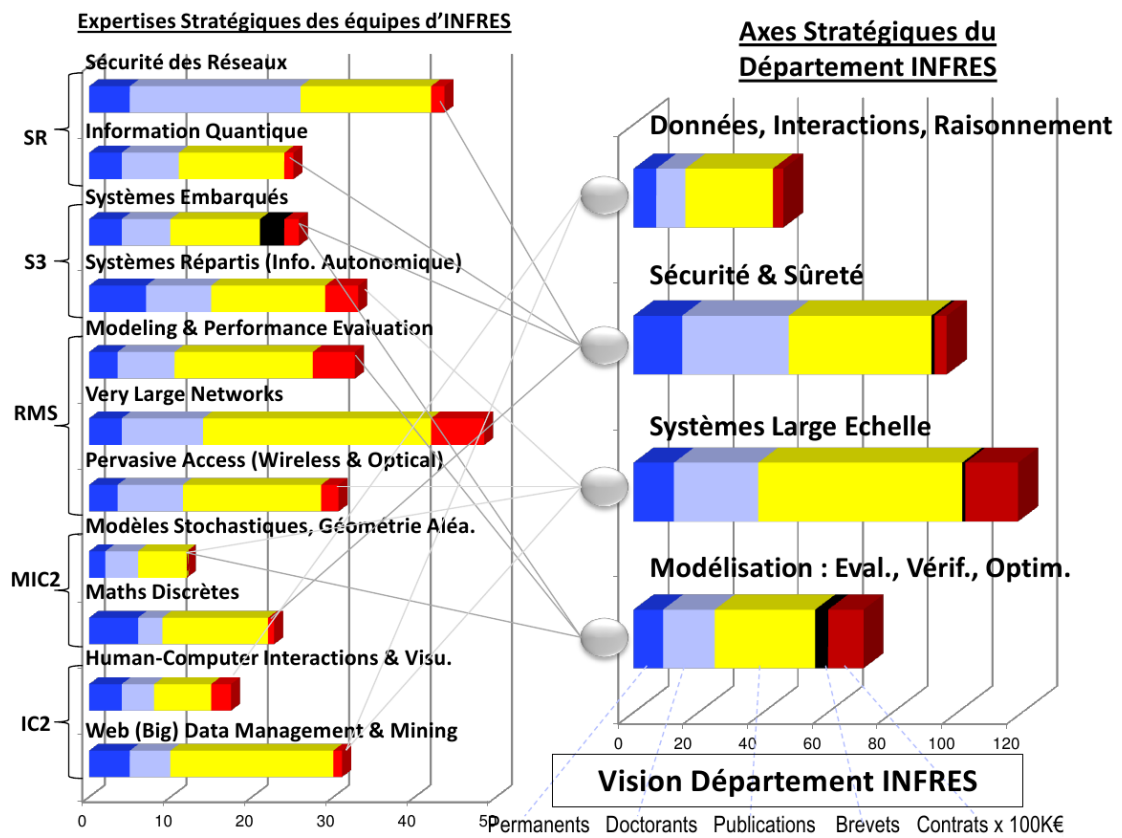


FIGURE A.3 – Fondations des Axes stratégiques du département INFRES : Les expertises stratégiques de ses cinq équipes, avec leurs forces de recherche et leurs productions scientifiques.

Axes stratégiques du département Traitement du signal et des images

| Expertises stratégiques des équipes | Axes stratégiques du département TSI | | |
|---|--|---|--|
| | Modélisation : méthodes et applications (images, 3d, vidéo, audio, signaux physiologiques) | Machine learning : apprentissage statistique et intelligence artificielle | Interaction entre les activités humaines et le virtuel |
| AAO Audio, acoustiques, ondes | | | |
| 1. Analyse, modèles et représentations pour le traitement des signaux audio | X | | |
| 2. Méthodes et modèles pour le traitement des signaux multimodaux et physiologiques | X | | |
| TII Traitement et interprétation des images | | | |
| 1 & 2. Modèles pour les Images et le 3D et Applications | X | | |
| 2. Indexation et apprentissage : pour les images et volumes numériques. | | X | |
| MM Multimedia | | | |
| 1. Nouveaux modes de compression, représentation et diffusion multimédia immersif | X | | |
| 2. Interactions et communications multimodales | | | X |
| STA Statistiques et applications | | | |
| 1. Statistique pour l'ingénierie en STIC | | X | |
| 2. Machine Learning | | X | |
| 3. Modélisation et simulation | X | | |
| Nombre de permanents | 27 | 7,5 | 6,5 |
| Nombre de doctorants | 71 | 16 | 18 |
| Publications en 2012 | 174 | 38 | 38 |
| Brevets licences en 2012 | 0 | 2 | 0 |
| Contrats commencés en 2012 x 100 k€ | 18,55 | 5,97 | 7,69 |
| Chaires | 1 (MODIM) | 1 (ML) | 1 (MODIM) |
| Labos communs | 2 (WHIST, UBIMEDIA) | 0 | 0 |

TABLE A.5 – Positionnement des axes stratégiques du département TSI par rapport aux expertises stratégiques de ses quatre équipes : AAO, TII, MM et STA.

Le tableau A.5 détaille les fondations scientifiques des trois axes stratégiques du département TSI, en référence aux expertises stratégiques des quatre équipes du département (AAO, TII, MM et STA). L'axe « Modélisation : méthodes et applications » s'appuie sur le plus grand nombre d'expertise stratégiques (5 sur 9) et est partagé par toutes les équipes du département. L'axe stratégique « Interactions entre les activités humaines et virtuelles » correspond uniquement à l'expertise stratégique de la partie de l'équipe MM qui travaille sur ce type de sujets.

La figure A.4, analogue dans son principe à celles déjà commentées des départements COMELEC et INFRES, fournit des éléments quantitatifs sur les axes stratégiques du département ainsi que leurs liens avec les expertises des équipes. La figure A.4 suggère qu'un accompagnement particulier devra être apporté sur la période 2015–2019 à la croissance de l'expertise de l'équipe AAO « Méthodes et modèles pour le traitement des signaux multimodaux et physiologiques » qui repose sur des forces comparativement faibles. L'expertise « Indexation et apprentissage » de l'équipe TII correspond à des compétences historiques qui ont plutôt vocation à s'intégrer ou s'associer à d'autres expertises (« Modélisation » et « Machine learning », notamment). La figure A.4 montre également que la taille importante de l'axe « Modélisation : méthodes et applications » déjà signalée ci-dessus à propos des axes stratégiques d'établissement correspond, en grande partie, aux expertises principales de l'équipe TII.

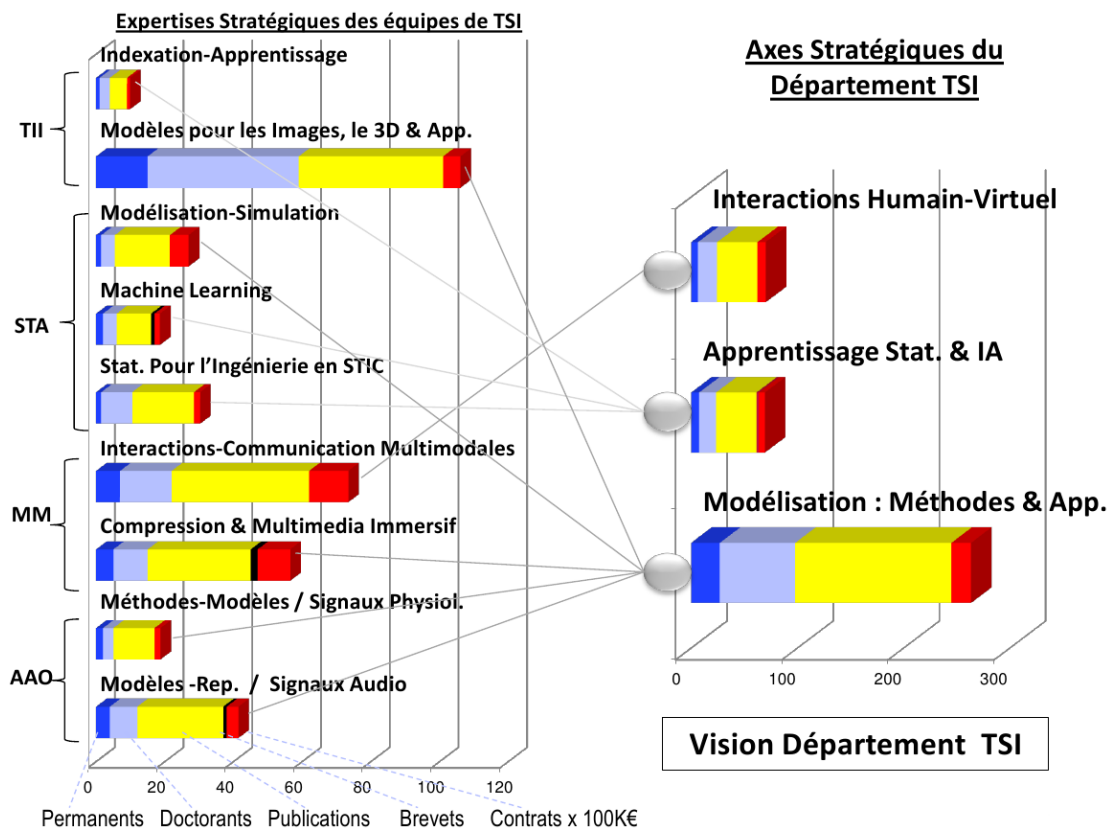


FIGURE A.4 – Fondations des Axes stratégiques du département TSI : Les expertises stratégiques de ses quatre équipes, avec leurs forces de recherche et leurs productions scientifiques.

A.4 Axes stratégiques d'établissement

A.4.1 Big data : dynamique des données et des connaissances

Le terme de *Big data* est dorénavant utilisé couramment pour désigner un ensemble de défis liés à l'omniprésence des données dans la sphère socio-économique. On peut citer, notamment, les réseaux sociaux, les nouveaux systèmes d'information de l'entreprise, la gestion « intelligente » des villes, des réseaux de transport, des réseaux énergétiques ou des systèmes de santé. La façon dont s'effectue la science est elle-même influencée par cet espoir d'exploiter les données, désormais largement disponibles, pour effectuer de nouvelles découvertes.

Pour ne développer qu'un seul de ces exemples, il est incontestable qu'une véritable révolution des systèmes d'information de l'entreprise est d'ores et déjà en cours. Les bases de données utilisées, provenant de sources diverses y compris d'activités enregistrées sur le Web ou les réseaux sociaux, comportent désormais des informations personnelles très détaillées sur les clients et leurs activités qui s'ajoutent à des données plus classiques sur les fournisseurs ou l'entreprise elle-même. L'entreprise dispose de masses de données qui transforment le degré de précision du marketing amont, permettent d'optimiser prix et campagnes de ventes et d'accélérer les cycles de ventes tout en diminuant la prise de risques dans les décisions stratégiques. Cet exemple montre d'ailleurs que ces progrès technologiques s'accompagnent de questions d'une importance considérable dont la résolution ne relève pas uniquement de questions technologiques — Quelle est la part de confidentialité qui doit rester attachée aux données ? — Est-il possible et souhaitable de maintenir une certaine forme d'anonymat, par exemple, dans les échanges sur le Web ou les réseaux sociaux ?

Le Big data porte l'espoir d'extraire des informations toujours plus pertinentes à partir de masses de données toujours croissantes et de moins en moins structurées. Au paradigme plus traditionnel de la base de données centralisée et au contenu soigneusement validé se substituent des sources multiples d'information, le plus souvent stockées à distance dans le réseau, et de qualité plus difficilement contrôlable (logs d'activité sur le Web, messages échangés sur les réseaux sociaux, images ou vidéos partagées ou capturées par des dispositifs de surveillance, etc.)

La question majeure posée par le Big data est celle du **passage à l'échelle**. D'une part, avec des questions qui relèvent plus du domaine de l'**analyse de données** et d'autre part avec des défis soulevés par la gestion même du **volume de données**. Sur ce second aspect, les problématiques sont en fait multiples avec des données remarquables non seulement par leur taille, plusieurs ordres de grandeur supérieurs à ce qu'un serveur et son système de gestion de base de données traditionnel peut gérer, mais également par leur vélocité c'est-à-dire la rapidité à laquelle elles sont produites et, dans certains cas, la rapidité à laquelle le flux de données doit être traité. La diversité des données elle-même constitue un défi et leur mode de stockage décentralisé introduit des contraintes d'accès qui impactent fortement les traitements qu'il est possible d'effectuer. Comment, **optimiser et paralléliser le traitement de l'information** dans ces conditions ? Quelles sont les **limites fondamentales en termes de stockage**, d'accès, ou de préservation de la confidentialité associées aux différents modes de stockage en réseau ?

Enfin, un autre grand défi est celui de la compréhension des données : indépendamment des performances qu'il est possible d'obtenir avec des techniques de traitement totalement automatisées, de nombreuses applications requièrent que le résultat du traitement puisse être compris, illustré ou questionné par des opérateurs humains (on pense à la médecine par exemple). Peut-on **représenter des données** peu structurées et de natures diverses (textes, textes structurés, images, vidéos) ? Comment extraire leur signification ou leur sémantique ? Comment **visualiser** des milliers de résultats sur un écran et comment les exploiter ? Peut-on amener plusieurs analystes à interagir de concert à travers des interfaces innovantes de façon à partager les interprétations ou la compréhension des données ?

Comme on le constate, les thématiques liées au Big data couvrent un spectre particulièrement large dont il serait vain de prétendre les traiter entièrement au sein du LTCI. Néanmoins, le tableau A.2 et la figure A.1 montrent que l'unité agrège des forces de recherche éprouvées sur

différents aspects du Big data, tant sur des thèmes plus liés à l'analyse de données (machine learning, indexation d'images, extraction de connaissances, visualisation de données) que sur des thèmes liés à l'accès au données (recherche d'information, stockage distribué, réseaux de capteurs). Par ailleurs, plusieurs équipes ont choisi de faire figurer dans leurs objectifs stratégiques les questions liées au passage à l'échelle, direction qui s'est concrétisée notamment avec le démarrage de la chaire *Machine Learning for Big Data* qui regroupe notamment des expertises issues des équipes STA (département TSI) et IC2 (INFRES). Par ailleurs, comme indiqué précédemment le Big data soulève également des questions légales ou économiques liées en particulier à la régulation inhérentes à l'explosion de l'utilisation de données personnelles. Sur ces questions, le LTCI bénéficie de l'environnement favorable du département SES de Télécom ParisTech (et plus généralement à terme du projet d'UMR I3 qu'il porte) avec, notamment, une chaire, créée en 2013, au niveau de l'Institut Mines-Télécom, centrée sur la problématique des informations personnelles (soutenue par l'Imprimerie nationale, BNP Paribas, Dassault Systèmes et la CNIL).

A.4.2 Très grands réseaux et systèmes

Les réseaux de demain⁷ doivent connecter un vaste ensemble hétérogène qui va des objets (mobiles) communicants (comprenant senseurs, acteurs, smartphone ou voiture connectée) au cloud (on parle de plus en plus souvent d'internet des objets) et se donnent les objectifs suivants :

- Une forte **densité d'objets intelligents et communicants intégrés** dans les environnements de la vie quotidienne, à la maison, au travail, dans la ville, dans les transports, drainant des informations hétérogènes et en grande quantité, qu'il s'agit d'échanger, de traiter et d'exploiter au mieux pour en tirer connaissances et services ;
- Une **interopérabilité entre des objets, des terminaux et des systèmes de technologies** et de marchés disparates, permettant un partage des infrastructures et la mise au point de services composites trans-domaines à haute valeur ajoutée ;
- Une **production et un traitement** des contenus et des données largement **distribués** sur des infrastructures virtualisées (réseau et cloud) ;
- Des services **pertinents et personnalisés** pour les utilisateurs et les communautés virtuelles, utilisateurs et communautés étant eux-mêmes producteurs de contenus et de services ; des services adaptés aux contextes de l'environnement et de l'utilisateur ;
- Des services **fiables et de confiance, résilients**, avec une qualité d'expérience améliorée et déterministe, y compris la capacité de délivrer des services à haut niveau de criticité (santé, sécurité ...) ;
- La **qualité d'usage** en situation de mobilité placée au cœur des solutions.

Ces objectifs requièrent de lever des défis scientifiques et technologiques qui suivent en **matière d'architecture, de capacité et de consommation des réseaux, mais aussi de lien entre réseaux et applications** :

- Des **réseaux d'accès omniprésents**, avec les performances requises pour chaque application, tirant partie de technologies hétérogènes. Cet **accès universel** doit à la fois faire appel à des réseaux spontanés entre objets y compris mobiles, aux réseaux cellulaires, aux WLAN et proposer de manière automatisée, dynamique et optimisée la solution d'accès la plus adéquate, et **garantir une réelle transparence à l'utilisateur** aux moyens mobilisés, avec une **continuité de service préservée** quand ces moyens évoluent dynamiquement ou lorsque la connectivité est sporadiquement inexistante.

