



HAL
open science

La formation du concept scientifique d'information

Mathieu Triclot

► **To cite this version:**

Mathieu Triclot. La formation du concept scientifique d'information. Séminaire INCM, Institut de neurosciences cognitives de la Méditerranée, Oct 2008, Marseille, France. halshs-00514078

HAL Id: halshs-00514078

<https://shs.hal.science/halshs-00514078>

Submitted on 22 Feb 2018

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.

Bonjour,

Je remercie Jean-Vion Dury pour son invitation.

L'objet de cette intervention est « la formation du concept scientifique d'information ». Il y a derrière cet intitulé une question extrêmement simple. L'idée de traitement de l'information est aujourd'hui quelque chose qui s'est totalement banalisé dans nos discours. On dira sans aucun mal de choses extrêmement diverses qu'elles traitent de l'information : les protéines traitent de l'information, les programmes informatiques traitent de l'information, certaines machines traitent de l'information, l'esprit traite de l'information, les neurones traitent de l'information, le cerveau de même, etc, etc, et pourquoi pas, des acteurs économiques, des sociétés, et ainsi de suite.

Ces notions de traitement de l'information, de message, de code, de communication traversent des disciplines extrêmement diverses

Mais ce qui devrait retenir notre attention, c'est le fait que cette notion d'information aujourd'hui si répandue possède une histoire extrêmement brève. C'est-à-dire que les tournures que j'ai employées n'ont guère plus de 60 ans.

Norbert Wiener, le mathématicien américain, qui sera un des acteurs centraux de notre histoire, dit cela de manière très efficace. Pendant très longtemps, avec la révolution scientifique du 17^e et du 18^e siècle, on a tout considéré en sciences sous l'angle du mécanisme, avec l'horloge comme modèle ultime des opérations physiques. Puis avec le 19^e est venue la métaphore de l'énergie et de la machine thermique. Aujourd'hui, nous sommes rentrés dans un moment de description en termes de communication généralisée ou d'information.

Ce genre de déclaration vaut ce qu'elle vaut ; mais, à ce niveau là de généralité, cela suffit au moins à pointer le problème.

De là, notre question pour aujourd'hui : comment le terme d'information a-t-il été investi par le discours scientifique ? Et qu'est-ce qu'il y a derrière cet investissement ? Que disons-nous lorsque nous disons « x traite de l'information » ?

Je ne vais pas faire durer le suspense. Il n'y en a pas. On connaît parfaitement le moment où ce terme d'information fait son apparition sur la scène scientifique, dans un projet qui est un projet d'unification des sciences autour de ce nouveau vocabulaire informationnel. Ce moment, c'est le moment de ce qui s'est appelé aux Etats-Unis la cybernétique, au tournant des années 1940-1950. L'extrême dispersion contemporaine du terme est en quelque sorte contenue dans le projet originel.

Ce que je vous propose de faire aujourd'hui, c'est de revenir sur cette histoire de la construction du concept d'information dans la cybernétique, en deux temps.

Je vais d'abord commencer par poser le cadre et essayer de vous montrer comment la cybernétique a construit son concept d'information en rassemblant des disciplines très diverses.

J'essaierai ensuite de pointer quelques limites de ce processus d'unification autour de la notion d'information. En particulier, j'ai défendu l'idée qu'il n'existe pas une et une seule représentation de l'information durant la période. Donc que ce concept à qui on entend faire jouer un rôle unificateur extraordinaire, n'est pas si unifié qu'il en a l'air. Il recouvre des projets scientifiques distincts qui vont d'ailleurs éclater après la cybernétique. J'essaierai de vous montrer ça sur un point en particulier du côté des débats autour de la neurobiologie cybernétique et de l'œuvre de McCulloch et Pitts. Ici, ce qui est en jeu, c'est la signification d'un modèle informationnel du cerveau ou de l'esprit, dans les années 1950. Je suis trop éloigné des recherches contemporaines pour ça fonctionne encore aujourd'hui, mais c'est précisément l'intérêt de cette rencontre.

On est donc ici dans un épisode, à mon sens intéressant, de la préhistoire des sciences cognitives.

*
* *

Commençons par le commencement. Qu'est-ce que la cybernétique ? D'où provient le concept scientifique d'information ?

