

Alliance pour les Sciences et Technologies du Numérique

Thèmes stratégiques pour le 2^{ème} AAP Equipement d'excellence

Les équipements dans les sciences du numérique possèdent un ensemble de caractéristiques qui les rendent différents de ce que l'on rencontre dans d'autres disciplines. Tout d'abord, ils possèdent un caractère très hétérogène, sont souvent distribués, permettent des recherches sur des systèmes dont la valeur ajoutée provient d'une intégration technologique. Ils sont très souvent l'objet de la recherche et non simplement un outil pour la recherche. Dans les sciences du numérique, les infrastructures de recherche possèdent pratiquement toutes une forte composante logicielle, le logiciel faisant partie intégrante de la plate forme et devant bien souvent être développé (ou au moins adapté à la plateforme) pour les besoins spécifiques de la recherche. A l'heure où l'industrie du logiciel est l'un des secteurs à fort impact économique, il est absolument nécessaire de prendre cela en compte. Enfin, le coût de la partie immatérielle (développement, fonctionnement) est très souvent proportionnellement important par rapport aux coûts des investissements matériels et l'extrême dynamique du domaine technologique impose des jouvences régulières de ces parties matérielles étalant le budget d'investissement sur des durées longues.

1. Simulation à grande échelle, nouvelles architectures, et calcul à hautes performances

Le recours généralisé à la modélisation et à la simulation, l'évolution des architectures de composants et de systèmes et l'utilisation massive d'infrastructures de virtualisation ou de calcul à hautes performances sont des tendances très lourdes de l'évolution des sciences et technologies numériques. Les besoins de recherche, de développement et d'expérimentations sont très importants et nécessitent l'accès à des plateformes matérielles et logicielles conséquentes. Ces plateformes présentent la particularité que, comme pour les thématiques de la section 3, des outils d'interaction matériels et logiciels (visualisation et extraction de données) doivent être développés en vue de leur utilisation.

1.1 Nouvelles architectures, programmation parallèle et distribuée

L'informatique a commencé dans le mode séquentiel : un ordinateur avait une unité centrale qui faisait une chose à la fois. Elle a progressivement intégré le parallélisme à grain moyen, avec les réseaux et les multiprocesseurs. Elle évolue maintenant vers le parallélisme massif associé à une distribution géographique tout aussi massive. Les systèmes deviennent de plus en plus complexes et hétérogènes : circuits multicœurs, téléphones et tablettes multifonctions, machines millions de processeurs, gigantesques data centers, cloud computing sur Internet, calcul distribué utilisant le temps libre des PC de tout un chacun, Web des objets, etc. Cette évolution ne fera que s'accélérer.

Or, les techniques de conception et d'implémentation de programmes, nées dans le monde séquentiel original, n'ont pas évolué à la vitesse du substrat électronique. Ceci s'explique sans doute par le fait que notre attention et notre pensée restent très séquentielles : il est difficile à un humain de penser à plusieurs choses à la fois, donc pas facile de comprendre comment organiser les grandes applications parallèles et distribuées. La recherche est très active en France et dans le monde sur ce sujet, mais il y en a encore un travail gigantesque à faire.

Ce travail demande à la fois des avancées sur un bon nombre de questions fondamentales, beaucoup d'expérimentation, et un grand travail collaboratif et intégratif. Allistene est particulièrement bien placée pour aider et coordonner le travail sur tous ces points, car pratiquement toutes les équipes concernées en font partie.

1.2 Cloud computing et virtualisation

La virtualisation est maintenant au centre de nombreux travaux et de nombreux développements, que ce soit dans le monde académique ou dans le monde industriel. Il apparaît évident que dans le futur, la virtualisation sera à tous les niveaux, non seulement pour les ressources de calcul mais aussi pour le stockage et l'accès au réseau. Les intérêts commerciaux et sociétaux sont également avérés, notamment avec les Centrales Numériques (*Clouds*) proposées par la plupart des grands opérateurs mais on est encore loin d'avoir une offre complète et extensible pour une grande variété de types d'applications aux besoins différents.

