République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique
Université Dr. Yahia Farés de Médéa



Faculté de la Technologie
Département du Génie Mécanique
Option Génie des Matériaux et des Surfaces

THEME :

Etude du comportement d'une pièce en polyéthylène après lui avoir ajoutée de la charge carbonate de calcium et de la matière polyéthylène broyée

MEMOIRE Présentées vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER

Présenté Par :

- ALLAOUI SOUAD
- BENADI ASMAA

Directeur de thèse :

BENIMAM SAMIR

Année universitaire 2019/ 2020

.

تلخيص :

Abstract

Liste des abréviations

Liste des figures

Chapitre I
Etude bibliographique

Chapitre I
Etude bibliographique

Introduction générale :

Le plastique est un terme générique qui désigne une famille de matières fabriquées à partir du pétrole ou de gaz naturel. Le pétrole est raffiné et distillé ; dans les derniers années la matière plastique prend sa place dans le domaine l'industrie en raison de leur caractéristiques mécanique physique, léger, et facile a mise en forme.

Cependant, dans notre travail on à choisi le polymère polyéthylène à haute densité PEHD comme matériau objet avec polycarbonate PC comme charge, L'objectif principal de notre étude consiste à introduire un mélange fiable et moins couteuse pour l'injection soufflage.

Dans le premier chapitre on a présente une généralité sur les polymères, leur types les thermoplastique et les thermodurcissable et Les élastomères et leur caractéristiques sont des éléments interviennent dans la composition des polymères pour donner des caractéristiques spécifiques au produit, la thermoplieuse permet par effet de chaleur de réaliser le pliage d'un matériau thermoplastique ; pare conter les matériaux thermodurcissables sont des matériaux généralement très rigides qui restent indéformables sous l'effet de la chaleur une fois fabriqués ; également les élastomères sont des matériaux hautement déformables et qui possèdent une grande élasticité

On deuxième chapitre dans la partie une on a parlé sur les mises en forme de polymères tel que l'extrusion ; Injection Soufflage **;** Le soufflage bi-étirage

En deuxième partie on a présente l'étude expérimentale et on a fait discuter les résultats obtenus et enfin, nous avons résumé les résultats ; les notes et discutions les observations dans la conclusion

I.1.Généralités sur les polymères :

Dans le passé, des matériaux de base durable, comme la pierre, le bronze et le fer, ont déterminé la culture humaine mais également des matières plus éphémères telles que le bois, le cuir, le lin ou la laine, ont joué un rôle important dans notre société. Pour répondre à la demande croissante de certains de ces matériaux et améliorer par la même occasion leurs précieuses propriétés, la science et l'industrie ont développé de nouveaux produits dont les matières plastiques qui présentent de nombreuses propriétés uniques, parfois inégalables.

Elles sont légères mais robustes, ne rouillent pas, se brisent moins vite que d'autres matériaux et n'ont pas besoin d'être peintes. Elles sont résistantes aux intempéries et faciles à travailler, peuvent prendre n'importe quelle forme, faite sur mesure, et assurent une bonne isolation.

L'industrie de la construction et de l'automobile, l'industrie alimentaire et le monde médical sont parmi les plus grands consommateurs de ces nouveaux matériaux.

Les matières plastiques ont remplacé avantageusement quantité de 'produits naturels' dans diverses applications, ce qui représente souvent un avantage pour l'environnement

I.1.1. Historique :

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos: un seul ou une seule, et meros ; partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Les travaux de Staudinger dans les années 1920 constituent la base de la science des polymères (Nobel en 1953) ou macromolécules.

Flory énoncera plus tard les principes fondamentaux sur les polymères (Nobel 1974).

I.2.Caractéristiques des plastiques :

Le "plastique" est un terme générique qui désigne une famille de matières fabriquées à partir du pétrole ou de gaz naturel. Le pétrole est raffiné et distillé. La fraction d'essence légère ou "naphta" est isolée puis "craquée" (distillée) à la vapeur, ce qui permet d'obtenir des

molécules chimiques de base, " les monomères", qui sont constitués principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Les molécules sont assemblées entre elles sous formes de chaînes, linéaires ou en réseau, qu'on appelle les polymères.

D'autres éléments interviennent dans la composition des polymères pour donner des caractéristiques spécifiques au produit, tels que : Oxygène, chlore, azote, etc .

