



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université 20 août 1955 -SKIKDA**

Faculté de Technologie Département dePétrochimie

# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

## Master

Filière : industries pétrochimiques

Spécialité : Génie Pétrochimique

Thème :

**L'influence des paramètres  
opératoires sur les propriétés du  
Polyéthylène haute densité (PEHD)**

**Réalisé par :**

- HADDAD Mohamed Safouane
- LARBI REZIG Abdelkader

**Encadré par :**

● SAADI Chahrazed

**Année Universitaire 2022/2023**

## Remerciement

Nos remerciements vont en premier à Dieu tout puissant pour la volonté, la patience et surtout la santé qu'il nous a donné pour terminer notre mémoire.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier vivement notre encadreur madame e Saadi pour son soutien sans faille à tout moment. Ses précieux conseils tout au long de notre travail nous ont été d'un précieux apport durant toute cette période.

Nos vifs remerciements s'adressent aux membres de jurés et tous les enseignants du département de pétrochimie et aux travailleurs de complexe CP2K surtout aux ingénieurs de production pour leur amabilité, leurs conseils et l'aide qu'ils nous ont apportés tout au long notre séjour.

# Dédicace:

A la mémoire de mon défunt père.

A la plus belle créature que Dieu a créée sur  
terre,

À cette source de tendresse, de patience et de  
générosité,

À ma mère !

À tous mes frères et sœurs,

À mes beaux parents et à toute ma famille

À tous mes amis et collègues et les étudiants de  
la promotion 2018/2023

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la  
force de continuer .....

# Liste des abréviations :

|       |  |
|-------|--|
| ABS   | acrylonitrile butadiène styrène                |
| CP1K  | Complexe pétrochimique 1 Skikda                |
| CP2K  | Complexe pétrochimique2 Skikda                 |
| GL1K  | Train de liquéfaction du gaz naturel de Skikda |
| MI    | Melt index                                     |
| PA    | polyamide                                      |
| PC    | polycarbonate                                  |
| PE    | Polyéthylène                                   |
| PEBD  | Polyéthylène basse densité                     |
| PEBDL | Polyéthylènes linéaires de basse densité       |
| PEHD  | Polyéthylène haute densité                     |
| PEMD  | Polyéthylène moyenne densité                   |
| PET   | Poly téréphtalate d'éthylène                   |
| PF    | Catalyseur Phillips                            |
| PMMA  | poly-méthacrylate de Méthyle                   |
| PO    | Polyoléfine                                    |
| PP    | Polypropylène                                  |
| PS    | polystyrène                                    |
| PTFE  | poly tétra fluoré éthylène                     |
| PU    | polyuréthane                                   |
| PVC   | Poly chlorure de vinyle                        |
| XPF   | Catalyseur Ziegler-Natta                       |
|       |  |

## Liste de codification :

| Le nom de l'équipement                           | L'équipement                                      |
|--|---|
| <b>Les colonnes et les ballons de séparation</b> |   |
| 950-101  | Réacteur d'élimination d'acétylène                |
| 950-103  | Réacteur d'élimination d'oxygène                  |
| 950-104  | Réacteur d'élimination de monoxyde de carbone     |
| 950-105  | Séparateur du refroidisseur d'éthylène au sécheur |
| 950-106  | Réacteur d'élimination de dioxyde de carbone      |
| 950-107  | Réacteur sécheur de l'éthylène                    |
| 950-111  | Colonne de dégazage d'héxène                      |
| 950-112  | Réservoir d'alimentation d'héxène                 |
| 950-114  | Traiteur d'élimination de l'eau de l'héxène       |
| 950-121  | Colonne de dégazage de l'isobutane frais          |
| 950-122  | Réservoir d'alimentation de l'isobutane frais     |
| 950-124  | Sécheur d'isobutane frais                         |
| 950-125  | Sécheur d'isobutane de recyclage                  |
| 950-132  | Sécheur d'hydrogène                               |
| 950-151  | Pot d'addition d'antistatique                     |
| 950-155  | Réacteur  |
| 950-159  | Réservoir tampon de réfrigérant au réacteur       |
| 950-160  | Pattes de décantation de réacteur                 |
| 950-161  | Chambre de flash                                  |
| 950-162  | Chambre de flash alternatif                       |
| 950-173  | Colonne de purification de l'isobutane            |
| 950-174  | Accumulateur de colonne de recyclage              |
| 950-175  | Colonne d'évent de recyclage                      |
| 950-176  | Réservoir de stockage de l'isobutane de recyclage |
| 950-183  | Dépôt d'expansion du propane                      |
| 950-184  | Accumulateur de propane                           |
| 950-186  | Séparateur d'aspiration                           |
| 950-187  | Séparateur d'huile                                |
| 950-422  | Réservoir de charge de catalyseur à l'activateur  |
| 950-423  | Activateur de catalyseur                          |

### **Les pompes et les compresseurs**

|         |  |
|---------|--|
| 160-101 | Compresseur d'éthylène                       |
| 160-171 | Compresseur de gaz de recyclage              |
| 161-181 | Compresseur de propane                       |
| 650-182 | Pompe d'huile                                |
| 670-111 | Pompe d'héxène au sécheur                    |
| 670-121 | Pompe d'isobutane frais au sécheur           |
| 670-151 | Pompe de réacteur                            |
| 670-155 | Pompe réfrigération du réacteur              |
| 670-172 | Pompe d'isobutane de recyclage au sécheur    |
| 670-461 | Pompe d'alimentation d'isobutane au dégazeur |
| 670-463 | Pompe d'alimentation d'héxène au dégazeur    |

### **Les échangeurs de chaleur**

|         |   |
|---------|---|
| 360-421 | Four de l'activateur  |
| 360-422 | Préchauffeur air d'activation                                     |
| 410-101 | Réchauffeur d'éthylène  |
| 410-103 | Refroidisseur d'éthylène au sécheur                               |
| 410-111 | Condenseur colonne dégazage d'héxène                              |
| 410-112 | Rebouilleur colonne dégazage d'héxène                             |
| 410-113 | Refroidisseur d'héxène au sécheur                                 |
| 410-121 | Condenseur colonne de dégazage de l'isobutane frais               |
| 410-122 | Rebouilleur colonne de dégazage de l'isobutane frais              |
| 410-171 | Refroidisseur inter-étage du compresseur de gaz de recyclage      |
| 410-172 | Rebouilleur colonne de recyclage                                  |
| 410-173 | Condenseur colonne de recyclage                                   |
| 410-174 | Condenseur colonne d'évent d'éthylène                             |
| 410-175 | Economiseur de propane de réfrigération                           |
| 410-176 | Refroidisseur de l'extraction latérale de la colonne de recyclage |
| 410-177 | Refroidisseur de l'isobutane de recyclage au sécheur              |
| 410-184 | Condenseur du propane   |
| 410-185 | Séparateur d'aspiration   |

# Liste des figures :

**Figure 01 :** Répartition en tonnage de la production mondiale des polymères en 2011.....1

## Chapitre I

**Figure I.1 :** Polymères naturels ..... 4

**Figure I.2 :** Polymères synthétiques..... 5

**Figure I.3 :** Polymères amorphes ..... 5

**Figure I.4 :** Polymères semi-cristallins ..... 6

**Figure I-5 :** polymère thermodurcissable.....7

**Figure I-6 :** polymère élastomère..... 7

**Figure I.7 :** Représentation des différents grades de polyéthylène ..... 10

**Figure I-8:** Consommation mondiale de PEHD 2014 ..... 11

**Figure I.9 :** Structure d'un catalyseur de type oxyde de métal .....14

**Figure I.10 :** Structure d'un catalyseur de type Ziegler-Natta ..... 16

**Figure I.11 :** Mécanisme de polymérisation par catalyse Ziegler-Natta ..... 16

## Chapitre II

**Figure II.1:** Position géographique du CP2K ..... 20

**Figure II.2 :** Schéma synoptique de procédé de production de PEHD ..... 23

**Figure II.3:** Traitement de l'éthylène dans la série des traiteurs ..... 27

**Figure II.4 :** Le système de dégazage d'hexène..... 28

**Figure II.5:** Le Système de dégazage de l'isobutane frais ..... 29

**Figure II.6:** Traitement de l'hydrogène ..... 30

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure II.7 :</b> Activateur du catalyseur .....                                      | <b>30</b> |
| <b>Figure II.8 :</b> Réacteur de polymérisation .....                                    | <b>31</b> |
| <b>Figure II.9 :</b> Purification et récupération des gaz de purge et de recyclage ..... | <b>33</b> |
| <b>Figure II.10 :</b> Colonne de purification de l'isobutane .....                       | <b>33</b> |
| <b>Figure II.11 :</b> Système de finition et d'ensachage de PEHD .....                   | <b>34</b> |

## **Chapitre III**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure III.1:</b> Photo de plastomère utilisé dans l'analyse l'indice de fluidité .....             | <b>39</b> |
| <b>Figure III.2 :</b> Variation du MI en fonction de la concentration de l'éthylène .....              | <b>40</b> |
| <b>Figure III.3 :</b> Variation du MI en fonction de la température du réacteur .....                  | <b>42</b> |
| <b>Figure III.4:</b> Variation du MI en fonction de la productivité de catalyseur .....                | <b>44</b> |
| <b>Figure III.5 :</b> Variation du MI en fonction du débit d'hydrogène .....                           | <b>45</b> |
| <b>Figure III.6 :</b> Variation du MI en fonction du taux de solides .....                             | <b>46</b> |
| <b>Figure III.7:</b> Séries des images du dispositif utilisé dans l'analyse de densité .....           | <b>47</b> |
| <b>Figure III.8 :</b> Variation de la densité en fonction du rapport hexène/éthylène .....             | <b>48</b> |
| <b>Figure III.9:</b> Séries des photos du dispositif utilisé dans l'analyse de la teneur en cendre ... | <b>50</b> |
| <b>Figure III.10:</b> la variation de la teneur en cendre en fonction de la productivité du catalyr    | <b>51</b> |
| <b>Figure III.11 :</b> Les signes d'encrassement .....   | <b>53</b> |

# Liste des tableaux :

## Chapitre I

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau I.1</b> : Propriétés mécaniques des polyéthylènes à haute densité ..... | <b>12</b> |
| <b>Tableau I.2</b> : Propriétés physique du PEHD .....                             | <b>12</b> |
| <b>Tableau I.3</b> : Propriétés thermiques du polyéthylène à haute densité .....   | <b>13</b> |
| <b>Tableau I.4</b> : Propriétés électriques du polyéthylène à haute densité .....  | <b>13</b> |

## Chapitre II

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau II.1</b> : Les différents grades du PEHD produits au niveau de CP2K et ses utilisations ..... | <b>21</b> |
|--|-----------|

## Chapitre III

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau III.1</b> : Variation de MI en fonction de la concentration de l'éthylène .....                    | <b>40</b> |
| <b>Tableau III.2</b> : Variation de MI en fonction de la température du réacteur .....                        | <b>42</b> |
| <b>Tableau III.3</b> : Variation de MI en fonction de la productivité de catalyseur .....                     | <b>44</b> |
| <b>Tableau III.4</b> : Variation de MI en fonction de l'hydrogène .....                                       | <b>45</b> |
| <b>Tableau III.5</b> : Variation de MI en fonction du taux de solides .....                                   | <b>46</b> |
| <b>Tableau III.6</b> : Variation de la densité en fonction du rapport hexène/éthylène .....                   | <b>48</b> |
| <b>Tableau III.7</b> : La variation de la teneur en cendre en fonction de la productivité du catalyseur ..... | <b>50</b> |

# Sommaire :

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Remerciement                |   |
| Dédicace                    |   |
| Liste des abréviations      |   |
| Liste des codifications     |   |
| Liste des figures           |   |
| Liste des tableaux          |   |
| Introduction générale ..... | 1 |

## Chapitre I : Généralité sur les polyéthylènes

|  |   |
|--|---|
| Introduction .....   | 2 |
| Les polymères.....   | 3 |
| Les différents types des polymères .....                         | 3 |
| Selon l'origine .....  | 3 |
| Les polymères naturels     3                                     |   |
| Les polymères artificiels (dérivés des polymères naturels) ..... | 4 |
| Les polymères synthétiques .....                                 | 4 |
| Selon leur morphologie .....                                     | 5 |
| Les thermoplastiques .....                                       | 5 |
| Les polymères amorphes     5                                     |   |
| I.2.1.2.1.2 Les Polymères semi-cristallins .....                 | 6 |
| Les thermodurcissables.....                                      | 6 |
| Les élastomères     7  |   |
| Obtention des polymères (La réaction de polymérisation) .....    | 7 |
| La polymérisation.....   | 7 |
| Polyaddition     8   |   |

|   |           |
|---|-----------|
| Polymérisation par condensation ou ouverture de cycle.....          | 8         |
| <b>Le polyéthylène.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>Les différents types de polyéthylènes.....</b>                   | <b>10</b> |
| Polyéthylène haute densité (PEHD, HDPE en anglais).....             | 10        |
| Polyéthylène basse densité (PEBD, LDPE en anglais).....             | 10        |
| Polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL, LLDPE en anglais).....  | 10        |
| <b>Le polyéthylène haute densité (PEHD) .....</b>                   | <b>11</b> |
| Repères historiques .....   | 11        |
| La consommation mondiale de PEHD .....                              | 11        |
| <b>Les propriétés du polyéthylène à haute densité .....</b>         | <b>12</b> |
| Les propriétés mécaniques.....                                      | 12        |
| Les propriétés physiques.....                                       | 12        |
| Les propriétés chimiques .....                                      | 13        |
| Les propriétés thermiques .....                                     | 13        |
| Les propriétés électriques .....                                    | 13        |
| <b>Les voies de fabrication du polyéthylène haute densité .....</b> | <b>13</b> |
| Polymérisation catalysée par un oxyde métallique (Phillips).....    | 14        |
| Polymérisation de type Ziegler-Natta .....                          | 15        |
| <b>Conclusion.....</b>  | <b>16</b> |

## **CHAPITRE II : Présentation du complexe pétrochimique CP2K**

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>Introduction.....</b> | <b>19</b> |
| <b>Historique .....</b>  | <b>19</b> |

|   |    |
|---|----|
| Implantation de l'usine.....  | 19 |
| Description de l'usine.....   | 20 |
| Grades du PEHD produits au niveau de CP2K.....                      | 21 |
| Description générale du procédé.....                                | 22 |
| Les charges utilisées .....   | 24 |
| Traitement des matières premières et activation du catalyseur ..... | 24 |
| Traitement d'éthylène.....  | 24 |
| Élimination de l'acétylène .....                                    | 25 |
| Élimination de l'oxygène.....                                       | 25 |
| Élimination du monoxyde de carbone .....                            | 25 |
| Élimination du dioxyde de carbone.....                              | 26 |
| Élimination de l'eau et du méthanol .....                           | 26 |
| Hexène.....   | 27 |
| Isobutane.....  | 28 |
| L'isobutane frais.....  | 28 |
| L'isobutane de recyclage .....                                      | 29 |
| Hydrogène.....  | 29 |
| Activation du catalyseur .....                                      | 30 |
| Le réacteur et la zone de purification et de récupération .....     | 31 |

## **CHAPIRE III: Données des paramètres et interprétation**

|  |           |
|--|-----------|
| Introduction.....                                    | 38        |
| <b>L'indice de fluidité (Melt index) .....</b>       | <b>38</b> |
| Appareillage.....                                    | 38        |
| Mode opératoire .....                                | 39        |
| Les paramètres influençant l'indice de fluidité..... | 39        |
| La concentration d'éthylène.....                     | 40        |
| Interprétation des résultats                         | 40        |
| La température du réacteur .....                     | 42        |
| Interprétation des résultats                         | 42        |
| Les mesures correctrices .....                       | 43        |
| La productivité du catalyseur.....                   | 43        |
| Interprétation des résultats                         | 44        |
| La concentration d'hydrogène .....                   | 45        |
| Interprétation des résultats                         | 45        |
| Le taux des solides .....                            | 46        |
| Interprétation des résultats                         | 46        |
| <b>La densité du PEHD .....</b>                      | <b>47</b> |
| Mode opératoire .....                                | 47        |
| Les paramètres influençant la densité du PEHD .....  | 48        |
| Interprétation des résultats .....                   | 49        |
| <b>La teneur en cendre .....</b>                     | <b>49</b> |
| Mode opératoire .....                                | 49        |
| Les paramètres influençant la teneur en cendre.....  | 50        |

|  |           |
|--|-----------|
| Interprétation des résultats .....                 | 51        |
| <b>L'encrassement du réacteur.....</b>             | <b>51</b> |
| Types d'encrassement.....                          | 51        |
| Encrassement copolymère.....                       | 51        |
| Encrassement homopolymère.....                     | 52        |
| Encrassement par les solides .....                 | 52        |
| Les indices d'encrassement.....                    | 52        |
| Les actions à prendre lors d'un encrassement ..... | 53        |
| <br>   |           |
| <b>Conclusion générale .....</b>                   | <b>55</b> |
| <b>Les références .....</b>                        | <b>56</b> |
| <b>Les annexes</b>                                 |           |
| Annexe A .....                                     | 57        |
| Annexe B.....                                      | 68        |
| Annexe C .....                                     | 69        |
| Annexe D .....                                     | 70        |
| Annexe E.....                                      | 71        |

**Résumé :**

Dans ce travail on a étudié l'influence des paramètres opératoires sur les propriétés du polyéthylène haute densité en utilisant le procédé PHILIPS (PF). Un PEHD est considéré conforme s'il possède un certain indice de fluidité, la densité et un minimum de teneur en cendre, Le contrôle de ces propriétés se fait expérimentalement 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, de l'hexène. Les résultats de cette étude obtenus montrent qu'ils sont dans les normes d'un PEHD commercialisable.

