

# Comment programmer un système neuronal avec un langage et une conscience ?

## How to program a neural system with a language and a consciousness ?

**Daniel M. Dubois**

Ingénieur Physicien, Docteur en Sciences Appliquées, Dr Honoris Causa,  
Professeur d'Informatique Appliquée et Intelligence Artificielle,  
HEC®-Ecole de Gestion de l'Université de Liège N1, rue Louvrex 14, B-4000 Liège, Belgique  
Directeur de l'asbl CHAOS : Centre for Hyperincursion and Anticipation in Ordered Systems,  
Institut de Mathématique B37, Université de Liège, Grande Traverse 12, B-4000 Liège 1, Belgique  
<http://www.ulg.ac.be/mathgen/CHAOS>, [Daniel.Dubois@ulg.ac.be](mailto:Daniel.Dubois@ulg.ac.be)

*Résumé : Cette communication traite de la question de savoir si cela est possible de programmer un système de neurones avec une langue et une conscience. Il existe plusieurs niveaux et catégories de langages, par exemple, le langage verbal et le langage non-verbal, le langage des signes, etc. Il y a aussi plusieurs niveaux et catégories de conscience, par exemple, la conscience verbale, l'auto-conscience non verbale et l'absence de conscience avec l'a-conscience. Par une approche systémique, nous étendons le rôle du cerveau à l'ensemble des neurones de l'ectoderme, dont les systèmes nerveux, le tronc cérébral, le cerveau et la peau qui est l'enveloppe réelle du cerveau avec l'environnement. Cet article montrera qu'un tel système neuronal peut être programmé, en se basant sur la recherche scientifique en neurosciences expérimentales et en intelligence artificielle, étendant de facto toutes les possibilités d'apprentissage des réseaux de neurones classiques.*

Mots-clés : système neuronal, programme, langage, conscience

*Abstract : This communication deals with the question to know if this is possible to program a neural system with a language and a consciousness. There are several levels and categories of language, by example, verbal and non-verbal languages, signs language, etc. There are also several levels and categories of consciousness, by example, verbal consciousness, non-verbal self-consciousness, and absence of consciousness with the a-consciousness. By a systemic approach, we extend the role of the brain to the whole neural ectoderm, including the nervous systems, the brainstem, the brain, and the skin that is the actual envelope of the brain to the environment. This paper will demonstrate that such a neural system can be programmed, on the basis of scientific research in experimental neurosciences and in artificial intelligence, extending de facto all the possibilities of learning of classical neural networks.*

Key words : neural system, programme, language, consciousness

### 1. INTRODUCTION

Au 1<sup>er</sup> Congrès Européen de Systémique, en 1989, j'avais présenté un modèle fractal des systèmes intelligents basé sur un système de mémoire neuronale en niveaux de 7 couches [Dubois, 1989]<sup>1</sup>. Cette communication présente la conjecture que le concept de programme est essentiel dans le système neuronal chez l'homme, et ce, en relation avec un langage et une conscience.

L'avancée scientifique porte sur la conception d'un cerveau complètement programmé, avec des scripts différents exécutables dans des langages de bas niveau et de haut niveau.

### 2. RESEAU NEURONAL ET SYSTEME NEURONAL

La mémoire est une fonction encodée dans les connexions entre neurones et formant ainsi des réseaux neuronaux dans le cerveau. Un réseau neuronal, avec des neurones formels, permet la simulation du processus d'apprentissage du cerveau.

---

<sup>1</sup> Daniel M. Dubois (1989), *UN MODELE FRACTAL DES SYSTEMES INTELLIGENTS*. In : Actes du 1er Congrès Européen de Systémique, Lausanne, 3-5 octobre 1989, AFCET

## 2.1. Le neurone formel

McCulloch et Pitts [1943]<sup>2</sup> ont défini un modèle de neurone formel, comme suit :

$$y = \Gamma(w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots - \theta)$$

où les  $x_1, x_2, x_3, \dots \in \{0,1\}$ , sont les valeurs d'entrée du neurone formel,  $y \in \{0,1\}$ , la valeur de sortie du neurone formel, les  $w_1, w_2, w_3, \dots$ , sont les poids synaptiques,  $\theta$  est le seuil, et  $\Gamma$  est la fonction d'activation du neurone représentée par la fonction de Heaviside définie par

$$\Gamma(x) = 0 \text{ si } x \leq 0 \text{ et } \Gamma(x) = 1 \text{ si } x > 0.$$

Le neurone fait la somme linéaire de ses entrées pondérées et la sortie du neurone est activée et égale à la valeur, 1, si cette somme est supérieure au seuil du neurone, autrement la sortie est égale à la valeur, 0. On appelle cette logique, une logique à seuil linéaire. Ce modèle de neurone formel est à la base de tous les réseaux de neurones artificiels, en intelligence artificielle.

Un réseau neuronal est classiquement formé de couches de neurones formels: les neurones d'entrée, les neurones cachés et les neurones de sortie. La dynamique des réseaux de neurones artificiels est basée sur deux phases distinctes. D'une part une phase d'apprentissage qui fixe les valeurs des poids synaptiques et du seuil de chaque neurone, sur base de formes (des caractères manuscrits écrits par quelques personnes, par exemple) à apprendre. D'autre part une phase de reconnaissance de formes non-apprises (des caractères manuscrits écrits par d'autres personnes), où les poids synaptiques et le seuil de chaque neurone sont ceux fixés dans la phase d'apprentissage. Un réseau neuronal permet de simuler le processus d'apprentissage du cerveau.

