



HAL
open science

L'évolution disciplinaire des sciences de l'information : des technologies à l'ingénierie des usages

Bernard Claverie, Pascal Fouillat

► **To cite this version:**

Bernard Claverie, Pascal Fouillat. L'évolution disciplinaire des sciences de l'information : des technologies à l'ingénierie des usages. *Projectics / Proyéctica / Projectique*, 2010, 6 (3), 10.3917/proj.006.0079 . hal-01672713

HAL Id: hal-01672713

<https://hal.science/hal-01672713>

Submitted on 5 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

International Journal of
Revue internationale de
Revista internacional de



PROJECTICS
PROYÉCTICA
PROJECTIQUE

N°6 – 2010/3

*INNOVATION, APPLICATIONS
AND RESPONSIBILITY*
INNOVACIÓN, USOS, RESPONSABILIDAD
INNOVATION, USAGES, RESPONSABILITÉ

L'ÉVOLUTION DISCIPLINAIRE DES SCIENCES DE L'INFORMATION : DES TECHNOLOGIES À L'INGÉNIERIE DES USAGES

THE DISCIPLINARY EVOLUTION OF INFORMATION SCIENCE:
FROM TECHNOLOGY TO USABILITY ENGINEERING

LA EVOLUCIÓN DISCIPLINARIA DE LAS CIENCIAS
DE LA INFORMACIÓN : DE LA TECNOLOGÍA
A LA INGENIERÍA DE LOS USOS

Bernard Claverie

*École Nationale Supérieure de Cognitique
Institut Polytechnique de Bordeaux*

Pascal Fouillat

*École Nationale Supérieure d'Électronique, Informatique et Radiocommunications
Institut Polytechnique de Bordeaux*

corresponding author: bernard.claverie@ensc.fr

RÉSUMÉ

L'innovation technologique s'inscrit dans le mouvement historique d'une complexification des prolongements artificiels de la main et du cerveau humains. C'est en effet 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 moderne. Celle-ci a donné naissance au concept de pervasivité, c'est-à-dire de diffu-

sion des composants dans l'ensemble de l'environnement humain, pour une transparence des interfaces de plus en plus manifeste, laissant l'utilisateur oublier qu'il est systématiquement inclus dans un système anthropotechnique permanent. Cette ins-

cription psycho-technique se caractérise par une délégation à des composants de parties de l'action ou de la cognition, remettant en actualité une conception connexionniste de la pensée augmentée. L'article fait le point sur de nombreux concepts tels que le machinisme, rap-

proche la démarche informatique d'un cognitivisme naturel et met en perspective la démarche électronique d'un connexionnisme instrumental, et présente la position des auteurs par rapport à cette nouvelle révolution technologique de la pervasion. Il développe leur conception d'une su-

perposition successive des disciplines technologiques, complémentaires dans l'émergence de la pluridisciplinarité et de la nécessaire prise en compte des contraintes cognitives dans une véritable transdisciplinarité des usages des technologies actuelles.

Mots clés : cognitique, connexionnisme, électronique, information, NTIC, pervasion, technologies, usages.

ABSTRACT

The Disciplinary Evolution of Information Science: From Technology to Usability Engineering
Technological innovation is part of the historic movement of complexification of artificial extensions of the human brain and hand. It is to help, compensate and increase his ability to act and think that man has created machines whose most recent developments are in line with those of modern electronics. This has given rise to the con-

cept of pervasiveness, i.e. the dissemination of components throughout the human environment with the increased transparency of interfaces, letting users forget that they are systematically part of a permanent anthropo-technical system. This psycho-technical situation is characterised by parties to the action or cognition delegating to components, renewing the connectionist conception of augmented thought. This paper reviews many different concepts such as machinism, bringing to-

gether the informatic approach and natural cognitivism, and putting into perspective the electronic approach and instrumental connectionism. It presents the position of authors with regard to this new technological revolution in terms of pervasion. It develops their conception of the successive superposition of technological disciplines, complementary in the emergence of multidisciplinary and the necessary consideration of cognitive constraints in a true transdisciplinarity of current technology use.

Key words: cognitics, connectionism, electronics, information, NICT, pervasion, technologies, uses.

RESUMEN

La innovación tecnológica se inscribe dentro del movimiento histórico de una complexificación de las prolongaciones de la mano y del cerebro humano. Efectivamente es para ayudar, suplir u aumentar

sus capacidades de acción o de pensamiento que el Hombre ha elaborado máquinas cuyos desarrollos más actuales se insertan en los de la electrónica moderna. Esta última ha dado origen al concepto de pervasión, es decir de difusión de los componentes en el conjunto del en-

torno humano, a favor de una transparencia de las interfaces cada vez más evidente, dejando el usuario olvidar que esta sistemáticamente incluido en un sistema antropo-técnico permanente. Esta inscripcón psicotécnica se caracteriza por una delegación a unos componen-

tes de partes de la acción o de la cognición, poniendo de actualidad una concepción connexionista del pensamiento aumentado. El presente artículo aclara numerosos conceptos como el del maquinismo, acerca el proceso informático de un cognitivismo na-

tural, pone en perspectiva el proceso electrónico de un connexionismo instrumental y presenta la posición de los autores relativa a esta nueva revolución tecnológica de la pervasión. El artículo desarrolla la concepción de una superposición sucesiva de

las materias tecnológicas, complementarias en la emergencia de la pluridisciplinariedad y de la necesaria toma en cuenta de las exigencias cognitivas en una verdadera transdisciplinariedad de los usos de las tecnologías actuales.

Palabras claves : cognitiva, connexionismo, electrónico, información, NTIC, pervasión, tecnologías, usos.

LA MAIN ET LE CERVEAU

Les neuropsychologues le savent bien, l'Homme n'est rien, ou pour le moins largement diminué, sans sa main et son cerveau. Depuis Paul Broca, la dominance cérébrale est associée au cousinage de la main droite, que commande le cerveau gauche, et au langage, qui permet de concevoir, formuler et communiquer les informations, et que justement règle le cerveau gauche¹. Certes, si l'on peut penser sans langage comme le droitier peut agir sans main droite, c'est moins facile. La précision de l'un comme de l'autre, pour penser et pour agir, est habituellement aidée par l'un et l'autre, le langage et la main droite (sur Broca, voir Nicolas, 2004).

De cette main et de son cerveau, l'Homme s'en est servi pour graver, peindre et ériger les objets de son culte, les maisons de ses morts, mais également pour cultiver, élever, fonder des familles et élever ses enfants. Et les objets de sa vie, faits par cette main et ce cerveau nous permettent aujourd'hui de connaître sa préhistoire. Son histoire est ensuite sanctionnée de ses créations qui constituent comme autant de messages laissés, gravés, puis inscrits. Survivre par ses créations et transmettre son savoir sont deux enjeux de l'Humanité. Que ce soit des temples, des châteaux, des citées, des écoles ou des universités, les ouvrages s'accumulent, construits pour durer, vivre et perpétuer l'information au-delà de la simple proximité temporelle ou spatiale. La main et le cerveau se sont unis pour écrire, organiser la pensée par les mathématiques, l'art ou les traités. L'imprimerie a permis leur diffusion, donnant des livres dont on tourne les pages au rythme combiné de la main et du cerveau. L'information diffusée en termes de connaissances a pu habituer le plus grand nombre à la rationalité des notes techniques et au savoir académique des connaissances formelles.

1. Chez le droitier : le cas est plus compliquée chez le gaucher qui peut disposer d'une conformation neurologique complètement ou partiellement inversée, voire partiellement ou complètement bilatéralisée.

Cette évolution ne s'est pas faite sans entrepreneurs, capables de s'allier la compétence des artisans. De « artis » et « anus » : qui fait bien son art. L'artisan est d'abord celui qui exerce une tâche manuelle : de « artis » et « factum » : fait avec la main. Que celle-ci soit ou non prolongée d'un outil, il exerce vite son art avec des machines mécaniques, celles qui prolongent le projet de la main, ou s'y substituent pour répéter le geste fastidieux, fatigant ou nocif. C'est ainsi que lorsque ces mains ont acquis une cadence maximale dans des ateliers où le travail fut rationalisé pour une plus grande productivité, on leur a substitué les machines. La mécanique moderne était née. L'innovation fut une exigence économique ; elle s'appuya d'abord, dans le domaine, sur les mécanismes.

C'est au XVIII^e siècle que, par manque de main-d'œuvre spécialisée, il fallut dépasser l'artisanat et le simple travail en nombre. La mécanisation qui fût l'une des réponses, ne put se faire sans une théorisation scrupuleuse et un inventaire des techniques existantes. *Cyclopædia* de Chambers en 1728, l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, ou le *Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* en 1751, sont les premiers recueils exhaustifs des croquis, planches et commentaires des techniques et des machines de l'époque, que l'on se mit à diffuser (Diderot et d'Alembert, par Pons, 1993). C'est dans le mouvement de cette édition encyclopédique que sont nés à la fois l'idéal de la recherche de l'utile et de l'efficace par les inventions, et celui de la volonté de diffuser à tous et en tous lieux les technologies pour le bien de tous. La technique doit, en effet, être source de progrès. C'est dans ce grand projet de dépassement collectif de la main et du cerveau que l'Europe a promu la mécanisation et le machinisme. Il fallait mettre à portée de tous les produits manufacturés, et inventer la révolution industrielle. Elle fut d'abord métallurgique, les outils et machines furent métalliques. Et l'on s'aperçut vite, dans les années 1930, que le métal² avait de la mémoire, c'est-à-dire déjà un peu d'esprit.

