

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE scientifique



Université Saad Dahlab Blida 1
Faculté des sciences et technologie
Département de génie des procédés
Option génie des procédés des matériaux



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue d'obtention du diplôme de MASTER

En Génie des Procédés

Option : génie des matériaux

Thème :

**Comparaison de la valeur d'acétaldéhyde selon le
changement de la matière première**

Proposé et dirigé par :

Ingénieur d'état KADRI.Kaouther

Encadré par :

Pr. CHEMAT.Zoubida

Présenté par :

EL MOKREFI. Siham

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

On tient tout d'abord a remercié Allah le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force ,la volonté et le courage d'accomplir ce modeste travail.

Au terme de ce travail réalisé dans le cadre du projet de fin d'études en Master en génie de procédé en matériaux, effectué sous notre professeur encadreur Madame. CHEMAT ZOUBIDA

*Nos sincères remerciements à **Madame Chemat** et l'ingénieure d'état de labo **SPA PTD Algérie Madame Kadri** d'avoir accepté de diriger ce travail ainsi que pour l'orientation, la confiance, la patience, la disponibilité et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce travail.*

Nos salutations les plus sincères à tout le cadre professoral et administratif de l'Université SAAD DAHLAB BLIDA 1.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent aux membres du jury qui nous ferons honneur et n'évaluant notre modeste travail.

Enfin nos remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail

DEDICACES

Tout d'abord je tiens remercier Dieu « ALLAH » qui m'a guidé sur le chemin droit tout long de travail

Je dédie ce modeste travail,

*À mon cher PAPA « **Ibrahim** » Allah Yerahmou*

*et à ma chère maman « **Malika** » que dieu la garde pour moi et ma sœur « **Khadîdja**, son mari et ses enfants ' **Mahdi** et **Amira** », mes 4 frères « **Hicham, Tarek, Ridha, Mohamed** et sa femme » pour tous leurs soutiens et leur dévouement pour que je réussis dans mes études et ma vie.*

À nos chers amis et collègues, pour notre profond respecte reconnaissance.

En témoignage de l'amitié qui nous uni des souvenirs de tous les moments passés ensemble.

Siham

Résumé

L'objectif de cette étude est de comparer les performances des polymères RECRON et HAINAN comme matière première offre le meilleur rendement. Ainsi que la mesure de la qualité d'acétaldéhyde ajoutée sur plusieurs préforme de deux matières premières différentes en suivant leur taux d'acétaldéhyde, selon les normes réglementation.

Les mesures des paramètres physico-chimique des produits finis (préforme) tel que les mesures du poids, la longueur, les diamètres inter goulot, filetage, collerette, bague, mesures d'épaisseur, et de déterminer la quantité d'acétaldéhyde présente dans les préformes qu'il ne faut pas dépasser 6 ppm.

Mots clés : transformation, plastique, préformes, matière première, acétaldéhyde, comparaison.

المخلص :

الغرض من هذه الدراسة هو مقارنة أداء بوليمرات الريكرون و الهانان لأن المادة الخام تقدم أفضل أداء بالإضافة إلى قياس جودة الأسيتالديهد المضاف إلى عدة أشكال من مادتين خام مختلفتين من خلال مراقبة مستوى الأسيتالديهد ، وفق المعايير التنظيمية.

قياسات المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمنتجات النهائية (التشكيلات) مثل قياسات الوزن والطول والأقطار بين العنق والخيط والياقة والحلقة وقياسات السماكة وتحديد كمية الأسيتالديهد الموجودة في التشكيلات التي يجب ألا تتجاوز 6 جزء في المليون.

الكلمات المفتاحية: معالجة ، بلاستيك ، التشكيل ، مواد أولية ، أسيتالديهد ، مقارنة.

Abstract

The objective of this study is to compare the performance of RECRON and HAINAN polymers as the raw material offers the best performance. As well as the measurement of the quality of acetaldehyde added to several preforms of two different raw materials by monitoring their level of acetaldehyde, according to regulatory standards.

the measurements of the physico-chemical parameters of the finished products (preform) such as the measurements of the weight, the length, the diameters between the neck, thread, collar, ring, measurements of thickness, and to determine the quantity of acetaldehyde present in the preforms that should not exceed 6 ppm.

Keywords: processing, plastic, preforms, raw material, acetaldehyde, comparison.

Sommaire:

Remerciements	
DEDICACES	
Résumé	
Liste des Figure	
Liste des Tableaux	
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralité sur les matières plastiques	
I.1. Introduction	3
I.2. Historique	3
I.3. Définition des matières plastiques	4
I.5. Polymères	4
I.5.1. Définition d'un polymère.....	5
I.5.2. Cristallinité du polymère en emballage	5
I.5.3. Propriétés des matières plastiques	6
I.6. Polyéthylène téréphtalate (PET)	6
I.6.1. Généralité sur le PET	7
I.6.2. Historique sur le PET	8
I.6.3. Synthèse du PET	8
I.6.4. Procédé de synthèse PET	8
I.6.4.1. Synthèse par estérification	8
I.6.4.2 Synthèse par transestérification.....	9
I.7. Composants du PET	9
I.7.1. Caractéristiques des matières premières PET	9
I.7.2. Fabrication du PET	9
I.7.3. Domaine d'utilisation du PET	10
I.8. Généralités sur l'acétaldéhyde.....	11
I.8.1. Caractéristiques de l'acétaldéhyde.....	11
I.8.1.1. Propriété physique : [14à21]	12
I.8.1.2. Propriétés chimiques : [14à21].....	12
I.8.2. Effets induits par l'acétaldéhyde.....	12

I.8.3. Effets sur la santé	13
I.8.4. Stockage de l'acétaldéhyde.....	13
I.9. Coloration des matières plastiques	13
I.9.1. Colorant à sec.....	14
I.9.2. Colorants dans la masse	14
I.10. Conclusion	14

Chapitre II : Processus d'injection des préformes

II.1. Introduction	15
II.2. Définition du procédé.....	15
II.3. Principe du procédé.....	15
II.4. Cycle d'injection	15
II.5. Processus d'obtention des bouteilles en PET	17
II.5.1. Séchage.....	17
II.5.2. Moulage par injection.....	18
II.6. Injection des préformes	20
II.7. Procédé optimal.....	20
II.8. Description d'une presse à injection.....	21
II.8.2. Caractéristiques des presses d'injection	21
II.9. Procédé utilisé par l'entreprise	22
II.10. Paramètres à respecter au cours du processus d'injection.....	26

Partie expérimentale : Matériaux et Techniques de Caractérisation

III.1. Matériaux de l'étude	26
III.1.1. Polymères étudiés.....	26
III.1.2. Présentation des préformes PET	26
III.1.3. Mode d'obtention des préforme	27
III.1.4. Essais réalisés à l'entreprise	29
III.2. Matériels utilisés	29
III.2.1. Polariscopes pour préforme (visionneur de stress sur PET).....	29
III.2.2. Mesure de Poids	30
III.2.3. Pied à coulisse digital.....	31
III.2.4. Mesureur d'épaisseur manuel.....	32
III.2.5. Jauge de la perpendicularité	33

III.2.6. Mesure de la quantité en Acétaldéhyde.....	33
III.3. Analyse de l'acétaldéhyde	34
III.4. Moule d'injection.....	35

Résultats et discussions

IV.1. Classifications des défauts	36
IV. 2. Dimensionnement de quelques préformes en mm.....	39
IV.2.1. Contrôle d'observation dimensionnelle	39
IV.2.1.1 Mesure de poids des préformes RECRON et HAINAN	39
IV.2.1.2. Mesure de la longueur des préformes RECRON et HAINAN.....	40
IV.2.1.3. Mesure du diamètre des préformes RECRON et HAINAN.....	41
IV.2.1.4. Épaisseur	43
IV.2.2. Caractéristique physico-chimique de préforme PET (RECRON) et (HAINAN) .	44
Conclusion générale	46
Références Bibliographiques	

Liste des Figure

Figure I. 1: Granulé de matière plastique.	4
Figure I. 2: Structure Semi-cristalline.	5
Figure I. 3: Le polyéthylène téréphtalate [O-(CH ₂) ₂ -O-CO-PPH-CO] N (Molécule de base) .	7
Figure I. 4: Polyéthylène Téréphtalate	7
Figure I. 5: Unité constitutive du polyéthylène téréphtalate (PET).....	8
Figure II. 1: Cycle d'injection, aspect produit	16
Figure II. 2: Cycle d'injection, aspect matière	16
Figure II. 3: Illustration du procédé de mise en forme des bouteilles en PET	17
Figure II. 4: Trémie sécheur de PET	18
Figure II. 5: Histoire thermique du PET amorphe au cours de la transformation	19
Figure II. 6: Les différents états d'injection des préformes Polyéthylène téréphtalate (PET) .	19
Figure II. 7: Schéma d'une presse d'injection PET.....	21
Figure II. 8: Machine husky injection plastique.	21
Figure II. 9: Dégradation par hydrolyse du PET	22
Figure II. 10: Processus du flux général de déshumidification	24
Figure III. 1: Matière première utilisée.	26
Figure III. 2: Préforme.....	27
Figure III. 3: Les étapes de fabrication de la préforme.	28
Figure III. 4: Différentes zones mesurées.....	29
Figure III. 5: Polariscope.....	29
Figure III. 6: Flux de préformes sous polariscope.....	30
Figure III. 7: Pied à coulisse digital pour mesure de diamètre.	31
Figure III. 8: Pied à coulisse digital pour mesure d'épaisseur.....	32
Figure III. 9: Jauge de la perpendicularité.....	33
Figure III. 10: CPG : analyseur acétaldéhyde PET.	34
Figure III. 11: Moule d'injection.....	35
Figure IV. 1: Présence de bulles d'air.	36
Figure IV. 2: Présence de bavures.	37
Figure IV. 3: Point d'injection allongé.....	38
Figure IV. 4: Cristallisation.....	38
Figure IV. 5: Présence de Corps étranger ou matière dégradée.	39
Figure IV. 6: Résultat de poids de préformes (RECRON /HAINAN).....	39
Figure IV. 7: Résultat de la longueur de préformes (RECRON /HAINAN).....	40
Figure IV. 8: Résultat du diamètre inter goulot de préformes (RECRON /HAINAN).	41
Figure IV. 9: Résultat du diamètre filetage de préformes (RECRON /HAINAN).....	41
Figure IV. 10: Résultat du diamètre collerette de préforme (RECRON /HAINAN).	42
Figure IV. 11: Résultat du diamètre bague de préforme (RECRON/HAINAN).....	43

Figure IV. 12: Résultat d'épaisseur de préforme (RECRON/HAINAN).....43
Figure IV. 13: Résultat d'acétaldéhyde de préforme (RECRON/HAINAN).....45

Liste des Tableaux

Tableau I. 1: Caractéristiques des matières premières PET 11

Tableau III. 1: Les normes des poids des préformes (15gr).	30
Tableau III. 2: Les normes des diamètres des préformes (15gr).	32
Tableau III. 3: Normes des épaisseurs des préformes(15gr).	33
Tableau IV. 1: Résultats obtenus de l'acétaldéhyde pour les deux préformes.	44
Tableau IV. 2: Résultats obtenus du poids des préformes (RECRON) et (HAINAN).	67
Tableau IV. 3: Résultats obtenus de la longueur pour les deux préformes.	67
Tableau IV. 4: Résultats obtenus des diamètres pour les deux préformes	68
Tableau IV. 5: Résultats obtenus du diamètre filetage pour les deux préformes.	68
Tableau IV. 6: Résultats obtenus du diamètre collerette pour les deux préformes.	69
Tableau IV. 7: Résultats obtenus du diamètre bague pour les deux préformes.	69
Tableau IV. 8: Résultats obtenus du l'épaisseur pour les deux préformes.	70

Présentation de l'entreprise

Entreprise : Spa PTD

Secteur d'activité : Plastique, transformation et distribution.

Adresse : Cite FETTAL ILOT 284 SECTION 0309130

BENI MERED BLIDA –Algérie.



Fort d'une expérience de plus de 50 ans, Mr Ouadah Tayeb a créé PTD, Entreprise de droit algérien, en 1997 avec une activité centrée uniquement sur le soufflage. Entre 1999 et 2002 son activité a enregistré un bond en introduisant pour la première fois en Algérie des systèmes d'injections de la préforme en PET.

L'entreprise a continué son développement par l'acquisition des nouveaux systèmes de production de la préforme et du bouchon, une avancée qui a permis à l'entreprise d'avoir une plus large gamme de produits.

Compte tenu du développement du marché de la préforme, PTD a opté pour une démarche de qualité avec le Certificat ISO 9001 en septembre 2011 et l'intégration de protocole FSSC 22000 en 2022.

PTD a entamé un vaste programme d'investissement axé sur des résultats qualitatifs et quantitatifs assurés par une ligne de production à la pointe de la technologie, une première en

Afrique : système d'injection, système d'inspection visuelle et d'un laboratoire de contrôle qualité.

Dans l'optique d'être un acteur majeur sur le marché, PTD assure à son personnel des formations et des mises à niveau pour des résultats à l'exigence des clients.

Introduction Générale

Les préformes en plastique sont des pièces moulées utilisées comme précurseurs pour la fabrication de bouteilles en plastiques. Elles sont généralement fabriquées à partir des polymères plastiques et servent de base pour le soufflage et la formation des bouteilles.

L'acétaldéhyde est un composé chimique couramment utilisé dans de nombreux secteurs industriels tels que les industries chimiques, pharmaceutiques et alimentaires. Il est largement utilisé comme solvant, réactif chimique et ingrédient clé dans la production de divers produits.

L'acétaldéhyde peut être produit à partir de différentes matières premières, telles que l'éthylène, l'éthanol ou le polyéthylène téréphtalate, et chacune de ces sources présente des avantages et des inconvénients.

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un polymère semi-cristallin bien connu, utilisé dans la fabrication d'emballage, notamment de bouteilles de consommation. Ses avantages sont : bonnes propriétés mécaniques et chimiques, une bonne stabilité thermique et une excellente transparence associée à de bonnes propriétés barrières (perméabilité aux gaz et aux impuretés).

Les procédés utilisés pour la mise en forme des préformes, Cela se fait par un séchage strict du matériau (afin d'éviter toute hydrolyse lors de la mise en œuvre), et des conditions d'injection sont choisies pour maintenir le matériau dans un état amorphe.

Dans cette étude, nous avons intéressée spécifiquement à comparer la valeur de l'acétaldéhyde en fonction du changement de matière première. L'objectif est d'évaluer les différentes options disponibles et de déterminer celles qui offrent les avantages les plus significatifs en termes de coûts, de rendement de production, et de qualité du produit final.

Pour ce faire, nous avons examiné les processus de production associés à chaque matière première, en analysant les différentes étapes impliquées, les conditions requises et les technologies disponibles. Nous avons également étudié les propriétés physico-chimiques de l'acétaldéhyde produit à partir de chaque matière première, en évaluant leur impact sur les applications industrielles spécifiques.

L'objectif de cette mémoire est de réaliser une étude et une comparaison des propriétés physiques et chimiques sur plusieurs préformes de matières premières différentes en suivant le taux d'acétaldéhyde.