## 2.2. Le système neuronal de l'ectoderme

Par une approche systémique, nous étendons le rôle du cerveau à l'ensemble des neurones de l'ectoderme, appelé le neuro-ectoderme, dont les systèmes nerveux, le tronc cérébral, le cerveau et la peau qui est l'enveloppe réelle du cerveau avec l'environnement, comme je l'ai expliqué dans l'un de mes articles récents [Daniel M. Dubois, 2010]<sup>3</sup>.

Le système neuronal de l'ectoderme étend les capacités du réseau neuronal du cerveau seul. Il peut être programmé, en se basant sur la recherche scientifique en neurosciences expérimentales et en intelligence artificielle, étendant de facto toutes les possibilités d'apprentissage des réseaux de neurones classiques.

Le développement de l'être humain, à partir du moment de la fécondation de l'ovocyte par le spermatozoïde jusqu'à la naissance, se déroule par étapes successives. Il est important de s'attarder sur l'étape de la gastrulation et plus particulièrement l'étape de l'embryon tri dermique. En effet, l'aspect définitif qui s'y déroule est primordial et conforte cette idée que le cerveau seul ne peut être l'unique siège de l'intelligence naturelle.

Lors de cette étape décisive dans l'embryogénèse de l'être humain, l'embryon humain se divise en trois parties, qui elles-mêmes peuvent se subdiviser en sous-ensembles :

1. L'ectoderme, qui donne naissance:

1.1. Au système nerveux (neuro-ectoderme), qui reprend lui-même :

1.1.1. Le système nerveux central, comprenant :

1.1.1.1. La moelle épinière

1.1.1.2. Le cerveau

1.1.2. Le système nerveux périphérique, comprenant :

1.1.2.1. Le système nerveux somatique

1.1.2.2. Le système nerveux autonome ou végétatif

1.2. A l'épiderme

---

<sup>2</sup> W.S. McCulloch et W. Pitts, 1943. *A logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, Bulletin of mathematical Biophysics, vol. 5 (1943) 115-133.

<sup>3</sup> Daniel M. Dubois (2010). *Natural and Artificial Intelligence, Language, Consciousness, Emotion, and Anticipation*. COMPUTING ANTICIPATORY SYSTEMS: CASYS'09, Ninth International Conference. AIP Conference Proceedings, vol. 1303, pp. 236-245.

2. L'endoderme, qui donne naissance :

2.1. Aux organes internes (glandes digestives, épithélium qui tapisse le tube digestif et les voies respiratoires)

3. Le mésoderme, qui donne naissance :

3.1. Aux vertèbres, muscles, vaisseaux sanguins, reins, os, etc.

Le feuillet embryonnaire de l'ectoderme englobe non seulement le cerveau, mais également l'ensemble du système nerveux central, l'ensemble du système nerveux périphérique et enfin, l'épiderme, que l'on pourrait qualifier d'enveloppe du cerveau. Le cerveau est ici replacé en tant qu'élément interdépendant des autres parties constitutives du feuillet externe de l'embryon et le considérer seul ne semble pas concevable, ni même raisonnable. En considérant maintenant l'aspect plus sensoriel de l'ectoderme, reprenons la liste des sens : le toucher, la vue, l'ouïe, le goût, et l'odorat. Le plus évident à identifier de tous au vu de la description des constituants de l'ectoderme est sans conteste le toucher. Il trouve aisément sa place dans l'épiderme. Quant aux autres, ils se retrouvent impliqués dans le fonctionnement du système nerveux somatique, qui grâce à diverses paires de nerfs crâniens, permet de gérer les influx nerveux issus de récepteurs inscrits dans des organes tels que les yeux, les oreilles, la langue et le nez. La section suivante va nous permettre de mieux comprendre comment notre cerveau traite ces différentes informations ainsi récoltées, mais surtout, nous permettra de mieux appréhender l'aspect émotionnel de ce traitement d'information.

### **2.3. La théorie évolutive des trois cerveaux**

Au même titre que l'embryogénèse humaine retrace l'évolution de l'espèce humaine avec ses différents stades communs à de multiples espèces, Paul Donald MacLean [1990]<sup>4</sup>, a introduit le concept de cerveau triunique de l'espèce humaine. Cette théorie propose la segmentation du cerveau humain en trois cerveaux distincts apparus successivement au cours de l'évolution du cerveau dans le règne animal :

- le cerveau archaïque ou reptilien (des reptiles pré-mammaliens), il y a 400 millions d'années
- le système limbique (ou paléo-mammalien, des mammifères), il y a 65 millions d'années
- le néocortex (néo mammalien, de l'être humain), il y a 3,6 millions d'années

Cette segmentation du cerveau humain donne non seulement une perspective holistique de notre évolution dans le règne animal, mais également une temporalité tridimensionnelle déterminante dans l'appréhension et l'anticipation, confirmée par la théorie des trois niveaux de conscience de Antonio Damasio décrite dans une section suivante.

#### **2.3.1. Le cerveau reptilien**

C'est ce cerveau archaïque qui a la charge de notre survie et est responsable de besoins tels que manger, boire, respirer, se défendre avec agressivité ou se reproduire. La dimension de ces besoins vitaux est le présent ou le moment de leur vécu.

