

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

Rachid Alami
Jérôme Bordier
Pierre Chavel
Serge Fdida
Catherine Fuchs
Jean Gabriel Ganascia
Line Garnero
Marie Claude Gaudel
Jean Claude Laprie
Thierry Lebey
Hervé Morel
Paul-Allain Rolland
Michel Weinfeld

CRÉATION DU DÉPARTEMENT STIC

Le Département STIC est le plus récent du CNRS. Sa création correspond pour le CNRS à la reconnaissance d'une nouvelle branche des sciences aux côtés des autres disciplines : les sciences de l'information. Elle répond à l'affichage pour cet organisme d'un axe prioritaire de recherche sur les Sciences et Technologies de l'Information.

Considérées comme le quatrième secteur d'activité économique, secteur de rupture ayant tiré la croissance de ces vingt dernières années, les TIC sont par essence objet de recherches pluridisciplinaires diffusantes, impactant toutes les sciences établies et présentant des proximités avec les sciences humaines et sociales. Il était donc naturel que le CNRS, organisme pluridisciplinaire couvrant tous les champs de la connaissance se dote d'un département spécifique capable de répondre tant aux questions scientifiques sous jacentes à ses problématiques qu'aux demandes sociales voire sociétales qui leur sont associées. Cette création correspond aussi à la reconnaissance d'un retard dans le poids relatif de la recherche dans ce domaine à l'intérieur du dispositif national qui n'était à l'échelle ni de ses besoins, ni du niveau d'une des priorités nationales. Parallèlement, elle vise à corriger le déficit de recrutement qui

a induit un déséquilibre considérable entre universités et organismes (les premières ayant eu un recrutement très important pour des besoins de formation) et d'autre part à favoriser, dans un domaine en plein expansion, le redéploiement de ses forces et le renforcement de la définition du chercheur « environné ». Au sein du dispositif de recherche sur les TIC en France, le CNRS avec son Département STIC est le seul organisme français couvrant à la fois les aspects logiciels et matériels. S'appuyant sur ses laboratoires communs avec les universités, les écoles d'ingénieur et les grands organismes, le CNRS peut travailler à la fois au développement des technologies du futur et à la compréhension et à la maîtrise de la société de l'information qui se construit. Pour cela, il s'est donné comme mission de répondre aux grands enjeux scientifiques que sont pour notre pays, la recherche et le développement de technologies innovantes du futur, la compréhension et la maîtrise de la complexité des systèmes d'information de demain, la construction d'une société de l'information et de la communication au service de l'Homme, la diffusion des méthodes et outils qui lui sont spécifiques à d'autres disciplines comme les Sciences du Vivant par exemple.

Le département STIC a été créé le 5 octobre 2000, sur la base d'un noyau dur de deux sections du comité national (07 et 08) et de 13 autres sections (01, 03, 04, 06, 09, 10, 22, 23, 29, 30, 34, 39, 40) appartenant principalement aux départements SPM, SPI, SDV et SHS.

Les disciplines des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication sont centrées sur des disciplines de base des sciences du traitement de l'information et des systèmes matériels et immatériels ; elles s'appuient sur un socle très large de connaissances en mathématiques, physique, chimie, sciences du vivant, sciences de l'homme et de la société, et elles présentent un potentiel de diffusion vers de nombreux champs interdisciplinaires : bioinformatique, nanosciences, sciences cognitives, santé, énergie, transport, environnement, société et communication.

RECHERCHES DU CŒUR DES STIC

Les activités des sections « Sciences et technologies de l'information (informatique, automatique, signal et communication) » et « Micro et nano-technologies, électronique, photonique, électromagnétisme, énergie électrique » sont au cœur de ses recherches, comportant chacune de nombreuses disciplines et réunissant en un même département les aspects matériels et logiciels. Cette recherche doit aussi tenir compte de la capacité de l'homme à s'approprier l'offre technologique dans ces pratiques. La notion d'Usage est donc un enjeu important, qui doit être pris en compte dès la conception des systèmes.

Ces recherches se construisent donc sur une triple base : une base matérielle régie par les lois de la physique, une base immatérielle régie par les lois des mathématiques, du traitement de l'information et des systèmes, et une base de comportement, propre ou en interaction avec l'humain, régie par les lois de l'intelligence et la connaissance.

La recherche fondamentale est essentielle dans ce domaine, car elle permet de comprendre et de maîtriser ce champ en construction et en évolution très rapide. En même temps, elle doit assurer le développement technologique pour la construction de ces systèmes, nécessitant la conception de plateformes et d'infrastructures, et créer de nouveaux services d'information et de communication et le développement de leurs usages. Plus encore que dans d'autres domaines, ces recherches fondamentales, technologiques et appliquées sont en profonde synergie. La réalisation des systèmes alimente le développement et la compréhension de nouvelles lois fondamentales et réciproquement les lois fondamentales encadrent le développement technologique et guident les applications.

INTERFACES DES STIC

Les interfaces des STIC sont nombreuses, car le concept d'information est universel au sein de toutes les disciplines. C'est ce constat qui a conduit au rattachement au département STIC de nombreuses sections relevant principalement d'autres Départements. Après ces quatre ans d'existence, il convient de mieux définir ces interfaces et de mieux les cerner en s'appuyant sur les collaborations réelles qui se sont développées entre chercheurs du STIC et ceux d'autres départements.

Tout d'abord ces interfaces nécessitent le plus souvent l'interaction d'équipes partageant une double compétence, par exemple le traitement automatique des langues nécessite une connaissance en linguistique et informatique. Elles conduisent souvent à de nouvelles problématiques de recherche en STIC et le développement de nouveaux outils ; le traitement des données génétiques du fait de leur complexité a conduit à une nouvelle discipline : la bioinformatique. De même la problématique des usages et de la diffusion des TIC a introduit de nouveaux champs de recherche aussi bien en STIC qu'en Sciences de l'Homme et de la Société. (Pour illustration, on pourra se reporter au texte de l'atelier « Information, Communication et Connaissance »). Enfin, réciproquement, le développement de nouveaux systèmes outils de traitement de l'information permet d'accroître les connaissances des autres disciplines, comme par exemple le développement des puces à ADN pour la génétique ou des méthodes d'imagerie ou de modélisation pour les Sciences du Vivant.

Les principaux domaines à l'interface des STIC sont nombreux. D'une part, comme les STIC se sont appuyées au début de leur développement sur les lois fondamentales des mathématiques et de la physique, les interfaces entre ces disciplines sont fortes, et établies depuis longtemps. En mathématiques, de nombreuses interactions se situent dans les domaines des systèmes formels, de l'algorithmique, de la logique, de la statistique et de l'analyse du signal et des images et en physique

ce sont essentiellement la physique du solide et l'optique qui sont les plus proches des thématiques de la section 8. De plus, les STIC afin de concevoir des objets et systèmes de plus en plus complexes et « intelligents » se sont inspirées des paradigmes du Vivant, et de l'homme en particulier. Dans ce domaine très particulier, les interactions très fortes de la section 07 dans les domaines de la bioinformatique et des Sciences Cognitives ont conduit à la création de deux commissions interdisciplinaires dénommées « Bioinformatique, mathématiques et modélisation des systèmes biologiques » et « Cognition, langage traitement de l'information : systèmes naturels et artificiels ». Cette dernière regroupe aussi toutes les recherches communes aux SHS sur les traitements linguistiques. Enfin, les interactions avec les SHS qui sont actuellement très fortes dans le domaine de la linguistique devront se généraliser à d'autres champs de recherche (usages, les systèmes d'informations géographiques, l'ergonomie des interactions, le droit immatériel et l'éthique).

LES OBJECTIFS PRIORITAIRES

À l'heure actuelle, les recherches dans le domaine des STIC sont guidées par les évolutions suivantes : pour les matériels l'arrivée prochaine à la limite ultime de miniaturisation des technologies de Silicium donnée par la loi de Moore, pour les logiciels le développement de systèmes de traitement et de communication de l'information de plus en plus automatisés et complexes, l'émergence de traitements intelligents de l'information ainsi que de mondes enrichis et virtuels.

