

## **Chapitre 3**

# **Les réseaux de neurones artificiels (RNA)**

# Les modèles mathématiques

Les réseaux de neurones biologiques réalisent facilement un certain nombre d'applications telles que la reconnaissance de formes, le traitement du signal, l'apprentissage par l'exemple, la mémorisation, la généralisation. Ces applications sont pourtant, malgré tous les efforts déployés en algorithmique et en intelligence artificielle, à la limite des possibilités actuelles. C'est à partir de l'hypothèse que le comportement intelligent émerge de la structure et du comportement des éléments de base du cerveau que les réseaux de neurones artificiels se sont développés. Les réseaux de neurones artificiels sont des modèles, à ce titre ils peuvent être décrit par leurs composants, leurs variables descriptives et les interactions des composants.

## 1 Composant (le neurone artificiel)

### 1.1 Structure

La figure 1 montre la structure d'un neurone artificiel. Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones amonts. A chacune de ces entrées est associée un poids  $w$  abréviation de weight (poids en anglais) représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones avals. A chaque connexion est associée un poids.

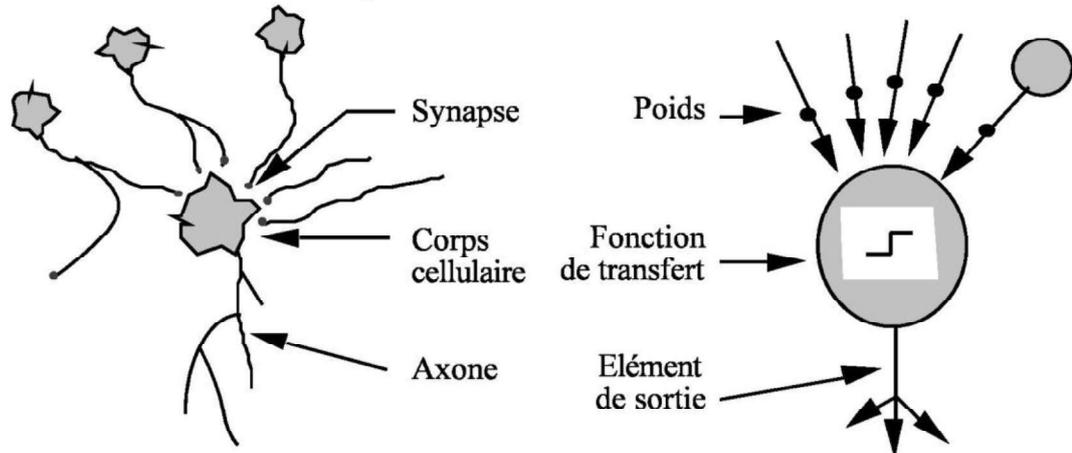


Figure 1. Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel

La figure 2 donne les notations que nous utilisons dans cet ouvrage.

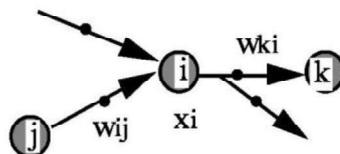


Figure 2. Structure d'un neurone artificiel. Pour le neurone d'indice  $i$ , les entrées sur celui-ci sont de poids  $w_{ij}$  alors que les connexions avals sont de poids  $w_{ki}$ .

## 1.2 Comportement

On distingue deux phases. La première est habituellement le calcul de la somme pondérée des entrées ( $a$ ) selon l'expression suivante :

$$a = \sum (w_i \cdot e_i)$$

A partir de cette valeur, une fonction de transfert calcule la valeur de l'état du neurone. C'est cette valeur qui sera transmise aux neurones avals. Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction de transfert. Les plus courantes sont présentées sur la figure 3. On remarquera qu'à la différence des neurones biologiques dont l'état est binaire, la plupart des fonctions de transfert sont continues, offrant une infinité de valeurs possibles comprises dans l'intervalle  $[0, +1]$  (ou  $[-1, +1]$ ).

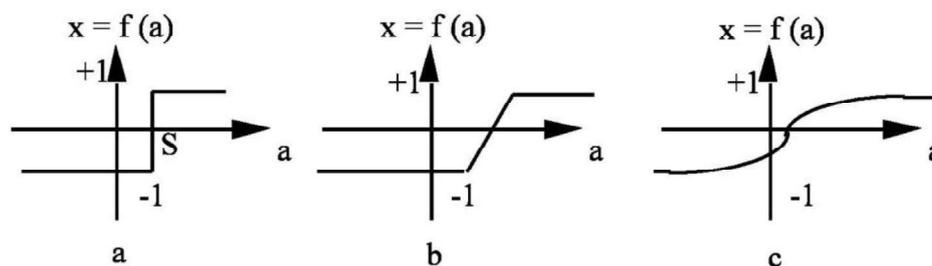


Figure 3. Différents types de fonctions de transfert pour le neurone artificiel, a : fonction à seuil ( $S$ , la valeur du seuil), b : linéaire par morceaux, c : sigmoïde.

