



Quand les objets communiqueront



Le téléphone, la montre, le vêtement, ou le réfrigérateur...

Tous ces objets banals vont connaître une véritable révolution. Les progrès en matière de micro et nanotechnologies ainsi que dans le domaine des réseaux vont en effet permettre de les doter de capacités à comprendre leur environnement, à dialoguer entre eux, voire à réagir.

La révolution a déjà commencé dans l'automobile ou dans le monde de la téléphonie mobile. Mais les défis technologiques restent importants.

Sans compter la nécessité de faire accepter des objets qui peuvent apparaître aux yeux du grand public comme autant de "mouchards".

Une révolution au quotidien	P. 28	L'informatique dans l'ambiance	P. 36
Pegasus : l'utilisateur au cœur de l'innovation	P. 30	Embarquement immédiat	P. 37
De nouveaux espaces de communication	P. 32	L'automobile en première ligne	P. 38
Les défis technologiques	P. 34	Des réseaux sans fil aux réseaux ambiants	P. 39

OBJETS COMMUNIQUEANTS : une révolution au quotidien

Qui n'a pas un jour donné la qualité de personne à un être inanimé ou considéré un objet comme doué de vie et de personnalité ?

Cette folie passagère fera bientôt partie de notre univers quotidien.

Grâce aux progrès de la micro-nanotechnologie et des technologies réseaux.

Objets inanimés, avez-vous donc une âme ?, s'interrogeait Lamar-tine. À défaut d'âme, les progrès de la micro-nanotechnologie et des réseaux pourraient leur donner une "conscience", au travers de microsystèmes (voir *Ingénieurs INPG* n°03-2) leur permettant de savoir où ils se trouvent, d'analyser leur état ou celui de leur environnement et de partager ces informations avec ce qui les entoure.

De l'automobile à l'homme bionique

De quoi révolutionner notre quotidien, à commencer par l'automobile truffée de micro-capteurs et de micro-actionneurs permettant de régler "entre eux" le bon fonctionnement permanent du véhicule. Notre téléphone portable se dote, lui, de capacités de plus en plus importantes à communiquer avec ses semblables, avec d'autres objets communicants (les téléphones japonais intègrent des lecteurs de code barres 2D et de RFID – voir p.XX), ou avec son environnement (le GPS lui permet de savoir où il est) et de fournir ainsi à l'utilisateur des services adaptés au contexte.

Quant à notre environnement, il se trouve placé sous surveillance permanente :



> Grâce à de multiples capteurs, la tête parlante de l'ICP sait ce que l'utilisateur regarde, suit ses centres d'intérêts, qu'ils renvoient à des objets réels ou virtuels.

de multiples stations météo terrestres autonomes couplées à des satellites d'observation permettent d'actualiser des modèles du climat global de la planète. Bientôt, le viticulteur pourra, à moindre coût, équiper sa vigne de capteurs sur chaque cep afin de déterminer l'hydrométrie dans les diverses rangées, le degré de maturation des raisins... et de programmer la date optimale des vendanges, grâce à des prévisions

météo précises.

Sans aller jusqu'à l'homme bionique, le mariage de la chair et de l'électronique est en passe de transcender les limites de la nature humaine. Implantés au sein même notre organisme, ces micro-systèmes pourront suppléer des fonctions défaillantes mais également augmenter nos capacités à interagir rapidement avec notre environnement. Le PAN d'IBM vise ainsi à transmettre des informations par simple contact cutané. Sony élabore un système permettant à un usager de retrouver son environnement de travail sur tout ordinateur d'un réseau par simple contact avec la souris. Il restera bien sûr à régler les inévitables problèmes de sécurité liés à cette trop grande facilité de dialogue avec un corps devenu objet communicant. L'émergence du concept d'objet com-

> Pour en savoir plus

- *Objets communicants*, Hermès Science, Paris, 2002.
- www.grenoble-soc.com (Smart Objects Conference)
- www.cordis.lu/ist/so/embedded-systems et www.cordis.lu/ist/so/cognitive-systems (Initiatives FP6)
- ttt.media.mit.edu (Consortium Thinks That Think)
- autoidlabs.mit.edu et www.uidcenter.org/ (Consortiums américains et japonais sur les RFID)

municant est très liée aux développements des technologies de communication sans fil et des réseaux locaux. Conçus dans un premier temps pour des applications informatiques et télécoms, les réseaux ambiants (*voir p. 37*) permettent un maillage de plus en plus dense et rapproché, un échange rapide et dynamique d'informations entre objets. Mais, l'autonomie énergétique de ces objets communicants "actifs" et enfouis reste un défi technologique majeur.

Traçabilité des trillions d'objets manufacturés

La possibilité de rendre communicants tous les objets physiques en les dotant de capacités minimales à percevoir puis analyser leur état et leur environnement et transmettre ses informations permet une interaction généralisée entre usagers, environnement et infosphère (*voir p. 30*). Ce qui permet d'introduire ces objets comme usagers à part entière des systèmes de télé-communications (télé-détection, télé-diagnostic, télé-manipulation...) avec des applications dans le domaine de la domotique, des transports, du contrôle de processus industriel... sans oublier le domaine de la traçabilité des trillions d'objets manufacturés produits chaque année : le débouché actuellement le plus important. Les étiquettes électroniques sont en passe de remplacer les codes-barres désuets car incapables d'identifier l'objet lui-même – uniquement son type – ni de mémoriser des informations glanées au cours de sa vie.

Ainsi Inkode®, une compagnie de Virginie (USA) propose déjà une technologie qui permet d'incruster de manière invisible de petites fibres de métal dans celles du papier. Un lecteur opérant à 25 ou 50Ghz peut alors identifier la signature magnétique de l'arrangement des fibres... et interdire ainsi la photocopie d'un document important. Dignes successeurs de la carte à puce, les étiquettes électroniques sans contact (RFID) permettent d'identifier les objets qui passent dans le champ d'un lecteur. Outre la facilité à passer en caisse, dans

les tourniquets du métro ou des stations de ski, de nombreuses applications voient le jour dans le suivi des personnes par des RFID collés sur les vêtements (classement des coureurs de marathon, suivi des footballeurs et du ballon pour résoudre le fameux problème du hors-jeu, navigation, surveillance, assistance, commerce personnalisé et géo-localisé...). Cette surveillance peut s'exercer à diverses échelles : bâtiments, zone urbaine voire à l'échelle de pays ou de continents pour suivre des personnes ou des objets (précieux ou dangereux), le trafic aérien ou maritime ou pratiquer une surveillance environnementale ou militaire d'un lieu précis.