Les défis qu'il faudra relever sont :

- l'extensibilité (pouvoir passer à l'échelle avec pour objectif la gestion de dizaines, voir de centaines de milliers de machines virtuelles) ;
- la dynamicité (supporter l'ajout et de retrait de ressources, potentiellement hétérogènes) ;
- et la tolérance aux pannes (à large échelle le risque de pannes augmente de manière très importante).

D'autres sujets de recherche doivent également être traités notamment autour de la sécurité (être capable d'assurer une isolation entre les applications), de la qualité de service (garantir des performances pour les applications et les utilisateurs), de la gestion de données massives (en volume, en nombre et en hétérogénéité) et de la programmation (comment décrire des applications portées sur ces architectures de demain mais aussi avoir des langages intégrant le concept de virtualisation).

Afin d'arriver à une solution complète de bout en bout pour obtenir des environnements logiciels adaptés aux infrastructures et permettant un portage des applications simplifié et efficace, des travaux de recherche doivent encore être effectués et validés en vraie grandeur. Afin de valider ces travaux et ces développements, la mise en place d'un instrument permettant l'exécution d'expériences reproductibles avec des piles logicielles complexes, des données réelles, des modèles génératifs et une échelle réaliste est essentielle. Les Centrales Numériques (*Clouds* publics ou privés) ne permettent pas, par définition, d'avoir une démarche scientifique expérimentale sur les défis scientifiques et technologiques liés à leur exploitation. Ces expériences nécessitent la validation d'infrastructures complexes mettant en oeuvre la virtualisation à tous les niveaux. Ce type d'instrument pourra être utilisé à la fois par les chercheurs mais aussi par les industriels développant les solutions de demain.

1.3 Simulation à grande échelle et calcul à hautes performances

Le calcul scientifique et la modélisation mathématique / informatique sont devenus les outils centraux communs à de nombreuses recherches interdisciplinaires, qui conduisent vers ce qu'on doit appeler les « sciences numériques ». En plus du socle traditionnel des interactions qui relient mécaniciens, physiciens, mathématiciens et informaticiens, de nouvelles interactions emblématiques, porteuses de forts enjeux sociétaux, se développent désormais

dans les domaines de l'environnement, des nano-sciences, de l'énergie, de la biologie, de la santé, etc. Elles reposent toutes sur la modélisation informatique fondée sur des objets à fort contenu mathématique (équations différentielles ou aux dérivées partielles, plus généralement problèmes linéaires ou non linéaires complexes, problèmes d'optimisation, géométrie, probabilités et statistiques, etc.). Par ailleurs, l'automatique, qui travaille sur la modélisation et la commande de systèmes, se trouve confrontée à des systèmes complexes, de plus en plus hétérogènes, voire même des systèmes de systèmes. Ceci se produit en particulier pour les systèmes embarqués, dans lesquels les mesures sont elles-mêmes très hétérogènes. On doit adopter alors des approches multi-physiques, et multi-échelles, et valider les résultats par de grandes simulations.

De manière transverse, les progrès considérables des méthodes d'acquisition, de stockage, de diffusion et de restitution des données révolutionnent notre accès à l'information et à la connaissance et engendrent de nouveaux besoins. Omniprésentes et diffusées à une large échelle, elles sont à l'origine d'évolutions radicales dans nos sociétés modernes, au plan collectif ou individuel, professionnel ou domestique. Il est tout aussi important de modéliser et simuler ces évolutions. Dans tous ces domaines, l'avènement du numérique a placé le couple mathématiques / informatique en première ligne. Il est indispensable de développer des techniques et des méthodes mathématiques spécifiques pour analyser et approcher ces modèles, et construire des algorithmes informatiques efficaces pour résoudre les problèmes posés, les valider et les analyser, ainsi que des systèmes de visualisation des résultats appropriés (3D / 4D, réalité augmentée, etc.).

