

ALLISTENE

Alliance des sciences et technologies du numérique

Alliance nationale de programmation et de coordination de la recherche dans le domaines des Sciences et Technologies de l'information et de la communication

Table des matières

1. Objectifs	1
2. Périmètre scientifique	2
3. Enjeux	3
4. Organisation et fonctionnement	4
5. Groupes programmatiques.....	6
5.1. <i>Modélisation, simulation et contrôle de systèmes complexes</i>	6
5.2. <i>Architectures, programmation, sécurité et sûreté des systèmes</i>	7
5.3. <i>Signaux et télécommunications, réseaux, Internet du futur</i>	8
5.4. <i>Interaction Homme - systèmes, contenus et usages</i>	11
5.5. <i>Nanoélectronique, nanosciences pour les STIC</i>	11
5.6. <i>Recherche intégrative, recherche technologique et intégration systèmes</i>	13

1. Objectifs

Ce document définit les objectifs et décrit l'organisation de l'instance nationale de programmation et de coordination de la recherche dans les domaines des sciences et technologies de l'information et de la communication, dite ALLISTENE, ***Alliance des sciences et technologies du Numérique***.

La France s'est dotée en 2009 d'une *Stratégie Nationale de Recherche et d'Innovation* (SNRI)¹, motivée par une appréciation des grands défis et des enjeux sociétaux de notre époque, et fondée sur une analyse du potentiel de la recherche dans notre pays, de ses forces et de ses faiblesses. La SNRI affirme trois axes de développement prioritaires de la recherche sur la base de principes suivants : rôle central de la recherche fondamentale, promotion d'une société innovante et de l'ouverture à l'économie, maîtrise des risques, et renforcement de la sécurité, ouverture aux sciences humaines et sociales, et pluridisciplinarité indispensable aux problèmes globaux d'aujourd'hui. Les trois axes prioritaires de la SNRI sont :

¹http://media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/SNRI/69/8/Rapport_general_de_la_SNRI_-_version_finale_65698.pdf

- La santé, le bien être, l'alimentation et les biotechnologies ;
- L'urgence environnementale et les écotechnologies ;
- L'information, la communication et les nanotechnologies.

Le champ de l'Alliance ALLISTENE recouvre précisément ce troisième axe prioritaire de la SNRI.

Par ailleurs, la SNRI argumente pour l'évolution de l'organisation de la recherche vers un schéma d'organisation en trois fonctions majoritairement séparées :

- La fonction *Orientation Stratégique* : élaboration et mise en œuvre de la politique nationale, définition des grandes orientations et répartition des ressources sur des macro objectifs ; cette fonction relève de la responsabilité gouvernementale.
- La fonction *Programmation scientifique et technique* : traduction des grandes orientations nationales en priorités scientifiques et programmes de recherche, ainsi qu'en allocation de ressources pour les opérateurs ou unités de recherche ; elle relève des agences de financement et des organismes de recherche, ainsi que des établissements d'enseignement supérieur et de recherche et de certains ministères.
- La fonction *Recherche et innovation* : fonction de production, de diffusion et de valorisation des connaissances ; elle relève de l'ensemble des opérateurs, organismes, universités, écoles, instituts de recherche et entreprises.

Dans ce schéma, l'Alliance des sciences et technologies du numérique se situe clairement au niveau de *la fonction de programmation*. Il est en effet critique de palier rapidement à l'insuffisance de coordination des structures nationales à ce niveau, insuffisance soulignée dans l'analyse de la SNRI comme l'une des faiblesses de la recherche et de l'innovation française.

En conséquence, l'objet de l'Alliance des sciences et technologies du numérique est de contribuer au développement scientifique, technologique et économique de notre pays dans le domaine des sciences et technologies du numérique et cela principalement par :

- La coordination des acteurs de la fonction programmatique, à savoir les organismes et agences nationaux ainsi que les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, autour de priorités scientifiques et technologiques traduisant les grandes orientations nationales dans ce domaine ;
- L'élaboration de programmes nationaux répondant à ces priorités, et de modalités pour mener à bien les programmes ;
- Le renforcement des partenariats et des synergies entre l'ensemble des opérateurs de la recherche du domaine, universités, écoles, instituts, mais également entreprises, autour des priorités et programmes nationaux ;
- Le prolongement des priorités et programmes nationaux dans les différentes initiatives européennes relevant du domaine.

2. Périmètre scientifique

Le périmètre d'ALLISTENE recouvre le troisième axe prioritaire de la SNRI. Il correspond à l'ensemble du champ des STIC, sur leurs volets matériels et logiciels, de traitement de l'information, communication, modélisation, simulation et calcul intensif. Les disciplines et champs scientifiques couverts par ALLISTENE sont donc :

- *Modélisation, simulation, et calcul intensif ;*
- *Informatique, automatique, robotique, signaux et communications ;*
- *Nanoélectronique, technologies des communications, nanosciences pour les STIC.*

Ce périmètre scientifique vise donc à explorer de nouvelles pistes de modélisation calculatoire, de traitements, de transports, de stockages et d'utilisation d'informations matérielles et immatérielles, hétérogènes, que se soit au niveau de la recherche fondamentale ou de la recherche intégrative. Cela concerne les nanotechnologies pour les STIC, les réseaux et télécommunications, les usages, l'informatique, l'automatique, la robotique, le traitement du signal, la modélisation, la simulation et le calcul intensif.

La convergence entre ces diverses composantes disciplinaires d'ALLISTENE se concrétise au plan organisationnel par l'identification d'un axe transverse de recherche intégrative et recherche technologique. Cet axe correspond aussi bien à des recherches fondamentales intégrant des approches distinctes dans une problématique interdisciplinaire qu'à des recherches technologiques, telles que celles couvertes par programme Nano-Innov/RT, permettant l'intégration de nouveaux savoirs issus des champs disciplinaires.

