

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE : TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT : D'ELECTRONIQUE**

**N° : 2020/ INST / 06**



**DOMAINE : Sciences et Technologies**  
**FILIERE : Électronique**

**OPTION : Instrumentation**

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

**Par: M<sup>lle</sup> Boularas Noura**

et

**M<sup>lle</sup> Djalab Charifa**

**Intitulé**

**Systeme de la prévision mensuelle de la consommation d'énergie  
électrique basée sur les réseaux de neurones artificielle  
-Etude cas la ville de M'sila-**

**Soutenu devant le jury composé de:**

M<sup>er</sup>. Oudira Houcine

M<sup>er</sup>. Mezaache Hatem

M<sup>er</sup>. Fodil Malika

Université de M'SILA

Université de M'SILA

Université de M'SILA

Président

Rapporteur

Examinateur

**Année universitaire : 2019 /2020**



## REMERCIEMENTS


*En premier lieu, nous remercions ALLAH de nous avoir aidé et donné la force et la volonté pour achever ce modeste travail.*

*Par la suite, nous remercions notre encadrant Monsieur Mezaache Hatem, son précieux conseil et son aide durant toute la période de travail. Il s'est beaucoup investi pour que ce travail soit un succès espéré.*

*Nous remercions également Monsieur Bakhti Elhadi, qui nous a présenté un coup de main pour compléter ce mémoire.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'électronique qui ont contribué à notre formation. Nos sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier ma sœur Boularas Mouna.*





# *Dédicaces*

*À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que ALLAH te garde près de moi toute ma vie, à toi Mon père.*

*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman que j'aime.*

*À la mémoire de mon très cher frère **Halim**, que ALLAH t'accueille dans son vaste paradis.*

*À mes très chers frères et sœurs pour leurs conseils, aides et encouragements.*

*À tous mes amis pour leurs soutiens et encouragements, en particulier à mon binôme **Djalab Charifa**.*

**Noura**



# *Dédicaces*

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie,  
que je dédie mon travail à mes très chers*

*Respectueux et magnifiques **parents** qui m'ont soutenu tout  
au Lang de ma vie.*

*A toute la famille **Djalab** et **Boularas**.*

*Et sincères remerciements et sa gratitude à tous mes frères et  
mes **sœurs** et mes **amis***

*Et un remerciement particulier à mon binôme*

***Boularas Noura***

***Charifa***

# Table des matières

Table des matières.....	i
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des symboles .....	viii
Liste des abréviation .....	x

## Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I : Généralités sur L'énergie Electrique

<b>1. Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Introduction au concept d'énergie .....</b>	<b>4</b>
2.1. Définition de l'énergie .....	4
2.2. Les sources et les types des énergies.....	5
2.2.1. Les sources d'énergie .....	5
2.2.2. Les différence types d'énergie .....	5
2.2.2.1. Énergies renouvelables .....	5
2.2.2.2. Énergies non renouvelables .....	6
2.3. Les Formes de l'énergie et sa transformation.....	6
<b>3. Principes essentiels dans l'énergie électrique .....</b>	<b>7</b>
3.1. Généralités sur l'électricité.....	7
3.1.1. Origine et histoire .....	8
3.1.2. Définition de l'électricité.....	8
3.2. L'énergie électrique.....	9
3.2.1. Définition.....	9
3.2.2. Production d'énergie électrique .....	10
3.2.2.1. Les centrales thermiques .....	11
3.2.2.2. Les centrales nucléaires .....	12
3.2.2.3. Les centrales hydroélectriques .....	13

---

3.2.2.4. Les centrales éoliennes.....	15
3.2.2.5. Les centrales solaires ou photovoltaïques .....	15
3.2.3. Les grands secteurs d'un réseau d'énergie électrique.....	16
3.2.3.1. Production .....	16
3.2.3.2. Le transport et la répartition.....	17
3.2.3.3. Distribution .....	18
3.2.3.4. Les Charges.....	19
3.2.4. Les secteurs utilisant l'énergie électrique .....	19
3.2.4.1. Le Secteur Résidentiel .....	19
3.2.4.2. Le Secteur Industriel.....	20
3.2.4.3. Le Secteur Commercial.....	21
3.2.4.4. Autre secteurs.....	21
3.2.5. La réalité de la consommation d'énergie électrique en Algérie .....	22
3.2.5.1. Date de production de l'énergie électrique en Algérie .....	22
3.2.5.2. Le développement du secteur de l'énergie électrique en Algérie .....	24
3.2.5.3. Le développement de la consommation de l'énergie électrique en Algérie.....	26
3.2.6. Rationalisation de la consommation d'énergie électrique .....	29
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>30</b>

## **Chapitre II : les réseaux de neurones Artificiels**

<b>1. Introduction.....</b>	<b>32</b>
<b>2. Historique des réseaux de neurones .....</b>	<b>32</b>
<b>3. Le neurone .....</b>	<b>33</b>
3.1. Les neurones biologiques .....	33
3.1.1. Structure des neurones .....	34
3.2. Neurone artificiel (formel) .....	35
3.2.1. Poids de connexion .....	36
3.2.2. Les entrées .....	36
3.2.3. Fonction d'activation .....	36
3.2.4. Fonction de sortie .....	37

<b>4. Les réseaux de neurones artificiels (Artificial Neural Networks ANN).....</b>	<b>38</b>
<b>5. Les composants des réseaux de neurones artificiels .....</b>	<b>38</b>
5.1. Couche d'entrée.....	38
5.2. Couches cachées.....	38
5.3. Couche de sortie .....	39
<b>6. Les caractéristiques du réseau de neurones artificiels .....</b>	<b>39</b>
<b>7. Différentes types de réseaux de neurones artificiels .....</b>	<b>39</b>
7.1. Réseaux non bouclés " Feed-Forward " .....	39
7.1.1. Perceptron mono Couche ELM (SLP).....	40
7.1.2. Perceptron Multi Couche (PMC).....	41
7.1.3. Réseau de neurones de type RBF (Radial Basis Functions).....	42
7.2. Réseau bouclés " Feed-Back " .....	43
7.2.1. Les cartes auto organisatrices de Kohonen(Réseaux Kohonen) .....	43
7.2.2. Les réseaux de Hopfield .....	43
7.2.3. Les réseaux ART .....	44
7.2.4. Le modèle Adaline.....	44
<b>8. Le traitement des informations dans les réseaux de neurones artificielles.....</b>	<b>44</b>
8.1. L'apprentissage supervisé .....	44
8.2. L'apprentissage non supervisé .....	44
8.3. L'apprentissage semi-supervisé ( apprentissage par renforcement) .....	45
<b>9. Les algorithmes d'apprentissages.....</b>	<b>45</b>
9.1. Algorithme de rétro-propagation du gradient.....	45
9.1.1. Principe .....	45
9.1.2. Les étapes d'algorithme .....	46
9.2. Algorithme d'apprentissage du réseau RBF .....	49
9.2.1. Principe .....	50
<b>10. Avantages et inconvénients des réseaux de neurones .....</b>	<b>51</b>
<b>11. Conclusion .....</b>	<b>52</b>

---

# **Chapitre III : Résultats de Simulation et Discussion**

<b>1. Introduction</b> .....	<b>54</b>
<b>2. Concepts sur la prédiction</b> .....	<b>54</b>
2.1. Définition d'une prévision .....	54
2.2. Horizon de la prévision .....	54
2.3. Les méthodes de prévisions.....	55
2.3.1. Méthodes extrapolatives .....	55
2.3.2. Méthodes explicatives .....	55
2.4. L'erreur de prévisions .....	55
2.5. Critères de validité de la méthode de prévision .....	55
2.5.1. Racine carrée de l'Erreur Quadratique Moyenne (RMSE) .....	55
2.5.2. Erreur Absolue Moyenne (MAE) .....	55
2.5.3. Erreur Moyenne de Pourcentage Absolue (MAPE) .....	56
2.5.4. Coefficient de détermination ( $R^2$ ).....	56
<b>3. Principes de base des séries temporelles</b> .....	<b>56</b>
3.1. Définition d'une série temporelle.....	56
<b>4. Présentations de la base de données</b> .....	<b>57</b>
4.1. Description des données .....	58
<b>5. Application des réseaux de neurones pour prévoir la consommation d'énergie électrique</b> .....	<b>59</b>
<b>6. Résultats de simulation pour les données</b> .....	<b>59</b>
6.1. Prédiction par le réseau de neurone type MLP .....	59
6.2. Prédiction par le réseau de neurone type RBF .....	61
6.3. Prédiction par le réseau de neurone type ELM .....	64
<b>7. Conclusion</b> .....	<b>67</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>69</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>65</b>

# Liste des Figures

## Chapitre I : Généralités sur L'énergie Electrique

<b>Figure I.1 :</b> Différentes Types des énergies renouvelables.....	6
<b>Figure I.2 :</b> Conversion d'énergie .....	10
<b>Figure I.3 :</b> Les centrales thermiques à flamme.....	11
<b>Figure I.4 :</b> Photo d'une centrale thermique .....	12
<b>Figure I.5 :</b> Photo d'une centrale nucléaire en France .....	13
<b>Figure I.6 :</b> Centrale hydroélectrique.....	14
<b>Figure I.7 :</b> Photo d'une centrale hydroélectrique en Allemagne .....	14
<b>Figure I.8 :</b> Photo d'une centrale éolienne en Angleterre .....	15
<b>Figure I.9 :</b> Photo d'une centrale solaire – Batna .....	16
<b>Figure I.10 :</b> Représentation graphique de l'évolution de la consommation annuelle de l'énergie électrique en Algérie .....	27
<b>Figure I.11 :</b> Représentation graphique de L'évolution de la consommation nationale de l'énergie électrique en fonction des secteurs (GWh).....	29

## Chapitre II : les réseaux de neurones Artificiels

<b>Figure II.1 :</b> Structure d'un neurone biologique .....	34
<b>Figure II.2 :</b> Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel .....	35
<b>Figure II.3 :</b> Modèle d'un neurone formel.....	35
<b>Figure II.4 :</b> Topologies des réseaux de neurones artificiels .....	39
<b>Figure II.5 :</b> Un réseau de neurone non bouclé .....	40
<b>Figure II.6 :</b> Structure d'un ELM. ....	41
<b>Figure II.7 :</b> Structure d'un MLP .....	42
<b>Figure II.8 :</b> Architecture du réseau RBF .....	42
<b>Figure II.9 :</b> Un réseau de neurone bouclé .....	43
<b>Figure II.10 :</b> Exemple de réseau MLP à une couche cachée avec 4 entrées, 3 neurones dans la couche cachée, et 4 sorties .....	46
<b>Figure II.11 :</b> Organigramme de l'algorithme de diffusion postérieure.....	48
<b>Figure II.12 :</b> Architecture d'un réseau de neurone RBF .....	49
<b>Figure II.13 :</b> Fonction gaussienne du réseau RBF .....	49

**Chapitre III : Résultats de Simulation et Discussion**

**Figure III.1** : Région d'étude la société SPE à la Wilaya de M'sila ..... 57

**Figure III.2** : La société algérienne de la production d'électricité SPE, Draa El hadja à M'sila ..... 58

**Figure III.3** : La courbe de la base de données pour la consommation d'énergie électrique de la wilaya de M'sila (Année 2011/2012) ..... 58

**Figure III.4** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - MLP pour une seule couche cachée ..... 60

**Figure III.5** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - MLP pour deux couches cachées ..... 60

**Figure III.6** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - MLP pour Trois couche cachée ..... 61

**Figure III.7** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - MLP pour Quatre couches cachées ..... 61

**Figure III.8** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 50 neurones dans la couche cachée..... 62

**Figure III.9** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 100 neurones dans la couche cachée..... 63

**Figure III.10** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 150 neurones dans la couche cachée..... 63

**Figure III.11** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 200 neurones dans la couche cachée..... 64

**Figure III.12** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - ELM pour 50 neurones dans la couche cachée..... 65

**Figure III.13** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - ELM pour 100 neurones dans la couche cachée..... 65

**Figure III.14** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - ELM pour 150 neurones dans la couche cachée..... 66

**Figure III.15** : Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA – ELM pour 200 neurones dans la couche cachée..... 66



# Liste des tableaux

## **Chapitre I : Généralités sur L'énergie Electrique**

<b>Tableau I.1</b> : Les Formes de l'énergie et sa transformation.....	7
<b>Tableau I.2</b> : Le développement du nombre de consommateurs d'énergie électrique en Algérie.....	25
<b>Tableau I.3</b> : Le développement de la quantité de la production de l'énergie électrique en Algérie .....	25
<b>Tableau I.4</b> : Le développement de la longueur du réseau électrique en Algérie .....	26
<b>Tableau I.5</b> : L'évolution de la consommation annuelle d'énergie électrique en Algérie (GWh) .....	26
<b>Tableau I.6</b> : L'évolution de la consommation nationale d'énergie électrique en Algérie par secteur (GWh).....	28

## **Chapitre II : les réseaux de neurones Artificiels**

<b>Tableau II.1</b> : Analogie entre le neurone Biologie et le neurone Formel.....	36
<b>Tableau II.2</b> : Fonction de transfert.....	37
<b>Tableau II.3</b> : Avantages et inconvénients des réseaux de neurones .....	51

## **Chapitre III : Résultats de Simulation et Discussion**

<b>Tableau III.1</b> : Critères d'évaluation pour le système de prédiction basé sur le RNA-MLP .....	59
<b>Tableau III.2</b> : Critères d'évaluation pour le système de prédiction basé sur le RNA-RBF .....	62
<b>Tableau III.3</b> : Critères d'évaluation pour le système de prédiction basé sur le RNA-ELM .....	64



Liste des symboles

U	La tension.
R	La résistance.
I	L'intensité du courant.
$x_i$	Cellules d'entrées ou $e_i$ .
$w_{kj}$	Poids des connexions entre la couche cachée et la couche de sortie.
$v_{ji}$	Poids des connexions entre la couche d'entrée et la couche cachée.
n	Nombre de neurones de la couche cachée.
m	Nombre de neurones de la couche d'entrée.
p	Nombre de neurones de la couche de sortie.
$s_k$	La sortie désirée.
$z_k$	La sortie obtenue.
$x_0$	Les biais (couche cachée).
$y_0$	Les biais (couche sortie).
$f$	La fonction d'activation.
$E$	L'erreur de réseaux.
$E_k$	L'erreur pour chaque neurone de la couche de sortie.
$E_A$	Le taux de changement d'erreur.
$E_{w_{kj}}$	La vitesse de changement d'erreur lors du changement des poids aux unités de sortie.
$E_{AI}$	Le taux de changement d'erreur sur le changement d'activité unitaire dans la couche précédente.
$F_j$	L'erreur de chaque neurone de la couche cachée.
$\Delta v_{ji}$	équation de la correction.

## Liste des symboles

---

- $\eta$  Le poids d'apprentissage.
- $v_m$  Le centre du  $m^{\text{ième}}$  neurone de la couche cachée.
- $\sigma_m$   $\sigma_m$  est la largeur du  $m^{\text{ième}}$  gaussienne.
- $y_m^{(q)}$  Fonctions a base les radiale.
- $t_j$  La sortie du  $j^{\text{ième}}$  neurone désirée.
- $Z_j$  La sortie du  $j^{\text{ième}}$  neurone calculée.
- $y_m$  La sortie du  $m^{\text{ième}}$  neurone de la couche cachée.



## Liste des abréviations

KWh	Le kilowatt heure.
GWh	Le gigawatt heure.
MW	Le mégawatt.
Km	Kilomètre.
KV	Le kilovolt.
V	Le volt.
Hz	Le hertz.
THT	Très haute tension.
MT	Moyenne tension.
GPL	Gaz du pétrole liquéfié.
PIB	Produit intérieur brute.
IGCE	Industrie grosses consommatrices d'énergie.
BTP	Bâtiment et travaux publics.
DZD	Le dinar algérien.
RNA	Réseau de Neurones Artificiels.
RN	Réseau de Neurones.
SLP	Perceptron monocouche.
ELM	Exterm Learning Machine.
PMC	Perceptron multicouches.
MLP	Multi-Layer Perceptron.
RBF	Fonction à base radiale.
ART	Adaptative Resonance Theory.

## Liste des abréviations

---

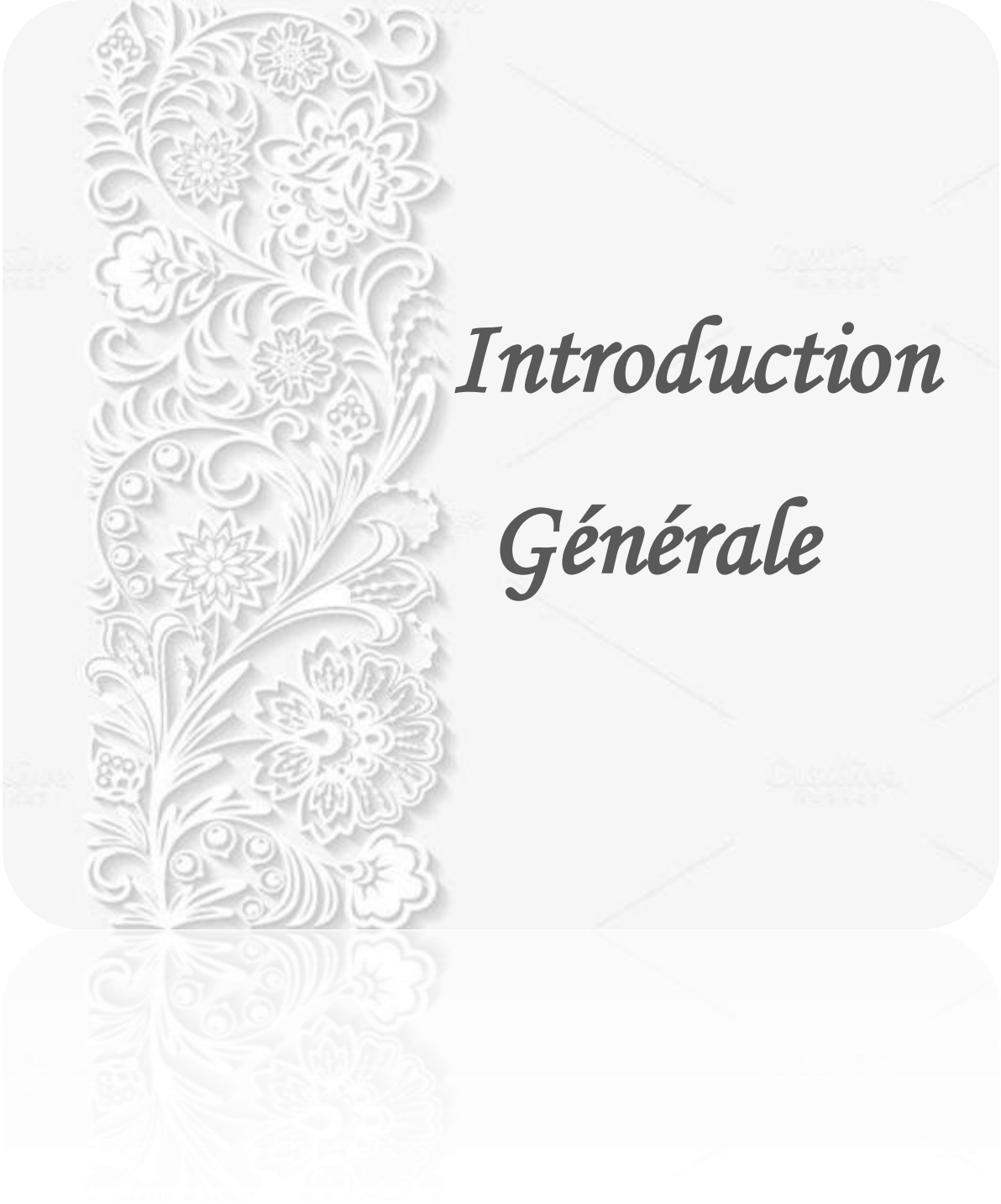
RMSE L'erreur Quadratique Moyenne (The Root MeanSquaredError).

$R^2$  Le Coefficient de Détermination.

MAE Erreur Absolue Moyenne.

MAPE Erreur Moyenne de Pourcentage Absolue.

SPE La Société algérienne de Production de l'Electricité.



*Introduction*

*Générale*

## Introduction générale

L'électricité est considérée comme l'une des découvertes les plus importantes de l'histoire de l'humanité, et elle a contribué au développement de tous les aspects de la vie et de ses secteurs, car elle a fait exploser de nombreuses énergies créatives qui ont amélioré la qualité de vie en général. Les usines, les entreprises, les foyers, les universités et autres, comme ils ont grandement contribué à gagner du temps et des efforts et à faciliter la vie, ont été témoins d'une forte augmentation de la demande. [1]

C'est ce qui a fait que les entreprises de production d'électricité ont du mal à connaître la quantité d'électricité nécessaire par les consommateurs pour éviter le gaspillage de cette énergie car elle est difficile à stocker pendant une longue période, elle se perd facilement avec le temps. Ainsi que elle est difficile à produire ( énergie secondaire), c'est-à-dire elle dépend d'autres sources pour sa production, comme l'énergie thermique et cinétique pour l'eau et le vent .....etc.

Dans ce contexte nous allons essayer de proposer dans notre mémoire un système de prédiction de consommation d'énergie électrique au niveau de la Wilaya de M'sila où ce système est basé sur l'utilisation des réseaux de neurones artificiels qui sont l'une des branches de l'intelligence artificielle.

Il est à noter que la prévision de la consommation d'électricité est un élément important et très efficace pour déterminer les futurs plans de la Société Algérienne de Distribution d'Electricité et de Gaz, " **Sonalgaz** " ainsi que pour développer des stratégies appropriées à cet effet, et bien sûr afin de prendre la décision appropriée le moment attendu est arrivé. [2]

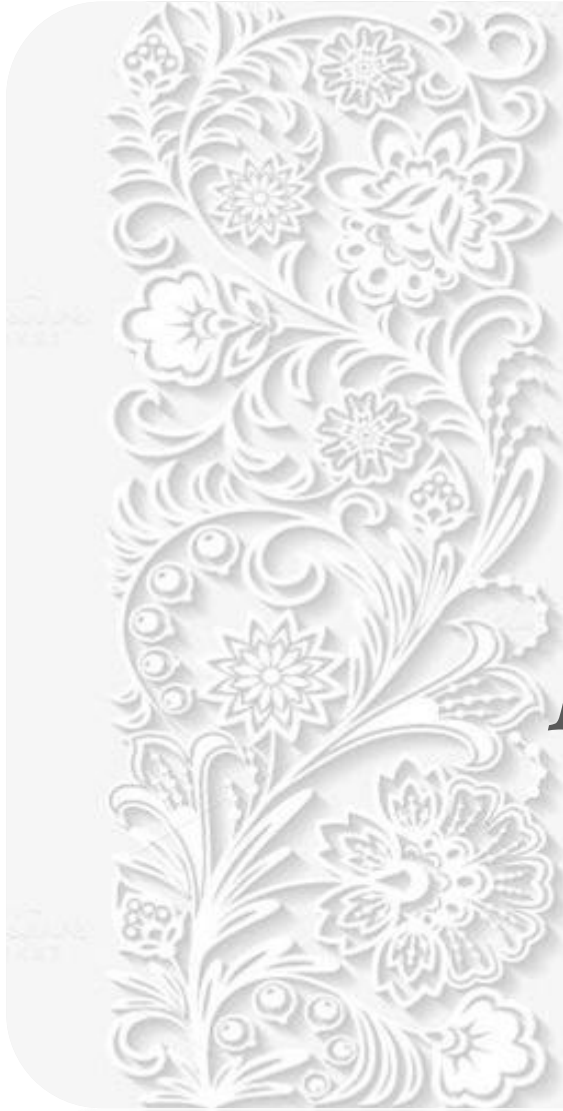
Dans ce mémoire, nous proposons quelques architectures fameuses de réseaux de neurones artificiels : MLP, RBF et ELM, pour la prédiction de la consommation de l'énergie électrique.