Disposer, au plus près des chercheurs experts et des chercheurs utilisateurs, d'équipements de calcul à hautes performances de taille moyenne et d'outils logiciels de simulation est d'une grande importance pour permettre une utilisation massive de ces technologies, leur diffusion dans toutes les secteurs scientifiques et leur ouverture vers le monde industriel, en particulier les PME de haute technologie. Un réseau de maisons de la simulation, sur le modèle de celle récemment créée à Saclay, pourrait être mis en place. La coordination de ces équipements pourrait être confiée à GENCI.

2. Plateformes de télécommunications

Les systèmes de télécommunication font actuellement face à une double révolution :

- Celle des services, basés sur des échanges de données de plus en plus importants exigeant le temps réel, et qui seront distribués sur des sites distants en interaction (le « cloud computing »), augmentant ainsi le flux et les besoins en débit de façon significative.
- Celle des technologies, basée sur l'électronique ultra-rapide, qui remet radicalement en cause les techniques de communication actuelles. C'est une croissance en débit bien supérieure à la décade que les ruptures technologiques dites « cohérentes » pourront bientôt autoriser sur les futures autoroutes numériques. L'ensemble de la chaîne de communication du cœur à l'accès sera durablement affecté.

La mise au point de ces nouvelles technologies va nécessiter un effort de coordination important entre plusieurs axes de recherche traditionnellement indépendants: l'optique physique et l'optoélectronique, l'électronique numérique, le traitement du signal, le codage numérique, les réseaux. Les plateformes de démonstration en facilitant le regroupement des équipes constitueront les moteurs de cette nécessaire convergence.

2.1 Réseaux optiques à très haut débit

Les principales exigences pour les futurs réseaux sont donc la montée en débit, l'efficacité énergétique et la flexibilité. Dans ce contexte, l'introduction dans les réseaux optiques de concepts d'architectures et de technologies en rupture devient fondamentale pour :

- augmenter l'efficacité spectrale des systèmes de transmission optique ;
- accroître la flexibilité de la couche optique et réduire le nombre de conversions opto-électroniques (O/ E/O) subies par les canaux optiques ;
- développer les outils des plans de commande et de gestion pour créer et piloter ces canaux ;
- exploiter de manière flexible et transparente les granularités de trafic inférieures au canal en longueur d'onde ;
- optimiser conjointement la convergence des réseaux d'accès et de collecte avec les architectures de service en capitalisant sur les technologies d'accès optiques de longue portée et en développant des stratégies de routage économes en énergie.

A l'instar des solutions utilisées en radio, les futurs systèmes utiliseront des modulations vectorielles à plusieurs états. Cette évolution a déjà commencé avec la mise sur le marché en mars 2008 d'un premier système cohérent au débit de 40 Gbit/s par canal. La détection cohérente permet de réaliser dans le domaine électrique tous les traitements de signal nécessaires (égalisation, compensation des dégradations). Les progrès de l'électronique numérique (notamment les convertisseurs analogiques/numériques et processeurs de traitement de signal) rendent possible un traitement sous forme numérique, ce qui permet aux techniques optiques cohérentes de s'affranchir des solutions tout optique complexes et peu intégrables envisagées jusqu'alors.

On assiste ainsi à une profonde transformation du domaine des transmissions optiques, marquée par un rapprochement de cultures jusqu'à présent disjointes (électronique rapide numérique ou analogique, optique et optoélectronique). Les nouvelles études vont donc être pluridisciplinaires, et associeront étroitement des compétences dans des domaines comme le traitement du signal, les communications numériques et l'électronique : elles visent à adapter les techniques de la radio au canal optique et aux systèmes de transmission optique pour une meilleure compréhension du comportement du canal optique en présence de formats de modulations avancés. Cette situation est propice à l'émergence de nouveaux acteurs, à

condition de créer les conditions pour accélérer ce rapprochement et renforcer les interactions avec le monde industriel et tout particulièrement les PME.

