

Pervasion, transparence et cognition augmentée

Pervasion, transparent interfaces, and augmented cognition

Bernard CLAVERIE (1), Véronique LESPINET-NAJIB (1), Pascal FOUILLAT (2)

(1) Laboratoire HEAL, CIH, Ecole Nationale Supérieure de Cognitique¹ – Institut Polytechnique de Bordeaux – Université de Bordeaux
bernard.claverie@ensc.fr ; veronique.lespinet@ensc.fr

(2) Laboratoire IMS, UMR-CNRS 5218, Ecole Nationale Supérieure d'Electronique, Informatique et Radiocommunications de Bordeaux², IPB, Université de Bordeaux
pascal.fouillat@enseirb-matmeca.fr

Résumé. L'innovation technologique s'inscrit dans le mouvement historique d'une complexification des systèmes communicants. C'est pour aider, suppléer ou augmenter ses capacités d'action et de pensée que l'Homme a élaboré des machines dont les développements les plus actuels s'inscrivent dans ceux de l'électronique répartie. Celle-ci a donné naissance au concept de pervasion, c'est-à-dire de diffusion des composants dans l'ensemble de l'environnement, pour une transparence d'interfaces de plus en plus diffuses, laissant l'utilisateur oublier qu'il est inclus dans un système anthropotechnique permanent. Cette inscription psychotechnique se caractérise par une délégation à des composants de parties de l'action ou de la cognition, remettant en actualité une conception connexionniste d'une pensée partagée, et ainsi augmentée.

Mots-clés. Cognitique, cognition augmentée, électronique, information, NTIC, pervasion, technologies de l'information.

Abstract. Technological innovation is part of the historical movement of the complexification of communication systems. Man has developed machines to assist, supplement or increase his capacity for action and thought, the latest development being distributed electronics. This has given rise to the concept of pervasion, that is to say, the distribution of components throughout the environment with increasingly diffuse transparent interfaces, which allows the user to forget that he is included in a permanent anthropotechnical ambient system. The psycho-technical is characterized by a delegation of parts of the action or cognition to different components. This idea brings to the fore once again a connectionist concept of shared, and thus augmented, human thought.

Keywords. Augmented cognition, cognitics, electronics, information, information technologies, pervasion.

¹ Ecole supérieure conventionnée avec l'Institut des Sciences de la Communication du CNRS

² Ecole supérieure conventionnée avec l'Institut Télécom

1 Introduction

Le terme « pervasif » est dérivé du verbe latin « pervago » qui indique une idée de diffusion généralisée : « errer ça et là, parcourir complètement, s'insinuer, se propager, se répandre, imprégner, s'étendre ou envahir » – participe passé « pervasus ».

Il s'est invité dans le domaine des technologies de l'information depuis une dizaine d'année, et qualifie un processus ou un objet technologique qui diffuse à travers un ensemble social ou culturel. L'électronique pervasive est donc celle dont la diffusion gagne toutes les parties du système d'information, elle est illustrée par l'aménagement des cockpits d'avion de nouvelle génération, les environnements de vie ou de travail hautement technologiques et hyper sécurisés tels que ceux de gestion de la navigation aérienne, les salles de contrôles des industries à risque, et de plus en plus, les espaces privés équipés d'aides domotiques nouvelles ainsi que, plus récemment, les automobiles haut de gamme.

Un processus pervasif est donc diffusé, omniprésent et transparent, c'est-à-dire qu'il sait se faire oublier. Cette caractéristique est centrale dans la pervasion : on oublie lorsque rien ne manque (absence de conscience de "l'en moins") et lorsqu'on ne remarque plus rien (absence de conscience de "l'en plus"). Un environnement pervasif est constitué d'objets technologiques communicants, qui se reconnaissent, se localisent, s'organisent en réseaux ad hoc, et ceci sans action particulière de l'utilisateur. L'utilisateur ignore ou oublie leur présence, et s'en sert pourtant comme d'un prolongement naturel de lui même.

L'information pervasive fait référence à la tendance à l'informatisation omniprésente, la connexion en réseau, la miniaturisation des dispositifs électroniques embarqués associée à leur intégration dans les objets du quotidien (Foth *et al.*, 2009). Leur capacité ubiquitaire croissante de traitement local de l'information favorise ainsi l'accès aux données partout et à tout moment (Marshall *et al.*, 2008 ; Sakhae *et al.*, 2008 ; Trossen *et al.*, 2007, etc.). Il convient ici de noter que, pour pouvoir se faire oublier, l'information doit être traitée, groupée sous forme de connaissances, directement utilisable dans les éléments des processus cognitifs humains dans lesquels elle s'insère. En ce sens, l'information devient cognitive (Claverie, 2005).

La pervasion pose donc la question de la délégation partielle, du partage et de la cognition globale du couple Homme(s)-système(s), et ceci en dehors de toute conscience d'interfaces devenues ainsi transparentes pour l'utilisateur.

2 L'évolution pervasive

L'évolution pervasive s'est constituée progressivement depuis les années soixante du siècle dernier. Jusque-là, alors que les composants électroniques utilisés de manière discrète et indépendante coûtaient cher, le machinisme informatique se réduisait à quelques gros ordinateurs, situés chacun dans des centres de calcul (« mainframes » ou « ordinateurs centraux » de la révolution informatique). La spécialité universitaire « informatique » s'est alors développée en relation avec l'électronique qui imposait ses contraintes et avec les mathématiques qui autorisaient des astuces de calcul. La programmation était centrale dans l'économie des temps de traitement sur une machine partagée par une collectivité de chercheurs, d'ingénieurs ou de gestionnaires.

La croissance exponentielle des performances des composants électroniques en termes de consommation énergétique, de vitesse et de capacité d'intégration, s'accompagne de la baisse des coûts de conception et de production. Le phénomène

a été prédit dans ces années là par Gordon Moore (Moore, 1964, 1965 ; cf. figure 1), dans une approche empirique qui s'impose encore aujourd'hui comme loi fondamentale de l'évolution économique et technologique des semi-conducteurs.

