

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et d'Informatique  
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**De MASTER ACADEMIQUE**  
Option : **Commande Des Systèmes.**

*Présenté par :*

**Boussad TERBOUCHE**  
**Ahmed MESSAOUDI**

Mémoire dirigé par Mr HADDOUCHE Rezki et Co-dirigé par Mr FRENDI Sadak

**Thème**

**Modélisation et identification d'une extrudeuse mono vis.**

*Mémoire soutenu publiquement le 28 octobre 2014 devant le jury composé de :*

Mr. SAIDI khayereddine	MAA	UMMTO	President
Mr. CHARIF Moussa	MAA	UMMTO	Examineur
Mr. ALLAD Mourad	MAA	UMMTO	Examineur

# Remerciements

*On commence par dire louange, à celui qui a fixé un terme à toute chose. On remercie le Dieu, le tout puissant pour nous avoir gratifié de santé et de moyens, sans lui, il serait impossible de mener à terme notre travail.*

*On adresse nos vifs remerciements à :*

*Le chef de département d'Automatique Mr Bensidhoum, pour son Soutient durant les diverses impasses.*

*Nous tenons à exprimer nôtre profonde gratitude et nos sincères remerciements à nôtre promoteur M<sup>r</sup> HADOUCHE R qui nous a orienté et soutenu et qui, par sa collaboration effective et par ses judicieux conseils a rendu possible l'élaboration de ce travail.*

*Nos remerciements vont également à tous ceux et toutes celles qui nous ont apporté leur aide de près ou de loin.*

*Que monsieur le président et les membres du jury trouvent ici l'expression de notre gratitude pour nous avoir fait l'honneur de juger ce modeste travail.*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

- *A toute ma famille.*
- *A ma chère OSLM Samira.*
- *A mes camarades et amis.*

***TERBOUCHE BOUSSAD***

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

- *A ma chère mère.*
- *A mon cher père.*
- *A mes frères (Saïd et Walid).*
- *A ma sœur hawa.*
- *A tous mes oncles.*
- *A tout(e)s mes camarades et ami(e)s.*

**MESSAOUDI. AHMED**

---

# SOMMAIRE

---

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

## CHAPITRE I Présentation de procédé d'extrusion

Introduction :.....	2
I. Description de procédé de préparation de la pâte :.....	2
II. Les différentes parties constituantes d'une extrudeuse :.....	3
III. Principaux éléments des extrudeuses mono vis :.....	4
III.1. Le fourreau :.....	4
III.2. La sonde :.....	4
III.3. Le moule :.....	5
III.4. La vis :.....	5
III.4.1. Analyse géométrique des vis :.....	6
IV. Description de procédé de point de vue automatique :.....	8
Conclusion.....	9

## Chapitre II Modélisation de procédé d'extrusion réactive

Introduction :.....	10
I. Représentation de procédé par un réacteur parfaitement agit en continue (RCPA):.....	10
II. le bilan d'énergie qui modélise le fourreau :.....	11
III. Application de la transformation de Laplace sur les équations de bilan d'énergie :.....	12
III.1 Equation de réacteur numéro 1 :.....	12
III.2 Equation de réacteur numéro 2 :.....	13
III.3 Equation de réacteur numéro 3 :.....	14
III.4 Equation de réacteur numéro 4:.....	15
III.5 Equation de réacteur numéro 5:.....	16
III. 6 Equation de réacteur numéro 6:.....	17
IV. Simulation de procédé :.....	18

# SOMMAIRE

VI.1 Les résultats de la simulation : .....	18
Conclusions : .....	21
Chapitre III Identification par les réseaux de neurones	
Introduction .....	24
I. Présentation des réseaux de neurone.....	24
I.1. Définition des neurones biologiques [rapport_dea_morere] .....	24
I.2. Définition du neurone formel [rapport_dea_morere].....	25
II.3. Architecture du réseau de neurone [réseaux de neurones].....	26
I.4. Apprentissage des réseaux de neurones .....	28
II. Identification : .....	28
II.1. Identification directe : .....	29
II.2. Identification inverse : .....	29
II.3. Application de réseau de neurones pour l'identification du model : .....	30
III. Le Modèle NNARX: .....	30
III.1. Simulation des résultats sur les modèles appliqués : .....	32
III.2. TEST DU RESEAU DE NEURONE.....	34
Conclusion.....	38
COCLUSION GENERLE.....	39

---

**INTRODUCTION**  
**GENERALE**

---

## Introduction générale :

Ces derniers temps l'industrie agro-alimentaire ne cesse de se développer et d'avancer et sa bonne commercialisation dépend de son emballage et son design.

À cet effet, différentes matières sont utilisées tel que le papier, aluminium et le plastique ...etc. Dans notre étude on s'intéresse aux emballages fait à base de plastique (polymères) qui nécessite des transformations.

Les techniques de transformation des plastiques dépendent de la nature des polymères et de la destination des produits finis. Quelques méthodes sont régulièrement utilisées pour la fabrication des pièces et des objets en polymère. Les principaux procédés de fabrication industrielle sont : l'injection, l'extrusion, soufflage, moulage.

Comme l'extrusion est une étape indispensable dans la transformation de plastique, nous avons essayé d'abordé une étude d'une extrudeuse mono vis du plastique au sein de l'unité de fabrication de l'eau minérale de Lalla khadija.

Notre travail est structuré comme suit :

Le premier chapitre portera sur la description de la machine d'extrusion et l'étude des différentes étapes de préparation de la pâte (polymère), et une description du procédé d'extrusion d'un point de vue automatique.

Dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons au modèle mathématique du procédé. Ce dernier sera formulé à partir de l'écriture du bilan d'énergie, et d'étude de transfert de chaleur dans le procédé d'extrusion.

Le troisième chapitre, sera consacré à l'application des réseaux de neurones artificiels pour la constitution d'un modèle pour l'extrudeuse. Ainsi une étude comparative des résultats obtenus, et on termine par une conclusion générale.

---

# **CHAPITRE I**

## **Présentation du procédé d'extrusion**

---

## **Introduction :**

On appelle l'extrusion le procédé qui consiste à forcer à travers une filière, une matière plastifiée et homogénéisée au moyen d'une vis tournante dans un fourreau. L'extrusion est une très vieille technique, connue depuis très longtemps pour la préparation de la pâte (polymère) de fabrication des produits agro-alimentaires.

En 1879, les extrudeuses à vis font leur entrée. Mais c'est seulement en 1939 que la première extrudeuse pour thermoplastique a été mise au point, par une société allemande.

Cette extrudeuse était de conception très novatrice et a longtemps servi de référence : chauffage électrique, refroidissement par air, régulation de la température, vitesse de vis variable...

## **I. Description de procédé de préparation de la pâte :**

L'extrudeuse mono vis est composée de plusieurs éléments. Le cœur de la machine est la vis sans fin. La vis est actionnée par un variateur de vitesse, qui est actionné par un moteur.

Les granulés thermoplastiques sont insérés dans la machine à travers une trémie. La trémie est située à l'arrière de l'ensemble fourreau, les granulés entre dans la machine depuis cette trémie. Lorsque la vis tourne, elle entraîne lentement les granulés thermoplastiques vers l'avant. La chaleur dégagée par le frottement de la vis qui tourne à l'intérieur du tube en plus d'une unité de chauffage externe qui contient plusieurs zones de chauffage fait fondre la matière plastique. Le plastique fondu est alors envoyé vers l'avant de la machine pour la suite du processus.

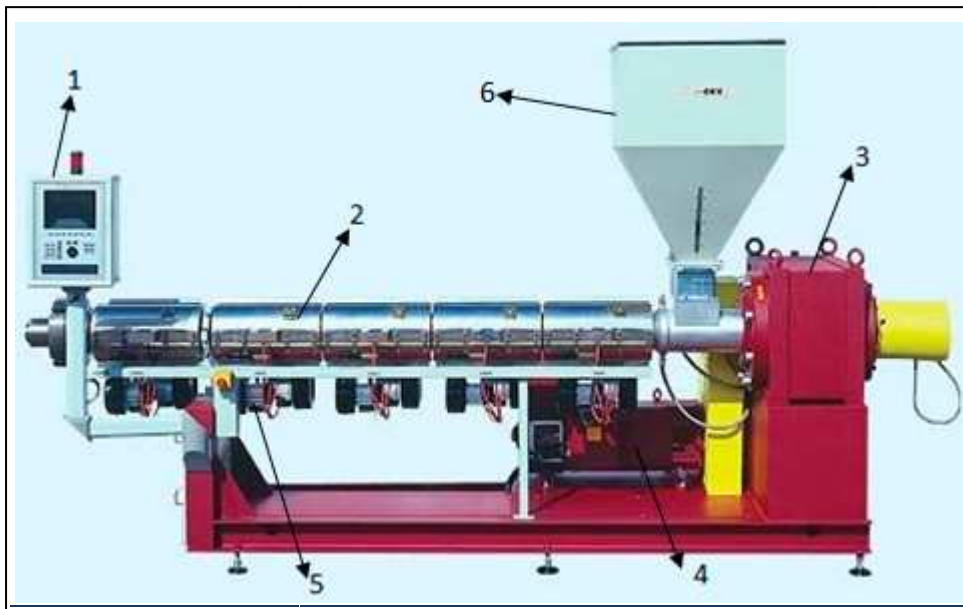
Une fois le plastique dans la partie en amont de la machine, ce dernier est inséré dans le moule. Au fur et à mesure le plastique est envoyé vers l'avant, il est séparé par un mandrin, qui est placé au centre dans le canal d'extrusion.

En effet, le plastique avance, il entre dans un environnement sous vide. Dans cette zone, la matière plastique est maintenue dans la forme souhaitée. L'environnement sous vide sera ensuite rempli d'eau pour refroidir l'ensemble.

## II. Les différentes parties constituantes d'une extrudeuse :

En général, une extrudeuse mono vis se compose des éléments suivants :

- Un groupe d'entraînement (moteur). Un ou plusieurs dispositifs d'alimentation en matière (trémie et doseur).
- Un ensemble de vis fourreau avec ses accessoires de chauffage.
- En fin pour la conduite de l'extrudeuse une armoire de pilotage qui réunit les organes de démarrage et de sécurité, les dispositifs de régulation, de commande, d'affichage et de mesure.



**Figure I.1 :** Vue générale d'une extrudeuse monovis.

Avec :

1. IHM (interface homme machine).
2. Unité d'injection.
3. Moteur d'extrudeuse.
4. Armoire électrique
5. Piston d'injection.
6. Trémie

### III. Principaux éléments des extrudeuses mono vis :

#### III.1 Le fourreau :

Le fourreau représente l'enveloppe extérieure fixe dans la quelle tournent les vis. L'ensemble vis fourreau constitue la partie active et assure le traitement de la matière. La matière est introduite dans l'extrudeuse par un orifice d'alimentation principal grâce à des dispositifs doseurs pour les solides ou à des pompes pour les liquides. La matière est alors transformée dans la zone de passage entre les vis et la surface interne du fourreau. Cet espace libre est appelé circuit monovis. La rotation de la vis fait progresser la matière jusqu'à son extrémité et le fait sortir à travers une filière (moule).

Dans les équipements modernes, l'ensemble vis-fourreau est conçu de façon modulaire. Cet aspect modulaire permet une grande flexibilité d'utilisation. De ce fait le fourreau peut être composé de modules correspondant chacun à une fonction particulière (Alimentation, dégazage,...).

Le nombre de réacteurs composant le fourreau peut varier de 3 à 12 suivant le procédé (dans notre machine on a 6 modules) comme les montre la figure suivante :



**Figure I.2 :** vue externe de fourreau.

#### III.2 La sonde :

Dans les procédés d'extrusion des matières plastiques, la température est considérée comme étant un paramètre important dont il est nécessaire de bien le contrôler.