7. Ce texte s'inspire d'une vision des « Très grands réseaux » co-écrite par Olivier Audouin (Alcatel-Lucent) et Gérard Mémmi, responsable du département Informatique et réseaux, utilisée notamment lors du lancement de SystemX dont Télécom ParisTech est l'un des co-fondateurs.

- Repenser l'**organisation de l'architecture réseau**, la **distribution** et l'implémentation des fonctions et hiérarchies, entre réseau domestique ou privé, réseau d'accès/métropolitain et réseau cœur, pour l'adapter au contexte de l'explosion des objets communicants en périphérie, à l'intégration avec les ressources de calcul et de stockage du cloud, tout en prenant en compte les questions de **consommation énergétique globale**.
- La **gestion de la complexité des réseaux** inhérente à la quantité d'objets à gérer, à la multiplicité des technologies mises en œuvre, à la multiplicité des services et de leurs exigences. Cette gestion exige de faire appel à des **approches « autonomiques »** visant à automatiser les opérations des réseaux, approches qui ont la difficile tâche de concilier optimisation et fiabilité en présence d'un grand nombre de degrés de liberté et d'aléas possibles (tels que ceux liés au trafic, aux pannes des objets, etc). Les questions **algorithmiques, de modélisation, et de stratégie d'exploitation et de partage d'informations distribuées** et parcellaires sont parmi les enjeux scientifiques sous-jacents.
- Les réseaux « centrés-contenus », dont les approches de codage, de routage, de différenciation du trafic, de stockage intermédiaire, basées sur une **capacité de reconnaissance des différents types de contenus** doivent répondre aux changements de mode de production, de distribution et de consommation de contenus, et à l'emprise hégémonique des contenus vidéos sur le trafic.
- La **virtualisation des infrastructures réseau** et l'intégration de la gestion des ressources réseau et des services associés avec les ressources et les services informatiques.
- Les **intergiciels permettant l'abstraction des services rendus par les objets**, l'auto-découverte de ces services et de leurs sémantiques, leur composition, leurs interopérations au travers d'interfaces ouvertes et leur combinaisons automatisées avec des services de communication et du Web. Des approches cognitives permettant plusieurs niveaux d'abstraction des services, qui devront trouver leur correspondance avec l'interprétation des besoins de l'utilisateur devront être conduites. Une **mobilité des services sur différents terminaux, objets et infrastructures** sous-jacents doivent être assurées pas ces couches d'abstraction.
- Des **interfaces enrichies et ouvertes entre réseau et application** permettant, d'une part, d'assurer des performances réseaux individualisées telles que requises par l'application et, d'autre part, de conférer au réseau, grâce à l'information qu'il détient sur le contexte, l'environnement, le profil de l'utilisateur, d'avoir un rôle déterminant dans les propositions de services pertinents et configurés de manière appropriée.
- Un **débit accru des réseaux** par plusieurs ordres de grandeur, ce qui demande des approches spécifique des questions de **consommation énergétique** et de gestion des **interférences**, notamment pour les réseaux sans fil. Ces demandes simultanées nécessitent une **optimisation jointe globale** associée à une gestion **inter-couches**.

L'étendue des défis inhérents aux très grands réseaux requiert donc un éventail large de compétences au sein du domaine des STIC. Le LTCI est bien positionné sur ces thèmes à travers ses départements COMELEC et INFRES (voir table A.2 et figure A.1). Une des spécificités de l'unité est de pouvoir contribuer à la fois sur des aspects liés de la couche physique, avec par exemple des travaux novateurs sur les transmissions optiques menés en collaboration entre les équipes GTO et ComNum du département COMELEC, mais également sur les aspects caractéristiques des couches les plus élevées du modèle OSI (on pense par exemple aux travaux sur la caractérisation aveugle du trafic généré par des applications Web menés dans l'équipe RMS). Les deux départements partagent d'ailleurs une vision commune sur le fait que les nouvelles modalités de communications envisagées pour les futurs réseaux de télécommunications (cf. l'exemple de la radio «cognitive») nécessitent de plus en plus une recherche largement interdisciplinaire qui remplace l'approche plus traditionnelle d'un système de communications construit en couches étanches par des experts qui travaillent séparément, chacun dans son domaine.

A.4.3 Confiance numérique : sécurité, sûreté et risques

Au cœur de la **société numérique**, la **confiance** des utilisateurs dans les technologies de l'information conditionne de manière critique le lien entre **société et technologie** et constitue de ce fait un lieu d'enjeu économique et politique d'importance.

Ce lien se traduit de façon réglementaire : peut-on autoriser tous les usages nés des nouvelles technologies ? Comment contrôler l'utilisation qui peut être faite des données confidentielles et protéger les libertés individuelles ? Ces questions de régulation et d'usage constituent d'ailleurs un axe de réflexion majeur au sein du département SES de Télécom ParisTech.

Le maintien du lien de confiance se traduit également en termes techniques, et fait ressortir deux exigences fondamentales : la **sûreté** — Les commandes sont-elles exécutées conformément aux attentes techniques ? — et la **confidentialité** — Les données échangées sont-elles protégées structurellement de toute forme d'intrusion, surtout malveillante ?

Le premier point concerne en premier lieu les fonctions critiques qui touchent à la sécurité des personnes, dans le transport ou la santé notamment. Comment garantir techniquement qu'un système numérique fonctionnera sans défaillance et exécutera les actions attendues sans erreur, dans des contextes de plus en plus complexes où la meilleure décision est parfois ambiguë ? **Analyse de propriétés, vérification, tolérance aux fautes, certification, auto-guérison, preuves de fonctionnement** touchent l'ensemble de la chaîne numérique, depuis l'écriture et l'exécution des programmes jusqu'à l'implémentation matérielle et la fiabilité des systèmes. L'ensemble de ces éléments font l'objet de recherches au LTCl, à la fois, dans les équipes SR et S3 du département INFRES (dans des contextes qui vont des applications réseaux aux systèmes embarqués), mais également au sein d'une équipe comme SEN-LabSoc (COMELEC) qui étudie la résilience vis à vis des défauts matériels des composants.

Le lien de confiance repose également sur la protection inconditionnelle des données, dans un contexte où les échanges numériques se font à l'intérieur de réseaux de plus en plus ouverts. Assurer l'intégrité des données sur l'ensemble de la chaîne de communication nécessite de couvrir techniquement les **étapes protocolaires, la certification, le cryptage, le contrôle des flux à l'intérieur du réseau** ainsi que le traitement intègre des données dans les systèmes de traitement numérique. Au LTCl ces thèmes sont abordés à la fois sous l'angle du cryptage, notamment pour les applications biométriques (avec des recherches menées au sein de l'équipe MIC2 dans le cadre du laboratoire commun avec Morpho *Identity & Security Alliances*) mais également du point de vue de la robustesse vis à vis des attaques matérielles (par exemple par analyse de consommation) au sein de l'équipe SEN-LabSoC du département COMELEC.

A.4.4 Interactions réel-virtuel

Cet axe stratégique couvre toute la palette des **interactions entre l'humain et le monde numérique**, allant de la **synthèse** de ce monde numérique, qu'il soit photo-réaliste où qu'il s'abstraie des références au monde réel, jusqu'aux techniques permettant l'interaction entre l'humain et le numérique, en passant également par l'analyse de ces interactions, et en englobant les interactions entre humains via une médiation numérique. Les problématiques s'étendent jusqu'aux réseaux de capteurs interagissant avec le corps.

Ce thème des interactions réel-virtuel est probablement celui sur lequel la distance qui sépare les travaux de recherche et les applications dans le domaine du numérique est la plus faible, tant sont grandes les attentes en la matière. Que l'on pense aux interfaces tactiles, à l'utilisation de la synthèse d'images 3D dans l'industrie du spectacle et des jeux, à la robotique domestique, voire aux avatars animés, il s'agit d'autant de situations rencontrées dans la vie courante qui mettent en jeu des techniques ou des dispositifs technologiques très avancés. Dans ce contexte, le place d'un laboratoire de recherche comme le LTCl est avant tout de contribuer aux connaissances de base qui permettent d'envisager de nouvelles ruptures dans le domaine (modélisation mathématiques des volumes et des objets, modélisation de la dynamique gestuelle ou des comportements émotionnels, etc.) Le LTCl est également impliqué dans des projets pilotes qui visent à démontrer la pertinence de nouveaux usages inédits de ces recherches comme le projet d'Equipex

Digiscope (I dex Paris-Saclay).

Ce thème des interactions entre le réel et le virtuel fédère plusieurs expertises disciplinaires des équipes et départements du LTCI (cf. table A.2 et figure A.1) concernant notamment :

- la **synthèse d’images et la réalité virtuelle**, afin de permettre la manipulation interactive de mondes virtuels par le biais de méthodes mathématiques de représentation et de modélisation des objets 3D, des volumes (maillages) ou des textures,
- le développement de nouveaux **principes et modes d’interaction** (en particulier surfaces sensibles),
- l’adaptation des techniques de **visualisation de l’information** et des méthodes interactives de fouille de données,
- la réalisation **d’avatars ou agents conversationnels** susceptible d’exprimer eux mêmes des intentions et émotions, ainsi que de reconnaître l’état émotionnel de l’utilisateur
- le développement d’une **intelligence de l’interaction** par des formes d’adaptation de l’environnement aux besoins de l’utilisateur selon son rôle, son comportement, ses actions, son humeur, ses émotions, etc.
- « **l’incarnation** » **des interfaces** entre l’homme et la machine à partir de capteurs physiologiques (travaux sur les interfaces cerveaux-machines notamment),
- Les **interactions numériquement médiées** entre humains, par exemple en travail collaboratif, en vidéoconférence ou en télé-présence,
- **l’interaction ambiante**, avec l’environnement immédiat de la personne, l’interaction gestuelle, 3D « en l’air » (Kinect, etc.) ou 2D sur la surface d’objets aussi divers que les murs, le mobilier, les objets domestiques, les vêtements, le corps...

A.5 Axes stratégiques des départements

Dans cette section sont présentés les axes stratégiques des départements qui fédèrent et organisent avec une granularité moins fine, à l’échelle d’un département — soit cinq équipes pour les départements COMELEC et INFRES et quatre pour TSI —, les orientations thématiques majeures des équipes qui le compose. L’articulation entre ces axes stratégiques de département et les thématiques des équipes sur lesquels ils reposent a déjà été abordée de façon globale dans la section A.3.2 ci-dessus.

Les axes stratégiques de département sont donc décrits ci-dessous de façon synthétique dans la mesure où les thématiques sur lesquelles ils s’appuient seront développées en détail, au niveau de chaque équipe, dans le chapitre suivant. Sont également rappelées pour mémoire (sous forme de tableaux) les éléments de dimensionnement des axes stratégiques de département qui ont été résumés de façon illustrée dans la section A.3.2.

A la différence des axes stratégiques d’établissement présentés dans la section A.4, les axes de département peuvent être considérés comme réalisant une partition des thématiques du département avec deux nuances d’importance. Tout d’abord, certains thèmes de recherche peu représentés peuvent ne pas apparaître dans les axes de département, du fait de leur granularité, sans que cela n’enlève rien à la qualité des travaux menés sur ces thèmes (ces cas spécifiques sont discutés dans les documents stratégiques des équipes concernées). Par ailleurs, si les axes de département partitionnent les thématiques, ils ne constituent pas pour autant des regroupements d’équipes dans la mesure où il est fréquent qu’une même équipe, voire un même chercheur, contribue significativement à au moins deux axes de département.

A.5.1 Communications et électronique (COMELEC)

Responsable Bruno Thédrez

Taille 39 enseignants/chercheurs et chercheurs, 4 ingénieurs de recherches, 5 permanents en soutien

| |
|--|
| 1. Confiance numérique : sécurité physique et sûreté matérielle-logicielle |
| Forces de recherche |
| <i>12 permanents, 31 thèses en cours en 2012 ; équipes impliquées : RFM, C2S, SEN-LabSoc, ComNum</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>RFM 1. Conception et modélisation conjointes de sous-systèmes RF, antenne et canal C2S 2. Design methodologies for AMS nanoscale systems SEN-LabSoc 1. Architecture et méthodes de conception de systèmes intégrés et embarqués SEN-LabSoc 2. Analyse de la sécurité et de la sûreté des architectures des circuits et systèmes embarqués ComNum 1. Codage algébrique et théorie des réseaux de points : codage de réseau, sécurité par la couche physique, MIMO, stockage distribué</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 52 Montant des contrats de recherche en 2012 780 k€ Brevets et licences en 2012 4 Alliances stratégiques Labo commun avec Morpho |
| 2. Débits à la demande : de la physique jusqu'au système |
| Forces de recherche |
| <i>18 permanents, 36 thèses en cours en 2012 ; équipes impliquées : RFM, GTO, C2S, SEN-LabSoc, ComNum</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>RFM 1. Conception et modélisation conjointes de sous-systèmes RF, antenne et canal RFM 2. Large bande sans fil, antenne, circuits, métamatériaux GTO 1. Traitements numériques et matériels du signal adaptés aux propriétés spécifiques et à l'architecture des systèmes optiques GTO 2. Propriétés fonctionnelles des dispositifs photoniques C2S 1. Smart analog et mixed signals (AMS) design for wireless systems C2S 2. Design methodologies for AMS nanoscale systems SEN-LabSoc 1. Architecture et méthodes de conception de systèmes intégrés et embarqués ComNum 1. Codage algébrique et théorie des réseaux de points : codage de réseau, sécurité par la couche physique, MIMO, stockage distribué ComNum 2. Théorie de l'information : gestion de l'interférence, communications interactives, grandes matrices aléatoires</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 75 Montant des contrats de recherche en 2012 906 k€ Brevets et licences en 2012 4 |
| 3. Flexibilité numérique : couche physique et intelligence intégrée |
| Forces de recherche |
| <i>9 permanents, 17 thèses en cours en 2012 ; équipes impliquées : RFM, GTO, C2S, ComNum</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>RFM 2. Large bande sans Fil, Antenne, Circuits, Métamatériaux GTO 1. Traitements numériques et matériels du signal adaptés aux propriétés spécifiques et à l'architecture des systèmes optiques C2S 1. Smart analog et mixed signals (AMS) design for wireless systems ComNum 1. Codage algébrique et théorie des réseaux de points : codage de réseau, sécurité par la couche physique, MIMO, stockage distribué ComNum 2. Théorie de l'information : gestion de l'interférence, communications interactives, grandes matrices aléatoires</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 32 Montant des contrats de recherche en 2012 466 k€ Brevets et licences en 2012 1 |

TABLE A.6 – Axes stratégiques du département Communications et électronique (COMELEC).

Le département **Communications et électronique** concentre ses activités sur les couches matérielles des technologies de l'information. A la façon des entreprises «sans usine» (fables), le département conçoit des architectures et des algorithmes de communication point à point où à relais, ainsi que des architectures de circuits électroniques qu'il teste ensuite dans le cadre de réalisations expérimentales en laboratoire. Ses activités se partageront dans la période à venir sur trois grands axes stratégiques.

Axe Stratégique 1. Confiance Numérique : sécurité physique et sûreté matérielle-logicielle

Toutes les activités sociétales et économiques du domaine du numérique reposent sur des prérequis de sécurité particulièrement exigeants : des failles dans les systèmes d'authentification ou de protection des données pourront conduire au rejet des technologies numériques dans de nombreux secteurs d'activités. Du fait de son impact, le thème de la confiance numérique regroupe plusieurs sujets de recherche au sein du département COMELEC :

- Développement de contre-mesures protégeant les circuits contre les attaques par canaux cachés (consommation, rayonnement) sur la base d'analyses mathématiques et expérimentales.
- Protection des communications sans fil exploitant les fluctuations et l'aspect statistique du canal radio
- Utilisation de données distribuées, tant pour les communications radio que pour le stockage à l'intérieur d'un nuage d'ordinateurs. La confidentialité dans ce cas est obtenue en réduisant l'information mutuelle entre l'émetteur et l'attaquant en dessous des limites fondamentales permettant la reconstitution des données communiquées ou stockées.

La confiance repose également sur la fiabilité et la certification. Le développement de méthodes formelles combinées à des simulations avancées doit conduire à la conception rapide d'architectures électroniques sans faille pour les Systems-on-Chip. En parallèle, des méthodes et des outils pour la conception d'architectures de circuit sont développés de façon à concevoir des circuits fiables à partir de composants présentant de façon probabiliste des défaillances arbitraires.

Axe Stratégique 2. Débits à la Demande : de la physique jusqu'au système

La formidable accélération des communications fixes et mobiles depuis l'avènement du téléphone portable s'est durablement installée dans les usages et façonne **un monde de plus en plus consommateur de technologies de l'information et des télécommunications**.

