



Contribution d'Allistene et des Pôles de compétitivité à la Stratégie Nationale de Recherche Sciences et Technologie du Numérique



Synthèse

Textes complets disponibles sur : www.allistene.fr



Contribution d'Allistene et des Pôles de compétitivité à la Stratégie Nationale de Recherche Sciences et Technologies du Numérique

Juillet 2013

Ce document présente la contribution d'Allistene et des Pôles de compétitivité du numérique à la stratégie nationale de recherche. Il est composé de deux parties : une synthèse qui présente les enjeux stratégiques de la recherche en sciences et technologies du numérique et un recueil complet des contributions détaillées de chaque groupe de travail.

Pour conduire la réflexion sur cette stratégie de recherche, des groupes de travail composés d'experts des établissements membres de l'alliance et des pôles de compétitivité et des groupes de travail inter-alliances (Allistene et Aviesan, Ancre, Allenvi, Athéna) se sont réunis durant les mois de mai et de juin 2013.

Un comité de pilotage composé du Comité de coordination d'Allistene et des Présidents des pôles de compétitivité a supervisé la rédaction. La liste des experts ayant participé à la rédaction figure en troisième partie du document.

Sommaire

Contenu

Partie I - Synthèse de la Contribution	5
1. Le défi de l'avancée des connaissances scientifiques et de la formation dans les disciplines du Numérique.....	6
1.1 La recherche fondamentale en Mathématiques.....	6
1.2 La recherche fondamentale en Informatique.....	7
1.3 La recherche fondamentale en Automatique.....	8
1.4 La recherche fondamentale en Traitement du signal	8
1.5 La recherche fondamentale en Micro/Nanoélectronique et Nanosciences pour le Numérique.....	9
1.6 La formation en Informatique	9
2. Le défi des avancées technologiques	11
2.1 Les technologies logicielles	11
2.2 Les technologies matérielles	11
2.3 Les technologies de communication.....	12
3. Les grands domaines prioritaires.....	14
3.1 Formation numérique de masse.....	14
3.2 Traitement des données massives, Connaissances, Décision, Calcul Haute Performance, et Simulation Numérique	15
3.3 Interactions des mondes physiques, de l'humain et du monde numérique	15
3.4 Sécurité de la Société Numérique	16
4. Le Numérique et les défis sociétaux	18
4.1 Le Numérique pour le nouveau industriel	18
4.2 Le numérique au service de la qualité de vie.....	19
4.3 Numérique et Santé/Bien-être (texte commun avec Aviesan).....	21
4.4 Numérique et Environnement (texte commun avec Allenvi)	23
4.5 Numérique et Energie (texte commun avec Ancre).....	24
4.6 Numérique et Sciences Humaines et Sociales (texte commun avec Athena).....	25
5. Les plates-formes matérielles et logicielles.....	29
6. La coopération européenne	30

Partie I - Synthèse de la Contribution

Toutes les activités humaines, économiques, scientifiques ou industrielles présentent aujourd'hui des enjeux liés, de manière plus ou moins importante, aux progrès scientifiques et technologiques du numérique. Bien entendu, et c'est aussi ce qui fait leur richesse et leur intérêt, les sciences du numérique interagissent fortement avec les autres disciplines. Il est courant que les avancées d'un autre domaine scientifique irriguent les sciences du numérique, ou qu'une question applicative débouche sur un problème fondamental inédit à résoudre. L'information, les services et les applications sont disponibles partout et tout le temps. Les nouveaux usages, l'avalanche de données modifient profondément notre vie et nos comportements. Le numérique représente un triple enjeu : économique tout d'abord car il est au même titre que les transports un segment majeur de la croissance européenne (5,9% du PIB), industriel car il est acteur clé des évolutions des entreprises et du nouveau industriel, de souveraineté nationale car les données vont représenter la puissance politique du futur et sociétal car le numérique est de plus en plus utilisé comme vecteur social et culturel.

Au plan scientifique, le numérique progresse au rythme soutenu des avancées des disciplines scientifiques qui le sous-tendent. Les sciences mathématiques, informatiques et électroniques placent la France en tête de la recherche publique en Europe et dans les tous premiers dans le monde. Notre pays a aussi un ensemble de grandes entreprises leaders sur leur marché et un tissu très dense de PME dynamique. Les pôles de compétitivité du numérique rassemblent l'ensemble de ces composantes, depuis la recherche publique et académique jusqu'à l'ensemble des acteurs économiques du domaine.

Domaine scientifique, technologique, économique et social parfaitement identifié et avec sa propre dynamique, le numérique est aussi un facteur décisif d'avancées des autres domaines de la société. Cette évolution profonde vers la société numérique est fondamentale car elle conduit à des transformations profondes dans tous les secteurs. Il est donc nécessaire de faire des choix qui permettront à notre pays d'améliorer ses performances et des rester à l'avant garde des nations développées.

Nous avons donc identifié :

- des **défis majeurs** auxquels les sciences du numérique vont devoir faire face : le défi de **l'avancée des connaissances scientifiques et de la formation** dans les disciplines du Numérique et le défi des **avancées technologiques**,
- des **grands domaines prioritaires** : la formation numérique de masse, le traitement des **données massives**, la **transformation des données en connaissances**, l'aide à la prise de **décision**, le **calcul à haute performance**, et la **simulation numérique**, les **interactions** des mondes physiques, de l'humain et du monde numérique, la **sécurité** de la société numérique,
- l'apport du numérique aux **défis sociétaux** : le numérique pour le **renouveau industriel**, le numérique au service de la **qualité de vie**, le numérique et la **santé et le bien-être** (en commun avec **Aviesan**), le numérique et **l'environnement** (en commun avec **Allenvi**), le numérique et **l'énergie** (en commun avec **Ancre**), le numérique et **les sciences humaines et sociales** (en commun avec **Athena**).

Pour relever ces défis et atteindre les objectifs ambitieux de l'évolution des grands domaines prioritaires, il est indispensable de s'appuyer sur des plates-formes matérielles et logicielles et de positionner notre stratégie dans un contexte européen en particulier dans le cadre du nouveau programme cadre Horizon 2020.

1. Le défi de l'avancée des connaissances scientifiques et de la formation dans les disciplines du Numérique

1.1 La recherche fondamentale en Mathématiques

Le domaine des mathématiques est encore aujourd'hui en pleine expansion au niveau mondial. La montée en puissance des programmes scientifiques de pays développés ou émergents s'accompagne du développement rapide des efforts de ces pays en matière de formation et de recherche en mathématiques, créant une communauté mondiale toujours plus vaste et une émulation désormais véritablement planétaire. Tout en continuant leur développement interne qui a récemment permis la résolution de conjectures anciennes et la découverte de connexions nouvelles entre des champs longtemps considérés comme disjoints, les mathématiques jouent un rôle essentiel dans le développement des outils de modélisation, de simulation, d'analyse et de prédiction, quantitative ou qualitative, dont se servent presque toutes les disciplines et elles sont souvent, sans que cela soit toujours perçu ou reconnu, omniprésentes dans notre société hautement technologique. L'enjeu actuel pour les mathématiques françaises est de maintenir leur compétitivité internationale, sur tout le champ disciplinaire, en veillant particulièrement à l'articulation et à l'enrichissement croisé entre ses différentes thématiques internes mais aussi entre elles et les autres sciences et le tissu économique et industriel.

La recherche mathématique est le plus souvent une recherche ouverte et à moyen ou long terme. Bien entendu, beaucoup d'applications à court terme existent aussi et doivent être encouragées, mais l'expérience montre que la maturation des théories est longue et les avancées souvent inattendues. On ne peut pas prédire de façon stricte les domaines et les compétences mathématiques nécessaires pour résoudre un problème donné, pas davantage que l'ampleur des développements théoriques qui vont naître d'une application. L'ensemble du champ disciplinaire est nécessaire pour fournir le continuum de compétences qui permettra à la recherche mathématique de se mobiliser et de participer à la résolution des grands enjeux de société actuels. Face à la relative imprédictibilité des avancées de rupture, le développement du socle des connaissances doit donc être large. En contrepartie, la stratégie scientifique de long terme doit s'accompagner d'une méthodologie rigoureuse pour ne pas éparpiller les efforts et détecter les découvertes conceptuelles ou innovantes. Le but est la sélection des *bons* objets de recherche et la manière de les soutenir. Le point de comparaison est celui de la compétition internationale, et les critères essentiels sont la pertinence, l'émergence et la prise de risque, la construction de nouvelles communautés de recherche et de réseaux, les liens avec la formation et la diffusion des connaissances et les liens avec le tissu industriel et les entreprises.

Les grandes conjectures mathématiques (comme les défis du millénaire, les problèmes de Hilbert, les problèmes de Smale,...) sont des sources d'inspiration essentielles pour la recherche. Leur importance tient à leur capacité à unifier et structurer de vastes courants de pensée et à susciter des croisements inattendus entre des thématiques au départ éloignées. On les trouve notamment

- dans la géométrie algébrique au sens large, qui inclut des interfaces avec la logique, la théorie des nombres, la théorie des représentations, la combinatoire,
- dans les diverses théories topologiques et géométriques, Riemannienne (liaison avec la théorie de la relativité), hyperbolique (liaison avec les systèmes

- dynamiques), symplectique (liaison avec la mécanique Hamiltonienne), multifractale,...
- dans l'analyse des équations aux dérivées partielles et leurs innombrables applications à la physique mathématique et à l'étude des modèles issus des autres disciplines, dans l'analyse harmonique (liaison avec l'analyse du signal et de l'image), et en théorie du contrôle optimal,
 - dans le monde de l'aléatoire et de la modélisation stochastique (liens avec la gestion des risques et des incertitudes, la mécanique statistique, la théorie ergodique).

