

Des objets communicants à la communication ambiante

Gilles Privat¹

Les *objets communicants* évoquent peut être d'abord, au travers d'une prolifération de gadgets abondamment illustrés dans les médias, l'apparence concrète et séductrice de ce qui pourrait n'être qu'une surenchère commerciale, devançant la réalité technologique. Nous montrerons qu'il s'agit d'une évolution bien plus fondamentale, dont ces objets ne sont, dans la perspective la plus générale, qu'une matérialisation transitoire et subsidiaire. Ce point de vue sera abordé dans la deuxième partie de l'article. Il est néanmoins intéressant de commencer par analyser les choses en repartant d'une vision au premier degré, qui a le mérite d'être plus concrète parce que centrée sur les objets eux-mêmes (Privat, 2002 ; Privat, 2000).

Convergence des technologies, divergence des objets

Si l'on trace la généalogie de certains objets emblématiques, comme le téléphone mobile-baladeur numérique, ou l'assistant numérique-terminal de messagerie multimédia, on voit qu'il s'agit typiquement d'objets issus de la convergence des télécoms, de l'informatique, et de l'audiovisuel. Les objets caractéristiques de ces trois domaines appartenaient, il n'y a pas si

1. France Télécom R&D, Direction des Interactions humaines, laboratoire Objets Communicants, (Grenoble).

longtemps, à des espèces et même des genres radicalement différents, sans aucune interfécondation possible... La convergence numérique des technologies de l'information² a fait sauter les barrières génétiques entre les trois domaines, et rendu possible l'hybridation des objets qui en sont les représentants matériels. Évolution concomitante, la « nomadification » commune de ces objets a été, de son côté, rendue possible par les progrès conjoints de l'intégration microélectronique et des réseaux sans fils.

La logique apparente de cette convergence aurait pu conduire à l'intégration de tous ces objets dans un objet unique. Le fait est que le PC multimédia domestique peut aujourd'hui, en principe, subsumer le téléphone et le visiophone, la chaîne haute fidélité, la télévision et le magnétoscope, avec, en principe également, une puissance et flexibilité d'utilisation bien supérieure à chacune des antiquités analogiques ainsi supplantées... Que ce soit sous la forme d'un avatar de la hideuse « boîte beige », ou dans la variante nomade plus séduisante de l'assistant numérique communicant « couteau suisse », la tendance à la concentration dans un seul objet des fonctionnalités individuelles de traitement et de communication existera toujours, mais restera très probablement marginale.

On constate en effet que les utilisateurs préfèrent avec une certaine constance l'incarnation matérielle séparée, dans des objets distincts, de fonctions qui sont pour eux bien distinctes, avec cependant tous les intermédiaires déjà cités correspondant à l'hybridation plus ou moins naturelle de deux ou trois fonctions dans un même objet.

La tendance dominante est bien aujourd'hui à l'éclatement et à la diversification des objets, et une perspective historique et technologique plus large peut permettre d'en situer le pourquoi.

Les objets au travers de l'évolution des technologies de l'information : traitement, communication, interaction physique, interaction humaine

Dans les amples généralisations chères aux prospectivistes technologiques, on peut situer l'évolution présente par rapport à trois dimensions fondamentales des technologies de l'information, qui sont respectivement le traitement, la communication (transmission et stockage) et l'interaction (avec l'environnement physique et les utilisateurs). Chacune de ces dimensions peut être vue comme constitutive de trois vagues

2. Convergence pour laquelle la numérisation est bien sûr une condition nécessaire et non suffisante...

technologiques³ qui se seraient succédé dans cet ordre en se recouvrant largement, en sachant que nous n'en sommes qu'aux prémises de la troisième, ouverte par la banalisation des capteurs et actionneurs⁴ (Saffo, 1997), et dont l'effet sera d'enrichir, qualitativement et quantitativement, les interactions entre le monde de l'information-communication et le monde physique, ou entre les bits et les atomes, pour reprendre une expression quel que peu galvaudée (Gershenfeld, 1999).

On présente, dans les quatre paragraphes suivants, les objets communicants suivant ces quatre dimensions constitutives, qui correspondent aux quatre colonnes du tableau 1. Ces quatre dimensions pouvaient être vues classiquement comme correspondant à quatre catégories distinctes d'objets, (suivant les rangées du tableau 1), mais l'évolution qu'on décrit ici aboutit précisément à intégrer *conjointement* ces quatre types de fonctions dans tous les objets issus des quatre catégories, comme cela est décrit de manière plus synthétique dans le tableau 1 (cf. page suivante).

L'intelligence dans les objets : du traitement embarqué aux information appliances

L'adjectif intelligent ne doit pas être pris ici au sens fort (celui de l'intelligence artificielle) impliquant une quelconque capacité d'autonomie des objets. D'un point de vue qui est celui de l'informatique la plus classique, les « objets intelligents », pour reprendre l'expression de *smart devices* souvent utilisée en anglais⁵, marquent l'aboutissement ultime d'une évolution qui a conduit à la *décentralisation* des capacités de traitement et de stockage de l'information⁶.

3. Le *microcosme* et le *télécosme* pour les 2 premières, ouvertes respectivement par l'explosion des capacités de traitement du silicium et de transmission de la fibre optique, suivant George Gilder (Gilder, 2001) ; un nom reste à trouver pour la troisième...

4. *I.e.* transducteurs, dans les deux sens, entre information et grandeurs physiques diverses.

5. L'expression littéralement équivalente à « objets communicants » serait peut être *connected devices* plutôt que *communicating devices*, ou *communicating objects* pour éviter la confusion avec les objets logiciels, confusion plus difficile à éviter en français.