Ainsi, pour permettre à la France de tenir son rang parmi les leaders européens, dans le contexte que nous avons présenté, il est particulièrement important de soutenir et fédérer les actions en matière de communications et de réseaux optiques à haut débit en France, en renforçant ou complétant un réseau pluridisciplinaire de plateformes de recherche et d'expérimentation à travers la mise en place d'un Equipex consacré :

- au développement et l'implémentation physique d'algorithmes de communications numériques adaptés aux transmissions optiques agiles en débit et format de modulation (avec un plateau technique FPGA/ASICs) ;
- aux outils de simulation, de test et de validation de sous-systèmes et systèmes de transmission optique mettant en œuvre ces nouvelles approches ;
- aux infrastructures de test des nouvelles approches « système » ou « réseau » entièrement dédiées, associant équipements de terrain (fibre noire) et équipements de laboratoire et offrant une grande flexibilité des configurations de test à la fois en termes de caractéristiques physique des supports de transmission et en termes de topologie de réseau

L'accès au niveau fibre noire est indispensable pour tester les nouveaux paradigmes de transmission et de multiplexage optique qui dans la décennie à venir vont révolutionner ce domaine (seule une plateforme britannique lancée en 2009 offre ce service, en mettant l'accent plutôt sur des liaisons point à point que sur un réseau optique global).

2.2 Résilience des infrastructures de communication

La prise de conscience des besoins de résilience des grandes infrastructures de communications est notamment apparue avec les risques de défaillance des systèmes de type SCADAs (Supervisory Control And Data Acquisition) et l'apparition de nouvelles vulnérabilités, de nouvelles menaces issues des évolutions de l'Internet qui conduit à la définition de nouveaux référentiels de défense adaptés à ces systèmes critiques. Assurer la résilience des infrastructures de communication doit permettre de faire face à un ensemble de risques nouveaux liés notamment à :

- la concentration et la mobilité de grands ensembles de personnes (lieux publics, gares, aéroports...),
- la dépendance croissante de la société à l'égard des infrastructures de communications (santé, industrie, transport, commerce, finance) et
- la dématérialisation des activités et des relations sous la forme d'échanges électroniques.

Plusieurs problématiques relèvent de la résilience des infrastructures de communication parmi lesquelles :

- Conception de nouveaux modèles opérationnels de sécurité. Il s'agit de repenser des stratégies et des tactiques de cyber défense adaptées aux grandes infrastructures de communication. Ce référentiel de sécurité doit intégrer des capacités de récupération, de survie, de dissuasion, de désinformation et de réaction suite à un évènement malveillant ou accidentel. Ce référentiel doit être mis en regard avec des tactiques de défense adaptées intégrant notamment des mécanismes d'auto-réparation (Self Healing) et de reprise après incident (fail-safe mechanism).
- Gestion dynamique des risques. Il s'agit de construire un diagnostic fiable et complet des risques. Des techniques de diagnostic doivent permettre d'évaluer, en temps réel,

l'état de vulnérabilité des systèmes sous surveillance et d'analyser les évolutions des menaces internes et externes, c'est-à-dire la probabilité d'occurrence de tel ou tel incident. Les travaux doivent permettre une mutualisation des diagnostics permettant de cartographier l'état global de la menace en vue d'un déploiement d'une infrastructure mondiale de supervision et d'analyse.

- Détection d'intrusions. Les travaux sur la détection des intrusions (notamment de malware et de botnets) et l'analyse des faux positifs doivent être poursuivis. La définition de mécanismes innovants pour détecter des techniques d'évasion de plus en plus variées est notamment nécessaire. Les exigences de vie privée doivent être prises en compte lors de la réalisation des fonctions d'analyse des traces et des fichiers de journalisation conformément aux législations en vigueur. Les techniques de fouille de données doivent être adaptées pour analyser les données collectées.

Il est, bien évidemment, crucial que les recherches, les développements et les expérimentations sur ces sujets puissent être traitées sur des plateformes matérielles et logicielles spécifiques, parfois non connectées à internet et dans des locaux inobservables physiquement et électroniquement.