Alors que la multiplication des machines métalliques, presque inexistantes il y a deux siècles, rares encore à la fin du XIX^e siècle, s'étendait à l'ensemble du monde, on assista à deux mouvements à la fois théoriques et technologiques simultanés. Le premier est une organisation des machines en niveaux, les plus compliquées d'entre-eux contenant des machines plus simples : des machines au service de machines, elles-mêmes connectées à d'autres dans des réseaux complexes d'échanges d'énergie ou de produits matériels. Le second concerne le transport et le stockage de l'électricité sur du métal pour une utilisation rationnelle : des machines organisées temporellement, pour associer, diffuser ou retarder des bribes d'électricité³, comme un langage le fait avec des signes, des mots ou des symboles, organisés en phrases signifiantes. Le premier niveau est celui de la main qui s'est dotée de prolongements mécaniques, le second est celui du cerveau qui s'est doté de machines à penser (Claverie, 2005 ; Couffignal, 1964 ; Pratt, 1995).

2. ... ou pour le moins les alliages métalliques.

3. ... ce qu'on nomme en électronique « symbole électronique ».

Les Anglo-Saxons ont gardé le terme de calculateur, le « ordinateur », pour désigner non plus un homme qui calcule, mais une machine. Si les premières d'entre elles ont été purement mécaniques, c'est-à-dire soumises au mouvement de la main qui les faisait tourner, elles ont été dans le siècle dernier perfectionnées pour s'en affranchir et calculer seules en fonction des entrées, des sorties et du contrôle que les unes imposent aux autres. Il faut ici signaler le rôle central de l'électronique (David, 1995), comme science technique du traitement électrique de l'information, et de la cybernétique, comme science théorique de la régulation et du contrôle des systèmes d'information (Guilbaud, 1954). Elles permettent à la fois le progrès technologique de la fin du siècle mais surtout l'avancée des idées dans le domaine de l'information, de son transfert et de sa communication, de son utilisation par l'Homme comme outil et contenu de connaissance.

Ces calculateurs, qui traitent aujourd'hui des masses considérables de données, sont des machines électroniques d'une puissance exceptionnelle dans le « traitement de l'information ». Elles sont structurées en ensembles hiérarchiques, reliées en réseaux collaboratifs, et capables d'échanger entre-elles les données qui leur manquent, qu'elles vérifient, qu'elles complètent ou qu'elles créent. Les récentes mutations du machinisme, d'une part en réseau et d'autre part en systèmes embarqués, est un phénomène émergent de la fin du ^{xx}^e siècle et du début de celui-ci. Elles permettent à la fois une accessibilité au plus grand nombre et une diffusion dans tous les espaces de la vie moderne. Cette innovation ne peut s'envisager sans de nouvelles compétences, et la mise en œuvre de nouvelles méthodes gérées par de nouveaux ingénieurs de l'insaisissable et de l'immatériel. La question d'une vie moderne envahie de systèmes de plus en plus savants et complexes, tout en préservant des valeurs de liberté personnelle ou d'autonomie, se pose alors chaque jour de manière plus critique. La maîtrise des machines d'information et des connaissances qu'elles véhiculent, transforment ou génèrent est cruciale pour l'Homme moderne. L'innovation associe les domaines de l'automatique pour les processus, de l'électronique pour le matériel et les méthodes, de l'informatique pour le traitement des flux de données, et de la cognitive pour l'intelligence liant matériel, logiciel et usage. Elle voit ici apparaître un enjeu nouveau dont il convient de saisir l'urgence pour un progrès pluridisciplinaire raisonné.

LES MACHINES, LE CERVEAU ET L'INFORMATION

Une « machine est une construction artificielle » qui consiste, selon Canguilhem, en « un assemblage de parties déformables avec restauration périodique des mêmes rapports entre les parties » (Canguilhem, réédition 1990). Il s'agit d'un ensemble mécanique capable de réaliser un certain travail ou une certaine tâche à la place de l'Homme. Le « machinisme » est alors l'ensemble des conceptions et pratiques nées de la prolifération des machines dans la vie

quotidienne, socioéconomique et culturelle. Le « mécanisme » est quant à lui issu de certaines conceptions scientifiques ou philosophiques tirées des principes physiques de la mécanique, de l'électricité (*in Claverie, op.cit.*).

Si les machines dynamiques ont pour vocation de transformer l'énergie naturelle de l'eau, du vent ou du soleil, ou celle obtenue par transformation, comme la vapeur ou l'électricité à partir du pétrole ou de la fission des atomes, elles doivent ensuite utiliser cette transformation pour produire une tâche voulue par l'Homme. Elles permettent ainsi la substitution d'un travail manuel, celui fait autrefois à la main. Les machines informationnelles sont toutes autres. Si elles transforment l'énergie, ce n'est pas pour produire du travail manuel, mais pour aider l'Homme dans ses opérations mentales, c'est-à-dire celui de son cerveau.

Les premières machines informationnelles sont celles qui aident l'Homme dans les tâches de surveillance et de calcul. Elles régulent par exemple les machines à vapeur avec une sécurité qui dépasse celle du simple opérateur vigile. Elles autorisent également la constance du raisonnement ou du calcul, et ce sont les métiers de Jacquard qui ont inauguré au XIX^e siècle l'apparition de l'automatisation programmable. Les machines sont depuis devenues automatiques, et leurs actions contrôlées selon le principe de la programmation. Celle-ci s'est progressivement établie sur des critères standardisés, codifiés en fonction des itérations et des boucles confiées à des éléments fonctionnels groupés en sous-systèmes. La programmation technique s'accompagne alors d'un aspect théorique, celui de la décomposition des tâches en sous-éléments. La machine est alors un ensemble technologique automatique et programmable.

C'est l'électronique qui permet l'avancée majeure dans le calcul. Il fallut attendre la maturité technologique de ce domaine pour que le « ordinateur », imaginé par Turing et formalisé par Von Neumann, soit développé comme outil « informatique » (Turing, 1936 ; Turing & Girard, 1995 ; Von Neumann, 1946). C'est d'ailleurs dans le souci d'imiter ou de créer un cerveau artificiel que Turing avait mis en œuvre la « calculation » comme modèle de la pensée. La structure même de l'« ordinateur », c'est-à-dire la « machine ordinateur », a à l'inverse servi de modèle de compréhension, de formalisation et même de test du cerveau humain (Turing, 1950 ; Von Newman, 1958). La machine est devenue une machine à penser, et la pensée une simple variété de la machine cérébrale. Elle sert alors de modèle et permet de produire des analogies de compréhension du fonctionnement du cerveau.

Cette analogie mécaniste a été développée par Blaise Pascal, lorsqu'il présenta sa machine arithmétique au XVII^e siècle. Il déclara alors que ses résultats sont « ... plus proches de la pensée qu'aucune chose faite par un animal » tout en lui refusant la « volonté » qu'ont les animaux. Hobbes vit là une confirmation par la machine de ses convictions sur le machinisme de l'Homme ; il attribua aux pièces de fer et de cuivre les fonctions du cerveau, dans un monde où « tout se réduit à des additions et des soustractions ». L'analogie fut plus tard généralisée par Hume, mais c'est à la lumière de l'éclairage des quartiers sombres de Londres que l'on compara la pensée à l'électricité, puis l'esprit

au télégraphe électrique, et enfin le fonctionnement du cerveau au réseau des centraux téléphoniques de Bell. On découvre alors la nature électrique de l'activité des cellules nerveuses, et l'on posa alors des électrodes pour enregistrer l'activité du cerveau : l'électroencéphalogramme, concomitant des opérations mentales (Claverie, 1999).

C'est l'avènement de l'électronique qui apporta, dans l'après-guerre, la possibilité de comparer la pensée au calcul. Le mouvement cybernétique s'inscrit dans la métaphore (Couffignal, 1963 ; Lafontaine, 2004) ; la pensée est une machine de Turing, et son fonctionnement est modélisable comme l'est celui de l'ordinateur, selon les lois de la théorie du signal de Claude Shannon (Dion, 1997). Le cerveau fonctionnerait alors comme une machine électronique. Il est soumis aux règles universelles de l'énergie, de l'électricité, du signal et de l'information.