Les applications et les interactions avec la société, constituent l'autre source d'inspiration pour la recherche mathématique. Le développement très rapide des capacités de simulation et de calcul sur ordinateur contribue fortement à l'explosion des applications en rendant effectifs certains outils et modèles mathématiques, et suscite d'ailleurs de nouvelles questions, comme celles liées au HPC. L'utilisation de modèles mathématiques continue à se développer, touchant tous les domaines et tous les secteurs applicatifs comme il sera explicité ci-dessous. La recherche vise à la fois à répondre à des problèmes spécifiques mais aussi à proposer des traitements génériques à des catégories de problèmes venant de secteurs différents. Sont concernés par exemples des thématiques comme l'optimisation, le contrôle, la gestion des risques, la sûreté, la sécurité, l'analyse du signal et de l'image, les grandes masses de données, les modèles discrets, l'identification de paramètre, les problèmes inverses etc. Sont utilisés des outils déterministes, stochastiques ou statistiques, et très souvent maintenant, un mélange de ces techniques pour tenir compte de l'incertain, de la variabilité, des erreurs etc. A côté de secteurs plus traditionnels comme la physique et la mécanique sous leurs différentes formes ou l'économie et les sciences sociales, le secteur des sciences du vivant avec ses applications médicales, pharmaceutiques ou environnementales est devenu un champ où les mathématiques occupent maintenant une place importante.

1.2 La recherche fondamentale en Informatique

L'informatique, en lien étroit avec la recherche en mathématiques, joue un rôle central dans la conception, la simulation, la construction et l'analyse des objets matériels et immatériels modernes. De par son universalité, elle s'applique dans un nombre toujours croissant de domaines : industrie, transports, communication, médecine, biologie, formation, arts, etc. Des progrès conceptuels et techniques considérables restent à faire, qui ne pourront résulter que de l'intensification de la recherche fondamentale en bonne collaboration avec les applications. Cette intensification est indispensable pour deux raisons, la difficulté intrinsèque des questions posées et le passage aux très grandes échelles des problèmes modernes : calcul distribué à haute performance, traitement exact ou statistique d'immenses masses de données en réseau, organisation de très grands systèmes pour les transports, l'énergie, ou la gestion des villes, contrôle cohérent de l'ensemble des fonctions d'un avion ou d'une voiture pour leur conduite automatique, modélisations biologiques ou médicales à toutes les échelles, instrumentation scientifique devenue numérique, et partout sûreté et sécurité des systèmes. Tous ces domaines butent sur des problèmes fondamentaux d'algorithmique et de programmation. Les avancées les plus fortes y ont résulté d'idées et de résultats nouveaux développés par la recherche résolument fondamentale, ce qui ne veut pas dire éthérée et étanche aux applications.

Techniquement parlant, notre environnement numérique repose sur des algorithmes constamment améliorés : compression, traitement et analyse du texte, de l'image et du signal,

simulation numérique d'objets et phénomènes dynamiques, traitement d'objets géométriques complexes, apprentissage automatique fondés sur de grandes statistiques, routage dans les réseaux, etc. ; la réalisation informatique de ces algorithmes à grande échelle repose elle-même sur des méthodes scientifiques de programmation séquentielle ou parallèle, de vérification de sûreté des programmes critiques, de mécanisme de sécurité, etc. Il serait illusoire de penser que des avancées de cette ampleur pourraient résulter de commandes liées à des problèmes locaux ou de question sociétales posées à trop haut niveau. L'expérience montre qu'elles ne s'obtiennent qu'en approfondissant et élargissant le champ fondamental des méthodes scientifiques de l'informatique et de mathématiques appliquées, tout en les nourrissant des problèmes bien réels que rencontrent les acteurs économiques. Enfin, d'autres domaines fondamentaux aux applications potentielles considérables sont en train de s'ouvrir et doivent être nourris : nouvelle informatique du calcul approché fondée sur probabilités et statistiques, structures innovantes de machines quantiques ou biomimétiques pouvant profondément modifier la notion même de calcul, etc.

1.3 La recherche fondamentale en Automatique

L'automatique (*systems & control science*) est une discipline présente dans de très nombreux domaines d'application tels que les transports, la production de biens et services, l'énergie... Elle fournit les bases scientifiques et technologiques pour analyser et concevoir des systèmes (ou des systèmes de systèmes) évoluant de manière *dynamique* (au cours du temps), la rétroaction (*feedback*) jouant un rôle crucial : les actions tiennent compte des mesures, de la perception et de l'environnement. Cette discipline est indispensable pour modéliser, analyser, concevoir, simuler, optimiser, valider et vérifier des systèmes dynamiques technologiques et socio-technologiques en interconnexion croissante, avec un traitement d'énormes quantités de données et d'information, et avec de nouvelles formes de synergie entre humains et technologies. De plus, ces systèmes dynamiques complexes devront répondre à de plus en plus d'exigences sur les performances, la fiabilité et l'efficacité énergétique. L'automatique se décline autour d'une approche système qui s'appuie sur quatre points : 1) *modélisation et analyse* (l'hétérogénéité de ces modèles constitue un enjeu important, pour lequel de nouvelles passerelles sont nécessaires) ; 2) *chaîne de l'information* avec son triplet capteur-acquisition-conditionnement (les principaux problèmes concernent le bruit, le conditionnement en quantification/discrétisation, le diagnostic et la consommation énergétique) ; 3) *traitement de l'information* (le besoin est de prendre en compte l'hétérogénéité des informations dans leur nature et leur conditionnement) ; 4) *restitution de l'information* (les informations obtenues doivent alimenter un système expert d'aide à la décision qui permet à l'homme d'agir avec discernement sur la conduite du procédé).

1.4 La recherche fondamentale en Traitement du signal

La discipline du *traitement du signal* (signal numérique au sens large, multi-dimensionnel, multivarié) a pour objet de développer des méthodes, techniques et logiciels pour rendre opérationnels les systèmes d'acquisition, d'analyse et d'interprétation de ces signaux numériques. Centrale dans les Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, elle concerne, dans le monde numérique d'aujourd'hui, des signaux de nature très variée (optique, infrarouge, électromagnétique, son, acoustique, image, vidéo, radar, multi-hyper-spectral, IRM...) et impacte tous les grands domaines d'activités (santé, environnement, sécurité, télécommunications...).

Le traitement du signal et image rassemble plusieurs compétences, au confluent des mathématiques, de la physique et de l'informatique, indispensables pour traiter les grandes masses de données, de manière robuste vis-à-vis des phénomènes aléatoires et des incertitudes. Elle associe des notions de modèles, de représentations, de traitements, d'algorithmes, d'architectures et d'applications. Couvrant toute la chaîne allant du capteur à l'interprétation et la connaissance, le traitement de l'information (en général, comprenant le signal et l'image) va de la mise en forme et la restauration des signaux, à leur interprétation en passant par l'analyse, la détection d'information pertinente, la compression et le codage, la transmission, le stockage dans des bases de données structurées et permettant des recherches intelligentes, la production de données sémantiques. De plus en plus au cœur de systèmes complexes, le traitement de l'information est distribué et adaptatif. L'apprentissage et l'allocation de ressources y jouent aujourd'hui un rôle fondamental.

1.5 La recherche fondamentale en Micro/Nanoélectronique et Nanosciences pour le Numérique

Les micro-nanotechnologies combinées aux nano-sciences constituent le socle de base fondamental pour l'élaboration de nouveaux matériaux, dispositifs et systèmes toujours plus performants, grâce aux avantages de propriétés nouvelles (physiques, chimiques ou biologiques) liées à la réduction des dimensions des objets ou dispositifs, indispensables au déploiement des infrastructures de la société numérique. Les grands chantiers industriels et sociétaux (société de la connaissance, énergie-habitat-transport et environnement, santé et vieillissement...) apportent des contraintes fonctionnelles et non fonctionnelles très spécifiques, et c'est en pratique l'association de plusieurs technologies matérielles et logicielles avancées qui conduit à la solution gagnante permettant de créer un nouvel espace dans la chaîne de valeur grâce à une recherche intégrative.

Les principaux champs scientifiques des nanotechnologies et des nanosciences sont *la nanoélectronique, la nanophotonique, la spintronique, les technologies quantiques (ingénierie quantique)* s'appuyant sur de nouveaux effets physiques et de nouvelles technologies. Les grands enjeux relèvent de la miniaturisation, de la diversification fonctionnelle (« more than More »), de l'intégration hétérogène originale de nouvelles fonctions pour des microsystèmes ou systèmes compacts à fonctionnalités accrues, de l'après CMOS, des nanodispositifs et des technologies alternatives.

A un niveau secondaire et en les considérant plutôt comme des outils au service des principaux champs scientifiques précédemment rappelés, sont également concernés d'autres domaines tels que *les nanomatériaux* (nanoparticules, boîtes quantiques et nano-fils, matériaux nanostructurés...), *la nano-chimie* (nouveaux précurseurs & réactifs associés aux procédés de micro et nanofabrication, édifices supramoléculaires, biomimétisme, ...) ainsi que *les nano-biotechnologies* (édifices et procédés bio-inspirés, nano/microfluidique, les micro/nanocapteurs de détection et d'analyse, les nanovecteurs médicamenteux, la nanotoxicologie, les nanoparticules pour l'imagerie).