Environnements intelligents et agents communicants

On voit ici que l'intérêt des objets communicants réside dans leur hétérogénéité, leur fonctionnement coopératif, chacun n'ayant que des connaissances limitées, spécialisées mais bénéficiant du travail collectif. On rejoint ici la question des environnements dits intelligents, de l'informatique ubiquitaire et de l'intelligence ambiante (*voir p. 34*), thématique mère des objets communicants : les petites briques d'intelligence embarquées (*voir p. 35*) dans des objets doivent en permanence interroger leurs congénères avec lesquels elles sont en contact et reconfigurer leur réseau d'information afin de garantir à un usager >

L'"ange" dans le robot

Les premiers robots de loisir disponibles à la vente ont inauguré une nouvelle forme d'interaction homme-machine. Ils ne sont pas censés rendre des services à leur propriétaire, mais sont construits pour être divertissants et pour réaliser une "présence" d'un type nouveau au sein du foyer.

L'utilisateur interagit avec eux non simplement pour obtenir des services mais aussi pour le plaisir de l'interaction. Leur rôle peut s'apparenter à celui des animaux de compagnie.

Pourtant, les robots de loisir sont par bien des aspects différents de leurs homologues à poils et à plumes. Ils sont avant tout des ordinateurs sur pattes sur lesquels fonctionnent des programmes informatiques.

Il est donc possible de transférer le logiciel d'un corps robotique donné vers un autre.

Nous parlons de "téléportation" lorsque ces corps sont identiques et de "métamorphose" lorsqu'ils sont de types différents. Dans les cinq dernières années, nous avons réalisé plusieurs installations expérimentales qui montrent comment des robots peuvent se "téléporter" et se



"métamorphoser". Au cours de l'une d'entre elles, un réseau de corps robotiques reliés par Internet avait été mis en place entre des laboratoires, des universités et des musées du monde entier. Pendant une année, plus d'un millier de créatures logicielles ont pu voyager, apprendre et interagir les unes avec les autres, s'incarnant successivement dans des robots à Paris, Bruxelles, Londres ou Tokyo. S'il fallait trouver une métaphore pour ces créatures immatérielles capables de prendre corps dans le monde physique, ce ne serait sans doute pas celle d'un chat ou d'un chien, mais peut-être plutôt celle d'un ange...

F. Kaplan, Sony Computer Science Laboratory, Paris, e-mail : kaplan@csl.sony.fr

Objets communicants et usages

« L'industrie de l'électronique grand public doit retrouver le contact avec l'utilisateur final ». Lors du dernier salon CES de Las Vegas, Gerard Kleisterlee, président et CEO de Philips, a ainsi exhorté les industriels de l'électronique grand public à se rapprocher des consommateurs et des utilisateurs¹.

La capacité à utiliser des produits et des logiciels est en effet la clef de la diffusion à large échelle des futurs "objets communicants". Une lapalissade ? Pas tant que cela.

Qui connaît toutes les fonctionnalités de son téléphone portable ? Qui consulte les 50 pages de notice pour le faire fonctionner ? La complexité des systèmes devient telle qu'un effort particulier doit porter sur l'ergonomie, pour faciliter l'utilisation et la compréhension de chaque produit. Ce qui passe par une intégration plus grande de l'usage dès la conception du système.

Mais qu'entend-on par "usage" ? L'usage présente une dimension sociale mais aussi ergonomique tout autant qu'économique car l'usager ou l'utilisateur reste un consommateur (ou un client pour les produits B to B).

C'est dans une perspective d'intégration des compétences que, depuis 1995, le laboratoire CLIPS a monté une plate-forme d'expérimentation pour traiter ces questions liées aux sciences humaines (sociologie de l'usage et des techniques, ergonomie cognitive, anthropologie des organisations, linguistique et communication) en apportant des ressources matérielles et logicielles pour, d'une part, observer et analyser des comportements humains, et, d'autre part, simuler des produits ou des services virtuels à partir de scénarios. Replacés dans une méthodologie de conception participative, ces outils permettent à l'équipe de conception de raccourcir le cycle de conception/développement/évaluation des produits en évitant les impasses.

Cette plate-forme (nommée MultiCom) va rejoindre bientôt le CTL (Centre des technologies du logiciel) pour y déployer ses services auprès des industriels. Son champ d'activités concernera tout particulièrement les objets, agents et environnements communicants, thème également porté par le GIS PEGASUS (voir ci-dessous).

J. Caelen, CLIPS/IMAG Grenoble, e-mail : Jean.Caelen@imag.fr

¹ Article publié par la revue Electronique International, Hebdo, n°546, 5 février 2004

> nomade l'accès fiable et robuste à un ensemble de services attendus ou suggérés par l'environnement.

Chaque objet physique est donc doublé d'un agent logiciel responsable de l'interprétation des actions et du calcul de la réponse qui seront médiatisés par l'objet lui-même ou son environnement. Cet agent logiciel peut avoir suffisamment de ressources pour analyser, anticiper le comportement des autres, leur prêter un comportement rationnel, des états mentaux et ainsi lui permettre d'acquérir un vrai statut social au sein de cette communauté communicante. Ceci est particulièrement vrai pour les robots anthropoïdes dont le marché du jouet est à présent friand et qui, une nouvelle fois, font une percée très importante au Japon dans le domaine des robots domestiques. Robot physique ou agent conversationnel virtuel, métaphore du génie ou de l'ange gardien (voir encadré p. 27) phagocytant les objets communicants au voisinage de l'usager ou de son centre d'intérêt, ces agents communicants bien spéciaux incarnent et personnifient le service rendu, rendent tangible l'environnement communicant et facilitent l'interaction entre cet environnement et l'utilisateur.

Pegasus : l'utilisateur au cœur de l'innovation

Le 15 décembre 2003, Paul Jacquet a été le premier président des 4 universités de Grenoble à paraphraser la convention du GIS Pegasus, créé à l'initiative du CNRS pour mobiliser la recherche grenobloise sur « la conception, l'évaluation et l'usage de systèmes d'interaction entre usagers et systèmes d'information médiatisés par des objets, agents et environnements communicants ».

Objectif de Pegasus : mettre en réseau les compétences des laboratoires de structures fédératives grenobloises en sciences "dures" et "souples" (ELESA, IMAG, MSH Alpes) autour de plate-formes expérimentales pour observer, comprendre et

modéliser les comportements des usagers dans des scénarii d'interaction réels.

En effet, replacer l'usager au centre de l'innovation technologique présente un double enjeu : sociétal, mais aussi économique pour que les produits soit adoptés, donc vendus.

Lancés dès 2004, les premiers projets concernent les systèmes de réalité partagée, permettant d'assurer une continuité de représentation entre monde réel et monde virtuel.

