

# La place de la neurophysiologie dans les débuts de l'intelligence artificielle au cours des années 1950

JEAN-GAËL BARBARA

*Sorbonne Université, CNRS, Inserm, Institut de Biologie Paris Seine (IBPS), Centre de Neurosciences Sorbonne Université (NeuroSU), 75005, Paris, France.*

Pendant la Seconde Guerre mondiale, puis lors de l'essor de la cybernétique dans les années 1950, le développement des recherches en intelligence artificielle s'est caractérisé par l'association assez naturelle avec les domaines de la neurophysiologie et de la psychologie, dans différents pays et dans différents contextes. On propose ici d'analyser quatre exemples de contextes parallèles, aux États-Unis, en France, en Angleterre, et au Canada, afin de montrer, dans chaque cas, comment la rencontre eut lieu et ce qu'elle put apporter soit aux deux domaines concernés, soit à l'un d'entre eux seulement.

Depuis les années 1950 les neurosciences ont progressivement établi des relations étroites avec le domaine de l'intelligence artificielle, avec comme conséquence la fondation d'un domaine de recherche interdisciplinaire fructueux, encore actuellement en plein développement (1). On se propose ici d'étudier les débuts de ce type de collaboration à travers quatre exemples concernant d'abord le fondateur de la cybernétique Norbert Wiener (1894-1964) aux États-Unis et sa collaboration très tôt avec les neurophysiologistes Warren S. McCulloch (1898-1969), Rafael Lorente de Nó (1902-1990), et William Grey Walter (1910-1977). Cet exemple permet de mieux comprendre l'intérêt réciproque qu'il y eut alors de rapprocher l'étude et la conception de dispositifs intelligents de visée antiaériens (missiles autoguidés pour abattre des avions ou des fusées) avec l'étude de l'intelligence humaine, telle qu'on commence alors à l'envisager, en opposition avec la psychologie behavioriste, par des modèles neurophysiologiques (c'est-à-dire des modèles qui prennent en compte la structure de circuits neuronaux locaux et les propriétés de propagation de l'influx nerveux).

Le deuxième exemple concerne le neurophysiologiste français Louis Lapicque (1866-1952) qui s'intéressa au début des années 1940 aux machines à calculer de son

collègue mathématicien du CNRS Louis Couffignal (1902-1966), pour envisager l'étude des analogies entre de tels dispositifs et le cerveau humain, dont il imaginait des modèles neuronaux en partie mathématiques.

En trois, ce sont le psychologue Kenneth Craik (1914-1945) et le neurophysiologiste William Grey Walter (1910-1977), en Angleterre, qui imaginèrent des modèles électroniques d'apprentissage en vue de mieux comprendre les facultés psychiques, notamment celles dont l'étude était utile pour l'effort de guerre, et dans la perspective de s'en inspirer pour réaliser des « cerveaux électroniques ».

Enfin, le quatrième exemple est celui du psychologue canadien Donald Hebb (1904-1985) qui établit un modèle neuronal d'intelligence et d'apprentissage qui aiguïsa la curiosité et l'intérêt de la société IBM dans le développement des premiers ordinateurs.

## Norbert Wiener et son *AA predictor* en tant que modèle de cerveau humain

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, le mathématicien américain de génie Norbert Wiener, alors âgé d'une quarantaine d'année, fut affecté dans une unité de recherche sur la défense antiaérienne. Il imagina la

réalisation d'un dispositif électronique capable de prévoir la trajectoire d'un avion ou d'une fusée ennemis, en vue de l'abattre avec une batterie antiaérienne. Son dispositif était censé faire le calcul en quelques secondes et ordonner un tir d'une manière quasi immédiate automatique, sans action humaine. Si Wiener eut de réelles difficultés à mettre au point un tel dispositif et à convaincre ses supérieurs de la faisabilité rapide de son projet, Wiener se consola en imaginant que son projet représentait une nouvelle manière de concevoir l'intelligence. Sa conception fonctionnelle de l'intelligence avait l'intérêt d'être indépendante du dispositif évalué, qu'il soit artificiel ou vivant. Dès lors Wiener envisagea que sa conception d'un contrôle intelligent des comportements pouvait s'appliquer non seulement aux machines, mais également au comportement animal et à l'étude de la cognition humaine.