Mots clés : PEHD, Densité, indice de fluidité, normes, Phillips

# Introduction générale

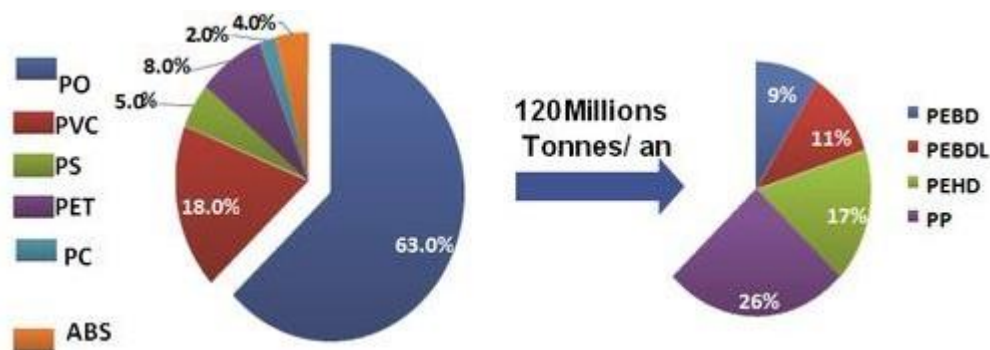
# Introduction générale

---

Les polymères sont des macromolécules composées d'enchaînements d'une ou de plusieurs unités répétitives appelées monomères. Grâce à une vaste gamme de monomères polymérisables, les polymères possèdent des propriétés physiques, optiques, chimiques très variées, ce qui explique qu'ils sont aujourd'hui présents dans tous les domaines d'application tels que les transports, l'agriculture, la santé, l'informatique, etc...

Les matières plastiques sont essentiellement fabriquées par les dérivés pétrochimiques, issus à partir du pétrole ou du gaz naturel. Mais l'existence des polymères synthétiques

Les polyoléfines sont des polymères thermoplastiques composés de chaînes hydrocarbonées obtenues à partir de la polymérisation des oléfines (éthylène, propylène ...). Ces matériaux occupent aujourd'hui une place majeure dans l'industrie des polymères car ils représentent à eux seuls plus de 50% de la production mondiale des polymères Figure 01. L'essor connu par les polyoléfines ces dernières décennies s'explique par leur large gamme de propriétés mécaniques, leur inertie vis-à-vis de la plupart des produits chimiques, leur facilité de mise en œuvre et leur faible coût de production. L'efficacité des procédés industriels de production ainsi que la forte disponibilité de la matière première issue directement de la pétrochimie en font des matériaux courants et bon marché.



PO : Polyoléfine ; PVC : poly chlorure de vinyle ; PS : polystyrène ;

PET : Poly (téréphtalate d'éthylène) ; PC : polycarbonate ; ABS : acrylonitrile butadiène styrène ; PEBD : polyéthylène basse densité. PEBDL : polyéthylène basse densité linéaire ;

PEHD : polyéthylène haute densité ; PP : polypropylène.

**Figure 01.** Répartition en tonnage de la production mondiale des polymères en 2011[1].

## Introduction générale

---

Le polyéthylène fait partie de la famille des polyoléfinés et c'est aujourd'hui le polymère le plus produit dans le monde, son tonnage annuel atteignant environ 70 millions de tonnes.

La demande en polyéthylène ne fait que croître à travers le monde et l'Algérie n'échappe pas à cette tendance.

Ainsi, pour satisfaire le marché national, l'Algérie a acquis l'unité PEHD qui se trouve au niveau du CP2K afin de réduire ses importations en polyéthylène et essayer d'exporter.

L'objectif de ce travail est d'analyser l'influence des paramètres opératoires sur les propriétés du polyéthylène haute densité (PEHD). En modifiant des variables telles que la température, la pression, l'injection des matières premières..., nous cherchons à comprendre comment ces facteurs influencent la densité, l'indice de fluidité (MI) et d'autres caractéristiques du matériau. Cette étude contribuera à optimiser les conditions de fabrication du PEHD afin d'obtenir des produits répondant aux exigences spécifiques de différentes applications industrielles.

Nous entamons ce travail par quelques notions sur les polymères et le polyéthylène ainsi que leurs différents procédés de fabrication (polymérisation de type Phillips ou Ziegler-natta)

Nous passerons par une description brève du complexe CP2K. Ainsi, nous présenterons l'implantation du complexe, ses différentes zones, départements et services et les grades du PEHD produits au niveau de CP2K, et nous expliquerons les différentes étapes et installations de fabrication du PEHD du procédé Phillips ainsi que les traitements effectués aux matières premières avant l'entrée du réacteur afin de satisfaire les spécifications requises.

Nous finirons notre travail par les analyses réalisés au niveau des laboratoires, en plus des résultats expérimentaux et les interprétations puis la conclusion général.



**Chapitre I :**  
Généralité sur les polyéthylènes

## Introduction

Le polyéthylène occupe une position très dominante dans la vie quotidienne et son utilisation, il touche pratiquement tous les domaines sans exception et principalement dans les canalisations d'adduction d'eau potable et de gaz. La connaissance de diverses propriétés de ce matériau est indispensable dans la mesure où sa consommation mondiale connaît une forte augmentation. Ce chapitre comporte des généralités sur les polymères spécifiquement le polyéthylène haute densité. En effet, Il est produit industriellement par polymérisation radicalaire à haute pression (> 1 000 bar) et haute température (> 150 °C) et par polymérisation catalytique par coordination/insertion à plus basse température (< 100 °C) et plus basse pression (< 50 bar).

## Les polymères

Le mot polymère nous vient du grec. Les racines « poly et mérous » signifient plusieurs parties. On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentale appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes dont sa formule est symbolisée par celle de l'unité répétitive, mise entre parenthèses et accompagnée d'un indice « n » qui indique le nombre de monomères constituant chaque chaîne de polymères. Lorsque ce nombre « n » est inférieur à une dizaine de polymère reçoit le nom d'oligomère [2].

### Un monomère

Est un composé constitué de molécules simple pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Contrairement au polymère, un monomère à une faible masse moléculaire. Le terme macromolécule est souvent utilisé à la place de polymère [3].

## Les différents types des polymères

### Selon l'origine

On distingue les polymères naturels, artificiels, et les polymères synthétiques

#### Les polymères naturels

Issus les régimes végétal, animal ou minéral, leur économie et le rôle qu'ils jouent dans les mécanismes vitaux leur a assuré une place de premier choix [4].

**Exemple :**

- Les polysaccharides (cellulose, amidon).
- Les protéines (la laine, la soie...), Le caoutchouc naturel.



**Figure I.1.** Polymères naturels [4].

**Les polymères artificiels (dérivés des polymères naturels)**

Sont obtenus par modification chimique de polymères naturels de façon à transformer certaines de leurs propriétés [4].

**Exemple**

- les esters celulosiques, (nitrocellulose, acétate de cellulose...etc.).
- Ebonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre).

**Les polymères synthétiques**

Les molécules monomères qui permettent de les obtenir n'existent pas dans la nature. Cependant, on peut remarquer que les structures réalisées par synthèse sont souvent proches de celles des polymères naturels [4].

**Exemple :**

[Polychlorure de vinyle (PVC), polypropylène (PP), polyéthylène (PE), polyéthylène à basse densité (PE-BD), polyéthylène à haute densité (PE-HD), polyamide (PA), poly tétra fluoré éthylène (PTFE, " téflon "), polyéthylène téréphtalate (PET), poly- méthacrylate de Méthyle (PMMA), polycarbonate (PC), polystyrène (PS), polyuréthane (PU), poly-diméthyle siloxanes (silicone)]



**Figure I.2.** Polymères synthétiques [4].

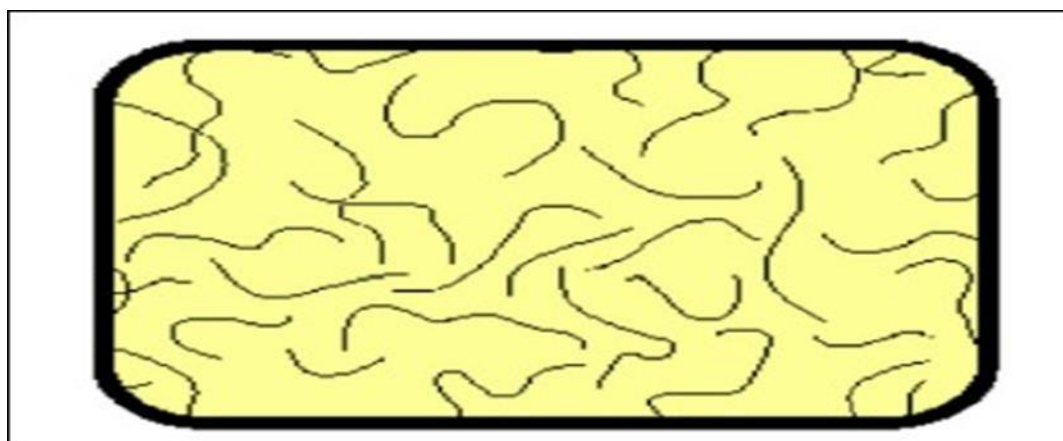
### Selon leur morphologie

#### Les thermoplastiques

Un thermoplastique est un polymère linéaire ou ramifié pouvant être ramolli par chauffage et durcit par refroidissement dans un intervalle de température spécifique. Ces polymères peuvent cristalliser en thermoplastes amorphes ou en thermoplastes semi- cristallins comme le polyéthylène (PE) [02].

#### Les polymères amorphes :

Ils sont transparents. En dessous de leur température de transition vitreuse (ramollissement) ils sont à l'état vitreux et l'on parle de verres organiques. Ils sont généralement peu résistant à la rupture. Les chaînes macromoléculaires peuvent être organisées de façon aléatoire dans l'espace et constituent ainsi une phase amorphe. La phase amorphe est en théorie équivalente à un liquide « figé » sans ordre moléculaire à orientations macromoléculaires préférentielles (Figure I.3) [05].



**Figure I.3.** Polymères amorphes [3]

### Les Polymères semi-cristallins

Ils sont constitués de phases cristallines et de phases amorphes du même polymère. Leur microstructure est souvent complexe et, en conséquence, la description de leurs propriétés aussi. Leurs propriétés mécaniques sont généralement bonnes.

Les matières semi- cristallines ont une structure moléculaire hautement ordonnées, avec des points de fusion très précis. Elles ne ramollissent pas à mesure que la température augmente, puis se transforment rapi dement en un liquide à basse viscosité. Elles ont une excellente résistance chimique.

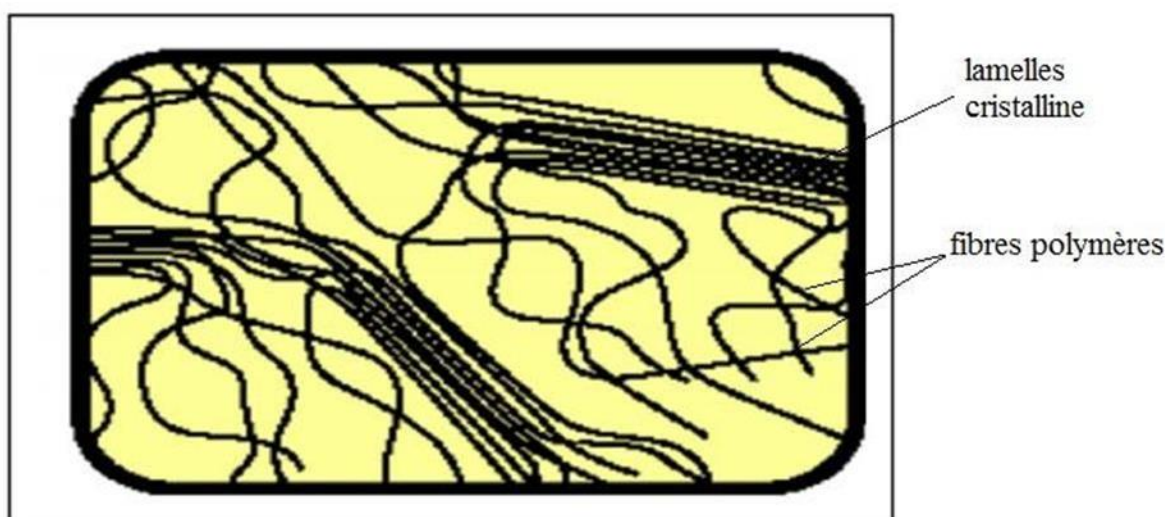
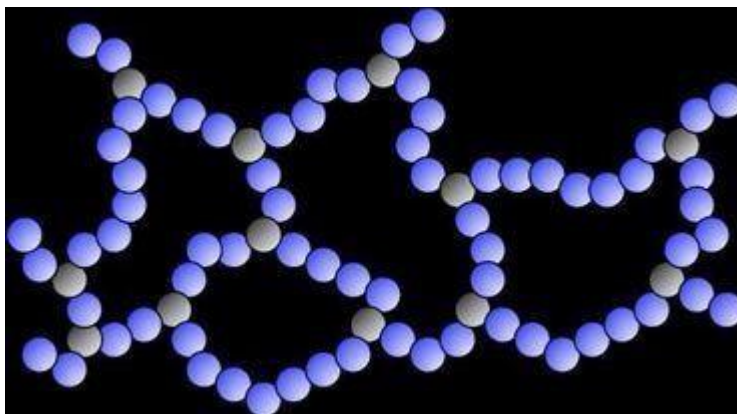


Figure I.4. Polymères semi-cristallins [3]

### Les thermodurcissables

Un thermodurcissable est un produit poudre à mouler solide, ou résine liquide transformé irréversiblement par polymérisation en un réseau tridimensionnel infusible et insoluble que l'on qualifie de thermo durci. Il est souvent d'usage, dans l'industrie, d'employer abusivement le terme thermodurcissable pour désigner à la fois le système réactif initial.

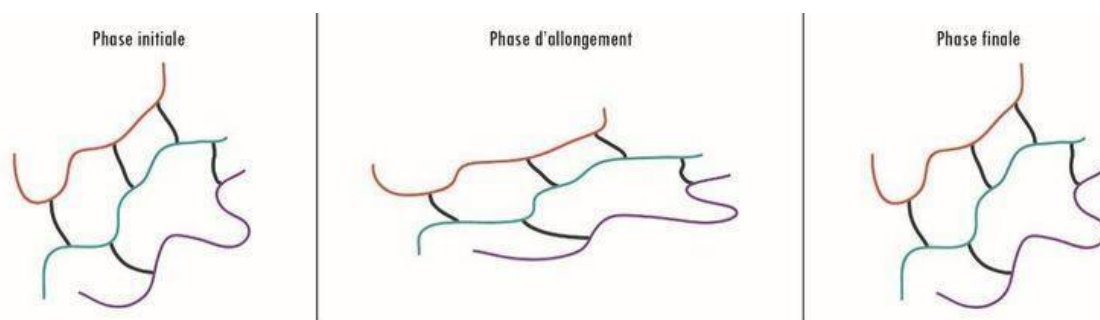
La mise en œuvre des thermodurcissables est donc moins aisée que celle des thermoplastiques car il faut impérativement effectuer la mise en forme en même temps que la réaction chimique de réticulation. Cependant, le thermodurcissable présente une résistance mécanique, chimique et thermique plus élevées que les thermoplastiques [4].



**Figure I.5.** Polymère thermodurcissable [4].

### Les élastomères

Un élastomère est un polymère linéaire ou ramifiée transformé par vulcanisation en un réseau tridimensionnel faiblement réticulé infusible et insoluble. Les élastomères se différencient des thermodurcissables par leur propriété d'élasticité caoutchoutière, c'est à dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous l'action de contrainte mécaniques. Ils peuvent atteindre de très grands allongements, tout en étant capables de retrouver leur géométrie initiale en restituant au milieu l'énergie qui leur a été fournie lors de la déformation [02].



**Figure I.6.** polymère élastomère [02].

### Obtention des polymères (La réaction de polymérisation)

#### La polymérisation

La transformation d'un polymère se produit à partir de molécules de base identiques, et elle peut se dérouler rapidement et sans laisser de résidus. Elle peut être réalisée sous pression et à une certaine température en utilisant des techniques telles que l'amorçage radicalaire ou ionique, le

rayonnement, l'utilisation de catalyseurs appropriés, ou encore par l'effet combiné de plusieurs de ces facteurs. Ce processus aboutit à la formation d'un polymère sous forme d'une macromolécule à chaîne linéaire, où le motif structural de la molécule de base est répété des milliers de fois. Si l'on utilise des monomères différents, on obtient alors un copolymère [06].

On les obtient de deux façons différentes :

**-Polyaddition** : on additionne les monomères : il n'y a pas de pertes d'atomes.

**-Polycondensation** : les monomères réagissent entre eux pour former le polymère et (le plus souvent) une petite molécule.

### **Polyaddition**

Cette réaction concerne les polymères découlant des monomères possédant des fonctions alcène (C=C) (exemple : PE, PS, PVC).

Il existe quatre types de polymérisation en chaîne :

a-Polymérisation radicalaire

b-Polymérisation cationique

c-Polymérisation anionique

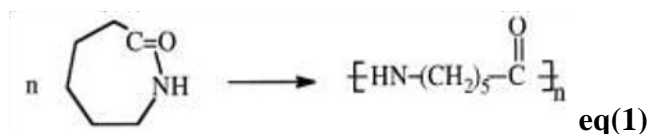
d-Polymérisation de coordination [07]

### **Polymérisation par condensation ou ouverture de cycle**

Deux types de polymérisation par étapes sont possibles :

**a-Polymérisation par condensation** : la polymérisation par condensation produit des polymères importants comme les polyesters, les polyamides (nylons), les polycarbonates, les polyuréthanes et les résines phénol formaldéhyde [07].

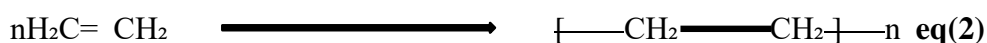
**b-Polymérisation par ouverture de cycle** : La polymérisation par ouverture de cycle produit un petit nombre de polymères synthétiques commerciaux. La réaction d'ouverture de cycle la plus importante est celle du caprolactame pour la production du nylon 6 :



Les monomères utilisés dans la polymérisation par ouverture de cycle (par addition) sont des composés cycliques qui s'ouvrent facilement avec l'action d'un catalyseur durant la réaction. De petits cycles tendus conviennent pour ce type de réaction [07].

### Le polyéthylène

Le polyéthylène, est la polyoléfine la plus anciennement préparée industriellement, il est issu de la polymérisation du monomère éthylène gazeux seul pour former un homopolymère.