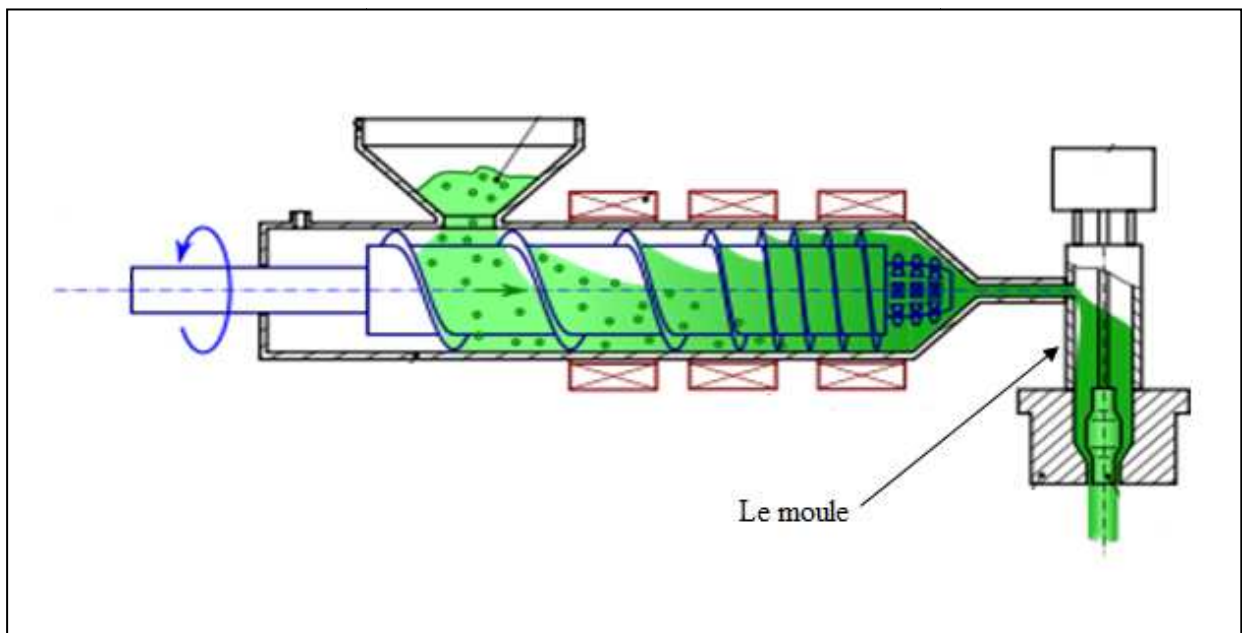
En conséquence, l'ensemble des fourreaux constituant le corps de l'extrudeuse est réglé en température par un système combiné de chauffage externe (résistif ou inductif), piloté par des sondes de contrôle de température.



**Figure I.3:** Sonde de contrôle de température.

### III.5 Le moule :

Un moule d'extrusion est un outillage qui permet de donner une forme aux produits extrudés. Il se situe en fin de l'extrudeuse et le rôle principal qu'il doit jouer est de fournir à la sortie de l'outillage un produit aux dimensions requises, uniforme en température. Ainsi, la forme du produit désirée en sortie de filière va dépendre de la conception géométrique de l'outillage.



**Figure I.4 :** le moule.

### III.6 La vis :

C'est le moyen qui assure le transport et le mélange de la matière dans le fourreau à l'aide d'un moteur d'entraînement triphasé synchrone de 75kw.



**Figure I.5 :** la vis sans fin.

#### III.6.1 Analyse géométrique des vis :

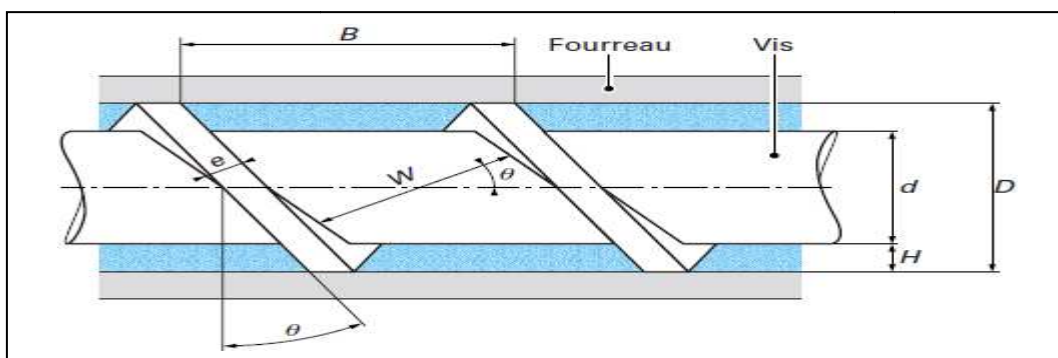
La géométrie de la vis d'une extrudeuse a été étudiée très en détail par Booy (1978) [1]. Les formulations de bases émises par Booy sur l'analyse géométrique des vis restent une référence pour de nombreuses études. L'auteur considère qu'il n'y a aucun jeu entre la vis et le fourreau.

On a trois paramètres suffisants pour décrire la géométrie de la vis :

Le rayon de la vis **Rext**.

L'entraxe, **Cl**.

Le nombre de filets, **n**.



**Figure I.6 :** les principales dimensions géométriques qui caractérisent une vis.

Avec :

$D$  : Le diamètre inférieur de fourreau.

$d$  : Le diamètre interne de la vis.

$B$  : Le pas de la vis.

$e$  : l'épaisseur du filet.

$\theta$  : Étant l'angle que fait le filet avec un plan perpendiculaire à l'axe des vis.

La largeur de chenal peut être décrite par :

$$W = B \cos \theta - e \quad (I.1)$$

La profondeur de chenal  $H$  :

$$H = \frac{D - d}{2} \quad (I.2)$$

Le pas détermine l'angle  $\theta$  que fait le filet avec un plan perpendiculaire à l'axe de la vis. En fait, cet angle  $\theta$  varie avec la distance à l'axe de la vis, mais si la profondeur du canal est faible par rapport au diamètre de la vis (ce qui est généralement le cas), on se contente d'une valeur unique, prise au niveau de fourreau :

$$\tan \theta = \frac{B}{\pi \cdot D} \quad (I.3)$$

La longueur déroulée d'un tour d'hélice s'écrit :

$$Z = \frac{\pi \cdot D}{\cos \theta} = \frac{B}{\sin \theta} \quad (I.4)$$

#### IV. Description de procédé de point de vue automatique :

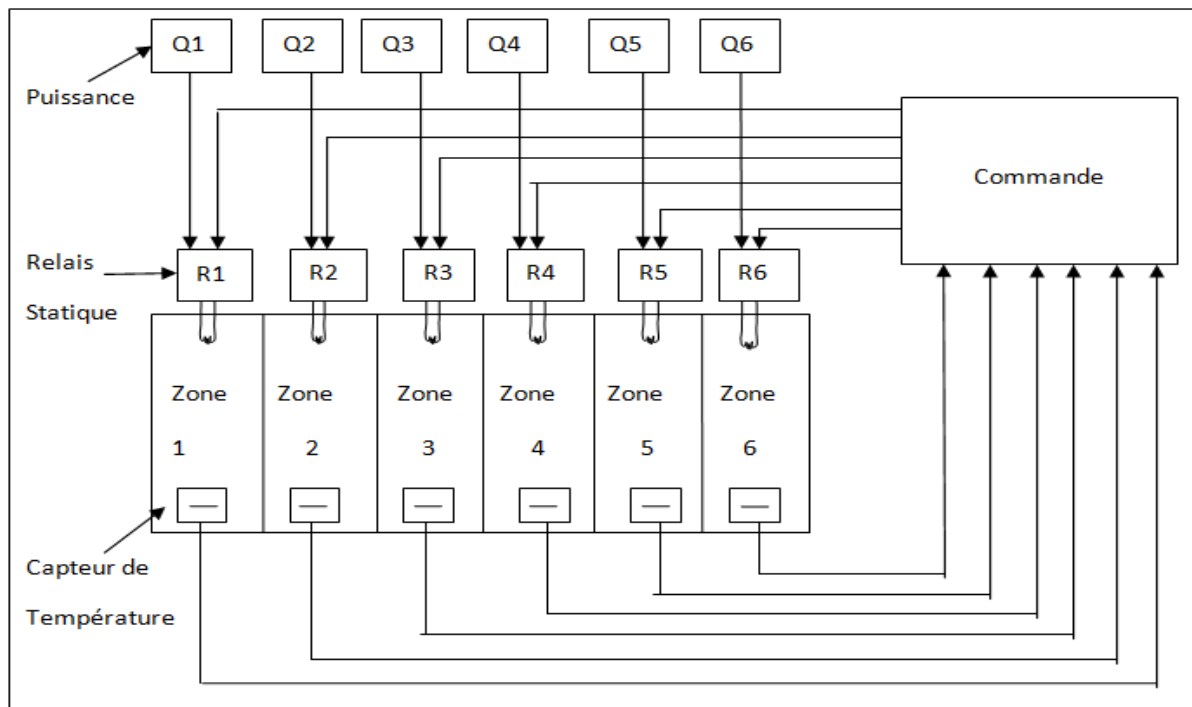
Dans le procédé d'extrusion, le polymère subit d'importantes transformations dans sa structure et de ses caractéristiques thermodynamiques. La maîtrise des transferts de chaleur est un élément fondamental pour le contrôle de qualité du produits fabriqués (bouchon, préforme...etc.). En effet chaque procédé a besoin des conditions thermiques spécifiques parfaitement contrôlés pour fonctionner de manière optimale. Pour cela, un rapport thermique se révéle nécessaire pour la majorité des applications existantes. Le fourreau peut être chauffé ou refroidie en fonction du produits extrudés.

En réalité, notre système est composé de :

Six réacteurs dont la temperature est variante à condition qu'elle ne dépasse pas la consigne.

Six relais électrostatiques : serent à commandé la puissance.

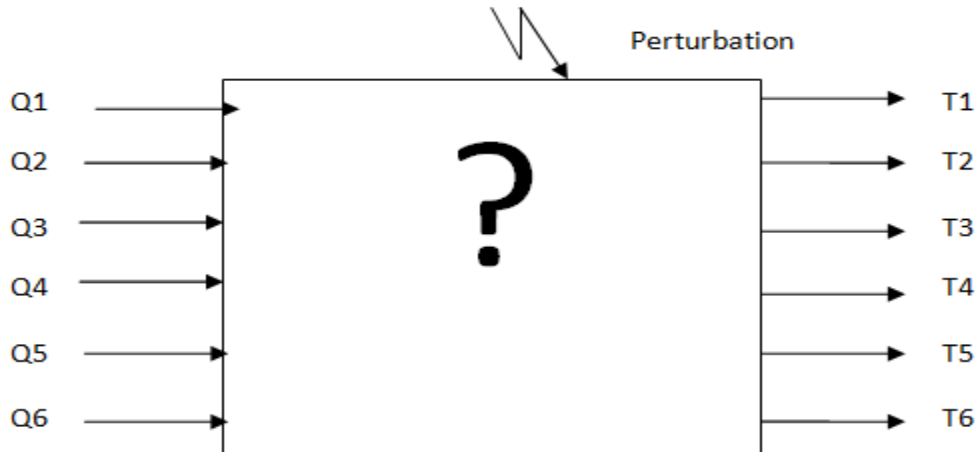
Capteurs de temperatures (sondes) : Ils envoient la temperature de chaque réacteur au système de commande. En cas d'un depassement de la consigne (temperature),le système de commande ouvre le relais donc les resistances de chauffage s'eteignent et dans le cas contraire ,s'il y'a une diminution de consigne le système de commande ferme le relais donc les resistances s'allument une autre fois.



**Figure I.7:** Schéma qui resume le fonctionnement d'une extrudeuse .

Dans notre application, on s'intéresse à la modélisation du procédé par un modèle mathématique et l'identifier par les méthodes des réseaux de neurones.

Pour cela en va être représenté notre procédé sous forme d'une boîte noire.



**Figure I.8:** représentation de procédé d'extrusion sous forme d'une boîte noire .

## Conclusion

Dans ce chapitre et dans un premier temps nous avons abordé l'ensemble d'étapes de préparations de la pâte à base de plastique et on a touché à la structure de l'extrudeuse mono vis. Globalement nous avons définis les fonctions de la machine et les éléments majeurs qui la composent. Une analyse de la vis et ses caractéristiques géométriques ont été aussi présentées.

Dans un second temps nous avons présenté une description du procédé d'un point de vue automatique.

---

# **CHAPITRE II**

## **Modélisation de procédé d'extrusion réactive**

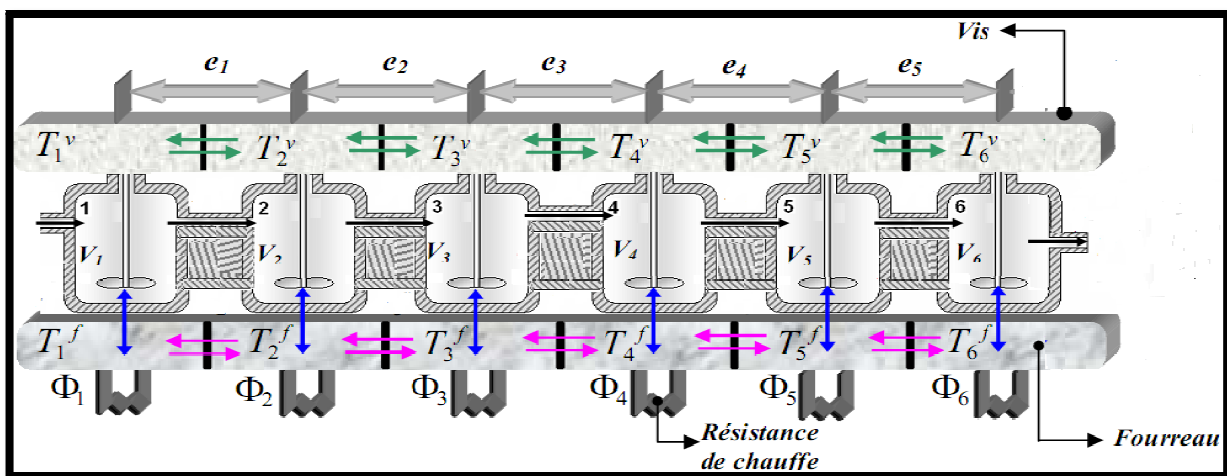
---

## Introduction :

Le polymère utilisé dans le procédé d'extrusion subit d'importantes transformations dans sa structure et de ses caractéristiques thermodynamiques et rhéologiques. Les écoulements de la matière dans la vis et les transferts de chaleur entre la matière et le fourreau sont conditionnés par ces caractéristiques. La maîtrise des transferts de chaleur est un élément fondamental pour le contrôle de la qualité du produit fabriqué [2].