L'augmentation des vitesses de communications et des quantités d'information, l'intégration dans des univers de plus en plus miniaturisés et mobiles d'une quantité croissante de technologies du multimédia réclament un effort technologique à de nombreux niveaux :

- L'interface analogique/numérique des systèmes embarqués est une des clés d'entrée dans le monde des communications numériques sans fil. Le département COMELEC traite le signal depuis sa forme radio (antenne, mélangeurs microondes, ...) jusqu'à sa conversion analogique pour atteindre des performances de vitesse et de précision aux limites des technologies.
- Le département prépare en parallèle de nouvelles architectures de systèmes embarqués reconfigurables compatibles avec les normes à venir — LTE-A, 5G — dotées de capacités de calcul supérieures à 100 GOPS, sous forte contrainte de puissance consommée.
- En télécommunication fixe, l'intérêt du département porte sur les systèmes de transport optiques passifs (PON) chez l'abonné, fonctionnant sous contrainte de coût à des débits proches du Gigabit/s, et sur les réseaux dorsaux où les nouveaux défis se décrivent en terabit/s par longueur d'onde.
- Après le succès des codes spatiaux-temporaux, la croissance des débits en communications sans fil sera portée par une utilisation optimisée du média de propagation, avec une focalisation de la recherche sur les canaux à interférence.

Axe Stratégique 3. Flexibilité numérique : couche physique et intelligence intégrée

La performance actuelle des circuits numériques leur permet d'embarquer des algorithmes de plus en plus sophistiqués qui facilitent leur pénétration dans des domaines très variés. En particulier, leur capacité de réponse en temps réel offre de nouvelles voies d'exploration pour les futurs systèmes d'information et de communications.

- Au niveau des circuits, la réduction de la jigue temporelle où la synchronisation fine des horloges sera atteinte par contrôle algorithmique. Associées à des architectures reconfigurables, les optimisations seront décidées par calcul en temps réel de façon à réduire la consommation, ou prendre en compte les résultats de mesure de capteurs intégrés. Ces évolutions seront particulièrement exploitées en radio-logicielle et en radio opportuniste.
- Au niveau des composants, les algorithmes de décision temps réels agiront sur des antennes reconfigurables pour modifier leur lobe de diffraction ou leur profil spectral, ou compenser des défauts rédhitoires par de la pré- ou de la post- distorsion.
- En communication fixe, le département développe des traitements algorithmiques post-réception de plus en plus sophistiqués pour éliminer les problèmes de dispersion ou de polarisation et bientôt de non-linéarité en fibre qui limitent les débits.
- En communication mobile, l'allocation de ressource, le codage seront de nouveaux lieux d'application des algorithmes temps réel qui seront exploités notamment pour le traitement des canaux à interférence.
- L'agilité apportée par l'algorithmie temps-réel ouvre des perspectives exploitables pour des architectures de réseau inter-couches. Cette approche sera utilisée pour la gestion des bits et des paquets dans des liens optiques reconfigurables.

A.5.2 Informatique et réseaux (INFRES)

Responsable Gérard Memmi

Taille 50 enseignants/chercheurs et chercheurs, 3 ingénieurs de recherches, 4 permanents en soutien

Le tableau A.7 résume les principales caractéristiques des axes stratégiques du département INFRES qui sont au nombre de quatre. Ces axes stratégiques correspondent souvent au respect de contraintes de haut niveau parmi lesquelles il faut compter bien entendu performance, disponibilité ou intégrité des données (axe 4), mais aussi sécurité, sûreté de fonctionnement (axe 3), mobilité (qui implique non déterminisme), et plus récemment maîtrise de la consommation énergétique.

Les systèmes étudiés, conçus (axe 2) ou analysés et évalués (axe 1) sont souvent critiques (pouvant même mettre la vie de l'homme en danger — par exemple, dans les applications liées au transport ou à l'énergie), et bien sûr, comprennent toutes sortes d'architectures de réseaux ou de logiciels. Ces systèmes sont toujours de nature distribuée et de plus en plus souvent de grande taille, posant des problèmes aigus de passage à l'échelle qui imposent de nouveaux traits architecturaux (tels l'autonomie ou l'internet des objets) ou de nouveaux algorithmes et protocoles (axe 2). Cette «grande taille» de système s'exprime au moins sur trois dimensions : son nombre de composants (axe 2), la quantité de données manipulées, acquises ou visualisées (axe 4), le nombre d'utilisateurs en attente de performances à un moment donné (axe 1) et d'un niveau de sécurité adéquat (axe 3).

Axe Stratégique 1. Modélisation pour l'évaluation, la vérification et l'optimisation (réseaux, systèmes embarqués, systèmes distribués)

La modélisation et l'évaluation de performance pour les réseaux constitue une composante historiquement forte des recherches menées au département. Plus récemment, ce domaine de

| |
|---|
| 1. Modélisation pour l'évaluation, la vérification et l'optimisation (réseaux, systèmes embarqués, systèmes distribués) |
| Forces de recherche |
| <i>9.5 EC, 16 doctorants, équipes impliquées : RMS, S3, MIC2</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>RMS 3. Modeling and performance evaluation S3 2. Systèmes Embarqués critiques MIC2 2. Modèles stochastiques et géométrie aléatoire</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 31 Chaires et laboratoires communs LINCS, SEIDO Montant des contrats de recherche en 2012 1087 k€ Brevets et licences en 2012 Un brevet et trois logiciels licences APP Alliances stratégiques LIP6, INRIA, IRT SystemX, Alcatel, EDF |
| 2. Systèmes large échelle, autonomie, systèmes dynamiques, systèmes non déterministes, nouveaux paradigmes architecturaux et protocoles |
| Forces de recherche |
| <i>12.5 EC, 26 doctorants, 1 émérite, 1 associé ; équipes impliquées : RMS, S3, IC2, MIC2</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>RMS 1 & 2. Pervasive access, Very large networks S3 1. Systèmes répartis IC2 1. Web (big) data management and mining MIC2 2. Modèles stochastiques et géométrie aléatoire.</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 63 Chaires et laboratoires communs Chaire Ingénierie des systèmes complexes Montant des contrats de recherche en 2012 1627.8 k€ Brevets et licences en 2012 Un brevet Action de normalisation LISP à l'IETF Alliances stratégiques Ecole Polytechnique, IRT SystemX |
| 3. Sécurité et sûreté de fonctionnement : identité, protection des ressources, tolérance aux fautes, cryptographie et cryptographie quantique, définition et vérification de mécanismes de sécurité |
| Forces de recherche |
| <i>12 EC, 2Cs, 33 doctorants, 1 émérite, 1 associé ; équipes impliquées : S3, MIC2, SR</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>S3 2. Systèmes embarqués critiques SR 1 & 2. Information quantique, Sécurité des réseaux MIC2 1. Mathématiques discrètes</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 44 Chaires et laboratoires communs ISA, SEIDO Montant des contrats de recherche en 2012 375.6 k€ Brevets et licences en 2012 Un logiciel libre : Virmanel (mai 2012) Alliances stratégiques LIAFA, EDF, Morpho, Cassidian Spin-offs Ethertrust (secured smart card) et SeQureNet (sécurité quantique) |
| 4. Données, interactions et raisonnement |
| Forces de recherche |
| <i>6 EC, 1 C, 9 doctorants ; équipe impliquée : IC2</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>IC2 1 & 2. Web (big) data management and mining, Human computer interactions and visualization.</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 27 Chaires et laboratoires communs Ubimedia, projet de chaire bigdata for E-commerce, participation aux chaires Modélisation des Imaginaires et Machine Learning Montant des contrats de recherche en 2012 327.8 k€ |

TABLE A.7 – Axes stratégiques du département Informatique et réseaux (INFRES).

recherche c'est étendu à des aspects liés à l'évaluation de la qualité de service et la modélisation non plus seulement de réseaux mais également de systèmes (en particulier de systèmes embarqués ou distribués) afin d'évaluer et de vérifier leurs propriétés fonctionnelles. Des outils innovants de simulation, de vérification ou de transformation ont été conçus à cet effet permettant de considérer des objets (réseaux, systèmes, logiciels) plus complexes ou de plus grande envergure. L'analyse débouche souvent sur des avancées en terme d'optimisation des objets considérés, ce qui constitue une valeur ajoutée importante à ce type de travaux plus amont de modélisation.

Axe Stratégique 2. Systèmes large échelle, autonomie, systèmes dynamiques, systèmes non déterministes, nouveaux paradigmes architecturaux et protocoles

La grande taille des systèmes est devenue un objet d'attention majeur dans le domaine de l'informatique et des réseaux. La croissance rapide du nombre de composants des systèmes a induit des enjeux forts en terme de durabilité, d'hétérogénéité et de latence. La croissance parallèle du nombre d'utilisateurs pose des questions ardues en terme de confidentialité et de sécurité. Dans beaucoup de cas, le passage à l'échelle ne peut plus continuer à s'effectuer via de simples ajustements et implique de repenser complètement les architectures de réseaux ou de systèmes existantes à travers la mise au point de nouveaux protocoles et algorithmes.

Axe Stratégique 3. Sécurité et sûreté de fonctionnement : identité, protection des ressources, tolérance aux fautes, cryptographie et cryptographie quantique, définition et vérification de mécanismes de sécurité

Les découvertes de failles dans les systèmes informatiques et réseaux de communication sont devenues fréquentes et sont souvent reportées dans les journaux grand public. Les fraudes, la cybercriminalité ou le dévoilement d'informations personnelles constituent une des barrières les plus sérieuses au déploiement et à l'acceptation d'un vaste ensemble d'applications du domaine du numérique qui vont du e-commerce, à la voiture intelligente ne passant par la e-santé. L'analyse de vulnérabilité, la vérification de systèmes ainsi que de la résilience aux pannes constitue des enjeux majeurs de ce troisième axe stratégique du département.

Axe Stratégique 4. Données, interactions et raisonnement

Cette axe, malgré sa taille plus réduite, est intentionnellement séparé des trois autres axes afin de souligner l'attention particulière que nous souhaitons apporter à la visualisation, la structuration, la recherche et l'analyse des masses de données qui sont désormais stockées de façon décentralisée et distribuée, souvent sur le Web, mises à jour en permanence par l'activité de millions d'utilisateurs voire de réseaux de capteurs de grande échelle. Les principaux challenges que nous nous sommes fixés au sein du département concernent l'extraction et la visualisation d'informations sémantiques à partir de masses de données faiblement structurées ainsi que l'interaction avec des équipements de plus en plus miniaturisés.

A.5.3 Traitement du signal et des images (TSI)

Responsables Yves Grenier

Taille 41 enseignants/chercheurs et chercheurs, 2 ingénieurs de recherche, 6 permanents en soutien

Pour le département Traitement du signal et des images, les orientations thématiques des équipes se regroupent assez naturellement autour des trois axes principaux présentés de façon synthétique dans le tableau A.8.

Le premier de ces axes est d'une dimension très importante par rapport aux deux autres dans la mesure où il représente l'activité autour de laquelle s'est organisée le département TSI depuis

| |
|---|
| 1. Modélisation : Méthodes et applications (images, 3D, vidéo, audio, signaux physiologiques) |
| Forces de recherche |
| <i>27 EC, 71 thèses en cours en 2012</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>AAO 1. Analyse, modèles et représentations pour le traitement des signaux audio AAO 2. Méthodes et modèles pour le traitement des signaux multimodaux et physiologiques TII 1. Modèles pour les images et le 3D TII 2. Large Spectre d'applications : biomédical, télédétection, photographie numérique, infographie MM 1. Nouveaux modes de compression, représentation et diffusion multimédia immersif STA 3. Modélisation et simulation</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 174 Chaires et labos communs <i>Laboratoire Whist avec Orange ; Labo commun en compression sécurisée en cours de montage ; Participation aux labos communs UBIMEDIA, avec Alcatel-Lucent Bell Labs, et ISA, avec Morpho ; Participation à la chaire Modélisation des imaginaires</i> Montant des contrats de recherche en 2012 1855 k€ Contributions à la normalisation <i>Activités de standardisation collaborations avec Samsung (MPEG-U) et avec Canon (MPEG-DASH, MPEG HEVC)</i> |
| 2. Machine Learning : apprentissage statistique et intelligence artificielle |
| Forces de recherche |
| <i>7,5 EC, 16 thèses en cours en 2012</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>TII 3. Indexation et apprentissage STA 1. Statistique pour l'ingénierie en STIC STA 2. Machine Learning</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 38 Chaires et labos communs <i>Chaire Machine Learning for Big Data</i> Montant des contrats de recherche en 2012 597 k€ Brevets et Licences en 2012 1 brevet et 1 licence logicielle |
| 3. Interaction entre les activités humaines et le virtuel |
| Forces de recherche |
| <i>6,5 EC, 18 thèses en cours en 2012</i> |
| Expertises stratégiques impliquées |
| <i>MM 2. Interactions et communications multimodales</i> |
| Descripteurs |
| Nombre de publications (revues et conférences) en 2012 38 Chaires et labos communs <i>Participation à la chaire Modélisation des Imaginaires</i> Montant des contrats de recherche en 2012 769 k€ |

TABLE A.8 – Axes stratégiques du département Traitement du signal et des images (TSI).

une vingtaine d'années. Néanmoins, cette thématique reste très fortement porteuse sur l'avenir, à la fois par les compétences présentes dans le département, et par la diversité des signaux à traiter et leurs applications. C'est véritablement notre «cœur de métier» : le développement de méthodes mathématiques, d'algorithmes et de méthodes de traitement pour des signaux de nature très variée. Nos compétences reconnues sur certaines de ces applications (imagerie médicale et satellitaire, informatique graphique, signaux audio, vidéo notamment) font elles aussi partie des éléments d'identité forts du département TSI.

Le deuxième axe stratégique est porté par des enseignants-chercheurs et chercheurs dont la compétence est reconnue et le rayonnement international. Il s'ouvre aujourd'hui vers les problématiques à fort enjeu du « Big Data » et des traitements distribués qui constituent un des enjeux identifiés au niveau de l'établissement. Au delà de l'équipe STA, cette axe stratégique fédère des compétences plus spécifiques à certains type de signaux ou de données, notamment au sein des équipes TII (pour ce qui relève des images) et AAO (pour ce qui a trait au multimedia et aux signaux multimodaux en général).

Le troisième axe stratégique est de dimension plus réduite mais il s'est fortement renforcé au cours de la période précédente dans deux directions distinctes. D'une part, le recrutement de Catherine Pélachaud (DR CNRS) en 2008 a apporté un thème entièrement nouveau au LTCI, celui de l'informatique affective (*affective computing*), qui s'est fortement développé depuis et a conduit au recrutement récent de Chloé Clavel (Maître de Conférences) en 2012. Ces travaux se focalisent sur la modélisation des aspects émotionnels (non verbaux notamment) de la communication homme-machine et se fédèrent autour de la plateforme logicielle GRETA. Par ailleurs, le recrutement d'Alexandre Gramfort au sein de l'équipe AAO en 2013 amène cette équipe à développer ses travaux sur le thème de l'interaction basée sur l'analyse de signaux physiologiques, notamment dans le cadre d'interface cerveau-machine (*brain-computer interface*) — travaux menés en collaboration avec une équipe du CEA Neurospin.

Axe Stratégique 1. Modélisation : Méthodes et applications (images, 3D, vidéo, audio, signaux physiologiques)

Cet axe est consacré au développement de méthodes mathématiques et d'algorithmes destinés à permettre le traitement (analyse, synthèse, reconnaissance, interprétation) de signaux, d'images, de vidéo ainsi que d'objets tri-dimensionnel. Les compétences et contributions reconnues du laboratoire dans le domaine portent notamment sur les techniques de séparation de sources, la modélisation mathématiques de images, des textures et des volumes ou l'estimation de mouvement dans les séquences d'images.

En parallèle, le département souhaite maintenir une présence forte sur des applications spécifiques sur lesquelles il a déjà eu un impact reconnu. On pense en particulier aux travaux sur l'imagerie médicale, l'imagerie satellitaire et radar, les signaux physiologiques, la vidéo et bien sûr les signaux audio, expertise historique de l'équipe AAO. Le département, à travers les équipes TII et MM, souhaite également de développer son action dans les domaines de la photographie numérique et des nouveaux formats de diffusion vidéo (vidéo HDR et 3D).

Axe Stratégique 2. Machine Learning : Apprentissage statistique et intelligence artificielle

Il s'agit ici de travaux dans le domaine de l'apprentissage automatique, plutôt avec des approches statistiques, principalement au sein de l'équipe STA, mais également avec des travaux sur la fusion de données et de connaissances, en lien notamment avec l'interprétation des images médicales (dans l'équipe TII). Cet axe stratégique est appelé à se renforcer dans la période qui vient compte tenu du nombre croissant de domaines (industries du Web, marketing, sciences du vivant et de l'univers, etc.) où la collecte de masses d'information est devenue routinière, générant une demande forte, tant en enseignement qu'en recherche, autour de l'analyse et de l'interprétation de données. Les domaines de compétences reconnus du laboratoire incluent notamment les modèles graphiques et les méthodes bayésiennes, le ranking, l'apprentissage par renforcement ainsi que la fusion de données. Sur cet axe, il est notamment envisagé de développer les

synergies avec l'équipe IC2 du département INFRES qui travaille sur des sujets connexes, mais avec des points de vue différents (mouvement qui a déjà été initié dans le cadre du montage de la chaire consacrée au Machine learning).