Ou en présence d'un Co monomère de type 1-alcène pour former un copolymère. Les PE (polyéthylènes) font partie des thermoplastiques parmi toutes les matières plastiques. C'est-à-dire qu'ils ont des propriétés qui leur confèrent une malléabilité à chaud et une thermo élasticité réversible. Mais ils sont de natures différentes selon les modes de polymérisation :

- A partir d'une méthode à haute pression, on obtient un polymère très ramifié appelé PEBD (le polyéthylène basse-densité) A l'inverse on utilise un procédé à basse pression pour obtenir PEHD (le polyéthylène haute densité).
- Il existe par ailleurs un autre type de PE, le PEMD (moyenne densité), mais c'est en réalité un intermédiaire entre les 2 formes et n'a pas de caractéristiques particulières ou intéressantes qui méritent d'être développée [08].

Pour ce qui est de sa caractérisation, le PE doit répondre à 2 exigences :

- ✓ être apte à subir des conditions industrielles qui le font passer de granules à l'objet fini (film, bouteille)
- ✓ conférer à l'objet fini les propriétés nécessaires à son usage : transparence pour un film, stabilité dimensionnelle pour une pièce injectée, absence de "neck-in" pour une enduction [08].

### Les différents types de polyéthylènes

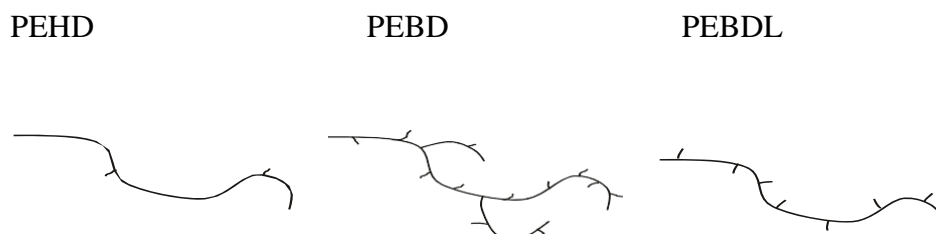


Figure I.7 : Représentation des différents grades de polyéthylène [10].

#### Polyéthylène haute densité (PEHD, HDPE en anglais)

Le polyéthylène haute densité (PEHD) est le grade qui se rapproche le plus de la structure idéale du polyéthylène. Il s'agit d'un polymère linéaire avec quelques ramifications. Grâce à sa faible quantité de défauts structurels et de ramifications, il peut s'organiser sous forme de cristaux, ce qui lui permet d'atteindre des taux élevés de cristallinité. En conséquence, il possède la densité la plus élevée parmi les différents types de polyéthylène, variant de 0,94 à 0,97 g/cm<sup>3</sup>. Le PEHD est synthétisé par catalyse, notamment grâce aux procédés de Ziegler-Natta ou de Phillips, et il est utilisé dans diverses applications telles que la fabrication de bouteilles de lait, de flacons de détergent ou de produits cosmétiques, de tuyaux d'eau ou encore de jouets.

#### Polyéthylène basse densité (PEBD, LDPE en anglais)

Le polyéthylène basse densité (PEBD) est un polymère fortement ramifié. Les ramifications le long des chaînes de polymère entravent leur organisation et leur cristallisation. Par conséquent, sa densité est plus faible que celle du PEHD, se situant entre 0,90 et 0,94 g/cm<sup>3</sup>. Le PEBD est synthétisé par polymérisation radicalaire, et les ramifications sont directement liées aux conditions de polymérisation. Ce type de polymère est couramment utilisé dans la fabrication de films tels que les sacs plastiques et les emballages souples. Il est également utilisé pour produire des flaconnages flexibles.

#### Polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL, LLDPE en anglais)

Le polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL) est un polymère linéaire qui présente des ramifications courtes de longueur constante, distribuées de manière aléatoire le long des chaînes. Il est obtenu par catalyse grâce à la copolymérisation de l'éthylène avec une 1-oléfine courte telle que

le 1-butène, le 1-hexène ou le 1-octène. Tout comme le PEBD, les ramifications entravent partiellement la cristallisation, ce qui se traduit par une plage de densités similaire, allant de 0,90 à 0,94 g/cm<sup>3</sup>. Le PEBDL est utilisé dans diverses applications telles que la fabrication de films, de tuyaux, de câbles et de jouets

### Le polyéthylène haute densité (PEHD)

#### Repères historiques

- **1951** : apparaissent les premiers brevets sur le PE linéaire de haute densité, le 28 avril, dépôt par la société Standard Oil avec un catalyseur à base d'oxyde de molybdène, et le 2 août, dépôt par la société DUPONT.
- **1953** : brevet PHILLIPS (catalyseur à oxyde de chrome) et brevet ZIEGLER (catalyseur Ziegler-Natta).
- **1955** : production industrielle de PEHD par catalyse Ziegler.
- **1956** : production industrielle par PHILLIPS [08].

#### La consommation mondiale de PEHD

Le PEHD est le troisième matériau plastique des produits de base dans le monde après le polychlorure de vinyle et le polypropylène entre 1990 jusqu'au 2020.

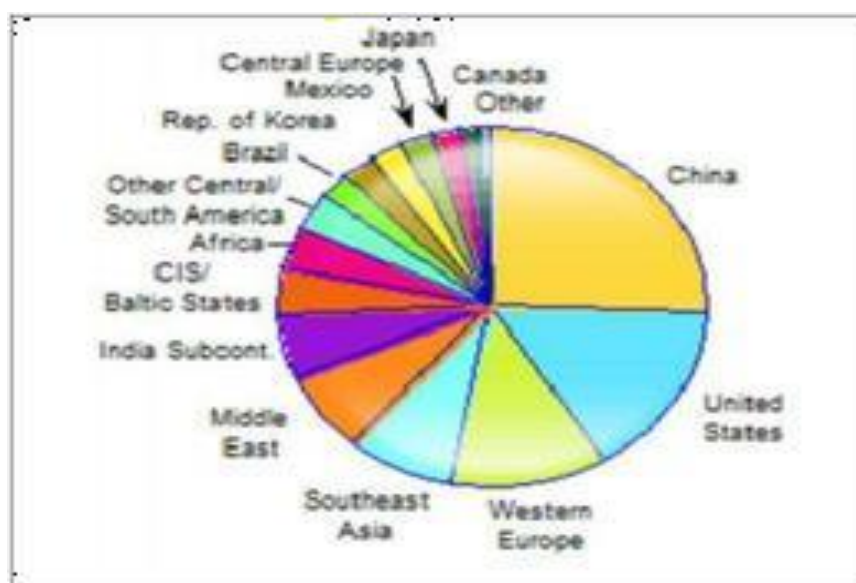


Figure I.8. Consommation mondiale de PEHD 2014 [09].

La consommation mondiale de HDPE est tirée par la demande chinoise, qui représente 23.5% du total du monde. Les États-Unis suivent, avec environ 20.5% 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 ans.

### Les propriétés du polyéthylène à haute densité

#### Les propriétés mécaniques

**Tableau I.1** : Propriétés mécaniques des polyéthylènes à haute densité [04]

| Propriétés                                  | Unités            | PEHD     |
|---|-------------------|----------|
| Masse volumique                             | g/cm <sup>3</sup> | ≥0,955   |
| Indice de fluidité (190°C)                  | g/10min           | 0,3-18   |
| Contrainte au seuil d'écoulement (traction) | MPa               | 25-30    |
| Résistance à la rupture                     | MPa               | 30-35    |
| Allongement rupture                         | %                 | 500-1100 |
| Module d'élasticité en traction             | MPa               | 800-1100 |

#### Les propriétés physiques

**Tableau I.2** : Propriétés physique du PEHD [04]

| Transmission lumineuse | Masse volumique (cm <sup>3</sup> ) | Absorption d'eau (%) | Taux cristallinité (%) |
|------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------|
| Mauvaise               | 0,95                               | 0,01                 | 70 à80                 |

### Les propriétés chimiques

Les polyéthylènes à haute densité possèdent une grande stabilité chimique, à des températures inférieures à 60°C, ils sont pratiquement insolubles, ils ne sont attaqués ni par les acides (sauf oxydants), ni par les bases, ni par les solutions de sel. Ils sont insolubles dans l'eau, mais ils sont sensibles à l'état naturel à l'action des ultraviolets en présence d'oxygène (aire) ; pour cela, ils sont chargés de poudres de carbone, 2 à 3% ou de stabilisantes lumières. Ils sont sensibles au feu et à la fissuration sous contrainte en présence de savon, alcool...etc [04].

### Les propriétés thermiques

**Tableau I.3 :** Propriétés thermiques du polyéthylène à haute densité [11]

| Coefficient de dilatation $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ | Conductivité ( $10^4 \text{cal/s.cm}$ ) | Chaleur Spécifique ( $\text{Cal/g. } ^{\circ}\text{C}$ ) | Fléchissement Sous charge (0, 186h) | Chaud Continue ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Comportement Au froid |
|--|---|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 11 à 13  | 11 à 12                                 | 0,55   | 42 à 54                             | 120°C                                 | bon                   |

### Les propriétés électriques

**Tableau I.4 :** Propriétés électriques du polyéthylène à haute densité [02]

| Résistivité $\Omega.\text{Cm}$ | Rigidité d'électrique KV/mm | Constante D'électrique à $10^{16}\text{HZ}$ | Facteur de perte à $10^{16}\text{HZ}$ | Résistivité à l'arc |
|--------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------------------|---------------------|
| $10^8$                         | 18 à 24                     | 2,3   | 3 à 5                                 | 190                 |

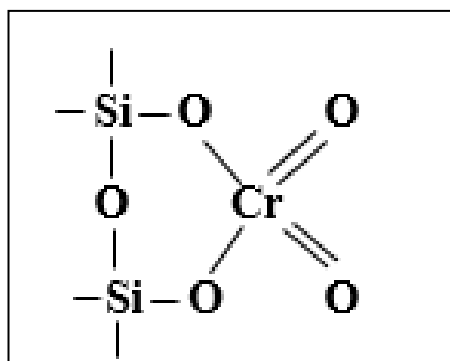
### Les voies de fabrication du polyéthylène haute densité

Les deux voies essentielles pour la fabrication du PEHD sont :

### Polymérisation catalysée par un oxyde métallique (Phillips)

Ce type de polymérisation a lieu dans des conditions de température et de pression moyennes.

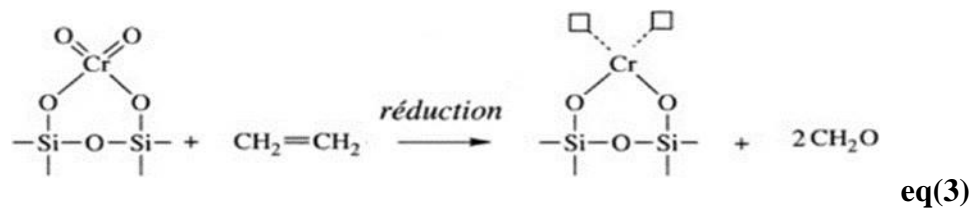
La méthode la plus couramment employée vient du procédé Phillips. Les oxydes de chrome (Figure I.1) sont les catalyseurs les plus largement utilisés pour la production de polyéthylène haute densité, avec un peu plus de la moitié de la production mondiale. Ils sont supportés par un support de silice poreuse, ou d'aluminosilicate à faible teneur en alumine [08].



**Figure I.9** : Structure d'un catalyseur de type oxyde de métal [12].

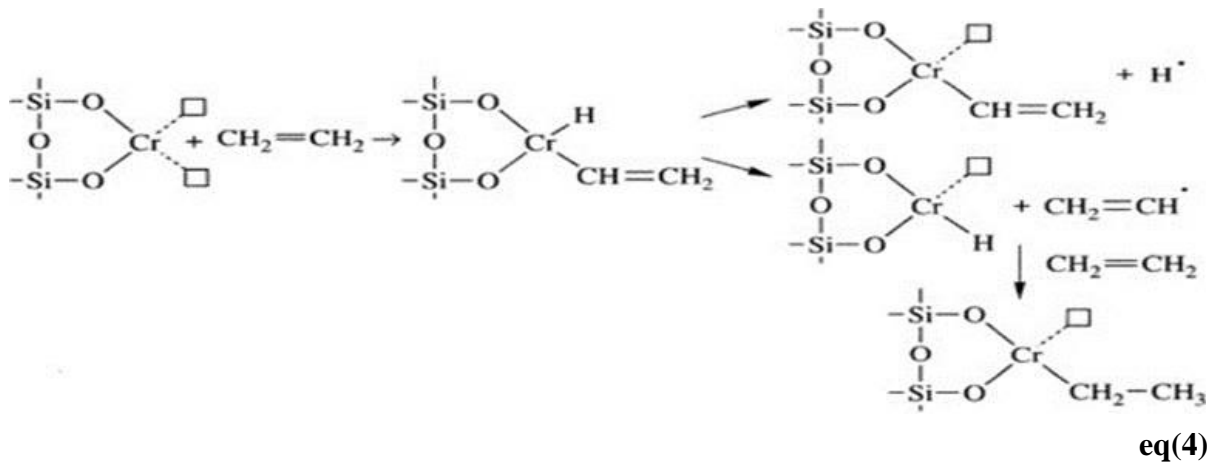
La polymérisation de l'éthylène avec le catalyseur PF est radicalaire, cependant elle suit les trois étapes suivantes : Initiation, propagation et terminaison.

Le catalyseur passe d'abord par son état de réduction selon la réaction :

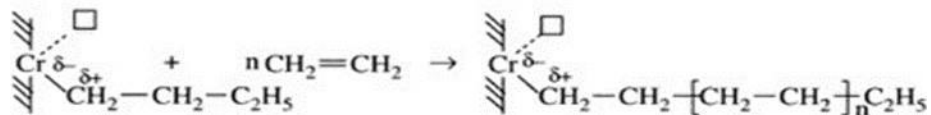
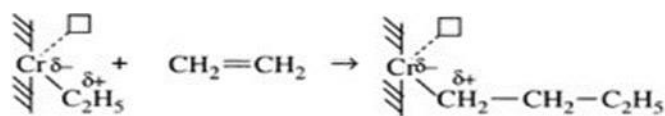


• **Initiation**

Dans cette étape, il y a formation de fragment libre.

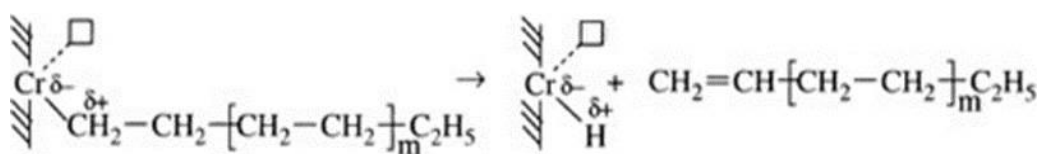


• **Propagation**



eq(5)

• **Terminaison par dismutation**



eq(6)

**Polymérisation de type Ziegler-Natta**

Cette voie de synthèse a lieu dans des conditions de températures et de pression relativement faibles, légèrement inférieures aux conditions précédentes. De manière générale, ils consistent en un complexe entre un organométallique, avec un sel de métal de transition, L'exemple le plus typique pour la synthèse de PEHD, présenté en Figure I.3, est le cas du chlorure de triéthyl aluminium (AlEt<sub>3</sub>) avec le tétrachlorure de titane (TiCl<sub>4</sub>) [08].

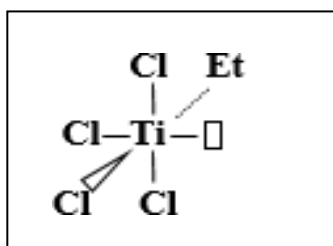


Figure I.10 : Structure d'un catalyseur de type Ziegler-Natta [12].

Le site actif de cette polymérisation comprend un atome de titane complexe à 4 atomes de chlore et un groupe alkyle dans une configuration octaédrique, avec un site vacant.

Ce dernier permet à une molécule d'éthylène de complexer l'atome de titane. Dans l'étape suivante la molécule d'éthylène s'insère entre le métal et le groupe alkyle, créant

Un nouveau site vacant et chaîne de PE [08].

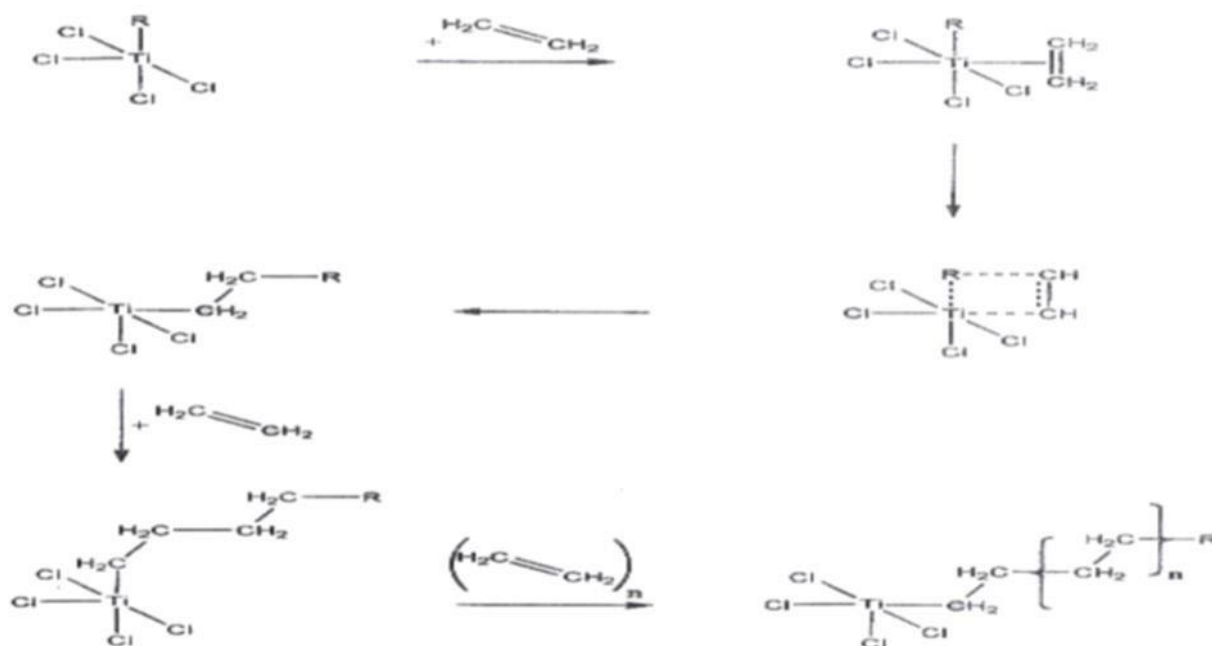


Figure I.11 : Mécanisme de polymérisation par catalyse Ziegler-Natta [12].