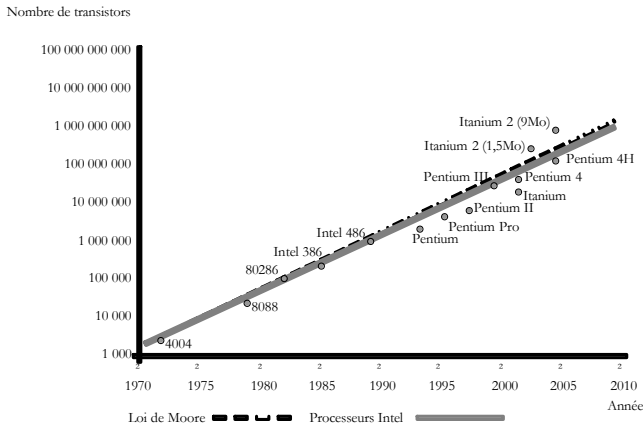


Figure 1. Loi de Moore et évolution réelle du nombre de transistors dans les microprocesseurs Intel® – d'après QcRef87 (2006).

La chute des prix de fabrication des puces électroniques a ainsi permis peu à peu de doter chacun de son propre ordinateur. Les « personal computers » (PC) des années 80 sont devenus des outils individuels : à chaque cerveau son calculateur artificiel. Cette époque a démocratisé l'informatique et son utilisation pour quasiment toutes les tâches de la société, qu'elles soient marchandes, de santé, de sécurité, de formation et d'éducation, de culture ou de plaisir, avec l'industrie éditoriale, du jeu, de la musique ou de la vidéo. Les composants électroniques trouvèrent dans cette évolution à la fois les moyens de leur développement et des parts de marché de plus en plus importantes.

C'est dans les années 90 que l'Internet a permis de connecter les PC entre eux et aux mainframes, eux-mêmes constitués en nœuds d'un réseau mondial dont on connaît aujourd'hui l'importance en sciences de la communication. La révolution Internet a permis de dépayser les informations, toujours accessibles, en tout point du monde, avec des accès à des mémoires partagées, de dimension quasi infinie.

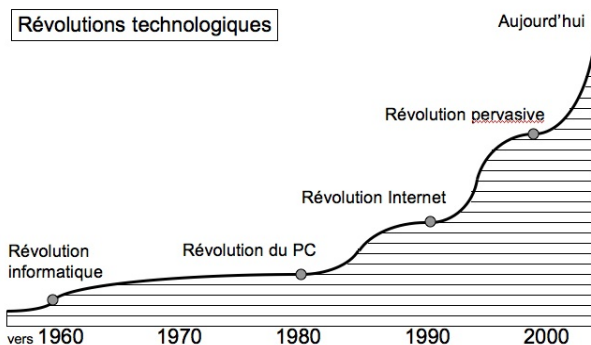


Figure 2. Les révolutions des technologies de l'information – production mondiale de composants électroniques (axe y) en fonction du temps (axe x) – d'après Nathan (2006)

La forte capacité de production des puces électroniques au tournant du siècle, leur extrême petitesse, leur puissance de calcul étendue et leur prix dérisoire, ont induit un relatif dépassement de l'ordinateur à tout faire pour doter chaque « objet communicant » d'une plus grande « intelligence » spécialisée, dédiée ou localisée. Les puces ont alors pu diffuser et s'inviter dans tous les grands champs d'application du quotidien : transport, santé, télécom, industrie, sécurité. Il en est ainsi de chaque équipement embarqué, dans les téléphones, les voitures, les avions et les fusées, mais également dans ceux situés au sein des espaces de vie, appartements dont les interrupteurs régulent la lumière, portes reconnaissant les propriétaires ou fenêtres qui s'obturent le soir, ainsi que dans les ustensiles du quotidien, tels qu'équipements vidéo, fours et machines à laver, sèche-cheveux, horloges, et même dans les vêtements communicants et autres objets du quotidien dotés d'électronique (Nathan, 2006).

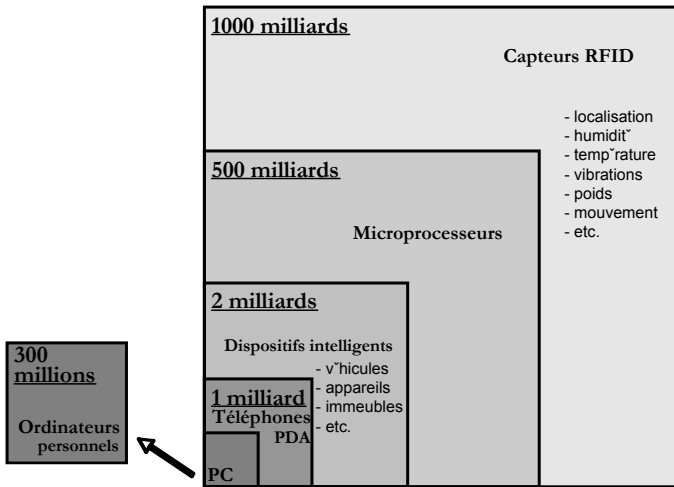


Figure 3. Nombre de composants électroniques par usages dédiés, fabriqués en 2007 – d'après Cornu (2007)

Cette notion d'objet communicant (Privat, 2002) est née au milieu des années 90, principalement pour des usages domestiques et des environnements ambiants conviviaux. Les applications industrielles ne sont apparues que dans la décade suivante, grâce à l'émergence de nouveaux standards de communication (Bluetooth, WiFi, ZigBee, GSM, etc.). Ceux-ci permettent à la fois de localiser et de connecter les éléments environnementaux à l'utilisateur. Les progrès de l'électronique ont doté ces objets de capacités associées de perception et détection, de mesure et d'identification, de localisation et de relation, notamment par Internet, et d'interaction entre eux. L'ordinateur devient alors décentralisé ; il se dote de nouvelles capacités lui permettant d'étendre son champ d'action aux objets communicants (Boullier, 2002 ; Privat, 2002) et ceux-ci acquièrent de nouvelles capacités de traitement et de communication qui délocalisent alors l'information. L'internet des objets ou « Internet du futur » participe à cette évolution (Benghozi *et al.*, 2008), avec l'ambition d'identifier de manière unifiée des éléments classiques d'information numérique comme les adresses URL et des éléments physiques dotés d'une capacité de communication et de calcul : le réseau crée une passerelle entre les mondes physiques et virtuels.

