

L'analyse cognitive, la psychologie numérique et la formation des enseignants à l'université¹

Alain FINKEL

Professeur de sciences cognitives et d'informatique à l'ENS Paris Saclay
61 avenue du Président Wilson
94235 Cachan Cedex
Alain.finkel@ens-paris-saclay.fr

Résumé

L'analyse cognitive est le fruit d'une réflexion utilisant, entre autres, les principes de la pensée informatique (mathématique, logique et algorithmique) pour repenser des connaissances et des techniques de plusieurs domaines de la psychologie cognitive, de la psychologie sociale, de la psychologie des émotions et de la psychologie de la communication en vue de la formation pédagogique des enseignants d'université.

Avant de présenter l'analyse cognitive, je vais rappeler comment l'histoire du calcul depuis 5000 ans peut être vue comme une tentative (réussie) de comprendre, formaliser et automatiser le traitement humain de l'information, thème sur lequel se retrouvent l'informatique et la psychologie. Puis je montrerai qu'un nouveau comportementalisme, basé sur le comportement numérique mais aussi sur les comportements classiques et sur les zones du cerveau, est en train d'émerger et qu'il produit des modèles psychologiques qui sont utilisés pour connaître les pensées et les intentions des personnes observées, pour mieux leur vendre des objets et pour prédire leurs actions par exemple ; une psychologie numérique émerge. Bien que chacun d'entre nous utilise son ordinateur portable et internet comme une extension de son esprit (lire « Petite Poucette » de Michel Serres), nous n'avons pas encore intégré explicitement la pensée informatique. Nous expliciterons donc quelques éléments de la pensée informatique et nous présenterons enfin l'analyse cognitive en soulignant comment elle utilise à la fois la pensée informatique et des connaissances de psychologie.

Mots clés : pensée informatique, psychologie numérique, analyse cognitive, enseignement, université.

Abstract

Cognitive analysis is the result of an afterthought using, amongst other things, principles from computer science (maths, logic and algorithmic) to rethink techniques and knowledge of several areas of psychology: Cognitive psychology, social psychology, psychology of emotions and communication. The aim is pedagogy training for university teachers.

Before explaining what cognitive analysis is, I will tell you how the history of calculation since 5000 years may be seen as a (successful) stab at understanding, formalizing and automating human processing of data, which is where computer science and psychology meet. Then, I will demonstrate that a new behavioralism, based on digital and classical behavior and specific areas of the brain, is starting to

¹ Ce texte est la version revue d'une conférence plénière donnée au Colloque « Préparer la nouvelle génération de psychologues : objectifs, méthodes et ressources dans l'enseignement de la psychologie », Paris, 16-17 septembre 2016.

emerge and produces psychological models that are used to know the thoughts and intents of the people observed, to better sell them stuff and predict their actions. A digital psychology emerges. Although all of us use a laptop and internet as an extension of our minds (read "Petite Poucette" by Michel Serres), the digital thought remains implicit. We will explicit several components of digital thinking and will show how cognitive analysis uses digital thinking and knowledge from psychology.

Keywords: Digital thinking, computer science, digital psychology, cognitive analysis, teaching, college, university.

1 Traitement de l'information et des connaissances

1.1 La pensée et la psychologie

La psychologie est, étymologiquement, la science de l'âme où l'âme est l'esprit produisant des facultés mentales (comme mémoriser ou comprendre) et comportementales (se déplacer physiquement exige des états d'esprit de la motricité). La psychologie est donc l'étude de l'esprit, de la subjectivité ainsi que des comportements. On remonte souvent aux grecs (500 av. JC), parfois aux égyptiens (1500 avant JC) et on commence à citer le bouddhisme (500 av JC) mais pas encore le chamanisme mexicain,...pour dater les origines de la psychologie et je suis sûr qu'on pourrait trouver d'aussi anciennes racines à la psychologie qu'au calcul.

Par contre, la psychologie, en tant que discipline scientifique se distinguant de la philosophie (dont elle a été longtemps un des thèmes), n'apparaît que vers 1850 avec l'étude de la psychologie de la perception (Fechner cherche des lois mathématiques reliant perception et stimuli), les méthodes expérimentales de Binet et Wundt utilisant le questionnement sur les représentations mentales, l'étude de la mémoire initié par Ebbinghaus. La psychologie scientifique est donc une science beaucoup plus jeune que les mathématiques ou la physique. Vers 1920, le comportementalisme (Watson veut éviter toute hypothèse sur les états internes dont il ne nie pas l'existence mais qui sont pour lui inconnaisables) et l'étude du conditionnement (Pavlov) deviennent le cœur de la psychologie scientifique. Parallèlement à la psychologie scientifique, la psychanalyse émerge et se développe à partir de la fin du 19^{ème} siècle. Aujourd'hui en 2017, le domaine de la psychologie n'est pas unifié et il existe de nombreuses sous-disciplines, relativement indépendantes, comme la psychologie cognitive (dont nous avons parlé précédemment dans ses liens avec l'informatique), la psychologie du développement et l'imagerie mentale (Piaget), la psychologie sociale et la modélisation (Bandera), la psychologie comportementale et cognitive et les thérapies cognitives et comportementales (Beck, Ellis) et j'en oublie beaucoup d'autres. Ce bref résumé n'est bien sûr pas exhaustif et on consultera le récent livre d'Olivier Houdé (2016) sur l'histoire de la psychologie de l'antiquité jusqu'au début du 19^{ème} siècle.

La psychologie approche la pensée par différentes méthodes et approches : l'introspection, l'analyse du comportement verbal et non verbal, l'analyse des rêves, les tests de personnalité, l'analyse du langage pour, par exemple, mettre en évidence les biais cognitifs qui révèlent nos structures mentales, le fonctionnement des systèmes 1 et 2 (Kahneman, 2012). Aujourd'hui l'analyse des zones du cerveau est corrélée à la pensée rapportée verbalement au travers de différentes analyses du langage ainsi qu'aux nombreux comportements non verbaux comme la direction et la durée du regard, la mimique faciale, les mouvements des lèvres. Même, l'étude scientifique de la conscience n'est plus taboue depuis au moins vingt ans et des neurologues comme Cohen, Damasio, Dehaene, Edelman et Naccache produisent expériences et théories pour rendre compte des mécanismes attentionnels et des mécanismes conscients, les deux étant maintenant bien distingués.

1.2 Le traitement automatique de l'information

L'informatique est la science de l'*automatisation* du traitement de l'information. Automatiser le traitement humain de l'information a d'abord nécessité un codage des objets de pensée puis des opérations sur ces objets, donc le début d'une formalisation. Parmi les plus simples objets de pensée figurent les nombres entiers. Si on code chaque entier par un code différent, on aura besoin d'un nombre infini de symboles, ce qui fait trop. Il s'agit donc de coder tous les entiers avec un nombre fini de symboles, un symbole (le symbole 1 ici) peut suffire mais alors la longueur de l'entier codé est proportionnelle au nombre, par exemple 27 se représente par vingt-sept fois le symbole 1. Par contre, si on utilise au moins deux symboles, 0 et 1 (pour l'alphabet binaire habituel), le codage devient beaucoup plus court : 27 devient 11011, soit 5 symboles. Le codage binaire des entiers semble apparaître pour la première fois il y a plus de 5000 ans ; ce sont les chinois qui inventent la représentation binaire des nombres entiers : l'alphabet binaire chinois est constitué de deux segments, un long et un court².

Nous disposons donc d'un alphabet de symboles et d'un code. Il devient alors possible de commencer à calculer. L'unité de calcul est le caillou, *calculus* en latin ; notons que le calcul en médecine est encore un petit caillou. Il faudra attendre 2000 ans av. JC pour voir apparaître différentes sortes de tables (ou abaqués) utilisées par les Étrusques, les Grecs, les Égyptiens, les Indiens, les Chinois et les Mexicains. Les abaqués sophistiqués permettent de poser des retenues, d'utiliser des systèmes binaires, décimaux ou autres et même de calculer des racines carrées. L'abaque devient portable à partir du 1^{er} siècle après JC et il donne naissance au boulier en base 10 ou alternée (2 et 5). On lira avec profit le livre de Gilles Dowek (2007).

Il faut attendre 1623 pour voir la première machine à calculer mécaniquement. Elle pouvait réaliser additions, soustractions, multiplications et mémorisation des résultats intermédiaires grâce à des roues dentées³. Durant le 17^{ème} siècle, on assiste à l'invention de différentes machines à calculer : en 1642, la Pascaline de Pascal fait des additions et des soustractions, la machine de Leibniz peut faire en plus des multiplications et des divisions, sa machine deviendra même portable en 1820. La machine à tisser est programmée comme un piano mécanique et est inventée en 1728. On parle d'ailleurs de calcul mécanique pendant l'âge d'or de la mécanique pour rendre compte d'un calcul automatique sans intervention de la pensée, et cela jusqu'à la naissance de l'informatique comme science du traitement de l'information où l'on sera capable de penser le calcul automatique de l'information. Signalons qu'Ada Lovelace invente la notion d'algorithme itératif.

Une apparente autre piste, orientée vers la formalisation du langage et des règles de raisonnements, donc ce qu'on appelle la logique, essaie aussi d'approcher la pensée. Elle est fondée il y a 2400 ans par Aristote (384 av. J.-C.) qui commence son traité de logique par un livre intitulé « *Les Catégories* » ; celles-ci sont les genres de notre être au monde (on pourrait dire, de façon analogue aux nombres entiers, que ce sont des objets de pensée parmi les plus primaires) et Aristote donne une liste des dix catégories primaires⁴ :

² http://ordinateurs.free.fr/LE_MUSEE/octogone_trigramme.htm

³ <http://histoire.info.online.fr/prehistoire.html>

⁴ Le mot *catégorie* provient du verbe grec *catégoriein*, qui signifie « accuser ».