### I.4 Conclusion

Le polyéthylène présente une importance économique colossale et a connu un intérêt grandissant grâce à son inertie chimique, ses propriétés mécaniques, sa facilité de mise en œuvre et son faible coût de production.



**CHAPITRE II :**  
**Présentation du complexe**  
**pétrochimique CP2K**

## Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation générale du complexe CP2K, en incluant sa localisation géographique ainsi que les dates clés liées à la construction et au démarrage de l'unité de production de polyéthylène haute densité (PEHD). Nous aborderons également l'organisation et la structure du complexe, ainsi que des informations sur la gamme des grades de PEHD fabriqués.

Nous expliquons le procédé Philips et comment traiter les matières première avant les injecter dans le réacteur.

Enfin, nous montrons les méthodes de purification et récupération du gaz et l'isobutane de recyclage ... jusqu'à l'obtention du produit final

## Historique

Le complexe CP2K a vu le jour au niveau de la zone industrielle de SKIKDA en janvier 2004 après que le projet de réalisation d'une unité de polyéthylène haute densité 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 Algéro- 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.

## Implantation de l'usine

Le complexe CP2K, comprenant l'unité de production de polyéthylène haute densité (PEHD), est situé dans la zone industrielle de Skikda. Il s'étend sur une superficie d'environ 17 hectares (166 800 m<sup>2</sup>), dont 10% sont occupés par des infrastructures. Le complexe CP2K est situé le long de la côte, à environ 6 km à l'est de la capitale de la wilaya de Skikda, avec une altitude moyenne d'environ 6 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La position géographique est limitée comme suit :

- Au Nord : La mer Méditerranée.
- Au sud : La route principale de la zone industrielle.
- A l'Est : La force d'intervention et de réserve.
- A l'Ouest : CP1K (complexe pétrochimique 1 de SKIKDA).



Figure II.1. Position géographique du CP2K (maps)

### Description de l'usine

Le CP2K a pour but de produire du polyéthylène haute densité (PEHD) d'une capacité de 130 000 tonnes/an. Le complexe est composé de quatre zones principales qui sont :

- **Zone d'off site** : Elle comporte les utilités (chaudières, air, azote, eau dessalée, eau anti-incendie, eau potable et détente de gaz), l'activation du catalyseur se fait aussi dans cette zone.
- **Zone humide** : Elle s'appelle aussi zone de réaction, les matières premières avant d'entrer au réacteur passent par les traiteurs afin d'éliminer les impuretés.
- **Zone sèche** : Elle contient les éléments suivants : extrudeuse, soufflantes, silos de stockage des produits finis (poudre et granulé), ensachage.
- **Zone bâtiment** : Comme son nom l'indique, c'est dans cette zone qu'on trouve : le bloc administratif et des finances, la cantine et les vestiaires, le bloc sécurité et

infirmierie, le magasin des pièces de rechanges et l'atelier de maintenance, la sous station haute et basse tension ainsi que la salle de contrôle et le laboratoire.

### Grades du PEHD produits au niveau de CP2K

Le complexe CP2K propose toute une gamme de PEHD comportant neuf grades différents. Ces derniers sont caractérisés par leur indice de fluidité et leur densité, qui sont rapportés dans le tableau suivant :

**Tableau II.1.** Les différents grades du PEHD produits au niveau de CP2K et ses utilisations.

| <b>Grade</b> | <b>Indice de fluidité<br/>(Poudre/granulé)</b> | <b>Densité</b> | <b>Utilisation</b>  |
|--------------|--|----------------|---|
| <b>TR402</b> | 0,11-0,19/0,08-0,14                            | 0,9430-0,9460  | PIPE: (Tube Eau).   |
| <b>TR418</b> | -  | -              | Tube gaz  |
| <b>5502</b>  | 0,55-0,70/0,27-0,43                            | 0,9530-0,9580  | Soufflage : des bouteilles de petite et Grande taille                   |
| <b>TR140</b> | 0,33-0,48/0,20-0,36                            | 0,9430-0,9480  | FILM : Usage Général toute Sacherie                                     |
| <b>TR144</b> | 0,25-0,38/0,14-0,24                            | 0,9420-0,9470  | FILM : Usage Général toute Sacherie                                     |
| <b>6080</b>  | 7,0-10,0/6,80-9,20                             | 0,9590-0,9650  | Injection : Palette, caisse, bidon, Bouchon, casier, articles de ménagé |
| <b>6030</b>  | 2,0-3,80/1,80-3,20                             | 0,9590-0,9650  | Injection : Palette, caisse, bidon, bouchon, casier, articles de ménage |
| <b>6040</b>  | 3,0-5,80/2,80-5,20                             | 0,9590-0,9650  | Injection : Palette, caisse, bidon, bouchon, casier, articles de ménage |
| <b>6006L</b> | 0,80-1,15/0,47-0,73                            | 0,9570 min     | Soufflage : des bouteilles de petite et Grande taille                   |

### Description générale du procédé

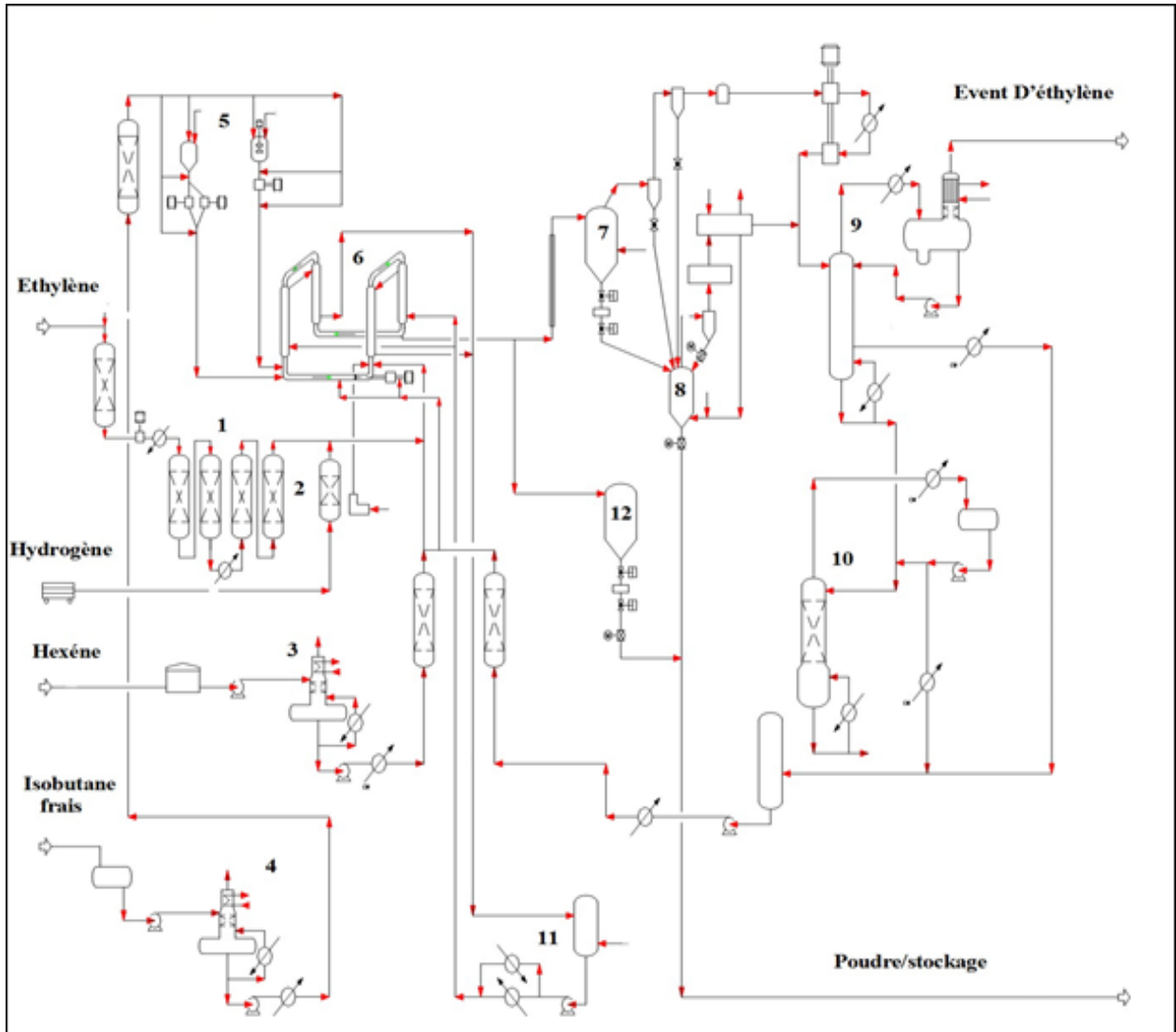
L'usine de POLYMED de Skikda comporte deux procédés de production dans une même installation : Procédé Phillips (PF) Procédé Ziegler-Natta (XPF)

Mais depuis son premier démarrage, elle n'utilise que le procédé Phillips, car le catalyseur utilisé dans le procédé Ziegler est cher comparé à celui utilisé dans le procédé Phillips.

Le procédé Phillips, connu sous le nom de PF procès ou procédé de particules, qui a été conçu pour l'usine de POLYMED, il consiste surtout en la polymérisation catalytique de l'éthylène dans un réacteur tubulaire continu, en phase liquide (formant une suspension dans l'isobutane). La réaction chimique, fortement exothermique (800 kcal/kg polymère.), a lieu à une température qui se trouve normalement entre 85 et 110°C et à une pression de 42 à 44 kg/cm<sup>2</sup> (g).

L'Usine est conçue pour produire des polymères d'une densité comprise entre 0,935 et 0,965, avec un index de fluidité de 0,1 à 36 et plus. Avec le développement du catalyseur XPF, la gamme de la densité et de l'index de fusion des polymères produits selon le procédé PHILLIPS, a augmenté considérablement.

La figure suivante présente le schéma technologique de procédé de production de PEHD :



**Figure II.2** : Schéma synoptique de procédé de production de PEHD

- |   |   |
|---|---|
| 1. Section de traitement de l'éthylène                                | 2. Réacteur de traitement de l'hydrogène      |
| 3. Section de traitement de l'hexène                                  | 4. Section de traitement de l'isobutane frais |
| 5. Section de l'activation et l'injection du catalyseur               |   |
| 6. Section de réaction (réacteur tubulaire)                           |   |
| 7. Chambre de flash (séparation poudre-isobutane)                     | 8. Colonne de purge                           |
| 9. Section de purification de l'isobutane recyclé                     |   |
| 10. Section de déshexanisation et récupération de l'isobutane recyclé |   |
| 11. stockage de l'isobutane recyclé                                   | 12. Chambre de flash alternative              |

**Les charges utilisées**

- l'éthylène en phase gazeuse : la charge principale (consommé d'une moyenne de 133 000 t/an approvisionné du complexe CP1K situé à proximité ou bien l'éthylène importé (Italie, Libye, Espagne, Arabie Saoudite)).
- l'isobutane en phase liquide : le milieu réactionnel (venant du GL1K situé également à proximité consommé d'une moyenne de 2500 t/an).
- l'hexène en phase liquide et Hydrogène en phase gazeuse avec des faibles quantités.
- Le catalyseur : l'oxyde de chrome( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) supporté sur silice.

**Traitement des matières premières et activation du catalyseur**

Les courants d'alimentation au réacteur nécessitent un haut degré de pureté afin d'assurer la production de copolymères de qualité. Avant leur utilisation, ces courants sont soumis à un traitement préalable visant à éliminer les éventuels poisons présents dans le catalyseur, tels que l'acétylène, l'oxygène, le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, le méthanol et l'eau. Cette purification est réalisée à l'aide d'équipements appropriés, tels que des traiteurs pour l'éthylène, des colonnes de dégazage pour l'isobutane et l'hexène-1, ainsi que des sècheurs spécifiques pour tous les courants. Le but est d'obtenir des contenus résiduels sans danger pour le processus de production.

**Traitement d'éthylène**

•L'éthylène est le principal réactif du procédé, il est reçu à l'Usine, moyennant une tuyauterie provenant de l'Installation d'éthylène adjacente à celle-ci, à 16,9 kg/cm<sup>2</sup>g et à température ambiante.

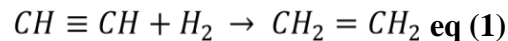
L'éthylène qui provenait de CP1K contenait des teneurs en CO, CO<sub>2</sub>, humidité, O<sub>2</sub>, acétylène, méthanol supérieures au seuil toléré, ce qui constituait des poisons pour le catalyseur, la teneur de l'éthylène en ces poisons est très faible en ppm.

Il devait être traité pour éliminer certains composés, avant d'être utilisé dans le processus de production. Les impuretés présentes dans l'éthylène sont faciles à éliminer [07].

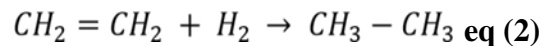
**Élimination de l'acétylène :**

Le réacteur d'élimination d'acétylène 950-101, construit en acier au carbone, possède un diamètre de 1524 mm et une hauteur entre tangentes de 3340 mm. Le réacteur en question contient 2453 kg de catalyseur BASF RO-20/13, pour l'élimination d'acétylène moyennant addition d'hydrogène.

L'élimination de l'acétylène se fait selon la réaction suivante :



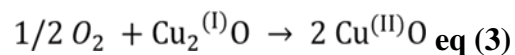
En présence d'un excès d'hydrogène et d'une température très élevée, on aura la réaction secondaire suivante :

**Élimination de l'oxygène**

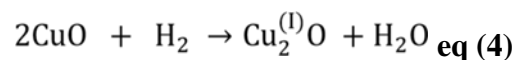
De la sortie du compresseur d'éthylène 160-101, le courant arrive au réacteur d'élimination de l'oxygène 950-103, à travers le réchauffeur d'éthylène fonctionnant à la vapeur d'eau 410-101, pour maintenir la température dans le courant d'éthylène d'alimentation aux réacteurs à 124°C

Réactions mises en jeu :

Opération normale :



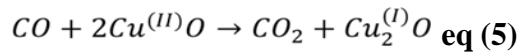
Régénération :

**Élimination du monoxyde de carbone :**

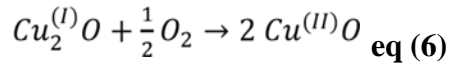
Le courant d'éthylène continue son parcours en passant par les réacteurs d'élimination du monoxyde de carbone 950-104 A/B qui ont un diamètre de 1525 mm et une hauteur de 7170 mm. Les réacteurs contiennent 12350 kg de catalyseur BASF R3-15 réparti sur deux lits superposés [12].

Le monoxyde de carbone est éliminé dans le réacteur selon la réaction suivante :

Opération normale :



Régénération :

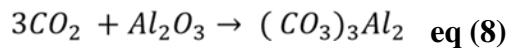
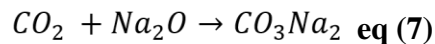


### Élimination du dioxyde de carbone

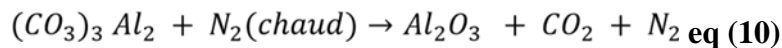
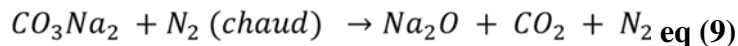
En opération normale, le courant d'éthylène provenant du fond du réacteur d'élimination de monoxyde de carbone 950-104 A/B, entre dans le refroidisseur d'éthylène à l'entrée du sécheur 410-103, où il est refroidi jusqu'à une température de 38°C. De celui-ci, il passe au séparateur du refroidisseur d'éthylène et puis au sécheur 950-105, pour alimenter enfin le réacteur d'élimination du dioxyde de carbone 950-106 A/B.

La réaction d'élimination du dioxyde de carbone :

*Opération normale :*



Régénération :

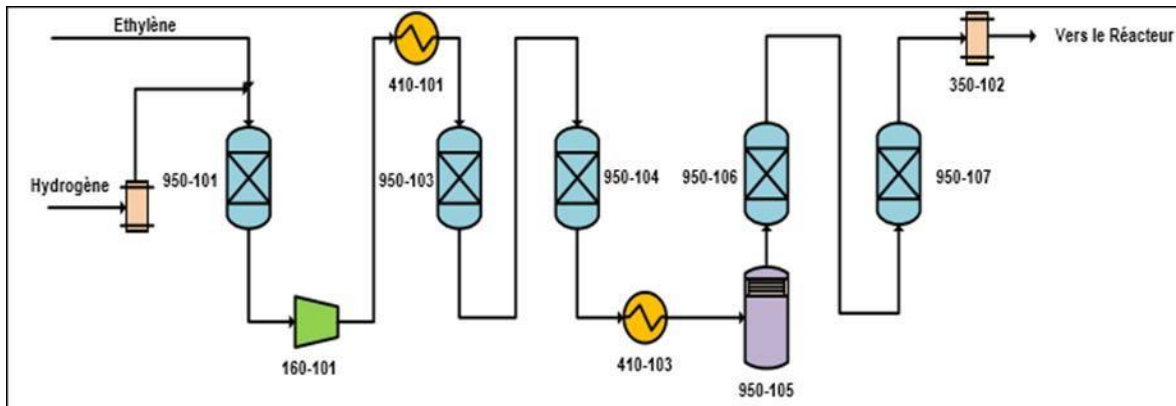


### Élimination de l'eau et du méthanol

L'éthylène est séché dans les sécheurs 950-107 A/B, dont les dimensions sont de 1830 mm de diamètre et 7010 mm de hauteur.

Le flux de l'éthylène traversant le lit est dans le sens ascendant. L'eau et le méthanol éliminés du courant d'éthylène sont retenus dans un lit à tamis moléculaire, ZEOCHEM 13X, composé de 8975 kg de sphères d'un diamètre de 2 à 3 mm environ. Le tamis est réparti sur deux lits superposés, chacun d'eux est d'une épaisseur de 150 mm, composés de sphères inertes DENSTONE 57, dont le diamètre est de 6,4 mm pour le lit inférieur et 3,2 mm pour le lit

supérieur. Ce tamis a une certaine capacité de retenir le dioxyde de carbone, mais pas avec la même efficacité que le lit d'alumine disposé à cet effet dans le réacteur précédent [07].