Dans le premier chapitre, nous avons pu voir les principaux concepts concernant l'énergie, ses utilisations, ses types et son importance dans les divers secteurs ainsi les stations les plus importantes pour la production d'électricité de plus, nous avons évoqué les principes fondamentaux concernant l'énergie électrique et sa consommation en Algérie, ainsi que sa rationalisation, cette énergie étant l'une des principaux ressources nécessaires pour notre vie quotidienne. Enfin, nous avons terminé notre travail par une conclusion.

Le deuxième chapitre est dédié à une présentation des réseaux de neurones artificiels. On commence ce chapitre par une présentation de la structure d'un neurone biologique et d'un neurone formel, puis les architectures et l'apprentissage des réseaux MLP et RBF et ELM. Ensuite on expose les avantages et les inconvénients des RNA.

Le troisième chapitre présente le fruit de notre travail dans le quel on présenteras des résultats de simulation en utilisant le logiciel MATLAB pour les différents systèmes de prédiction qui sont basé sur les Réseaux Neurones Artificiels suivants MLP, RBF et ELM. En se basons sur les résultats de simulation obtenues, une comparaison entre ces trois système de prédiction est faite.

Enfin, nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale.



*Chapitre I :*  
*Généralités sur*  
*L'énergie Electrique*

## **1. Introduction :**

Dernièrement, l'intérêt à l'énergie et ses sources a augmenté, et cela est expliqué par son importance dans tous les domaines de la vie. Cependant, aujourd'hui les sources de l'énergie traditionnelles ou ce que l'on appelle combustibles fossiles sont tôt ou tard exposés à un épuisement, ce qui nous aura poussé à chercher de nouvelles sources d'énergie non épuisés, renouvelables et moins nocifs pour l'environnement comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique...etc. Et parmi les formes de l'énergie qu'on s'intéresse le plus il y a l'énergie électrique et cela est dû à la dépendance totale de la vie moderne sur ce genre d'énergie. En conséquence de quoi, l'énergie électrique est fortement demandée et donc sa consommation a augmenté d'une manière excessive et attire l'attention, ce qui nécessite la rationalisation de la consommation en prenant des mesures de prévention. [2]

À travers ce chapitre, nous allons voir les principaux concepts concernant l'énergie, ses utilisations, ses types et son importance dans les divers secteurs ainsi les stations les plus importantes pour la production d'électricité de plus, nous avons évoqué les principes fondamentaux concernant l'énergie électrique et sa consommation en Algérie, ainsi que sa rationalisation, cette énergie étant l'une des principaux ressources nécessaires pour notre vie quotidienne.

## **2. Introduction au concept d'énergie :**

### **2.1. Définition de l'énergie :**

L'énergie est un concept plus ancien qui vient du latin, du grec *énérgia*, qui signifie « force en action ». Selon le dictionnaire universel : « l'énergie est la capacité d'un système à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, de la lumière ou de la chaleur ».

On peut définir aussi l'énergie comme étant une grandeur physique qui caractérise l'état d'un système qui est globalement conservée au cours des différents processus de transformation. En outre, on peut également qualifier l'énergie en fonction de sa source

d'extraction et le moyen par lequel il est acheminé. Ainsi on distingue des énergies dites renouvelables et d'autre non renouvelables.

« L'énergie est une grandeur physique qui existe sous différents formes (électrique, mécanique, chimique, alimentaire). L'énergie se transforme d'une forme à l'autre mais toute conversion s'accompagne d'une dégradation de l'énergie 'Principe Carnot' ». [3]

## **2.2. Les sources et les types des énergies :**

Compte tenu de l'importance de l'énergie et de son rôle dans les divers domaines quelque soit son type ou la source à laquelle elle se repose, dans ce qui suit nous allons expliquer les sources et les types de l'énergie.

### **2.2.1. Les sources d'énergie :**

Cette section donne des détails sur la provenance de l'énergie. Les principaux types d'énergies que nous utilisons sont des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz qui ne se renouvellent pas et que l'on utilise donc qu'une seule fois. Les émissions qu'ils produisent contribuent au réchauffement climatique de façon significative. D'autres types d'énergie, de sources renouvelables comme le soleil, le vent ou l'eau existent, ne cessent d'exister, et ne contribuent aucunement au réchauffement climatique. Nous pouvons également produire de l'énergie à partir de ressources qui peuvent être considérées aujourd'hui comme des « déchets ».

Nous pouvons donc obtenir de l'énergie de nombreuses sources différentes, dont certaines sont plus efficaces et plus propres que d'autres.

### **2.2.2. Les différence types d'énergie :**

Nous pouvons classer l'énergie suivant plusieurs critères que nous les évoquons par la suite :

#### **2.2.2.1. Énergies renouvelables :**

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation majeure. De nombreuses voies de recherches se sont donc orientées vers l'utilisation des énergies renouvelables. Tout type d'énergie pouvant être produit à partir d'une ressource naturelle qui ne diminue pas du fait de son utilisation est dit « renouvelable » comme le montre (**Figure I.1**). [4]

Une source d'énergie est renouvelable, si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil (énergie solaire), du vent (énergie éolienne), des cours d'eau (énergie hydraulique), de la terre (énergie géothermique) et

généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité. Ce qui n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires.

Elles sont utilisées essentiellement pour la production d'électricité et l'échauffement. Ces énergies ont des facteurs de pollutions très faibles.



**Figure I.1 :** Différentes Types des énergies renouvelables.

#### **2.2.2.2. Énergies non renouvelables :**

Les énergies sont dites non renouvelables dans la mesure où elles sont incapables de se renouveler. Les matières premières souvent utilisées sont les hydrocarbures, l'uranium etc. Les énergies non renouvelables connaissent de nos jours de gros problèmes en ce qui concerne les réservoirs qui diminuent grandement et rien n'a encore été trouvé pour contrer ces difficultés. De plus, elles présentent des dangers énormes pour l'environnement et pour la santé de l'homme ; c'est le cas du nucléaire par exemple qui est très toxique. [5]

#### **2.3. Les Formes de l'énergie et sa transformation :**

L'énergie peut se trouver sous plusieurs formes et chaque forme peut se transformer à d'autres formes d'énergie. On qualifie l'énergie selon la source dont on l'extrait, le (Tableau I.1) nous le montre:

Formes d'énergie	Sources d'énergie
Energie mécanique (force motrice, mouvement, vitesse)	La gravitation, les muscles, le vent, l'eau, la vapeur (pression), les moteurs thermiques et électriques, les machines
Energie thermique (chaleur, radiations thermiques)	Le soleil, la combustion du bois, des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), ou d'autres produits riches en carbone (alcools, huiles...), l'énergie électrique (effet joule), l'énergie nucléaire (dans les centrales)
Energie électrique	La foudre, l'électricité statique, les piles, les générateurs électrique (dynamos, alternateurs), les centrales hydroélectriques, les centrales nucléaires, les éoliennes
Energie lumineuse	Le soleil, les lampes, le feu, le gaz
Energie chimique potentielle	Matière organique (végétale et animale), les aliments, les produits chimiques réactifs, les énergies fossiles : houille, gaz, pétrole.

**Tableau I.1 :** Les Formes de l'énergie et sa transformation.

### 3. Principes essentiels dans l'énergie électrique :

L'énergie électrique se caractérise par son énorme utilisation dans notre société actuelle grâce à ses avantages et ses propriétés qui la rendent plus que nécessaire dans notre vie, et plus efficace que les autres, nous allons tenter de présenter les éléments les plus importants qui l'entourent.

#### 3.1. Généralités sur l'électricité :

L'électricité est l'une des clés du progrès. Sa consommation devrait augmenter de 85% d'ici 2030. Aujourd'hui l'électricité sert pour l'éclairage, le chauffage et la climatisation. Elle fait tourner les moteurs électrique qui font avancer les trains ou fonctionner les appareils ménagers.

C'est une filière qui sue développer une position d'excellence mondiale dans de nombreux secteurs, depuis la production jusqu'à l'ensemble de ses utilisations. Tout au long de la chaîne, la filière est une source d'innovations technologiques pérennes, de compétitivité et d'emplois. C'est le cas avec les nouvelles sources de production : éolienne, solaire qui utilise l'électricité comme vecteur de mise à disposition de l'énergie. [6]

### 3.1.1. Origine et histoire :

L'électricité a été découverte il y a 26 siècles, Thalès, un savant grec, a découvert (6) six siècles avant J.C. Il frottait un morceau d'ambre jaune, celui-ci produisait une attirance sur d'autres objets et, parfois des étincelles. Il a donc appelé cette force électricité.

En 1799, le chercheur italien Alessandro Volta a découvert une méthode pour produire un courant électrique avec son célèbre bol (Volta Pot). Il a inventé la première batterie électrique, constituée de disques d'argent et de cuivre séparés par du papier.

Ensuite, les découvertes ont été faites par le scientifique français "Ampère" qui a réussi à faire la distinction entre la tension et le courant.

En 1826, le scientifique Ohm a clarifié le phénomène de la conductivité des objets solides à l'électricité, établissant une définition de la tension électrique (force électrique motrice) et son effet sur les conducteurs, Et en 1827, il découvrit la relation de base entre le courant et la tension connue sous le nom de loi d'Ohm  $U=R*I$ , où  $U$  c'est la tension,  $R$  c'est la résistance et  $I$  c'est l'intensité du courant mesurée en ohms.

En 1864, scientifique Maxwell a présenté la théorie de l'électromagnétisme comme une synthèse de toutes les connaissances antérieures.

La dernière de ces étapes est ce qu'Albert Einstein a présenté dans sa théorie relative en expliquant tous les phénomènes électromagnétiques.

Alors l'électricité se développe progressivement pendant le vingtième siècle, d'abord dans l'industrie, l'éclairage public et le chemin de fer avant d'entrer dans les foyers. Différents moyens de production de l'électricité se développe : centrale hydraulique, thermique, éolienne, puis nucléaire... [7][8][9]

### 3.1.2. Définition de l'électricité :

Electricité est un mot provenant du grec électron signifiant ambre jaune. Les anciens Grecs avaient découvert qu'en frottant l'ambre jaune, celui-ci produisait une attirance sur d'autres objets et, parfois des étincelles. Ils ont donc appelé cette force

électricité. L'électricité est un phénomène physique dû aux différentes charges électrique de la matière, se manifestant par une énergie. L'électricité désigne la branche de la physique qui étudie les mouvements des charges, les phénomènes électriques et leurs applications. Pour les scientifiques, l'électricité est très liés au magnétisme, ils ont donc crée une discipline, l'électromagnétisme, qui regroupe l'étude des phénomènes électrique et magnétiques.

C'est au cours du 21<sup>ème</sup> siècle que les propriétés de l'électricité ont commencées à être comprises. Sa maîtrise a permis l'avènement de la seconde révolution industrielle.

Aujourd'hui l'énergie électrique est omniprésente: à partir de différentes sources d'énergie (hydraulique, thermique, nucléaire...) l'électricité est de nos jours est employée à de très nombreux usages domestiques et industriels. [7]

## **3.2. L'énergie électrique :**

### **3.2.1. Définition :**

L'énergie électrique est un facteur essentiel de développement et de l'évolution des sociétés humaines, que cela soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie ou sur le plan du développement des activités industrielles.

L'énergie électrique est une énergie secondaire, elle est obtenue à partir de la transformation d'une autre énergie dite primaire. C'est une énergie produite sous forme de courant d'électrons dans le but de produire de la lumière ou de la chaleur. L'électricité constitue un bien essentiel pour les agents économiques car il leur sert pour l'éclairage, le confort thermique (chauffage, froid) ou de facteur de production. L'unité officielle de mesure de l'électricité est le KWh.

L'optimisation et la disponibilité de l'énergie électrique, ainsi que les réseaux, permettent d'acheminer l'énergie produite par des sources délocalisées vers les points de consommation par l'acheminement de l'énergie produite en masse à un endroit défini. Cela, par des machines raccordées en grande partie aux niveaux de tension supérieurs vers des consommateurs en général disséminés sur un territoire donné et raccordés à des niveaux de tension inférieurs permettant de créer des synergies entre systèmes de production différents (hydraulique, solaire et éolien renouvelables mais dépendent de la disponibilité de la source primaire, tandis que le thermique (classique, nucléaire, géothermal) assure la base et la relève des précédents), voire, à terme, profiter d'une gestion coordonnée des faisceaux horaires, ... etc.

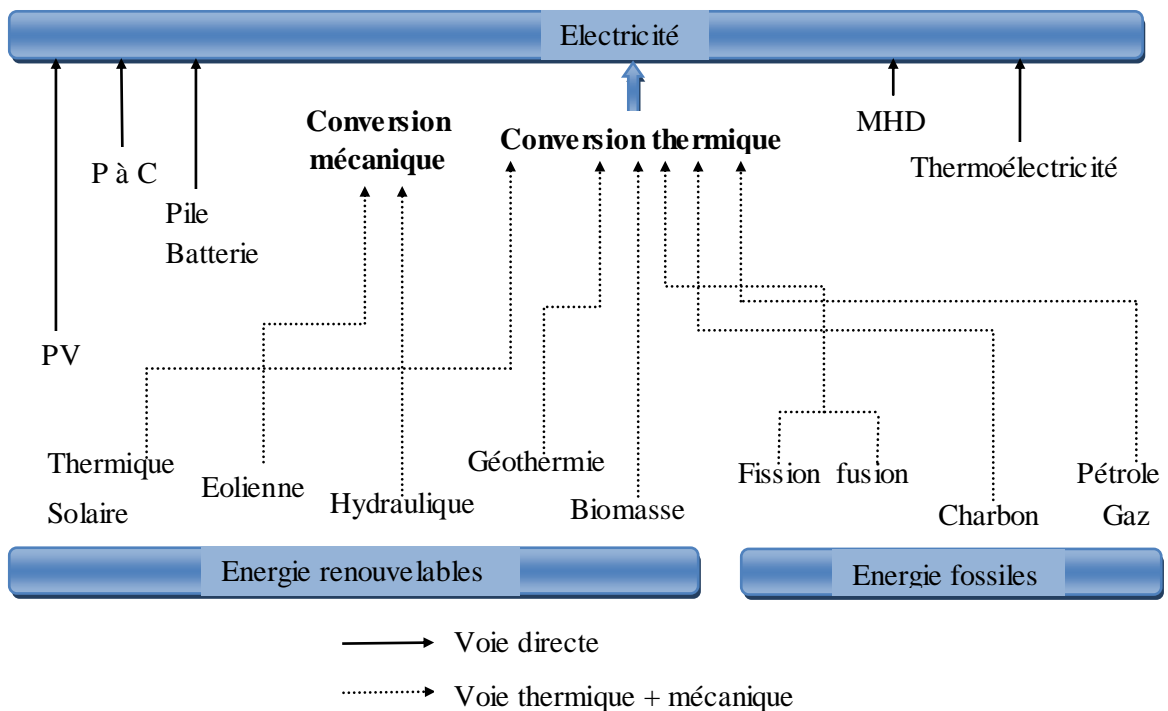
Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir satisfaire la demande des consommateurs. Comme on ne peut encore stocker économiquement et en grande quantité l'énergie électrique, il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité :

$$\text{Production} = \text{Consommation} + \text{pertes. [7]}$$

### 3.2.2. Production d'énergie électrique :

Une centrale de production d'énergie électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques transforment différentes sources d'énergie naturelle en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointains. Le réseau électrique permet de transporter puis de distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs. [10]

Nous pouvons classer les sources primaires en deux grandes familles ; les énergies fossiles que l'on extrait du sol que sont le pétrole, le gaz, le charbon et l'uranium d'une part et d'autre part les énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, biomasse) ou de l'activité du magma terrestre comme la géothermie. Le diagramme ci-dessous schématise l'ensemble des voies de production de l'énergie électrique. [11]



**Figure I.2 :** Conversion d'énergie.

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques.

- Les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques.
- Les centrales hydroélectriques.
- Les centrales solaires ou photovoltaïques.
- Les centrales éoliennes.

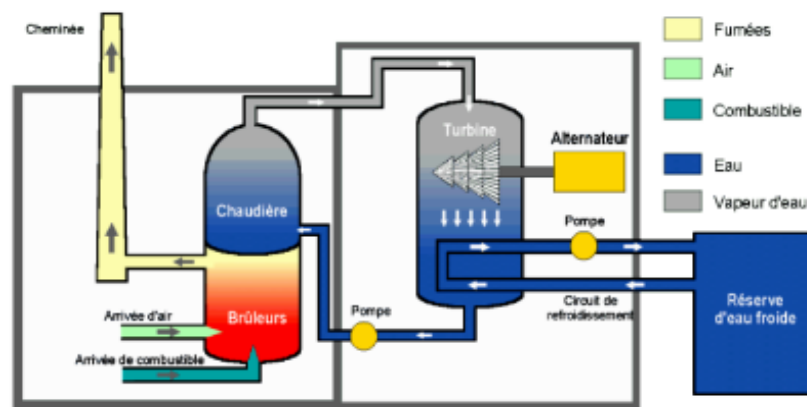
Les éléments indispensables à la production de courant électrique sont :

- Une turbine en mouvement.
- Un alternateur c'est-à-dire un aimant entraîné par la turbine et entouré d'une bobine qui produit le courant électrique. [10]

### 3.2.2.1. Les centrales thermiques :

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel.

On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur). On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière (**Figure I.3**). [10]



**Figure I.3** : Les centrales thermiques à flamme.



**Figure I.4 :** Photo d'une centrale thermique.

**Avantages :**

- ✓ Cette énergie est rentable à la production.
- ✓ Elle a un prix modeste sur le marché mondial.
- ✓ Souplesse d'utilisation et disponibilité élevée.
- ✓ Facilité d'exploitation.
- ✓ Facilité de transport (pétrole).
- ✓ Possibilité de développer la cogénération.
- ✓ Compétitivité.

**Inconvénients :**

- ✓ Prix fluctuants.
- ✓ Géostratégie des ressources.
- ✓ Impacts sur l'environnement (Gaz à effet de serre, marée noire,.... etc ).
- ✓ Il faut un plan d'eau à proximité.
- ✓ Les usines possédant un circuit de refroidissement à circuit ouvert, peuvent avoir des problèmes écologiques dus au réchauffement des rivières.

**3.2.2.2. Les centrales nucléaires :**

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire. L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée. Elles produisent environ 15% de l'électricité mondiale. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident. Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission. [10]



**Figure I.5 :** Photo d'une centrale nucléaire en France.

**Avantages :**

- ✓ Adapté à la production de masse.
- ✓ Disponibilité élevée.
- ✓ Stabilité des coûts.
- ✓ Réserves d'uranium importantes.
- ✓ Faibles émissions de CO<sub>2</sub> en exploitation.
- ✓ L'énergie nucléaire peut être utilisée dans le domaine spatial.
- ✓ Elle ne nécessite pas d'oxygène, ce qui est un atout pour l'homme.

**Inconvénients :**

- ✓ Lourds investissements.
- ✓ Risque industriel.
- ✓ Nécessite un niveau de technologie élevé.
- ✓ Acceptation du public.
- ✓ Chaque année les tranches nucléaires produisent des tonnes de déchets.
- ✓ Le stockage des déchets qui augmente le niveau de pollution.
- ✓ Le risque d'accident (26 avril 1986 à l'usine de Tchernobyl).

**3.2.2.3. Les centrales hydroélectriques :**

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans le lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique (Figure I.6). [10]

❖ **Les types des centrales hydrauliques :**

Suivant la hauteur de chute, on distingue :

- Les centrales de haute chute, ils utilisent des turbines de type Pelton.
- Les centrales de moyenne chute, ils utilisent des turbines de type Francis.
- Les centrales de basse chute, ils utilisent des turbines de type Kaplan.

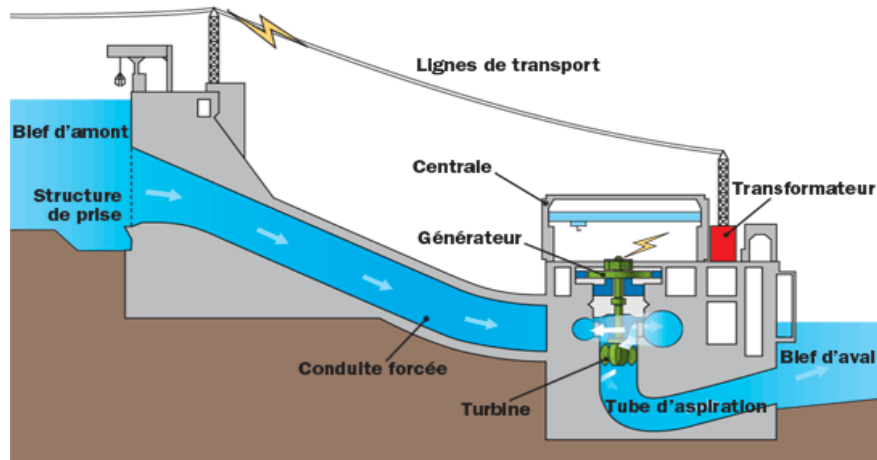


Figure I.6 : Centrale hydroélectrique.



Figure I.7 : Photo d'une centrale hydroélectrique en Allemagne.

#### Avantages :

- ✓ Faible coût du KWh pour le gros hydraulique.
- ✓ Souplesse d'utilisation.
- ✓ Possibilité de « stocker » de l'électricité pour le turbinage.
- ✓ L'hydraulique est une énergie renouvelable mise en valeur mais pourtant rarement comptabilisée, elle fournit 13 % de la production et contribue également à l'écrêtement des crues.

#### Inconvénients :

- ✓ Contrainte géographique.
- ✓ Aléas climatiques (sécheresse).
- ✓ Nécessité de concilier les différents usages de l'eau.

- ✓ Impacts sur l'environnement à la construction.
- ✓ L'inondation de certains reliefs lors de la construction de barrages.