#### **2.3.2. Le système limbique**

Le système limbique est impliqué, entre autre, dans les circuits de la récompense et de la punition, ainsi que dans l'activation des centres du plaisir. Pour ce faire, notre cerveau limbique décode les signaux reçus dans l'hypothalamus, l'amygdale et l'hippocampe.

L'hypothalamus, pourrait être décrit comme le guide de nos fonctions végétatives et endocrines. En effet, il reçoit des informations relatives à notre état général de multiples zones de l'organisme, et est donc le réceptacle de tous les stimuli de l'ensemble du corps. Il joue donc un rôle déterminant dans la recherche naturelle de l'équilibre interne. De plus, l'hypothalamus est interconnecté avec la quasi-totalité du cerveau dont notamment le cortex cérébral, le système neuronal de l'ectoderme, mais évidemment aussi avec l'amygdale et l'hippocampe. Ces liens privilégiés lui confèrent un rôle central dans la gestion de nos humeurs et émotions. Tout cela lui procure une place de premier

---

<sup>4</sup> Paul Donald MacLean (1990). The triune brain in evolution: role in paleocerebral functions. New York: Plenum Press.

choix dans les circuits de la récompense et de la punition. Ces derniers n'ont comme but ultime que la recherche permanente d'homéostasie.

L'amygdale est une structure cérébrale fondamentale, notamment dans le décodage des émotions engendrées par les stimuli sensoriels, et plus particulièrement celles suscitées par une menace contre l'organisme. Ce décodage nous permet de réagir de façon conditionnée face à un danger. Ce conditionnement fait partie des systèmes de la mémoire implicite, car aucun effort de rappel n'est nécessaire pour qu'il survienne. Nous prémunir de ce danger et donc de subir un événement désagréable, considéré alors comme punition, est l'une des missions essentielles de l'amygdale.

L'hippocampe, quant à lui, englobe ce ressenti dans un contexte déterminé et permet la remémoration de souvenirs spécifiques. Ses connexions privilégiées avec l'amygdale expliquent notamment la survenue d'une émotion face à une situation évoquant un souvenir précis déjà vécu. Ce contexte du ressenti permet de reconnaître les signaux liés à cet état et joue donc un rôle prédominant dans l'apprentissage, grâce à la mémoire explicite ou à la conscientisation des éléments constitutifs des souvenirs.

L'amygdale et l'hippocampe sont donc tous deux essentiels dans le fonctionnement de la mémoire à long terme, constituée par la mémoire implicite d'une part et de la mémoire explicite d'autre part, qui elle-même est déterminante dans le choix d'un comportement. Ainsi, lorsqu'une situation engendre la satisfaction d'un des besoins vitaux du cerveau reptilien, la sensation agréable qui en découle est enregistrée et catégorisée comme donnant du plaisir. Ce mécanisme nous mène à vouloir répéter cette situation agréable, ce qui a pour effet d'en consolider les traces nerveuses ou autrement dit, à en consolider le souvenir. A l'inverse, lorsqu'une situation engendre du déplaisir ou une punition, nous enregistrons également le contexte de telle sorte que nous puissions en reconnaître à temps les éléments déclencheurs afin de ne plus l'encourir. Ce mécanisme, qui fait écho au réflexe conditionné de Pavlov, permet finalement à notre cerveau limbique, au travers du circuit de la récompense et de l'évitement de la douleur, de scinder le monde en deux zones concurrentes d'attraction et de répulsion. Cette scission est à la base même de l'activation de la plupart de nos comportements. Notons que la nature a mis au point une autre stratégie d'action ou plutôt d'inaction, sorte de refuge ultime pour la survie, lorsque aucune autre alternative, ni la satisfaction, la fuite ou la lutte, n'a réussi à la garantir. A l'aide des souvenirs du vécu, le cerveau limbique réagit de façon quasi automatique aux stimuli sensoriels ressentis. Le laisser seul juge serait réduire notre disposition à réagir efficacement face à une anxiété irraisonnée.

C'est le néocortex qui le guide dans les méandres de la rationalisation.

### ***2.3.3. Le néocortex***

Le cerveau reptilien détermine les besoins vitaux de l'organisme, le cerveau limbique apprend à les satisfaire et le néocortex fait la part des choses. En effet, le néocortex est associé à l'élaboration de processus cognitifs complexes, comme la planification et le raisonnement déductif, la récupération des souvenirs enfouis dans la mémoire à long terme, les stratégies d'organisation, le langage, etc.

Il est également impliqué dans le contrôle du système limbique grâce à ses lobes frontaux reconnus pour participer à la gestion de nos réponses émotionnelles. Ces lobes frontaux ont effectivement de nombreuses connexions avec d'autres régions du cerveau responsables du contrôle de la dopamine, de la noradrénaline et de la sérotonine, trois neurotransmetteurs importants pour la régulation de l'humeur et également impliqués dans le circuit de la récompense et l'activation du plaisir dont nous avons parlé précédemment. En d'autres termes, les lobes frontaux de notre néocortex sont avérés comme décisifs dans le fait de mieux appréhender notre environnement, grâce à la maîtrise de nos émotions et sous-tend nos comportements sociaux facilités notamment par le langage ou la transmission des idées.

Les connexions particulières du néocortex avec les différentes parties du cerveau nous permettent donc de nous mettre en perspective et de nous projeter dans l'avenir pour la satisfaction de nos besoins primaires, de nos envies mais également la réalisation de nos projets et cela, dans un contexte social et culturel.

