

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département: Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Master en Génie Chimique

Amélioration de l'indice de fluidité de polyéthylène haute densité produit au niveau du CP2K à l'aide de réseau de neurones artificiels

Azzeddine GHARSALLAH

Sous la direction de : Mr. Rabah BOUARAB Pr (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (13/06/2017)

Composition du jury :

Président	Mr A.SELATNIA	Pr(ENP)
Promoteur	Mr B.BOUARAB	Pr(ENP)
Examinatrices	Melle F. KIES	MCA(ENP)
	Mme Y.TCHOULAK	MAA(ENP)

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département: Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Master en Génie Chimique

Amélioration de l'indice de fluidité de polyéthylène haute densité produit au
niveau du CP2K à l'aide de réseau de neurones artificiels

Azzeddine GHARSALLAH

Sous la direction de : Mr. Rabah BOUARAB Pr (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (13/06/2017)

Composition du jury :

Président	Mr A.SELATNIA	Pr(ENP)
Promoteur	Mr B.BOUARAB	Pr(ENP)
Examinatrices	Melle F. KIES	MCA(ENP)
	Mme Y.TCHOULAK	MAA(ENP)

ENP 2017

Dédicaces

J'ai l'immense honneur de dédier ce travail

A ma mère, à mon père.

A mes frères et ma sœur.

A mes neveux Ayoub, Majed, Akram.

A ma nièce Sadil.

A toute ma famille.

À tous mes amis.

A mon camarade lotfi.

A mes professeurs de l'ENP et à ceux de la famille de génie chimique.

A toute l'équipe de CP2/K pour leurs aides durant mon stage.

A mon cher pays l'Algérie et ma belle ville SKIKDA.

A tous ceux qui me sont chers.

Azzeddine

Remerciements

Je remercie Allah, de m'avoir accordé la chance de vivre ce jour...

J'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur Pr. R.BOUARAB pour leur présence et suivi, et leurs compréhensions, patience et remarques qui ont été précieuses.

Je remercie chaque membre de jury qui a pris la peine d'examiner mon travail. Que Monsieur A.SLATNIA, enseignant à l'école nationale polytechnique soit remercié pour avoir accepté d'être le président de jury. J'exprime aussi toute ma gratitude à Mlle F.KIES et Mme Y.TCHOULAK, enseignant à l'école nationale polytechnique pour avoir bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail.

Je tiens également à remercier l'ensemble du personnel (enseignant et travailleur) de l'ENP et en particulier la grande famille du département de chimie qui ont tous contribué à mon formation.

Sans oublier de remercier mon encadreur à l'usine Mr. Semer KEDDOUS ingénieur du procès du complexe pétrochimique 2 de Skikda pour leur disponibilité le long de la réalisation de ce travail et l'ensemble des personnels du complexe pour leurs encouragements.

Un merci à tous mes camarades de la promotion Génie Chimique 2016/2017.

Une mention particulière à mes professeurs de l'EPST-Annaba.

ملخص: تحسين مؤثر الذوبان للبولي إيثيلين مرتفع الكثافة المنتج في مركب الصناعات البتروكيميائية 2 بسكيدة يهدف العمل إلى تطبيق تقنية شبكة العصبونات الإصطناعية من أجل تقدير مؤشر الذوبان للبولي إيثيلين مرتفع الكثافة و من أجل هذا إختارنا أحد نماذج تقنية شبكة العصبونات الإصطناعية الذي يسمح بتقدير مؤشر الذوبان للبولي إيثيلين مرتفع الكثافة مع نسبة خطأ صغيرة.

كلمات مفتاحية: تقنية شبكة العصبونات الإصطناعية, مؤشر الذوبان, بولي إيثيلين مرتفع الكثافة.

Abstract: Amelioration the melt index of HDPE product at level of CP2K

The aim of this work is applying the technical of neural networks to predict the melt index of HDPE. For that we have established networks able to estimate with small percentage of error the melt index.

Keywords:Neural networks, melt index, HDPE.

Résumé: Amélioration de l'indice de fluidité de PEHD produit au niveau du CP2K

L'objectif de ce travail consiste à appliquer la technique des réseaux de neurones artificiels à la prédiction de l'indice de fluidité de PEHD. Pour cela nous avons établi un modèle du réseau de neurones capables d'estimer avec un pourcentage d'erreur faible de l'indice de fluidité.

Mots clé :Réseaux de neurones artificiels, indice de fluidité, PEHD.

Table des matières

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des nomenclatures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	14
Chapitre 1: Généralités sur le polyéthylène haute densité (PEHD)	15
1.1. Introduction	16
1.2. Consommation mondiale de PEHD	16
1.3. Capacités globales de production de PEHD.....	17
1.4. Principaux producteurs du PEHD	18
Chapitre 2 : Présentation du complexe et description du procédé du CP2K	20
2.1. Présentation du complexe CP2K.....	21
2.2. Les différentes zones du complexe	22
2.2.1. Zone off site.....	22
2.2.2. Zone humide (réaction)	24
2.2.3. Zone sèche	24
2.2.4. Zone bâtiment	24
2.3. Description du procédé Phillips	25
2.4. Description du procédé de production du PEHD.....	27
2.4.1. Traitement des matières premières	27
2.4.1.1. Ethylène	27
2.4.1.2. Hexène	27
2.4.1.3. Isobutane.....	28
2.4.1.4. Hydrogène	29
2.4.2. Purification et récupération du solvant.....	29
2.4.3. Extrusion et ensachage du PEHD	31
2.4.4. Réacteur de polymérisation	31
2.4.4.1. Alimentation du réacteur	32
2.4.4.1.1. Alimentation en éthylène.....	32
2.4.4.1.2. Alimentation en hexène	33

2.4.4.1.3.	Alimentation en hydrogène	33
2.4.4.1.4.	Alimentation en isobutane frais	33
2.4.4.1.5.	Alimentation en isobutane de recyclage	34
2.4.4.1.6.	Alimentation de catalyseur	34
2.4.4.1.6.1.	Système d'addition de catalyseur	34
2.4.4.1.6.2.	Isobutane frais à la zone d'addition de catalyseur P.F	35
2.4.4.1.6.3.	Dépôt du catalyseur P.F.....	35
2.4.4.1.7.	Introduction d'antistatique et scavenger.....	36
2.4.4.1.7.1.	Addition d'antistatique (ASA).....	36
2.4.4.1.7.2.	Addition de Scavenger au réacteur (DEZ)	37
2.4.5.	Système d'inhibition de la réaction.....	37
2.4.6.	Système de refroidissement du réacteur	38
Chapitre 3 : Introduction aux réseaux de neurones artificiels.....		39
3.1.	Introduction	40
3.1.1	Qu'est-ce qu'un réseau de neurones artificiels ?	40
3.1.2	Mais Pourquoi serait-il nécessaire la mise en œuvre de réseaux de neurones artificiels?	40
3.2	Historique	40
3.3.	Neurone biologique	41
3.3.1.	Le corps cellulaire	41
3.3.2.	Les dendrites	42
3.3.3	L'axone	42
3.4	Neurone mathématique (formel)	42
3.5	Structure d'un réseau neuronal artificiel	45
3.6	Réseau multicouche (multilayer perceptron MLP)	46
3.6.1	Apprentissage	47
3.7	Propriété fondamentale des réseaux de neurones.....	47
3.7.1.	La parcimonie	48
3.8	Avantages et inconvénients des réseaux de neurones	49
	Conclusion.....	49
Chapitre 4 : Influence des paramètres sur les propriétés du PEHD		50

Introduction	51
4.1. Certificat d'analyse	51
4.2. Influence des paramètres opératoires sur les propriétés du PEHD	51
4.2.1. L'indice de fluidité (Melt index)	52
4.2.1.1. Appareillage.....	52
4.2.1.2. Paramètres influençant l'indice de fluidité.....	52
4.2.1.2.1. Influence de la concentration d'éthylène.....	53
4.2.1.2.2. Effet de la température du réacteur.....	53
4.2.1.2.3. Productivité du catalyseur	56
4.2.1.2.4. Suivi de la concentration d'hydrogène	57
4.2.1.2.5. Taux des solides.....	57
4.2.2. Densité du PEHD.....	59
4.2.2.1. Mode opératoire.....	59
4.2.2.2. Paramètres influençant la densité du PEHD.....	59
4.2.2.2.1. Rapport hexène/ éthylène	60
Conclusion.....	61
Chapitre 5 : Modélisation de l'indice de Fluidité	62
Introduction	63
5.1. Démarche suivie.....	63
5.2. Présentation des résultats de simulation et discussion	65
Conclusion.....	66
Références bibliographiques	71
Annexe	73

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel.....	45
Tableau 4.1 : Variation de MI en fonction de la concentration de l'éthylène	53
Tableau 4.2 : Variation de MI en fonction de la température du réacteur	55
Tableau 4.3 : Variation de MI en fonction de la productivité de catalyseur.....	56
Tableau 4.4 : Variation de MI en fonction du débit d'hydrogène.	57
Tableau 4.5 : Variation de MI en fonction du taux de solide	58
Tableau 4.6 : Récapitulatif des paramètres influençant l'indice de fluidité	59
Tableau 5.1 : Caractéristiques de réseau de neurones établis	64
Tableau 5.2: Valeurs de MI réel, MI estimé, et erreur absolue	65

Liste des figures

Figure 1.1 : Demande global de polymères en MMT.....	16
Figure 1.2 : Consommation mondiale de PEHD 2014	17
Figure 1.3 : Capacités globales de production de PEHD.....	18
Figure 1.4 : Principaux producteurs de PEHD.....	18
Figure 2.1 : Implantation du complexe CP2K	22
Figure 2.2 : Schéma du procédé de PEHD	26
Figure 2.3 : Traitement de l'éthylène.....	27
Figure 2.4 : Traitement de l'hexène.....	28
Figure 2.5 : Traitement de l'isobutane.....	29
Figure 2.6 : Réacteur.....	32
Figure 2.7 : Alimentation réacteur	34
Figure 3.1 : Structure d'un neurone biologique.....	41
Figure 3.2 : Principe de fonctionnement d'un neurone formel.....	43
Figure 3.3 : Structure d'un neurone artificiel.....	44
Figure 3.4 : Structure des différents réseaux de neuronaux.....	45
Figure 3.5 : Structure d'un réseau MLP.....	46
Figure 4.1 : Photo de plastomère utilisé dans l'analyse de l'indice de fluidité	52
Figure 4.2 :Variation du MI en fonction de la concentration d'éthylène.....	53
Figure 4.3 :Variation du MI en fonction de la température	55
Figure 4.4 :Variation du MI en fonction de la productivité de catalyseur.....	56
Figure 4.5 :Variation du MI en fonction du débit d'hydrogène.....	57
Figure 4.6 :Variation du MI en fonction du taux de solides	58
Figure 4.7 : Série des photos du dispositifs utilisé dans l'analyse de densité.....	60
Figure 4.8 : Variation du MI en fonction de hexène/éthylène(Kg/t)	61
Figure 5.1: Schéma de réseaux de neurones	65
Figure 5.2 : Valeurs de MI réel et estimé.....	66

Liste de nomenclatures

Liste de nomenclatures

Symbole	Signification	Unité
d	Densité	-
Φ	Diamètre	μm
T	Température	$^{\circ}\text{C}$
P	Pression	Kg/cm^2

Liste des abréviations

Liste des abréviations

AA	Air d'Activation
ASA	Antistatistique
C ₂ O ₃	Oxyde de chrome
CP1K	Complexe Pétrochimique 1 de Skikda
CP2K	Complexe Pétrochimique 2 de Skikda
DEZ	Diethylzinc
ENIP	Entreprise National des Industries Pétrochimiques
IA	Air Instrument
IBF	Isobutane Frais
IBR	Isobutane de Recyclage
GBP	Gradient Back Propagation
LDPE	Low Density Polyethylene (polyéthylène linéaire basse densité)
LLDPE	LinearLowDensityPolyethylene (polyéthylène linéaire basse densité)
MI	Melt Index (indice de fluidité)
MLP	Multi Layer Perceptron (perceptron multicouches)
PA	Air Procès
PEBD	Polyéthylène Faible Densité
PEHD	Polyéthylène haute Densité
PF	Procédé de Philips
PP	Polypropylène
PS	Polystyrène
PVC	Polychlorure de vinyle
RNA	Réseaux de Neurones Artificiels
TEA	Triéthyle d'aluminium

Introduction

Introduction

Le Polyéthylène est un nom générique employé pour décrire les polyoléfinés issues de la polymérisation de l'éthylène. Il existe de nombreux types de polyéthylènes et principalement deux grandes familles qui se définissent en fonction de leur masse volumique :

- Polyéthylènes basse densité ou PEBD (LDPE) : $0,92 < d < 0,94$
- Polyéthylènes haute densité ou PEHD (HDPE) : $0,95 < d < 0,97$.

Le polyéthylène linéaire, appelé PE-L, a été découvert dans les années 50 par quatre équipes appartenant à trois laboratoires différents. En 1945, Bailey et Reid de la *Phillips Petroleum Company* utilisèrent un catalyseur à base d'oxyde de nickel et d'oxyde de chrome pour synthétiser du PE-L. En 1950, Zletz de la *Standard Oil of Indiana* met au point un catalyseur à base d'oxyde de molybdène. Hogan et Banks de la *Phillips Petroleum Company* améliorèrent, en 1951, le procédé existant par l'utilisation d'oxyde de chrome et d'oxyde d'aluminium. Enfin c'est en 1953 que Karl Ziegler (prix Nobel en 1963 avec Giulio Natta), à l'Institut Max Planck, met au point un procédé basse pression utilisant un catalyseur appartenant à la famille de catalyseurs dits de Ziegler-Natta [1].

Concernant le polyéthylène haute densité une connaissance parfaite de ces propriétés physiques à savoir l'indice de fluidité, la densité est nécessaire car elle permet à l'ingénieur de contrôler le fonctionnement des différents équipements de l'unité industrielle.

Dans la présente étude, on propose une méthode de prédiction de l'une des propriétés physiques les plus importantes pour le polyéthylène haute densité qui est l'indice de fluidité en utilisant la technique des réseaux de neurones artificiels. Ce terme des réseaux de neurones artificiels ou formels fait rêver la plupart des ingénieurs et des chercheurs car c'est une technique de traitement des données bien maîtrisée dans le but de tirer le maximum d'informations pertinentes.

Ce travail donc a pour le principal objectif : l'application de la technique des réseaux de neurones artificiels pour la prédiction de l'indice de fluidité de polyéthylène haute densité.

Chapitre 1

Généralités sur le polyéthylène haute densité (PEHD)

Chapitre 1 : Généralités sur le polyéthylène haute densité (PEHD)

1.1. Introduction

Le polyéthylène de haute densité, PEHD, est devenu un ingrédient habituel et nécessaire pour la vie courante. Il occupe une bonne part de la production globale des polymères car il constitue une matière de base pour l'industrie de transformation des polymères et des plastiques. Il a pu remplacer un grand nombre de matériaux à divers usages durant le siècle passé et ne cesse de le faire encore aujourd'hui. La demande en polyéthylène ne fait que croître à travers le monde [2].

1.2. Consommation mondiale de PEHD

En termes de volume, le PEHD est le troisième matériau plastique des produits de base dans le monde après le polychlorure de vinyle et le polypropylène comme montre le schéma suivant :

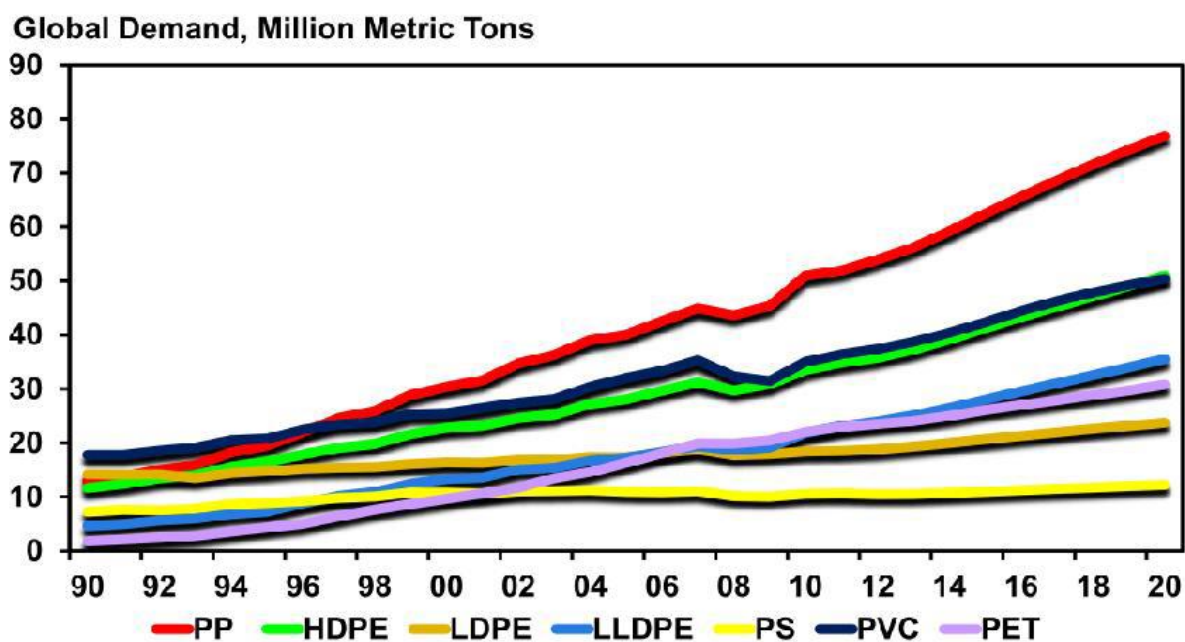


Figure 1.1 : Demande global de polymères en MMT [3].

La consommation de PEHD dans les différents pays est représentée par la figure ci-dessous.