Ce travail a été organisé comme suit :

La première partie est une étude bibliographique divisée deux chapitres :

- Le premier chapitre : sur les matières plastiques, en se basant sur le polyéthylène téréphtalate (PET), et l'acétaldéhyde.
- Le deuxième chapitre : est consacré à l'étude du processus d'injection des préformes.

La deuxième partie traite la partie expérimentale scindée en deux chapitres.

- Le troisième chapitre regroupe les protocoles expérimentaux avec les matériels et méthode utilisé pour caractériser les matériaux.
- Le dernier chapitre expose les résultats expérimentaux obtenus.

Enfin, une conclusion : les résultats et les enseignements tirés de cette étude.

Chapitre I :
Généralité sur les matières plastiques

I.1. Introduction

Les polymères, communément appelés « plastiques », sont indissociables de notre environnement et de nos vies réelles.

Ils se sont imposés dans tout le domaine de notre entreprise.

Des objets les plus banals aux applications techniques complexes en passant par l'utilisation dans les secteurs de l'hygiène et de l'alimentation. Principalement synthétique, parfois naturelle, cette excroissance est dite dure, souple ou élastique, transparente ou opaque, isolante, parfois conductrice, plus ou moins résistante aux conditions agressives utilisées, et toujours légère... Elle est due à plusieurs caractéristiques.

Les polymères sont utilisés non seulement dans les petits articles ménagers, les appareils électroménagers, mais aussi dans les matériaux de construction, les revêtements et peintures, les emballages, les pneus, les fibres textiles, les produits médicaux et chirurgicaux, les prothèses, les produits d'hygiène, les produits de loisirs, les pièces structurelles des véhicules de transport. Également être vu comme, appareils électroniques. Circuit électrique. Il est également utilisé dans les aliments et les cosmétiques.

Les propriétés d'un polymère dépendent principalement des monomères dont il est issu. Un monomère peut produire deux polymères aux propriétés mécaniques différentes.

I.2. Historique

Les plastiques de synthèse sont apparus, en 1865. Leur structure fut précisée vers 1930, et leur véritable développement commença vers 1960. Leur production, depuis 1980, dépasse en volume celle des métaux.

Aujourd'hui, les plastiques sont présents dans tous les domaines de l'activité humaine, depuis l'emballage jusqu'à la fusée interplanétaire ; aussi pouvons-nous Désormais nous considérer comme entrés dans l'âge des plastiques.

Cette primauté des plastiques sur les autres matériaux est due, en dehors de leur faible prix, au fait qu'il n'y a pas une seule forme de Plastique mais une multitude, avec pour chacune des propriétés particulières. De plus, les procédés de fabrication, qui permettent d'obtenir aisément et sans usinage les formes les plus complexes, sont variés.

Ce succès est aussi la consécration des efforts scientifiques et technologiques que les chimistes ont accomplis pour découvrir et analyser de nouvelles structures de molécules. Ils ont pu ainsi créer de multiples monomères et, en collaboration avec les physiciens et les mécaniciens, les fabriquer à très grande échelle en leur assurant une pureté extrême, inventer des procédés catalytiques de polymérisation et, enfin, mettre au point des machines entièrement nouvelles [1].

I.3. Définition des matières plastiques

Les matières plastiques sont des matériaux organiques constitués de macromolécules Obtenues par polymérisation de monomères.



Figure I. 1:
matière

Elles sont

Substances

produites par transformation de naturelles, ou par synthèse directe, à partir de substances extraites du pétrole, du gaz naturel, du charbon ou d'autres matières minérales. Elles possèdent la propriété des ramollir, généralement sous l'influence d'une élévation de température, et pouvant ainsi prendre différentes Formes [1].

Granulé de
plastique.

I.4. Origines des matières plastiques [2]

A l'origine, la plupart des matières plastiques provenaient de résines dérivées de matières végétales, comme la cellulose (extraite du coton), le furfural (extrait de céréales), les huiles (obtenues à partir de graines), les dérivés d'amidon ou le charbon. La caséine (issue du lait) était l'une des seules matières non végétales utilisées.

- Les trois origines essentielles des matières plastiques sont :
 - Le pétrole (55%) ;
 - Le charbon (35%) ;
 - Le gaz naturel (10%).
- Par la pétrochimie, on obtient :
 - des bitumes ;
 - des huiles lourdes ;
 - des kérosènes ;
 - des naphtas ;
 - des essences ;
 - des éthers de pétrole.

I.5. Polymères

Les polymères sont les constituants de base des plastiques, qui leur confèrent l'essentiel de leurs propriétés physico-chimiques. [3]

I.5.1. Définition d'un polymère

On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes. Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire. Le terme macromolécule est souvent utilisé à la place de polymère.

La polymérisation est une réaction initiée à partir de monomères par liaison Composés, polymères ou macromolécules de haut poids moléculaire.

Les monomères sont généralement composés d'un atome de carbone (molécule organique) Ou des atomes de silicium (polymères de silicone). Les homopolymères sont Tous contiennent des unités monomères identiques. Le copolymère est Il est composé de deux ou plusieurs types différents d'unités monomères.

Les polymères peuvent être naturels (animaux ou végétaux) ou d'origine nature le synthétique. Les polymères naturels comprennent le caoutchouc, les polysaccharides, Glycogène, ADN, protéine Macromolécules synthétiques B. Polyéthylène, polypropylène, polystyrène, PVC, PTFE, Polyester, polycarbonate, polysiloxane, polyamide...

I.5.2. Cristallinité du polymère en emballage

Les polymères semi-cristallins sont constitués d'une phase amorphe et d'une phase cristalline (figure I.2).

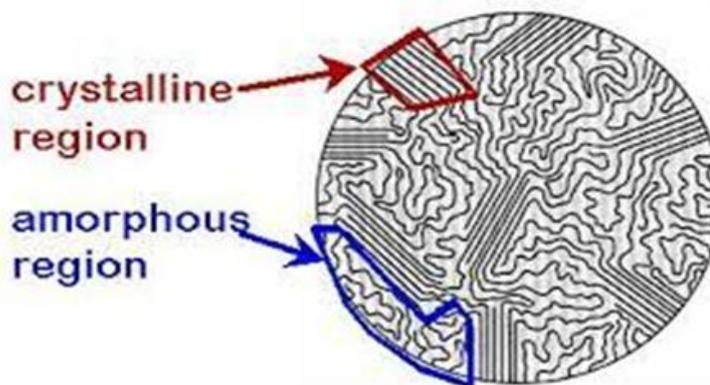


Figure I. 2: Structure Semi-cristalline.

La phase cristalline est composée par un assemblage ordonné des chaînes polymériques liées entre elles. Les chaînes de la phase amorphe sont plus ou moins

désordonnées et jouent le rôle de liaison entre les cristallites qui constituent la phase cristalline.

La cristallinité réduit la mobilité de la chaîne en réduisant la distance entre les liaisons Chaînes amorphes et cristallites. En effet, la cristallinité empêche l'accès à allonger la région amorphe et le chemin de diffusion. Pour cette raison, la phase les cristaux agissent comme une barrière de diffusion imperméable. Aussi, le résultat, la liaison dans la chaîne polymère conduit à plus de défauts dans les cristallites, entraînant une cristallinité plus faible et une diffusivité accrue [4].

I.5.3. Propriétés des matières plastiques

Tous les matériaux mentionnés dans le paragraphe précédent sont des polymères thermoplastiques. Chacun est basé sur un ou plusieurs composés ou monomères simples. Un exemple de monomère simple est l'éthylène, dérivé du pétrole et du gaz naturel. Il est basé sur l'arrangement spécifique des atomes de carbone et d'hydrogène. La plus petite unité discrète d'éthylène est connue sous le nom de molécule et à la formule chimique C_2H_4 .

Le plastique est un matériau déformables. Ils peuvent être facilement formés ou moulés, généralement sous chaleur et pression. La facilité de moulage, la résistance aux chocs, aux changements de température, à l'humidité, aux détergents, etc. lui permettent d'être utilisé dans tous les domaines

Emballage, architecture, automobile, électrique, etc. Il existe de nombreux plastiques aux propriétés différentes, et ils se répartissent en trois grandes catégories.

- Thermoplastiques
- thermodurcissable
- les élastomères [5].

I.6. Polyéthylène téréphtalate (PET)

PET est un polyester, qui est une abréviation de polyéthylène téréphtalate. Le polyéthylène téréphtalate est un plastique. Chimiquement, c'est le polymère

Obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalate et de l'éthylène glycol. Pour simplifier, on peut décrire le PET comme un pétrole affiné. L'éthylène glycol et les connexions téréphtalate sont exploités du pétrole qui a été partiellement transformé avec l'oxygène, pour la fabrication de PET, ces connexions sont liées à de longues chaînes de molécules.

Le matériau PET est généralement utilisé pour le moulage par injection pour préforme de bouteilles en plastique, telles que les bouteilles d'eau minérale, les bouteilles de coca-cola, les bouteilles de jus de fruits, etc. [6].

- **Linéaire** : Le PET à une structure interne homogène orienté dans le même sens.
- **Thermoplastique** : Qui deviennent malléables quand ils sont chauffés, ce qui permet leurs mise en œuvre.
- **Amorphe ou cristallin** : Une bonne propriété barrière (CO₂, O₂, H₂O).
- **Homo ou copolymère** : Les polymères peuvent être fabriqué à partir d'un seule type de monomères (on parle alors d'homo polymères). Ou bien à partir de plusieurs types de monomères (on parle alors de copolymères).

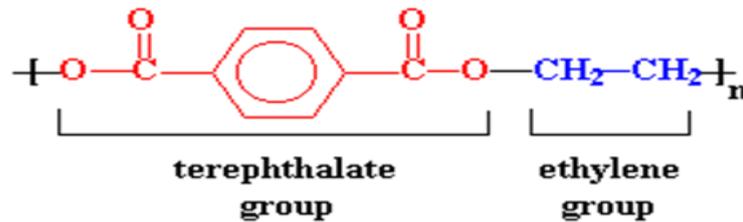


Figure I. 3: Le polyéthylène téréphtalate [O-(CH₂)₂-O-CO-PPH-CO] N (Molécule de base) [6]

I.6.1. Généralité sur le PET

Le PET (Polyéthylène Téréphtalate) est une matière plastique du groupe des polyesters. Le PET est produit à 100% à partir du pétrole.

Près de 1,9 kg de pétrole brut donnent environ 1 kg de PET Très léger.

Il est incassable et recyclable à 100%. Grâce à ses propriétés exceptionnelles, les possibilités d'utilisation du PET. Sont pratiquement illimitées. De ce fait, la croissance du plastique PET, ces dernières années, a atteint des taux incroyables. La production annuelle mondiale de bouteilles en PET atteint quelques 120 milliards de cols. [7]



Figure I. 4: Polyéthylène Téréphtalate

I.6.2. Historique sur le PET

Le PET a été synthétisé en 1941 par British Petroleum. Les premières productions industrielles et applications commerciales ont débutés dans les années 1950. La FDA (Food and Drug Administration américaine) l'autorise en 1976 pour le conditionnement des boissons. Les premières souffleuses avec bi-orientation pour le PET apparaissent à la fin des années 1970. Les années 1980 voient le début de l'essor commercial du PET pour le conditionnement des boissons, d'abord carbonatées puis pour les eaux minérales.

Les années 1990 voient le développement de nouvelles applications (jus de fruits, remplissage à chaud, flacons plats, bière...). Les cadences maximales des souffleuses passent de 3 600 bouteilles par heure en 1980 à plus de 70 000 aujourd'hui. [8]

I.6.3. Synthèse du PET

Le PET est un thermoplastique semi-cristallin de la famille des polyesters saturés. Il est obtenu par polycondensation à partir d'acide téréphtalique et d'éthylène glycol. La figure 1.4 illustre sa formule chimique. [9]

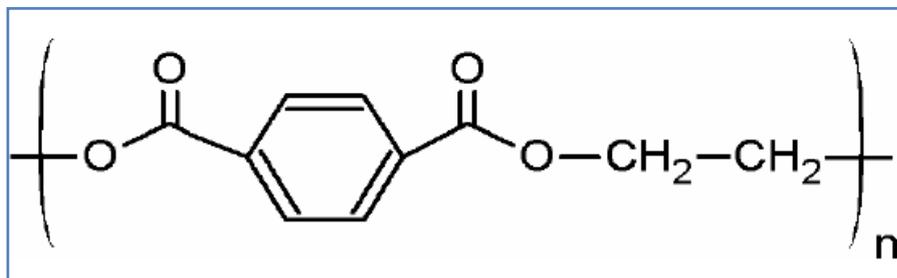


Figure I. 5: Unité constitutive du polyéthylène téréphtalate (PET).

I.6.4. Procédé de synthèse PET

Les deux principaux procédés de synthèse du PET utilisés dans l'industrie sont :

- estérification de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol ;
- Transestérification du téréphtalate de diméthyle et de l'éthylène glycol.

I.6.4.1. Synthèse par estérification

Le processus d'estérification directe est la réaction de l'acide en premier déshydratation de l'acide téréphtalique (TA) et de l'éthylène glycol (EG).

Le degré moyen en nombre de polymérisation (DP_n) est de l'ordre de 5 à 10 monomères/chaîne. De l'estérification est effectuée à une température élevée de 260-280°C sous une pression de 2-6 bars. Réaction de l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol ne

nécessitent pas la présence d'un catalyseur le groupe acide carboxylique de TA est réactif et catalytique [10].

I.6.4.2 Synthèse par transestérification

Lorsque le réactif EG et le téréphtalate de diméthyle (DMT) sont présents, le mélange est à une température de 160-180°C sous vide. Catalyseur (sel métalliques) sont nécessaires. Lorsque le rapport [EG]/ [DMT] est compris entre 1,7 et 2, le catalyseur est désactivé pour éviter d'augmenter la vitesse de décomposition thermique du polymère. A la fin de la réaction, l'EG en excès et le méthanol sont éliminés par distillation [11].

I.7. Composants du PET

- **Les composants Diacide :** L'acide téréphtalique (TPA) ou le diméthyle/téréphtalate (DMT).
- **Les composants Diol :** (EG) l'éthylène glycol. Les acides et les Diol sont tous les deux issues du pétrole.
- **Le di éthylène glycol (DEG)**
- **Le groupe vinil-ester (VEG)**

I.7.1. Caractéristiques des matières premières PET

Les matières premières PET sont caractérisés par :

- Excellente transparence supérieure à 90%, excellente brillance de la surface et aspect vitreux.
- Bon arôme et étanchéité à l'air.
- Excellente résistance chimique. Il est presque résistant à tous les médicaments organiques.
- Bonne hygiène, approuvé par le PDA (le plus grand laboratoire de chimie aux États- Unis).
- Aucun gaz toxique ne se produira lors de la combustion.

I.7.2. Fabrication du PET

a) Estérification :

Formation des monomères.

- **Etape 1 (estérification) :** estérification directe (utilisation du TPA) : transestérification (utilisation du DMT).

b) Polycondensation :

Assemblage des monomères en phase visqueuse, environ 100 unités.