Axe Stratégique 3. Interaction entre les activités humaines et le virtuel

Cet axe de recherche déjà évoqué précédemment regroupe essentiellement des compétences issues des équipes MM et AAO. Une évolution notable au cours de la période écoulée concerne la disparition progressive de recherches sur des aspects plus spécifiquement liés à la parole — reconnaissance de la parole ou du locuteur et synthèse de parole bas débit — du fait du départ en retraite de plusieurs membres du département qui travaillaient sur ces thèmes. A priori ces départs ne seront pas directement remplacés même si les travaux menés en informatique affective s'appuient bien entendu également sur l'utilisation de techniques de traitement de la parole. Nous maintenons au contraire une expertise de bon niveau sur l'analyse de document et la reconnaissance d'écriture manuscrite. Au cours de la période à venir, la plateforme GRETA devrait prendre de l'ampleur nous permettant d'expérimenter, dans différents contextes, l'apport des modèles émotionnels développés au sein de l'équipe MM dans le cadre de situations de dialogue entre des utilisateurs humains et l'agent virtuel GRETA.

Chapitre B

Stratégie des équipes

Ce chapitre rassemble les orientations stratégiques de chacune des équipes pour la période 2015–2019. Chaque fiche stratégique d'équipe comporte les **expertises stratégiques** qui correspondent aux lignes de force actuelles de l'équipe qui apparaissent comme stratégiques du fait de leur impact, leur portée, leur caractère fédérateur et leur pertinence. Les **objectifs stratégiques** correspondent à une projection vers le futur qui questionne le maintien, le renforcement, ou la réorientation des expertises stratégiques, voire le développement de nouvelles expertises. Enfin, chaque fiche stratégique se conclut par des **leviers** d'action privilégiés permettant d'atteindre les objectifs de l'équipe. Bien entendu ce dernier point, correspond à des pistes de réflexion qu'il conviendra, pour certaines, de préciser ou d'adapter au cours de la période à venir.

Par ailleurs, comme cela a été fait pour les axes stratégiques de granularité plus importante présentés dans le chapitre précédent, chaque expertise est étayée par des données quantitatives ou des faits caractéristiques qui sont destinés à donner une idée de son dimensionnement. Les chiffres présentés fournissent un ordre de grandeur mais n'ont pas nécessairement de vocation prédictive du fait de la variabilité d'un année sur l'autre ainsi que des évolutions envisagées. Enfin, il est bien entendu que la pertinence d'une expertise ne se mesure pas à l'aune de son dimensionnement, même si c'est une donnée pertinente. En particulier, il convient de tenir compte des différentes tailles (en terme de personnel) des équipes qui varient dans un rapport de un à trois (cf. table 2.1 dans la partie I).

B.1 Radiofréquences et microondes (RFM)

Responsable Xavier Begaud.

Taille 7 EC, 1 I, 3 postdocs, 15 doctorants.

B.1.1 Expertises stratégiques

1. Conception et Modélisation Conjointes de sous-systèmes RF, Antenne & Canal

Force de Recherche 8 permanents (30%), 1 post-doctorant, 6 doctorants.

Production de recherche en 2012 10 publications ; 2 brevets ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 677 k€.

2. Large bande sans Fil, Antenne, Circuits, Métamatériaux

Force de Recherche 8 permanents (55%), 2 post-doctorants, 5 doctorants.

Production de recherche en 2012 21 publications ; 1 brevet ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 120 k€.

Équipement Stratégique Pour anticiper l'arrivée des technologies et réseaux « beyond 4G » le groupe s'appuie sur une plateforme de caractérisation de circuits et d'antennes millimétriques.

Conception et Modélisation Conjointes de sous-systèmes RF, Antenne & Canal Le groupe RFM est pionnier dans l'approche statistique des antennes. Il contribue aussi activement à des programmes pluridisciplinaires internationaux dans lesquels la conception et la modélisation conjointe sont mis en œuvre : (Spectra (circuit/antenne), Lexnet (capteur/canal), PhyLaws, Select). L'approche conjointe est aussi dans des travaux communs avec les références académiques et industrielles du domaine (CEA-Leti (BAN), Orange (Interaction ondes/personnes), COST IC1004 (Cooperative Radio Communications for Green Smart Environments), COST RFC-SET (RF/Microwave Communication Subsystems for Emerging Wireless Technologies)).

Large bande sans Fil, Antenne, Circuits, Métamatériaux RFM est aussi pionnier sur la conception d'antenne large bande à Métamatériaux. Il participe activement à des programmes pluridisciplinaires nationaux et internationaux (ANR (SAFAS), FP7 (Select), MIMiCRA EDA, NanoDesign) dans lesquels l'expertise en conception d'antennes ou de circuits large bande est recherchée et associée le plus souvent à la conception de métamatériaux pour repousser les limites de l'état de l'art. Cette reconnaissance se caractérise par l'organisation de travaux communs avec les références académiques (GDR Ondes, COST IC1004 (Cooperative Radio Communications for Green Smart Environments)) et industrielles du domaine.

Remarque L'équipe comporte d'autres activités de recherche qui n'apparaissent pas dans les expertises « stratégiques » car elles sont embryonnaires, soit finissantes. La plupart de ces compétences s'avèrent néanmoins importantes aussi pour les autres missions d'enseignement et de valorisation de Télécom ParisTech. Tout ceci explique l'écart entre le nombre cumulé de permanents et de doctorants impliqués dans les expertises stratégiques et les nombres homologues globaux cités dans la rubrique « Taille » du LEXOS. La nature « stratégique » d'une expertise est de toute façon « dynamique » et se revisite régulièrement au gré des évolutions scientifiques conjoncturelles et des besoins/demandes de nos partenaires nationaux et internationaux, tant académiques qu'industriels.

B.1.2 Objectifs stratégiques

1. **Rapprocher les technologies RF de leurs limites grâce aux innovations issues de la physique : du bas coût/bas débit à la haute performance/haut débit pour l'homme connecté**
2. **Pousser l'optimisation des technologies et des réseaux « beyond 4G » par le développement de méthodologies et modèles comportementaux originaux**

L'équipe souhaite que ses deux expertises stratégiques soient **renforcées** pour accroître sa visibilité.

Objectif 1 La réduction des dimensions et de la consommation sont des besoins grandissants dans le contexte internet des objets et réseaux de capteurs et des réseaux mobiles haut débit. Pour relever ces défis, il faut proposer des dispositifs ou sous systèmes où les composantes sont miniaturisées à l'aide de nouveaux matériaux (métamatériaux), intégrées voire intriquées pour minimiser les interfaces et optimiser l'efficacité.

Objectif 2 L'optimisation des technologies et des réseaux nécessite une parfaite connaissance des éléments du système ou du sous-système et requiert une expertise multi-domaines. La capacité de RFM à travailler concurremment sur les divers fronts dans le co-design et l'intégration antenne-circuit et en conception conjointe antenne canal est donc essentielle pour répondre aux besoins d'architecture complexe.

B.1.3 Leviers prioritaires

1. Lancement d'un Labo Commun avec Thales.
2. Lancement d'un **Labo Commun avec BLuWan** (programme ANR LabCom).
3. Renforcer l'activité par la recherche de « **Partenariats Technologiques** », tant dans l'IMT (TB, LTCC) que dans l'UPSa (NanoDesign).

Pour atteindre ses objectifs, le groupe RFM collabore depuis plusieurs années avec des industriels de premier plan et souhaite pérenniser et renforcer ces partenariats sous la forme de laboratoires communs. D'autre part pour être au plus proche de l'innovation, le groupe RFM doit accéder aux technologies up-to-date.

B.2 Télécommunications optiques (GTO)

Responsable Didier Erasme.

Taille 6 EC (temps recherche 50%), 1 Ingénieur (100%), 1 sabbatique, 2-3 postdocs, 10 à 15 doctorants.

B.2.1 Expertises stratégiques

1. Traitements numériques et matériels du signal adaptés aux propriétés spécifiques et à l'architecture des systèmes optiques.

Force de Recherche 5 permanents impliqués à raison de 70% de leur charge moyenne de recherche, 5 à 7 doctorants.

Production de recherche en 2012 10 publications ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 210 k€ ; 1 brevet ; pas de laboratoire commun ni de chaire.

2. Propriétés fonctionnelles des dispositifs photoniques.

Force de Recherche 5 permanents impliqués à raison de 60% de leur charge moyenne de recherche, 5 à 7 doctorants.

Production de recherche en 2012 20 publications ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 210 k€ ; 1 brevet depuis 2008 ; pas de laboratoire commun ni de chaire.

Les propriétés physiques des divers éléments d'un système optique — émetteurs, modulateurs, récepteurs ainsi que la fibre optique — établissent des limitations sur les performances de celui-ci, qui sont typiquement, pour les systèmes de communication, le débit d'information et la portée mais aussi, pour des capteurs, la qualité de la mesure. Longtemps, l'optimisation des systèmes s'est concentrée sur le perfectionnement des composants, des interfaces et l'architecture physique (multiplexage par exemple). Aujourd'hui, les techniques de traitement numérique du signal ont investi le domaine des communications optiques : nouveaux formats de modulation, traitement numérique des distorsions et interférences, etc. et ce grâce aux développements de circuits numériques extrêmement rapides. Une étape supplémentaire consiste à intégrer la problématique de l'architecture du réseau global par des solutions optimisées de façon multicouche. L'expertise du groupe GTO tient en une excellente connaissance des techniques historiques, fondée sur une bonne maîtrise des modèles de représentation physique des dispositifs et du canal de transmission, une compétence expérimentale reconnue et un laboratoire de pointe, ainsi qu'en une appropriation des problématiques de communications numériques aidée en cela par l'environnement exceptionnel offert par notre département et son groupe communications numériques, par les chercheurs en réseaux du département Informatique et réseaux et par les équipes complémentaires de l'Institut Mines Télécom.

Les contraintes imposées aux systèmes optiques de communications ne sont pas uniquement tournées vers des performances ultimes mais parfois, très concrètement, par des soucis de coût, de consommation, d'encombrement etc. Ils se rencontreront couramment sur des segments du réseau proches de l'utilisateur final, là où la mutualisation d'un même équipement est de plus en plus limitée. Tirer des composants existants leurs meilleures performances eu égard à l'application visée requiert une excellente connaissance des propriétés physiques de ceux-ci et du canal de transmission. Il s'agit par exemple d'adapter le signal issu d'un laser modulé ou d'une source suivie d'un modulateur spécifique en amplitude et en phase afin de limiter la dégradation amenée par la transmission dans une fibre optique dispersive. Identifier parmi les nouvelles solutions physiques proposées dans la littérature (nouveaux effets physiques tels que la plasmonique, nouvelles structures telles que les dispositifs à confinement quantique, la photonique sur silicium) celles qui s'adapteront aux contraintes d'un système relève des mêmes compétences. Celles-ci sont construites sur de solides connaissances théoriques dans le domaine de l'optoélectronique

et des communications optiques ainsi que sur une approche expérimentale indispensable à la validation des concepts et solutions proposées.

Equipement Stratégique Les 2 expertises s'adosent à un laboratoire unique de plateformes de caractérisation système, ainsi que de caractérisation de composants et dispositifs (40 à 100 Gbit/s).

B.2.2 Objectifs stratégiques

1. **Proposer et démontrer expérimentalement l'utilisation de nouveaux algorithmes permettant des liaisons à longues distances à des débits 400Gbit/s, voire 1Tbit/s par longueur d'onde.**
2. **Identifier et évaluer (théoriquement, expérimentalement) les nouveaux types de sources optiques** répondant aux critères de coût, de consommation (« green photonics »), d'encombrement, de bande passante pour les futurs réseaux domestiques, d'accès, métropolitains ainsi que pour les liaisons au sein et entre data center.

Maintien des investissements dans les équipements de laboratoire et consolidation des collaborations avec l'équipe ComNum, pour l'expertise 1. Renforcement de l'expertise 2, grâce notamment au recrutement de F. Grillot.

Objectif 1 L'accroissement continu des débits transportés sur le réseau fixe provenant des applications mobiles, des applications vidéo et des échanges de données massives, confronte en permanence les systèmes aux limites physiques de la propagation (effets linéaires et non-linéaires dans les fibres optiques) et du traitement du signal électronique. L'optimisation des systèmes tient en l'adéquation des ressources relevant des communication numériques avec les particularité du canal intégral (optique et électronique).

Objectif 2 L'amélioration des technologies semi-conductrices couplée à la croissance de la nano-photonique conduit aujourd'hui à l'émergence de nouveaux émetteurs optoélectroniques. Les solutions actuellement étudiées, devront être évaluées à l'aune des problématiques « systèmes » dans des architectures révélant du domaine des communications optiques.

B.2.3 Leviers prioritaires

1. Mise en place de **Budgets Plateformes « Inter-départements »** et / ou « Inter-établissements » & Forte participation à **NanoDesign**.
2. Soutien à la synergie entre les Groupes « Optique » et communication numérique de Télécom ParisTech et de l'Institut Mines-Télécom.
3. Facilitation des échanges avec les plateformes technologiques fournisseurs de composants et dispositifs pour les télécom.
4. Préservation de l'envergure du groupe par le remplacement de P. Gallion (Départ en 2015).

B.3 Circuits et systèmes de communication (C2S)

Responsable Patricia Desgreys.

Taille 4.1 EC, 1 Ingénieur, 1 Sabbatique, 2 postdocs, 7 doctorants.

B.3.1 Expertises stratégiques

1. Smart Analog & Mixed Signals (AMS) Design for wireless systems (based on Digital Signal Processing)

Force de recherche 5 permanents, 2 post-docs, 5 doctorants.

Production de recherche en 2012 9 publications, 1 brevet ; montant agrégés des contrats commencés en 2012 : 507,46 k€.

2. Design Methodologies for AMS NanoScale Systems

Force de recherche 1.1 permanent, 2 doctorants.

Production de recherche en 2012 2 publications.

L'idée d'une gestion dynamique du spectre qui pourrait être décentralisée a été introduite il y a une quinzaine d'année afin de résoudre le problème de la pénurie de fréquences. Ce concept appelé radio intelligente est depuis l'objet d'une recherche très active. La détection du spectre est de loin l'une des tâches les plus importantes pour la mise en place de la radio intelligente en particulier pour les utilisateurs ayant une faible priorité. Dans la couche physique, actuellement, la détection de spectre pour les applications de radio intelligente suppose et exige un front-end RF de très haute performance, c'est à dire un taux d'échantillonnage élevée, un convertisseur analogique-numérique (ADC) de haute résolution avec une large plage dynamique, un circuit frontal analogique multiple, et des processeurs numériques à haute vitesse. Le principal verrou est le manque de reconfigurabilité, la bande limitée et le coût élevé des parties de traitement AMS & RF situées entre l'antenne et le traitement numérique. La suppression ou la diminution des contraintes sur ces composants entraînent l'apparition d'imperfections (bruit, non linéarités).

Nos expertises de recherche permettent la mise en œuvre de la radio logicielle et de la radio intelligente

Rupture architecturale : Le groupe C2S ajoute de l'intelligence dans les circuits AMS grâce à l'implémentation en numérique de nouveaux algorithmes de traitement du signal permettant de corriger les imperfections des circuits AMS & RF. Notre point fort est la conception de CAN multistandard pour la radio cognitive et des corrections numériques nécessaires pour atteindre la très haute performance.

Nos spécificités sont l'implémentation physique de puces en technologies CMOS avancées et le développement et l'implémentation d'algorithmes numériques. Et nous sommes un des leaders européens sur l'architecture Sigma-Delta aussi bien au niveau convertisseur que récepteur.

Rupture technologique : Une autre voie que nous investissons pour la montée en fréquence de nos conceptions, tout en maîtrisant la consommation, est l'intégration des nanotechnologies.

Le groupe C2S propose des méthodologies pour l'intégration des nanotechnologies ce qui comprend l'enrichissement des simulateurs pour tenir compte des nouveaux comportements. Nous avons en particulier travaillé sur la prise en compte de la fiabilité dans les outils de simulation. Ces outils permettent de comparer (de choisir) des architectures en tenant compte de leurs performances et de leur fiabilité.

Equipement stratégique : Nous disposons d'une plateforme de caractérisation de nos circuits intégrés permettant la mesure large bande (100 MHz) et haute résolution (>16 bits).

B.3.2 Objectifs stratégiques

1. Smart, Green & Pervasive AMS for Wireless Systems

2. AMS NanoScale Systems Highly Reliable by Design for Advanced Manufacturing

La nouvelle ère des communications, dans laquelle nous entrons, sera caractérisée par une croissance exponentielle du déploiement et de l'usage de services et d'applications.

Ces services et applications auront des supports différents (fréquences et débits) et des caractéristiques différentes (mobilité). La prolifération de ces applications nécessitera de concevoir des systèmes capables de gérer la coexistence de ces dernières. En outre, la quasi-omniprésence et la multiplication de ces systèmes communicants causent une augmentation du besoin en ressources spectrales.