6. Décentralisation qui, au sens de l'histoire de l'informatique, en est à sa seconde étape, puisqu'on est passé auparavant d'un équipement pour plusieurs utilisateurs (le gros ordinateur d'entreprise ou *mainframe*) à un équipement par utilisateur avec l'informatique personnelle du PC unique par utilisateur. Celle-ci n'aura donc été

Fonctions Objets	Traitement stockage	Communication	Interaction physique	Interaction utilisateur
« <i>Information appliances</i> »	<i>Fonction première</i>	Nécessité de synchronisation et partage d'information ; convergence <--> terminal de communication	Prise en compte du contexte ; Capteurs biométriques	Spécialisation des objets --> simplicité d'utilisation ; diversification des interfaces. Nouvelles modalités, interfaces perceptuelles
<i>Terminaux de communication</i>	Autonomie, compromis traitement stockage local/ dans le réseau ; convergence <--> information appliance	<i>Fonction première</i>	Prise en compte du contexte ; Capteurs biométriques	Spécialisation diversification des interfaces. Nouvelles modalités, interfaces perceptuelles
<i>Senseurs actionneurs, Appareils divers</i>	Intelligence embarquée en général, adaptativité, autonomie	Gestion en réseau, provisionnement, maintenance, mise à jour, alerte, etc.	<i>Fonction première</i>	Contrôles et vues classiques Interfaces tangibles, saisissables, phycônes
<i>Dispositifs d'interface humaine</i>	Intelligence embarquée, autonomie, répartition	Autonomie, répartition comme pair de réseau banalisé	Prise en compte du contexte Capteurs biométriques	<i>Fonction première</i>

Tableau 1. Catégories d'objets et catégories de fonctions utilisées

qu'un épisode transitoire, puisque l'informatique post-PC offre plusieurs équipements par utilisateur pour la même fonction.

Baladeur numérique (à disque dur, à mémoire flash, à disque magnéto-optique), enregistreur vidéo, enregistreur audio-numérique portable, lecteur DVD, assistant numérique personnel, tous ces objets déclinent dans une multitude de variantes et de combinaisons l'éclatement des fonctions de traitement et de stockage, rendu possible et démultiplié par le commun dénominateur de la représentation numérique. Une analogie avec le moteur électrique, citée par Donald Norman (Norman, 1998) est éclairante : celui-ci était, au début du XX^e siècle, une ressource rare, et un unique moteur domestique se branchait sur tout ce qui avait besoin d'être tourné. Faire jouer au PC domestique ce même rôle de moteur de traitement centralisé, reviendrait à considérer implicitement que les capacités de traitement et de stockage d'information sont des ressources rares, ce que la loi de Moore a infirmé de longue date. L'informatique post-PC, celle des *information appliances* (Lewis, 1998), est ainsi caractérisée par l'éclatement dans une multitude d'objets spécialisés de ces fonctions de traitement et du stockage qui leur est en général associé.

Il s'agit bien ici d'une décentralisation de fonctions purement informationnelles, et cette évolution est en fait postérieure à celle qui a, depuis longtemps déjà, doté des objets courants, dont la fonction première n'est pas le traitement de l'information ni le stockage, de capacités de traitement et de stockage enfouies ou « embarquées »⁷. De ce point de vue, il conviendrait de préciser la définition de ce qualificatif d'embarqué pour mieux distinguer les deux catégories d'objets. Le terme est en effet souvent pris dans un sens très inclusif : un système embarqué serait tout système de traitement d'information qui n'est pas un ordinateur d'usage général (PC, station de travail, *mainframe*, supercalculateur). Dans ce sens là, toutes les catégories d'objets du tableau 1 correspondraient à des systèmes embarqués, y compris des *information appliances* dont la capacité est en fait équivalente à celle d'un PC. Nous suggérons d'adopter une définition beaucoup plus restrictive et techniquement plus précise : un système de traitement de l'information est dit embarqué quand il est intégré dans un objet physique dont la fonctionnalité première n'est pas de communication ou de traitement de l'information. Un tel système est caractérisé par le fait qu'il comprend des entrées-sorties « physiques » spécialisées qui ne font pas (encore) partie d'une configuration informatique standard (capteurs, actionneurs dans des modalités d'interface diverses), et qui ne sont pas des interfaces humaines dans les modalités classiques.

7. « Embarqué » est, en français, le terme le plus usuel pour traduire l'anglais *embedded*, même si « enfoui » conviendrait peut-être mieux.

Cette définition a le mérite de mieux prendre en compte à la fois le rapprochement entre les capacités de l'informatique mobile et celles de l'informatique personnelle ou générale, mais aussi la réalité technique de la convergence média-télécom-informatique. La définition classique de l'embarqué part en effet d'une définition informatique traditionnelle d'un bon vieil « ordinateur », excluant de fait à la fois les dispositifs nomades et les dispositifs hybrides « convergents ». Si communication et traitement d'information sont vus comme indissociables, la distinction ordinateur/terminal télécom/équipement audiovisuel devient arbitraire et secondaire, et la distinction la plus pertinente dans l'ensemble des dispositifs en réseau, est celle qui est faite ci-dessus : entrée-sorties physiques *versus* entrée-sorties humaines exclusivement. Il est clair qu'il ne s'agit pas d'une distinction tout ou rien, et qu'il existe un fort recouvrement, un bon nombre de dispositifs comprenant les deux types d'entrées-sorties. A terme on peut estimer que la banalisation de certaines entrées-sorties spécialisées aujourd'hui réservées à l'embarqué les fera intégrer par défaut dans les terminaux ou calculateurs standards, comme cela a déjà été le cas pour les interfaces vocales. Ainsi de l'intégration de capteurs optiques, d'empreintes digitales ou d'autres modalités biométriques utilisables pour l'authentification des utilisateurs, qu'on a rangés dans le tableau 1 dans la catégories interfaces physiques et dont la banalisation pourrait conduire à les placer dans la catégorie interfaces humaines.

Des terminaux de télécommunication aux objets communicants

La contrepartie de la décentralisation est la nécessité pour les objets de communiquer avec leurs pairs pour recréer conjointement de manière répartie toute la flexibilité et la programmabilité des fonctions de traitement et stockage telles qu'elles auraient pu être prises en charge par le PC. Les *information appliances* se confondent avec les *communication appliances* parce que les services de communication impliquent toujours du traitement à leurs extrémités, mais aussi parce que les applications informationnelles impliquent la communication. Ceci était le cas depuis longtemps dans les réseaux à grande échelle avec des configurations de type client-serveur, mais le devient à toutes échelles dans des configurations de réseau « pair à pair » établies spontanément et dynamiquement. Le PDA synchronise son carnet d'adresse avec le téléphone mobile, qui peut lui-même servir à fournir en contenu le baladeur MP3. Cette évolution étroitement liée à la précédente suppose que la capacité de transmission, même sans fil, n'est plus, elle non plus, une ressource rare.