L'Homme baigne donc dans un archipel d'objets communicants dont il a perdu toute conscience unitaire. Il sait simplement que ça marche globalement avec de l'électronique et que, sans « bug », c'est-à-dire sans trouble ou panne électrique, « ça fonctionne ». On en arrive à une époque où chaque utilisateur partage de nombreuses machines de calcul avec d'autres, sans le savoir vraiment. Il communique ainsi avec les autres grâce au partage de ces multiples composants électroniques. Cette communication technologiquement médiée est dite pervasive, dans le sens où elle s'adresse à tous et utilise de manière quasi permanente une électronique répartie.

On peut alors se poser la question de la définition de l'ordinateur, qui n'est plus la seule machine à calculer massivement grâce à l'électronique, mais qui devient simplement une machine d'information non transparente, parmi d'autres qui, elles, le sont. C'est la machine avec laquelle on négocie le calcul volontaire, intentionnel, et qui est une prothèse à tout faire pendant qu'elle s'intègre aux autres machines communicantes, celles qui restent dédiées à des tâches cognitivement définies, et qu'on oublie en toute inconscience.

3 Le double aspect de la pervasion

La pervasion présente un double aspect : elle se répand selon les lois de l'offre technologique, mais également comme un phénomène social de diffusion. Elle se propage dans une population donnée, certes de plus en plus large, mais qui présente des caractéristiques particulières : les usagers.

La diffusion sociale est un processus qui a longtemps interrogé les chercheurs (cf. infra). Elle reste difficilement explicable au-delà des simples constats de bon sens et des modèles de diffusion chimique, écologique ou épidémiologique. On peut néanmoins constater des différences dans les courbes de distribution des proportions ou des effectifs cumulés des personnes atteintes ou concernées en fonction du temps.

Une première typologie consiste en une courbe logarithmique (en arc) caractéristique d'un accroissement des contacts, conversions ou influences, proportionnel au nombre des personnes non encore atteintes ou concernées. La vitesse du processus de diffusion est indiquée par la pente de la tangente à la courbe, et celle-ci tend à décroître jusqu'à se stabiliser vers une valeur théorique maximale. Cette typologie est caractéristique d'une diffusion d'un émetteur (eg. : média) vers des individus (eg. : clients, usagers, etc.). Une seconde typologie correspond à la croissance logistique. Celle-ci est caractéristique d'une propagation d'individu à individu (contagion, conversion, etc.), avec une forme caractéristique en S. L'augmentation des effectifs concernés est à la fois proportionnelle à l'effectif des personnes atteintes et à celui de celles qui ne le sont pas. Ces deux types de courbes, initialement identifiés dans l'étude de l'adoption de nouveaux médicaments par les médecins américains (Coleman *et al.*, 1966), permettent de caractériser les personnes en fonction du temps auquel elles sont concernées par le phénomène : innovateurs, précurseurs, normalisés, retardataires ou réfractaires (Rogers & Shoemaker, 1971).

On peut admettre l'existence des différents éléments clefs suivants qui participent à la diffusion d'une nouvelle technologie (Taylor & Todd, 1995).

- L'avantage relatif est le degré d'attribution par l'utilisateur que l'innovation est meilleure que la précédente.
- La compatibilité est le degré de consistante perçue avec les valeurs, les pratiques et les normes sociales.
- La complexité subjective correspond à la difficulté d'utilisation ressentie.

- La testabilité est relative à la possibilité d'essayer une innovation avant de l'utiliser ou l'acquérir.
- L'observabilité correspond à la clarté du bénéfice pour l'utilisateur.
- L'image d'amélioration du statut social, dans le contexte des technologies de l'information, se répartit en visibilité de l'innovation et en "démonstrativité", ou possibilité d'en démontrer les résultats d'usage (Moore & Benbasat, 1991).

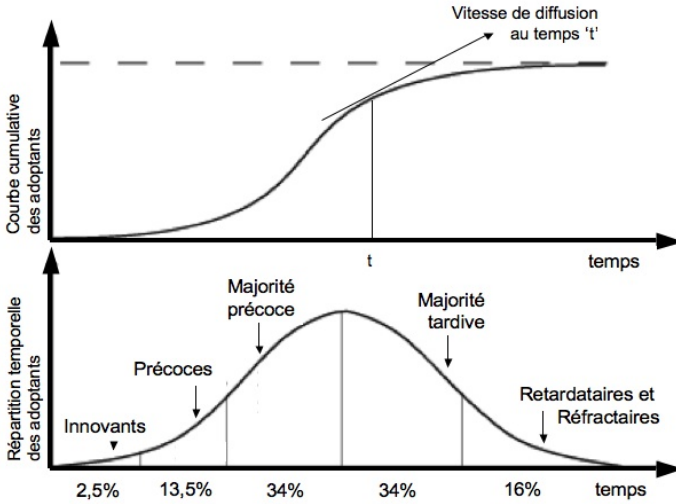


Figure 4. Courbe logistique de diffusion et caractérisation des individus adoptant les technologies – d'après Rogers (1966)