« Essence, quantifié, qualifié, relatif, quelque part, à un moment, se trouver dans une position, avoir, agir, pâtir. À cette liste s'ajoutent les opposés, les contraires, l'antérieur, le simultané et la mobilité »⁵

Leibniz est un des premiers à penser le raisonnement comme un calcul qui permettrait de décider de la vérité d'un énoncé (Bournez & al., 2010, page 41) :

« Non disputemus, sed calculemus » (1687)

La seule façon de rectifier nos raisonnements est de les rendre aussi tangibles que ceux des mathématiciens, de sorte qu'une erreur puisse se voir d'un coup d'œil. Et lorsqu'il y aura une dispute entre deux personnes, on pourra simplement dire : « Ne discutons pas, Monsieur, calculons pour voir qui a raison ».

Boole (1854) publie un livre intitulé « les lois de la pensée » dans lequel il réduit le calcul de la logique propositionnelle à un calcul sur des booléens, c'est-à-dire sur des entiers 0 et 1 interprétés comme vrai et faux ; par exemple, le calcul de la valeur de vérité de l'énoncé « 1 et 0 » donne alors 0 car la conjonction de « vrai et faux » est faux puisque la conjonction est définie comme vrai que si ses deux termes sont vrais. Le calcul booléen travaille sur les ensembles et non plus directement sur les nombres. Boole présente donc un calcul symbolique du raisonnement propositionnel. Il libère la logique de la signification humaine des mots, il accède au symbole non encore interprété. Citons Boole, cité lui-même dans (Serfati, 2000):

«Le but de ce traité est d'étudier les lois fondamentales des opérations de l'esprit par lesquelles s'effectue le raisonnement ; de les exprimer dans le langage symbolique d'un calcul, puis, sur un tel fondement, d'établir la science de la logique et de constituer sa méthode ; de faire de cette méthode elle-même la base d'une méthode générale qu'on puisse appliquer à la théorie mathématique des Probabilités ; et enfin de dégager des divers éléments de vérité qui seront apparus au cours de ces enquêtes des conjectures probables concernant la nature et la constitution de l'esprit humain. Qu'un tel but ne soit pas tout à fait nouveau [...]» (et Boole cite Aristote)

Frege formalise la logique en séparant la syntaxe de la sémantique, précise la notion de quantificateur et permet l'axiomatisation de la logique. La tentative de formalisation d'Aristote aboutira, plus de 2000 ans plus tard, via Boole et Frege, aux notions de formule, d'axiome, de théorie et de démonstration, donc à toute la logique moderne à la fin du XX^{ème} siècle. Plus tard Turing et Shannon feront le lien entre le calcul booléen et les circuits électriques, ce qui ouvrit la voie aux ordinateurs dont un des premiers fut construit en 1940 pour décoder les messages secrets transmis et envoyés par les sous-marins allemands.

L'histoire continue, passionnante : en même temps que se construisent les premiers ordinateurs, McCulloch et Pitts (1943) écrivent l'article « A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity » dans lequel ils modélisent les neurones par des automates finis qui deviendront un des concepts de base de l'informatique. En 1951, Kleene montre l'équivalence entre les automates finis (l'aspect « machine »), les langages définis de façon algébrique et une logique naturellement associée. Les ponts s'enchaînent entre les neurones, les machines, les programmes et les logiques.

1.3 Vers un traitement automatique des connaissances

⁵ [http://fr.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A9gories_\(Aristote\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A9gories_(Aristote))

L'année 1956 peut être vue comme celle de la naissance des sciences cognitives où se rencontrent philosophes, psychologues, mathématiciens, linguistes, biologistes, logiciens et informaticiens : on y discute de psychologie et notamment de l'article de George A. Miller sur nos capacités mémoire (Miller, 1956), de biologie et du mécanisme d'homéostasie, de l'analyse du langage, de la théorie des ensembles et de la schizophrénie :

« Les conférences Macy, organisées à New York par la fondation Macy à l'initiative du neurologue Warren McCulloch, réunirent à intervalles réguliers, de 1942 à 1953, un groupe interdisciplinaire de mathématiciens, logiciens, anthropologues, psychologues et économistes qui s'étaient donné pour objectif d'édifier une science générale du fonctionnement de l'esprit. Elles furent notamment à l'origine du courant cybernétique, des sciences cognitives et des sciences de l'information. »⁶

La psychologie cognitive émerge dans ces années 1950-1960 et elle utilise, première parmi les sciences humaines, les modèles de l'informatique (appelée alors cybernétique) que sont les notions de processus communicants, de mémoire et d'algorithme pour modéliser le fonctionnement de la mémoire humaine. Les psychologues décrivent alors des algorithmes qui traitent l'information, la faisant passer dans différents modules dont les capacités mémoire diffèrent par la taille, la durée de rétention et la vitesse de traitement.

La rencontre entre l'informatique et la psychologie (et aussi avec la biologie) a lieu également lorsque des psychologues et des biologistes (Miller, Galanter, & Pribram, 1960) utilisent l'intelligence artificielle pour comprendre comment les animaux et les humains planifient leurs actions et agissent. Dans ce livre, Miller, Galanter et Pribram introduisent le TOTE (Test-Operate-Test-Exit) qui généralise le concept de stimulus- réponse en y ajoutant un mécanisme de feedback. Ce TOTE est essentiellement une boucle `while` dont les auteurs pensaient qu'il pourrait être une brique de base du comportement.

Le calcul commençant à être maîtrisé, le défi vers la compréhension de la pensée passait nécessairement par le traitement formel donc automatisable du langage humain. Encore dans les années 1960, deux chercheurs exceptionnels, Chomsky en linguistique (dont la hiérarchie des langages formels est une des bases de l'informatique théorique) et Miller en psychologie publient *ensemble* plusieurs articles (Chomsky & Miller, 1958, 1962) dont la visée est la modélisation du langage humain au moyen des automates finis et des grammaires. Notons qu'une partie de la linguistique devient formelle et l'informatique linguistique apparaît, des grammaires formelles (comme les grammaires catégorielles) adaptées à la formalisation de la langue humaine (et non plus seulement au langage des programmes informatiques) sont étudiées. Les réseaux sémantiques (un type particulier de graphes) sont introduits par des psychologues (Collins & Quillian, 1969, 1970) pour modéliser la structuration des connaissances chez l'humain (et sont partiellement validés par des expériences de rappel mémoire) puis sont utilisés en linguistique et pour rendre lisibles des dictionnaires (par exemple ceux produits par le CNRS, voir <http://www.cnrtl.fr/>) et de grandes bases de données.

Dans l'enthousiasme des années 1960-1970, les informaticiens ont alors cru que l'informatique, l'intelligence artificielle de l'époque, donc essentiellement les systèmes experts, allait permettre de comprendre donc de simuler la pensée humaine par exemple d'un garagiste ou d'un psychanalyste. On s'est aperçu assez vite que ça ne marchait pas si bien, pour les deux, et que l'analyse du langage s'avérait beaucoup plus difficile que prévue. L'informatique se concentrait alors sur les calculs, entendus au sens large, mais progressait peu sur les domaines faisant intervenir l'humain comme les interfaces homme

⁶ https://fr.wikipedia.org/wiki/Conf%C3%A9rences_Macy

machine ; il était probablement trop tôt tant d'un point de vue des ordinateurs et des algorithmes disponibles que des concepts. Pour dire vite, entre 1960-2000, l'informatique calcule, résout des équations, anime des robots automobiles (sans prise de décision complexe) mais elle reste encore loin de l'humain et de sa pensée. Cependant le travail théorique sur les concepts avance en informatique comme en psychologie, par exemple les modèles mentaux (Johnson-Laird, 1988), la puissance de calcul des ordinateurs continue à augmenter, l'efficacité des algorithmes aussi, décuplée par internet. La recherche progresse, lentement et de façon souterraine jusqu'aux années 2000-2010 où de multiples applications surgissent comme le programme Watson qui gagne au jeu Jeopardy. Watson est un programme informatique d'intelligence artificielle conçu par IBM dans le but de répondre à des questions formulées en langage naturel. Watson a participé en février 2011 à trois manches du jeu télévisé Jeopardy, au terme desquelles il a remporté le jeu. Il est capable de comprendre l'énoncé des questions, de buzzer pour prendre la main, de trouver les réponses en quelques secondes, et, grâce à un système de synthèse vocale, d'énoncer les réponses et de choisir le thème et le montant de la prochaine question, conformément aux règles du jeu. Le programme est capable de parcourir 200 millions de pages en moins de trois secondes.