**Figure II.3.** Traitement de l'éthylène dans la série des traiteurs [07].

### Hexène

L'hexène est le composé ajouté au réacteur pour produire des copolymères. L'hexène en petites quantités altère la structure moléculaire du polymère et change donc les propriétés physiques de ce dernier. L'hexène, qui provient de l'étranger, a une composition différente de celle requise pour la réaction.

La densité du produit est contrôlée par l'addition de l'hexène. Les autres propriétés qui en sont affectées sont la flexibilité, la cristallisation et la résistance à la rupture. C'est dans l'hexène aussi que se trouve l'antistatique (produit qui empêche l'encrassement des parois) au sein du pot d'addition de l'antistatique 950-151.

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 la colonne de dégazage 950-111. Celle-ci est composée de deux lits de 0,50 m<sup>3</sup> chacun, remplis d'anneaux palle en acier inoxydable, pour l'élimination de l'eau et d'autres composés légers présents dans le courant d'hexène.

La colonne dispose en tête d'un plateau de cheminée, avec extraction latérale pour recueillir, dans le pot l'eau qui s'est condensée dans le condenseur de tête. L'alimentation de la colonne entre au-dessus du plateau de cheminée et tombe avec le reflux provenant du condenseur de tête, au distributeur de liquide. L'hexène dégazé tombe dans le réservoir situé au fond de la

colonne. A la sortie de la colonne, l'hexène est séché dans le traiteur d'élimination de l'eau 950-114, qui fonctionne par l'adsorption de ce-ci dans les tamis moléculaires [07].

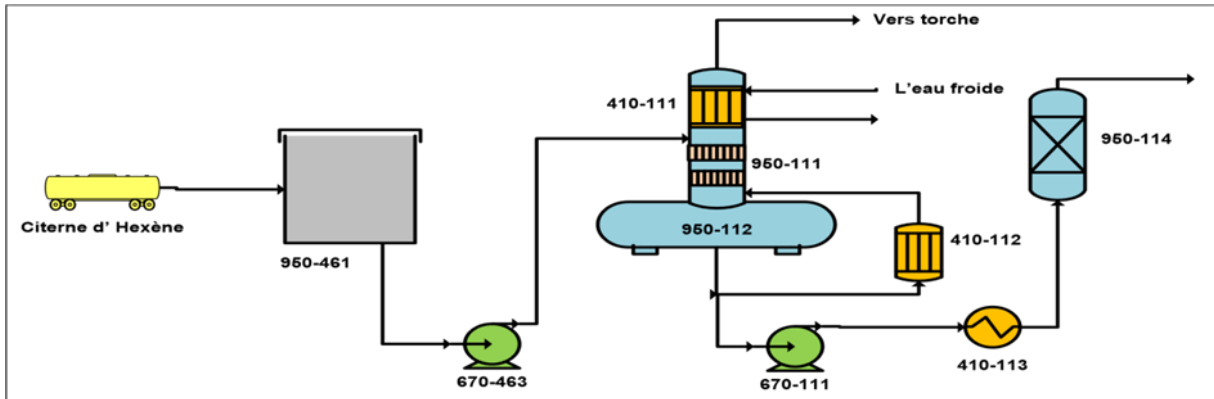


Figure II.4. Le système de dégazage d'hexène [07].

#### Isobutane :

**L'isobutane frais :** est utilisé dans les systèmes d'addition des catalyseurs, et co-catalyseurs, dans le dépôt de chargement de scavenger et dans la pompe du réacteur, comme produit de nettoyage et lavage afin d'éviter d'éventuels bouchons.

L'isobutane frais est soumis à un processus d'élimination de l'eau et du gaz absorbés dans la colonne de dégazage 950-122, d'un diamètre de 406,4 mm et d'une hauteur de 8745mm, à une pression de design de 10,7 kg/cm<sup>2</sup>g et une température de design de 90°C. Elle est composée de deux lits de 0,40m<sup>3</sup> chacun, remplis d'anneaux palle en acier inoxydable d'un diamètre de 25mm, pour l'élimination de l'eau et d'autres matières légères du courant d'isobutane. La colonne dispose en tête d'une cheminée et d'un plateau de soutirage pour recueillir l'eau qui s'est condensée dans le condenseur de tête 410-121[07].

A la sortie de la colonne, l'isobutane est séché dans le traiteur d'élimination de l'eau

950-114, qui fonctionnent par adsorption à l'aide de tamis moléculaires.

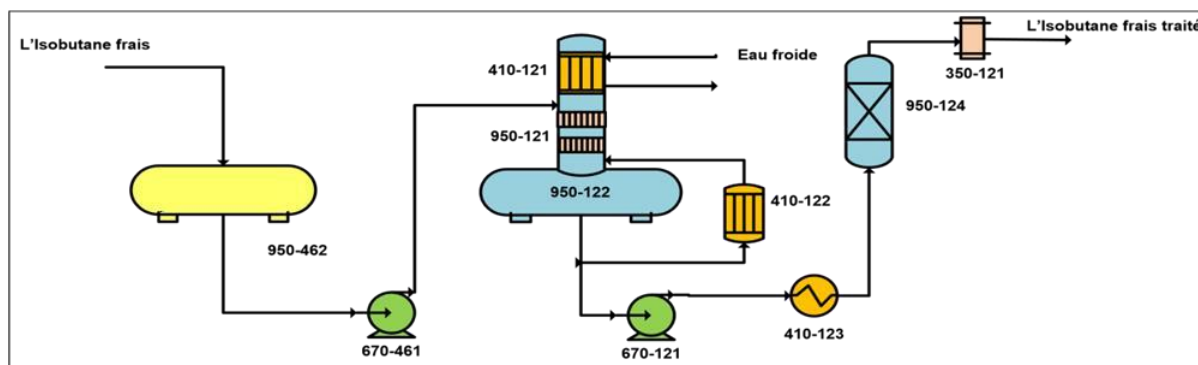


Figure II.5. Le Système de dégazage de l'isobutane frais [07].

**L'isobutane de recyclage** est l'essentiel de l'isobutane utilisé dans l'unité. Il est pompé du réservoir de stockage 950-176 vers les sécheurs d'isobutane de recyclage 950-125 A/B. Il alimente les sécheurs à travers le refroidisseur, dans lequel la chaleur générée lors du pompage est éliminée. Après le refroidisseur, l'eau est éliminée du courant d'isobutane et reste retenue dans un lit de tamis moléculaires. L'isobutane de recyclage, sec et purifié, est utilisé comme solvant (milieu réactionnel) dans le réacteur.

Les conditions de design pour les sécheurs 950-125 A/B sont respectivement une pression de 69,3 kg/cm<sup>2</sup>g et une température de 63°C en opération normale, 9,75 kg/cm<sup>2</sup>g et 315°C pour la régénération [07].

### Hydrogène

L'hydrogène est ajouté au réacteur pour contrôler l'indice de fluidité 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 en hydrogène augmente l'indice de fluidité du polymère [07].

L'hydrogène est séché dans le sécheur 950-132 A/B d'une épaisseur de calorifugeage de 50 mm. L'eau éliminée du courant d'hydrogène est retenue dans un lit de tamis moléculaire de sécheur ZEOCHEM 13X. Avant son entrée dans le réacteur, l'hydrogène passe par le filtre 950-131 A/B. Le tamis est composé de deux lits superposés, chacun d'eux de 150 mm d'épaisseur, composés des sphères inertes.

Le schéma suivant montre le traitement de l'hydrogène :

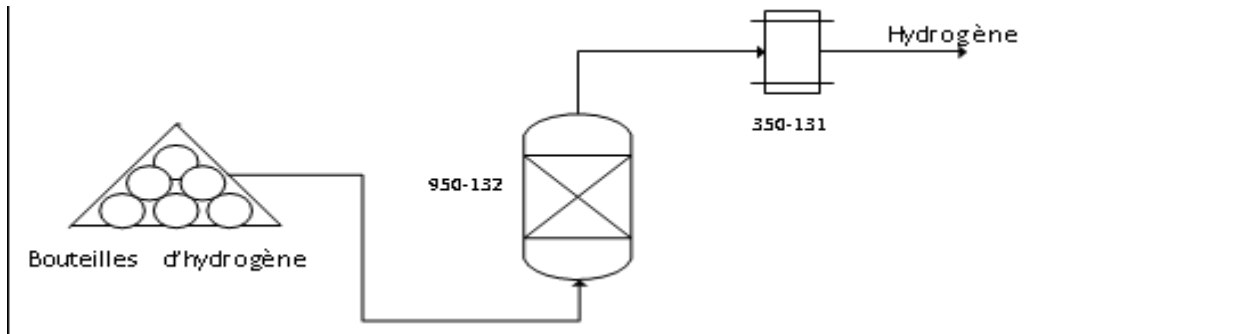


Figure II.6. Traitement de l'hydrogène[07].

### Activation du catalyseur

•Le catalyseur de la réaction de polymérisation de type PF (PHILLIPS) exige un processus préalable d'oxydation sur lit fluidisé moyennant de l'air chaud sec, à des températures qui atteignent 982°C. Le principal objectif de l'activation du catalyseur est d'éliminer l'eau et les volatiles par le contact avec de l'air sec et chaud dans un lit fluidisé. En plus de l'élimination de l'eau du catalyseur, a lieu le changement de l'état d'oxydation du chrome, de Cr<sup>+3</sup> à Cr<sup>+6</sup>.

Dans le réacteur, en contact avec l'éthylène, la valence du chrome passe de Cr<sup>+6</sup> à Cr<sup>+2</sup>. Le Cr<sup>+2</sup> polymérise l'éthylène en polyéthylène.

Le catalyseur PHILLIPS est ajouté au réacteur sous forme d'une solution de catalyseur en isobutane frais (boue de catalyseur). Le catalyseur de chrome (PF) déjà activé, est additionné comme une poudre sèche, depuis les trémies de décharge du catalyseur, jusqu'aux Dépôts du catalyseur où il est mélangé avec de l'isobutane frais qui est alimenté par le fond du dépôt. L'Alimentation du catalyseur au réacteur s'effectue moyennant les alimentateurs de catalyseur PF, avec un volume de dosage de 35cm<sup>3</sup> [12].

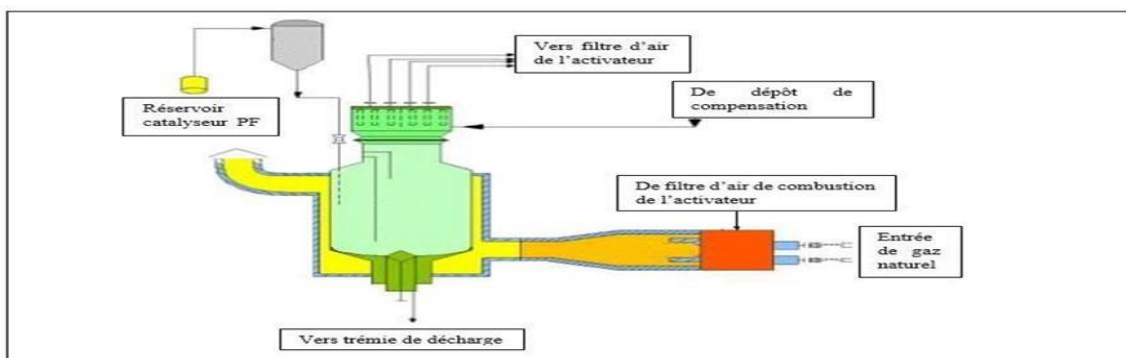
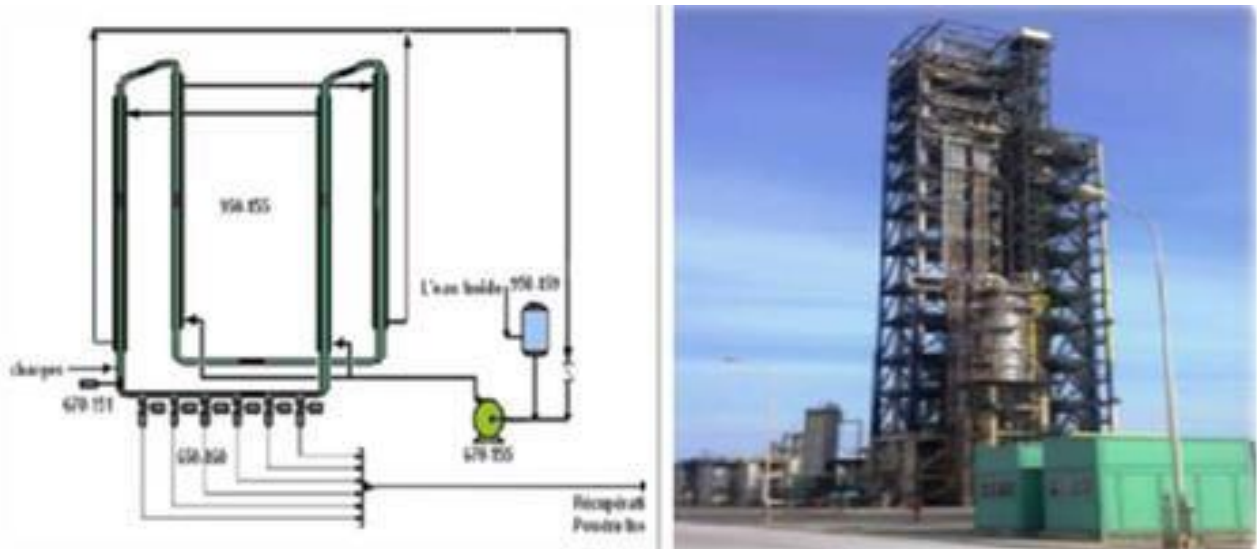


Figure II.7. Activateur du catalyseur[12].

## Le réacteur et la zone de purification et de récupération

- Le réacteur est une tuyauterie de diamètre interne de 560 mm en forme de boucle, composé de quatre tronçons verticaux, unis par des tronçons horizontaux. La réaction de polymérisation est exothermique, à raison de 800 kilocalories par kilogramme de polymère formé. Cette chaleur de réaction s'élimine au moyen du système de réfrigération du réacteur ; celui-ci est conçu tant pour le chauffage que pour le refroidissement. Le réfrigérant circule dans les chemises des quatre pattes verticales du réacteur.

Le réacteur dispose de six pattes de décantation, de tuyauteries longues de 2210mm et de diamètre extérieur de 27,3 mm 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 [12].



**Figure II.8.** Réacteur de polymérisation [12].

- Le mélange déchargé du réacteur par l'intermédiaire des vannes de décharge de produit, PTO, réduit sa pression de 42,2 kg/cm<sup>2</sup>g, pression normale d'opération dans le réacteur, à 0,37 kg/cm<sup>2</sup>g, 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 et on favorise la vaporisation de l'isobutane, l'éthylène, l'hexène et l'hexane présents. Les vapeurs d'hydrocarbure sortent par la tête de la Chambre de flash et se dirigent au 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 [12].

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 [12].

• On a prévu un dispositif de secours pour le réacteur, 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 à la Chambre de flash alternative. La vapeur du réservoir de décharge, se dirige par la tête de ce dernier vers Cyclone de fines de la Chambre de flash, pour s'incorporer au système de purification et de récupération du solvant de gaz de recyclage. Le polymère, depuis le réservoir de décharge, se décharge par le fond Dèce dernier au sol ou est transféré par transport pneumatique aux silos de poudre [12].

• 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 [12].

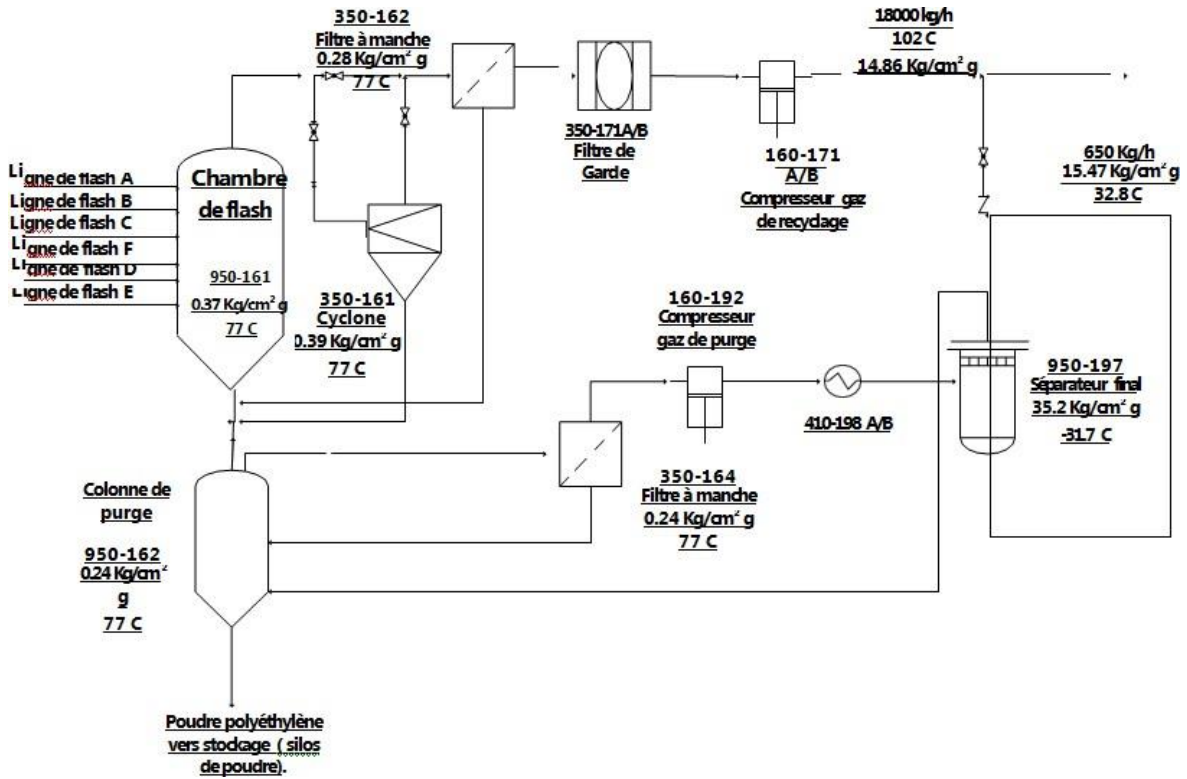


Figure II.9. Purification et récupération des gaz de purge et de recyclage [12].