En ce sens, la courbe qui représente les nombres de composants fabriqués en fonction du temps (figure 1), n'a de sens et doit être interprétée en perspective de celle qui représente la tendance de pénétration sociale des technologies (figure 2). La courbe complète (type Nathan) correspond à une succession de cycles logistiques (type Rogers), sur lesquels s'imposent des révolutions technologiques engageant à chaque fois un nouveau cycle logistique. Chaque révolution semble ouvrir une époque technologique à la fois plus courte que la précédente, ce qui se caractérise par une plus grande rapidité d'adoption des technologies par les individus, et une augmentation des nombres de composants électroniques produits. Ce phénomène est à mettre en relation avec l'évolution des capacités industrielles pour passer du concept à la mise sur le marché des nouveaux produits technologiques (ou « time to market »). Alors qu'il a fallu 20 ans au téléviseur pour atteindre une production de masse dans les années cinquante, soit plus de 10 millions d'unités par an, il ne fallait plus que deux années au lecteur DVD dans les années 90 pour atteindre le même score (10 fois moins). Cette accélération continue vaut pour tous les produits technologiques destinés au grand public, et l'on peut prévoir que, sous peu, des produits complètement nouveaux seront quasiment instantanément conçus et mis sur le marché. Cette accélération participe à une révolution des usages et des attentes des usagers, fournisseurs, consommateurs, clients ou patients pour ce qui est des technologies bioélectroniques.

4 L'induction des nouveaux imaginaires pervasifs

Ces données interprétatives de l'envahissement technologique, clé d'un secteur économique majeur des sociétés nouvelles, s'accompagnent de l'émergence de nouveaux besoins sociaux, de nouvelles envies et surtout de nouvelles pratiques généralisées. Les référents culturels traditionnels sont aujourd'hui enrichis, souvent suppléés, et parfois disparaissent au profit de ces technologies massivement communicantes *e.g.* (Grosky *et al.*, 2009). Quelques exemple visibles en témoignent : le livre s'enrichit de consultations en ligne sur les portables ; le diagnostic médical est aidé par des robots décisionnels, évitant les erreurs médicamenteuses et assurant le suivi biologique et imagé du patient auprès d'une communauté clinique ; la mécanique automobile disparaît au profit du remplacement d'entités défaillantes, et du réglage électronique à partir d'une prise de diagnostic ; la sécurité repose sur des caméras dotées de capacités d'analyse et détection de comportements suspects ; le caissier disparaît comme l'ont fait avant lui le pompiste ou le poinçonneur des Lilas...

Cette évolution génère de nouveaux imaginaires, et les générations nouvelles n'ont plus les mêmes attentes ni les mêmes rêves qu'au siècle passé. Le baladeur s'est associé au téléphone-SMS et à la caméra pour associer des nouvelles musiques à des tranches de vie immédiatement transférés aux amis ou au réseau de communication des mondes virtuels. La BD traditionnelle devient électronique et laisse le champ aux mangas, et font aujourd'hui vendre les chemises, les chaussures ou gèrent les modes capillaires. Les publicités s'en inspirent, les voitures se vendent en montrant des « transformers », on expose des robots écologiques et se généralise le mythe d'un monde sain dans lequel les instants sont paisibles ou, au contraire, d'une violence extrême. Ce mélange d'une réalité, déjà hautement complexe en termes technologique, et de fiction, inspirée par l'« art-tech » (BD, mangas, cinéma, nouvelles musiques, etc.), guide l'innovation, et les progrès de la technologie lui permettent d'évoluer pour s'y adapter et inventer de nouveaux usages. Ceux-là laissent alors les démunis, les résistants au changement, ou les simples étrangers à cette néo-culture sur le côté de la route techno-pervasive.

Le rêve est aujourd'hui celui d'un réseau permanent et complet, permettant à tous les appareils de communiquer et collaborer aux simples actions de chacun. L'important est de communiquer avec qui l'on veut, quand on veut, de préférence avec une caméra et bientôt avec des sensations olfactives, kinesthésiques³, ou haptiques⁴ que nous préparent les équipementiers, pour des applications ludiques, pédagogiques ou de santé. Cette communication technologiquement « médiée » impose des respects de contraintes que ne sont plus prêts d'accepter les consommateurs, et le premier qui propose un nouveau produit gagne des parts de marché dans une course économique débridée.

Cette communication omniprésente influe sur la représentation que nous avons du réel, mais elle modifie aussi celle du design technologique. Alors que l'acte et le comportement de conception étaient autrefois référés à une personne ou à un petit groupe d'experts, ils tendent à devenir largement collaboratifs, avec des acteurs et des machines qui ne sont plus identifiés que par leur contribution à un réseau. On peut trouver une analogie au sens d'un cerveau connexionniste bio-artificiel,

³ Kinesthésique désigne ce qui est en rapport avec la proprioception, c'est-à-dire l'ensemble des récepteurs du corps humain, les voies et les centres nerveux impliqués dans la sensation de la position relative des parties du corps.

⁴ Haptique désigne ce qui est en rapport avec le toucher. Le mot est issu du grec « haptomai » (je touche) et construit par analogie avec optique, acoustique, kinétique, etc.

massivement distribué, au service d'une intelligence partagée dont l'Homme n'est plus capable que de donner des descriptions « de surface ». Les forums, les services de partage de savoirs ou de compétences ne sont plus du domaine de l'auto-organisation et du seul domaine de l'humain. Personne ne sait plus si l'interlocuteur est un Homme ou un robot supervisé, voire autonome pour les réponses simples. En effet, avec des technologies peu coûteuses telles que l'Intelligence artificielle associée à Internet, à la Wifi ou à d'autres technologies de radio-communication, ces réseaux sont aujourd'hui organisés par les entreprises pour permettre une innovation participative. Ils peuvent être mis en œuvre à la maison de manière relativement simple, peu coûteuse, dans une nouvelle économie familiale, ou dans une nouvelle citoyenneté développée dans les réseaux « mesh networking »⁵ avec des services d'une « e-économie » et d'une « e-administration » pervasives, de plus en plus répandues, constituant d'une nouvelle représentation du social et des relations usager-instance, client-fournisseur ou citoyen-autorité.