#### 3.2.2.4. Les centrales éoliennes :

Une éolienne utilise l'énergie du vent. L'énergie mécanique du vent fait tourner les pales qui constituent la turbine de l'éolienne, qui entraîne également un alternateur. Une partie de l'énergie mécanique de rotation des pales est ainsi convertie par l'alternateur en énergie électrique. [7]



**Figure I.8 :** Photo d'une centrale éolienne en Angleterre.

#### Avantage :

- ✓ L'énergie éolienne est propre et peut être associée à des panneaux de photopiles et à une batterie d'accumulateur afin d'optimiser la fourniture d'électricité.

#### Inconvénients :

- ✓ L'exploitation de l'énergie éolienne est non polluante par elle-même mais les aérogénérateurs engendrent une pollution acoustique due à la rotation des pales qui engendrent une dégradation du paysage.
- ✓ Faible disponibilité (20 à 30%) Difficultés de raccordement au réseau.
- ✓ Surface au sol.
- ✓ Acceptation du public.

#### 3.2.2.5. Les centrales solaires ou photovoltaïques :

Cet autre moyen de fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux. [10]



**Figure I.9 :** Photo d'une centrale solaire – Batna.

**Avantages :**

- ✓ Acceptation du public.
- ✓ Adapté aux pays chauds et aux sites isolés.
- ✓ L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.
- ✓ Frais de maintenance relativement faibles.

**Inconvénients :**

- ✓ Coût encore élevé.
- ✓ Puissance assez faible.
- ✓ Disponibilité.

### **3.2.3. Les grands secteurs d'un réseau d'énergie électrique :**

L'énergie électrique consommée dans l'industrie et dans les installations domestiques est produite soit dans les centrales électriques ou dans les sources de production locale à partir d'une énergie primaire. Elle est généralement transportée avant d'être distribuée aux consommateurs.

Le réseau électrique peut être subdivisé en quatre parties essentielles : [12]

- La production d'énergie électrique.
- Le transport et la répartition.
- La distribution.
- Les charges.

#### **3.2.3.1. Production :**

Quand elle n'est pas d'origine chimique (batteries et accumulateurs), ou photovoltaïque (énergie solaire), l'électricité "industrielle" est toujours produite selon le

même principe. La transformation d'une énergie mécanique en énergie électrique, provenant de la mise en mouvement d'un aimant dans un bobinage de fil conducteur. Ce principe de l'alternateur (comparable à la dynamo des éclairages de bicyclettes) fonctionne à partir de diverses sources motrices : force de l'eau (barrages), force du vent (éoliennes), force de la vapeur d'eau (centrales nucléaires et centrales thermiques à flamme) qui vont toutes entraîner la rotation de l'alternateur. [12]

Bien qu'on commence à exploiter le vent, les marées et l'énergie rayonnante du soleil, ces sources d'énergie ne représenteront, pour les années à venir, qu'une petite partie de l'énergie totale dont nous aurons besoin. Tout semble indiquer qu'au niveau mondial nous continuerons à exploiter les ressources fossiles (charbon, gaz naturel) et nucléaires.

L'électricité ne se stocke pas à l'échelle industrielle : à tout instant, la production d'électricité doit être égale à celle qui est consommée. L'énergie électrique est produite dans les usines génératrices appelées centrales ou par des sources de production locale ; mais il est impossible de la stocker, sauf à faible quantité dans des piles ou batteries d'accumulateurs sous forme d'énergie chimique.

En Algérie, la société «SONALGAZ» veille donc à assurer, en permanence, un équilibre entre les offres de production et les besoins de consommation qui varient avec la saison, la météo du jour, de l'heure...etc. Des prévisions définissent les besoins théoriques nécessaires et les ajustements ont lieu en permanence pendant la journée. [12]

### **3.2.3.2. Le transport et la répartition :**

Le rôle du réseau aérien de transport est d'acheminer l'énergie électrique à partir des centrales situées à différents endroits du territoire jusqu'au réseau de distribution qui en dernier lieu alimente les charges. Les lignes de transport assurent aussi l'interconnexion des réseaux régionaux, ce qui permet, non seulement d'assurer une répartition économique de l'énergie électrique dans les régions elles-mêmes dans les conditions normales d'exploitation, mais aussi, un transfert interrégional de l'énergie, dans les situations d'urgence. [12]

Il permet de transporter l'énergie électrique à travers le pays tout niveaux de tensions confondus, il est plus économique de transporter un courant à très haute tension sur de longues distances donc on utilise des transformateurs élévateurs de tension de

manière a réduire l'intensité du courant pour le transporter et, des transformateurs abaisseurs de tension pour la distribution (en basse tension) aux usagers. [6]

Les niveaux de tension utilisés pour le transport sont différents d'un pays à un autre, mais une tendance à une normalisation existe. Ils font partie du réseau de transport toutes les lignes dont le niveau de tension est supérieur à 60 kV. En Algérie les tensions utilisées pour le transport sont de 60 KV, 90 KV, 150 KV, 220 KV et en cours de réalisation 400 KV. Aux Etats-Unis, les tensions sont normalisées à 69 KV, 115 KV, 138 KV, 1161 KV, 230 KV, 345 KV, 500 KV, et 756 KV. Les lignes de transport dont la tension est supérieure à 500 KV sont dites à ultra haute tension, celles dont la tension est supérieure à 150 KV, mais inférieure à 500 KV, sont dites à très haute tension (THT). Ces seuils varient d'un pays à un autre.

Toutes les lignes de transport aboutissent toutes à des sources dites de répartition. Ces dernières permettent d'assurer la commutation des lignes d'une part, et d'abaisser la tension à des niveaux permettent la répartition de l'énergie électrique d'autre part. Il est à noter que de très grands centres de consommation industriels sont directement alimentés à partir du réseau de transport. [12]

### **3.2.3.3. Distribution :**

Le réseau de distribution est la partie de réseau reliant les postes sources de distribution aux postes de consommateurs. Les lignes du réseau primaire de distribution sont d'un niveau de tension compris entre 5.5 kV et 36 kV et alimentent les charges d'une zone géographique bien précise.

Certaines petites unités industrielles sont directement alimentées par le réseau primaire moyen tension (MT). Le réseau secondaire de distribution est généralement à basse tension pour un usage commercial et résidentiel. En Algérie, la basse tension est de 380/220V triphasé-4 conducteurs. Dans certains pays, elle est encore en triphasé 220/127V-4 conducteurs.

Le réseau de distribution est à la fois, aérien et souterrain. Ce dernier a connu ces dernières décennies un accroissement rapide qui fait qu'il représente aujourd'hui la majeure partie du réseau de distribution.

Pour que l'énergie électrique soit utilisable, le réseau de transport et de distribution doit satisfaire les exigences suivantes :

1. Assurer au client la puissance dont il a besoin.

2. Fournir une tension stable dont les variations n'excèdent pas  $\pm 10\%$  de la tension nominale.
3. Fournir une fréquence stable dont les variations n'excèdent pas  $\pm 0.1$  Hz.
4. Fournir l'énergie à un prix acceptable.
5. Maintenir des normes de sécurité rigoureuses.
6. Veiller à la protection de l'environnement. [12]

#### **3.2.3.4. Les Charges :**

Les charges sont à caractère industriel, commercial et résidentiel. Si de très grandes charges industrielles peuvent être directement alimentées par le réseau de transport, les petites charges le sont par le réseau primaire de distribution.

Les charges industrielles sont des charges composées où les moteurs représentent la plus grande part. Ces charges composées sont en fonction de la fréquence et de la tension et constituent la majeure partie de la charge totale d'un réseau électrique. Les charges à caractère commercial et résidentiel sont celles liées essentiellement à l'éclairage, le chauffage et la climatisation. Elles sont indépendantes de la tension et de la fréquence et absorbent très peu d'énergie réactive. La puissance active fournie à la charge s'exprime en kilowatts ou en mégawatts. L'amplitude de la puissance totale fournie, varie durant une journée et doit être à chaque instant, adaptée à la demande du consommateur. [12]

#### **3.2.4. Les secteurs utilisant l'énergie électrique :**

Il semble qu'aujourd'hui l'énergie est considérée comme le moteur principale pour notre vie quotidienne cela est dû à ses diverses utilisations dans des divers secteurs, nous pouvons évoquer ses utilisations en quatre points:

##### **3.2.4.1. Le Secteur Résidentiel :**

Dans le secteur résidentiel ou ménages, les facteurs déterminants sont de nature démographique comme la population, nombre de ménages et le taux de possession. [13] On distingue deux types d'usage dans ce secteur : Spécifique et thermique.

- **L'usage Spécifique :**

La principale forme d'énergie utilisée pour cet usage est l'électricité. L'éclairage, la climatisation et les appareils électroménagers (réfrigérateur, lave-linge, éclairage, téléviseur etc.) sont les différentes catégories d'utilisation finale.

La demande d'énergie est calculée en considérant les conditions de vie de la population comme le type de logement.

La consommation d'électricité par type d'équipement est calculée sur la base des taux d'équipements électroménagers des ménages et de la consommation unitaire par ménage équipé.

La consommation d'énergie est calculée directement par la formule suivante :

$$\mathbf{Cons} = \mathbf{Con}_{spécifique} * \mathbf{Nombre\ Ménages} * \mathbf{365} \quad (1.1)$$

Avec :  $Con_{spécifique} = Pu * Fré$

Pu : La puissance de l'équipement.

Fré : La fréquence d'utilisation journalière.

- **L'usage Thermique :**

Les catégories d'utilisation finale sont : le chauffage, l'eau chaude sanitaire et la cuisson. L'énergie utilisée pour cet usage est le gaz naturel ainsi que les produits pétroliers (GPL). De la même méthode et avec la même formule on calcule les consommations d'énergie pour chaque type d'usage thermique.

### 3.2.4.2. Le Secteur Industriel :

De manière générale, la demande d'énergie de chaque sous-secteur économique est déterminée par son niveau d'activité économique, évaluée par sa valeur ajoutée, et par l'intensité énergétique de chaque catégorie d'usage final de l'énergie. Le niveau d'activité économique de chaque sous-secteur est obtenu à partir des données spécifiées par l'utilisateur relatives au PIB total et à sa structure.

Pour chaque sous-secteur, la demande d'énergie est calculée séparément pour trois catégories d'utilisation finale : l'électricité pour ses usages spécifiques (éclairage, force motrice, électrolyse etc.); les usages thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire; production de vapeur; fous et usage direct des combustibles); et les carburants.

A cause du manque de donnée sur la production par branche et les consommations spécifiques, on utilisera l'évolution de l'intensité énergétique pour déterminer les consommations de chaque sous-secteur. L'intensité peut se calculée a l'aide de l'équation suivante :

$$\mathbf{Cons}_{industrie} = \mathbf{Int}_{énergétique} * \mathbf{Valeur\ Ajoutée}_{industrie} \quad (1.2)$$

On calcule les intensités énergétiques des deux sous-secteurs, IGCE et le BTP. De même pour les 10 branches du sous-secteur industrie. [13]

### 3.2.4.3. Le Secteur Commercial :

Parmi les consommateurs de l'énergie électrique dans le secteur du commerce on compte les magasins de toutes sortes, les restaurants, les hôtels, les bureaux privés comme ceux des avocats, des consultants, des ateliers industriels et artisanaux, les hôpitaux et les cliniques privés, leur consommation est d'une manière oscillante durant la journée du fait de l'activité de chaque type de commerce, il y a d'entre eux des services durant la journée comme les hôpitaux, et ceux qui travaillent jusqu'à des heures fixes dans la journée comme les avocats et les médecins, et il y a ceux qui travaillent la plupart des heures de la journée comme les magasins....[14]

### 3.2.4.4. Autre secteurs :

#### A- Le Secteur des Transports :

La demande d'énergie de ce secteur est calculée directement en termes d'énergie finale, en fonction de la demande totale de transport.

Le taux de motorisation et la distance moyenne parcourue par une voiture par an sont des variables du scénario pour le calcul de la consommation énergétique.

De plus, 6 carburants différents sont admis pour le secteur transport : Electricité, gasoil, essence, GPL, bunker et le kérosène. [13]

Pour le mode routier, on utilise l'équation suivante pour le calcul d'énergie finale pour chaque type de véhicule :

$$Cons_r = Parc_r * Cons_{L/100km} * km_{/an} * Contenue_{\acute{e}ne carb} \quad (1.3)$$

Avec :  $Cons_r$  : Consommation routier.

$Contenue_{\acute{e}ne carb}$  : Contenance énergétique carburant.

De même pour le mode ferroviaire par type électrique et diesel, ainsi que le mode aérien on utilise l'équation précédente.

L'exception est pour le mode maritime, car à force d'indisponibilité des données sur le tonnage ainsi que le kilométrage on utilisera la méthode des intensités énergétique.

Donc on utilise l'équation suivante :

$$Cons_{maritime} = Int_{\acute{e}nerg\acute{e}tique} * Valeur Ajout\acute{e}e_{hydrocarbures} \quad (1.4)$$

#### B- Le Secteur de l'Agriculture & de la Pêche :

❖ **Agriculture :** La demande d'énergie finale se calcule pour matériel destiné pour l'irrigation des terres comme les tracteurs agricole, motopompe et électropompe. [13]

Pour les tracteurs agricoles, on utilise la même équation que celle du transport routier qui est la suivante :

$$Cons_{tracteur} = Parc_{tracteur} * Cons_{L/100km} * km_{/an} * Contenue_{\acute{e}ne carb} \quad (1.5)$$

Pour les motopompes, on utilise l'équation suivante :

$$Cons_{mp} = Parc_{mp} * Cons_{L/H} * Fr\acute{e}/jour * N_{jour} * Contenue_{\acute{e}ne carb} \quad (1.6)$$

Pour l'électropompe, on utilise l'équation suivante :

$$Cons_{mp} = Parc_{mp} * Cons_{L/H} * Fr\acute{e}/jour * N_{jour} * Contenue_{\acute{e}ne carb} \quad (1.7)$$

Avec :  $Cons_{mp}$  : Consommation motopompe.

$Parc_{mp}$  : Parc motopompe.

$Contenue_{\acute{e}ne carb}$  : Contenue énergétique carburant.

❖ **Pêche :** Pour ce sous-secteur, on a les bateaux motorisé diesel. Le calcul de l'énergie se fait avec l'équation suivante : [13]

$$Cons_{bateaux} = Parc_{bateaux} * Cons_{L/100km} * km_{/an} * Contenue_{\acute{e}ne carb} \quad (1.8)$$

### 3.2.5. La réalité de la consommation d'énergie électrique en Algérie :

D'après tout ce que nous avons abordé depuis le début, nous avons constaté que l'énergie électrique est considérée comme l'une des ressources énergétiques biologiques qui participe dans de divers secteurs, et ce grâce à son grand rôle stratégique qui est indispensable, ce qui a provoqué une augmentation notable de consommation de cette énergie. Nous allons donc mettre en avant la réalité de la consommation de l'énergie électrique en Algérie.

Nous allons aborder les principaux éléments concernant l'énergie électrique en Algérie de sa date de production, du développement du secteur d'énergie électrique en Algérie et du développement de sa consommation.

#### 3.2.5.1. Date de production de l'énergie électrique en Algérie :

La production d'électricité en Algérie est passée par plusieurs étapes et stations. Nous résumons ce qui suit: [15]

##### ❖ **En 1910:**

La première centrale de production hydroélectrique d'une puissance fixe de 4,2 MW a été mise en service dans les eaux du village du détroit de Rhumele, province de Constantine.

**❖ En 1913:**

La Branche thermique à vapeur est intégrée au chantier de production, mettant en service la première centrale thermique à vapeur fonctionnant au charbon avec une puissance constante estimée à 22 MW dans "Mers El Kebir" de la province d'Oran.

**❖ De 1914 à 1920:**

Cette période a vu un grand développement dans la branche de l'énergie thermique vapeur qui opère par le charbon, ou elle a été mise en service pour trois (03) Installations représentées en :

- Centrale électrique de "El Hamma", 64 MW.
- Port d'Algérie, d'une puissance de 34 MW.
- Centrale électrique d'Annaba de 64 MW.

**❖ De 1950 à 1963:**

Cette période a connu un développement majeur dans le secteur hydroélectrique, qui met en service neuf (09) installations d'une puissance totale de 208 MW.

**❖ En 1960:**

Une branche turbine à gaz a été intégrée, mettant en service la première turbine à gaz dans Haoud El Hamra "Hassi Messaoud" avec une puissance constante de 22 mégawatts.

**❖ En 1962:**

Pendant cette période, le service de production d'électricité a été assuré par la Société Algérienne d'Electricité et du Gaz avec une puissance fixe de 548 MW.

**❖ En 1969:**

Pendant cette période, la Société nationale d'électricité et de gaz «SONALGAZ» a été créée par décret n ° 6959 du 26 juillet 1969 au Journal officiel du 01 août 1969 pour fusionner l'activité de production d'électricité.

**❖ De 1970 à 1979:**

Cette période a connu un grand développement dans le secteur de l'électricité, la production étant à la base des turbines à vapeur.

**❖ De 1980 à 1995:**

Des niveaux de turbine à gaz de 100 MW et des niveaux entre 168 et 196 MW pour les turbines à vapeur ont été intégrés.

**❖ En 1995:**

Intégration de niveaux maximaux de 100 MW pour les turbines à gaz jusqu'à 215 MW.

**❖ En 2002:**

Loi votée sur l'électricité n ° 02-01 du 22 Dhou El qi'ada 1422 correspondant au 05 février 2002 relative à la distribution de gaz par canaux.

**❖ En 2004:**

Le 01/10/2004, la direction de la production d'électricité, direction et succursale des filiales de la société **SONALGAZ**, devient la société de production d'électricité au capital social de 35 milliards de DZD, son siège social est situé sur la route nationale n ° 38, bâtiment 700, bureau, pont de Constantine, Algérie.

**❖ En 2009:**

Cette année, le nom «Société de production d'électricité» a été remplacé par «Société algérienne de production d'électricité».

**❖ De 2010 à 2013:**

Cette période a vu l'expansion du pôle de production avec la mise en service de (06) centrales de type turbine à gaz d'une puissance totale de 2000 MW.

**❖ L'année 2014 et les perspectives pour l'année 2021:**

L'intégration de la session commune dans le chantier de production de la Société Algérienne de Production et de Technologie Electrique avec des standards d'efficacité énergétique et de respect de l'environnement.

### **3.2.5.2. Le développement du secteur de l'énergie électrique en Algérie:**

La société «**SONALGAZ**» est considérée comme la société ayant le monopole du secteur de l'électricité en Algérie, de plus elle est considérée comme la plus grande société d'électricité dans le grand Maghreb, et l'une des plus grandes installations électriques au niveau du monde arabe.

Alors pour l'étude des indicateurs concernant le développement du secteur d'électricité en Algérie (c'est donc le développement du secteur de l'énergie électrique), nous allons nous appuyer sur les informations données par cette société, et nous les présenterons par la suite: [16]

#### **1- Le nombre des clients bénéficiant de l'énergie électrique en Algérie:**

Le tableau suivant montre le développement du nombre de clients de la société «**SONALGAZ**» et donc le développement de nombre de consommateurs de l'énergie électrique en Algérie et ce entre 2012 et 2018.

Les années	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nombre des clients	7428843	7699835	8092341	8452653	8810312	9148962	9605685

**Tableau I.2 :** Le développement du nombre de consommateurs d'énergie électrique en Algérie.

A partir des résultats de tableau ci dessus il paraît que le nombre de clients de la société SONALGAZ (ses abonnés) ce sont ceux qui représentent les consommateurs de l'énergie électrique en Algérie qui sont en augmentation continue d'une année à l'autre, nous constatons qu'il y a 9.605.685 clients en 2018, ce qui reflète le grand développement qui a eu lieu dans le secteur de l'énergie électrique et les efforts effectués pour fournir les services pour satisfaire les besoins des clients.

## 2- La quantité de la production de l'énergie électrique en Algérie :

Le tableau suivant montre le développement de la quantité de la production de l'énergie électrique en Algérie et ce entre 2012 et 2018. Ce sont des données présentées par SONALGAZ (nous les trouvons sur le site officiel de la société).

Les années	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
La quantité (GWh)	54086	56163	60579	64700	66263	69792	72395

**Tableau I.3 :** Le développement de la quantité de la production de l'énergie électrique en Algérie.

Les résultats du tableau ci dessus montrent que la quantité de la production de l'énergie électrique est en augmentation continue d'une année à l'autre ce qui reflète l'intérêt de l'Algérie à produire de l'énergie électrique, cette augmentation en production est en parallèle avec l'augmentation des consommateurs de l'énergie électrique en Algérie dans la même période ce qui représente l'augmentation des besoins et les désirs des consommateurs que l'on doit satisfaire. Donc l'augmentation de la production est une preuve des efforts effectués pour la satisfaction des clients.

## 3- La longueur du réseau électrique en Algérie :

L'augmentation de la quantité de la production de l'énergie électrique d'une année à l'autre est accompagnée obligatoirement par une augmentation de La longueur du réseau électrique en Algérie, c'est une augmentation de la longueur du réseau pour la fourniture de l'énergie électrique aux régions éloignées. Le but est de confronter la

demande croissante pour cette ressource. Le tableau suivant montre cette croissante de l'année 2012 à 2018:

Les années	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
La longueur (Km)	293473	305051	317097	330462	344168	358 250	338 380

**Tableau I.4 :** Le développement de la longueur du réseau électrique en Algérie.

Les résultats de ce tableau montrent bien donc que le développement de la longueur du réseau électrique en Algérie de 2012 jusqu'an 2018, reflète un développement et une évolution continue dans le secteur de l'énergie électrique en Algérie et la volonté d'avancer dans ce secteur.