Pour comprendre la nature des plastiques, il est nécessaire d'examiner les substances qui en constituent la base, c'est-à-dire**, les polymères.**

I.2.1.L'industrie des matières plastiques :

Les matières plastiques sont des matériaux organiques de synthèse fondés sur l'emploi des macromolécules (polymères). Les caoutchoucs sont aussi regroupés sous cette appellation. Matière plastique = résine de base + adjuvants + additifs

Cas du caoutchouc : vers 1839 l'Anglais Thomas Hancock et l'Américain Charles Goodyear découvrent le procédé de vulcanisation du caoutchouc en chauffant du caoutchouc naturel en présence de souffre.

Le procédé industriel sera développé à partir de 1850 ; en dehors du caoutchouc les premières matières plastiques sont apparues à la fin du XIXème siècle et existaient plutôt à l'échelle artisanale qu'industrielle

Parmi ces matériaux, on peut citer ceux d'origine naturelle comme le Celluloïd® (toute première matière plastique, 1870) ou le nitrate de cellulose (coton-poudre ou fulmicoton, produit inflammable utilisé dans les canons). la Galalith, littéralement « pierre de lait », obtenue à partir de la caséine du lait, et utilisée en remplacement de la corne et de l'écaille dans la fabrication de peignes de boutons... On trouve des brevets de fabrication de colle à base de caséine dès 1873 et déjà utilisée dans l'ancienne Égypte.

De façon générale, les protéines peuvent être considérés comme despolymères naturels, car constituées d'enchaînement d'acides aminés. Feretti invente le Lannitalou fibre de lait (Brevet Feretti, 1935).

I.2.2. Petite histoire du nylon :

Wallace Hume Carothers (27 avril 1896 - 29 avril 1937) étaitun chimiste américain à la compagnie DuPont. En 1935, il synthétise le nylon.

Le nylon a été breveté (en fait trois brevets U.S. Patents 2130523, 2130947 et 2130948 du 20 sept. 1938), mais le terme *nylon* n'est pas une marque déposée, il n'a donc pas à s'écrire avec une capitale initiale.

Dupont a ainsi choisi de permettre au mot de devenir synonyme de bas (nylon) ; en 1992 la société dépose sa marque déposée pour le nylon sous le terme tactel.

La découverte fut pour la première fois commercialisée en 1938 avec un premier produit, une brosse à dent dont les poils étaient en nylon sorti la même année. En 1940 sortait un produit qui allait marquer l'histoire du nylon, les bas pour femme.

En 1941, pour l'entrée en guerre des USA , Le matériau utilisé pour les toiles dparachutes fut affublé de la phrase Now You Lousy OldNippons (« À vous maintenant, vieux Japonais dégueulasses ! ») ou encore Now You've LostOld Nippons

Il circule de nombreuses étymologies sur l'origine du mot nylon comme celles affirmant que le nylon provient de NY (New York) et LON (London), ou encore du prénom des épouses des inventeurs. Son inventeur, Wallace Carothers, s'étant suicidé avant de donner un nom commercial à son polyamide 66 (suite à une dépression consécutive au décès de sa soeur) il revint à un comité de trois membres de chez DuPont de faire le choix en 1938.

Un des membres Dr E.K.Gladding proposa "Norun" (pour no run soit ne s'effile pas), et changea aussitôt en "Nuron" pour éviter une publicité mensongère, tout en rimant ainsi avec Rayon ou coton, qui fut finalement déformé en nylon pour avoir un acronyme prononcé de la même façon pour les américains et les anglais. Cette version officielle de Dupont,

Voir aussi leur publication (Context, vol. 7, no. 2, 1978), fut aussitôt pervertie par quelques plaisantins en Now You Lose Old Nippon ou Now You Lousy Old Nippon, avec un succès tel que Dupont a commissionné.

I.3.1.Classification :

Les copolymères obtenus par la copolymérisation de deux monomères sont appelés quelquefois des bipolymères, ceux obtenus à partir de trois monomères terpolymères, ceux obtenus à partir de quatre monomères quater polymères, etc.

Suivant la manière dont les motifs de répétition sont répartis dans les chaînes macromoléculaires, les copolymères peuvent être classés en deux familles :

I.3.2.Copolymères à structure homogène :

Ces copolymères comportent une seule phase amorphe et ne forment donc pas de microstructures.