L'organisation de l'Alliance (voir figure 1) s'appuie sur des groupes programmatiques couvrant les axes disciplinaires et transverse mentionnés ci-dessus.

3. Enjeux

Du fait de leur caractère très diffusant, les STIC soulèvent des enjeux industriels et socio-économiques qui couvrent pratiquement tous les secteurs d'activité. L'ensemble des enjeux des STIC, matériels et logiciels, a fait de ce domaine une des clés de l'innovation et des gains de productivité de l'économie, ainsi qu'un moteur de l'évolution sociétale. Ces enjeux sont aujourd'hui bien connus. Ils portent en particulier sur les secteurs industriels propres au domaine, dont :

- Le secteur des industries du logiciel ;
- Le secteur des industries électroniques ;
- Le secteur des télécommunications ;
- Le secteur des systèmes embarqués.

Ces enjeux couvrent également de nombreux secteurs transverses, en particulier :

- Le secteur de la santé, des technologies médicales et pharmaceutiques ;
- Le secteur des transports ;
- Le secteur de l'énergie et de l'environnement ;
- Le secteur des biens de consommation ;
- Le secteur des médias, des loisirs, de la culture et des jeux ;
- Le secteur des services aux collectivités, aux entreprises et aux particuliers ;
- Le secteur de la sécurité et de la défense.

Une composante importante des enjeux des STIC est leur fort potentiel de développement économique et industriel. La production de biens a considérablement gagné en efficacité et en flexibilité. *L'ingénierie numérique* est devenue un facteur essentiel de l'innovation industrielle, grâce aux nouvelles possibilités de modélisation, de conception, de prototypage virtuel et de production. L'impact des STIC s'étend sur l'ensemble chaîne productive, partant des composants, aux systèmes et aux services.

Dans les composants, l'innovation repose sur deux grandes tendances :

- la miniaturisation à l'échelle de quelques dizaines de nanomètres dans la continuité de la microélectronique CMOS (loi de Moore), ou en discontinuité (beyond CMOS) pour atteindre des échelles de quelques nanomètres ;
- l'intégration des fonctions les plus diverses (capteurs, actionneurs, circuits de communication et de stockage de l'information) et de plus en plus complexes sur les SoC (systems on chip).

Dans le secteur des systèmes, une part essentielle de la croissance est portée par les systèmes embarqués, couvrant un spectre large allant des terminaux mobiles aux équipements médicaux portés par l'homme, en passant bien entendu par les systèmes de transport et la domotique. Embarqués, les systèmes tirent en effet profit des techniques de miniaturisation et d'intégration de capteurs, d'actionneurs, de ressources de traitement de l'information et de communication. Ils intègrent massivement des logiciels de plus en plus complexes pour répondre aux exigences fonctionnelles et non fonctionnelles (fiabilité, ergonomie, maintenabilité, interopérabilité, autonomie) de plus en plus sophistiquées

Dans les services, la croissance des STIC est tout aussi importante. Ainsi, le commerce électronique entre entreprises et individus, et les échanges électroniques de services, qui s'appuient sur les possibilités technologiques du web, sur les accès ubiquitaires et la manipulation des contenus sémantiques connaissent un essor spectaculaire. La mise en réseau des entreprises et des personnes a donné lieu à des mutations dans l'organisation du travail qui se poursuivent avec le développement des technologies de travail collaboratif. La notion *d'intelligence collective* prend aujourd'hui des dimensions concrètes dans tous les secteurs, allant de la mobilisation d'internautes dans des études scientifiques, à leur implication dans des services d'expertise et de résolution de problèmes techniques, des services d'ingénierie, de conception, de test de nouveaux produits, de marketing, d'études économiques, politiques ou sociales à vaste échelle. Les entreprises qui organisent ces services s'appuient sur de vastes communautés virtuelles et mouvantes. Les possibilités croissantes de partage et de capitalisation d'informations, de modèles, et de logiciels libres pour le traitement de ces informations, sont génératrices de plus values économiques importantes. La *société de l'information* conduit à des mutations profondes de l'entreprise, mais aussi de la ville, des services publics et de l'organisation sociale. Les technologies numériques sont de plus en plus intégrées dans notre vie quotidienne, politique et sociale, par exemple dans l'ensemble des outils d'administration électronique, ou dans le débat politique.

4. Organisation et fonctionnement

Les membres d'ALLISTENE sont, à la date de la création de l'Alliance, la CDEFI, le CEA, le CNRS, la CPU, l'INRIA, L'Institut Telecom. Des représentants des membres, désignés conjointement par eux, participent aux groupes programmatiques et au comité de coordination.

Les organismes publics volontaires ayant une activité significative de recherche dans les champs des STIC peuvent devenir membres associés d'ALLISTENE.

L'Alliance est placée sous la responsabilité d'un **comité de coordination** dont les membres sont :

- le président de la CDEFI ou son représentant
- l'administrateur général du CEA ou son représentant ;
- le directeur général du CNRS ou son représentant ;

- le président de la CPU ou son représentant
- le président directeur général de l'INRIA ou son représentant ;
- l'administrateur général de l'Institut Telecom ou son représentant

Le représentant de l'ANR est invité à participer, avec voix consultative, à toutes les réunions du comité de coordination relatives aux questions de programmation.