### 3. LA CONSCIENCE ET LE LIBRE ARBITRE

Dans cette section, nous allons présenter le concept de conscience et sa relation avec le libre arbitre. En lisant toute la littérature qu'elle soit scientifique, philosophique ou autre, aucun consensus n'existe quand à la signification de ce concept de « conscience ».

Afin de savoir de quoi on parle, je donnerai les définitions suivantes :

Conscience : (du lat. conscientia, connaissance, ant. inconscience) faculté de se rendre compte, d'avoir la connaissance ;

Inconscience : (in- élément négatif, du lat in-, ant. connaissance, conscience) non-conscience. La conscience et l'inconscience forment un système insécable constitué par une partie visible et une partie invisible.

Auto-conscience : (auto du gr. autos, soi-même, lui-même) conscience de soi-même, de lui-même

L'autoconscience a également son complément, l'auto-inconscience.

A-conscience : (a- privatif tiré du gr. ) sans conscience

#### 3.1. Les trois niveaux de conscience de Damasio

Très récemment, Antonio R. Damasio [2010]<sup>5</sup> a présenté son approche de ce qu'est la conscience ou de ce qu'elle représente. En effet, pour lui, nul doute que la conscience est tridimensionnelle. Il évoque la « triade veille - esprit - soi », et établit un lien direct entre cette « triade » et différentes zones du cerveau : le tronc cérébral pour la veille - le thalamus pour l'esprit - le cortex cérébral pour le soi. Reprenons les trois niveaux de conscience dont il parle avec leur champ d'action :

-Le proto-soi : perception permanente des états émotionnels internes du corps, dont le siège est le tronc cérébral,

- La conscience-noyau : perception permanente mais non mémorisée, de notre environnement mis en relation avec notre proto-soi,

- La conscience « autobiographique » : conceptualisation de nos expériences passées et futures, dont le siège est le cortex cérébral.

Ainsi, nous pouvons établir un lien presque évident entre le proto-soi et le cerveau reptilien, la conscience-noyau et le cerveau limbique, et la conscience « autobiographique » et le néocortex, avec un même emplacement et même fonction, ce qui tendrait à conforter la théorie de MacLean, que ce soit conscient ou non dans son chef.

#### 3.2. Les quatre types de conscience et d'apprentissage

Parler d'intelligence humaine implique la notion de conscience, c'est-à-dire une connaissance qu'à l'homme de ses états, de ses actes et de leur valeur morale. Son implication dans la fonction même de l'intelligence, c'est-à-dire dans cette faculté à comprendre, mais surtout, d'en avoir connaissance.

Dans mon livre « Le labyrinthe de l'intelligence » [Daniel Dubois, 1990]<sup>6</sup> je fais référence à l'intelligence « comme une propriété des systèmes appelés systèmes intelligents, le cerveau par exemple. Le cerveau humain est au centre même de la fonction intelligente, qui naît de l'organe. En plus des fonctions d'apprentissage et d'auto-apprentissage, le cerveau humain est un système intelligent doué de méta-apprentissage et méta-auto-apprentissage, s'apparentant au phénomène de conscience. Signalons qu'une conscience sans réflexion sur elle-même représente l'inconscience. En affinant ces notions de conscience-inconscience, je propose quatre types de consciences reliés aux deux hémisphères de notre cerveau :

- Consciences psychologiques objectives de l'hémisphère gauche :

La conscience, c'est-à-dire la conscience de nos actes et qui est inconsciente d'exister.

La méta-conscience, c'est-à-dire la conscience consciente et qui est consciente de la conscience.

- Consciences psychologiques subjectives de l'hémisphère droit :

---

<sup>5</sup> Antonio R. Damasio (2010). *L'autre moi-même*. Paris: Odile Jacob.

<sup>6</sup> Daniel Dubois (1990), *LE LABYRINTHE DE L'INTELLIGENCE : De l'intelligence naturelle à l'intelligence fractale*. InterÉditions (Paris) – Academia (Louvain-la-Neuve), 2ème édition revue

L'auto-conscience de soi, c'est-à-dire la conscience de se sentir, qui est inconsciente d'exister.

La méta-auto-conscience de soi, qui est l'auto-conscience de soi de l'auto-conscience de soi, et qui est consciente de la conscience de soi.