1.1

Qu'est-ce que la cybernétique ? Le terme est forgé en 1948 par Wiener. C'est le titre de l'ouvrage qu'il publie la même année, *Cybernetics*, et qui est l'un des best-sellers les plus inattendus de la littérature scientifique. Le terme cybernétique est construit à partir de la racine grecque Kubernetes, qui signifie le pilote, le pilote du navire. Cybernétique renvoie ainsi à l'une des deux notions clés de la discipline, la notion de contrôle, de contrôle par rétroaction ou contrôle par feedback négatif. Wiener avait songé à appeler son livre « angelos », pour messenger, mais il a reculé devant la connotation religieuse.

La définition de la cybernétique nous est donnée par le sous-titre de l'ouvrage : science du contrôle et de la communication dans l'animal et la machine. Il suffit de parcourir l'ouvrage de 1948 pour voir que celle-ci englobe un ensemble très large d'objets qui vont de la théorie des nouveaux calculateurs mécaniques à la sociologie, en passant par la mécanique statistique, la linguistique ou encore la neurobiologie.

Cybernétique va donc baptiser à partir de ce moment là un mouvement scientifique pluridisciplinaire qui existait déjà. Ce mouvement regroupe autour d'un noyau de mathématiciens et d'ingénieurs, Wiener, mais aussi John Von Neumann ou Claude Shannon, des représentants des sciences du vivant, comme le physiologiste Arturo Rosenblueth ou le neurobiologiste Warren McCulloch, des représentants des sciences de l'esprit ou encore des sciences sociales, de l'anthropologie en particulier, avec le couple Gregory Bateson, Margaret Mead.

En dépit des efforts de Wiener, la cybernétique ne parviendra jamais à s'installer comme discipline en bonne et due forme dans le paysage américain. Le centre de recherche cybernétique dont rêvait Wiener au MIT ne verra jamais le jour. Du coup, la cybernétique sera une discipline sans lieu institutionnel fixe. Les membres du groupe se retrouveront lors des conférences Macy, organisées par la fondation du même nom, à partir de 1947.

Donc cybernétique désigne un ensemble de recherches pluridisciplinaire centré autour des notions de communication et de contrôle.

1.2

Qu'en est-il maintenant de la situation du terme information et de sa constitution en un concept scientifique dans le sillage de la cybernétique ?

Schématiquement, le concept scientifique d'information apparaît d'abord comme le résultat d'une sorte de synthèse qui est opérée au sein des disciplines de l'ingénieur, pendant la seconde guerre mondiale, c'est-à-dire dans ce contexte bien particulier qui est celui des recherches de guerre. Un contexte bien particulier parce qu'on a à la fois un cloisonnement des recherches sous secret militaire, et une immense circulation des savoirs, puisqu'on va demander à des mathématiciens, mais pas seulement, aussi des psychologues, des sociologues, de mettre leur nez dans les problèmes des ingénieurs. La cybernétique est clairement un des produits de ce style de recherche là.

Qu'est-ce qu'on trouve du côté de l'ingénierie ? La cybernétique se présente comme la synthèse de trois domaines qui sont chacun d'une importance décisive : le domaine des communications à distance, le domaine du contrôle par feedback et le domaine du calcul mécanique avec la séquence d'évènements qui donnera lieu à la naissance de l'informatique.

Je les prends un à un, avec une attention particulière pour la théorie des télécoms ; puisque c'est dans le champ de la théorie des télécoms que l'on va trouver la première mesure mathématique de la quantité d'information. Avec en particulier, les articles de Claude Shannon pour la revue des laboratoires Bell en 1948. Ce qu'on appelle aujourd'hui la théorie de l'information. On a des résultats tout à fait similaires chez Wiener à la même époque. Ces recherches sur la mesure mathématique de la quantité d'information s'appuient sur une tradition d'ingénierie qui remonte aux années 1920, dans le contexte des télécommunications. Je rappelle très brièvement le principe de la définition de Shannon. On imagine la situation de communication comme une situation dans lequel l'émetteur du message choisit le message transmis parmi un ensemble de messages possibles. Plus il y a de messages disponibles entre lesquels choisir, plus l'incertitude pesant sur le message choisi du point de vue du destinataire sera élevée, et plus l'information acquise à la réception du message sera importante. Autrement dit, il y a plus d'information dans un message hautement improbable que dans un message dont le contenu est entièrement prévisible. A la limite, si je n'ai qu'un seul message à transmettre, alors il n'existe aucune indétermination à la réception, la quantité d'information est nulle et l'opération de communication elle-même superflue.

Sur ce principe, Shannon obtient la célèbre formule: la quantité d'information est $H = -k \sum p_i \log_2 p_i$.

Cette formule nous donne l'unité d'information, le digit binaire ou le bit qui correspond au choix entre deux symboles équiprobables.