Cependant, du point de vue de la conception de ces systèmes, nous constatons aussi une exigence croissante concernant à la fois les performances au niveau systèmes et au niveau circuit : la consommation d'énergie doit être aussi minimisée dans l'objectif d'obtenir des systèmes sobres en énergie ; et la bande passante doit être maximisée pour permettre la transmission de haut débits de données. Pour permettre la maîtrise et/ou la réduction de la consommation des équipements mobiles, des micro-cellules de communication autonomes sont envisagées. Les équipements mobiles pourront ainsi émettre à des niveaux de puissance réduits.

Afin de répondre aux défis sociétaux du Green IT : conception de systèmes faible consommation, gestion intelligente de l'énergie, et de la Sureté : conception robuste en technologie avancée, nous allons nous appuyer sur nos 2 expertises en élargissant leur champs d'action.

L'intelligence numérique ajoutée à nos conceptions AMS permettra d'offrir, en plus de la haute performance, la versatilité, la performance à la demande, la réduction de la consommation dans des systèmes sans fil omniprésents.

Nous continuerons à implémenter nos conceptions dans les nanotechnologies les plus avancées en développant les méthodes pour des systèmes fiables par conception. L'élargissement dans ce thème consistera à la prise en compte de plus de paramètres technologiques dans les conceptions systèmes pour assurer et accélérer la mise à profit dans les produits des avancées technologiques.

Grâce à ces objectifs stratégiques, nous positionnerons le groupe C2S comme un des acteurs majeurs en micro- et nanoélectronique de l'Université Paris Saclay, notamment en tant que contributeur et coopérateur de la Plateforme technologique Nano-Design et nous consoliderons notre visibilité internationale.

B.3.3 Leviers prioritaires

1. **Recrutement** d'un jeune chercheur (MdF, CR) sur nos expertises
2. **Lancement d'un labo Commun.**
3. Participation à un M2 de l'UPSay.
4. Participation au projet NANODESIGN.

B.4 Electronique des systèmes numériques complexes (SEN-LabSoC)

Responsables Jean-luc Danger & Renaud Pacalet.

Taille 2C, 10 EC, 1 I, 6 CDD, 23 doctorants.

B.4.1 Expertises stratégiques

1. Architecture et Méthodes de conception de Systèmes Intégrés et Embarqués

Force de Recherche 8 Permanents, atelier logiciel de validation de systèmes complexes, nombre de doctorants : 13.

Production de recherche en 2012 23 publications ; 2 brevets ; montant moyen des contrats entre 2008 et 2012 : 600 k€.

2. Analyse de la Sécurité et de la Sûreté des architectures des circuits et systèmes embarqués

Force de Recherche 5 Permanents, laboratoire de sécurité et sûreté des systèmes embarqués, nombre de doctorants : 10.

Production de recherche en 2012 29 publications ; 2 brevets ; montant moyen des contrats entre 2008 et 2012 : 360 k€.

Architecture et Méthodes de conception de Systèmes Intégrés et Embarqués Cette expertise est essentielle pour répondre aux questions clés des futurs circuits et systèmes numériques : comment intégrer en un moins de temps possible des applications de plus en plus contraintes par ces enjeux primordiaux :

- La faible complexité, donc le coût
- la vitesse de calcul
- la faible consommation
- la fiabilité : pour faire face aux défauts de plus en plus probables dans les circuits
- la sécurité : pour déjouer les attaques physiques portées sur les systèmes embarqués
- la flexibilité : logicielle, ou matérielle par les circuits programmables

La réponse à cette question difficile passe par des méthodes de conception de plus en plus haut niveau, devant permettre une validation efficace, avec un partitionnement logiciel/matériel optimal, et la prise en compte des récentes technologies micro-électroniques.

Analyse de la Sécurité et de la Sûreté des architectures des circuits et systèmes embarqués Les contraintes de sûreté de fonctionnement et sécurité sont prioritaires dans de nombreuses applications sensibles. Ceci s'explique d'une part par la diminution significative de la fiabilité dans les nouvelles technologies micro-électroniques, et la recrudescence des attaques physiques dans les circuits détenant des informations secrètes. Toute action de protection nécessite de quantifier le degré de vulnérabilité des circuits, de façon à en mesurer son impact. Ainsi, outre des compétences en architectures électroniques, cette expertise fait largement appel aux mathématiques, pour valider formellement le gain en protection, et aux expériences laboratoire, pour la meilleure compréhension des phénomènes physiques.

B.4.2 Objectifs stratégiques

1. Atelier de conception de systèmes embarqués par raffinement encadré
2. Plate-forme d'analyse en sûreté/sécurité des systèmes embarqués

Au vu du besoin croissant en architectures complexes, les deux expertises stratégiques de l'équipe doivent être renforcées. Parmi les leviers de ce renforcement figurent d'une part un environnement de modélisation, conception et validation intégré pour les systèmes complexes dans les dernières technologies, et d'autre part des outils d'analyse afin de valider la sécurité et la sûreté de fonctionnement des circuits et systèmes embarqués.

Atelier de conception de systèmes embarqués par raffinement encadré Afin d'accélérer la validation d'un système électronique complexe, un premier objectif est de cibler un atelier logiciel permettant le partitionnement logiciel/matériel de systèmes embarqués complexes. Sur le thème spécifique de la radio logicielle, l'équipe vise à proposer un premier processeur de traitement du signal, accessible aux partenaires académiques et industriels. Dans ce contexte une action incontournable est l'acquisition constante des méthodes de conception pour la maîtrise des dernières technologies « deep submicron », qui passe par le développement de circuits prototypes, permettant du me coup de valider des nouvelles architectures.

Plate-forme d'analyse en sûreté/sécurité des systèmes embarqués Cet objectif très pratique et démonstratif est avant tout la mise en place d'un environnement de laboratoire et de plate-formes pour une meilleure analyse et compréhension de la la sûreté de fonctionnement et de la sécurité. Aussi il devient possible de fournir des démonstrateurs, dont celui d'un premier calculateur de confiance, prouvant la faisabilité du « trusted cloud computing » et du tiers de confiance matériel distant. Toujours dans l'esprit de démonstration et dissémination, il est stratégique de lancer de nouvelles version du "DPA contest" , concours international organisé par l'équipe et contribuant à la visibilité de notre savoir-faire en sécurité des systèmes embarqués.

B.4.3 Leviers prioritaires

1. **CDI Ingénieur de Recherche** pour la conception et la validation de circuit et systèmes complexes.
2. **CDI Chercheur** en sûreté de systèmes embarqués.
3. **Site Web pour la diffusion/valorisation** d'outils libres de conception de systèmes embarqués.

B.5 Communications numériques (ComNum)

Responsable Philippe Ciblat.

Taille 2C, 7 EC, 4 postdocs, 13 doctorants.

B.5.1 Expertises stratégiques

1. Codage algébrique et théorie des réseaux de points : codage de réseau, sécurité par la couche physique, MIMO, stockage distribué

Force de recherche 4 permanents (66%), 5 doctorants.

Production de recherche en 2012 11 publications ; montant des contrats commencés en 2012 : 363 k€.

2. Théorie de l'information : gestion de l'interférence, communications interactives, grandes matrices aléatoires

Force de recherche 7 permanents (66%), 4 doctorants.

Production de recherche en 2012 17 publications ; montant des contrats commencés en 2012 : 85 k€.

B.5.2 Objectifs stratégiques

1. Traitement distribué de l'information (codage pour le stockage distribué, codage de source distribué, optimisation distribuée)

2. Codage et allocation de ressources pour la gestion de l'interférence (nouvelles méthodes d'allocation inter-couches, codage tirant parti de l'interférence tel le compute-and-forward, utilisation de la voie de retour)

Les deux objectifs stratégiques sont très clairement un renforcement et un élargissement des expertises 1 et 2 puisque nous y utilisons les mêmes outils mathématiques (réseaux de points, optimisation convexe, matrices aléatoires).

L'objectif stratégique 1 devient de plus en plus essentiel en raison de masses de données importantes qu'il faut stocker (ex. le "cloud computing") et aussi parfois l'absence de points centralisateurs de calculs (comme en réseau de capteurs ou en réseau ad hoc). Quant au deuxième objectif stratégique, nous considérons que les prochains gains substantiels dans un système de communications viendront de l'amélioration de la gestion de l'interférence puisqu'elle est devenue le facteur limitant (en effet, sans interférence, on atteint maintenant presque la limite de Shannon). Nous avons la volonté d'inclure nos techniques de gestion de l'interférence dans la prochaine 5G (et donc pas uniquement de la coordination de station de base -CoMP- et du relayage comme fait dans le LTE-A).

B.5.3 Leviers prioritaires

1. Lancer un **laboratoire Commun avec Thalès** « Coding & Ressource Allocation for Interference Management ».
2. Recherche de très bons étudiants (qui s'avère actuellement très difficile en raison d'une attractivité assez faible du domaine) & **Ressources propres plus pérennes**, comme un ERC.

B.6 Réseaux, mobilité et services (RMS)

Responsable Jean-Louis Rougier.

Taille 11 EC, 1 prof émérite, 1 prof associé, 25 doctorants.

B.6.1 Expertises stratégiques

1. Pervasive Access (Wireless & Optical Networks)

Force de recherche 3.5 EC, 8 doctorants.

Production de recherche en 2012 17 publications ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 215 k€.

2. Very Large Networks (Future Internet, Cloud, Internet of Things, Smart Grid)

Force de recherche 4 EC, 10 doctorants.

Production de recherche en 2012 28 publications ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 653 k€ ; labos communs : Seido Lab (EDF), labo commun Thales.

3. Modeling and Performance Evaluation (Traffic Engineering, Optimization, Metrology & Testbed)

Force de recherche 3.5 EC, 7 doctorants.

Production de recherche en 2012 17 publications ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 516 k€.

Les deux premières expertises stratégiques ont été regroupées de manière cohérente avec la stratégie présentée à la section suivante, afin de bien mettre en évidence les forces mises en oeuvre et les initiatives (laboratoires communs etc.) associées à chacun des objectifs stratégiques.

La première expertise correspond à l'ensemble des évolutions technologiques permettant l'accroissement des capacités et l'omniprésence de la connectivité réseau, aussi bien par le biais des réseaux filaires et sans fils. Cet axe englobe les expertises du groupe sur les réseaux sans-fils et cellulaires (notamment, sur les méthodes d'accès, la gestion dynamique de spectre, la radio cognitive, la gestion de la mobilité, le codage réseau) et les réseaux optiques (notamment, les réseaux WDM transparents, commutation de paquets tout-optique, radio sur fibre).

La seconde expertise correspond aux évolutions technologiques nécessaires pour faire face à la complexité des réseaux (taille, nombre de terminaux connectés, etc.). Elle regroupe les compétences de l'équipe sur les évolutions architecturales de l'Internet du Futur (routage multi-chemin, LISP, Content Centric Networks), les réseaux P2P, le Cloud Computing, la classification automatique des flux et l'Internet des objets.

Finalement, la dernière expertise correspond à des compétences "support", autrement dit les méthodes d'analyse pour l'évaluation de performance et le dimensionnement de réseau, la simulation ou la réalisation de mesures réelles, qui peuvent s'appliquer à différentes technologies. Plus précisément, cette expertise porte sur les modèles analytiques (théorie des files d'attente, topologie algébrique, théorie des jeux, statistiques et optimisation combinatoire), la simulation, la métrologie sur des réseaux réels ou expérimentaux.

B.6.2 Objectifs stratégiques

Les réseaux ont acquis ces dix dernières années une importance stratégique, avec un fort impact socio-économique, soutenue par des évolutions technologiques et architecturales majeures qui ont permis une augmentation significative des capacités de transfert et la fourniture d'une multitude de nouveaux services.

Si leur succès est indéniable, les réseaux font face à des défis majeurs, liés à leur croissance, leur complexité, l'évolution de leurs usages et l'accès transparent aux services offerts, qui mettent potentiellement en péril les paradigmes traditionnels.

L'équipe vise deux principaux objectifs stratégiques :

1. **Développer de nouvelles technologies pour une connectivité omniprésente.** Un aspect essentiel est d'assurer une connectivité omniprésente, par le biais des technologies de réseaux filaires et sans-fils. Cet objectif englobe en premier lieu la montée en débit, les réseaux actuels montrant des signes de congestion sévère, plus particulièrement dans les réseaux cellulaires. La solution réside par une gestion optimisée des ressources (radio et optiques). L'omniprésence nécessite également une gestion de la mobilité généralisée. Les investissements dans les réseaux sont considérables, particulièrement à l'accès avec le grand nombre d'équipements à déployer au plus près des utilisateurs. Les coûts de gestion de ces réseaux pourraient être réduits par une plus grande autonomie (auto-organisation). Finalement, une meilleure maîtrise de la consommation énergétique de ces réseaux est nécessaire, à la fois pour raisons économiques et environnementales.
2. **Gérer la complexité et les performances des très grands réseaux.** Le second objectif porte sur la gestion de très grands réseaux. La difficulté est d'assurer les performances, la robustesse et la résilience de ces réseaux, ce qui est rendu particulièrement complexe par la taille des réseaux considérés et le nombre d'acteurs mis en jeu, comme dans l'Internet par exemple, ou au niveau du volume de trafic transporté (notamment du trafic vidéo qui devient prépondérant). La maîtrise de la complexité doit également répondre à une demande croissante pour une plus grande flexibilité des réseaux afin de pouvoir déployer de nouveaux services de manière beaucoup plus simple et rapide. Nous comptons explorer aussi bien des solutions de rupture (virtualisation des fonctions réseaux, software defined network, information centric networking, ...) que des solutions évolutives (utilisation de LISP, ...). La complexité vient également du nombre de terminaux connectés, qui va littéralement exploser avec le déploiement extrêmement rapide de capteurs et de multiples objets connectés. Dans ce contexte de l'Internet des Objets, il est indispensable de prendre en compte de nouvelles contraintes, liées à l'élargissement des champs d'application des réseaux, comme par exemple, les véhicules électriques connectés, ou les réseaux de distribution d'électricité auto-adaptatifs (smart grid).

Ces défis ne pourront être relevés que par une connaissance approfondie à la fois des technologies actuelles et des outils théoriques les plus avancés, permettant de concevoir des solutions innovantes, potentiellement en rupture avec l'existant. C'est pourquoi l'équipe a la volonté de consolider sa spécificité dans la double compétence en réseaux (architectures, protocoles, algorithmes) et études de performance (optimisation, modèles analytiques, expérimentation et métrologie). Nous comptons ainsi maintenir et pérenniser notre expertise stratégique 3 ("modélisation et étude de performances").

B.6.3 Leviers prioritaires

1. **CDI d'ingénieur de recherche** pour développer et valoriser développements logiciels et plateformes.
2. **Renforcer la présence** du groupe dans les grandes initiatives locales (DigiCosme) et nationales (Allistene) et laboratoires communs (LINCS, SystemX, SeidoLab, Thales).
3. Renforcer la relation avec des industriels clés du domaine (notamment Cisco, EDF).
4. Renforcement des liens **académiques internationaux** (Chine, Inde, USA).
5. **Mise en place du master M2 Advanced Communication Networks (ACN) porté par X/Telecom (ouverture en septembre 2014).**

B.7 Systèmes, logiciels et services (S3)

Responsable Elie Najm.

Taille 10 EC, 1 I, 14 doctorants.

B.7.1 Expertises stratégiques

1. **Systèmes Répartis** Informatique Autonome, Génie Intergiciel, Algorithmique Répartie, Sûreté, Langages et Modèles, Vérification

Force de recherche 7 permanents, 8 doctorants.

Production de recherche en 2012 14 publications ; montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 408 k€ ; chaire ISIC (Systèmes Complexes) ; Laboratoire Commun avec EDF (SEIDO).

2. **Systèmes Embarqués Critiques** Ingénierie des Modèles, Systèmes de Systèmes, Sûreté, Vérification, Temps Réel (Avionique, Espace, Ferroviaire)

Force de recherche 4 permanents, 6 doctorants.

Production de recherche en 2012 11 publications ; 3 brevets/Licences ; montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 179 k€ ; chaire Systèmes Complexes ; laboratoire commun SEIDO avec EDF ; laboratoire commun avec le CEA-LIST en cours ; démarrage de l'activité dans l'IRT SystemX.

Grâce à une dynamique d'embauche soutenue, l'équipe a pu progressivement faire émerger et renforcer les deux axes d'expertises stratégiques données ci-dessus. Ainsi, depuis 2008, deux ECs sont venus renforcer les compétences en systèmes embarqués, ingénierie des modèles, et sûreté de fonctionnement, et deux autres ECs ont apporté leurs compétences en informatique distribuée et autonome. L'équipe a ainsi acquis une visibilité à la fois notionale et internationale, dans le domaine de l'embarqué critique et de l'informatique répartie et autonome, et qui se reflète par la grande activité en publications, ouvrages de références, contrats de recherche publics et industriels, chaire et labos communs, et plateformes logicielles. L'équipe s'est vu aussi renforcer récemment par l'arrivée d'un professeur (début 2013) avec des compétences fortes et reconnues dans les fondements théoriques de l'algorithmique distribuée.