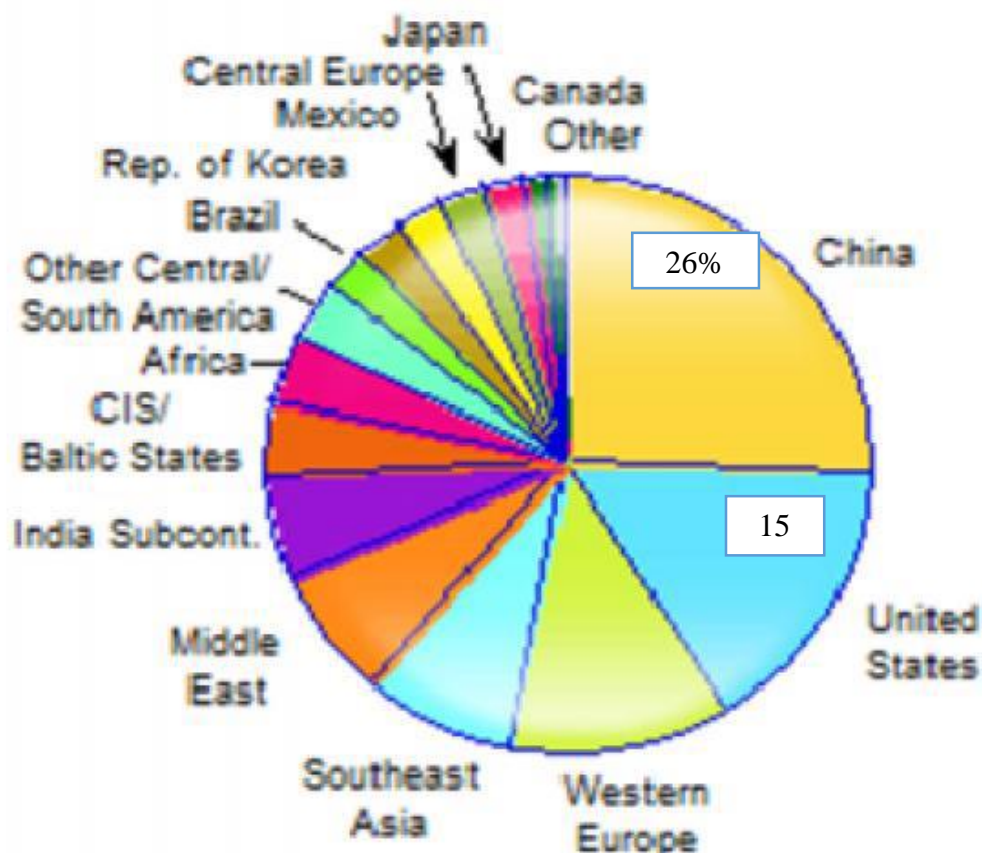


Figure 1.2 : Consommation mondiale de PEHD 2014 [4].

La consommation mondiale de PEHD est tirée par la demande chinoise, qui représente **26%** du total du monde. Les Etats-Unis suivent, avec environ **15%** du total en 2014. La production du Moyen-Orient est envoyée principalement en Chine, mais dans la prochaine décennie, la Chine va devenir beaucoup plus autonome. Au cours des cinq prochaines années, la consommation de PEHD mondiale devrait croître à environ **4,5%** par an [4] [5].

1.3. Capacités globales de production de PEHD

Les capacités de production sont illustrées par la figure ci-après :

Actuellement, Les Etats-Unis détiennent environ 16.4% de la capacité mondiale de la production de PEHD. La Chine suit avec environ 16.2% de la capacité mondiale.

L'Arabie Saoudite exploite 11.5%. L'industrie du PEHD est dans un mode de croissance de l'offre et la demande de 4,5-5,5% par an au cours des cinq prochaines années [6].

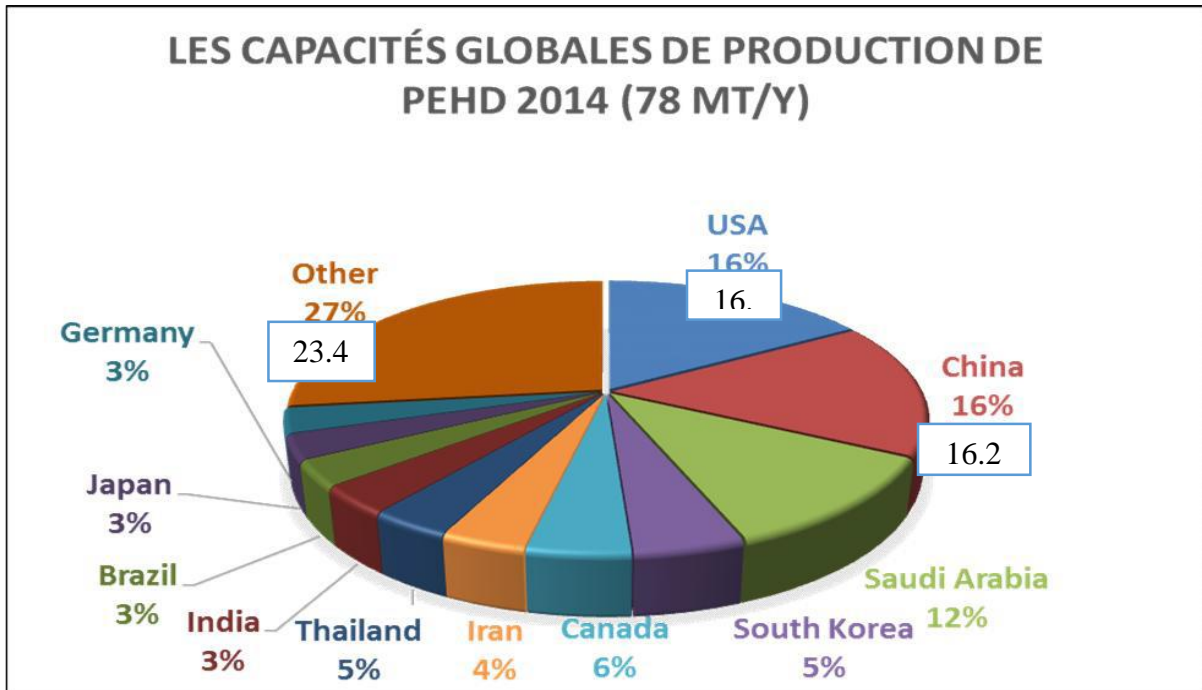


Figure 1.3 : Capacités globales de production de PEHD [6].

1.4. Principaux producteurs du PEHD

La figure ci-après montre les principaux producteurs de PEHD

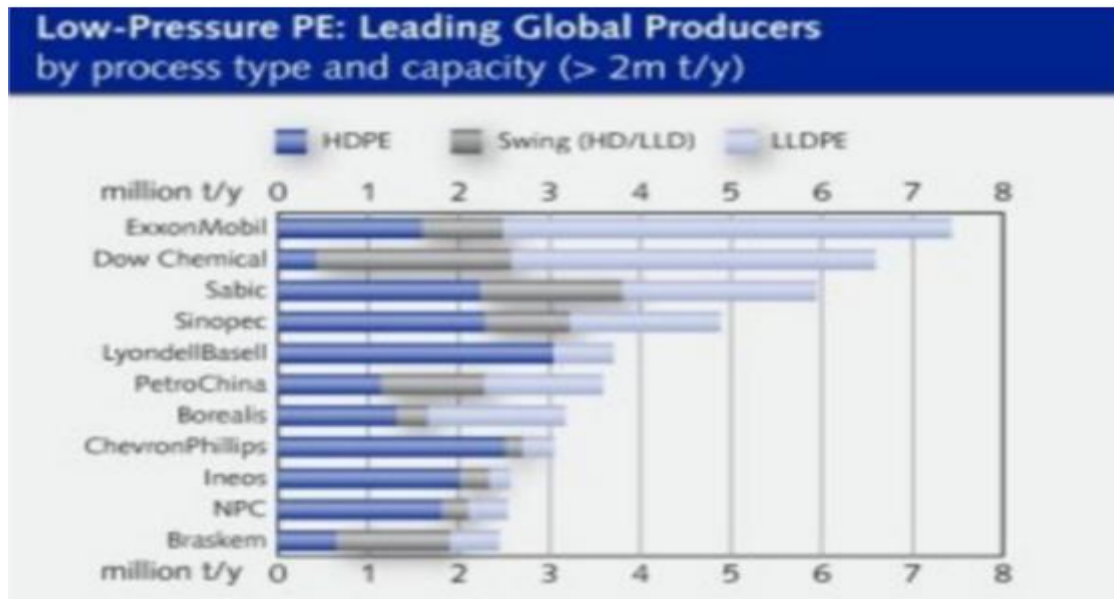


Figure 1.4 : Principaux producteurs de PEHD [7].

Généralités sur le polyéthylène haute densité (PEHD)

En 2014 Lyondell Basell est le leader de la production de PEHD, suivi par Chevron Philips. Sinopec se trouve en 3^{eme} position.

Chapitre 2

Présentation du complexe et description du procédé du CP2K

Chapitre 2 : Présentation du complexe et description du procédé du CP2K

2.1. Présentation du complexe CP2K

Le complexe CP2K (POLYMED) qui comporte l'unité PEHD (Polyéthylène Haute Densité) est implanté à l'intérieur de la zone industrielle de Skikda. D'une superficie d'environ 17 hectares, il se trouve sur la cote à 06 km à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Skikda et a une hauteur moyenne d'environ 06 m au-dessus du niveau de la mer.

Sa position géographique est représentée dans la figure ci-dessous. Elle est limitée comme suit :

- Au Nord : par la mer Méditerranée,
- Au Sud : par la route principale de la zone industrielle et SOMIK,
- A l'Est : par la FIR (Force d'Intervention et de Reserve),
- A l'Ouest : par CP1K (Complexe Pétrochimique 1 de Skikda).

Le complexe CP2K a vu le jour en janvier 2004 après que le projet de réalisation d'une unité de PEHD soit signé en avril 1991 entre l'ENIP (Entreprise Nationale des Industries Pétrochimiques) et Repsol Quimica (filiale de Repsol) s'inscrivant dans le cadre de la coopération industrielle algero-espagnole. L'unité mixte portait alors le nom de POLYMED (Méditerranéenne des Polymères).

Le capital de l'unité était détenu par l'ENIP à 64%, REPSOL à 23% et BAD (Banque Algérienne de Développement) à 13%. Par la suite, l'ENIP a décidé de racheter les parts de REPSOL et la BAD après que ces derniers aient décidé de se retirer. Aujourd'hui, Sonatrach a repris l'unité qui désormais porte le nom de CP2K.

Ce dernier comporte deux procédés de production dans une même installation :

- ✓ Procédé Phillips
- ✓ Procédé Ziegler

Mais depuis son premier démarrage, elle n'utilise que le procédé Phillips, car le catalyseur utilisé dans le procédé Ziegler (un catalyseur à base de tétrachlorure de titane) est cher comparé à celui utilisé dans le procédé Phillips.

L'usine POLYMED est conçue pour produire 130.000 t/an.

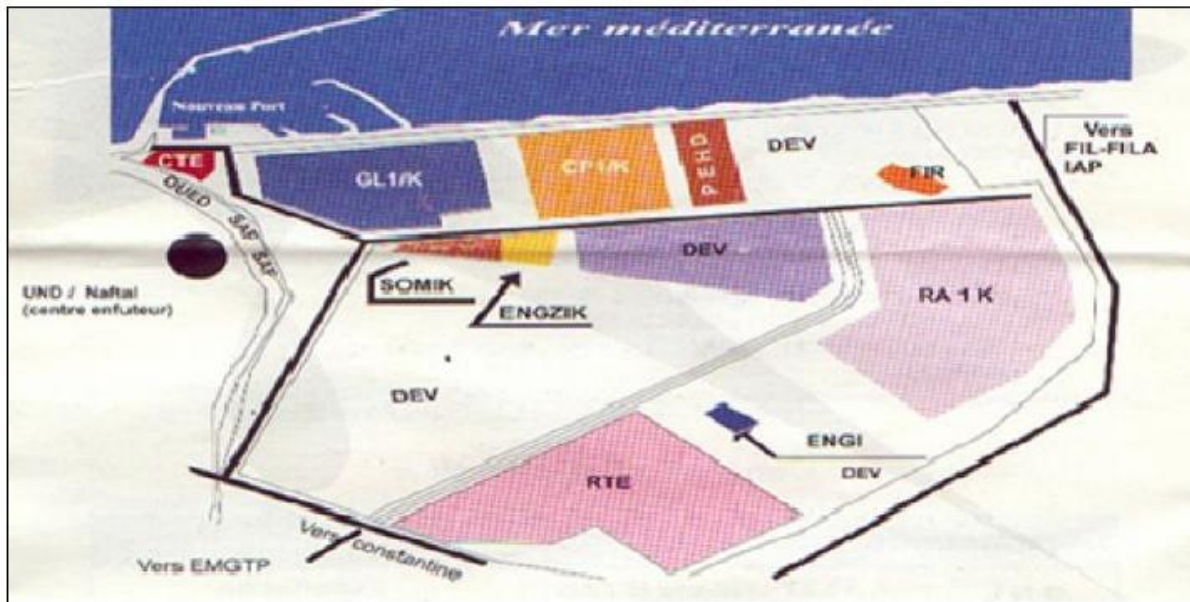


Figure2.1 : Implantation du complexe CP2K.

2.2. Les différentes zones du complexe

Le complexe est composé de 04 zones importantes qui sont :

2.2.1. Zone off site

- Torche.
- Stockage isobutane et hexène.
- Traitement des eaux usées (hors service).
- Activation catalyseur.

✓ Rôle d'activation

- Changer la valence de Cr^{+3} à Cr^{+6} .
- Éliminer l'eau liée.
- Transmettre un certain MI Potentiel.

L'air d'activation se préchauffe dans le préchauffeur d'air d'activation jusqu'à $936^{\circ}C$, puis entre à travers un tuyau flexible à la partie intérieure de l'activateur du catalyseur, en fluidifiant le

catalyseur qui se trouve à l'intérieur. La température du lit se maintient moyennant le four de l'activateur.

L'air d'activation sort de l'activateur du catalyseur à travers le filtre à air interne de l'activateur situé à la tête de l'activateur ensuite il est envoyé à l'atmosphère à travers le filtre à air externe de l'activateur passant par le refroidisseur d'air qui le refroidit à 205°C.

Le catalyseur PF est reçu et stocké dans des bidons métalliques. Au moment d'être active, il est envoyé par l'educteur, qui fonctionne avec de l'air, au réservoir de charge de catalyseur à l'activateur, d'où il est déchargé par gravité dans l'activateur du catalyseur, une fois que les conditions appropriées de pression, température et débit d'air dans celui-ci ont été atteintes.

Une fois le catalyseur activé, il se décharge par gravité dans la trémie de décharge de catalyseur (TOT BIN). Cette dernière est déplacée à la zone d'addition du catalyseur au réacteur [8].

Séquence d'activation

L'activation du catalyseur est une séquence programmée et contrôlée depuis le DCS. Pour chaque combinaison (type de catalyseur / polymère qu'on souhaite produire), les variables sont :

1. La température finale d'activation,
2. Le temps d'activation,
3. La vitesse de fluidisation.

Les étapes d'activation sont :

1. Réchauffement,
2. Maintien de la température d'activation,
3. Refroidissement.

e) Les utilités :

1. Eau dessalée.
2. Eau anti-incendie.
3. Eau potable.
4. Détente de gaz.
5. Air (air process, air instrument, air d'activation).

L'air process (PA) est l'air qui passe par un filtre ensuite comprime dans un compresseur à vis de 2 étages jusqu'à 8 kg /cm² avec un refroidissement entre étages puis stocke dans un ballon.

L'air instrument (IA) est obtenu par le passage de l'air process à travers 2 filtres dont le diamètre des pores est > 5 μ, ensuite sèche jusqu'à un taux d'humidité de 1 ppm dans 2 sécheurs (avec une quantité de 1870 kg alumine active, un en service et l'autre en régénération) puis passe dans des filtres de Φ > 1 μ.

L'air d'activation (AA) est obtenu par le passage de l'air instrument par un filtre dont le Φ > 1 μ ensuite il subit un séchage (une quantité de 190 Kg d'alumine active) puis filtre dans un autre filtre > 1 μ avec un débit de 54 Nm³/h.

6. Vapeur

La vapeur utilisée au niveau du complexe est assurée par le service utilités du complexe CP1K (la chaudière mis en place au niveau du CP2K est hors service).

7. Azote

2.2.2. Zone humide (réaction)

- ✓ Traitement des matières premières,
- ✓ Réaction,
- ✓ Purification et récupération du solvant.

2.2.3. Zone sèche

- ✓ Extrudeuse,
- ✓ Stockage du PEHD (poudre et granule),
- ✓ Ensachage.

2.2.4. Zone bâtiment

- ✓ Bloc ADM et finance,
- ✓ Cantine et vestiaires,
- ✓ Bloc sécurité infirmerie,

- ✓ Sous stations haute et basse tension,
- ✓ Salle de contrôle process et laboratoire.

2.3. Description du procédé Phillips

Le procédé Phillips, connu sous le nom de PF process ou procédé de particules, suivant lequel est conçu le complexe POLYMED, utilise un catalyseur à base de chrome et exige une grande pureté des matières premières et ne tolère que des quantités infimes de poisons pouvant empêcher l'activité du catalyseur ou altérer la qualité du produit obtenu.

Les charges utilisées

- ✓ L'éthylène en phase gazeuse, qui est la charge principale,
- ✓ l'isobutane en phase liquide, c'est le milieu réactionnel,
- ✓ L'hexène en phase liquide et hydrogène en phase gazeuse avec de faibles quantités,
- ✓ Le catalyseur : l'oxyde de chrome (Cr_2O_3) supporté sur silice.

Les conditions opératoires de la réaction de polymérisation

Les deux conditions essentielles dans le réacteur sont :

- ✓ La température (T) : varie de 93 à 110°C, selon le grade à produire,
- ✓ La pression (P) : de 42 à 44 bars.

Le schéma global du procédé Phillips est donné par la figure ci-dessous.

2.4. Description du procédé de production du PEHD

2.4.1. Traitement des matières premières

2.4.1.1. Ethylène

L'éthylène est le principal réactif du procédé, il devrait être traité pour éliminer certains composés considérés comme des poisons pour le catalyseur, avant d'être utilisé dans le processus de production.

Ce procédé d'élimination est réalisé moyennant des traiteurs (traiteur d'acétylène ; oxygène ; monoxyde de carbone ; dioxyde de carbone et l'eau) [9].