Y seront conçus et évalués des systèmes qui assurent l'interaction avec des objets virtuels (au travers d'interfaces multisensoriels associant notamment audition, toucher

et vision), la désignation intuitive d'objets réels ou virtuels dans une communication face-à-face entre l'usager et un agent conversationnel virtuel (associant analyse et synthèse de la parole, du regard, des mouvements de tête et de la main) et la création d'espaces perceptifs (comme ceux présentés par Coutaz et Crowley).

Une étude sociologique est parallèlement initiée par la MSH pour mettre en évidence les liens possibles entre significations d'usages des innovations technologiques et les profils d'identité des usagers des TIC.

Gérard Bailly, directeur du GIS Pegasus
bailly@icp.inpg.fr

Remettre l'utilisateur au centre du système d'information

L'enjeu est en effet de remettre ce dernier au centre du système d'information, d'interagir avec lui de manière intuitive, mettant en harmonie les "affordances" des objets et celle des usagers.

Littéralement, en anglais, *to afford* a un double sens : être en mesure de faire quelque chose et offrir. Par affordance d'un objet, on entend sa capacité à suggérer son utilisation. Par exemple, en voyant un interrupteur nous comprenons immédiatement qu'il faut appuyer dessus. Transformer cet interrupteur en objet communicant consiste alors à exploiter ce geste simple et intuitif pour

Les nouvelles filières de formation

De nouvelles filières apparaissent au sein des écoles de l'INP Grenoble et des UFR ayant trait au domaine des "objets communicants" : l'ENSERG et l'ENSPG se rassemblent ainsi sur le pôle MINATEC pour « le développement de la formation dans les technologies submicroniques et des objets communicants ».

En 1999, l'INP Grenoble a créé le département "Télécoms", formant notamment des "architectes et intégrateurs d'applications et de systèmes d'information" pour faire face à une demande de nouvelles compétences dans les applications réparties et les logiciels objets, la sécurité des réseaux, les mobiles et les équipements nomades. Peut-être verrons-nous un jour dans nos vitrines le "stylo-calculateur" et le "patch détecteur de stress" lauréats du concours d'idées "Imaginez demain... les futures technologies", organisé par l'INPG Junior Conseil et axé en 2002 sur les objets communicants.



Atout Grenoble

Un des remèdes à la délocalisation est de fonder des pôles d'excellence pluridisciplinaires où les industriels trouvent une profonde synergie entre recherche fondamentale, formation, innovation

technologique et production industrielle, ceci autour de thématiques transversales nécessitant une réelle proximité des ressources humaines impliquées.

Les concepts d'objets, d'agents et d'environnements communicants entrent à plein dans cet enjeu. La conception d'objets communicants (voir p. 26) requiert en effet la coopération étroite entre spécialistes de la conception de systèmes sur chips (micro-nanotechnologies, micro-systèmes, logiciels embarqués...), de spécialistes des réseaux, du traitement des signaux et de l'information... avec leurs collègues des sciences "souples" interrogeant la cognition humaine et les comportements individuels et collectifs. Le bassin grenoblois présente la particularité de regrouper de fortes compétences dans tous ces domaines, pouvant s'appuyer sur des fédérations de recherche (FMNT, ELESa, IMAG) ou assimilées (MSH Alpes, PRASC...) structurant ces secteurs, des organismes de recherche intégrant ce thème dans leurs actions prioritaires (CNRS, INRIA, CEA...) en relation avec des industriels fortement impliqués dans ce secteur (ST-Microélectronique, France Télécom R&D...). Laboratoires, universités et industries se sont dotés de lieux d'échange permettant d'identifier, de mettre en réseau des plates-formes de conception et de scénarisation de prototypes d'objets communicants (MULTICOM CLIPS/IMAG, MICAL ICP/ELESa, IRV INPG/INRIA, RFID ESISAR/INPG, BOC au CEA/LETI, laboratoire Objets Communicants de FT R&D, bâtiment intelligent de Schneider...), de bâtir des structures d'innovation, de marketing stratégique et de veille technologique (GIS CNRS/Universités PEGASUS, MINATEC Idea's Lab, CTL INPG/UJF...) et de participer au rayonnement scientifique et technologique de la région sur ce thème (Congrès international sOc'2003, MINATEC...).

"augmenter" sa pertinence informationnelle (utiliser l'énergie fournie par le geste pour éviter d'alimenter l'interrupteur, capter les empreintes digitales pour vérifier l'identité de l'utilisateur...). Ainsi, objets et agents communicants devront exploiter les gestes de l'être humain (voix, posture, mains, tête, expressions faciales, regard...), solliciter l'ensemble de son système perceptif pour ne pas s'enfermer dans le goulot d'étranglement des (télé)commandes à touches envahissant notre univers domestique et professionnel.

Du fan au détracteur systématique des nouvelles technologies, de l'enfant tur-

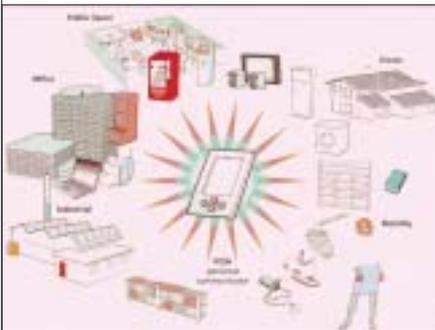
bulent et avide à la personne âgée ou le malade que l'on doit assister et rassurer, les usagers diffèrent dans leurs styles cognitifs, leurs dynamiques d'apprentissage, leurs attitudes, leurs comportements d'usage ou d'achat. Il est donc impératif de mobiliser les chercheurs des sciences humaines et sociales ainsi que les spécialistes en cognition humaine pour concevoir les objets communicants du futur et concevoir des scénarii d'usages bien en amont des produits si l'on veut des services acceptables et acceptés. ●

Gérard Bailly, ICP/ELESa Grenoble
bailly@icp.inbpg.fr

DE NOUVEAUX ESPACES de communication

Des objets de la vie courante communiquant entre eux au sein d'un réseau sans fil. Si des progrès technologiques restent à accomplir, on s'oriente vers "l'intelligence ambiante". À une condition près : son acceptabilité sociale.

TIC pour Technologie de l'information et de la communication. Derrière ce sigle moderne et fédérateur se cachent des visions souvent contradictoires, selon que l'on vienne du monde de l'information (informatique) ou de la communication. Les années 80 et le début des années 90 ont connu l'apothéose des mondes virtuels, dans



> Réseau ad hoc : accéder simplement de façon implicite au monde des objets qui nous entourent, eux-mêmes organisés en réseau "dynamique"

lesquels le PC était roi et l'utilisateur rêvait de se promener dans ces mondes imaginaires tout en restant sagement assis devant son clavier. Pendant la même période, le monde des télécommunications préparait sa révolution, celles des communications mobiles qui ont commencé à exploser en 1995 avec le succès extraordinaire du GSM. Deux approches différentes se sont alors confrontées : d'une part, celle d'un univers imaginaire recréé sur écran (le web en est la partie émergée) ; d'autre part, celle d'un monde désireux de vivre pleinement dans son environnement physique réel, tout en profitant de la richesse du Web et en gardant un contact permanent en temps réel avec le reste

de la planète. D'un côté le monde virtuel, de l'autre le monde réel "enrichi" du premier.