L'équipe poursuivra son investissement dans ses axes stratégiques et en amplifiant son niveau d'expertise, grâce, notamment, aux domaines d'application visés qui sont d'importance majeure (Centrale Nucléaire, Smart Grid, Smart Home, Internet des Objets, Transports, Automobile, Avionique). Cette stratégie est déjà mise en oeuvre. Outre les relations de coopération qu'elle entretient avec les grands industriels et PME, l'équipe est actuellement impliquée dans des grands projets (Connexion, Medical, Corac, PISCO), programmes (SystèmeX, Institut de la Société Numérique), labos communs (SEIDO avec EDF, avec le CEA-List en cours) et Chaires (ISIC - Systèmes Complexes). L'ensemble de ces structures sont un cadre avantageux pour mener des recherches théoriques et appliquées. Cela permettra un positionnement fort de l'équipe dans ses domaines d'expertise lors de la future implantation du laboratoire et l'école sur le plateau de Saclay.

Systèmes répartis Les fondements théoriques de l'informatique répartie visent à séparer ce qui est réalisable par l'algorithmique distribuée de ce qui ne peut pas l'être. Un défi important est d'équilibrer l'exécution correcte des systèmes avec leur disponibilité et leur efficacité, et ce en présence d'adversaires tels que le comportement défaillant des composants du système ou de l'environnement. Les difficultés pour relever ce défi émanent du foisonnement des modèles existants, sans lien apparent entre eux, et du grand nombre d'abstractions pour la programmation distribuée. Stratégiquement, nous envisageons de poursuivre nos travaux sur de nouveaux paradigmes prometteurs de programmation concurrente, comme la mémoire transactionnelle, et aussi l'application de la méthode transactionnelle aux modèles SDN (réseau définis par logiciel)

qui exposent de nouvelles formes de concurrence. Cette recherche traitera aussi des problèmes d'algorithmiques qui surviennent dans la construction des systèmes embarqués et des systèmes électriques sûrs.

L'Internet des Objets (IdO) est une bonne illustration d'un système complexe de par la variété des objets du monde réel susceptibles d'être connectés et de par la combinatoire des compositions et des usages qui peuvent potentiellement en être faits. Les Systèmes Electriques Intelligents (SmartGrids) constituent une forme remarquable d'IdO. A l'instar des objets de l'Internet des Objets, les composants de la chaîne électrique ont une grande variété allant des grands centres de production aux radiateurs électriques chez les particuliers (SmartCity, SmartHome) en passant par les compteurs intelligents et les réseaux de transport et de distribution. A la complexité de l'infrastructure des SmartGrids, se superpose la complexité et l'intrication des fonctions qu'ils assurent. Notamment, la fonction d'optimisation de la production et de la consommation de l'énergie qui requiert des leviers multiples et multi-échelles (temps et espace) et implique la coordination et la coopération d'une multitude de partenaires et d'acteurs autonomes.

L'équipe poursuivra ses efforts vers la conception de solutions algorithmiques, architecturales et logicielles au domaine des IdO et des Smart Grids. Ce domaine est typique du champ d'application de l'informatique autonome. Mais de nouveaux défis sont à relever car ces systèmes nécessitent une logique de contrôle autonome complexe dû essentiellement à la nécessité de prendre en compte leur grande échelle, leur caractère distribué, leur hétérogénéité, leur caractère dynamique et le fait qu'ils s'attaquent à de multiples objectifs de gestion. L'objectif de notre recherche est d'identifier et de développer un ensemble d'outils et pour répondre à ce défi. Ceci inclut des outils conceptuels - tels que des paradigmes et des modèles abstraits - ainsi que des outils plus concrets - tels que des architectures, des cadres et des langages dédiés. Les méthodes d'Ingénierie basée Modèles (IdM) des systèmes classiques sont pratiquées déjà depuis une décennie et les avantages et apports de leur mise en oeuvre sont maintenant avérés. L'approche de développement par la modélisation des Systèmes d'Information de systèmes complexes, tels l'IdO, reste, quant à elle, un défi majeur. Elle nécessite de nouvelles approches et des cadres de modélisation adaptés.

Une thèse qui porte sur la modélisation en vue de la validation *métier* des Smarts Grids vient d'être lancée par l'équipe et dans le contexte du labo SEIDO. D'autres thèses sont en cours dont une en collaboration avec l'Université de Grenoble et une avec EDF Clamart (CIFRE) ainsi que des travaux au sein du projet de recherche national («Medical» - <http://medical.imag.fr/> - financé par Minalogic). Toujours dans les domaines applicatifs de types grille électrique intelligente, maison et quartiers intelligents, un projet vient de démarrer (Septembre 2013) et qui est co-financé par l'Institut de la Société Numérique (ISN) et l'Institut Mines Telecom (IMT), et associant deux thèses l'une au sein de l'équipe S3 en tandem avec une seconde au département Sciences économiques et sociales de Télécom ParisTech. Ce projet est dévolu à l'interaction avec l'humain du point de vue de l'acceptation, de la temporalité, de la dynamique et de la qualité de la collaboration (entre humains ou humains-machines) dans un contexte où l'on vise l'auto-gestion autonome. Ce projet pilote doit déboucher sur des expertises pluridisciplinaires qui s'intégreront à terme au sein de l'ISN. Ces expertises encore peu fréquentes, si elles s'avèrent fructueuses, seront indéniablement un levier pour le financement de nouveaux projets pluridisciplinaires. L'équipe poursuivra aussi ses travaux menés dans le projet d'envergure Connexion (2012-2016) sur la conception d'un intergiciel vérifiable pour le contrôle commande de centrale nucléaire (fortes contraintes temps réel et de sûreté).

Systèmes embarqués critiques La recherche dans le domaine des systèmes embarqués critiques a connu un essor considérable notamment au travers des investissements d'avenir. Cela s'est traduit par le démarrage dans le cadre de l'Institut de Recherche et Technologie des Systèmes Complexes (IRT-X) de deux projets dans lesquels nous sommes impliqués. Le projet de Fiabilité et Sûreté de Fonctionnement couvre le domaine du Ferroviaire grâce à Alstom et celui de Electronique et Logiciel pour l'Automobile couvre le domaine de l'Automobile grâce à Peugeot et Renault. D'autres programmes d'investissements sont concernés comme COnseil pour

la Recherche Aéronautique et Civile dans lequel nous sommes impliqués notamment en matière de sécurité et sûreté de fonctionnement. Scientifiquement, ces travaux visent à répondre aux nouveaux défis que posent les récentes générations de processeurs (multi et many cores) ou les demandes de nouvelles fonctionnalités dans les systèmes embarqués critiques (Advanced Driver Assistance Systems, par exemple). Nous avons été également sollicités pour des actions sur le plateau de Saclay. A titre d'exemple, la Chaire Systèmes Complexes avec l'X et l'ENSTA nous a permis de démarrer des travaux de recherche sur la conception des drones (conception très différentes des systèmes avioniques). Nos travaux avec le CEA reconnus par une publication dans un journal réputé dans le domaine des systèmes temps réel (RTS) ont donné lieu au montage d'un laboratoire commun avec le CEA/LIST. De même, le laboratoire commun SEIDO avec EDF nous permet de faire reconnaître nos travaux autour de la sûreté de fonctionnement appliqués à la cybersécurité des nouveaux systèmes électriques d'EDF.

Cet axe concerne 1 professeur, 2 maîtres de conférences et 1 ingénieur d'étude. Jusqu'en juin 2013, il accueillait 5 thésards dont 3 en CIFRE (2 THALES, 1 AdaCore) et 1 avec le CEA/LASTRE. Depuis le démarrage de l'IRT Systèmes Complexes, grâce à la Chaire Systèmes Complexes et au laboratoire SEIDO, cet axe encadre 5 nouveaux thésards. Le renforcement de notre activité sur cet axe se traduit par une implication forte dans des projets de recherche de grande envergure, autant que par le nombre croissant de doctorants encadrés. Cette situation favorable s'explique par la qualité des publications scientifiques, mais aussi par la mise à disposition de RAMSES, plate-forme de modélisation, d'analyse et de génération de code par raffinement pour AADL. A la demande du SEI/CMU, nous avons été conduits à intégrer ces travaux à leur environnement historique de développement pour AADL, OSATE. Cette intégration a permis de démarrer des travaux de recherche dans le contexte du programme System Architecture Virtual Integration qui regroupe tous les plus grands intervenants du domaine de l'Avionique ainsi que la NASA.

B.7.2 Objectifs stratégiques

1. **Systèmes répartis** Recherche en algorithmique distribuée ; en informatique autonome ; en modélisation et architecture ; et en génie intergiciel. Application à l'Internet des Objets et aux Systèmes Electriques
2. **Systèmes embarqués critiques** Méthodologie de modélisation et de conception

B.7.3 Leviers prioritaires

1. 2 CDD / CDI Ingénieur « Plateformes ».
2. **Réduire la charge d'enseignement des ECs** pour dégager du temps recherche et faciliter l'atteinte des objectifs de recherche ambitieux.
3. **Consolider les financements** externes et futurs et ruptures.
4. Participations aux Masters (pré)-Saclaisiens (MPRI, Comasic, SETI).

B.8 Interaction, cognition et complexité (IC2)

Responsable Talel Abdessalem

Taille 1 C, 8 EC, 13 doctorants, 1 ingénieur de recherche.

B.8.1 Expertises stratégiques

1. Web (big) Data Management & Mining

Force de recherche 4 permanents, 5 doctorants, 1 ingénieur de recherche.

Production de recherche 20 publications durant l'année 2012. Montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 106 k€. Une Chaire « Big Data for E-Commerce » en cours de montage.

2. Human-Computer Interaction and Visualization

Force de recherche 3 permanents, 4 doctorant, 1 postdoc.

Production de recherche 7 publications durant l'année 2012. Montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 243 k€. Participation au laboratoire commun UBI-MEDIA avec Alcatel-Lucent Bell Labs et l'Institut Télécom. 1 brevet avec A-L. Bell Labs. Participation à l'Equipex DIGISCOPE.

L'équipe a choisi depuis 2007 de se renforcer sur les deux axes stratégiques cités ci-dessus. Ceci s'est réalisé par la création de deux sous groupes de recherche de premier plan : l'un, DB-Web, est spécialisé dans les fondements théoriques des bases de données, la fouille de données à large échelle et la gestion des données du Web, et l'autre VIA est spécialisé dans les nouvelles techniques d'interaction et leurs fondements.

Le groupe DBWeb (dbweb.enst.fr) s'est renforcé progressivement par des recrutements ciblés : Bogdan Cautis en 2007, Pierre Senellart en 2008 et Mauro Sozio en 2011. Son niveau de publication, aussi bien en terme de qualité (publications dans les revues et conférences les plus prestigieuses du domaine, TODS, TOIS, SIGMOD, PVLDB, ICDE, etc.) qu'en nombre (20 publications en 2012 pour 5 EC) font de ce groupe l'un des meilleurs groupes de recherche en bases de données en France.

Le groupe VIA (<http://www.telecom-paristech.fr/~via/>) a significativement gagné en visibilité pendant cette période avec l'arrivée de deux jeunes chercheurs prometteurs : James Eagan (Maître de Conférences) en 2011, puis Gilles Bailly (CR CNRS) en octobre 2013. Le groupe a également participé à de nombreux projets collaboratifs, notamment le laboratoire commun Ubimedia ou l'Equipex Digiscope, une infrastructure de visualisation interactive et collaborative unique au monde. Le groupe dispose enfin d'un bon rythme de publication dans les meilleurs médias du domaine (qui sont principalement des conférences ACM) et fait partie des rares équipes françaises à publier régulièrement dans la prestigieuse et sélective conférence ACM (SIG)CHI (9 articles en catégorie principale sur la période, 13 tout compris).

Le renforcement de ces deux axes nous a permis aussi de proposer de nouveaux enseignements à nos élèves (gestion de données du Web, traitement de données à large échelle, interaction homme-machine, visualisation de données) et d'élargir notre participation aux Masters Parisiens (avec l'UPMC) et Saclaisiens (futurs Masters of Science de l'UPSay).

Remarque L'équipe comporte d'autres expertises reconnues en statistiques (1 EC) et science cognitive (1 EC), notamment les travaux de Jean-Louis Dessalles sur l'étude de l'origine du langage, et la pertinence et ses origines cognitives (<http://perso.telecom-paristech.fr/~jld/>). Ces expertises demeurent importantes pour les activités de recherche, d'enseignement et de valorisation de Télécom ParisTech, même si elles n'apparaissent pas dans les expertises «stratégiques» du groupe. Cela explique aussi l'écart entre le nombre cumulé de permanents et de doctorants impliqués dans les expertises stratégiques et les nombres homologues globaux cités dans la rubrique «Taille» de l'équipe.

B.8.2 Objectifs stratégiques

1. Large scale data and knowledge management (theoretical foundations and practical solutions)

2. Body Centred Interaction (Augmented Human)

L'équipe souhaite continuer à renforcer et élargir l'expertise 2, notamment sur les interfaces miniatures, embarquées et implantées, avec la prise en compte d'indicateurs physiologiques et émotionnels.

Il est également envisagé de compléter le spectre de l'expertise 1 au Web Sémantique et aux challenges liés au passage à l'échelle (Big Data) des méthodes de traitement, de fouille, d'extraction et de représentation des connaissances. L'équipe a la volonté de consolider sa spécificité dans les BD fondée sur une combinaison unique des aspects théoriques et systèmes.

Large scale data and knowledge management L'évolution technologique que nous vivons a permis la multiplication des sources d'informations, aussi bien les personnes physiques que les entités socio-économiques : systèmes d'information d'entreprises, open data, web, caméras et autres capteurs qui prennent de plus en plus de place dans notre environnement, public ou privé. L'exploitation des masses de données (Big Data) provenant de ces sources (récolte et transmission des données, stockage, analyse à la volé ou différée, etc.) peut permettre l'extraction de connaissances précieuses et constituer un levier important pour le développement et la compétitivité de nombreuses entreprises. Cependant, les volumes considérables de ces données, leur diversité et leur dynamique (évolution continue) limitent l'efficacité des techniques de gestion et d'analyse de données actuelles et les rendent incapables de répondre aux défis scientifiques que nous pose l'exploitation de ces masses de données. Ces défis sont multiples et nous voudrions travailler en particulier sur le problème du passage à l'échelle des algorithmes de traitement et de fouille de données (grands graphes, données hétérogènes, données incertaines, flux de données, etc.), ainsi que sur les méthodes d'extraction et de représentation des connaissances (ontologies, extraction d'information à partir du Web, analyse de réseaux sociaux, etc.).

Body Centered Interaction L'évolution de l'informatique depuis 50 ans pourrait presque se résumer à une phrase : toujours plus puissant, plus petit, plus mobile, plus personnel, plus près du corps. Le smartphone en est aujourd'hui l'illustration évidente, mais il ne constitue qu'une étape de cette évolution qui va conduire à l'émergence de nouveaux dispositifs et de nouveaux paradigmes interactionnels, aujourd'hui à peine esquissés. Les interfaces futures seront vraisemblablement de plus en plus multiformes et pour certaines d'entre-elles évanescentes, distribuées et embarquées sur (voire dans) le corps, ce que l'on peut résumer par le terme anglais «Body Centred Interaction» au sens de la thématique «Augmented Human». La proximité avec le corps, le besoin d'aller vers plus de personnalisation, sans parler des évolutions sociétales liées à l'âge croissant de la population, conduira certainement à une exploitation accrue des indicateurs physiologiques et émotionnels. Ce corps ainsi augmenté pourra aussi à terme interagir d'autant plus facilement avec les dispositifs et environnements communicants qui l'entoureront. De par son expérience en IHM dans les domaines de l'interaction mobile, de l'interaction gestuelle, des lois de mouvements et des environnements multi-dispositifs et multi-surfaces du groupe VIA est particulièrement bien placée pour travailler sur ces sujets, et en particulier ceux concernant l'interaction avec des petits dispositifs corporels et avec des environnements augmentés. Des collaborations seront ensuite à mener, à l'intérieur et à l'extérieur du LTCl, pour prendre en compte les aspects physiologiques et émotionnels, voire médicaux, et ainsi permettre à l'équipe de maîtriser ces nouvelles thématiques.

B.8.3 Leviers prioritaires

1. Finalisation et lancement de la **Chaire Big Data for E-Commerce** (portée par Talel Abdesaleem).

2. Participation à la **Chaire Machine Learning** (Pierre Senellart y représente le groupe dans le comité de pilotage de la Chaire).
3. Renforcer les financements contractuels externes.
4. L'équipe est en phase de recrutement sur les deux objectifs stratégiques (un chargé de recherche CNRS, Gilles Bailly, qui rejoint le groupe en octobre 2013, et un enseignant-chercheur, Fabian Suchanek, qui arrive en novembre 2013).
5. Participation à des **Masters Saclaisiens** (parcours IHM et DataSense de la mention informatique).
6. Participation à l'Equipex Digiscope.

B.9 Sécurité et réseaux (SR)

Responsables Isabelle Zaquine & Jean Leneutre.

Taille 2C, 6 EC, 1 ingénieur, 28 doctorants.

B.9.1 Expertises stratégiques

1. Information Quantique

Force de recherche 4 permanents, 7 doctorants.