C'est dans ce contexte, que cinq objectifs prioritaires ont été établis par la Direction du Département, à développer tant au cœur des STIC qu'à leurs interfaces. Ces objectifs sont les suivants et seront détaillés dans la suite du rapport :

- nanotechnologies pour le traitement de l'information et des microsystèmes ;

- réseaux de communication et systèmes de traitement, d'accès et de gestion d'information ;
- systèmes complexes à dominante informationnelle : architecture, composants, micro-systèmes et intégration ;
- robotique, réalité virtuelle, interaction et coopération ;
- société de l'information, de la communication et de la connaissance.

1 – NANOTECHNOLOGIES POUR LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET DES MICROSYSTÈMES

1.1 INTRODUCTION AU SUJET DES « NANO »

La place particulière du département STIC par rapport aux nanotechnologies découle directement de la situation du CNRS comme seul établissement français à abriter des recherches à la fois sur le matériel et sur le logiciel, et ce précisément au « cœur de STIC ». Les interfaces de STIC, quant à elles, ouvrent le département aux autres champs « nano » : la nanophysique étudie celles des propriétés de la matière qui révèlent à l'expérience le comportement d'un petit nombre d'atomes, la nanochimie recherche le contrôle individuel des assemblages moléculaires ou cristallins, et la nanobiologie concentre son attention sur les entités individuelles de la matière vivante.

Résumée depuis son origine par la loi de Moore aux multiples aspects, l'évolution de la micro-électronique est « descendante » (top-down) ; au fil des étapes de la miniaturisation des composants et de l'agrandissement des substrats, les défis technologiques rencontrés renvoient régulièrement vers des problèmes

physiques nouveaux : dès l'échelle de quelques dizaines de nanomètres se manifestent les fluctuations statistiques liées aux petits nombres d'atomes, puis les grandeurs physiques de l'électronique macroscopique perdent leur validité, ce qui impose un recours plus fin à la mécanique quantique. Aux isolants, métaux et aux semi-conducteurs de toutes familles (IV-IV, III-V, II-VI) succèdent les agrégats, aux propriétés de transport statistiques succède la cohérence de phase. Les technologies micro-électroniques futures devront donc ouvrir des voies nouvelles, par exemple l'approche « ascendante » (bottom-up) directement issue des nanosciences.

1.2 ENJEUX ET APPLICATIONS DES NANOTECHNOLOGIES

Qui dit technologie dit procédé de fabrication, et cette dimension n'échappe pas aux nanotechnologies, même si leur application est encore balbutiante : la domination du transistor CMOS sur les technologies de l'information et de la communication est devenue moins exclusive à l'heure où le téléphone portable, l'écran plat, le disque compact, l'antenne de télévision par satellite doivent leur succès à des dispositifs différents, mais ces derniers ne sont encore qu'aux marges de la catégorie « nano », qui ira beaucoup plus loin dans la miniaturisation des structures.

L'information et la communication sont bien les premiers domaines d'utilisation des nanotechnologies : l'outil de calcul et de traitement de données encore plus compact que nos ordinateurs portables, dissimulant sa puissance de calcul dans des objets de la vie courante de plus en plus conviviaux, l'outil de communication omniprésent reliant l'individu nomade à toutes les bases de données qui peuvent lui être utiles dans les situations les plus diverses sont des candidats évidents pour l'application des nanotechnologies à la microélectronique future. Les fonctions de base seront de plus en plus assurées par des

dispositifs nanotechnologiques, par exemple nanomagnétiques pour le stockage ou nanophotoniques pour la transmission à haut débit et la commutation tout optique. D'autres fonctions pourront s'ajouter : la sécurité de transmission sera-t-elle confiée de façon courante par la cryptographie quantique, déjà commerciale mais encore peu miniaturisée ? La puissance de calcul actuellement tributaire de millions de transistors reposera-t-elle sur quelques uns de ces bits quantiques (q-bits), aujourd'hui au stade de démonstrations remarquables, mais rudimentaires et fort encombrantes ? Ces perspectives semblent actuellement relever au mieux du long terme, mais d'autres comme peut-être l'encre électronique ou la biométrie s'ajouteront rapidement à la panoplie des TIC de grande diffusion.

Plus complet que le système de traitement et de communication par ses fonctionnalités, le microsystème associe le capteur, la décision et l'action, intégrés grâce à une même filière technologique. Les capteurs biologiques associés à l'administration locale et automatisée de molécules médicamenteuses n'ont pas encore dépassé le stade de la fiction mais en constituent une illustration éloquente et un but concret.

Ces exemples relèvent pour bonne part du rêve, mais bien d'autres applications réelles des nanotechnologies restent encore à imaginer. L'économie d'énergie et de matières premières, le respect de l'environnement, le développement durable et l'accès des régions défavorisées à une qualité de vie meilleure sont autant de perspectives plausibles et donc de motivations puissantes plaidant en faveur des nanotechnologies, même si des problèmes éthiques nouveaux et des risques d'utilisations perverses ne peuvent manquer de les accompagner.

1.3 LES RECHERCHES DU DÉPARTEMENT STIC EN NANOTECHNOLOGIES

La vocation du département STIC est de positionner ses recherches au contact à la fois des sciences et technologies et des applications définies par des objectifs de société : quelques lignes de force se dégagent aisément de cet énoncé.

Miniaturisation et intégration : les alternatives

Tant que prévaut l'orthodoxie « descendante » avec des transistors toujours plus petits sur des tranches de silicium toujours plus grandes et sans défaut, la recherche poursuit à un double rôle : la conception de circuits intégrés de plus en plus complexes tirant parti des possibilités « foncières » (*real estate*) accrues, et l'étude des propriétés des dispositifs et des circuits aux paramètres technologiques toujours plus contraignants.

Mais le CNRS intervient également en amont, pour participer au développement d'approches alternatives : il peut s'agir d'introduire l'apprentissage et la tolérance aux fautes au niveau de l'architecture de circuit, au niveau du logiciel, ou au niveau d'innovations technologiques, ou encore de convertir en procédés les effets d'auto-assemblage au niveau atomique et moléculaire découverts et élucidés par la nanophysique et la nanochimie.

Les architectures

Toute nouvelle catégorie de dispositifs en micro-électronique impose aux concepteurs de transformer l'architecture des circuits et des processeurs : c'est actuellement le cas, par exemple, avec l'apparition des mémoires MRAM ; il en ira de même, et probablement de façon plus radicale, avec les dispositifs

nanotechnologiques futurs. L'architecture des microsystèmes impose une innovation totale adaptée à chaque cas. L'architecture adaptée à une démarche « ascendante » reste encore à inventer : c'est même là une urgence si l'on veut valoriser des résultats de recherche fascinants comme les nanotubes de carbones aux fonctions déjà multiples mais encore bien difficiles à intégrer dans des systèmes. De telles architectures pourront être biomimétiques ou du moins bio-inspirées comme celles qui ont découlé des réflexions sur les réseaux de neurones et ont influencé certaines évolutions logicielles et même matérielles.

Vers des systèmes nanotechnologiques

Parmi les vocations centrales du département STIC figure la conception des systèmes, qui reste un défi majeur pour l'utilisation des nanotechnologies. Plus d'un dispositif de démonstration aux prouesses remarquables requiert encore tout un rack d'électronique pour gérer son alimentation, sa commande et même ses entrées et sorties. Si in fine les microsystèmes ont bien vocation à regrouper toutes les fonctions dans une seule et même technologie, l'association de technologies différentes et de matériaux a priori peu compatibles dans les systèmes restera tout de même indispensable au moins dans de nombreux cas. Un cas évident est celui de la connectique, avec ses niveaux multiples allant de la piste métallique entre deux transistors à la liaison micro-onde ou photonique et que l'on imagine mal de ramener à une technologie unique. De même, la fluïdique, nécessaire par exemple pour les biopuces, est en émergence. Il importe de concevoir des systèmes recourant à des matériaux biodégradables, non polluants, peu coûteux, ce qui inclut le développement des procédés nécessaire à leur assemblage automatisé, et si possible capable d'apprentissage et tolérant aux erreurs.

