

Partie 2 ; Réseaux de neurones artificielle

1. Introduction

Les techniques de l'intelligence artificielle telles que les systèmes experts, la logique floue, les algorithmes génétiques et les réseaux de neurones artificiels (RNA) ont été largement utilisées dans le domaine de l'électronique de puissance et de la commande des machines électriques.

L'objectif recherché dans l'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle est d'arriver à l'émulation du raisonnement humain sur un DSP (Digital Signal Processor) (processeur de signal numérique) de telle sorte que le système complet commande - machine puisse penser et réagir intelligemment comme un être humain. Un système commande - machine équipé d'un algorithme développant un calcul par intelligence est appelé système intelligent. En effet, un système intelligent possède la caractéristique d'apprentissage, d'auto-organisation et d'auto-adaptation.

Les techniques de l'intelligence artificielle ont été discutées pendant longtemps et le seront également à l'avenir.

Actuellement, les techniques de l'intelligence artificielle sont largement utilisées dans de nombreux domaines tels que la régulation de processus industriels, le traitement d'image, le diagnostic, la médecine, la technologie spatiale et les systèmes de gestion de données informatiques. Parmi toutes les techniques intelligentes, les réseaux de neurones artificiels (RNA) semble avoir le maximum d'impact dans le domaine de l'électronique de puissance et dans la commande de machines électriques, ce qui est évident par le nombre important de publications réalisées dans la littérature.

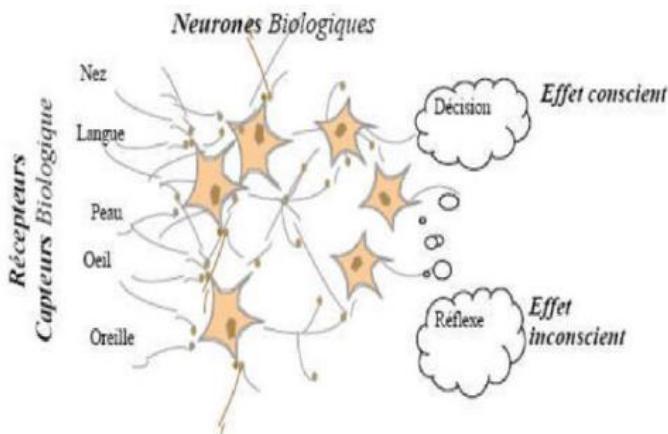
Les RNA constituent une technique de traitement de données bien comprise et bien maîtrisée. Ces techniques s'intègrent parfaitement dans les stratégies de commande. En effet, elles réalisent des fonctionnalités d'identification, de contrôle ou de filtrage, et prolonge les techniques classiques de l'automatique non linéaire pour aboutir à des solutions plus efficaces et robustes.

2- Domaines d'application des réseaux de neurones artificiels

Aujourd'hui, les réseaux de neurones artificiels ont de nombreuses applications dans des secteurs très variés :

- Traitement d'images : reconnaissance de caractères et de signatures, compression d'images, reconnaissance de forme, cryptage, classification, etc.
- Traitement du signal : filtrage, classification, identification de source, traitement de la parole...etc.
- Contrôle : commande de processus, diagnostic, contrôle qualité, asservissement des robots, systèmes de guidage automatique des automobiles et des avions...etc.
- Défense : guidage des missiles, suivi de cible, reconnaissance du visage, radar, sonar, lidar, compression de données, suppression du bruit...etc.
- Optimisation : planification, allocation de ressource, gestion et finances, etc.
- Simulation : simulation du vol, simulation de boîte noire, prévision météorologique, recopie de modèle...etc.

L'origine des réseaux de neurones vient de l'essai de modélisation mathématique du cerveau humain les premiers travaux datent de 1943 et sont l'œuvre de W.M. Culloch et W. Pitts. Ils supposent que l'impulsion nerveuse est le résultat d'un calcul simple effectué par chaque neurone et que la pensée née grâce à l'effet collectif d'un réseau de neurone interconnecté (figure 1)



2.1 - Introduction aux réseaux de neurones biologiques

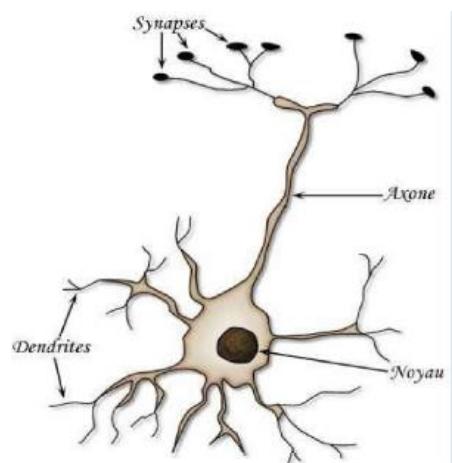
Le système nerveux est composé de 10^{12} neurones interconnectés. Bien qu'il existe une grande diversité de neurones, ils fonctionnent tous sur le même schéma.