Ils présentent une seule Tg, qui est intermédiaire à celle relevée avec chacun des homopolymères correspondants. Ce type de copolymère peut être

Aléatoire : constitué de macromolécules dans lesquelles la probabilité de trouver une unité monomère donnée en un point donné de la chaîne est indépendante de la nature des unités adjacentes :

-A-A-B-B-A-A-A-B-A-A-B-B-A-B-A-A-A-B-A-A-A-B-B-… ;

Périodique : constitué de macromolécules comprenant plus de deux espèces d'unités monomères dans un ordre séquentiel régulier. Les copolymères périodiques les plus connus sont les copolymères alternés. Ce type de copolymère est constitué de macromolécules comportant deux sortes d'unités monomères distribuées en alternance :

-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-, ou (-A-B-)n ;

Statistique : constitué de macromolécules dans lesquelles la distribution des unités monomères obéit à des lois statistiques connues.

I.3.3.Copolymères à structure hétérogène :

Ces copolymères sont issus du greffage sur un homopolymère ou du rayonnement d'un homopolymère, de chaînes d'au moins un autre homopolymère.

Ces copolymères comportent au moins deux phases amorphes ou cristallines et forment donc des microstructures.

Il est possible d'observer au moins deux Tg, identiques à celles mesurées sur les homopolymères correspondants.

On distingue les copolymères :

Blocs : constitué de blocs de différentes compositions connectés entre eux en séquences linéaires :

-A-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-A-A-A-A-A-A-A-B-B-... ;

Greffons : un copolymère greffé est constitué de blocs connectés latéralement à la chaîne principale et dont la composition est différente de celle-ci :

-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-.

B-B-B-B-B-B-B … ;

Les copolymères sont très nombreux et sont largement utilisés dans l'industrie ainsi que dans la vie de tous les jours. Ils se répartissent parmi

I.4 Type des polymères :

On peut classer les polymères en trois types, en fonction de leur réaction à la chaleur :

• Les thermoplastiques.
• Les thermodurcissables.
• Les élastomères.

I.4.1.les polymères thermoplastiques :

Se ramollit lorsqu'on la chauffe au-dessus d'une certaine température, mais qui redevient solide en dessous. Cette matière conserve de façon réversible sa thermo plasticité initiale. Exemple : PE, PVC, PP....

PEBDL (ou sigle LLDPE en anglais) (de la famille des polyoléfines) ; polystyrène choc (SB) (copolymère séquencé styrène-butadiène), EVA (éthylène/acétate de vinyle), ABS, SAN, ETFE (copolymère alterné éthylène/tétrafluoroéthylène), perfluoroalkoxy (Téflon-PFA)

Matières plastiques qui se ramollissent sous l'action de la chaleur et se durcissent en se refroidissant

Principaux thermoplastiques : Polyéthylène (PE), Polyéthylène haute densité (PEhd), Polychlorure de vinyle (PVC), Polyéthylène terephtalate (PET), Polypropylène (PP), Polystyrène (PS), Polyamide (PA).

I.4.2.les élastomères :

Ce sont des matériaux amorphes, mais avec quelques pontages entre les chaînes macromoléculaires linéaires, ces liaisons sont assurées par des atomes C, S ou O.

La réaction permettant d'établir ces liaisons covalentes est la vulcanisation.

Cette opération confère aux élastomères une structure tridimensionnelle très souple et très déformable, car le taux de réticulation est faible.

Au-delà de leur Tg, les caoutchoucs ont une grande capacité de déformation réversible qui eut dépaser 1000% , les pontages assurent la mémoire de l'état initial.