La psychologie s'est d'abord élaborée sur les modèles électroniques. L'attention y a été d'abord conçue comme un filtre qui ne laisse passer qu'une partie de l'information, préservant l'appareil cognitif des surcharges ou du parasitage. On parle alors de « canal unique », de sélection de message, d'atténuation, puis de ressources en référence à l'énergie des systèmes. On évoque des registres automatiques opposés à d'autres contrôlés, des processus parallèles face à des découlements sériels de l'information. On conçoit des traitements dirigés par les données, des contrôles supervisés, etc. Ces métaphores technologiques ont donné naissance aux travaux de chronométrie mentale au cours desquels on a tenté d'établir la succession de sous processus, grâce à l'analyse des séries temporelles, aux processus de Markov, aux ondelettes, au chaos déterministe, etc. L'influence de l'électronique sur la psychologie est majeure, et elle guide aujourd'hui encore la modélisation et la recherche en sciences cognitives.

L'informatique a ensuite fait son entrée dans le concert psychologique. La reconnaissance des formes a copié la robotique décisionnelle, avec les concepts de gabarit, d'analyse de caractéristiques et de composantes. La modélisation de la mémoire, en référence à la mémoire vive et la mémoire de masse de l'ordinateur, a identifié un stock à court terme et un registre à long terme. Le premier a été décrit en mémoire de travail, supervisée par un « administrateur central » ou un système de contrôle exécutif (executive control system), organisant la régulation de boucles (loops) de rafraîchissement et de recyclage des items, ou de schémas (sketchpad). Le langage machine et les langages de programmation ont proposé des déclinaisons de langage de la pensée. Le développement de l'Internet et des ressources documentaires partagées a promu des modèles en réseaux et ceux d'opérations modulaires autonomes, avec des niveaux de traitement parallèles ou séquentiels et des activités réparties étudiés par des approches stochastiques.

Aujourd'hui, la multiplication des composants à bas prix et les progrès des semi-conducteurs ont permis à l'électronique de devenir « pervasive », c'est-à-dire de se diffuser dans l'ensemble des environnements, grâce à des objets communicants qui se reconnaissent, se localisent entre eux et s'auto-organisent pour devenir autant de nouvelles prothèses. Les objets interagissent aujourd'hui entre eux sans action particulière de l'utilisateur. On a donc

modélisé l'homme dans la boucle de conception : « the man in the loop ». Les modèles de conception se sont enrichis des connaissances des usages dont on a établi des inventaires tout en modélisant des IHM⁴ de plus en plus transparentes, voire hybrides avec des « brain-computer interactions ».

Chaque innovation technologique apporte sa modélisation, et l'explication de la cognition ou de variétés cognitives repose sur ses métaphores des sciences de l'information. Celles-ci s'organisent en paradigmes cognitifs (Houdé, 2003), aujourd'hui répartis entre d'une part symbolisme, cognitivisme ou computationnalisme (Fodor, 1986), plus basé sur les modèles informatiques, et d'autre part connexionnisme (Bechtel & Abrahamsen, 1993 ; Churchland, 1998), plus en rapport avec l'électronique (Rosenblatt, 1962) ou les neurosciences (Changeux, 1983 ; Churchland, 1999).

Le premier mouvement, symboliste, c'est-à-dire d'une conception de la pensée dépendante du programme plus que de la structure du support, s'inscrit dans la pensée de Turing. Ce mathématicien anglais a promu une révolution de la pensée mécaniste du xx^e siècle, en concevant juste avant guerre une machine formelle (Turing & Girard, 1995, *op.cit.*). Celle-ci est capable de décider pour toute affirmation si elle est ou non calculable, et susceptible de calculer tout ce que l'on peut calculer. La machine utilise un algorithme et opère sur des symboles inscrits dans une unité de stockage, une unité d'exécution et une unité de contrôle opérant sur des boucles de longueur variable. Elle donne à la fois les bases théoriques de ce qu'est l'ordinateur et un modèle conceptuel de ce que pourrait être l'appareil cognitif humain. Celui-ci n'est plus alors vu comme un gestionnaire de signaux électriques, mais comme un appareil procédant à des opérations logiques sur des symboles mentaux désincarnés. En ce sens, elle trouve un écho dans la pensée dualiste à la fois platonicienne et cartésienne d'une séparation du corps et de l'esprit.

Dans une telle perspective, la logique binaire est le modèle de la pensée, et la « machine de Turing » le modèle de l'appareil cognitif universel. Ce mouvement, initié à Londres, repris par certains cybernéticiens, a permis l'émergence d'une véritable science de l'esprit. Celui-ci est conçu comme un « computeur », c'est-à-dire un cerveau calculateur, un ordinateur biologique. Le premier centre d'Intelligence Artificielle du MIT est né dans ce courant conceptuel. Les représentations mentales sont alors décrites par un langage formel et simulées par un programme informatique. Les psychologues russes, américains, anglais puis français ont adopté cette pensée cognitiviste et se sont nourris de la simulation informatique dans leurs conceptions et leurs modèles. « Thinking is computing », et les modalités du calcul sont les mêmes dans un ordinateur capable de manipuler du langage et dans le cerveau humain. Pour cette idéologie, la pensée et le fonctionnement neuronal sont mécaniquement distincts, et l'Homme n'est rien d'autre qu'une machine numérique, dont l'originalité est de satisfaire aux contraintes biologiques de l'homéostasie, de la reproduction, de la passion et de la connaissance. Une telle hypothèse, dite du mécanisme numérique, est à la base de l'Intelligence Artificielle forte et de la linguistique cognitive. On admet alors que l'on saura un jour construire des

4. Interfaces ou Interactions Homme(s)-Machine(s) ou Homme(s)-Système(s).

machines artificielles ayant les mêmes propriétés et aptitudes fonctionnelles que l'Homme, voire le dépasseront. Ainsi peut-on prédire l'élaboration de machines capables de prendre des décisions, mais également d'éprouver des états mentaux et donc de se substituer aux cerveaux naturels, absents, perturbés ou défaillants. Ce sont des machines « à côté », c'est-à-dire dont l'homme se sert, qui l'aident à penser, lui donnent des modèles, mais nécessitent une interface qu'il convient bien entendu de faciliter.

Ce fonctionnalisme mécaniste postule que la pensée, ou même le simple fonctionnement cognitif, sont indépendants du support. De la même manière que le processus de calcul d'un ordinateur est indépendant de la structure de la machine, de sa marque ou de son type, le programme cognitif est indépendant du cerveau ; à un niveau de surface, les programmes fonctionnent à l'identique, et si les éléments intimes de son exécution sont différents selon la plateforme d'implémentation, le calcul reste le même et produit les mêmes effets. Il en est alors de même du cerveau et de l'esprit qui restent indépendants des caractéristiques neurales du support sain des opérations cognitives. Un principe de pseudo dépendance asymétrique est d'ailleurs postulé pour rendre compte de modifications de la pensée par un support altéré, par atteinte neuropsychologique, intoxication, drogue ou alcool. Il s'agit plus ici, pour les tenants de cette position, d'altération des résultats de la pensée que de la pensée elle-même qui reste indépendante, d'essence immatérielle, comme l'algorithme programmé n'est pas atteint par la baisse de tension ou le court-circuit de l'ordinateur.

Cette position n'est pas partagée par nombre de chercheurs ou ingénieurs. Notamment les connexionnistes, sans renier le projet de substitution ou de suppléance technologique potentielle, se démarquent de cette « identité molle », en réfutant l'indépendance structuro-fonctionnelle, et en cherchant dans l'architecture des réseaux et des composants les conditions de l'émergence des contenus cognitifs. Si « penser est calculer », tout composant qui transforme une information électronique pour être utile à la machine est une unité de calcul, et de là une unité de pensée. La pensée globale est donc à chercher dans la combinaison des activités des éléments électroniques : ce n'est ni plus ni moins qu'un traitement de l'information physique dépendant de la structure du réseau. Ce courant, développé par d'autres cybernéticiens, a donné d'une part naissance au concept de réseau de neurones, mais a également contribué aux notions d'émergence et de complexité. Plus près d'une nouvelle électronique embarquée, elle postule qu'il est possible de substituer ou enrichir des morceaux de cerveau et de le brancher directement sur des machines pour développer des « brain-computer interfaces ».

Ce débat, central pour les sciences de l'information et de la communication, qui oppose d'une part la psychologie cognitive et le connexionnisme, et d'autre part l'informatique théorique et l'électronique moderne, est développé par plusieurs auteurs, dont Francisco Varela (Varela, 1988 ; Claverie, 2005 *op.cit.*).

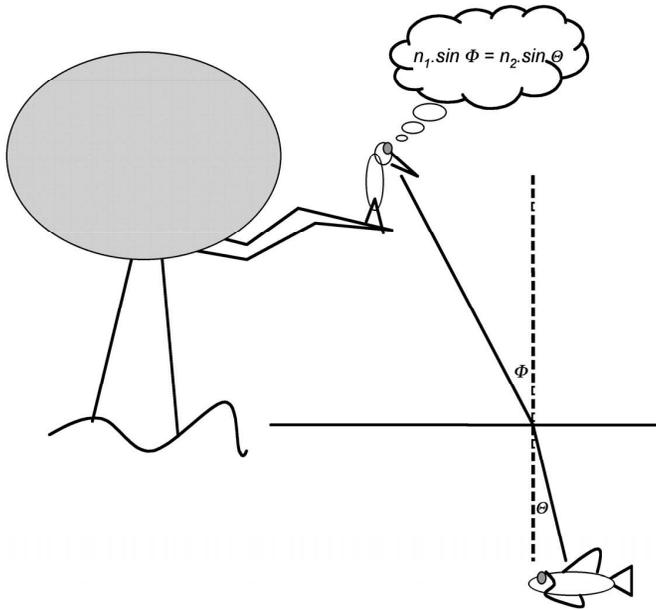


Figure n°1 - Inspiré d'un dessin d'une gazette satirique britannique, Francisco Varela propose deux interprétations du fonctionnement cognitif : cognitivisme vs. connexionnisme (1988).