1.6 La formation en Informatique

Etant donné l'importance que prend l'informatique dans tous les métiers de l'industrie, des services, de la recherche, de la culture, etc., il est indispensable qu'elle soit bien utilisée et développée par et pour tous les acteurs. Or, quand on parle de formation pour le numérique,

on se limite souvent à la formation aux usages des matériels et logiciels informatiques divers. Cette approche est bien trop limitative, comme l'affirme le récent rapport de l'Académie des sciences, « Enseignement de l'informatique, il est urgent de ne plus attendre ». En effet, elle revient à dire que les acteurs se positionneront essentiellement en termes de consommateurs de ce qui est conçu et fabriqué ailleurs, à l'opposé de la position d'avenir au plan mondial qui est celle de créateur et d'inventeur. Comme dans toutes les disciplines, la généralisation d'un vrai enseignement de science informatique est indispensable pour atteindre cette position créatrice. Or, pour l'instant, l'informatique n'est enseignée que dans le supérieur, et est presque absente de l'enseignement général et peu présente dans la formation continue, devenue indispensable pour le développement personnel dans la plupart des métiers. Mais les choses bougent, avec en particulier la généralisation à toutes les terminales de l'enseignement optionnel « Informatique et sciences numériques » et l'introduction d'un enseignement de science informatique dans les classes préparatoires aux grandes écoles. Les curricula, manuels et situations expérimentales de ces enseignements ont été conçus en partenariat fructueux entre chercheurs des grands organismes, enseignants et inspecteurs généraux. Ce cercle vertueux associant enseignement et recherche devra s'élargir à l'enseignement à tous les âges, du primaire à la formation continue, et considéré comme un défi primordial pour l'avenir. Ces enseignements ne devront pas rester cloisonnés mais devront se coordonner avec ceux des autres disciplines scientifiques et littéraires, en particulier par le choix des exemples d'application. Mais il ne faudra pas céder à l'illusion que l'informatique peut être enseignée valablement à l'intérieur des autres disciplines (mathématiques, physiques, biologie, etc.), car, comme pour les mathématiques, la pensée et les techniques informatiques sont largement indépendantes de ces disciplines et non-réductible à elles.

2. Le défi des avancées technologiques

2.1 Les technologies logicielles

L'informatique se divise en matériel, le moteur, et logiciel, l'intelligence. La rigidité du matériel impose en effet que toute la souplesse des applications extraordinairement variées de l'informatique soit codée dans le logiciel. Mais une machine est l'inverse exact d'un homme : hyper-rapide, hyper-exacte, et sans aucune intuition. Ecrire un logiciel d'application, c'est donc transcrire nos idées souples dans le langage totalement rigide des machines. Les phases de développement et leur difficulté en découlent : écriture aussi précise que possible des spécifications au niveau conceptuel, utilisation de langages adaptés aux hommes pour programmer à haut niveau sur des machines variées, traduction de ces langages dans les langages bas-niveau des machines, vérification expérimentale ou formelle que les programmes font ce qu'on veut et ne font pas ce qu'on ne veut pas.

L'ensemble de ces activités se heurte à de grandes difficultés. L'immense variété des applications conduit à une large variété de langages et de styles. On ne programme pas de la même façon une application de gestion, une application Web ou smartphone, l'interrogation d'une base de données, une simulation numérique ou le pilotage d'un avion. L'introduction du parallélisme à grande échelle pose des problèmes de conception, de communication et de synchronisation bien plus complexes que ceux la programmation séquentielle classique. Les programmes deviennent gigantesques, mesurés en millions de ligne de code. Concevoir des architectures logicielles mêlant hiérarchiquement différents niveaux d'abstraction, ouvertes et évolutives, et les réaliser par compositions de composants et de services sont des enjeux essentiels. Gérer les codes sources et leur cycle de vie, de modification et de vérification permanentes est le sujet du génie logiciel. La notion de bug est tristement intrinsèque au grand écart homme / machine déjà mentionné, car nous ne savons pas encore éviter d'écrire faux à ce niveau de détail. Nous devons donc constamment améliorer les outils de débogage et de visualisation de l'exécution des applications. La difficulté et l'intensité des problèmes mentionnés demandent d'évoluer vers la conception formelle des programmes et vers la preuve formelle de leur correction et de leur sécurité, au moins pour les applications où la sécurité est un critère fondamental. Enfin, nos machines elles-mêmes demandent pour leur gestion propre et celle de leurs interfaces des logiciels extrêmement complexes et dur à vérifier et à prouver, avec lesquels nous devons nous interfacer.

Le champ technique du logiciel peut donc être résumé ainsi : langages de programmation et de spécification à divers niveaux d'abstraction ; styles et techniques d'architecture et de codage ; compilation optimisée des programmes entre langages de niveaux d'abstraction décroissants, jusqu'aux langages internes des machines séquentielles ou parallèles ; infrastructure logicielle d'exécution sur machines et réseaux réels ou virtuels ; support de débogage par analyse et visualisation de l'exécution ; outils d'analyse automatique de vérification de la sûreté des programmes (absence de bugs) et de leur sécurité (restriction d'accès, résistance aux intrusions). Tous ces sujets sont très loin d'être bouclés et demandent de continuer une recherche allant en continu du plus fondamental à la pratique de la programmation et du génie logiciel.

2.2 Les technologies matérielles

Les priorités de recherche qui sous-tendent le renouveau industriel concernent :

- La nanoélectronique, diffusante dans les micro et nanotechnologies, et à l'origine des principales ruptures impactant la société et l'économie dont le défi *Green IT* adressé par la filière FDSOI pour la réalisation de circuits électroniques performants et à basse consommation.
- Les circuits nanophotoniques permettant le transport optique de hauts flux de données, en intra ou inter-puces, et l'intégration de fonctions plus complexes et de nouvelles architectures de traitement combinant silicium/matériaux III-V et photonique. L'efficacité énergétique est un enjeu pour les systèmes de transmissions optiques (domestique, accès, cœur).
- Les capteurs dont les imageurs, combinant nanoélectronique et nanophotonique, et les actionneurs, à la base des interfaces avec le monde réel et la personne qui sont à l'origine de produits nouveaux dans de nombreuses PME et startups dans ce domaine générateur d'emplois et de services nouveaux.

Ces priorités s'articuleront sur les briques critiques que représentent : l'intégration hétérogène 3D, le co-design, la caractérisation, la modélisation et le test.

- le dispositif Carnot en support à la recherche technologique et partenariale, en particulier au sein de filières d'avenir et de plateformes ouvertes doit être renforcé.
- Un programme spécifique de soutien aux équipements « mi-lourd » (RTB, I2N) ciblés sur les verrous technologiques, mutualisés au sein de plateformes en réseau.

2.3 Les technologies de communication

La France se doit de rattraper le train du « cloud » et de se positionner en leader de l'écosystème en construction tendant à soutenir l'innovation jointe entre les industries du numérique et les industries verticales, source majeure de création de valeur dans la prochaine décennie. Dans ce contexte général, les réseaux doivent se transformer pour faire partie intégrante d'une infrastructure numérique associant des capacités de communications, de traitement et de stockage. Ils devront permettre le passage à l'échelle en termes de capacité, mais devront surtout montrer leur aptitude à faciliter les évolutions des services à travers d'une meilleure intégration technologique de la chaîne de valeur, à supporter le passage à l'échelle du nombre de dispositifs connectés et l'automatisation des processus opérationnels. Les futurs réseaux mobiles représentent un maillon indispensable pour rendre possible les évolutions prévues. La France doit avoir une présence forte dans les initiatives européennes sur la 5G. Les architectures convergentes et programmables basées sur des infrastructures virtualisées, apporteront la flexibilité requise. Il est ici indispensable de concevoir des solutions tendant à une meilleure intégration à la fois verticale du Cloud et du réseau et horizontale des réseaux opérés et des intranets des objets. Ces architectures devront intégrer les terminaux et les dispositifs personnels qui feront partie intégrale des solutions de Cloud du futur, notamment en tant que passerelles entre objets communicants, Intranets des objets et infrastructures. Les intranet / Internet des Objets, et leur intégration technologique dans la chaîne de valeur des services de demain, pour le support d'applications transversales à diverses industries (i.e. énergie, transport, bâtiment...), constituent les facteurs clés du potentiel d'innovation des TICs. La fédération d'architectures et d'acteurs hétérogènes permettra un meilleur positionnement dans le marché global des systèmes numériques de demain. Les réseaux centrés contenus assurant l'intégration verticale des solutions réseaux, du Cloud Computing, de la gestion et traitement des contenus, permettront de faire face à l'explosion des contenus en termes de volume mais également en termes de diversité (notamment celle induite par l'Internet des Objets). L'automatisation des processus opérationnels permettra la facilité d'usage et la maîtrise de la complexité indispensables au

succès des services de demain. La prise en compte des aspects technico-économiques (interconnexion, neutralité, etc.), d'empreinte écologique, réglementaires et normatifs requiert des solutions techniques spécifiques, notamment de mesure et de contrôle. La prise en compte de l'évolution des usages et des modèles économiques, ainsi que l'implication des usagers en tant que fournisseurs de contenu, d'applications voire de ressources, mènera à des solutions créatrices de valeur. L'amélioration des technologies, composants et systèmes permettant la montée en débit des transmissions sur fibre optique, notamment dans les réseaux d'accès, est incontournable. La conception, le développement et la mise à disposition d'outils et infrastructures d'expérimentation, d'évaluation et de validation, notamment pour des expérimentations intégrant des mesures à grande échelle, représentent un outil essentiel à la prise d'une position forte. De manière orthogonale à ces priorités, des challenges de recherche fondamentale devront être levés. Nous pouvons citer : auto-organisation, auto-adaptation, tolérance aux pannes, optimisation, métrologie, théorie des réseaux, théorie des communications (incluant l'unification théorie de l'information et trafic), nouveaux modèles économiques et énergétiques, gestion du risque, sûreté de fonctionnement ainsi que les outils de modélisation de vérification, d'exploitation et de supervision. La modélisation des composants, des équipements, des architectures, mais également des environnements de déploiement, représentent un atout majeur pour la conception de systèmes performants et adaptés aux besoins des usagers.

3. Les grands domaines prioritaires

3.1 Formation numérique de masse

L'éducation et la formation tout au long de la vie seront désormais organisées autour de plateformes spécialisées qui assureront la médiation entre l'enseignant et l'apprenant, en faisant notamment intervenir le réel et le virtuel, en utilisant des supports multimédia et en s'appuyant sur des modalités d'interaction nouvelles : réseaux sociaux, simulations de type jeux sérieux... Le contexte de concurrence internationale entre organismes de formation encourage une dynamique de diffusion large des contenus pédagogiques, motivée par des stratégies de marques d'établissement et la définition de nouveaux modèles économiques dans l'enseignement. Les défis en formation sont de quatre ordres : **technologique** (développement et déploiement de plateformes, gestion de contenus, interfaces multimodales), **méthodologique** (ingénierie pédagogique, conception de contenus, évaluation des acquis), **économique** (coût, retour sur investissement), et **sociétal** (droit d'accès au savoir, valorisation individuelle, veille scientifique et technique).