Colonne d'isobutane de recyclage (950-173) : La vapeur provenant du compresseur de gaz de recyclage, conjointement à l'isobutane de la vidange des sécheurs d'isobutane de recyclage et les liquides récupérés du gaz d'isobutane de purge, est alimenté à la colonne d'isobutane de recyclage (950-173).

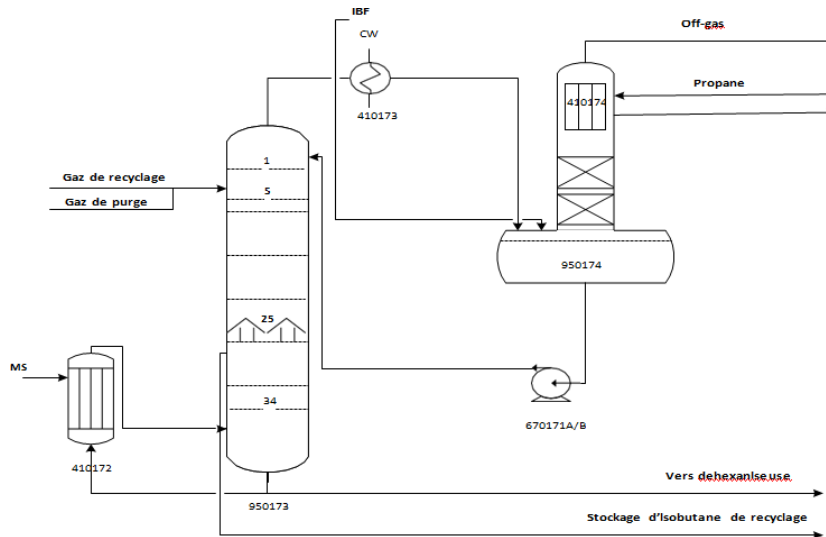


Figure II.10. Colonne de purification de l'isobutane [12].

•Le polyéthylène 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 fermé 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 est de l'ordre de 250-275°C et elle est obtenue par réchauffement électrique. 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 [12].



**Figure II.11 a) :** Système de finition et d'ensachage de PEHD [12].



**Figure II.11 b) :** Système de finition et d'ensachage de PEHD [12].



# **CHAPIRE III:**

## **calculs et interprétations**

## **Introduction**

Le but du procédé Philips (PF) est de produire un PEHD désiré à un certain indice de fluidité, densité et une valeur minimum de teneur en cendre.

Le contrôle de ces paramètres 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 qu'on va les présenter avec leurs résultats dans ce qui suit.

### **L'indice de fluidité (Melt index)**

L'indice de fluidité est la quantité de polymère extrudée en 10 minutes 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.

#### **Appareillage :**

Pour réaliser cet essai, nous avons besoin d'un plastomère, cet appareillage 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 III.1.** Photo de plastomère utilisé dans l'analyse l'indice de fluidité.

### **Mode opératoire**

- Porter l'appareil plastomère à une température de  $190^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant au moins 15 minutes, puis nettoyer le cylindre avec du coton et installer la filière.
- Verser 4g de la poudre prétraité avec l'anti oxydant dans le cylindre et introduire le piston avec une légère pression, (soit 30 gr de la poudre pour 0,06 gr d'anti oxydant)
- Préchauffer le produit à analyser sans poids pendant 3 minutes puis avec poids pendant 3 minutes et ensuite couper la partie extrudée qui contient des bules d'air.
- Laisser le produit s'écouler pendant 10 min et couper d'un seul coup la partie extrudée.
- Finalement peser cette masse qui correspond au MI de ce produit en gr/10 min.

### **Les paramètres influençant l'indice de fluidité sont**

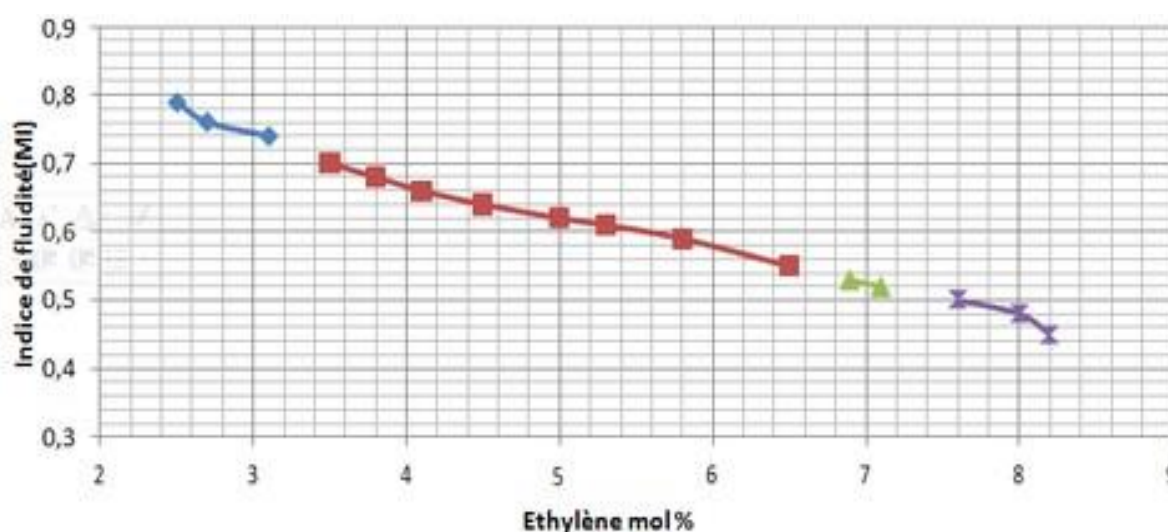
- La concentration d'éthylène
- La température du réacteur
- La productivité du catalyseur
- Le taux des solides
- La concentration d'hydrogène

### La concentration d'éthylène

Pour étudier l'influence de la concentration d'éthylène sur l'indice de fluidité nous avons analysé plusieurs échantillons de PEHD pris dans des différentes concentrations d'éthylène. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1 :** Variation de MI en fonction de la concentration de l'éthylène.

|                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Ethylène mol %</b> | 2,5  | 2,7  | 3,1  | 3,5  | 3,8  | 4,1  | 4,5  | 5,0  |
| <b>MI moyenne</b>     | 0,79 | 0,77 | 0,74 | 0,70 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,62 |
| <b>Ethylène mol %</b> | 5.3  | 5.8  | 6.5  | 6,9  | 7,1  | 7,6  | 8.0  | 8.2  |
| <b>MI moyenne</b>     | 0,61 | 0,59 | 0,55 | 0,49 | 0,52 | 0,50 | 0,48 | 0,45 |



**Figure III.2.** Variation du MI en fonction de la concentration de l'éthylène.

### Interprétation des résultats

Le graphe III.2 représente la variation de l'indice de fluidité en fonction de la concentration d'éthylène, à un effet inverse sur l'indice de fluidité, il diminue avec l'augmentation de la concentration en 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.

Pour l'obtention d'un PEHD dans les normes dont l'indice de fluidité est compris entre « **0,55-0,70** » il faut travailler avec des concentrations d'éthylène comprises entre « **3,5 mol%- 6,5 mol%**».

- ❖ Si 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, cela provoque une augmentation de l'indice de fluidité et si le réacteur fonctionne à une température maximale, il y'aura une 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 le débit de production se trouve au-dessus du nominal, réduire l'alimentation du catalyseur jusqu'à une quantité calculée.
- ❖ Si la concentration d'éthylène est supérieure à 6,5 mol % on obtient un polyéthylène hors spec sous forme de filaments dans les lignes de flash parce que la réaction continue dans les pattes de décantation, il y'aura aussi un risque de bouchage de la grille de nettoyage de la chambre de flash à cause de la saturation du réacteur. Si la pression de saturation augmente encore, on perd la condition « plein liquide ». Dans ce cas des mesures correctrices sont recommandées
  - a. Si l'alimentation d'éthylène se contrôle en cascade, 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. Quand l'alimentation d'éthylène se réduit, la pression du réacteur tombe au-dessous de la pression de consigne et la vanne PTO ne se mettra pas sous cycle tant que la condition de réacteur "plein liquide" ne s'est pas rétablie. Dans cet intervalle de temps, les vannes PTO qui se trouvent en service, doivent être mises sous cycle manuel au moins toutes les trois minutes pour éviter des bouchons.
  - c. Augmenter l'alimentation du catalyseur pendant 15 ou 20 minutes. Une fois les conditions du réacteur "plein liquide" rétablies, réduire l'isobutane de recyclage au débit normal et remettre le réacteur en opération normale

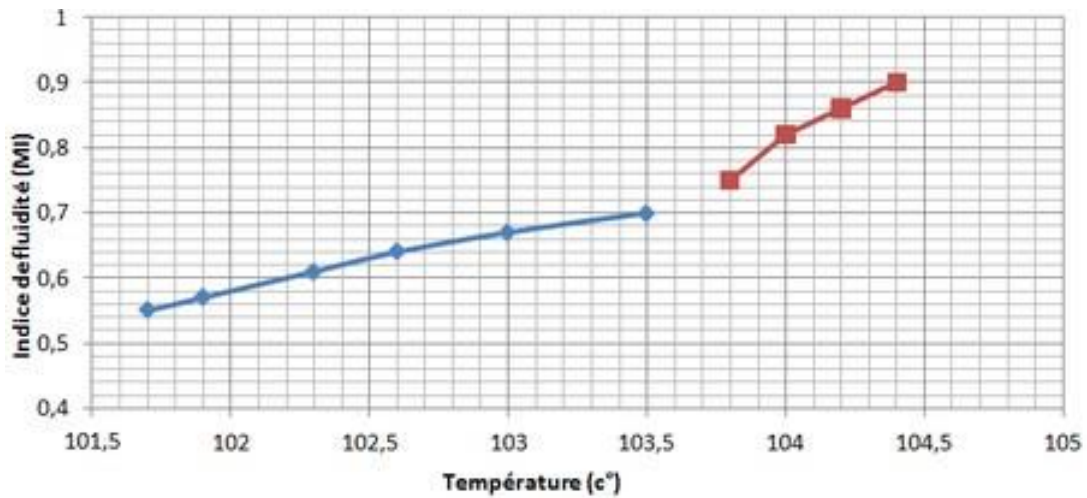
### La température du réacteur

Pour étudier l'influence de la température du réacteur sur l'indice de fluidité nous avons analysé plusieurs échantillons pris à des températures différentes.

Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau III.2** : Variation de MI en fonction de la température du réacteur.

| Température | 101,7 | 101,9 | 102,3 | 102,6 | 103,0 | 103,5 | 103,8 | 104,0 | 104,2 | 104,8 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MI moyen    | 0,55  | 0,57  | 0,61  | 0,64  | 0,67  | 0,70  | 0,75  | 0,82  | 0,86  | 0,90  |



**Figure III.3.** Variation du MI en fonction de la température du réacteur.

### Interprétation des résultats

Le graphe III.3 représente la variation de l'indice de fluidité en fonction de la température, il montre que cet indice augmente quand la température du réacteur augmente. Cela indique que le changement de la température a un effet direct sur l'indice de fluidité.

La température du réacteur est la variable qui donne la deuxième rapide réponse pour changer l'indice de fluidité de la poudre dans le réacteur.

Le produit obtenu est dans les normes, c'est-à-dire son indice de fluidité est compris entre « 0,55-0,70 » si on travaille dans des températures comprises entre « 101,7c°-103,5c° ».

La température dans le réacteur peut dépasser la température maximale d'opération « **103.5 C°** » à cause de :

- Perte de réfrigérant.
- Le système de contrôle en cascade n'est pas correctement synchronisé.
- Réaction incontrôlée.
- Du polymère s'est déposé dans le thermocouple de contrôle du réacteur

Dans ce cas le polymère gonfle de telle façon qu'il ne reste pas de volume libre dans le réacteur. Quand cela arrive, le comportement du contenu du réacteur simule à un lit en mouvement. 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.

**Les mesures correctrices sont**

- a) Vérifier la pompe de réfrigération et le contrôleur du débit.
- b) Faire ajuster le système de contrôle par un instrumentiste qualifié. Passer le contrôle sur manuel.
- c) Modérer la réaction en augmentant le débit d'antistatique pour amortir la réaction.
- d) Changer le contrôle avec un autre thermocouple.
- e) Si la réaction est incontrôlable il vaut mieux 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.

**La productivité du catalyseur**

La productivité du catalyseur est définie comme étant le rapport entre le débit de production et le débit du catalyseur. Des recherches ont été faites au R et D (research and développement), ils ont trouvé que l'indice de fluidité de la poudre dépend énormément de la productivité du catalyseur.

En se basant sur l'historique d'analyse de l'usine j'ai pris des valeurs de la productivité avec l'indice de fluidité correspondant à des conditions opératoires très proches comme démontrer dans le tableau suivant.

**Tableau III.3.** Variation de MI en fonction de la productivité de catalyseur.

|                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>La productivité</b> | 2    | 2,1  | 2,3  | 2,4  | 2,5  | 2,7  | 2,9  | 3,0  | 3,1  | 3,2  | 3,3  |
| <b>MI moyen</b>        | 0,75 | 0,72 | 0,71 | 0,69 | 0,67 | 0,65 | 0,63 | 0,61 | 0,59 | 0,57 | 0,55 |

**Figure III.4.** Variation du MI en fonction de la productivité de catalyseur.**Interprétation des résultats :**

Le graphe III.4 représente la variation de l'indice de fluidité en fonction de la productivité du catalyseur, qui fait diminuer l'indice de fluidité quand la productivité du catalyseur augmente.

Il est recommandé de travailler avec une productivité comprise entre « 2,3 – 3,3 » (kg de PEHD/kg de catalyseur) pour obtenir un polymère désiré.

La productivité du catalyseur est en fonction de :

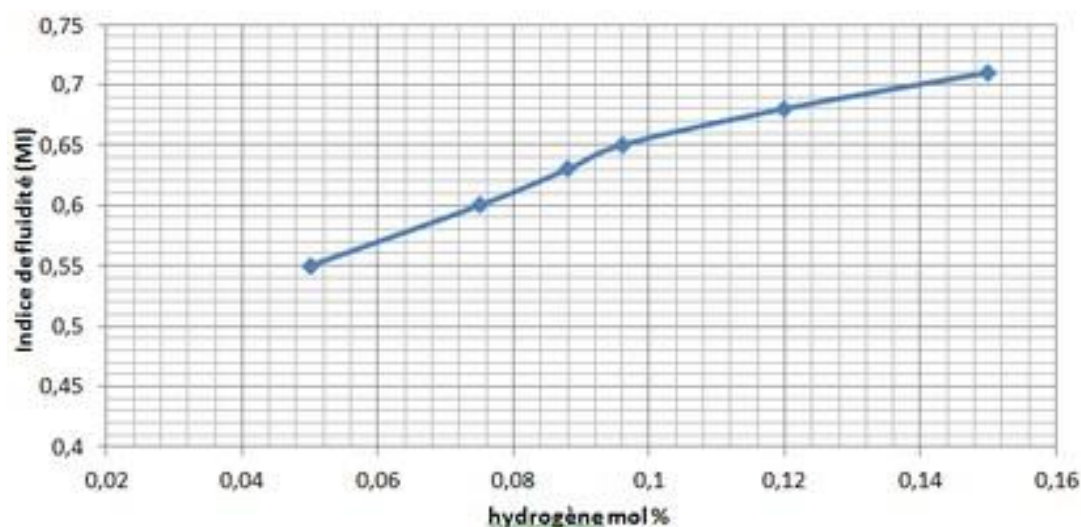
- ✓ Le temps de résidence dans le réacteur
- ✓ La concentration d'éthylène dans le réacteur
- ✓ La concentration des solides dans le réacteur
- ✓ La concentration des poisons dans les différentes alimentations
- ✓ Le type de catalyseur
- ✓ La température d'activation du catalyseur
- ✓ La température dans le réacteur
- ✓ Le type de polymère à produire

### La concentration d'hydrogène

Pour étudier la variation de l'indice de fluidité en fonction de la concentration d'hydrogène nous avons analysé quelques échantillons pris à des différentes concentrations d'hydrogène dans des conditions opératoires stables. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.4.** Variation de MI en fonction de l'hydrogène.

|                                  |      |       |       |       |      |      |
|----------------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|
| <b>Concentration d'hydrogène</b> | 0,05 | 0,075 | 0,088 | 0,096 | 0,12 | 0,15 |
| <b>MI moyen</b>                  | 0,55 | 0,60  | 0,63  | 0,65  | 0,68 | 0,71 |



**Figure III.5.** Variation du MI en fonction du débit d'hydrogène.

### Interprétation des résultats

A partir du graphe III.5 on remarque qu'au fur et à mesure que la concentration d'hydrogène augmente, l'indice de fluidité du polymère augmente aussi.

La concentration d'hydrogène c'est une variable qui donne une réponse lente sur le changement de l'indice de fluidité, Il est utilisé comme dernier ressort pour augmenter l'indice de fluidité.

Pour l'obtention d'un polyéthylène dans les normes nous devons travailler avec des concentrations d'hydrogène comprises entre «0,05 mol %-0,15 mol %».

L'addition de l'hydrogène dans le réacteur termine la chaîne moléculaire du polyéthylène. Une chaîne courte possède un haut indice de fluidité, donc l'hydrogène est un paramètre fiable pour le contrôle de l'indice de fluidité.