Aujourd'hui le web sémantique essaie de combiner le web et les réseaux sémantiques afin de permettre à un programme de comprendre la structure des connaissances réparties sur le web, ce continent en continuelle expansion, ceci afin de simplifier la recherche d'informations. Voici le rêve de Berners-Lee, inventeur du web sémantique, (Berners-Lee & Fischetti, 1999) traduit dans un blog sur Berners-Lee⁷:

« Je rêve d'un Web [dans lequel les ordinateurs] deviennent capables d'analyser toutes les données du Web : le contenu, les liens, et les transactions entre personnes et ordinateurs. Un « Web Sémantique », qui devrait rendre cela possible, n'a pas encore émergé, mais quand il le fera, les mécanismes journaliers du commerce, de l'administration et de nos vies quotidiennes seront traités par des machines dialoguant avec d'autres machines. Les « agents intelligents » qu'on nous vante depuis longtemps se concrétiseraient enfin. »

2 De l'émergence d'une psychologie numérique : comportements et algorithmes

Je prétends qu'une nouvelle psychologie, appelons-la « psychologie numérique », est en train d'émerger. Les prémisses de cette nouvelle psychologie s'appuient sur les notions de *comportement* (analysés par modèles statistiques et probabilistes) et d'*algorithme*.

Les *comportements observables* sont de plus en plus nombreux: une partie du comportement jadis caché, comme les intentions, les désirs, les pensées intimes, les dialogues intérieurs, les images évoquées est en train de devenir observable par des machines ; et de nouveaux comportements numériques sont apparus.

La *pensée algorithmique*, ou encore le paradigme de la pensée informatique, s'est répandu partout : nous pensons, souvent de façon implicite, le monde comme un système de traitement de l'information où règnent règles, axiomes et algorithmes.

2.1 Les comportements et les modèles statistiques

⁷ <https://unblogdesblogs.wordpress.com/tag/tim-berners-lee/>

Pour les psychologues du comportement (ou encore les psychologues du conditionnement et de l'apprentissage), le comportement est défini comme « *l'ensemble des réponses internes (couvertes) et externes (ouvertes) aux événements qui se déroulent dans l'environnement. Ceci inclut les réponses motrices verbales, les réponses physiologiques, les images mentales, les émotions, les affects, les pensées et les systèmes de croyance, les perceptions, la mémoire et l'attention* » (Cottraux, 1998, page 18). Le comportement, c'est donc l'ensemble des actions intérieures et extérieures, mieux la suite de ceux-ci. Il nous faut donc au minimum une théorie, un modèle de ce que sont les actions de base afin de les observer. Préalablement à une théorie, il faut définir les objets qu'on va observer.

Aujourd'hui, les masses de données générées par les comportements observables peuvent être stockées puis croisées et analysées pour modéliser la pensée et prédire les comportements futurs et bien sûr aussi utilisées pour influencer les pensées et les comportements ; par exemple il est possible d'accroître l'acte d'achat sur les sites web (digital marketing) ou de lire les zones activées du cerveau et d'en activer d'autres par la chimie ou par la parole. Le paradigme comportementaliste est de fait d'actualité et il ne s'arrête plus au visible de jadis (le corps) puisque le cerveau lui-même est en train de devenir visible et partiellement interprétable ; même si la recherche n'en est qu'à ses débuts, il n'est pas insensé de penser qu'une partie de notre comportement interne va devenir visible via des machines. Les comportements couverts diminuent et le corps et l'esprit deviennent transparents.

Le comportement observable devient donc massif et exige, inévitablement, de plus en plus un traitement automatisé. Les modèles statistiques et probabilistes, les algorithmes d'apprentissage profond ont du succès car ils peuvent traiter ces données sans grande théorie explicative préexistante, puis chercher et extraire des patterns utilisables. En médecine, ces algorithmes d'exploration de masses de données (Sermondadaz, 2016), sans théorie médicale, ont permis de prévoir une crise cardiaque neuf mois plus tôt que les médecins⁸. D'où aussi l'importance théorique et pratique d'avoir de bonnes définitions de la notion de comportement. S'il est évident que les psychologues étudient les comportements, l'informatique travaille aussi sur ce sujet depuis les années 1960 et elle a produit quantité de résultats potentiellement intéressants pour les comportements humains. Pour un informaticien, la base d'un comportement est une suite séquentielle (finie ou infinie) d'actions ou, de façon plus générale, un arbre dont chaque branche est une suite séquentielle d'actions ; l'arbre met en évidence le parallélisme possible entre différentes actions (Milner, 1980 et 1989). Un algorithme est aussi une suite *finie* d'actions qui réalise un but.

On assiste donc à l'émergence d'un renouveau du courant comportementaliste, plus exactement d'un *comportementalisme numérique*, basé sur les nouvelles technologies numériques. Les technologies informatiques ne s'arrêtent pas à l'analyse des comportements numériques et à la construction de profils de personnalité ; elles se donnent aussi pour objectif la modélisation du cerveau et de l'esprit et on y progresse vite ces dernières années. Les technologies informatiques reconnaissent maintenant les zones du cerveau activées par les images concrètes, ou par des concepts abstraits ou encore celles des petits nombres entiers (Dehaene, 1989). Ainsi, à côté de ce nouveau comportementalisme, et parfois couplée à celui-ci, la réalité intime de nos pensées devient visible par caméras à positons et autres dispositifs techniques. Il est maintenant possible de savoir, même de *voir* sur un écran, quelle stratégie cognitive un élève a utilisée pour faire une addition (Dehaene, 2010). Il devient aussi possible de commander à une machine par la pensée, à une prothèse par exemple, et ainsi un paralysé peut remarquer en imaginant marcher, sa pensée est captée par un réseau, elle est transformée en consignes motrices et transmise à ses jambes ou à une prothèse (Van Langenhove, Bekaert, N'Guyen, 2008, Cordonnier, 2011). La pensée est interprétée, comprise par une machine et la machine la transforme en action dans le monde réel. Nous pouvons dire que :

⁸ <https://humanoides.fr/intelligence-artificielle-cardiaques/>

L'informatique transforme le programme en action
Et le verbe devient chair
Par la médiation d'une machine inconsciente

Les casques de réalité virtuelle sont en train de remplacer l'imagination thérapeutique pour traiter les phobies, par exemple : il n'est plus besoin d'imaginer mais seulement de voir, le casque se chargeant de nous présenter des images imaginées par d'autres. Je pourrais continuer la liste avec l'utilisation de casques pour se relaxer ou de robots pour les autistes,...etc.

Cette exploitation du comportement numérique à des fins de modélisation, d'analyse et de prédiction des comportements futurs a lieu principalement hors du champ traditionnel de la psychologie : les acteurs du numérique avancent à grands pas, demandant les conseils de psychologues parfois ; Twitter automatise une partie de sa modération du harcèlement ; Facebook teste un programme d'intelligence artificielle pour repérer les messages suicidaires⁹ ; Watson intervient sur des traitements contre le cancer¹⁰ et encore bien d'autres applications sont en cours de développement (Nicogossian & Castagnet, 2016) :

« DeepFace, algorithme dévoilé par Facebook, reconnaît les visages humains dans les images à 97% des cas. DeepMind, l'IA de Google, bat le champion du monde de jeu de Go, parle et lit sur les lèvres. L'IA progresse avec le deep learning, dans les systèmes de reconnaissance faciale et des émotions en temps réel, comme SmartMeUp, aux reconnaissances super-humaines, dans certaines formes d'analyse d'image. En Angleterre, le service du chômage utilise des outils de détection du mensonge, comme d'autres services de filature. »

Je propose donc de distinguer deux sortes de comportements.

Le *comportement classique* recouvre les mots écrits ou dits, les gestes et la posture, la mimique faciale, le ton de la voix, la direction du regard, la dilation de la pupille,... Cependant, ce comportement devient également captable par des outils numériques et il est interprétable par l'informatique, donc il est aussi en train de devenir numérique. Les mots que je dis à quelqu'un en face, sans enregistrement numérique, font partie du comportement classique alors que ces mêmes phrases, adressées à la même personne connectée, à qui j'écris ou parle en utilisant un support numérique appartiennent au comportement numérique.

Mais la caméra de nos ordinateurs allumée en permanence capte nos regards (Collet, Finkel & Gherbi, 1998) et avec les multiples capteurs et objets connectés, elle peut enregistrer les images que nous regardons, nos réactions physiologiques comme le rétrécissement ou la dilatation de la pupille, la mimique faciale et donc l'émotion associée et donc elle peut évaluer, avec une certaine probabilité, la matière même de nos pensées, par exemple prévoir l'avènement d'une psychose par l'analyse automatique d'interviews (Mota, 2015). En 2017, le numérique permet (à de nombreuses entreprises comme Google ou Microsoft mais pas seulement) d'enregistrer un nombre faramineux de toutes petites informations sur une personne comme l'URL de la page web qu'elle a consultée, le contenu de la page web bien sûr mais aussi le temps de consultation de chaque page (la suite de dix de nos clics sur notre ordinateur nous identifie mieux que nos empreintes digitales (Eudes, 2014)), les trajets faits en voiture mais aussi à quelle heure et à quelle vitesse, le temps de brossage des dents (grâce aux objets connectés), la vitesse de brossage et même l'identité des dents visitées, les paramètres de la voix, les mots utilisés au téléphone,.

⁹ http://www.lemonde.fr/pixels/article/2017/03/01/facebook-teste-un-programme-d-intelligence-artificielle-pour-reperer-les-messages-suicidaires_5087768_4408996.html

¹⁰ https://www.sciencesetavenir.fr/sante/le-super-ordinateur-watson-au-service-des-traitements-contre-le-cancer_28959

Ces informations numériques permettent de dévoiler ce qui précisément nous intéresse, nous choque, sans compter notre fatigue, l'état de notre concentration et notre mimique faciale. Big Brother n'est plus loin et il va devenir de plus en plus savant, car de plus en plus de nos comportements deviennent numériques. L'analyse de ces gigas de données personnelles, alliée à la capacité de faire de même sur tous les humains, que le droit ne protège pas encore, ou très mal, capture notre comportement numérique et permet par modèles probabilistes, réseaux neuronaux, Big Data et Machine Learning de prédire nos comportements futurs et de dresser un portrait de *l'homo-numéricus*. La collecte de ces informations rend maintenant possible la modélisation de la personnalité sans forcément nécessiter une *théorie qualitative*, au sens classique du terme, comme la théorie de la gravité ou la psychanalyse. Donc peu de théorie explicative mais beaucoup d'analyse quantitative des comportements numériques.