Intelligence ambiante

Les TIC ont permis de jeter de nombreuses passerelles entre ces deux approches. Par exemple : consulter le Web depuis son mobile. Mais il existe toujours deux visions très différentes de nos futurs modes de communication. Dès lors, pourquoi la notion même d'objet communicant échapperait-elle à cette différenciation de point de vue ? Si, au départ, il s'agissait de déporter, au-delà du PC ou du mobile, des fonctions périphériques, souvent sans fil (exemple de "Bluetooth"), il est très rapidement apparu beaucoup plus intéressant de fédérer ces objets en réseaux autonomes, dynamiques et facilement reconfigurables (réseaux *ad hoc*). En arrière plan de notre environnement physique, ces réseaux permettront de rendre beaucoup plus implicites nos relations avec ces objets qui nous entourent et nous faire ainsi découvrir



> Le nounours communicant, doté d'une interface de communication et de géolocalisation : il reconnaît le lieu où il se trouve dans la maison et peut communiquer avec un serveur Internet pour trouver une histoire adaptée à la situation...

ce que l'on appelle l'intelligence ambiante.

Quelles sont les grandes avancées technologiques qui nous permettent aujourd'hui d'envisager ces nouveaux espaces de communication ? D'abord les progrès continus de la microélectronique, véritable moteur de cette révolution technologique. Puis le tout "IP" (Internet Protocole), qui grâce au nouveau standard d'adressage Internet IPv6 permettra d'envoyer un nombre inimaginable d'objets. Enfin, l'évolution des technologies radio qui développent de nouveaux standards. À ce jour, seule l'alimentation en énergie de ces objets pose problème.

Un environnement attentif à l'utilisateur

Les premières applications qui pourraient rapidement voir le jour font partie du domaine de communication que l'on appelle le "Machine to Machine", avec la gestion dynamique d'objets à distance. Les informations locales sont remontées à partir de solutions sans-fil comme les RFID – Identifiants radio, l'équivalent des "codes-barres" (voir encadré p. 33) –, les smart-tags, ou toute autre technique de type Ethernet ou PLC, et regroupées dans des serveurs distants.

La plus grande innovation viendra certainement de la généralisation des solutions dites actives, qui iront du "tag" actif (smart-tag) à tout objet disposant de moyens de communication propres et doté de capacités de traitement. En réseau, ces objets collaboreront entre eux pour offrir des services plus riches que la somme de ceux offerts par chacun. Exemple : la mise en réseau sponta-

née des équipements audio-visuels de la maison permettra d'intégrer le dernier équipement sans intervention humaine, par simples échanges d'information entre les équipements eux même. Et l'interface homme-machine sera beaucoup plus simple : l'environnement deviendra "attentif" à l'utilisateur, et non plus l'inverse comme c'est le cas aujourd'hui avec la multiplication des appareils dotés chacun de leur propre télécommande ! On peut bien sûr généraliser cet exemple au monde de l'entreprise, du transport, de l'environnement, du loisir...

La question de l'acceptation sociale

De nombreux progrès technologiques restent à accomplir, aussi bien dans le hardware (très low power, software radio...) que dans le software (protocoles de communication, sécurité, informatique répartie, langages de communication pour les objets...). Les opérateurs de télécommunication peuvent jouer un rôle de confiance et de support dans la gestion de ces futurs réseaux, appelés à s'imbriquer dans ceux déjà existants. La notion même de terminal va disparaître au profit de terminaisons complexes de réseaux et certaines frontières actuelles devraient disparaître naturellement.

Reste la question incontournable de l'acceptation sociale. Se savoir "entouré" d'objets qui "observent" rassure dans certaines situations et peut faciliter le quotidien, notamment des personnes limitées dans leurs déplacements et leurs gestes. Mais sommes-nous vraiment prêts à accepter la présence de ces réseaux diffus ? Seuls des tests d'usage et une appropriation continue de ces nouvelles technologies à travers des situations limitées permettront de répondre à cette dernière question. D'où la création du Minatec Ideas Laboratory®, issu des réflexions d'industriels et de laboratoires publics (France Télécom, STM et le CEA/Leti) avec la collaboration de laboratoires de sciences sociales de Grenoble. ●

Patrice Senn, France Telecom R&D, Meylan

Un réseau lumineux

Les éclairages à base de semi-conducteurs, qui utilisent des diodes électroluminescentes de puissance (DEL), vont peu à peu remplacer les lampes au même titre que celles-ci avaient jadis pris la place de la bougie.

Et ce pour deux raisons essentielles : l'amélioration du rendement (20 à 30 % pour les DEL, contre 5 % pour l'incandescence) et la durée de vie (dix fois plus pour une DEL).



Robustesse, possibilité d'ajuster l'ambiance lumineuse (température de couleur), accès à de nouveaux designs... la DEL présente bien d'autres atouts, jusqu'à la possibilité de diffuser des données numériques de manière non perceptible par l'œil, car l'éclairage se révèle un formidable media support d'informations.

Par nature, le semi-conducteur supporte en effet très bien des fréquences de commutation rapides et le seul obstacle à la réalisation d'un éclairage communicant est de trouver le juste compromis entre des paramètres tels que le débit d'information, le confort d'éclairage ou la portée.

Le GeeO (Groupement d'Electromagnétisme Expérimental et d'Optoélectronique) a breveté et mis au point les premiers prototypes d'éclairages communicants. Une liaison Internet à 4 Mbit/s a pu ainsi être réalisée, pour l'instant en mode point à point, l'information transitant du luminaire au serveur par l'intermédiaire de courants porteurs.

Il devient aisément concevable que l'ensemble des luminaires d'un bâtiment puisse alors s'interconnecter, simplement par l'intermédiaire de l'infrastructure de



distribution électrique afin de constituer ainsi une grande antenne répartie. Sans pour autant vouloir prétendre rivaliser avec des systèmes standardisés tels que Bluetooth ou Wifi, cette technologie à ses propres atouts : l'information reste locale, sans aucun champ rayonné, la confidentialité est préservée et la mise en œuvre aisée... Ce qui laisse augurer de nouvelles applications, pour des marchés publics ou industriels.