- **Etape 2 (polycondensation ou polymérisation)**, PET monomère PET + EG [la polycondensation et poursuivie jusqu'à l'obtention d'une viscosité 0,6 (environ 100 unités)]

-La solution devenant visqueuse, l'extraction d'EG est rendue difficile.

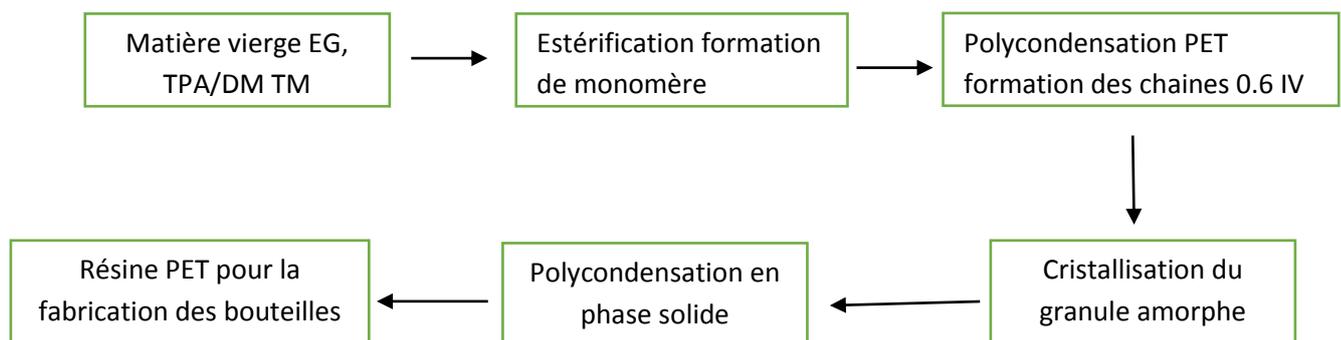
- La température étant importante, la génération d'AA augmente (similairement au processus d'injection).

-Le PET visqueux est extrudé, refroidi et coupé pour donner des granulés de PET amorphe.

c) Enoncé de solide : Continuation de la polycondensation en phase solide (augmentation de 100 à 140 unités environ).

- **Etape 3 (polycondensation en phase solide)** -énoncé de solide est généralement faite entre 180°C et 240°C pendant 6 à 8 heures.

La fabrication du PET peut être représentée par l'organigramme suivant :



I.7.3. Domaine d'utilisation du PET

Le PET s'est d'abord développé dans le domaine du textile (fils et fibres) et du film (emballage, arts graphiques, photos, audio et vidéocassettes), puis dans les fils industriels (bandes transporteuses, renforts pour pneumatiques, tissus pour sérigraphie) et aujourd'hui, de plus en plus, dans les corps creux, grâce à la parfaite maîtrise de la cristallisation.[12]

Exemples:

- ✓ Fibre textile pour la confection de vêtements (notamment à la base de pet recyclé).
- ✓ Emballage résistant au four.
- ✓ Revêtement ajouté sur le papier aluminium pour éviter le contact avec les aliments.
- ✓ Films transparents à bas coût pour les applications d'optique (écran LCD, instruments).

Les caractéristiques des matières premières sont illustrées dans le tableau suivant :

Polyéthylène téréphtalate			PET	
Famille : polyesters	Amorphe S/Cristallin	Transparent Opaque	Densité : 1.35	Retrait : 0.5 à 1.8 %
Étuvage : Dessiccateur obligatoire Durée : 4 h T° : 140 ° C			Prix (kg) : 2 à 4	
			Vitesse de rotation vis : 0.1 à 0.7 m/s	
T° d' injection : 270 à 300 ° c	T° outillage : produit amorphe : 20° c Produit semi-cristallin : de 80 à 140° c		T° Veille : 220 ° c	
Catégorie ISO 58000 : Am 4/Cr3	T° démoulage : appliquer les recommandations du fabricant		KΔV amorphe : 0.90 KΔV cristallin : 0.81	
T° /Produits de dégradation : 270° C / Faiblement irritants				

Tableau I. 1: Caractéristiques des matières premières PET [13].

I.8.Généralités sur l'acétaldéhyde

L'acétaldéhyde est un composé chimique organique de formule CH_3CHO . Il est couramment utilisé dans la production de préformes, qui sont des pièces préfabriquées pour la fabrication de bouteilles en plastique. L'acétaldéhyde agit comme un monomère dans le processus de polymérisation, où il réagit avec d'autres substances pour former des chaînes polymères de plastique. Cependant, il est important de noter que l'acétaldéhyde peut être toxique et présenter des risques pour la santé, raison pour laquelle les normes de sécurité et les réglementations strictes sont appliquées dans son utilisation. Des tests et des contrôles de qualité sont également effectués pour garantir que les niveaux d'acétaldéhyde restent dans les limites acceptables pour assurer la sécurité des produits finis.

I.8.1. Caractéristiques de l'acétaldéhyde

L'acétaldéhyde (également connu sous le nom d'éthanol) est un composé organique qui peut être présent dans les préformes plastiques, comme mentionné précédemment. Voici quelques propriétés physiques et chimiques de l'acétaldéhyde :

I.8.1.1. Propriété physique : [14à21]

Formule chimique : CH_3CHO

Masse molaire : 44,05 g/mol

Apparence : L'acétaldéhyde pur est un liquide incolore à jaune pâle.

Odeur : Il a une odeur piquante, fruitée et caractéristique.

Point d'ébullition : L'acétaldéhyde a un point d'ébullition relativement bas, soit environ 20 °C.

Densité : Sa densité est d'environ 0,78 g/cm³ à 20 °C.

Solubilité : L'acétaldéhyde est miscible dans l'eau et se dissout également dans de nombreux solvants organiques.

I.8.1.2. Propriétés chimiques : [14à21]

L'acétaldéhyde est un composé chimiquement réactif. Il peut subir des réactions d'oxydation, de réduction, d'addition nucléophile, de condensation et d'auto-condensation.

L'acétaldéhyde peut être oxydé pour former de l'acide acétique (CH_3COOH). Il se décompose à des températures supérieures à 400 °C, formant principalement du méthane et de l'oxyde de carbone. Il est important de noter que l'acétaldéhyde peut être toxique et irritant pour la peau, les yeux et les voies respiratoires. Des précautions appropriées doivent être prises lors de la manipulation de ce composé, tant dans les préformes que dans tout autre contexte industriel ou de laboratoire.

I.8.2. Effets induits par l'acétaldéhyde

L'acétaldéhyde est une substance chimique utilisée dans de nombreux processus industriels, notamment dans la production de plastiques tels que les préformes en plastique utilisées pour fabriquer des bouteilles en PET (polyéthylène téréphthalate). Cependant, l'acétaldéhyde peut avoir des effets indésirables sur les préformes en plastique et la santé.

- **Dégradation du matériau** : L'acétaldéhyde peut provoquer la dégradation du plastique des préformes, ce qui entraîne une perte de résistance et de rigidité. Cela peut rendre les préformes plus fragiles et susceptibles de se briser facilement.
- **Altération des propriétés physiques** : L'acétaldéhyde peut altérer les propriétés physiques des préformes en plastique, telles que la transparence et la couleur. Il peut provoquer une décoloration ou une opacification des préformes, ce qui peut rendre le matériau moins attrayant sur le plan visuel.
- **Migration dans les aliments ou les boissons** : L'acétaldéhyde peut migrer à partir des préformes en plastique dans les aliments ou les boissons qui y sont stockés, en particulier dans des conditions de température élevée. Cela peut poser des problèmes

de sécurité alimentaire, car l'acétaldéhyde est considéré comme un composé potentiellement toxique.

- L'acétaldéhyde peut donner un goût ou une odeur indésirable aux boissons ou aux aliments stockés dans les préformes en plastique. Cela peut altérer la qualité des produits et les rendre moins agréables à consommer.

I.8.3. Effets sur la santé

- **Toxicité** : L'acétaldéhyde est classé comme substance cancérigène pour l'homme (groupe 1) par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Une exposition excessive à l'acétaldéhyde peut augmenter le risque de développer des cancers, notamment du tractus respiratoire, de l'œsophage et de la cavité buccale.
- **Irritation** : L'acétaldéhyde peut provoquer une irritation des yeux, du nez, de la gorge et des voies respiratoires chez les personnes exposées. Cela peut se produire lors de la manipulation des préformes en plastique contenant de l'acétaldéhyde ou lors de l'inhalation de vapeurs d'acétaldéhyde libérées pendant le processus de production.

I.8.4. Stockage de l'acétaldéhyde

- Stocker l'acétaldéhyde dans des locaux **frais** à une température régulée inférieure à 20 °C et **sous ventilation mécanique permanente**.
- Tenir à l'écart de la chaleur, des surfaces chaudes, de toute source d'inflammation (étincelles, flammes nues, rayons solaires...).
- Conserver l'aldéhyde acétique à l'abri de l'oxygène de l'air afin d'éviter la formation de peroxydes explosifs.
- Dans tous les cas, il convient de s'assurer auprès du fournisseur de la substance ou du matériau de stockage de la **bonne compatibilité** entre le matériau envisagé et la substance stockée.
- **Fermer soigneusement** les récipients et les étiqueter conformément à la réglementation.
- Mettre le matériel **électrique** et **non-électrique**, y compris l'éclairage et la **ventilation**, en conformité avec la réglementation concernant les atmosphères Explosives.
- **Séparer** la substance acétaldéhyde des produits comburants. Si possible, la stocker à l'écart des autres produits chimiques dangereux.

I.9. Coloration des matières plastiques

Les matières plastiques sont colorées à différents stades de leur élaboration suivant la couleur demandée par le client. Les résines issues des polymères sont teintées en fonction de leur couleur naturelle

- Les résines naturelles foncées sont en (noir, rouge, bleu).
- Les résines naturelles claires sont colorées claire ou pastel (jaune, Orange).
- Colorants : 11 existe deux types de colorant.

I.9.1. Colorant à sec

Les granulés vierges sont mélangés dans le tambour avec le colorant choisi. Un lubrifiant peut être ajouté pour faciliter l'écoulement de la matière dans le moule.

I.9.2. Colorants dans la masse

Les granulés sont colorés à sec et pour réaliser une bonne dispersion de la couleur, ils sont extrudés en filament, puis broyés par granulation.

I.10. Conclusion

Les plastiques sont actuellement l'un des matériaux les plus importants dans le domaine de la plasturgie, et leurs propriétés physiques et mécaniques leur confèrent une grande importance dans tous les domaines. Le chapitre conclut que les plastiques sont des matériaux largement utilisés dans divers domaines en raison de leurs propriétés (physiques, chimiques et mécaniques) qui répondent à des besoins différents. De plus, différents types de plastique peuvent être distingués.

Chapitre II :

Processus d'injection des préformes

II.1. Introduction

La transformation de la matière plastique par injection consiste à remplir la cavité. La matière plastique fondue est retirée du moule, on la laisse refroidir et la pièce est démoulée.

Obtenu après refroidissement et solidification de la matière plastique. Ce chapitre vous guidera tout au long du processus d'obtention d'une bouteille d'eau PET minéral par injection soufflage à base de préforme moulée par injection, découvrez quel processus votre entreprise utilise et quels paramètres vous devez prendre en compte lors de sa mise en œuvre ces préformes.

II.2. Définition du procédé

Le procédé d'injection est un procédé de mise en forme des thermoplastiques par moulage permettant la production de pièces minces jusqu'à quelques millimètres d'épaisseur. Ce procédé est très répandu pour les productions de grandes séries comme l'automobile, l'électroménager ou l'électricité. [22]

II.3. Principe du procédé

Le moulage par injection permet la production en série de pièces de formes complexes basées sur des principes fonctionnels simples.

En effet, les polymères thermoplastiques sont chauffés pour leur donner la cohésion d'un liquide visqueux. Ce liquide est ensuite injecté dans un moule en plusieurs parties. Le polymère est refroidi à l'état solide, après quoi le moule est ouvert et la pièce est éjectée.

Lorsque le moule est refermé, une nouvelle injection est effectuée. [22]

II.4. Cycle d'injection

*Le cycle d'injection minimal est décrit sur la figure II.1. Pour réaliser ce cycle, les principales fonctions d'une presse à injecter sont [23] :

- L'ouverture et la fermeture du moule ;
- Le verrouillage du moule ;
- L'injection de la matière fondue dans le moule ;
- Le maintien de la matière fondue sous pression dans les empreintes ;
- L'éjection des pièces après refroidissement ;
- La fonte de la matière.

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées, le cycle de transformation de la matière plastique est celui décrit sur la figure II.2.

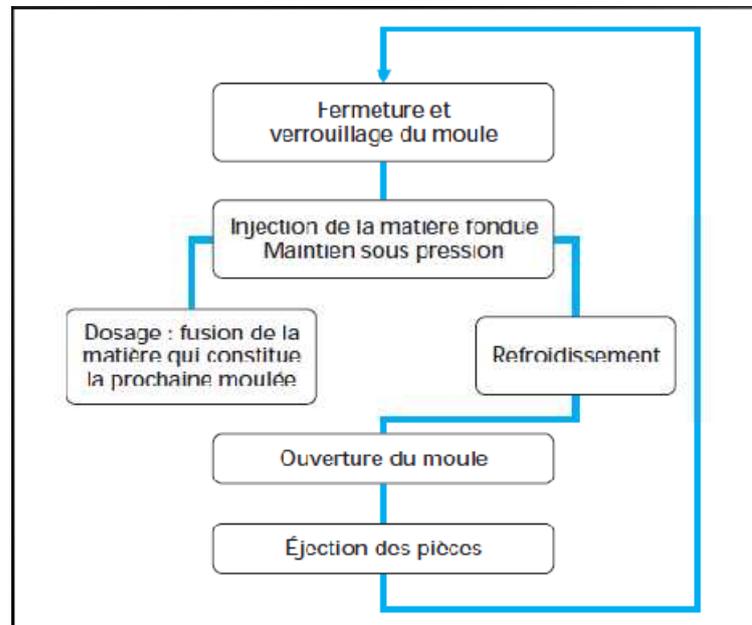


Figure II. 1: Cycle d'injection, aspect produit [23]

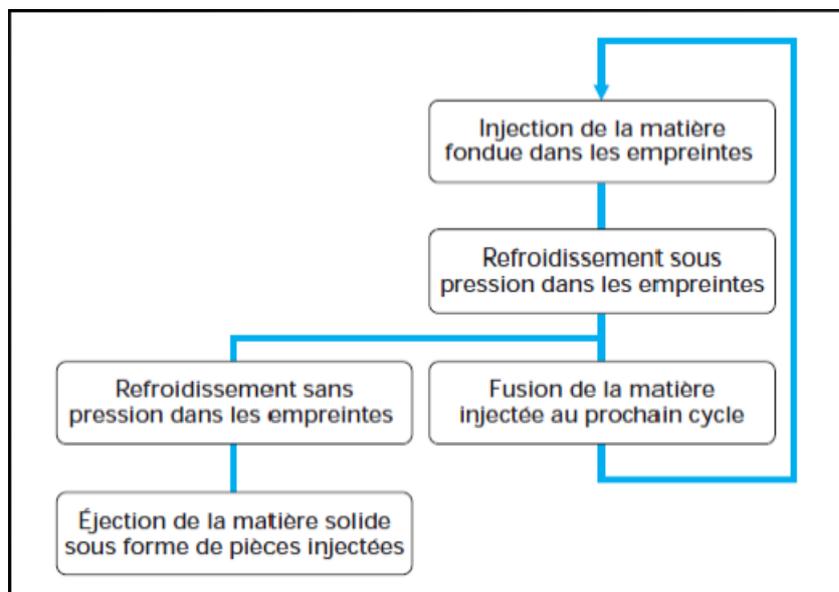


Figure II. 2: Cycle d'injection, aspect matière [23]

Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires :

- Alimenter la presse en granulés ;
- Faire fondre les granulés ;
- Doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule ;
- Introduire la matière fondue dans le moule fermé et verrouillé ; Exercer une pression

- sur la matière fondue placée dans le moule ;
- Ajouter de la matière fondue pour compenser la diminution de volume lors du refroidissement ;
- Démouler les pièces.