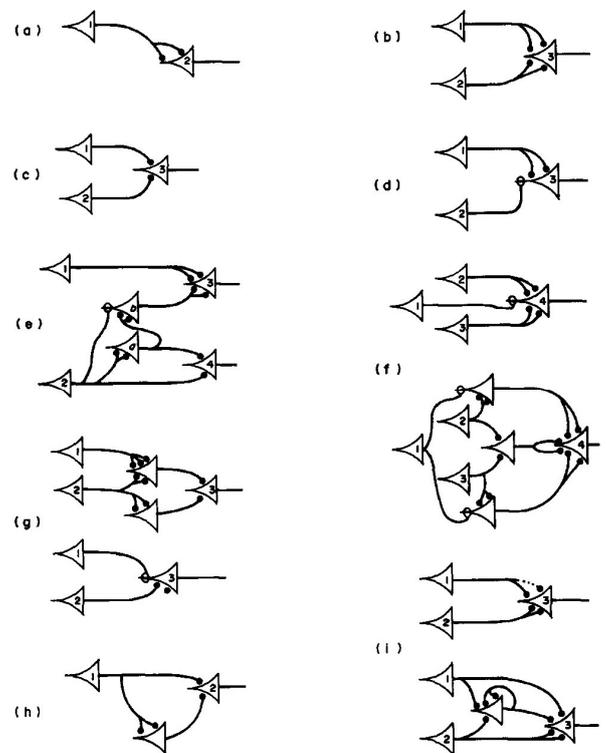
C'est ainsi que dès 1942, Wiener crée un club de discussion dans lequel il intégra des neurophysiologistes afin de mieux comprendre comment sa nouvelle manière de concevoir l'esprit humain – par analogie avec les dispositifs artificiels intelligents – pouvait être étayée par les connaissances les plus récentes portant sur le système nerveux. Puis de telles collaborations se poursuivirent dans le cadre des célèbres conférences interdisciplinaires de la fondation J. Macy.

Ces discussions aboutirent à l'idée que l'esprit humain pouvait être considéré, par analogie avec la machine, comme étant composé d'entités fonctionnelles ayant des fonctions psychologiques précises, comme par exemple la visée d'un objet, la reconnaissance d'une forme, le scan d'un paysage pour détecter la position d'un objet dans une scène. C'est là une idée fondamentale du cognitivisme qui émergea au cours des années 1950 et qui aboutit beaucoup plus tard par exemple à l'étude neurophysiologique de la reconnaissance des visages. Mais au début des années 1940, l'idée de tels modules était encore largement hypothétique, même si des aires fonctionnelles comme les aires du langage étaient déjà connues.

Le neurophysiologiste américain Lorente de Nó d'origine espagnole, du célèbre groupe des axonologistes, et l'un des derniers élèves de S. Ramón y Cajal, proposa lors des discussions avec Wiener qu'il était possible d'imaginer les bases anatomiques et physiologiques de tels modules en considérant ses travaux des années 1930 sur l'anatomie des circuits des noyaux oculo-moteurs. Il proposa que ces modules fonctionnels pouvaient reposer sur des « chaînes fermées de neurones internunciaux », c'est-à-dire des circuits locaux autonomes. De tels circuits pouvaient alors être vus comme capables de traitements et de stockage d'informations et comme analogues aux petits « cerveaux électroniques » qu'on implantait alors dans des fusées militaires. D'un point de vue

épistémologique, il est intéressant de constater que les neurophysiologistes retournaient alors à une vision plutôt localisationniste du cerveau, alors qu'à la même époque la plupart des neurologues développaient des idées plutôt contraires, holistes, dans un contexte d'évaluation psychologique d'ablations corticales chez l'animal et de validation des techniques de psychochirurgie chez l'Homme.