En effet chaque procédé a besoin des conditions thermiques spécifiques parfaitement contrôlées pour fonctionner d'une manière optimale. Pour cela un rapport thermique est nécessaire pour la majorité des applications existantes. Ce chapitre est donc consacré à l'étude de transfert de la chaleur dans le procédé d'extrusion. Nous allons alors décrire l'élaboration du modèle thermique. Ce dernier est établi à partir de l'écriture du bilan d'énergie.

## I. Représentation de procédé par un réacteur parfaitement agit en continu (RCPA):



**Figure II.1** : Représentation des échanges thermique en extrudeuse sur un (RCPA) [2].

**Avec :**

$e_i$  : la distance entre deux réacteurs successifs.

$T_i^f$  : température de fourreau.

$T_i^v$  : température de la vis.

$\Phi_i$  : Puissance de chauffage.

## II.2 le bilan d'énergie qui modélise le fourreau :

L'élaboration du modèle thermique est basée sur une approche monodimensionnelle qui consiste à se limiter à une estimation de la température moyenne dans chaque réacteur du schéma d'écoulement[2].

Pour  $i=1$  :

$$M_i^f \cdot C_p^f \cdot \frac{dT_i^f}{dt} = U_{ext} \cdot S_{ext} \cdot (T_{ext} - T_i^f) + U_f \cdot f_i \cdot S_f \cdot (T_i^m - T_i^f) + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_i} \cdot (T_{i+1}^f - T_i^f) + \phi_i \quad (II.1)$$

Pour  $i=2$  à  $5$  :

$$M_i^f \cdot C_p^f \cdot \frac{dT_i^f}{dt} = U_{ext} \cdot S_{ext} \cdot (T_{ext} - T_i^f) + U_f \cdot f_i \cdot S_f \cdot (T_i^m - T_i^f) + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_{i-1}} \cdot (T_{i-1}^f - T_i^f) + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_i} \cdot (T_{i+1}^f - T_i^f) + \phi_i \quad (II.2)$$

Pour  $i=6$  :

$$M_i^f \cdot C_p^f \cdot \frac{dT_i^f}{dt} = U_{ext} \cdot S_{ext} \cdot (T_{ext} - T_i^f) + U_f \cdot f_i \cdot S_f \cdot (T_i^m - T_i^f) + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_{i-1}} \cdot (T_{i-1}^f - T_i^f) + \phi_i \quad (II.3)$$

Avec :

$i$  numéro de réacteur,  $T_{ext}$  la température de l'air ambiante,  $\lambda_f$  la conductivité thermique du fourreau,  $S_f$  la section transversale de fourreau,  $S_{ext}$  la section de fourreau  $U_{ext}$  le coefficient d'échange de chaleur entre le fourreau et l'air extérieur,  $\phi_i$  l'énergie de chauffe de fourreau,  $e_i$  et  $e_{i-1}$  la distance moyenne entre deux réacteurs successifs,  $M_i$  masse total de la

matière dans le réacteur  $i$ ,  $C_p$  capacité calorifique de polymère,  $f$  le taux de remplissage,  $U_f$  coefficient d'échange entre la matière et le fourreau .

### III. Application de la transformation de Laplace sur les équations de bilan d'énergie :

#### III.1 Equation de réacteur numéro 1 :

$$(M_i^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_i \cdot S_i^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_i}) \cdot T_i^f(p) = (U_{ext} \cdot S_{ext}) \cdot T_{ext} + (U_f \cdot f_i \cdot S_i^f) \cdot T_i^m(p) + (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_i}) \cdot T_{i+1}^f(p) + \phi_i(p)$$

Donc :

$$\frac{T_1^f(p)}{\phi_1(p)} = \frac{1}{M_1^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_1 \cdot S_1^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}} \quad (II.5)$$

$$\frac{T_6^f(p)}{T_{ext}} = \frac{U_{ext} \cdot S_{ext}}{M_1^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_1 \cdot S_1^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}} \quad (II.6)$$

$$\frac{T_1^f(p)}{T_1^m(p)} = \frac{U_f \cdot f_1 \cdot S_1^f}{M_1^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_1 \cdot S_1^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}} \quad (II.7)$$

$$\frac{T_1^f(p)}{T_2^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}}{M_1^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_1 \cdot S_1^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}} \quad (II.8)$$

### III.2 Equation de réacteur numéro 2 :

$$\begin{aligned} (M_2^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}) \cdot T_2^f(p) &= (U_{ext} \cdot S_{ext}) \cdot T_{ext} \\ + (U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f) \cdot T_2^m(p) &+ (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}) \cdot T_1^f + (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}) \cdot T_3^f(p) + \phi_2(p) \end{aligned} \quad (II.9)$$

Donc :

$$\frac{T_2^f(p)}{\phi_2(p)} = \frac{1}{M_2^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}} \quad (II.10)$$

$$\frac{T_2^f(p)}{T_{ext}} = \frac{U_{ext} \cdot S_{ext}}{M_2^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}} \quad (II.11)$$

$$\frac{T_2^f(p)}{T_2^m(p)} = \frac{U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f}{M_2^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}} \quad (II.12)$$

$$\frac{T_2^f(p)}{T_3^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}}{M_2^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}} \quad (II.13)$$

$$\frac{T_2^f(p)}{T_1^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}}{M_2^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_2 \cdot S_2^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}} \quad (II.14)$$

### III.3 Equation de réacteur numéro 3 :

$$\begin{aligned} (M_3^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}) \cdot T_3^f(p) &= (U_{ext} \cdot S_{ext}) \cdot T_{ext} \\ &+ (U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f) \cdot T_3^m(p) + (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}) \cdot T_2^f + (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}) \cdot T_4^f(p) + \phi_3(p) \end{aligned} \quad (II.15)$$

$$\frac{T_3^f(p)}{\phi_3(p)} = \frac{1}{M_3^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}} \quad (II.16)$$

$$\frac{T_3^f(p)}{T_{ext}} = \frac{U_{ext} \cdot S_{ext}}{M_3^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}} \quad (II.17)$$

$$\frac{T_3^f(p)}{T_3^m(p)} = \frac{U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f}{M_3^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}} \quad (II.18)$$

$$\frac{T_3^f(p)}{T_4^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}}{M_3^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}} \quad (II.19)$$

$$\frac{T_3^f(p)}{T_2^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2}}{M_3^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_3 \cdot S_3^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_2} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}} \quad (II.20)$$

#### III.4 Equation de réacteur numéro 4:

$$\begin{aligned} (M_4^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_4 \cdot S_4^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4}) \cdot T_4^f(p) &= (U_{ext} \cdot S_{ext}) \cdot T_{ext} \\ + (U_f \cdot f_4 \cdot S_4^f) \cdot T_4^m(p) &+ (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3}) \cdot T_3^f + (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4}) \cdot T_5^f(p) + \phi_4(p) \end{aligned} \quad (II.21)$$

Donc :

$$\frac{T_5^f(p)}{\phi_5(p)} = \frac{1}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.22)$$

$$\frac{T_4^f(p)}{T_{ext}} = \frac{U_{ext} \cdot S_{ext}}{M_4^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_4 \cdot S_4^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_3} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4}} \quad (II.23)$$

$$\frac{T_5^f(p)}{T_5^m(p)} = \frac{U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.24)$$

$$\frac{T_5^f(p)}{T_6^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.25)$$

$$\frac{T_5^f(p)}{T_4^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4}}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.26)$$

### III.5 Equation de réacteur numéro 5:

$$\begin{aligned} (M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}) \cdot T_5^f(p) &= (U_{ext} \cdot S_{ext}) \cdot T_{ext} \\ + (U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f) \cdot T_5^m(p) &+ (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4}) \cdot T_3^f + (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}) \cdot T_6^f(p) + \phi_6(p) \end{aligned} \quad (II.27)$$

Donc :

$$\frac{T_5^f(p)}{\phi_5(p)} = \frac{1}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.28)$$

$$\frac{T_5^f(p)}{T_{ext}} = \frac{U_{ext} \cdot S_{ext}}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.29)$$

$$\frac{T_5^f(p)}{T_5^m(p)} = \frac{U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.30)$$

$$\frac{T_5^f(p)}{T_6^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.31)$$

$$\frac{T_5^f(p)}{T_4^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4}}{M_5^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_5 \cdot S_5^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_4} + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_5}} \quad (II.32)$$

### III. 6 Equation de réacteur numéro 6:

$$\begin{aligned} (M_6^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_6 \cdot S_6^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_6}) \cdot T_6^f(p) &= (U_{ext} \cdot S_{ext}) \cdot T_{ext} + (U_f \cdot f_6 \cdot S_6^f) \cdot T_6^m(p) \\ + (\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_1}) \cdot T_5^f(p) &+ \phi_6(p) \end{aligned} \quad (II.33)$$

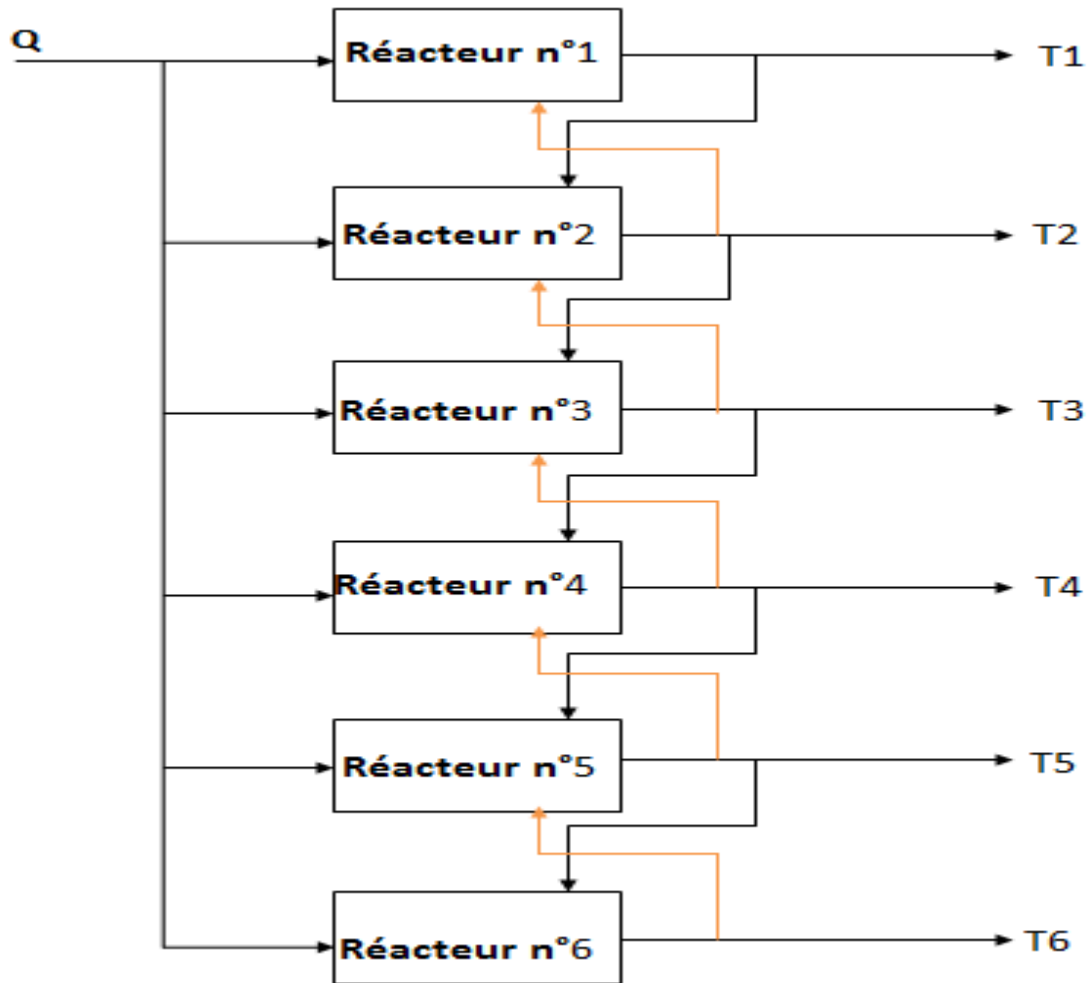
**Donc :**

$$\frac{T_6^f(p)}{\phi_6(p)} = \frac{1}{M_6^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_6 \cdot S_6^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_6}} \quad (II.34)$$

$$\frac{T_6^f(p)}{T_{ext}} = \frac{U_{ext} \cdot S_{ext}}{M_6^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_6 \cdot S_6^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_6}} \quad (II.35)$$

$$\frac{T_6^f(p)}{T_6^m(p)} = \frac{U_f \cdot f_6 \cdot S_6^f}{M_6^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_6 \cdot S_6^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_6}} \quad (II.36)$$

$$\frac{T_6^f(p)}{T_5^f(p)} = \frac{\frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_6}}{M_6^f \cdot C_p^f \cdot P + U_{ext} \cdot S_{ext} + U_f \cdot f_6 \cdot S_6^f + \frac{\lambda_f \cdot S_f}{e_6}} \quad (II.37)$$



**Figure II.2 :** Représentation des interconnexions entre les différents réacteurs de l'extrudeuse.

## IV. Simulation de procédé :

Pour analyser le comportement thermique de notre système nous avons effectué une simulation en utilisant le logiciel MATLAB.