La modélisation

Pour être efficace et performante, toute recherche ou presque implique un effort de modélisation associé à la théorie, à la conception et à l'expérimentation. Dans la panoplie des STIC, la modélisation des phénomènes couplés et des échelles multiples qui interviendront dans les dispositifs nanotechnologiques et dans leurs microsystèmes est un vaste champ à cultiver. Même au niveau des dispositifs nouveaux, les outils de modélisation efficaces seront à inventer, comme ils l'ont été naguère pour la microélectronique et le sont actuellement pour la nanophotonique.

1.4 CONCLUSION

La prise de conscience de l'importance des nanotechnologies est générale : les thèmes de recherche des laboratoires continueront d'intégrer de mieux en mieux cette dimension. Ce n'est pas toujours facile en raison de la lourdeur et de la nouveauté des moyens indispensables. Le CNRS et les autres instances publiques concernées ont convenu de doter la communauté de cinq grandes plates-formes technologiques équipées au meilleur niveau, reliées en réseau pour exploiter leur complémentarité, et ouvertes à tous les acteurs de la recherche. Les plates-formes logicielles contribueront à l'effort de modélisation. Au-delà, il faut que tous les laboratoires concernés disposent du complément d'équipement spécifique et de moyens de modélisation indispensable à leurs thèmes propres. Le maillage entre les grandes plate-formes et les installations des laboratoires doit se mettre en place dans les prochaines années.

Thématiques nouvelles, équipement adapté : pour aborder les défis identifiés, il faut aussi former les hommes. Les chercheurs de haut niveau spécialisés dans les nanotechnologies sont encore trop peu nombreux et la mise au point des formations adaptées est elle-même un enjeu important et difficile.

La place des STIC dans les nanotechnologies est donc centrale et bien définie. La communauté s'organise pour atteindre l'efficacité et occuper une place avantageuse sur la scène internationale.

2 – RÉSEAUX DE COMMUNICATION ET SYSTÈMES DE TRAITEMENT, D'ACCÈS ET DE GESTION D'INFORMATION

2.1 INTRODUCTION

Le domaine des réseaux informatiques a connu une très forte croissance ces dix dernières années en raison de l'évolution de l'Internet mais aussi des réseaux cellulaires (UMTS), et de la forte pénétration de ces systèmes dans la société. De plus ce concept s'étend à de nombreux domaines : grilles de calcul, réseaux de capteurs, etc. La recherche sur les réseaux a motivé l'intérêt de nombreux chercheurs de profils différents : physique, théorie des graphes, de l'information, modélisation, statistique, algorithmique, système, télécommunication, etc. Il en a résulté une accélération rapide des connaissances tant du point de vue technologique que méthodologique. Les défis actuels sont l'accroissement du débit, l'adaptabilité des réseaux qui peuvent transporter de multiples informations, et la faisabilité de ces réseaux. D'autre part, des problèmes nouveaux se posent dans la conception matérielle et logicielle de ces réseaux liée au « nomadisme », du fait de l'importance des réseaux mobiles.

2.2 SYSTÈMES MATÉRIELS

Les recherches sur les systèmes matériels dédiés aux réseaux et aux applications nomades pour les systèmes d'information et de communication sont bien sûr guidées par les exigences de débit, d'adaptabilité, de fiabilité et de sécurité du réseau, support matériel pour l'information et la communication. Les recherches en cours concernent pour cet objectif la transmission sur fibre optique et le traitement associé, la complémentarité optique-hyperfréquences pour la transmission chez l'abonné ou intra bâtiment, les technologies microsystèmes pour antennes actives, les composants pour les réseaux adaptatifs de radio communications, la gestion des systèmes énergétiques, et le traitement et le stockage de l'information liés aux applications mobiles, avec en particulier l'approche prometteuse des mémoires RAM non volatiles magnétiques de l'Électronique de spin.

L'enjeu de nomadisme implique un accès interactif rapide et sûr à l'information, la communication avec stockage multimédia et une consommation énergétique réduite, et constitue un défi de recherche pour les systèmes matériels qui s'adresse à une large communauté scientifique. Cet enjeu laisse également largement sa place à une recherche très fondamentale sur les nouveaux matériaux et composants, les effets quantiques et balistiques au sein de ces nouveaux composants ou concepts, l'architecture des systèmes et réseaux. Ces grandes thématiques sur les systèmes matériels pour l'information et la communication sont développées plus largement dans les rapports rendus par la section 08 du Comité National.

2.3 SYSTÈMES INFORMATIQUES

L'objectif principal des recherches développées ces dernières années a visé à mieux comprendre l'Internet, et le faire évoluer vers des services pouvant répondre à l'émergence

de nouveaux besoins, exprimés par l'appropriation industrielle du réseau, son usage pour le divertissement ou le travail coopératif. Plusieurs catégories de travaux ont vu le jour et proposé des solutions aux problèmes posés.

Ces moteurs applicatifs ont été la base de nombreux travaux visant à rendre le réseau « prédictif », en terme de service offert à l'utilisateur. La principale question abordée fut : « Peut-on garantir des propriétés de délai, débit, taux de perte ou gigue, à un flux Internet ». Ce problème générique de garantie de qualité de service a donné lieu à des études et solutions, permettant de calculer et mettre en œuvre aussi bien des bornes déterministes que stochastiques. De même, des fonctions originales ont fait l'objet d'intenses travaux afin de faire évoluer la manière dont le réseau distribue les informations qu'il transporte vers des récepteurs multiples ou mobiles.

Le second champ important de développement fut l'évolution vers les réseaux cellulaires de seconde et troisième génération (GPRS, UMTS). Les problèmes posés, au delà de l'architecture générale, furent à nouveau d'étudier les caractéristiques du trafic et d'associer des propriétés de qualité de service aux réseaux cellulaires.

Par ailleurs, de nouvelles pistes concernant le fonctionnement même d'un réseau furent développées, initiées à l'origine par un important programme de recherche de la NSF (National Science Foundation). Le fondement des « Réseaux actifs » est de rejeter le principe de bout-en-bout de l'Internet et d'introduire de l'intelligence dans les équipements chargés d'acheminer les paquets dans le réseau (« routeurs »). De fait, ces paquets qui transitent véhiculent du code qui peut être exécuté dans les routeurs afin, par exemple, de déployer dynamiquement de nouvelles fonctionnalités.

Enfin, les plates-formes de recherche et d'expérimentation en réseaux ont joué un rôle crucial dans le développement de l'Internet. Une politique active de déploiement de telles plates-formes a été conduite aux États-Unis depuis l'émergence de l'Internet et se poursuit encore aujourd'hui avec un investissement de 10 M\$ de

la NSF. Ces plates-formes ont permis très tôt aux chercheurs américains de tester, valider, expérimenter leurs idées avant de les transférer dans des contextes opérationnels, mais aussi d'identifier de nouvelles voies de recherche, démontrant ainsi la nécessité de l'expérimentation dans ce domaine, comme celle-ci est une démarche reconnue dans les autres disciplines.

Les évolutions qui apparaissent pour les quatre prochaines années se situent dans plusieurs directions. L'ubiquité sera la caractéristique essentielle du réseau qui deviendra omniprésent et mobile, dans la mesure où tout système manufacturé embarquera un processeur de communication, pour un coût infime. De nouveaux thèmes sont explorés sur des sujets que nous regroupons en 4 parties étroitement liées :

- les Réseaux mobiles et Ambiants dont les applications sont multiples (atmosphère, environnement, habitat, défense, etc.) sont apparus grâce au développement de technologies sans-fil, et soulèvent des besoins particuliers en terme de collecte de l'information, de gestion de la mobilité et d'organisation du réseau ;

- les Réseaux à large échelle, distribution de contenus, qui devront demain intégrer les systèmes embarqués, composés de milliards de processeurs enrichis de capacité de communication. Le passage à l'échelle de tels réseaux soulève des questions exprimées en terme d'architecture, de complexité des traitements, de taille des tables mémoire, d'administration, de sécurité ;

- les Lois fondamentales qui régissent le fonctionnement du réseau, qu'il convient de découvrir et valider. Elles concernent les lois de trafic, de topologie, de performance. De manière analogue à la démarche de la physique, il devient indispensable de mesurer le réseau, qui est à la fois complexe et vivant.

- le développement de plates-formes sur les Réseaux et Services qui seront utiles pour tester ces nouveaux systèmes, de manière analogue à l'expérimentation conduite sur Internet afin d'en valider les fondements.