Production de recherche en 2012 6 revues internationales, 10 conférences internationales, Montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 252 k€.

2. Sécurité des Réseaux

Force de recherche 5 permanents, 21 doctorants.

Production de recherche en 2012 4 revues internationales, 12 conférences internationales, Montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 181 k€ ; 1 laboratoire commun (SEIDO avec EDF).

La cryptographie quantique à variable continue est un domaine important pour accéder à la sécurité "inconditionnelle" avec des flux lumineux compatibles avec des méthodes classiques de détection. Les derniers travaux de l'équipe dans ce domaine en constituent l'état de l'art. De plus, l'ensemble de l'équipement présent au laboratoire, associant sources de photons intriqués dans le visible, dans l'infra-rouge de régimes temporels et de largeurs spectrales différentes, ainsi que des systèmes de distribution de clés en variables discrètes et continues, en fait une plateforme unique en France pour tester de nouveaux protocoles de cryptographie quantique.

Un autre aspect important est le développement de nouveaux protocoles. D'une part, on étudie les fondements de la physique quantique, comme la non-localité et la contextualité, en particulier dans le cas de l'intrication à plusieurs particules, pour dégager les avantages quantiques (il est intéressant de noter que les protocoles les plus marquants ont émergé de considérations purement fondamentales). D'autre part, nous nous intéressons à ce que le traitement quantique de l'information peut nous apprendre sur les différences entre la physique classique et la physique quantique. Ces axes de recherche sont nécessairement pluri-disciplinaires, ce qui se retrouve dans la nature inter-disciplinaire de notre équipe, ainsi que nos nombreuses collaborations avec des physiciens expérimentalistes et théoriciens, ainsi que des informaticiens.

L'expertise 2 couvre un spectre relativement large de la sécurité des réseaux. L'activité de recherche porte sur la définition d'architectures, de services sécurisés ainsi que de méthodes d'évaluation de la sécurité pour les réseaux. Dans le cadre de la sécurité des communications et des applications, un accent est mis sur le renforcement et l'optimisation de protocoles de sécurité existants tout en préservant l'interopérabilité. Un autre effort est fourni sur l'intégration d'éléments de confiance (cartes à puces) pour augmenter le niveau de sécurité d'une solution. Outre les réseaux classiques, le domaine d'application de ces travaux concerne également la sécurisation des infrastructures pervasives (internet des objets, réseaux véhiculaires) et des infrastructures critiques (réseaux électriques intelligents). Depuis septembre 2012, l'équipe a initié des activités dédiées à la cybersécurité pour les systèmes électriques dans le cadre du laboratoire commun SEIDO avec EDF. Cette collaboration est une opportunité significative qui permettra de développer, valider et augmenter la visibilité de certains de nos travaux. En particulier, l'utilisation de la théorie des jeux non coopérative pour la conception de stratégies de sécurité optimales semble être une approche prometteuse dans ce contexte. Par ailleurs, une nouvelle problématique importante abordée dans ce laboratoire porte sur l'étude des interdépendances entre propriétés de sécurité et propriétés de sûreté de fonctionnement. Ces derniers travaux sont abordés en collaboration avec des collègues de l'équipe S3.

B.9.2 Objectifs stratégiques

1. **Information (communication et calcul) quantique**
2. **Sécurité des Réseaux, des Infrastructures critiques et des Systèmes et Applications Mobiles**

L'équipe souhaite

- élargir l'expertise 1 au calcul quantique et consolider son double ancrage sur les aspects expérimental et théorique
- renforcer l'expertise 2 sur la sécurité des infrastructures critiques et l'élargir à la sécurité des applications mobiles embarquées.

Information (communication et calcul) quantique En information quantique, l'équipe souhaite consolider son positionnement relativement unique en France, avec la combinaison de compétences théoriques sur l'intrication et le calcul quantique et de compétences expérimentales sur les communications quantiques à la fois en termes de variables discrètes et de variables continues.

Sécurité des Réseaux, des Infrastructures critiques et des Systèmes et Applications Mobiles En sécurité réseaux, l'équipe souhaite renforcer ses activités sur la cybersécurité et les infrastructures critiques (sécurité des réseaux électriques intelligents au sein du laboratoire commun SEIDOLAB avec EDF, sécurité des systèmes de transport intelligents dans le cadre du projet IEED VeDeCoM et IRT System X). Par ailleurs, l'équipe désire élargir ses activités présentes autour de l'informatique de confiance à la sécurisation des systèmes et applications mobiles.

B.9.3 Leviers prioritaires

1. en information quantique, le besoin d'environ 2 à 3 bourses de thèses par an pour maintenir une visibilité élevée au niveau expérimental et théorique
2. vigilance sur l'interaction avec les masters et les écoles doctorales de l'UPSay pour permettre le recrutement de bons doctorants.
3. besoin de renforcer l'équipe en sécurité réseaux
4. collaboration avec EDF dans le cadre du laboratoire commun

B.10 Mathématiques de l'information, des communications et du calcul (MIC2)

Responsable Olivier Hudry.

Taille 1C, 7EC, 7 doctorants.

B.10.1 Expertises stratégiques

1. Combinatoire & codage

Force de recherche 6 Permanents, 3 doctorants.

Production de recherche en 2012 6 articles dans des revues avec comité de lecture, 7 contributions à des conférences internationales, publication de 2 numéros spéciaux de revue ; 1 contrat de recherche d'un montant de 73 k€ ; laboratoire commun avec Morpho « Identity & Security Alliance ».

2. Modèles Stochastiques & Géométrie Aléatoire

Force de recherche 2 Permanents, 4 doctorants.

Production de recherche en 2012 3 articles dans des journaux avec comité de lecture, 3 contributions à des conférences internationales, 1 livre, publication de 1 numéro spécial de revue.

B.10.2 Objectifs stratégiques

1. Développer les outils théoriques et applicatifs de la topologie algébrique en milieu aléatoire en vue des applications aux réseaux radio-mobiles et à la classification
2. Développer de nouveaux concepts algébriques appliqués à la biométrie et/ou la protection et la sécurité des données

En collaboration avec l'équipe RMS, nous sommes pionniers dans l'utilisation des concepts avancés tels que la topologie algébrique et la géométrie stochastique pour l'analyse et le dimensionnement des systèmes « ambiants » : mobiles, capteurs et plus généralement informatique pervasive. Les défis sont nombreux et il nous semble nécessaire d'étoffer l'équipe tant par un chercheur permanent, spécialisé dans les grands graphes aléatoires, qui s'insérerait idéalement en interaction avec d'autres équipes que par une sécurisation des financements de doctorants et post-doctorants par l'intermédiaire d'une chaire.

L'importance toujours plus grande des technologies numériques dans notre quotidien soulève de nombreux problèmes de confiance liés tant à la sécurité des données qu'à la gestion de l'identité des utilisateurs. Les solutions technologiques à ces problèmes reposent principalement sur l'utilisation de méthodes cryptographiques et biométriques. Pour ce qui est de l'équipe, elle dispose d'une expertise reconnue dans un domaine très proche et intimement lié, la théorie du codage. C'est par ce biais qu'elle a pu investir aussi ces nouveaux champs et y obtenir un premier corpus de résultats. Car non seulement les codes correcteurs trouvent des applications directes en cryptographie et en biométrie, mais aussi ces domaines partagent-ils des bases mathématiques communes : théorie de l'information, combinatoire, corps finis, fonctions booléennes, théorie des nombres, géométrie algébrique... L'équipe est formée principalement de mathématiciens théoriciens. Elle considère qu'il est d'une importance stratégique de maintenir ses compétences et de pérenniser sa capacité de recherche fondamentale. Cependant, cela doit aller de pair avec un renforcement de l'ouverture sur les applications en cryptographie et biométrie qui, d'une part, offrent des débouchés naturels aux méthodes mathématiques, et d'autre part, proposent en retour des problèmes originaux susceptibles de donner lieu à de nouvelles avancées théoriques. Un moyen privilégié pour cela est le laboratoire commun né de l'alliance avec Morpho. L'équipe possède les compétences qui permettent de contribuer de façon significative aux théories dont les applications, déjà réelles et importantes, vont connaître un essor exponentiel dans les années à venir.

B.10.3 Leviers prioritaires

1. Pérenniser le Labo Commun avec Morpho « Identity & Security Alliance ».
2. Monter une Chaire sur la Géométrie des Réseaux Cellulaires.
3. 1 CDI EC / C dans le domaine des grands graphes aléatoires.

B.11 Audio acoustique et ondes (AAO)

Responsable Gaël Richard.

Taille 6 EC, 11 doctorants.

B.11.1 Expertises stratégiques

1. Analyse, modèles et représentations pour le traitement des signaux Audio

Force de recherche 4 permanents, 8 doctorants.

Production de recherche annuelle moyenne 28 publications, montant annuel des contrats 347 k€(lissés sur la période 2008–2013).

2. Méthodes et modèles pour le traitement des signaux multimodaux et physiologiques

Force de recherche 2 permanents, 3 doctorants.

Production de recherche annuelle moyenne 13 publications, montant annuel des contrats 173 k€(lissés sur la période 2008–2013).

Equipements stratégiques Studios Audio, studio de capture multimodale et une chambre sourde.

L'objectif de l'équipe AAO est de développer des méthodes de traitement du signal numérique avec application aux signaux audio, musicaux, multimodaux et physiologiques. Cette activité est menée sur un plan aussi bien méthodologique (*machine learning* pour le traitement du signal, représentations parcimonieuses, modèles de signaux, méthodes d'optimisation, séparation de sources) que sur un plan plus applicatif avec l'application aux signaux audio (parole, musique) et aux signaux multimodaux et/ou physiologiques (signaux vidéos, EEG, MEG, ...). L'objectif est ainsi de développer des modèles avancés et dédiés pour les signaux d'intérêt traités.

La première expertise stratégique de l'équipe qui ressort est ainsi sur **l'analyse, modèles et représentations pour le traitement des signaux audio**. Cette expertise inclue notamment les nombreux travaux sur les décompositions parcimonieuses pour les signaux audio (Factorisation en matrices non-négatives, modèles probabilistes, décomposition gloutonne, ...) et les travaux en apprentissage pour l'indexation audio ou l'audition des robots. L'équipe possède une forte reconnaissance internationale sur cette expertise.

La seconde expertise stratégique qui repose en partie sur des modèles et méthodes de décompositions similaires est orientée vers les **méthodes et modèles pour le traitement des signaux multimodaux et physiologiques**. Cette expertise est plus récente mais prend régulièrement de l'ampleur avec l'implication de l'équipe dans plusieurs projets collaboratifs nationaux et européens et le recrutement d'un maître de conférences en 2012.

B.11.2 Objectifs stratégiques

1. **Consolider l'expertise en Modèles et Représentations pour le traitement des signaux (audio, physiologiques et multimodaux)**
2. **Renforcer les aspects méthodologiques (optimisation, méthodes parcimonieuses, modèles probabilistes pour passage à l'échelle, modèles de fusion adaptés aux données hétérogènes...) pour application aux signaux multimodaux et/ou physiologiques (EEG, MEG, ECG, EMG)**

L'équipe souhaite maintenir l'expertise 1 et renforcer la seconde. L'équipe souhaite développer un axe méthodologique autour des méthodes d'optimisation en grande dimension, de la résolution de problèmes inverses, avec un souci d'application aux signaux audio, multimodaux et physiologiques.

L'équipe considère qu'il est essentiel de consolider sa reconnaissance internationale en modèles et représentations pour le traitement des signaux. Concernant les **signaux audio**, l'équipe est largement reconnue internationalement et il apparaît primordial de conserver le niveau de cette expertise stratégique dans la période à venir avec toutefois un effort particulier consenti pour la résolution de problèmes inverses sur des données de grande dimension. Tout en conservant un axe fort sur les modèles et représentations des signaux de musique et parole, nous souhaitons élargir l'application de nos travaux à une classe de signaux audio plus variée (signaux environnementaux, signaux acoustiques pour la bio-diversité notamment).

Concernant les **signaux multimodaux et physiologiques**, l'idée est de monter en puissance à l'appui de collaborations internes (TII, MM, STA) et externes (CEA, Queen Mary University). Cet axe de recherche est présent depuis de longues années au sein d'AAO mais a reçu un nouvel élan avec l'arrivée d'un maître de conférences en septembre 2012. Le potentiel de cet axe de recherche est élevé et justifie qu'il soit placé au cœur des objectifs stratégiques de l'équipe. Dans ce but, il nous faut notamment renforcer l'expertise sur des aspects méthodologiques. En particulier, nous devons élargir nos compétences en analyse de scènes multimodales complexes («Robot audition/vision ou Multimodal machine listening») pour mieux appréhender la taille et la complexité des données à analyser. Nous devons développer nos compétences autour des méthodes d'optimisation en grande dimension pour un meilleur passage à l'échelle, en résolution de problèmes inverses notamment pour les signaux physiologiques et en traitement de données fortement hétérogènes pour les signaux multimodaux. Notons, qu'un élargissement de nos compétences sur ces aspects aura également un apport sur notre expertise stratégique 1 et renforcera l'identité de l'équipe.

B.11.3 Leviers prioritaires

1. **CDI EC / C** sur des aspects méthodologiques et de modélisation pour l'analyse des signaux multimodaux et physiologiques.
2. **Monter un Laboratoire commun** avec Aldebaran autour de «l'analyse et interprétation de scènes multimodales pour la robotique» dans le but de renforcer l'axe *multimodal machine listening*.
3. **Collaboration et montage de projets communs avec les acteurs de l'Université Paris-Saclay** avec notamment le CEA (Neurospin) sur l'axe stratégique 2 avec lequel une collaboration poussée a déjà lieu et le L2S (Supélec) pour des collaborations aussi bien en recherche (un projet de thèse en-cotutelle vient d'être accepté) qu'en enseignement (un module commun est défini pour la refonte de la spécialité de master ATSI (Automatique et Traitement du Signal et des Images) de l'Université Paris-Saclay).

B.12 Traitement et interprétation des images (TII)

Responsable Isabelle Bloch.

Taille 6 C, 9 EC, 1 professeur émérite, 5 postdocs, une quarantaine de doctorants.

B.12.1 Expertises stratégiques

1. Modèles pour les images et le 3D

Force de recherche 15 permanents (60%).

2. Large spectre d'applications : biomédical, télédétection, photographie numérique, infographie

Force de recherche 15 permanents (30%).

Force de Recherche cumulées pour les expertises stratégiques 1 & 2 40 doctorants.

Production de Recherche cumulées pour les expertises stratégiques 1 et 2 en 2012 71 publications ; montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 707 k€ ; laboratoires communs : WHIST, ISA ; chaire : Modélisation des Imaginaires (MODIM).

3. Indexation, apprentissage et reconnaissance des formes pour les images et volumes numériques

Force de recherche 7 permanents (10%) ; 3 doctorants.

Production de recherche en 2012 6 publications ; montant des contrats commencés en 2012 : 89 k€.

Les thèmes détaillés dans la partie bilan de ce rapport font ressortir des expertises qui assurent la spécificité du groupe et que nous souhaitons mettre en avant ici. Il s'agit de la **modélisation, pour les images, les volumes numériques et les objets à trois dimensions**. La modélisation concerne aussi bien les modèles mathématiques des images et des informations qu'elles contiennent, que les modèles utilisés pour leur synthèse, ou encore les modèles de représentation de connaissances et de raisonnement pour inférer des informations de plus haut niveau. Notre expertise porte ainsi sur des modèles statistiques (ensembles aléatoires, modèles a contrario, *patches*), analytiques (modèles déformables, EDP), topologiques et géométriques (maillages, reconstruction, par exemple), structurels (graphes, hypergraphes, ontologies), algébriques (par exemple étendant les propriétés de la morphologie mathématique ou de différentes formes de logique). Cette expertise est associée de manière très étroite à une expertise sur un **large spectre d'applications**, qui d'une part renouvelle les problématiques de recherche en offrant des défis nouveaux, et d'autre part permet de confronter ces modèles à des données réelles de grande ampleur, puis à faire évaluer leurs qualités et performances par des experts thématiques (médecins, géographes, etc.). Les spécificités de ces applications et nos contributions sont décrites dans la partie bilan de ce rapport, pour les images naturelles, la photographie numérique, les images médicales et biologiques, la télédétection, l'image de synthèse et l'infographie.

Ces expertises impliquent l'ensemble des chercheurs et enseignants-chercheurs permanents de l'équipe, soit 15 permanents (et environ 40 doctorants et 5 chercheurs post-doctorants), dont on peut estimer l'activité à 60% sur les aspects de modélisation et 30% sur les applications, en moyenne. On compte, en 2012, 71 publications et un montant agrégé des contrats commencés en 2012 de 707 k€. L'équipe participe aux laboratoires communs WHIST¹ (création, comité de pilotage, projets communs, co-encadrement de thèses) et ISA² (co-encadrement de thèses), ainsi qu'à la chaire modélisation des Imaginaires (MODIM).