Le comité de coordination organise la coopération des membres de l'Alliance. Il suit les accords de coopération entre les partenaires et veille au bon fonctionnement de ces accords. Ce comité de coordination est aussi en charge de la concertation des politiques d'innovation et de valorisation des partenaires. Dans ce sens, le comité mettra en place les instruments adéquats pour la coordination des actions de transfert des membres d'Allistene.

Dans sa mission programmatique, le comité s'appuie sur des **groupes programmatiques** qui pilotent les grands enjeux scientifiques et technologiques du domaine.

Les groupes programmatiques organes fonctionnels de l'Alliance, sont le cadre d'échange, de réflexion programmatique et de préparation de la coopération entre les opérateurs de recherche. Ils ne disposent pas d'administration propre et s'appuient sur les services administratifs des Membres en charge de leur animation et, le cas échéant, de ceux que les autres Membres mettent à leur disposition pour la réalisation de leur mission. Ils s'appuient sur des groupes d'experts désignés par le Comité de Coordination sur proposition de l'animateur.

Ils veillent à associer à leurs travaux, en qualité de Partenaires, les représentants des pôles de compétitivité impliqués dans les domaines particuliers dont le Groupe Programmatique est en charge, ainsi qu'autant que de besoin d'experts représentant directement des entreprises industrielles. La participation de personnels scientifiques des Membres aux Groupes programmatiques ne modifie en rien leur appartenance institutionnelle et leurs relations avec leurs organismes respectifs.

Les périmètres des Groupes programmatiques, définis ci-après, peuvent être modifiés par le comité de coordination.

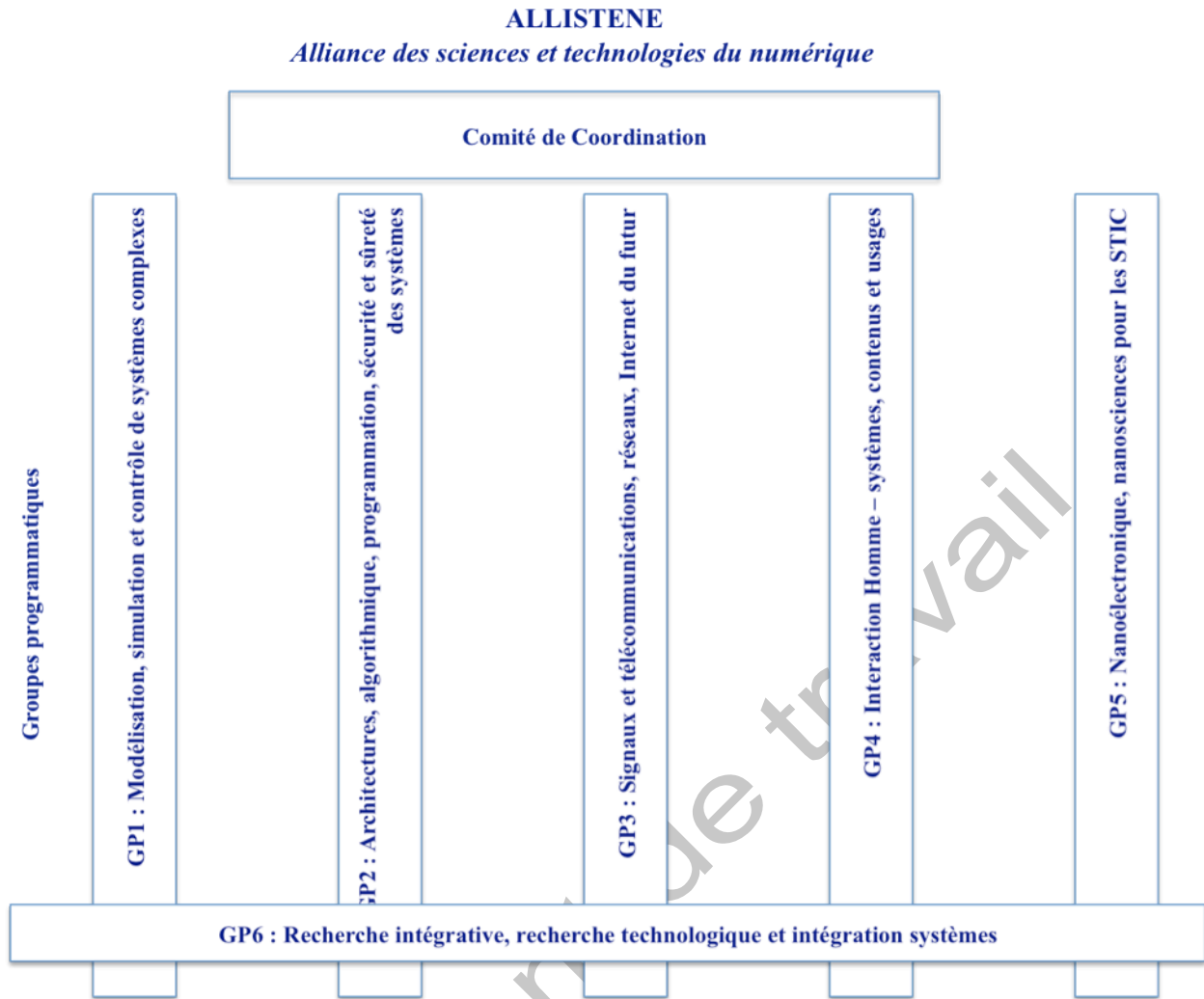


Figure 1

5. Groupes programmatiques

5.1. *Modélisation, simulation et contrôle de systèmes complexes*

La modélisation, la simulation et le contrôle de systèmes complexes, multi physiques, multi échelles en temps ou en espace, hybrides (continus et discrets), et non réguliers en état, constituent un défi en recouvrement entre les mathématiques appliquées, le calcul à haute performance, l'automatique et l'informatique. Ces systèmes peuvent être de dimension infinie (EDP) ou finie (systèmes hybrides, inclusions différentielles, inéquations variationnelles), déterministes et/ou stochastiques. Les données associées sont de nature et de qualité très variables : hétérogènes, bruitées, éparses, parfois en très grand nombre, peu fiables. Le couplage données-modèles soulève les questions d'identification, d'étalonnage, d'assimilation de données. La simulation de ces systèmes pose