Ainsi, les niveaux simples de conscience sont assimilés à ce que nous appelons généralement inconscient et les métras niveaux sont ceux de la conscience dans le sens commun du terme. Sur cette base, nous pouvons déduire que nous disposons donc de deux types de consciences : une conscience objective ou rationnelle (de l'hémisphère gauche), et une conscience subjective ou émotionnelle (de l'hémisphère droit). Toutes deux ont chacune un niveau de conscience réelle et un niveau d'inconscience ». Comme je l'ai expliqué : « L'intelligence naturelle émerge de la totalité du cerveau, de la moelle épinière, des systèmes nerveux et de la peau » [Daniel M. Dubois, 2010]<sup>7</sup>. L'intelligence naturelle émerge d'un ensemble de constituants et non du seul cerveau. Cette intelligence naturelle fait appel aux sens qui nous permettent d'obtenir diverses informations, que notre cerveau traitera ensuite d'une certaine façon, pour pouvoir nous positionner par rapport à ce qui nous arrive. L'homme, de par sa nature profonde est doté de multiples qualités (physiques, psychiques, et autres) pour entrer en contact avec son environnement et le reste du monde. Tout est question de perception, d'intégration et de rendu. Que ce soit ses sens, son langage, ses manières, tout ce qui fait ce qu'il est, tout est fait pour que cet être soit en contact permanent. A tel point, qu'il serait impensable de couper toute connexion avec l'extérieur. Au même titre, il serait erroné de concevoir que le cerveau soit le seul siège de l'intelligence naturelle. En effet, le cerveau gère les informations qu'il reçoit à traiter et ces informations ne sont pas uniquement auto générées par lui. Les informations extérieures doivent pouvoir être recueillies pour pouvoir être traitées. Un cerveau seul n'est guère plus qu'un amas de cellules, d'humeurs et de sang. Il a besoin d'agents chargés de récolter ces informations et ces agents sont matérialisés notamment par les sens dont les plus classiquement connus : le toucher, la vue, l'ouïe, le goût, et l'odorat. L'ensemble des informations ainsi récoltées est énorme et de nature diverse. Ainsi, découper, catégoriser et segmenter nous permet de mieux embrasser la connaissance. Nous retrouvons ici la notion d'intelligence.

### 3.3. Conscience et libre arbitre réduit au droit de veto

Sommes-nous capables de déterminer quand nous décidons consciemment de déclencher volontairement nos mouvements ? Autrement dit, à quel moment survient cette prise de conscience du mouvement déclenché ? La conscience volontaire est-elle à l'origine de ce déclenchement ? Tel fut le champ d'investigation du neurophysiologiste Benjamin Libet [1983, 2004]<sup>8,9</sup> et ce qu'il découvrit sur le rôle du libre arbitre ! Toute action motrice trouve sa source dans le cortex moteur. En effet, notre corps capte divers signaux pouvant renseigner sur notre position spatiale, sur notre environnement, sur les objectifs à atteindre, etc. Le cortex moteur reçoit ces informations et les traite de telle sorte qu'il produit un mouvement coordonné débouchant sur le résultat voulu.

Grâce à l'imagerie cérébrale et plus particulièrement à l'électroencéphalogramme, l'activité électrique précédant l'initialisation volontaire d'un mouvement a pu être observée. C'est ce que l'on appelle « le potentiel évoqué primaire » qui se marque concrètement par une « déflexion importante du tracé » de l'électroencéphalogramme, et qui survient avant que le mouvement proprement dit ne soit initié. Partant de cette observation, Benjamin Libet se demanda si cette initialisation volontaire était l'équivalent au « désir conscient » chez le sujet. C'est ainsi qu'il mit au point son expérience dans laquelle il demande à un sujet de fléchir son poignet quand il le désire.

Libet va mesurer trois événements : le début de la flexion du poignet ; le début du « potentiel évoqué primaire » ; et, le début du moment où le sujet considérerait décider consciemment d'exécuter

---

<sup>7</sup> Daniel M. Dubois (2010). *Natural and Artificial Intelligence, Language, Consciousness, Emotion, and Anticipation*. COMPUTING ANTICIPATORY SYSTEMS: CASYS'09, Ninth International Conference. AIP Conference Proceedings, vol. 1303, pp. 236-245.

<sup>8</sup> Benjamin Libet, C. A. Gleason, E. W. Wright, & D. K. Pearl (1983), Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*, 106, 623-642.

<sup>9</sup> Benjamin Libet (2004), *Mind Time. The Temporal Factor in Consciousness*, Harvard University Press, Cambridge, London.

la flexion. Il aurait été tout à fait raisonnable de voir coïncider, voire même précéder, cette décision consciente avec ce « potentiel évoqué primaire », mais ce ne fut pas le résultat des tests. Au contraire, le « potentiel évoqué primaire » conforte son attribut « primaire », puisqu'il intervient aux alentours de 350 millisecondes avant que le sujet ne rapporte sa décision de bouger ou plus précisément, sa volonté consciente de bouger.

Sur une échelle temporelle, la chronologie des événements est la suivante :

- + 0,00 seconde : Potentiel évoqué primaire
- + 0,35 seconde : Décision ou volonté consciente de bouger le poignet  
Droit de veto
- + 0,50 seconde : Activation neuronale du cortex moteur
- + 0,55 seconde : Début du mouvement

Ainsi, le cerveau initie le mouvement avant même que le sujet ne décide consciemment de bouger son poignet. Ce qui pouvait conforter les thèses réfutant l'existence du libre arbitre, expression alors illusoire de notre toute puissance. Cela dit, d'autres expériences de Libet l'amènent à penser que le libre arbitre s'exprimait par le droit de veto qu'exerce notre volonté consciente sur l'exécution d'une décision. Ce droit de veto aurait entre 100 et 150 millisecondes après la volonté consciente d'agir (les 50 dernières millisecondes étant réservées à l'activation neuronale du cortex moteur).

Plus récemment encore, d'autres chercheurs du groupe de John Dylan Haynes [2008]<sup>10</sup> ont démontré qu'il était possible de déterminer le résultat prochain d'une décision dans l'activité cérébrale d'un sujet jusqu'à sept secondes avant que l'individu ne soit conscient de sa décision.