5 Intelligence répartie ou connexionnisme de délégation

L'électronique étudie le traitement automatique de l'information électrique et développe ses applications technologiques. L'information y est considérée dans son sens le plus large, désignant toute grandeur matérielle qui évolue en fonction du temps, selon des lois physiques. Elle se différencie en deux grands sous domaines selon qu'elle traite des courants électriques pour les transformer et les adapter à des utilisations précises ou, pour ce qui nous intéresse, qu'elle les utilise pour coder l'information et opérer grâce à ces courants des opérations et les calculs classiques de son traitement.

Dans les années soixante, ce sont des électroniciens qui ont tenté de donner naissance à un modèle de cerveau électronique pour approcher les phénomènes de pensée. En 1957, le Laboratoire Aéronautique Cornell de Ithaca⁶ a étudié les réseaux de neurones artificiels qu'avaient décrits les premiers cybernéticiens. Ceux-ci décrivaient des neurones « formels » pour donner une simulation compréhensive de la complexité du cerveau à partir d'éléments élémentaires. L'automate formel MCP (McCulloch & Pitts, 1943) a été l'une des contributions princeps de l'intelligence artificielle, directement inspiré des connaissances neurobiologiques de l'époque (Hebb, 1949). Le principe est celui de la production d'une fonction de haut niveau à partir de l'association de fonctions élémentaires supportées par des éléments interconnectés entre eux. La fonction « émerge » alors du réseau et n'est contingente que des capacités combinées des éléments.

La structure de tels réseaux se déduit de la fonction à atteindre (pondérations des connexions, ou poids synaptiques), c'est-à-dire qu'elle repose sur une méthode constructive. Cette démarche « émergentielle » a été enrichie lors de l'invention du « perceptron » (Rosenblatt, 1958, 1962), réseau de neurones simple « classifieur » linéaire à plusieurs couches. Une première couche permet de traiter des informations parcellaires de l'environnement, et des algorithmes de connexion vers des couches supérieures imposent par retour (feed-back) des stabilisations pour fournir, au niveau des couches de sortie, une émergence de réponses correspondant à des ensembles combinés attendus.

⁵ Réseau auto-maillé, largement diffusé sur un territoire, dont tous les usagers sont connectés de proche en proche sans hiérarchie centrale, et qui permet à quiconque autorisé de se connecter en tout lieu et toute heure.

⁶ Cornell Aeronautical Laboratory, Cornell University in Ithaca, New York.

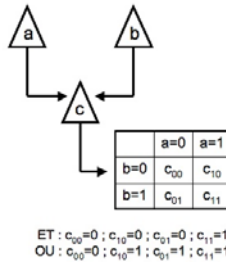


Figure 5. Réseau logique d'automates MCP - Émergence des fonctions logiques (tableau) à partir de l'interconnexion des éléments a, b et c du réseau – d'après Rumelhart et al. (1986 a)

Ce dispositif permet à la fois des vérifications expérimentales à partir de la programmation des caractéristiques élémentaires, et de tester des mécanismes d'apprentissage matérialisés dans les seules caractéristiques des éléments du réseau. C'est ici la structure qui guide la pensée artificielle, la fonction et sa performance sont dépendantes de l'apprentissage et de la confrontation d'un système couplé à un environnement, conçu comme ensemble d'informations utiles pour le réseau. Un tel ensemble ouvre la voie à une cybernétique émergentielle qui prend alors ses distances avec une intelligence artificielle cognitiviste ou un fonctionnalisme à la Putnam (1967), pour lesquels penser reste calculer et opérer sur des symboles (Bonnet *et al.*, 1986 ; cf. figure 6).

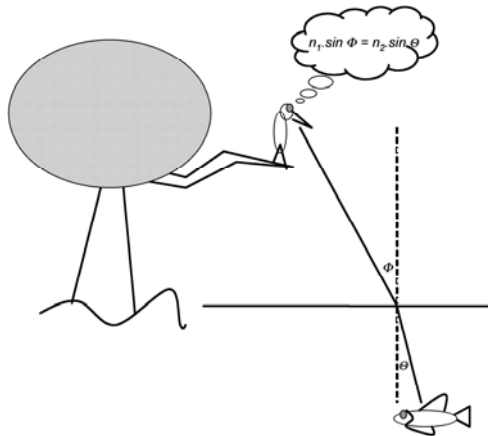


Figure 6. Inspiré d'un dessin satirique d'un magazine britannique, Varela (1988) propose deux interprétations du fonctionnement cognitif : cognitivisme vs. connexionnisme. Dans l'hypothèse symboliste (ou cognitiviste) ici représentée, un oiseau (ref. l'utilisateur dans le système) doit posséder une représentation de l'algorithme mettant en jeu la Loi de Snell-Descartes⁷ pour pouvoir exprimer son comportement. Il possède donc une représentation de la loi physique indépendamment du contexte et des observateurs. Il est seul acteur dans le système auquel il s'adapte ou qu'il utilise

⁷ La seconde Loi de Snell-Descartes, ou loi de la diffraction, exprime le changement de direction d'un rayon lumineux lorsqu'il traverse un prisme, c'est-à-dire la surface séparant deux milieux ayant des indices de réfraction différents, tels que dans l'exemple l'air (n_1) et l'eau (n_2).

L'approche « connexionniste » a été approfondie par le courant PDP (Rumelhart *et al.*, 1986 ; McClelland *et al.*, 1987). Elle défend l'idée selon laquelle tous les aspects de la cognition peuvent être conçus en termes de processus massivement parallèles. Le concept de rétropropagation (Rumelhart *et al.*, 1986b), déjà évoqué par les travaux initiaux des neurosciences (*ibid.*), prend ici une importance majeure, tant en ce qui concerne les processus d'apprentissage que ceux de reconnaissance ou de traitement de l'information. Les contenus mnémoniques ne sont plus considérés comme des instances, items représentationnels, faits ou événements, définis par un contenu linguistique ou imagé, et stockés dans des réservoirs psychologiques dont le rapport neurobiologique reste à découvrir. Ils sont conçus comme des relations entre les différents aspects de ces items, faits ou événements, qui sont (biologiquement ou électroniquement) encodés et groupés dans des réseaux de neurones (naturels ou artificiels) reliés en patterns d'activité. La cognition devient alors le résultat émergent d'un couplage entre niveaux d'analyse ou processus concourant à une même tâche.