Une dernière remarque sur cette définition. Il faut bien voir qu'on a affaire à la fois à quelque chose d'extraordinaire du point de vue des applications en théorie des communications, notamment en ce qui concerne la question du codage des messages, et à quelque chose d'extrêmement limité ou difficile à transposer dans d'autres contextes. En particulier, la définition de Shannon laisse de côté comme il le dit lui-même totalement la question de la signification des messages. Un message hautement signifiant comportera sans doute une quantité moindre d'information au sens de Shannon qu'une suite de symboles choisie au hasard.

Cela ne va pas empêcher la cybernétique de proposer la généralisation de la mesure de Shannon à d'autres domaines. Et elle va s'appuyer pour cela d'une part sur des résultats du côté de l'ingénierie, mais aussi d'autre part sur un élément bien précis de la démonstration de

Shannon, qui est l'analogie de formule entre la mesure de l'information et la mesure en physique statistique de l'entropie. Shannon nomme d'ailleurs sa mesure de la quantité d'information entropie, puisqu'il s'agit de la même formule. Toute la question est alors de savoir si cette analogie peut représenter quelque chose de réel, c'est-à-dire si l'information ne serait pas un terme physique fondamental, aussi fondamental que l'entropie. C'est une question qui mériterait une intervention toute entière. Je ne rentre pas dans le débat. Qu'il me suffise de dire que cette analogie information-entropie a constitué le plus gros espoir d'extension de la théorie de Shannon hors du strict domaine de l'ingénierie des communications du point de vue de la cybernétique. Avec quelque chose qui est typique de la cybernétique : une lecture physicaliste de l'information ; on y reviendra.

Je vais plus vite sur les deux autres domaines. Sur le plan technique, le résultat le plus important de la cybernétique, c'est sans doute d'avoir proposé une synthèse entre la théorie de la communication et la théorie du contrôle par feedback négatif. Cette synthèse se fait essentiellement sur un plan méthodologique, dans le travail de guerre de Norbert Wiener, qui montre que la question de la prédiction optimale, la question du filtrage des messages, la question de la stabilité du contrôle relèvent essentiellement des mêmes outils statistiques. Là, où on avait des cultures d'ingénieurs cloisonnées, la cybernétique propose un ensemble unifié.

Enfin du côté du calcul mécanique, la situation est assez simple. Nous retrouvons parmi les pionniers de l'informatique des membres clés du groupe cybernétique. Norbert Wiener, bien sûr, qui présente dès le début de la guerre des plans pour une machine numérique électronique à mémoire de masse. Mais surtout John Von Neumann, à qui on doit l'énoncé des principes de design des machines que nous appelons aujourd'hui ordinateurs, dans le fameux rapport First Draft of a Report on the Edvac, de juin 1945. Je n'ai pas besoin d'insister sur le fait que l'informatique va adopter très rapidement le nouveau vocabulaire de l'information et de la quantité d'information, avec le bit comme unité de mesure. Il n'y a là rien d'étonnant, ce sont les mêmes personnes qui circulent d'un champ à un autre.

Si on regarde la situation avec un peu de recul, on se rend donc compte qu'il y a toute une série de champs de l'ingénierie qui passent sous un vocabulaire relativement unifié : télécommunications, contrôle par feedback et calcul mécanique. Tout se passe comme si, à l'issue de la guerre, on avait un nouvel ensemble technique, avec des machines inédites, qui stupéfient le public, un nouvel ensemble technique organisé autour des principes de la communication et du traitement de l'information. Wiener dit cela très bien dans *The Human Use of Human Beings*, son ouvrage de vulgarisation en 1950 : l'objet aujourd'hui, c'est la communication entre machines et entre hommes et machines.

C'est sans doute une partie de l'explication du succès public de la cybernétique après-guerre : voilà une discipline qui promet de rendre compte du nouveau monde technique issu de la guerre.

1.3

Mais on n'en reste pas là. Et c'est ce point qui nous intéresse. Le propre de la cybernétique c'est de ne pas s'être contentée de cette entreprise d'unification technique, mais d'avoir considéré que l'information possédait une réalité en soi, constituait un nouveau terme pour la connaissance en général. On a découvert une réalité nouvelle qui avait jusqu'ici échappé à la connaissance. C'est très net lorsque Wiener dit par exemple : il y a trois réalités fondamentales, matière, énergie et information. Ou situation du démon de Maxwell. Il faut ouvrir les yeux sur une réalité nouvelle.