Discutant également avec Wiener sur ces sujets, le neurophysiologiste et psychiatre Warren McCulloch envisagea alors d'établir des modèles logiques de neurones formels qu'il construisit sur le papier à la manière de circuits électroniques dédiés à des calculs logiques (Figure 1). Dans leur article publié en 1943, McCulloch et son collègue Pitts décrivent comment il était possible de définir des conditions d'excitation d'un neurone dans des schémas de réseaux de neurones formels. Ces réseaux constituaient des modèles simplifiés s'apparentant à des machines de Turing.



- (a)  $N_2(t) \equiv N_1(t-1)$
- (b)  $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \vee N_2(t-1)$
- (c)  $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \cdot N_2(t-1)$
- (d)  $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \cdot \sim N_2(t-1)$
- (e)  $N_3(t) \equiv N_1(t-1) \cdot \vee \cdot N_2(t-3) \cdot \sim N_2(t-2)$   
 $N_4(t) \equiv N_2(t-2) \cdot N_2(t-1)$
- (f)  $N_4(t) \equiv \sim N_1(t-1) \cdot N_2(t-1) \vee N_3(t-1) \cdot \vee \cdot N_1(t-1)$   
 $N_2(t-1) \cdot N_3(t-1)$   
 $N_4(t) \equiv \sim N_1(t-2) \cdot N_2(t-2) \vee N_3(t-2) \cdot \vee \cdot N_1(t-2)$   
 $N_2(t-2) \cdot N_3(t-2)$
- (g)  $N_3(t) \equiv N_2(t-2) \cdot \sim N_1(t-3)$
- (h)  $N_2(t) \equiv N_1(t-1) \cdot N_1(t-2)$
- (i)  $N_3(t) \equiv N_2(t-1) \cdot \vee \cdot N_1(t-1) \cdot (Ex)x-1 \cdot N_1(x) \cdot N_2(x)$

Figure 1. Les neurones formels de Warren Mc Culloch (1943) (2).

Dans le cas le plus simple, un neurone (N3) n'est excité que si ses deux neurones présynaptiques (N1, N2) le sont simultanément. On peut alors dire que le neurone N3 code pour la fonction logique « ET », dans la mesure où son excitation requiert celles des neurones N1 « ET » N2. Cette réflexion se plaçait dans la perspective philosophique de la logique propositionnelle et de l'algèbre de Boole, pour formaliser des fonctions logiques. Leur but était de faire comprendre que les réseaux de neurones pouvaient en principe réaliser des calculs logiques ou des opérations sur des signaux (les potentiels d'action), de la même manière que des dispositifs électroniques. Toutefois l'idée que des neurones pouvaient coder des informations n'était pas nouvelle, car le neurophysiologiste, Prix Nobel en 1932, Edgar Adrian (1889-1977) l'avait démontré à la fin des années 1920 avec le codage de l'intensité des sensations par la fréquence des potentiels d'action dans le nerf sensitif. Inversement des travaux comme ceux de McCulloch et Pitts aboutirent à la création d'intelligences artificielles par des réseaux de neurones artificiels.

**Louis Lapicque, son modèle de neurone et l'intelligence artificielle**

Le neurophysiologiste français Louis Lapicque, professeur en Sorbonne, ne participa qu'indirectement au développement de l'intelligence artificielle, lors de deux occasions très distantes. C'est dès 1907 que Lapicque publia un modèle de neurone assez simple dit « intègre et décharge » selon lequel un neurone peut émettre un potentiel d'action tout-ou-rien dès que son potentiel de base augmente au-delà d'un certain seuil (Lapicque, 1907, Figure 2). Ce modèle était censé fournir un mécanisme de modulation de l'excitabilité d'un neurone en fonction d'une excitation de base (c'est-à-dire faible et de durée infinie). Il était prémonitoire tant le concept de potentiel d'action tout-ou-rien et le concept de potentiel de repos étaient encore très hypothétiques, compte tenu qu'aucun enregistrement électrophysiologique sur des nerfs n'avait pu encore étayer ces concepts. En effet on ne mesurait que l'effet des stimulations nerveuses presque exclusivement en mesurant l'intensité des contractions musculaires induites. Ce modèle resta largement oublié, puis il sera redécouvert et utilisé dans le développement de réseaux de neurones artificiels utilisant ce modèle pour générer de l'intelligence artificielle.