De plus ce qui apparaît important aujourd'hui n'est pas seulement d'imaginer de nouvelles technologies réseau mais de comprendre comment leurs particularités vont modifier les usages. Par exemple, les applications pourront tirer parti d'informations de localisation de l'utilisateur, ou lui proposer des services dépendant du contexte.

3 – SYSTÈMES COMPLEXES À DOMINANTE INFORMATIONNELLE : ARCHITECTURE, CONCEPTION ET FONCTIONNEMENT

3.1 INTRODUCTION ET DÉFINITION

Le terme « système à dominante informationnelle » recouvre tous les dispositifs où du matériel et du logiciel sont mis en œuvre pour traiter, stocker, fournir de l'information.

Dans ce domaine, les défis, verrous et thèmes porteurs que l'on peut identifier pour les prochaines années sont prioritairement liés à la nécessité :

- de faire face à une quantité toujours plus grande de données ;
- de répondre en tout lieu et à tout moment à d'importants besoins en puissance de calcul ;
- d'assumer une dépendance toujours croissante pour de nombreux aspects de la vie quotidienne ;
- et en conséquence de recourir à des modélisations et à des méthodes de développement mieux adaptées à des systèmes de plus en plus complexes.

3.2 CONCEPTION DES CIRCUITS, COMPOSANTS, INTÉGRATION

Le besoin en systèmes de plus en plus complexes et performants passe par une intégration poussée des circuits réalisant des fonctions numériques et analogiques complexes, la gestion intelligente de l'énergie électrique, en utilisant des matériaux performants et tout en assurant une fiabilité maîtrisée. L'optimisation des matériaux, des technologies, des composants et des circuits électroniques conduit fréquemment à l'assemblage hétérogène et tridimensionnel. Si la fonctionnalité réside en grande partie sur les puces semi-conductrices, elle est de plus en plus souvent conditionnée par les performances des éléments passifs et de leurs matériaux. Toutefois, outre ces derniers éléments, la fiabilité du système relève aussi, et parfois surtout, de l'environnement : le packaging.

Ainsi, la complexité de ces systèmes, leurs aspects multi-physiques, multi-contraintes, multi-matériaux et les coûts de mise en œuvre technologique, exige une méthodologie de conception en vue de l'intégration. Cette méthodologie se doit d'être hiérarchisée car devant recouvrir la conception de la fonctionnalité, mais aussi prédire le fonctionnement en régime extrême, analyser la disponibilité du système voire la fiabilité et le vieillissement du système. Une telle méthodologie repose sur une modélisation multi-physique, multi-échelle et multi-méthode. Cela sous-entend la maîtrise de la cohérence des données sur les matériaux, les géométries, les procédés technologiques, les composants et circuits électroniques à tous les niveaux.

Dans ce domaine plus particulièrement, des synergies entre les sections 07 et 08 vont se développer. En effet le développement technologique rapide des méthodes et technologies de fabrication présente des constantes de temps inférieures au taux de développement des systèmes et des logiciels qui leurs sont associés. Un gros effort doit donc être fait pour dominer autant que possible l'important

accroissement de complexité que permettent et induisent les technologies de fabrication, et qui est déterminant pour les applications. Dans ce cas, la microélectronique a beaucoup à attendre des disciplines de l'informatique proprement dite, en complément de ses propres travaux. Aujourd'hui, l'algorithme et le silicium sont devenus, bien plus que dans le passé, deux éléments inséparables : on ne peut raisonnablement développer la technologie sans connaissances sur ses finalités, ni imaginer des algorithmes et des systèmes sans savoir quelles technologies les supporteront. En même temps, cette vision « intégrale » des systèmes permet la prise en compte de contraintes qui autrefois étaient ajustées tant bien que mal après coup (ou simplement subies) : ainsi, on dispose maintenant d'outils permettant de modéliser des algorithmes pour minimiser la consommation électrique d'un circuit ou d'un ensemble de circuits

3.3 LES MASSES DE DONNÉES

D'une manière générale, l'évolution technologique conduit à des acquisitions de données de plus en plus volumineuses dont le traitement requiert des approches spécifiques, que ce soit à des fins d'extraction d'information (fouille, détection, segmentation), de transmission (codage, compression), d'interprétation (classification, reconnaissance, indexation) ou de protection (cryptage, tatouage).

Elle impose aussi de mieux maîtriser des techniques de traitement distribué (réseaux, données) et de se doter d'outils de recherche expérimentale pour valider ces techniques en vraie grandeur.

On est loin d'avoir résolu les problèmes de fond que pose cette explosion de la masse d'information. Afin de permettre de retrouver et de calculer des informations cohérentes parmi des masses gigantesques de données, il faut développer et faire converger les recherches comme :

- la fouille de données dans des univers mal structurés ;
- l'intégration de données structurées mais provenant de sources hétérogènes ;
- la représentation des connaissances et des ontologies ;
- l'annotation de documents multimédia ;
- les modélisations par « vues multiples », etc.

Des synergies fructueuses sont en train de se développer, ces recherches se reconnaissant sous le vocable (pas forcément bien choisi) de Web sémantique.

Un autre point de vue, complémentaire, est l'invention de modèles et de systèmes pour ce qu'on appelle des entrepôts de données, c'est-à-dire, soit de très grandes bases de données, soit des groupes de bases de données sur lesquelles on souhaite travailler globalement.

Il ne faut pas oublier les aspects liés à la restitution des résultats, ainsi qu'à l'orientation de l'utilisateur durant ses recherches. La visualisation d'informations complexes, étudiée classiquement dans le cadre des interfaces utilisateurs, prend une grande actualité. Comprendre la nature profonde de l'interaction homme-machine et de la communication médiatisée, définir de nouvelles approches pour l'interaction située, avoir une compréhension globale des systèmes homme-machine, maîtriser la conception de systèmes interactifs complexes et évolutifs : ce programme de recherche est aujourd'hui à peine effleuré, même par les équipes les plus avancées.

3.4 PUISSANCE DE CALCUL, SYSTÈMES MOBILES OU EMBARQUÉS, OBJETS HYBRIDES, MINIATURISATION

Les besoins en puissance de calcul peuvent être satisfaits par des serveurs puissants (héritiers des super-calculateurs), les grappes – clusters

(collections homogènes ou faiblement hétérogènes de centaines d'ordinateurs standard reliés localement par des réseaux rapides), les grilles de calcul (collections de machines très diverses, distantes et bien identifiées).

Les grappes-clusters et grilles sont des champs d'expérience incontournable pour développer ce qu'on appelle le calcul global : tirer partie de la faible utilisation de la puissance de calcul des ordinateurs connectés à un réseau local ou à Internet. Le caractère fortement dynamique et versatile du calcul global (du fait des allées-venues des utilisateurs locaux) est un obstacle pour développer des algorithmes.

Une idée intéressante défendue en France est de travailler sur le concept de « grille légère » (grappes de grappes), étape intermédiaire vers la grille. Par ailleurs, l'interaction en France entre chercheurs théoriciens et spécialistes du terrain est une originalité à renforcer.

Les thèmes importants sont reliés aux intergiciels – middlewares – distribués (configuration, découverte de ressources, protection, etc.), à l'algorithmique et la programmation et à la gestion des ressources.

Les modèles conceptuels de ces nouveaux supports d'exécution ne sont pas au point et leur validation pose des problèmes pratiques délicats. Il faut noter que plusieurs projets ou ACI nationaux, si ils sont menés à leur fin, devraient permettre à l'ensemble des équipes françaises du domaine de travailler et d'expérimenter dans de bonnes conditions.

En ce qui concerne les calculs locaux, qu'il s'agisse de calculs sur des hyper-calculateurs ou sur des processeurs embarqués spécialisés, les approches de type « Adéquation Algorithme-Architecture » prennent une importance de plus en plus grande. Les types de contraintes peuvent varier (recherche de très haute performance, ou faible consommation d'énergie, ou mémoire limitée, etc.), mais le problème d'optimiser les algorithmes et le code en fonction des architectures peut être abordé sur la base d'une même expertise où beaucoup reste à développer

3.5 GESTION DE LA COMPLEXITÉ

Complexité en taille des données à traiter, en nombre de sites de calcul impliqués, mais aussi complexité intrinsèque des problèmes abordés grâce aux nouvelles puissances de calcul, les systèmes actuels et futurs posent de nombreux défis scientifiques et techniques.