2.3 Métrologie et observation de l'Internet

Internet est devenu un outil incontournable pour nos sociétés modernes et son impact économique important ne fera que croître dans le futur. Il est important que la communauté scientifique dans un premier temps, mais que la société dans son ensemble ensuite, disposent de moyens permettant d'appréhender Internet et les phénomènes qui s'y développent. Les sciences du numérique doivent permettre la création d'outils de métrologie. Elles doivent également générer des observations qui permettront aux sciences du numérique d'affiner les modèles, aux sciences humaines d'acquiescer une meilleure compréhension des phénomènes sociaux émergents, mais également aux acteurs de la société de disposer d'outils efficaces et de données fiables. Les enjeux recouvrent des aspects scientifiques, mais également économiques et sociaux. La sécurité est également l'un des facteurs essentiels des applications futures, notamment sous l'angle de la protection des données.

Internet est loin d'être un objet socialement neutre et il n'est pas possible d'y conduire des expérimentations ou des mesures non encadrées. La communauté scientifique doit disposer d'une ou plusieurs infrastructures, mutualisées et contrôlées, permettant l'expérimentation in vivo pluridisciplinaire à grande échelle sur l'Internet.

3. Intelligence ambiante, interaction homme-machine

Toutes les technologies permettant de rendre transparentes les interfaces entre l'homme et le monde numérique dans lequel il vit sont d'une très grande importance sociale et économique. Après la révolution de l'Information et du Village connecté, l'Intelligence Ambiante apparaît souvent comme le champ des techniques du numérique qui, dans les années à venir, apportera les plus grandes évolutions de notre société. Proposant un très large éventail de services à la personne s'appuyant sur une informatique diffuse, elle est potentiellement porteuse de gains importants en qualité de vie pour le citoyen et en efficacité pour l'entreprise et la société. L'Intelligence Ambiante est également une niche incontestable d'innovation et de croissance pour les économies qui sauront la maîtriser. C'est certainement dans le champ de l'Information Ambiante qu'émergeront des acteurs nouveaux et innovants, mêlant habilement haute technologie et usages, capables de renouveler le tissu d'entreprises, dont la vocation sera naturellement de déborder de nos frontières.

3.1 Intelligence ambiante

L'intelligence ambiante concerne de nombreux secteurs d'activités : l'énergie (smart grid), l'habitat, la production, le tourisme, le transport, la santé, le maintien à domicile, et plus généralement la qualité de vie. En France, il existe déjà des plateformes d'expérimentation, mais très spécifiques, le plus souvent fermées, de petite taille limitant de facto la portée scientifique et la valorisation. Il serait souhaitable qu'émergent des infrastructures pérennes et ouvertes, offrant les conditions nécessaires à l'émergence d'une recherche intégrative et coordonnée, d'un partage de moyens, d'expériences et de connaissance. Ces infrastructures permettraient des expérimentations en vraie grandeur et sur la durée, pas seulement en milieu contrôlé. Elles éviteraient la multiplication de petites plateformes incompatibles et serait un lieu d'échange et de capitalisation où les chercheurs et les acteurs industriels pourraient venir partager des techniques, coordonner des expérimentations et produire de nouvelles connaissances. C'est un thème privilégié de collaboration entre STIC et SHS.

Des plates-formes pour l'intelligence ambiante organisées en réseau permettraient de doter la France d'un instrument intégré et ouvert (contrairement aux plateformes propriétaires de Microsoft-Microsoft Home ou de Velux-Homme for life au Danemark) et de taille importante au-delà des plateformes locales comme celle du Georgia Institute of Technology, the Aware Home research Initiative, ou celle du Fraunhofer Institute, the inHaus innovation center. Un tel instrument serait aussi un support à des coopérations notamment avec le Quality of Life Institute de Carnegie Mellon (USA) et l'European Institute of Technology ICT labs.