Du coup, ce qui est intéressant, c'est la manière dont ce concept d'information qui s'élabore d'abord dans le domaine technique, va passer du côté d'autres domaines de sciences. Et le phénomène intéressant c'est que cela va se faire très tôt, et on a presque envie de dire immédiatement. En un sens la métaphore de l'extension à partir du domaine technique est presque abusive, puisque les problématiques technologiques sont presque immédiatement traversées par des questions disons biologiques. Pour le cas des sciences sociales, c'est différent, un peu plus tardif, avec des liaisons moins fortes.

J'essaie de vous montrer cela sur deux points qui sont particulièrement frappants : le cas de la théorie du rétrocontrôle chez Wiener, le cas de la formalisation des principes de l'informatique chez Von Neumann.

Reprenons la chronologie. A l'hiver 1940, Wiener signe un contrat avec la division D2 du NDRC, l'organisme chargé de piloter les recherches de guerre, pour la construction d'un dispositif de tir anti-aérien. Le principe est simple : il faut anticiper le comportement futur de la cible en fonction des informations sur sa trajectoire passée. Très vite Wiener arrive à la conclusion qu'une théorie générale de la prédiction ne peut fonctionner que sur une base statistique. Dès lors, le projet change de nature, puisqu'il faut réunir des données sur le comportement des pilotes face au feu ennemi ou le comportement des opérateurs de tir. On a quelque chose qui est tout à fait typique de la seconde guerre mondiale et qui trouvera son apogée en un sens dans ce qu'on a appelé la recherche opérationnelle en Grande Bretagne, avec une étude pluridisciplinaire de l'optimisation des interactions hommes-machines dans le situation de combat. Etudes dans lesquelles vous retrouvez des mathématiciens, des ingénieurs, mais aussi des psychologues, des physiologistes, des sociologues...

Du côté de Wiener, cela se fait à plus petite échelle. Il visite, avec Julian Bigelow l'ingénieur associé au projet, quelques bases aériennes, ce qui sera d'ailleurs à l'origine de la rupture de leur contrat. On leur reprochera de ne pas respecter les règles de sécurité et de secret. Mais surtout ils font appel à un ami de longue date de Wiener le physiologiste mexicain Arturo Rosenblueth.

L'idée qui se fait jour dans ces rencontres c'est le fait que les dispositifs de conduite de tir peuvent servir de modèle plus général pour l'ensemble des comportements finalisés.

Autrement dit, on dispose maintenant de machines qui sont en un sens ouvertes sur leur environnement et qui sont capables de s'adapter en fonction des informations qu'elles reçoivent. L'idée qu'il y a derrière, c'est que ces nouvelles machines à information abolissent la frontière entre le vivant et la machine. Qu'est-ce qui distinguait traditionnellement vivant et machine ? Réponse la finalité. La capacité qu'ont les vivants à agir en fonction d'un but et de s'adapter pour réaliser ce but. Désormais on se retrouve avec des automates qui remplissent exactement la même fonction. Cela explique le sous-titre du livre de 1948 : science du contrôle et de la communication chez l'animal et la machine.

De là, la question : est-ce qu'on ne pourrait apprendre du design des machines, en particulier de l'usage du rétro-contrôle, pour ce qui est de la connaissance physiologique ?

Wiener, Rosenblueth et Bigelow arrivent à la conclusion qu'il existe des pathologies du comportement humain qui résultent d'un excès de feedback. C'est quelque chose que les ingénieurs connaissent. Les mécanismes rétrocontrôlés peuvent échouer soit par défaut de feedback, soit par excès. Dans ce dernier cas, chaque mouvement de correction dans un sens entraîne une correction dans l'autre sens ; de ce fait, le dispositif rentre dans une série d'oscillations incontrôlées. Rosenblueth fait état de pathologies humaines qui pourraient procéder d'un mécanisme similaire.

Ces problématique se trouvent rassemblées et exposées dans ce qui est le premier article annonciateur du mouvement cybernétique « Purpose, Behavior and Teleology », cosigné en 1943 par Wiener, Rosenblueth et Bigelow.

Donc on passe très rapidement de l'idée de machines à information et à feedback à l'idée que l'on peut transférer les connaissances obtenues sur ces machines dans le domaine de la physiologie.

Mais la liaison entre connaissances techniques et connaissance biologique est encore plus forte dans le cas de l'informatique. Je ne suis pas sûr que ce fait soit tellement connu. On a souvent dit que la métaphore de l'ordinateur comme un cerveau géant avait accompagné les débuts de l'informatique. C'est en un sens tout à fait faux ! En réalité la question du rapport entre ordinateur et cerveau est là depuis le début, avec un rôle qui est bien plus que celui d'une simple métaphore.