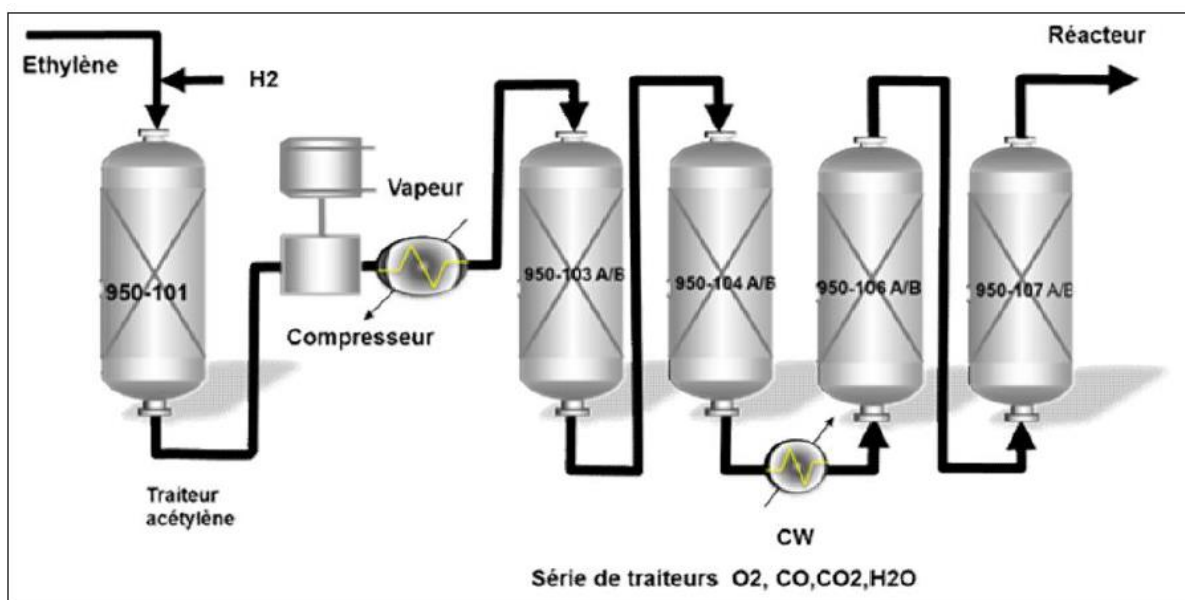


Figure2.3 : Traitement de l'éthylène.

2.4.1.2. Hexène

L'hexène est soumis à un processus d'élimination de l'eau et du gaz absorbés dans le courant. Pour cela, il est traité dans une colonne de dégazage puis il est séché dans le traiteur d'élimination de l'eau, qui fonctionne par l'adsorption de celle-ci dans les tamis moléculaires [9].

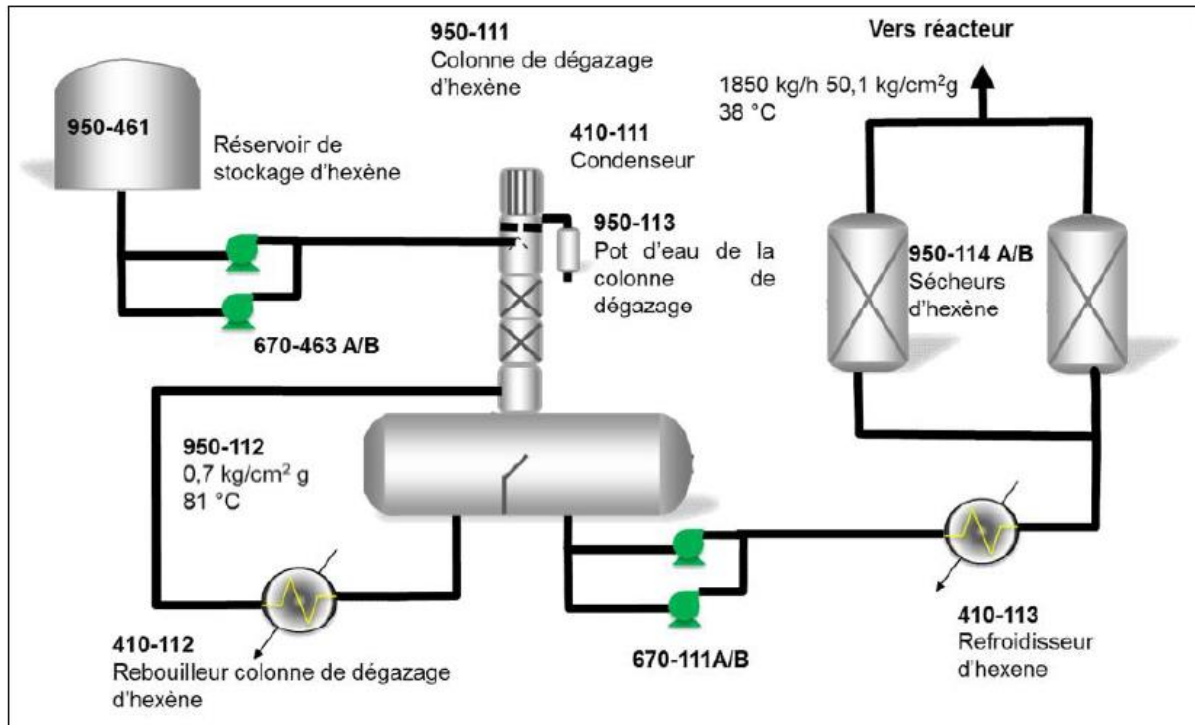


Figure2.4: Traitement de l'hexène.

2.4.1.3. Isobutane

Il existe deux types d'isobutane : l'isobutane frais et l'isobutane de recyclage.

- L'isobutane frais

L'isobutane frais est soumis à un processus d'élimination de l'eau et des gaz absorbent dans une colonne de dégazage, puis il sèche dans le traiteur d'élimination de l'eau, qui fonctionne par adsorption à l'aide de tamis moléculaires.

- **L'isobutane de recyclage** est l'essentiel de l'isobutane utilise dans l'unité car il est récupéré dans presque sa totalité. Il est pompe du réservoir de stockage vers les sècheurs d'isobutane de recyclage [9].

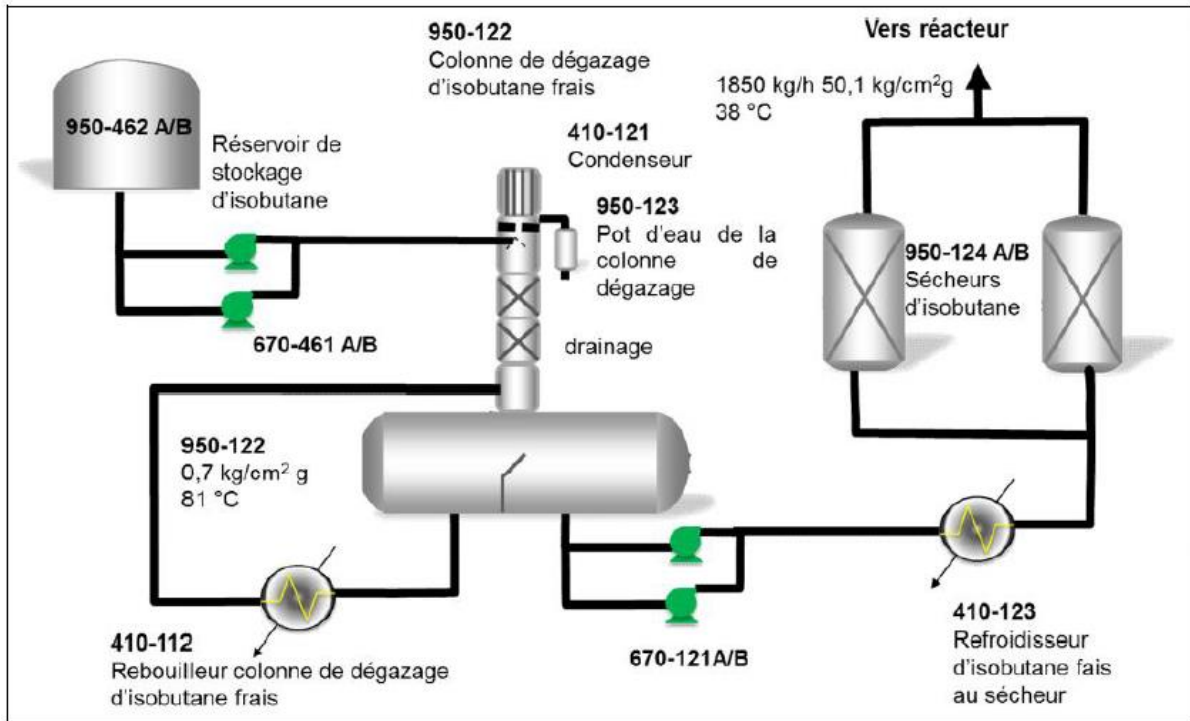


Figure2.5: Traitement de l'isobutane.

2.4.1.4. Hydrogène

L'hydrogène avant d'être incorporé au processus de production doit être soumis au séchage dans des sécheurs. A la sortie des sécheurs l'hydrogène passe à travers un filtre.

2.4.2. Purification et récupération du solvant

Le mélange décharge du réacteur par l'intermédiaire des vannes de décharge de produit, PTO, réduit sa pression de 42,2 kg/cm², pression normale d'opération dans le réacteur, à 0,37 kg/cm², pression normale d'opération dans la chambre de flash. Il est transporté du réacteur jusqu'à la chambre de flash au moyen des lignes de flash. Dans celles-ci, le mélange est réchauffé par de l'eau chaude. Les vapeurs d'hydrocarbure sortent par la tête de la chambre de flash et se dirigent vers le système de purification et de récupération du solvant du gaz de recyclage. Le polymère se décharge par gravité à partir du fond de la chambre de flash vers la colonne de purge.

L'hydrocarbure présent dans les pores de polymère, est éliminé dans la colonne de purge. A la base de celle-ci, on injecte de l'azote pour séparer les traces d'hydrocarbure.

Le polymère déjà sec se décharge par le fond de celle-ci vers les silos de poudre au moyen de transport pneumatique. La vapeur du gaz de purge, qui sort par la tête de la colonne (de purge), est envoyée au système de récupération de gaz de purge, à travers le filtre à manches de la colonne, pour séparer l'isobutane et l'azote présents dans le courant.

Un dispositif de secours est prévu pour le réacteur et la chambre de flash alternative. En cas de feu, de défaillance de la pompe du réacteur, d'obstructions dans les lignes entre les pattes de décantation du réacteur et la chambre de flash, le contenu du réacteur est envoyé vers la chambre de flash alternative.

Le gaz de flash provenant de la tête de la chambre de flash ou de la chambre de flash alternative va être soumis à un système d'élimination de solides et de purification et récupération du solvant. Pour cela, le gaz de flash, après avoir traversé le cyclone de fines de la chambre de flash, est envoyé au filtre à manches de la chambre de flash et au filtre de garde de gaz de recyclage, pour récupérer les solides qu'entraîne le courant.

Une fois les solides récupérés, le gaz est envoyé vers un système de purification du gaz à travers le compresseur de gaz de recyclage. Après la compression, le courant entre dans la colonne d'isobutane de recyclage pour séparer l'isobutane des composants comme l'éthylène, l'hexène, l'hexane et autres matières lourdes qu'il comporte. Le produit d'extraction latérale de la colonne est de l'isobutane de recyclage récupéré qui est envoyé au stockage. Le courant du fond de la colonne d'isobutane de recyclage est envoyé à la colonne deshexaniseuse d'où l'hexène/hexane récupéré par le fond de cette dernière, est envoyé à la torche (actuellement le courant du fond de la colonne de l'isobutane est envoyé directement vers torche) [10].

2.4.3. Extrusion et ensachage du PEHD

Le produit est transporté sous forme de poudre à partir de la décharge de la colonne de purge jusqu'aux silos de stockage ou au réservoir d'alimentation de l'extrudeuse. Cela s'effectue au moyen d'un système de transport pneumatique en circuit ferme d'azote, à pression positive.

Le polyéthylène sous forme de poudre, après l'ajout d'additifs spécifiques pour chaque grade, est soumis dans l'extrudeuse à un procédé de finition qui consiste essentiellement à lui donner la forme finale pour la vente du produit. Dans cette installation d'extrusion s'effectue la fusion et granulation de polymère ajouté. La température de fusion du produit, obtenue par

réchauffement électrique, est de l'ordre de 250-275°C. La granulation se réalise en circuit fermé d'eau sous pression.

Le polyéthylène produit est pneumatiquement transporté vers les silos mélangeurs pour leur homogénéisation, sous pression positive. A partir de là, il peut être transféré vers les silos de chargement de camions, vers les silos de stockage ou vers les silos d'alimentation aux lignes d'ensachage et palettisation [9].

2.4.4. Réacteur de polymérisation

Le réacteur 950-155 est une tuyauterie de diamètre interne de 560 mm en forme de boucle, composé de quatre tronçons verticaux, unis par des tronçons horizontaux. Les tronçons verticaux disposent de chemises calorifugées pour la réfrigération. Celles-ci, de 760 mm de diamètre extérieur, ont des conditions de design qui sont une pression de 15 kg/cm²g et une température de 142°C.

Le réacteur, d'une capacité de 78,3 m³ et d'une longueur de 304 m, construit en acier au carbone, possède des conditions de design de 56,3 kg/cm² et 142°C pour la pression et la température respectivement.

Pendant le fonctionnement, les conditions opératoires sont de 42,2 kg/cm² et de 85 à 110°C.

Le réacteur dispose de six pattes de décantation, 950-160 A/B/C/D/E/F, de tuyauteries longues de 2210 mm et de diamètre extérieur de 27,3 mm, qui partent d'un des tronçons horizontaux du réacteur 950-155. La fonction de la patte de décantation est de concentrer le polymère solide contenu dans le mélange polyéthylène-isobutane par décantation, avant que le produit soit déchargé dans la chambre de flash 950-16 [9].

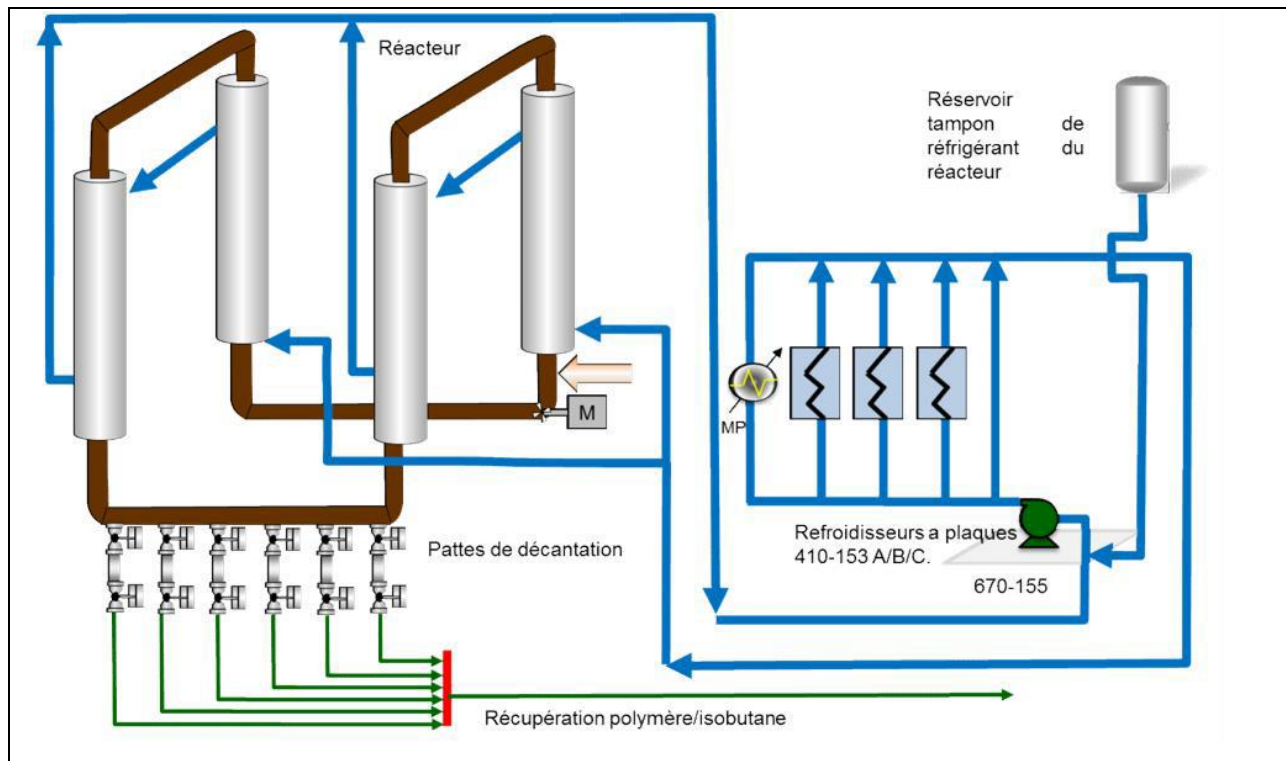


Figure 2.6 : Réacteur.

2.4.4.1. Alimentation du réacteur

Par la ligne principale d'alimentation au réacteur IB-1030-6C1 arrivent, l'isobutane de recyclage, l'hydrogène, l'hexène-1 et l'éthylène, au réacteur 950-155. L'hexène et l'isobutane de recyclage sont mélangés dans le mélangeur statique d'isobutane/hexène, 340-121. L'hydrogène se mélange avec l'éthylène et s'additionne au courant d'isobutane de recyclage/hexène, la sortie du mélangeur. L'alimentation au réacteur des différents courants s'ajuste en fonction de certaines variables.

2.4.4.1.1 Alimentation en éthylène

L'éthylène est le principal réactif du procédé (le monomère). Les homopolymères contiennent uniquement de l'éthylène polymérisé dans le réacteur, tandis que les copolymères ont de petites quantités de comonomères, ajoutés à l'éthylène.

Au début, l'éthylène était reçu dans l'unité moyennant une tuyauterie provenant de CP1K à 16,9 kg/cm²g et à température ambiante. Depuis la mise en arrêt du CP1K l'éthylène utilisé est importé.

Le débit d'éthylène au réacteur est contrôlé par l'indicateur du contrôleur d'éthylène, FIC-14072 avec indication sur DCS et alarme de faible débit. Le contrôleur reçoit le point de consigne de l'indicateur du contrôleur AIC-13015A en fonction de la concentration d'éthylène dans le gaz de flash et donc dans le mélange du réacteur.

2.4.4.1.2 Alimentation en hexène

L'hexène est un comonomère qui est ajoutée au réacteur pour produire des copolymères. Le débit d'hexène ajoutée est une variable importante pour maintenir la densité du polymère dans des limites spécifiées ainsi que la flexibilité, la cristallisation et la résistance à la rupture.