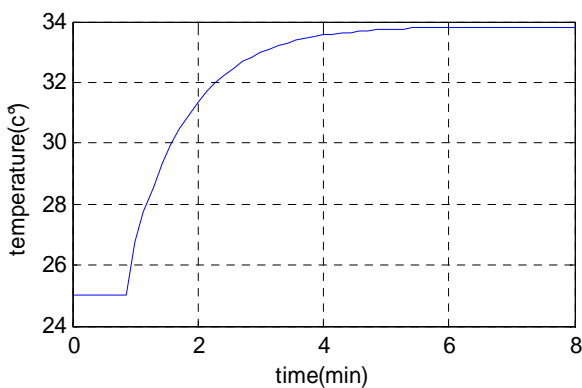
La simulation a été réalisée avec les conditions suivantes :

- $T_{ext} = 25 [^{\circ}C]$
- $U_{ext} = 11,6 [w .m^{-1} .c^{-1}]$
- $M_i = 0.71 [Kg]$
- $C_p = 0.55 [J.kg^{-1} .c^{-1}]$
- $e_i = 0.15 [m]$
- $f = 1$
- $U_f = 10410 [w .m^{-1} .c^{-1}]$
- $\phi_i = 1250 [w]$
- $S_{ext} = 2.01 [m^2]$
- $S_f = 3.14 [m^2]$

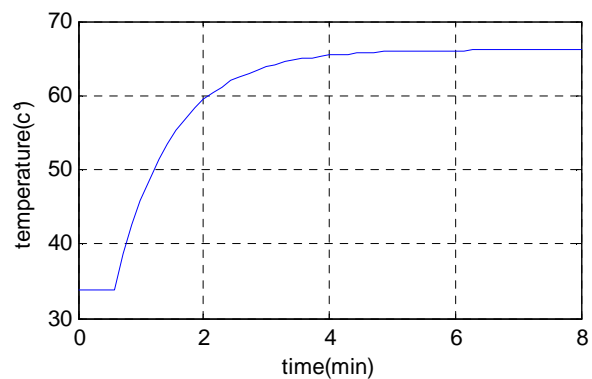
### VI.1 Les résultats de la simulation :

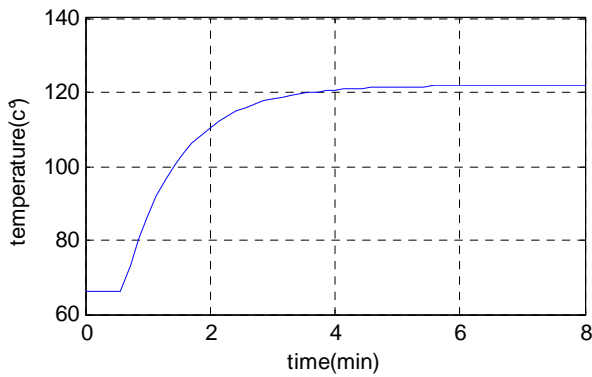
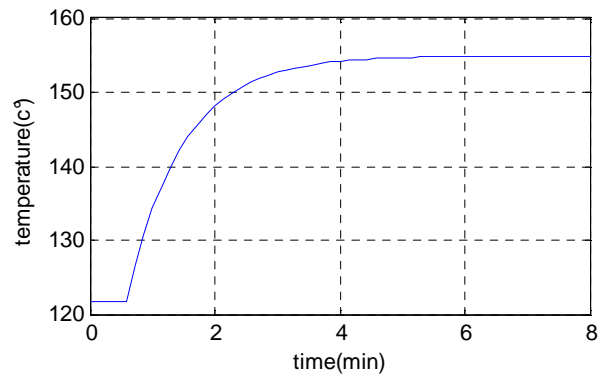
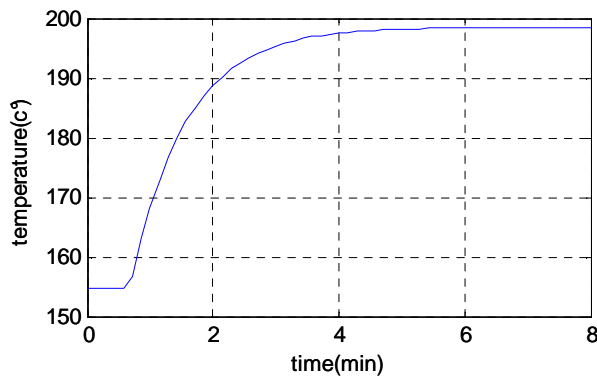
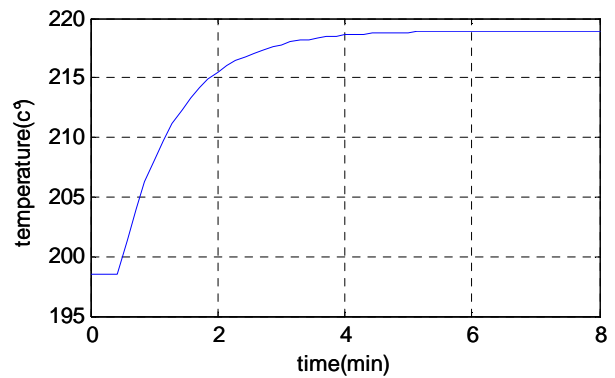
#### VI.1.1 Pour une entrée : $\phi_i = 1250 [w]$

##### Réacteur N°1 :



##### Réacteur N°2 :



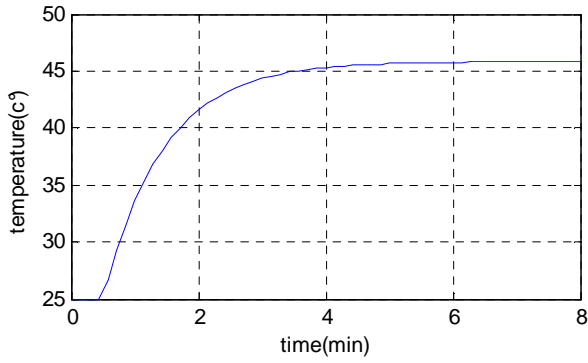
**Réacteur numéro 3 :****Réacteur numéro 4:****Réacteur N°5 :****Réacteur N°6:**

**Figure II.2 :** Evolution de la température des les six réacteurs de l'extrudeuse en fonctions de temps pour  $Q=1250$  (w).

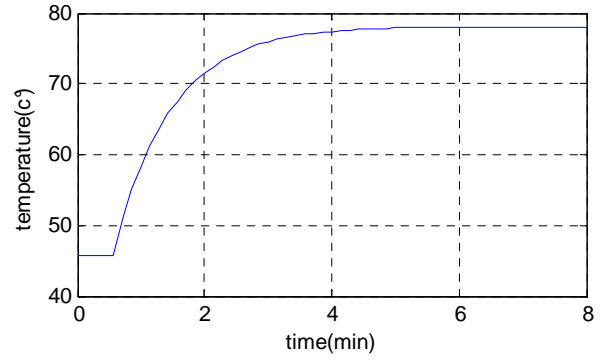
Les six figures ci-dessus, montrent l'évolution de la température dans les différents réacteurs de l'extrudeuse en fonction de temps pour une entrée de 1250 Watt et chaque évolution de température dans un réacteur est une continuité de d'évolution de température de réacteur précédent. Elle commence de la température ambiante 25 (°C) dans le premier réacteur et atteint les 220 (°C) dans le sixième réacteur.

**VI.1.2 Pour une entrée :  $\phi_i = 5000 [w]$**

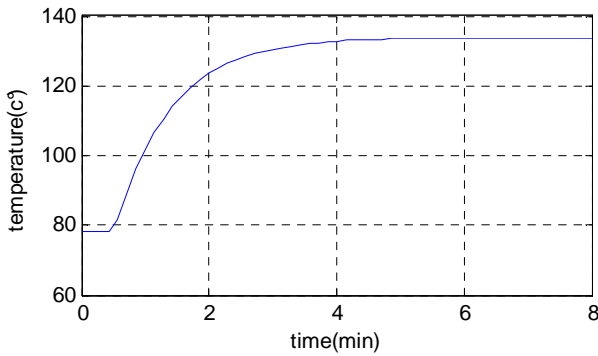
**Réacteur numéro 3 :**



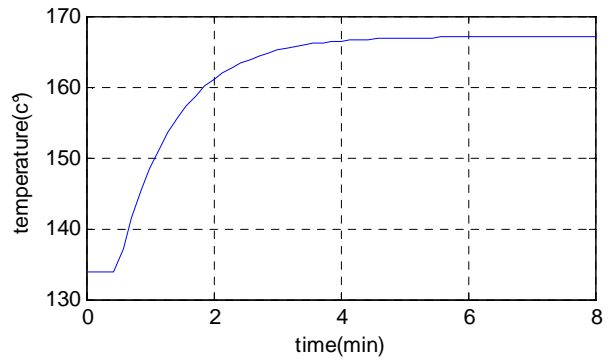
**Réacteur numéro 4:**



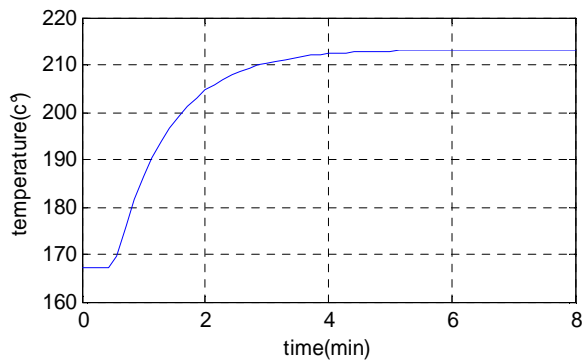
**Réacteur numéro 3 :**



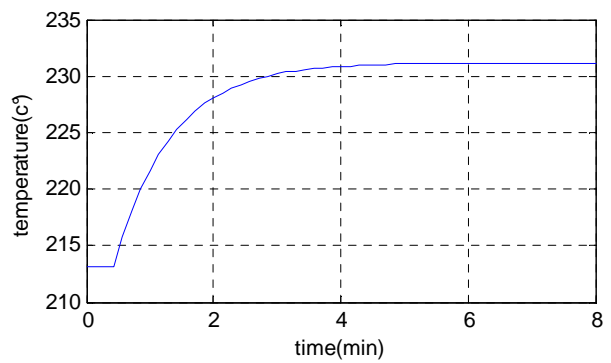
**Réacteur numéro 4:**



**Réacteur numéro 3 :**



**Réacteur numéro 3 :**



**Figure II.3 :** Evolution de la température des les six réacteurs de l'extrudeuse en fonctions de temps pour  $Q=5000(w)$ .

Les six figures ci-dessus, montrent l'évolution de la température dans les différents réacteurs de l'extrudeuse en fonction de temps pour une entrée de 1250 Watt et chaque évolution de température dans un réacteur est une continuité de l'évolution de température de réacteur précédent. Elle commence de la température ambiante 25 (°C) dans le premier réacteur et atteint les 232 (°C) dans le sixième réacteur.

### **Conclusions :**

Dans ce chapitre nous avons présenté une approche utilisée pour modéliser l'échange thermique dans l'extrudeuse. Ce modèle décrit l'évolution de la température le long des six réacteurs de l'extrudeuse. La simulation du modèle obtenu nous a permis de vérifier la caractéristique de la température dans le procédé.

Et dans le chapitre suivant nous allons reconstruire ce modèle à l'aide des réseaux de neurones.

---

## **CHAPITRE III**

# **Identification par les réseaux de neurones**

---

## Introduction

Depuis quelques années, les réseaux de neurones artificiels connaissent une forte influence dans le domaine des sciences de l'ingénieur notamment la commande et l'identification des systèmes dynamiques. La mise en évidence des réseaux de neurone artificiels se base sur le principal du neurone du cerveau humain qui est capable d'effectuer des calculs complexes.