SBR (contient majoritairement du butadiène), NBR, « caoutchouc butyle » (IIR), EPM (copolymère aléatoire), EPDM ;

I.4.2.A. les élastomères thermoplastiques (TPE) :

SBS, SEBS, TPE-U (base uréthane), TPE-E (base ester), PEBA (ou polyéther bloc amide, base éther-amide) qui est obtenu par polycondensation d'un polyamide à terminaison carboxyle (PA6, PA11, PA12) avec un polyéther à terminaison hydroxyle (PTMG, PEG).
Exemples de copolymères constitués de 2 types de comonomères :

-(A)n-(B)m- copolymères diblocs SAN
-(A)n-(B)m-(C)p-copolymères triblocs ASA, ABS

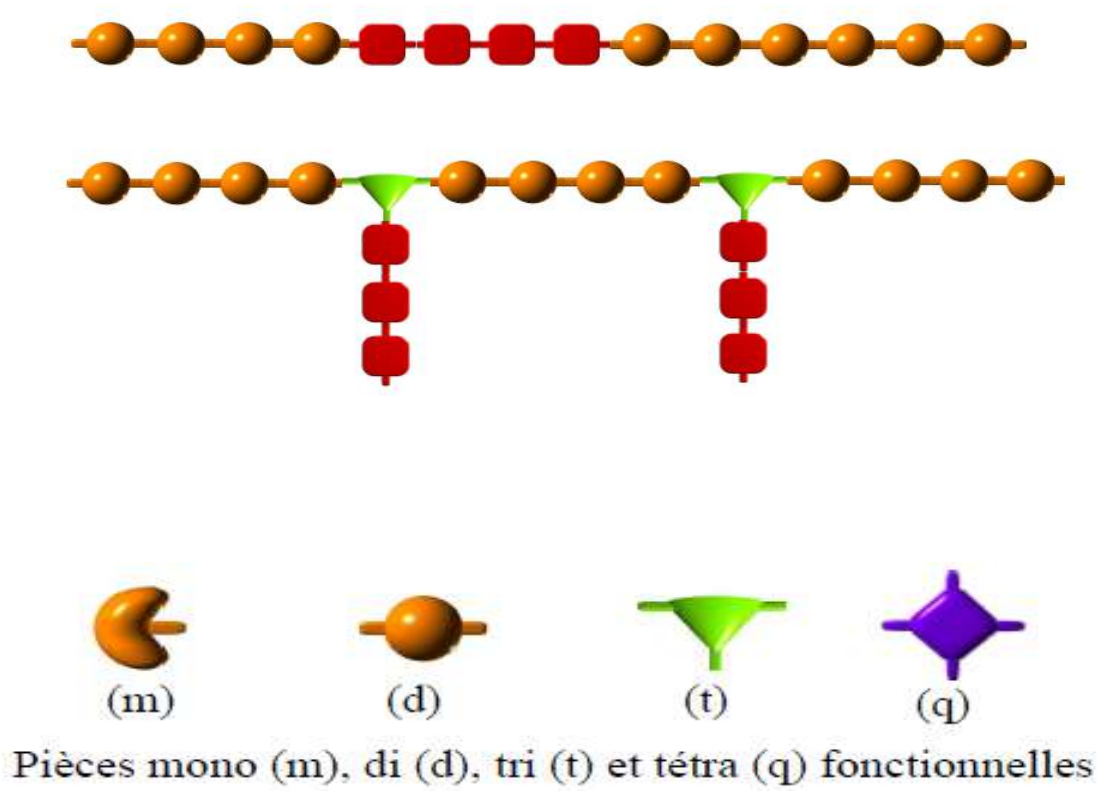


Figure .I.1: les chaînes de copolymères

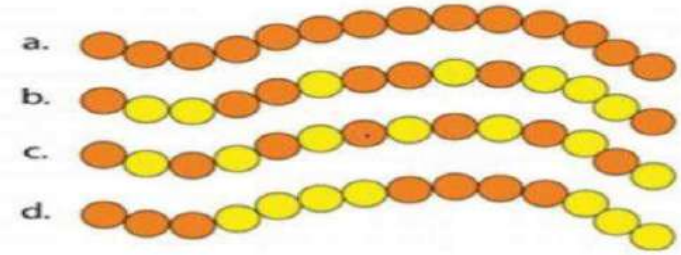


Figure. I. 2 : polymères linéaires a : homopolymère b : copolymère C :copolymère alterné d : copolymère séquencé