Prenons le fameux First draft of a report on the Edvac, qu'est-ce que nous y trouvons ? On voit Von Neumann définir les principes logiques de la nouvelle machine. Sur quelle base le fait-il ? Réponse : en citant et en utilisant le formalisme issu d'un article de neurophysiologie, qui est le deuxième pilier de la cybernétique, l'article de McCulloch et Pitts publié en 1943 dans le bulletin of mathematical biophysics, « un calcul logique des idées immanent à l'activité nerveuse ». Dans cet article, McCulloch et Pitts ont proposé un modèle du neurone, conçu comme un dispositif binaire à seuil. Le neurone reçoit des impulsions provenant de ses synapses. Si la somme de ses impulsions est supérieure à un certain seuil qui est fixé, et s'il n'y a pas d'impulsion inhibitrice, alors le neurone est mis à feu et transmet à son tour une impulsion et ainsi de suite. C'est ce modèle biologique que Von Neumann reprend explicitement à son compte pour construire le design de ces nouvelles machines qui deviendront nos ordinateurs.

Donc, ce que l'on peut retenir de ce premier temps de l'exposé, c'est le fait que le passage se fait très vite entre la définition de l'information obtenue dans le domaine technique et les sciences du vivant ; et on peut même dire dans le cas de l'informatique, que la relation est à front renversée, puisque la définition technique puise cette fois-ci dans le vivier de la connaissance biologique.

Derrière tout cela se profile l'idée que l'information serait une réalité fondamentale, un composant de l'univers au même titre que la matière ou l'énergie.

Enfin, nous avons un deuxième cercle d'extension autour du noyau technique, qui concerne l'importation dans les sciences sociales. L'anthropologie en particulier, mais aussi la psychologie. Je passe là-dessus.

Pour finir, ce premier tour d'horizon des différents domaines dans lequel le concept scientifique d'information joue un rôle, une citation de Norbert Wiener qui résume la situation de la cybernétique en 1948.

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, j'ai étudié les nombreuses ramifications de la théorie des messages. Au-delà de l'ingénierie électrique pour la transmission des messages, il y a un champ plus vaste qui n'inclut pas seulement l'étude du langage mais aussi celle des messages comme moyens de contrôle des machines et de la société, le développement des machines à calculer et autres automates de même sorte, certaines réflexions sur la psychologie et le système nerveux, et un nouvel essai de théorie de la méthode scientifique. Cette théorie plus vaste des messages est une théorie probabiliste, une partie intrinsèque du mouvement enclenché par Willard Gibbs [en physique statistique].

A sa pleine extension, la cybernétique rassemble un nombre de disciplines impressionnant. Ce qui fait le foyer d'unité, c'est une conception physicaliste de l'information, qui emprunte à la mécanique statistique.

*
* *

De là, la question suivante : est-ce bien unifié ? On a vu une opération extraordinaire de synthèse, mais si on ouvre la boîte noire, est-ce qu'on ne peut pas détecter des lignes de fêlure dans le concept.

A lire tous ces textes, je suis arrivé à la conclusion que si on regarde un peu derrière l'unité de façade de cette notion d'information qui s'étend de l'ingénierie aux sciences sociales, on discerne assez vite des représentations différentes de ce qu'est l'information.

Je vais le dire de la façon la plus brève possible. Il y a au fond deux manières de se représenter ce que c'est que l'information. On peut se représenter l'information comme une suite de symboles, les fameux 0 et 1. Et à ce moment là, on est dans de l'information discrète. Ou bien on peut se représenter l'information comme un signal, la variation d'une quantité continue.

Symbole ou bien signal, en apparence, il n'y a là qu'une opposition de surface. Tout le monde sait bien, en particulier en théorie des télécommunications, que l'on peut convertir un signal continu en signal discret, par un procédé d'échantillonnage.

L'idée que je défends c'est que ce partage entre le symbole et le signal détermine en réalité programmes de recherche différents. Pour le dire simplement, ce qui me semble caractéristique de la cybernétique, c'est d'avoir défendu une vision physicaliste de l'information, donnant privilège au signal sur le symbole. Vous allez trouver cette idée récurrente que le comportement discret n'est en réalité que l'émanation d'une dynamique sous-jacente continue. On trouve cela aussi bien chez Von Neumann que chez Wiener, dans les conférences Macy.

De là la grande théorie, sans doute fautive de la cybernétique, qui associe information et entropie. L'information serait dans cette interprétation physicaliste l'inverse de l'entropie. Entendre, l'information représenterait la quantité d'ordre ou de structure d'un agencement matériel, là où l'entropie représenterait la quantité de désordre et d'indifférenciation. Je cite Wiener.