### **3.2.5.3. Le développement de la consommation de l'énergie électrique en Algérie :**

La croissance de la consommation électrique est exceptionnellement forte en Algérie, Cette croissance est due principalement à la croissance démographique et le changement des habitudes de consommation énergétique. [17]

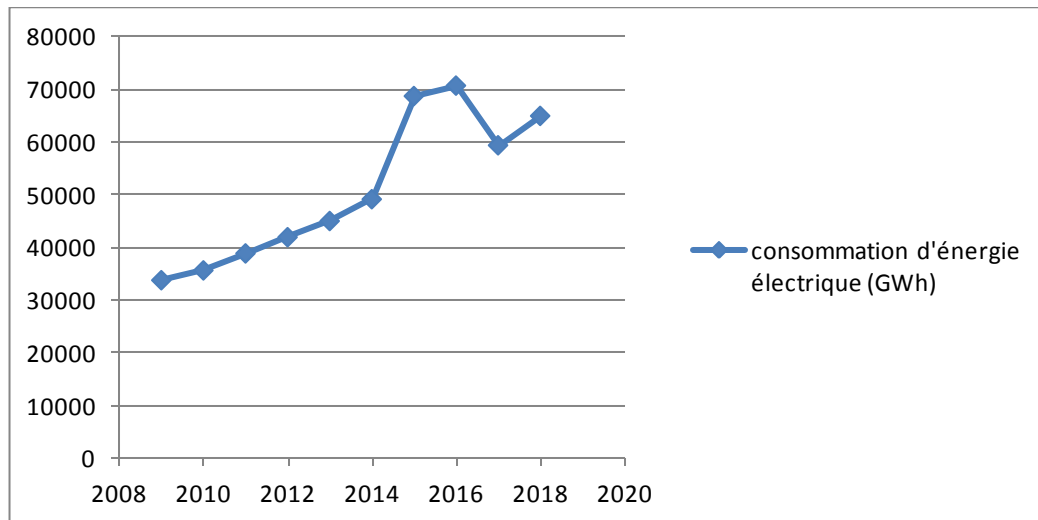
#### **1- L'évolution de la consommation annuelle de l'énergie électrique en Algérie :**

La consommation de l'énergie électrique en Algérie a connu une augmentation continue ce que nous montre le tableau suivant [18]:

Années	Consommation d'énergie électrique (GWh)	Années	Consommation d'énergie électrique (GWh)
2009	33817	2014	49192
2010	35677	2015	68767
2011	38901	2016	70747
2012	41980	2017	59423
2013	45050	2018	65000

**Tableau I.5 :** L'évolution de la consommation annuelle d'énergie électrique en Algérie (GWh).

En représentant le tableau ci dessus nous obtenons le graphique suivant:



**Figure I.10 :** Représentation graphique de l'évolution de la consommation annuelle de l'énergie électrique en Algérie.

Les résultats du tableau ci dessus et sa représentation graphique montrent que la consommation nationale de l'énergie électrique a connu une évolution importante, il y a plusieurs causes pour cela, comme l'amélioration du niveau de vie et l'augmentation de la demande de l'énergie électrique dans divers secteur.

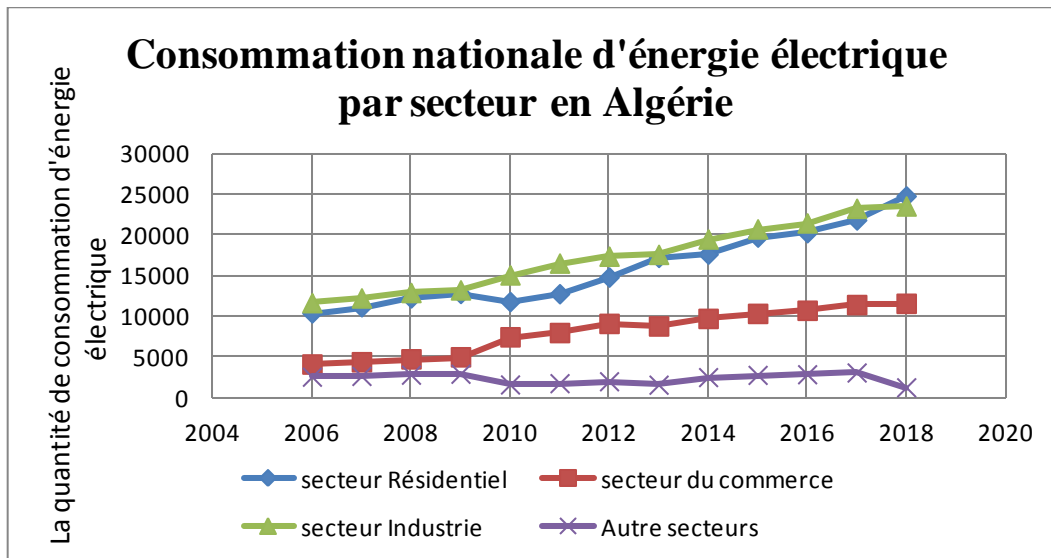
## **2 -L'évolution de la consommation nationale de l'énergie électrique en fonction des secteurs (GWh) :**

A partir du tableau suivant nous constatons une consommation nationale de l'énergie électrique en Algérie en fonction des secteurs consommant cette énergie. [19]

années	secteur Résidentiel	secteur du commerce	Secteur Industrie	Autre secteurs
2006	10363	4093	11627	2530
2007	11118	4371	12205	2626
2008	12212	4726	12871	2775
2009	12755	4975	13192	2895
2010	11758	7432	15032	1581
2011	12722	7954	16482	1743
2012	14764	9077	17331	1978
2013	17181	8765	17552	1552
2014	17579	9689	19440	2484
2015	19672	10306	20679	2756
2016	20211	10689	21411	2838
2017	21776	11390	23207	3050
2018	24726	11543	23493	1233

**Tableau I.6 :** L'évolution de la consommation nationale d'énergie électrique en Algérie par secteur (GWh).

En représentant les données du tableau ci dessus nous obtenons le graphique suivant:



**Figure I.11 :** Représentation graphique de L'évolution de la consommation nationale de l'énergie électrique en fonction des secteurs (GWh).

À partir des données du tableau et sa représentation graphique ci dessus il parait que la consommation annuelle de l'énergie électrique est en augmentation continue et ce dans tous les secteurs mais la plus grande consommation est celle du secteur industriel cela est dû à l'augmentation des investissements et développement que ce secteur a connu et le fort besoin de cette énergie qui est devenue une source plus que importante. Nous constatons aussi que la consommation du secteur domestique a connu une forte croissance qui est plus ou moins équivalente à celle du secteur industriel cela est dû à l'augmentation de la population donc une augmentation du besoin de l'énergie électrique pour plusieurs raisons comme l'utilisation des électroménagers.

### 3.2.6. Rationalisation de la consommation d'énergie électrique :

Les ressources énergétiques mondiales devront être utilisées d'une façon plus rentable à l'avenir vue la demande accrue en énergie. Après la croissance économique et démographique, une rationalisation dans l'utilisation des ressources énergétiques et surtout d'énergie électrique est jugée nécessaire.

La rationalisation dans l'utilisation de l'électricité est définie comme la consommer le moins d'énergie possible, donc sans extravagance ou gaspillage pour arriver à une consommation modèle. Nous devons donc utiliser des méthodes et des mesures rationnelles dans de divers secteurs consommateurs de l'énergie électrique. [20]

#### 4. Conclusion :

À travers tout ce que nous avons évoqué dans ce chapitre, nous observons que l'énergie est considérée comme l'un des moteurs les plus importants de l'économie, et elle a un très grand intérêt pour tous les pays, ses utilisations sont diverses et varient en fonction des besoins de ses utilisateurs. Parmi les formes de l'énergie nous trouvons l'énergie électrique qui est indispensable, et elle est donc parmi les exigences pour améliorer le niveau de vie des individus et le développement économique et industriel, c'est pour cela nous trouvons que la consommation de l'énergie électrique est aujourd'hui en augmentation continue par tous ses utilisateurs, ce qui a poussé plusieurs pays comme l'Algérie à penser à rationaliser sa consommation dans tous les secteurs, et surtout le secteur industriel et domestique qui ont connu ces dernières années une très forte consommation.

En conséquence, il est nécessaire de mettre en œuvre les meilleurs techniques, qui nous aideront à prévoir la consommation de cette énergie pour construire et planifier des stratégies, qui nous permettront de couvrir les demandes qui ne font que d'augmenter. Nous allons présenter l'une de ces techniques tel que est Les réseaux de Neurones Artificiels (RNA).



*Chapitre II :*  
*Les Réseaux de*  
*Neurone Artificielle*

Classe  
1992

## 1. Introduction

Les réseaux de neurones artificiels sont des outils puissants capables d'être utilisés dans presque tous les domaines technologiques, et on peut citer : le traitement du signal, vision, parole, prévision, modélisation, aide à la décision, robotique, évaluation des écosystèmes, identification des bactéries, commande des processus, modélisation des systèmes physiques reconnaissance des formes, mesure, instrumentation,...etc. [21]

Dans le cadre de notre travail, nous examinerons l'utilisation des réseaux de neurones dans le processus de prédiction., où nous avons la notion de modèle biologique et neurone formel, nous décrivons la définition des réseaux de neurones artificiels, leurs modèle générale, leurs architecture et ses types d'apprentissage on rappelons les réseaux de neurones les plus utilisés (Perceptron Multi Couches " PMC" et RBF), ainsi que l'algorithme de retro-propagation du gradient, l'algorithme d'apprentissage du réseau RBF et formalisation d'apprentissage. Enfin nous décrivons les avantages et les Inconvénients des réseaux de neurones.

## 2. Historique des réseaux de neurones :

En 1943 par W.MCCulloch et W.Pitts d'un modèle simplifié de neurone biologique seulement appelé neurone formel. Ils montrèrent également théoriquement que des réseaux de neurones formels simples soient aptes à réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes.

En 1949, D.Hebb initie, dans son ouvrage "The Organization of Behavior", la notion d'apprentissage. Deux neurones entrant en activité en même temps vont être associés (c'est-à-dire que leurs contacts synaptiques vont être renforcés). On parle de loi de Hebb et d'associationnisme.

En 1958, F.Rosenblatt développe le modèle du Perceptron. C'est un réseau de neurones inspiré du système visuel. Il dispose de deux couches de neurones : une couche de perception (sert à recueillir les entrées) et une couche de décision. C'est le premier modèle pour lequel un processus d'apprentissage a pu être défini. S'inspirant du perceptron, Widrow et Hoff, développent, dans la même période, le modèle de l'Adaline

(Adaptive Linear Element). Ce dernier sera, par la suite, le modèle de base des réseaux de neurones Multi Couches.

En 1969, Les recherches sur les réseaux de neurones ont été pratiquement délaissées lorsque M.Minsky et S.Papert ont publié leur livre «Perceptrons» (1969) et prouvé les limites théoriques du perceptron, en particulier, l'impossibilité de traiter les problèmes non linéaires par ce modèle.

En 1982, Hopfield développe un modèle qui manipule des réseaux totalement connectés basés sur la règle de Hebb pour définir les notions d'attracteurs et de mémoire associative.

En 1984 c'est la révélation des cartes de Kohonen avec un algorithme non supervisé basé sur l'auto-organisation et suivi une année plus tard par la machine de Boltzman (1985).

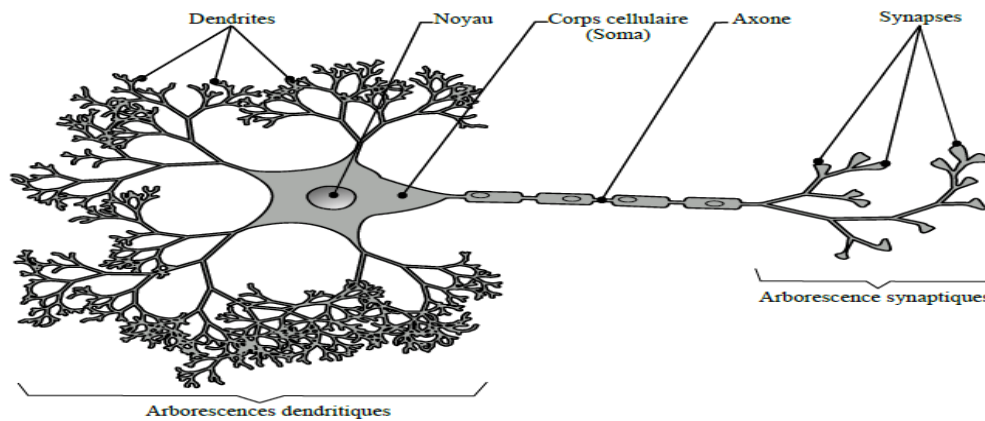
Une révolution survient alors dans le domaine des réseaux de neurones artificiels : une nouvelle génération de réseaux de neurones, capables de traiter avec succès des phénomènes non-linéaires : le perceptron multicouche est dépourvu des défauts mis en évidence par Minsky. Proposé pour la première fois par Werbos, le Perceptron Multicouche apparaît en 1986 introduit par Rumelhart, et, simultanément, sous une appellation voisine, chez Le Cun (1985). Ces systèmes reposent sur la rétro propagation du gradient de l'erreur dans des systèmes à plusieurs couches, chacune de type Adaline de Bernard Widrow, proche du Perceptron de Rumelhart. [22]

### **3. Le neurone :**

Un neurone est une cellule du système nerveux spécialisée dans la communication et le traitement d'informations, nous allons expliquer très brièvement les bases biologiques dont ils sont originaires.

#### **3.1. Les neurones biologiques :**

La compréhension et la modélisation du cerveau ont permis d'isoler le composant cellulaire de base du cerveau appelé neurone, qui est l'unité de traitement de l'information dont les constituants sont les synapses, les dendrites, le noyau et l'axone comme le montre clairement la (**Figure II.1**).



**Figure II.1 :** Structure d'un neurone biologique.

Chaque neurone reçoit un ensemble de potentiels excitateurs ou inhibiteurs, par l'intermédiaire des synapses qui le relient aux autres neurones, les dendrites calculent une somme pondérée de leurs entrées, selon le niveau d'activation obtenu, le noyau génère ou non un potentiel d'action qui se propage le long de l'axone. Ainsi, ce modèle biologique simple sert de base au modèle mathématique du neurone formel. [23]

### 3.1.1. Structure des neurones :

Un neurone est constitué de quatre parties :

- Le corps cellulaire.
- Les dendrites.
- L'axone.
- La Synapse.

➤ **Le corps cellulaire (soma) :** qui contient le noyau de la cellule nerveuse ; c'est en cet endroit que prend naissance l'influx nerveux qui représente l'état d'activité du neurone.

➤ **Les dendrites :** ramifications tubulaires courtes formant une espèce d'arborescence autour du corps cellulaire ; ce sont les entrées principales du neurone qui captent l'information venant d'autres neurones.

➤ **L'axone :** longue fibre nerveuse qui se ramifie à son extrémité ; c'est la sortie du neurone et le support d'information vers les autres neurones.

➤ **La synapse :** qui communique l'information, en la pondérant par un poids synaptique, à un autre neurone elle est essentielle dans le fonctionnement du système nerveux. [24]

Les réseaux de neurones sont un ensemble d'éléments structurels qui permettent de transmettre l'information d'une manière quasi instantanée et qui sont nommés des

neurones, reliés entre eux pour former le système nerveux humain. Et c'est pour cela que les neurones biologiques ont fait l'objet d'une source d'inspiration pour trouver des neurones artificiels et donc il était nécessaire de simuler les éléments des neurones biologiques.

On peut comparer la correspondance entre les propriétés respectives de neurones biologiques et neurones artificiels comme le montre la (Figure II.2).

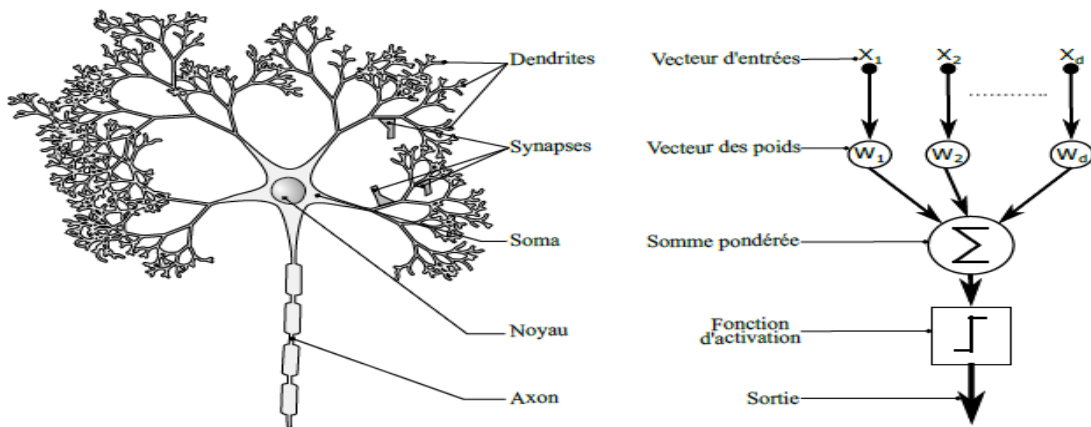


Figure II.2 : Mise en correspondance neurone biologique / neurone artificiel.

### 3.2. Neurone artificiel (formel) :

Le neurone formel est une modélisation mathématique qui reprend les principes de fonctionnement du neurone biologique, en particulier la sommation des entrées.

En général, un neurone formel est un élément de traitement possédant  $n$  entrées  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  (qui sont les entrées externes ou les sorties des autres neurones) et une ou plusieurs sorties. Son traitement consiste à effectuer à sa sortie  $y_i$  le résultat d'une fonction de seuillage  $f$  (dite aussi la fonction d'activation) de la somme pondérée. [25]

La première version du neurone formel est celle de McCulloch et Pitts qui est largement utilisée, leur modèle peut être représenté par la figure suivante :

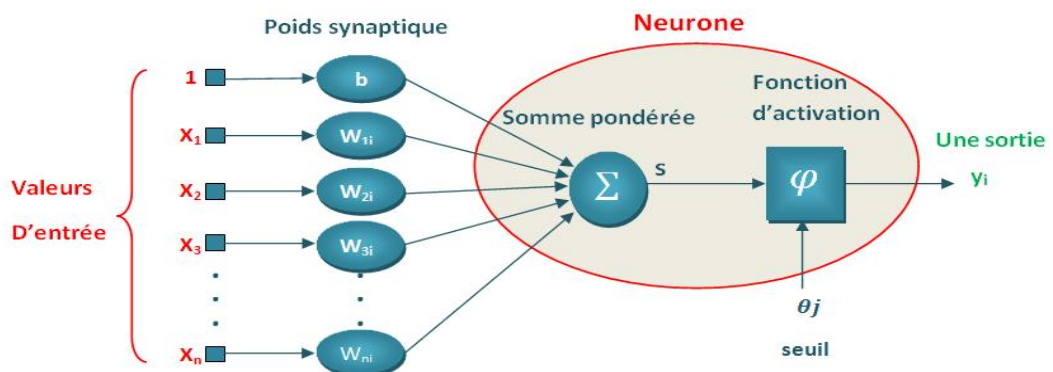


Figure II.3 : Modèle d'un neurone formel.

Avec :

- Les  $x_i$  sont les entrées du réseau.
- $S$  est le potentiel d'activation.
- Les  $w_i$  représentent les poids synaptiques.
- $y_i$  la sortie du réseau tels que :  $y = f(s)$  ;

$$s = \sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i + b \quad (2.1)$$

Le tableau suivant nous permet d'avoir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel :

Neurone Biologique	Neurone Formel
Dendrite	Signal d'Entrée
Synapses	Poids de Connexion
Corps cellulaire	Fonction d'Activation
Axones	Signal de Sortie

**Tableau II.1** : Analogie entre le neurone Biologie et le neurone Formel.

### 3.2.1. Poids de connexion :

Un poids d'un neurone représente l'efficacité d'une connexion.

### 3.2.2. Les entrées :

- Elles peuvent être :
- Booléennes.
  - Binaires (0 1) ou Bipolaire (-1 1).
  - Réelles.

### 3.2.3. Fonction d'activation :

Cette fonction permet de définir l'état interne du neurone en fonction de ces entrées. A titre d'exemple nous citons quelques fonctions qui sont les plus utilisées: «la fonction à seuil», « la fonction linéaire», « la fonction sigmoïdes». Le (**Tableau II.2**) énumère ces différentes fonctions.

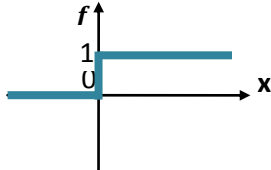
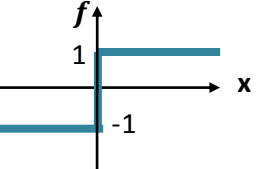
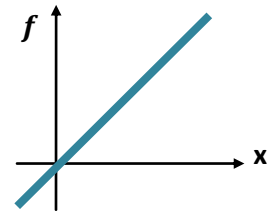
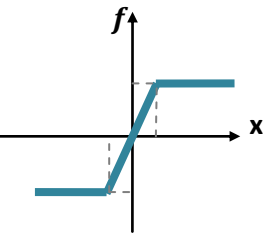
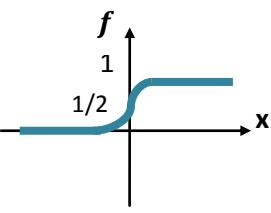
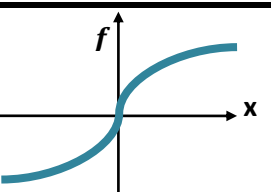
Catégorie	Type	Equation	Allure
Seuil	Binaire (Heaviside)	$f(x)=1$ si $x \geq 0$ $f(x)=0$ si non	
	Signe	$f(x)= 1$ si $x \geq 0$ $f(x)= -1$ si non	
Linéaire	Identité	$f(x)= x$	
	Saturation	$f(x)= x$ si $x \in [u \ v]$ $f(x)= v$ si $x \geq v$ $f(x)= u$ si $x \leq u$	
Sigmoïde	Positive (logistique)	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	
	Symétrique (type tanch)	$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$	

Tableau II.2 : Fonction de transfert.

**3.2.4. Fonction de sortie :**

Elle calcule la sortie d'un neurone en fonction de son état d'activation. En général cette fonction est considérée comme la fonction identité. Elle peut être, binaire ou réelle.

#### **4. Les réseaux de neurones artificiels (Artificial Neural Networks ANN):**

Un réseau de neurones (RN) est un système d'opérateurs non linéaires interconnectés, recevant des signaux de l'extérieur par ses entrées, et délivrant des signaux de sortie, ces (RN) sont une métaphore des structures cérébrales, de traitement parallèle, distribué d'information et comportent plusieurs élément de traitement appelé neurone. [26]

Chaque neurone fonctionne indépendamment des autres de telle sorte que l'ensemble est un système parallèle fortement interconnecté. L'information détenue par le réseau de neurone est distribuée à travers l'ensemble des constituants et non localisée dans une partie de mémoire sous la forme d'un symbole.

Cette structure est constitué de plusieurs unités de traitement qui traitent les informations, appelés neurones. Les signaux passent entre les neurones en suivant les lignes de relier, et chaque cellule nerveuse représente une mémoire locale. Chaque ligne de relier est accompagnée d'un certain poids numérique qui est multiplié par les signaux entrant dans le neurone. Ensuite, nous appliquons la fonction d'activation sur chaque neurone à l'entrée du réseau qui représente l'ensemble des signaux entrant pour permettre la détermination du signal sortant. [27]

Le réseau de neurone ne se programme jamais pour réaliser une ou telle tâche, il est entraîné sur des données acquises, grâce à un mécanisme d'apprentissage qui agit sur les constituants du réseau afin de réaliser au mieux la tâche souhaitée. [26]

#### **5. Les composants des réseaux de neurones artificiels :**

Les réseaux de neurones artificiels sont considérés comme un groupe de cellules ou neurones liés entre eux et organisés sous forme de couches, nous trouvons [28] :

##### **5.1. Couche d'entrée :**

Les neurones de cette couche reçoivent les valeurs d'entrée du réseau et les transmettent aux neurones cachés. Chaque neurone reçoit une valeur, il ne fait pas donc de sommation.