Les objets directement issus de la famille « communication » ont également suivi une évolution importante qui a conduit du bon vieux terminal de télécoms totalement passif, lié à l'époque où l'intelligence était concentrée dans le réseau, au terminal intégrant aujourd'hui à la fois des capacités de traitement et de mémorisation, évolution qui tend à les faire converger avec les *information appliances*.

Interaction avec l'environnement : de l'électroménager communicant aux capteurs/actionneurs en réseau

Le domaine d'application nouveau et spécifique aux objets communicants est celui de la « mise en réseau de l'environnement physique », c'est-à-dire, en pratique, de tous les objets dotés de capteurs/actionneurs de toute nature, ayant une fonction première qui n'est pas de traitement/communication et pouvant bénéficier de l'adjonction de services en réseau pour enrichir et démultiplier leurs possibilités d'utilisation. La disponibilité de capteurs et actionneurs en technologies banalisées permet l'élargissement des possibilités d'interaction de ces objets dans des modalités diverses. Les objets dont c'est la fonction première (rangée 3 du tableau 1) étaient déjà, pour beaucoup, comme il a été dit plus haut, dotés de capacités de traitement embarquées, et la nouveauté résultant de l'adjonction de capacités de communication est bien plus qu'un progrès incrémental, c'est un saut qualitatif à la fois théorique et pratique. Même à un niveau très général, on peut comprendre qu'il s'agit du domaine qui, dans l'ensemble des applications potentielles des réseaux, est sans doute appelé à connaître la croissance la plus forte. Alors que les deux autres domaines⁸ sont nécessairement limités par la capacité d'agents humains à produire l'information à la source et à la recevoir à l'autre extrémité, ce troisième domaine est sans limite puisqu'il aboutit, si l'on extrapole suffisamment, à connecter « tout à tout » (Lucky, 1999), c'est-à-dire à rendre communicants tous les objets physiques, et pas seulement les *information/communication appliances*.

8. On peut se référer à une division, simpliste mais assez naturelle, du domaine d'ensemble des télécoms en trois grands domaines d'application :

- interaction directe entre personnes ;
- interaction de personnes avec de l'information enregistrée (applications de diffusion, consultation et retrait d'information mono ou multimédia) ;
- interaction de personnes (ou agents logiciels) avec l'environnement et les objets physiques, ou interaction entre objets physiques.

Interaction humaine : re-matérialisation, éclatement, multimodalité

Un cas particulier, fondamental bien sûr, d'interaction physique, est celle que les objets ont avec leurs utilisateurs.

Sans aller jusqu'aux idées d'interaction ambiante évoquées dans la deuxième partie de l'article, qui donne la perspective générale d'une deuxième étape d'évolution des interfaces humaines, on peut voir les choses d'un point de vue qui correspond à la première étape de diversification des objets. Le simple fait d'utiliser plusieurs objets communicants spécialisés par fonctionnalité, comme les *information appliances* décrites ci-dessus, plutôt que des programmes sur une seule machine universelle, est d'abord le choix de l'utilisateur, un choix dicté en général par la plus grande simplicité d'utilisation d'un objet spécialisé (Norman, 1998), mais aussi par le besoin d'une matérialisation de la fonction qui resterait trop abstraite en tant que simple élément d'un menu⁹. L'aboutissement ultime de cette idée de re-matérialisation et d'éclatement dans l'espace physique des interactions informationnelles se trouve dans les interfaces tangibles (Ishii, 1997), où un objet qui peut être passif, si possible un objet familier, à la destination intuitive, représente des fonctions qu'il servira à sélectionner. Dans le cas particulier où cette représentation est iconique plutôt que symbolique on parle de phicône (mot portemanteau pour icône physique). Mais on peut dire qu'un objet spécialisé, même complexe, a un rôle d'interface tangible, si on le met en regard de ce que serait la mise en œuvre de la fonction équivalente dans un ordinateur d'usage général.

Définition et typologie des objets communicants

On peut aborder, à partir de la caractérisation précédente par domaines de fonctions, une définition plus générale, systémique, d'un objet communicant, qui prenne en compte l'évolution vers l'intégration conjointe de fonctions de traitement, de communication et d'interaction. Sans chercher à rentrer dans une définition rigoureuse et formelle, on peut caractériser un objet communicant de manière assez générale pour nos besoins, en en séparant les fonctions physiques et les fonctions informationnelles/communicationnelles, comme étant un couple d'automates hybrides,

9. Ceci reste valable, on peut le supposer, pour la majorité des utilisateurs, mais on a malheureusement encore trop peu de données sur la manière dont cette re-matérialisation des interfaces serait perçue par une génération d'utilisateurs, *screenagers* formés aux jeux vidéos, pour qui, à la limite, les modes d'interface liés aux environnements virtuels sont plus familiers que ceux liés au monde physique.

physique/informationnel¹⁰. Conjointement, ce double automate est doté de capacités pour :

- l'acquisition d'information à partir de son état physique propre, ou, le cas échéant, de son environnement, par l'intermédiaire de capteurs dans différentes modalités physiques ;
- le traitement et le stockage locaux d'information (fonctions d'automate informationnel au sens propre, *i.e.* comprenant l'état de l'automate et la fonction de transition d'état à partir des entrées que sont les capteurs et les interfaces réseau) ;
- l'émission de l'information issue des capteurs ou de l'état propre de l'objet vers d'autres objets, ainsi que la réception d'information en provenance d'autres objets, par l'intermédiaire d'un support réseau banalisé, typiquement sans fil¹¹, et le support d'un protocole permettant leur interfonctionnement généralisé ;
- la réalisation d'actions en retour sur son état physique propre, ou, le cas échéant, sur l'environnement, par l'intermédiaire d'actionneurs embarqués.

Plus formellement, un ensemble d'automates informationnels couplés en réseau relèverait de la théorie des systèmes distribués/processus concurrents (Mullender, 1993), mais le couplage à des automates « physiques » apporte un niveau supérieur de complexité systémique.