Le comportement numérique est donc constitué de toute action ou suite d'actions laissant des traces numériques et qui n'existaient pas il y a 20 ans sous un format numérique. Je distingue, parmi toutes ces traces, la nouvelle possibilité numérique de *voir l'intérieur du cerveau donc d'une partie de l'esprit* de la personne et ceci sans contrôle possible de celle-ci : je peux naviguer sur internet *ou pas*, même si il est devenu difficile de ne pas le faire. Par contre, la capture et l'interprétation des zones activées de mon cerveau échappent à mon contrôle ; celles-ci en sont encore au stade de la recherche, mais elles progressent à grands pas et que se passera-t-il quand les lunettes Google+ verront le cerveau et l'esprit que je croise ? Dans quel territoire, pourrais-je réfugier mes pensées intimes ? Comment résisterais-je à un dictateur omniscient quand l'intérieur n'existera plus car mon enveloppe corporelle et donc une partie de mon esprit seront devenus transparents ?

Cette modélisation est rendue possible, même si elle n'en est encore qu'à ses débuts, par plusieurs progrès technologiques : l'accroissement de la puissance de calcul des ordinateurs, la possibilité de capter et de stocker des masses de données, la découverte d'algorithmes efficaces pour manipuler les grands graphes d'internet (Google) et sociaux (Facebook), les performances de l'IA, du Big Data et du Machine Learning (champion du jeu de GO, du jeu d'échecs). La collecte de ces micro-comportements numériques donne lieu aujourd'hui à des *possibilités* de modélisation et de prédiction de nos comportements et de nos pensées qui n'étaient pas pensables il y a vingt ans. Voici un exemple (Guillaud, 2016) :

« Des chercheurs Danois (Faurholt-Jepsen, 2016) ont publié une étude qui utilise le micro des smartphones pour écouter en permanence conversations, bruits ambiants, et analyser bien sûr vitesse de parole, ton de parole (plus que le contenu des propos). Là encore, sans beaucoup plus de surprise par rapport aux évidences de l'intuition, les gens déprimés ont tendance à avoir une diction plus lente et plus « plate ». Reste que si les données recueillies par-devers l'utilisateur sont considérées comme moins manipulables par celui-ci et donc plus fiables, force est de reconnaître que ce type de diagnostic numérique passif est encore assez brut. Pas sûr que nous puissions lui faire confiance pour prédire d'une manière fiable notre humeur à la volée. Ce que nous disent ces exemples surtout, c'est combien l'analyse de données, le Big data, peut produire un avis sur tout. Depuis des modèles, parfois très rapidement bâtis, on peut inférer des catégorisations de comportement. Mais si on peut tout analyser, faire des corrélations sur tout, tenter de tirer du sens... il demeure une grande inconnue : comment construit-on des formes de rétroaction pour l'utilisateur final à partir de ces données ? ».

La STASI pouvait savoir beaucoup de choses sur les personnes mais il fallait des millions d'espions humains ; aujourd'hui quelques machines gardent la trace de tous nos comportements numériques et commencent à les analyser pour prédire nos comportements et nos pensées.

A ce titre, il me semble qu'il y aurait nécessité pratique de repenser une partie de l'enseignement de la psychologie en y intégrant les principes de la pensée informatique, afin que les futurs psychologues soient capables d'accompagner et d'influencer ce nouveau comportementalisme.

Notre corps n'est plus la barrière entre le monde extérieur et le monde intérieur.

2.2 Eléments de la pensée informatique : les algorithmes

L'informatique a défini formellement, au moins depuis Turing (1930), la notion de machine qui a une mémoire et des états internes et qui produit un comportement externe. Les notions de calculs, d'équivalence de comportements, de simulation d'un système par un autre ont été formalisées au moyen de modèles de machines, de systèmes logiques, et avec des classes de fonctions calculables. La théorie de la communication entre systèmes a fait l'objet de nombreux travaux depuis les années 1980 et les informaticiens ont pratiquement fait marcher ces théories au sein de programmes immenses de millions de lignes et constitués de dizaines de milliers de modules. Les logiciels que nous utilisons sont en effet constitués de millions de lignes, et sont nécessairement décomposés en milliers de programmes communicants entre eux et hautement hiérarchisés ; ces objets démesurés fonctionnent et ils ont exigé pour leur mise au point qu'on sache théoriquement et pratiquement décomposer un système en composants, concevoir un système par composition et hiérarchies successives, vérifier la bonne communication entre eux via plusieurs notions de comportements. Et bien sûr au cœur de tout cela, la notion d'algorithme, c'est à dire une suite finie d'actions écrite dans un langage de programmation. La pensée informatique (« Computational Thinking » en américain) a été bien décrite par Wing (2006) et Guzdial (2008).

Les thérapies cognitives et comportementales, les TCC, (dont l'hypnose et l'EMDR) formulent des *algorithmes de traitement* et on peut voir là une nouvelle rencontre conceptuelle entre la pensée informatique et la psychologie. Par exemple, *le trouble mental y est pensé comme un bug dans un système de traitement de l'information*, même Freud pense similairement que le refoulement est un « mauvais » traitement de l'information, et ceci avec les mots de son époque. Certaines procédures thérapeutiques des TCC sont quasi algorithmiques et peuvent se faire avec l'aide d'un ordinateur : le patient fixe un point sur l'écran et écoute les consignes du thérapeute, demain ces consignes seront données par un logiciel. Fait nouveau, des entreprises de psychologie (par exemple l'entreprise C2CARE <https://www.c2.care/>) proposent depuis quelques années, un casque de réalité virtuelle avec son logiciel pour des traitements soignant les troubles anxieux, comme les phobies, les addictions, les troubles du comportement alimentaire. L'imagination guidée par le thérapeute est en passe d'être remplacée par la perception dans un casque virtuel. Comment les formations traditionnelles de psychologie vont-elles s'adapter à ces révolutions en cours ?

3 Nouvelles rencontres entre la psychologie et l'informatique

3.1 La frontière entre l'informatique et la psychologie devient perméable.

Des robots qui nous accueillent chez nous, à l'hôtel ou au standard d'une entreprise, au téléphone et nous reconnaissent par la singularité unique de notre voix, des voitures qui se conduisent toutes seules, des robots qui détectent nos émotions, des robots empathiques, des robots sexuels, des robots militaires qui pourront ouvrir le feu selon des programmes non nécessairement contrôlés par des humains, des robots qui

selon Vardi (2013) vont détruire la moitié des emplois actuels (« *Les pharmaciens, les gardiens de prison, les désosseurs de poulets, les baristas occupent tous des emplois que nous pouvons mécaniser* ») des robots qui tondent la pelouse ou passent l'aspirateur, des robots qui communiquent avec des autistes, Facebook qui reconnaît les visages sur les photos, un programme d'IA qui lit mieux sur les lèvres que les humains même spécialistes, des nano-robots qui vont entrer dans notre corps pour nous guérir, des prothèses cognitives pour corriger des atteintes neuronales ou étendre nos facultés mentales, des traders automatiques bien plus rapides que des humains et une foultitude d'autres applications intelligentes sont en préparation dans les laboratoires académiques et privés.

Comment construire des robots ? J'ai, il y a plus de vingt ans, assisté à un séminaire co-animé par Philippe Gaussier, roboticien et Jacqueline Nadel, psychopathologue spécialiste de l'empathie, du mimétisme et de l'autisme : leur idée était d'essayer d'utiliser, voire de transférer nos connaissances humaines sur le développement humain du bébé au développement artificiel d'un bébé robot ; comment induire l'empathie concrète chez un robot ? Comment construire un esprit artificiel ? Comment donner des émotions aux robots ? (Bohler, 2006). Il y a même un thème de recherche qui s'appelle « *affective computing* » qui étudie les systèmes qui reconnaissent, interprètent et simulent les émotions humaines (Devillers, 2015, 2016, 2017) et (Bohler, 2006).

Comme les artistes sont souvent en avance sur la réalité scientifique (relire l'œuvre de Michel Serres qui, dès les années 1960-1970, annonce l'ère des réseaux de communication bien avant leur existence où par exemple il décrypte la théorie de l'information dans les bandes dessinées « Tintin » de Hergé et le fonctionnement de systèmes thermodynamiques dans la série des Rougon-Macquart de Zola), les séries où le héros est capable de lire les pensées (comme Sherlock Holmes ou Le Mentaliste) à partir du comportement se généralisent. Mais Sherlock Holmes ne lisait que le comportement externe, les habits, les mots puis faisait des inductions et il n'accédait pas à la lecture directe des zones du cerveau. Les robots arrivent massivement dans les séries, comme Westworld qui pose la question de la différence entre humains et robots. Un robot peut-il acquérir la conscience, donc devenir humain ?