##### **5.2. Couches cachées :**

C'est la couche qui est entre la couche d'entrée et la couche de sortie. Nous pouvons en trouver plusieurs couches cachées que l'on appelle (Multi-Layer Network) et si il y a une seule couche cachée on l'appelle (Single-Layer Network). Chaque neurone de cette couche reçoit l'information de plusieurs couches précédentes, effectue la sommation pondérée par les poids, puis la transforme selon sa fonction d'activation qui

est en général une fonction sigmoïde. Par la suite, il envoie cette réponse aux neurones de la couche suivante.

### 5.3. Couche de sortie :

Elle représente les résultats de l'application du réseau. Elle joue le même rôle que les couches cachées, la seule différence entre ces deux types de couches est que la sortie des neurones de la couche de sortie n'est liée à aucun autre neurone.

## 6. Les caractéristiques du réseau de neurones artificiels :

Il s'ensuit qu'un réseau de neurones se distingue par trois caractéristiques principales :

- L'architecture du réseau qui caractérise un chemin particulier par lequel les éléments du réseau sont connectés et qui définit la direction de propagation des informations.
- La fonction d'activation des neurones qui dicte leur comportement.
- L'algorithme d'apprentissage du réseau. [29]

## 7. Différentes types de réseaux de neurones artificiels :

Selon la topologie de connexion des neurones, on peut les classer en deux grandes catégories: réseaux non bouclés (statique ou feed-forward) et réseaux bouclés (dynamique, feed-back ou récurrent).

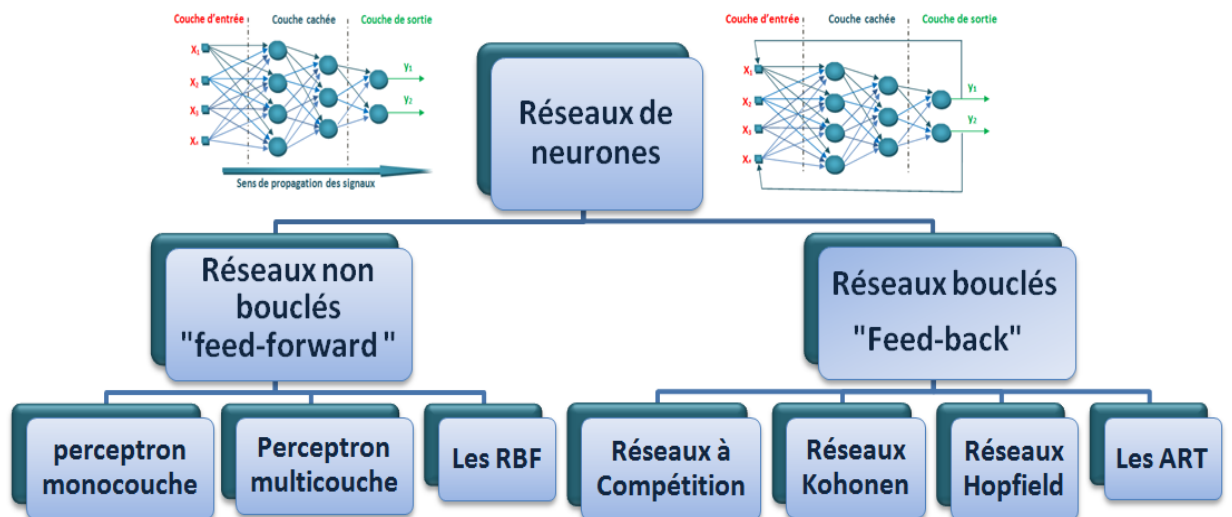


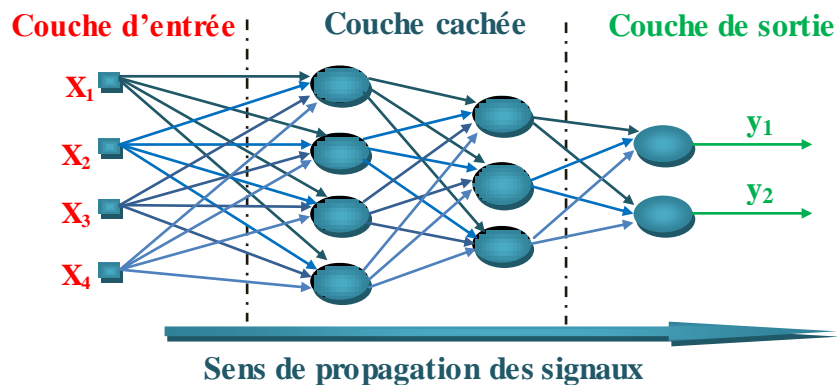
Figure II.4 : Topologies des réseaux de neurones artificiels.

### 7.1. Réseaux non bouclés "Feed-Forward "

Un réseau de neurone non bouclé (dit aussi statique ou proactifs) est donc représenté graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux (Figure

**II.5)**, l'information circulant des entrées vers les sorties sans retour en arrière (feed-forward). C'est-à-dire à partir d'un neurone quelconque, en suivant les connexions, on ne peut pas revenir au neurone de départ. [30]

Ce type de réseaux est utilisé pour effectuer des tâches d'approximation de fonction non linéaire, de la classification ou de la modélisation de processus statiques non linéaires. [31]



**Figure II.5 :** Un réseau de neurone non bouclé.

### Le Perceptron :

Le perceptron est le premier modèle des réseaux de neurones inventé en 1957 par **Frank Rosenblatt**. C'est un réseau simple, puisqu'il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie. Ainsi ce perceptron est capable d'apprendre plusieurs fonctions booléennes. On peut par exemple lui faire apprendre la fonction AND ou bien la fonction OR. [32]

#### 7.1.1. Perceptron mono Couche ELM (SLP) :

Dans ce type de réseaux, il y a une seule couche cachée qui lie les couches d'entrée aux couches de sortie. Seule la couche cachée est modifiable.

L'application avec un tel modèles sont très restreintes dans une même structure ayant en commun les mêmes entrées, chaque neurone agit indépendamment des autres et en particulier ne reçoit aucune connexion en provenance des neurones de cette couche et traite des problèmes pour lesquels la sortie attendue n'est pas une seule valeur scalaire mais un vecteur scalaire. [33]

L'exemple de réseau à une seule couche est donné par la (**Figure II.6**).

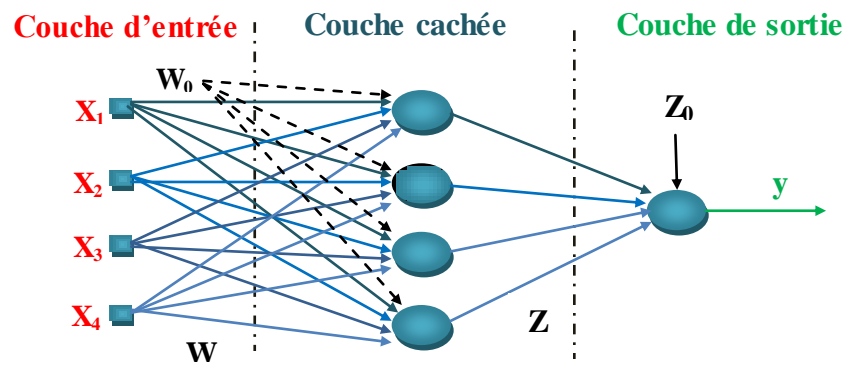


Figure II.6 : Structure d'un ELM.

La sortie du réseau a pour expression :

$$y = [g[z[f(wx + w_0)]] + z_0] \quad (2.2)$$

Avec :

$f$  et  $g$  les fonctions de transfert, des couches cachées et de sorties respectivement.

$y$  : La sortie du réseau.

$x$  : Le vecteur des entrées.

$w$  : La matrice des poids de connexions liant la couche d'entrée à la couche cachée.

$w_0$  : Le vecteur des biais des cellules de la couche cachée.

$z$  : La matrice des poids des connexions liant la couche cachée à la couche de sortie.

$z_0$  : Le vecteur des biais des cellules de la couche de sortie.

### 7.1.2. Perceptron Multi Couche (PMC) :

Le PMC (ou Multi-layer Perceptron MLP) est une extension du perceptron monocouche qui dispose d'un nombre de couches quelconque et un nombre de neurones (ou d'entrées) par couche également quelconque. Les neurones y sont arrangés en couches successives: la première couche qui forme le vecteur des données d'entrée est appelée couche d'entrée tandis que la dernière couche qui produit les résultats est appelée couche de sortie. Toutes les autres couches qui se trouvent au milieu sont appelées couches cachées. [34]

La (Figure II.7) donne l'exemple d'un réseau contenant une couche d'entrée, deux couches cachées et une couche de sortie. La couche d'entrée représente toujours une couche virtuelle associée aux entrées du système. Elle ne contient aucun neurone. Les couches suivantes sont des couches de neurones. Dans l'exemple illustre, il y a 4 entrées, 4 neurones sur la première couche cachée, trois neurones sur les deuxièmes et un neurone sur la couche de sortie. Les sorties des neurones de la dernière couche

correspondent toujours aux sorties du système. Les neurones sont reliés entre eux par des connexions pondérées.

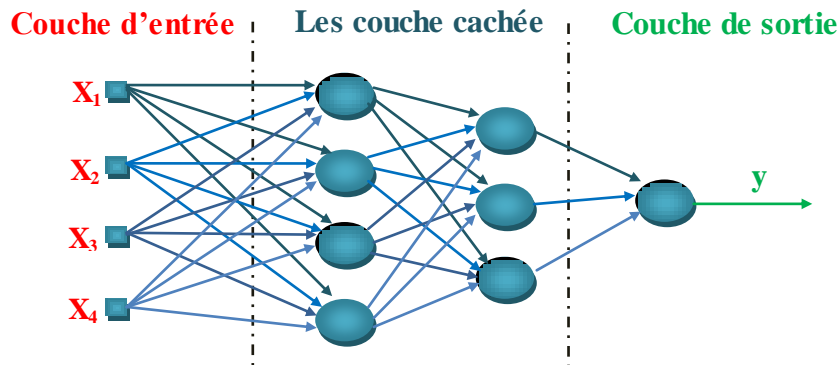


Figure II.7 : Structure d'un MLP.

Le choix du nombre de couches cachées dépend généralement de la complexité du problème à résoudre, en théorie une seule couche cachée peut être suffisante pour résoudre un problème donné mais il se peut que le fait de disposer de plusieurs couches cachées permette de résoudre plus facilement un problème complexe. [35]

### 7.1.3. Réseau de neurones de type RBF (Radial Basis Functions) :

Les réseaux à fonction radiales de base (RBF) sont des modèles connexionnistes simples à mettre en œuvre et assez intelligible, et sont très utilisés pour la classification. Leur propriétés théoriques ont été étudiées en détail depuis la fin des années 80, il s'agit certainement, avec le perceptron multicouche, du modèle connexionniste le mieux connu.

Introduit par Powell et Broomhead, le réseau RBF (Radial Basis Functions) fait partie des réseaux de neurones supervisés. Il est constitué de trois couches (Figure II.8) : une couche d'entrée qui retransmet les entrées sans distorsion, une seule couche cachée qui contient les neurones RBF qui sont généralement des gaussiennes et une couche de sortie dont les neurones sont généralement animés par une fonction d'activation linéaire. Chaque couche est complètement connectée à la suivante et il n'y a pas de connexions à l'intérieur d'une même couche. [36]

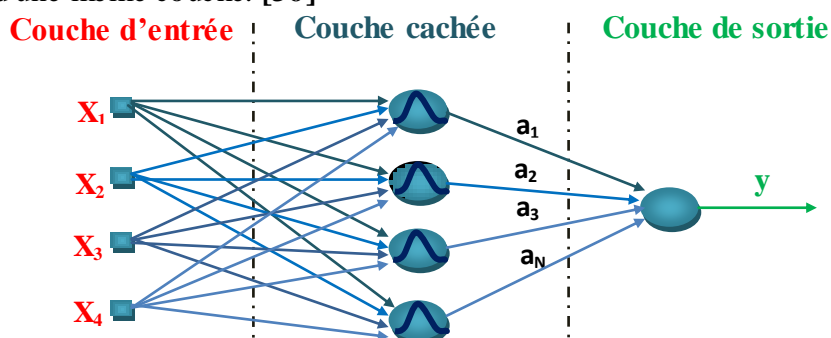


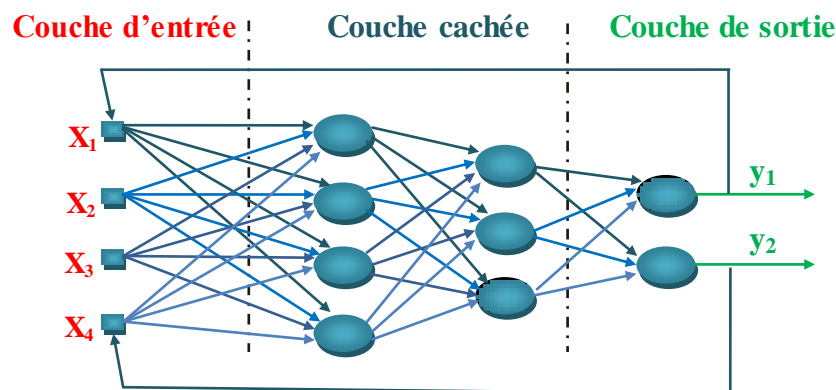
Figure II.8 : Architecture du réseau RBF.

## 7.2. Réseau bouclés "Feed-Back"

Les réseaux bouclés (dit aussi dynamique ou récurrents), sont les réseaux pouvant comporter des boucles (feed-back) entre les neurones (**Figure II.9**). En général, la sortie de chaque neurone peut être envoyée vers l'entrée de tous les autres neurones du réseau. Ainsi, ces boucles ramènent l'information en provenance de la couche de sortie sur la couche d'entrée simultanément avec le signal d'entrée présent au même instant.

Un réseau récurrent peut donner une sortie différente en lui présentant la même entrée à des instants différents, contrairement aux réseaux statiques qui donnent la même sortie pour une même entrée.

Au début, ces réseaux étaient souvent utilisés pour les problèmes de classification et de mémorisation. Actuellement, dans plusieurs travaux la structure interne dynamique de ces réseaux est exploitée pour l'identification ou la commande des systèmes dynamiques. [37]



**Figure II.9** : Un réseau de neurone bouclé.

### 7.2.1. Les cartes auto organisatrices de Kohonen(Réseaux Kohonen) :

Les réseaux de neurones auto-organisés sont des réseaux qui changent leurs structures internes pendant l'apprentissage. Ainsi les neurones se regroupent typologiquement suivant la représentation des exemples. Ces réseaux sont des dérivées des modèles de Kohonen. [38]

### 7.2.2. Les réseaux de Hopfield :

Les réseaux de Hopfield sont des réseaux récurrents et entièrement connectés qui est présenté en 1982. Dans ce type de réseau, chaque neurone est connecté à chaque autre neurone et il n'y a aucune différenciation entre les neurones d'entrée et de sortie.

Ce modèle de Hopfield utilise l'architecture des réseaux entièrement connectés et récurrents, les sorties sont en fonction des entrées et du dernier état pris par le réseau. Ils

fonctionnent comme une mémoire associative non linéaire. Le mode d'apprentissage utilisé ici est le mode non supervisé. [39]

### **7.2.3. Les réseaux ART :**

Les réseaux ART ("Adaptative Resonance Theory") sont développés par Carpenter et Gross Berg en 1987, ce sont des réseaux à apprentissage par compétition. Le problème majeur qui se pose dans ce type de réseaux est le dilemme « stabilité/plasticité ». En effet, dans un apprentissage par compétition, rien ne garantit que les catégories formées vont rester stables. La seule possibilité, pour assurer la stabilité, serait que le coefficient d'apprentissage tende vers zéro, mais le réseau perdrait alors sa plasticité. Les ART ont été conçus spécifiquement pour contourner ce problème. Le mode d'apprentissage des ART peut être supervisé ou non. [39]

### **7.2.4. Le modèle Adaline :**

C'est un réseau présenté par Windrow et Hoff, ce réseau contient trois couches, une d'entrée, une couche cachée et une couche de sortie. Ce modèle est similaire au modèle de perceptron seulement la fonction d'activation change, mais reste toujours linéaire. Ce réseau est utilisé généralement pour la classification c'est à dire la séparation linéaire entre les données qui seront présentés par classe.

## **8. Le traitement des informations dans les réseaux de neurones artificielles :**

L'objectif de l'apprentissage est de fournir une méthode au réseau afin qu'il puisse ajuster ces paramètres lorsqu'on lui présente des exemplaires à traiter. Certains réseaux font la différence entre une phase d'entraînement et une phase d'exploitation (cas du perceptron), ou pas (cas du réseau ART). on distingue habituellement trois paradigmes d'apprentissage :

### **8.1. L'apprentissage supervisé :**

Dans ce cas, un superviseur(ou expert humain) fournit une valeur ou un vecteur de sortie (appelé cible ou sortie désirée), que le réseau de neurones doit associer à un vecteur d'entrée. L'apprentissage consiste dans ce cas à ajuster les paramètres du réseau afin de minimiser l'erreur entre la sortie désirée et la sortie réelle du réseau. [40]

### **8.2. L'apprentissage non supervisé :**

Dans cet apprentissage, les données ne contiennent pas d'information sur la sortie désirée. Il n'y a pas de superviseur. La tâche du réseau consiste, par exemple dans ce

cas, à créer des regroupements de données selon des propriétés communes (classification). [40]

### 8.3. L'apprentissage semi-supervisé ( apprentissage par renforcement):

Ce mode d'apprentissage, suppose qu'un comportement de référence n'est pas possible, mais en revanche, il est possible d'obtenir des indications qualitatives (vrai, faux, ...) sur les performances du réseau. [40]

## 9. Les algorithmes d'apprentissages :

### 9.1. Algorithme de rétro-propagation du gradient:

#### 9.1.1. Principe :

La rétro-propagation du gradient consiste à propager à l'envers (de la couche de sortie vers la couche d'entrée) l'erreur obtenue sur les exemples de la base d'apprentissage. On utilise pour cela l'erreur quadratique « le carré de la différence entre ce qu'on obtient et ce qu'on désire ». Si on calcule la dérivée partielle de l'erreur quadratique par rapport aux poids des connexions (gradient), il est possible de déterminer la contribution des poids à l'erreur générale, et de corriger ces poids de manière à se rapprocher du résultat souhaité. La correction par itération en corrige plus ou moins fortement les poids par l'intermédiaire d'un coefficient  $\eta$ . [41]

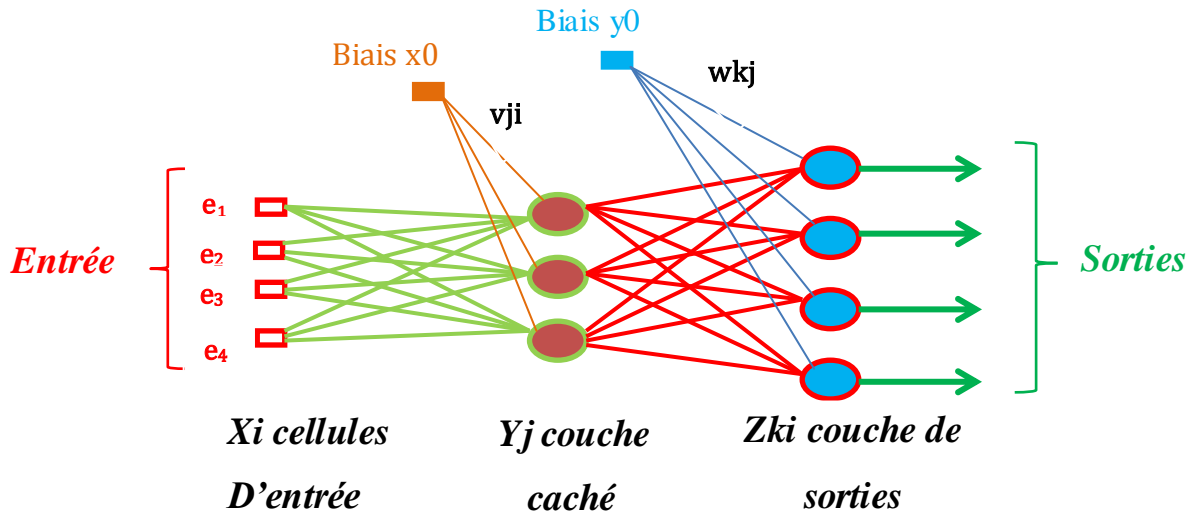
Après un certain nombre d'itérations, où on n'est satisfait du classement des exemples de notre base d'apprentissage, on fixe les poids qui constituent aussi des frontières entre les classes.

#### Algorithme :

##### a- Définition du réseau :

Soit un réseau multicouche définit par: [42]

- Une couche d'entrée à  $m$  cellules d'entrées. Ces cellules ne sont pas des neurones mais simplement des entrées  $e_i = x_i$  du réseau.
- Une couche cachée qui contient  $n$  neurones qui ont une fonction d'activation  $y_j$ .
- Une couche de sortie à  $p$  neurones qui ont une fonction d'activation  $z_k$ .
- $n \times m$  connexions entre la couche d'entrée et la couche cachée, chacune pondérée par  $v_{ji}$ .
- $n \times p$  connexions entre la couche cachée et la couche de sortie, chacune pondérée par  $w_{kj}$ .



**Figure II.10 :** Exemple de réseau MLP à une couche cachée avec 4 entrées, 3 neurones dans la couche cachée, et 4 sorties.

**9.1.2. Les étapes d’algorithme :**

**ETAPE 1 :** Initialisation au hasard ou aléatoire des poids des connexions  $v_{ji}$  et  $w_{kj}$

**ETAPE 2 :** Propagation des entrées (Flux frontal)  $x_i = e_i$

- On propage vers la couche cachée :

$$y_j = f \left( \sum_{i=1}^m x_i v_{ji} + x_0 \right) \tag{2.3}$$

- Puis de la couche cachée vers la couche de sortie :

$$s_j = \sum_{j=1}^n y_j w_{kj} \tag{2.4}$$

$$z_k = f \left( \sum_{j=1}^n y_j w_{kj} + y_0 \right) \tag{2.5}$$

Les valeurs  $x_0$  et  $y_0$  sont des Biais,  $f$  est la fonction d’activation qu’on a choisie où on a définit notre réseau MLP , généralement  $f$  est le fonction sigmoïde.

$$f(s_j) = \frac{1}{1 + e^{-s_j}} \tag{2.6}$$

**ETAPE 3 :** rétro propagation est exprime dans l’étape suivant:

Une fois que la sortie de toutes les unités calculée, l’erreur de réseaux est calculée par la formule suivante:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^p (s_k - z_k)^2 \quad (2.7)$$

Où  $s_k$  est la véritable sortie que le réseau doit apprendre (la sortie désirée), et  $z_k$  la sortie obtenu.