des problèmes ouverts en algorithmique numérique et calcul intensif. Les schémas numériques doivent être performants en précision, temps de calcul, et capacité à s'exécuter efficacement sur des plates-formes à haute performance (multiprocesseurs, grands clusters ou répartis à grande échelle). Les flux conséquents de données produits par la simulation nécessitent des techniques de fouille de données, de réalité virtuelle ou d'immersion dédiées à la visualisation scientifique et à la simulation interactive. La qualité des prédictions associées aux simulations doit être qualifiée par rapport aux incertitudes sur les données et les modèles. Gérer la prévention des risques à travers la prédiction des événements rares avec une bonne maîtrise des incertitudes soulève d'autres problèmes. Enfin, l'optimisation, l'identification et le contrôle de ces systèmes sont des problèmes scientifiques difficiles.

La conception, la modélisation, et le contrôle de systèmes complexes très variés recouvrent des enjeux essentiels, parmi lesquels ceux des systèmes embarqués, des infrastructures de transport ou d'énergie (smart grids), des processus industriels physiques, chimiques, ou biotechnologiques. Plus généralement, on retrouve ici la problématique de l'ingénierie numérique dont l'objectif est de permettre une modélisation aussi large que possible d'un objet ou d'un système à concevoir, intégrant des modèles géométriques, dynamiques, multi-physiques (mécaniques, électriques, thermiques) et fonctionnels de chaque composante du système, et permettant la composition de ces modèles au niveau des propriétés globales, fonctionnelles, non fonctionnelles (fiabilité, sûreté, maintenabilité, coût), et du cycle de vie du système. Cette ambition soulève de grands défis pour pouvoir spécifier, concevoir et tester en prototypage virtuel le système de façon entièrement numérique, depuis l'élaboration des modèles et de leur mise en œuvre, en simulation, optimisation, test et qualification, jusqu'à la synthèse automatique des logiciels qui contrôlent sa réalisation, et son comportement opérationnel. Cette problématique soulève des défis scientifiques et technologiques majeurs en automatique et traitement du signal, en calcul intensif, en génie logiciel et en informatique.

5.2. Architectures, algorithmique, programmation, sécurité et sûreté des systèmes

De nouvelles architectures et techniques de programmation parallèles ou distribuées à vaste échelle sont nécessaires pour prendre en compte la mutation technologique des composants multi-coeurs. Cette mutation se traduit par des gains potentiels en spécialisation des traitements, en performances et en sûreté. Elle ouvre des problèmes de recherche importants sur la programmation et la compilation de code pour de nouveaux processeurs et de nouvelles architectures. Elle exige de pouvoir concilier de manière innovante les besoins de fiabilité et de performance, en temps et en énergie, des systèmes avec le non déterminisme de plus en plus important des architectures sur lesquelles ces systèmes reposent. Par ailleurs, les infrastructures du type grilles de calcul et traitement en nuage (Cloud computing), qui renvoient vers les grands défis de l'informatique distribuée, soulèvent des problèmes d'intégration performants, de systèmes

d'exploitation centrés réseaux, de gestion des ressources, en particulier énergétiques et de modèles de programmation. Les problèmes sont dus en particulier à l'hétérogénéité des nœuds de traitement, aux changements de disponibilité des ressources, aux architectures pairs-à-pairs, aux contraintes de communication peu prévisibles et parfois supérieures aux contraintes de calcul, ainsi qu'aux exigences de fiabilité, de performances garanties et d'économie énergétique de fonctionnement (green computing).

Ce dernier point renvoie vers les problématiques de **sécurité, de sûreté des systèmes, et de cryptographie**. L'utilisation diffusante des technologies numériques dans les infrastructures critiques et la gestion de toutes nos données et interactions soulève en effet des problèmes de sûreté (fonctionnement correct), de sécurité (résister à des attaques et à un usage malicieux, protection de la vie privée), de traçabilité (responsabilités en cas de dysfonctionnement), et de confiance dans les systèmes de traitement. Pour garantir le comportement correct de logiciels et systèmes complexes dans leur environnement matériel, on doit mettre en œuvre des méthodes de développement sûres, fondées sur les langages formels, les logiques mathématiques, la construction de preuve, la vérification et la certification de codes et de composants, logiciels et matériels. Les problèmes majeurs portent sur le passage à l'échelle, la reprise de codes existants, la prise en compte des composants matériels et logiciels, des services ou des systèmes, ainsi que l'intégration de ces techniques dans un contexte plus général d'ingénierie logicielle pour leur utilisation aisée et leur large diffusion. Par ailleurs il faut pouvoir assurer la sécurité des données, des communications et des échanges des systèmes informatisés. Les techniques de cryptographie, y compris de cryptographie quantique, et d'authentification, les politiques de sécurité, la protection contre les virus, la détection et maîtrise des attaques sont autant de réponses à élaborer face aux défaillances et aux vulnérabilités des systèmes de plus en plus ouverts, distribués et mobiles.