Ces résultats induisent le fait que la prise de conscience du désir d'agir est précédée et anticipée par une activité cérébrale (potentiel évoqué primaire) qui est de facto et par opposition, inconsciente. Plus largement, ils induisent le fait que des processus inconscients seraient à la base de nos processus décisionnels, mais que notre cerveau conscient garde la possibilité de bloquer l'exécution de cette décision. La théorie de Libet rejoint donc d'une certaine façon la mienne. En effet, nos deux approches conçoivent une part d'inconscient dans les prémisses de nos actes et de nos décisions. Pour ma part, cette part d'inconscient s'incarne dans la conscience et la conscience de soi, deux « consciences » qui n'ont pas conscience d'elles-mêmes. Et comme je le dis dans mon livre « Le labyrinthe de l'intelligence » (1990) :

« Une conscience sans réflexion sur elle-même représente l'inconscience ».

### 3.4. Le cerveau hormonal

Le cerveau triunique, tel que nous l'avons vu, parle de trois couches successives dues à l'évolution de nos besoins, de notre environnement et de toutes les interactions qui en découlent. Les connexions entre les différentes couches sont possibles, grâce notamment au réseau câblé cérébral formé par un ensemble de neurones et de leurs axones. Ce réseau câblé ne relie pas physiquement tous les neurones, car ils ne se touchent pas. Pour communiquer, ils utilisent ce que l'on appelle les neurotransmetteurs libérés sous l'effet de l'influx nerveux et qui traversent la synapse ou espace inter neuronal, pour se reconvertir en influx nerveux dans le neurone atteint. On parle alors soit de neurotransmission synaptique lorsque la communication est directe et rapide d'un point à l'autre ou de neuromodulation lorsque la communication est plus diffuse et touche un ensemble de cibles neuronales. Les neurones impliqués dans la neuromodulation sont regroupés dans le tronc cérébral et la région centrale du cerveau. Cela dit, lorsqu'ils communiquent avec les neuromodulateurs, ils inondent littéralement la cavité cérébrale d'informations impactant notamment les centres du plaisir. Les quatre principaux neuromodulateurs sont :

- La dopamine, qui est connue pour son rôle dans le circuit de la récompense dont nous avons parlé plus haut dans le cerveau limbique.
- La sérotonine, qui joue un rôle sur l'humeur et les émotions, la satiété, le comportement sexuel, l'atténuation de la perception de la douleur, etc.
- La noradrénaline, qui entraîne notamment de l'agressivité.

---

<sup>10</sup> Chun Siong Soon, Marcel Brass, Hans-Jochen Heinze & John-Dylan Haynes (2008), *Unconscious determinants of free decisions in the human brain*. Nature Neuroscience. Volume 11, Number 5, pp. 543-545.

- L'acétylcholine, qui a un effet sur les fonctions intellectuelles et mémorielles avec incidence sur la concentration.

Ainsi, les informations reçues par la neuromodulation ont des répercussions sur certaines zones sensibles quant à leur implication dans la recherche du plaisir ou l'évitement de la douleur, moteurs par excellence de la plupart de nos comportements et donc de nos prises de décision.

Les hormones diffusées dans notre cerveau induisent un choix comportemental précis basé sur l'expérience mémorisée ou mémorisable comme étant la plus adéquate pour répondre à une situation donnée, et dont le but ultime est le rétablissement de l'équilibre général qui s'exprime par la satisfaction.

#### 4. LE CONCEPT DE PROGRAMME NEURONAL

La théorie du dualisme, attribué à René Descartes (1641), soutient que l'esprit est une substance non physique. Descartes a été le premier à identifier l'esprit avec la conscience et de le distinguer à partir du cerveau, qui était le siège de l'intelligence. Dans un article récent [Dubois, 2010]<sup>11</sup> : *« je conjecture qu'il n'y a pas de dualisme, car le système de l'esprit-cerveau est une unité indivisible. Toute fonction de changement de l'activité mentale correspond à une trace physique dans le cerveau, sous forme de scripts exécutables, codés par des langages de bas niveau et de haut niveau. Un script exécutable est un programme qui exécute une séquence d'instructions codées. Le mot «programme» vient de «pro-gramme» qui signifie «écrire avant», et désigne un plan pour la programmation d'un mécanisme, ou une séquence d'instructions codées qui peuvent être insérées dans un mécanisme, ou une séquence d'instructions codées, comme des gènes ou des réponses comportementales, qui fait partie d'un organisme. Rappelons que toutes les cellules dans le corps, et les neurones dans le cerveau, sont programmées par le code génétique de l'ADN, dans un langage de bas niveau avec quatre signes. ... L'avancée, dans cet article, porte sur un cerveau complètement programmé, avec des scripts différents exécutables dans des langages de bas niveau et de haut niveau. L'exécution de ces scripts par le cerveau correspond à l'activité mentale. L'esprit est le siège de l'intelligence donnée par l'expérience consciente et des processus inconscients par la combinaison de la pensée, la perception, la mémoire, l'émotion, la volonté et l'imagination. Il y a plusieurs types de scripts exécutables. Par exemple, certains scripts sont pré-programmés par l'ADN, certains scripts sont auto-programmés par apprentissage ou par des règles rationnelles. Ces programmes sont des scripts exécutables codés dans le cerveau physique. Ces scripts sont basés sur la diversité biologique des langues de bas niveau et de haut niveau. Il y a des scripts de traduction qui peuvent être appelés interpréteurs qui traduisent un script à un autre script. Il existe différents types de scripts, certains scripts sont écrits en langages neuronaux de bas niveau, et il y a des scripts interpréteurs qui traduisent un script en un autre script dans un autre langage. La compréhension de la signification d'un script ne peut seulement être faite qu'en traduisant ce script, avec un interpréteur, et la production subséquente d'un script équivalent, appelé pareillement une traduction, qui communique le même message dans un autre langage (Kull, 1998)<sup>12</sup>. Le script qui est traduit est appelé le script source et le langage dans lequel il est traduit est appelé le langage cible. Le produit peut être appelé le script cible. Par exemple, nous suggérons qu'un script inconscient devient un script conscient traduit par un interpréteur. Dans l'activité mentale consciente, les scripts sont écrits en langages de haut niveau, codés dans le cerveau neuronal. Les langages naturels, comme le français, l'anglais, que l'homme apprend, sont des langages de haut niveau. Le fait d'être conscient est une propriété physique du cerveau, parce que c'est le résultat de l'exécution d'un programme représenté par un script exécutable codé dans le cerveau neuronal. Le fait qu'un libre arbitre inconscient peut devenir un libre arbitre conscient, n'est que la traduction du script inconscient en un script conscient dans un autre langage que l'esprit conscient comprend. »*