L'informatique change en profondeur nos pratiques, nos connaissances : la bio-informatique rend possible la manipulation des gènes, l'informatique chimique permet de se promener au milieu des molécules dans un univers visuel adapté. La gestion d'immenses données commence aussi à se faire dans des espaces virtuels adaptés. La simulation informatique permet de simuler des explosions atomiques, de résoudre des problèmes mathématiques en étudiant des dizaines de milliers de cas, chose infaisable pour un mathématicien humain. Les grands cabinets d'avocats commencent à utiliser des programmes (comme Watson de chez IBM) qui lisent 200.000 millions de pages en 3 secondes (Miller, 2016). Les programmes progressent et sont champions du monde du jeu de GO depuis un an. La machine se charge de tâches *mentales* autrefois réservées aux humains. Et on ne peut pas penser qu'elle ne va faire que des choses simples, répétitives et bêtes. Elle va reconnaître aussi bien que nous, voire mieux, les émotions des autres, bientôt les nôtres grâce à des caméras à positions qui verront au travers de nos cerveaux. Ainsi certains de nos territoires intimes sont en passe d'être objectivés et partagés avec des machines...

La frontière entre informatique et psychologie devient perméable. Les compétences fluctuent, l'informaticien devient psychologue de l'attention et des émotions, les psychologues programment en Python et en C et ils participent à la construction de logiciels de traitement des phobies avec des casques de réalité virtuelle, de nouvelles sciences se dessinent. Et les formations pour nos étudiants évoluent-elles ?

3.2 Nouvelles collaborations entre informaticiens et psychologues

Hier, en 1956, il arrivait que des informaticiens rencontrent et discutent avec des psychologues. Entre 1960 et 2000, peu d'informaticiens apprennent ou utilisent des notions de psychologie même s'il y a quelques exceptions comme les concepteurs d'interfaces homme-machine (Collet, Finkel & Gherbi, 1998) et les ergonomes qui s'intéressent à la psychologie de l'attention et de la mémoire. Par exemple, le cockpit du Mirage 2000 avait déjà, dans les années 1980, requis des compétences de psychologie de l'attention pour que les 4 caméras qui filmaient le visage du pilote puissent lui proposer la meilleure vue virtuelle possible optimisant le temps de réaction et d'anticipation du tir¹¹. Mais ces applications, vu leur prix, étaient réservées aux militaires et à quelques autres. Pour le commun des mortels et même pour les chercheurs, il n'était pas facile d'expérimenter des interfaces homme-machine pour analyser l'interaction. A titre d'exemple, j'ai dirigé en 1997 une thèse sur la capture du regard et ses applications possibles à l'ergonomie cognitive et j'avais besoin d'un système qui puisse détecter où se portait sur l'écran la direction du regard. Il n'y avait pas beaucoup de systèmes non invasifs (sans capteurs fixés sur le corps de la personne).

Les cursus de psychologie n'intègrent malheureusement pas d'enseignement des concepts fondateurs de l'informatique c'est-à-dire de la pensée informatique. Cela pourrait advenir car des cursus informatique et histoire, par exemple, existent aujourd'hui¹². Comme l'informatique pénètre l'ensemble des sciences humaines (raisonnement du droit et informatique, système d'information géographique, sociologie informatique, cela pourrait aussi arriver à la psychologie.

Le marché gigantesque des jeux vidéo a créé, accru le développement de recherches appliquées dans de nombreux domaines à la frontière de la technique informatique et de la psychologie : sur la construction de réalité virtuelle qui est devenue de plus en plus crédible. Par exemple, les recherches sur l'expression des émotions par les mimiques faciales d'un visage virtuel se sont beaucoup développées pour créer des personnages virtuels crédibles. La rencontre entre psychologie et informatique n'est pas nouvelle puisqu'après avoir importé les modèles de mémoires et d'organigrammes dans les années 1950, la psychologie utilise des outils informatiques comme les tablettes numériques (Recasens, 2015), les casques de réalité virtuelle et des outils conceptuels de modélisation comme les modèles bayésiens et les réseaux neuronaux (Dumas &, 2010). Dans un futur très proche, les machines numériques vont être capables de lire et d'interpréter notre comportement externe dans ses plus petits micros gestes, la direction du regard, le taux d'humidité, la tessiture de la voix, le rythme cardiaque et bien sûr de comprendre notre langage verbal mais aussi de lire dans notre cerveau pour compléter et corrélérer les informations d'origine externe.

Aujourd'hui même si les cursus des étudiants ont encore peu évolué, une nouvelle réalité s'impose. Le marché des doctorats, des ingénieurs, des digital designers, des concepteurs d'interfaces web recherchent des informaticiens avec des connaissances psychologiques et inversement. Nombre d'annonces recherchent des psychologues sachant programmer en Python, ou des programmeurs ayant des notions de psychologie. L'explosion des neurosciences mêlent neuropsychologie et simulation informatique dans énormément de projets de recherche (dont le projet européen « Human Brain Project ») ; on parle aujourd'hui de neuro-informatique (computational neuroscience, neurobotics) et bientôt probablement de psycho-informatique. Des modèles de l'esprit, comme ACT-R¹³ (Anderson 2007) ou LIDA¹⁴ (Friedlander & Franklin, 2008) sont disponibles sur internet pour téléchargement. Les GPS prennent en compte les positions mentales *allo* (vu de haut, comme une carte) et *ego* (vu à partir de son corps) pour présenter un itinéraire selon les préférences cognitives des utilisateurs ; des recherches actuelles utilisent les environnements virtuels pour étudier les représentations spatiales d'itinéraires (Gras,

¹¹ <http://www.lheritier-alcen.com/fr/applications/recopie-vision-tete-haute-head-display>

¹² Licence et Master à l'Université Paris 1 <http://www.univ-paris1.fr/axe-de-recherche/pole-informatique-de-recherche-et-denseignement-en-histoire/licence/>

¹³ <http://act-r.psy.cmu.edu/>

¹⁴ <http://ccrg.cs.memphis.edu/tutorial/>

Gyselink, Perrussel, Orriols & Piolino, 2013). Ces positions mentales ont d'ailleurs été corrélées avec des zones neuronales (Berthoz, 2007) ; le psychodrame de Moreno, la Gestalt de Perls et la PNL utilisent depuis plusieurs dizaines d'années ces deux points de vue allo et ego ; ainsi que les phénoménologues, aujourd'hui remis au goût du jour pour leur précise observation de la prise de conscience. Le sociogramme de Lewin utilisait, un peu, la théorie des graphes mais de façon artisanale; aujourd'hui, celle-ci est utilisée pour analyser automatiquement les graphes sociaux contenant des millions de nœuds de Facebook qui sont bien sûr impossibles à étudier *à la main*.

Il existe des laboratoires de psychologie appliquée dans de nombreuses entreprises et bien sûr dans des laboratoires académiques. Beaucoup de métiers sont en train d'utiliser la psychologie dont ils ont besoin et de la créer quand elle n'existe pas. Les roboticiens ont besoin d'un esprit artificiel ayant des émotions et captant celles des humains, les assistants téléphoniques ont besoin de comprendre le langage et de reconnaître dans le ton de la voix les modalités émotionnelles, les digital designers ont besoin de comprendre comment l'humain perçoit et pense, les constructeurs de voiture, de téléphone ou de pages web aussi. Les entreprises de cosmétique, par exemple, analysent les réactions comportementales et cognitives d'une personne percevant un parfum, ou même l'affiche d'un parfum. Ils disposent déjà d'une quinzaine de capteurs : la direction du regard, les ondes cérébrales, la tension, le taux d'humidité, le rythme cardiaque; l'analyse des réactions comportementales et intimes du panel leur permet de mieux cibler leur publicité et même de créer un produit qui sera conçu pour répondre à une demande non exprimée mais détectée avant son émergence consciente par de subliminales expériences en laboratoire.

Des concepteurs de stations de tramways ou de métro, comme DesignMatra¹⁵, font expérimenter à leurs futurs utilisateurs des maquettes d'environnements virtuels afin de détecter les indicateurs comportementaux qui vont les satisfaire : ce nouveau maquettage, de l'intérieur, colle à l'esprit de la « cible ». La classe du futur laisse songeur (Miller, 2016):

« Première nouveauté : les enseignants pourront scruter le comportement de leurs étudiants pendant les cours. Ils auront à leur disposition la reconnaissance faciale, une technologie qui permet de jauger les émotions – peur, surprise, joie, dégoût, colère, tristesse. Dans cette classe du futur madrilène, les étudiants livreront aux professeurs leurs données personnelles – le big data de leurs émotions. « Quand nous les avons interrogés, les étudiants étaient d'accord pour partager leurs informations, comme ils ne voient pas d'inconvénients à ce que Google garde trace de leurs recherches pour améliorer son moteur de recherche », explique Martin Boehm, un professeur de marketing. « Cette salle de classe est une réplique, peut-être la meilleure, du traditionnel face-à-face entre l'enseignant et l'élève. C'est une optimisation, pas une révolution » Santiago Iniguez de Onzono, président de l'IE. Les visages des étudiants seront donc constamment observés et analysés. Leurs réponses passeront à la moulinette d'une puissance de calcul qui pourra établir des tendances cognitives. « Nous allons pouvoir observer en temps réel les états d'âme des étudiants. Lorsque l'un d'entre eux sera moins attentif, un cadre rouge clignotera autour de son visage. Je pourrai ainsi m'adresser directement à lui pour relancer son attention », explique Martin Boehm, dont l'image a été utilisée comme hologramme d'accueil. »

On peut penser que, pendant les séances de psychothérapies, un analyseur du langage et du comportement non verbal enregistre et analyse, non pas pour remplacer le thérapeute mais pour compléter les informations captées par celui-ci et pour les corriger si besoin. Pensons aux caméras maintenant acceptées dans les matches de football ou de tennis, après une forte résistance du corps des arbitres qui craignaient probablement de perdre leur place. La voiture du futur va détecter si le conducteur est en état de conduire : fatigué, préoccupé par des pensées parasites, mu par des pulsions agressives pas assez

¹⁵ <http://www.designmatra.com/digital.html>

inhibées,...etc. Plus probablement, la voiture du futur sera automatique et la conduite humaine peut-être interdite...