En schématisant et en résumant, on peut distinguer deux classes d'approches, pas forcément disjointes, pour aborder ces défis :

- les approches basées sur la décomposition en composants indépendants, organisés selon des architectures adaptées, et coopérant selon des protocoles adéquats ;

- des approches probabilistes qui permettent de traiter des problèmes de très grande taille en assurant une très grande probabilité soit de trouver une solution exacte, soit d'en trouver une très bonne approximation.

Dans tous les cas, la conception, la validation et la vérification de tels systèmes nécessitent l'établissement et l'analyse d'un (ou plusieurs) modèles permettant de gérer cette complexité, et qui deviennent eux aussi de plus en plus complexes, etc.

Du point de vue scientifique, la question se pose en termes de validation du modèle. Qui dit modèle complexe, dit aussi grand nombre de paramètres, et la mise au point d'un plan d'expérience adéquat, qui permette d'avoir une vision aussi exacte que possible de la validité du modèle, est un champ d'investigation difficile, tant du point de vue théorique que d'un point de vue pratique.

Gestion de la Complexité : Composants et architectures logicielles

Un système complexe est un système ayant de multiples composants avec des interactions nombreuses et changeantes. Si cette vision en composants ne s'impose pas d'elle même, le processus de modélisation doit comprendre un phase de décomposition

dont la pertinence est cruciale pour la suite. Depuis plusieurs années tout un courant de recherche s'est développé sur des modèles et des langages de description d'architecture logicielle, qui, au niveau de la conception, fournissent des archétypes et des outils de descriptions de composants logiciels, de connecteurs et d'organisations architecturales globales. Architectures, patrons, composants et composition, restent des sujets d'actualité, d'une part parce qu'on est amené à considérer des modèles de plus en plus complexes, d'autre part parce que les méthodes de validation, de vérification, et d'évaluation de ces approches demandent à être développées.

Gestion de la Complexité : les approches probabilistes

Face à un système complexe par nature, dont on ne maîtrise pas l'architecture, l'approche par décomposition-composition ne s'applique pas. Il peut s'agir de systèmes traitant de problèmes intrinsèquement complexes (explosion combinatoire des données ou des traitements) ou de systèmes existants (par exemple internet).

Les algorithmes probabilistes sont souvent très adaptés pour approximer l'analyse ou la vérification de ces systèmes avec grande probabilité.

Le développement de l'Internet comme modèle de calcul (voir le calcul global mentionné ci-dessus) crée de nouveaux problèmes où les solutions approximatives et robustes sont importantes.

Le défi est de développer une algorithmique différente, qui ne peut pas être exhaustive et qui mène à la solution recherchée. Les méthodes peuvent venir d'algorithmique probabiliste, d'algorithmique de proximité, d'algorithmes d'auto-organisation pour lesquels l'étude de stabilité est délicate. Les solutions peuvent aussi venir d'approximations judicieuses ou de calcul de bornes remplaçant le calcul de la valeur exacte.

Les modèles de calcul fondés sur la physique quantique (calcul quantique) peuvent être rattachés à ce mouvement, que les calculs soient réalisés ou non sur un support quantique.

3.6 SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

L'état des connaissances et l'état de l'art permettent de développer et de conduire opérationnellement des systèmes à haute criticité, que ce soit vis-à-vis de la sécurité au sens de l'innocuité des défaillances (tels que systèmes avioniques, de signalisation ferroviaire, de commande-contrôle nucléaire) ou de la disponibilité (tels que systèmes de traitement transactionnel ou serveurs dorsaux de l'Internet). La maîtrise de ces systèmes passe généralement par un contrôle volontaire de l'augmentation de leur complexité. Par contre, l'augmentation continue de la complexité, entraînée par celle de leurs applications, de nombre d'autres systèmes qui constituent d'ores et déjà le paysage de l'informatique omniprésente, tels que les fermes de serveurs frontaux pour les applications basées sur le Web ou les réseaux fixes ou mobiles de systèmes enfouis (y compris les réseaux massifs de capteurs), pose le problème fondamental auquel se trouve confrontée la sûreté de fonctionnement : le passage à l'échelle pour les grandes complexités.

Ces grandes complexités s'accompagneront inéluctablement d'une persistance de fautes de développement résiduelles malgré les avancées en vérification et validation, fautes résiduelles le plus souvent furtives, donc extrêmement difficiles, voire impossibles à diagnostiquer et donc à éliminer. La poursuite de la miniaturisation du matériel rend de plus en plus prépondérantes les fautes physiques transitoires ou intermittentes, qu'elles soient d'origine interne ou environnementale, par rapport aux fautes permanentes. Par ailleurs, la prédominance des fautes d'interaction homme-système dans les causes de défaillance ne fera que

s'affirmer, qu'elles résultent d'actions involontaires dans l'administration (de la configuration à la maintenance) des systèmes, ou de malveillances comme les tentatives d'intrusion ou les attaques en déni de service. Les recherches à mener concernent donc en tout premier lieu la tolérance aux fautes.

Vis-à-vis des fautes physiques et des fautes de développement résiduelles, on retrouve le passage à l'échelle d'approches telles que l'arrêt volontaire au plus tôt et la reconfiguration, sans oublier le rajeunissement des logiciels pour se prémunir contre le vieillissement des structures de données. Ces approches nécessiteront des travaux sur des intergiciels spécifiques, ainsi que sur l'empaquetage de logiciels pour la détection d'erreur. La tolérance aux intrusions implique la tolérance aux vulnérabilités (dont certaines sont inévitables pour pouvoir tout simplement utiliser les systèmes). Il y a là un champ récent de recherche afin de pouvoir repousser les limites des systèmes de détection d'intrusion ; une approche prometteuse est la diversité, qui peut s'étendre aux plates-formes d'accès. La tolérance aux fautes d'interaction involontaires dans des systèmes d'une ampleur inégalée jusqu'à présent passe par une automatisation de l'administration des systèmes, et donc par un accroissement de leur autonomie. Il importera à ce sujet d'avoir présent à l'esprit les paradoxes de l'automatisation qui ont été mis en évidence dans les systèmes de commande-contrôle, et donc d'aborder cette automatisation par des approches multidisciplinaires faisant intervenir ergonomes et cognitivistes.

La nécessaire validation de la tolérance aux fautes passe par la démonstration de son efficacité, qui nécessite des approches analytiques (y compris formelles) et expérimentales (par exemple, par injection de fautes représentatives). Ces démonstrations posent à leur tour le problème de la quantification de la sûreté de fonctionnement, en particulier vis-à-vis des fautes d'interaction, tant involontaires que malveillantes.

Débordant le cadre des systèmes informatiques, se pose de façon cruciale la dépendance des infrastructures essentielles (de production

et distribution d'électricité, de transport, de santé, etc.) des systèmes informatiques. Ce domaine de la protection des infrastructures essentielles passe par l'étude et la modélisation de leurs interdépendances, sujet éminemment multidisciplinaire.

Il importe enfin de se préparer à l'avènement des changements technologiques radicaux qui accompagneront l'essor des nanotechnologies. Des recherches sont à mener tant sur les conséquences de l'émergence de nouveaux matériaux, de modes de défaillance et de susceptibilité environnementale vraisemblablement différents du silicium, que sur des architectures de systèmes où une proportion significative de composants est défaillante, donc nécessitant la tolérance aux fautes tant de production qu'opérationnelles.

3.7 CONCLUSION

Ces quelques pages ne donnent qu'une vue partielle du grand mouvement scientifique et technologique qui sous-tend la mise en place de « l'infrastructure informationnelle » sur laquelle est basée maintenant une part essentielle des activités scientifiques, sociales, et économiques. Or cette tendance ne peut que s'accroître. La généralisation de cette nouvelle infrastructure et son utilisation massive fait émerger des exigences de passage à l'échelle, d'efficacité, de sûreté de fonctionnement, de flexibilité qui font apparaître ou revisiter des objectifs scientifiques nouveaux, ainsi que des besoins impératifs d'expérimentations et de validation en vraie grandeur.