Enfin, mentionnons une expertise en **indexation, apprentissage et reconnaissance de formes**, impliquant 7 personnes (et 3 doctorants), pour environ 10% de l'activité de recherche du groupe, avec des contributions en recherche d'images ou d'objets à trois dimensions. Si cette

1. Laboratoire commun de l'Institut Mines-Télécom et de France Télécom, créé en 2009, dédié à l'homme communicant et aux interactions entre ondes et personnes.

2. IDentity & Security Alliance, laboratoire commun de Télécom ParisTech et Safran-Morpho.

activité a diminué en imagerie de télédétection avec l'arrêt du CoC, elle continue à se développer avec des compétences aussi bien pour les images que pour les objets tridimensionnels. On compte, en 2012, 6 publications et un montant des contrats commencés en 2012 de 89 k€.

B.12.2 Objectifs stratégiques

- 1. Renforcer l'expertise en modèles pour les images et le 3D, en explorant des champs émergents**
- 2. Renforcer les compétences dans les champs d'application suivants : biomédical, télédétection, photographie numérique, infographie, pour accompagner les évolutions de ces domaines**
- 3. Maintenir les expertises en apprentissage, indexation et reconnaissance**

L'équipe souhaite faire évoluer ses activités surtout autour des deux premières expertises, en modélisation et sur nos domaines principaux d'applications (imagerie biomédicale, télédétection, photographie numérique et computationnelle, informatique graphique), en renforçant certains axes. Nous souhaitons également conserver une expertise forte en indexation, apprentissage et reconnaissance des formes, qui fut centrale et fédératrice en son temps, mais dont le maintien nous semble important.

Ces choix permettent de mettre en évidence les axes théoriques et méthodologiques d'une part (sur tous les axes de recherche), et les applications d'autre part. Ils sont en accord avec les évolutions du domaine du traitement d'images et soulignent la pertinence de nos choix antérieurs : sur de nombreux points, nous disposons d'un positionnement original et d'un rôle moteur pour la communauté. C'est le cas dans les domaines traditionnels de l'imagerie médicale ou de l'imagerie satellitaire, mais aussi dans des domaines émergents comme la photographie computationnelle qui fait naître de nouveaux besoins, à la fois en amont sur les modèles et les aspects théoriques et méthodologiques, et sur les applications pour répondre aux besoins très divers de la société (du professionnel au grand public). Nous servirons ainsi des intérêts très opposés comme, d'une part, la quête d'une plus grande précision et d'une meilleure qualité pour la surveillance de l'environnement (avec de très gros volumes de données et des capteurs dédiés très spécifiques), ou les usages de masse du grand public, utilisant des capteurs banalisés et à faible coût mais en très grand nombre (téléphone portable par exemple).

Donnons quelques exemples et propositions de pistes de recherche.

Les évolutions récentes de la photographie numérique nécessitent de nouveaux modèles mathématiques permettant la restauration, la reconstruction et l'analyse d'images de très haute résolution, ainsi que la combinaison d'acquisitions multiples. Dans cette thématique, plusieurs directions retiennent particulièrement notre attention. Les méthodes par *patches* se sont imposées dans le domaine du débruitage, mais ont été relativement peu exploitées pour d'autres tâches de restauration, en particulier dans le domaine de la photographie computationnelle et de la restauration multi-images. La prise en compte des processus d'acquisition, de modèles de bruit réalistes, de l'optique ou de la spécificité des capteurs renouvelle ce type d'approches et ouvre de nombreuses perspectives applicatives. Citons en particulier l'imagerie à haute gamme dynamique, la super-résolution ou la restauration de vidéos, entre autres. Dans une autre direction, de nombreux problèmes théoriques, avec de forts enjeux pratiques, sont soulevés par les approches par *patches* : articulations avec les approches multi-échelles, optimalité de dictionnaires adaptatifs, en particulier parcimonieux, ou propriétés d'invariance géométrique ou radiométrique. Enfin, la prise en compte des spécificités statistiques des images naturelles, par l'utilisation de modèles de textures ou par des approches variationnelles, permet des développements qui vont au-delà des approches traditionnelles visant à optimiser le PSNR, en particulier pour la restauration d'images.

En informatique graphique, de nouveaux modèles topologiques et géométriques pour la modélisation 3D réaliste, statique et dynamique, le rendu et la recherche rapide dans des bases de données doivent évoluer pour la manipulation et la visualisation de gros volumes de données. Nous proposons ainsi de développer la géométrie instantanée ("rendre l'informatique graphique

3D 1000 fois plus rapide”), ce qui nécessite de repenser les fondements algorithmiques et les implémentations des opérateurs de filtrage, ré-échantillonnage, analyse. Dans le domaine du rendu factorisé (“ne plus jamais synthétiser deux fois le même pixel”), il s’agira d’exploiter les masses de données, les techniques avancées de reconstruction d’image et de photographie computationnelle ainsi que l’apprentissage automatique pour que le résultat d’un calcul (éclairage, reflectance, effet optique, etc.) soit réutilisable dans un système interactif dynamique pour plus d’une image, sur plus d’un objet, avec plus d’un ordinateur. Enfin l’interaction de haut niveau pour la modélisation vise à “mettre du calcul dans l’interaction elle-même”, pas seulement dans les processus de traitement/analyse/synthèse.

Le raisonnement spatial pour l’interprétation des images, une de nos spécificités, va évoluer vers le développement de modes de représentation des connaissances combinant de manière originale ontologies, hypergraphes et treillis de concepts, dans le cadre algébrique de la morphologie mathématique et des ensembles flous, et l’intégration de modes de raisonnement multiples (abduction, révision, fusion), dans ce même cadre algébrique. L’objectif est d’enrichir les outils d’interprétation d’images à partir de modèles, en combinant logiques formelles pour la représentation et le raisonnement sur des connaissances et informations qualitatives d’une part, et informations quantitatives extraites des images d’autre part. Ces approches seront appliquées en particulier en imagerie médicale, pour l’interprétation d’images à partir de modèles, d’une part dans des cas où les modèles sont imparfaits ou partiels comme pour les images de bébés ou de très petits enfants, ou dans le cas où les données peuvent s’écarter significativement des modèles (interprétation d’images pathologiques et suivi dans le temps).

B.12.3 Leviers prioritaires

Le recrutement d’un ou deux chercheurs ou enseignants-chercheurs venant contribuer à nos objectifs en modélisation permettra de développer les axes envisagés dans les domaines émergents du traitement d’images, de la vision par ordinateur et de l’informatique graphique, ainsi que de répondre aux meilleures sollicitations de nos partenaires académiques et industriels, en France et à l’étranger. En particulier, nous souhaitons renforcer nos compétences en optimisation et calcul numérique, en lien avec nos activités en modélisation.

Enfin, des sources d’inspiration bénéfiques viennent des séjours sabbatiques, soit de chercheurs étrangers que nous accueillons dans l’équipe, soit de séjours dans d’autres laboratoires de permanents de l’équipe. Nous souhaitons donc continuer à susciter de telles possibilités d’échanges.

B.13 Multimedia (MM)

Responsable Béatrice Pesquet-Popescu.

Taille 4 C, 7 EC, 1I, 25 doctorants.

B.13.1 Expertises stratégiques

1. Nouveaux modes de compression, représentation et diffusion multimédia immersif

Force de recherche 5 permanents, 10 doctorants.

Production de recherche en 2012 30 publications ; 2 licences ; montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 949 k€ ; laboratoire commun Ubimedia avec Alcatel-Lucent.

2. Interactions et communications multimodales

Force de recherche 7 permanents, 15 doctorants.

Production de recherche en 2012 40 publications ; montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 1143 k€ ; laboratoire commun Ubimedia avec Alcatel-Lucent ; chaire : MODIM, modélisation des imaginaires.

B.13.2 Objectifs stratégiques

1. Traitement et optimisation distribués des nouveaux formats vidéo ubiquitaires et immersifs

2. Interactions multimodales, streaming et technologies web

L'équipe souhaite **renforcer et élargir l'expertise 1** vers des approches théoriques de représentation et de compression des signaux multimédia de type immersif, représentations parcimonieuses des signaux vidéo et optimisation convexe distribuée. Il est envisagé **renforcer aussi l'expertise 2** afin de répondre à des sollicitations extérieures pour des projets innovants sur le streaming et l'interactivité.

Traitement et optimisation distribués des nouveaux formats vidéo ubiquitaires et immersifs L'équipe Multimédia souhaite élargir et renforcer ses compétences dans le domaine du Traitement et Optimisation distribués des nouveaux formats vidéo ubiquitaires et immersifs pour le Big Data et le Cloud Computing, en allant plus vers des approches théoriques de représentation et de compression des signaux multimédia de type immersif, représentations parcimonieuses des signaux vidéo et optimisation convexe distribuée. Ces compétences plus théoriques permettront l'élargissement des méthodes et de leur champ d'application.

Interactions multimodales, streaming et technologies web Au même temps, l'interactivité, le streaming, les technologies web, les interactions multimodales en particulier pour la modélisation des émotions et l'interactions avec les avatars, continuent à se développer dans les domaines du Big Data, Cloud, Internet des objets, ce qui nous pousse à maintenir et renforcer nos compétences dans ces thématiques. Avec le passage en « émérite » d'un chercheur moteur dans le domaine de la biométrie, cette thématique réduit sa portée, mais le récent recrutement d'un EC permet recentrer nos activités dans cet objectif stratégique sur le dialogue multimodal humain-machine.

B.13.3 Leviers prioritaires

1. Recrutement CDI EC / C pour l'objectif 1. En effet, cette compétence plus théorique est complémentaire de l'expertise de l'équipe, et permettra de proposer de nouveaux algorithmes. Au même temps, en renforçant l'aspect méthodologique de cet axe, cela nous permettra d'unifier les thématiques et d'aborder de nouveaux champs d'application.

2. Pérennisation du CDD d'un EC pour l'objectif 2. Dans le domaine de l'interactivité, du streaming, des technologies web interactives, notre expertise est reconnue au niveau international, dans les organismes de standardisation, ainsi que dans le milieu industriel. Nous sommes très sollicités pour de nombreux projets collaboratifs français et européens, ainsi que pour des contrats bilatéraux par des industriels du monde entier, et un des piliers de cette activité se trouve actuellement en CDD.
3. **Labo Commun** en compression sécurisée. Dans ce laboratoire commun, l'Institut Mines-Télécom et en particulier notre équipe apporte sa maîtrise académique de la compression vidéo et du tatouage, Doremi qui est aujourd'hui le leader mondial des serveurs de cinéma numérique, et Secure-IC qui apporte son expertise de design de composants de sécurité.
4. **Lancement d'un M2 – projet en cours** « Multimedia et Réseaux » UPSay, comme une spécialité du master Information, Systèmes et Technologie. Malgré un tissu industriel fort dans ce domaine, et une demande en formation continue soutenue, nous constatons aujourd'hui l'absence d'un master recherche spécialisé dans le multimédia. Nos contacts sur Saclay, et en particulier la collaboration de longue date avec le LSS nous permet de lancer les travaux d'un futur M2 de ce type. Les partenaires principaux seraient TPT, TSP, Supélec, Paris-Sud, Cachan, éventuellement UVSQ.

B.14 Statistiques et applications (STA)

Responsable Stéphan Clémenton.

Taille 3 C, 7 EC, 17 doctorants.

B.14.1 Expertises stratégiques

1. Statistique pour l'Ingénierie en STIC

Force de recherche 5 permanents (30 %), 9 doctorants.

Production de recherche en 2012 18 publications ; montant agrégé des contrats de recherche commencés en 2012 : 180 k€.

2. Machine Learning

Force de recherche 5 permanents (40%), 4 doctorants.

Production de recherche en 2012 10 publications ; 1 brevet ; montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 355 k€ ; 1 chaire.

3. Modélisation et Simulation

Force de recherche 4 permanents (30%), 4 doctorants.

Production de recherche en 2012 16 publications ; montant agrégé des contrats commencés en 2012 : 543 k€.

L'expertise 1, originale au niveau national, et sur laquelle s'appuie de nombreux contrats du groupe avec des partenaires industriels, consiste en la capacité à développer/utiliser une très large panoplie de techniques relatives à la modélisation aléatoire et au traitement statistique de l'information (e.g. séries temporelles, statistique spatiale, théorie des valeurs extrêmes) pour résoudre des problèmes industriels (e.g. plans d'expérience, évaluation des risques, fingerprinting, détection d'anomalies) dans le domaine des STIC.

La recherche menée par le groupe en machine-learning consiste en l'élaboration d'algorithmes originaux et en l'analyse mathématique/empirique de leur validité (théorie de l'apprentissage et études expérimentales), en particulier dans les domaines du ranking et de l'apprentissage par renforcement (cadre requérant que l'algorithme d'apprentissage réalise de façon séquentielle un compromis entre l'exploration des possibles et l'exploitation des données disponibles). Cette recherche s'incarne aussi dans des applications menées en collaboration avec des industriels (e.g. planification d'expériences, design de moteurs de recherche/recommandation, aide au diagnostic médical, prédiction de séries financières).

L'activité de recherche dans le domaine de la simulation consiste principalement en le développement de techniques avancées de type Monte-Carlo et en leurs applications à l'inférence bayésienne (e.g. modèles statistiques à variables latentes, processus stochastiques). Cette expertise recouvre aussi les activités du groupe dans les domaines de la modélisation aléatoire (e.g. processus à mémoire longue, processus markoviens/ponctuels, théorie des valeurs extrêmes, matrices aléatoires), de la séparation de sources (avec des applications en traitement des données audio et des données astrophysiques) et de l'optimisation, dans un cadre «distribué» en particulier, avec pour champ d'application le traitement de l'information transmise par des réseaux de capteurs par exemple.

B.14.2 Objectifs stratégiques

1. Machine Learning for Big Data

2. Modélisation Probabiliste, Simulation et Calcul

Le groupe souhaite maintenir l'expertise 1, très différenciante à l'échelle nationale et véritable «marqueur» du groupe. Elle souhaite également renforcer l'expertise 2 avec une nouvelle orientation dans le contexte Big Data. Le caractère massif et le format semi-structuré des données modernes ainsi que les usages pressentis dans de nombreux domaines d'application du machine-learning (e.g. défense, sécurité, médecine individualisée, finance, e-commerce) requièrent le développement de méthodologies nouvelles, permettant en particulier le passage à l'échelle, l'apprentissage séquentiel («on-line») à partir de systèmes de fichiers distribués. L'expertise 3 sera réorientée vers d'autres applications que l'inférence statistique, le calcul scientifique en particulier, la simulation de processus complexes ou d'événements rares.

Machine Learning for Big Data Le développement de l'expertise Big Data correspond à un contexte national prioritaire en matière de politique numérique. En interne, il conduit à une augmentation de l'offre de formation (un Mastère Spécialisé «Big Data» et un Certificat d'Etudes Spécialisées «Data Science»), lesquels amènent le groupe à renforcer les collaborations avec le groupe IC2 du département INFRES sur les aspects liés aux bases de données. Sur Saclay, le groupe participera à une nouvelle spécialité de master «Data Science» en cours d'élaboration ainsi qu'à des projets de recherche transversaux.

Modélisation Probabiliste, Simulation et Calcul La simulation et son application au calcul scientifique est un thème insuffisamment développé à l'école compte tenu des applications traitées (risque, évaluation de performance, recherche opérationnelle). Le calcul hautes performances est également un des trois axes prioritaires de la politique numérique en France. La recherche menée par le groupe dans ce domaine pourra s'appuyer sur la mutualisation des moyens (infrastructures informatiques) sur le campus Paris- Saclay, avec l'INRIA et le CMAP en particulier.

B.14.3 Leviers prioritaires

- 1. Chaire Machine Learning** L'animation de la recherche menée dans le cadre de la chaire industrielle avec les partenaires Safran, BNP, PSA et Critéo permettra d'accéder à des problématiques industrielles et de mener une recherche avec un fort impact sur le plan des applications. La plate-forme BADAP de l'Institut Mines-Télécom pourra être utilisée afin de tester les algorithmes élaborés en situation réelle.
2. Le développement d'un programme de recherche transversal au sein de Télécom ParisTech permettrait également d'aborder les problèmes posés par le Big Data dans sa globalité (e.g. acquisition, indexation et analyse sémantique, traitement statistique distribué des données).
3. Le fort impact sociétal des thèmes scientifiques évoqués appelle aussi une évolution profonde des enseignements de niveau master sur le campus Paris-Saclay, avec une tendance à la pluridisciplinarité (avec des parcours portant la mention «Mathématique et Informatique» par exemple), formant ainsi de nouvelles générations d'experts aux compétences plus complètes et aptes à aborder les challenges techniques et scientifiques actuels et à venir.
4. Le montage en cours de projets saclaisiens sur les thématiques «Big Data» et «Simulation-Calculs» permettra d'atteindre une complémentarité et une masse critique susceptible de conduire à une recherche compétitive à l'échelle internationale.
5. La répartition des (enseignant-) chercheurs du groupe STA sur les deux écoles doctorales «STIC» et «Maths» de l'université Paris-Saclay offrira enfin la possibilité d'une large couverture des thèmes de mathématiques appliquées.