On voit comment cette définition peut englober les différentes catégories d'objets décrites précédemment, et comment en particulier elle élargit celle des terminaux classiques de télécom ou *information appliances* : les seules interfaces dont disposent ceux-ci sont des interfaces humaines, alors qu'un objet communicant peut être doté d'un répertoire potentiellement très vaste

10. La distinction est plus intuitive que formelle, puisqu'un automate informationnel est évidemment mis en œuvre sur une machine physique (en général microélectronique...), et une machine physique peut toujours se modéliser à divers niveaux en tant qu'automate formel, mais la distinction entre les deux est néanmoins suffisamment claire en général dans le contexte qu'on adresse ici pour qu'on puisse les modéliser séparément : l'automate informationnel comprend la capacité de traitement/stockage embarquée de l'objet au sens défini plus haut, et la machine physique tout ce qui correspond à la fonction propre (non informationnelle) de l'objet, incluant à la fois les interfaces physiques des capteurs et actionneurs et l'automate qui en modélise le fonctionnement abstrait.

11. On pourra définir cette communication banalisée de manière minimale comme étant basée sur un standard de communication sans fil reconnu, de fait ou de droit (excluant les communications purement analogiques ou sur des bus dédiés).

d'interfaces physiques. Pour autant, cette définition semble trop large, puisqu'elle engloberait en principe à la fois des objets relativement simples, comme un récepteur GPS ou un grille-pain communicant (...) et des objets de haute complexité comme un robot autonome, une voiture communicante ou même une navette spatiale... De notre point de vue, cette différence d'échelle de complexité est transparente, tant qu'il s'agit d'objets « atomiques » au sens de la définition ci-dessus, c'est-à-dire qu'ils n'incluent pas plusieurs objets dotés de capacités d'interface physique propre et communicant entre eux *par un support réseau banalisé*. Un ensemble de tels objets communicants fonctionnant conjointement en réseau doit être considéré d'abord comme une fédération d'objets, ce qui n'interdit pas de les considérer comme un seul objet à un niveau hiérarchique supérieur. Au sens de cette définition, un PDA serait bien un seul objet communicant, puisque la communication entre ses différents composants, y compris les composants d'interface, se fait par des liens spécifiques (bus divers), et qu'ils sont de toute évidence dédiés l'un à l'autre. Toujours au sens de cette définition, un disque dur portable externe, même communicant avec ce PDA par l'intermédiaire d'un réseau « banalisé » comme 802.11, serait vu comme un objet communicant distinct seulement si il comprenait une interface physique propre (au minimum un bouton on-off !). Un téléphone mobile et son oreillette Bluetooth® seraient clairement une fédération de deux objets communicants distincts, certes conçus pour fonctionner ensemble mais *non exclusivement* (l'oreillette, objet d'interface pur, pourrait en principe être utilisée avec un PDA ou un ordinateur portable s'ils sont dotés d'un port Bluetooth®).

Les deux critères qui doivent être considérés comme caractéristiques et discriminants parmi les quatre ci-dessus sont donc l'interaction physique, sous la forme capteur *ou* actionneur (les deux n'étant pas nécessairement présents simultanément) et surtout la communication banalisée associée à un protocole de découverte/reconnaissance, qui apporte la propriété de composabilité spontanée des objets communicants, en leur permettant de constituer des fédérations d'objets. On pourra donc définir comme objet communicant, le cas échéant, un objet doté uniquement de capacité d'interface physique en entrée et de transmission banalisée, par exemple un capteur passif en réseau, ou un actionneur physique trivial mais commandable en réseau, comme un interrupteur ou une ampoule.

Cette définition relâchée nous sera surtout utile pour inclure une catégorie potentiellement très vaste, d'objets « bas de gamme », ceux de la catégorie « objets passifs » ci-dessous, qui ne sont pas des « pairs » du réseau, mais seraient au minimum *localisables et identifiables* par

l'intermédiaire d'autres objets qui leurs serviraient de mandataires ou représentants sur le réseau. Dans le cas d'objets dotés d'étiquettes électroniques, ils n'incluent pas de capacité de traitement au sens propre, mais uniquement le stockage de leur identité. Leur connexion « réseau » peut être considéré comme banalisée dans la mesure où ils utilisent une technologie normalisée reconnue pour les étiquettes (couplage inductif en général), qui permet leur utilisation interchangeable avec un autre objet qui les reliera au réseau général (lecteur d'étiquette).

On peut, à partir de là, et pour fixer les idées, proposer la catégorisation suivante des objets communicants, qui, contrairement à celle proposée précédemment, se limite au « cœur de cible », c'est-à-dire aux objets répondant à la définition ci-dessus, et qui se relie directement au scénario décrit après.

Objets mobiles personnels d'accès réseau

Il s'agit d'objets plutôt haut de gamme, typiquement des assistants numériques personnels ou mobiles GPRS dotés de connectivité Bluetooth et/ou 802.11, et éventuellement RFID, pouvant donc jouer le rôle d'objets pivot, de passerelles individuelles entre réseau d'accès général et réseau local ou réseau personnel d'objets communicants des trois catégories suivantes. Ce ne sont pas des couteaux suisses, plutôt des bases de communication personnelles dotées de capacités « commun dénominateur » qui peuvent être étendues de manière très flexible par leur mise en réseau avec les objets de la catégorie suivante.

Objets portatifs divers

Ces objets que l'utilisateur peut porter sur lui ou avec lui, étendent, par l'intermédiaire d'un réseau WPAN¹², les capacités du communicateur personnel pour des fonctionnalités bien spécifiques. Il peut s'agir d'interfaces humaines, par exemple stylo communicant, micro sans fil ou photoscope numérique comme interfaces d'entrée, écran souple sur fibres optiques intégrées dans les vêtements ou oreillette sans fil comme interface de sortie, mais aussi d'interfaces physiques, par exemple récepteur GPS pour la localisation en extérieur, cardio-fréquence-mètre ou autres capteurs biomédicaux.

12. Wireless Personal Area Network, réseau personnel sans fil.

Objets d'environnement

Il s'agit d'objets se trouvant dans l'environnement des utilisateurs à un moment donné et caractéristiques de la nature de cet environnement (résidentiel, bureau, industriel, lieu public). Ils ne sont pas en général mobiles, mais « bougeables » le cas échéant. Il peut s'agir d'appareils électroménagers, de distributeurs automatiques, d'appareils de bureau ou industriels, de périphériques d'interface. Ils s'interfaceront, *via* un réseau WPAN ou WLAN, avec le communicateur personnel qui pourra jouer vis-à-vis d'eux le rôle de télécommande universelle, par exemple, ou d'intermédiaire pour la gestion à distance en réseau (gestion de cycle de vie, maintenance, mise à jour). La variété possible de ces environnements et de ces interactions est illustrée à la figure 1.