Structure de neurone

Ils se décomposent en trois régions principales :

- Le corps cellulaire (ou Soma).
- Les dendrites (Signaux d'entrée).
- L'axone (Signal de sortie).

De plus, chaque neurone possède une membrane



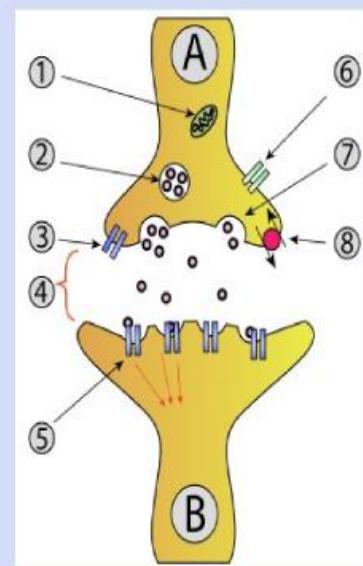
Neuronale qui donne aux neurones la faculté de véhiculer et de transmettre les messages nerveux

Le neurone a par ailleurs la caractéristique de pouvoir transmettre le signal neuronal via des jonctions Synapfiques.

- Les synapses représentent une zone de jonction spécialisée, située à l'endroit où la terminaison d'un axone entre en contact avec un autre neurone ou un autre type de cellule.
- Les synapses comportent deux éléments distincts, l'élément présynaptique et l'élément postsynaptique dénommés ainsi sur la base du sens de transmission de l'information nerveuse.
- L'élément présynaptique est généralement composé d'un bouton terminal de l'axone, alors que l'élément postsynaptique peut être un dendrite, le soma d'un autre neurone ou une cellule non neuronale.

L'espace entre la membrane présynaptique et la membrane postsynaptique représente la fente ou l'espace synaptique.

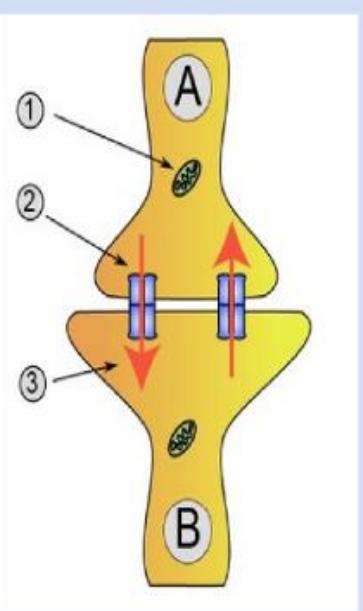
- Les synapses sont de deux grands types:
 - la synapse chimique, très majoritaire, qui utilise des neurotransmetteurs pour transmettre l'information ;
 - la synapse électrique où le signal est transmis électriquement par l'intermédiaire d'une jonction communicante (en anglais gap-junction).



Transmission électrique du neurone A (émetteur) au neurone B (récepteur)

1. Mitochondrie.
2. Vésicule synaptique avec des neurotransmetteurs
3. Autorécepteur
4. Fente synaptique
5. Récepteurs postsynaptiques activés par neurotransmetteur
6. Canal calcium
7. Exocytose d'une vésicule
8. Neurotransmetteur recapturé

Synapse Chimique



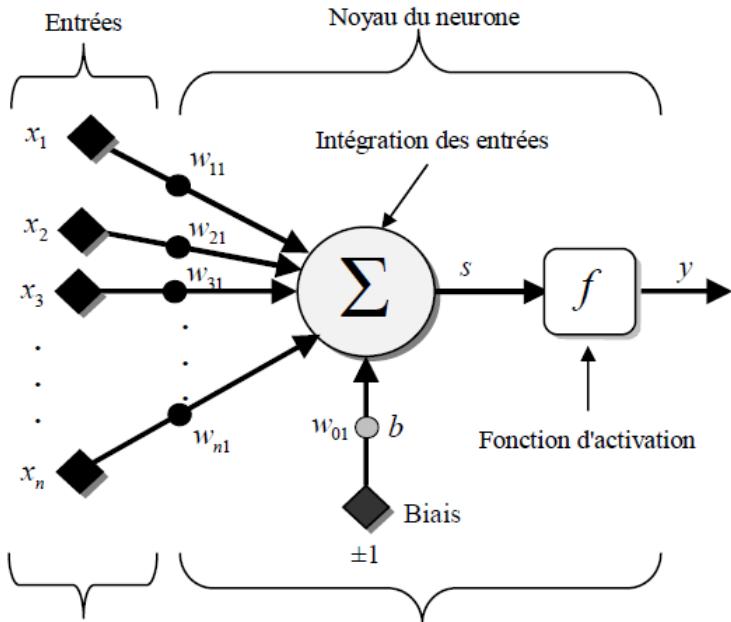
Transmission électrique du neurone A (émetteur) au neurone B (récepteur)