II.5. Processus d'obtention des bouteilles en PET

La fabrication des bouteilles en PET peut être décrite en trois étapes : l'injection à partir des granulés, le moulage de la matière fondue pour obtenir la préforme et le soufflage de celle-ci

Les granulés de PET fondus sont injectés dans un moule afin d'obtenir une préforme qui est presque complètement amorphe. Dans cette étape, le polymère est soumis à des températures supérieures à 280°C.

La préforme est dans un deuxième temps réchauffée puis introduite dans un moule ayant la forme de la bouteille. Ce moule est refroidi à une température de 11 °C.

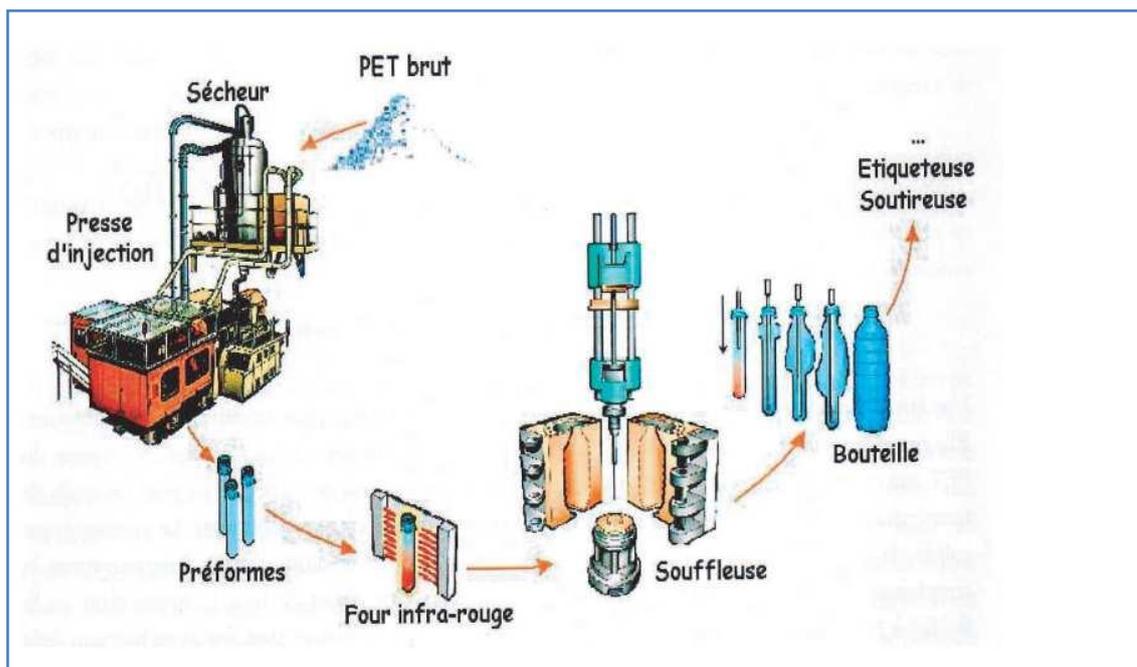


Figure II. 3: Illustration du procédé de mise en forme des bouteilles en PET [24].

II.5.1. Séchage

Dans toute transformation du PET, il est nécessaire d'étuver soigneusement les matières premières (granulés, chips) pour minimiser l'hydrolyse.

La reprise d'humidité par adsorption superficielle est rapide (moins de 15minutes) à température ambiante. En pratique, juste avant la transformation, le PET est séché dans un

courant d'air ou d'azote sec et chaud (120 à 135 °C) pendant 2 à 6 heures (2 à 3 h pour la résine vierge, 3 à 4 h pour la résine ré-broyée recyclée et 4 à 6 heures pour la résine humide) dans des trémies sécantes (sécheur).



Figure II. 4: Trémie sécheur de PET

II.5.2. Moulage par injection

Au cours de l'injection du PET fondu dans un moule pour former une préforme très amorphe, on procède à une transformation par passage à l'état fondu où la température est donc supérieure à la température de fusion pendant 15 seconde. Le passage de la phase amorphe d'un état vitreux à un état caoutchoutique (et inversement) correspond à la température de transition vitreuse notée T_g ; cela traduit l'apparition de premiers mouvements de longs segments de chaînes.

La température de cristallisation T_c correspond au maximum du pic exothermique de cristallisation La température de fusion T_f est la température à laquelle les cristaux ont tous fondu ; cela correspond au désordre maximal dans la matière.

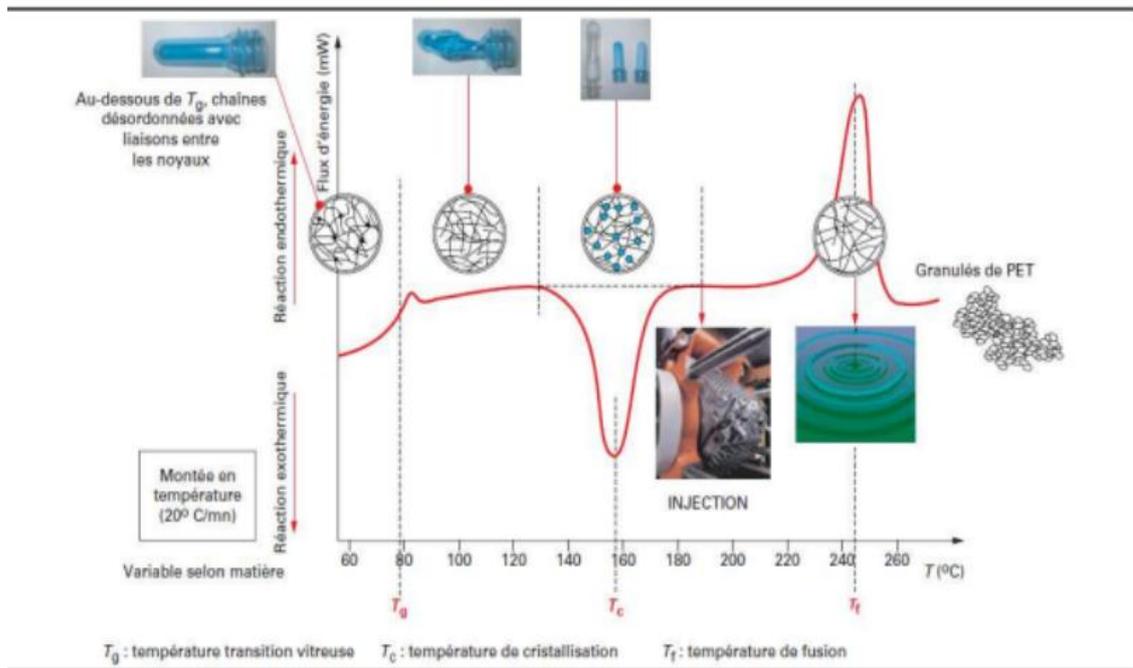


Figure II. 5: Histoire thermique du PET amorphe au cours de la transformation [25]

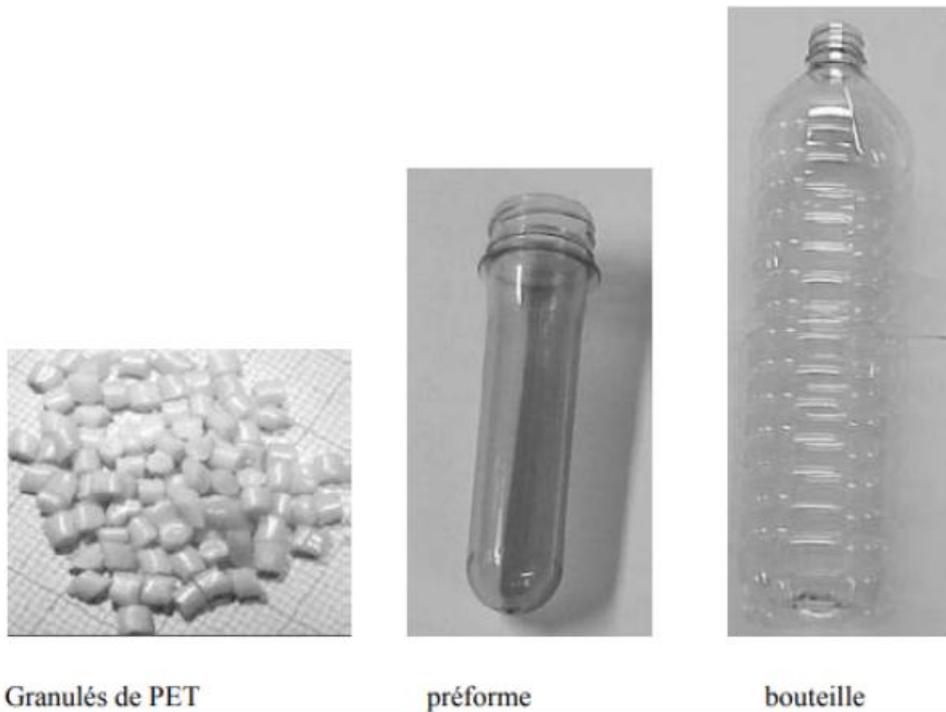


Figure II. 6: Les différents états d'injection des préformes Polyéthylène téréphtalate (PET)

II.6. Injection des préformes

La préforme est un simple tube en PET, elle ressemble à une éprouvette dont le col et l'obturation ont déjà la forme définitive (figure II.6). Ces préformes sont facile à transporter contrairement aux bouteilles.

II.7. Procédé optimal

Les granulés de PET sont très hygroscopiques et doivent être sécher pour pouvoir être transformés en préformes.[26]

Les particularités pour l'injection des préformes sont les suivant :

- Séchage des granulés cristallisés dans un sécheur à air sec pendant 4 à 6 h à une température de 160 à 175 °C permet d'amener leur taux d'humidité résiduelle à moins de 25 ppm environ ;
- la plastification dans une vis d'extrusion est conçue pour minimiser le cisaillement et stagnation de la matière ;
- Les presses comportent la plupart du temps un pot de transfert pour séparer les fonctions plastification et injection (amélioration de la cadence et de la qualité) ;
- Le distributeur de moule à canaux chauds (manifold) est conçu pour minimiser la stagnation de matière (réduisant ainsi le taux d'acétaldéhyde) et équilibrer le remplissage des empreintes du moule. Ils sont le plus souvent avec obturateurs du point d'injection de chaque cavité ;
- le moule avec robot d'extraction des préformes, et souvent des dispositifs de post-refroidissement (tubes de maintien, noyaux...) permet de poursuivre un refroidissement maîtrisé des préformes en dehors du moule et d'augmenter ainsi la cadence.

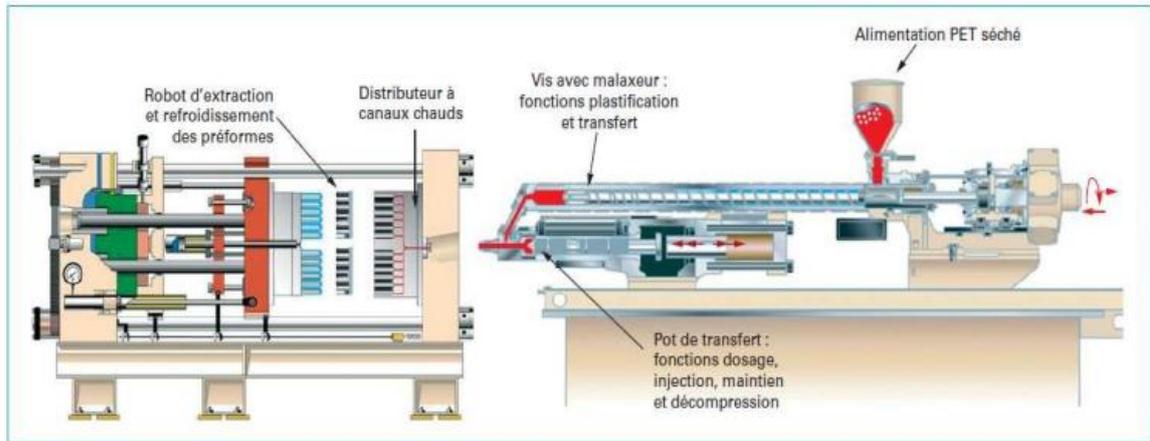


Figure II. 7: Schéma d'une presse d'injection PET

II.8. Description d'une presse à injection

Une presse à injecter, ou machine d'injection moulage, est constituée de deux unités principales : l'unité d'injection, ou de plastification, et l'unité de moulage (moule et système de fermeture). Le plus souvent, les différences notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification. Notons qu'il existe des presses verticales bien que les presses horizontales soient les plus fréquentes. Parmi ce type de machines, deux grands groupes se distinguent : les presses hydrauliques et les presses électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications. [27]



Figure II. 8: Machine husky injection plastique.

II.8.2. Caractéristiques des presses d'injection

Une machine d'injection (moulage) se caractérise généralement par sa capacité maximum d'injection et sa force de fermeture. La première caractéristique peut être donnée en masse de polymère ou en volume (cm^3). La capacité d'injection réelle est comprise entre 30 et 70% de cette capacité maximale, ceci en fonction du comportement en phase fondue de la matière à transformer (étape de compactage). La force de fermeture est généralement exprimée en tonne, et correspond à la force de fermeture maximale du moule que peut

maintenir la presse avant, pendant et après le remplissage du moule par la matière fondue. Toutefois, de nombreux autres critères peuvent être précisés pour définir au mieux une presse à injecter. Ils sont d'autant plus importants qu'ils seront nécessaires au choix d'une machine parfaitement adaptée à une gamme d'objets à fabriquer : par exemple les distances entre plateaux et entre colonnes doivent être de dimensions compatibles avec celles du moule. [29]

II.9. Procédé utilisé par l'entreprise

Les granulés en PET, stockés dans un silo, sont chargés d'humidité. Ils doivent impérativement, après dosage et mélange, être séchés, afin de garantir une qualité de la préforme.

❖ L'hydrolyse du PET [30] :

L'hydrolyse du PET consiste en la scission des liaisons esters de la chaîne du polymère en présence des molécules d'eau. Chaque coupure de chaîne entraîne la formation des groupements terminaux d'acides carboxyliques et hydroxyles.