Dans l'hypothèse symboliste ou cognitiviste (figure n°1), l'oiseau doit posséder un algorithme mettant en jeu la Loi de Snell-Descartes⁵ de la diffraction de la lumière à travers un dioptre pour pouvoir plonger avec précision dans un lieu où n'est pas l'image du poisson qu'il compte pêcher. Il possède donc une représentation de la loi physique.

L'information pervasive

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 ». Ce terme, qui s'est invité dans le domaine des technologies de l'information depuis une dizaine d'années, est utilisé pour qualifier 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, et plus récemment les automobiles haut de gamme. Un processus pervasif est donc

5. 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).

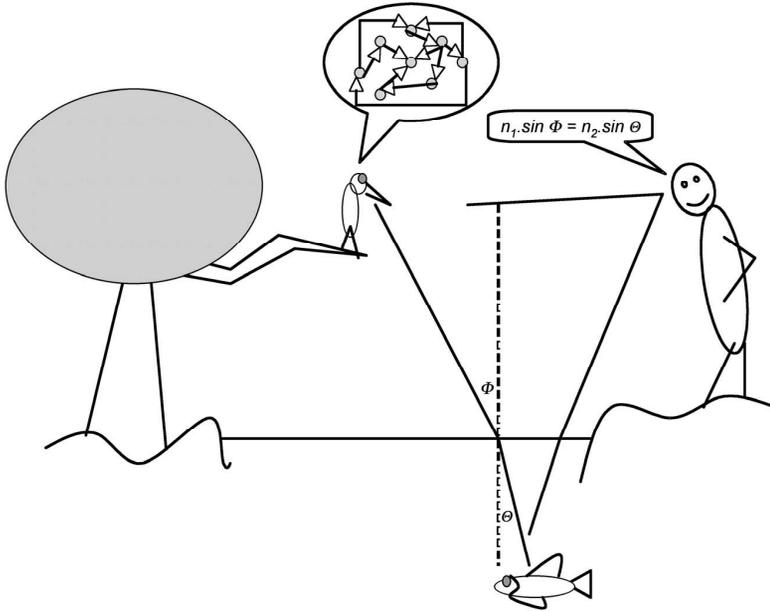


Figure n°2 - L'hypothèse connexionniste s'affranchit de la contrainte computationnelle, l'aptitude émerge de l'activité du réseau de neurones spécialisé dans la pêche et le plonger. La première métaphore correspond à une programmation psychologique ou informatique de la tâche à accomplir (figure n°1), la seconde à un réseau neuronique ou un ensemble électronique spécialisé dans l'élément de comportement pertinent (figure n°2). La loi physique est alors découverte et interprétée à partir de l'observation par l'homme qui s'en forge une représentation ; celle par exemple donnée par ces dessins.

largement diffusé, omniprésent et transparent, c'est-à-dire qu'il sait se faire oublier. Cette caractéristique est centrale dans la suite pervasive : on oublie lorsque rien en manque (absence de conscience de l'en moins) et lorsqu'on ne remarque plus rien (absence de conscience de l'en plus). Ainsi, un environnement pervasif est-il caractérisé par des objets technologiques communicants qui se reconnaissent, se localisent automatiquement et s'organisent en réseaux ad hoc, et ceci sans action particulière de l'utilisateur. L'utilisateur oublie leur présence, et s'en sert comme d'un prolongement naturel de sa main ou de son cerveau.

L'information pervasive (Foth et al., 2009) fait donc 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 et à leur capacité ubiquitaire croissante de traitement local de l'information, favorisant ainsi l'accès aux données partout et à tout moment (e.g. : Marshall et al., 2008 ; Sakhaee et al., 2008 ; Trossen et al., 2009, etc.). Il convient 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 dans lesquels elle s'insère. En ce sens, l'information devient cognitive.

Une telle évolution s'est constituée peu à peu 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), et la spécialité universitaire « informatique » s'est 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, puis d'ingénieurs et de gestionnaires.

L'évolution exponentielle régulière des performances des composants électroniques en termes de diminution des coûts, de vitesse de fonctionnement, de capacité d'intégration, de consommation énergétique, a été remarquablement prédite dans les années soixante par Moore (Moore, 1964) dans une approche empirique qui s'impose encore aujourd'hui comme une loi fondamentale de l'évolution économique et technologique des semi-conducteurs. La chute des prix de fabrication des puces électroniques a 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 permis la démocratisation de l'informatique et son utilisation pour 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 du jeu, qui trouvèrent dans cette évolution à la fois les moyens de leur développement mais également des parts de marché très importantes. C'est dans les années 90 que l'Internet a permis de connecter les PC entre eux et de les connecter à des mainframes constitués en nœuds d'un réseau mondial dont on connaît aujourd'hui l'importance en communication. La révolution Internet a permis de dépayser les informations, toujours accessibles, en tout point du monde, avec des accès à des mémoires partagées et de dimension quasi infinie.

La forte capacité de production des puces électroniques au tournant du siècle, mais également leur petitesse extrême, leur puissance de calcul étendue et leur prix dérisoire, ont induit un relatif abandon de l'ordinateur à tout faire pour doter chaque objet d'une plus grande « intelligence » dédiée. Les puces ont pu alors 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, à bord des téléphones, des voitures, des avions et des fusées, mais également dans les espaces de vie, les appartements dont les interrupteurs régulent automatiquement la lumière, les portes qui reconnaissent les propriétaires, et les fenêtres se verrouillant le soir, ainsi que dans les objets du quotidien, tels que les équipements vidéo, les fours et machines à laver, les sèche-cheveux, les horloges, les vêtements communicants et autres divers objets embarquant de l'électronique ... (Nathan, 2006).

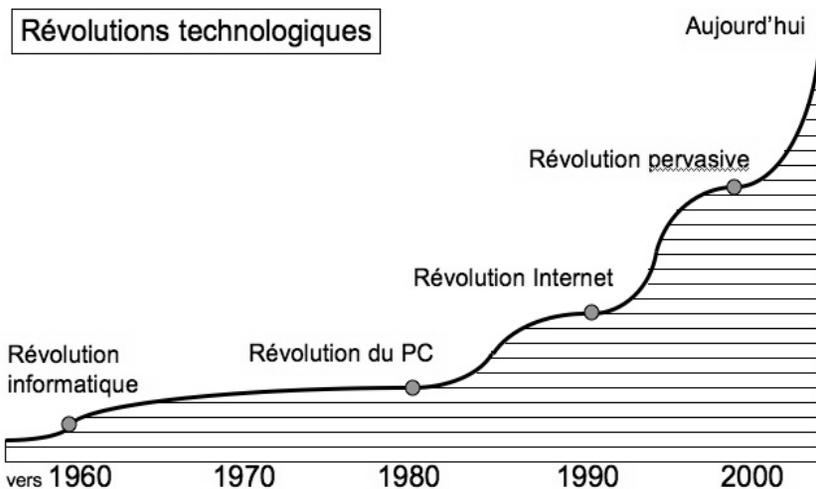


Figure n°3 - Les révolutions des technologies de l'information - nombre de composants électroniques produits dans le Monde (axe y) en fonction du temps depuis la moitié du siècle dernier (axe x) - d'après Nathan (2006)

Le concept d'objet communicant (Privat, 2002) est apparu au milieu des années 90, principalement pour des usages domestiques et des environnements ambiants conviviaux. Les applications industrielles ne se 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 les objets environnementaux de capacités associées de perception et de détection, de mesure et d'identification, de localisation et de relation, notamment par Internet, et d'interaction entre eux. L'ordinateur devient centralisé, il se dote de nouvelles capacités lui permettant d'étendre son champ d'action aux objets communicants, et ceux-ci acquièrent de nouvelles capacités de traitement et de communication qui décentralisent l'information. L'internet des objets ou « Internet du futur » participe à cette évolution (Benghozi, 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 créant une passerelle entre les mondes physiques et virtuels.

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 : c'est celle avec laquelle on négocie le calcul volontaire, intentionnel, et qui est une prothèse à tout faire alors que les autres machines communicantes restent dédiées à des tâches cognitivement transparentes.

Le double aspect de la pervasion

Actuellement, l'Homme baigne dans un archipel d'objets dont il a perdu toute conscience unitaire, sachant 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, souvent sans le savoir, et surtout communique avec d'autres grâce à ces multiples calculateurs électroniques. Cette communication technologiquement médiée est pervasive dans le sens où elle s'adresse à tous et utilise une électronique diffuse et permanente.