J.-L. Lovato, GeeO, Grenoble, e-mail : jean-louis.lovato@ggeo.com

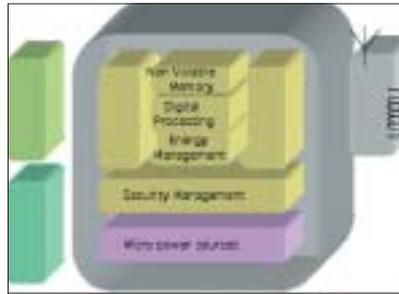
LES DÉFIS TECHNOLOGIQUES

Réduction des coûts, intégration poussée, faible consommation, problèmes d'énergie. Les objets communicants posent des défis de taille aux ingénieurs.

Écrans couleurs, capteur CMOS ou CCD pour la prise d'image, lecteur MP3, mémoires de masse pour le stockage de données multimédia, et modules de connectivité courte distance tels que Bluetooth... les téléphones mobiles intègrent aujourd'hui bien plus que les fonctions de base de réception et de transmission des signaux GSM. Le téléphone est symptomatique de la tendance actuelle : toujours plus de fonctions dans des objets toujours plus petits disséminés dans notre environnement quotidien. C'est le concept de l'intelligence ambiante.

Une nécessaire baisse des coûts

Dans ce domaine, les projets se structurent autour de trois grandes familles d'objets : les étiquettes RFID passives (voir encadré) pour la traçabilité ; les

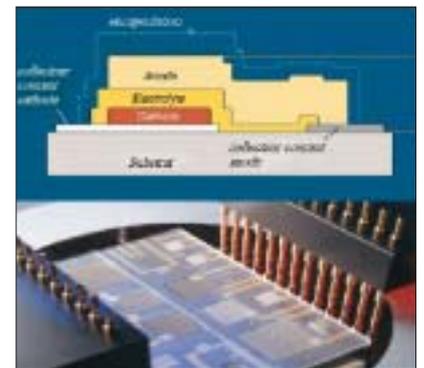


> Fig. 1 : structure fonctionnelle d'un microsystème sans contact.

réseaux de capteurs abandonnés pour des applications en agriculture raisonnée ou en surveillance de sites à risques tels qu'ouvrages de génie civil et industries chimiques; et les vêtements intelligents ou autres applications de capteurs embarqués sur le corps humain. Qu'on les nomme carte à puce, étiquette RFID active, capteur autonome ou microsystème sans contact, ces objets ont tous une structure similaire d'un point de vue

fonctionnel (Fig. 1). Coûts très faibles, intégration poussée à l'extrême, faible consommation, nouvelles solutions de récupération, stockage et gestion de l'énergie, ces nouvelles applications imposent un cahier des charges très contraignant.

La nécessaire baisse des coûts nécessite le développement de filières collectives de fabrication de composants hétéro->



> Fig. 2 : batterie couche mince "Above IC"





> Fig. 3 : switch RF "Above IC" développé par le Leti en collaboration avec STMicroelectronics (source CEA)

> gènes afin de réduire l'impact important des étapes d'assemblage et de packaging. Des solutions très variées sont étudiées, pour intégrer ces étapes dans le process (Fig. 4). Pour certaines applications, une technique d'assemblage 3D permet d'enrichir les performances métrologiques du système. C'est le cas d'un capteur de mouvement en cours de développement au LETI (Fig. 5). En collaboration avec la société HEF, le CEA travaille sur le développement d'une filière de micro batteries dont la fabrication est complètement compatible avec un process CMOS classique (Fig. 2). De la même manière, des développements très importants sont réalisés dans le domaine des télécommunications pour intégrer des composants passifs et des Mems au-dessus des circuits RF afin d'améliorer leur intégration et de diminuer leur consommation (Fig. 3). Ce dernier aspect constitue probablement l'un des principaux verrous technologiques des années à venir.

L'intégration de ces fonctions hétérogènes pose, par ailleurs, des problèmes de fiabilité et de reproductibilité des résultats obtenus qui nécessitent des programmes importants d'études sur la modélisation, la simulation, la caractérisation et le test des composants.

Des transistors imprimables comme de l'encre

Certaines applications nécessitent d'utiliser des surfaces importantes. Il faut alors développer de nouvelles filières technologiques qui réduisent drastiquement les coûts de production par unité de surface. En microélectronique avancée, le coût d'un cm² de silicium dépass-

La RFID a le vent en poupe

Le pôle traçabilité de Valence travaille sur la RFID (Radio Frequency IDentification). Apparue dans les années 80, elle est devenue l'une des technologies de référence dans plusieurs domaines, en particulier la traçabilité. La RFID est amenée à se substituer au "code-barres" et bénéficie de l'essor considérable que connaît le "Wireless".

Un "tag" RFID est une puce intégrée embarquée sur une étiquette communicante par ondes radio. Un système RFID se compose d'un tag et d'un lecteur fixe ou mobile. Une application RFID nécessite, en plus du système, une base de donnée pour le stockage et le traitement des informations. Comparée au "code-barres", la technologie RFID apporte des évolutions majeures : lire, écrire, voire emporter de l'intelligence sur le tag RFID ; lire plusieurs tags en même temps mais aussi écrire, et ce à plusieurs mètres de distance.

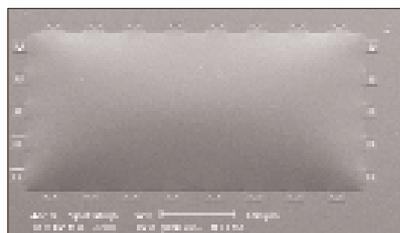
Il existe quatre bandes communément utilisées pour la RFID : LF (125 et 134.2kHz), HF (13.56MHz), UHF (869 et 915MHz) et micro-ondes (2.45GHz). Ces bandes se distinguent principalement en termes de distance tag-lecteur : moins de 50cm pour les bandes LF et HF, quelques mètres pour l'UHF et le 2,45GHz.

Enfin, existe deux types de tags : l'actif embarque une batterie et autorise des distances de communications (lecture, écriture) de plusieurs dizaines de mètres, tandis que le passif est en lecture seule, et n'est lisible qu'à seulement quelques mètres.

Plusieurs estimations du marché mondial de la RFID s'accordent sur une croissance explosive et un niveau de marché dépassant le milliard de dollars par an. L'effort en R&D est donc primordial et doit être conséquent. La collaboration entre plusieurs équipes de recherche complémentaires (microélectronique/RF, communication, logiciel embarqués/réseaux, usages) sera un facteur fondamental du développement de cette technologie.