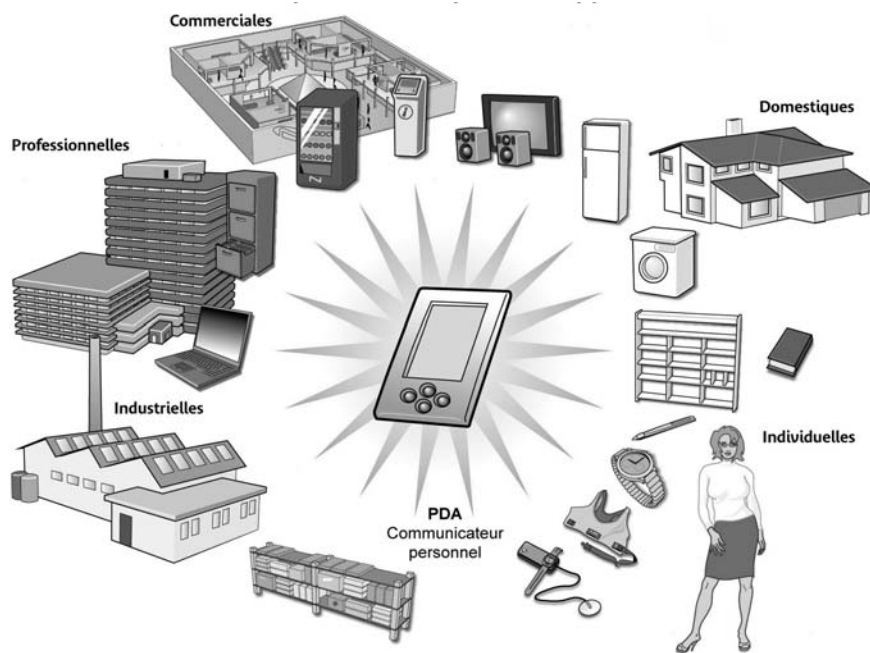


Figure 1. Différents environnements d'objets communicants

Il ne s'agit pas pour autant de recréer une centralisation obligatoire par l'intermédiaire de ce communicateur personnel : son rôle doit être vu comme celui d'un facilitateur transitoire d'interopérabilité, sachant qu'il est plus facile, comme objectif intermédiaire, d'assurer ainsi l'interopérabilité par

l'intermédiaire d'un dispositif pivot, mais que cette interopérabilité devrait à terme être possible directement entre les dispositifs qui seront d'abord mis en relation par l'intermédiaire du communicateur.

Objets passifs et phicônes

Gérés et interfacés par l'intermédiaire d'un objet des catégories précédentes qui leur sert de mandataire et le cas échéant de conteneur d'identification/localisation, ces objets ne sont pas des « citoyens » à part entière du réseau, et peuvent apparaître comme le bas de gamme des objets communicants.

Pour prendre le cas des objets simplement dotés d'étiquettes électroniques, il s'agit pourtant en fait de la catégorie la plus importante en termes quantitatifs, puisqu'elle inclut potentiellement tous les objets matériels de la vie courante qui deviendraient *localisables* et *identifiables* individuellement. Une vue très grossière des ordres de grandeurs illustre l'importance des volumes d'objets en question : si les objets de notre première catégorie ci-dessus, PDAs ou téléphones mobiles, se comptent à l'échelle mondiale en nombres de l'ordre de quelques centaines de millions, et les objets courants dotés de microprocesseurs embarqués (le milieu de gamme, correspondant à nos catégories 2 et 3) en dizaines de milliards, les objets manufacturés ordinaires se fabriquent à l'échelle de quelques *trillions* par an. Il n'est évidemment pas question qu'ils deviennent tous des terminaux UMTS, ou même Bluetooth, mais des étiquettes électroniques passives ne coûtant pas plus de quelques centimes, pourraient, à terme, être incluses dans tous ces objets manufacturés, permettant de les doter de fonctions minimum d'identification et de localisation¹³.

Ces étiquettes peuvent utiliser des technologies spécifiques d'identification radio-fréquence (RFID), qui ne nécessitent pas de batteries sur l'objet lui-même¹⁴. La portée en est faible, mais permet une localisation assez fiable par rapport à un voisinage du lecteur. Des étiquettes actives peuvent utiliser une technologie de transmission de plus longue portée

13. L'utilisation d'une technologie de localisation comme la vision permettrait potentiellement de localiser (et plus difficilement d'identifier) tout objet sans même qu'il soit nécessaire de l'équiper d'une étiquette pour cela.

14. Le circuit de l'étiquette est alimenté à distance par couplage inductif du lecteur. Le champ électromagnétique correspondant est modulé sur des fréquences de 128 kHz, 13,35 MHz 915 MHz ou 2,45 GHz dans les différents standards de fait ou de droit existant actuellement.

comme Bluetooth, mais nécessitent une alimentation et ne s'adressent pas à la même catégorie d'objets.

Bien au-delà des codes barres actuels, qui n'identifient que les *modèles* d'objets et non pas les objets *individuellement*, ces étiquettes permettraient d'assurer le suivi complet des objets, un par un, depuis leur fabrication jusqu'à leur recyclage en passant par leur stockage, leur transport et leur distribution, permettant une gestion totalement intégrée avec les outils informatiques d'ERP, suivi de production et gestions d'inventaire. Le potentiel est immense, plusieurs ordres de grandeur au-delà du commerce électronique actuel, qui ne gère que l'étape de distribution sans lien direct entre le processus informatique et le processus physique. L'idée de renforcer le couplage entre le monde informationnel et le monde physique, qui est à l'essence même de la révolution des objets communicants, trouve ici son aboutissement ultime et tout à fait concret. Ce n'est pas un hasard si cette réunification des « bits et des atomes », chère aux gourous du MediaLab qui ont lancé le consortium Things That Think (Gershenfeld, 1999), trouve aujourd'hui un débouché au sein de ce même MIT au travers du consortium Auto-ID (voir www.autoidcenter.org), auquel participent tous les grands industriels fabriquant des objets de la vie ou les courante (Procter & Gamble, Unilever, Gillette, Coca-Cola, Philip Morris, Wal-Mart, US Postal Service, etc.), et dont le but est précisément d'aboutir à cette deuxième révolution du commerce électronique.