Nos recommandations s'articulent autour des principaux défis dégagés précédemment.

En enseignement du numérique : Faire de la maîtrise du numérique et de l'informatique un enjeu majeur de la formation dès le plus jeune âge, au même titre que lire, écrire et compter ; Développer une culture du numérique chez les enseignants, allant au-delà de l'usage des outils, pour permettre aux étudiants d'apprécier toute la complexité et les enjeux liés à l'informatique et aux nouvelles technologies.

Technologie et plateformes : Développer une expertise forte autour d'une ou deux plateformes open-source adaptées aux formations numériques de masse (MOOCs), en prenant notamment en compte la mobilité. Développer une stratégie de déploiement de ces plateformes sur les différents territoires académiques (formation de base, formation par alternance, et formation universitaire) et dans les entreprises (formation continue, entraînement intensifs, ...)

En ingénierie pédagogique : Remettre au centre de l'e-Education l'ingénierie pédagogique comme une méthode intégrative de compétences interdisciplinaires, dans le but de revisiter les cursus pédagogiques et d'en inventer de nouvelles formes d'acquisition du savoir, notamment ludiques et personnalisables en fonction des usages.

En gestion des contenus : Développer des contenus pédagogiques de grande qualité exploitant des fonctionnalités multimédia interactives engageantes, et offrant une indexation intelligente permettant à l'élève une découverte ou une navigation aisée dans les contenus. Mettre en réseau les contenus pour capitaliser des compétences complémentaires de plusieurs établissements publics.

Modèle économique : A court terme, investir dans le marché des MOOCs pour que la visibilité des formations françaises ne soit noyée dans l'offre américaine, elle-même déjà très conséquente en ligne. Prendre en compte les coûts spécifiques de création des MOOCs, plus élevés que ceux d'un cours traditionnel et développer un modèle économique pérenne grâce aux certifications et diplômes en ligne, aux produits dérivés (livres, eBooks...), au sponsoring et à la mise en relation entre étudiants et recruteurs. Faire évoluer la réglementation des OPCA pour permettre l'expansion au sein des entreprises de la formation tout au long de la vie et de la reconversion thématiques des personnels.

3.2 Traitement des données massives, Connaissances, Décision, Calcul Haute Performance, et Simulation Numérique

Dans de très nombreux domaines scientifiques et socio-économiques (sciences fondamentales, économie numérique, informatique décisionnelle, environnement, sécurité, industrie...), l'exploitation des grands volumes de données maintenant disponibles et l'utilisation des capacités de calcul HPC a produit une *révolution des données* offrant de multiples opportunités de croissance et de créations d'emploi. Pour saisir ces opportunités, il faut relever quatre grands défis :

Capacité à déployer des chaînes de valorisation de la donnée de bout en bout : collecte et intégration sémantique de données multi-sources et incomplètes ; automatisation de l'extraction des connaissances, des référentiels et des ontologies de domaines ; stockage en bases NoSQL, colonnes ou graphes et dans le Cloud ; nouvelles méthodes d'analyse hyper-parallèles ; sécurité des infrastructures matérielles et logicielles ; chaînes de traitement intégré pour l'usine numérique (PLM) ; protection de la vie privée et confiance de l'utilisateur.

Capacité à inter-opérer les domaines (données, extraction des connaissances, aide à la décision, HPC et simulation) : développement d'infrastructures de calcul haute performance et de stockage massif en nuage permettant le passage à l'échelle ; déploiement à grande échelle des outils d'analyse de données (statistiques, data mining, text mining, visualisation) ; pilotage des systèmes complexes ; couplage des approches par données (big data) et par modèles physiques et multi-physiques (simulation) ; nouvelles méthodes mathématiques imaginées au plus près des applications ; proposition de plateformes pour l'expérimentation et les tests, accessibles aux équipes de recherche et aux entreprises.

Extreme scale computing : le calcul extrême représente un défi technologique majeur. Il s'agit d'apporter des solutions tant du point de vue des logiciels que des technologies matérielles afin de concilier parallélisme massif, efficacité énergétique et tolérance aux fautes. Ces recherches doivent être conduites dans le cadre d'une coopération européenne impliquant les acteurs de la recherche, les constructeurs (via ETP4HPC) et en coordination avec PRACE en charge des « infrastructures de calcul », tout en préparant le développement des applications qui s'exécuteront sur ces nouvelles architectures.

Passage à l'échelle : l'évolution vers les technologies du calcul massivement parallèle impose une rupture dans l'ensemble des méthodes de modélisation et de simulation numériques pour un passage à l'échelle des algorithmes et des applications. La prise en compte des processeurs many-cores et accélérateurs doit être intégrée dès la conception des méthodes pour prendre en compte la hiérarchie de parallélisme et la gestion des données.

Les approches devront être multi-disciplinaires (informaticien, analyste, data scientist, mathématicien, statisticien) et faire émerger une communauté interdisciplinaire autour de la science des données.

3.3 Interactions des mondes physiques, de l'humain et du monde numérique

Pour les près de 3 milliards de personnes qui ont accès à Internet, le monde numérique est d'abord l'interface utilisateur des dispositifs, applications et services qu'ils utilisent.

Améliorer l'interaction avec le monde numérique, concevoir de nouveaux objets et services interactifs, créer de meilleurs outils de développement de ces systèmes sont des enjeux majeurs qui nécessitent d'intégrer l'utilisateur dès la phase de conception et de prendre en compte la dimension pluridisciplinaire de l'Interaction Homme-Machine dans toute la filière de création des futurs produits numériques : recherche, formation, production. C'est au prix de ce défi, et particulièrement du renforcement des liens entre science, technologie et design que les avancées de la recherche auront l'impact le plus fort : interfaces multimodales mêlant geste, parole, capture du contexte et de l'état psycho-physiologique de l'utilisateur ; hybridation entre le monde réel et le monde numérique brouillant les frontières entre objets physiques et virtuels ; services collaboratifs permettant de capitaliser l'intelligence collective, de la petite équipe à la collectivité toute entière ; robotique professionnelle et de compagnie au service d'un nombre croissant de tâches quotidiennes. Ces développements devront à leur tour reposer sur une approche centrée utilisateur dès la conception, sur un accès de plus en plus ouvert au Big Data et une interopérabilité croissante des infrastructures numériques, sur la prise en compte des questions de sécurité et de vie privée du point de vue des utilisateurs, sur le développement de nouveaux modèles de production, de l'usine numérique au FabLab agile, et sur la co-conception matériel-logiciel, au service de l'Internet des Objets et des futurs objets interactifs. En résumé, il s'agit de former les *designers d'interaction* qui seront demain les vecteurs de l'accès du plus grand nombre au monde numérique.

3.4 Sécurité de la Société Numérique

L'ensemble des activités humaines est numérisé ou en cours de l'être. La sécurité de la société numérique qui en découle est essentielle à sa stabilité, son équité et son sens même. Il en résulte un certain nombre de priorités majeures et défis scientifiques pour la Stratégie Nationale de Recherche.

Protection des infrastructures critiques

Développer l'ensemble des constituants logiciels et matériels des infrastructures incluant la détection d'intrusion, la sécurité et la supervision des réseaux physiques ou virtuels y compris industriels, de manière à mettre en œuvre des d'ERP de sécurité complets, distribués, résilients et dotés de capacités d'auto-apprentissage.

Cyber-sécurité et stratégies associées

Assurer les fondements scientifiques de la cyber-sécurité par des recherches multidisciplinaires en géostratégie, SHS, e-gouvernement, nouvelles technologies numériques (big-data, serious games, réseaux sociaux) ; recherche et développement en virus, logiciels espions, rootkits, etc, notamment en termes de capacités d'analyse et de rétro-ingénierie. Utilisation généralisée du concept de « Trusted Secure Computing ».

Sécurité du Cloud ; Sécurité des données externalisées

Développer les capacités de sécurité de contenus et processus distribués à large échelle, intégrant des capacités de cryptologie homomorphe et de traitements de type Big Data. Prendre en compte la protection des mineurs et personnes fragiles.

Sécurité des contenus culturels

Permettre des accès raisonnés aux contenus culturels numériques basés sur des modèles économiques ou de diffusion novateurs et non discriminants.

Protection de la vie privée

Prendre en compte la prolifération des données, la géolocalisation des personnes et des « assets », les problèmes d'analyse statistique associés, le droit à l'oubli, les techniques d'anonymisation. Elaborer les architectures découlant du futur contexte réglementaire Européen sur le nouveau contexte numérique (« Privacy by Design »).

Sécurité des systèmes d'identification

Développer les moyens d'authentification, de signature unique, de fédération d'identités, de gestion du cycle de vie des rôles et des droits, de politiques de sécurité adaptées à l'internet des objets et à la mobilité (en particulier les problèmes de bootstrap et d'administration à distance).

Sécurité des composants et circuits

Prendre en compte dès la conception des composants matériels ou logiciels leur sécurité et leur rétro-ingénierie possible. Développer l'étude et la maîtrise des canaux cachés et des signaux faibles.

Vérification et résilience des systèmes à logiciels prépondérants

Développer les méthodes formelles permettant la preuve, la vérification ou le test des propriétés de sécurité prenant en compte des modèles d'attaques complexes et a priori inconnus, combinant les niveaux matériels et logiciels.

Cryptographie quantique et post-quantique

Développer les techniques de communication quantique à des fins sécuritaire. Développer de nouvelles techniques cryptographiques résistantes aux moyens de calcul quantique émergents.