4 – ROBOTIQUE, RÉALITÉ VIRTUELLE, INTERACTION ET COOPÉRATION

4.1 INTRODUCTION

L'interaction entre monde virtuel et monde naturel est au cœur de cette problématique, qui est centrée sur la construction d'artefacts ou de systèmes intelligents dont les fonctionnements peuvent être inspirés de systèmes du Vivant du plus simple au plus complexe, et qui réciproquement vont changer l'environnement de l'homme et le suppléer dans de multiples fonctions.

4.2 INTERACTION ET COOPÉRATION, COGNITION

Le système cognitif humain constitue lui-même un support naturel d'information. Il est également en interaction avec d'autres systèmes cognitifs qui l'entourent qu'ils soient naturels ou artificiels. Toutes les grandes fonctions cognitives (perception, mémoire, apprentissage, raisonnement) sont impliquées dans des boucles de traitement impliquant l'homme seul ou dans ses relations avec les TIC. Les recherches autour de la cognition deviennent donc centrales dans le développement des STIC et de nombreuses interactions ont été instituées dans ce domaine avec les Départements SDV (section 27 : Comportement, Cognition et Cerveau) et SHS (section 34 : Langue, langages, discours). Les Sciences Cognitives ont constitué un nouveau champ de recherche depuis les années 1990, et ont bénéficié de différentes initiatives comme les Programmes Cognisciences, GIS Sciences de la Cognition, ACI Cognitive du Ministère de la Recherche et plus récemment du programme interdisciplinaire du CNRS « Cognition et Traitement de l'Information ». Toutes ces actions ont permis de construire une communauté

très interdisciplinaire de chercheurs qui se regroupent au sein de réseaux régionaux de Sciences Cognitives, de dégager de nouvelles problématiques interdisciplinaires, qui ont été concrétisées par la création de la Commission Interdisciplinaire du Comité National « Cognition, langage, traitement de l'information : systèmes naturels et artificiels ».

Les problématiques au cœur de ces recherches sont la compréhension des grandes fonctions cognitives chez l'homme, le développement de modèles d'inspiration biologique pour la construction de systèmes artificiels et la conception et l'évaluation des interfaces homme machine.

De plus en plus l'étude de la cognition chez l'homme, qui traditionnellement utilise les protocoles de la psychologie cognitive et des approches de Neurosciences Intégrées, nécessite l'intervention des STIC tant au niveau des nouvelles méthodes d'imagerie cérébrale, qui donnent un accès direct aux activations cérébrales chez l'homme, que des modèles computationnels de la cognition naturelle et de ses bases neuronales. Ceux-ci permettent de comprendre et de simuler les capacités perceptives et cognitives de larges ensembles neuronaux. L'implémentation de ces modèles de fonctionnement dans des robots capables d'interagir avec l'environnement est aussi une façon directe de comprendre les capacités adaptatives de ces modèles, et leur faisabilité.

Ces travaux ont des retombées en intelligence artificielle. Ainsi elles permettent de développer des « agents » logiciels capables de construire des modèles de représentation et d'interagir avec d'autres agents ou leur environnement.

Enfin ces recherches ont une énorme importance pour le développement de nouvelles interfaces entre l'homme et la machine, que ce soit la construction d'artefacts permettant une interaction sensorimotrice (pour la réalité virtuelle par exemple) que pour les interfaces homme – machine ou homme – homme médiatisée par les TIC nécessitant la modélisation des activités cognitives de haut niveau, comme

le raisonnement, le diagnostic, la prévision, la décision et la planification. Les concepts développés par la psychologie ergonomique sont fondamentaux tant pour la conception que l'évaluation de ces interfaces.

Les autres domaines très importants qui sont la langue et l'apprentissage sont traitées dans le prochain paragraphe.

4.3 ROBOTIQUE

La recherche en robotique porte sur l'étude et la conception de fonctions sensori-motrices et cognitives, et d'architectures matérielles et logicielles pour l'intégration de ces fonctions en une machine physique. Cette définition, générale, peut se traduire aujourd'hui comme l'élaboration d'une machine capable :

- d'agir dans un environnement ouvert, dynamique et imparfaitement modélisé ;
- de réaliser de façon autonome une diversité de tâches ;
- d'interagir avec d'autres machines et avec des humains, matériellement ou virtuellement ;
- et d'améliorer ses propres performances par apprentissage.

Il faut noter que la discipline a mûri et que nous sommes en mesure aujourd'hui de mieux évaluer les capacités réelles (en termes de robustesse, de variabilité des tâches, de pertinence même des sujets traités) des objectifs scientifiques et des enjeux socio-économiques de la robotique.

La robotique implique naturellement une intégration pluridisciplinaire, principalement à partir de thématiques des STIC (automatique, traitement du signal, IA). Elle pose des problématiques nouvelles qui dépassent les différents thèmes sur lesquels elle se construit et se situe dans une prospective riche, non seulement pour les STIC, mais également pour d'autres domaines, telles les SPI (matériaux, mécanique, biomécanique), les SDV (neurosciences,

approches bio-inspirées, technologies pour la santé), ou les SHS (communication Homme-machine, cognisciences).

Ainsi, Robea, un Programme Interdisciplinaire de Recherche du CNRS, créé en 2001 pour 3 ans, constitue une illustration des implications thématiques de la robotique. Il a soutenu 32 projets de recherche focalisés, dont les premiers se sont terminés fin 2003 et les plus récents iront jusqu'à l'automne 2006. Plus de 250 équipes appartenant à une centaine de laboratoires ont participé aux trois appels à propositions de Robea. Ces laboratoires sont affiliés au CNRS (départements STIC, SPI, SDV et SHS), aux universités, à l'INRIA, à l'INSERM, à l'ONERA, au CEMAGREF, au CEA, à la DGA et à l'INRETS. L'INRIA, la DGA et l'ACI Cognitive du MRNT ont contribué, aux côtés du CNRS, au financement du programme.

Les enjeux sociaux et économiques de la robotique sont nombreux, avec une visibilité et une crédibilité croissantes. Des retombées indirectes, tout aussi motivantes, touchent de nombreux domaines applicatifs. Nous en citons ici quelques-uns sans aucune prétention à l'exhaustivité.

Ainsi, les applications de la robotique mobile sont nombreuses : robots dans des environnements hostiles réalisant des tâches dangereuses ou pénibles pour l'être humain (robotique d'exploration planétaire ou d'intervention en site polaire, robots d'assistance pouvant assister l'Homme dans des missions planétaires), robotique de déminage humanitaire, de maintenance de sites insalubres, ou d'exploration de zones dangereuses, robotique sous-marine, robotique minière, robotique d'inspection et de maintenance d'égouts, robotique de chantier et robotique agricole.

Outre les applications de robotique dite de service (surveillance, manutention, nettoyage), des projets de robot d'assistance crédibles voient le jour (personnes âgées ou handicapées). Le domaine de la robotique personnelle est appelé à prendre un essor considérable allant de l'assistant domestique à la machine ludique, voire aux fonctions robotiques portées par un humain (« human

augmentation »). Le domaine du transport avec la conduite assistée et les véhicules intelligents représente certainement un défi et des enjeux très importants. Mentionnons enfin les applications militaires et celles de sécurité civile comme la robotique aérienne, en particulier pour la surveillance de trafic ou de feux de forêts qui concentrent un large intérêt.

Les applications médicales de la robotique à poste fixe soulèvent des problèmes encore largement ouverts liés à des enjeux de santé publique très mobilisateurs : imagerie et aide au diagnostic, suivi volumique et temporel de lésions, aide à la planification et à la réalisation d'interventions chirurgicales peu invasives, télémédecine.

D'autres enjeux très importants des recherches en robotique vont au-delà des applications directes de la robotique. De plus en plus d'artefacts complexes intègrent en effet des capteurs, des actionneurs, des moyens de traitement de l'information, des moyens de communication et d'adaptation à divers domaines de fonctionnement.

La maîtrise du mouvement d'artefacts réels ou virtuels devient une fonction importante. Les techniques et logiciels de géométrie algorithmique et de commande peuvent contribuer à des applications allant de la conduite automobile, assistée ou automatique, à la pharmacologie (étude des configurations moléculaires). En CAO, pour l'animation graphique et les jeux vidéos, il s'agit d'intégrer des fonctions évoluées de maîtrise du mouvement (réactivité, rendu réaliste) et de doter les agents du jeu de comportements intelligents.