Donc l'étude approfondie des concepts de base de ces réseaux est toujours nécessaire pour qu'on puisse aboutir à des solutions pour différentes applications.

L'identification par réseaux de neurones c'est la présentation d'un système sous la forme d'un modèle de neurones, tout en ajustant ses paramètres de telle sorte que sa sortie s'approche le plus possible de celle du système dont le modèle est inconnu.

Dans le présent chapitre, nous faisons une présentation générale des réseaux de neurones. Pour commencer, nous donnons un aperçu sur les éléments de base qui entrent dans leur constitution, à savoir le modèle du neurone biologique et celui du neurone formel, ainsi que la définition d'un réseau de neurone et ses propriétés. Les structures de connexions entre les neurones, et les différents types d'apprentissage sont présentées, enfin nous appliquons un réseau de neurone pour identifier notre système afin d'établir un modèle qui décrit sa dynamique.

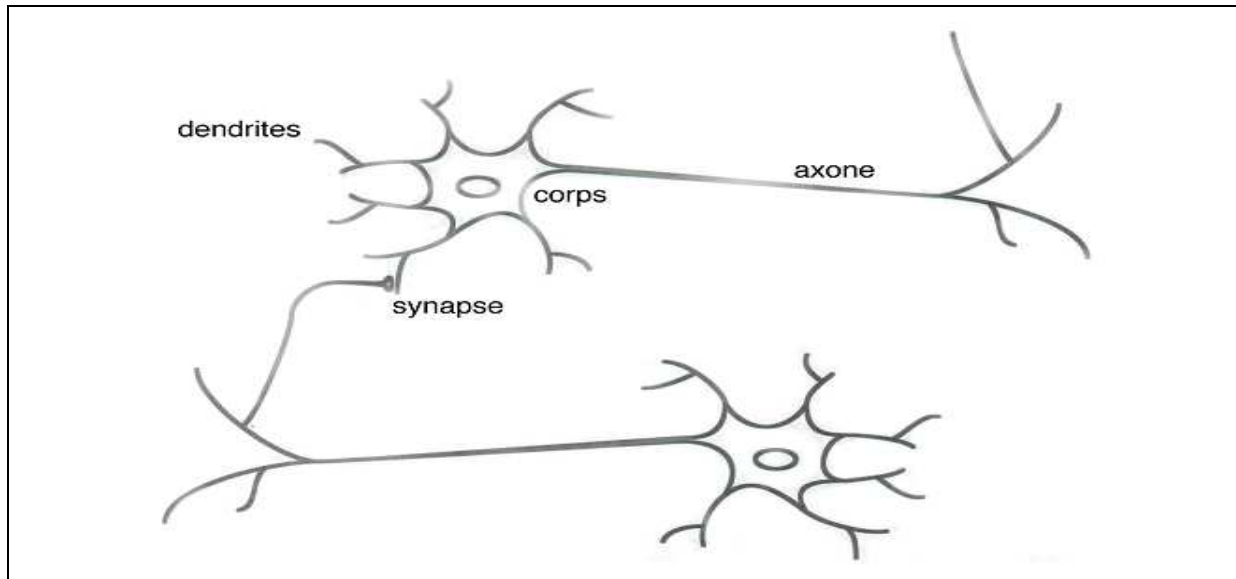
## I. Présentation des réseaux de neurone

### I.1. Définition des neurones biologiques [9]

Le cerveau humain possède deux hémisphères latérales reliés par le corps calleux et d'autres ponts axonaux, il pèse moins de deux kilogrammes et contient mille milliards de cellules, dont 100 milliards sont des neurones constitués en réseaux.

Les neurones sont des cellules nerveuses décomposables en 4 parties principales (Fig. III.1) :

- Les dendrites, sur lesquelles les autres cellules entrent en contact synaptique : c'est par les dendrites que se fait la réception des signaux.
- Le corps de la cellule, c'est l'unité de traitement.
- L'axone, où passent les messages accumulés dans le corps de la cellule : l'envoi de l'information se fait par l'axone.
- Les synapses par lesquelles la cellule communique avec d'autres cellules, ce sont des points de connexion par où passent les signaux de la cellule.

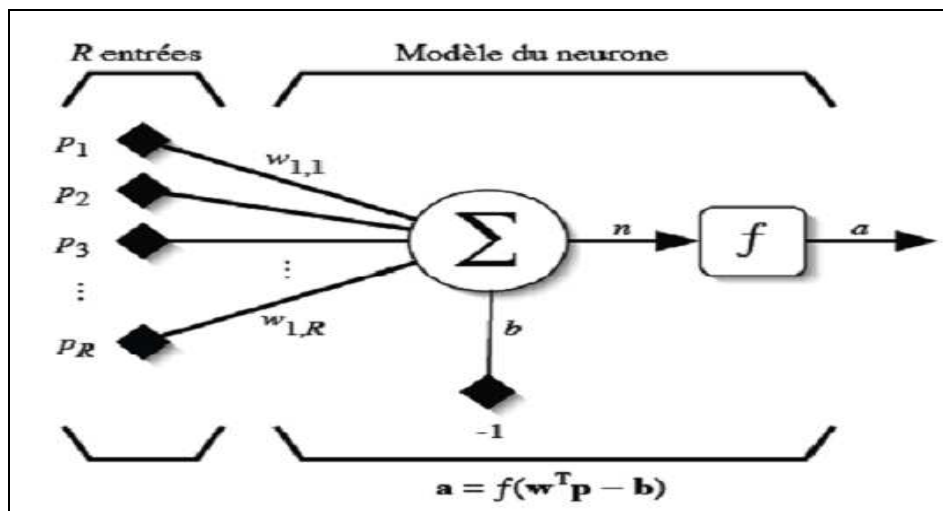


**Fig. III.1** Schéma d'un neurone biologique [réseaux de neurones]

### I.2. Définition du neurone formel [9]

C'est en 1943 que le premier modèle de neurone formel est proposé en s'inspirant du neurone biologique : il possède un certain nombre d'entrées, similaires aux dendrites du neurone biologique, un corps servant d'unité de traitement, et un axone permettant la transmission d'un potentiel d'action à d'autres neurones.

Chaque entrée du neurone est affectée d'un poids, le passage des entrées dans le corps du neurone se fait en deux étapes. La première étape consiste à faire une somme pondérée des entrées par les poids respectifs des connexions sur lesquelles ces entrées se propagent. La seconde étape consiste à calculer l'image de cette somme pondérée par une fonction de transfert binaire. Le résultat obtenu provoque ou non le déclenchement d'un potentiel d'action suivant le dépassement d'un seuil, et sert à son tour d'entrée à d'autres neurones (Fig. III.2).



**Fig. III.2.** Schéma d'un neurone formel [réseaux de neurones]

### I.3. Architecture du réseau de neurone [9]

Un réseau de neurones est un maillage de plusieurs neurones, généralement organisés en couches.

Pour construire une couche de  $S$  neurones, il s'agit simplement de les assembler comme à la figure III.3. Les  $S$  neurones d'une même couche sont tous branchés aux  $R$  entrées. On dit alors que la couche est totalement connectée. Un poids  $\mathbf{w}_{i,j}$  est associé à chacune des connexions.

Nous noterons toujours le premier indice par  $i$  et le deuxième par  $j$  (jamais l'inverse). Le premier indice (rangée) désigne toujours le numéro de neurone sur la couche, alors que le deuxième indice (colonne) spécifie le numéro de l'entrée. Ainsi,  $\mathbf{w}_{i,j}$  désigne le poids de la connexion qui relie le neurone  $i$  à son entrée  $j$ . L'ensemble des poids d'une couche forme donc une matrice  $\mathbf{W}$  de dimension  $S \times R$  :

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \cdots & w_{1,R} \\ w_{2,1} & \ddots & & \vdots \\ w_{S,1} & \cdots & & w_{S,R} \end{bmatrix} \quad (\text{III.1})$$

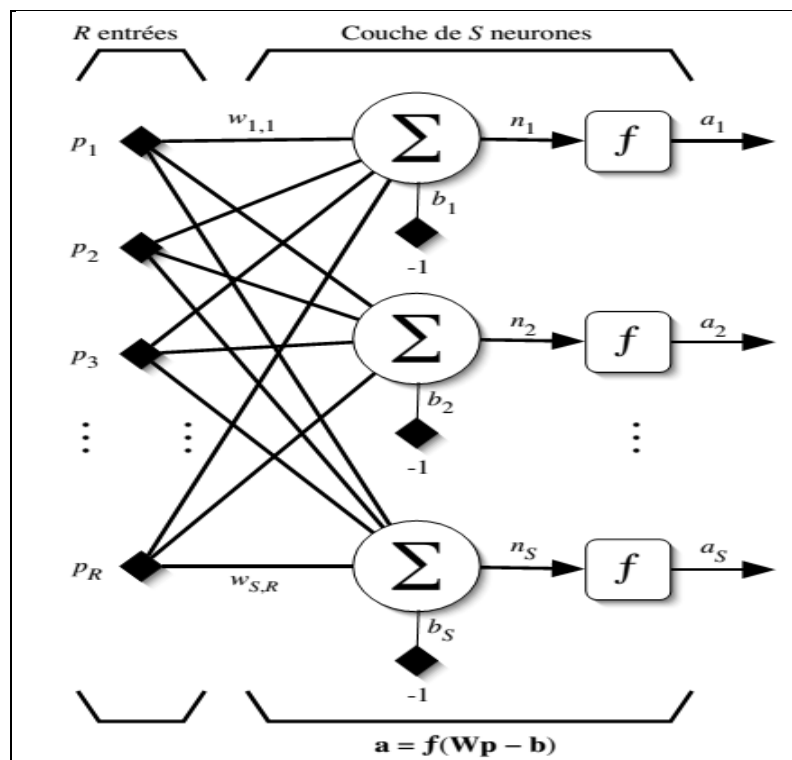


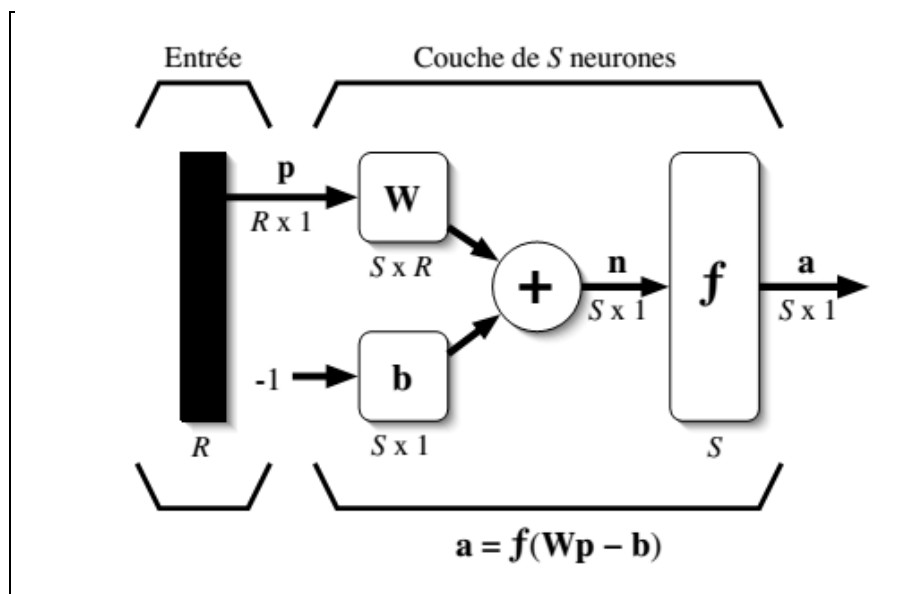
Fig. III.3. Couche de  $S$  neurones

A noter bien que  $S \neq R$ , dans le cas général (les nombres de neurones et d'entrées sont indépendants). Si l'on considère que les  $S$  neurones forment un vecteur de neurones, alors on peut créer les vecteurs  $b = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ \dots \ b_s]^T$ ,  $n = [n_1 \ n_2 \ n_3 \ \dots \ n_s]^T$ ,  $a = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_s]^T$ . Ceci nous amène à la représentation graphique simplifiée, illustrée à la figure III.4. On y retrouve, comme à la figure III.3, les mêmes vecteurs et matrice. La seule différence se situe au niveau de la taille, ou plus précisément du nombre de rangées ( $S$ ), de  $b$ ,  $n$ ,  $a$  et  $W$ .

Finalement, pour construire un réseau, il ne suffit plus que de combiner des couches comme à la figure (III.7). Cet exemple comporte  $R$  entrées et trois couches de neurones comptant respectivement  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  neurones. Dans le cas général, de nouveau  $S^1, S^2, S^3$ .