4. Le Numérique et les défis sociétaux

4.1 Le Numérique pour le renouveau industriel

Les technologies numériques peuvent avoir un impact profond sur le renouveau industriel. Un certain nombre d'actions sont présentées dans cette synthèse et sont développées dans la suite du document.

Le renouveau industriel doit s'ancrer à la fois dans les entreprises françaises leaders dans leur domaine et dans les écosystèmes d'innovation de taille critique permettant de faire surgir l'innovation en jouant sur la co-construction design-technologies et sur la combinaison des technologies, en maintenant une exploration multidisciplinaire en amont. Les stimuli de ce renouveau passent par des évolutions fortes dans les technologies de fabrication et de conception (lignes pilotes, design centers), dans les composants et les systèmes, et dans la mise en place ou le maintien à niveau d'infrastructures.

Le renouveau industriel nécessite de s'appuyer en amont sur un système cohérent et performant de recherche et de développement, doté de plateformes technologiques coordonnées capables de tester de nouveaux design kits sur des technologies de rupture stabilisées, de répondre aux demandes variées de petites séries de démonstrateurs technologiques provenant des PME et TPE, et de réaliser de façon rapide et flexible le passage à l'échelle des démonstrateurs de preuves de concept issus des laboratoires amont. Les Instituts Carnot du numérique qui ont démontré leur efficacité en matière de recherche partenariale doivent s'organiser en ce sens, en renforçant leur performance de valorisation et leur effet d'entraînement du système public de recherche. L'écosystème national constitué autour des Pôles de Compétitivité TIC mondiaux et à vocation Mondiale, fédérant l'ensemble des acteurs de la chaîne devrait représenter le principal moteur de cette évolution.

Pour stimuler à moyen terme le renouveau industriel il convient de développer les liens entre informatique, électronique embarquée, traitement du signal et de l'image, mécatronique, sciences humaines et design en créant des équipes réellement interdisciplinaires, à tous les niveaux : dans les laboratoires de recherche, dans des structures telles que les IRTs ou les laboratoires communs recherche-industrie, et dans les centres de R&D industrielle. Le développement des approches agiles mêlant développement matériel et logiciel mais aussi usages et technologies afin de mieux répondre aux besoins des utilisateurs vont conduire à la création de nouveaux produits. L'avènement des ateliers de fabrication numérique (*FabLabs*) change radicalement le coût d'entrée pour développer de nouveaux produits. Ceux-ci peuvent être conçus, prototypés et testés pour une fraction du coût qu'il aurait fallu payer il y a quelques années. Développer de tels ateliers dans des structures coopératives (*Maker Movement* aux Etats-Unis), ou sous d'autres formes, permettra de stimuler l'entrepreneuriat et l'émergence de start-ups innovantes. Leur succès est également lié au développement de plateformes de *crowdfunding*, capables de démontrer rapidement l'existence (ou l'absence !) d'un marché.

Il convient aussi de stimuler les développements des technologies matérielles et logicielles adaptées aux réseaux de capteurs distribués et à l'internet des objets, notamment sur la gestion de l'énergie, le packaging et l'intégration dans les matériaux, la reconfiguration matérielle et logicielle. Enfin la nature diffuse des recherches et des technologies robotique en fait aussi un enjeu important dans plusieurs secteurs industriels, de la fabrication manufacturière, au

développement de la voiture intelligente dont on anticipe l'arrivée sur le marché dans une dizaine d'années, en passant par la robotique domestique, grand public et d'assistance.

Le développement d'une industrie nationale de la sécurité autour des thèmes de l'Internet des Objets et du Cloud Computing seuls devrait pouvoir représenter un potentiel de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers d'emplois à l'horizon 2024. A titre de comparaison, la seule industrie de la carte à Puce a créé 14 000 emplois en Europe (directs et indirects, principalement en France et Allemagne) sur la dernière décennie.

Au niveau des composants, le maintien et le développement de la capacité de conception et de production en France de circuits intégrés sur les filières de nanoélectronique les plus avancées (CMOS FdSOI, mémoires et circuits photoniques embarqués) constitue un enjeu industriel majeur. A titre de référence, le développement industriel de nanoélectronique sur le site de Grenoble-Crolles a créé dans la dernière décennie 6000 emplois directs en France, 2000 emplois indirects et 9000 emplois induits, soit 17000 au total.

Les industries de la qualité de vie constituent aussi un secteur stratégique dont le poids économique et le potentiel de croissance sont considérables. La « santé et l'économie du vivant » a été identifié comme l'une des trois priorités techniques et industrielles du rapport « Pacte pour la compétitivité de l'industrie française » de Louis Gallois en novembre 2012. Mais il faut également y ajouter les industries du bien-être, associées à une évolution sociétale vers une prise en charge plus active par l'individu de la préservation de sa santé.

Avec l'essor de l'internet des objets et le développement de la ville intelligente dans toutes ses composantes (transport, énergie, sécurité, logement, éducation, culture, santé, communication, loisir), le numérique va jouer un rôle considérable en se concevant comme le système nerveux de la cité de demain. Parmi les axes d'innovation potentiellement porteurs d'emploi, on peut citer notamment les réseaux de capteurs (y compris sur soi – le « wearable » embarqué dans les vêtements ou dans d'autres accessoires), les architectures M2M, l'accès pervasif, les « smart grids », les services web.

Les applications des technologies de l'information et de la communication au service de la personne représentent un enjeu économique et social considérable, en termes de réduction des coûts liés à la santé, mais également en termes de créations d'entreprises et d'emplois. Enfin, dans le marché de la télémédecine et de l'e-santé, encore naissant, le numérique apportera une contribution incontournable pour le maintien en autonomie de la personne et/ou du patient, l'accès aux services distants et la gestion de l'information patient-aidant-soignant.

4.2 Le numérique au service de la qualité de vie

Le numérique prend une place de plus en plus prépondérante dans la vie quotidienne, investissant à la fois les sphères privée, professionnelle, intime et sociale. Un enjeu essentiel est donc d'en faire un outil au service de la qualité de vie. Dans cette perspective, quatre domaines peuvent être considérés comme prioritaires : (1) santé, longévité et autonomie, (2) villes intelligentes, mobilité et transports, (3) sphère professionnelle et (4) liens sociaux.

Dans le domaine de la télémédecine et de l'e-santé, domaines où des briques technologiques sont aujourd'hui matures, tout doit être fait en matière de recherche et de développement pour que l'allongement de la durée de vie, les maladies chroniques et la vie dans des zones

faiblement urbanisées, ne soient pas une source de mise en situation de handicap. Le numérique jouera alors un rôle incontournable dans le développement de technologies permettant (1) la télésurveillance de l'état de santé de la personne et/ou du patient et son maintien en autonomie, (2) l'accès aux services distants et (3) la gestion de l'information patient-aidant-soignant. A travers les dossiers médicaux électroniques, auxquels pourront être reliées l'ensemble des analyses biologiques et d'imagerie, se développera une autre façon d'appréhender le diagnostic, la prise de décision et la délivrance de thérapies. Les enjeux globaux de l'e-santé seront donc de réussir, avec le soutien actif des professionnels de santé, une adaptation majeure de l'offre de soins qui conforte la confiance du patient dans les nouveaux dispositifs et en assure ainsi leur acceptabilité.

Les recherches devront également être renforcées dans le domaine des assistants virtuels intelligents et celui de la robotique cognitive communicante (notamment dans la sphère domestique), visant l'un et l'autre des interactions de plus en plus naturelles avec l'humain pour l'accomplissement de tâches de la vie quotidienne. De façon connexe, la modélisation numérique de mécanismes cognitifs et psychologiques constitue un champ de recherche pluridisciplinaire en rupture, alliant les sciences du numérique, les sciences du vivant et les sciences humaines et sociales. Par ailleurs, le couplage de modèles physiologiques, psychologiques et sociologiques sera également porteur de problématiques de recherche visant à mieux comprendre la notion de bien-être.

Avec le développement des villes numériques durables et l'essor de l'internet des objets (y compris portés sur soi – les « vêtements communicantes »), le numérique se concevra comme le système nerveux de la cité de demain. Des métriques permettant d'apprécier le niveau de qualité de vie, à la fois dans les phases de la vie quotidienne et sur le long cours, devront devenir des contraintes à prendre en compte en amont dans la conception des technologies et des services. Dans le domaine de la mobilité et des transports, les plateformes numériques d'aide à la décision devront permettre d'optimiser la fluidité du trafic et la gestion des ressources. Les systèmes d'informations multimodales regroupant l'ensemble des caractéristiques des modes de transport favoriseront l'amélioration de la qualité de vie durant les phases de mobilité et pourront permettre de transformer les phases de latence en phase d'activité

Dans la sphère professionnelle, le numérique devra contribuer à favoriser une meilleure qualité de vie, à la fois au travail et dans la continuité entre les sphères privée et professionnelle. Des préoccupations sous-jacentes à cette évolution positive devront être : (i) la protection de l'individu de la permanence du lien numérique avec son écosystème professionnel ; (ii) la préservation de son « intimité » au sein-même de son univers professionnel et (iii) la sécurité de ses données personnelles, les réseaux sociaux étant devenus également une source d'information sur les individus pour leurs parties prenantes professionnelles (recrutement, suivi de carrière,...).

Dans le domaine des relations humaines, le numérique devient générateur de lien social. Les réseaux sociaux virtuels prennent une place grandissante dans la vie quotidienne des individus. Dans le domaine professionnel, ils favorisent la prospection pour les personnes en recherche d'emploi et la mise en relation entre employeur et employé potentiels. Par ailleurs, de nouveaux modèles de transactions soutenus par le numérique et basés sur l'échange de bien matériels et immatériels, se mettent en place au niveau mondial. Dans le domaine de la santé et du bien-être, les fora de patients et de leurs entourages viennent relayer la relation interpersonnelle praticien – patient. Une opportunité pour la France serait de stimuler et de

soutenir en termes de recherche une politique nationale, européenne voire internationale, de protection des données personnelles numériques, étape incontournable dans l'élaboration d'indicateurs d'amélioration de la qualité de vie (préservation de la vie privée, droit à l'oubli,..).