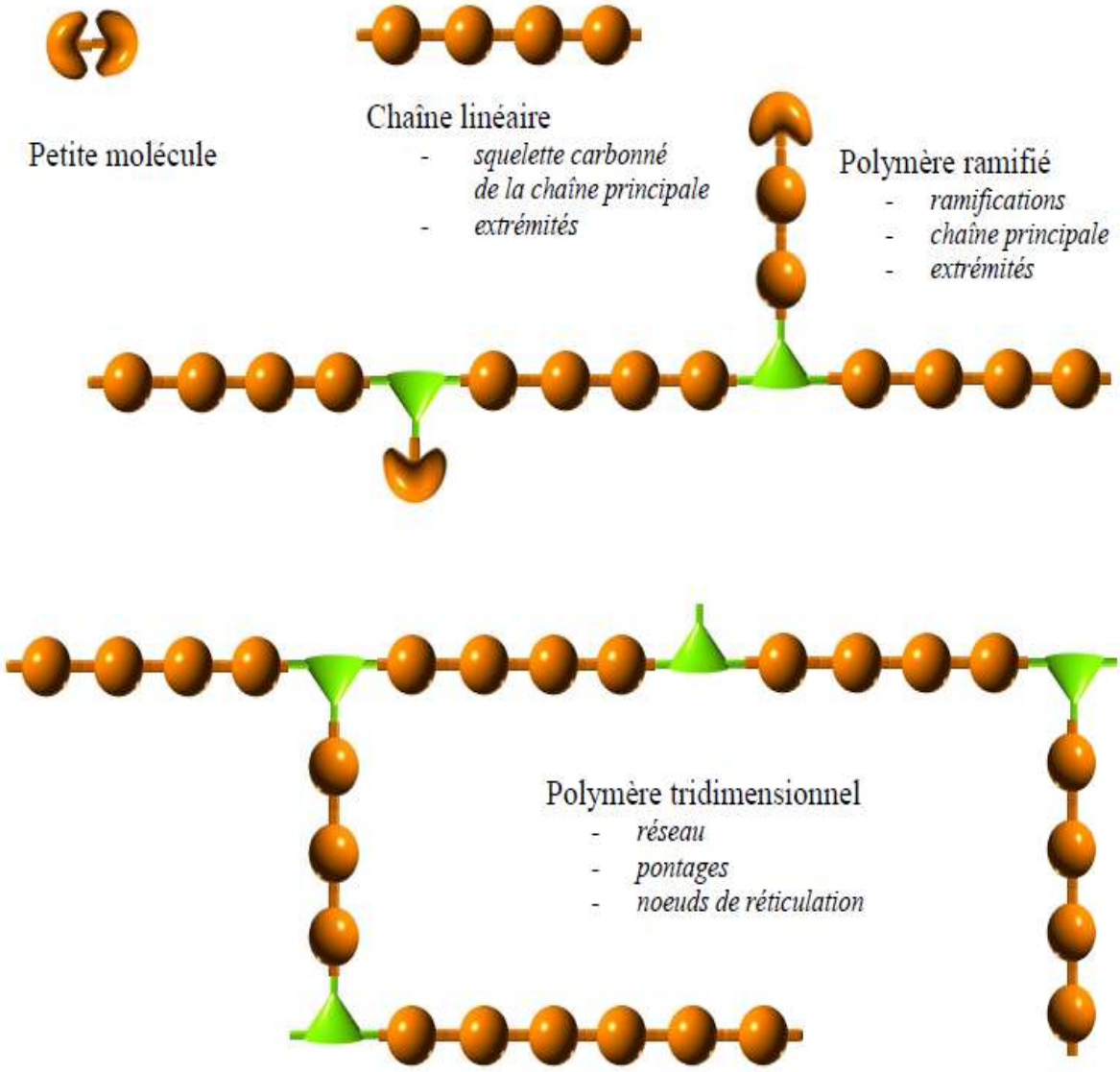


Figure .I .3. : différant types des copolymères

I.4.3.les polymères thermodurcissable :

Commence par se ramollir (si pas déjà mou) sous l'action de la chaleur puis se durcit progressivement pour atteindre un état solide qu'elle conservera sous forme irréversible. Exemple : résines phénol/formol ; bakélite, galalith**…**

Plus une fois moulés. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation).

Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaines dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé.

La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes. Les thermodurcissables représentent 20%, pourcentage volumique, de matières plastiques .

Ce sont des matériaux amorphes et infusibles, il ne peut y avoir aucun déplacement des chaînes les unes par rapport aux autres. Lorsque la température augmente, le matériau ne devient pas visqueux, mais conserve sa rigidité jusqu'au moment où il se dégrade.