Dans cette perspective, l'objet communicant de notre première catégorie, communicateur personnel servant d'interface vers les différents objets, (PDA GPRS ou UMTS) serait doté d'un lecteur RFID permettant d'identifier ces objets étiquetés et de s'interfacer avec eux. Les applications potentielles en sont illimitées, complétant celles qui seraient offertes au travers d'un interfaçage local du même mobile par réseau de type Bluetooth ou *ad hoc* avec des objets de catégorie 2 ou 3 dotés d'étiquettes actives.

L'autre utilisation possible d'objets passifs est en tant qu'éléments d'interface humaine, ce qui correspond à l'idée d'interfaces tangibles, ou saisissables, le plus souvent sous la forme d'icônes physiques : ces objets servent de simples représentants pour une action informationnelle qui va être déclenchée ou commandée par le fait de les manipuler. Ils sont équivalents dans ce sens aux classiques icônes des interfaces graphiques, mais offrent une interface plus conviviale, familière et sensoriellement riche et que ceux-ci, ne nécessitant pas de se focaliser sur un écran, et bien conforme à l'idée générale, évoquée plus haut, de répartir les interfaces dans l'environnement physique.

Caractéristiques Objets de catégorie :	Processeur/OS	Supports réseau	Capacités d'interaction physique	Capacités d'interaction utilisateur
1 <i>Objet d'accès</i>	XScale, Crusoe, ou équivalent Pocket PC, Familiar Linux, Symbian, Palm OS	GPRS/UMTS+ Bluetooth/infra rouge /802.11 + RFID (le cas échéant)	Capteur biométrique pour l'authentification utilisateur	Entrée : vocale Styler
2 <i>Objets portatifs</i>	Microcontrôleur pas d'OS en général, ou OS embarqué minimal	Bluetooth/RFI D/infrarouge, 802.11	Très variées suivant objet	Très variées si objets d'interface utilisateur, déportables sinon
3 <i>Objets d'environnement</i>	Microcontrôleur, OS embarqué le cas échéant	Bluetooth/RFI D/infrarouge/8 02.11 ou interface filaire power line +RFID (le cas échéant)	Très variées, fonction première de l'objet	Contrôles dédiés et afficheurs classiques Interfaces tangibles
4 <i>Objets passifs</i>	RFID	RFID	Capteurs passifs, le cas échéant	Interface tangible, saisissable

Tableau 2. Catégories d'objets communicants

Un scénario de service d'objets communicants

Ce scénario (figure 2) illustre une combinaison assez typique d'utilisations possibles d'objets communicants des différentes catégories ci-dessus, dans l'environnement d'un centre commercial.

L'utilisateur (appelons le Eric) rentre dans le centre commercial : sa localisation et son identification sont automatiquement détectés, et l'interface d'un service de *borne virtuelle* et de navigation se trouve téléchargée automatiquement sur son PDA, sans qu'il ait à le demander : il s'agit d'un plan du centre commercial avec les informations sur les différents magasins, sur lequel la localisation instantanée d'Eric sera mise à jour en temps réel, en y rajoutant éventuellement d'autres informations d'actualité instantanées (promotions, etc.). Quand Eric rentre dans un magasin (ici une librairie), un menu et un plan similaires, mais de niveau hiérarchique inférieur, lui sont

téléchargés, toujours automatiquement, avec tout ce qui est disponible dans ce magasin. Eric peut alors faire tout qu'il ferait dans une librairie en ligne (comparer, retirer sur son PDA de l'information complémentaire associée aux livres, des critiques, des suggestions) tout en bénéficiant de la possibilité de feuilleter le livre de papier, ce cher vieil objet familier, et de partir avec lui directement quand il l'aura choisi. Eric aime bien profiter ainsi du meilleur des deux mondes, le commerce physique et le commerce en ligne. Le livre est en fait doté d'une étiquette électronique, et aussi bien dans le magasin que dans la bibliothèque d'Eric, ceci permet de l'utiliser comme une icône physique pour tous les contenus, services et informations qui peuvent lui être associés. La sélection du livre (équivalent au clic sur une icône) se fait implicitement en le sortant du rayon ou de la bibliothèque. Si un écran est disponible localement, un contenu vidéo associé peut être téléchargé de manière également implicite en rapprochant le PDA de cet écran, ce qui correspond à une exportation d'interface pour ce service particulier.

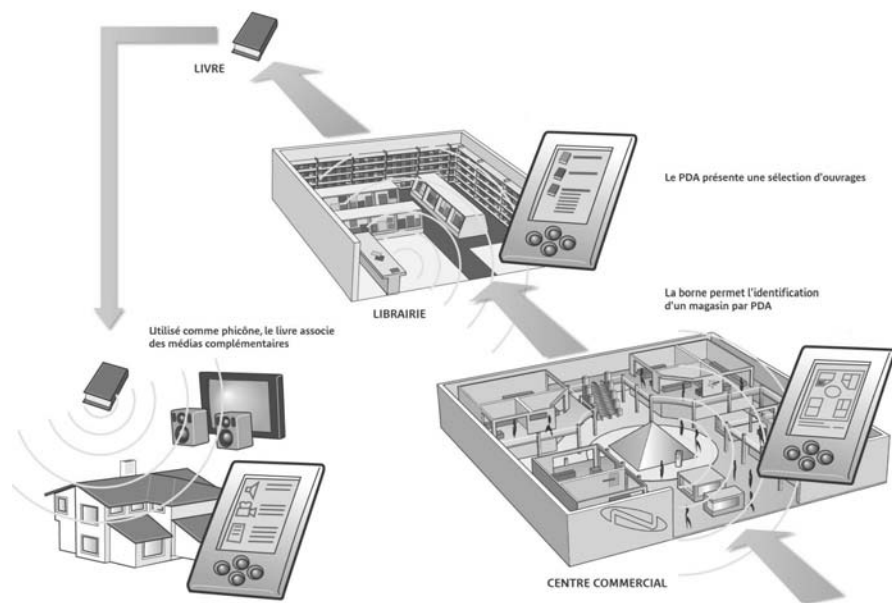


Figure 2. Un scénario d'objets communicants dans un lieu public

Quand les objets s'effacent, vers la communication ambiante

La première partie de cet article, centrée sur les objets eux-mêmes, peut correspondre à l'étape initiale de l'évolution plus large qu'il s'agit d'esquisser ici. L'étape suivante de cette évolution, qui a débuté par la prolifération et la diversification des objets, devrait être en fait leur *disparition*, et cela n'est nullement un paradoxe. Il s'agit d'une disparition *subjective* du point de vue de l'utilisateur, puisque les objets devraient, dans l'idéal, s'effacer devant le service qu'ils offrent, se fondre dans l'environnement de l'utilisateur, et cesser d'être en tant que tels l'objet d'attention et d'interaction. Les expressions comme communication ambiante, intelligence ambiante, informatique « calme » (Weiser, 1991), évanescence, environnement attentif, adaptativité au contexte, connotent, mieux que celle d'objets communicants, cette étape de l'évolution.

