

Mémoire de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Informatique  
Option : Systèmes Informatiques

---

Création d'un corpus de l'aphasie de Broca et  
développement d'un système Speech-to-speech de  
réhabilitation de la parole

---

Réalisé par :  
BELGOUMRI Mohammed  
Djameleddine  
[im\\_belgoumri@esi.dz](mailto:im_belgoumri@esi.dz)

Encadré par :  
Pr. SMAILI Kamel  
[smaili@loria.fr](mailto:smaili@loria.fr)  
Dr. LANGLOIS David  
[david.langlois@loria.fr](mailto:david.langlois@loria.fr)  
Dr. ZAKARIA Chahnez  
[c\\_zakaria@esi.dz](mailto:c_zakaria@esi.dz)

# Table des matières

<b>Page de garde</b>	<b>1</b>
<b>Table des matières</b>	<b>1</b>
<b>Table des figures</b>	<b>2</b>
<b>Sigles et abréviations</b>	<b>3</b>
<b>1 Apprentissage séquence à séquence</b>	<b>4</b>
1.1 Énoncé du problème . . . . .	4
1.2 Réseaux de neurones feed-forward . . . . .	5
1.2.1 Généralités . . . . .	5
1.3 Réseaux de neurones récurrents . . . . .	6
<b>Bibliographie</b>	<b>7</b>

# Table des figures

1.1	Architecture sous-jacente d'un FFN (réseau de neurones feed-forward) de profondeur 3. . . . .	5
-----	--	---

# Sigles et abréviations

RNN (réseau de neurones récurrent) de l'anglais : recurrent neural network

# Chapitre 1

## Apprentissage séquence à séquence

Les modèles “séquence à séquence” sont une famille d’algorithmes de apprentissage automatique (ML) dont l’entrée et la sortie sont des séquences. Plusieurs tâches de apprentissage automatique, notamment en traitement automatique du langage (NLP), peuvent être formulées comme tâches d’apprentissage séquence à séquence. Parmi ces tâches, nous citons : la création de chatbots, la réponse aux questions, la reconnaissance automatique de la parole et la traduction automatique.

Dans ce chapitre, nous commençons par formuler le problème de modélisation de séquences. En suite, nous présentons les architectures neuronales les plus utilisées pour cette tâche. En fin, nous terminons avec une étude comparative de celles-ci.

### 1.1 Énoncé du problème

Formellement, le problème de modélisation séquence à séquence est celui de calculer une fonction partielle  $f : X^* \rightarrow Y^*$ , où :

- $X$  est un ensemble dit d’entrées.
- $Y$  est un ensemble dit de sorties.
- Pour un ensemble  $A$ ,  $A^* = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} A^n$  est l’ensemble de suites de longueur finie d’éléments de  $A$ .

$f$  prend donc un  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X^n$  et renvoie un  $y = (y_1, y_2, \dots, y_m) \in Y^m$ . Dans le cas général,  $n \neq m$  et aucune hypothèse d’alignement n’est supposée. Il est souvent de prendre  $X = \mathbb{R}^{d_e}$  et  $Y = \mathbb{R}^{d_s}$  avec  $d_e, d_s \in \mathbb{N}$ . Dans ce cas,  $x \in \mathbb{R}^{d_e n}$  et  $y \in \mathbb{R}^{d_s m}$ . Les indices peuvent représenter une succession temporelle ou un ordre plus abstrait (comme celui des mots dans une phrase).

La majorité des outils mathématiques historiquement utilisées pour ce problème viennent de la théorie du traitement de signal numérique. Cependant, l’approche actuellement dominante et celle qui a fait preuve de plus de succès, est de les combiner avec les réseaux de neurones.

## 1.2 Réseaux de neurones feed-forward

Les réseaux de neurones profonds sont parmi les modèles les plus expressifs en ML (apprentissage automatique). Leur succès pratique est incomparable aux modèles qui les ont précédés, que se soit en termes de qualité des résultats ou de variétés de domaines d'application. De plus, grâce aux théorèmes dits d'approximation universelle, ce succès empirique est formellement assuré.

### 1.2.1 Généralités

Dans cette section, nous introduisons les FFN, l'architecture neuronale la plus simple et la plus utilisée. Il s'agit d'une simple composition de couches affines avec des activations non affines (voire Définition 1).