Il est aussi utilisé pour diluer le produit en tant qu'antistatique, dans le Pot d'addition d'antistatique 950-151.

Le débit d'hexène au réacteur est contrôlé par l'indicateur du contrôleur de flux, FIC-14071 avec indication sur DCS et alarme de faible débit. L'hexène alimentée est comptabilisée sur DCS par le FQI-14071.

2.4.4.1.3 Alimentation en hydrogène

L'hydrogène s'ajoute au réacteur pour contrôler l'indice de Fluidité (Melt Index) du polymère. Celui-ci est en fonction de la longueur de la chaîne de la molécule ; il augmente au fur et à mesure que le poids moléculaire de celle-ci diminue. Une haute concentration d'hydrogène augmente le flux et l'indice de fluidité du polymère.

Le débit d'hydrogène au réacteur est contrôlé par l'indicateur du contrôleur de flux, FIC-14073, avec indication sur DCS et alarme de faible débit. L'hydrogène alimentée est comptabilisée sur DCS par le FQI-14073.

2.4.4.1.4. Alimentation en isobutane frais

L'isobutane frais (IBF) est utilisé dans les systèmes d'addition de catalyseurs PF, dans le système d'addition de co-catalyseurs, dans le dépôt de chargement de scavenger et dans pompe du réacteur. Il est utilisé comme matériau de nettoyage afin d'éviter d'éventuels bouchons de polymère pouvant boucher les orifices et les lignes de petit diamètre.

2.4.4.1.5. Alimentation en isobutane de recyclage

L'isobutane de recyclage (IBR) est utilisé tant que le milieu réactionnel dont il ne participe pas dans la réaction (diluante). Il transfère la chaleur de la réaction vers les chemises du réacteur. Il est aussi utilisé comme un agent de nettoyage.

Le débit d'isobutane de recyclage est contrôlé par l'indicateur du contrôleur de flux FIC-14070, avec indication sur DCS et alarme de faible débit. L'isobutane de recyclage est comptabilisé sur DCS par le FQI-14070. Ce contrôleur reçoit le point de consigne de l'indicateur du contrôleur de pourcentage en poids de solides dans le réacteur NIC-13584.

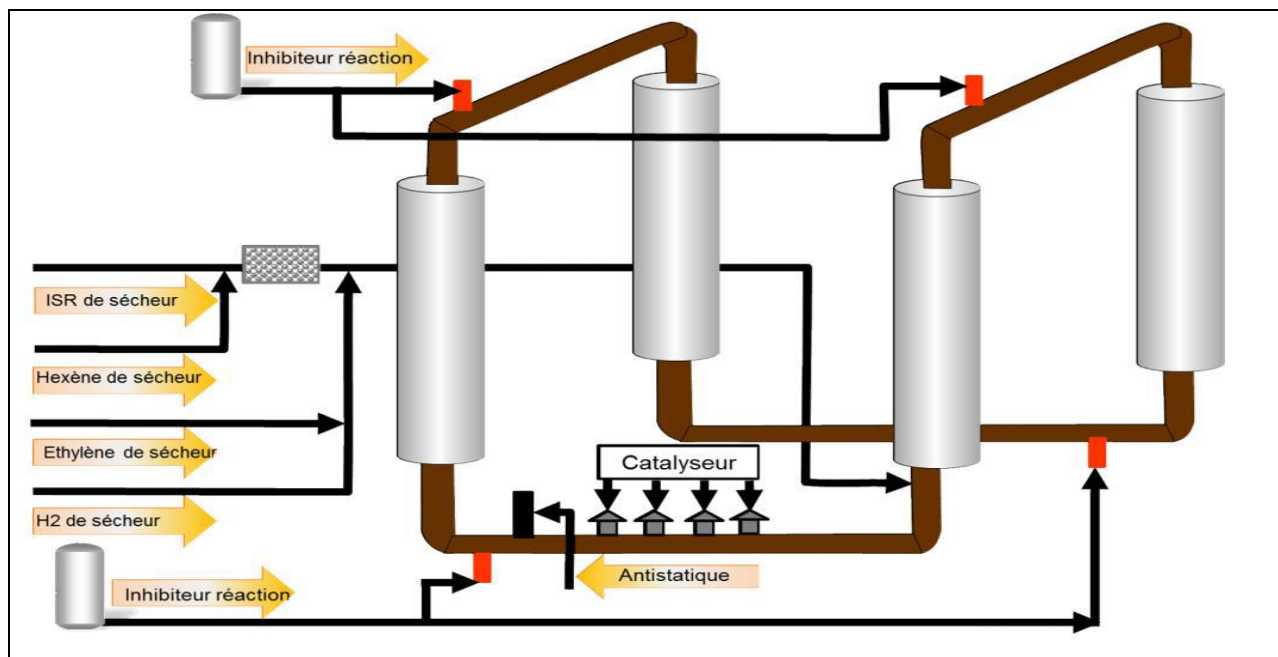


Figure 2.7 : Alimentation réacteur.

2.4.4.1.6. Alimentation de catalyseur [8]

2.4.4.1.6.1. Système d'addition de catalyseur

Le réacteur est équipé d'un Système d'addition de catalyseur PF pour obtenir une bonne productivité du catalyseur PF, il faut additionner au réacteur un co-catalyseur de TEA (tri-éthyl-d'aluminium) dans une solution de n-hexane à 1,5 % en poids de TEA. Le catalyseur PF est ajouté au réacteur sous forme d'une solution de catalyseur dans de l'isobutane frais (boue de catalyseur). Le catalyseur à base de chrome (PF), déjà activé, est transféré comme poudre sèche depuis les trémies de décharge de catalyseur (TOTEVIN) à 3 bars avec un débit d'azote de 75-80 kg/h (dans des tuyaux flexibles) dans le cyclone de catalyseur PF.

A partir de ces derniers le catalyseur tombe par le fond au Dépôt du catalyseur PF, appelés MUD POT ou il est mélangé avec de l'isobutane frais qui arrive par le fond du dépôt.

Le temps de transfert doit être ≥ 30 min pour éviter l'évacuation du catalyseur vers la torche.

Le gaz sortant par la tête des cyclones se dirige vers le filtre du catalyseur PF. L'usine dispose de quatre dépôts de catalyseur avec leurs cyclones correspondants situés sur leur dessus. Chaque dépôt est protégé par une soupape de sécurité, tarée à 77 kg/cm²g.

2.4.4.1.6.2. Isobutane frais à la zone d'addition de catalyseur P.F

L'isobutane frais alimente le système d'addition de catalyseurs au réacteur par deux lignes d'isobutane frais, qui le conduisent à la zone des dépôts de catalyseur PF.

- La 1^{ère} ligne est surtout utilisée pour remplir d'isobutane frais les dépôts de catalyseur à 52 kg/cm².

Une fois que ceux-ci ont été chargés d'un nouveau lot de catalyseur P.F. active.

- La 2^{ème} ligne d'isobutane frais vers la zone de dépôt des catalyseurs, est utilisée pour la pressurisation des dépôts de catalyseur pendant l'addition du catalyseur PF au réacteur.

L'isobutane frais est utilisé pour le nettoyage et l'entraînement du catalyseur en amont des alimentateurs de catalyseur PF. Dans cette zone, il est déconseillé d'utiliser de l'isobutane de recyclage à cause de la présence d'oléfinés dans celui-ci, lesquelles pourraient réagir.

Pour la zone en aval des alimentateurs il a été prévu de l'isobutane de recyclage pour le nettoyage et l'entraînement du catalyseur. Cependant, l'isobutane frais est aussi disponible pour une fourniture de secours dans cette zone, dans le cas où les conditions d'opération l'exigeraient.

2.4.4.1.6.3. Dépôt du Catalyseur P.F

Une fois la charge de catalyseur terminée, l'isobutane frais s'alimente par le fond du dépôt de catalyseur PF. De cette manière, est formé un mélange ou solution d'isobutane et catalyseur qui s'additionne au réacteur. L'alimentation au réacteur se réalise au moyen des alimentateurs de catalyseur PF.

Après avoir transféré tout le catalyseur contenu dans un des dépôts au réacteur, le dépôt vide est isolé du système et un nouveau dépôt, plein de mélange de catalyseur entre en opération.

Avant de recharger un dépôt vide quelconque avec une nouvelle charge de catalyseur, celui-ci doit être drainé, dépressurisé et purgé avec de l'azote.

Les alarmes sur les lignes d'alimentation des dépôts aux alimentateurs, sont utilisées pour déterminer quand le dépôt correspondant est vide. L'isobutane liquide qui reste dans le dépôt est drainé par le fond à la trémie collectrice de catalyseur.

Quand il sera détecté, au moyen du regard existant sur la ligne de drainage, que tout l'isobutane liquide du dépôt de catalyseur a été drainé, on fermera la ligne et le dépôt en question sera éventé à la torche. Cet évent à la torche se réalise à travers le filtre du catalyseur PF.

Quand le dépôt en train d'être déchargé est presque vide, un second dépôt avec le même type de catalyseur doit être mis en service.

L'alimentation au réacteur moyennant les alimentateurs correspondants sera réalisée de sorte que le dépôt qui vient d'entrer en opération apporte 80 % du total requis dans le réacteur et le dépôt presque vide apporte les 20 % restants.

La vitesse d'addition de catalyseur au réacteur est contrôlée en ajustant le nombre de fois que l'alimentateur se décharge. La vitesse de décharge est donnée par l'opérateur, par voie de DCS.

La vitesse maximum d'alimentation par l'alimentateur est de 10 décharges par minute.

2.4.4.1.7. Introduction d'antistatique et scavenger

2.4.4.1.7.1. Addition d'antistatique (ASA)

L'antistatique pour la réaction, utilise pour diminuer la friction du mélange avec les parois du réacteur, s'ajoute dans le Pot d'addition d'antistatique.

Le remplissage du dépôt avec de l'antistatique se réalise par une connexion de tête prévu dans ce but. Une fois le dépôt chargé, on additionne aussi par la tête l'hexène frais, pour dilution de l'antistatique, jusqu'à une concentration de 95 % en poids d'hexène. Une fois le mélange antistatique/hexène est homogénéisé (95% hexène ,5% ASA) il s'écoule par pressurisation moyennant de l'azote à haute pression au dépôt d'alimentation d'antistatique au réacteur à partir duquel il sera alimenté au réacteur à travers le filtre d'antistatique au réacteur [9].

2.4.4.1.7.2. Addition de scavenger au réacteur DEZ

Le scavenger (diethylzinc) reçu dans des bidons métalliques, alimente le réacteur depuis le dépôt de chargement de scavenger. Il est utilisé pour diminuer certains poisons lors de la mise en marche du réacteur.

L'opération de remplissage du dépôt de chargement de scavenger, se réalise manuellement depuis le site, moyennant pressurisation du produit contenu dans le bidon, avec de l'azote de basse pression. L'alimentation d'azote et la sortie du produit sont réalisées par des tuyaux flexibles qui se connectent au bidon et disposés à cet effet. Ceux-ci devront être purgés avec de l'azote, pour déplacer l'air présent, du au caractère pyrophorique du produit utilisé comme scavenger.

2.4.5. Système d'inhibition de la réaction (Kill System)

Le système d'inhibition de la réaction fournit à tout moment pour tuer la réaction de polymérisation dans le réacteur. Le système d'inhibition peut être active manuellement (localement ou depuis le panneau) ou automatiquement.

Le système d'inhibition de la réaction est composé de deux dépôts, 950-150 A/B, qui contiennent les agents inhibiteurs, le méthanol et l'eau (actuellement on utilise juste l'eau).

Une fois le système d'inhibition activé, celui-ci injecte l'agent inhibiteur dans le réacteur, moyennant pressurisation avec de l'azote à haute pression. L'un des dépôts alimente l'inhibiteur a

la partie supérieure du réacteur et le second dépôt le fournit à la partie inférieure de celui-ci (chaque dépôt a une capacité de 4L)

Les lignes d'addition d'agent inhibiteur parviennent à une bonne distribution de ce dernier en l'injectant à quatre points différents du réacteur. Le flux, a chacun de ces points, est contrôlé par les orifices de restriction FO-14225, FO-14224 pour la partie supérieure et FO-14227, FO-14226 pour la partie inférieure [9].

2.3.6. Système de refroidissement du réacteur (coolant system)

La réaction de polymérisation du réacteur est exothermique ; elle libère 800 kcal /1kg de polyéthylène formé. Cette chaleur de formation du polyéthylène doit être éliminée du réacteur pour contrôler la température de celui-ci.

S'il n'y a pas de réaction, il faut ajouter de la chaleur pour maintenir le contrôle de la température du réacteur.

✓ Réfrigération du Réacteur

Le système de réfrigération du réacteur est un circuit fermé d'eau traitée, d'eau adoucie avec des additifs chimiques.

Cette eau traitée se divise en deux courants d'à peu près le même débit, mesures et indiqués sur DCS. Chacun des courants passe en série à travers des chemises des deux pattes du réacteur. Les deux courants s'écoulent en parallèle et se recombinent à la sortie de leurs secondes pattes correspondantes, revenant à la sortie du réservoir de réfrigérant du réacteur.

✓ Circuit du Réfrigérant

Le réfrigérant, à la sortie du réacteur, revient de nouveau vers celui-ci au moyen de la pompe de réfrigération du réacteur. A la sortie de la pompe, le réfrigérant passe à travers un refroidisseur (trois échangeurs à plaques identiques) 410-153 A/B/C ou un réchauffeur 410-154 (à la mise en marche de l'Usine) ou par la ligne de by-pass en parallèle aux deux.

Chapitre 3

Introduction aux réseaux de neurones artificiels

Chapitre 3 : Introduction aux réseaux de neurones artificiels

3.1. Introduction

3.1.1. Qu'est-ce qu'un réseau de neurones artificiels ?

Un réseau de neurones artificiels est un système basé sur le fonctionnement du réseau de neurones biologiques, en d'autres termes, est une émulation du système neuronal biologique.

Un réseau de neurones est une fonction paramétrée qui est la composition d'opérateurs mathématiques simples appelés neurones formels (ou plus simplement neurones) pour les distinguer des neurones biologiques

3.1.2. Mais Pourquoi serait-il nécessaire la mise en œuvre de réseaux de neurones artificiels ?

Les réseaux de neurones ont d'abord été développés pour résoudre des problèmes de contrôle, de reconnaissance de formes ou de mots, de décision, de mémorisation comme une alternative à l'intelligence artificielle [11].

Dans ce chapitre, nous présentons les définitions relatives aux neurones et les différentes architectures de réseaux de neurones.

3.2. Historique

Le premier modèle de neurone est dû à deux biologistes Américains, Warren Mc.Culloch et Walter Pitts [12] qui supposèrent que l'impulsion nerveuse était le résultat d'un calcul simple effectué par chaque neurone et grâce à l'effet collectif d'un réseau de neurones interconnectés qu'est nait l'idée.

Au même moment Donald Hebb proposait une hypothèse qui associait l'activité des neurones à l'efficacité des synapses qui les relie [13].

Les travaux sur les réseaux de neurones formels ont connu des débuts promoteurs vers la fin des années 50, mais un certain manque d'approfondissement de la théorie, et le mouvement concurrent de l'intelligence artificielle, ont conduit à une période de relative inactivité sur le connexionnisme. Assez peu d'articles furent publiés entre 70 et 80 en raison de faible quantité de chercheurs intéressés.

Depuis les débuts de années 80, le connexionnisme connaît un regain d'activité qui est dû à plusieurs facteurs dont :

- La découverte de modèle neuromimétique capable de dépasser les limites du perceptron, de l'Adaline et de la machine de Boltzman.
- Le développement extraordinaire des moyens de l'informatique.

Aujourd'hui le réseau de neurones fait l'objectif principal d'étude et outils applicatifs, il joue un rôle très important dans la recherche et dans l'industrie.

3.3. Neurone biologique [13] [14]

Le neurone est l'élément de base du système nerveux qui possède à peu près 100 à 1000 milliards de neurones. C'est une cellule constituée de trois parties (figure 3.1).

- Le corps cellulaire,
- Les dendrites,
- L'axone.

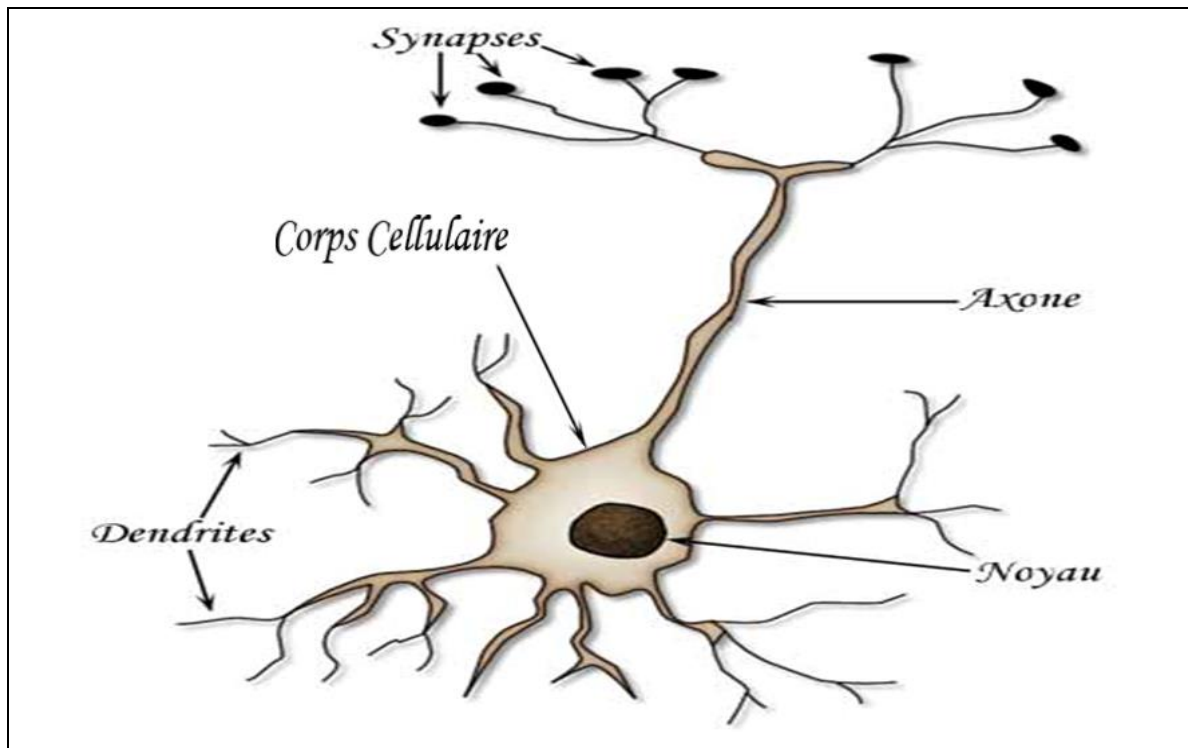


Figure 3.1 : Structure d'un neurone biologique [15].