Mais où se situe alors la différence si celle-ci ne joue pas sur le plan technique ? Faire de l'information un terme physique nous renvoie à la question du rapport entre la matière et la forme. Ici, il y a un point important philosophiquement. Puisque le symbole s'inscrit toujours dans une matière, mais une matière qui lui demeure indifférente, alors que le signal exprime l'état d'un agencement matériel. La relation entre matière et forme dans le cas du symbole relève d'une simple décision conventionnelle. Le type d'objet importe peu. Alors que dans le cas du signal, nous sommes dans une relation naturelle entre le signe et ce qui est exprimé. D'un côté une forme dans une matière, de l'autre une matière qui prend forme.

Je crois que ce rapport entre matière et forme dans le concept d'information peut donner une clé de lecture des débats autour du programme de recherche en psychologie et en neurologie.

Précisément, à ce moment qui a été considéré comme le moment fondateur des sciences cognitives. Je pense ici à ce que Howard Gardner, qui a écrit une histoire des sciences cognitives, dit de la cybernétique.

Je vous propose donc pour finir, d'examiner les querelles d'interprétation autour du travail de McCulloch et Pitts. Autour du fameux article de 1943, « un calcul logique des idées immanent à l'activité nerveuse ».

Je rappelle qu'on trouve dans cet article un modèle logique de l'activité nerveuse, qui repose sur l'assimilation des neurones à des automates binaires à seuil. L'objet de l'article est de montrer que de tels réseaux peuvent calculer tout ce qu'une machine de Turing peut calculer. Du coup, si on accepte l'idée que la pensée est une forme de calcul sur des états mentaux, alors on sait désormais que le cerveau pourrait posséder les capacités logiques pour implémenter un tel calcul. Autrement dit, si la pensée est un calcul, et le cerveau un calculateur, alors on peut concevoir que le cerveau, envisagé sur le plan du traitement de l'information, puisse être le siège de la pensée. Nous entrons comme le dit McCulloch dans l'antre du métaphysicien. Entendre : une vieille question de la métaphysique, la question du rapport entre l'esprit et la matière, l'âme et le corps, trouve enfin sa solution sur le plan empirique. La question de l'incarnation de l'esprit.

Dit encore autrement l'article de 1943 autorise la grande métaphore : l'esprit est au cerveau, ce que le programme est à la machine physique. L'esprit est dans le cerveau, comme un programme informatique sur un calculateur. Il y a toute une ligne de pensée qui se cristallise dans ces années là et qui mène à la question de Turing en 1950 : est-ce qu'une machine pourrait penser ? Réponse oui, si la pensée est un calcul, si le cerveau est un calculateur, alors on peut imaginer faire tourner le programme pensée, pourvu qu'on soit capable de le décoder, sur une machine de calcul universelle.

C'est de la spéculation... Mais une spéculation qui joue un rôle, puisqu'elle définit un programme de recherche : décoder les lois de la pensée ou montrer comment le cerveau peut fonctionner comme un calculateur. On voit bien combien l'article de McCulloch et Pitts peut être important dans cette perspective là.

Reste que l'on peut s'interroger sur ce qu'apporte réellement le résultat de McCulloch et Pitts. Nous en arrivons donc au débat d'interprétation que l'on trouve dans le sillage de l'article.

Première ligne de partage : le modèle de McCulloch et Pitts a-t-il une valeur biologique ou seulement logique ?

Dans la présentation qu'il donne en 1968 des automates de McCulloch et Pitts, Marvin Minsky, l'un des pères fondateurs de l'intelligence artificielle, ancien élève de McCulloch, insiste sur la dimension purement logique du modèle proposé en 1943.

Il faut comprendre clairement que ni McCulloch et Pitts ni le présent auteur ne considèrent ces dispositifs comme des modèles physiologiques exacts des cellules et des tissus nerveux. Ils ne sont pas conçus dans cette perspective. Ils sont conçus pour représenter et analyser la logique des situations de tout processus discret, que ce soit dans le cerveau, dans la machine ou n'importe où ailleurs.

Minsky interprète le travail de McCulloch et Pitts, dans sa finalité même, comme un travail de logiciens, attentifs à dégager les possibilités calculatoires issues de réseaux composés d'éléments simples interconnectés, mais indifférents à la réalisation physique.