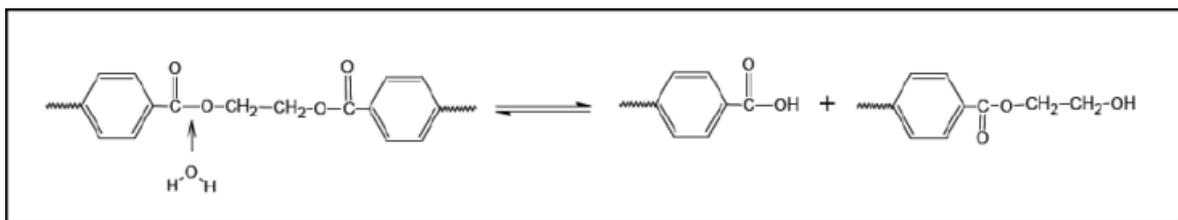


Figure II. 9: Dégradation par hydrolyse du PET

Cette réaction s'avère être très rapide quand le polymère est dans son état fondu, donc pendant le processus de fabrication de la préforme. Afin d'éviter les coupures des chaînes par hydrolyse, il est important de réaliser un séchage adéquat du polymère avant de l'emmener à son état fondu. Cette opération se déroule à l'aide de sécheur.

❖ La déshumidification du PET :

• Le processus :

Les pompes M_1 et M_2 aspirent l'air chaud et humide du silo, le flux d'air passe par les filtres AF_1 et AF_2 pour éliminer la poussière qui peut être contenue dans la matière, puis par des refroidisseurs WC_1 et WC_2 . (Figure 12)

Le vérin à deux positions s'ouvre du côté de la tour (L) dans laquelle le processus est activé, et laisse passer l'air frais et humide, à la rencontre du silica ce dernier cède son humidité, puis est chauffé par des résistances, ensuite envoyé vers le silo chaud et sec.

Une fois le silica est saturé en humidité, et cela est déterminé par des sondes qui mesurent le point de rosé, la tour (L) passe à la régénération et la tour (R) active à son tour le processus en faisant basculer la position d'ouverture des deux vérins (V_{1a} et V_{1b}).

- **La régénération :**

La régénération de la tour (L) se fait en aspirant l'air ambiant par la pompe M_8 , le faire passer par le filtre AF_3 , puis le chauffer par la résistance (EH_2) et l'envoyer vers la tour. Au contact du silica, ce dernier cède son humidité. L'air est refroidit par le refroidisseur WC_3 a chaque passage jusqu'à ce qu'il soit saturé en eau à ce moment-là, l'air est éjecté vers l'extérieur et un nouveau flux d'air est aspiré.

Les vérins V_{3b} et V_{3a} s'ouvrent et se ferment au même temps, quand ils sont ouvert V_{3b} aspire l'air ambiant, et V_{3a} éjecte l'air chaud et humide vers l'extérieur. La figure suivante représente le flux général de la déshumidification.

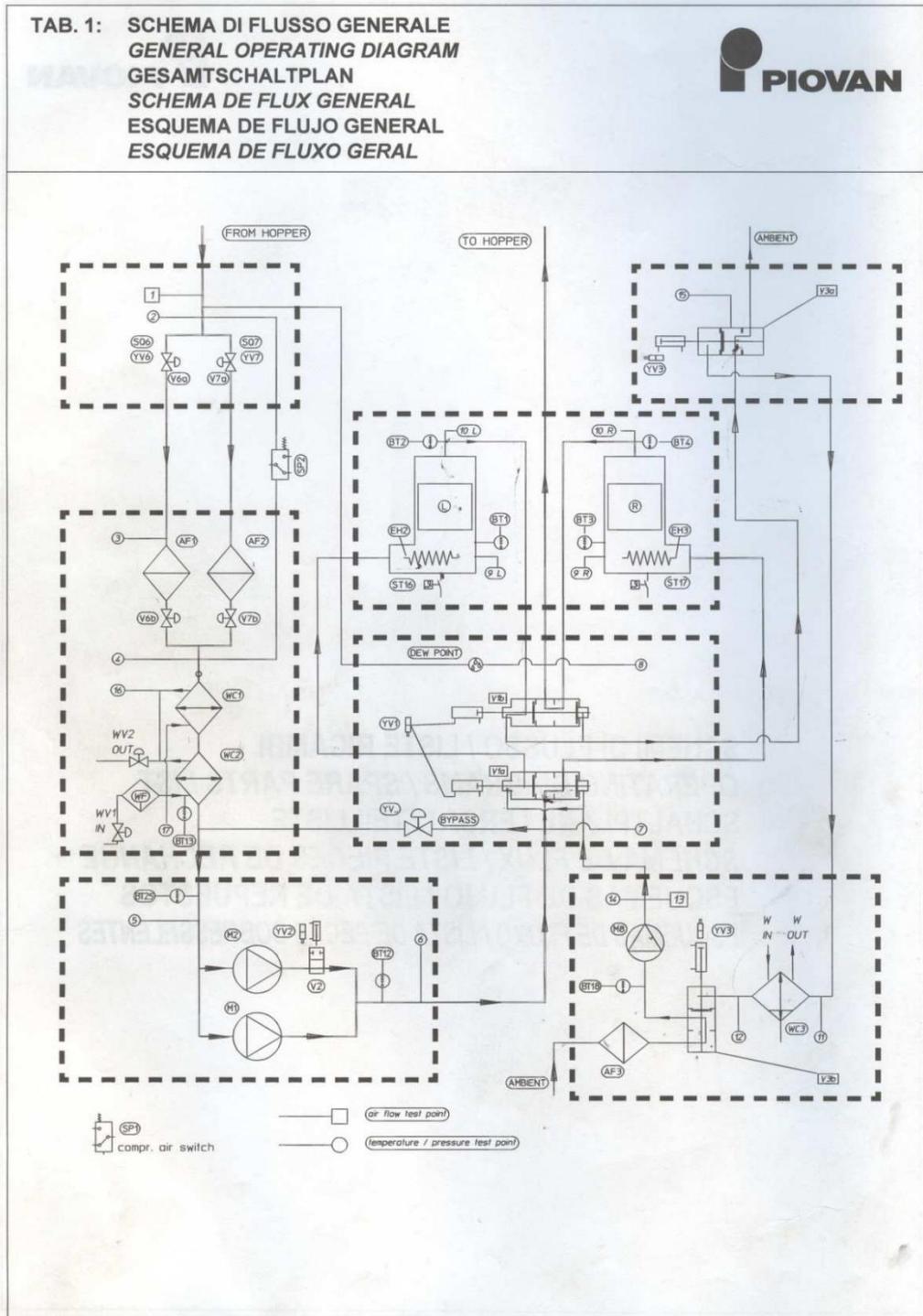


Figure II. 10: Processus du flux général de déshumidification

Le séchage du PET se fait en huit heures si la matière n'est pas traitée (il n'y a pas de matière

dans le silo, c'est la première quantité de PET à sécher), et six heures si elle est déjà traitée. Le programme de déshumidification de la matière est le suivant

Si la matière est déjà traitée :

100°C → 60 min

140°C → 120 min

180°C → 120 min

Si la matière n'est pas traitée :

100°C → 120 min

140°C → 240 min

180°C → 120 min

❖ **Description de la presse d'injection :**

La presse d'injection est composée de trois sections principales :

- a. L'unité d'injection PET à deux étages ;
- b. L'unité de fermeture hydromécanique ;
- c. L'unité de commande électrique, qui consiste en l'interface humain-machine (IHM) et l'armoire électrique.

a) Alimentation et injection du PET :

Au cours de l'étape d'alimentation en granulé, la vis-piston de l'extrudeuse prépare le granulé pour l'injection. Le granulé entre dans l'extrudeuse par une ouverture d'alimentation et coule dans les pas de la vis-piston. Le moteur hydraulique de l'extrudeuse fait tourner la vis, et deux pistons de transfert hydraulique font allonger et reculer la vis. Pendant l'alimentation, la vis tourne pour remplir de plastique les pas de sa section d'alimentation. Lorsqu'une quantité suffisante de plastique est accumulée, l'extrudeuse est prête pour la plastification. Pendant l'étape de la plastification, le granulé est transformé en plastique fondu par des procédés de cisaillement, de chauffage et de compression. A mesure que la vis tourne elle exerce un effort de cisaillement sur le granulé qui commence à se réchauffer. Les rubans montés sur le fourreau continu à réchauffer le granulé jusqu'à ce que les températures précisées par L'IHM soient atteintes (environ 290°C). En même temps, les pistons de transfert attachés à la vis par un arbre à cannelures exercent une contre pression sur le plastique.

Cette pression exercée chauffe, comprime, et mélange le plastique pour le préparer pour le transfert au cylindre doseur.

Lorsque la vis atteint la position de transfert, le plastique en fusion passe du fourreau au pot d'injection où il s'accumule jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment de plastique pour l'injecter dans le moule. Pour faire avancer le plastique dans le fourreau, les pistons de transfert se détendent, forçant la vis en avant. L'écoulement du plastique dans le pot d'injection continue jusqu'à ce que la quantité soit suffisante pour l'injection. Cette quantité est appelée la charge d'injection. Lorsque la charge d'injection est atteinte, le transfert du plastique cesse et la charge est alors injectée dans le moule, Ensuite les préformes sont refroidies par le système de refroidissement.

II.10. Paramètres à respecter au cours du processus d'injection [31]

- la force de verrouillage du moule suffisamment élevée pour éviter d'ouvrir le moule, même en cas d'erreur de réglage ;
- la température matière au minimum de la plage conseillée par le fabricant ;
- la température du moule la plus basse possible conseillée par le fournisseur et que les régulateurs peuvent garantir. On choisira une température uniforme. On prévoira la possibilité de créer une différence de température entre le côté injection et le côté éjection, de façon à pouvoir corriger des différences de flux de chaleur ;
- la course d'ouverture moule plus longue que nécessaire ;
- la vitesse d'ouverture moule plus lente qu'estimée ;
- la vitesse de fermeture plus lente que l'optimal estimé, pour sécuriser le
Fonctionnement de la sécurité de fermeture moule ;
- le réglage de sécurité fermeture moule un peu trop sensible ;
 - la course d'éjection plus longue que la course minimale calculée ;
 - la vitesse d'éjection plus lente que la vitesse optimale estimée ;
 - le temps d'attente moule ouvert plus long que le nécessaire estimé ;
 - le temps de refroidissement plus long que le nécessaire estimé ;
 - le temps de maintien plus long que le nécessaire estimé ;
 - la course de la vis telle que les empreintes soient remplies à moitié lors de la phase de remplissage ;
 - la vitesse d'injection volontairement trop basse, pour limiter le risque de bavure

Partie expérimentale :
Matériaux et Techniques de
Caractérisation.

III.1. Matériaux de l'étude

III.1.1. Polymères étudiés

Le matériau utilisé dans cette étude est le polyéthylène téréphtalate, PET (RECRON et HAINAN) fourni sous forme de granulés. Il s'agit d'un thermoplastique semi-cristallin,



Figure III. 1: Matière première utilisée.

Comportant une phase amorphe et une phase cristalline, se présentant sous forme d'un agrégat sphéroïdique. Les températures de fusion pour RECRON et HAINAN sont respectivement de 250 °C et de 280°C.

III.1.2. Présentation des préformes PET

Une préforme est un produit intermédiaire qui est ensuite soufflé en un contenant en polyéthylène téréphtalate (PET). Les préformes ont des goulots, des poids, des couleurs et des formes différentes, et sont spécifiquement conçues pour respecter les besoins de nos clients, quel que soit leur secteur d'activité.

III.1.3. Mode d'obtention des préforme

La fabrication des bouteilles en PET consiste en deux étapes : l'injection à partir des granulés, le moulage de la matière fondue pour obtenir la préforme.

Les granulés de PET fondus sont injectés dans un moule afin d'obtenir une préforme qui est presque complètement amorphe. Dans cette étape, le polymère est soumis à des températures supérieures à 280°C.



Figure III. 2: Préforme.



PET brut



Sécheur de PET



Préforme



Machine d'injection

Figure III. 3: Les étapes de fabrication de la préforme.

III.1.4. Essais réalisés à l'entreprise

A. Essais physiques :

Les essais physiques permettent de vérifier le dimensionnement des préformes après injection, en mesurant les différentes zones de quelque préforme.

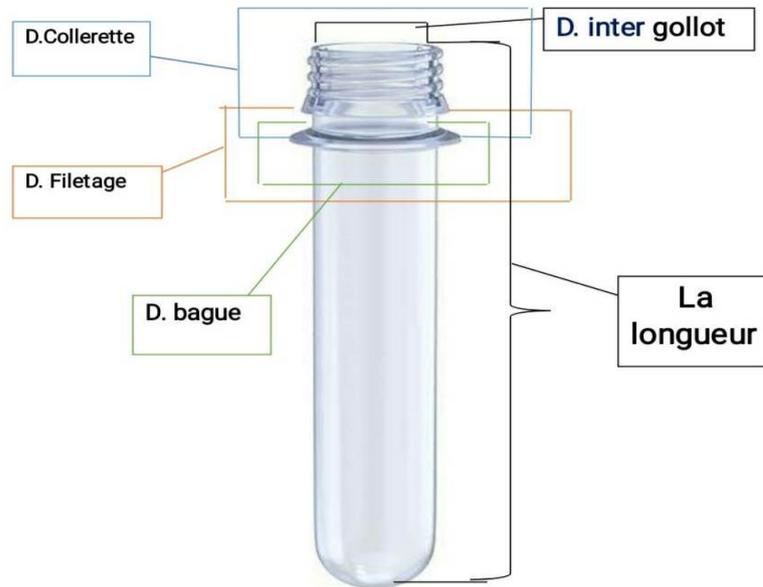


Figure III. 4: Différentes zones mesurées.

III.2. Matériels utilisés

Pour réaliser les analyses physico-chimiques des produits finis (préformes), plusieurs instruments ont été utilisés dans le laboratoire de **PTD** :

III.2.1. Polariscope pour préforme (visionneur de stress sur PET)



Figure III. 5: Polariscope.

Mode opératoire :

Faire passer et exposer les préformes prélevées sous la source de la lumière polarisée de l'appareil à un angle de 45 °,

Caractéristiques techniques de l'appareil

Zone de visu : 330mm x 150mm

Dimensions : 400 (L) x 302 (l) x 305 (H) mm

Lumière source : 2 x 18watt (Fluorescent lampes)

Alimentation : 220/240 volts



Figure III. 6: Flux de préformes sous polariscopes.

III.2.2. Mesure de Poids

La moyenne de poids de préforme est 15 gr avec une tolérance de 0,3 gr

Objectif : La détermination du poids est faite pour le but de savoir si la préforme adéquate au processus de soufflage

Les normes utilisées par la **PTD** sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau III. 1: Les normes des poids des préformes (15gr).

Paramètre	Unité	Min	Max
Poids	Gramme	14.80	15.20

III.2.3 Pied à coulisse digital

Mesure du diamètre de préforme.