1. Mitochondrie.
2. Connexine.
3. Courant ionique

Synapse Electrique

3 - Les réseaux de neurones formels

Un "neurone formel" (ou simplement "neurone") est une fonction algébrique non linéaire et bornée, dont la valeur dépend des paramètres appelés coefficients ou poids. Les variables de cette fonction sont habituellement appelées "entrées" du neurone, et la valeur de la fonction est appelée sa "sortie". Un neurone est donc avant tout un opérateur mathématique, dont on peut calculer la valeur numérique par quelques lignes de logiciel. On a pris l'habitude de représenter graphiquement un neurone comme indiqué sur la figure



Les x_i représentent les vecteurs d'entrées, elles proviennent soit des sorties d'autres neurones, soit de stimuli sensoriels (capteur visuel, sonore...);

- Les w_{ij} sont les poids synaptiques du neurone j . Ils correspondent à l'efficacité synaptique

dans les neurones biologiques (w_{ij} : synapse excitatrice; w_{ij} : synapse inhibitrice). Ces poids pondèrent les entrées et peuvent être modifiés par apprentissage;

- Biais : entrée prend souvent les valeurs -1 ou +1 qui permet d'ajouter de la flexibilité au réseau en permettant de varier le seuil de déclenchement du neurone par l'ajustement des poids et du biais lors de l'apprentissage;
- Noyau : intègre toutes les entrées et le biais et calcul la sortie du neurone selon une fonction d'activation qui est souvent non linéaire pour donner une plus grande flexibilité

d'apprentissage.

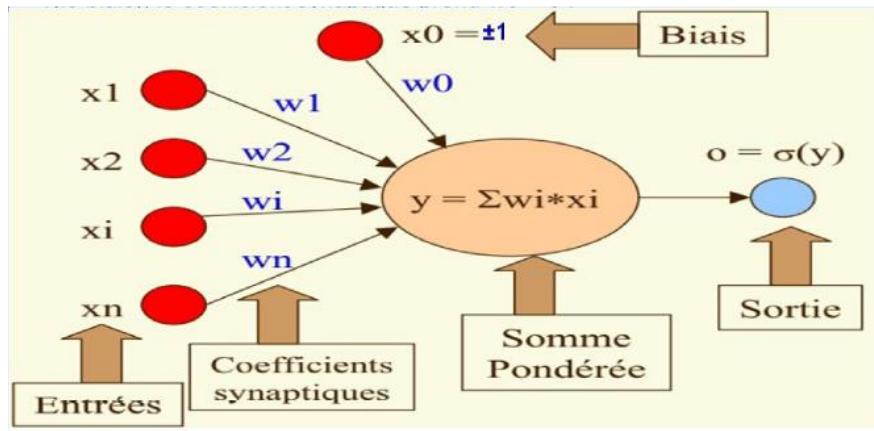
4 - Modélisation d'un neurone formel

La modélisation consiste à mettre en œuvre un système de réseau de neurones sous un aspect non pas biologique mais artificiel, cela suppose que d'après le principe biologique on aura une correspondance pour chaque élément composant le neurone biologique, donc une modélisation pour chacun d'entre eux. On pourra résumer cette modélisation par le tableau 1,

qui nous permet de voir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel.

Neurone biologique	Neurone formel
Synapses	Poids des connexions
Axones	Signal de sortie
Dendrites	Signal d'entrée
Noyau ou Somma	Fonction d'activation

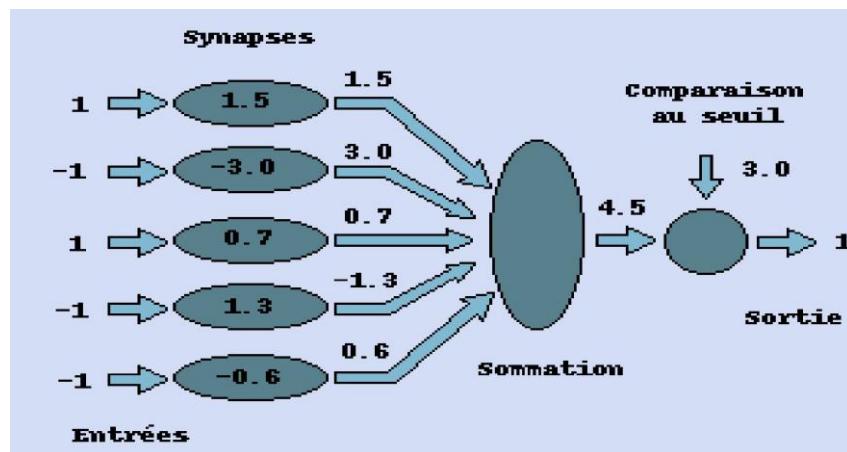
Tab.1 - Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel.