3.3.1. Le corps cellulaire

On l'appelle aussi soma. Il fait quelques microns de diamètres, contient le noyau de neurone et de forme pyramidale ou sphérique.

3.3.2. Les dendrites

Ce sont des fines extensions tubulaires de quelques dizaines de microns de longueurs et de quelques dixièmes de microns de diamètre. Leurs rôle est de recevoir les signaux.

3.3.3. L'axone

C'est la fibre nerveuse, son diamètre est de l'ordre de quelques millièmes de millimètre. C'est un moyen de transport pour les signaux émis par les neurones.

Le neurone reçoit des signaux des neurones voisins et les intègre en engendrant un influx nerveux. L'influx nerveux est une impulsion électrique, les signaux dendritiques et somatiques sont des variations de potentiel électrique.

La transmission entre deux neurones se fait à l'aide d'un médiateur chimique appelé neurotransmetteur.

Le soma recueille l'ensemble des informations reçues par les dendrites et fait leurs sommes. Si le potentiel somatique dépasse un certain seuil, il y'a émission d'un potentiel d'action. Ce signal très bref (1ms) est transmis le long de l'axone sans atténuation, et réparti sur les synapses des neurones cibles grâce à l'arborisation terminale.

En général le système nerveux est formé par des neurones qui sont connectés les uns aux autres suivant des répartitions spatiales complexes. Les connexions entre deux neurones se font en des endroits appelées synapses.

3.4. Neurone mathématique (formel)

Nous venons de voir que les neurones ont un fonctionnement assez simple et facilement applicable en mathématiques : il faut faire une sommation des informations qui lui ont fournies, puis appliquer un seuil à cette somme.

Pour schématiser cela, on admettra que les **entrées** (les informations que le neurone reçoit) ne peuvent valoir que 0 ou 1. Cela correspond aux signaux électriques fournis par les neurones voisins.

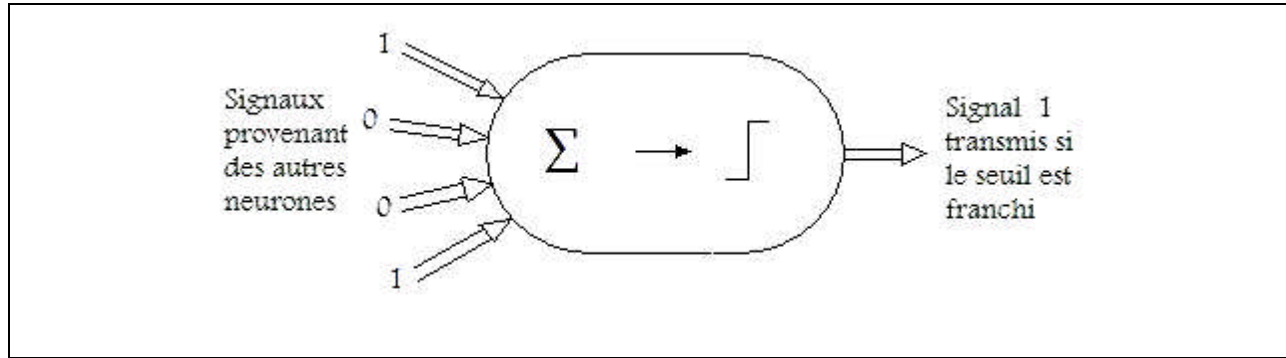


Figure 3.2 : Principe de fonctionnement d'un neurone formel [16].

Pour expliciter le principe de fonctionnement illustré ci-haut, soit donc un neurone formel. Il reçoit des neurones en amont un certain nombre de valeurs via ses connexions synaptiques, et il produit une certaine valeur en utilisant une fonction de combinaison. Cette fonction peut donc être formalisée comme étant une fonction vecteur à scalaire dont le mode de calcul varie selon l'architecture du réseau :

- ✓ Les réseaux de type MLP (Multi-Layer Perceptron) calculent une combinaison linéaire des entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie le produit scalaire entre le vecteur des entrées et le vecteur des poids synaptiques.
- ✓ Les réseaux de type RBF (Radial Basis Function) calculent la distance entre les entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie la norme euclidienne du vecteur issu de la différence vectorielle entre les vecteurs d'entrées.

Une fois la combinaison des entrées faite, la fonction d'activation (ou fonction de seuillage, ou encore fonction de transfert) sert à introduire une non linéarité dans le fonctionnement du neurone.

Les fonctions de seuillage présentent généralement trois intervalles :

- en dessous du seuil, le neurone est non actif (souvent dans ce cas, sa sortie vaut 0 ou -1).
- aux alentours du seuil, une phase de transition.
- au-dessus du seuil, le neurone est actif (souvent dans ce cas, sa sortie vaut 1).

Des exemples classiques de fonctions d'activation sont :

- La fonction exponentielle.
- La fonction tangente hyperbolique (sigmoïde).
- La fonction de Heaviside.

Dans un modèle simple, la fonction neuronale est simplement une fonction de seuillage : elle vaut 1 si la somme pondérée dépasse un certain seuil ; 0 sinon. Dans un modèle plus riche, le neurone fonctionne avec des nombres réels (souvent compris dans l'intervalle [0,1] ou [-1,1]).

En réalité, les signaux utilisés ne sont pas exactement binaires (0 ou 1) : on assouplit la définition précédente en autorisant que ces signaux soient des nombres réels. De plus, la fonction seuil n'est pas aussi abrupte. On utilise plutôt une sigmoïde qui a une pente plus douce.

En résumé, un neurone formel est donc une fonction algébrique non linéaire, paramétrée, à valeurs bornées. Les paramètres de cette fonction f sont attachés aux entrées du neurone : la sortie du neurone est une fonction non linéaire d'une combinaison des entrées $\{x_i\}$ pondérées par les paramètres $\{w_j\}$, qui sont alors souvent désignés sous le nom de poids ou de poids synaptiques en raison de l'inspiration biologique des réseaux de neurones. Conformément à l'usage (également inspiré de la biologie), cette combinaison linéaire sera appelée potentiel.

Ce potentiel V le plus fréquemment utilisé est la somme pondérée, à laquelle s'ajoute un terme constant dit biais :

$$V_i = \sum w_j * x_i + b_j$$

La fonction f représentant la sortie du neurone serait donc l'image du potentiel par l'une des fonctions d'activation ; la fonction sigmoïde (ou tangente hyperbolique) étant la plus utilisée, nous aurons l'expression suivante pour la sortie du réseau :

$$Y = \text{th}(V)$$

La figure suivante montre la structure d'un neurone artificiel

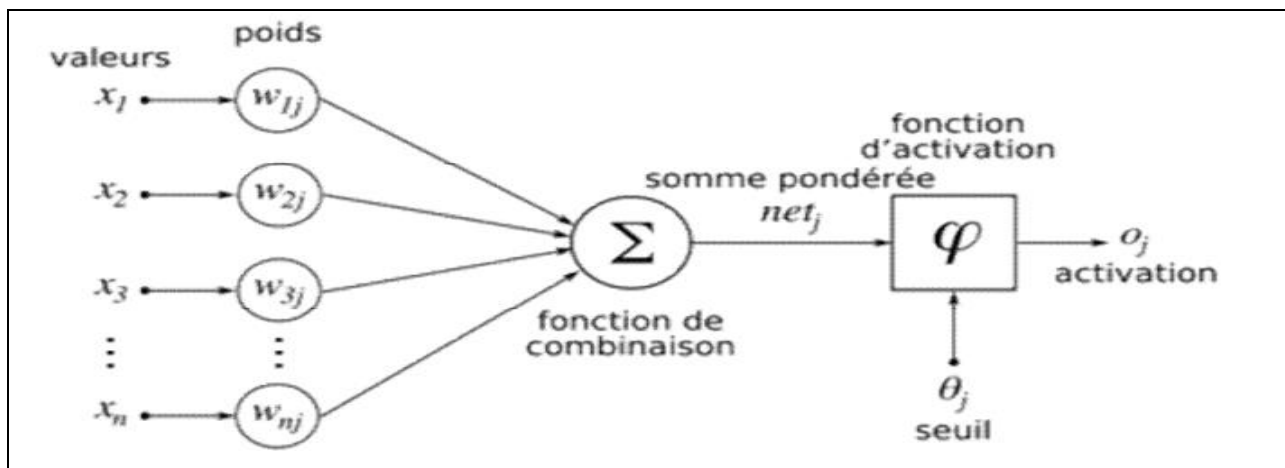


Figure 3.3 : Structure d'un neurone artificiel [16].

Voilà ce qu'est un neurone en mathématiques. Il faut maintenant en assembler plusieurs pour construire un réseau.

Le tableau suivant montre l'analogie entre le neurone biologique et le neurone formel.

Tableau 3.1 : Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel.

Neurone Biologique	Neurone Formel
Synapses	Poids de connexions
Dendrites	Connexions d'autres neurones vers le neurone k
Axone	Connexions du neurone k vers d'autres neurones du réseau
Noyau	Fonction d'activation

3.5. Structure d'un réseau neuronal artificiel

Un réseau de neurones artificiels est un ensemble de neurones appartenant à des couches différentes reliés entre eux à partir des connexions représentées par des poids. Ce réseau est chargé de recevoir des signaux d'entrée et de fournir un signal de sortie en fonction de ces signaux. La structure des connexions entre ces différents neurones détermine la topologie du réseau. Nous distinguons plusieurs topologies:

- Réseau neuronal multicouche de type feedforward.
- Réseau récurrent (réseau bouclé).
- Réseau cellulaire.

La figure suivante montre les structures des différents réseaux neuronaux.

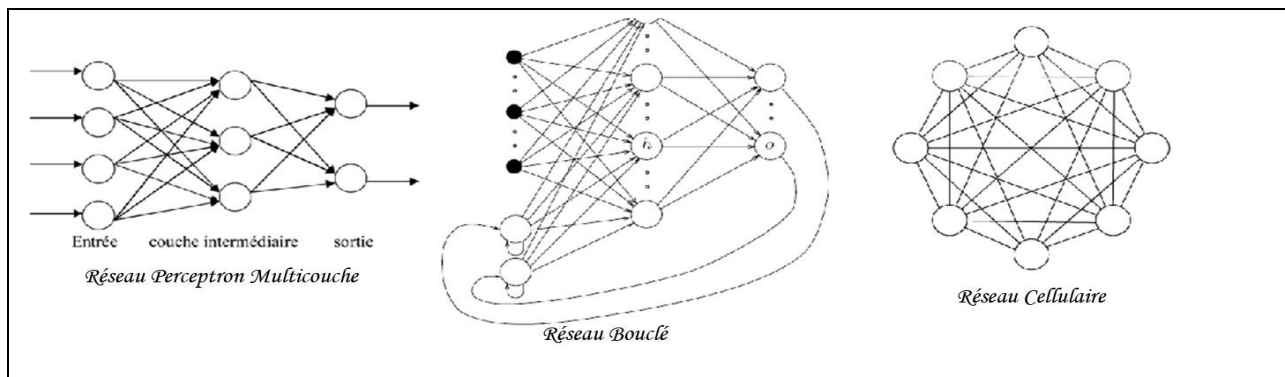


Figure 3.4 : Structures des différents réseaux neuronaux [15].

Donc il existe deux types d'architectures de réseaux de neurones :

- les réseaux non bouclés (ou statiques)
- les réseaux bouclés (ou dynamiques).

Les réseaux de neurones bouclés sont utilisés pour la modélisation dynamique de processus non linéaires et pour leur commande. Notre travail ne se situe pas dans ce domaine ; je ne présenterai donc que la famille des réseaux de neurones non bouclés.

Un réseau de neurones non bouclé réalise une (ou plusieurs) fonctions algébriques de ses entrées par composition des fonctions réalisées par chacun de ses neurones.

Dans un tel réseau, le flux de l'information circule des entrées vers les sorties sans "retour en arrière". Ainsi, si l'on représente le réseau comme un graphe dont les nœuds sont les neurones et les arêtes sont les connexions entre ceux-ci, le graphe d'un réseau non bouclé est acyclique.

Tout neurone dont la sortie est une sortie du réseau est appelé "neurone de sortie". Les autres, qui effectuent des calculs intermédiaires, sont des "neurones cachés".

Le réseau de neurones utilisé dans notre projet est le réseau multicouche de type feedforward.

3.6. Réseau multicouche (multilayer perceptron MLP)

La figure suivante montre la structure d'un réseau multicouche.

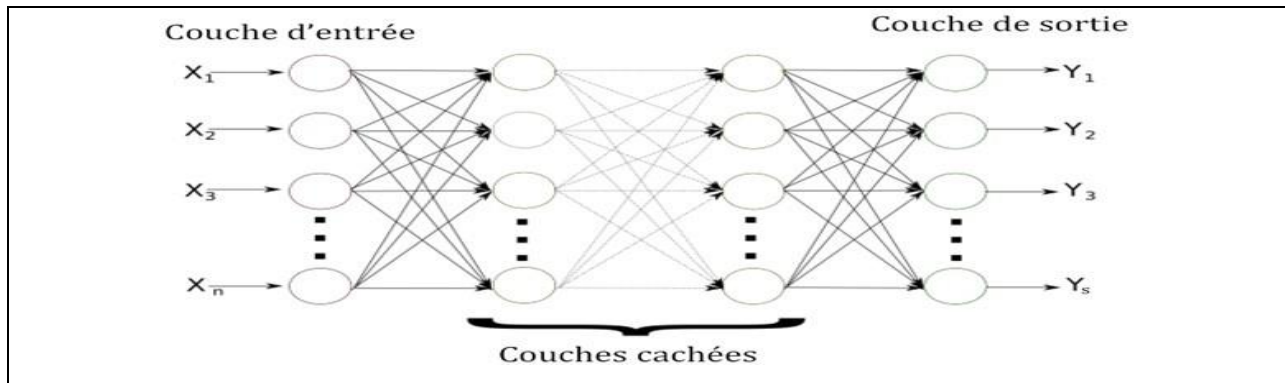


Figure 3.5 : Structure d'un réseau MLP [15].

Un réseau MLP (figure 3.5) est formé de plusieurs couches : d'une couche d'entrée, d'une ou plusieurs couches cachées ou intermédiaires et d'une couche de sortie. Deux couches successives sont complètement connectées et toutes les connexions sont unidirectionnelles.

Dans un tel réseau, il n'y a pas des connexions entre deux neurones d'une même couche. Un MLP a donc :

- Une couche d'entrée qui reçoit les données à traiter,
- Une ou plusieurs couches intermédiaires ou cachées effectuant le traitement spécifique du réseau,
- Une couche de sortie qui présente les réponses du réseau.

3.6.1. Apprentissage

Le but de l'apprentissage est l'estimation des paramètres du réseau (poids de connexions) en minimisant une fonction d'erreur. L'apprentissage est supervisé. La fonction d'erreur représente donc la distance qui existe entre la réponse calculée du réseau et sa réponse désirée. L'apprentissage consiste à appliquer au réseau des couples d'entrées et des sorties (sorties désirées), puis en appliquant un algorithme d'apprentissage pour modifier les différents paramètres du réseau. L'algorithme d'apprentissage utilisé pour ce type de réseau est la rétropropagation du gradient (Gradient Back propagation GBP).

Cet algorithme est décrit par les étapes suivantes :

- Initialiser les différents paramètres (poids) du réseau.
- Choisir un exemple d'apprentissage (une couple d'entrées et des sorties) de la base d'apprentissage.
- Appliquer cet exemple au réseau MLP et calculer les sorties de tous les neurones (neurones cachés et neurones de sortie) du réseau. Notons que les neurones de la couche d'entrée du réseau ne font pas des calculs.
- Calculer les termes d'erreur de la couche de sortie.
- Mise à jour des poids de la couche de sortie et des couches cachées.

Choisir un autre exemple de la base d'apprentissage et répéter ce processus jusqu'à atteindre une erreur acceptable.

3.7. Propriété fondamentale des réseaux de neurones

La propriété fondamentale des réseaux de neurones est **l'approximation parcimonieuse**. Cette expression traduit deux propriétés distinctes : d'une part les réseaux de neurones sont des

approximateurs universels, et d'autre part une approximation à l'aide de réseau de neurones nécessite, en général, moins de paramètres ajustables que les approximateurs usuels.

3.7.1. La parcimonie

La propriété fondamentale des réseaux de neurones non bouclés à apprentissage supervisé est l'approximation parcimonieuse qui s'énonce comme suit : « Toute fonction bornée suffisamment régulière peut être approchée uniformément, avec une précision arbitraire, dans un domaine fini de l'espace de ses variables, par un réseau de neurones comportant une couche de neurones cachés en nombre fini, possédant tous la même fonction d'activation, et un neurone de sortie linéaire »[17].

Lorsque l'on veut modéliser un processus à partir des données, on cherche toujours à obtenir les résultats les plus satisfaisants possibles avec un nombre minimum de paramètres ajustables.

Dans cette optique HONRIK, [17] a montré que :

Si le résultat de l'approximation (c'est-à-dire la sortie du réseau de neurones) est une fonction non linéaire des paramètres ajustables, elle est plus parcimonieuse que si elle est une fonction linéaire de ces paramètres.

De plus, pour des réseaux de neurones à fonction d'activation sigmoïdale, l'erreur commise dans l'approximation varie comme l'inverse du nombre de neurones cachés, et elle est indépendante du nombre de variables de la fonction à approcher. Par conséquent, pour une précision donnée, donc pour un nombre de neurones cachés donné, le nombre de paramètres du réseau est proportionnel au nombre de variables de la fonction à approcher.

Ces résultats s'appliquent aux réseaux de neurones à fonction d'activation sigmoïdale, puisque la sortie de ces neurones n'est pas linéaire par rapport à leurs coefficients. Ainsi, l'avantage des réseaux de neurones par rapport aux approximateurs usuels (tels que les polynômes) est d'autant plus sensible que le nombre de variables de la fonction à approcher est grand : pour des problèmes faisant intervenir une ou deux variables, on pourra utiliser indifféremment des réseaux de neurones, des polynômes, des réseaux d'ondelettes, etc. En revanche, pour des problèmes présentant trois variables ou plus, il est généralement avantageux d'utiliser des réseaux de neurones.