Ainsi, le robot réel ou virtuel se trouve en interaction avec l'homme, interaction multimodale (langage, perception, geste, visualisation). Nous faisons ainsi le lien avec la réalité virtuelle, au sens large, et ses propres enjeux.

4.4 RÉALITÉ VIRTUELLE

Les techniques de réalité virtuelle (RV) connaissent un développement important, à la fois dans les usages professionnels ou ludiques qu'en fait la société, mais aussi dans le monde de la recherche. Ce développement nécessite à la fois des compétences pour la construction de dispositifs de haute performance technologique, mais aussi pour l'étude de l'utilisation de ces dispositifs, dont les utilisateurs vont du professionnel d'un métier particulier au grand public. Les besoins en réalité virtuelle sont très divers et s'accroissent presque quotidiennement.

La RV est à la croisée de nombreuses disciplines, telles que : la modélisation géométrique, la synthèse et l'analyse de l'image et du son, la robotique, les architectures logicielles, la reconnaissance de formes, la représentation des connaissances, les interfaces Homme-Machine, mais aussi celle de l'ergonomie avec des problématiques tant physiologiques que cognitives.

En effet, des situations cognitives nouvelles ont été créées par la RV.

Les applications sont multiples et iront en s'élargissant :

- le design industriel et l'ingénierie, pour la conception produit/procédé/processus ;
- l'éducation et la formation ;
- la santé où la Réalité Augmentée apporte déjà un soutien opérationnel aux examens médicaux et à la planification de certaines interventions chirurgicales ;
- la sécurité où les systèmes de simulation permettent de mettre en œuvre et de tester la pertinence de plans d'actions, de décisions d'intervention ;
- le multimédia (consoles de jeux, modalités d'échange nouvelles, etc.).

Quant aux défis scientifiques, ils sont nombreux et l'on peut citer notamment :

- la simulation réaliste en temps réel ;

– l'interaction physique (geste et retour d'effort), imposant l'étude de périphériques innovants ;

– le travail coopératif : interaction multi-utilisateurs en environnement immersif dans un contexte ;

– multi-métiers et sur des systèmes immersifs distants ;

– l'interaction « cognitive » Homme-système.

5 – LA SOCIÉTÉ DE L'INFORMATION DE LA COMMUNICATION ET DE LA CONNAISSANCE : CONTENUS, INTERFACES ET USAGES

5.1 INTRODUCTION

La société de l'information est aujourd'hui une réalité, dont les enjeux sont considérables. Pour conduire et maîtriser l'évolution vers une véritable société de la communication et de la connaissance, la recherche se doit de répondre à un double défi : aider les acteurs sociaux à s'approprier l'offre technologique et, à l'inverse, adapter le développement des STIC aux besoins de l'homme et de la société.

5.2 CONTENUS

Le **traitement automatique des langues** (T.A.L.) est au centre des enjeux de recherche, dans la mesure où les informations produites, traitées et échangées passent le plus souvent par des supports de nature (totalement ou partiellement) linguistique.

Dans ce domaine, la tradition, déjà bien établie, de collaboration entre les spécialistes du traitement du signal et des images, les informaticiens et les linguistes (sections 7 et 34) est appelée à se renouveler sous l'effet des facteurs suivants :

– la croissance exponentielle des informations à traiter (par exemple sur le Web ou les intranets) ;

– l'hétérogénéité des documents (généralement multimédia, souvent multilingues) ;

– le caractère souvent non normé du matériau linguistique (langue parlée, texte tout venant susceptible de contenir des erreurs, etc.).

En conséquence, les recherches en T.A.L. doivent évoluer dans les directions suivantes :

– élaboration d'approches intégrées où l'ingénierie linguistique (heuristiques efficaces d'investigation, traitement de masse, statistique et relativement superficiel) vient compléter une démarche plus théorique (validation de modèles, analyse de contenu, traitement plus en profondeur) ;

– constitution d'outils et de ressources numérisées sur les langues, et tout particulièrement sur le français (taggeurs, parseurs, corpus étiquetés, etc.) ; les outils et ressources existants sont encore trop peu utilisés, car mal recensés et peu accessibles : il est urgent, à cet égard, qu'un travail de recensement et d'évaluation comparative soit entrepris sous l'égide du CNRS.

Trois domaines de connaissances doivent être explorés plus avant :

– la représentation des connaissances sémantiques ;

– la représentation du texte (en tant que réseau complexe de relations entre mots et entre phrases) et la structuration des documents ;

– l'interaction entre information linguistique, information visuelle et information sonore (navigation dans l'hypertexte).

Un secteur particulier est appelé à des évolutions notables, celui du **traitement de la parole**. Le développement de systèmes de

dialogue homme-machine (et plus généralement les systèmes permettant des interactions communicantes entre agents humains et/ou artificiels) nécessite en effet, si l'on veut améliorer la qualité des produits en reconnaissance ou en synthèse automatique de la parole, la prise en compte d'un certain nombre de connaissances linguistiques (concernant notamment le rythme, la prosodie et la variabilité du signal de parole). D'autres domaines d'application sont également susceptibles de bénéficier des progrès de la recherche dans ce secteur, comme par exemple l'identification automatique des langues ou de l'indexation de documents sonores et/ou audiovisuels.

Enfin, l'étude des **mécanismes de traitement du langage par l'humain** (qui fait l'objet de recherches de la part des neuro-psycho-linguistes de la section 27) est susceptible de retombées importantes, au plan technologique et social (notamment pour le traitement des troubles de langage).

5.3 INTERFACES

L'étude des **interactions langagières**, telles qu'elles se pratiquent dans la communication homme-machine (ou dans la communication homme-homme par l'intermédiaire de la machine), est appelée à se développer dans les prochaines années. La notion de dialogue et celle d'objet communicant sont ici centrales. De nouveaux types de données, jusqu'ici peu explorés, devront être étudiés (comme par exemple les corpus constitués par les messages envoyés par courrier électronique, « chats », SMS, etc.).

Ce vaste domaine des interactions langagières requiert une démarche pluri-disciplinaire, qui intègre des modèles linguistiques, psycho-linguistiques, cognitifs, sociaux et computationnels, au sein d'un paradigme englobant (comme celui de la communication entre agents intelligents au sein d'un système multi-agents, dans la perspective de la cognition située et distribuée).

5.4 USAGES

L'un des grands enjeux à venir est l'élaboration de systèmes et d'interfaces qui, **dès la conception**, prennent en compte les besoins des usagers humains : la problématique est ici celle de la « conception participative », qui impose aux concepteurs de travailler en étroite collaboration avec des psychologues, des sociologues et des ergonomes.

Par ailleurs, afin d'aider l'homme à s'approprier l'offre technologique, il convient d'étudier non seulement les usages canoniques, mais aussi les usages détournés que les humains sont susceptibles de faire des systèmes mis à leur disposition : la collaboration avec les sociologues peut, à cet égard, éclairer utilement sur la façon dont les usagers utilisent et s'approprient un système d'une manière différente de celle pour laquelle ils ont été conçus.

5.5 CONCLUSION

Pour explorer ces nouveaux champs de recherche, le département STIC a impulsé ou soutenu de nouveaux programmes consacrés spécifiquement à ces champs : programme « Traitement des connaissances, apprentissage et nouvelles technologies » et programme « Société de l'information ». Il y a par ailleurs dédié une partie des outils nouveaux qu'il s'était donnés (12 réseaux thématiques pluridisciplinaires (R.T.P.) leur ont été consacrés, ainsi qu'un certain nombre d'actions spécifiques (A.S.)).

Quelle que soit la forme institutionnelle retenue, il convient en tout cas de conserver et de développer une approche pluri-disciplinaire des questions posées par la société de l'information, de la communication et de la connaissance qui, à l'évidence, concernent également les départements SHS et SDV.