Au début des années 1940, Lapicque commença des discussions avec le mathématicien français Louis Couffignal, spécialiste du calcul logique et de grandes machines à calculer. Ce qui les intéressa alors furent les analogies possibles entre la structure de certaines machines et la structure microscopique du cervelet. Tous

deux s'interrogeaient alors sur la possibilité d'analogies fonctionnelles entre ces structures qui présentent vue de très loin des similitudes d'organisations morphologiques, avec dans les deux cas des séries de structures parallèles (les feuillettes du cervelet).

**RECHERCHES QUANTITATIVES  
SUR L'EXCITATION ÉLECTRIQUE DES NERFS  
TRAITÉE COMME UNE POLARISATION**

(Deuxième mémoire.)

Par M. LOUIS LAPICQUE.

On a été amené bien souvent à prononcer le mot de polarisation à propos de l'excitation électrique du nerf; mais la notion est restée vague jusqu'à NERNST<sup>1</sup>, qui en a donné une conception basée sur la chimie physique.

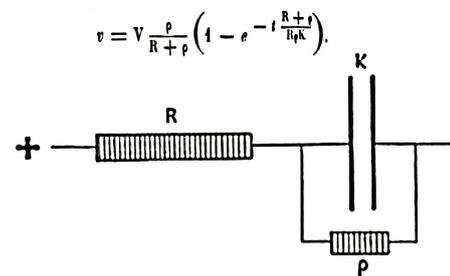


FIG. 1.

Figure 2. Le modèle de neurone de Lapicque (1907) (3).

Il est à présent facile d'imaginer comment Louis Lapicque aurait pu réaliser des modèles possédant des structures parallèles avec son modèle de neurone formel de 1907, afin d'imaginer quelles sortes d'opérations ces circuits étaient susceptibles de réaliser. Mais Lapicque et Couffignal s'en tinrent malheureusement à l'idée que des analogies superficielles de structures étaient sans aucun intérêt et qu'aucune base théorique solide n'était suffisante pour envisager de telles analogies fonctionnelles.

Si cette collaboration entre Lapicque et Couffignal n'aboutit pas dans les années 1940 à des spéculations sur l'intelligence artificielle, le modèle de 1907 de Lapicque fut quant à lui utilisé plus tard dans cette perspective de créer des réseaux de neurones artificiels capables d'opérations symboliques et d'une certaine forme d'intelligence. Le succès de ce modèle fut sa simplicité dès les années 1960, ce qui permit de l'employer comme unité de base des « spiking neural networks » de R. FitzHugh, J. Nagumo et W.J. Freeman. Puis il permit de construire, jusqu'à aujourd'hui, de grands circuits capables de comportements complexes avec les progrès des puissances de calcul.

## Le psychologue visionnaire Kenneth Craik et les tortues intelligentes du neurophysiologiste William Grey Walter

Cette histoire concerne la création par le neurophysiologiste William Grey Walter d'animaux-robots à la fin des années 1940, ses célèbres « tortues électroniques » (Figure 3), capables de se mouvoir vers une source lumineuse (phototropisme) et d'associer deux stimuli comme déclencheur de leur déplacement (apprentissage par conditionnement). On peut dire que ces « animaux artificiels » appartiennent aussi bien à l'histoire de la neurophysiologie (théorique) qu'à l'histoire de l'intelligence artificielle. En effet, ils représentent aussi bien des modèles physiques du conditionnement pavlovien, avec lequel Grey Walter s'était familiarisé dans les années 1930, que la réalisation des premiers dispositifs électroniques intelligents.