4.3 Numérique et Santé/Bien-être (texte commun avec Aviesan)

Les sciences et technologies du numérique jouent un rôle de plus en plus important dans tous les domaines de la Biologie et de la Santé en apportant des concepts, des méthodes et des outils indispensables à la recherche comme à la clinique, contribuant ainsi à l'amélioration de notre qualité de vie. Elles sont au cœur de la recherche clinique et translationnelle, car elles permettent de transformer des hypothèses cliniques ou épidémiologiques en questions de recueil, de structuration et d'interprétation de données. Elles sont également essentielles à la recherche fondamentale en sciences du vivant, car elles permettent notamment aux biologistes et aux médecins d'obtenir, de structurer et d'exploiter de très grands volumes de données multi-échelles qui permettent d'alimenter des modèles de plus en plus détaillés des phénomènes complexes du vivant. Enfin, par le développement d'objets communicants, implantés ou non, elles permettent une meilleure prise en charge thérapeutique ou une assistance plus efficace aux personnes en perte d'autonomie.

Les termes Santé et Bien-être doivent être considérés ici dans une perspective globale et dynamique, depuis l'individu jusqu'aux populations socialisées, leurs interactions et leur environnement, dans laquelle les sciences du numérique jouent un rôle intégratif majeur, en fournissant un continuum de modèles et d'outils permettant :

- de capturer l'information (recueil de données, capteurs)
- de formaliser les raisonnements nécessaires à son interprétation et à la compréhension des phénomènes sous-jacents
- de prendre les décisions les mieux adaptées et de les mettre en œuvre (traitements, effecteurs robotisés)

Par ailleurs, les activités à l'interface Numérique/Santé sont potentiellement créatrices d'activités économiques nouvelles et d'emplois que ce soit au travers de produits technologiques (logiciels, capteurs, robots) ou de services (centre intégrés de traitement de données, télé Santé).

Les principaux enjeux et défis qui découlent de la perspective précédente sont :

- Systèmes d'information pour le traitement et l'analyse des grandes masses de données biomédicales
- Modélisation et simulation du vivant
- Capteurs et technologies du numérique pour l'aide au patient ou à la personne en perte d'autonomie

Nous émettons six recommandations, basées sur l'identification des enjeux et des verrous conceptuels et technologiques.

• **Amplifier le décloisonnement des communautés** en favorisant les projets et structures de recherche fortement pluridisciplinaires. Il convient d'amplifier le dialogue entre (bio)-informaticiens, biologistes, médecins, spécialistes des sciences humaines et sociales, afin de prendre en compte la dimension numérique sur l'ensemble de la chaîne, c'est à dire depuis la définition des objectifs biologiques ou de santé, l'acquisition et le stockage des données jusqu'à leur analyse *in fine* et leur intégration dans des modèles ou des dispositifs médicaux.

L'utilisation rationnelle de ces données ne pourra se faire que dans un processus de «co-construction» des expériences, des diagnostics, des protocoles de traitement entre tous les acteurs de la chaîne.

- **Favoriser le développement de la recherche translationnelle** – visant à traduire les connaissances issues de la recherche fondamentale en développement clinique ou à contribuer à la production de questions scientifiques à partir d'observations cliniques – en renforçant les dispositifs qui existent déjà tels que les CIC-IT, les programmes partenariaux comme le Programme ANR TECSAN et le Programme de Recherche Translationnelle en Santé, et en encourageant les projets alliant un triple partenariat fondamental – clinique – industriel. Il est, par ailleurs, important de reconnaître l'investissement des scientifiques vers la clinique en s'appuyant sur des outils comme les Contrats Hospitaliers de Recherche Translationnelle.
- **Accélérer la mise en place de grandes bases de données médicales** incorporant l'ensemble des données hétérogènes recueillies lors de la prise en charge des patients à l'hôpital ou dans le cadre de la médecine libérale dans des conditions qui les rendent interopérables (interopérabilité informatique mais aussi et surtout sémantique). C'est un énorme défi en termes administratif et organisationnel mais ce sera une source d'information essentielle permettant d'améliorer la veille sanitaire et la démonstration du service médical rendu.
- **Favoriser le développement de produits et de services sur des secteurs ciblés** et potentiellement créateurs d'emploi de service tels que la **télé-santé**, l'aide à la personne et le maintien à domicile. Ces applications des technologies du numérique constituent un secteur émergent qui intéresse un grand nombre d'acteurs économiques (industries spécialisées ou généralistes, prestataires de services ou encore du secteur assurantiel) qui ne partagent pas la même vision, les mêmes pratiques et langages. Pour faire émerger une activité économique significative, il convient de favoriser la convergence de la filière avec son marché final. Ceci implique d'abord d'aboutir à une parfaite identification des besoins des utilisateurs professionnels ou usagers/patients en encourageant les démarches associant les usagers des services de télésanté à la co-conception et à l'évaluation des nouveaux services (par exemple living-labs). Il convient également de clarifier les rôles respectifs des différentes collectivités territoriales en la matière, pour permettre l'émergence d'un marché aux règles claires et pérennes de financement par la collectivité et les particuliers. Enfin, il faut permettre le déploiement à grande échelle (territoire national) de projets qui sont arrivés à un stade de développement avancé dans des conditions qui permettent de définir un modèle économique pérenne (prévoyant notamment les modalités d'un remboursement par l'assurance maladie).
- **Favoriser l'émergence de dispositifs médicaux « intelligents »**, capables de capturer d'une manière aussi furtive que possible l'information, de la traiter (pour partie *in-situ*), de la communiquer à d'autres dispositifs, et de la restituer au médecin. Il s'agit à la fois de dispositifs déployés à l'hôpital ou chez le patient, externes ou implantés dans le corps humain. Le marché des dispositifs médicaux est considérable, l'enjeu est de créer des emplois de très haut niveau de technicité pour contribuer à réduire le déficit de la France en matière de dispositifs médicaux.
- **Reconnaitre l'interface Numérique-Biologie-Santé dans les formations académiques.** Au niveau des formations fondamentales (déploiement de filières pluri-disciplinaires en biologie, maths, informatique) ou médicales (aller vers une spécialité de «médecine

numérique», en exploitant, par exemple, le potentiel représenté par les étudiants de la passerelle «ingénieur-médecin»).

4.4 Numérique et Environnement (texte commun avec Allenvi)

Les sciences du numérique jouent un rôle central dans les avancées scientifiques de toutes les autres disciplines, notamment les sciences de l'environnement. La problématique environnementale au sens large requiert l'intégration de données et de modèles issus de disciplines différentes, ayant chacune leurs logiques et cohérences propres. Cette multiplicité des acteurs nécessite donc de pouvoir pratiquer une réelle interopérabilité (au sens de l'aptitude à coopérer) au niveau des données, des outils et même des infrastructures. Les secteurs qui impacteront monde numérique et environnement sont : le calcul haute performance permettant le passage à l'échelle, la mise en place de méthodes novatrices en modélisation, la réduction pertinente entre modèles, l'analyse multi-échelles de modèles, la conception de méthodes d'assimilation de données et leur exploitation, le développement de modèles et simulations stochastiques, le traitement au capteur indispensable pour la compréhension des phénomènes complexes en science de l'environnement. Le volume des données à traiter sera également en très forte croissance, leur diversité, leur hétérogénéité, leur non-localité, la multitude des acteurs qui les produisent et leur éventuelle confidentialité rendent indispensable la mise sur pied d'une algorithmique performante décentralisée et répartie et/ou embarquée pour être au plus proche des enjeux environnementaux. Ces secteurs sont créateurs d'emploi que ce soit dans le cœur d'activité d'allistene, ou dans ses volets diffusants impliquant notamment les domaines d'Allenvi.

Les sciences et technologies de l'information et de la communication doivent être en pointe dans l'innovation environnementale car l'urgence environnementale et les écotechnologies est une problématique mondiale correspondant à un des axes de la stratégie nationale de la recherche et d'innovation. Elles doivent elles-mêmes veiller à limiter leurs propres impacts écologiques sur l'ensemble de leur cycle de vie. Les objectifs voulus sont nombreux et ambitieux. Comprendre, prédire, anticiper l'évolution de climats, de la biodiversité, développer les écotechnologies à faible impact environnemental, valoriser durablement les territoires. Contribuer à rendre l'environnement plus sûr en surveillant les grands cycles vitaux pour l'humanité (eau, climat, air) doit se faire par des nouvelles technologies d'observation et par une approche multi-pluridisciplinaire innovante entre Environnement et STIC, aussi bien au niveau de la formation (dans tous les cycles, primaire, secondaire, supérieur) qu'au niveau de la recherche et du développement technologique. Les acteurs de demain ne sont pas suffisamment formés à cette pluridisciplinarité. Des thèmes doivent émerger plus radicalement tels que la surveillance de l'eau, de l'air dans l'environnement, la définition d'indicateurs calculables utilisables et imposés par les décrets (par exemple en termes de perméabilité des sols, d'impact acoustique sous marins notamment, d'efficacité énergétique, de respect de la biodiversité), les développements de capteurs innovants, l'optimisation des réseaux de capteurs, les technologies de l'information et de la communication pour le diagnostic et le monitoring (électronique, modélisation, traitement du signal), la modélisation et l'évaluation des cycles vitaux, le management, l'aide à la décision, le stockage et l'exploitation par diverses communautés des masses de données.

Enjeux et verrous. Le premier verrou rencontré dans la pratique des études environnementales est l'accès et la qualification des données. Le traitement de ces masses de données pose des challenges considérables. Les flux et masses de données sont hétérogènes,

reflétant la diversité des capteurs, des méthodes d'acquisition et d'échantillonnage, de codage et de représentation et aussi simplement de la diversité des disciplines impliquées. Les données sont complexes, souvent associées à de multiples modalités de mesures physiques correspondant à différentes échelles de temps et/ou de résolution spatiale impliquant de très fortes interactions, des non linéarités et autres complexités des systèmes étudiés.