S. Tedjini, LCIS/ESISAR/INPG, Valence
e-mail : Smail.Tedjini@esisar.inpg.fr

se 1 \$ voire 2 \$. Les spécialistes des écrans plats proposent, eux, des solutions à quelques dizaines de cents par cm² sur des substrats plus grands et en s'appuyant sur des règles de dessins moins fines. Les applications futures pourraient s'appuyer sur de nouvelles filières se rapprochant des métiers de l'imprimerie. C'est la voie explorée par certains projets dans le domaine de l'électronique polymère et des encres intelligentes. Les fonctions électroniques intrinsèques seront moins performantes, mais permettront de répondre aux besoins des utilisateurs. Il faut juste réapprendre à concevoir des circuits



> Fig. 4 : O-level packaging (source CEA-LETI)



> Fig. 5 : assemblage 3D (source CEA-LETI)

avec des transistors aux caractéristiques dégradées !

Les chantiers techniques sont donc nombreux et le temps sera long avant que ces futures "poussières intelligentes" se disséminent dans notre vie quotidienne. D'ici là, il y a fort à parier que le grand public, au gré de l'apparition de nouveaux objets et de nouveaux services, aura su détourner leurs utilisations pour inventer de nouvelles applications que nul designer n'aurait su imaginer. 🌐

Hugues Métras, CEA-LETI Grenoble
hugues.metras@cea.fr

L'INFORMATIQUE dans l'ambiance

L'informatique sort de son confinement pour créer des ambiances.
L'IMAG travaille ainsi sur les environnements interactifs qui permettront d'offrir des services adaptés aux activités humaines.

L'informatique se prépare à un nouveau bouleversement avec la convergence des réseaux ad-hoc sans fil, des micro et nano-systèmes et la maturation de trente années de recherche en systèmes répartis, en perception artificielle et en interaction homme-machine (IHM).

Point commun de tous les projets menés dans ces domaines : la nécessité de définir une infrastructure multi-échelle (de la planète à l'infiniment petit) permettant de développer des services à finalités humaines (à ultra bas prix), allant de l'objet communicant familier à l'espace ambiant, de l'interaction homme-machine pour l'instant limitée au contrôle d'une machine, à une interaction naturelle, fondée sur les capacités sociales et sensori-motrices de notre espèce. Ainsi, nous passons aujourd'hui d'une informatique confinée et statique à une informatique ambiante. C'est ainsi que les laboratoires de l'IMAG étudient les environnements interactifs.

Un environnement interactif est un espace physique doté de capacités de perception, d'action et de communication permettant d'offrir des services adaptés aux activités humaines, soit directement, soit indirectement. Exemple : pour répondre à un changement de luminosité, le système module automatiquement l'éclairage de la salle de séjour, ce qui évite d'interrompre les habitants. Pour un système d'observation par vision par ordinateur, le changement des conditions lumineuses entraîne une adaptation. Cette adaptation, nécessaire à la robustesse du système, assure la continuité du service de suivi. Elle sert l'humain de manière indirecte.



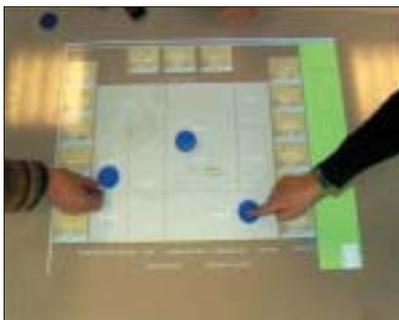
> Figure 1 (ci-dessus et ci-dessous)



Pour d'autres exemples et résultats des travaux de l'Imag :
> <http://www-prima.imag.fr/>,
> <http://clips.imag.fr/iihm/>
rubrique Démon.



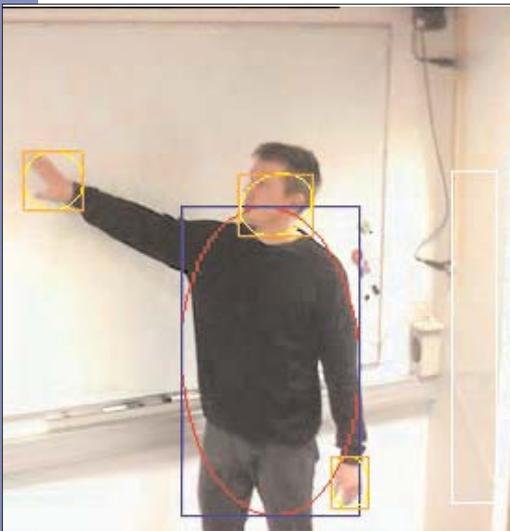
> Figures 2 (ci-dessus) et 3 (ci-dessous)



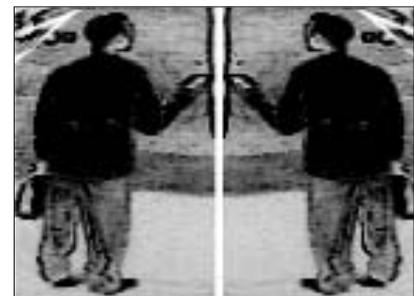
La notion de contexte s'avère fondamentale. Les équipes PRIMA et IIBM ont défini un modèle formel et opérationnel de la notion de contexte permettant la mise en œuvre de systèmes sensibles au contexte de perception et d'interaction. Ce modèle sert le développement du démonstrateur du projet européen FAME qui sera proposé au grand public à la foire culturelle internationale de Barcelone pendant l'été 2004.

L'environnement FAME permet aux visiteurs de découvrir l'ensemble des événements de la foire culturelle de Barcelone. Ses capacités de perception acoustique et visuelle lui permettent de maintenir un modèle de ses occupants et de leurs activités. Ce faisant, il peut prédire les actions et les activités des visiteurs et agir de manière pertinente. Le dessin de la figure 1 illustre les principes interactionnels de l'espace FAME. Au plafond, un projecteur vidéo programmable projette de l'information sur n'importe quelle surface de l'espace (Fig. 2). En particulier, une représentation graphique de l'espace d'information est projetée sur une table. Une caméra suit les manipulations de jetons en plastique, objets familiers, que les utilisateurs déplacent sur la table (Fig. 3).

Alors que les utilisateurs parlent entre eux, les sujets de discussion reconnus à la volée par FAME sont projetés sous forme d'une fontaine de bulles sur le mur. Si un sujet devait intéresser un visiteur, celui-ci peut le sélectionner avec le doigt (Fig. 4) ou un pointeur laser. FAME projetterait alors sur un autre mur des informations complémentaires en fouillant Internet. Les utilisateurs peu-



> Figures 4 (ci-dessus) et 5 (ci-dessous)



vent aussi témoigner de leur expérience de visiteur, en demandant au Caméraman Intelligent de FAME d'enregistrer leurs messages audio et vidéo. Ainsi, les visiteurs participent-ils à la construction dynamique de l'espace informationnel. Autre exemple, dans la figure 5, à gauche, un mur actif de la gare de Grenoble détecte la présence de Bob et lui fournit des renseignements généraux sur son lieu de destination (Paris). Au centre, Bob, en gare de Lyon à Paris interroge un mur actif sur le chemin à suivre pour se rendre au Centre Pompidou et télécharge d'autres renseignements utiles avant de quitter la gare. À

droite, deux amis se rencontrent et décident de mettre leur PDA côte à côte pour former une plus grande surface d'affichage.