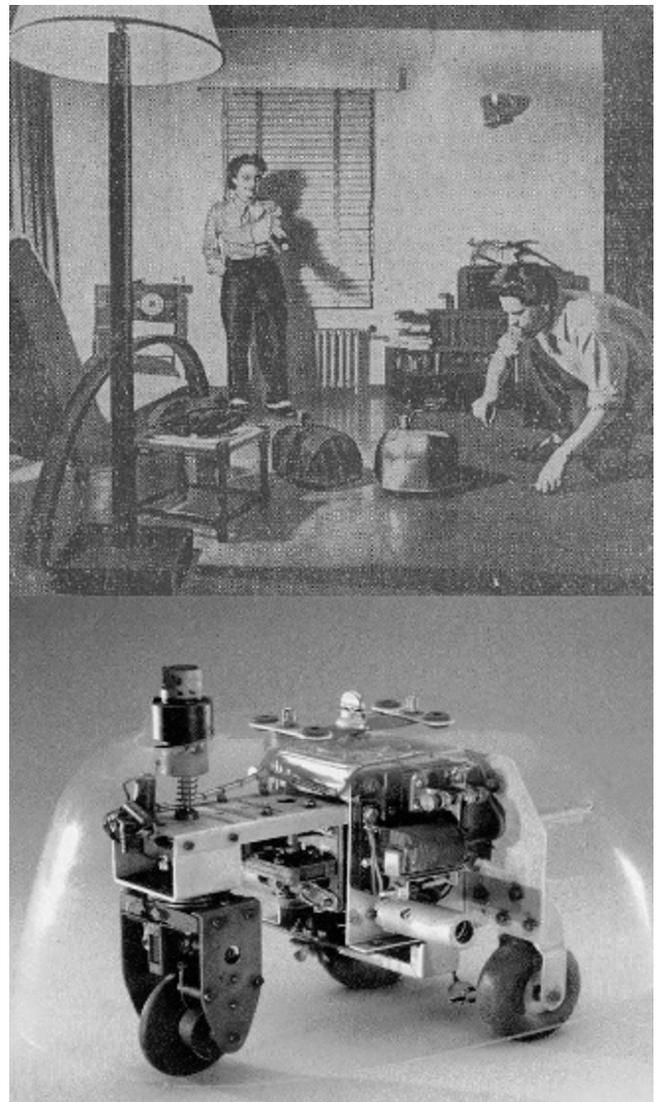
Les réalisations de Grey Walter eurent pour origine des discussions avec le jeune psychologue Britannique Kenneth Craik rencontré pour une collaboration de recherche militaire au cours de la Seconde Guerre mondiale. Tous deux étaient alors vivement intéressés aussi bien par leurs domaines de recherche respectifs que par la micromécanique et l'électronique. Le bricolage électronique constituait alors déjà un hobby, bien que peu courant, pour certains jeunes savants imaginatifs.

Mais aussi bien pour Craik que pour Grey Walter ce « hobby » se montra bientôt d'une très grande utilité pour leurs domaines de recherche respectifs et ce de manière assez inattendue. En effet, Grey Walter s'était spécialisé dans l'étude de l'électroencéphalographie à la fin des années 1930 et ses connaissances en électronique l'avaient incité à construire un analyseur de fréquences utilisé pour l'analyse des électroencéphalogrammes. C'est ainsi que son analyseur électronique automatique, réalisant une sorte de transformée de Fourier on line toutes les dix secondes, lui permit de mettre en évidence un rythme nouveau qu'il qualifia de rythme delta. Pendant l'effort de guerre, Grey Walter continua de travailler sur cet appareil qui pouvait être utile pour la surveillance militaire par l'analyse des sons émanant des dispositifs ennemis.

Craik rencontra Grey Walter pour lui demander d'utiliser son analyseur de fréquences sur des tracés obtenus par un dispositif de visée enregistrant des paramètres d'erreurs de tirs d'artilleurs. Il s'agissait là d'une étude de psychologie appliquée au tir dans laquelle Craik utilisait également ses talents de constructeurs de machines complexes. En marge de ce travail, et dans une perspective théorique et philosophique, Craik publia en 1943 un petit livre intitulé *The nature of explanation* (4). Il expliquait dans cet opuscule, comme Norbert Wiener au même moment, comment l'étude et la construction de

dispositifs intelligents artificiels pouvaient révolutionner l'étude de la cognition humaine, en envisageant machines et cerveaux de la même manière.