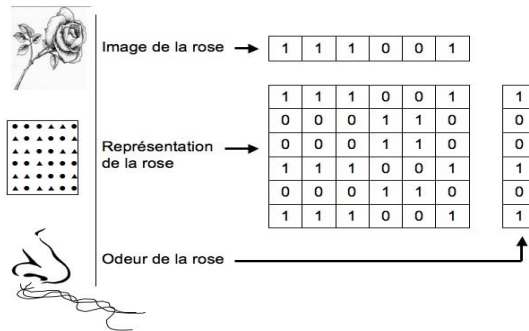


Figure 7. Réseau représentationnel connexionniste ; exemple d'association image-odeur – d'après McClelland *et al.* (1987)

L'approche PDP, ou néo-connexionniste, au-delà de sa cohérence avec les données de la connaissance biologique, propose un abord algorithmique des processus, dépourvu de présupposés cognitivistes, non dualiste, et strictement matérialiste. En ce sens, la pensée correspond à une matrice d'état qui permet une exploration stochastique de sa structuration « guidée par les buts », dépassant les modèles initiaux justement critiqués par l'IA classique (Minsky & Papert, 1969). Nous assistons alors à la ségrégation des deux mouvements. Le premier, largement majoritaire en informatique et en psychologie, postule la toute puissance des symboles et de la pensée consciente. Le second, plus centré sur l'électronique et la neurobiologie, situe explicitement le calcul au niveau du réseau, et la pensée n'a d'existence que par celui-ci.

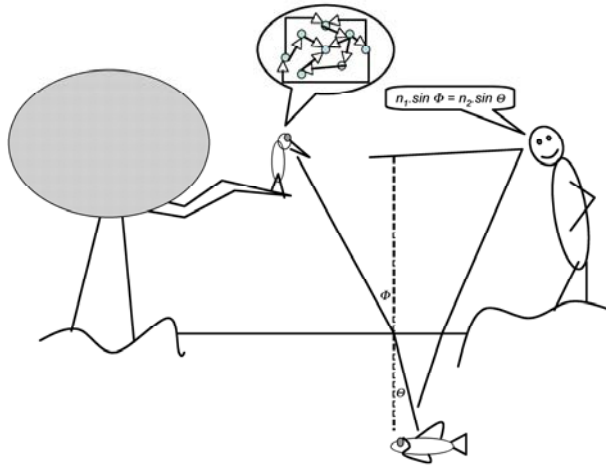


Figure 8. *L'hypothèse connexionniste s'affranchit de la contrainte computationnelle, l'aptitude émerge de l'activité du réseau de neurones spécialisé dans la pêche et le plonger. La loi physique est alors dépendante de l'observateur du système couplé environnement/ sujet — d'après Varela (1988)*

Le débat, qui a rapproché électroniciens, biologistes et psychologues, est curieusement réactivé par l'évolution pervasive, en posant la question de la conscience du réseau ou simplement celle de l'utilisateur immergé dans celui-là. Démystifiant la toute puissance du cerveau humain, la pensée est alors conçue comme fonction complexe émergeant à la fois du cerveau, mais également de ses prolongements mécaniques, répartis, qui donnent à la cognition un véritable statut anthropotechnique.

6 Vers un couplage cerveau-machine réparti

Ce cerveau n'est que la partie d'un homme qui s'est depuis toujours doté d'outils ou de machines pour en démultiplier la puissance, la précision ou la robustesse. Cette action a pu se complexifier, notamment grâce aux progrès de l'électronique pour établir des technologies de l'information et de la communication (TIC). Ce sont celles-ci qui ont donné au cerveau les prolongements artificiels spécifiques, prenant en charge des fonctions qu'elles aident, qu'elles suppléent ou auxquelles elles se substituent. Les mémoires sont distribuées, les supports électroniques sont communicants, les informations sont partout. Nombre de personnes sont physiquement solidaires de leur téléphone, de leur laptop à connexion Wifi, mais également des tags RFID, micropuces ou autres verichips®.

Ce système pervasif, en réseau, correspond à une nouvelle conception du système cognitif. Il correspond alors à l'ensemble hybride des aptitudes, fonctions et comportements de l'ensemble bioélectronique, ou Homme(s)-système(s). Le futur développement de patches électrophysiologiques, d'interfaces intimes haptiques, bioimplantées, voire bioinjectés, permet de favoriser l'idée d'une cognition hybride qui interroge la notion même du « soi ». La rhétorique spontanée s'est déjà emparée du vocabulaire étendu à la machine : personne n'a plus conscience de la complexité technologique cachée derrière une phrase comme « on s'appelle ». La notion de « monde communicant » sous-entend une forme d'intelligence, qui permet à l'ensemble en réseau de s'adapter et prendre des décisions en fonction des capacités

de traitement de l'information. Il faut alors admettre une intelligence partagée, proche d'une conception connexionniste, dans laquelle l'environnement communicant est constitué à la fois des objets artificiels et des agents naturels qui les utilisent. Les vecteurs d'entrée sont donc ceux de l'utilisateur et ceux des composants d'immersion, et la matrice (cf. figure 7) caractérise alors une cognition augmentée. Seul l'observateur extérieur est capable de qualifier l'ensemble cognitif, qui dépasse largement les simples limites de l'intelligence de l'Homme seul.

On peut ici convoquer, en l'adaptant, Searle et sa « chambre chinoise » (1980), illustrée dans la figure 9. Ce que fait ou font le ou les usagers au sein d'un système pervasif (ref. : la chambre chinoise) correspond bien à un « programme » cognitif. Ce n'est alors qu'un des éléments d'un système métacognitif dont l'attribution d'intelligence ne peut être faite que par un observateur extérieur (consciousness, ou conscience globale), et échappant à toute rationalité et conscience au niveau de l'utilisateur (awareness, ou conscience locale). L'environnement communicant n'est rien de moins qu'une super interface transparente entre l'utilisateur et l'information, habitée par des usagers eux-mêmes bardés d'éléments autonomes de l'interface, agissant dans l'inconscience de cette complexité globale. C'est l'ensemble Homme(s)-système(s) qui est lui-même doté des capacités métacognitives observables de l'extérieur.