<sup>11</sup> Daniel M. Dubois (2010), *Breakthrough in the Human Decision Making Based on an Unconscious Origin of Free Will*. ACTA SYSTEMICA, Vol. X, No. 1, pp. 13-18. ISSN 1813-4769

<sup>12</sup> Kalevi Kull (1998). Organism as a Self-reading Text: Anticipation and Semiosis, *International Journal of Computing Anticipatory Systems* 1, 93-104. ISSN 1373-5411



## **5. LE LANGAGE COMME PROGRAMME DE COMMANDE DES NEURONES**

La langue maternelle chez l'homme, lui permet de programmer son cerveau. C'est un véritable langage naturel de programmation du système neuronal humain d'où émerge son intelligence naturelle et sa conscience.

### **5.1. Programmer les mémoires neuronales en langage conscient**

Le langage est un système de signes identifiés permettant une communication de messages entre un émetteur et un récepteur. Un message a besoin d'un support et d'un moyen de transmission, qui sera pour cela traduit en un système de symboles ou codé par l'émetteur. Le code choisi peut être une langue naturelle (par exemple, la langue française), ou un autre type de langage (par exemple, un langage informatique). Le message de l'émetteur pourra aussi contenir certaines informations sous forme codée. Le récepteur devra être à même de décoder le message transmis par l'émetteur.

Le langage verbal est la mise en œuvre de messages basés sur une langue, ce qui explique que nous communiquons de manière verbale en toute conscience, et que ces messages soient universels, car ils ont une origine acquise par apprentissage de la langue maternelle, par exemple. Les messages non-verbaux sont émis et perçus par des centres nerveux archaïques. Ce qui explique que nous communiquons de manière non-verbale en toute inconscience, et que ces messages soient universels, car ils ont une origine génétique innée dans le système nerveux de tous les humains. Le langage des signes des sourds muets est un langage non-verbal, mettant en œuvre des messages basés sur une langue, ce qui permet une communication consciente. Le langage est un des moyens de mémorisation lors de l'apprentissage.

### **5.2. Les mémoires à court et long terme du cerveau**

Dans les années 1960, on a montré que des régions spécifiques du cerveau jouent un rôle dans le processus de mémorisation. La mémoire à court terme se développe dans la structure de l'hippocampe, située dans la partie interne du lobe temporal, où les connexions neuronales varient rapidement, c'est-à-dire que leurs poids synaptiques montrent une grande plasticité. Le neurobiologiste Eric Kandel [2007]<sup>13</sup>, Arvid Carlsson et Paul Greengard ont reçu le Prix Nobel en 2000, pour cette découverte de la « plasticité synaptique », qui facilite le stockage d'informations dans la « mémoire à court terme », aussi appelée la « mémoire de travail ». Le processus de mise en « mémoire à long terme » prend alors le relais par une liaison entre l'hippocampe et les régions corticales du cerveau. Par exemple, la mémoire à long terme de la peur est des émotions est bien encodée par un circuit physique neuronal dans la région de l'amygdale.

### **5.3. La mémoire déclarative verbale et la mémoire procédurale inconsciente**

Neal Cohen et Larry Squire [1980]<sup>14</sup>, ont montré que des patients amnésiques pouvaient apprendre quelque chose de nouveau sans conserver de souvenirs des séances d'apprentissage. Ils ont fait la dissociation entre une mémoire déclarative « de savoir que », et une mémoire procédurale « de savoir comment ». Cette double approche permet de faire une distinction entre une mémoire déclarative « verbale consciente », qui permet d'évoquer de façon consciente des souvenirs sous la forme de mots, et une mémoire procédurale « non-verbale inconsciente », qui sert à réaliser des opérations complexes souvent motrices. En effet, d'une part, la mémoire déclarative, verbale et consciente, se scinde en une « mémoire épisodique des événements », qui permet de se souvenir des événements qui nous sont propres, et une « mémoire sémantique des faits », qui permet de se souvenir de faits sans se souvenir, où et quand, nous les avons acquis. D'autre part, la mémoire procédurale, non-verbale et inconsciente, se scinde en une « mémoire des procédures cognitives » et une « mémoire des procédures motrices », qui nous permettent d'accomplir des actions de manière automatique, comme des activités physiques, verbales ou cognitives de routine. Il a été montré que