3.2 Interaction homme-machine

L'étude de l'interaction homme-machine est un défi souligné dans les domaines de recherche en Masses de données et en Réalité Virtuelle. Ce défi a des applications dans de nombreuses autres disciplines scientifiques (physique, chimie, sciences de la vie, neurosciences), mais aussi dans la conception industrielle, la prise de décision et l'intelligence économique. Il nécessite des installations importantes comme un mur interactif ou des murs interactifs connectés en réseau, des installations d'immersion de l'utilisateur ainsi que des plateformes d'acquisition de données des comportements humains (comme la capture des gestes, des émotions mais aussi des activités cérébrales – IRMf). Pour progresser sur les techniques de visualisation de données, sur les techniques d'interaction (comme l'interaction multi-surfaces ou l'interaction cerveau-ordinateur), les techniques d'immersion et les techniques de collaboration via de grandes surfaces interactives, il convient de disposer d'une plateforme ouverte aux chercheurs pour expérimenter des techniques innovantes dans le cadre d'une

démarche de conception itérative centrée sur les utilisateurs (scientifiques, industriels et grand public). C'est aussi dans ce thème que nous plaçons les recherches et les développements en interface cerveau-ordinateur (BCI : brain computer interface) dont les progrès sont considérables.

Des telles plateformes permettraient de doter les chercheurs français de lieux d'expérimentation en vraie grandeur de techniques innovantes avec des utilisateurs représentatifs des domaines applicatifs, et ainsi d'aller au-delà des installations locales comme celles de l'HiPerSpace (CalIT2 : UCSD & UC Irvine), du Dynamics Graphics Project lab de l'Univ. de Toronto, de l'EVL à l'Univ. d'Illinois à Chicago, du Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences (Leipzig), de Caltech ou encore de UCLA.

3.3 Création et traitement de contenus multimédia

Les contenus et la communication sont deux moteurs importants du développement de services dans le domaine du divertissement, de l'enseignement assisté, de la publicité, etc. La création de contenus multimédia et transmédia (c'est à dire adaptables aux différents canaux et terminaux) en est un premier enjeu. Ces contenus peuvent être, façon classique, des contenus directement issus de captation ou de synthèse, mais ce sont de plus en plus, des productions de synthèse créées ou assemblées à partir de contenus existants qui sont combinés et transformés. C'est le cas notamment pour des applications de réalité enrichie pour lesquelles on doit générer, dans des conditions de temps réel, des contenus adaptés aux événements, aux profils des utilisateurs et aux modalités de consultation. La recherche dans ces domaines doit disposer d'équipements puissants capables d'accéder et de traiter de grandes quantités d'information multimédia en temps réel de façon à adapter les contenus aux média et à l'utilisateur. Emerge ainsi le besoin de plateformes spécialisées associant une grande puissance de calcul dédiées au traitement des images, à la vidéo, à l'interaction, et des applicatifs de traitement, de coopération et de visualisation. Ces plateformes doivent de plus pouvoir être distribuées, elles doivent pouvoir accéder à des ressources distantes très volumineuses en temps réel et assurer cependant une grande protection des données.

Ces ressources sont en particulier indispensables pour protéger et exploiter le patrimoine culturel français (et plus largement européen) dont les représentations numériques basculent progressivement sous contrôle des gestionnaires d'information américains (comme les centres académiques, Stanford SLAC National Accelerator Laboratory ou le MIT data center).

3.4 Plateforme pour les innovations culturelles et créatives

La communauté européenne propose un livre vert, intitulé "Libérer le potentiel des industries culturelles et créatives", qui souligne l'importance de l'interface entre STIC et SHS pour développer les ICC. Les récentes technologies de visualisation (réalité virtuelle, tablette, téléphone mobile), d'interaction (tactiles, gestes, réalité augmentée), accessibles aussi en mobilité, ont un impact majeur sur les modes d'accès à la culture. Il est souhaitable que les chercheurs français disposent des technologies permettant de tester les innovations (vidéo 360, TV connectés, œuvres interactives, etc.) ainsi que des outils pour mesurer l'exploration visuelle et les réponses émotionnelles et gestuelles des usagers dans ce contexte. Ces recherches sont à conduire en partenariat avec les sciences de l'information et de la communication, l'histoire de l'art, la psychologie et l'art numérique.

Il est donc important de disposer de plateformes autour desquelles il sera possible de construire des projets de recherche associant artistes-créateurs de contenu, informatique, sciences humaines et sociales à l'exemple des centres : MIT Medialab (Cambridge, USA),

Media Center of Art and Design (MECAD – Barcelone), V2 (Rotterdam), Zentrum für Kunst und Medientechnologie (ZKM, Karlsruhe), Ars Electronica Center (Linz), Visual Studies Initiative (Duke University).