Chaque couche possède sa propre matrice de poids  $w^k$ , où  $k$  désigne l'indice de couche. Dans le contexte des vecteurs et des matrices relatives à une couche, nous emploierons toujours un exposant pour désigner cet indice. Ainsi, les vecteurs,  $b^k$ ,  $n^k$ ,  $a^k$  sont aussi associés à la couche  $k$ .

Il est important de remarquer dans cet exemple que les couches qui suivent la première ont comme entrée la sortie de la couche précédente. Ainsi, on peut enfileur autant de couches que l'on veut, du moins en théorie. Nous pouvons aussi fixer un nombre quelconque de neurones sur chaque couche. En pratique, nous verrons plus tard qu'il n'est cependant pas souhaitable d'utiliser trop de neurones. Finalement, notez aussi que l'on peut changer de fonction de transfert d'une couche à l'autre. Ainsi, toujours dans le cas général

$$f^1 \neq f^2 \neq f^3$$


**Fig. III.4.** Représentation matricielle d'une couche de  $S$  neurones

La dernière couche est nommée «couche de sortie». Les couches qui précèdent la couche de sortie sont nommées «couches cachées» (Fig. III.5).

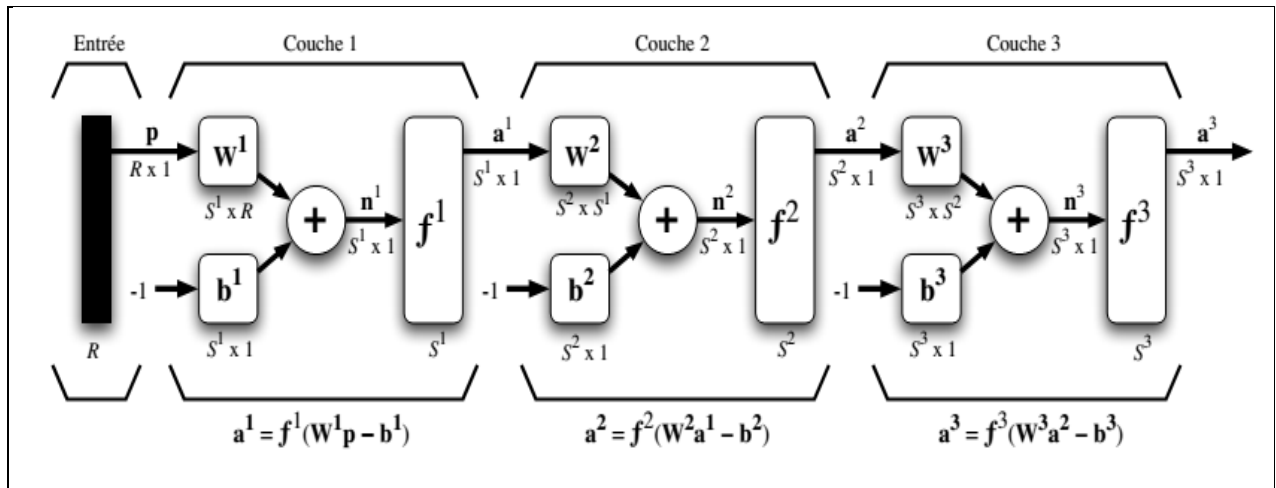


Fig. III.5. Représentation matricielle d'un réseau de trois couches

#### I.4. Apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est une phase du développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré.

Dans le cas des réseaux de neurones artificiels, on ajoute souvent à la description du modèle un l'algorithme d'apprentissage. Dans la majorité des algorithmes actuels, les variables modifiées pendant l'apprentissage sont les poids des connexions. Entraîner un réseau de neurones signifie modifier la valeur de ses poids et de ses biais pour qu'il réalise la fonction entrée/sortie désirée, c'est donc à l'issue de l'apprentissage que les poids sont fixés. [9]

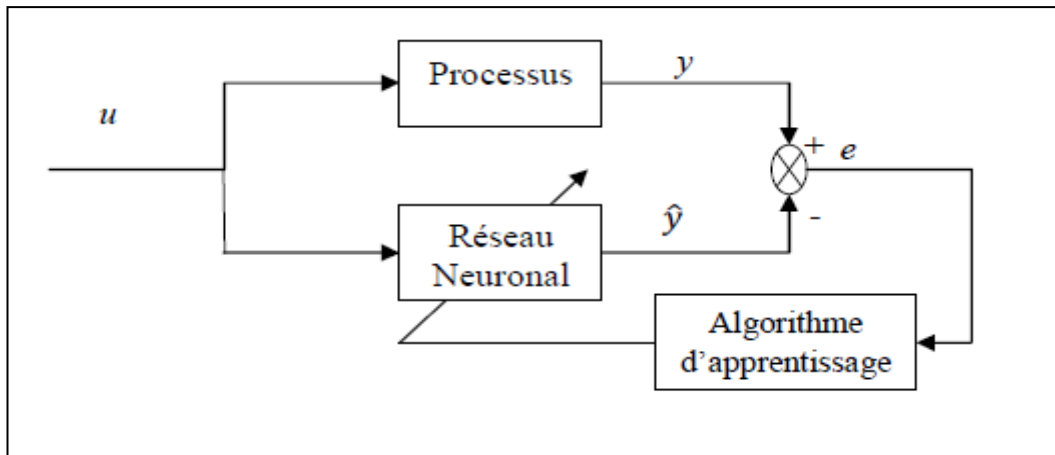
## II. Identification :

L'identification d'un système a pour intérêt évident en commande de processus, c'est souvent sur la base d'un modèle qu'il est possible de concevoir une stratégie de conduite, si l'identification des systèmes linéaire a été largement étudiée et semble ne plus poser de problèmes insurmontables pour la majorité des cas, il n'en est pas de même pour le système non linéaire. En revanche, les réseaux de neurones offrent d'intéressants avantages lorsqu'on les utilise pour l'approximation de fonctions, il est naturel de penser à appliquer ces techniques en identification de processus.

Généralement, on peut distinguer deux techniques d'identification à base de réseaux de neurones : identification directe et inverse.

### II.1. Identification directe :

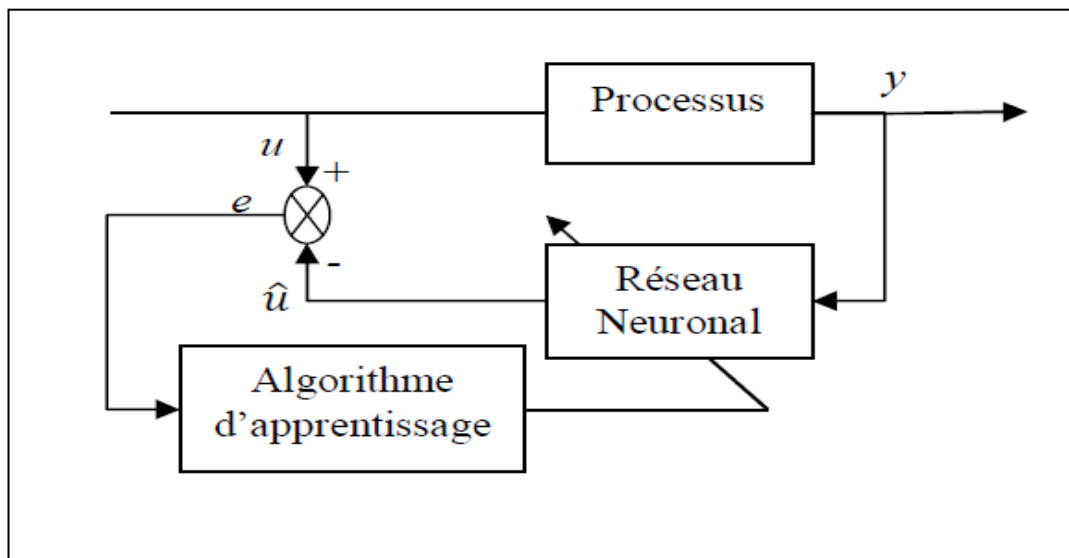
Son principe est de comparer la sortie estimée du réseau  $\hat{y}$  et la sortie réelle du processus  $y$ , l'erreur  $e$  qui en résulte sert à ajuster les paramètres du réseau neuronal comme le montre la figure ci-dessous.



**Figure.III.6** Schéma d'identification directe d'un processus avec réseau de neurones

### II.2. Identification inverse :

Dans cette technique, l'entrée  $u$  du processus est comparée avec la sortie estimée  $\hat{u}$  de l'identificateur neuronal et la sortie du processus est injectée comme entrée de réseau de neurone, son principe est illustré par cette figure :



**Figure.III.7** Schéma d'identification inverse d'un processus avec réseau de neurone

Après un apprentissage hors- ligne du modèle inverse le réseau de neurone identificateur peut être configuré afin d'assurer un contrôle direct du processus.

**II.3. Application de réseau de neurones pour l'identification du model :**

Il s'agit d'appliquer l'identification neuronale directe, en utilisant des réseaux de neurones récurrents, on appliquant un réseau de neurones multicouche retardé en entrée et en sortie.

Les objectifs de cette identification sont :

1. Trouver les modèles neuronaux qui reproduisent aux mieux le comportement du système.
2. Evaluer les performances d'apprentissage du réseau.
3. Evaluer la qualité d'estimation du réseau.

**Architecture choisie :**

Architecture du modèle neuronal multicouche choisie pour notre cas comporte :

- Deux entrées (l'entrée de commande et la sortie précédente estimée par le réseau).
- Quatre neurones dans la couche cachée.
- six neurones dans la couche de sortie.

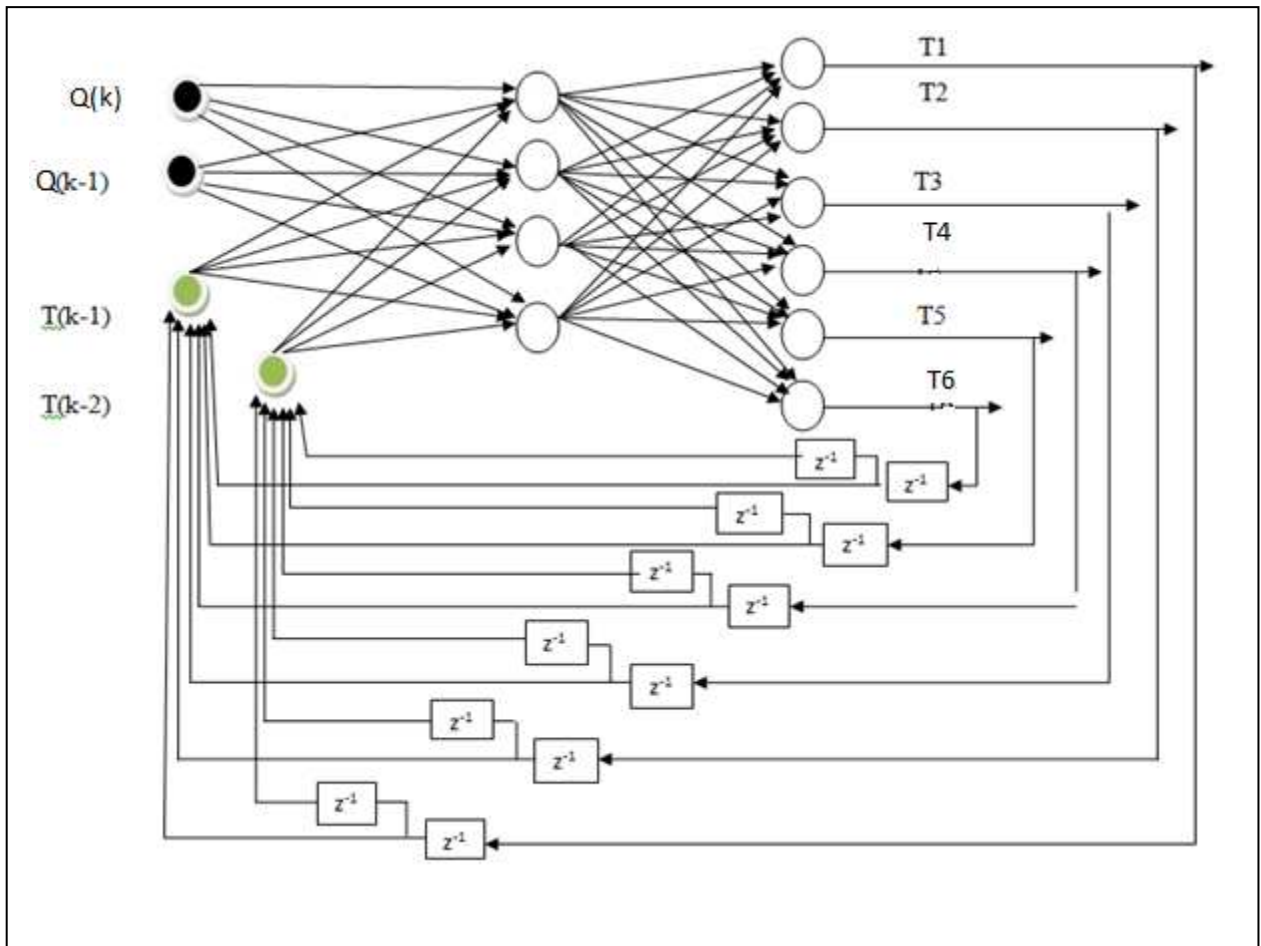
Les fonctions utilisées sont des fonctions sigmoïdes et linéaires ; cette architecture est illustrée par la figure ci-dessous.