Nous constatons que les équations décrivant le comportement des neurones artificiels n'introduisent pas la notion de temps. En effet, et c'est le cas pour la plupart des modèles actuels de réseaux de neurones, nous avons affaire à des modèles à temps discret, synchrone, dont le comportement des composants ne varie pas dans le temps.

## 2 Variables descriptives

Ces variables décrivent l'état du système. Dans le cas des réseaux de neurones qui sont des systèmes non autonomes, un sous-ensemble des variables descriptives est constitué par les variables d'entrée, variables dont la valeur est déterminée extérieurement au modèle.

## 3 Structure d'interconnexion

Les connexions entre les neurones qui composent le réseau décrivent la topologie du modèle. Elle peut être quelconque, mais le plus souvent il est possible de distinguer une certaine régularité.

Réseau multicouche (au singulier) : les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche et les connexions ne se font qu'avec les neurones

des couches avales (fig. 4). Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurone d'entrée, neurone de sortie. Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie. Les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelés couches cachées.

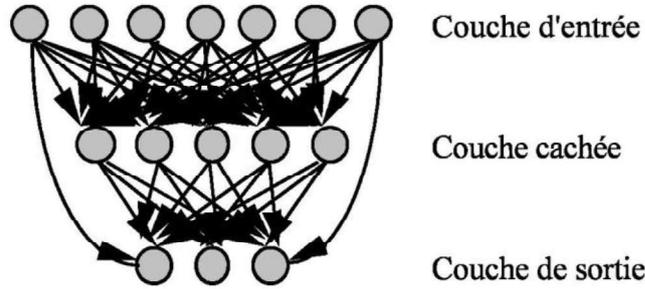


Figure 4. Définition des couches d'un réseau multicouche.

Réseau à connexions locales : Il s'agit d'une structure multicouche, mais qui à l'image de la rétine, conserve une certaine topologie. Chaque neurone entretient des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de la couche avale (fig. 5). Les connexions sont donc moins nombreuses que dans le cas d'un réseau multicouche classique.

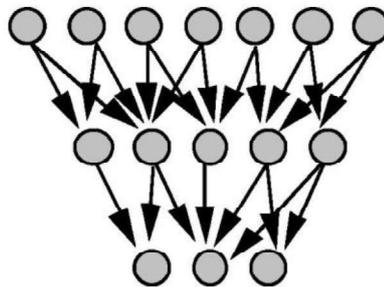


Figure 5. Réseau à connexions locales

Réseau à connexions récurrentes : les connexions récurrentes ramènent l'information en arrière par rapport au sens de propagation défini dans un réseau multicouche. Ces connexions sont le plus souvent locales (fig. 6).

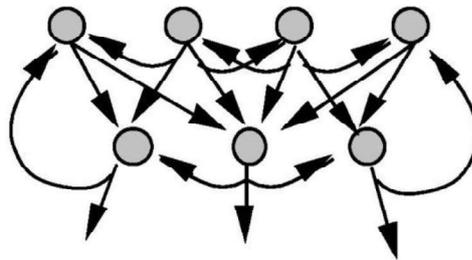


Figure 6. Réseau à connexions récurrentes

Réseau à connexion complète : c'est la structure d'interconnexion la plus générale (fig. 7). Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau (et à lui-même).

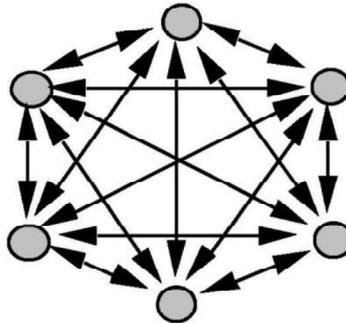


Figure 7. Réseau à connexions complète

Il existe de nombreuses autres topologies possibles, mais elles n'ont pas eu à ce jour la notoriété des quelques unes que nous avons décrites ici.

## 4 Fonctionnement

### 4.1 Perceptron

Avant d'aborder le comportement collectif d'un ensemble de neurones, nous allons présenter le Perceptron (un seul neurone) en phase d'utilisation. L'apprentissage ayant été réalisé, les poids sont fixes. Le neurone de la figure 8 réalise une simple somme pondérée de ses entrées, compare une valeur de seuil, et fournit une réponse binaire en sortie. Par exemple, on peut interpréter sa décision comme classe 1 si la valeur de  $x$  est +1 et classe 2 si la valeur de  $x$  est -1.