Craik envisagea alors de construire des petits robots autonomes capables de se mouvoir librement en fonction d'un objectif et capables d'apprentissage. Ce petit livre, dont Einstein souligna l'importance, fut lu et pris très au sérieux par nombre de neurophysiologistes dont Grey Walter. Lorsqu'en 1945 Craik disparut prématurément dans un tragique accident de la circulation, Grey Walter poursuivit le développement de ses idées et il utilisa les ressources en électronique de son laboratoire pour construire des êtres électroniques intelligents autonomes, ses fameuses « tortues ». Ces machines firent alors la couverture de certains journaux et donnèrent lieu à des démonstrations publiques comme au colloque de Paris du CNRS de 1951 sur « Les machines à calculer et la pensée humaine ».



**Figure 3.** Coupures de presse montrant Grey Walter et deux tortues en déplacement dans son salon et leur cage. Bas, Reconstitution d'une tortue de Grey Walter avec une carapace transparente pour montrer la mécanique.

Le projet de tortues de Grey Walter peut nous sembler appartenir aux aspects les plus spectaculaires et mondains de la presse s'intéressant alors à la cybernétique. Cependant, il est possible de mieux comprendre les motivations plus profondes de Grey Walter et la place que ces tortues tiennent dans ses réflexions.

Grey Walter était avant tout un neurologue, spécialiste d'électroencéphalographie et intéressé par les analyses des électroencéphalogrammes par des dispositifs électroniques, aussi bien en neurologie qu'en psychiatrie. Mais Grey Walter s'était également précédemment intéressé au conditionnement pavlovien (5). Grey Walter avait en effet étudié en 1935 l'effet de l'hypoxie sur l'apprentissage par conditionnement à Cambridge avec un élève de Pavlov. Il s'était alors montré très curieux de la typologie de Pavlov des « tempéraments » des chiens, utilisée pour expliquer les différences dans les résultats expérimentaux. Ces aspects psychologiques dans l'étude du conditionnement amenèrent plus tard Grey Walter à envisager la possibilité d'utiliser l'électroencéphalographie pour objectiver des différences individuelles. Grey Walter envisagea même de les corrélérer avec les capacités d'apprentissage de patients. Dans cette perspective, il voulut comprendre théoriquement comment des différences interindividuelles d'apprentissage pouvaient avoir des corrélats électroencéphalographiques. Pour s'en convaincre, il réalisa un modèle théorique neurophysiologique d'apprentissage par association basé sur les connaissances récemment acquises par les neurophysiologistes sur les voies thalamocorticales des années 1950. Ainsi il fut en mesure de proposer qu'il était en principe possible d'expliquer des aptitudes d'apprentissage par des mesures physiologiques.

Il est alors possible de mieux comprendre quelle place tiennent les tortues électroniques de Grey Walter dans le développement de ses travaux neurophysiologiques. Il semble en effet que Grey Walter ait souhaité donner une forme mathématique à son modèle neurophysiologique d'apprentissage, mais qu'il y renonça en raison de son manque de maîtrise des mathématiques (*little facility for mathematical representation*) (5). Les tortues de Grey Walter représentaient alors un modèle, non mathématique mais physique, celui d'un mécanisme d'apprentissage dont on pouvait étudier à la fois les performances et les indices de fonctionnement électrique. On comprend par-là comment la cybernétique et la construction de machines s'infiltra dans la neurophysiologie théorique à un stade très précoce de telles recherches.

En France, l'ingénieur et journaliste Albert Ducrocq (1921-2001) de la Société française d'électronique et de