Nous avons également développé une infrastructure logicielle qui permet la découverte de ressources par proximité et fournit au programmeur, comme à l'utilisateur, un espace homogène multi-écran, multi-souris, multi-curseur, multi-clavier, comme si ces ressources étaient gérées par un seul ordinateur. ●

Joëlle Coutaz, CLIPS/IMAG

joelle.coutaz@imag.fr

J.-L. Crowley, GRAUIR/IMAG

James.Crowley@inrialpes.fr

EMBARQUEMENT IMMÉDIAT

Composants intégrant du logiciel et du matériel conçus ensemble pour fournir des fonctionnalités données.

Telle est la définition des systèmes embarqués.

Aéronautique, automobiles, appareils électriques... leur utilisation dans des produits courants est une évolution majeure pour les technologies et la science de l'informatique.

Pour les économies modernes, les systèmes embarqués se révèlent d'une importance stratégique. Utilisés dans des produits et services de masse, ils créent de la valeur, en fournissant soit des fonctionnalités, soit de la qualité.

D'ailleurs, le poids économique du logiciel dans la valeur des systèmes embarqués progresse constamment, à tel point que les technologies de l'embarqué représentent le premier secteur de croissance de l'informatique. Le logiciel autorise de nouveaux services complé-

mentaires, ainsi que la différenciation compétitive des produits.

L'Europe occupe actuellement la première position économique dans les secteurs où les systèmes embarqués sont au cœur de la croissance : l'aviation, l'automobile, l'espace, les biens de consommation, les cartes à puce, les appareils de télécommunication, la distribution d'énergie, le transport ferroviaire. Dans un avenir très proche, seront également concernés les services répartis bancaires, médicaux et éducatifs (e-Banking, e-Health, e-Training).

Systèmes embarqués nouvelle vague

Au cours des dix dernières années, certains changements spectaculaires ont été observés pour l'ingénierie des systèmes. Les prochaines générations des systèmes embarqués seront caractérisées par les facteurs suivants : une grande variété des types de composants adaptés pour répondre aux exigences techniques et économiques, à des niveaux de service différents ; l'intégration de composants hétérogènes en interaction avec l'environnement du

monde réel ; des contraintes du marché nécessitant un positionnement réfléchi entre qualité et coût.

Les technologies de conception devront donc prendre simultanément en compte : la fonctionnalité, c'est-à-dire la capacité à assurer un service spécifique ; la qualité caractérisée par un ensemble de propriétés liées à la performance et à la fiabilité ; les contraintes d'implémentation physique liées à la consommation de ressources et le contexte de déploiement, tel que le poids, la taille physique, la résistance aux vibrations, ou aux irradiations, etc. ;

Pour en savoir plus

- > <http://tima.imag.fr/eurosoc/>
- > <http://www.artist-embedded.org/>

les contraintes du marché concernant l'adéquation d'un produit par rapport à un marché cible et au délai d'introduction à ce marché ("time to market").

Relever le défi

Actuellement, nous ne disposons pas de méthodes ni d'outils permettant de prendre en compte toutes ces contraintes. Le besoin d'émergence d'un nouveau domaine est reconnu par les principaux programmes de recherche dans le monde (DARPA, NSF, programme IST, programmes nationaux coréen et japonais), ainsi que par des associations professionnelles telles que l'ACM aux USA qui a lancé le journal "ACM Transaction on Embedded Systems", et de nombreuses conférences dans le domaine.

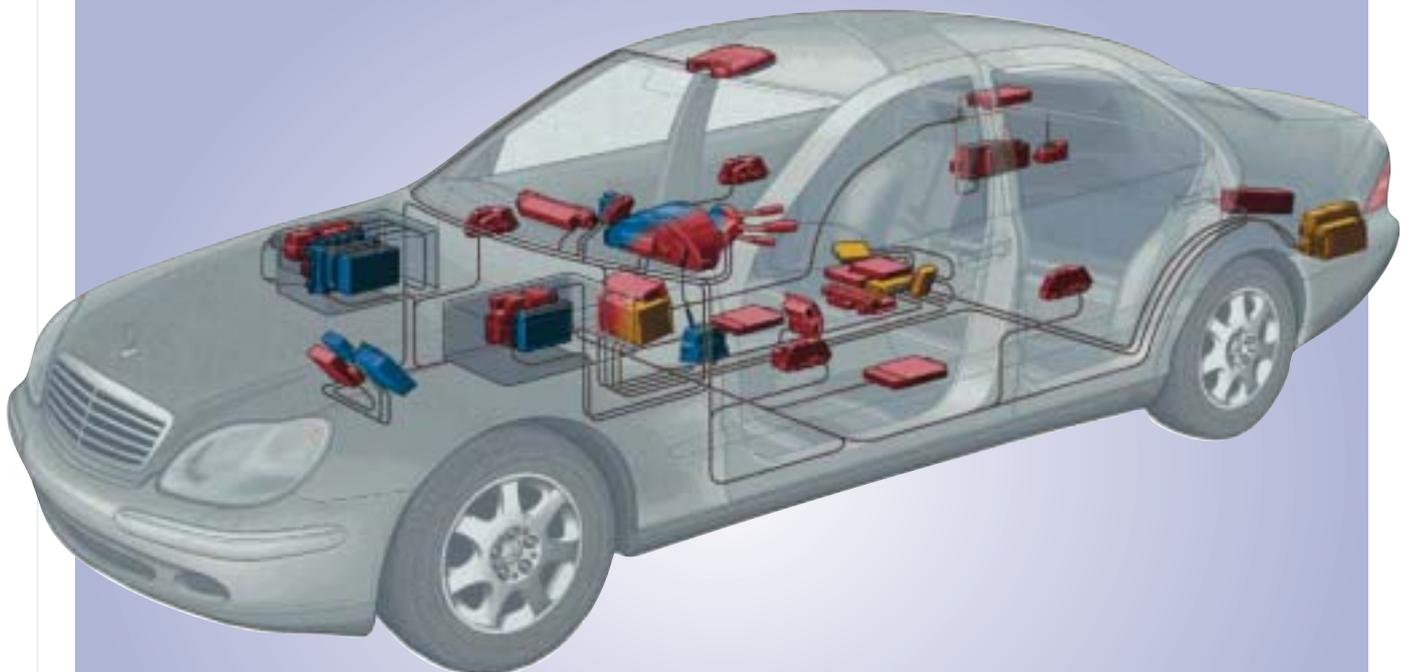
La région Rhône-Alpes occupe une place majeure en ce domaine, avec la présen-

ce d'acteurs tels que ST Microelectronics, le LETI/CEA, et des activités de recherche de visibilité mondiale à l'INRIA, et aux laboratoires LSR, TIMA, et VERIMAG. Le rôle de leader européen de Grenoble est attesté par la coordination de deux réseaux européens : le réseau européen EuroSoC coordonné par TIMA, et le réseau européen d'excellence ARTIST2 coordonné par VERIMAG. Récemment, le CEA/LETI, le CNRS, l'INPG, l'INRIA, et l'UJF ont mis en place un groupe de travail pour définir un projet régional fédérateur en R&D des systèmes embarqués. Ce groupe de travail doit présenter ses conclusions sous forme d'un rapport le 4 juin 2004. ●