4 L'analyse cognitive

Je travaille à la *formation des enseignants* depuis 20 ans, et j'ai créé une formation à l'analyse cognitive appliquée aux techniques d'apprentissages (ACTA) pour les enseignants d'université. On pourra lire avec profit, dans ce même numéro, le texte de Rabeyron (2017) qui présente des idées pratiques pour rénover le cours magistral, des articles sur l'utilisation des représentations mentales en mathématiques et informatique (Arnoux & Finkel, 2011 ; Saint-Bauzel & Finkel, 2011, 2012) ainsi qu'un article sur la motivation (Osiurak & al., 2015) qui est un des résultats d'une formation à l'analyse cognitive pour des enseignants de psychologie de l'université de Lyon 2 dans le but d'améliorer la réussite des 700 étudiants de première année de Licence (Plan Réussite Licence, 2010-2011).

Je décris maintenant brièvement l'analyse cognitive (Finkel, 1992 ; Finkel & Tellier 1996, 1998), à titre d'exemple d'utilisation de la pensée informatique dans la modélisation psychologique¹⁶.

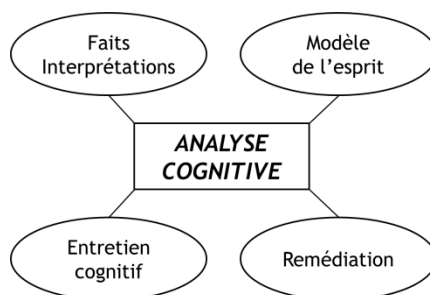


Figure 0 les 4 piliers de l'Analyse Cognitive

L'analyse cognitive est constituée d'un *modèle de l'esprit*, esquissé ici, qui pourrait être raffiné, programmé, comparé expérimentalement comme l'ont fait les développeurs d'ACT-R¹⁷. La *théorie des faits et des interprétations*, (non développée ici) s'inspire d'une connaissance de l'algèbre et de la logique, en essayant de trouver les primitives, les bases minimales qui engendrent l'ensemble souhaité des interprétations. Les *techniques d'entretien cognitif* sont des techniques cliniques qui analysent et utilisent l'ensemble des canaux sensoriels et bien sûr le langage. L'analyse cognitive utilise également les trois empathies : cognitives, émotionnelles et sensorielles et son intuition (dont je parlerai dans un livre à venir). *L'algorithmique de la remédiation* propose des algorithmes de base qu'il s'agira d'utiliser, de contextualiser, de combiner mais jamais d'appliquer comme un robot.

4.1 La théorie de l'analyse cognitive

Comme dans la « théorie computationnelle de l'esprit », l'esprit est vu comme un système qui traite l'information et non comme un organe matériel/énergétique, même s'il est aussi cela. La psychanalyse a également un modèle de l'esprit, nommé métapsychologie par Freud, qui utilise métaphoriquement les sciences de son époque comme la mécanique des fluides et la thermodynamique. Pour l'analyse cognitive,

¹⁶ Ces quelques pages sont un très rapide résumé d'un livre en préparation dans lequel je développerai en détail les thèmes esquissés ici.

¹⁷ <http://act-r.psy.cmu.edu/>

l'esprit est basé sur une architecture cognitive qui permet l'émergence de la perception, de la pensée, des ressentis et de l'action. L'esprit conçoit aussi des algorithmes cognitifs.

Le modèle de l'esprit

Notre hypothèse est que l'esprit utilise un ensemble de cinq modules interconnectés et relativement indépendants (Fodor, 1986) et (Chamak, 2004) : le module Sensoriel contient les informations d'origine sensorielle, le module Émotionnel s'occupe des émotions primaires, le module Symbolique est le module du langage verbal, le module Attentionnel active, focalise l'attention sur tel ou tel module, et enfin le module de la Base des Connaissances contient toutes les connaissances que nous avons élaborées depuis notre naissance (nos croyances, savoirs, histoires et images de soi).

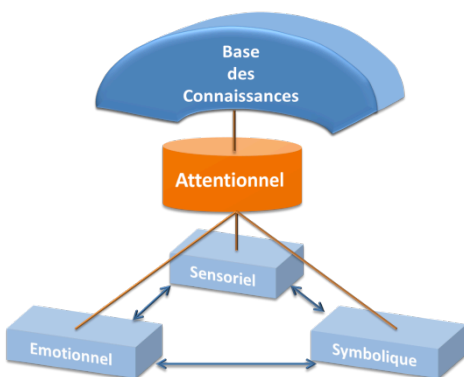


Figure 0 Le Modèle De L'Esprit

Chaque module (sauf celui de la Base des Connaissances) est capable d'évoquer des états mentaux et d'activer des opérations mentales : par exemple, le module Sensoriel est capable d'évoquer un chien et de modifier certains des paramètres de l'image en imaginant celui-ci peint en rose. Le module Symbolique contient 7 opérateurs : la généralisation (à partir de « un chat est mortel », on produit « tous les chats sont mortels »), la négation, les verbes de modalité (pouvoir, vouloir, devoir), les implications logiques, causales (« il m'énerve ») et de signification (« il ne me regarde pas donc il me méprise ») et enfin l'opérateur d'étiquetage comme « il est cela » (« il est doué »).

Précisons les 3 états principaux du module Attentionnel qui caractérisent notre manière de porter attention au monde : nous pouvons être en mode égocentré (acteur) ou allo-centré (spectateur), être focalisé sur un objet (mental ou de perception) ou en mode panoramique sur cet objet ; et finalement notre attention peut se porter sur notre monde intérieur ou sur le monde extérieur.

La pensée peut alors être modélisée par une suite d'états et d'opérations mentaux de chacun des 5 modules. Cette suite peut elle-même être transformée en un algorithme cognitif qui nous informe sur la manière de penser de la personne, permet des comparaisons entre algorithmes de différentes personnes, etc. Munie de ce modèle de l'esprit, l'analyse cognitive permet de transformer un texte (écrit ou parlé dans un langage naturel) en un autre texte, proche sémantiquement du premier et mettant en évidence les états et les opérations des modules de l'esprit concernés : une séquence cognitive est alors construite, puis un algorithme cognitif pourra l'être également.

Entretien cognitif - modélisation et analyse

L'objectif de l'analyse cognitive consiste à comprendre, modéliser et analyser les façons de penser et de faire et d'y remédier, si besoin. Ceci est réalisé au cours de l'entretien cognitif.

L'entretien cognitif a pour visée de comprendre la personne et/ou de lui faire découvrir son fonctionnement cognitif et/ou de modéliser (selon le modèle de l'esprit) ce que fait, pense la personne lorsqu'elle réalise une tâche mentale ou comportementale. L'entretien cognitif utilise des techniques générales d'entretien (écoute active, relances, reformulations, observation du comportement non verbal, empathie, établissement et maintien du contact) notamment développées par Rogers (1996) et Vermersch (1994) auxquelles s'ajoutent des techniques spécifiques à l'analyse cognitive que sont l'analyse et la discussion des faits et des interprétations dans le discours, la recherche des modules utilisés puis

l'élaboration d'un questionnement spécifique à chacun de ces modules. Au cours de l'entretien, est construite la séquence cognitive effectuée par la personne avec qui on converse.

L'étape suivante est d'identifier des régularités, des tests et des boucles dans la séquence cognitive afin de produire un algorithme cognitif (Finkel, Tellier, 1996a) et (Finkel, Tellier, 1996b).

L'analyse cognitive peut alors analyser cet algorithme cognitif, identifier ses points forts (par exemple, bonne utilisation des différentes mémoires sensorielles pour mémoriser) et ses points faibles (par exemple, le nombre de passages dans une boucle trop important ou la sortie d'une boucle sur un critère négatif). Il ne faudrait pas croire que l'analyste cognitif est *mécaniquement cognitif* : les informations élaborées à partir de la situation restent toujours des outils à sa disposition et c'est lui qui décide de leur utilisation et de la manière de les utiliser. Il s'intéresse par ailleurs autant aux émotions qu'aux pensées et tâche de les comprendre avec empathie.

Entretien cognitif - remédiation

L'entretien cognitif de remédiation a pour objectif de changer une situation qui n'est pas satisfaisante. Changer, dans le cadre de l'analyse cognitive...Qu'est-ce que cela signifie ? Soit par exemple les trois changements suivants qui sont volontairement très simples pour cette présentation : modifier ses méthodes de travail en diversifiant ses capacités de représentations ; accroître sa motivation au travail en construisant des objectifs mieux définis ; résoudre un problème psychologique, par exemple « je ne sors pas dans la rue car tout le monde va me regarder et se moquer de moi ».

Regroupons ces différents changements sous la catégorie générale de « modification » d'une connaissance présente dans la Base de Connaissances. La modification peut à nouveau être raffinée en la catégorisant à nouveau comme l'atteinte d'un objectif ou comme la résolution/suppression d'un problème. Souvenons-nous que dans le modèle de l'analyse cognitive, les modifications mentales, plus ou moins volontaires et conscientes, se font exclusivement dans les trois modules « Sensoriel - Emotionnel - Symbolique » de l'esprit. Les modifications peuvent y avoir lieu puis les nouveaux contenus mentaux seront réécrits dans la Base de Connaissances.