De ce fait, ces données recouvrent un très large ensemble de disciplines intégrées (sciences de la terre, des enveloppes et de l'environnement, chimie, biogéochimie, physico-chimie des matériaux, écologie, sciences agronomiques, sciences humaines et sociales, génétique, génomique et bio-informatique, mathématiques appliquées,) et de moyens pour les mettre en œuvre (observation, surveillance et mémoire de l'environnement, expérimentations à différentes échelles, traitement, modélisation et simulation numérique). Dès lors, un défi important est d'une part, la gestion et l'assimilation d'une masse importante de données pour les valoriser dans des modélisations adaptées aux objectifs, impliquant l'étude de phénomènes et d'interactions variés (souvent couplés) sur des échelles d'espace contrastées (du microscopique au pluri-kilométrique) et avec des constantes de temps multiples (de l'heure jusqu'à la centaine de milliers d'années).

La prise en compte des enjeux de *privacy* et d'écoconception sera déterminante dans le succès des solutions proposées, notamment dans la perspective du renforcement d'un secteur d'écoTIC en France (« green IT »). Un autre enjeu croissant lié aux open data et aux données issues du crowd sourcing est celui de la qualité et de la confiance attachées à une information en fonction de sa généalogie (quelle autorité l'a produite, ou encore quelles sont les données brutes et les traitements subis). La notion d'observatoire citoyen devient centrale dans la notion de monitoring de l'environnement. La capacité à exploiter à la fois les données « autoritative » et les données de « crowdsourcing » constitue un enjeu important. La présentation d'information aux décideurs et aux citoyens pour faciliter leur sensibilisation à ces enjeux, des changements de comportements des sociétés, comporte également des enjeux en termes par exemple de synthèse et de visualisation innovante (comme la réalité augmentée), enjeux qui impactent fortement Allistene et Allenvi.

4.5 Numérique et Energie (texte commun avec Ancre)

Les Technologies de l'information et de la Communication (TICs) sont acteurs sur des enjeux énergétiques majeurs à la fois pour l'industrie et pour le citoyen dans sa vie quotidienne :

- comme technologie devenue incontournable pour une gestion efficace de l'énergie et de son économie dans de nombreux volets en mutation : la production beaucoup plus disséminée et souvent intermittente d'énergie, les réseaux de distribution énergétiques plus 'intelligents' (smart-grids), le stockage, puis dans une optimisation dynamique de sa consommation. On assiste à des changements fondamentaux dans les domaines des transports et plus largement de la mobilité de l'utilisateur, de l'industrie, du bâtiment voire les villes (smart-cities).
 - Des recherches et des développements sont nécessaires dans un grand nombre de domaines scientifiques du Numérique : en matière de modélisation, optimisation, et simulation, d'internet des objets et du traitement des masses de données produites, d'acquisition et de traitement de flux de données en temps réel (smart-grids par exemple), accompagnés de verrous à résoudre en matière de fiabilité et sûreté de fonctionnement, de cybersécurité, de maîtrise du contrôle-commande, de capteurs bas coûts, d'interface homme-machine, ou encore de métrologie.
- comme consommateur d'énergie de plus en plus important (data center mais également milliards de systèmes nomades ayant besoin d'une autonomie énergétique croissante,...)

- avec des objectifs de recherche se concentrant sur la réduction de consommation des composants, l'optimisation des architectures systèmes et de leurs logiciels, et ce de l'échelle nano à l'échelle macroscopique, ainsi que sur la récupération d'énergie (thermoélectricité, photovoltaïque).
- Comme économie de ressource, notamment énergétique, par la dématérialisation des services, ou encore les transports évités.
 - Des méthodes d'évaluation de ces gains énergétiques seraient d'un grand intérêt.
- Les TICs ont un rôle important à jouer à l'interface entre l'énergie et la société qui va voir des changements majeurs en matière de mode de vie, de législation, de détermination dynamique de prix.
 - Des recherches en ergonomie, et nouveaux usages, sur la protection de la vie privée, sur le comportement de l'utilisateur en face d'informations énergétiques délivrées en temps réel, sur la compréhension des évolutions de prix.

Recommandations : Si les équipes de chacun des secteurs TICs et énergie sont nombreuses et compétentes, en revanche le nombre de laboratoires ayant intégré les deux approches est à développer. Il est important de favoriser le rapprochement entre ces différentes disciplines avec la mise en place d'un pilotage transversal. Il est également crucial de lancer des appels à projets spécifiques, soutien à la création de laboratoires mixtes en soulignant que ce type d'activité a peu de chance de recevoir un financement dans un AAP non spécifique. La création de plateformes de modélisation ainsi que la récolte de données réelles ou réalistes nous semblent indispensables. Des recherches dans des secteurs comme les réseaux couplés (Tics et énergie) ou encore la cybersécurité des systèmes énergétiques vont devenir cruciaux. Enfin le soutien des entreprises dans les groupes de normalisation liant Numérique et Energie est à développer.

4.6 Numérique et Sciences Humaines et Sociales (texte commun avec Athena)

Promouvoir la bonne vie pour toutes les générations et entre les générations

Le défi démographique du vieillissement est l'un des plus importants que nos sociétés devront affronter. Mais il est directement relié à un enjeu de places respectives des différentes générations, et de transmission ou non des modèles et des capacités d'adaptation, de résistance et d'invention. Les capacités médicales à maintenir en vie sont devenues si performantes que les services et la qualité de vie doivent suivre pour ne pas rendre cette prolongation de la vie insupportable. Mais dans le même temps, ce sont les structures mêmes des systèmes d'assurances sociales qui sont affectées et les modèles divers d'état-providence qui sont menacés dans les pays développés et inaccessibles dans les pays en développement. Les développements techniques proposés par le numérique peuvent certes prolonger toutes ces conquêtes médicales comme c'est déjà largement le cas (prothèses, suivi, modélisations, etc.). Cependant, le couplage étroit des SHS et des STIC permettrait d'explorer des domaines moins conventionnels et pourtant cruciaux pour le bien être, permettant de mieux associer les configurations techniques avec les attentes et les capacités des personnes selon leurs situations particulières.

Cependant, ces questions ne concernent pas que les personnes âgées car les enjeux de couplage avec le numérique sur un mode plus harmonieux sont présents pour tous, même s'ils sont mis à l'épreuve le plus souvent avec ces populations, ce qui favorise l'innovation. Les enjeux de formation sont en effet des priorités dans une économie où l'information est abondante et très intrusive, et sa maîtrise un enjeu de professionnalisation et de mobilité sociale. Il convient en effet de conserver une capacité de connaissance qui dépasse la simple

réactivité par rapport à des alertes, mais la combinaison de toutes les modalités cognitives, et les tensions entre l'abondance d'information immédiatement disponible et de développement personnel demandent des recherches fondamentales directement reliées aux innovations des STIC. Ces questions de formation deviennent particulièrement complexes à traiter pour les générations en place qui doivent faire face à des situations d'incertitude tout en prétendant encore transmettre quelque chose, alors que les apprentissages se font en connexion directe à des univers numériques bien différenciés selon les générations.

Les perspectives d'innovation dans ces domaines sont innombrables mais leur réussite dépendra avant tout d'une part de la finesse des observations et des modèles de comportement permettant de guider les développements et d'autre part de leur insertion judicieuse dans les environnements réels des populations concernées.

Articuler humains et dispositifs

Pour avancer dans le traitement des enjeux socio-techniques présentés précédemment, il sera nécessaire de focaliser la recherche et l'innovation sur des champs où se présentent quelques verrous essentiels dans ce couplage entre l'homme et les dispositifs technologiques, de façon à rendre plus fluides les articulations entre les deux. 5 verrous essentiels sont ici identifiés à titre d'exemple. A chaque fois, il s'agit de modalités cognitives spécifiques qui doivent être explorées, dans le geste, la vision, le langage, l'attention et l'activité collective. L'innovation ne peut pas se contenter de stéréotypes de science-fiction qui relèverait d'une approche « cyborg » mais elle ne peut pas non plus proposer des solutions de couplage humain-machine réellement fluides sans que les SHS produisent des avancées importantes dans la compréhension des processus socio-cognitifs qui en sont le moteur. Les recherches ne concernent pas ici seulement l'acceptabilité ou même l'optimisation : elles demandent de vraies avancées théoriques sur les questions linguistiques, de perception, de motricité, d'attention et d'organisation collective des activités pour aider à sortir des lieux communs, qui guident peut-être parfois trop le design centré sur l'utilisateur (lui-même rabattu sur l'expérience utilisateur ou « user experience »).

Les travaux de sciences cognitives doivent être étroitement associés aux disciplines des Sciences humaines spécialisées mais aussi à la philosophie et doivent aussi mobiliser les capacités de modélisation et de test machine des STIC. Les solutions techniques sophistiquées comme les plates-formes de réalité virtuelle doivent aussi être combinées à des expériences de technologies plus basiques (comme le fut le tactile) pour espérer proposer des transferts de connaissance plus rapides.

Ecologiser les milieux informationnels

Il serait vain de tenter de délimiter ou de lister les secteurs qui sont bouleversés par l'arrivée du numérique puisque le numérique est partout et n'a épargné aucun domaine d'activité. Cette omniprésence des données et leur capacité de circulation sans limite n'est pas sans poser problème mais elle est aussi le nouveau milieu, au sens écologique, où se développent les activités humaines dans un environnement étendu, fait d'un cosmos particulièrement équipé de données à tous les niveaux. Cette pervasivité rend plus improbable la capacité à maîtriser un développement technique qui semble procéder par contamination plus que par conquête territoriale. C'est pourquoi les questions de sécurité deviennent si cruciales. Etats, entreprises, prestataires, mais aussi pirates, mafieux, ou réseaux criminels ont tous appris à exploiter les faiblesses des contrôles du réseau des réseaux et la pervasivité du numérique. Les citoyens ordinaires sont en droit d'exiger que les recherches leur proposent un cadre de pensée mais aussi des dispositifs opérationnels pour récupérer une forme de contrôle sur ces développements proliférants à base de circulation de données sans limites. C'est en particulier le cas pour leur propre vie privée, dont des affaires récentes ont fait une des

questions centrales du débat public sur le numérique : la connectivité généralisée semble venir en contradiction avec la possibilité même d'une vie privée. Les innovations dans ce domaine ne pourront pas faire l'économie d'une véritable remise en cause théorique des notions mobilisées trop souvent comme le sens commun.