L'étape de rétro-propagation passe par quatre étapes qui peuvent être décrites mathématiquement comme suit: [43]

$$(4) \quad E_A = \frac{\partial E}{\partial z_k} = (s_k - z_k) \quad (2.8)$$

$$(5) \quad E_k = \frac{\partial E}{\partial s_j} = \frac{\partial E}{\partial z_k} \times \frac{\partial z_k}{\partial s_j} = (s_k - z_k)(1 - z_k)z_k \quad (2.9)$$

$$(6) \quad E_{w_{kj}} = \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} = \frac{\partial E}{\partial s_j} \times \frac{\partial s_j}{\partial w_{kj}} = (s_k - z_k)(1 - z_k)z_k * y_j \quad (2.10)$$

$$(7) \quad E_{AI} = \frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum \frac{\partial E}{\partial s_j} \times \frac{\partial s_j}{\partial y_j} = \sum E_k w_{kj} \quad (2.11)$$

Les formules des équations précédentes peuvent être expliquées comme suit :

1. Calculez le taux de changement d'erreur  $E_A$  par (2.8) lorsque la sortie réelle change, ce qui est la différence entre la sortie réelle du réseau de (2.5) et la sortie requise.
2. Calculer le taux d'erreur ( $E_k$ ) de (2.9) dans la somme des entrées reçues par l'unité de sortie par (2.4) qui est la multiplication du résultat de l'équation (2.31) dans la dérivée de sortie de l'unité, qui est l'équation (2.5).
3. Calculez de la vitesse de changement d'erreur lors du changement des poids aux unités de sortie, en multipliant le résultat par (2.9) dans le niveau d'activité de l'unité à partir de laquelle la connexion est sortie par la dérivée partielle de l'équation (2.4) par rapport au poids.
4. Calculez le taux de changement d'erreur sur le changement d'activité unitaire dans la couche précédente. Ce processus critique (2.11) permet d'appliquer la rétro-propagation aux réseaux multicouches.

En utilisant les étapes 2 et 4, cette procédure peut être appliquée au reste des couches du réseau neuronal. La (Figure II.11) montre l'organigramme de l'algorithme de diffusion postérieure.

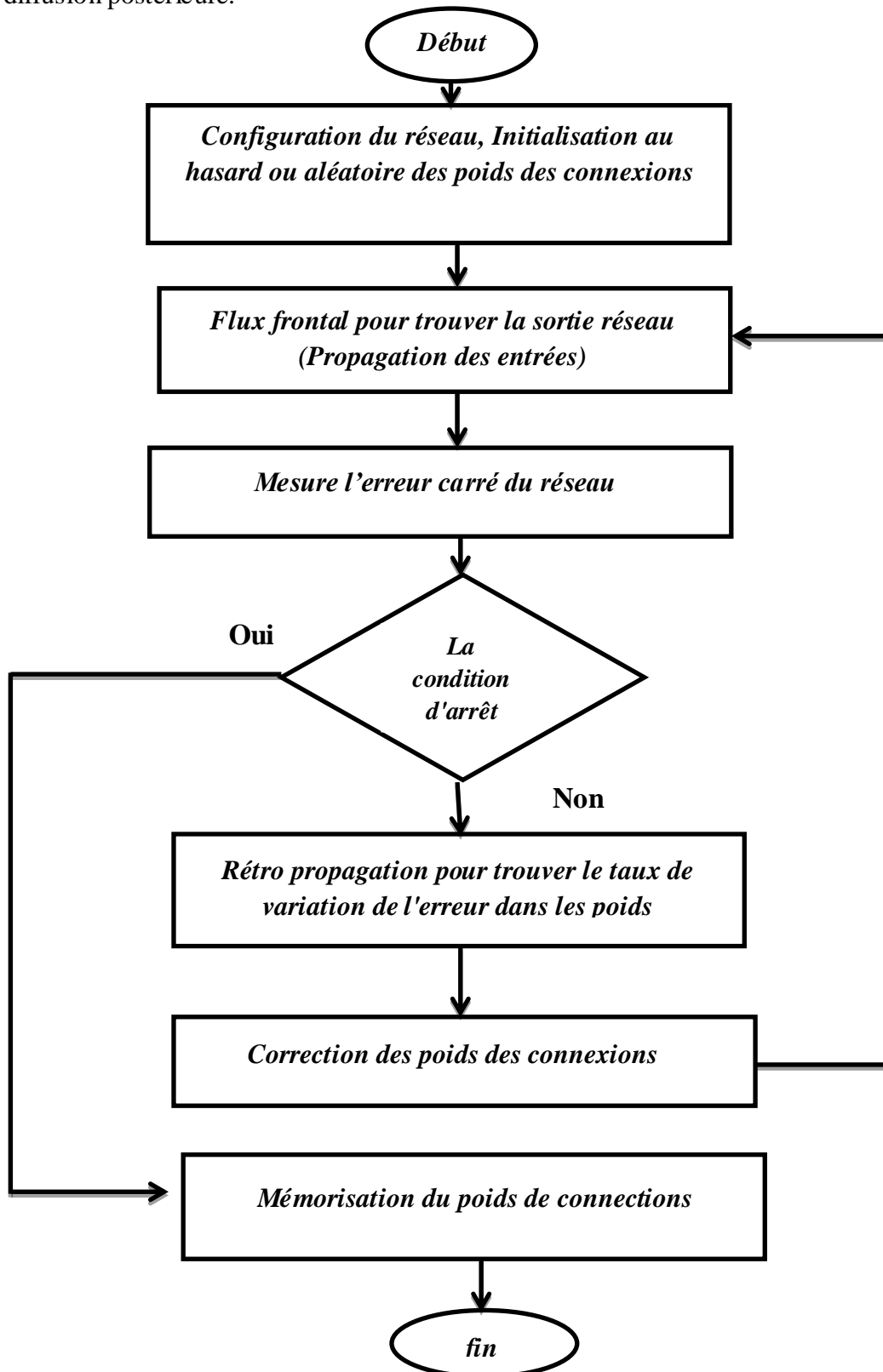


Figure II.11 : Organigramme de l'algorithme de diffusion postérieure.

Donc l'erreur de chaque neurone de la couche de sortie c'est :

$$E_k = (s_k - z_k)(1 - z_k)z_k \tag{2.12}$$

On propage cette erreur sur la couche cachée ; l'erreur de chaque neurone de la couche cachée est donnée par :

$$F_j = y_j(1 - y_j) \sum_{k=1}^p w_{kj} E_k \tag{2.13}$$

Il reste maintenant la modification des poids des connexions et aussi les biais.

o Entre la couche d'entrée et la couche cachée :

$$\begin{cases} \Delta v_{ji} = \eta y_j F_j \\ \Delta x_0 = \eta F_j \end{cases} \tag{2.14}$$

o Entre la couche cachée et la couche de sortie :

$$\begin{cases} \Delta w_{kj} = \eta z_k E_k \\ \Delta y_0 = \eta E_k \end{cases} \tag{2.15}$$

$\eta$  Etant un paramètre qu'il reste à déterminer.

### 9.2. Algorithme d'apprentissage du réseau RBF :

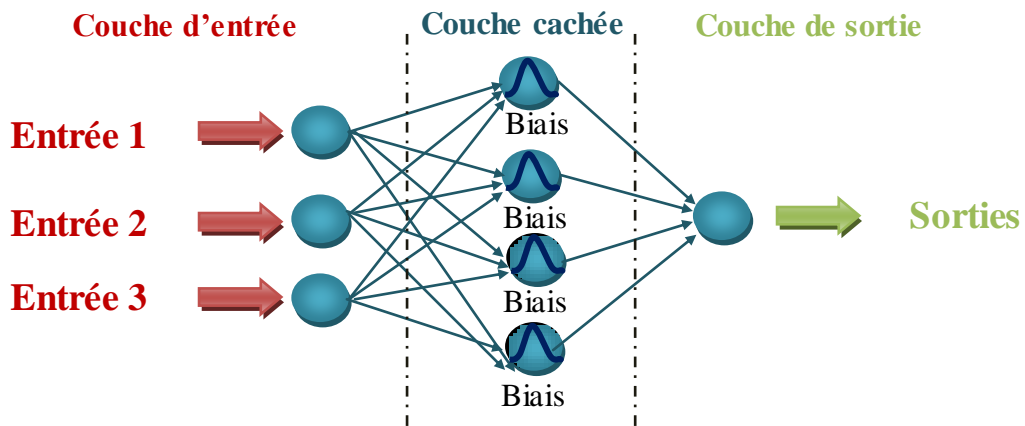


Figure II.12 : Architecture d'un réseau de neurone RBF.

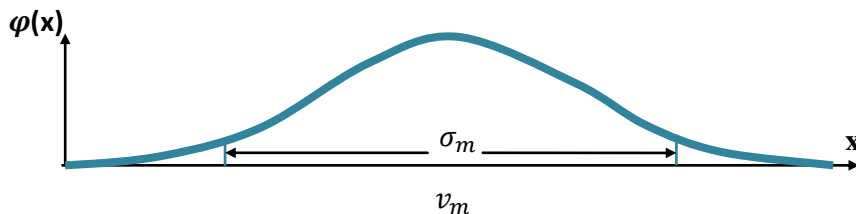


Figure II.13 : Fonction gaussienne du réseau RBF.

Ce réseau est constitué de N neurones d'entrée, M neurones cachés et J neurones de sortie. La sortie du  $m^{i\text{ème}}$  neurone de la couche cachée est donnée par [36] :

$$y_m^{(q)} = \exp \left[ -\frac{\|x^{(q)} - v_m\|^2}{2\sigma_m^2} \right] \quad (2.16)$$

$v_m$  est le centre du  $m^{\text{ième}}$  neurone de la couche cachée où du  $m^{\text{ième}}$  neurone gaussien et  $\sigma_m$  est la largeur du  $m^{\text{ième}}$  gaussienne. La sortie du  $j^{\text{ième}}$  neurone de la couche de sortie est donnée par:

$$z_j^{(q)} = \left( \frac{1}{M} \right) \left[ \sum_{(m=1, M)} w_{mj} y_m^{(q)} \right] \quad (2.17)$$

$m=1, \dots, M$  et  $j=1, \dots, J$ .

$w_{mj}$  sont les poids reliant la couche cachée à celle de la sortie.

### 9.2.1. Principe :

L'apprentissage du réseau RBF a été présenté la première fois par Moody et Darken. Il consiste à régler quatre paramètres principaux: le nombre de neurones dans l'unique couche cachée ou le nombre des gaussiennes, la position des centres de ces gaussiennes, la largeur de ces gaussiennes et les poids de connexions entre les neurones cachés et le(s) neurone(s) de sortie. Le réseau RBF consiste à minimiser l'erreur quadratique totale  $E$  calculée entre les sorties obtenues du réseau et celles désirées [44] :

$$E = \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^J t_j^{(q)} z_j^{(q) 2} \quad (2.18)$$

Pour le réseau RBF, l'ajustement des poids  $w_{mj}$  reliant la couche cachée à celle de la sortie est réalisé par la règle de Widrow-Hoff. Il se fait comme suit :

$$W_{mj}^{(i+1)} = W_{mj}^{(i)} + \eta (t_j - z_j) y_m \quad (2.19)$$

- $t_j$  est la sortie du  $j^{\text{ième}}$  neurone désirée.
- $z_j$  est la sortie du  $j^{\text{ième}}$  neurone calculée.
- $y_m$  est la sortie du  $m^{\text{ième}}$  neurone de la couche cachée.
- $\eta$  est le pas d'apprentissage dont sa valeur est comprise entre 0 et 1.

En conclusion, mentionnons que la principale difficulté des réseaux RBF concerne la question du nombre de neurones radiaux à utiliser pour une application donnée. A priori, il n'existe pas de méthode pour fixer leur nombre, et cette architecture souffre de façon particulièrement aigüe de ce qu'on appelle la « malédiction de la dimension», à

savoir l'augmentation exponentielle du nombre de neurones cachés requis en fonction de la dimension  $R$  de l'espace d'entrée. Lorsque  $R$  est grand, une façon d'atténuer ce problème consiste à remplacer les hyper-sphères qui résultent de l'imposition d'une variance fixe par des hyper-ellipses où la matrice de covariance n'est plus contrainte. On peut ainsi réduire le nombre de neurones à positionner au détriment du nombre de paramètres à estimer.

### 10. Avantages et inconvénients des réseaux de neurones : [45]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Capacité de représenter n'importe quelle fonction, linéaire ou pas, simple ou complexe.</li> <li>❖ Faculté d'apprentissage à partir d'exemples représentatifs, par "rétro propagation des erreurs". L'apprentissage (ou construction du modèle) est automatique.</li> <li>❖ Résistance au bruit ou au manque de fiabilité des données.</li> <li>❖ Simple à manier, beaucoup moins de travail personnel à fournir que dans l'analyse statistique classique. Aucune compétence en mathématiques, informatique ou statistique requise.</li> <li>❖ Comportement moins mauvais en cas de faible quantité de données.</li> <li>❖ Pour l'utilisateur novice, l'idée d'apprentissage est plus simple à comprendre que les complexités des statistiques multi variables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ L'absence de méthode systématique permettant de définir la meilleure topologie du réseau et le nombre de neurones à placer dans la (ou les) couche(s) cachée(s).</li> <li>❖ Le choix des valeurs initiales des poids du réseau et le réglage du pas d'apprentissage, qui jouent un rôle important dans la vitesse de convergence.</li> <li>❖ Le problème du sur-apprentissage (apprentissage au détriment de la généralisation).</li> <li>❖ La connaissance acquise par un réseau de neurone est codée par les valeurs des poids synaptiques, les réseaux de neurones sont donc des boîtes noires où les connaissances sont inintelligibles pour l'utilisateur.</li> </ul>

Tableau II.3 : Avantages et inconvénients des réseaux de neurones.

## 11. Conclusion :

L'utilisation de réseaux de neurones a dominé de nombreuses applications réelles, en raison de leur caractéristique généralisation et de leur capacité à contrer le bruit qui rendaient la recherche idéale. Alors ces réseaux-là ne sont en fait qu'un:

- Ensemble de neurones formels inspiré du neurone biologique.
- Relié entre eux par des synapses contenant des poids.
- Utilisant un nombre d'algorithmes d'apprentissage afin de réaliser une tâche généralement la classification, prédiction, approximation.

Nous nous sommes concentrés principalement sur deux types d'architecture neuronale dans ce chapitre qui se rapportent à notre sujet de prévision de la consommation d'électricité, les deux types le plus courant perceptron multi couche et RBF.



# *Chapitre III:*

*Résultats de*

*Simulation*

*et Discussion*

## 1. Introduction :

L'intérêt de nos jours s'est accru vers l'utilisation de réseaux de neurones pour les systèmes qui identifient les choses ou les systèmes qui prédisent les choses dans un certain cadre ou contrôlent certains des appareils ou programmes.

Les travaux de ce mémoire consistent à étudier les méthodes de la prédiction de la consommation d'énergie électrique, en utilisant les réseaux de neurone de types MLP et RBF et ELM, ceci en se basant sur les critères de performance suivants : la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le Coefficient de détermination ( $R^2$ ), Erreur Absolue Moyenne (MAE) et erreur Moyenne de Pourcentage Absolue (MAPE). Nous allons présenter les résultats de simulation obtenus à l'aide du logiciel MATLAB sur les bases des données.

## 2. Concepts sur la prédiction :

### 2.1. Définition d'une prévision :

Prévoir, c'est observer un ensemble de données qui permet d'envisager une situation future et d'entreprendre des actions pour y parer concrètement autrement dit c'est porter un jugement sur les événements ou évolutions possibles à venir en utilisant comme outils le passé et le présent. [46]

### 2.2. Horizon de la prévision :

L'horizon de prévision définit la période pour laquelle une prévision est préparée, autrement dit, le contexte d'interprétation pour l'évaluation des risques, en fonction de la date actuelle.

L'horizon de la prévision se décompose en trois termes:

#### 2.2.1. Court Terme :

Généralement mesuré en jours ou en semaines et peut aller jusqu'à un an.

#### 2.2.2. Moyen Terme :

Généralement mesuré en années et peut aller jusqu'à 10 ans.

#### 2.2.3. Long Terme :

Peut aller jusqu'à 20 ans ou plus.

## 2.3. Les méthodes de prévisions :

### 2.3.1. Méthodes extrapolatives :

Ces méthodes utilisent le passé de la variable elle-même. Seul le passé de la variable est utilisé en vue de la prévoir sans apport d'information extérieure.

### 2.3.2. Méthodes explicatives :

Celles ci utilisent les valeurs passées et présentes d'une ou de plusieurs variables pour prévoir  $y$ . L'ensemble d'information utilisé comporte des facteurs extérieurs qui peuvent influencer le futur de  $y$  en plus du passé de la variable  $y$  elle-même. [47]

## 2.4. L'erreur de prévisions :

L'erreur de prévisions c'est la différence entre la valeur désirée  $y_i$  et la valeur obtenue de prévision  $\hat{y}_i$ , et exprimé mathématiquement par l'expression suivant :

$$e_t = y_t - \hat{y}_t, \text{ et } t = 1, \dots, n \quad (3.1)$$

## 2.5. Critères de validité de la méthode de prévision :

La prévision des valeurs futures d'une variable  $y$  peut se faire en utilisant différentes méthodes. Les prévisions obtenues peuvent être comparées et appréciées selon plusieurs critères parmi lesquels :

### 2.5.1. Racine carrée de l'Erreur Quadratique Moyenne (RMSE) :

Le RMSE multiplie chaque erreur par elle-même (le carré de l'erreur), donnant ainsi un poids plus grand aux grandes erreurs qu'aux petites erreurs. [48]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (3.2)$$

Où :

$y_t$   $\hat{y}_t$  Sont respectivement les valeurs réelles et prédites.

$n$  Est le nombre d'observations.

### 2.5.2. Erreur Absolue Moyenne (MAE) :

L'erreur absolue moyenne est définie par le ratio de la somme des erreurs en valeur absolue par le nombre d'observations.

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n} \quad (3.4)$$

Où  $n$  est le nombre d'observations dans la distribution d'erreur,  $e_t$  est l'erreur de prévision pour la période  $t$ , l'erreur absolu moyen est toujours positif. Plus il est

faible, plus l'erreur entre la prévision et la demande est petit .cet indicateur n'est pas utilisé dans le cas de demande intermittente ou erratique. En effet, la méthode de croston aura dans ce cas un EAM très élevé par rapport à celui du lissage exponentiel puisque la série des données inclue un grand nombre de périodes où la demande est nulle malgré que le modèle de Croston ne soit pas moins précis que le lissage exponentiel (Willemain et al .2004), (Teunter&Sani2009). [49]

### 2.5.3. Erreur Moyenne de Pourcentage Absolue (MAPE) :

Le MAPE est donnée à partir de la distribution d'erreur pour un ensemble de prévisions :

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{y_t}}{n} * 100 \quad (3.3)$$

Où  $n$  est le nombre d'observation dans la distribution d'erreur,  $e_t = y_t - \hat{y}_t$  est l'erreur de prévision pour la période  $t$ ,  $\hat{y}_t$  est la prévision pour la période, et  $y_t$  la demande réelle observée pour la période  $t$ . L'utilisation de cette mesure n'est pas possible lorsque la demande prend la valeur zéro sur certaines période (demande intermittente), pour pallier à ce problème, (flores 1986) propose de prendre une erreur de 100% dans ces cas ci afin de pouvoir utiliser cet indicateur. [49]

### 2.5.4. Coefficient de détermination ( $R^2$ ) :

Est un indicateur qui permet de juger la qualité de régression linéaire, simple ou multiple. La valeur est comprise entre 0 et 1, il mesure l'adéquation entre le modèle et les observées (réelles). Dans le cadre d'une régression linéaire simple, c'est le carré du coefficient de corrélation. Se définit comme la part de variance exprimée par rapport à la variance totale.

$$R^2 = 1 - \frac{v(y_i - \hat{y}_t)}{v(y_i)} \quad (3.5)$$

## 3. Principes de base des séries temporelles :

### 3.1. Définition d'une série temporelle :

Les séries temporelles, appelées aussi séries chronologiques ou même chroniques, occupent une place importante dans tous les domaines de l'observation ou de la collection de données. Le terme série est employé pour évoquer des objets (des nombres ou des mots) classés dans un certain ordre. L'ordre utilisé est le temps, plus précisément, on utilise une mesure du temps, exprimée en années, mois, jours, minutes ou n'importe quelle autre mesure. [50]

Soit une série temporelle stationnaire  $Y_t; t = 1 \dots\dots\dots T$ .

Les expressions de la moyenne et de la variance  $\forall t \in T$  sont :

**Moyen :**

$$E(Y_t) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (Y_t) \quad (3.6)$$

**Variance :**

$$\text{Var}(Y_t) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (Y_t - E(Y_t))^2 \quad (3.7)$$

#### 4. Présentations de la base de données :

Sonalgaz est un concessionnaire historique dans le domaine d'approvisionnement en énergie électrique et en gaz en Algérie. C'est une société qui monopolise 3 principales fonctions qui sont: la production de l'énergie électrique, le transport de l'électricité et du gaz, et leur distribution.

La wilaya de M'sila contient une grande centrale électrique située à Draa El hadja, elle a été lancée pour la première fois le 01/02/1979. Elle a contribué grandement à couvrir le besoin national en énergie électrique, avec une production estimée à environ 850 mégawatts. [51]



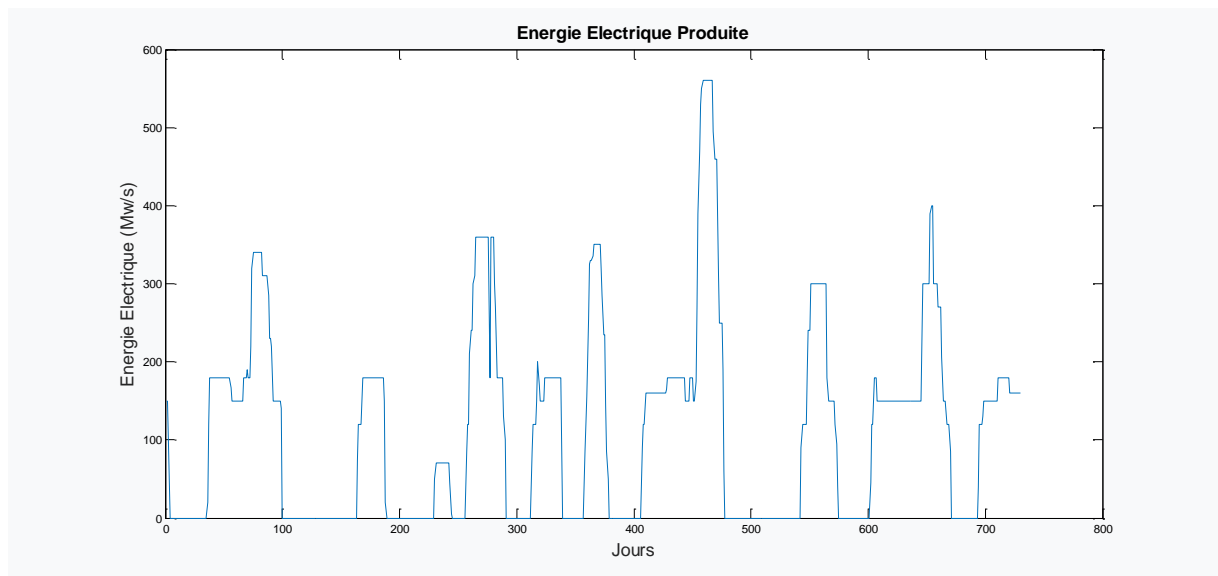
**Figure III.1 :** Région d'étude la société SPE à la Wilaya de M'sila.