L'utilisateur humain, goulot d'étranglement de la communication

Le premier aspect de cet effacement des objets est lié à l'interaction directe des utilisateurs avec eux. Dans un environnement où les objets communicants les plus sophistiqués sont omniprésents, le seul facteur limitant, la seule vraie rareté, est le temps et l'attention de l'utilisateur. Dans un monde d'abondance illimitée et simultanée de la capacité de traitement, de stockage, et de la largeur de bande « réseau » (Gilder, 2000), la largeur de bande perceptive de l'utilisateur, quantité d'information externe qu'il va pouvoir traiter par unité de temps, est le seul goulot d'étranglement subsistant. Prenant en compte cela, les objets ne doivent en aucun cas solliciter en permanence l'interaction avec l'utilisateur pour chacune de leurs actions élémentaires. Ils doivent donc savoir être proactifs (Tennenhouse, 2000), prendre l'initiative, et trouver par eux-mêmes l'information dont ils ont besoin pour cela.

Le fait pour les objets de communiquer entre eux et avec leur environnement revient à mettre, dans toute la mesure du possible, l'utilisateur « hors de la boucle », en laissant les objets « se débrouiller entre eux ». Typiquement, l'information qu'un objet pourra acquérir directement à partir d'un capteur ou en se synchronisant avec un autre objet, aurait dû, sans ces possibilités, être acquise et saisie manuellement par un utilisateur. Si les objets communiquent d'abord entre eux et avec l'environnement, c'est pour éviter d'avoir à communiquer avec l'utilisateur quand ce n'est pas nécessaire, élargissant donc la bande passante *utile* de communication avec celui-ci en supprimant cette communication redondante ou « parasitaire ».

Alléger la charge cognitive de l'interaction

Un autre aspect de cette optimisation de la largeur de bande perceptive, telle qu'elle est prise en compte par la communication ambiante, est lié aux propriétés cognitives des différentes modalités d'interaction. Il est clair que certaines modalités (visuelles et auditives en particulier) peuvent être saturées dans certains environnements, alors que d'autres (par exemple le toucher) sont largement disponibles. Il est donc intéressant, toujours pour contourner le goulot d'étranglement de la largeur de bande perceptive de l'utilisateur, d'exploiter des modalités sous utilisées et non saturées, dans un environnement donné. Le cerveau sait traiter ainsi en permanence un volume important d'informations qui se situent à la périphérie de l'attention consciente, dans le domaine de la cognition préattentive. Ce traitement a deux caractéristiques importantes : il a un degré de parallélisme potentiel beaucoup plus élevé que celui du traitement « attentif », qui se situe à l'avant-plan de la cognition consciente et qui est essentiellement séquentiel. Il peut basculer au premier plan, vers le traitement conscient, de manière asynchrone, dès que c'est nécessaire (comme par exemple si on détecte son nom prononcé dans le brouhaha d'une salle où l'on ne suivait auparavant aucune conversation de manière consciente). Il s'agit donc d'un mécanisme de transmission intermédiaire entre la transmission tirée (interactive, à la demande de l'utilisateur), et « poussée » (on préempte systématiquement l'attention consciente de l'utilisateur, même si l'information ne le justifie pas), qui est bien adaptée à certains types d'information que l'utilisateur veut « monitorer » sans pour autant y consacrer de l'attention.

L'environnement est l'interface

On atteint à une dimension supplémentaire de cette évolution dès lors qu'on considère, non plus l'interaction avec chaque objet individuellement, mais avec une multiplicité d'objets, qui, en tant que fédération de dispositifs d'interface, vont constituer une véritable interface répartie, immergée de manière transparente dans l'environnement. De ce point de vue, les trois évolutions mises en lumière dans l'étape précédente : les objets communiquent entre eux, les objets interagissent avec l'environnement physique, les objets offrent des dispositifs interfaces diversifiés et répartis, se rejoignent dans cette évolution vers la communication ambiante.

C'est dans cette perspective de l'« interaction généralisée », intégrant interaction humaine au sens classique, et interaction physique, qu'il faut

situer l'idée-force du renforcement du couplage entre l'infosphère¹⁵ et l'environnement.

Les applications de types senseurs et actionneurs répartis en réseau en sont le meilleur exemple à très grande échelle, dans le nouveau domaine de la mise en réseau de l'environnement, tandis que, à plus petite échelle, c'est l'utilisateur dans son environnement, c'est-à-dire le contexte d'interaction, qui est pris en compte pour enrichir l'interface des services de communication classiques.

Les interfaces sont ainsi réparties et délocalisées, matérialisées de manière dynamique et adaptative par des objets invisibles et, le cas échéant, interchangeables. Ces objets interconnectés et interagissants se fondent dans l'environnement, et cet environnement devient un environnement perceptuel, qui peut interpréter l'information, et donc situer l'interaction, à un niveau beaucoup plus élevé que ça n'était le cas dans les modalités classiques d'interface.

L'idée directrice est, dans tous les cas, de cesser d'enfermer l'interface humaine à l'infosphère dans la projection cognitive singulièrement appauvrissante qu'impose aujourd'hui encore, plus de trente ans après son émergence, la métaphore bidimensionnelle propre aux interfaces WIMP¹⁶ (Johnson, 1999). Ultimement, on peut dire que l'environnement lui-même deviendrait pour l'utilisateur l'interface de l'infosphère, au travers de tous les objets qui s'y trouveraient enrichis de capacités communicationnelles pour offrir, en retour, leurs riches *affordances*¹⁷, intuitives ou culturelles, comme supports d'interaction diversifiés et, on l'espère, simples et naturels d'utilisation. Ce monde qui nous entoure porte ainsi en lui et à travers des objets palpables et familiers les représentations qui doivent nous élargir l'accès à un monde de l'information et de la communication dont nous n'avons pour lors entrevu, au travers de nos pauvres *fenêtres*, qu'une balbutiante préfiguration.