---

<sup>13</sup> Eric Kandel (2007), À la recherche de la mémoire, une nouvelle théorie de l'esprit, éditions Odile Jacob, 2007

<sup>14</sup> Neal J. Cohen, Larry R. Squire (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science, New Series*, Vol. 210, No. 4466, pp. 207-210

l'apprentissage d'une nouvelle habileté cognitive était de nature séquentielle et qu'elle impliquait la mémoire épisodique. [Hélène Beaunieux et al, 2006]<sup>15</sup> Il a été démontré que l'apprentissage d'une procédure se déroule en trois étapes distinctes qui correspondent à des aires cérébrales spécifiques [Valérie Hubert et al, 2007]<sup>16</sup>. La première étape est caractérisée par une activation du lobe frontal, lieu de la mémoire épisodique. L'activation bascule alors progressivement vers les régions postérieures du cervelet, des ganglions de la base et du thalamus, lors des deux étapes suivantes. Dans la première étape cognitive, le sujet tâtonne et commet des erreurs pour découvrir ce qu'il doit apprendre. La mémoire épisodique permet le souvenir des erreurs passées et de ne pas les refaire. Pendant la deuxième étape associative, qui est transitoire, le sujet commence à contrôler la tâche à effectuer. Le registre de travail de la mémoire à court terme permet de visualiser la séquence à effectuer dans son intégralité. Enfin, à la troisième étape autonome, les gestes du sujet sont automatisés. La mémoire procédurale fonctionne de manière autonome quand une procédure est totalement automatisée. Ce basculement expliquerait pourquoi les automatismes sont si difficiles à verbaliser. Considérons le cas de l'apprentissage de programmer un code.

#### 5.4. Programme moteur enregistré dans une mémoire procédurale du système neuronal

Citons Hélène Beaunieux [2010]<sup>17</sup> : « Reprenons l'exemple du distributeur de billet. Au départ, nous enregistrons notre code en mémoire épisodique afin de pouvoir le composer correctement. Mais, à force de pratique, ces informations sont transformées en un **programme moteur, stocké cette fois en mémoire procédurale**. Autrement dit, les régions antérieures de notre cerveau travaillent de moins en moins, tandis que les régions postérieures prennent le relais. »

J'ai mis en gras « programme moteur, stocké cette fois en mémoire procédurale », car il s'agit bien d'un programme moteur qui est enregistré dans la mémoire procédurale du système neuronal.

Cela répond positivement à la question posée dans le titre de cet article, étendant de facto toutes les possibilités d'apprentissage des réseaux de neurones classiques.

A ce stade, il devient difficile de se souvenir du code qui se trouve dans la mémoire procédurale. On connaît le code mais on a des difficultés à le verbaliser.

Les personnes amnésiques, qui présentent des troubles de la mémoire épisodique, éprouvent évidemment des difficultés de l'apprentissage procédural, et de mettre en place un nouvel automatisme cognitif. Mais, comme la mémoire procédurale est préservée chez les amnésiques, plusieurs techniques d'acquisition ont été testées. Parmi celles-ci, la technique basée sur le simple principe d'apprentissage sans erreur semble efficace [Wilson et al, 1994]<sup>18</sup>. En effet, comme les amnésiques ont un déficit de leur mémoire épisodique, ils ne sont pas capables de corriger leurs erreurs d'apprentissage, alors ils doivent se mettre dans les conditions d'utilisation de leur mémoire procédurale par un apprentissage d'un programme constitué d'une série motrice. Par exemple, une personne amnésique est capable d'automatiser le code PIN de son téléphone portable, à condition de lui donner le code, lors des 50 premières utilisations. Il va ainsi automatiser la série motrice sur le clavier, mais il sera incapable de se rappeler explicitement du code sans son téléphone. Cette technique a également été utilisée pour l'apprentissage de procédures cognitives de programmation d'agenda électronique chez des personnes atteintes de traumatismes crâniens [Pitel et al, 2006]<sup>19</sup>.

---

<sup>15</sup> Hélène Beaunieux, Valérie Hubert, Thomas Witkowski, Anne-Lise Pitel, Sandrine Rossi, Jean-Marie Danion, Béatrice Desgranges, Francis Eustache (2006), *Which processes are involved in cognitive procedural learning ?*, Memory, Volume 14, No. 5, pp. 521-539

<sup>16</sup> Valérie Hubert, Hélène Beaunieux, Gaël Chételat, Hervé Platel, Brigitte Landeau, Jean-Marie Danion, Fausto Viader, Béatrice Desgranges and Francis Eustache (2007), *The dynamic network subserving the three phases of cognitive procedural learning*. Human Brain Mapping, Volume 28, Issue 12, pp. 1415–1429

<sup>17</sup> Hélène Beaunieux (2010), Comment la répétition façonne nos habitudes, La Recherche, n° 40, p. 22

<sup>18</sup> Barbara A. Wilson, Alan Baddeley, Jonathan Evans & Agnes Shiel (1994). *Errorless learning in the rehabilitation of memory impaired people*. Neuropsychological Rehabilitation, Volume 4, Issue 3, pages 307-326

<sup>19</sup> Anne Lise Pitel, Hélène Beaunieux, Nathalie Lebaron, Françoise Joyeux, Béatrice Desgranges and Francis Eustache (2006), *Two case studies in the application of errorless learning techniques in memory impaired patients with additional executive deficits*. Brain Injury, Vol. 20, No. 10, pp. 1099-1110