**III. Le Modèle NNARX:**

Dans ce cas la régression est composée de sorties et entrées passées.

$$\hat{y}(k) = f[u(k-1), \dots, u(k-n), y(k-1), y(k-m)]$$

$$\hat{y}(k) = f[u(k), u(k-1), y(k-1), y(k-2)]$$



**Figure III.8.** Architecture réseau de neurone

Afin d'améliorer les performances des réseaux de neurones multicouches, il sera préférable de normaliser les données d'entrées et de sorties de telle manière qu'elles se trouvent dans l'intervalle  $[-1, +1]$  avec l'instruction :

$[u, us] = \text{mapminmax}(u);$       pour la normalisation. }  
 $u = \text{mapminmax}('reverse', u, us);$       pour l'inverse.      Sur matlab.

### III.1. Simulation des résultats sur les modèles appliqués :

Après la simulation de notre système, on a réussi à avoir six courbes représentées comme suit :

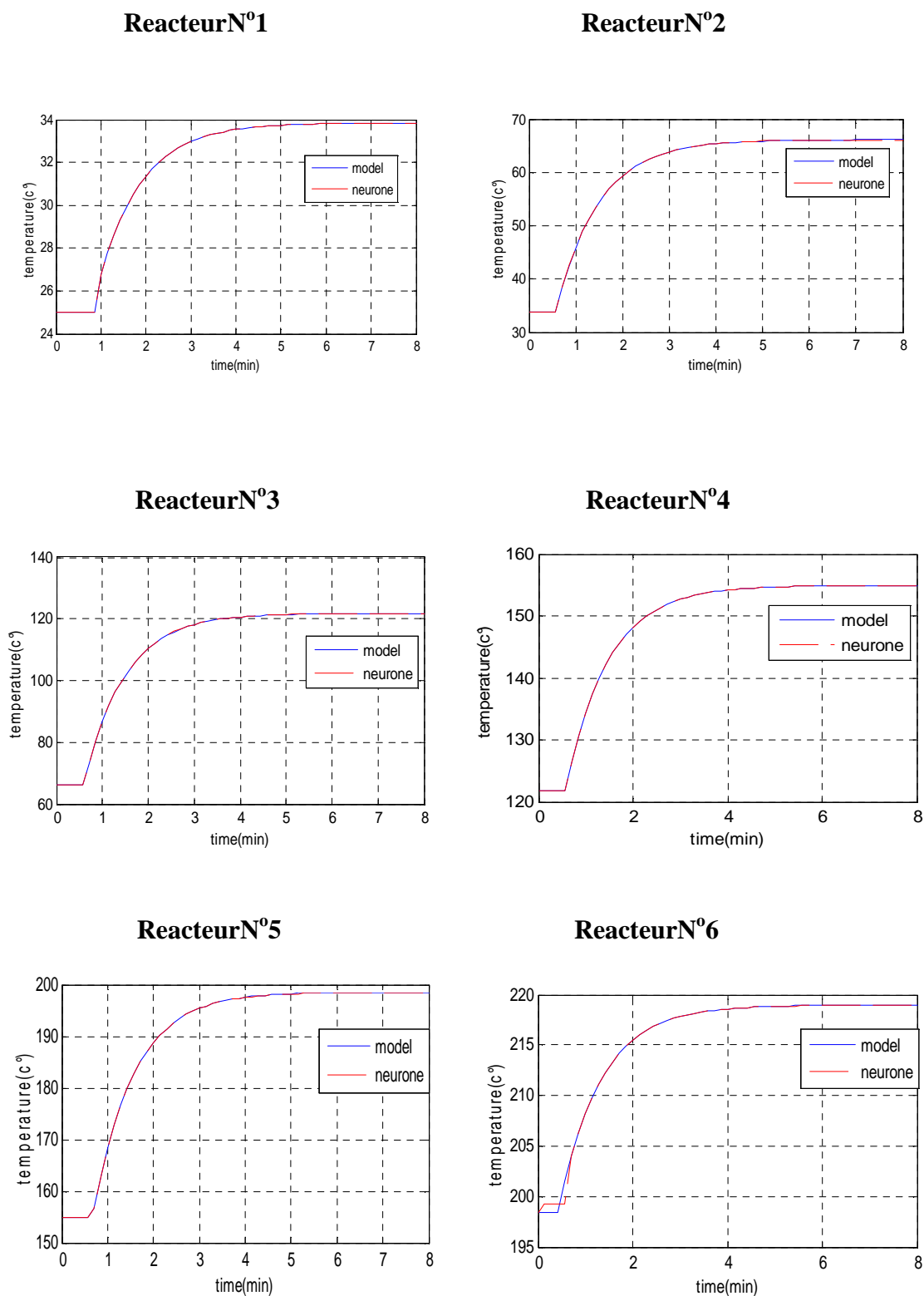


Figure.III.9. évolution de la température en fonction du temps dans les six réacteurs.

On constate que les courbes de sorties (réelles et estimées) sont presque confondues, et l'erreur quadratique moyenne est très faible ce qui confirme que le réseau de neurone multicouche proposé, a réussi à prédire la sortie du modèle.

L'apprentissage consiste à ajuster les paramètres du réseau afin de minimiser l'erreur entre la sortie désirée et la sortie réelle du réseau.

Donc :

- Les coefficients synaptiques (poids) adéquats (entrée, couche caché) sont les suivants :

$$\begin{pmatrix} -0.1998 & -8.0449 & 2.7997 & 4.1502 & -0.0081 & 1.5760 \\ -0.0624 & -4.3642 & 1.7192 & 2.9970 & -0.3939 & 0.1107 \\ 0.0380 & -0.2278 & 0.2057 & 1.3163 & -0.4538 & -0.5299 \\ 1.0204 & 16.9350 & 3.0738 & 4.2940 & -14.4375 & -11.4366 \end{pmatrix}$$

- Et les coefficients synaptiques (poids) adéquats (couche caché, sortie) sont les suivants :

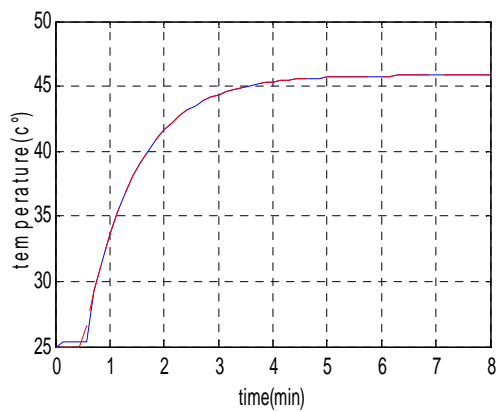
$$\begin{pmatrix} -4.4137 & 1.5398 & 3.0834 & -6.7001 \\ 1.9665 & -2.2735 & 1.9524 & 0.1781 \\ 1.8303 & -1.8955 & 2.0221 & 0.1757 \\ 1.9858 & -2.0915 & 1.9637 & 0.2458 \\ 0.8599 & -1.1647 & 2.3319 & -0.4920 \\ 3.0894 & -2.8356 & 1.5212 & 1.0469 \end{pmatrix}$$

### III.2. TEST DU RESEAU DE NEURONE

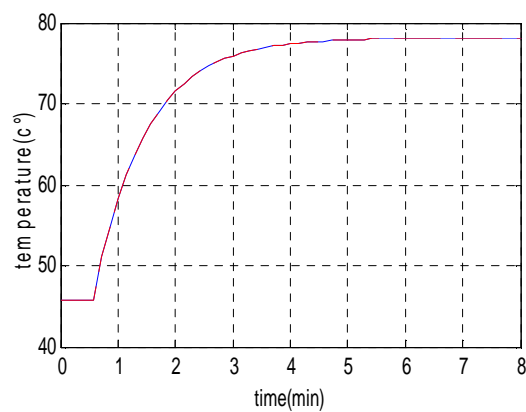
Pour savoir l'efficacité du réseau de neurone nous devons d'abord le tester et le valider, et cela en changeant l'entrée et observent la sortie du réseau comme le montre les figures ci-dessous.

Voici les six figures obtenues après le changement de l'entrée dans le réseau de neurone à 5000 watts.

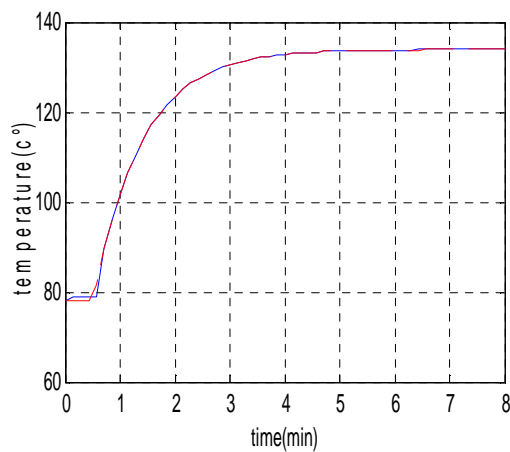
**ReacteurN°1**



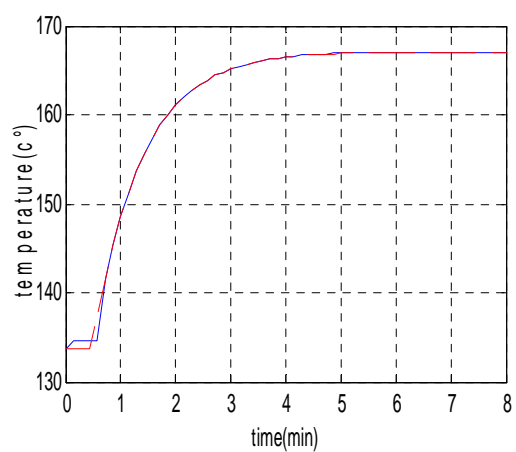
**ReacteurN°2**

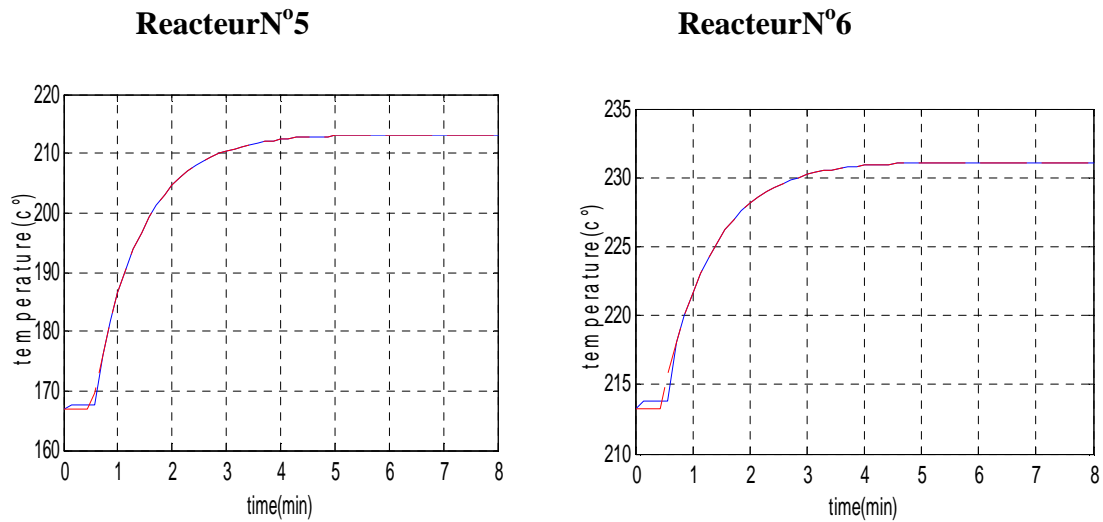


**ReacteurN°3**



**ReacteurN°4**

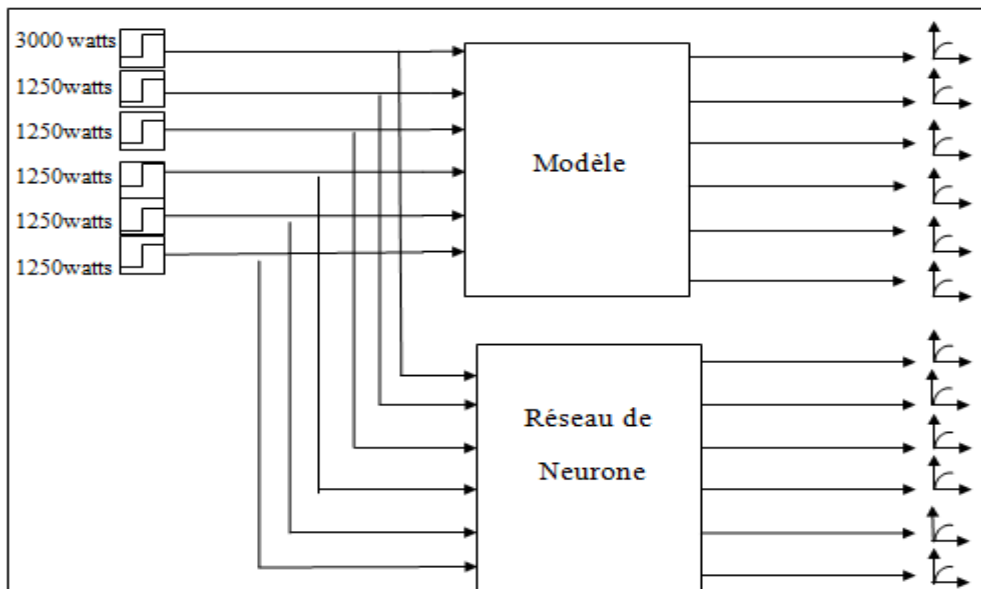




**Figure.III.10.** évolution de la température en fonction du temps dans les six réacteurs pour une entrée de 5000 watts.