5.3. Signaux et télécommunications, réseaux, Internet du futur

Les enjeux des infrastructures et terminaux de communication soulèvent des problèmes en **électromagnétisme, micro-ondes et optiques pour les télécommunications**. Ces problèmes portent en particulier sur :

- la gestion optimisée du spectre radio-électrique ;
- le développement de techniques de communication courte portée à très haut débit ;
- l'accès aux informations de localisation et leur utilisation pour optimiser le fonctionnement des réseaux ;
- l'augmentation des débits de données dans les réseaux cellulaires ;
- le développement de composants optiques pour le très haut débit.

Tous ces problèmes doivent être abordés en optimisant l'efficacité énergétique des infrastructures de communication dans une logique de développement durable.

Une gestion optimisée du spectre est désormais indispensable. Ainsi par exemple on peut envisager d'avoir des terminaux reconfigurables et adaptatifs dans le sens où ils 'souderaient' le spectre de manière à déterminer les meilleures bandes de fréquence pour communiquer. Une autre possibilité serait de définir des 'réseaux cognitifs' fournissant aux terminaux, sur un canal pilote, des informations sur les reconfigurations possibles. Les terminaux et réseaux cognitifs nécessitent, au niveau du traitement du signal, la mise en œuvre :

- *de normes sur les informations, issues du sondage de spectre, à transférer aux couches supérieures des réseaux ;*
- *de front-end radio reconfigurables, avec des antennes agiles en fréquence et des composants (filtres, amplificateurs, commutateurs) très performants ;*
- *de techniques de sondage de spectre pour détecter les meilleures bandes disponibles en temps réel ;*
- *de techniques d'estimation et de traitement des interférences ;*
- *de techniques de traitement d'antennes ;*
- *de composants de traitement bande de base reconfigurables supportant plusieurs normes simultanément.*

D'autre part, les techniques cognitives pourraient s'avérer extrêmement pertinentes pour optimiser la consommation énergétique des réseaux en choisissant les meilleures opportunités spectrales en termes d'impact énergétique.

Le développement de communication à courte portée et à très haut débit est nécessaire au développement des applications multimédia (home cinéma sans fil, écrans de télévision haute définition avec déport de l'électronique) qui nécessitent des interfaces radio à courte distance et à très haut débit, de l'ordre de plusieurs Gigabits/sec. Ainsi le Wireless Gigabit, créé récemment, travaillera sur une technologie tirant parti de la bande radio des 60 GHz désormais accessible en CMOS. Celle-ci permettra d'élaborer des périphériques capables de communiquer sur quelques mètres à plusieurs Gb par seconde, et donc d'assurer la diffusion sans fil des flux vidéo.

Les techniques de localisation en temps réel d'une entité s'avèrent de plus en plus importantes pour le fonctionnement des réseaux et sont source d'innovation en termes de nouveaux services. Ces techniques nécessitent des investigations poussées par exemple pour la modélisation des propagations, notamment à l'intérieur de bâtiments, pour avoir une bonne estimation de la localisation d'un mobile à partir des seules informations du réseau.

L'évolution des Réseaux cellulaires à très haut débit vers une plus grande efficacité spectrale devrait permettre d'obtenir des débits de 100 Mbits/s en mobilité en tout point d'une cellule tout en garantissant une bonne qualité de service. Afin d'atteindre ces performances, il est nécessaire de conduire des recherches notamment sur les domaines de l'estimation des interférences et leur management, le traitement de signal multi-antennes/multi-utilisateurs (Multi-user MIMO) combinant intelligemment les diversités spatiales, temporelles et fréquentielles, et les techniques de

coopération entre stations de base ou entre terminaux avec l'utilisation potentielle de relais.

Les composants optiques pour le très haut débit (>1 Gbit/s à moyen terme) nécessitent le développement de composants optoélectroniques spécifiques (amplificateurs optiques, lasers accordables, multiplexeurs et démultiplexeurs, modulateurs et démodulateurs). Ils ouvrent la voie vers des réseaux d'accès tout optiques associés à de nouvelles techniques de transmission comme la radio sur fibre et l'accès libre optique et à des réseaux optiques flexibles (concepts de commutation tout optique, d'agrégats ou de paquets, etc.).

L'Internet du futur s'appuie sur ces nouveaux composants et infrastructures, ainsi que sur de nouveaux réseaux et techniques de communication. Internet est aujourd'hui l'infrastructure stratégique de communication qui joue un rôle économique et sociétal majeur. Cette infrastructure va connaître de grandes transformations car les choix technologiques initiaux sont inadaptés aux dimensions actuelles du réseau, aux besoins des applications et des nouveaux services et aux modes d'utilisation actuels (mobilité, disponibilité, ubiquité) et à la qualité de service requise. Internet doit s'adapter aux débits plus élevés et à l'hétérogénéité croissante des technologies de communication soulignés précédemment, aux nouveaux réseaux d'accès qui vont faire leur apparition, dont l'Internet des objets, ainsi qu'au spectre foisonnant d'applications, de services et d'utilisations (intelligence ambiante) qui s'élargit quotidiennement.

L'Internet du Futur incorporera des centaines de milliards d'étiquettes électroniques, de capteurs et d'actionneurs légers, distribués dans notre environnement quotidien et interagissant à travers le réseau à des fins d'observation, de contrôle, de développement de nouveaux services. Les réseaux spontanés sans fil permettront à des individus de communiquer et d'échanger du contenu en l'absence d'infrastructure et de service centralisés.

Internet est un système dynamique très complexe, qui est régi par des lois mathématiques fondamentales qu'il faut concevoir et valider pour permettre les évolutions attendues et la maîtrise et auto-régulée de cette infrastructure.