**Figure III.2 :** La société algérienne de la production d'électricité SPE, Draa El hadja à M'sila.

#### 4. 1. Description des données :

Nous cherchons à prédire la consommation d'énergie électrique. A partir de quelques données descriptives, en utilisant des journalières fournies par l'unité de production d'électricité de la wilaya de M'sila sur une période d'une année (2011/2012).



**Figure III.3 :** La courbe de la base de données pour la consommation d'énergie électrique de la wilaya de M'sila (Année 2011/2012).

## 5. Application des réseaux de neurones pour prévoir la consommation d'énergie électrique :

Il existe un grand nombre de types de réseaux de neurones, dont chacun a des avantages et des inconvénients, Les réseaux de neurones choisis pour la conception de notre système de prédiction sont les réseaux de neurones suivants: Multi-Layer Perceptron (MLP), Exterm Learning Machine (ELM) et Radial Basis Function (RBF) ce choix est fait pour faire une comparaison de ces types des RNA et leurs facilité, rapidité et leurs construction pour la conception de notre système de prédiction.

Dans ce qui suit nous allons présenter les résultats de simulation pour la prédiction de la consommation d'énergie électrique en utilisant le logiciel MATLAB, à l'aide de notre système proposé pour cette raison.

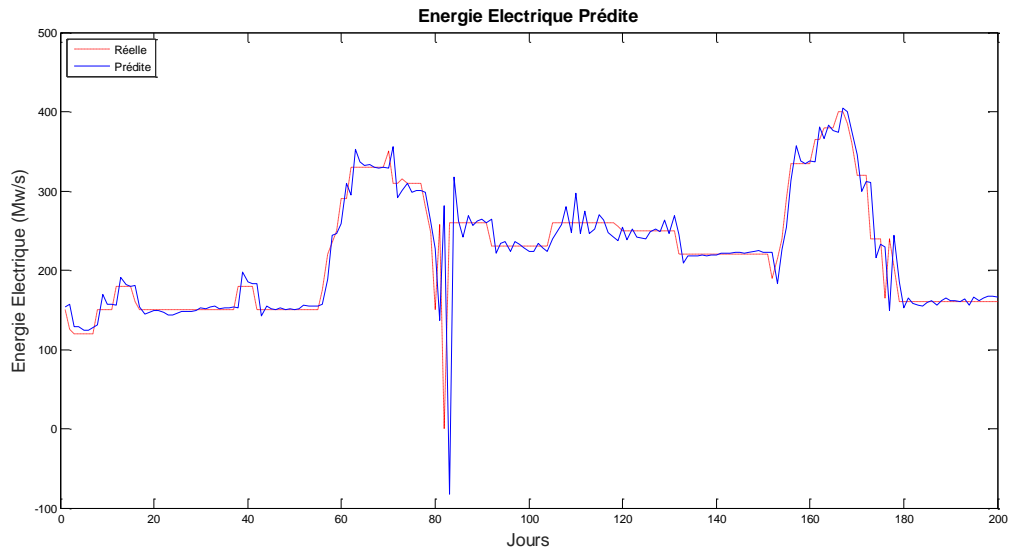
## 6. Résultats de simulation pour les données :

### 6.1. Prédiction par le réseau de neurone type MLP :

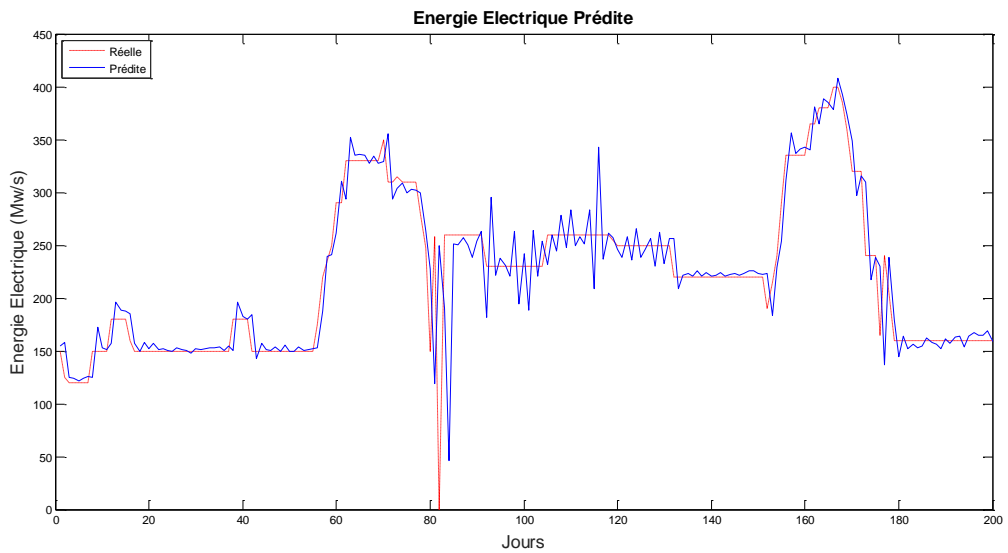
Le tableau suivant présente les critères statiques choisis pour évaluer notre premier système de prédiction de la consommation d'énergie électrique basé sur MLP où on a varié le nombre de couches cachées.

MLP	RMSE	MAPE	MAE	R <sup>2</sup>
1 couche cachée	22.0777	5.2197	0.0522	91.8139
2 couches cachées	21.8197	5.2871	0.0529	92.0100
3 couches cachées	21.6791	5.1217	0.0512	92.1645
4 couches cachées	21.1616	5.2196	0.0522	92.5786

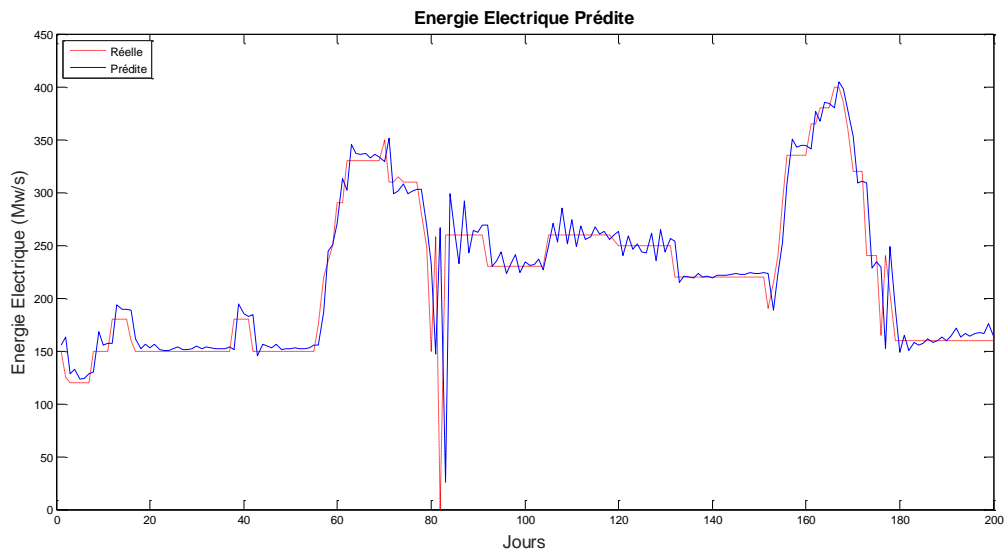
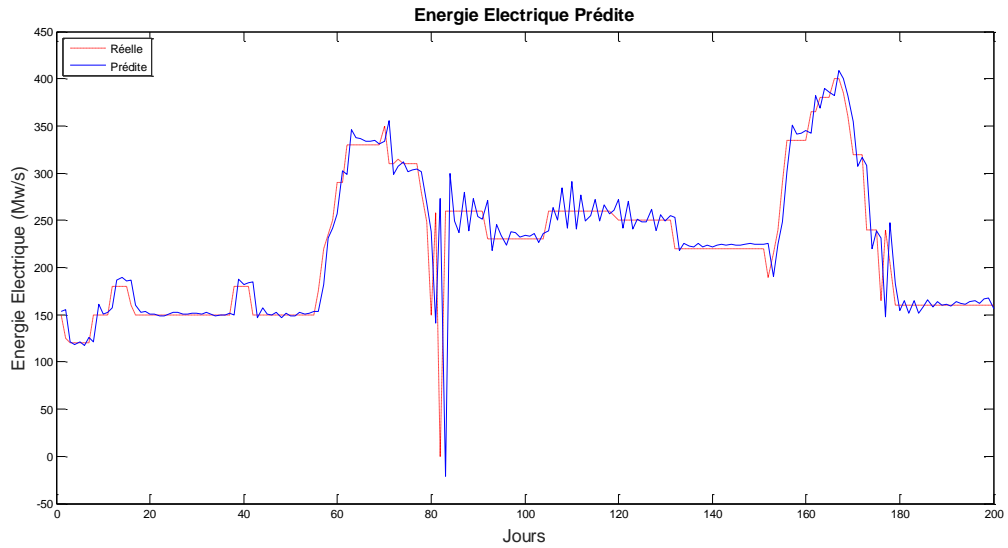
**Tableau III.1 :** Critères d'évaluation pour le système de prédiction basé sur le RNA-MLP.



**Figure III.4 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - MLP pour une seule couche cachée.



**Figure III.5 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - MLP pour deux couches cachées.

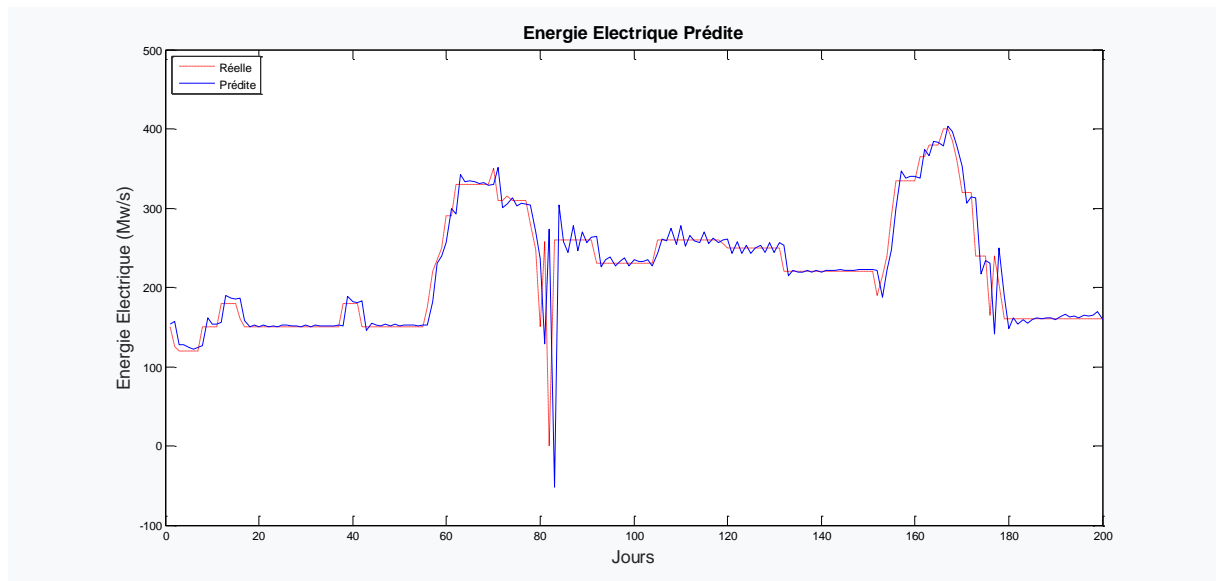


## 6.2. Prédiction par le réseau de neurone type RBF :

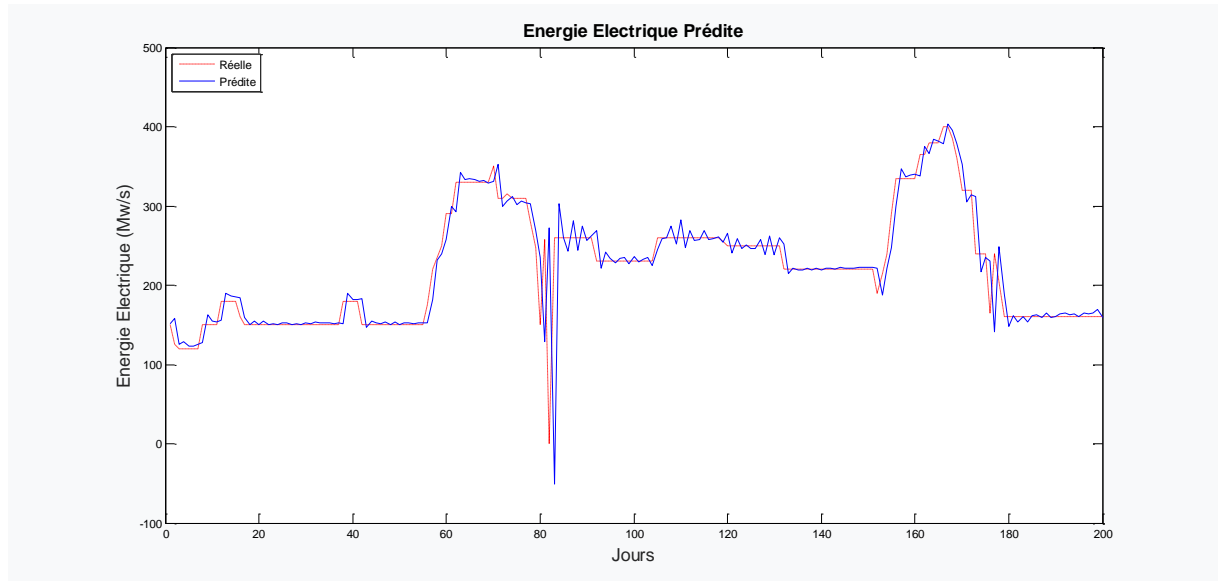
Le tableau suivant présente les paramètres statiques qui ont été sélectionnés pour évaluer notre deuxième système de prédiction de consommation d'énergie électrique qui est basé sur RBF lorsque nous modifions le nombre de neurones dans la couche cachée.

RBF	RMSE	MAPE	MAE	R <sup>2</sup>
50 Neurones	21.7793	4.8561	0.0486	92.0407
100 Neurones	21.7834	4.8971	0.0490	92.0380
150 Neurones	21.7979	4.8903	0.0489	92.0300
200 Neurones	21.7921	4.8832	0.0488	92.0309

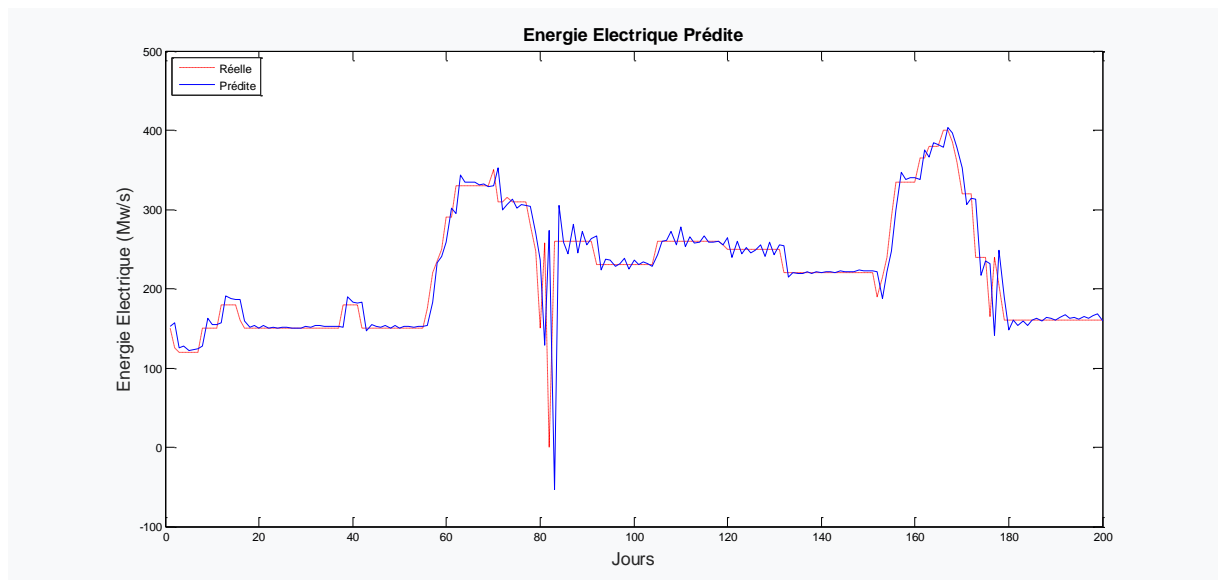
**Tableau III.2 :** Critères d'évaluation pour le système de prédiction basé sur le RNA-RBF.



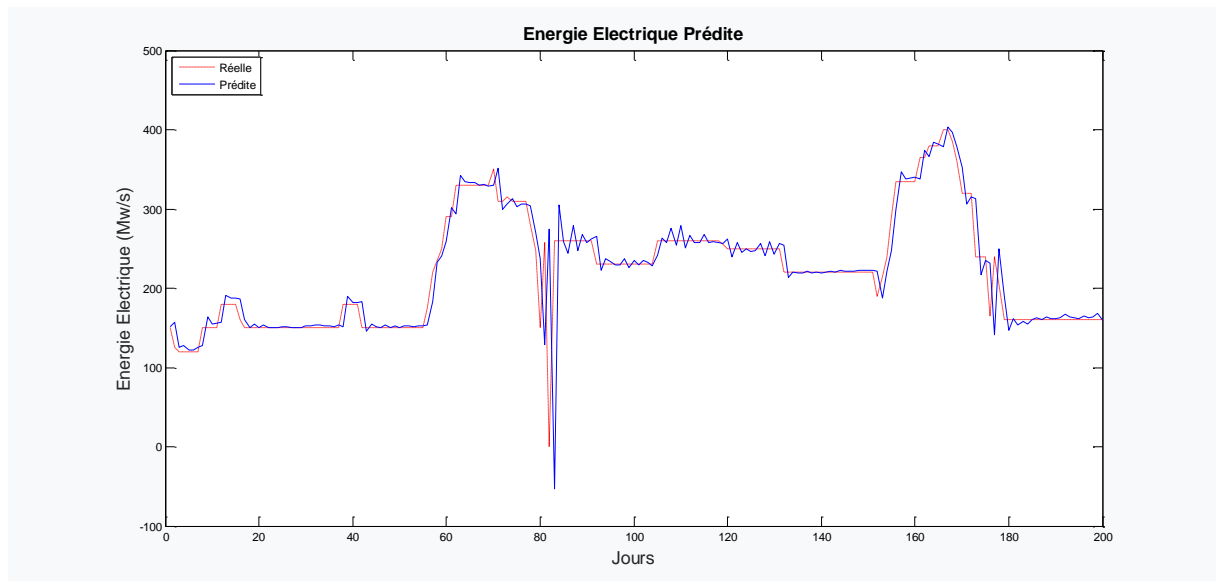
**Figure III.8 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 50 neurones dans la couche cachée.



**Figure III.9 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 100 neurones dans la couche cachée.



**Figure III.10 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 150 neurones dans la couche cachée.



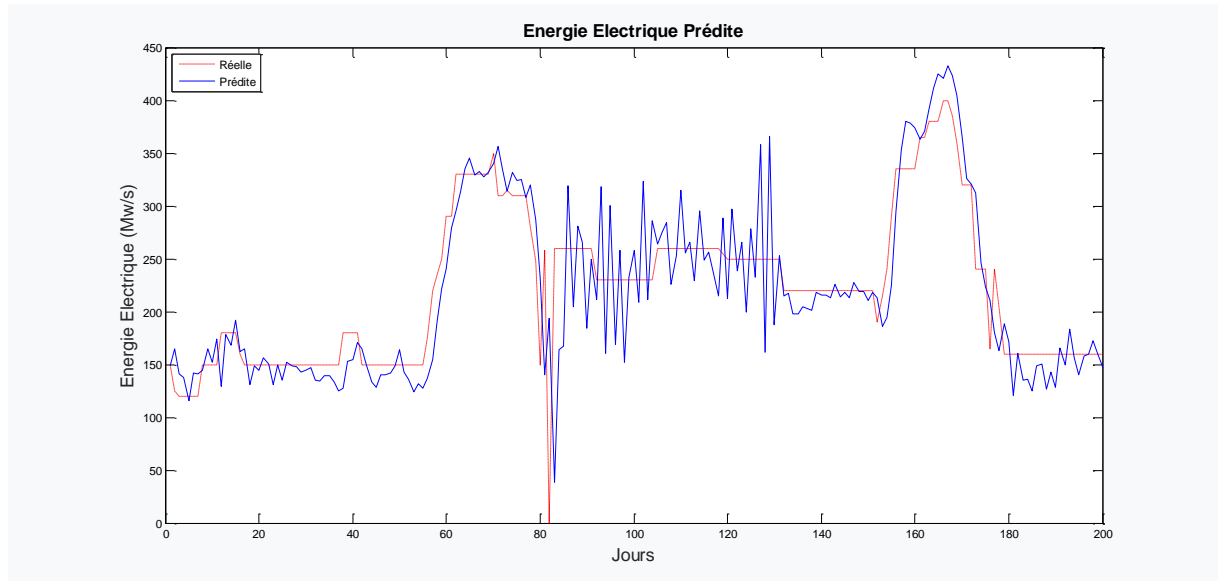
**Figure III.11 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - RBF pour 200 neurones dans la couche cachée.