Cette pervasion présente néanmoins 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 depuis longtemps interrogé les chercheurs. Il reste néanmoins 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. La 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. La vitesse de processus 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 de maximum de diffusion. Cette typologie est caractéristique d'une diffusion d'un émetteur (eg. : média) vers des individus (eg. : clients). La seconde typologie correspond à une croissance logistique. Celle-ci est caractéristique d'une propagation d'individu à individu (contagion) avec une forme caractéristique en S. L'augmentation des effectifs contaminés 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 ont été identifiés dans l'étude de l'adoption de nouveaux médicaments par les médecins américains, en fonction des deux types de diffusion (Coleman et al., 1966). Ces courbes 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 de plusieurs éléments clefs participant à la diffusion d'une nouvelle technologie (Taylor, Todd, 1995) : L'avantage relatif est le degré d'attribution par l'usager 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'usager. Enfin, dans le contexte des technologies de l'information, l'image d'amélioration du statut social se répartit en visibilité de l'innovation et en "démonstrativité", ou possibilité d'en démontrer les résultats d'usage (Moore, Benbasat, 1991).

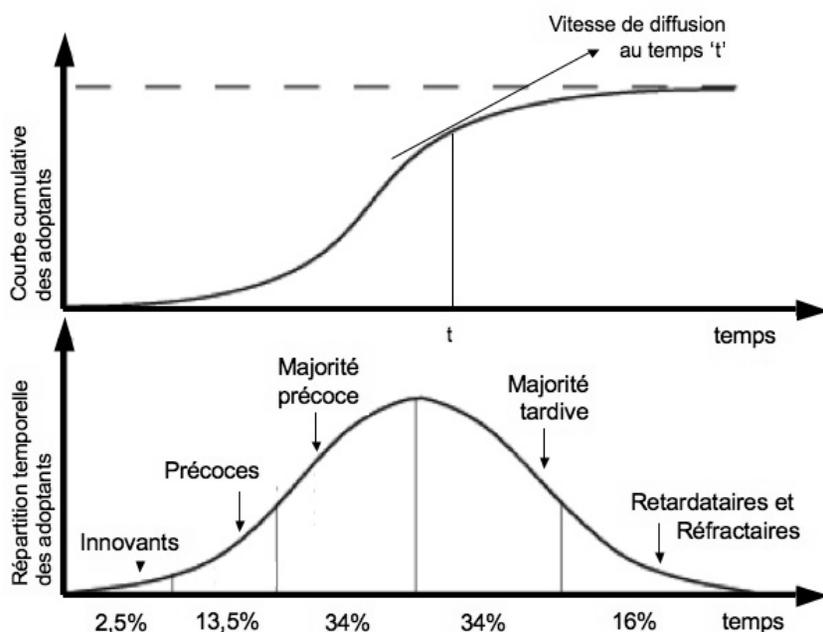


Figure n°4 – Courbe logistique de diffusion et caractérisation des individus adoptant les technologies – d'après Rogers 1966.

En ce sens, la courbe de la figure n°1, qui représente les nombres de composants fabriqués en fonction du temps, doit être interprétée en perspective de celle de la figure n°2, qui représente la tendance de pénétration sociale des technologies. La courbe complète (type Nathan) correspond à une succession de cycles logistiques (type Rogers), sur lesquels s'imposent des révolutions technologiques, engageant 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 1950, soit plus de 10 millions d'unités par an, il ne fallait plus que deux années au lecteur DVD dans les années 1990 pour atteindre le même score. Cette accélération vaut pour tous les produits technologiques destinés au grand public et on peut clairement statuer 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, clients et fournisseurs.

Des nouveaux imaginaires pervasifs et des nouveaux besoins

Ces données interprétatives de l'envahissement technologique, clé d'un secteur économique majeur des sociétés nouvelles, s'accompagnent de l'émergence de nouveaux besoins, de nouvelles envies et surtout de nouvelles pratiques. Les référents culturels traditionnels sont aujourd'hui enrichis, sont parfois suppléés, et quelques fois disparaissent au profit de ces technologies massivement communicantes (e.g. Grosky et al., 2009). Par exemple, le livre s'enrichit de consultations en ligne sur les téléphones portables. Le diagnostic médical est enrichi ou même suppléé par des robots décisionnels, qui empêchent les erreurs d'incompatibilité médicamenteuse, tout en assurant un suivi du patient auprès de plusieurs praticiens. Le mécanicien automobile traditionnel disparaît au profit de techniciens électroniques proposant le remplacement des entités systèmes tombés en panne, ou réglant le véhicule à partir d'une simple prise de diagnostic et de traitement. Le vigile laisse peu à peu la place à des caméras de surveillance dotées de capacités de reconnaissance des mouvements suspects dans leur champ de vision.

Cette évolution génère de nouveaux imaginaires, et les jeunes générations n'ont plus du tout les mêmes attentes ni les mêmes rêves du 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 transférées aux amis ou au réseau de communication des mondes virtuels. La BD traditionnelle devient électronique et laisse le champ aux mangas dont raffolent les adolescents, et font aujourd'hui vendre les chemises, les chaussures et gèrent les modes capillaires. Les publicités s'en inspirent, on vend des voitures en les montrant comme des « transformers », on montre des robots écologiques et on entretient le mythe d'un monde saint 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, les vieux ou les faibles d'esprit 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, kinesthésiques⁶, ou haptiques⁷ que nous préparent les grands équipementiers pour des applications ludiques, pédagogiques ou de santé. Cette communication technologiquement « médiée » impose des respects de contraintes que ne sont plus prêts à accepter les consommateurs, et le premier qui propose un nouveau produit gagne des parts de marché.

6. 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.

7. 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.

Cette communication omniprésente altère la représentation que nous avons du design technologique. Alors que l'acte et le comportement de conception étaient autrefois référés à une personne ou un petit groupe, 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, massivement distribué, au service d'une intelligence partagée dont l'Homme n'est plus capable que de donner des descriptions « de surface » (cf. figure n°2). Les forums, les services de partage de savoir 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 radiocommunication, 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 et peu coûteuse dans une nouvelle économie familiale, ou dans une nouvelle citoyenneté développée dans les réseaux « mesh networking »⁸ avec des services d'une « e-économie » et d'une « e-administration » pervasives, de plus en plus prégnantes, constituants d'une nouvelle représentation du social et des relations usager-instance, client-fournisseur ou citoyen-administration.

Vers un néo-connexionnisme

L'électronique est une science technique ou science de l'ingénieur. Elle étudie le traitement automatique de l'information électrique et développe ses applications. 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 grandes sous disciplines selon qu'elle traite des courants électriques pour les transformer et les adapter à des utilisations précises, ou qu'elle les utilise pour coder de l'information et opérer grâce à ces courants des opérations et les calculs classiques du traitement de l'information.

Dans les années soixante, des électroniciens ont tenté de donner naissance à un modèle de cerveau électronique. En 1957, le laboratoire aéronautique Cornell d'Ithaca⁹ a commencé à étudier concrètement les réseaux de neurones artificiels qu'avaient décrits les premiers cybernéticiens. Ceux-ci décrivaient des neurones « formels » pour donner une base à une simulation compréhensive de la complexité du cerveau à partir des traitements élémentaires d'éléments de base. L'automate formel MCP, dû au biologiste McCulloch et au mathématicien Pitts (McCulloch, Pitts, 1943), a été l'une des contributions princeps de l'intelligence artificielle connexionniste, directement inspiré des connaissances neurobiologiques de l'époque (Hebb, 1949). Le principe est celui de la production de fonctions de haut niveau à partir de l'association

8. 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.

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

de fonctions élémentaires supportées par des éléments interconnectés entre eux. La fonction émerge du réseau et n'est contingente que des capacités élémentaires de neurones considérés comme de simples automates logiques.

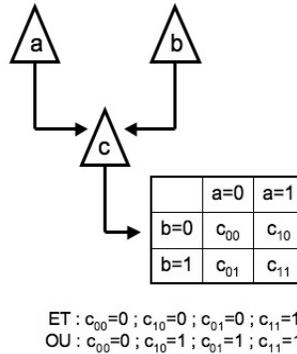


Figure n°5 – Réseau logique d'automates MCP - calcul des fonctions logiques à partir des propriétés des éléments du réseau interconnectés.

La structure des réseaux de type MCP se déduit de la fonction qu'on veut atteindre (programmation interne des poids synaptiques), c'est-à-dire qu'elle repose sur une méthode constructive, de type *top-down*. Elle implique que l'organisation du réseau soit définie de façon rigoureuse. Cette démarche, que Rosenblatt nomme « monotypique », a été enrichie par l'inventeur du « perceptron » (Rosenblatt, 1962).

Le perceptron, est un dispositif correspondant à un type de réseau de neurones simple. C'est un classifieur linéaire à plusieurs couches. Une première couche permet de traiter des informations parcellaires issues de l'environnement (par exemple des traits), et des algorithmes de connexion vers des couches supérieures, qui imposent par retour (feed-back) des stabilisations ou des inhibitions sur les couches inférieures, pour fournir au niveau des couches de sortie des réponses correspondant à des ensembles combinés (par exemple des lettres écrites avec les traits précédents). Ce dispositif permet à la fois des vérifications expérimentales concrètes à partir de la programmation des caractéristiques neuronales élémentaires, et de tester les mécanismes d'apprentissages qui sont matérialisés dans les seules caractéristiques des neurones et du réseau.