3.8. Avantages et inconvénients des réseaux de neurones

Les points forts des RNA sont :

- Une capacité d'approcher n'importe quelle dépendance fonctionnelle. Le réseau modélise lui-même sans avoir besoin d'informations sur le système autres que les entrées et les sorties.
- Une certaine résistance au bruit ou au manque de fiabilité des données.
- Large gamme de problèmes traités : logique, valeurs réelles, classification,...
- Un outil simple, puissant et rapide.

Par ailleurs, les RNA ne dispensent pas de bien connaître leurs problèmes, de définir les classes avec pertinences, de ne pas oublier une variable importante et surtout un RNA est une boîte noire qui n'explique pas ses décisions et dont des interprétations physiques relatives au phénomène étudié ne peuvent être tirées.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné les définitions générales concernant le réseau de neurones. Ce dernier n'est rien d'autre qu'un approximateur de fonction, formé de plusieurs interconnexions appelé neurone.

Donc à partir d'un modèle simple des neurones biologiques, on a construit un modèle plus complexe, celui des Perceptrons Multi Couches (PMC). Ces outils permettent de calculer des fonctions vectorielles, adaptables à un ensemble d'exemples par le biais d'algorithmes d'optimisation utilisant la technique de la rétro-propagation.

Chapitre 4

Influence des paramètres sur les propriétés du PEHD

Chapitre 4 : Influence des paramètres sur les propriétés du PEHD

Introduction

Le but du procédé Philips (PF) est de produire un PEHD désiré à un certain indice de fluidité, et densité. Ces caractéristiques, désirées, sont obtenues par la manipulation d'autres variables dont plusieurs sont inter-indépendantes. Une compréhension complète de ces dernières et leurs relations est exigée pour le contrôle précis du réacteur et essentiellement pour une qualité uniforme du produit ainsi que le déroulement de l'opération sans problèmes.

4.1. Certificat d'analyse

L'usine CP2K est conçue pour la fabrication de plusieurs grades de PEHD. A chaque grade correspond une fiche technique qui est soit remise au client soit réclamée par celui-ci. Cette fiche comprend tous les renseignements concernant le produit.

Chaque lot produit est soumis à une série d'analyses dont les résultats sont reportés sur un certificat d'analyse comprenant le grade, le numéro de lot, la date d'analyse et la date de certification. Ce certificat est signé par le responsable de l'analyse et remis à la production qui peut alors procéder à l'emballage du lot.

Les analyses les plus déterminantes sont l'indice de fluidité et la densité (qui est des propriétés de base), le lot est dans les normes si ces deux paramètres sont dans les intervalles définis pour chaque grade. D'autres propriétés comme la densité apparente, le nombre de grains/g, la contamination sur granulés ... sont également recensées sur le certificat mais n'influent pas sur le classement du lot.

4.2. Influence des paramètres opératoires sur les propriétés du PEHD

Le contrôle de la densité, de l'indice de fluidité, se fait expérimentalement sur les différents grades de PEHD. Dans ce travail, toutes les analyses ont été effectuées sur le **grade 5502** par des méthodes de mesure qui suivent.

4.2.1. L'indice de fluidité (*Melt index*)

L'indice de fluidité est la quantité de polymère extrudée en 10 min à travers un orifice de 2.09 mm de diamètre à une température fixée de 190 °C, sous un poids de 2.16 kg. Il est une indication importante du poids moléculaire du polymère, une haute valeur d'indice de fluidité correspond à de bonne valeur de traitabilité. Un indice de fluidité bas indique au contraire des polymères à haute résistance mécanique.

4.2.1.1. Appareillage

Pour réaliser cet essai, nous avons besoin d'un plastomère. Ce dernier comporte les parties suivantes :

- Cylindre en acier,
- Piston en acier,
- Éléments chauffants et thermorégulateurs,
- Thermomètre,
- Filière en acier trempé,
- Charge amovible,
- Outillage pour le nettoyage et pour la mesure.



Figure 4.1 : Photo de plastomère utilisé pour l'analyse l'indice de fluidité.

4.2.1.2. Paramètres influençant l'indice de fluidité

- La concentration d'éthylène.
- La température du réacteur.
- La productivité du catalyseur.
- Le taux des solides.
- La concentration d'hydrogène.

4.2.1.2.1. Influence de la concentration d'éthylène

L'influence de la concentration d'éthylène sur l'indice de fluidité est illustrée dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau 4.1 : Variation de MI en fonction de la concentration de l'éthylène.

Ethylène mol %	3,67	4,16	4,22	4,43	4,51	4,71	4,74	5, 07
MI	0,68	0 ,64	0,6	0,58	0,56	0,54	0,52	0, 5

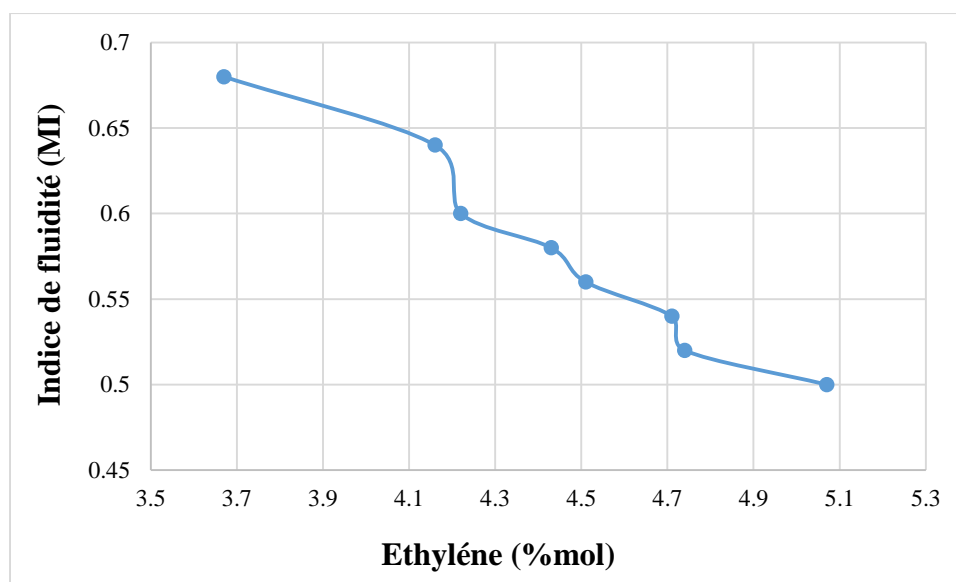


Figure 4.2 : Variation du MI en fonction de la concentration d'éthylène.

Ce graphe représente la variation de l'indice de fluidité en fonction de la concentration d'éthylène. La concentration d'éthylène est la variable qui donne la réponse la plus rapide pour le

changement de l'indice de fluidité de la poudre dans le réacteur. A partir de la figure 4.2, on remarque que la concentration d'éthylène a un effet inverse sur l'indice de fluidité.

Dans le cas où la concentration d'éthylène dans l'isobutane est inférieure à 3,5 mol %, on se trouve dans une condition d'épuisement de l'éthylène présent dans le réacteur et d'augmentation de l'indice de fluidité. A température maximum, il y a perte de l'aspect granulaire du polymère et il se forme de grandes quantités de «cottage cheese». Cela est dû au fait que le solvant devient meilleur pour le polymère au fur et à mesure que la concentration d'éthylène diminue. Pour résoudre ce problème il faut augmenter le débit d'alimentation d'éthylène.

Si la concentration d'éthylène est supérieure à 6,5 mol %, on obtient un polyéthylène filamentaire et il y a risque de bouchage de la grille de nettoyage de la chambre de flash à cause de la saturation du réacteur. Dans cette situation, on perd la condition *plein liquide* et des mesures correctrices sont recommandées :

- a) Passer le contrôle en mode manuel et réduire le débit d'alimentation d'éthylène. En même temps, augmenter rapidement de 20% le débit d'isobutane pour parvenir à la condition *plein liquide* dans le réacteur.
- b) Mettre les vannes PTO qui se trouvent en service sous cycle manuel au moins toutes les trois minutes pour éviter des bouchons.
- c) Augmenter l'alimentation du catalyseur pendant 15 ou 20 minutes.
- d) Une fois les conditions du réacteur *plein liquide* rétablies, réduire l'isobutane de recyclage au débit normal et remettre le réacteur en opération normale.

4.2.1.2.2. Effet de la température du réacteur

L'influence de la température sur l'indice de fluidité est illustrée par le tableau 4.2 et la figure 4.3. La température du réacteur est une variable qui donne une réponse rapide pour changer l'indice de fluidité de la poudre dans le réacteur.

On remarque que l'indice de fluidité augmente quand la température du réacteur augmente. En effet, le changement de la température a un effet direct sur l'indice de fluidité.

Tableau4.2 : Variation de MI en fonction de la température du réacteur.

Température (°C)	101,97	102,25	102,35	102,46	102,50	102,54	102,59	102,62	102,76
MI	0,5	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,62	0,63	0,64

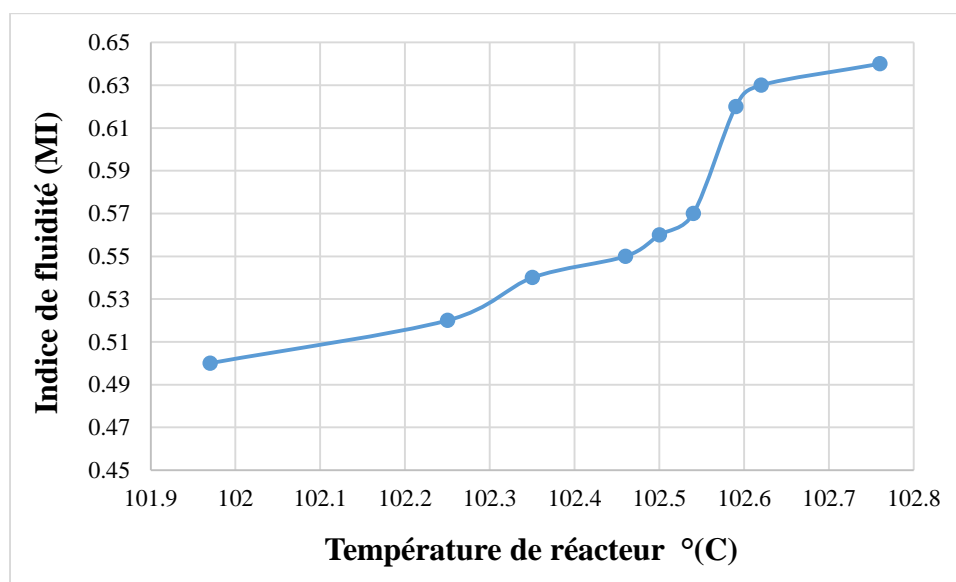


Figure 4.3 : Variation du MI en fonction de la température.

La température dans le réacteur peut dépasser la température maximale d'opération de 103.5 °C. Dans ce cas le polymère gonfle de telle façon qu'il ne reste pas de volume libre dans le réacteur. Les particules ne trouvent pas d'espace libre pour se déplacer, ce qui rend difficile l'élimination de la chaleur. Cela provoque l'encrassement et l'obstruction du réacteur et des mesures urgentes sont à envisager :

- a) Vérifier la pompe de réfrigération et le contrôleur du débit.
- b) Modérer la réaction en augmentant le débit d'antistatique pour amortir la réaction.
- c) Inhiber la réaction que de boucher le réacteur. La réaction de polymérisation après l'inhibition ne peut reprendre qu'après 24 heures, mais si le réacteur est bouché l'unité s'arrête pendant 02 mois et l'impact sur le manque à produire est considérable.

4.2.1.2.3. Productivité du catalyseur

La productivité du catalyseur est définie comme étant le rapport entre le débit de production et le débit du catalyseur. En se basant sur l'historique d'analyse de l'usine, on a pris en compte des valeurs de productivité avec l'indice de fluidité que l'on consigne dans le tableau 4.3 et la figure 4.4.

Tableau 4.3 : Variation de MI en fonction de la productivité de catalyseur.

Productivité	2	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3
MI	0,75	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55

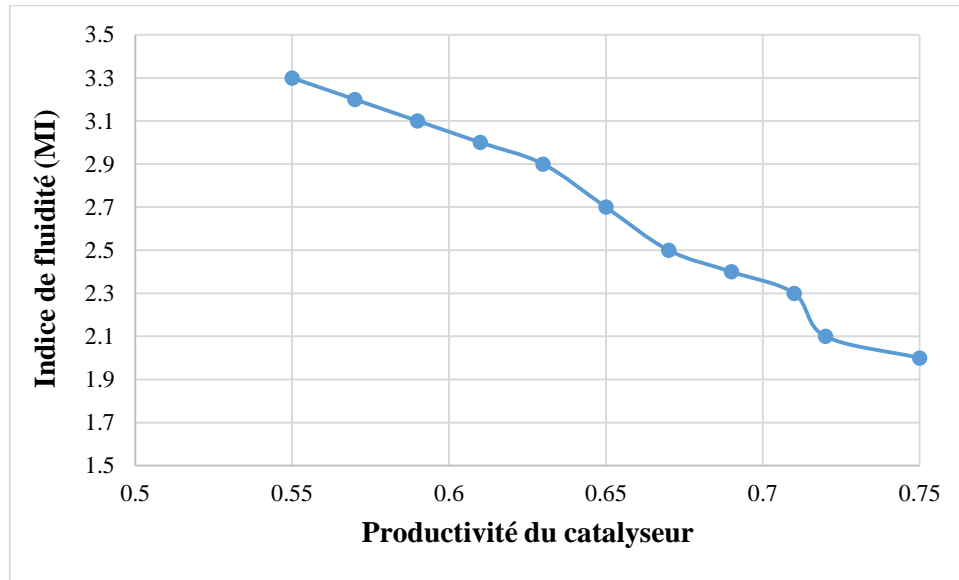


Figure 4.4 : Variation du MI en fonction de la productivité de catalyseur.

De cette figure, on remarque que l'indice de fluidité diminue quand la productivité du catalyseur augmente. La productivité du catalyseur est en fonction de:

- temps de séjour dans le réacteur,
- concentration d'éthylène dans le réacteur,
- concentration des solides dans le réacteur,
- concentration des poisons dans les différentes alimentations,
- type de catalyseur;

- température d'activation du catalyseur;
- température dans le réacteur;
- type de polymère à produire.

4.2.1.2.4. Suivi de la concentration d'hydrogène

La concentration d'hydrogène est une variable qui donne une réponse lente sur le changement de l'indice de fluidité. Elle est utilisée en dernier ressort pour augmenter l'indice de fluidité. En se basant les données d'analyse de l'usine, on a pris en compte les valeurs de variation de l'indice de fluidité en fonction de la concentration d'hydrogène dans des conditions opératoires stables que l'on porte dans le tableau 4.4 et la figure 4.5.

Tableau 4.4 : Variation de MI en fonction du débit d'hydrogène.

Concentration d'hydrogène (%mol)	0,05	0,075	0,088	0,096	0,12	0,15
MI	0,55	0,60	0,63	0,65	0,68	0,71

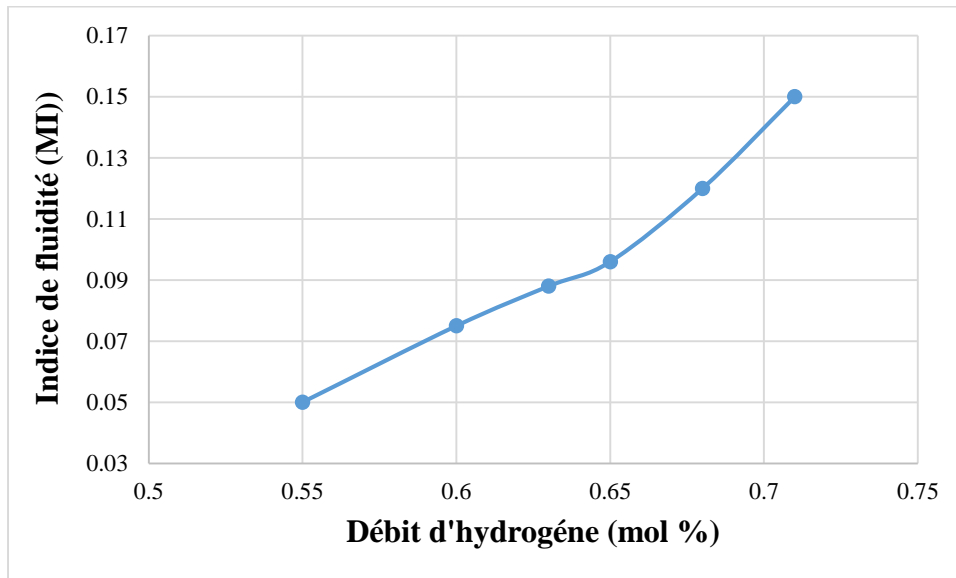


Figure 4.5 : Variation du MI en fonction du débit d'hydrogène.

A partir de ce graphe, on constate que la concentration d'hydrogène augmente avec l'indice de fluidité du polymère. L'addition de l'hydrogène dans le réacteur termine la chaîne moléculaire du polyéthylène. Une chaîne courte possède un haut indice de fluidité.

4.2.1.2.5. Taux des solides

L'influence du taux des solides sur l'indice de fluidité est illustrée par le tableau et le graphe qui suivent.

Tableau 4.5 : Variation de MI en fonction du taux des solides.