Le seuil de la fonction d'activation peut être considéré comme une entrée supplémentaire $x=+$ (le biais), avec le coefficient synaptique suivant $w_0=$.

Si $x_0 = +1$ (le biais), le coefficient synaptique prend $w_0=$.

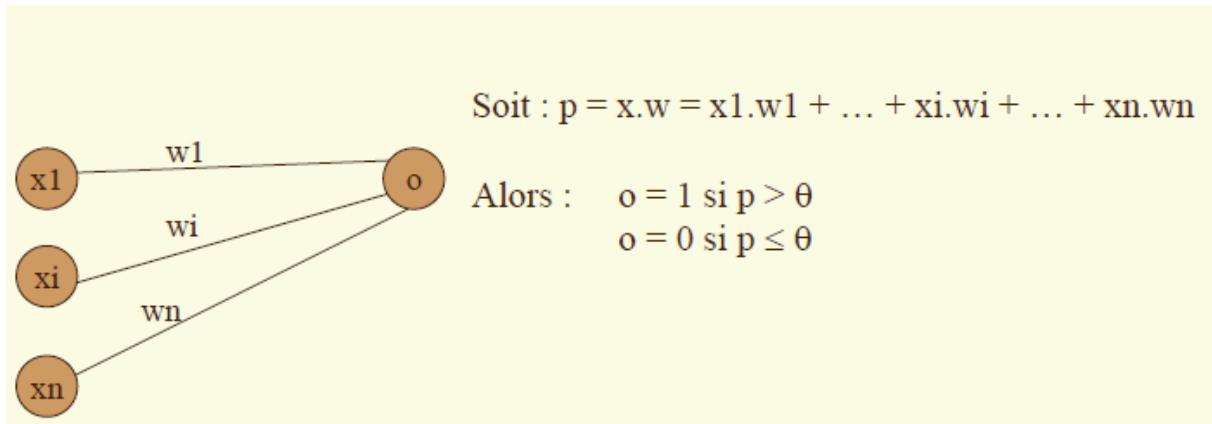
Si $x_0 = -1$ (le biais), le coefficient synaptique prend $w_0=$.



Le neurone reçoit les entrées $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$.

Le potentiel d'activation du neurone p est défini comme la somme pondérée (les poids sont les coefficients synaptiques w_i) des entrées.

La sortie o est alors calculée en fonction du seuil θ



Définitions

- Déterminer un réseau de neurones = trouver les coefficients synaptiques.

On parle de phase d'**apprentissage** ; les caractéristiques du réseau sont modifiées jusqu'à ce que le comportement désiré soit obtenu.

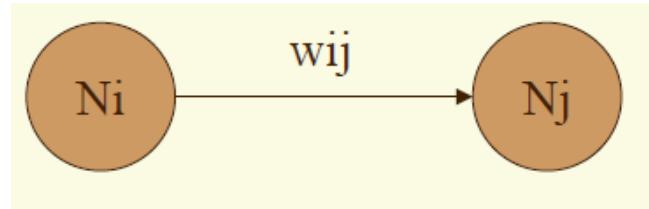
- **Base d'apprentissage** : exemple représentatif du comportement ou de fonction à modéliser. Ces exemples sont sous la forme de couples (entrée, sortie) connus
- **Base d'essai** : pour une entrées quelconque (bruité ou incomplète).

Calculer la sortie. On peut alors évaluer la performance du réseau.

4- Loi de HEBB

Réseau de neurones :

- n entrées e_1, \dots, e_n
- m neurones N_1, \dots, N_m .
- w_{ij} le coefficient synaptique de la liaison entre les neurones N_i et N_j
- une sortie o
- un seuil S
- Fonction de transfert : fonction Signe
 - si $x > 0$: $\text{Signe}(x) = +1$
 - si $x \leq 0$: $\text{Signe}(x) = -1$



Principe :

Si deux neurones sont activés en même temps, alors la force de connexion augmente.

Base d 'apprentissage :

On note S la base d 'apprentissage.

S est composée de couples (e, c) où :

 e est le vecteur associé à 1 'entrée (e1, ..., en)

 c la sortie correspondante souhaitée

Définitions :

ai est la valeur d 'activation du neurone Ni.

Algorithme :

- μ est une constante positive.
- Initialiser aléatoirement les coefficients w_i
- Répéter :
 - Prendre un exemple (e, c) dans S
 - Calculer la sortie o du réseau pour 1 'entrée e
 - Si $c \neq o$
 - Modification des poids w_{ij} :
 - $w_{ij} = w_{ij} + \mu * (a_i * a_j)$
 - Fin Pour
 - Fin Si
- Fin Répéter