Rosenblatt (*ibid.*) propose une méthode « génotypique », qui consiste à partir non plus des caractéristiques de la fonction à réaliser, mais d'une classe de réseau, imparfaitement définie, de manière floue, dont la structure s'enrichit et se stabilise par confrontation en essais-erreurs avec les résultats attendus. Une telle démarche de type *bottom-up*, ouvre la voie à une cybernétique émergente qui prend alors ses distances avec une intelligence artificielle cognitiviste pour laquelle penser reste calculer sur des symboles (Bonnet et al., 1986).

Les inventeurs du perceptron et leurs successeurs ont défini leur approche comme « connexionniste » (cf. figure n°2), en soulignant l'importance de l'apprentissage conçu comme une procédure itérative de création, de modification et de stabilisation de connexions entre neurones (naturels ou formels). Le perceptron est en effet capable de reconnaître des patterns de similarité entre nouvelles données et données déjà traitées. Cette aptitude à enrichir l'information par des processus « *feed-forward* », permet de traiter les entrées avec robustesse, puisqu'une information d'entrée dégradée est elle-même enrichie par le réseau. Ce courant a été très influent en recherche en intelligence artificielle et en électronique.

Cette approche a été approfondie par le courant PDP (Rumelhart et al., 1986 ; McClelland et al., 1987) qui 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, Hinton, Williams, 1986), 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 cognitif de l'information. Ainsi, les contenus mnémoniques ne sont plus considérés comme des instances, items représentationnels, faits ou événements, définis par un contenu linguistique ou imagé, et stockées 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) reliées en patterns d'activité.

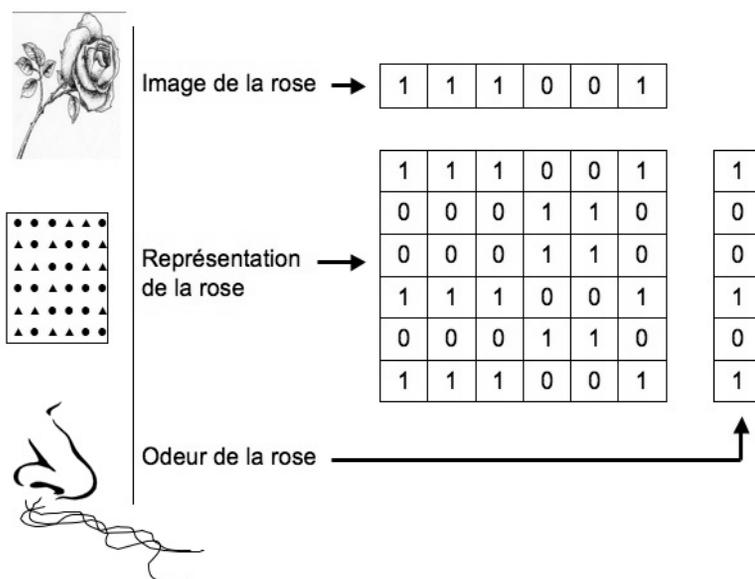


Figure n°6 – Réseau représentationnel connexionniste – exemple d'association image/odeur – d'après Rumelhart et McClelland, 1986.

L'approche PDP, ou néo-connexionniste, au-delà de sa cohérence avec les données de la connaissance neurobiologique, propose une approche algorithmique des processus cognitifs dépourvue de présupposés cognitivistes, non dualiste, et strictement matérialiste. En ce sens, la représentation 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),

Bien que chacun s'entende sur le fait que penser est calculer, nous assistons ici à la ségrégation des deux mouvements. Le premier, largement majoritaire en informatique et en psychologie, postule l'existence de symboles externes, implémentés sur des supports électroniques ou neuronaux, et s'affranchit donc de la structure pour s'intéresser au programme. Sa recherche porte sur la découverte du programme interne (en psychologie), la localisation de son support (en neuroimagerie), ou son optimisation (en informatique). Le second, plus centré sur l'électronique et la neurobiologie, situe explicitement le calcul au niveau du réseau, et la représentation n'a d'existence qu'au niveau de l'activité du réseau. Sa recherche porte sur la création de nouveaux composants, leur connectique et leur sécurité (en électronique), la modélisation stochastique et la logique floue (en mathématiques), la diffusion des informations (en sciences humaines) ou la structure des connaissances (en cognitive).

Vers une transdisciplinarité du couple cerveau-machine pervasif

Ce cerveau n'est que la partie d'un ensemble dont le prolongement naturel, la main, s'est elle-même dotée des machines qui en démultiplient la puissance, la précision ou la robustesse d'action. Cette action a pu se complexifier, notamment grâce aux progrès de l'électronique pour établir des technologies de l'information et de la communication. Ce sont celles-ci qui ont permis dès le siècle passé de doter le cerveau de 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 ne se passent plus de leur téléphone, de leur laptop et de connexion Wifi. Le cerveau s'est donc doté de prolongements électroniques supports d'information et capables de décision, d'action et de contrôle.

Ce système pervasif, en réseau, correspond à une nouvelle conception du système cognitif conçu comme l'ensemble hybride des aptitudes, fonctions et comportements de l'ensemble bio-électronique, ou Homme-système. Le futur développement de patches électrophysiologiques, d'interfaces haptiques ou directement bioimplantées, va permettre de favoriser cette cognition hybride qui interroge la notion même du « soi ». La rhétorique spontanée s'est déjà emparée du vocabulaire étendu à la machine : « je t'appelle » veut dire que mon téléphone et moi accédons à un réseau ad hoc pour contacter

ton téléphone, dont j'ignore le numéro, et dont le vibreur t'informe que je t'appelle, en affichant ma photo pour une reconnaissance de visage plus conviviale que celui d'un simple numéro.

La communication Homme(s)-système(s) est aujourd'hui verbale, écrite ou orale, et non-verbale, avec des interfaces intuitives, des agents conversationnels et des environnements communicants favorisant les usagers nomades d'un système d'information ubiquitaire et permanent. Les agents communicants, que certains nomment « objets communicants » (Boullier, 2002 ; Privat, 2002), nécessitent une multidisciplinarité des pratiques, une pluridisciplinarité conceptuelle, pour un phénomène globalement transdisciplinaire.

En effet, les concepts d'ordinateur, d'Internet et d'agent communicant sous-entendent 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. On fait ici référence à une intelligence partagée, proche d'une conception connexionniste de la cognition, dans laquelle l'environnement communicant est constitué des objets communicants et des agents naturels ou artificiels qui les utilisent. L'environnement communicant n'est rien de moins qu'une super-interface transparente entre l'utilisateur et l'information, habité par des usagers eux-mêmes bardés d'éléments autonomes de l'interface.

Certains proposent ici la notion d'« infosphère » en convoquant le vieux concept d'affordance de Gibson (Proulx, 2001). Une affordance est la perception, la plus souvent inconsciente, d'une utilité favorisant l'expression d'un comportement. La perception de la hauteur et de la profondeur des marches fait redouter la montée d'un escalier ou au contraire engage à la gravir sans fatigue. La hauteur des interrupteurs les fait retrouver dans l'obscurité, le poids d'un briquet, d'un stylo ou la densité d'un téléphone en font des objets de luxe ou de pacotille, le bruit de la portière qui se ferme qualifie la belle voiture ou la trapanelle, et ainsi de suite. Ces affordances de l'infosphère sont de deux types, intuitifs ou sociaux. Les supports de l'interaction pervasive doivent être à la fois simples et naturels, c'est-à-dire liés aux corps ou à l'attente culturelle. Les interfaces homme/machine, que l'on qualifie plus justement d'homme(s)/système(s), s'appuient sur ces affordances, exigeant une nouvelle « conception centrée sur l'utilisateur » où l'homme est inclus dans la boucle de conception et d'usabilité (« man in the loop »). La connaissance des caractéristiques et des contraintes humaines, notamment de communication, avec la parole et l'expression faciale, le regard, le geste et la posture, prenant en compte les uniformisations culturelles et les différences de chacun, amène à un rapprochement nécessaire des technologies et des usages. Cette transdisciplinarité de la problématique nécessite l'émergence d'une nouvelle spécialité d'experts, chercheurs et ingénieurs, à la fois des domaines STIC et SHS, des domaines IA et de l'intelligence naturelle. L'utilisateur de ces nouveaux systèmes diffus, immergés et invisibles, embarqués on ne sait plus où, et partout disponibles, est en situation de face-à-face entre agents naturels et artificiels dans la complexité d'un lien invisible et aujourd'hui encore peu étudié. Bien au-delà de l'ancienne « réalité virtuelle », il s'agit d'une fusion entre les réalités augmentées et synthétiques, et un homme lui-même augmenté et de plus en plus « quasi hybride ».