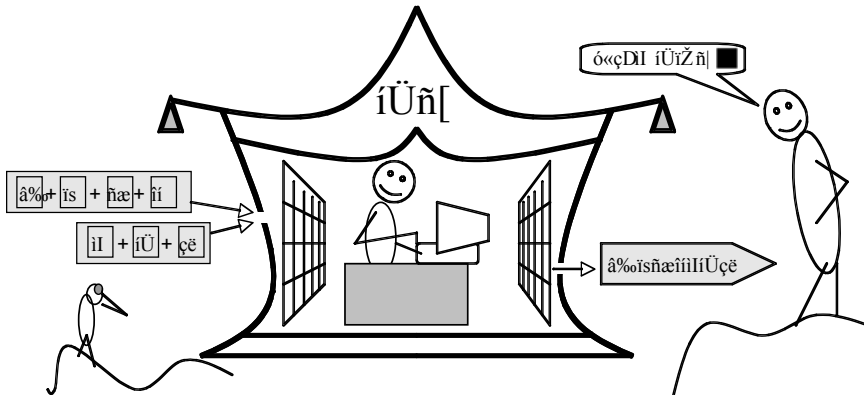


Figure 9. Dans l'expérience de la « chambre chinoise », un opérateur isolé (disposant de toutes documentations, bibliothèques et sources informatiques nécessaires) reçoit par une boîte aux lettres des symboles chinois et les organise pour les distribuer en phrases par une autre boîte aux lettres, selon des procédures définies, sans pour autant comprendre le chinois. Ce n'est pas l'opérateur, mais bien l'ensemble chambre-opérateur qui effectue la tâche sémantique. Ni la chambre, ses composants ou l'opérateur n'ont accès à une « conscience globale », seul un observateur chinois extérieur peut avoir accès à cette conscience sans pour autant savoir ce qu'il y a dans la chambre. Searle utilise cette métaphore pour contester le fait qu'un ordinateur puisse avoir accès à la compréhension des résultats du programme, et ainsi dénoncer l'IA forte. Ici, l'opérateur n'est qu'un élément de l'ensemble « chambre chinoise », et ne possède qu'une « conscience locale » de son travail algorithmique. Nota : si l'oiseau observateur pourtant extérieur n'a pas de conscience globale non plus, c'est qu'il n'en possède pas les compétences cognitives nécessaires – inspiré de Searle (1980)

La communication Homme(s)-système(s) est d'une part verbale, écrite ou orale, avec des ordinateurs ; c'est celle qu'on étudie habituellement. Mais elle doit être dépassée, non verbale, avec des interfaces intuitives et des éléments communicants favorisant les usages nomades d'un système d'information ubiquitaire et permanent qu'imposent aujourd'hui les nouvelles contraintes sociales et que réclament les imaginaires pervasifs. Sa compréhension nécessite un autre

point de vue que celui de l'usager, une multidisciplinarité des pratiques, une pluridisciplinarité conceptuelle, pour un phénomène globalement transdisciplinaire. Certains proposent ici la notion globalisante d'« infosphère » en convoquant le concept d'affordance⁸ de Gibson (Proulx, 2001). La principale caractéristique des affordances est justement d'exister en dehors de toute conscience immédiate. Ces affordances de l'infosphère sont réputées être de deux types : intuitifs et sociaux. Les supports de l'interaction pervasive sont à la fois simples et naturels, c'est-à-dire liés aux corps de l'usager et à l'automatisme cognitif, mais également inscrits dans la spontanéité sociale, dans les nouveaux imaginaires, et conformes à l'attente culturelle des performances transparentes d'un réseau technologique omniprésent.

7 Conclusion

Les interfaces Homme(s)-système(s) réparti(s) requièrent une nouvelle « conception centrée sur l'utilisateur » où l'Homme est inclus dans la boucle de conception et d'usabilité (« the man in the loop ») de l'environnement technologique pervasif. La connaissance des caractéristiques et des contraintes humaines amène à un rapprochement nécessaire des technologies et des usages. Cette transdisciplinarité de la problématique nécessite une nouvelle spécialité d'experts, chercheurs et ingénieurs, à la fois des domaines TIC et SHS, du hard et du soft, de l'intelligence artificielle et de la pensée naturelle. L'usager de ces systèmes diffus, immergeants et invisibles, embarqués on ne sait plus où et partout disponibles, est en situation quasi constante de face-à-face et de fusion entre agents naturels et artificiels. Celle-ci s'élabore dans la complexité métacognitive d'un lien invisible, qui dépasse les acteurs, et qui est aujourd'hui encore peu étudiée. Bien au-delà de l'ancienne « réalité virtuelle », il s'agit d'une fusion entre les réalités augmentées et synthétiques, et d'un homme lui-même augmenté dans des systèmes de plus en plus « hybrides ». Il est à la fois acteur et sujet de son « intelligence répartie » et d'une délégation partielle inconsciente de sa pensée pour des niveaux d'intelligence émergents qui lui seraient inatteignables sans l'extraordinaire expansion électronique actuelle.

En ce sens, pervasion et transparence sont deux caractéristiques remarquables d'une nouvelle cognition augmentée.

Bibliographie

Benghozi, P.-J., Bureau, S. & Massit-Folléa, F. (2008). *L'internet des objets, quels enjeux pour les européens ?* – Rapport du Ministère de la Recherche, Délégation aux usages de l'Internet, Paris. <http://crg.polytechnique.fr/fichiers/crg/publications/pdf/2009-07-23-1573.pdf>

Bonnet, C., Hoc, J.M. & Tiberghien, G. (Eds.) (1986). *Psychologie, intelligence artificielle et automatique*. Bruxelles (Belgique) : Mardaga.