Taux de solide (%poids)	32,05	32,97	33,81	33,87	34,09	34,79	35,32	35,44	35,55	36, 07
MI	0,73	0,68	0,64	0,62	0,6	0,58	0,56	0,54	0,52	0, 5

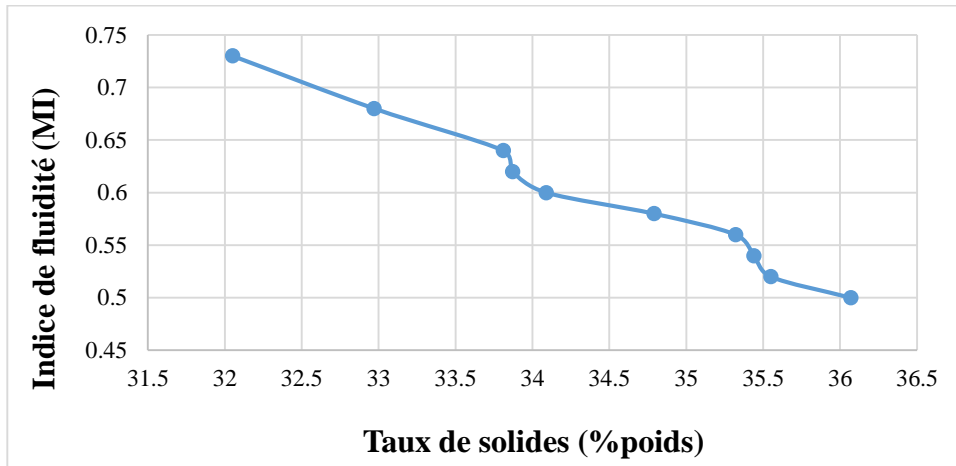


Figure 4.6 : Variation du MI en fonction du taux de solides.

Il ressort de cette illustration que l'indice de fluidité diminue au fur et à mesure que le taux de solides augmente. Le taux de solides est proportionnel au temps de résidence du polymère dans le réacteur. L'augmentation de ce dernier conduit à l'obtention des longues chaînes de polyéthylène qui possède un bas indice de fluidité.

Tableau 4.6 : Récapitulatif des paramètres influençant l'indice de fluidité [5].

Paramètres influençant l'indice de fluidité	Degré variable	Degré sur MI
Température du réacteur	Augmentation de 0.5°C	Augmentation de 7.5 à 13%
Concentration d'éthylène	Augmentation 0.5 mol %	Diminution de 15-20%
Taux des solides	Augmentation 29-30 wt %	Augmentation 3-10%
Concentration d'hydrogène	Augmentation 50 mol %	Augmentation de 10-20%
Productivité du catalyseur	Augmentation	Diminution
Densité	Augmentation de 0.001	Diminution de 10-15%
Temps de résidence	Augmentation	Diminution

4.2.2. Densité du PEHD

La densité est déterminée par repérage et comparaison du niveau de l'échantillon stabilisé par rapport aux niveaux des standards à densité connue, se trouvant en permanence dans la colonne de liquide à gradients de densité.

4.2.2.1. Mode opératoire

Un petit échantillon est plongé dans la colonne à gradients, à l'équilibre (≈ 15 min), on relève les hauteurs du spécimen et celles des billes au-dessus et en dessous,

Le calcul de la densité se fait par l'équation :

$$\text{Densité (g/cm}^3\text{)} = (y/z) * (b-a) + a$$

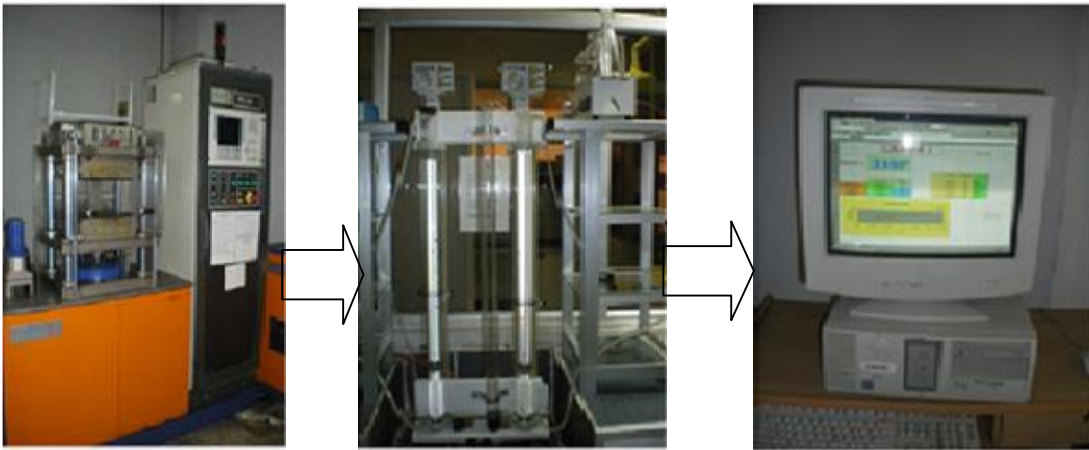
Ou :

y = distance entre le spécimen et le standard à basse densité (cm) ;

z = distance entre les deux billes standards (cm) ;

a = densité de la bille en dessous du spécimen (haute densité) (cm) ;

b = densité de la bille au-dessus du spécimen (basse densité) (cm).



Préparation des échantillons Détermination de la hauteur Détermination de la densité

Figure 4.7 : Série des photos du dispositif utilisé dans l'analyse de densité.

4.2.2.2. Paramètres influençant la densité du PEHD

4.2.2.2.1. Rapport hexène/éthylène

La densité du polymère se contrôle moyennant la concentration d'hexène dans le réacteur. Le rapport hexène/éthylène dans l'alimentation du réacteur a une influence sur la quantité d'hexène qui est incorporée au polymère. En générale, l'incorporation d'hexène au polymère est proportionnelle au rapport hexène/éthylène dans le courant d'alimentation du réacteur.

Au regard des valeurs présentées dans la Figure 4.8, il est observé qu'au fur et à mesure que le rapport hexène/éthylène augmente, la densité du polymère diminue et vice versa puisque l'hexène diminue les ramifications dans la chaîne moléculaire du polymère. Ce rapport doit rester constant pour maintenir une densité uniforme dans le polymère.

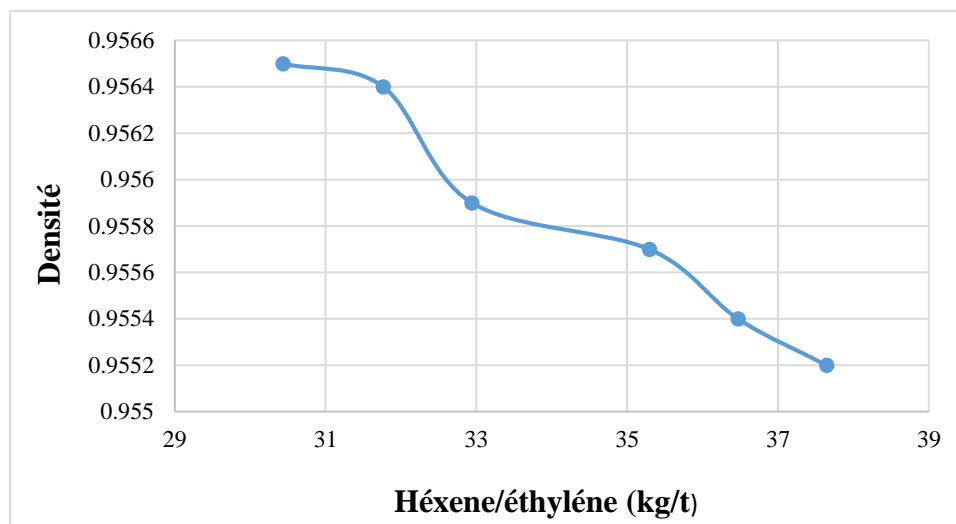


Figure 4.8 : Variation du MI en fonction de hexène/éthylène (kg/t).

Conclusion

Dans cette partie, on a étudié l'influence des paramètres opératoires sur les propriétés du polyéthylène haute densité produit au niveau du complexe CP2K, en utilisant le procédé PHILIPS (PF). Un PEHD est considéré conforme s'il possède un certain indice de fluidité, densité,... Le contrôle de ces propriétés se fait expérimentalement sur les différents grades de PEHD par des méthodes de mesure.

Ces caractéristiques sont obtenues par la manipulation d'autres variables interdépendantes telles que la concentration de l'éthylène, la température, la productivité du catalyseur et la concentration de l'hexène.

Une compréhension complète de ces dernières et leurs relations est exigée non seulement pour obtenir une qualité uniforme du produit mais aussi pour le déroulement de l'opération sans problèmes en évitant le bouchage et l'encrassement du réacteur.

Chapitre 05

Modélisation de l'indice de Fluidité

Chapitre5 : Modélisation de l'indice de fluidité

Introduction

On a exposé dans le chapitre précédent, deux propriétés physiques principales définissant la qualité du PEHD, produit au niveau du complexe CP2K, à savoir : la densité et l'indice de fluidité.

Ces deux caractéristiques sont influencées chacune par plusieurs paramètres de contrôle du réacteur. La densité est influencée uniquement par le débit d'hexène vers le réacteur, une grandeur maîtrisée et peu manipulée lors de la production. L'indice de fluidité quant à lui est influencé par plusieurs paramètres et de plusieurs façons. Cependant, toute action prise pour son amélioration n'est appréciée qu'après un certain temps (2 heures au minimum) d'où vient l'idée de développer un modèle prédictif de l'indice de fluidité et étant donné la complexité des interactions inter-paramètres les réseaux de neurones artificiels se proposent comme une solution prometteuse.

5.1. Démarche suivie

Afin de mettre au point le modèle neuronal, on a adopté la démarche suivante :

1^{er} étape : Sélection des paramètres pertinents et collecte de données

Cette étape a consisté en la collecte de données relatives aux paramètres opératoires qui influent sur l'indice de fluidité et les valeurs de ce dernier correspondante. L'objectif est de rassembler un nombre des données suffisant pour constituer une base représentative car si les données sont très différentes à celles qui ont été utilisées lors de l'apprentissage ça entraîne une sortie totalement fautive.

Autrement dit, afin qu'un réseau de neurones artificiels remplisse sa tâche avec fiabilité, les entrées de celui-ci doivent être judicieusement choisies. On parle ainsi d'entrées pertinentes ou encore discriminantes. Cette détermination de caractéristique à des conséquences à la fois sur la taille du réseau et donc sur le temps de la simulation et sur le temps d'apprentissage et aussi sur la performance du réseau.

Pour notre cas, on a six paramètres contrôlables influençant l'indice de fluidité à savoir : la température de réacteur, la concentration d'éthylène non réagi, la densité de mélange, le taux de solides, le débit d'éthylène et le débit d'isobutane.

Aussi il convient de préciser que le taux de solides est une fonction des deux débits d'éthylène et d'isobutane et de la densité de mélange par conséquent nous avons gardé comme

entrées du RNA la température du réacteur, la concentration d'éthylène non réagi, le taux de solide et la densité de mélange.

2^e étape : Séparation des données

Pour avoir développé une application à base de réseau de neurones, il est nécessaire de disposer de deux bases de données : une base pour effectuer l'apprentissage et une base test qui va servir à tester et valider le model neuronal.

Dans notre cas, on a pu totaliser 212 valeurs pour deux types de polymère (grade soufflage et grade film). On a gardé que 196 d'entre elles pour la base d'apprentissage et 16 valeurs comme base de test. Les tableaux illustrant les valeurs sont donnés en annexe.

3^e étape : Etablissement des RNA

Pour l'établissement du modèle neuronal, on a utilisé le logiciel **MATLAB R2013a**. Des réseaux de neurones *feed-forward back propagation* ont été testés en modifiant le nombre de neurones cachés. L'évaluation des différents réseaux établis est faite sur l'erreur générée en introduisant la base test. Les Caractéristiques du réseau établis sont les suivants :

Tableau 5.1 : Caractéristiques de réseau de neurones établis.

Caractéristique	Choix
Architecture	PMC
Nombre de couches cachées	1
Nombre de neurones cachés	Optimisé (5)
Nombre de neurones de sortie	1
Algorithme d'entraînement	Levenberg – Marquardt (trainlm)
Fonction d'activation	Tansig
Fonction de sortie	Purelin
Fonction de performance	MSE

Pour le développement des réseaux de neurones, on a utilisé les sous-routines suivantes :

- Newff : permet de créer le réseau de type feedforward avec rétro propagation de gradient.
- Trainlm : sous-routine d'entraînement qui se base sur l'algorithme de 'Lavenberg-Marquardt'.
- Tansig (tangente sigmoïde) : fonction d'activation des neurones cachés.
- Purlin (fonction linéaire) : fonction d'activation des neurones de sorties.

5.2. Présentation des résultats de simulation et discussion

Le réseau de neurones optimal est composé de 5 neurones cachés (figure 5.1). Les résultats obtenus lors de la simulation de notre RNA avec la base de test sont présentés dans le tableau 5.2.

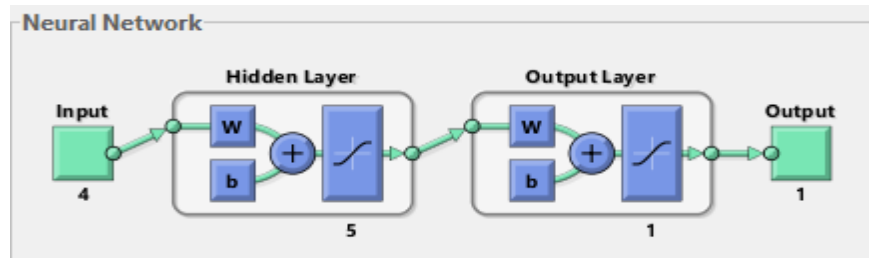


Figure 5.1 : Schéma de réseaux de neurones.

Tableau 5.2 : Valeurs de MI réel, MI estimé, et erreur absolue.

MI réel	MI estimé	Erreur absolue	MI réel	MI estimé	Erreur absolue
0.32	0.32638	0.00638	0.62	0.63949	0.01949
0.33	0.33386	0.00386	0.64	0.6592	0.0192
0.32	0.31562	0.00438	0.7	0.66992	0.03008
0.62	0.61436	0.00564	0.63	0.67043	0.04043
0.6	0.61434	0.01434	0.55	0.5943	0.0443
0.58	0.61711	0.03711	0.58	0.58884	0.00884
0.63	0.64314	0.01314	0.72	0.61994	0.10006
0.7	0.64607	0.05393	0.8	0.6476	0.1524

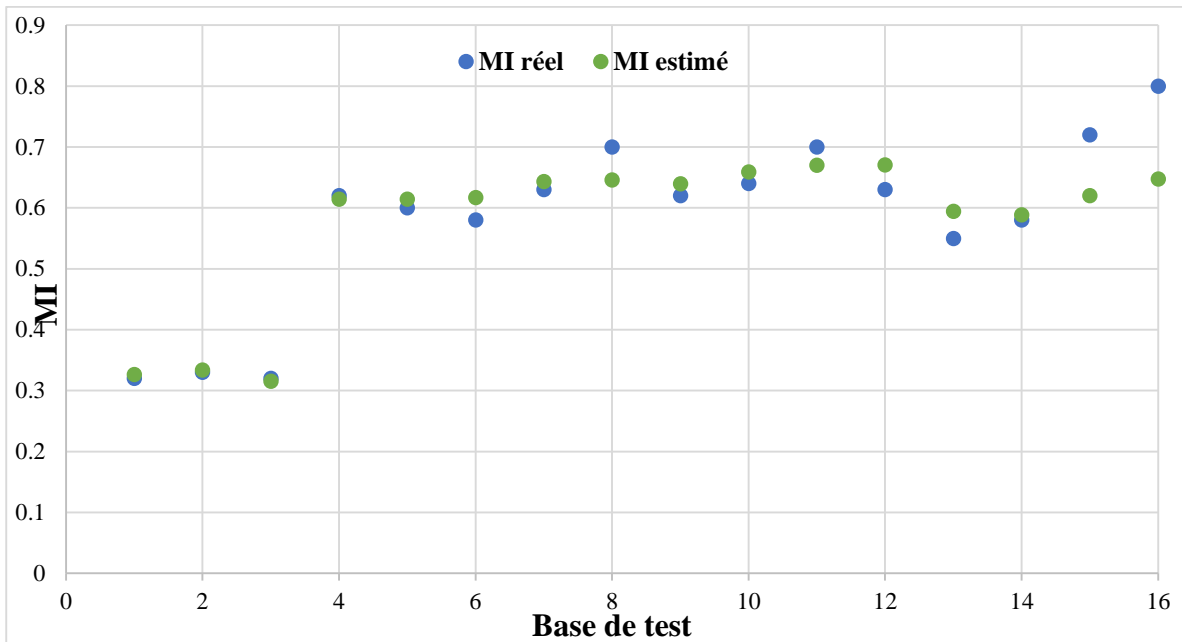


Figure 5.2 : Valeurs de MI réel et estimé.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était l'application de la technique des réseaux de neurones à la prédiction de l'indice de fluidité. Après avoir défini les différentes caractéristiques de réseau de neurone artificiel, on a procédé à l'optimisation de l'architecture de ce dernier.

Les résultats obtenus présentent de faibles écarts par rapport aux données réelles ; ce qui montre que le réseau établi pour l'estimation de l'indice de fluidité est très fiable. Cependant, quelques valeurs simulées s'écartent des valeurs réelles, ce qui s'explique par leur absence de la base d'apprentissage.

Conclusions générales

Conclusions

Conclusions générales

L'objectif principal de ce travail est la prédiction de l'indice de fluidité de polyéthylène haute densité.

Les principaux résultats obtenus à l'aide de réseau de neurones utilisé sont jugés satisfaisants où les écarts constatés sont faibles comparativement aux valeurs réelles de l'unité.

Enfin les réseaux de neurones reste une boîte noire qui renvoie une réponse sans donner des justifications facile à lire dont celle-ci est obtenue, donc il n'est pas évident de tirer à partir d'un réseau de neurone artificiel une interprétation physique du phénomène ou du problème à modéliser. De plus, pour obtenir des résultats très fiables à l'aide de réseau de neurones il faut avoir une base de données très large renfermant toutes les valeurs en lien direct à l'indice de fluidité.