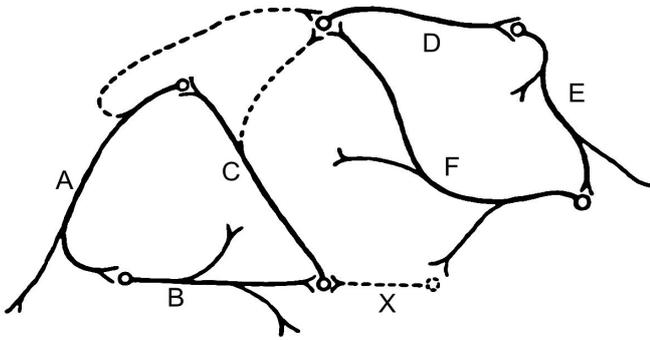
cybernétique construisit sur le modèle de ceux de Grey Walter ses propres robots au cours des années 1950, dont son « renard électronique » et son robot « Calliope » simulant l'imagination, en collaboration avec Louis Couffignal. Si la presse s'enthousiasma de manière naïve et si certains neurophysiologistes montrèrent les limites de tels modèles, il n'en demeure pas moins que tous ces animaux artificiels constituaient un premier pont entre la neurophysiologie et l'intelligence artificielle. On assista alors au déploiement de modèles cybernétiques et cognitifs de fonctions (comme la vision) à partir de données neurophysiologiques, et à l'émergence de nouveaux dispositifs artificiels intelligents inspirés des connaissances sur le vivant. Cette dernière tendance s'est alors considérablement développée depuis, jusqu'aux recherches actuelles en robotique et en intelligence artificielle.

### Les « assemblées de neurones » de Donald Hebb, la plasticité de l'esprit et l'intelligence

C'est à la fin des années 1940 que le psychologue canadien publia son ouvrage célèbre, *The organization of behaviour* (1949) (6). Ce fut là le fruit de plus d'une décennie de réflexions sur le concept de plasticité du cerveau et sur celui d'intelligence. Alors jeune psychologue expérimentaliste, Hebb s'était mis au service du grand neurochirurgien canadien Wilder Penfield (1891-1976) de Montréal qui révolutionna la chirurgie des épileptiques. En psychologue clinicien, Hebb faisait des évaluations pré- et post-opératoires et étudiait les déficits et les gains de fonction que présentaient les patients dans certains cas.

En effet il arriva qu'un patient à qui l'on avait ôté une zone du cerveau présentât des performances d'intelligence supérieure à la situation pré-opératoire. Hebb imagina des modèles théoriques avec des zones différemment impliquées dans la mémoire et l'intelligence pour expliquer ses observations. Il lui arrivait alors de discuter avec Penfield qui n'acceptait pas toujours ses idées originales, mais Hebb rassembla au fil des années ses réflexions en adoptant des modèles de neurones formels ayant la capacité d'organiser leurs connexions selon des règles fixes imaginées (Figure 4). C'est par exemple le célèbre modèle de la « synapse de Hebb ».

Ce modèle de synapse représentait une formalisation du fonctionnement de chaînes fermées de neurones actifs (Lorente de Nó), d'une manière déjà utilisée par des neurologues de la fin du XIXe siècle, comme Exner ou le jeune Freud. Mais dans son modèle, Hebb imagina des conditions précises (comme dans le modèle de McCulloch et Pitts). Dans le modèle de Hebb, le renforcement d'une synapse établie entre deux neurones requérait la simultanéité (ou presque, à l'intérieur d'une



**Figure 4.** Ce schéma indique les modalités de création d'une « assemblée de neurones ». La figure montre deux groupes de neurones, le groupe A-B-C et le groupe D-E-F. Ces deux groupes de neurones sont localisés dans le cortex associatif et sont excités par les mêmes afférences sensorielles, mais pas en même temps. Les synapses sont renforcées à l'intérieur de chacun de ces groupes par la règle suivante : (on prend ici l'exemple des neurones A et B) Si le neurone A excite le neurone B alors que le neurone B est simultanément excité par l'afférence sensorielle, alors la synapse A-B sera renforcée. Cette règle explique la connectivité dans chaque assemblée de neurone, A-B-C et D-E-F. Dans chaque assemblée l'excitation d'un seul neurone engendre celle du circuit tout entier. Avec la même règle, il est alors possible que les deux assemblées fonctionnent comme un seul système ou une seule grande assemblée des neurones A-B-C-D-E-F s'il y a renforcement des synapses impliquant les afférences entre les deux groupes de neurones qui sont figurées en pointillés. Adapté de (7).