### 6.3. Prédiction par le réseau de neurone type ELM :

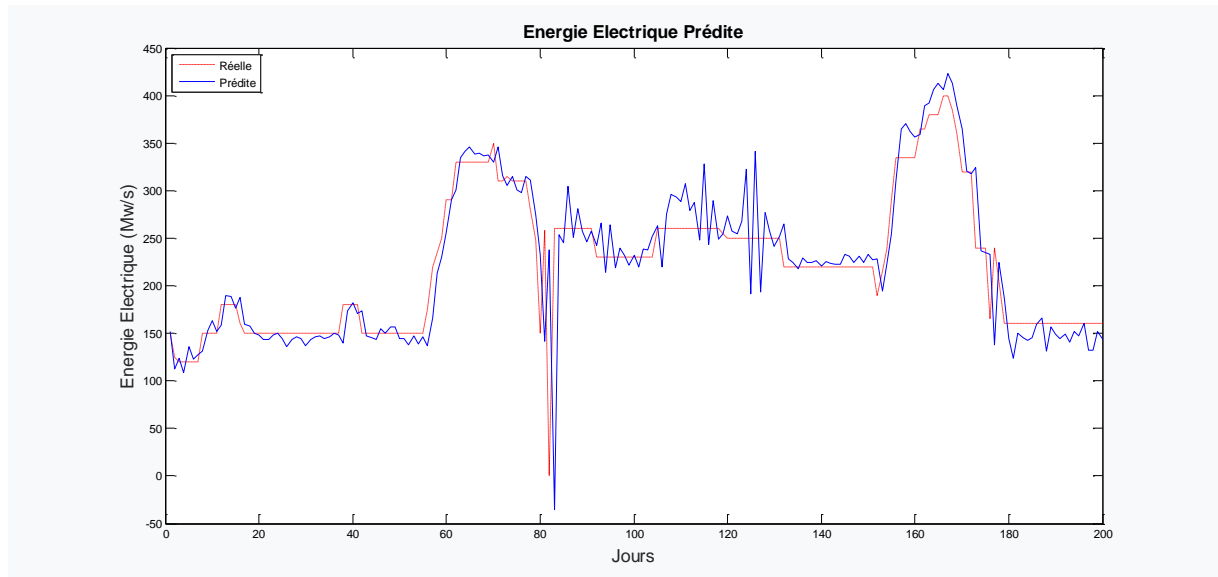
Le tableau suivant présente les paramètres statiques qui ont été choisis pour évaluer notre troisième système de prédiction de la consommation d'énergie électrique basé sur ELM lorsque nous modifions le nombre de neurones dans la couche cachée.

ELM	RMSE	MAPE	MAE	R <sup>2</sup>
50 Neurones	30.4169	9.4955	0.0950	84.5888
100 Neurones	26.4781	7.5973	0.0760	88.3284
150 Neurones	24.3117	6.6763	0.0668	90.1186
200 Neurones	23.4408	6.2311	0.0623	90.7994

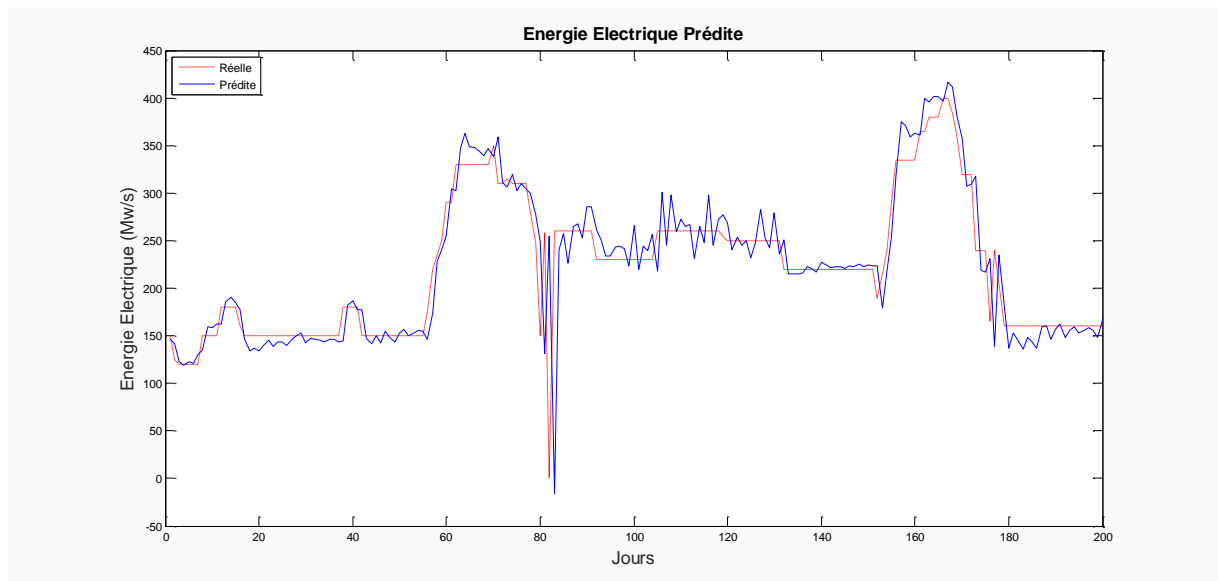
**Tableau III.3 :** Critères d'évaluation pour le système de prédiction basé sur le RNA-ELM.



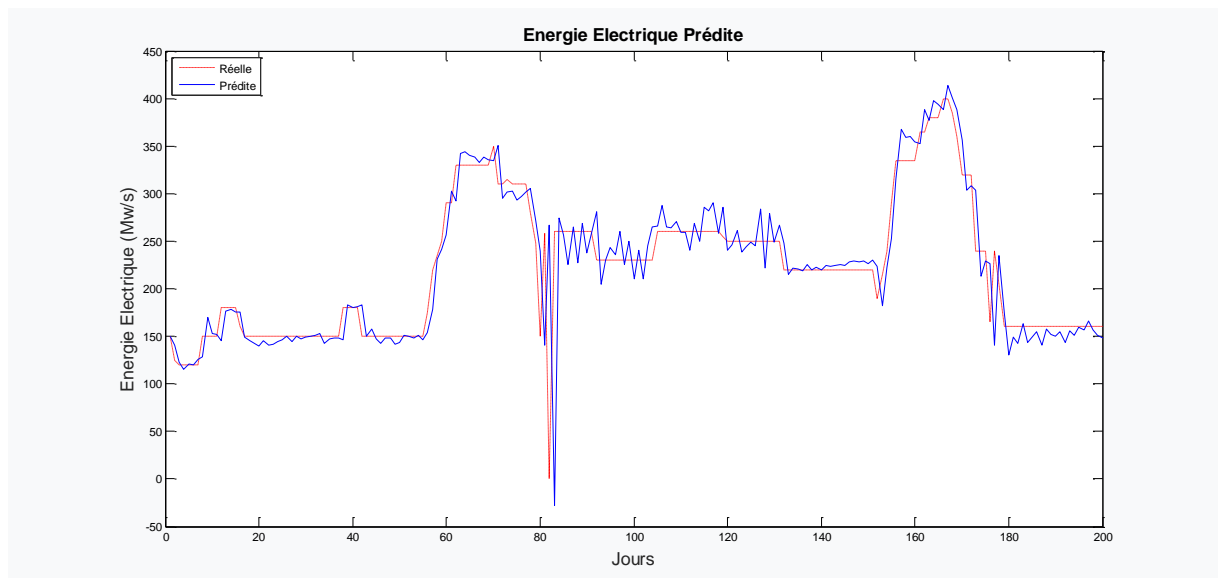
**Figure III.12 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - ELM pour 50 neurones dans la couche cachée.



**Figure III.13 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - ELM pour 100 neurones dans la couche cachée.



**Figure III.14 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA - ELM pour 150 neurones dans la couche cachée.



**Figure III.15 :** Les courbes des Valeurs réels et prédites par le RNA – ELM pour 200 neurones dans la couche cachée.

D'après les résultats des critères statiques présentés dans les Tableaux(III.1), (III.2), (III.3) et les courbes présentés dans les Figures(III.4), (III.5), (III.6), (III.7), (III.8), (III.9), (III.10), (III.11), (III.12), (III.13), (III.14), (III.15) on peut dire que le système de prédiction de la consommation d'énergie électrique journalière basé sur le réseau de neurones de type MLP (4 couches cachées) peut être vu comme le système le plus précis pour prédire la consommation d'énergie électrique journalière pour la ville de M'sila.

## 7. Conclusion :

Ce dernier chapitre a fait l'objet d'une étude en simulation concernant la mise en œuvre d'un système de prédiction de la consommation d'énergie électrique journalière pour la ville de M'sila où ce système est basé sur les RNA de type MLP, RBF et ELM.

Cette simulation nous a permis la validation et l'évaluation des performances de chacun de ces systèmes présentés. Une étude comparative dans le but d'un choix décisif du système le mieux adaptée à l'application a été effectuée pour améliorer les performances de la prédiction de la consommation d'énergie électrique journalière pour la ville de M'sila. Nous avons calculé les critères de performances RMSE, MAPE, MAE et  $R^2$  pour chaque technique et aussi on a présenté les courbes réels et prédites pour chaque système.



*Conclusion*

*Générale*

### Conclusion générale :

Dans ce mémoire l'objectif principal c'était l'implémentation des réseaux de Neurones Artificiels (RNA) de type MLP, ELM et RBF pour la conception d'un système de prédiction de la consommation d'énergie électrique. Ce travail a montré les avantages de l'utilisation des RNA comme un outil de prédiction.

En utilisant des différents types de réseaux de neurones comme le MLP, RBF et ELM pour prédire la consommation d'énergie de la ville de M'sila, Nous avons montré lors de cette étude, les performances pour chaque type de réseaux de neurones.

Les résultats de la simulation sont présentés en termes de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le Coefficient de détermination ( $R^2$ ), Erreur Absolue Moyenne (MAE) et erreur Moyenne de Pourcentage Absolue (MAPE). Ces erreurs sont linéaires entre la mesure et les valeurs prédites.

L'ensemble des résultats obtenus nous permettent de noter que la technique basé sur le réseau feed-forward MLP a fourni de très bons résultats de simulation et pour les autres techniques les résultats de simulation sont acceptables.

La méthode proposée peut être exploitée pour l'estimation de la consommation d'énergie électrique de la wilaya de M'sila. Les réseaux de neurones ont démontré une capacité importante d'apprentissage et de prédiction. Le modèle ainsi proposé ouvre la voie à d'autres travaux futurs dont le but est de contrôler la consommation de l'énergie en temps réel.



*Références*  
*Bibliographiques*

## Références bibliographiques

- [1] **Hocine Thabani**, « production de l'énergie électrique » cours, Université Hassiba Benbouali Chlef Faculté de Technologie, 2019 /2020.
- [2] **Sohaila Atarous**, « Utilisation de la méthodologie Box Jenkins et des réseaux de neurones artificiels pour prédire la consommation d'électricité chez Sonelgaz Biskra » Thèse de doctorat, Université Mohammad Khaider, Biskra, 2018.
- [3] **Association SOLAGRO**, « Energie : les notions fondamentales », Toulouse, 2009.
- [4] **Hamma Faiza**, « la question des énergies renouvelables dans la perspective de l'apex pétrole : cas de l'Algérie et pays du SUD et EST méditerranéens » Mémoire de Magister, Université A.Mira de Bejaia, 2012.
- [5] **Audace Amen V. DOSSOU-OLORY** « Analyse et optimisation de la consommation de l'énergie électrique sur la ligne de distribution du poste P6 du port AUTONOME DE COTONOU » Diplôme d'ingénieur de conception, Université D'ABOMEY CALAVI département de génie électrique, 2015.
- [6] **Salimi Djamel Kamel & Rabhi Fateh**, « Modélisation de la consommation d'électricité basse tension en Algérie(1980- 2014) » Mémoire De Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2017.
- [7] **Toula Habib & Rahmouni Mohand Akli**, « Prévission de la consommation d'énergie électrique en vue de la conduite et de la planification des réseaux électriques en Algérie » Mémoire De Master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2016.
- [8] **Ibrahime Rahime**, « Une étude standard de la demande d'électricité des ménages en Algérie pour la période 1962-2008» Mémoire de Magister Sciences économiques avec spécialisation en économie appliquée, Université de Kassdi Merbah et Ouargla, Algérie, 2011-2012.
- [9] **Khalida Dalehoume**, « Variable démographique en Algérie et prévision de la demande d'électricité » Thèse de Doctorat, Université de Batna 1, Algérie, 2016/2017.

- [10] **Zerguine Bilal**, « Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque » Mémoire De Magister, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 2010.
- [11] **J.C. Sabonnadaïère, N. hadjsaïd**, « Lignes et réseaux électriques 1 (lignes d'énergie électrique) », Livre, paris, Lavoisier 2007.
- [12] **T.Wildi**, « Electrotechnique » Avec la collaboration de Gilbert Sybille (ingénieur, institut de recherche d'Hydro-Québec) 4<sup>ème</sup> édition : de boeck, 2005.
- [13] **Lyes Berrached**, « Etude Prospective de la Demande d'Energie Finale pour l'Algérie a l'Horizon 2030 » Mémoire De Magister, Université M'Hamed Bouguara, Boumerdes, 2011.
- [14] **Kalthoume Barhana, Mohamade Nour**, « Les défis du secteur électrique en Algérie » Journal d'études économiques d'Al-Hikma, société konouze El Hikma pour l'édition et la distribution, Algérie, Volume 2, Numéro 3, 2014.
- [15] information tirées du site officiel de la société algérienne de production d'électricité : <https://www.spe.dz/index.php/ar/historique-de-spe>
- [16] La site officiel de la société sonalgaz : [www.sonalgaz.dz](http://www.sonalgaz.dz)
- [17] **Bey Mohammed**, « Utilisation de l'énergie hybride renouvelable dans les fermes agricoles et leurs contributions dans le développement durable dans la région de Tlemcen » Thèse de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen, 2017.
- [18] préparé par les chercheurs, basé sur des rapports tirés du site officiel des pays arabes exportateur de pétrole : [www.oapecorg.org](http://www.oapecorg.org)
- [19] Préparé par les chercheurs, basé sur les données statistiques des bulletins statistiques de l'Union arabe de l'électricité.
- [20] **Maissar Ahemad Hacene**, « La possibilité d'appliquer des stratégies Marketing militaire dans la recherche sur la rationalisation de la consommation d'électricité dans la région du Kurdistan en Iraq - le cas du gouvernorat de Dohuk » Magazine Tikrit, Université de Tikrit, 2012.
- [21] **C. Touzet**, « Les réseaux de neurones artificiels, introduction au connexionnisme » cours, exercice et travaux pratiques, paris, juillet 1992.
- [22] **Ammar, M. Y**, « Mise en œuvre de réseaux de neurones pour la modélisation de cinétiques réactionnelles en vue de la transposition batch/continu » Thèse de doctorat, Toulouse, INPT, 2007.

- [23] **Lynda. Amimer**, « Modélisation et Commande des Systèmes Non Linéaires Fractionnaires par des Réseaux de Neurones Fractionnaires » Ingénieur UMMTO, Université de Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2015.
- [24] Apprentissage ; Barra Vincent 2005/2006 I.S.I.M.A.
- [25] **Zahir Asradje**, « Identification des systèmes non linéaires par les réseaux de neurones » Mémoire De Magister, Université Abderahmane Mira-Bejaia.
- [26] **François B. et Michel V.**, « Les réseaux de neurones artificiels » Presses Universitaire, Paris, 1996.
- [27] **Faik Mohammad Sarhan Al-Zwaini**, « Développement d'un modèle mathématique pour prédire la productivité structurelle en Iraq à l'aide d'un réseau neuronal perceptron artificiel » Magazine d'ingénierie et de développement L'Université Mostansiriya Iraq, volume 18, numéro 2, mars 2014.
- [28] **Lynda Zaoui**, « Contribution à la prévision de la sécheresse par le modèle du réseau de neurones autorégressif » Mémoire De Master, école nationale supérieure d'hydraulique-Arbaoui Abdellah, 2016/2017.
- [29] **Eñaut Muxika Olasagasti**, « Application des réseaux de neurones à l'identification d'un axe de machine-outil » Sciences de l'ingénieur [physics], Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2002.
- [30] **G. Dreyfur**, « Réseaux de neurones : Méthodologie et application », édition Eyrolles, 2004.
- [31] **Merzouka Nouressadat**, « Etude des performances des réseaux de neurones dynamiques à représenter des systèmes réels : une approche dans l'espace d'état » Mémoire De Magister, Université de Setif 1, Algérie, 2009.
- [32] **Belgacem Amar**, « Classification des signaux EGC avec un système-multi-agent neuronale.. », Mémoire Magister. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen 2011-2012.
- [33] **Ali Djaidja**, « Etude de la classification supervisée des données environnementales à l'aide de réseaux de neurones de fonctions à base radiales » Mémoire de master, 2016.
- [34] **A.M. Ibrahim**, « Fuzzy logic for embedded systems applications » Newnes Edition, United states of America, 2004.
- [35] **Saha. O, Boutaleb. A.**, « Applications des les réseaux de neurones artificiels aux matériaux dans le génie civil : état de l'art. Colloque Méditerranéen sur les Matériaux CMEDIMAT » Oran (Algérie), 2005.

- [36] **M.Ladjal**, « Contribution au développement de systèmes de surveillance innovants dédiés au contrôle de la qualité des eaux potables » Thèse de doctorat, Université de M'sila, 2013.
- [37] **Sahraoui Mustapha**, « Contrôle robuste des systèmes non linéaires par les approches de l'intelligence artificielle. » thèse doctorat, Université d'Oran1.
- [38] **S.Zeghlache**, « Commande Intelligente » cours, université Mohamed boudiaf-M'sila, 2008.
- [39] **Rachid Ladjadj**, Les réseaux se neurones 2002/2003 Site WEB: <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/Neurones/index.php?rubrique=Accueil>
- [40] **Ouahib Guenounou**, « Méthodologie de conception de contrôleurs intelligents par l'approche génétique. Application à un bioprocédé » Thèse de doctorat, l'université de Toulouse, 2009.
- [41] Les multi layer perceptron (MLP) Clément Châtelain, novembre 2003.
- [42] **Hatem Mezaache**, « Les réseaux de Neurones formels Et Les systèmes Neuro-Flous Pour l'apprentissage par renforcement » Mémoire de Magister, Université El Hadj Lakhdar Batna, 2008.
- [43] **Abdelahe Ali Elmesselali, Ahemade Abdelkader djoha**, « Réseaux de neurones pour la prédiction dans des séries chronologiques à l'aide de la méthode d'apprentissage par retropropagation postérieure » Mars 2019.
- [44] **Sylvain Tertois**, « Réduction des effets des non linéarités dans une modulation à l'aide de réseaux de neurones » Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, France, 2003.
- [45] **Hadj Ali Begdadi, Mohamade Senouci**, « Réseaux de neurone théorie et pratique » 2<sup>ème</sup> Edition, Office des publications universitaires, page(31,32).
- [46] **Hammoudi meriem Et Kouihal fatima**, « Prévission de la production d'électricité de type Cas : éolienne et photovoltaïque Energies Renovable » Université M'hamed Bougara Boumerdesb, 2016.
- [47] **PH-MARIER**, « Prévission de la demande » Ingénieur MBA, Université Laval Québec.
- [48] **R.Plipmann**, « An introduction to computing with neurel network,IEEE ASSP Mgazine » April 1987.

- [49] **Thibault Hubert**, « Prévion de la demande et pilotage des flux en approvisionnement lointain » Thèse de doctorat, L'école centrale paris et manufactures, 2013.
- [50] D. Eilstein, H. Prouvost, P. Saviuc, C. Declercq, A. Lefranc, S. Cassadou, A. Zeghnoun, A. Tertre, P. Quénel, M. D'Helf, C. Nunes, P. Fabre, L. Filleul, L. Pascal, J.F. Jusot, B Chardon et S. Médina, « Séries temporelles et modèles de Regression Application à l'analyse des associations à court terme entre la pollution atmosphérique et la santé » Département santé-environnement, Institut de veille sanitaire, France, 2003.
- [51] **Djainatte Adel, Farhatai Radwane**, « L'effet de l'utilisation du calendrier des flux de trésorerie pour rationaliser les décisions de la Société Une étude de cas de la Direction de la distribution liquidée d'électricité et de gaz en M'sila L'exercice clos -2017- » Mémoire de Master Académie, Université de Mohammad Boudiaf - El-M'sila, 2018.

### **Résumé:**

A l'heure actuelle la production et la consommation d'énergie électrique à une très grande importance pour des raisons économiques et environnementales, cette importance majeure exige que la production doit répondre à la demande pour avoir un équilibre entre la production et de la consommation.

Pour cette raison la prévision mensuelle de la consommation d'énergie électrique est devenue très importante pour la planification de la production et de la distribution d'électricité pour atteindre l'équilibre entre la production et de la consommation Plusieurs outils de prédictions ont été proposé pour assurer une connaissance a priori sur la quantité d'énergie à produire.

La consommation mensuelle d'énergie électrique peut être vue comme une série temporelle. Beaucoup de techniques de prédiction des séries temporelles ont été présentées dans la littérature.

Dans ce travail on va proposer une méthode qui est basée sur l'apprentissage automatique en utilisent les réseaux de neurones artificiels pour obtenir des valeurs futures de la consommation mensuelle d'énergie électrique avec une meilleure précision de prédiction.

Mots clés : **Energie électrique, séries temporelles, réseaux de neurones artificiels.**

## **abstract:**

At the present time the production and consumption of electrical energy is of great importance for economic and environmental reasons, this major importance requires that production must meet demand in order to have a balance between production and consumption.

For this reason the monthly forecast of electric energy consumption has become very important for the planning of electricity production and distribution to achieve equilibrium between production and consumption. Several prediction tools have been proposed to ensure a priori knowledge of the amount of energy to be produced.

Monthly Electricity Consumption can be viewed as a time series. Many time series prediction techniques have been presented in the literature.

In this work we will propose a method which is based on machine learning using artificial neural networks to obtain future values of the monthly energy consumption electric with better prediction accuracy.

**Keywords :** Electric energy, time series, artificial neural networks.

## **ملخص:**

في الوقت الحاضر يعتبر إنتاج و استهلاك الطاقة الكهربائية ذو أهمية كبيرة لأسباب اقتصادية وبيئية، وهذه الأهمية الكبرى تتطلب أن يفي الإنتاج بالطلب من أجل تحقيق التوازن بين الإنتاج والاستهلاك.

لهذا السبب أصبحت التوقعات الشهرية لاستهلاك الطاقة الكهربائية مهمة جدا لتخطيط إنتاج وتوزيع الكهرباء لتحقيق التوازن بين الإنتاج والاستهلاك. لقد تم اقراح العديد من أدوات التنبؤ لضمان معرفة مسبقة لكمية الطاقة التي سيتم إنتاجها.

يمكن اعتبار الاستهلاك الشهري للطاقة الكهربائية على أنه سلسلة زمنية، وقد عرضت في الأدب العديد من التقنيات للتنبؤ بسلسلة زمنية.

في هذا العمل سنقترح طريقة تستند الى تعلم الآلي باستخدام شبكات العصبية الاصطناعية للحصول على قيم مستقبلية لاستهلاك الطاقة الكهربائية شهريا مع دقة أفضل في التوقع.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الكهربائية، السلاسل الزمنية، الشبكات العصبية الاصطناعية.