Histoire de superpositions

Le rapprochement des technologies et des usages ne s'est pas fait sans peine. Il correspond à un long processus de superposition pluridisciplinaire qui s'est manifesté de manière évidente depuis l'automatique mécanique du XIX^e siècle.

Espace des technologies

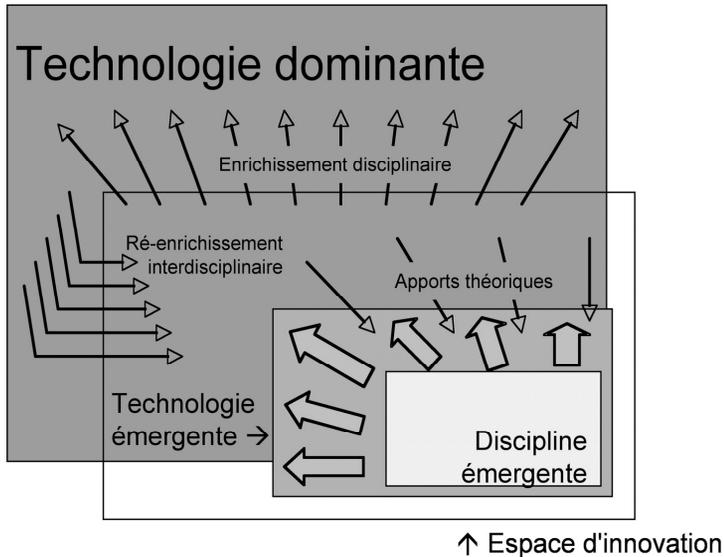


Figure n°7 – Principe de superposition des nouvelles technologies sur les champs technologiques établis.

C'est l'espace sociotechnique qu'une technologie dominante a tendance à occuper de manière la plus exhaustive possible, en se diffusant selon les modalités de Taylor et Todd (1995) décrites dans la figure n°4. Les enrichissements disciplinaires permettent de conquérir de nouveaux espaces alors que des disciplines émergentes poussent leur aïeule pour construire une technologie émergente. Au-delà de la compétition socio-darwinienne pour l'occupation de l'espace culturel, les ré-enrichissements interdisciplinaires enrichissent cette nouvelle technologie qui s'appuie alors à la fois sur les données descendantes disciplinaires de la nouvelle venue et les remontées théoriques et techniques, participant ainsi à la création d'un nouvel espace qui se superpose à l'ancien. Cette superposition permet de négocier, pour chaque discipline avec l'autre, des espaces d'échange interdisciplinaire.

C'est ainsi que l'automatique s'est constituée en discipline sur l'espace de l'ancienne Mécanique, que l'électrotechnique s'est enrichie de l'automatique, elle-même enrichissant la nouvelle science technique du XX^e siècle : l'électronique. Chaque technologie antérieure continue son développement alors que la plus récente s'étend jusqu'à l'entièreté du champ.

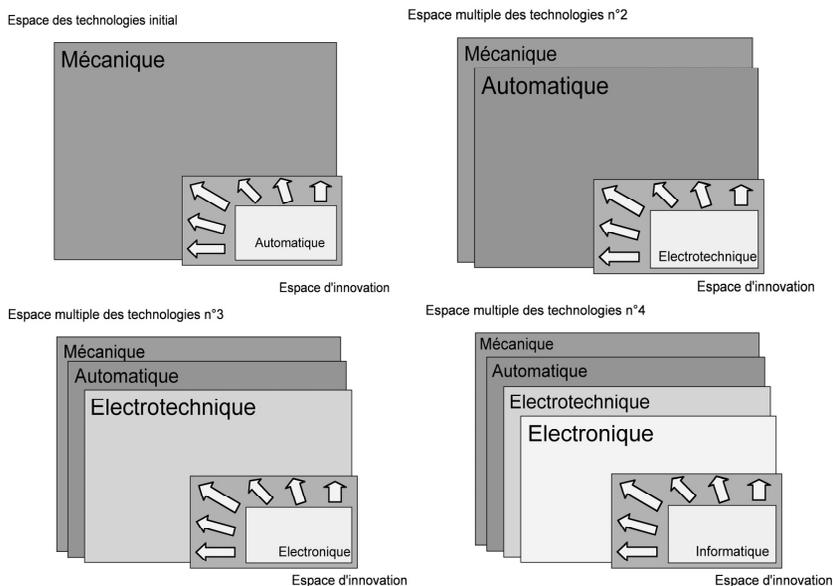


Figure n°8 – Application du principe de superposition (figure n°7) à propos de la mécanique, de l'automatique, de l'électrotechnique, de l'électronique et de l'informatique.

C'est dans les années soixante, comme nous l'avons déjà évoqué, que s'appuyant sur l'électronique classique et toute puissante, l'informatique a fait son entrée comme nouvelle discipline. Le concept s'est développé à la suite de la métaphore de Dreyfus, en 1962, du traitement automatique de l'information (Claverie, 2005) : « l'informatique est la technique du traitement de l'information, support des connaissances et des communications humaines » (Breton, 1987).

Comme l'électronique avait rapidement envahi le champ entier des technologies, c'est dans les années 1980 que la révolution de l'informatique personnelle a permis la diffusion de l'informatique à l'ensemble du champ des technologies. La révolution des technologies de la connaissance est arrivée à cette époque, avec la métaphore de Truong, en 1983, du traitement informatique de la connaissance (Claverie, *ibid.*) : « discipline scientifique et pratique technique, branche de l'informatique, qui a pour objet l'acquisition et la représentation formelle des connaissances et des modes de raisonnement, en vue de leur simulation à l'aide d'ordinateurs » (Truong Ngoc, 1988). Associée au « facteur humain » qui intègre les caractéristiques des usagers dans la boucle de conception, et les capacités, contraintes et limites de ces usagers dans le traitement des connaissances, la cognitive s'est peu à peu constituée en discipline, puis en champ technologique qui progresse, en superposition des deux champs technologiques dont elle est issue, l'informatique et l'électronique. C'est paradoxalement dans la ségrégation entre cognitivisme et connexionnisme qu'elle trouve ses affinités préférentielles vers l'une ou l'autre discipline, en fonction de son intérêt pour des connaissances désincarnées et

centralisées dans des stocks de ressources (informatique) ou encapsulées, pervasives, voire bio-implantées (électronique). La vérité et le futur seront probablement, comme toujours, à mi-chemin, en fonction des investissements et des succès commerciaux des prochaines années, dans un domaine où la technologie est interdépendante de l'économie.

Espace actuel des technologies interdépendantes

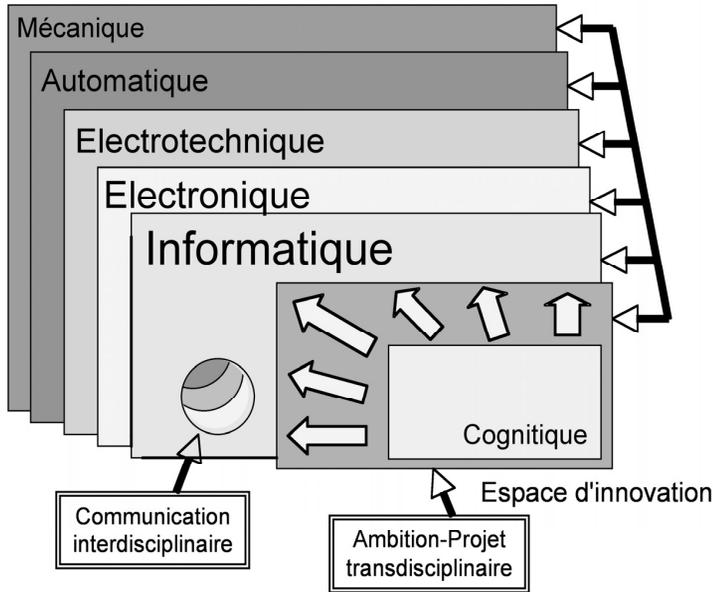


Figure n°9 – Application du principe de superposition (figure n°7) à la cognitive, avec illustration des différences inter et transdisciplinaires dans la collaboration des disciplines.

CONCLUSION

L'Organisation de Coopération et de Développement Economique définit l'innovation technologique comme « la mise au point et la commercialisation d'un produit plus performant dans le but de fournir au consommateur des services objectivement nouveaux ou améliorés » (OCDE, 1992). Cette définition s'appuie de fait sur les usages puisqu'elle réfère à leur nouveauté et à leur amélioration pour le consommateur. Mais amélioration de quoi ? Tout semble commencer du côté de la main et du cerveau. Ces organes indispensables à la vie individuelle, collective ou culturelle de l'Homme contribuent à sa définition.

Et leurs prolongements technologiques revêtent de ce fait un statut particulier. Il s'agit bien de prolongements des fonctions, de démultiplication, de simplification ou de facilité, où les machines et les cerveaux s'associent dans un traitement complexe de l'information.

Ici, le débat fait encore rage ; d'une part les tenants d'une indépendance entre la fonction et son support, la première étant immatérielle s'appuyant sur des organes ou des machines, dont la réalité physique se limite pour eux à la simple implémentation ; d'autre part les partisans d'une vision entremêlée dans laquelle la fonction n'est qu'un autre point de vue du fonctionnement des supports. Cette perspective fusionnelle, qui distingue parfois les informaticiens des électroniciens, trouve aujourd'hui un argument nouveau avec l'information pervasive, que l'on trouve partout, par bouts, et en même temps.