6 – CONCLUSION

6.1 ENJEUX COMMUNS

Les STIC regroupent des chercheurs de multiples disciplines autour d'objectifs communs, qui sont le développement tant au niveau matériel et logiciel des technologies futures de l'information et de la communication. Comme indiqués à plusieurs reprises dans le texte, cette communauté est dans son ensemble confrontée à des défis nouveaux engendrés par la complexité croissante des systèmes, les masses de données de plus en plus conséquentes à traiter, à stocker et à interpréter, à la diversification des contenus de l'information et à leur répartition qui devient de plus en plus distribuée, sans oublier la dépendance croissante de l'ensemble de la société dans ces systèmes et réseaux.

Ces nouvelles contraintes vont nécessiter de plus en plus des synergies au cœur des STIC entre physiciens et informaticiens. Les domaines dans lesquels ces interactions sont amenés à se développer sont l'électronique intégrée, les réseaux ad hoc auto adaptatifs pour liaisons globales entre objets mobiles communicants ou poussière intelligente (smart dust) et enfin à plus long terme les nouvelles voies qu'explore « l'informatique quantique ». Pour cette dernière, si on se trouve encore dans une phase de balbutiements, et si on ne peut pas donner d'échelle de temps pour le développement de ces techniques (ni même affirmer qu'elles déboucheront certainement), il s'ouvre des horizons porteurs de beaucoup d'espoir.

Les recherches en STIC doivent aussi de plus en plus intégrer le facteur humain dans leur développement en termes de notion d'usages, d'acceptabilité voir aussi de suppléance, qui doivent être abordées par des interactions fécondes entre psychologues, sociologues, linguistes, physiciens et informaticiens.

Les progrès dans tous ces domaines dépendront beaucoup du dialogue interdisciplinaire, déjà ouvert, et qu'il faudra élargir sans impatience

Un aspect essentiel commun à toutes les disciplines des STIC est la nécessité de concevoir et exécuter de nouvelles procédures d'expérimentation et de validation qui doivent être à l'échelle réelle. Ces projets impliquent le développement de plateformes technologiques, logicielles ou d'usages dont certaines demandent un investissement qui doit impliquer tous les partenaires des Recherches en STIC, qu'ils soient publics ou privés.

6.2 RECOMMANDATIONS SUR LES MOYENS ET STRUCTURES

La communauté française a bénéficié ces dernières années de la croissance de cette thématique de recherche et de la prise de conscience tardive des tutelles de la pénurie critique du secteur de la recherche française dans ce domaine. Un effort notable quoique insuffisant a été consenti par les grands organismes (Universités, CNRS, INRIA). L'existence de réseaux tels le RNRT (Réseau National de la Recherche en Télécommunications), le RNTL (Réseau national de recherche et d'innovation en Techniques Logicielles) et le RMNT (Réseau de Recherche en Micro et Nano Technologies) a aussi contribué à favoriser les échanges au niveau de la communauté et le transfert vers l'industrie.

Quelques groupes de recherche français présentent une taille critique et une visibilité qui leur permet d'être compétitifs et moteurs au niveau international. Néanmoins, le retard accumulé dans ce secteur ne pourra être comblé en quelques années. De même, très peu de chercheurs à temps plein (CNRS ou INRIA) existent dans ce domaine, alors que les enseignants-chercheurs sont très occupés par la forte demande en enseignement sur ce thème. Un effort de recrutement au niveau des organismes de recherche est nécessaire afin de ré-équilibrer la situation par rapport à d'autres disciplines. De plus, la communauté des chercheurs CNRS STIC est très dispersée tant géographiquement que thématiquement.

Les actions incitatives du Ministère, les structures d'animation du Département STIC (Groupements de Recherche GDR, Réseaux Thématiques Pluridisciplinaires RTP) n'ont permis de pallier à ces problèmes structureaux que de façon très partielle. D'autre part le besoin d'expérimentation en vraie grandeur nécessite maintenant des développements de plateformes technologiques conséquentes que la dispersion actuelle des moyens budgétaires et des chercheurs rendent problématiques. Notons que ces structures pour fonctionner ont besoin d'un nombre important d'ITA.

Or, le taux ITA/chercheurs est d'environ 20 % si on tient compte d'une part des ITA et IATOS et d'autre part, des chercheurs, enseignants chercheurs, post-docs et doctorants. Ce nombre est non seulement inférieur aux autres Départements, mais reste faible eu égard à la volonté affichée de développer les recherches en STIC, et au taux de 86 % qui existe aux États Unis.

En STIC, le manque le plus crucial porte sur les postes destinés à soutenir les projets de recherche, à développer des plateformes technologiques ou à assurer un transfert dans le cadre d'une opération de valorisation industrielle. Cela est particulièrement visible en informatique où l'essentiel des forces est consacré à la gestion des moyens des laboratoires. De plus, l'évolution technologique extrêmement rapide nécessite pour les agents de consacrer un part notable de leur temps à la veille et à la formation, difficilement conciliable avec un service déjà surchargé.

Si des réseaux de métiers ont été mis en place avec succès (électriciens, informaticiens chargés des systèmes et réseaux), cela reste à faire pour les informaticiens participant directement aux projets de recherche.

6.3 ÉTHIQUE ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION, DE LA COMMUNICATION ET DE LA CONNAISSANCE

Ce dernier chapitre aborde un problème très important, rarement traité dans le milieu institutionnel de recherche français : celui des questions éthiques posées par les TIC. En effet ledit comité national d'éthique de la recherche s'intitule en réalité « comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé ». Cette dénomination atteste de ce que, dans notre pays, les questions d'éthiques de la science sont essentiellement envisagées sous l'angle de la bioéthique, c'est-à-dire de la biologie, de la médecine et de leurs enjeux.

Or, au même titre que les sciences du vivant, les sciences et les technologies de l'information bouleversent radicalement nos sociétés. Elles modifient nos modes de communication et elles transforment les supports de nos mémoires, ce qui affecte la transmission des systèmes symboliques traditionnels sur lesquels se fondent les axiomes de la morale pratique. Pour en être plus insidieuses, les conséquences du développement des sciences et des technologies de l'information et de la communication n'en sont donc pas moins importantes que celles des sciences de la vie.

Une erreur dans le logiciel de pilotage d'un avion pourrait avoir des conséquences catastrophiques ; une panne de machine risque de paralyser toute une administration ; la destruction d'un magasin de stockage ferait disparaître un pan de la mémoire administrative, ce qui conduirait à une forme d'amnésie bureaucratique assez inquiétante. Ledit « bug de l'an 2000 » montre toutefois à quel point ces risques peuvent être amplifiés outre mesure dans l'imaginaire collectif au point de se présenter comme apocalyptiques.

Les risques les plus grands ne sont pas ceux que l'on annonce de façon spectaculaire, et qui font état d'un cataclysme ou d'une catastrophe consécutive au développement

technologique. Ils sont moins prodigieux. Ils tiennent aux changements sociaux, politiques et économiques induits par les technologies :

Comment les rapports de pouvoir évoluent-ils au sein des entreprises du fait de la mise en place des ERP (« Enterprise Resource Planning ») ? Quelles seraient les conséquences d'un scrutin électronique à distance ? La symbolique républicaine du vote en serait-elle vraiment affectée ? En quoi la déterritorialisation modifie-t-elle les représentations collectives ? Comment les diffuseurs d'information nous manipulent-ils ? Jusqu'où le principe de gratuité du réseau peut-il fonctionner ? Quels effets pervers induit-il ? Comment lutter efficacement contre la « cybercriminalité » ? Quelles sont les conséquences effectives du développement des techniques actuelles (Internet haut débit, télédétection spatiale, RFID etc.) sur l'intimité de la vie privée ? Autant de questions qu'il conviendrait

d'étudier rationnellement, en mesurant précisément les effets réels de la dissémination des technologies de l'information, de la communication et de la connaissance dans la société de façon à parer au mieux, voire à anticiper leurs conséquences néfastes.

Or, de telles études demandent le concours actif des sciences de l'homme et de la société (droit, sociologie, etc.) et des sciences et technologies de l'information (informatique, IHM, traitement du signal etc.), toutes disciplines que le CNRS est parfaitement apte à réunir.

Le texte de l'atelier Information, Communication et Connaissance est un complément indispensable à ce rapport de synthèse et aux rapports de conjoncture des sections 07, 08, 29 (dans sa partie interface avec les STIC) et 34.