On trouve une interprétation similaire dans l'introduction que donne Seymour Papert, autre grand nom de l'IA, au recueil *Embodiments of Mind* :

Entre la classe des fonctions combinatoires triviales calculables par la logique booléenne simple et la classe trop générale des fonctions calculables par les machines de Turing, il y a des classes intermédiaires de fonctions déterminées par la propriété mathématique la plus universelle et naturelle du réseau : son caractère fini. Il s'agit de pures mathématiques.

A lire Papert ou Minsky, McCulloch et Pitts doivent être d'abord crédités d'un travail de mathématiciens ou de logiciens : l'étude d'une classe de réseaux finis. La théorie des neurones formels est dès lors interprétée comme une théorie purement abstraite.

Cette lecture, historiquement importante, est manifestement totalement en porte à faux avec le projet de McCulloch et Pitts.

Il suffit de lire la conclusion de l'article de 1943.

Ainsi, des aspects formels et finalisés de cette activité que nous avons l'habitude d'appeler « mentale » sont rigoureusement déductibles de la neurophysiologie actuelle. [...] Le psychiatre] peut s'appuyer sur la conclusion également valide que ces observables ne sont explicables qu'en termes d'activité nerveuse qui, jusqu'à récemment, étaient hors de portée. [...] Il est certain que pour le psychiatre, avec de tels systèmes, on n'en est plus au stade où « l'esprit avance plus fantomatique qu'une ombre ». Au contraire, on peut comprendre la mentalité malade dans toute son étendue sans perdre la rigueur des termes scientifiques de la neurophysiologie.

Le but de McCulloch et Pitts est bien de réduire les états mentaux « fantomatiques » à la dure réalité physique d'un calcul neuronal réel, et non seulement idéalisé. En d'autres termes, il s'agit d'expliquer « pourquoi l'esprit est dans la tête », selon le titre provocateur de la conférence au symposium Hixon de 1948 . Lorsqu'il revient sur l'article de 1943, plus de vingt ans après, McCulloch décrit sa démarche comme « la création d'une théorie logique de l'activité nerveuse » . La formule est suffisamment claire quant au fait que la théorie avancée en 1943 n'a pas le statut d'une théorie purement logique, mais que la logique est seulement un moyen pour une étude renouvelée du cerveau, et en définitive de la cognition. Il n'apparaît pas que McCulloch ait spécialement varié sur la définition générale de son programme depuis l'article de 1943.

Au fond, ce que fait Minsky c'est de ramener les opérations du traitement de l'information à des opérations purement symboliques, ou à des opérations sur des états mentaux. Et à ce moment là, la question du cerveau biologique passe au second plan.

Donc premier débat : est-ce qu'on peut envisager le traitement de l'information indépendamment de son support ici biologique ?

Du côté de Minsky et Pappert, la réponse est oui ; du côté de McCulloch et Pitts, la réponse est sans doute non, puisque le modèle logique a clairement une visée biologique, mais un non qui lui-même ouvre bien des difficultés et à duquel propos on trouve un débat, cette fois-ci interne à la cybernétique, entre John Von Neumann et McCulloch. C'est là que je veux en venir, parce que je crois que ce débat montre bien l'engagement de la cybernétique du côté d'une conception physicaliste de l'information, d'une conception en termes de signal, plutôt que de symboles comme je le disais précédemment.

Quelles sont les critiques adressées par Von Neumann à ce modèle logique ou informationnel du cerveau proposé par McCulloch en 1943 et que Von Neumann connaît particulièrement bien pour l'avoir mis à profit dans son rapport sur l'EDVAC ?

Au point de départ, nous avons une critique de méthode. Le résultat de McCulloch est dit Von Neumann d'une généralité désespérante. On sait que le cerveau possède les capacités d'une machine de Turing, mais on ne sait rien ou si peu sur les opérations biologiques réelles.

Le débat éclate lors du symposium Hixon en 1948. McCulloch a présenté un modèle de la mémoire basé sur l'utilisation de circuits réverbérants.

Von Neumann l'interpelle :

Von Neumann : Vous avez insisté sur le fait que vous donniez des mécanismes suffisants et que cela est en conflit avec votre philosophie générale d'affirmer que ces mécanismes sont ceux qui sont nécessairement mis en œuvre. Vous donnez des preuves de possibilité. Il y a cependant un point sur lequel la question du mécanisme effectif est particulièrement brûlante, et c'est la question de la mémoire. [...] Il est important de savoir si le [circuit réverbérant] est un modèle possible ou pas.

L'échange se poursuit, McCulloch essayant de convaincre, sans succès, Von Neumann de la « plausibilité » biologique de ses circuits réverbérants.