Voici quelques techniques de remédiation cognitive : intégrer des ressources (par propositions rationnelles, par suggestions, en montrant des comportements, en faisant faire en imagination ou en réalité) ; modifier les représentations sensorielles d'une connaissance, d'un objectif ou d'un problème ; mettre en évidence les constructions symboliques utilisées à tort (mais sûrement avec des raisons) et induire des changements sur les plans conscient et/ou inconscient ; travailler sur une scène fortement chargée d'une émotion en identifiant les faits, les émotions et les actions et rejouer la scène autrement jusqu'à ce qu'elle puisse être rangée en mémoire déchargée de ses affects trop négatifs et destructeurs.

Voici une synthèse du cadre général d'un entretien cognitif en vue de déterminer un objectif ou de résoudre un problème.

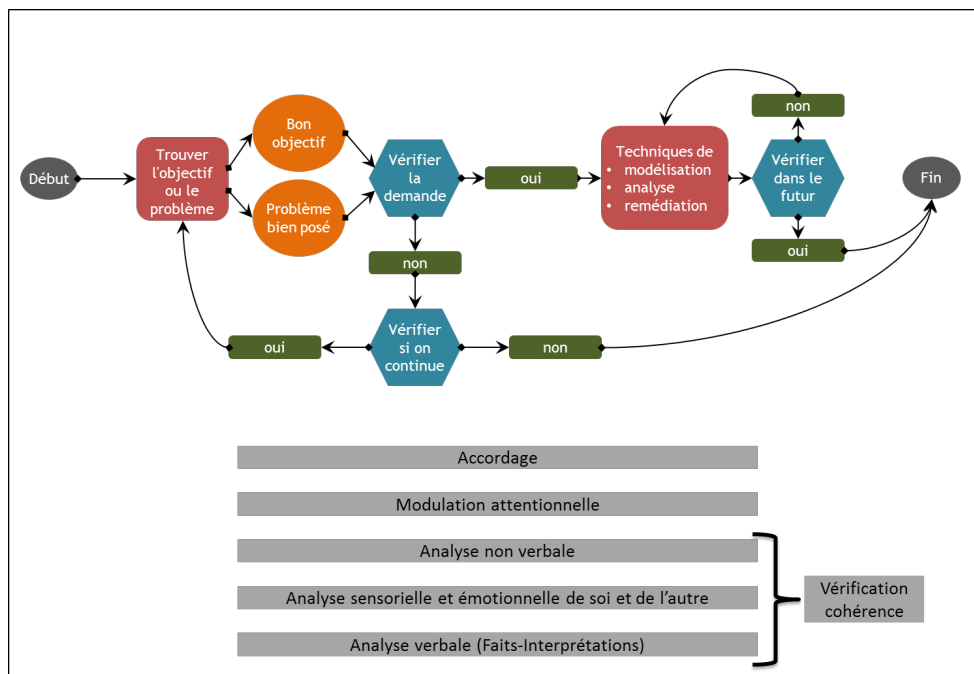


Figure 1 Le Schéma de l'Entretien Cognitif

4.2 Filiation de l'analyse cognitive

L'analyse cognitive se place dans une longue filiation philosophique : Socrate (le dialogue socratique pour aider l'autre à prendre conscience de ce qu'il savait sans le savoir), Epictète (« nos problèmes ne sont pas dans le monde mais dans nos interprétations du monde »), Epicure (« le plaisir est le signe de santé de l'organisme »), Spinoza (les émotions collaborent avec les cognitions), Kant (juger et catégoriser sont des activités cognitives importantes), Schopenhauer (le monde comme représentation), Husserl (1985) (la phénoménologie transcendantale et l'épochè)... Je m'arrête là mais la liste est incomplète¹⁸.

L'analyse cognitive intègre un ensemble de connaissances issues des psychologies scientifiques (cognitive, socio-cognitive, émotionnelle et comportementale) et des psychologies humanistes (Ecole de Palo Alto, les multiples méthodes humanistes représentées par Watzlawick (1980), Rogers (1996), Perls (1977), Satir (1971), Erickson (Haley, 1973), Bandler et Grinder (1975, 1976) et Bandler, Grinder et Satir (1976) ainsi que certains psychanalystes tels Groddeck (1923), Searles (2003, 2005) et Roustang (2002).

L'analyse cognitive n'est pas une approche purement intellectuelle. Comme la psychanalyse (et d'autres méthodes comme la Gestalt notamment), l'analyse cognitive considère que la personne est elle-même un instrument de connaissance, qui, par la prise de conscience et l'analyse de ses ressentis, de ses émotions, de ses pensées et même de ses projections, lui permet de mieux comprendre l'autre et soi-même.

L'analyse cognitive développe des façons de faire pour augmenter la disponibilité à l'écoute de soi et de l'autre : c'est une façon de moduler son attention, similaire à l'épochè (la suspension du jugement) des Grecs classiques et d'E. Husserl, à la disponibilité selon Roustang (2002), au vide des Chinois classiques et même au « vague » d'Adamsberg, le héros des livres de Vargas (1991) et différente de l'attention flottante de Freud mais similaire dans sa visée. Cette disponibilité permet de ne pas juger.

¹⁸ Cette liste contient encore de nombreux autres philosophes dont certains sont peu ou mal connus en Occident comme les philosophes que l'on trouve en Chine et en Inde (voir les livres de F. Jullien) mais aussi en Afrique noire (et probablement partout).

5 Conclusion et perspective

J'ai essayé de montrer que la psychologie numérique va très vite s'imposer et qu'il est donc important pour les psychologues de comprendre la pensée informatique afin d'anticiper et d'influer sur cette révolution. J'ai également présenté l'analyse cognitive, qui est à la fois un modèle et des pratiques, élaborée d'abord pour la formation pédagogique des enseignants d'université et qui intègre des éléments de la pensée informatique.

A titre de perspectives, je propose la création d'un nouveau cursus de psycho-informaticien dans lequel les étudiants apprendraient des notions de psychologie en même temps que des notions d'informatique. Par exemple, les théories du comportement psychologique seraient enseignées avec les théories du comportement en informatique théorique. Les informaticiens disposent de beaucoup de modèles du comportement décrits soit par des machines, soit par des grammaires, ou encore par des logiques ; tout cet arsenal théorique serait certainement utile aux étudiants en psychologie. Les modèles de base de l'informatique que sont les notions d'automates finis, d'automates temporisés, stochastiques, probabilistes fourniraient un stock de modèles pour l'esprit et le comportement inconnus actuellement des étudiants en psychologie. Les algorithmes, les programmes et leurs complexités seraient enseignés en même temps que les « algorithmes » des thérapies cognitives et comportementales. La théorie psychologique du conditionnement et de l'apprentissage serait enseignée en même temps que le Machine Learning et le Deep Learning dont on parle tant aujourd'hui. Les modèles d'esprit qu'utilisent les roboticiens seraient enseignés en même temps que les modèles psychologiques. La logique informatique serait enseignée en même temps que les systèmes de croyances des thérapies cognitives...etc.

Remerciements : Je remercie le comité de rédaction et les relecteurs de la revue « Pratiques Psychologiques » pour leurs commentaires et leurs suggestions ainsi que Christine Le Garlantézec pour sa relecture de l'article et notre longue collaboration sur l'analyse cognitive.

6 Bibliographie

- Anderson, J. R. (2007). *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe ?* New York : Oxford University Press.
- Arnoux, P. & Finkel, A. (2009). Using mental imagery processes for teaching and research in mathematics and computer science. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 41(2), 229-242.
- Bandler, R. & Grinder, J. (1975). *The Structure of Magic*, t. 1, Palo Alto, Science et Behavior Books, (ISBN 08314-0044-7).
- Bandler, R. & Grinder, J. (1976). *The Structure of Magic*, t. 2, Palo Alto, Science et Behavior Books, (ISBN 0-8314-0049-8).
- Bandler, R., Grinder, J. & Satir, V. (1976). *Changing with Families : a book about further education for being human*, Palo Alto, Science et Behavior Books, Inc, (ISBN 978-0831400514)
- Bedi, G., Carrillo F., Cecchi, G. A., Slezak, D. F., Sigman, M., Mota, N. B., Ribeiro, S., Javitt, D. C., Copelli, M. & Corcoran, C. M. (2015). Automated analysis of free speech predicts psychosis onset in high-risk youths. *npj Schizophrenia* 1, Article number: 15030, doi:10.1038/npjshz.2015.30.
- Berners-Lee, T. & Fischetti, M. (1999). *Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web*, Harper San Francisco.