Enfin, au-delà de la transmission maîtrisée des données, c'est l'extraction et la manipulation de contenus signifiants pour les utilisateurs et les applications qui sont requises aujourd'hui. Le web des documents que nous connaissons doit se transformer en interface universel d'accès à des contenus sémantiques et des services pertinents pour des besoins multiples.

5.4. Interaction Homme - systèmes, contenus et usages

L'interaction Homme - systèmes, la réalité virtuelle et la robotique. Les technologies numériques prolongent les capacités sensorielles, motrices et cognitives de l'Homme. L'interaction, grâce à ces technologies, avec le monde physique, avec des modèles numériques, ou en médiation sociale, se décline en diverses modalités, directement ou à distance. Les problèmes scientifiques posés par la conception de ces prolongements moteurs, sensoriels et cognitifs de l'homme, et par celle des mécanismes associés d'interaction naturelle multimodale, couvrent des thématiques de recherche et des champs d'application essentiels. Ainsi, on veut détecter et interpréter l'information sensorielle pour reconnaître des objets, pour comprendre des scènes et des comportements selon plusieurs modalités sensorielles : vision, audition, toucher, olfaction. On veut représenter, reconstruire, et visualiser des données et des simulations, permettre d'explorer visuellement, de palper des données, d'être présent dans des scénarios virtuels en rendant l'outil informatique transparent dans l'interaction. On veut représenter et utiliser l'information symbolique et langagière pour obtenir et fournir des informations, échanger et générer des connaissances. Enfin, on veut pouvoir confier la réalisation d'une mission pénible ou dangereuse à un robot autonome qui perçoit, modélise son environnement, et agit de façon délibérée en planifiant ses actions et en améliorant son comportement par apprentissage.

L'intelligence ambiante et les objets communicants ouvrent des perspectives multiples d'espaces quotidiens intelligents de communication, d'accès à l'information et à des services numériques. Le *bâtiment et la maison numériques* représentent une intégration de ces concepts d'intelligence ambiante permettant d'associer d'une part les réseaux d'objets communicants et intelligents et les objets nomades, et d'autre part des services capables d'utiliser ses infrastructures et de s'adapter aux différentes configurations d'usages à l'intérieur de la maison ou pour des interactions distantes. Les *services pour le citoyen mobile* prolongent ces possibilités hors des lieux de vie ou de travail dans de nombreuses applications, dont par exemple le suivi médical, la gestion de la dépendance, ou l'optimisation des coûts d'énergie et de transport. Ces perspectives nécessitent des recherches en informatique, automatique et traitement du signal, ainsi qu'à leurs interfaces aux niveaux des contenus et des usages.

5.5. Nanoélectronique, nanosciences pour les STIC

La nanoélectronique, cœur des nanosciences pour les STIC. La microélectronique, depuis plusieurs décennies, est le cœur des STIC puisqu'elle est le support matériel du stockage et du traitement des données, et de l'émission et de la capture des signaux électromagnétiques ou optiques. L'entrée dans l'ère de la nanoélectronique, qui repose sur les nanosciences et les nanotechnologies, ouvre de nouvelles perspectives à partir d'effets physiques non exploités jusqu'à récemment (électronique quantique, électronique moléculaire, spintronique, nanophotonique, etc.), de

nouvelles opportunités technologiques (électronique basse consommation) et applicatives (systèmes sur puce, objets communicants). La France dispose du principal site européen de recherche en nanoélectronique, né de la synergie entre le centre de recherche industrielle de Crolles et le centre de recherche public MINATEC.

La recherche en nanoélectronique doit, dans la prochaine décennie, relever de grands enjeux :

- *Poursuivre la miniaturisation à l'échelle de quelques nanomètres ("More Moore").* Il s'agit, en restant au maximum compatible avec des technologies de fabrication actuelles des circuits intégrés CMOS, de réaliser des transistors de 32 nm à 12 nm au niveau industriel et jusqu'à quelques nanomètres au niveau de la recherche. Cette recherche s'effectue aujourd'hui dans le cadre de grandes alliances au niveau mondial.
- *Diversifier les fonctions embarquées sur une puce ("More than Moore").* Aux fonctions de mémorisation et de traitement de l'information s'ajoutent des fonctions de communication (RF) et de détection (imageurs, capteurs de position et de mouvement, etc.). C'est sur cet axe de recherche que ST Microelectronics, leader mondial des SoC (Systems on Chip), focalise actuellement son effort de recherche industrielle. C'est sur cet axe de la diversification que se placent les sites industriels de Rousset, Caen, Toulouse, Tours. Les innovations issues des grandes centrales de recherche technologique (programme RTB) sont vivement attendues par tout le tissu industriel national. A plus long terme, les nanosciences préparent d'autres ruptures, par exemple dans les domaines de la spintronique, des NEMS (nanomécanique), de la photonique à base de quantum dots de la nanofluidique.
- *Préparer l'après CMOS ("Beyond CMOS")* cette recherche s'appuie à la fois sur des vecteurs d'information autres que la charge de l'électron (spin, exciton, etc.), sur le calcul hors équilibre thermodynamique, sur des procédés de fabrication qui se différencient très significativement des procédés actuels de la nanoélectronique, notamment en ce qu'ils font intervenir des procédés d'auto-assemblage pour des nanotubes, des nanodots, ou des nanofils, et enfin sur de nouvelles architectures de traitement de l'information. Le développement de ces nouveaux composants, circuits et architectures en rupture constitue une opportunité majeure, à moyen et long terme, pour la compétitivité de l'Europe et de la France en particulier. C'est sur ces axes que les laboratoires académiques nationaux orientent aujourd'hui leur priorité. Enfin, des technologies complémentaires comme l'électronique grande surface incluant l'électronique imprimée pour les nouveaux dispositifs d'affichage, de récupération d'énergie, ou d'émission de lumière constituent également des enjeux considérables.