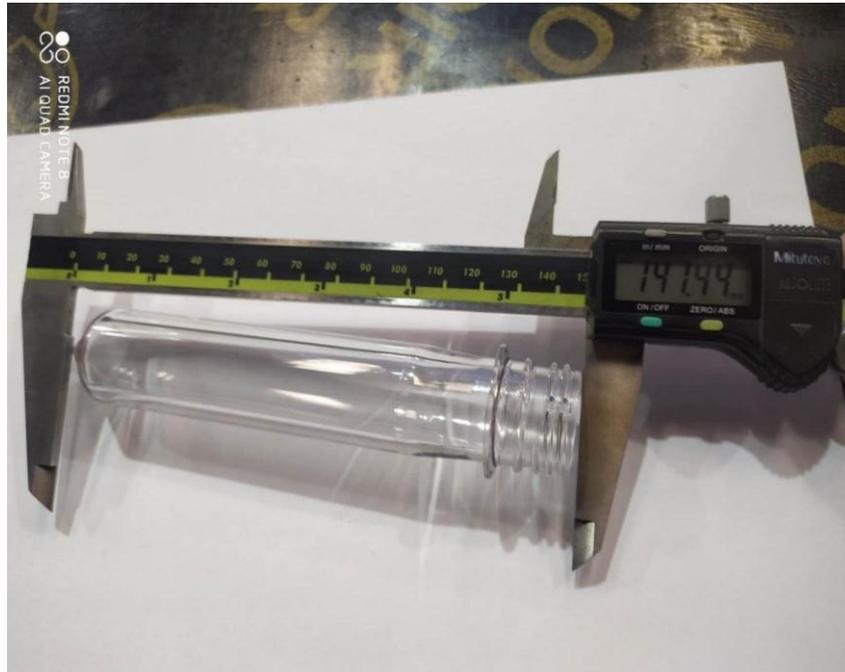


Figure III. 7: Pied à coulisse digital pour mesure de diamètre.

L'appareil est un Instruments de mesure dimensionnel, composé essentiellement de deux parties coulissantes. Un pied à coulisse a pour fonctions de mesurer trois types de dimensions:

- Des dimensions extérieures, épaisseur, diamètre, d'une pièce, par les becs principaux
- Des dimensions intérieures d'un perçage, alésage d'une pièce par les petits becs supérieurs ;
- La profondeur d'un trou ou la hauteur d'une pièce posée sur un support par la jauge de profondeur.

Le pied à coulisse est équipé d'une vis de blocage du vernier, et d'un écran d'affichage pour la lecture des valeurs et il possède les fonctions ON/OFF, avec une précision de $\pm 0,02$ mm.

Les normes utilisées par la **PTD** sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III. 2: Les normes des diamètres des préformes (15gr).

Paramètres	Unité	Min	Max
Inter goulot	mm	25.00	25.20
Diamètre collerettes	mm	33.85	34.15
Diamètre filetage	mm	29.85	30.15
Diamètre bague	mm	27.85	28.15

III.2.4. Mesureur d'épaisseur manuel

L'appareil de mesureur d'épaisseur est un instrument destiné à mesurer l'épaisseur des pièces de forme complexe et de taille diverses. Il permet d'effectuer des mesures non destructives dans des zones exigües comme des angles ou des rainures avec un rayon de 0,8 mm L'afficheur indique simultanément l'épaisseur mesurée et la valeur minimale rencontrée.



Figure III. 8: Pied à coulisse digital pour mesure d'épaisseur.

L'appareil est considéré comme l'outil indispensable dans l'industrie de l'emballage plastique.

Cet appareil est généralement constitué d'un boîtier afficheur, avec rétro-éclairage et réglage du contraste, peut afficher simultanément, la mesure en cours, l'épaisseur minimale, l'état des alarmes et le nom du fichier ; une sonde à bille reliée avec le boîtier avec un câble et un Support de sonde.

Les normes tolérées pour cette mesure sont exposés dans le tableau suivant :

Paramètres	Unité	Min	Max
Épaisseur	mm	2.71	2.89

Tableau III. 3: Normes des épaisseurs des préformes(15gr).

III.2.5. Jauge de la perpendicularité

La jauge de la perpendicularité est un instrument de mesure qui permet de vérifier que le corps d'une préforme est perpendiculaire à la surface de la bague.



Figure III. 9: Jauge de la perpendicularité.

L'appareil est constitué d'un support rigide, conçu pour maintenir les préformes en position pour des mesures précises. Et aussi un afficheur numérique pour afficher les valeurs de corps.

B. analyse physico-chimique :

III.2.6. Mesure de la quantité en Acétaldéhyde

Objectif de l'analyse :

Pour le stockage de boissons en générale dans des bouteilles en PET, la minimisation de l'AA dans la paroi de la bouteille est nécessaire car elle peut s'infiltrer dans la boisson et altérer son goût. Les résines PET d'aujourd'hui peuvent facilement répondre aux exigences d'emballage de boissons (<6 ppm d'AA dans les préformes). Cependant, l'application la plus stricte est le conditionnement d'eau potable pour laquelle des préformes avec moins de (6 ppm) d'AA sont nécessaires.

III.3. Analyse de l'acétaldéhyde

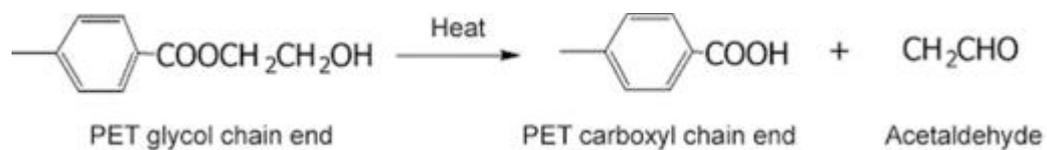
A- Définition de l'acétaldéhyde : L'acétaldéhyde (AA), ou éthanal « C₂ H₄ O », est un composé volatil appartenant à la grande famille des aldéhydes, une classe de produits chimiques organiques contenant un groupe formyle. En 2009, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) et l'Organisation mondiale de la santé ont conclu que l'AA est un cancérigène du groupe 1 pour l'homme.

Dans le domaine de fabrication des bouteilles en plastique, l'AA est généré principalement par la dégradation thermique du PET, il se forme en tant que produit parallèle pendant la fabrication et la transformation du PET, l'interaction de la chaleur avec les chaînes PET en fusion.

- Peut être utilisée comme monomère ou autre substance de départ ou macromolécule obtenue par fermentation microbienne



Figure III. 10: CPG : analyseur acétaldéhyde PET.



- Le but de cet analyse est de déterminer le taux de AA dans les préformes afin de le maîtriser et le minimiser pendant le processus de l'injection.

III.4. Moule d'injection

Un moule d'injection plastique est un ensemble mécanique de très haute précision qui permet de réaliser des milliers de pièces en injectant du plastique fondu dans les cavités prévues à cet effet. Sa conception nécessite une approche complexe et très spécifique. Il est utilisé sur une machine appelée machine de moulage par injection. Le moule est constitué de deux parties principales, une partie fixe pour l'injection de matière et une partie mobile pour la fermeture du moule. Lorsque le moule est fermé, la surface de contact entre ces deux pièces est appelée Plan de joint, et la pièce doit être démoulée sur ce plan. La difficulté est de définir physiquement sa position pour ne pas laisser de traces après le formage de la pièce. Deux parties doivent être parfaitement ajustées pour créer une étanchéité lorsque le moule fermé est sous pression. [32]

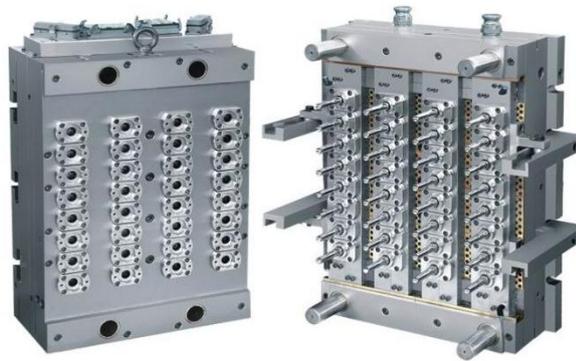


Figure III. 11: Moule d'injection.

Résultats et discussions

Introduction :

Notre objectif est de comparer plusieurs préformes issu de deux matières premières différentes: (RECRON et HAINAN), en suivant le taux d'acétaldéhyde. Où dans la première partie du travail, nous aborderons les défauts que nous avons rencontrés lors du stage en saine de l'entreprise. Les défauts rencontrés sont souvent d'origine mécanique, tels que la présence de bavures et déformation de la pièce, ou des défauts résultant du processus de fabrication, comme la présence de bulles d'air, la cristallisation etc.

Dans ce qui suit, les différents tests et observations qui ont été réalisés ainsi la caractérisation physique et chimique de nos matières RECRON et HAINAN.

IV.1. Classifications des défauts

- **Description des défauts :** Les défauts plastiques peuvent être classés en fonction de plusieurs facteurs tels que le matériau utilisé, le procédé de fabrication, les conditions environnementales, etc [33].

Bulles d'air :



Figure IV. 1: Présence de bulles d'air.

L'apparition de petites bulles ou cavités dans la paroi de la formation, cela peut s'expliquer par une diminution très sévère de la viscosité du PET ou par l'entrée d'air au cours du process, et on peut y remédier par :

- Augmenter la contre pression ;
- Contrôle de l'unité de plastification ;
- Contrôle de la T° d'entrée de la matière ;
- Contrôle du taux d'humidité dans la matière après le sécheur.

Bavures.



Figure IV. 2: Présence de bavures.

Les bavures apparaissent toujours dans la zone des plans de joint et sont un défaut mécanique, qui peut être à tolérances des événements du moule trop élevée, la force de fermeture est insuffisante, la pression d'injection est trop forte, manque plusieurs préformes au démarrage, et peut être traité :

- Contrôlez les tolérances dimensionnelles du moule ;
- Réduire la vitesse et la pression d'injection ;
- Réduire la température de la masse fondue et contrôle la force de fermeture.

Point d'injection.



Figure IV. 3: Point d'injection allongé.

Ce défaut est caractérisé par un point d'injection plus long que normal. C'est peut-être dû à l'aiguille ou bien à la contamination dans la buse, à la pression d'air comprimé trop basse. Ces défauts peuvent être évités en :

- Changer les aiguilles
- Contrôlez la pression de l'air Nettoyez les aiguilles
- Contrôlez la pression de l'air

Présence de Cristallisation :



Figure IV. 4: Cristallisation.

Préforme blanche sur le fond et le corps. Pour notre cas, la cause de ce défaut est probablement une dégradation de la masse fondue, un refroidissement trop lent y compris post refroidissement, ou bien la température des buses du moule est trop basse et pour l'éviter, il faut :

- Augmenter la température de l'unité de plastification
- Augmenter la contre pression
- Augmenter la vitesse de la vis de plastification (énergie mécanique)
- Contrôlez le taux d'humidité dans la matière après le sécheur

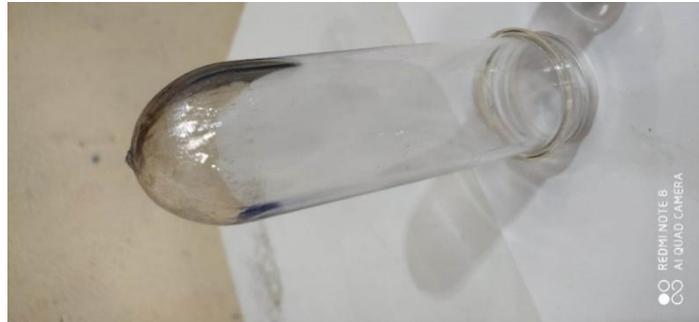


Figure IV. 5: Présence de Corps étranger ou matière dégradée.

Le corps étranger peut être de la matière dégradée, ou de résidus de matière étrangère comme du papier ou du carton. Ça peut aussi être de la matière dégradée restante d'une précédente production.

IV. 2. Dimensionnement de quelques préformes en mm

Pour ce test, nous avons pris dix préformes (15 grammes) de chaque matière. Chaque zone de la figure représentée dans la figure ci-dessous, puis mesuré plusieurs fois pour voir si les mesures obtenues sont conformes aux normes.

IV.2.1. Contrôle d'observation dimensionnelle

IV.2.1.1 Mesure de poids des préformes RECRON et HAINAN

- Les essais ont été réalisés sur un échantillon de 10 préformes

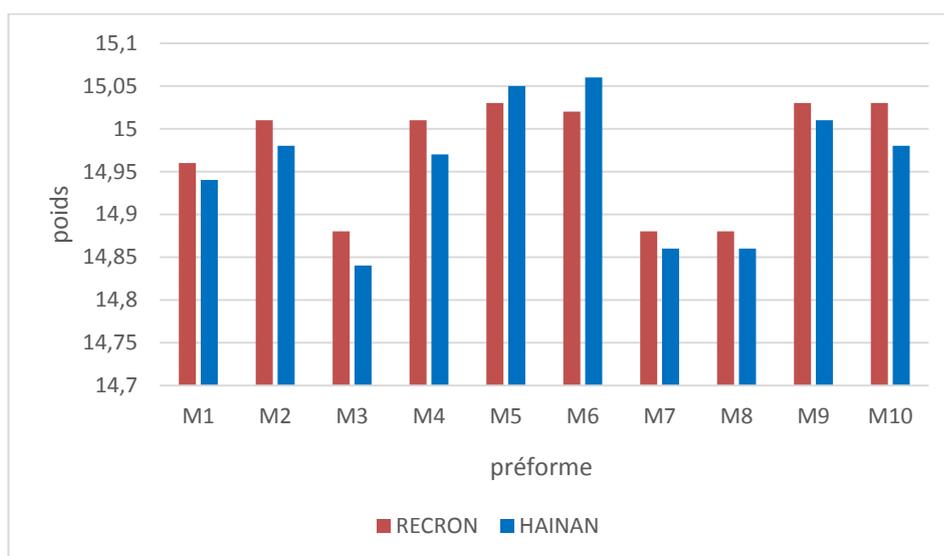


Figure IV. 6: Résultat de poids de préformes (RECRON /HAINAN).

L'histogramme représente la variation de poids par rapport aux préformes entre une gamme de valeur Min-Max (14.88 - 15.02) gramme pour RECRON et 14.84 gr Min jusque à 15.06 Max.

La figure montre que pics est stable et on remarque que la variation entre les préformes HAINAN est moins que les préforme RECRON.

Par rapport à la tolérance du préforme (14.80-15.20) gramme les préforme HAINAN et RECRON sont conforme.