petite fenêtre de temps) d'un influx présynaptique et d'une dépolarisation post-synaptique. C'était en quelque sorte une sorte de conditionnement pavlovien à l'échelle d'une synapse, si l'on imagine qu'une excitation synaptique inconditionnelle était nécessaire pour dépolariser le neurone post-synaptique et que l'excitation synaptique conditionnelle était renforcée par la simultanéité des deux stimulus (comme la nourriture et le son de la cloche du chien de Pavlov). Ce schéma de renforcement synaptique de Hebb eut et a encore une postérité incroyable, car il devint d'autant plus populaire et célèbre chez les neurophysiologistes qu'il anticipa les protocoles d'instauration de potentialisation et de dépression à long-terme, dans lesquels on réalise un appariement de ces deux types de stimulation pour obtenir un renforcement synaptique à long-terme.

Mais au début des années 1950, ce schéma de renforcement intéressa des ingénieurs travaillant chez IBM et qui tentèrent de l'instancier (d'en créer une nouvelle instance, une nouvelle catégorie) dans leurs schémas de dispositifs artificiels capables de stocker des informations dans leur projet de créer un ordinateur. En effet les modèles de neurones de Hebb ou assemblées de neurones (*cell ou neuronal assemblies*) fournirent un principe d'architecture de réseaux de neurones formels stockant des informations sous la forme de réseaux de neurones interconnectés pouvant présenter un certain patron électrique synchrone.

## Conclusion

Ces quatre exemples démontrent combien localement et dans des contextes spécifiques certains neurophysiologistes ont pu s'intéresser avant même l'essor de la cybernétique à un nouveau mode de pensée, dans lequel l'évaluation des capacités de dispositifs artificiels intelligents ou de modèles formels de neurones avait toute sa place dans leurs recherches.

Ce mode d'évaluation était en effet considéré comme directement applicable au vivant. Et en retour, l'organisation du vivant ou sa modélisation donnait lieu à de nouvelles formes d'organisation de dispositifs artificiels. Nul doute que ce mode de pensée fut bien l'un des fondements de l'essor de la cybernétique et de sa présentation auprès du grand public avec le débat autour de la pensée humaine et de la pensée artificielle.

Ce débat trouva peu à peu son chemin en se concentrant finalement sur l'idée que la cybernétique permettait d'offrir de nouveaux modèles de l'esprit humain et de ses facultés en incorporant le concept d'information et celui de commande, dans un esprit progressivement cognitiviste. Et d'une manière parallèle, il fut alors accepté que la création de dispositifs artificiels intelligents serait tôt ou tard capable de reproduire beaucoup de capacités humaines, y compris la lecture et la création de textes comme cela est actuellement disponible sur internet. On assista alors à la diffusion du vocabulaire cybernétique dans la neurophysiologie comme le terme de feed-back et l'utilisation de modèles informatiques pour l'analyse des comportements, d'une manière qui rapproche encore constamment les neurosciences du domaine de l'intelligence artificielle.

jean-gael.barbara @sorbonne-universite.fr

## Références

- (1) Surianarayanan, C.; Lawrence, J.J.; Chelliah, P.R.; Prakash, E.; Hewage, C. (2023). Convergence of Artificial Intelligence and Neuroscience towards the Diagnosis of Neurological Disorders – A Scoping Review. *Sensors*, 23, 3062.
- (2) McCulloch W.S. and Pitts, W. (1943). "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity," *The Bulletin of Mathematical Biophysics* 5(4): 115–133.
- (3) Lapique L. (1907). « Recherches quantitatives sur l'excitation électrique des nerfs traitée comme une polarisation », *Journal de physiologie et de pathologie générale*, 9, 620-635.
- (4) Craik K.J.W. (1943). *The Nature of Explanation*, Cambridge University Press.
- (5) Grey Walter, W. (1960). *Conditioning Theories and Their Therapeutic Applications*, *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 53, 1960, 495-503.
- (6) Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior. a neuropsychological theory*. John Wiley & Sons.
- (7) Hebb D.O. (1958). *A textbook of Psychology*, Philadelphie, Londres: W.B., Saunders Company.