Mais derrière le problème est plus profond. L'idée que Von Neumann développe dans sa propre conférence sur la théorie des automates et qu'il n'aura de cesse de développer jusqu'à sa mort en 1956 est qu'il faudrait sans doute en matière de théorie logique du fonctionnement cérébral inverser la perspective.

Je cite le texte de 1948.

Il est parfaitement possible que le moyen le plus simple, et le seul utilisable, de dire effectivement ce qui constitue une ressemblance visuelle soit de fournir une description des connexions des aires visuelles du cerveau. [...] Il n'est pas du tout certain que dans ce domaine [celui des objets complexes], un objet réel ne constitue pas la plus simple description de lui-même qui soit. [...] Il est vraisemblablement futile de chercher un concept logique précis, c'est-à-dire une description verbale précise de « ressemblance visuelle ». Il est possible que le réseau des connexions des aires visuelles du cerveau soit la plus simple expression ou la meilleure définition logique de ce principe.

Qu'est-ce que cela signifie ? deux choses : (a) il faudrait adopter pour l'exploration du cerveau biologique de nouveaux outils méthodologiques, qui sont ceux de la cybernétique ou disons que la cybernétique n'arrivera pas à mettre en place, une théorie statistique des réseaux de neurones formels, et (b) sur le plan épistémologique ou philosophique, la conclusion toute simple de ce que dit Von Neumann est qu'on ne peut plus distinguer un niveau symbolique autonome, indifférent à l'organisation matérielle. Ce qui compte ce sont les modalités spécifiques du traitement biologique réel. Ici, nous sommes dans l'information signal, une matière qui prend forme.

A partir de là, toutes les recherches de Von Neumann dans le domaine vont s'appuyer sur l'idée qu'il faut non seulement produire une étude logique du fonctionnement du cerveau, mais aussi réviser notre logique elle-même au contact de la logique du cerveau.

Von Neumann arrive en 1956 à une formulation complètement explicite de ce que pourrait être le rapport entre l'information-symbole et l'information-signal. Le symbole n'a pas d'existence en soi, c'est un effet du signal. Notre logique à base de marqueurs et de symboles n'est possible que sur le fond d'une autre logique statistique et non symbolique. La logique du symbole s'enracine dans une logique du signal.

Il faut bien comprendre que le langage est dans une large mesure un accident historique. [...] Tout comme des langages comme le grec et le sanscrit sont des faits historiques et non des nécessités logiques absolues, il est raisonnable de supposer que la logique et les mathématiques sont elles aussi des formes d'expression historiques accidentelles. Elles peuvent avoir des variantes essentielles, c'est-à-dire qu'elles peuvent exister sous d'autres

formes que celles auxquelles nous sommes habitués. De fait, la nature du système nerveux central et des systèmes de messages qu'il transmet indique qu'il en est ainsi. [...] Nous sommes en présence de structures logiques différentes de celles auxquelles nous sommes accoutumés en logique et en mathématiques. [...] Ainsi, la logique et les mathématiques du système nerveux central, considérées comme des langages, doivent être structurellement, fondamentalement différentes des langages de notre expérience courante. Notons enfin que le langage auquel on a affaire ici peut correspondre à un code court au sens décrit plus haut, plutôt qu'à un code complet : quand nous parlons des mathématiques, nous sommes peut-être en train de parler d'un langage secondaire, bâti sur le langage premier réellement utilisé par le système nerveux. Ainsi les formes extérieures (visibles) de nos mathématiques ne sont-elles pas absolument pertinentes pour évaluer quels sont les véritables langages mathématiques et logiques utilisés par le système nerveux central.

Moralité : le concept d'information est issu d'une opération d'unification qui a prétendu s'imposer à l'ensemble des disciplines scientifiques, au nom du fait que l'information constituait une réalité physique élémentaire, au même titre que la matière et l'énergie. Mais derrière l'unité de forme, nous trouvons une divergence de fond sur la manière de se représenter ce que c'est que de l'information, divergence que je résume avec le couple symbole/signal. Je crois que les cybernéticiens se situent du côté du signal, c'est-à-dire de l'étude des modes de traitement de l'information effectif dans les organismes vivants, en considérant le traitement de l'information symbolique comme une réalité dérivée. Il y a ici une perspective tout à fait différente de ce qui va s'imposer à partir de 1956 et le programme d'intelligence artificielle aux Etats-Unis, qui laisse de côté, comme indifférente, la question de la réalisation matérielle des fonctions ou des programmes. Si tout le monde parle d'information, ce n'est pas forcément dans le même sens.