IV.2.1.2. Mesure de la longueur des préformes RECRON et HAINAN

- Les essais ont été réalisés sur un échantillon de 10 préformes

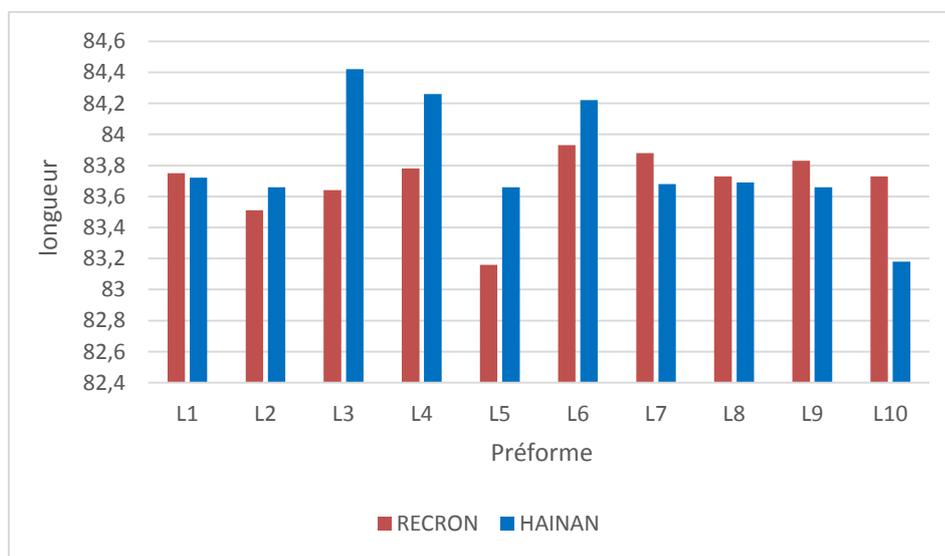


Figure IV. 7: Résultat de la longueur de préformes (RECRON /HAINAN).

- L'histogramme représente la variation de longueur par rapport aux préformes entre une gamme de valeur Min -Max(83.16 à 83.93)mm pour RECRON et 83.18 jusque à 84.42 max pour HAINAN, la variation entre préforme RECRON est moins que le préforme HAINAN.

- Donc les résultats obtenus de la longueur des préformés Par rapport à la tolérance du préforme (83.15-84.50) mm les préforme HAINAN et RECRON sont conforme.

IV.2.1.3. Mesure du diamètre des préformes RECRON et HAINAN

- Les essais ont été réalisés sur un échantillon de 10 préformes

❖ Diamètre inter goulot:

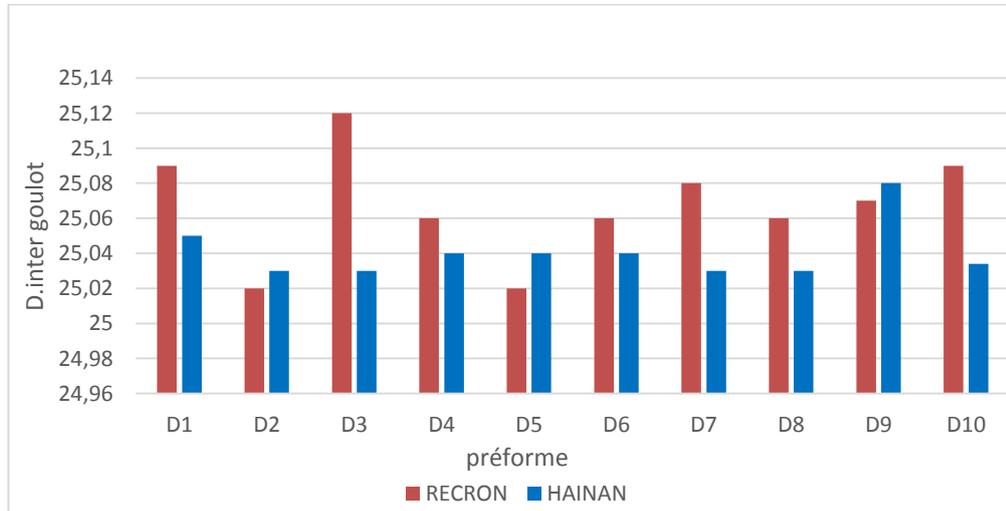


Figure IV. 8: Résultat du diamètre inter goulot de préformes (RECRON /HAINAN).

-L'historgramme représente la variation du diamètre inter goulot par rapport aux préformes entre une gamme de valeur Min-Max (25.02 à 25.12) mm pour RECRON et 25.02 jusque à 25.08 max pour HAINAN. La variation entre préforme HAINAN est moins que le préforme RECRON.

- Donc les résultats obtenus du diamètre des préformes Par rapport à la tolérance du préforme (25.00-25.20) mm les préforme HAINAN et RECRON sont conforme.

❖ Diamètre filetage :

- Les essais ont été réalisés sur un échantillon de 10 préformes

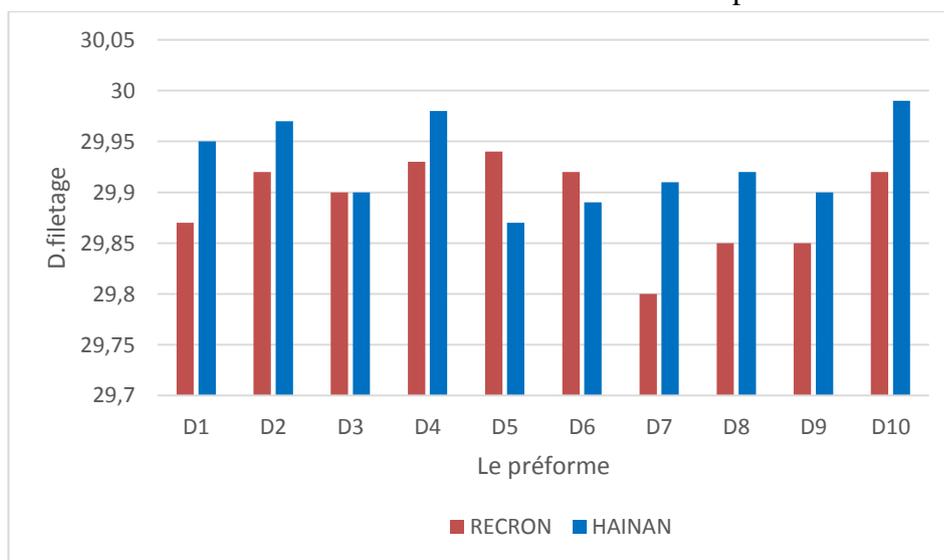


Figure IV. 9: Résultat du diamètre filetage de préformes (RECRON /HAINAN).

- L'histogramme représente la variation de diamètre filetage par rapport aux préformes entre une gamme de valeur MIN-Max (29.80 à 29.94) mm pour RECRON et 29.87 jusqu'à 29.99 max HAINAN. la variation entre préforme RECRON est moins que le préforme HAINAN.

- Donc les résultats obtenus du diamètre des préformés Par rapport les normes du préforme (29.85-30.15), les préforme RECRON et HAINAN sont conforme.

❖ **Diamètre collerette :**

- Les essais ont été réalisés sur un échantillon de 10 préformes

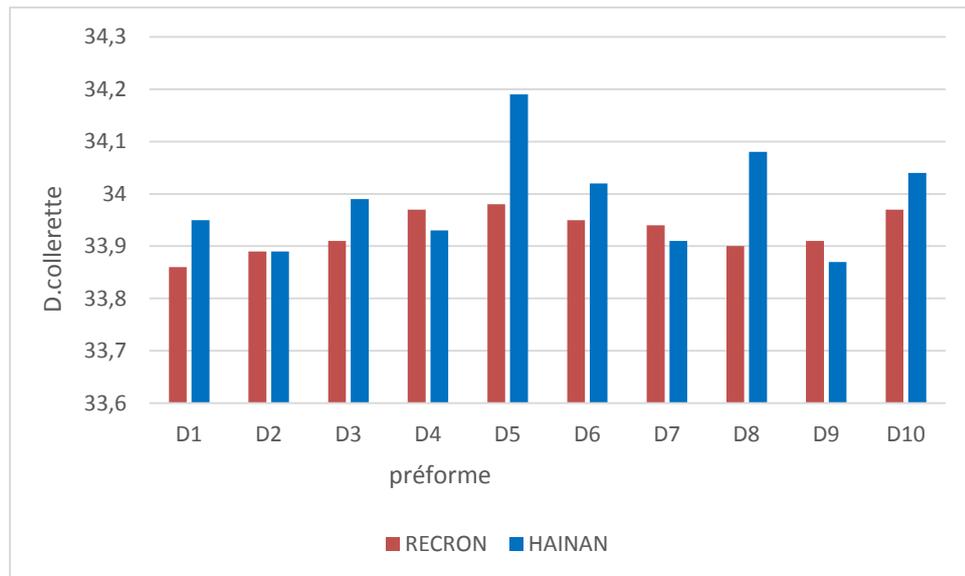


Figure IV. 10: Résultat du diamètre collerette de préforme (RECRON /HAINAN).

-L'histogramme représentent la variation de diamètre collerette par rapport aux préformes, entre une collerette de valeurs allant de (33.86Min à 33.98 Max) mm pour RECRON et jusqu'à 33.87mm MIN à 34.19mm MAX HAINAN. On remarque que la variation entre préforme RECRON est moins que le préforme HAINAN.

- Donc les résultats obtenus du diamètre des préformés Par rapport à la tolérance du préforme (33.85-34.15) mm les préforme HAINAN et RECRON sont conforme.

❖ **Diamètre bague :**

- Les essais ont été réalisés sur un échantillon de 10 préformes.

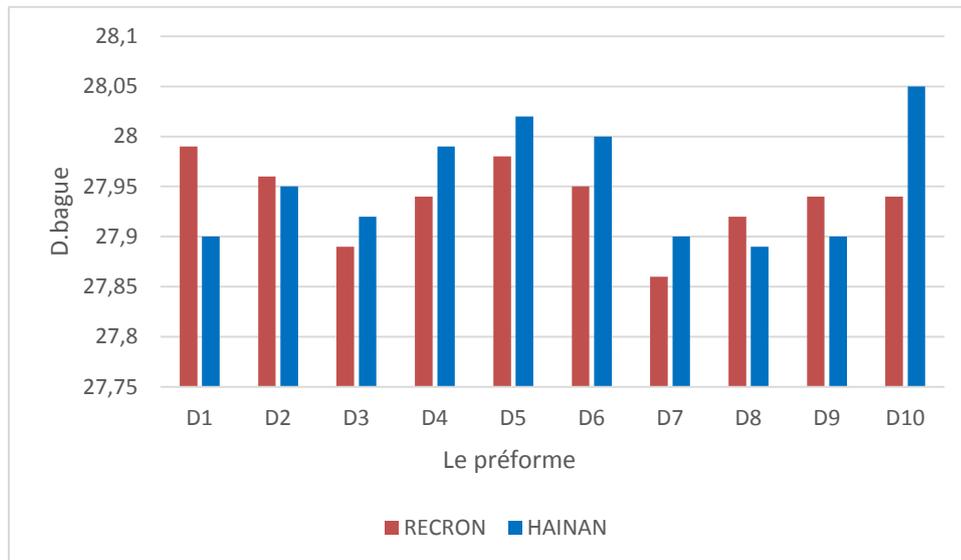


Figure IV. 11: Résultat du diamètre bague de préforme (RECROON/HAINAN).

-L'histogramme représente la variation de diamètre bague par rapport aux préformes. Entre un diamètre bague, de valeurs allant de (27.86Min à 27.99 Max) mm pour RECROON et jusqu'à 27.88 Min à 28.12 mm Max, HAINAN. On remarque que la variation entre préforme RECROON est moins que le préforme HAINAN.

- Donc les résultats obtenus du diamètre des préformés Par rapport les normes (27.85-28.15) mm, elles sont donc compatibles.

IV.2.1.4. Épaisseur

- Les essais ont été réalisés sur un échantillon de 10 préformes

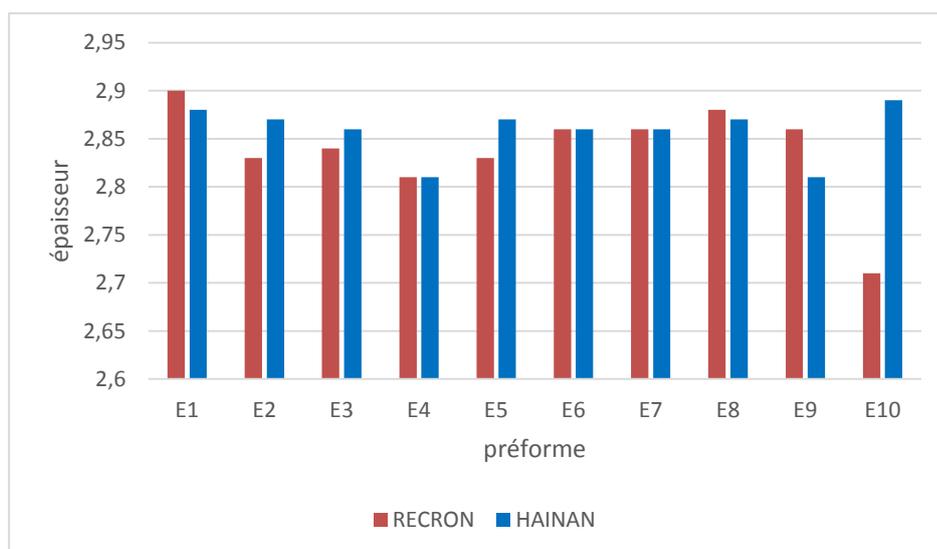


Figure IV. 12: Résultat d'épaisseur de préforme (RECROON/HAINAN).

-L'histogramme représente la variation de l'épaisseur par rapport aux préformes entre une gamme de valeur de (2.71 min à 2.90 max) mm pour RECRON et 2.81 jusque à 2.89 pour HAINAN. en remarque que la variation entre préforme HAINAN est moins que le préforme RECRON.

-Donc les résultats obtenus d'épaisseur des préformés presque identique avec les normes (2.71-2.89) mm, les préforme HAINAN et RECRON sont conforme.

En comparant tous les résultats obtenus des analyses dimensionnelles : poids, diamètre, inter goulot et filetage, collerette, bague et l'épaisseur des préforme des préforme en matière RECRON et HAINAN sont conformes et pour la majorité des paramètres de la matière RECRON sont plus élevés. cela signifie que la viscosité de la MP joue un rôle important dans les caractéristiques dimensionnelles du produit fini.

IV.2.2. Caractéristique physico-chimique de préforme PET (RECRON) et (HAINAN)

Nous avons pris 10 préformes pour mesurer Acétaldéhyde par la technique chromatographie en phase-gazeuses pour chaque matière. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau IV.2.1.8.

Tableau IV. 1: Résultats obtenus de l'acétaldéhyde pour les deux préformes.