Bruno Bouyssounouse et Joseph Sifakis,
VERIMAG et Réseau d'excellence
européen ARTIST

Bruno.Bouyssounouse@imag.fr

L'automobile en première ligne



Une voiture haut de gamme intègre aujourd'hui environ 65 processeurs embarqués. Ils permettent de réduire les coûts de fabrication et d'utilisation, en supprimant des équipements devenus inutiles, par un contrôle optimisé du moteur, etc, d'augmenter la sécurité avec les airbags, l'appel automatisé des secours, la détection de sortie de trajectoire, etc, d'offrir de nouvelles fonctionnalités comme la navigation par GSM, le diagnostic automatique et continu, etc.

Pour profiter pleinement des systèmes embarqués dans l'automobile, il reste encore des problèmes théoriques fondamentaux à résoudre, notamment pour composer des systèmes, assurer la sécurité des systèmes ouverts, modéliser et vérifier des propriétés non-fonctionnelles, etc. Ces problèmes sont pour la plupart multi-disciplinaires, et nécessitent la participation de plusieurs des meilleures équipes européennes de recherche pour les résoudre.

DES RÉSEAUX SANS FIL aux réseaux ambiants

Un environnement spontané permettant à l'utilisateur d'accéder à des services riches et composables au travers d'un ou plusieurs réseaux d'accès sans fil. L'univers domestique constitue un bon champ d'expérimentation pour les réseaux ambiants.

Il existe actuellement trois types de réseaux sans fil.

D'abord ceux de téléphonie mobile, sur lesquels voix et données circulent mais à des débits très limités au regard des applications récentes. Principal atout de ces réseaux : leur couverture à grande échelle et leur densité.

Ensuite, les réseaux locaux sans fil, dits WLAN (Wireless local area networks), tels que le Wi-Fi – 802.11 pour les intimes. Extension des réseaux locaux filaires classiques, ils sont destinés au transport de données.

Enfin, un dernier type de réseau est en train d'apparaître : le réseau personnel sans fil, ou WPAN (Wireless personal area network) avec les technologies Bluetooth ou ZigBee.

L'univers domestique comme champ d'application

Si les technologies WLAN et WPAN sont aujourd'hui accessibles au grand public, leur utilisation reste essentiellement liée au domaine informatique. Elles doivent s'en affranchir, pour ne plus laisser transparaître à l'utilisateur qu'un riche ensemble de fonctionnalités non intrusives, accessibles de manière intuitive. À cet égard, l'univers domestique constitue un beau champ d'expérimentation. Nos recherches visent à créer un espace de services regroupant des équipements dotés de capacités de communication sans fil et pouvant ainsi mettre des services de base à la disposition des autres. L'ensemble des services et applications forme alors un environnement spontané qui s'adapte à l'utilisateur en prévoyant ses besoins et en l'accompagnant dans

ses tâches et déplacements. Ce dernier peut superviser le réseau et créer ses propres applications par composition de services.

Un réseau ambiant doit pouvoir acheminer des trafics de données de natures très différentes : un trafic haut-débit pour les applications multimédia, un débit moyen pour la plupart des applications traditionnelles informatiques, et un trafic de contrôle de faible débit. Nous travaillons sur la définition des mécanismes qui gèrent ce type de classes et fournissent une qualité de service différenciée selon les applications dans un environnement mobile et hétérogène.

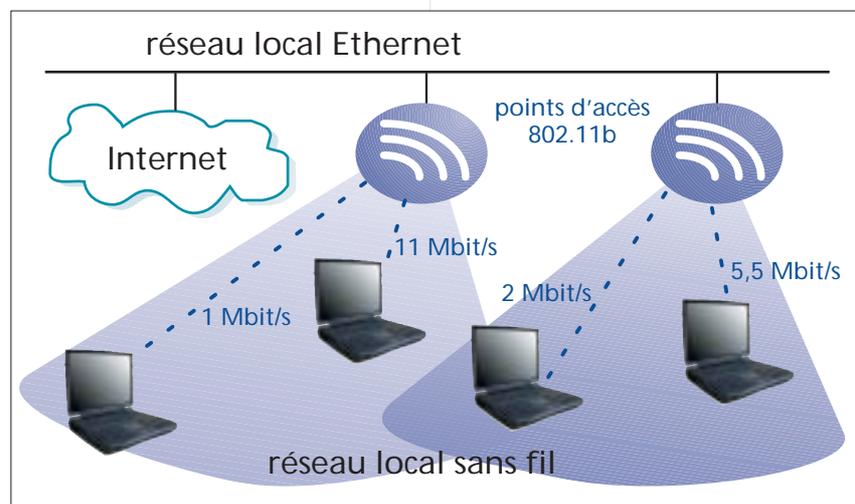
Fonction essentielle des réseaux ambiants : accompagner la mobilité de l'utilisateur qui doit être intégrée au cœur du réseau et constituer une fonction de base et non une exception. À chaque moment et partout, l'utilisateur doit pouvoir bénéficier d'une ou plusieurs connexions sans fil de débit et de couverture différents – Bluetooth, 802.11,

GPRS, UMTS – ou se déplacer entre deux réseaux filaires, tout en conservant une qualité de service, et en utilisant de manière transparente les différents types de connexions avec des transitions souples entre les divers réseaux.

Actuellement, la plupart des applications domestiques restent fermées à cause de l'intégration verticale des fonctionnalités : une chaîne hi-fi restitue du son radio ou CD, un téléviseur présente des émissions acheminées par les ondes radio ou par le câble, le téléphone achemine de la voix, une centrale d'alarme pilote plusieurs capteurs. Les applications nouvelles devront exploiter une intégration horizontale : différents équipements connectés à une infrastructure réseau, communiquant et collaborant pour rendre de nouveaux services. ●

Franck Rousseau, LSR/IMAG Grenoble
Franck.Rousseau@imag.fr

Andrzej Duda, LSR/IMAG Grenoble
Andrzej.Duda@imag.fr



> Réseau sans fil