L'excellence en matière de nanosciences et des nanotechnologies suppose la maîtrise de cinq compétences transversales.

- *L'étude des phénomènes physiques, chimiques et électrochimiques liés aux dimensions nanométriques :* Les interactions élémentaires au niveau

atomique /moléculaire et les modes collectifs induits dans des milieux nanostructurés conduisent à de nouvelles variables d'état et à des propriétés soit exacerbées (transport électronique, conduction, émission et capture photonique, etc.), soit totalement nouvelles (plasmonique, spintronique).

- **Les nanomatériaux** : C'est à un niveau très proche de la matière, les nanomatériaux, que se joue l'existence ou non des phénomènes nouveaux. Dans le domaine des STIC, il s'agit des nanomatériaux pour la nanoélectronique (en continuité avec les technologies silicium comme les alliages à base de silicium et de germanium ou en rupture comme les nouvelles formes du carbone telles les nappes de graphène), pour la nanophotonique (création de cristaux artificiels à partir des éléments des colonnes III et V, nitrure et oxydes semi-conducteurs), pour la spintronique.
- **La nanocaractérisation** : L'étude des nouveaux phénomènes liés à l'échelle nanométrique n'est possible que grâce aux outils de nanocaractérisation très avancés. Ces derniers offrent en effet des techniques d'observation et d'analyse, propres aux échelles nanométriques, en particulier: microscopie électronique ou en champ proche, imagerie, spectroscopie basées sur l'interaction entre rayonnement et matière. Les grands instruments pour la physique (synchrotrons notamment) sont de plus en plus utilisés pour la caractérisation des nanomatériaux.
- **La nanofabrication** : Les phénomènes nouveaux ne sont utilisables que si ils s'accompagnent d'une évolution des procédés qui rend possible la construction d'édifices atomiques ou moléculaires contrôlés à l'atome près : la nanofabrication selon l'approche descendante qui repousse les limites des techniques de dépôt, implantation et lithographie issues de la microélectronique et l'approche ascendante qui utilise les forces à très courte distance pour la croissance de nano-objets 1D, 2D, 3D, et l'autoassemblage dirigé de nano-objets. Cette seconde approche constitue une révolution dans l'histoire des technologies et le passage du stade laboratoire à un stade industriel est un grand challenge.
- **La nanosimulation et la nano-conception** : Enfin, la réalisation de nouvelles fonctions nécessite de nouvelles approches pour la conception des nano-objets, la nanoconception (conception de modèles fonctionnels grâce à des approches multi-échelles depuis l'échelle atomique). Un des grands enjeux de la prochaine décennie sera de disposer en France d'un flot de conception 'sans couture' depuis l'échelle atomique jusqu'aux systèmes, ce qui suppose, en amont, des capacités de simulation étendues, un couplage étroit entre les physiciens, les électroniciens, les numériciens.

5.6. Recherche intégrative, recherche technologique et intégration systèmes

Au-delà de la production de connaissances élémentaires et de composants technologiques de base, se posent dorénavant en STIC les problèmes scientifiques et technologiques de l'intégration de ces connaissances et

technologies. Deux raisons fondamentales nécessitent de renforcer les capacités de recherche intégrative :

- *Les objets de recherche en STIC sont de plus en plus complexes. Leur étude requiert à la fois la conjonction de spécialités voire de disciplines diverses, ainsi que l'intégration de développements technologiques importants. Les besoins en plates-formes d'expérimentation et en recherches intégratives sont présents dans pratiquement toutes les priorités mentionnées dans les sections précédentes. Ces priorités nécessitent l'intégration de modèles et de formalismes mathématiques hétérogènes, de codes, de capacités de détection, d'interprétation, de fouille, de simulation, de calcul distribué, d'optimisation, d'apprentissage, de visualisation, et d'interaction.*
- *L'innovation technologique a constamment été très exigeante en ingénierie intégrative. Aujourd'hui cette intégration se complexifie considérablement. Elle soulève des problèmes de recherche scientifique pertinents, dont la résolution est une condition nécessaire au transfert technologique. Donner aux industriels et aux laboratoires de recherche technologique, l'accès aux « étagères des connaissances et technologies les plus pointues » est devenu insuffisant. Une stratégie proactive de recherche intégrative est nécessaire à l'innovation. Le principe est de faire remonter très en amont des objectifs de transfert vers des actions de recherche et de développement prenant en compte diverses facettes technologiques et les problèmes de leur intégration.*

La complexité, des nanos aux grands systèmes d'information et de communication, est le résultat de trois facteurs :

- *un facteur d'échelle dimensionnelle, les nanosciences déplaçant les technologies de fabrication des éléments de base à l'échelle de l'atome (les transistors de 32 nm sont en production), les outils et méthodologies de conception permettant le dessin de centaines de millions de transistors sur la même puce (systèmes sur puce), les grands systèmes électroniques organisant la coopération à distance de plusieurs centaines à plusieurs millions de composants cœur (systèmes de systèmes).*
- *un facteur d'échelle de temps, les nanotechnologies déplaçant l'échelle de temps vers les (sub)pico secondes quand la garantie de fonctionnement des systèmes complexes critiques impose des contraintes de temps réel sur des tâches de plus en plus longues.*
- *un facteur d'hétérogénéité, la fusion logicielle et matérielle étant réalisée dans les processeurs numériques, les processeurs côtoyant eux-mêmes des fonctions analogiques (capteurs, émission, réception, traitement analogique des signaux) dans des systèmes sur puce (le site de Crolles a une position de leader mondial dans ce domaine), les capteurs pouvant être électroniques, magnétiques, chimiques, biologiques.*