4. Plateformes pour la microélectronique et les nanotechnologies pour les STIC

4.1 Equipement d'Excellence en Spintronique

La découverte en 1988 de la "Magnétorésistance Géante", par A.Fert (Orsay) et P.Grunberg (Julich) tous deux lauréats pour cela du prix Nobel en 2007, fut le point de départ d'un enchaînement d'évènements exceptionnels qui ont débouché sur l'émergence d'une nouvelle discipline, la « Spintronique » (ou « électronique de spin »), dans laquelle la conduction électrique est directement contrôlée par le magnétisme de nanostructures. Rapidement appliquée à la production en grand volume dans l'industrie du disque dur, la recherche s'est depuis tournée vers l'intégration de cette technologie dans l'industrie de la microélectronique, avec le bénéfice intrinsèque du magnétisme qui combine non-volatilité en l'absence de courant d'alimentation (le caractère « aimant permanent »), fréquence d'horloge supérieure au GHz, endurance infinie et insensibilité aux rayonnements ionisants, et ce quelle que soit l'échelle dimensionnelle. La Spintronique a donc non seulement le potentiel de résoudre certains des problèmes majeurs de la microélectronique conventionnelle, en particulier aux nœuds technologiques très avancés (22 nm et au-delà), mais également d'ouvrir un nouveau champ de possibles en offrant des fonctionnalités ou des architectures en rupture avec l'existant.

En parallèle de ces développements, la recherche dans le domaine est très active avec un potentiel d'innovation très fort. Des améliorations majeures sont attendues en travaillant sur les matériaux, au-delà des alliages à base de fer, cobalt ou nickel; La recherche sur des architectures nouvelles tirant pleinement bénéfice des propriétés particulières du magnétisme n'en est qu'à ses balbutiements ; La compréhension mutuelle des besoins de l'aval et de l'offre de l'amont est loin d'être consolidée ; Enfin, des ruptures majeures sont possibles, comme l'illustre par exemple l'émergence du Graphène (prix Nobel 2010) qui semble présenter des propriétés de magnéto-transport remarquables.

Malgré ces promesses, soulignées par l'adoption par l'ITRS (International Technical Roadmap for Semiconductors) de la MRAM comme technologie émergente, la Spintronique peine à être adoptée par l'industrie de la microélectronique. Les deux écueils majeurs sont :

- le défaut de connaissance des bases du magnétisme par les ingénieurs du domaine, pour qui c'est un changement complet de repères et de « réflexes ». Ce point doit être traité par une éducation mutuelle des communautés de la microélectronique et de la Spintronique.

- le manque de moyens de fabrication d'envergure, en particulier pour les aspects « matériaux », ne permettant pas une évaluation applicative crédible et un éventuel transfert vers les industriels intéressés. Ce point est beaucoup plus critique. Il existe au sein des laboratoires de recherche académiques de nombreux équipements qui permettent la réalisation de matériaux très performants. Mais leur intégration dans des structures fonctionnelles complexes nécessitant l'enchaînement de plusieurs matériaux et/ou procédés est difficile, voire impossible. La valorisation et le transfert sont donc en général basés sur des compromis sur les performances globales et de nombreuses innovations se « perdent en route » ou sont valorisées à l'étranger. Par ailleurs, l'intégration de ces matériaux dans les chaînes de nanofabrication avancées est impossible en raison de la différence de facteur de forme des substrats.

Il est donc indispensable de se doter d'un équipement industriel ou semi-industriel au meilleur état de l'art, dédié au développement de matériaux avancés pour la Spintronique, fonctionnant en plateforme avec les moyens classiques de nanofabrication et ouvert aussi bien à la communauté de la recherche et aux industriels désireux d'y conduire des projets de

développement. En parallèle, il faut, pour préparer le futur à long terme, se doter d'un équipement de recherche plus en amont qui, tout en étant compatible avec l'équipement industriel pour un transfert rapide, permette l'étude et le développement de matériaux et/ou procédés plus exotiques, en rupture avec les connaissances actuelles.