**Définition 1** (FFN).

Soient  $k, w_0, w_1, \dots, w_{k+1} \in \mathbb{N}$ , un réseau de neurones feed-forward de profondeur  $k + 1$ , à  $w_0$  entrées et  $w_{k+1}$  sorties, est défini par une fonction :

$$\begin{cases} \mathbb{R}^{w_0} \rightarrow \mathbb{R}^{w_{k+1}} \\ x \mapsto \varphi_{k+1} \circ A_{k+1} \circ \varphi_k \circ A_k \circ \dots \circ \varphi_1 \circ A_1(x) \end{cases} \quad (1.1)$$

Où les  $A_i$  sont des fonctions affines  $\mathbb{R}^{w_{i-1}} \rightarrow \mathbb{R}^{w_i}$  et les  $\varphi_i$  sont des fonctions quelconques, typiquement non affines  $\mathbb{R}^{w_i} \rightarrow \mathbb{R}^{w_i}$ , dites *d'activations*. La fonction  $\varphi_i \circ A_i$  est appelée la  $i^{\text{e}}$  couche du réseau.

Un tel réseau de neurones est souvent représenté par un graphe orienté acyclique  $(k+1)$ -partie appelé son "architecture sous-jacente" (KEARNS & VAZIRANI, 1994). La Figure 1.1 illustre l'architecture d'un FFN de profondeur 3 avec  $(w_0, w_1, w_2, w_3) = (4, 5, 5, 3)$ .

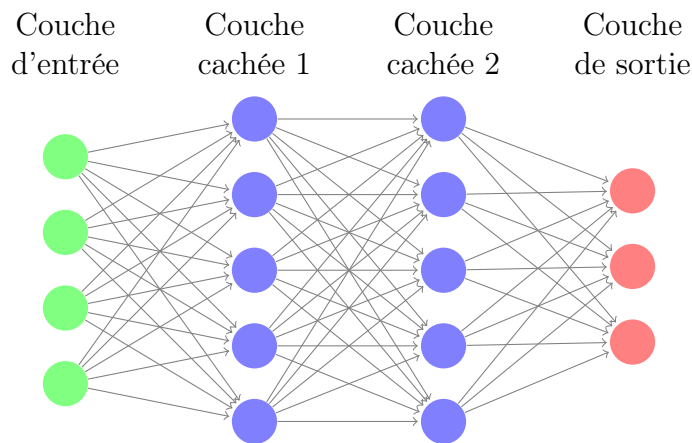


FIGURE 1.1 – Architecture sous-jacente d'un FFN de profondeur 3.

Deux FFN peuvent avoir la même architecture sous-jacente, en effet, cette dernière ne dépend que des dimensions de leurs couches respectives. De ce fait, une méthode de trouver pour une architecture et une fonction cible données le meilleur FFN est nécessaire.

Pour ce faire, nous exploitons le fait que les  $A_i$  soient des applications affines sur des espaces de dimensions finies. Nous pouvons donc les écrire comme combinaisons de produits matriciels et de translations. Le problème se réduit donc à régler<sup>1</sup> les paramètres des matrices en question. Cela nécessite une façon de quantifier la qualité d’approximation d’une fonction  $f$  par une autre  $\hat{f}$ . L’analyse fonctionnelle nous en donne plusieurs, les équations 1.2 et 1.3 sont deux exemples récurrents de fonctions dites *de perte*.

$$L_1(f, \hat{f}) = \int \|f - \hat{f}\| \quad (1.2)$$

$$L_2(f, \hat{f}) = \int \|f - \hat{f}\|^2 \quad (1.3)$$

Ayant fixé une fonction de perte  $L$ , l’entraînement revient à un problème d’optimisation. Dans le cas particulier où  $L$  est différentiable, l’algorithme du gradient peut être utilisé pour trouver un minimum local. Les gradients sont calculés en utilisant une méthode de dérivation automatique comme la rétro-propagation.

## 1.3 Réseaux de neurones récurrents

L’RNN (réseau de neurones récurrent) est une architecture de réseau de neurone conçue pour la modélisation des séquences. Elle se base sur l’idée de boucle de rétroaction pour capturer les dépendances temporelles.

---

1. En ML, le terme “entraîner” est plutôt utilisé.

# Bibliographie

KEARNS, M. J., & VAZIRANI, U. (1994). *An Introduction to Computational Learning Theory* [Google-Books-ID : vCA01wY6iywC]. MIT Press.