On remarque une légère augmentation de température par rapport aux résultats de la première simulation. Les deux courbes (réelles et estimée) après le changement de l'entrée sont presque confondues et cela veut dire que le réseau de neurone est bon puisque il a abouti à des résultats satisfaisants.

Par contre dans la figure suivante on a juste changé l'entrée du premier réacteur du modèle mathématique.



**Figure.III.11.** comparaison entre le réseau de neurone et le modèle mathématique.

Les résultats de la simulation du modèle mathématique

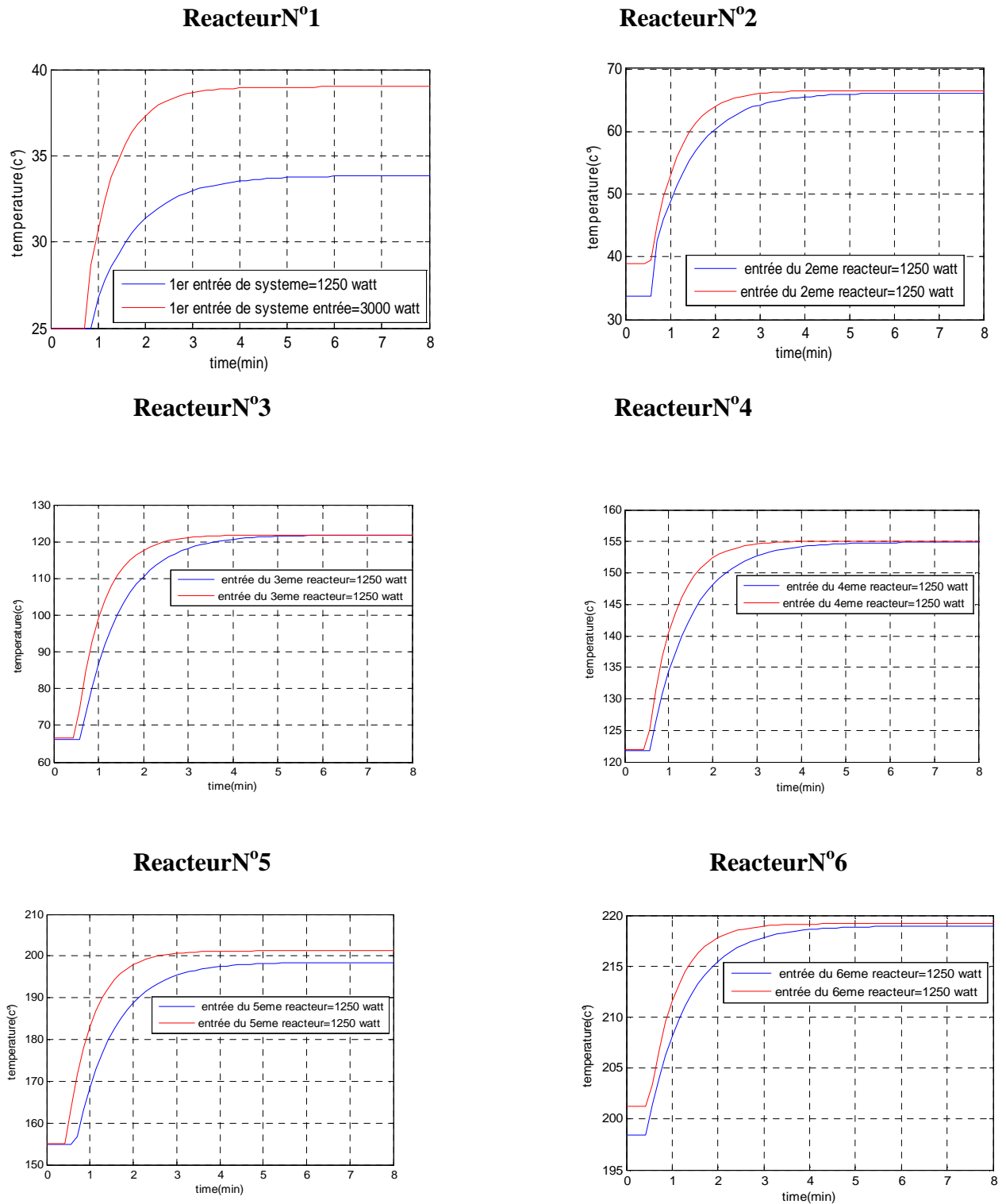


Figure.III.12. comparaison des deux réponses du réseau de neurone

Le changement de la puissance d'entrée dans le premier réacteur influe sur la température de tous les réacteurs suivants.

Pour les réseaux de neurones :

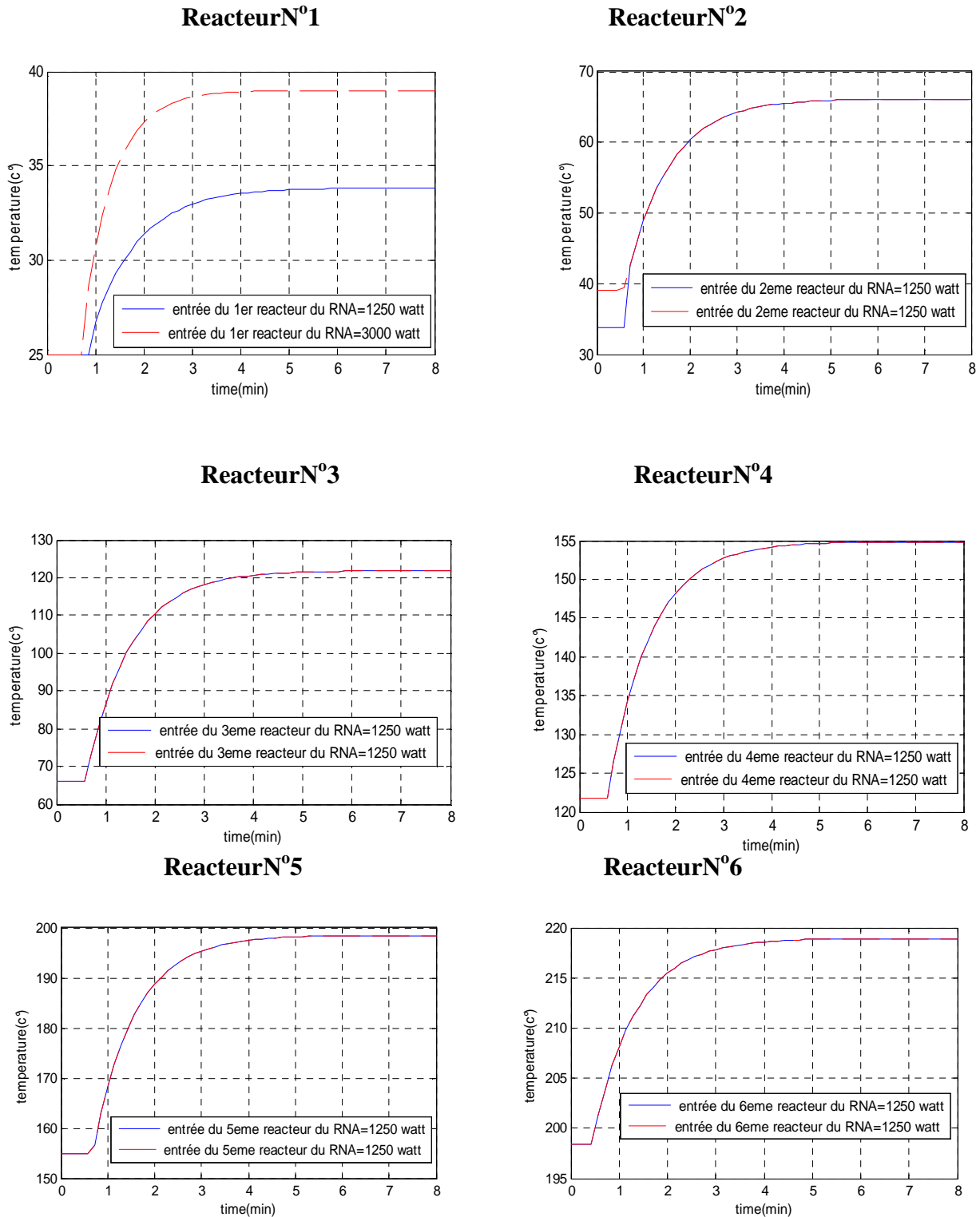


Figure.III.13. comparaison des deux réponses du réseau de neurone

Le changement de la puissance d'entrée dans le premier réacteur influe juste sur le premier réacteur.

On constate la présence d'interaction dans le modèle mathématique, c'est-à-dire qu'il est bien interconnecté entre ses compartiments, par contre dans le réseau de neurone chaque sortie est influencée que par son entrée et ça se résume par « l'élimination des interactions entre ces compartiments ».

## **Conclusion**

L'identification par les réseaux de neurones est une perspective efficace pour l'identification des systèmes, et ceci a été démontré par les résultats de simulation que nous avons obtenus.

Les résultats obtenus sont sous forme de matrices (poids synaptiques) décrivant les valeurs des poids de réajustement du réseau de neurone.

---

**CONCLUSION**  
**GENERALE**

---

## **Conclusion générale :**

Le travail présenté dans ce mémoire est porté sur la modélisation et l'identification d'un procédé d'extrusion du plastique. La modélisation a été réalisée en faisant appel à une méthode qui consiste à assimiler le procédé d'extrusion à un ensemble de réacteurs, ceci nous a permis d'obtenir un modèle mathématique fortement couplé. Pour l'identification, nous avons utilisé les réseaux de neurones artificiels.

La modélisation d'un tel procédé est conditionnée par un temps de calcul très important, cela rend la tâche de contrôle très difficile. Les réseaux de neurones permettent l'identification de la dynamique du procédé avec moins de temps de calcul, grâce à leurs propriétés d'approximation universelle.

L'architecture proposée est le réseau de neurones bouclé retardé en entrée et en sortie. L'identification de l'extrudeuse mono vis à l'aide de ce réseau de neurone présenté au troisième chapitre nous a donné des résultats très satisfaisants, vu qu'il nous a permis d'avoir un modèle découplé.

Par conséquent on peut dire que le réseau de neurone multicouche proposé est capable d'identifier la dynamique complexe du système, en utilisant seulement une seule couche cachée contenant quatre neurones.

Ce travail reste à améliorer, et constitue un support d'aide pour les générations à venir.

---

# **BIBLIOGRAPHIE**

---

# References bibliographiques

---

[1]-Booy M.L., -Geometry of fully wiped twin screw equipment-, Polym. Eng. Sci, 40, p. 973-984, (1978)

[2]-Samir Eddine CHAULAK, **Modélisation et commande d'un procédé réactive**, thèse de doctorat, université de Claude BERNAD-LYON 1, (2002).

[3]-Chamil Abeykoon, Kang Li, Marion McAfee  
Peter J. Martin, George W. Irwin, **Extruder Melt Temperature Control with Fuzzy Logic.**

[4]- Ismail Yusuf, Nur Iksan , **Nanna Suryana Herman, A Temperature Control for Plastic Extruder. Used Fuzzy Genetic Algorithms.**

[5]-Fabio Previdi, Sergio M. Savaresi, Angiolino Panarotto, **-Design of a feedback control system for real-time control of flow in a single-screw extruder.**

[6]-James M. Hofer and Jinglu Tan, **-Extrudate temperature control with disturbance prediction.**

[7]-António Gaspar Lopes da Cunha, **Modelling and Optimisation of Single Screw Extrusion**

[8]-Chamil Abeykoon, KangLi, MarionMcAfee, PeterJ.Martin, QunNiu, AdrianL.Kelly, Jing Deng **A new model based approach for the prediction and optimization of thermal homogeneity in single screw extrusion**

[9]- Claude TOUZET, **LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS Juillet 1992.**