En conséquence, le développement de nouveaux produits ou services répondant aux enjeux sociétaux de croissance durable, de santé, de bien être, de communication, d'interaction, et de formation, nécessite aujourd'hui un niveau de recherche pluri-thématique, pluri-disciplinaire et d'intégration très élevé. A minima la réalisation d'objets communicants intelligents repose

sur la convergence des nanosciences, des techniques de traitement du signal et de l'informatique en synergie avec les mathématiques appliquées

Or, la position de la France sur les STIC montre une faiblesse au niveau de la recherche intégrative, ce qui réduit l'impact de ses résultats scientifiques et technologiques. Ainsi, la part de la France en publications dans les STIC (5 à 6%) ne correspond pas à sa part en brevets (1,5%).

L'initiative Nano-Innov, lancée en mai 2009, vise à combler cette faiblesse au niveau des nanotechnologies, en particulier au travers des Centres d'Intégration Nano-Innov de Paris région, Grenoble et Toulouse. Ces trois centres disposent de plates-formes technologiques complémentaires couvrant les trois grands domaines des nanotechnologies (nanomatériaux, nanoélectronique, nano-biotechnologies) et des moyens coordonnés permettant la modélisation, la conception, la fabrication, le test et la caractérisation des composants et systèmes (matériel et logiciel embarqué). Ce sont des lieux privilégiés pour le co-développement dans le cadre d'une recherche partenariale avec l'industrie. Les Centres d'Intégration Nano-Innov constituent en ce sens un outil pour l'ensemble des pôles de compétitivité. Ils intègrent ou sont étroitement liés avec les centrales de nano-technologies du réseau 'Recherche Technologique de Base'.

D'autres projets de recherche intégrative existent ou seront développés dans le cadre de l'alliance ALLISTENE. Ainsi le Pôles international en logiciel et systèmes intelligents (PILSI) à Grenoble, vise la création et le renforcement d'actions coordonnées et de plates-formes de recherche et de développement intégratifs autour du logiciel embarqué et sur puces (EmSoc). Les composantes à développer et intégrer relèvent en particulier des technologies logicielles (programmation par composants, vérification, conception sûre), des technologies d'interaction (imagerie, perception, intelligence ambiante, réalité virtuelle), et des technologies du transport (contrôle, sécurisation, véhicule intelligent). Des projets de plates-formes de recherche sur l'internet du futur, les systèmes embarqués, la maison et le bâtiment intelligent, les services pour le citoyen mobile, relèvent de la même logique d'intégration de recherches fondamentales et technologiques sur divers fronts d'un même problème global pour parvenir à des innovations à fort impact.

Ainsi, l'intégration des composants et systèmes d'information et de communication doit prioritairement porter l'innovation dans trois grands domaines à fort impact économique et sociétal : l'internet des objets, les transports et l'énergie, la santé et la qualité environnementale.

- *Intégration des composants et systèmes pour l'internet des objets : L'enjeu global est l'intégration de l'ensemble des technologies matérielles et logicielles des objets communicants qui, déployés en réseau, sont à la base du concept d'intelligence ambiante. Il s'agit en particulier de garantir le niveau d'intégration maximal aux capteurs d'image et capteurs multifonction, de maîtriser (les équipes françaises font dans ce domaine la course en tête) les technologies d'intégration*

hétérogène tridimensionnelle. Il s'agit aussi de maîtriser les nouvelles architectures matérielles et logicielles de calcul permettant à la fois la performance (nombre d'opérations/s élevé) et une très basse consommation. Ces architectures sont basées sur les filières les plus avancées de la nanoélectronique (32 nm puis 28 nm), des processeurs multi-cœur et la programmation parallèle de ce cœurs. Il s'agit enfin de déployer les moyens de communication multi-réseaux, multiniveaux grâce aux composants matériel/logiciel hautement intégrés décrits précédemment et capables de réaliser les traitements des signaux les plus avancés.

- *Intégration de composants et systèmes de communication et d'information pour les transports et l'énergie : L'électrification de la motorisation des véhicules se traduit par des besoins nouveaux en matière d'électronique automobile : au niveau le plus bas avec le management des batteries, au niveau du véhicule avec le contrôle électronique des fonctions moteur, châssis, transmission. Une nouvelle génération de composants alliant intelligence et puissance verra donc le jour dans les dix ans qui viennent, ainsi qu'une évolution majeure de l'architecture logicielle des véhicules. Dans les années futures, le bâtiment intelligent fera, lui aussi, largement appel à ce type de composants et architecture logicielle. L'utilisation généralisée des énergies renouvelables (multiplication du nombre des sites de production), et leur couplage au réseau électrique, suppose le déploiement d'un réseau d'information et de communication capillaire et sophistiqué, basé sur des capteurs, des actionneurs, et une infrastructure complexe de communication et de traitement des données (smart grid).*
- *Intégration de composants et systèmes de communication et d'information pour la santé et la qualité environnementale : Le développement des techniques de prévention, la personnalisation de la médecine répondent à un triple objectif de qualité de soins, de confort, et de réduction des coûts de la santé. C'est à ces fins que répondent les composants miniaturisés intelligents assurant un premier niveau d'analyse proche du patient (lab on chip potentiellement jetables) et une communication sécurisée vers le médecin. De même, dans le domaine de l'environnement (qualité de l'air, qualité de l'eau, qualité de sols) le développement de capteurs chimiques embarqués multi-espèces apparaît aujourd'hui comme un moyen crédible de prévention et de sécurité face aux risques chimiques et biologiques.*