Taux d'acétaldéhyde AA	Unité	Résultat RECRON	Résultat HAINAN
TA1:68	ppm	4.58	4.05
TA2:22	ppm	4.25	3.25
TA3:84	ppm	4.07	3.85
TA4 :21	ppm	5.58	3.78
TA5:56	ppm	4.23	4.12
TA6:49	ppm	4.45	4.00
TA7 :80	ppm	4.12	3.92
TA8:85	ppm	4.95	3.05
TA9:17	ppm	5.02	3.55
TA10:65	ppm	5.12	3.87

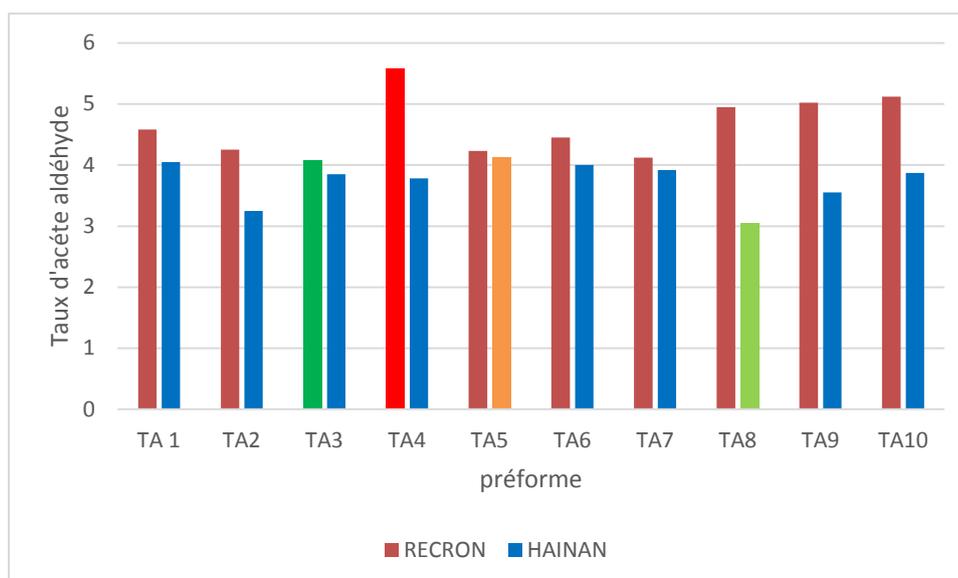


Figure IV. 13: Résultat d'acétaldéhyde de préforme (RECRON/HAINAN).

L'histogramme représente la variation taux d'acétaldéhyde par rapport aux préformes et en fonction de la matière première.

On remarque que :

- Toutes les valeurs sont conformes à la limite autorisée par la réglementation européenne (≤ 6 ppm d'AA dans les préformes).
- Les valeurs d'AA sont plus élevées sur les préformes produites par les matières premières RECRON que celle produite par la matière première HAINAN
- La valeur max de AA Pour MP RECRON 5.58 ppm et pour MP HAINAN est 4.12ppm.
- La valeur min de AA pour MP RECRON 4.07 ppm et pour MP HAINAN est 3.05ppm.

Cela s'explique par :

- La Viscosité qui est plus élevée pour RECRON 0.84 que pour HAINAN 0.80.
- Les matières sont issues de deux fournisseurs différents: RECRON (la Malaisie) , HAINAN (la Chine) ou le processus de fabrication peut être différent.
- La température de fusion de RECRON est de 244°C est celle de HAINAN est de 249°C.

Conclusion générale

Dans le secteur industriel, le monde est toujours à la recherche des meilleurs produits au moindre coût tout en protégeant la santé du consommateur. Par conséquent, le respect des réglementations en sélectionnant des fournisseurs de matière première qui garantit un produit fini conforme.

Cette recherche, que nous avons menée dans le cadre de ce projet, nous donne l'opportunité d'élargir nos connaissances dans le domaine de la plasturgie, de connaître sa place importante et grandissante dans divers domaines et de comparer la valeur de l'acétaldéhyde en fonction de changements des matières premières et l'importance du bon choix des matières premières dans la production sachant que :

- la viscosité de la matière première est un paramètre sélectif dans l'orientation de produit fini (interaction avec l'aliment)
 - Les préformes issue de matière première avec une viscosité = 0.80 dl/g est destiné à la production d'eau plate
 - Les préformes issue de matière première avec une viscosité = 0.84 dl/g est destiné à la production de boisson ou eau gazeuse
- les propriétés chimiques et la pureté des matières premières peuvent également affecter la valeur de l'acétaldéhyde. Certaines matières premières peuvent être plus réactives, ce qui peut augmenter la valeur du produit final.

Pour cela une étude a été élaborée pour déterminer les paramètres physico-chimiques des échantillons de préformes issu de deux matière premières PET différentes RECRON et HAINAN.

Les résultats ont montré que les mesures du paramètre dimensionnel tel que le poids, le diamètre intérieur et extérieur et l'épaisseur sont conforme et compatible avec le processus de production.

Toutes ces mesures ont montré que les préformes sont conforme aux normes réglementaires.

La chromatographie en phase gazeuse de la préforme PET nous a permis de déterminer le taux l'acétaldéhyde présent dans les préformes :

Sachant que pour les résultats pour les deux matières sont conforme aux normes. Le taux l'acétaldéhyde présent dans les préformes produite par la MP RECRON est plus élevé par rapport à les préformes produite par la MP HAINAN, et cette différence est due essentiellement au fait que la viscosité de la matière RECRON est plus élevé.

A la fin, nous confirmons que le choix de la matière première influe sur la qualité du produit fini et le taux d'acétaldéhyde présent dans les préformes.

Références Bibliographiques

- [1] J-P TROTIGNON, J VERDU, A DOBRACZYNSKY, M PIPERAUD : Matière plastiques structures, propriétés, mise en œuvre et normalisation ; Edition Nathan, 2006.
- [2] Jacky Aubry : technologie les matériaux, Les Matières Plastiques 2010.
- [3] Julien HUMBERT : « Conception, élaboration et production d'agro composite à partir de tourteau de tournesol : étude du procédé d'extrusion-formulation-granulation Et d'injection-moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2008 Français.
- [4] J.P QUENTIN, '*PET ou polyéthylène téréphtalate*', j6488, Techniques de l'ingénieur, 2004
- [5]: Food and Beverage Packaging Technology, Second Edition. Edited by Richard Coles and Mark Kirwan. C 2011 by Blackwell Publishing Ltd. Published 2011 by Blackwell Publishing Ltd.
- [6]. J. F. Agassant, J.M. Haudin, «< mise en forme des polymères thermoplastiques », in M.. Carrega et Coll, matériaux industriels. Matériaux polymères, Dunod, Paris (2000).
- [7] 'Etude des systèmes technique industriels, soufflage et embouteillage des eaux', dossier technique, septembre 2003.
- [8] BERNARD PLANTAMURA, Soufflage de corps creux bi-orientés', am3700, technique de l'ingénieur, 2012, PARIS.
- [9] M. BORDIVAL, Modélisation et optimisation numérique de l'étape de chauffage infrarouge pour la fabrication de bouteilles en PET par injection-soufflage', 2009
- [10] K. L. Nait-Ali, Le PET recyclé en emballages alimentaires : approche expérimentale et modélisation, thèse de doctorat, université Montpellier II, France, 221p (2008)
- [11] J. Scheirs et T. E. Long, Modern polyesters: chemistry and technology of polyesters and copolyesters , John Wiley& Sons Ltd, England, 763p (2003).
- [12] M. PICARD, 'Evolution de la microstructure d'un PET lors du bi-étirage soufflage ; corrélation au durcissement structural', octobre 2008.
- [13] Jean-François Pichon / Christophe Guichou Aide-mémoire. INJECTION DES MATIÈRES PLASTIQUES, 4 e édition, Dunod, Paris, 2001, 2005, 2011, 2015

- [14] Seidel A - Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology. 26 volumes. New-York : John Wiley and Sons ; 2007.
- [15] IARC - Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, vol. 36. Lyon, Centre international de recherche sur le cancer (CIRC/IARC),1985, pp. 101-132.
- [16] Acetaldehyde. In : Gestis Substance Database on hazardous substance. IFA (<https://gestis-database.dguv.de/>).
- [17] Acétaldéhyde – Fiche de données toxicologiques et environnementales. INERIS 2017 (<https://substances.ineris.fr/fr/>).
- [18] Acétaldéhyde. In : Répertoire toxicologique. CNESST, 2016 (<https://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/pages/repertoire-toxicologique.aspx>).
- [19] Acetaldehyde. In. HSDB - 2004 (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).
- [20] Acetaldehyde. In. Dossier d'enregistrement REACH (<https://echa.europa.eu/fr/home>)
- [21] Falcy M, Malard S - Comparaison des seuils olfactifs de substances chimiques avec des indicateurs de sécurité utilisé en milieu professionnel. Note documentaire ND 2221. Hyg Sécur Trav. Cah Notes Doc. 2005 ; 198 : 7-21 (<https://www.inrs.fr/publications/hst/dans-ce-numero.html>).
- [22]. **Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed** : « Etude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection », mémoire master professionnel, département de mécanique UKM Ouargla, 2013
- [23]. **THOMAS MUNCH**, *'presses à injecter, fonction et solutions constructives'*, am3671, 2009
- [24]. **BENOIT COSSON**, *'Modélisation et simulation numérique du procédé de soufflage par bi-orientation des bouteilles en PET : évolution de microstructure, évolution de comportement'*, Novembre 2008
- [25]. L'emballage alimentaire et l'innovation écologique dans toutes leurs dimensions Gon tard N.1, Guillard V.2, Gaucel S.1, Guillaume C.2 Innovations Agronomiques 58 (2017), 1-9.
- [26]. **BERNARD PLANTAMURA**, *'Soufflage de corps creux bi-orientés'*, am3700, technique de l'ingénieur, 2012, PARIS.
- [27]. **Mémoire fin d'étude** : Etude et conception d'un moule d'injection plastique d'un cache d'une boîte de dérivation. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2018/2019

[28] **J-P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobracginsky, and M. Piperaud:** Précis de Matières plastiques : Structures-Propriétés, Mise en oeuvre, Normalisation. AFNOR, 1996, FRA

[29]. **HEDDAR Djamel Eddine :** « ETUDE ET CONCEPTION A L'AIDE DE L'OUTIL CAO D'UN MOULE A INJECTION PLASTIQUE » mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2014.

[30]. **J.P QUENTIN,** '*PET ou polyéthylène téréphtalate*', j6488, Techniques de l'ingénieur, 2004

[31]. **THOMAS MUNCH,** '*Presse à injecter, choix et optimisation du process*', am3673, Technique de l'ingénieur, Mar.

[32] G. paquet. Guide de l'usinage, DELAGRAVE(2000).

[33] Livre : catalogue des défauts.

Annexes

Liste du préforme :



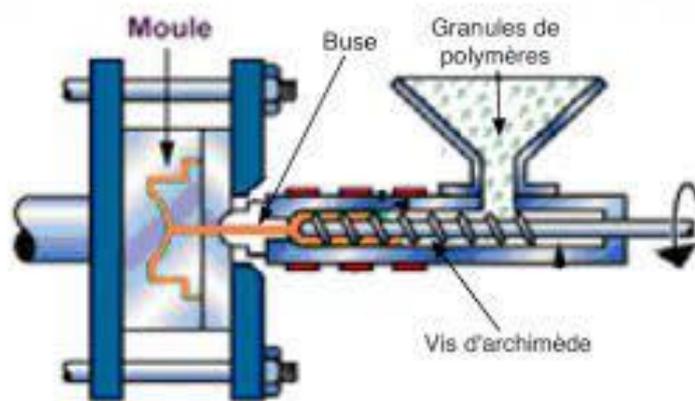
Préforme PET

Code	Description	viscosité
15	RECRON CHIP6801	0.84
41	HAINAN YSW01	0.80

Liste des machines :



Machine d'injection



Structure de presse d'injection [7].



Go no go

- **Emplacement des préformes dans un moule :**

Tableau : Moule husky 72Cavités 15 (RECRON).

01	13	97	78	49	61
02	80	26	38	50	53
03	15	27	93	52	90
04	16	83	40	39	73
05	17	29	87	88	65
06	18	30	42	54	69
07	19	31	43	55	67
08	21	84	44	56	68
09	81	33	45	57	76
10	22	85	46	58	94
11	23	86	47	59	91
12	82	36	92	89	72

Tableau : Moule husky 72 Cavités 15gr (HAINAN).

01	13	97	78	49	61
02	80	26	38	50	53
03	15	27	93	52	90
04	16	83	40	39	73
05	17	29	87	88	65
06	18	30	42	54	69
07	19	31	43	55	67
08	21	84	44	56	68
09	81	33	45	57	76
10	22	85	46	58	94
11	23	86	47	59	91
12	82	36	92	89	72

Tableau IV. 2: Résultats obtenus du poids des préformes (RECRON) et (HAINAN).

Poids (g)	Résultat RECRON	Résultat HAINAN
M1	14,96	14,94
M2	15,01	14,98
M3	14,88	14,84
M4	15,01	14,97
M5	15,03	15,06
M6	15,02	15,03
M7	14,88	14,86
M8	14,88	14,86
M9	15,03	15,01
M10	15,03	14,98
Moyenne	14,97	14,95

Tableau IV. 3: Résultats obtenus de la longueur pour les deux préformes.

Longueur (mm)	Résultat RECRON	Résultat HAINAN
L1	83,75	83,72
L2	83,51	83,66
L3	83,64	84,42
L4	83,78	84,26
L5	83,16	83,66
L6	83,93	84,22
L7	83,88	83,68
L8	83,73	83,69
L9	83,83	83,66
L10	83,73	83,18
Moyenne	83,69	83,81

Tableau IV. 4: Résultats obtenus des diamètres pour les deux préformes

Diamètre (mm)	Diamètre inter goulot RECRON	Diamètre inter goulot HAINAN
Di1	25,09	25,05
Di2	25,02	25,03
Di3	25,12	25,03
Di4	25,06	25,04
Di5	25,02	25,04
Di6	25,06	25,04
Di7	25,08	25,03
Di8	25,06	25,03
Di9	25,07	25,08
Di10	25,09	25,03
MOYENNE	25,06	25,02

Tableau IV. 5: Résultats obtenus du diamètre filetage pour les deux préformes.

Diamètre (mm)	Diamètre filetage RECRON	Diamètre filetage HAINAN
Df1	29,87	29,95
Df2	29,92	29,97
Df3	29,90	29,90
Df4	29,93	29,98
Df5	29,94	29,87
Df6	29,92	29,89
Df7	29,80	29,91
Df8	29,85	29,92
Df9	29,85	29,90
Df10	29,92	29,99
MOYENNE	29,89	29,96

Tableau IV. 6: Résultats obtenus du diamètre collerette pour les deux préformes.

Diamètre (mm)	Diamètre collerette RECRON	Diamètre collerette HAINAN
Dc1	33,86	33,95
Dc2	33,89	33,89
Dc3	33,91	33,99
Dc4	33,97	33,93
Dc5	33,98	34,19
Dc6	33,95	34,02
Dc7	33,94	33,91
Dcc8	33,90	34,08
Dc9	33,91	33,87
Dc10	33,97	34,04
MOYENNE	33,92	34,01

Tableau IV. 7: Résultats obtenus du diamètre bague pour les deux préformes.

Diamètre (mm)	Diamètre bague RECRON	Diamètre bague HAINAN
Db1	27,99	27,88
Db2	27,96	27,95
Db3	27,89	28,02
Db4	27,94	28,12
Db5	27,98	28,11
Db6	27,95	28,12
Db7	27,86	27,90
Db8	27,92	27,89
Db9	27,94	27,90
Db10	27,94	28,05
MOYENNE	27,93	28,02

Tableau IV. 8: Résultats obtenus de l'épaisseur pour les deux préformes.

Epaisseur (mm)	Résultat RECRON	Résultat HAINAN
E1	2,90	2,88
E2	2,83	2,87
E3	2,84	2,86
E4	2,81	2,81
E5	2,83	2,87
E6	2,86	2,86
E7	2,86	2,86
E8	2,88	2,87
E9	2,86	2,81
E10	2,71	2,89
MOYENNE	2,83	2,84