Références bibliographique

Références bibliographiques

- [1] : Société chimique de France, 14/04/2017, Récupéré sur le site société chimique de France: societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/mater/pe/texpe.htm,2015.
- [2] : Polyéthylènes, 14/ 04/2017, Récupéré sur Polyéthylènes: <http://chemphys.u-strasbg.fr/mpb/teach/PEhd>,2015.
- [3] : M.Moolji, What happening in the world of polypropylene, New Delhi,2014.
- [4] :Polyethylene 14/04/2017, Récupéré sur products/high-density-polyethylene-chemical-economics-handbook, ihs.com,2015.
- [5]: Chemical-economics-handbook, 14/04/2017, Récupéré sur high-density-polyethylene-chemical-economics-handbook, ihs.com,2014.
- [6] : H. Khaldi, Influence des paramètres sur la qualité de PEHD,Complexe CP2, Skikda ,p. 03-50,2015.
- [7] : Polyethylene, China plastic and Rubber journal, p. 2-3, 2015.
- [8] : Complexe pétrochimie 2 de Skikda ,Manuel d'opération ,Skikda 2006, p. 40-100.
- [9] : Chevron Philips company,Technique of PF reactor operation, Skikda 2005,p.10-30.
- [10] : Chevron Philips company , Operating manuel,Skikda 2005, p.7-17.
- [11] : S.Haykin, Neural Networks. second edition a comprehensive foundation,New York,1994.
- [12] : W.S.MC Culloch, A logical calculs of ideas immant in nervous activity,Vol 5,p.493,1990.
- [13] : J.F.Jodouim , Les réseaux de neurones,principes et définitions, Ed hermes,Paris1994,p232-341.
- [14] : J.Hérault ,Réseaux neuronaux et traitement du signal. Ed hermes ,Paris1994,p.247-276.

- [15] : K.Bilal, Techniques Intelligentes pour la poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque, Université Libanaise, 2012.
- [16] : F.CHITOUR, A.kahlouche ,La commande inverse par réseaux de neurones de machine asynchrone, Thèse de Magistère, ENP, Alger; 1997.
- [17] : K ,HORNIK, Multilayer feedforward networks are universal approximators., Vol 2, p.491, 1989.

Annexe

Annexe

Tableau 1 : Utilisation des différents grades de PEHD [8].

APPLICATIONS	Soufflage			Injection				Film		Pipe	
	5502	4903	6006 L	6030	6040	6060	6080	TR 140	TR 144	TR 402	TR 418
Bouteilles Eaux Minérales	●										
Boites Pour Cosmétiques	●										
Articles Pharmaceutiques	●										
Bouteilles Pour Eaux De Javel	●										
Bouteilles Pour Détergent	●										
Bouteilles Pour Lait Stérilise			●								
Bouteilles Pour Jus De Fruits			●								
Bouteilles Pour Boissons Douces			●								
Bouteilles Pour Eau Distille			●								
Bouteilles Pour L'alcool			●								
Grands Récipients Industriels		●									
Réservoirs		●									
Bouteilles De Grandes Capacités		●									
Accessoires Automobiles		●									
Bouchons Pour Bouteilles & Futs				●	●						
Divers Bouchons						●	●				
Caisses						●	●				
Bidons De Peinture						●	●				
Jouets						●	●				
Chaises							●				
Film Agricole								●			
Sacherie								●	●		
Sacs Poubelles									●		
Emballage									●		
Tubes Pour Réseau De Distribution											
Eau Potable										●	●
Gaz Combustibles										●	●
Irrigation										●	●
Industrie										●	●
Eau Non Potable										●	●

Tableau 2 : Base d'apprentissage (les entrées).

Densité de la boue dans réacteur	Température du réacteur (°C)	Taux de solides (%poids)	Ethylène non Réagi (%mol)	Densité de la boue dans réacteur	Température du réacteur (°C)	Taux de solides (%poids)	Ethylène non Réagi (%mol)
544.97803	95.496838	32.537869	4.4456022	532.53044	102.21404	33.2712	3.9238802
546.35912	95.262665	32.636286	4.0466562	533.73786	102.45168	33.601822	3.8865445
545.48276	95.16362	32.299334	4.0364666	535.28577	102.40448	34.143616	4.0684819
544.97187	95.251354	32.33152	4.4077106	535.70518	102.34427	34.332095	4.1306922
544.75563	95.352383	32.579102	4.5628057	536.95939	102.23467	34.509346	4.0998709
544.97586	95.38258	32.600224	4.5820503	537.03662	102.31922	34.539568	4.0082492
544.75853	95.290028	32.479137	4.6699827	537.75805	102.30978	34.628916	3.8222225
560.18721	93.805748	35.045171	2.6247488	538.71942	102.21152	34.854322	3.8490414
563.88319	93.88467	35.998614	2.7523913	538.519	102.36567	34.979844	3.868447
566.60492	93.95982	37.131548	2.9214606	539.99308	102.36289	35.274248	3.862942
562.56103	94.424131	36.101728	2.9737695	540.40077	102.41687	35.426938	3.8302354
562.29363	94.429887	36.653659	4.2314553	541.25267	102.33092	35.628486	3.8427483
562.53737	94.409721	36.838957	4.3477864	541.09202	102.35765	35.611502	3.807796
562.81816	94.385695	36.98658	4.5328002	540.13638	102.41488	35.476969	3.8809284
563.10137	94.368187	37.181804	4.663599	538.83027	102.35292	35.136757	3.947476
563.20332	94.2783	37.024964	4.6143746	538.75037	102.33399	35.092497	4.0688896
563.87898	94.214663	37.173687	4.5929547	538.65572	102.38814	35.078782	4.0084651
564.61851	94.012585	37.22406	4.4512688	538.99998	102.38838	35.065115	3.9281613
563.92218	94.013684	36.878829	4.1472036	539.51799	102.358	35.325061	3.8927492
564.69849	94.04126	37.075757	4.1530743	531.57577	102.42986	33.703862	4.6815004
563.93408	94.032636	36.856773	4.1064905	532.90524	102.41851	33.821555	4.6191468
563.75297	94.030539	36.837125	4.1134444	534.32745	102.4429	34.14288	4.5049548
563.00946	94.081642	36.604693	4.1217221	535.97022	102.49352	34.388144	4.3895466
563.41495	93.86074	36.688807	3.9069356	535.83115	102.5017	34.656655	4.3898027
561.51207	94.283415	36.582842	4.4755439	537.3759	102.4289	35.023448	4.4277496
562.85526	94.42994	37.248416	4.7630825	538.09107	102.48307	35.295357	4.4351566
563.79354	94.475787	37.333667	4.6913378	538.2802	102.53962	35.344683	4.4436839
563.95197	94.53749	37.393582	4.6380208	537.81399	102.52149	35.322362	4.5072248
565.01	94.397732	37.553812	4.4541473	537.2829	102.43996	35.192897	4.661562
564.32007	94.249865	37.154146	4.3326919	536.44521	102.40435	35.048751	4.8979511
563.05954	94.304182	36.886372	4.348825	536.00028	102.43247	35.020122	4.9574382
562.96374	94.272214	36.819416	4.3058443	535.77364	102.41737	34.919882	4.9860303
562.98301	94.198004	36.788666	4.2968232	535.31878	102.4589	34.880984	4.9640627

562.42719	94.299718	36.729323	4.3370233	536.32657	102.47596	35.128074	4.8693326
562.30322	94.245642	36.614576	4.3111321	536.38121	102.29188	34.790209	4.7859344
562.21222	94.217798	36.678199	4.3773645	533.45142	102.19224	33.973625	4.8963766
560.48075	94.314359	36.348693	4.5345958	530.60908	102.10265	33.374552	5.0491817
561.42321	94.214086	36.573258	4.6480976	529.62388	102.11306	32.949082	5.1314056
561.52473	94.197084	36.536209	4.5303801	527.98311	102.21407	32.613758	5.1923142
562.17311	94.21597	36.633583	4.4762332	526.9042	102.30779	32.609402	5.2157413
563.23274	94.175651	36.951122	4.3919932	527.6247	102.51195	32.932958	5.2183698
563.11196	94.056129	36.728329	4.2502861	530.67952	102.60912	33.80736	5.2024024
563.09958	93.779727	36.566928	4.1056464	533.61555	102.54239	34.443278	5.0943506
562.98109	93.747913	36.432846	4.0208576	534.84903	102.42139	34.609385	4.9585849
563.03936	93.874226	36.477092	3.9788766	534.63446	102.38226	34.616693	5.063003
563.79672	93.853924	36.66141	3.9800569	534.85348	102.39621	34.655655	5.1286962
562.47678	93.983779	36.295449	3.9741869	536.10059	102.31183	35.076613	5.0963104
562.2901	94.040707	36.285969	3.9544111	538.04086	102.28872	35.440911	5.035619
562.22155	93.944061	36.596848	4.3994756	538.43477	102.24034	35.469357	4.9917905
563.234	93.998703	36.846736	4.5249736	538.30915	102.24758	35.594286	5.0080126
562.59887	93.817902	36.4657	4.3706073	539.01796	102.28658	35.742885	4.9910869
562.73378	93.59544	36.408155	4.2633958	538.0893	102.28279	35.585632	5.0141265
564.11379	93.286362	36.449255	3.9887666	537.56145	102.35411	35.550925	5.1626351
560.96752	93.146568	35.360235	3.6780395	536.73856	102.35099	35.299912	5.2930002
557.07584	93.112804	34.377288	3.7419297	536.87022	102.43605	35.439681	5.1777883
555.61532	93.151611	33.97951	3.8322984	537.14206	102.32524	35.339818	4.9810357
554.37654	93.136688	33.583949	3.841875	539.31846	102.2173	35.716692	4.9806395
555.15523	93.144676	33.821784	3.7841969	539.27634	102.20525	35.693492	4.828064
556.06972	93.253757	34.185199	3.7334212	540.84864	102.13353	35.984034	4.6904328
556.20911	93.262294	34.210583	3.9124871	539.87161	102.23626	36.00523	5.0415697
556.42857	93.269876	34.604115	4.3580627	538.94197	102.3626	35.727884	5.1455339
558.83322	93.332991	35.321667	4.5671493	540.13142	102.21583	36.091299	5.265507
559.89827	93.425909	35.768159	4.5426553	539.05373	102.25171	35.79232	5.1564763
561.3932	93.204377	36.006803	4.4889168	539.65723	102.25383	36.002897	5.1697075
553.72307	94.219547	33.685827	3.4496549	540.18292	102.32229	36.248994	5.1732213
556.69901	94.426506	34.795672	3.4873081	539.80943	102.345	36.102192	5.1304367
559.84906	94.583145	35.709321	3.5269736	539.63153	102.47049	36.045781	5.0670652
561.132	94.518024	35.967281	3.4840089	539.98617	102.49369	36.066879	5.0061216
563.14103	94.479996	36.803843	3.7529808	541.05005	102.40236	36.258825	4.8161047
560.35463	94.394894	35.996839	3.8775275	540.68999	102.41881	36.074214	4.778481
558.65647	94.429562	35.639355	4.0686741	540.27393	102.43773	36.094778	4.7655001
557.00002	94.533787	34.989039	3.6864437	540.68019	102.32362	36.152836	4.8066497

556.79759	94.50721	35.254654	4.2592735	539.48618	102.21312	35.762437	4.7962518
554.80219	94.566029	34.857925	4.3723476	539.08828	102.24282	35.59482	4.717067
556.13301	94.497017	35.020849	4.3365657	538.48038	102.25182	35.343597	4.7178414
556.87605	94.439423	35.16622	4.2067748	538.59822	102.48297	35.359398	4.7386556
517.00215	91.281062	22.06901	5.6404244	539.40091	102.58766	35.63541	4.6151897
534.54638	94.075039	28.553211	4.2879549	537.38255	101.97	34.700721	4.1853665
546.14356	94.019585	31.387106	3.4169152	535.45783	102.29227	34.611007	4.7292793
552.83437	94.097019	33.434937	3.2465661	535.17156	102.44507	34.525949	4.709427
557.18908	94.229324	34.639529	3.0596141	535.56586	102.35435	34.754275	4.7275019
558.0827	94.561565	35.043871	3.0339105	533.67515	102.256	33.923167	4.6216038
558.01174	94.637745	34.912158	3.0111326	533.00837	102.44287	34.194848	5.0306559
557.80683	94.735928	35.028747	3.0957776	532.59252	102.45796	34.150674	5.1368148
557.22395	94.71563	34.922954	3.1849224	532.72726	102.41771	34.269469	5.199482
558.00258	94.724258	35.05805	3.2565242	532.95435	102.47812	34.286701	5.1579602
557.43591	94.494144	34.876379	3.2540674	533.7536	102.49341	34.553022	5.1135774
556.56631	94.496235	34.620726	3.3162293	533.97376	102.62522	34.533735	5.0787401
555.95117	94.593109	34.464583	3.3472667	533.08027	102.73358	34.575052	5.0510342
555.88551	94.597401	34.596089	3.3855002	532.98452	102.65119	34.496894	5.0754168
555.37856	94.5042	34.479168	3.3947183	534.32045	102.82603	34.753944	4.9993127
554.42793	94.437107	34.123999	3.4310527	537.45073	102.95729	35.725426	4.8565383
554.35347	94.470901	34.104008	3.4547678	540.38032	102.92937	36.308813	4.7316513
553.70475	94.444992	33.90898	3.4311837	538.34471	102.84505	35.461431	4.2151482
554.61706	94.424438	34.248475	3.3822762	536.16856	102.75603	34.696053	4.1239252
557.01843	94.508442	34.728148	3.3294468	534.08163	102.58511	34.251753	4.2262567
557.83063	94.560307	35.011934	3.2602981	531.13087	102.51577	33.237051	4.3418795
561.74379	94.56456	36.122998	3.2967948	529.24035	102.61558	32.726722	4.3104244
565.33314	94.601757	37.153273	3.3104308	528.73703	102.5945	32.591496	4.2988374
566.83578	94.68692	37.473066	3.2290121	527.92997	102.5935	32.370851	4.2957812
566.66163	94.679565	37.444825	3.1744739	526.78892	102.65379	32.140056	4.3397033
563.3059	94.495041	36.72037	3.3331746	526.14466	102.62883	31.922482	4.4109592
561.73189	94.554203	36.234837	3.4130375	531.85649	100.26597	32.053056	4.4499407
525.64097	103.05506	31.917994	4.13479	528.28045	102.7516	32.439642	4.1699197
526.97232	103.0232	32.151158	4.089742	531.26801	102.50578	33.108884	4.2497571
528.63533	102.88378	32.65233	4.0367148	531.94094	102.40992	33.720102	4.633908
529.72007	103.03603	33.008441	3.9379946				

Tableau 3 : Base d'apprentissage (la sortie).

MI réel	MI réel	MI réel	MI réel	MI réel	MI réel
0.3	0.35	0.06	0.6	0.61	0.52
0.3	0.35	0.17	0.6	0.58	0.52
0.34	0.36	0.15	0.64	0.59	0.53
0.35	0.36	0.19	0.6	0.6	0.5
0.32	0.34	0.2	0.56	0.54	0.54
0.27	0.33	0.28	0.64	0.58	0.52
0.26	0.32	0.3	0.66	0.56	0.54
0.2	0.31	0.32	0.6	0.52	0.56
0.22	0.28	0.32	0.6	0.56	0.58
0.21	0.3	0.33	0.64	0.54	0.6
0.23	0.29	0.34	0.62	0.57	0.6
0.29	0.27	0.32	0.6	0.57	0.64
0.33	0.34	0.3	0.71	0.58	0.65
0.32	0.29	0.3	0.72	0.58	0.62
0.34	0.28	0.33	0.74	0.56	0.63
0.39	0.28	0.34	0.64	0.58	0.65
0.34	0.29	0.37	0.56	0.57	0.62
0.34	0.29	0.33	0.58	0.56	0.66
0.32	0.29	0.32	0.6	0.54	0.67
0.32	0.22	0.35	0.57	0.52	0.73
0.33	0.25	0.32	0.56	0.52	0.8
0.37	0.26	0.34	0.6	0.5	0.78
0.33	0.23	0.31	0.67	0.5	0.75
0.34	0.24	0.37	0.69	0.54	
0.34	0.23	0.3	0.69	0.57	
0.34	0.25	0.31	0.66	0.56	
0.35	0.24	0.32	0.65	0.57	
0.37	0.28	0.64	0.58	0.59	
0.36	0.24	0.85	0.6	0.58	
0.34	0.25	0.87	0.61	0.52	
0.34	0.3	0.88	0.59	0.52	
0.33	0.31	0.9	0.62	0.5	

0.34	0.26	0.78	0.59	0.5	
0.32	0.27	0.7	0.57	0.54	
0.38	0.33	0.6	0.64	0.54	
0.38	0.36	0.6	0.61	0.54	
0.38	0.33	0.64	0.64	0.55	
0.34	0.3	0.66	0.64	0.53	

Tableau 4: Base de validation.

densité	Température (°C)	Taux de solides (%poids)	éthylène non réagi (%mol)	MI
543.26	95.327	32.522	5.1646	0.32
543.67	95.367	32.798	5.3163	0.33
545.08	95.477	32.595	4.5881	0.32
532.68	102.45	33.88	4.7461	0.62
533.95	102.38	34.055	4.6266	0.6
534.3	102.24	34.137	4.5177	0.58
533.49	102.27	33.875	4.4326	0.63
533.63	102.33	33.862	4.433	0.7
532.92	102.37	33.85	4.4979	0.62
532.73	102.38	33.719	4.412	0.64
531.52	102.36	33.405	4.5122	0.7
531.31	102.4	33.367	4.5385	0.63
527.3	102.29	32.87	5.5719	0.55
527.21	102.52	33.16	5.8031	0.58
529.06	102.46	33.123	5.0723	0.72
529.75	102.54	33.231	4.803	0.8

Tableau 5 : L'indice de fluidité et la densité de différents grades.

PRODUITS	INDICE DE FLUIDITE (2,16g/190°C) ASTM D 1238 Gr / 10 min	DENSITE (23 °C) ASTM D 1505 Gr / cm 3
<i>SOUFFLAGE</i>		
<i>PEHD 5502</i>	0,30 ~ 0,40	0,9550 ~ 0,9580
<i>PEHD 6006 L</i>	0,50 ~ 0,70	0,9550 ~ 0,9580
<i>PEHD 4903</i>	0,18 ~ 0,40	0,9470 ~ 0,9500
<i>INJECTION</i>		
<i>PEHD 6030</i>	0,20 ~ 0,30	Min 0,9600
<i>PEHD 6040</i>	0,30 ~ 0,50	Min 0,9600
<i>PEHD 6060</i>	0,50 ~ 0,70	Min 0,9600
<i>PEHD 6080</i>	0,70 ~ 0,90	Min 0,9600
<i>FILM</i>		
<i>PEHD TR 140</i>	0,23 ~ 0,33	0,9430 ~ 0,9470
<i>PEHD TR 144</i>	0,16 ~ 0,22	0,9430 ~ 0,9470
<i>PIPE</i>		
<i>PEHD TR 402</i>	0,09 ~ 0,13	0,9420 ~ 0,9450
<i>PEHD TR 418</i>	0,19 ~ 0,24	0,9460 ~ 0,9400