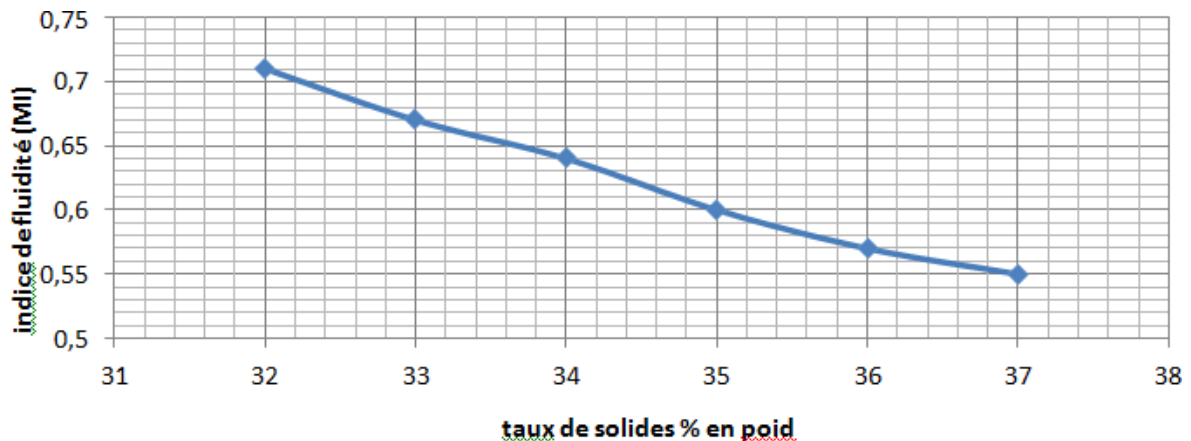
#### Le taux des solides :

Le taux des solides a une influence sur l'indice de fluidité. Pour étudier la variation de ce dernier en fonction de la concentration des solides dans le réacteur nous avons analysé quelques échantillons pris à des différentes concentrations de solides dans le réacteur.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.5 :** Variation de MI en fonction du taux de solides.

| Taux de solide | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| MI moyen       | 0,71 | 0,67 | 0,64 | 0,60 | 0,57 | 0,55 |



**Figure III.6.** Variation du MI en fonction du taux de solides.

#### Interprétation des résultats

Le graphe III.6 représente la variation de l'indice de fluidité en fonction du taux des solides, on remarque que l'indice de fluidité diminue au fur et à mesure que le taux de solide augmente.

Le taux de solide 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.

### La 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.

#### Mode opératoire :

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

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

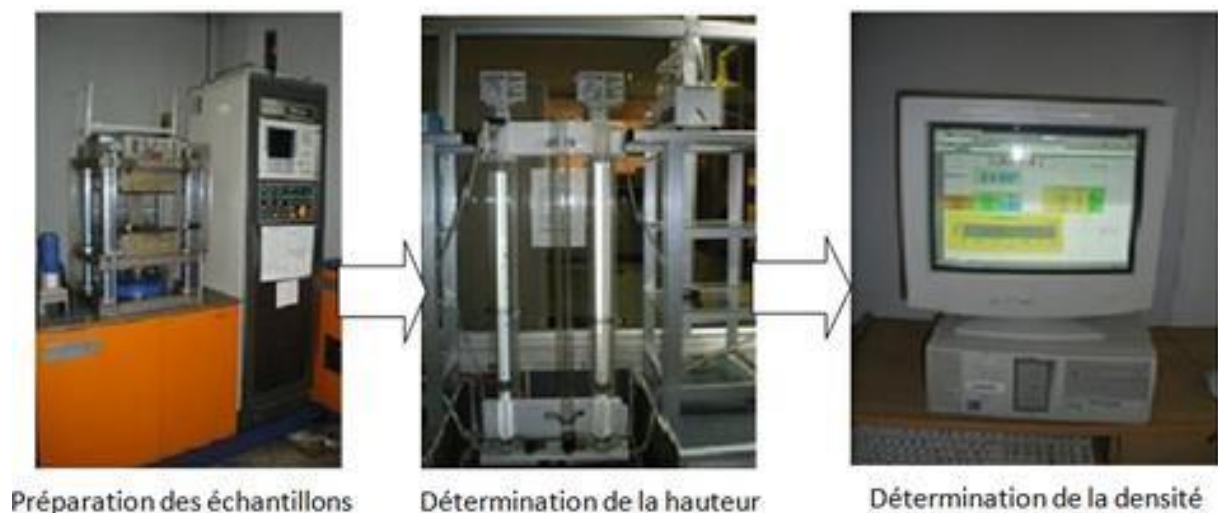
$$\text{Densité} = (y/z) \times (b-a) + a$$

Ou :  $y$  = distance entre le spécimen et le standard à basse densité.  $z$  = distance entre les deux billes standards

$a$  = densité de la bille en dessous du spécimen (haute densité)  $b$  = densité de la bille au-dessus du spécimen (basse densité)

#### Remarque :

- La préparation de l'échantillon se fait dans une presse hydraulique, par fusion et compression de la poudre à 177 °C et 100 bars.
- le liquide formant la colonne de densité à gradients est obtenue par une procédure mélangeant dans une colonne de verre de l'eau et de l'isopropanol de manière à former un gradient de densité.



**Figure III.7.** Série des images du dispositif utilisé dans l'analyse de densité.

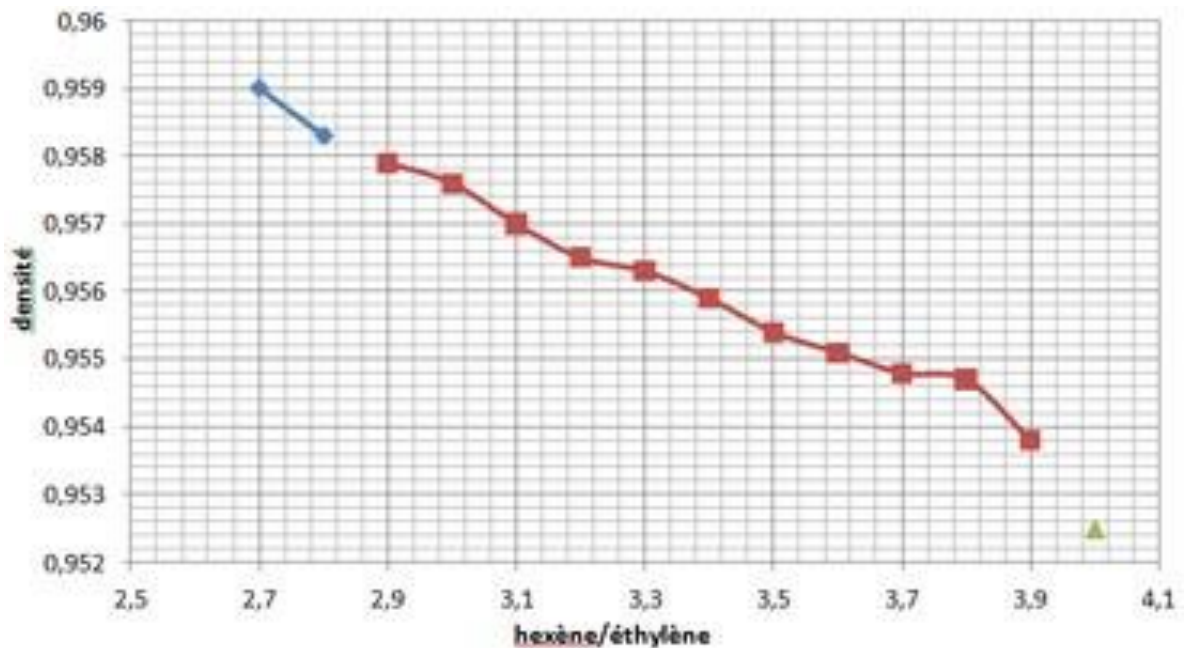
### Les paramètres influençant la densité du PEHD

La densité du polymère se contrôle moyennant la concentration d'hexène dans le réacteur. Le rapport hexène/éthylène dans l'alimentation du réacteur a de l'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. Pour pouvoir étudier comment le rapport hexène/éthylène influe sur la densité du PEHD, nous avons analysé des échantillons de la poudre pris aux différents rapports d'hexène/éthylène dans le réacteur en fixant les autres paramètres dans les limites d'opération.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.6.** Variation de la densité en fonction du rapport hexène/éthylène.

|                        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Hexène/éthylène</b> | 2.7    | 2.8    | 2.9    | 3.0    | 3.1    | 3.2    | 3.3    |
| <b>Densité</b>         | 0,9590 | 0,9583 | 0,9579 | 0,9776 | 0,9570 | 0,9565 | 0,9563 |
| <b>Hexène/éthylène</b> | 3.4    | 3.5    | 3.6    | 3.7    | 3.8    | 3.9    | 4.0    |
| <b>Densité</b>         | 0,9559 | 0,9554 | 0,9551 | 0,9548 | 0,9547 | 0,9538 | 0,9525 |



**Figure III.8.** Variation de la densité en fonction du rapport hexène/éthylène.

### Interprétation des résultats

A partir du graphe III.8 on remarque 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).

Pour l'obtention d'un polymère dans les normes dont sa densité est comprise entre (**0.9530-0.9580**), nous devons travailler avec un rapport hexène/éthylène compris entre « **2.9-3.9** » Kg d'hexène/ 1T d'éthylène.

Le rapport en poids hexène/éthylène dans le réacteur doit rester constant pour maintenir une densité uniforme dans le polymère.

### La teneur en cendre

La teneur en cendre est déterminée par incinération d'une petite quantité d'échantillon par la méthode de pesée dans le but de déterminer la quantité de matière inorganique contenue dans le polymère.

#### Mode opératoire :

- Calciner un creuset en porcelaine dans un four à moufle à 800 C° pendant 2 heures.
- Sortir du four, le refroidir sur la paillasse puis le mettre dans un dessiccateur à la température ambiante pendant 1 heure
- Peser le creuset vide puis noter le poids (P1)
- Peser 10 g d'échantillon dans le creuset vide. Noter le poids (P2)
- Mettre le creuset dans la hotte, calciner l'échantillon avec la flamme du brûleur.
- Introduire le creuset avec le reste d'échantillon à calciner dans le four à moufle pendant 2h.
- Sortir du four, puis le refroidir sur la paillasse avant de l'introduire dans le dessiccateur à la température ambiante pendant 1 heure
- Peser le creuset avec la cendre puis noter P3

$$\text{Cendres \% pds} = \frac{P3-P1}{P2-P1} \times 100$$



**Figure III.9.** Séries des photos du dispositif utilisé dans l'analyse de la teneur en cendre.

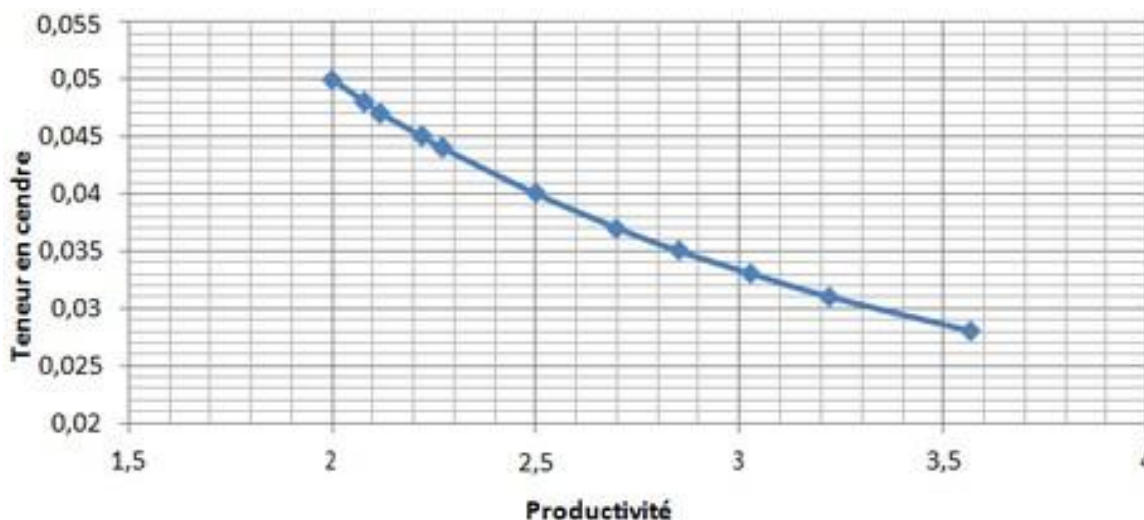
### Les paramètres influençant la teneur en cendre

Généralement la teneur en cendre est en fonction de la productivité du catalyseur. Les facteurs qui affectent la teneur en cendre sont le niveau des poisons, la concentration d'éthylène, et le temps de résidence du catalyseur dans le réacteur.

Le tableau suivant représente la variation de la teneur en cendre en fonction de la productivité

**Tableau III.7 :** La variation de la teneur en cendre en fonction de la productivité du catalyseur.

|                             |       |       |        |        |        |
|-----------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <b>Productivité</b>         | 2,0   | 2,08  | 2,12   | 2,22   | 2,27   |
| <b>Teneur en Cendre (%)</b> | 0,050 | 0,048 | 0,047  | 0,045  | 0,044  |
| 2,5                         | 2,7   | 2,85  | 3,03   | 3,22   | 3,57   |
| 0,040                       | 0,037 | 0,035 | 0,0033 | 0,0031 | 0,0028 |



**III.10.** la variation de la teneur en cendre en fonction de la productivité du catalyseur.

### Interprétation des résultats

A partir du graphe III.9 on remarque qu'au fur et à mesure que la productivité augmente, la teneur en cendre du polymère diminue et vice versa. Ce qui traduit un bon traitement d'éthylène et l'activation des catalyseurs, ce qui diminue les contaminants.

### L'encrassement du réacteur

Comme cités précédemment les paramètres primaires qu'il faut contrôler pour obtenir les grades spécifiques du produit sont : La densité, l'indice de fluidité (MI), et la teneur en cendre. Ces contrôles se réalisent par la manipulation d'autres variables telles que la température, le débit d'hexène, et la concentration d'éthylène dans le réacteur.

La manipulation et le suivi de ces variables nous permettraient aussi d'éviter tous risques qui pourraient se produire et provoquer l'encrassement du réacteur. Et par conséquent d'éviter tous risques qui pourraient se produire et provoquer l'encrassement du réacteur.

### Types d'encrassement

#### Encrassement copolymère

Généralement c'est le résultat de la violation de la courbe d'encrassement  $T=F(\text{Densité})$ . La température est très élevée pour la densité du polymère à produire ou bien la densité est basse pour la température du fonctionnement du réacteur.

A partir du graphe III.10 La température maximale d'opération dans le réacteur est en fonction de la densité du polymère. Une diminution de la densité du polymère doit être accompagnée d'une réduction significative de la température du réacteur [6].

### **Encrassement homopolymère**

Généralement l'encrassement du à la polymérisation du homopolymères est le résultat de l'électricité statique qui attire des fines particules de la poudre ou de catalyseur sur les parois en se collant et mènent à une réaction qui se produit sur cette paroi, qui conduira à la formation d'un film qui se développe au cour du temps jusqu'à ce que le débit de circulation dans le réacteur se réduit et le transfert de chaleur à l'intérieur du système de réfrigération devient inefficace [6].

### **Encrassement par les solides**

L'encrassement par les solides n'est pas un encrassement réel, cependant il a les mêmes informations que l'homopolymère et le copolymère fouling.

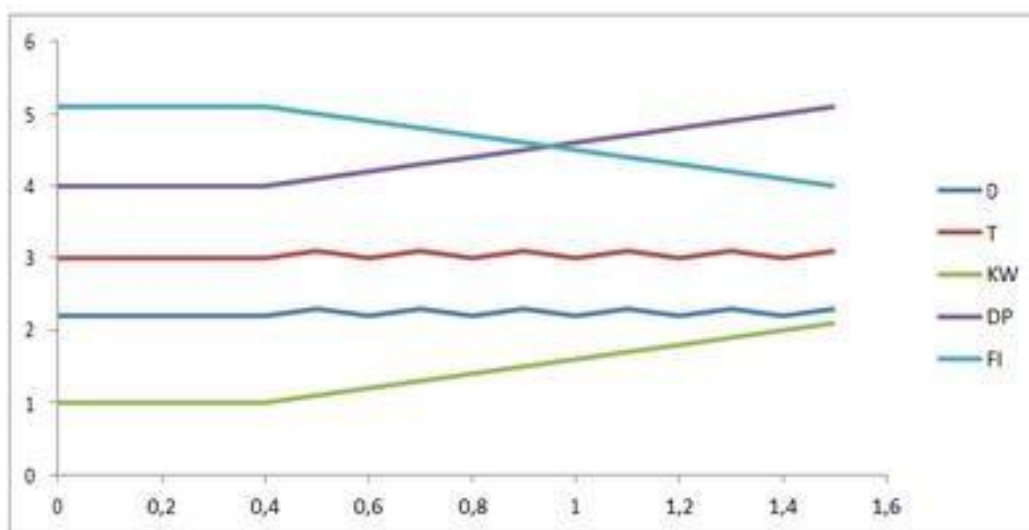
Si le taux des solides dépasse 87% en volume dans le réacteur, le volume du polymère augmente. Cela provoque une diminution du débit de circulation parce qu'il y aura plus de résistance qui empêche la bonne circulation du mélange réactionnel.

Ce dernier devient un lit mouvant qui peut provoquer l'endommagement de la pompe de circulation, et le bouchage du réacteur [6].

### **Les indice d'encrassement**

- Une diminution du débit est accompagnée par une augmentation de la  $\Delta P$  de la pompe, (pour l'opérateur  $\Delta P$  de la pompe de circulation du réacteur et le débit de circulation sont mis sur le même enregistreur, si ces deux courbes se croisent alors le technicien DCS peut se rendre compte de la situation).
- L'augmentation de la puissance de la pompe de circulation se produit rapidement, parce que la pompe doit fournir plus d'effort pour assure la circulation du mélange réactionnel dans le réacteur.
- l'apparition des fluctuations dans les courbes de la température et la densité dans le réacteur.

- le coefficient de transfert de chaleur diminue, ceci est une indication que les parois intérieures du réacteur sont couvertes d'un film qui retarde le transfert de la chaleur entre les murs du réacteur et le système de réfrigération. Une vérification routinière du coefficient de transfert de chaleur rend possible la prise des mesures correctrices correspondantes avant que l'encrassement du réacteur soit tel qu'il faille interrompre l'opération dans celui-ci.



**Figure III.11.** Les signes d'encrassement.

#### **Les actions à prendre lors d'un encrassement :**

- Réduire la température du réacteur de 2 C°.
- Augmenter le débit d'isobutane pour chasser les solides.
- Diminuer le débit du catalyseur
- Changer le silo de stockage après 2h.



**Coclusion  
Générale**

## Conclusion générale

---

Dans le cadre de ce travail nous avons présenté les différentes notions concernant les polymères et les polyéthylènes en général avec leurs caractéristiques chimiques et physiques et aussi détaillé le procédé chevron Phillips et ses installations.

Parmi les caractéristiques du procédé Phillips, c'est la haute pureté des courants d'alimentation du réacteur ce qui nécessite des installations robustes citées ci-dessus pour obtenir des produits conformes aux spécifications requises.