Penser ces mutations et imaginer les développements nécessaires à un pilotage assumé des reconfigurations en cours peut être fait secteur par secteur, et nous en proposons ici quelques exemples, la ville, l'usine, la finance et le climat. Tous sont décisifs dans nos activités collectives, et ont la particularité d'être complexes et non appréhendables par des disciplines isolées. D'autre part le numérique n'y intervient pas simplement comme ressource pour résoudre des problèmes qui lui seraient antérieurs, mais il devient partie même de l'organisation de ces milieux, intrinsèque à leur fonctionnement (et leur dysfonctionnements), engendrant de nouveaux dispositifs et performant de nouveaux effets, comme le montre bien l'exemple de la finance.

Ce que le numérique fait pour transformer ou plutôt 'performer' chacun de ces milieux est un axe de recherche qui demande expertise à la fois dans le domaine concerné et en STIC. Mais examiner comment l'innovation peut permettre de remédier aux dérives observées ou mieux encore de proposer des politiques différentes constitue une autre approche qui peut soulever une grande quantité de pistes d'innovation. L'important est bien ici de ne plus penser « en silo », par gammes d'applications ou familles de services, mais de manière holiste, en partant de milieux dont la médiation numérique est constitutive de l'expérience de les habiter. Le fonctionnalisme et le productivisme (plus est toujours mieux) des approches classiques seraient alors révisées au profit d'une approche plus performative et phénoménologique, et porteuse d'une vision plus durable et responsable du développement de chacun de ces milieux et de leurs 'habitants'.

Equiper les collectifs

Le numérique a pénétré aussi nos modes de décision et nos façons de composer des collectifs. Les activités collectives, coopératives ou concurrentielles, pacifiques ou guerrières, démocratiques ou totalitaires, d'apprentissage ou d'endoctrinement sont toutes également amplifiées par le numérique. Il peut être dangereux de se laisser guider par les fausses évidences des valeurs de partage, d'intelligence collective ou de solidarité qui serait encapsulées dans les innovations numériques. Ce sont les gouvernements, les scientifiques et la société civile qui doivent agir délibérément pour favoriser les valeurs qu'ils souhaitent voir promues dans chacun des choix d'architecture technique, de modèle économique ou légal. C'est ici que les SHS comme les STIC doivent assumer les choix de valeurs qu'elles mettent en avant dans leurs axes de recherche privilégiés. Les valeurs d'intelligence collective, de solidarité et de démocratie représentent des pistes d'innovation considérables à condition d'être suffisamment soutenues.

La clé de ces approches ici présentées en exemple, tient à leur expérimentation en direct avec des collectifs réels, car aucune innovation en labo ne pourrait prétendre trouver le bon réglage des conditions de félicité des idées proposées. Les conditions mêmes de l'innovation en sont changées et indiquent qu'une science couplée aux collectifs, à la société civile ou aux acteurs en général devient la condition même de l'émergence et de la validation des concepts. Le travail de suivi des initiatives prises partout dans le monde en matière d'intelligence collective, de solidarité ou de démocratie mobilisant le numérique suffirait déjà à constituer un programme de recherche de longue haleine. Cependant, il est aussi nécessaire de susciter des expérimentations appuyées sur les approches anthropologiques, politiques, culturelles ou sociologiques les plus innovantes.

Constituer des milieux innovants

Pour créer ces conditions de succès des innovations, nous avons indiqué précédemment qu'il convenait de s'appuyer sur l'activité des collectifs existants. Mais la recette est valable pour le milieu des innovateurs eux-mêmes. Leur capacité à associer étroitement l'industrie et les arts à la recherche académique constituent ici des exemples de ces constitutions de milieux hybrides qui obligent à sortir de l'entre soi académique. Les approches industrielles ou artistiques ne sont pas ici des débouchés ou des contraintes placées sur la recherche mais sont au contraire son terreau, non pas dans des relations de dépendance mais avant tout dans des dynamiques d'inspiration réciproques. Il serait sans aucun doute nécessaire de faire le bilan des pôles de compétitivité de ce point de vue de leur capacité à constituer un milieu coopératif innovant. Les expériences réussies sur ce plan pourraient donner des pistes d'orientation très utiles pour l'avenir.

5. Les plates-formes matérielles et logicielles

Depuis quelques années l'appropriation massive par la Société des technologies et des usages (PC, smart phone, tablettes et réseaux sociaux) a accéléré la diffusion des usages numériques dans la vie de tous les jours, mais aussi dans l'ensemble des secteurs d'activités, dont ils bouleversent les fondements d'innovation et de compétitivité. La société numérique correspond à un essor sans précédent des industries de l'informatique et du logiciel, des télécommunications, des terminaux et des composants et plus récemment des services du numérique. Cet essor s'appuie sur une montée en performance des composants, et des services de traitement de l'information, une dissémination des terminaux et de l'intelligence logicielle, et une montée en compétences des utilisateurs dans l'usage mais aussi dans la création de nouvelles applications.

La plateforme numérique est à l'origine d'une forte croissance des industries cœur du numérique. Cette plateforme est également un outil de diffusion du numérique dans l'ensemble des secteurs d'activités : transport, énergie, santé, éducation, sécurité ; elle impacte la production, le marketing et les relations clients, le commerce ; elle apporte aussi de puissants outils pour la recherche scientifique des autres domaines : biologie, chimie climat,... Le périmètre de la plateforme numérique couvre l'ensemble des problématiques **d'infrastructure**, de **services**, de **contenus et d'usages**. Son développement concerne également l'ensemble du processus : d'architecture, de conception et de développement et de mise au point ainsi que les problèmes d'exploitation, de gestion des évolutions et de fin de vie des équipements et des systèmes.

Les infrastructures comprennent les **infrastructures de base** de conception en nanoélectronique et de nanofabrication, de communication, de calcul et de stockage ainsi que les **infrastructures de support aux services**, pour le traitement des données, les services de communication et d'échange (mobilité, fluidité, identification, localisation...) et les terminaux et dispositifs de d'interaction, de surveillance et de monitoring du monde physique (smart phone, réseaux de capteurs et actuateurs).

Les enjeux principaux à l'horizon 2020 sont la montée en débit pour répondre aux besoins croissants d'échange de contenu et de réalité virtuelle, la gestion de la mobilité généralisés, des flux multimédia, des flux machine to machine, et la numérisation du monde physique (internet du futur), l'ubiquité d'accès pour une possibilité de connexion permanente et l'utilisation fluide de services, la virtualisation des infrastructures pour l'optimisation des performances et des coûts et l'allègement du stockage et de la gestion des données personnelles (cloud) et la création d'infrastructures de collectes et de traitement de données massives non structurées ou structurées.

Les défis principaux pour 2020 sont la montée à des débits téra-bit dans les cœurs de réseaux et gigabit pour les domiciles, la mise en œuvre et la gestion de l'explosion du nombre de réseaux de capteurs connectés, la course à la puissance pour le calcul à haute performance, la constitution de capacités de stockage nationales et européennes pour la maîtrise du big data, l'intégration de technologies variées et hétérogènes pour la réalisation d'objets communicants et intelligents et les problèmes de sûreté des infrastructures numériques complexes.

6. La coopération européenne

Les priorités identifiées dans les paragraphes précédents sont parfaitement en phase avec le programme-cadre Horizon 2020 : combiner l'excellence scientifique avec une prise en compte affirmée des grands enjeux sociétaux européens et mondiaux et la nécessité de promouvoir l'innovation pour le développement économique de l'Europe. Les acteurs français des Sciences et Technologies du Numériques s'impliqueront fortement dans les programmes destinés à faire émerger des problématiques de recherche ou des technologies de rupture (European Research Council, Future and Emerging Technologies, en particulier les flagships) et à mettre en place des projets européens de grande envergure (Internet du futur, Calcul à haute performance, Technologies clés européennes, incluant les technologies logicielles, ...

Pour renforcer son impact dans le domaine du transfert et de l'innovation, la participation au sein du nœud français de la Communauté de connaissance et de l'innovation EIT ICT Labs sera élargie à de nouveaux partenaires et renforcée. Les pôles de compétitivité du Numériques seront plus fortement impliqués, en particulier pour permettre à leurs PME adhérentes et partenaires d'accéder à l'échelon et aux marchés européens. Les acteurs du Numérique seront aussi présents dans les réponses aux appels à projets de l'EIT pour la création de nouvelles communautés de connaissance et de l'innovation.

Des relations privilégiées et une concertation programmatique étroite seront développées sur quelques domaines thématiques prioritaires, porteurs d'enjeux économiques et de souveraineté et de nature à contribuer plus visiblement encore à la reconnaissance d'une priorité numérique en Europe.

Allistene assurera le pilotage stratégique du Point de contact national en lien étroit avec Ubifrance, les pôles de compétitivité du Numérique et les ministères chargés de la recherche et du numérique. Elle s'impliquera aussi fortement dans la définition des orientations stratégiques des politiques européennes en matière de recherche et d'innovation.

Les acteurs académiques du Numérique ont tous développé des politiques volontaristes d'attraction et d'intégration des jeunes chercheurs, en particulier européens. Un soutien particulier sera apporté pour faciliter le retour des chercheurs français à l'issue de leurs séjours post doctoraux.