- Berthoz, A. (2007). *Le cerveau et les espaces*. Cours au Collège de France : https://www.college-de-france.fr/media/alain-berthoz/UPL17180_19.pdf.
- Bohler, S. (2006). Les robots imitateurs. *Cerveau & Psycho*, N°18, novembre - décembre 2006.
- Boole, G. (1992). *Les Lois de la pensée*. Paris, Librairie philosophique J. Vrin, coll. « Mathesis ».
- Bournez, O., Dowek, G., Gilleron, R., Grigorieff, S., Marion, J-Y., Tison, S. (2010). *Informatique théorique : Décidabilité et Complexité*. HAL Id: inria-00549416.
- Chamak, B. (2004). Sciences cognitives et modèles de la pensée. *Sens Public : Revue internationale*. http://www.sens-public.org/article.php3?id_article=30
- Chomsky, N. & Miller, G. A. (1958). Finite State Languages. In *Information and Control*, vol. 1, n°2, pages 91-112.
- Chomsky, N. & Miller, G. A. (1962). Introduction to the Formal Analysis of Natural Languages. In R.R. Bush, R. R., Galanter, E. & Luce, R.D (1965). *Handbook of Mathematical Psychology*. 2. Wiley. pp. 269–321.
- Choppy, C. & de Villanova-Oliver M., (2006). Enseignement et sciences cognitives : Entretien avec Alain Finkel, *Bulletin SPECIF n°56, pages 41-45*.
- Collet, C., Finkel, A. & Gherbi, R. (1998). CapRe: A Gaze Tracking System in Man-Machine Interaction. *Journal of Advanced Computational Intelligence* 2(3), pages 77-81.
- Collins, A. M. & Quillian, M. R. (1969) Retrieval time from semantic memory, *Journal of verbal learning and verbal behavior*, vol. 8, no 2, p. 240–247 (PMID 615603750, DOI 10.1016/S0022-5371(69)80069-1).
- Collins, A. M. & Quillian, M. R. (1970) Does category size affect categorization time ?, *Journal of verbal learning and verbal behavior*, vol. 9, no 4, p. 432–438.
- Cordonnier, M. N. (2011). Bientôt des prothèses avec la sensation du toucher ? *Pour la science*.
- Cottraux, J. (1998). *Les thérapies cognitives et comportementales*. Masson.
- Dehaene, S. (1989). *La comparaison des petits nombres: représentation analogique et processus attentionnels*. Éditeur A.N.R.T.
- Dehaene, S. (2010). *La Bosse des maths. Quinze ans après*. Odile Jacob.
- Devillers, L.(2015). Rire avec les robots pour mieux vivre avec. *Journal du CNRS*.
- Devillers, L.(2016). L'empathie des robots. <http://binaire.blog.lemonde.fr/2016/09/16/laurence-devillers-lempathie-des-robots/>
- Devillers, L.(2017). ROBOT. Qu'est-ce que "l'affective computing" ? *Sciences et Avenir Vidéos*.
- Dowek, G. (2007). *Les Métamorphoses du calcul. Une étonnante histoire de mathématiques*. Paris, édition Le Pommier, coll. « Essais ».
- Dumas, G., Nadel, J., Soussignan, R, Martinerie, J., Garnero, L. (2010). Inter-Brain Synchronization during Social Interaction. *PLoS ONE* 5(8) : e12166. doi:10.1371/journal.pone.0012166, Editor : Jan Lauwereyns, Kyushu University, Japan.
- Faurholt-Jepsen, M., Busk, J., Frost, M., Vinberg, M., Christensen, E. M., Winther, O., Bardram, J. E. & Kessing, L. V., (2016). Voice analysis as an objective state marker in bipolar disorder. *Translational Psychiatry* 6, e856; doi:10.1038/tp.2016.123.
- Finkel, A. (1992). Une formalisation de l'expérience subjective. *Rapport 92-4, LIFAC*, ENS de Cachan, (33 pages).
- Finkel, A. & Tellier, I. (1996a). Individual Regularities and Cognitive Automata. *Rapport 96-2, LIFAC*, ENS de Cachan.
- Finkel, A. & Tellier, I. (1996b). The Cognitive Style of Decision Making Narrations. *The Cognitive Level : Language and Mind Modelized*, Duisburg L.A.U.D. Symposium, Series B : Applied and Interdisciplinary Papers 273, pages 41-59.
- Finkel, A. & Tellier, I. (1998). From Natural Language to Cognitive Style. *ICCS'95*, pages 271-279. Kluwer Academic Publishers.
- Fodor, J. A. (1986). *La modularité de l'esprit*. Editions de Minuit.
- Friedlander, D. Franklin, S. (2008): LIDA and a Theory of Mind. *AGI 2008* : 137-148.

- Gras, D., Gyselinck, V., Perrussel, M., Orriols, E. & Piolino, P. (2013). The role of working memory components and visuospatial abilities in route learning within a virtual environment. *Journal of Cognitive Psychology*.
- Groddeck, G. (1923). *Le Livre du ça*. Gallimard 1963. (ISBN 2-07-029389-0)
- Guillaud, H. (2016). Big Data, de la prédiction à l'intervention. *Blog Le Monde*.
- Guzdial, M. (2008). Paving the Way for Computational Thinking, *vol. 51, no. 8, Communications of the ACM*.
- Haley, J. (1973). *Un thérapeute hors du commun : Milton H. Erickson*. Paris, Desclée de Brouwer, (ISBN 0-3933-1031-0).
- Houdé, O. (2016). *Histoire de la psychologie*. Collection : Que sais-je ? Discipline : Psychologie et Psychanalyse.
- Husserl, E. (1985). *Idées directrices pour une phénoménologie*. Gallimard, coll. « Tel », 567 p. (ISBN 2-07-070347-9).
- Johnson-Laird, P. N. (1988). *Computer and the Mind: An Introduction to Cognitive Science*. Harvard University Press. ISBN 978-0-674-15616-6.
- Kahneman, D. (2012). *Système 1 / Système 2 : Les deux vitesses de la pensée*. Flammarion, coll. « Essais », 545 pages.
- McCulloch, W. & Pitts, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5: 115. doi:10.1007/BF02478259
- Mercader P. (2007). La formation en psychologie : du savoir à la culture. *Pratiques Psychologiques*.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K.H. (1960). *Plans and the Structure of Behavior*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Miller G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review* by the American Psychological Association Vol. 101, No. 2, 343-352.
- Miller, M. (2016). Les robots ébranlent le monde des avocats. *Le Monde Economie*, http://www.lemonde.fr/o21/article/2016/11/29/les-robots-ebbranlent-le-monde-des-avocats_5039852_5014018.html#xtor=AL-32280270
- Miller, M. (2016). A Madrid, des étudiants sous l'œil du big data. *Le Monde Economie*.
- Milner, R. (1980). *A Calculus of Communicating Systems*. Springer.
- Milner, R. (1989). *Communication and Concurrency*. Prentice Hall.
- Nicogossian, J. & Castagnet, C. (2016). L'amour d'un robot ? <https://www.mmmieux.fr/le-mag/actualites-saisonnières/lamour-dun-robot.html>.
- Osiurak, F., Faure, J., Rabeyron, T., Morange, D., Dumet, N., Tapiero, I., Poussin, M., Navarro, J., Reynaud, E. & Finkel, A. (2015). Déterminants de la procrastination académique : motivation autodéterminée, estime de soi et degré de maximation. *Pratiques psychologiques* 21, 19–33.
- Perls, F. (1977). *Rêves et existence en gestalt thérapie*. EPI.
- Petitmengin, C. (2001). *L'expérience intuitive*. L'Harmattan.
- Rabeyron, T. (2017). De l'art oratoire en milieu universitaire, entre psychanalyse et neurosciences cognitives. *Pratiques psychologiques*.
- Recasens, C. (2015). Le numérique au service de la personne avec autisme. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpsy.2015.09.155>.
- Rogers, C. (1996). *Le Développement de la personne*. Dunod.
- Roustant, F. (2002). *Qu'est-ce que l'hypnose*. Editions de Minuit.
- Saint-Bauzel, R. & Finkel, A. (2011). Se représenter pour mieux apprendre : les représentations mentales comme outils didactiques favorisant la transmission du savoir. *53ème Congrès de la Société Française de Psychologie*, Metz.
- Saint-Bauzel, R. & Finkel, A. (2012). Qu'est-ce qu'une représentation efficace pour favoriser les apprentissages ? *54ème Congrès de la Société Française de Psychologie*, Montpellier
- Satir, V. (1971). *Thérapie du couple et de la famille*. Traduction par Alla Destandau-Denisov, Epi.
- Searles, H. (2003). *L'effort pour rendre l'autre fou*. Gallimard, coll. « Folio-Essais », (ISBN 2070427633).

- Searles, H. (2005). *Le Contre-transfert*. Gallimard, coll. « Poche-Folio », 2005 ISBN 2-07-030712-3.
- Serfati, M. (2000). A la recherche des lois de la pensée, *Math. & Sci. hum.*, 38ème année, n°150, p. 41-79.
- Sermondadaz, S. (2016). La prochaine révolution scientifique viendra-t-elle du deep learning ? *Sciences et Avenir/High-tech/Data*.
- Van Langenhove, A., Bekaert, M. H., N'Guyen, J-P. (2008). Utilisations thérapeutiques des interfaces cerveau-ordinateur. P. G. N. Vigouroux, Ed. Paris : Cépaduès. *HANDICAP'2008*, Jun 2008, Paris, France. pp. 207-212, 2008. <hal-00804936>
- Vardi, M. Y., (2013). The Great Robotics Debate: Are robots and automation destroying more jobs than they are creating?, *Communications of the ACM*, Vol. 56 No. 7, Page 5, 10.1145/2483852.2483853.
- Vargas, F. (1991). *L'Homme aux cercles bleus*. Hermé. ISBN 2-86665-143-X.
- Vermersch, P. (1994). *L'Entretien d'explicitation en formation continue et initiale*. ESF.
- Watzlawick (1980). *Le langage du changement. Éléments de communication thérapeutique*. Seuil.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking, *Communications of the ACM*. 49 (3): 33. doi:10.1145/1118178.1118215.