Toute la production du CP2K est soumise à des tests de conformité qui garantissent une bonne qualité nécessaire à la confection des produits finis. Les principaux paramètres qu'il faut contrôler dans la qualité du produit sont la densité, l'indice de fluidité(MI), et la teneur en cendre. Le produit est considéré conforme lorsque les valeurs de ces paramètres sont les intervalles définies sur la feuille de « manufacturing control sheets (MCS) » pour chaque grade.

Les propriétés du PEHD exigés par les normes et par le marché sont obtenues par la manipulation des variables telles que : la concentration d'éthylène non réagi, la température du réacteur, le débit d'hexène, et le taux de solide.

Suite à l'étude de ces paramètres, on conclut que :

- L'indice de fluidité varie avec la température, il augmente quand la température augmente, et diminue quand la concentration de l'éthylène et le taux de solide augmente.
- La densité diminue quand le rapport hexène/éthylène en débit augmente.

Nous pouvons retenir qu'une bonne maîtrise du contrôle de ces paramètres va conduire à assurer un meilleur taux de conversion d'éthylène et ainsi garantir une bonne production qualitative et quantitative du produit PEHD, et de nous éviter les phénomènes tels que l'encrassement et surtout le bouchage du réacteur.



**les référence**

## Les références

---

- [01] <https://cdn.ihs.com/www/pdf/Steve-Lewandowski-Big-Changes-Ahead-for-Ethylene-Implications-for-Asia.pdf?fbclid=IwAR3KeayO-rSazFsAEX-hfLPqybYGvXAsKmOhWHlfpdeQAnUTpspn223nSNQ> actualisé le 05/06/2023 consulté le 28/06/2023
- [02] SAADI Djamel thème d'Etude Du Comportement Du PEHD EN Traction-Torsion Mémoire MASTER Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [03] Gilles olive, chimie des matériaux, Ecole industrielle et commerciale de la ville de Namur ; 3eme édition, 07 /01/2005.
- [04] Gottfried Ehrenstein, Fabienne Montagne matériaux polymères : structure, propriétés et application ; Hermès Science publication, 2000.
- [05] BELLABIOD Aghiles Thème de caractérisation de la Géo membrane PEHD Master Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [06] Houlle Johann « infoplastique et caractéristique, ([http:// infoplastiques.blogspot.com](http://infoplastiques.blogspot.com))
- [07] : AKROUM Loutfi Thème de Amélioration du taux de récupération de l'isobutane du complexe deSkikda Mémoire Master dans Ecole Nationale Polytechnique
- [08] : **Mémoire MASTER IAP**
- [09] : LATTER Abdenour Thème de Influences des paramètresopérateires sur les propriétés Du polyéthylène Haute Densité et les performances de réacteur de polymérisation Mémoire Master U.de Saad Dahleb -BLIDA 1-
- [10] : Ziegler, K.; Holzkamp, E.; Breil, H.; Martin, H. Angewandte Chemie 1955, 67, (19-20), 541547.
- [11] Reynald Dossogne ; « polyéthylène haute densité PEHD » technique d'ingénieur, A3315.
- [12] : Manuel opératoire, CP2K, INTEDRA
- [13] <https://www.chevron.com/operations/products-services/chemicals?fbclid=IwAR1unilz4XJETVY->

## Les références

---

[YNuyMccHByhu90kVpKCr183t2JQTFaLZZ-mc\\_-UA0Dc](#) site actualisé le 31/05/2023

consulté 2/04/2023



# Annexes

**Annexe A :**

# **PEHD GRADE : 5502**

## **APPLICATIONS PRINCIPALES**

**Injection** ou **soufflage** pour bouteilles de petites et moyennes capacité ;

Eaux minérales, Cosmétiques, Produits pharmaceutiques, Eau de javel et détergent, Emballage aliments, Jouets etc.

## **CARACTERISTIQUES SPECIALES**

- ✓ Exceptionnelle résistance à la fissuration (ESCR) ✓ Bon usinage
- ✓ Excellente rigidité et résistance au choc

**TEMPERATURES DE TRANSFORMATION RECOMMANDEES :180 à 200°C**

## **CARACTERISTIQUES**

| <b>PROPRIETES</b>                       | <b>METHODES</b> | <b>UNITE</b>       | <b>VALEUR</b> |
|---|-----------------|--------------------|---------------|
| <b>GENERALES</b>                        |                 |                    |               |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C) | ASTM D 1238     | g / 10 min         | 0.30-0.40     |
| - Densité (23 °C)                       | ASTM D 1505     | g /cm <sup>3</sup> | 0,9540-0.9570 |
| - Dureté, Shore D                       | ASTM D 2240     | °                  | 67            |

# PEHD GRADE : 6006-L

## APPLICATIONS PRINCIPALES

**Soufflage** pour petites bouteilles :

- ✓ Lait stérilisé, Jus de fruits et boissons douces
- ✓ Cosmétiques, Lessives sans détergent
- ✓ Dissolvant doux tels que de l'eau distillée, alcool, acétone.

## CARACTERISTIQUES SPECIALES :

- ✓ Excellente mise en œuvre,
- ✓ Excellentes propriétés mécaniques

**TEMPERATURES DE TRANSFORMATION RECOMMANDEES : 170 – 190°C**

| PROPRIETES  | METHODES              | UNITE              | VALEUR       |
|---|-----------------------|--------------------|--------------|
| <b>GENERALES</b>  |                       |                    |              |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)                   | ASTM D 1238           | g / 10 min         | 0,50 - 0,70  |
| - Densité (23 °C)   | ASTM D 1505           | g /cm <sup>3</sup> | 0,955 -0,958 |
| - Dureté, Shore D   | ASTM D 2240           | °                  | 68           |
| <b>MECANIQUES</b>   |                       |                    |              |
| - Résistance à la traction à la rupture (50 mm / min)     | ASTM D 638<br>Type IV | MPa                | 30           |
| - Elongation à la rupture (50 mm / min)                   | ASTM D 638<br>Type IV | %                  | >600         |
| - Module de flexion                                       | ASTM D 790            | Mpa                | 1350         |
| <b>AUTRES</b>   |                       |                    |              |
| - Résistance à la fissuration sous contrainte (ESCR), F50 | ASTM D 1693           | h                  | 15           |
| - Brittleness temperature                                 | D746                  | °C                 | < -76        |



# PEHD GRADE : 4903

## APPLICATIONS PRINCIPALES

**Soufflage** : Bouteilles de moyenne ou grande capacité, Bidon de fuel, chaises, poubelles, futs industriels et réservoirs

**Injection** : Accessoires automobiles.

## CARACTERISTIQUES SPECIALES

- ✓ Excellente résistance au stress cracking
- ✓ Bonne force de mélange
- ✓ Excellent aspect de surface
- ✓ Mise en œuvre facile

## TEMPERATURES DE TRANSFORMATION RECOMMANDEES : 171-216°C

## CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES   | METHODES              | UNITE     | VALEUR        |
|--|-----------------------|-----------|---------------|
| <b>GENERALES</b>   |                       |           |               |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)                        | ASTM D 1238           | g / 10 mn | 0,18-0.40     |
| - Densité (23 °C)  | ASTM D 1505           | g /cm3    | 0.9470-0.9500 |
| - Dureté, Shore D  | ASTM D 2240           | °         | 64            |
| <b>MECANIQUES</b>  |                       |           |               |
| - Résistance à la traction à la limite élastique (50 mm / min) | ASTM D 638<br>Type IV | MPa       | 25            |
| - Elongation à la rupture (50 mm / min)                        | ASTM D 638<br>Type IV | %         | > 600         |
| - Module de flexion  | ASTM D 790            | MPa       | 1150          |
| <b>AUTRES</b>  |                       |           |               |
| - résistance à la fissuration sous contrainte (ESCR), F50      | ASTM D 1693           | h         | > 400         |
| - brittleness temperature                                      | D 746                 | °C        | < -76         |



# PEHD GRADE : TR-140

## APPLICATIONS PRINCIPALES :

Extrusion soufflage de **Film** agricole pour paillage et **films** en général.

## CARACTERISTIQUES SPECIALES :

- ✓ Exceptionnelle mise en œuvre,
- ✓ Bonne résistance à l'impact et au déchirement,
- ✓ Excellente soudabilité et impression

**TEMPERATURES DE TRANSFORMATION RECOMMANDEES : 180 - 210 °C**

## CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES                              | ASTM   | UNITE              | VALEUR        |
|---|--------|--------------------|---------------|
| <b>GENERALES</b>                        |        |                    |               |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C) | D 1238 | g /10 min          | 0,23-0.33     |
| - Densité (23 °C)                       | D 1505 | g /cm <sup>3</sup> | 0,9430-0.9470 |
| - Dureté, Shore D                       | D 2240 | °                  | 64            |
| <b>MECANIQUES</b>                       |        |                    |               |
| - Module de flexion                     | D 790  | MPa                | 1100          |
| - Dart drop, 26'' (66 cm)               | D 1709 | g                  | 100           |
| - Elongation: MD/TD                     | D 882  | %                  | 500/600       |
| - Tensile strength @ break: MD/TD       | D 882  | Mpa                | 45/30         |
| - Elmendorf tear : MD/TD                | D 1922 | g                  | 30/300        |



# PEHD GRADE : TR-144

## APPLICATIONS PRINCIPALES :

Extrusion soufflage de **Film** pour sacs et sachets tous usage, sacs poubelle et defilms divers.

## CARACTERISTIQUES SPECIALES :

- ✓ Bonne mise en œuvre
- ✓ Bonne résistance à l'impact et au déchirement
- ✓ Excellente soudabilité et impression

**TEMPERATURES DE TRANSFORMATION RECOMMANDEES : 180 – 210°C**

## CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES                              | ASTM   | UNITE              | VALEUR          |
|---|--------|--------------------|-----------------|
| <b>GENERALES</b>                        |        |                    |                 |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C) | D 1238 | g /10 min          | 0,16 - 0,22     |
| - Densité (23 °C)                       | D 1505 | g /cm <sup>3</sup> | 0,9410 – 0,9480 |
| - Dureté, Shore D                       | D 2240 | °                  | 64              |
| <b>MECANIQUES</b>                       |        |                    |                 |
| - Module de flexion.                    | D 790  | MPa                | 1100            |
| - Dart drop, 26'' (66 cm)               | D 1709 | g                  | 120             |
| - Elongation: MD/TD                     | D 882  | %                  | 500/600         |
| - Tensile strength @ break: MD/TD       | D 882  | Mpa                | 45/30           |
| - Elmendorf tear: MD/TD                 | D 1922 | g                  | 25/300          |



# PEHD GRADE : TR-402

## APPLICATIONS PRINCIPALES

- ✓ Pipes pour Gaz et eaux potable

## CARACTERISTIQUES SPECIALES :

- ✓ Bonne résistance à l'impact et à la fissuration
- ✓ Excellente résistance à la traction
- ✓ Excellente soudabilité et impression
- ✓ Bonne mise en œuvre

## TEMPERATURES DE TRANSFORMATION RECOMMANDEES : 180-210°C

## CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES   | METHODES    | UNITE     | VALEUR        |
|--|-------------|-----------|---------------|
| <b>GENERALES</b>   |             |           |               |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)                        | ASTM D 1238 | g / 10 mn | 0,09-0.13     |
| - Densité (23 °C)  | ASTM D 1505 | g /cm3    | 0.9420-0.9450 |
| - Dureté, Shore D  | ASTM D 2240 | °         | 65            |
| <b>MECANIQUES</b>  |             |           |               |
| - résistance à la traction à la limite élastique (50 mm / min) | ASTM D 638  | MPa       | 23            |
| - Résistance à l'allongement (à la rupture)                    | ASTM D 638  | %         | > 600         |
| - Module de flexion  | ASTM D 790  | Mpa       | 800           |
| - Impact IZOD (23°C)   | ASTM D256   | J/m       | NB            |
| - OIT (indice temps d'oxydation)                               | ASTM D 3895 | Mn        | >40           |
| - ESCR (condition B F50)                                       | ASTM D 1693 | h         | >2000         |



# PEHD GRADE : TR-418

## APPLICATIONS PRINCIPALES

- ✓ Pipes pour Gaz et pour eaux potable.

## CARACTERISTIQUES SPECIALES :

- ✓ Bonne résistance à l'impact et à la fissuration
- ✓ Excellente résistance à la traction
- ✓ Excellente soudabilité et impression
- ✓ Bonne mise en œuvre
- ✓ Excellente résistance au ESCR

## TEMPERATURES DE TRANSFORMATION RECOMMANDEES : 180-210°C

## CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES   | METHODES    | UNITE              | VALEUR        |
|--|-------------|--------------------|---------------|
| <b>GENERALES</b>   |             |                    |               |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)                        | ASTM D 1238 | g / 10 mn          | 0,19-0.24     |
| - Densité (23 °C)  | ASTM D 1505 | g /cm <sup>3</sup> | 0.9360-0.9400 |
| - Dureté, Shore D  | ASTM D 2240 | °                  | 64            |
| <b>MECANIQUES</b>  |             |                    |               |
| - résistance à la traction à la limite élastique (50 mm / min) | ASTM D 638  | MPa                | 19            |
| - Résistance à l'allongement (à la rupture)                    | ASTM D 638  | %                  | > 600         |
| - Module de flexion  | ASTM D 790  | Mpa                | 650           |
| - Impact IZOD (23°C)   | ASTM D256   | J/m                | NB            |
| - OIT (indice temps d'oxydation)                               | ASTM D 3895 | Mn                 | >20           |
| - ESCR (condition B F50)                                       | ASTM D 1693 | h                  | >2000         |



## PEHD GRADE : 6030

### APPLICATIONS PRINCIPALES :

**Injection** de palettes, caisses, bidons, divers bouchons....

### CARACTERISTIQUES SPECIALES :

Excellentes propriétés mécaniques

**TEMPERATURE DE TRANSFORMATION RECOMMANDEE : 190 – 240 °C**

### CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES   | ASTM             | UNITE              | VALEUR     |
|--|------------------|--------------------|------------|
| <b>GENERALES</b>                                     |                  |                    |            |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)              | D 1238           | g /10 min          | 2,0 – 3,0  |
| - Densité (23 °C)                                    | D 1505           | g /cm <sup>3</sup> | Min 0,9600 |
| - Dureté, Shore D                                    | D 2240           | °                  | 76         |
| <b>MECANIQUES</b>                                    |                  |                    |            |
| - résistance à la traction à la rupture(50 mm) / min | D 638<br>Type IV | MPa                | 29         |
| - Elongation à la rupture (50 mm) / min              | D 638<br>Type IV | %                  | >500       |
| - Module de flexion                                  | D 790            | MPa                | 1300       |



## PEHD GRADE : 6040

### APPLICATIONS PRINCIPALES :

**Injection** de Palettes, caisses, bidons et divers bouchons....

### CARACTERISTIQUES SPECIALES :

Excellentes propriétés mécaniques

**TEMPERATURE DE TRANSFORMATION RECOMMANDEE : 190 – 240 °C**

### CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES                               | ASTM             | UNITE              | VALEUR     |
|--|------------------|--------------------|------------|
| <b>GENERALES</b>                         |                  |                    |            |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)  | D 1238           | g /10 min          | 3,0 – 5,0  |
| - Densité (23 °C)                        | D 1505           | g /cm <sup>3</sup> | Min 0,9600 |
| - Dureté, Shore D                        | D 2240           | °                  | 70         |
| <b>MECANIQUES</b>                        |                  |                    |            |
| - résistance à la traction (50 mm) / min | D 638<br>Type IV | MPa                | 29         |
| - Elongation à la rupture (50 mm) / min  | D 638<br>Type IV | %                  | >500       |
| - Module de flexion                      | D 790            | MPa                | 1300       |



## PEHD GRADE : 6060

### APPLICATIONS PRINCIPALES :

**Injection** de caisses, bidons peinture et autres produits, boites, poubelle, Jouets, et articles divers.

### CARACTERISTIQUES SPECIALES :

- ✓ Bonne mise en œuvre.
- ✓ Excellentes propriétés mécaniques

**TEMPERATURE DE TRANSFORMATION RECOMMANDEE : 190 – 240 °C**

### CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES   | ASTM             | UNITE              | VALEUR     |
|--|------------------|--------------------|------------|
| <b>GENERALES</b>                                     |                  |                    |            |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)              | D 1238           | g /10 min          | 5,0 – 7,0  |
| - Densité (23 °C)                                    | D 1505           | g /cm <sup>3</sup> | Min 0,9600 |
| - Dureté, Shore D                                    | D 2240           | °                  | 70         |
| <b>MECANIQUES</b>                                    |                  |                    |            |
| - résistance à la traction à la rupture(50 mm) / min | D 638<br>Type IV | MPa                | 28         |
| - Elongation à la rupture (50 mm) / min              | D 638<br>Type IV | %                  | >600       |
| - Module de flexion                                  | D 790            | MPa                | 1300       |



## PEHD GRADE : 6080

### APPLICATIONS PRINCIPALES :

**Injection** de Caisses pour transport, chaises, bidons peinture et autres produits, boîtes, poubelle, Jouets, articles de ménage et divers.  
Bouchons.

### CARACTERISTIQUES SPECIALES :

- ✓ Excellente mise en œuvre.
- ✓ Excellentes propriétés mécaniques

**TEMPERATURE DE TRANSFORMATION RECOMMANDEE : 190 – 240 °C**

### CARACTERISTIQUES

| PROPRIETES   | ASTM             | UNITE              | VALEUR     |
|--|------------------|--------------------|------------|
| <b>GENERALES</b>                                     |                  |                    |            |
| - Indice de fluidité (2,16 Kg / 190 °C)              | D 1238           | g /10 min          | 7.0 – 9,0  |
| - Densité (23 °C)                                    | D 1505           | g /cm <sup>3</sup> | Min 0,9600 |
| - Dureté, Shore D                                    | D 2240           | °                  | 70         |
| <b>MECANIQUES</b>                                    |                  |                    |            |
| - résistance à la traction à la rupture(50 mm) / min | D 638<br>Type IV | MPa                | 28         |
| - Elongation à la rupture (50 mm) / min              | D 638<br>Type IV | %                  | >700       |
| - Module de flexion                                  | D 790            | MPa                | 1300       |





Annexe C :

18 Nov 09 11:56:09 1