4.2 Equipements d'Excellence en Optique/Photonique

L'optique / photonique à toute échelle est présente dans tous les secteurs d'activités à haute valeur ajoutée et en particulier dans le domaine des STIC. Paradoxalement, cette forte présence lui associant un caractère diffus et transverse ne permet pas à ce domaine dans lequel la France excelle d'avoir toute la visibilité qu'il mérite et surtout de se développer pleinement afin d'être en mesure de transformer dans de bonnes conditions les connaissances en innovations. Ce domaine est reconnu comme étant un des domaines scientifiques et technologiques majeurs du 21^{ème} siècle. La position de la France dans ce domaine a besoin d'être consolidée. Un rapport d'expertise du domaine de l'Optique/Photonique a été réalisé récemment pour le compte du CNRS / INSIS (« Photonique et Horizons »). Dans l'un des axes importants de ce domaine, l'axe « imagerie et capteurs » constitué de thématiques extrêmement riches sur le plan applicatif et donc sociétal concernant directement le domaine des STIC, les experts ont identifié un manque d'équipements structurants mais également d'une mise en réseau des principaux acteurs de cet axe. Cette situation n'est pas favorable à la bonne conduite des projets pouvant être menés dans ce domaine. Il est donc indispensable que soient mis en place les outils nécessaires à la structuration de ce domaine afin de donner aux acteurs académiques et industriels les infrastructures disposant des ressources scientifiques et technologiques nécessaires à leur rapprochement et qui leur permettront d'être compétitifs au niveau mondial.

4.3 Réseau des centrales de recherche technologique

Le réseau des centrales de recherche technologiques fonctionne en France depuis 2003. Il réunit les principales centrales de micro et nanotechnologies (CEA-Léti – et les centrales du CNRS : IEMN - FEMTO-ST – LAAS – IEF- LPN et FMNT).

Aujourd'hui ce réseau des grandes centrales de technologie est une infrastructure distribuée et ouverte avec une coordination nationale. Il s'appuie sur 15 000 m² salles blanches dans lesquelles sont regroupées des équipements permettant la fabrication de nano dispositifs, circuits et systèmes pour différents domaines applicatifs tels que l'information et la communication, la santé, l'énergie ou l'environnement qui sont les axes clés du rapport de la SNRI. Le CEA et les centrales académiques du réseau RENATECH définissent des grands défis scientifiques et technologiques associés à des feuilles de route nationales et qui sous-tendent la coordination de leur politique d'investissements. Cette stratégie permet un réel fonctionnement en réseau avec la possibilité de focaliser des compétences sur chaque centrale et d'avoir ainsi une couverture technologique plus large au plan national.

Cette initiative et les financements du programme RTB ont permis de développer en France une infrastructure de recherche au meilleur niveau international ouverte à la communauté scientifique du domaine des micro et nanotechnologies pour la fabrication de micro- et nano-objets, de micro et nano systèmes et leur intégration. Ce réseau de plateformes est ouvert à la communauté industrielle et académique pour les recherches technologiques de base, sur les dispositifs avancés et les filières technologiques du futur, mais il sert également de support à des recherches plus fondamentales de physique, chimie ou biologie qui font progresser les nanosciences, ou à des recherches interdisciplinaires qui nécessitent l'utilisation des équipements de pointe dont il dispose. Plus de 250 laboratoires et plus de 5000 ingénieurs,

chercheurs et enseignants-chercheurs utilisent ce réseau qui permet d'amplifier une recherche académique de qualité et de favoriser un transfert rapide des idées nouvelles dans des produits industriels.

L'audit international conduit en 2010 a reconnu l'excellence et l'efficacité de ce fonctionnement et considère que c'est un exemple pour l'Europe. Ce réseau est actuellement supporté par l'ANR mais avec des montants insuffisants. Le renforcement de ce réseau parait être un dispositif important pour la compétitivité de la recherche dans le numérique.