Boullier, D. (2002). Objets communicants, avez vous donc une âme ?, *Les cahiers du numérique*, 3(4):45-60.

⁸ Une affordance est la perception, la plus souvent inconsciente, d'une utilité favorisant l'expression d'un comportement. Elle reflète les relations possibles entre les acteurs et les objets : ce sont des propriétés du Monde qui s'imposent à l'usager, et non de simples apprentissages ou conventions (Gibson, 1977 ; Norman, 1988).

- Claverie, B. (2005). *Cognitive : science et pratique des relations à la machine à penser*. Paris : L'Harmattant, coll. « Cognition et Formation ».
- Coleman, J.S., Katz, E. & Menzel, H. (1966). *Medical innovation : a diffusion study*. Indianapolis : Bobbs-Merrill.
- Cornu, J. (2007). Final Conference : micro- and nanoelectronics. MEDEA+ international annual forum. Budapest : 26-27 novembre 2007.
- Foth, M., Paulos, E., Satchell, C. & Dourish, P. (2009). Pervasive Computing and Environmental Sustainability. *IEEE Pervasive Computing*, 8(1):78-81.
- Gibson, J. J. (1977). The Theory of Affordances. In R.E.Shaw, J.Bransford (eds.), *Perceiving, Acting, and Knowing*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale (New-Jersey, USA).
- Grosky, W.I., Zhang, C. & Chen, S.-C. (2009). Intelligent and Pervasive Multimedia Systems, *IEEE MultiMedia*, 16(1):14-15.
- Hebb, D.O. (1949). *The Organization of Behavior : A Neuropsychological Theory*. New-York : Wiley.
- Marshall, J., Pridmore, T., Pound, M., Benford, S. & Koleva, B. (2008). Sensing Multiple Touch and Finger Pressure on Arbitrary Surfaces. *Pervasive Computing - Lecture Notes in Computer Science*. Berlin/Heidelberg : Springer, 5013:38-55.
- McClelland, J.L., Rumelhart, E., & the PDP Research Group (Eds.) (1987). *Parallel Distributed Processing - Explorations in the Microstructure of Cognition - Vol. 2 : Psychological and Biological Models*. Cambridge (Massachusetts-USA) : The MIT Press.
- McCulloch, W.S. & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115-133.
- Minsky, M. & Papert, S. (1969). *Perceptrons*. Cambridge (Massachusetts-USA) : The MIT Press.
- Moore, G. (1964). The Future of Integrated Electronics. *Fairchild Semiconductor internal publication*.
- Moore, G. (1965). Cramming More Components Onto Integrated Circuits, *Electronics*, 38(8) 19 Avril 1965.
- Moore, G.C. & Benbasat, I. (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information Systems Research*, 2(3):192-222.
- Nathan, K. (2006). Bridging the gap between Research and Business in the on demand era. *Proceedings of the EU IST Conference : From RFID to the Internet of Things - Pervasive Networked Systems*. Bruxelles (Belgique) : 6-7 mars 2006.
- Norman, D. A. (1988). *The Psychology of Everyday Things*. Basic Books, New York (USA).
- Privat, G. (2002). Des objets communicants à la communication ambiante, *Les Cahiers du Numérique*, 3(4):23-44.

- Proulx, S. (2001). Usages de l'Internet : la "pensée-réseaux" et l'appropriation d'une culture numérique. In E. Guichard (Ed.) *Comprendre les usages de l'Internet*. Paris : Éditions Rue d'Ulm, pp.139-145.
- Putnam, H. (1967). The nature of mental states. *Collected Papers*. Vol. 1. Cambridge University Press : Cambridge (Massachusetts USA).
- QcRef87 (2006). *Loi de Moore*. Wikipedia.fr. http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Moore
- Rogers, E.M. (1966). *Diffusion of innovation*, New-York (USA) : The Free Press. (5^{ème} édition, 2003).
- Rogers, E.M. & Shoemaker, F.F. (1971). *Communication of innovations*. New-York (USA) : The Free Press.
- Rosenblatt, F. (1958). The Perceptron : a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6):386-408
- Rosenblatt, F. (1962). *Principles of Neurodynamics ; Perceptrons and the theory of brain mechanisms*. New-York (USA) : Spartan.
- Rumelhart, E., Hinton, G.E. & Williams, R.J. (1986a). *Toward a connectionist model of recursion in human linguistic performance*, in E.Rumelhart, J.L.McClelland (Eds.) *Parallel Distributed Processing - Explorations in the Microstructure of Cognition - Vol. 1 : Foundations*. Cambridge (Massachusetts-USA) : The MIT Press, pp.318-362.
- Rumelhart, E., Hinton, G.E. & Williams, R.J. (1986b). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323:533-536.
- Rumelhart, E., McClelland, J.L., & the PDP Research Group (Eds.) (1986). *Parallel Distributed Processing - Explorations in the Microstructure of Cognition - Vol. 1 : Foundations*. Cambridge (Massachusetts-USA) : The MIT Press.
- Sakhaee, E., Wakamiya, N. & Murata, M. (2008). Self-Adaptability and Organization for Pervasive Computing and Sensor Network Environments Using a Biologically-Inspired Approach. *IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications*, 2008., Sydney (Australie) : 10-12 December 2008. *Ispa*, pp.892-895, 2008.
- Searle, J. (1980). Minds, Brains, and programs, *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3):417-457.
- Taylor, S. & Todd, P. (1995). Understanding information technology usage : a test of competing models. *Information System Research*, 6(4):144-176.
- Trossen, D., Pavel, D., Platt, G., Wall, J., Valencia, P., Graves, C.A., Zamarripa, M.S., Gonzalez, V.M., Favela, J., Lovquist, E. & Kulcsar, Z. (2007). Sensor Networks, Wearable Computing, and Healthcare Applications. *IEEE Pervasive Computing*, 6(2):58-61.
- Varela, F. (1988). *Invitation aux sciences cognitives*. Editions du Seuil, Paris.