15. Le cyberspace, si l'on préfère.

16. Windows, Icon, Mouse, Pulldown menu, (ou Menu, Pointing device), modèle dont l'idée (géniale) a été initialement proposée par Doug Engelbart en 1968, pour être incarnée successivement dans le Xerox Star, Lisa, le Macintosh, et se maintenir quasi inchangée jusqu'à nos jours dans ses avatars Windowsiens.

17. Ce terme, désormais classique dans la communauté des spécialistes d'interfaces humaines et de design pour l'utilisabilité, désigne l'ensemble des indications plus ou moins implicites qu'un objet peut offrir, intuitivement de par sa forme, ou par l'arrière-plan culturel dont il hérite, sur son propre usage.

Situer l'information et la communication, reconstituer le contexte

Le modèle abstrait de l'ensemble des états conjoints des objets et des utilisateurs intervenant dans une interaction est le *contexte* de l'interaction, qui va conditionner le traitement global à mettre en œuvre dans cette interaction.

Ce qu'offre la communication élargie des objets avec l'environnement, c'est la possibilité de trouver cette information de contexte, qui permettra d'alléger l'interaction et de la rendre implicite, dans l'environnement physique, en exploitant toutes les modalités d'acquisition d'information physique dont sont dotés les objets. Là où l'intelligence artificielle a partiellement échoué à doter un programme général de « bon sens », la prise en compte d'informations tout à fait concrètes et physiques comme la localisation, l'attitude de l'utilisateur, la position relative des objets présents dans son environnement, peut suppléer à une connaissance abstraite difficile à modéliser pour *situer* l'interaction.

Les services dits *géo-dépendants* qui exploitent, à différentes échelles, l'information de localisation physique de l'utilisateur à partir de capteurs spécifiques, sont l'exemple le plus élémentaire de services basés sur le contexte. Dans l'évolution des services basés sur la localisation, le terminal lui-même, qui est ce qui est localisé dans les services classiques, s'efface encore une fois devant l'utilisateur, qui peut être directement localisé en tant que destinataire de la communication, le terminal y devenant totalement virtualisé. Cette communication *située*, ou « intermédiée par l'environnement », repose essentiellement sur un modèle de la localisation physique vue comme un élément déterminant du contexte.

D'autres éléments de contexte sont par contre de nature non physique, et se trouvaient déjà exploités à des degrés divers dans des systèmes qui, à notre sens, ne relèvent pas directement du programme de recherche décrit ici : il peut s'agir par exemple, pour ne citer que le plus évident, de la prise en compte d'un historique d'interaction permettant de constituer un profil d'utilisateur. Les méthodes pertinentes relèvent alors, suivant les cas, du data-mining ou de l'analyse de données en général, toutes les données brutes étant déjà dans le système, et non pas dans l'environnement.

Conclusion

On espère avoir montré l'évolution qui mène de la multiplication et la diversification des objets jusqu'à leur effacement subjectif. Il y a cependant dans cette vision d'un environnement à la fois lisse et saturé d'information,

quelque chose d'un archétype de technologie-fiction, qui néglige, sans doute, un attachement bien humain, déjà souligné, à la *matérialité* et à la *singularité* des objets, objets qu'on peut souhaiter « faire siens » (Boullier, 2002) et qui ne sauraient devenir totalement interchangeables. De ce point de vue, l'horizon n'est pas tant une disparition des objets qu'une sublimation, une épuration, qui en éliminerait les appendices, excroissances et résidus d'évolution purement technologiques, pour n'en conserver que l'iconicité intuitive et la matérialité familière.

Remerciements

Je tiens à remercier Thibaud Flury pour sa relecture attentive de la version préliminaire de cet article.

Bibliographie

- Boullier D., « Objets communicants, avez vous donc une âme? », *Les Cahiers du numérique*, vol. 3, n° 4, dans ce numéro, Hermès-Lavoisier, 2000.
- Burkhardt J., Henn H., Hepper S., Rindtorff K., Schaeck T., *Pervasive Computing: Technology and Architecture of Mobile Internet Applications*, Addison-Wesley, 2002.
- Gershenfeld N., *When things start to think*, Henry Holt, 1999.
- Gilder G., *Telecosm, how infinite bandwidth will revolutionize our world*, The Free Press, 2000.
- Hansmann U., Merk L., Nicklous M., Stober T., *Pervasive Computing Handbook*, Springer Verlag, 2001
- Kintzig C., Poulain G., Privat G., Favennec P. N., *Objets Communicants*, Hermès Science Publications, collection Technique et scientifique des Télécommunications, 2002.
- Ishii H., Ullmer, B., « Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms », *ACM conf. On Human Factors in Computer Human Interaction (CHI97)*, ACM, 1997.
- Johnson, S., *Interface Culture*, Basic Books, 1999.
- Lewis, T., « Information Appliances, gadget Netopia », *IEEE Computer*, January 1998.
- Lucky R. W., « Connections », *IEEE Spectrum*, March 1999.
- Mullender S., (editor), « Distributed Systems », Addison-Wesely, 1993.
- Norman D., *The invisible Computer, why good products can fail, the personal computer is so complex and information appliances are the solution*, MIT Press, 1998.

44 Objets communicants. LCN, n° 4-2002

Privat G., « A system-architecture viewpoint on smart networked devices », *Microelectronic Engineering*, 54 (2000).

Privat G., « Les objets communicants, nouvelle frontière des télécommunications ? », *Revue de l'Electricité et de l'Electronique*, Septembre 2002.

Saffo P., « Sensors, the next Wave of Infotech Innovation », *Communications of the ACM*, vol. 40 n° 2, February 1997.

Tennenhouse, D., « Proactive Computing », *Communications of the ACM*, vol. 43, n° 5, May 2000.

Weiser, M., « The Computer for the 21st Century », *Scientific American* 265 (3), p. 66-75, Sept. 1991.

Weiser M., « Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing », *Communications of the ACM*, July 1993.