Cette diffusion de l'innovation, à la fois topographique dans le monde des techniques et temporelle dans la société des hommes, reste un des éléments d'exclusion des plus faibles, financièrement, culturellement ou évolutivement. Elle privilégie les jeunes et ceux qui peuvent acquérir les nouvelles technologies, les utiliser et les banaliser dans une vie de plus en plus envahie par l'information omniprésente. Elle laisse en chemin les vieux ou les résistants au changement, ainsi que la frange d'une population défavorisée qui s'évertue pourtant et coûte que coûte à s'équiper « up to date ».

L'innovation technologique est source de nouveaux imaginaires. Elle est source de nouveaux comportements, s'ouvre sur de nouveaux usages, et constitue de nouvelles collectivités, dont la présence dématérialisée recourt aux nouveaux médias et aux techniques de l'information diffuse. En même temps, elle génère de nouveaux besoins, autant de sources d'innovation qui motivent les chercheurs et technologues pour de nouvelles avancées interdisciplinaires. C'est dans le besoin transdisciplinaire que s'associent ces concepteurs, pour dépasser les limites des disciplines techniques reconnues. Par vagues successives, elles se superposent aux plus anciennes avant d'être elles-mêmes recouvertes par de nouvelles. C'est dans cette superposition sans fin que réside l'innovation, en s'appuyant sur chacune des couches technologiques pour en extraire les connaissances et les compétences, et inventer de nouveaux produits guidés par de nouveaux besoins et de nouveaux usages.

Il en est ainsi des technologies de l'information qui associent aujourd'hui une informatique embarquée, une électronique pervasive et une cognitive du design.

BIBLIOGRAPHIE

- Akoka, J., Comyn-Wattiau, I., [2002]. *L'informatique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que Sais-Je ? », n°1371.
- Andrieu, B., [1998]. *La neurophilosophie*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? » n°3373.
- Arsac, J., [1987]. *Les machines à penser : des ordinateurs et des hommes*. Paris : Éditions du Seuil, coll. « Science ouverte ».

- Bechtel, W., Abrahamsen, A., (1993). *Le connexionnisme et l'esprit : introduction au traitement parallèle par réseaux – traduction de J.Proust*. Paris : Éditions La Découverte.
- 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, pp.45-60.
- Bourret, P., Louis, R., (1974). *Anatomie du système nerveux central*. Paris : L'Expansion Scientifique Française, 1974.
- Boy, G., (2003). *Ingénierie cognitive : IHM et cognition*. Paris : Éditions Hermes Science, coll. « Traité de sciences cognitives ».
- Breton, P. (1987), *Histoire de l'informatique*. Paris : La Découverte, coll. « Histoire des sciences ».
- Bunge, M., (1975). *Philosophie de la physique*. Paris : Éditions du Seuil, coll. « Science ouverte ».
- Canguilhem, G., (1990). *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. Paris : Vrin, 7^{ème} édition.
- Changeux, J.P., (1983). *L'Homme neuronal*. Paris : Fayard, coll. « Le temps des sciences ».
- Churchland, P., (1998). *Matière et conscience*. Paris : Champ Vallon, coll. « Milieux ».
- Churchland, P., (1999). *Le cerveau*. Bruxelles : De Boeck, coll. « Neurosciences et cognition ».
- Clavierie, B., (1999). Les méthodes en psychophysologie. In J.P. Rossi (Ed.) *Les méthodes de recherche en psychologie*. Paris : Dunod, coll. « Psycho-Sup », pp.1-70.
- Clavierie, B., (2005). *Cognitive : science et pratique des relations à la machine à penser*. Paris : L'Harmattan, coll. « Cognition et Formation ».
- Chauchard, P., (1980). *Le cerveau humain*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°768 (6^{ème} édition).
- Coleman, J.S., Katz, E., Menzel, H., (1966). *Medical innovation : a diffusion study*. Indianapolis : Bobbs-Merrill.
- Couffignal, L., (1963). *La cybernétique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°638.
- Couffignal, L., (1964). *Les machines à penser*. Paris : Les éditions de Minuit.
- David, R., (1995). *L'Électronique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°1126 (8^{ème} édition).
- Diderot, D., Le Rond d'Alembert, J., *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers (1751-1772)* – textes choisis par Alain Pons (1993). Paris : Flammarion, coll. « Garnier Flammarion – Philosophie ».
- Dion, E., (1997). *Invitation à la théorie de l'information*. Paris : Éditions du Seuil, coll. « Points » n°S118.
- Dupuy, J.P., (1994). *Aux origines des sciences cognitives*. Paris : Éditions La découverte, coll. « textes à l'appui ».
- Durand, D., (1994). *La systémique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°1795 (6^{ème} édition).
- Fodor, J.A., (1986). *La modularité de l'esprit*. Paris : Éditions de Minuit, coll. « Propositions ».
- Foth, M., Paulos, E., Satchell, C., Dourish, P., (2009). Pervasive Computing and Environmental Sustainability. *IEEE Pervasive Computing*, 8, 1, pp.78-81.
- Gregory, R.L. (Ed.), (1993). *Le cerveau, un inconnu*. Paris : Éditions Robert Laffont, coll. « Bouquins ».
- Grosky, W.I., Zhang, C., Chen, S.-C., (2009). Intelligent and Pervasive Multimedia Systems, *IEEE MultiMedia*, 16, 1, pp. 14-15.
- Guilbaud, G.T., (1954). *La cybernétique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°638.
- Hebb, D.O., (1949). *The Organization of Behavior : A Neuropsychological Theory*. New-York : Wiley.

- Houdé, O., (2003). *Vocabulaire des sciences cognitives*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Quadrige Dicos poche ».
- Kemer-Marietti, A. (1994). *La philosophie cognitive*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°2817.
- Lafontaine, C., (2004). *L'empire cybernétique*. Paris : Éditions du Seuil, coll. « essais ».
- Le Coadic, Y.F., (1994). *La science de l'information*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°2873
- Mac Lean, P., Guyot, R., (1990). *Les trois cerveaux de l'Homme*. Paris : Éditions Robert Laffont, coll. « La fontaine des sciences »
- McClelland, J.L., Rumelhart, E., and 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, pp.115-133.
- 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, pp. 38-55.
- 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.C., Benbasat, I., (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information Systems Research*, 2, 3, pp.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.
- Nicolas, S. (2004). *Broca, Ecrits sur l'aphasie (1861-1869) - Introduction et textes réunis par Serge Nicolas*. Paris : L'Harmattan, coll. « Encyclopédie psychologique ».
- OCDE (1992) La mesure des activités scientifiques et technologiques : principes directeurs proposés pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique - Manuel d'Oslo. Organisation de coopération et de développement économiques – Eurostat. <http://www.oecd.org/dataoecd/35/56/2367523.pdf>
- Piaget, J., (1968). *Le structuralisme*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? » n°1311.
- Pratt, V., (1995). *Machine à penser : une histoire de l'intelligence artificielle*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « sciences modernités philosophie ».
- Privat, G., (2002), Des objets communicants à la communication ambiante, *Les Cahiers du Numérique*, 3, 4, pp.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.
- Rogers, E.M., (1962). *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, pp.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., (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, pp.533-536.
- Rumelhart, E., Hinton, G.E., Williams, R.J., (1986). *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., McClelland, J.L., and 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.
- Salleron, L., (1965). *L'automation*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je ? », n°723.
- Soulard, R., (1964). *Histoire de la machine*. Lausanne : Éditions Rencontre, Cercle du bibliophile, coll. « Découverte de la science », tome 12.
- Taylor, S., Todd, P., (1995). Understanding information technology usage : a test of competing models. *Information System Research*, 6, 4, pp.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 Health-care Applications. *IEEE Pervasive Computing*, 6, 2, pp. 58-61.
- Truong Ngoc, J.M., (1988). Les cogniticiens existent, mais qui les a rencontrés ? *Le Monde Informatique*.
- Turing, A.M., (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59, pp.433-460.
- Turing, A., Girard, J.Y., (1995). *La machine de Turing (1936-1950)*. Textes traduits, développés et commentés par Jean-Yves Girard. Paris : Éditions du Seuil, coll. « Sources du savoir » (nouvelle édition : coll. « Point Sciences », 1999).
- Varela, F., (1988). *Invitation aux sciences cognitives*. Paris : Éditions du Seuil (nouvelle édition : coll. « Point Sciences », 1997).
- Von Neumann, J., (1958). *J., Computer and the brain*. New Haven (Connecticut-USA), Yale University Press.
- Von Neumann, J., (1998). *Théorie générale et logique des automates*. Paris : Champ Vallon, coll. « Milieux », 1998.
- Von Neumann, J., (1946). The Principles of Large-Scale Computing Machines, reprinted in *IEEE Annals of the History of Computing*, 3, 3, pp.263-273.