Enfin on appelle ces plastiques thermodurcissables car, en général, une élévation de température favorise la réaction de polymérisation et le degré de réticulation donc la rigidité

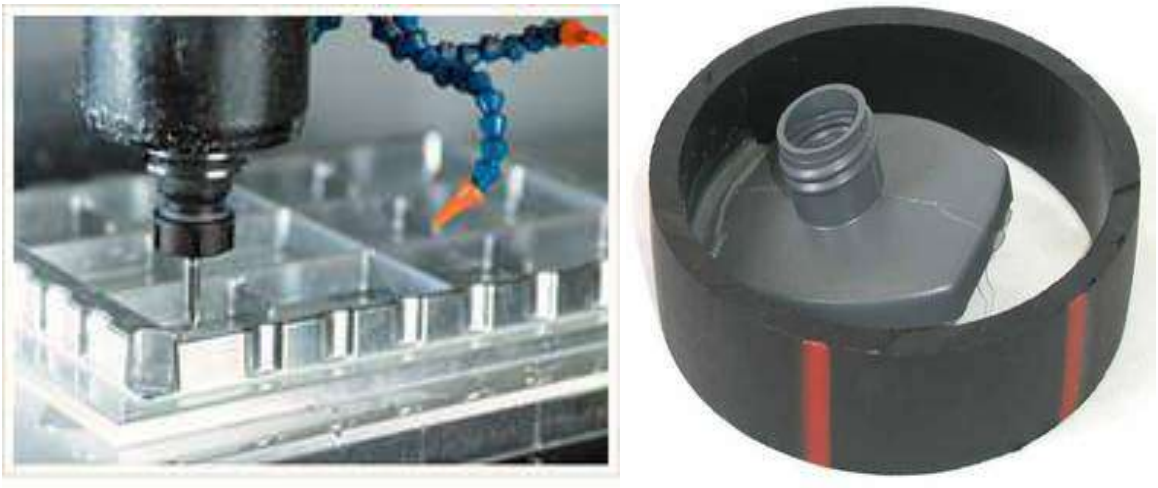


Figure .I. 4 : les polymères thermodurcissables



Figure.I. 5 : les polymères thermoplastiques

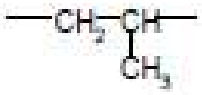
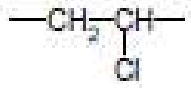
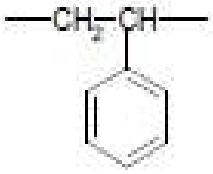
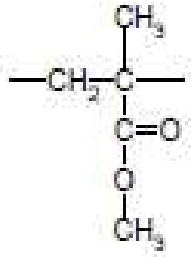
Formule développée du motif monomère	Appellation courante et abréviation normalisée	Noms commerciaux Applications
	Polyéthylène (PE)	Lactène, Hostalen, Dowlex Sacs plastique (PEHD/PEBD) Réservoirs de voitures, bouteilles, flacons, bidons, films d'emballage, minidoses
	Polypropylène (PP)	Appryl, Novolen Films d'emballage alimentaire, bouteilles rigides, intérieur de lave vaisselle, cordes et ficelles
	Polychlorure de vinyle (PVC)	Lacovyl, Vinidur, Vinnolit Tuyauterie, pots de margarine, blisters, bouteilles d'eau minérale, barrières extérieures, films d'emballage alimentaire
	Polystyrène (PS)	Lacqrène, Novodur, Styrol PS : emballages, pots de yaourt, armoire de toilette, cassettes audio, brosses à dents. PS expansé : emballage, boites à oeufs, isolants
	Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	Plexiglas, Altuglas, Lucryl... Plaques pour vitres, globes, feux arrière de voiture, lentilles d'appareils photo
	Polytétrafluoroéthylène (PTFE)	Téflon, Hostaflon Tuyaux, joints et raccords. Robinet et vannes pour matériel de laboratoire, revêtements anti-adhérents

Tableau 1 : la différente application des polymères

I.5. Architecture moléculaire et propriétés des polymères

I.5.1.Propriétés mécaniques :

En général, les polymères formés à partir de chaînes linéaires non réticulées et flexibles sont souples (à certaines températures) tandis que les polymères très réticulés, formant un réseau tridimensionnel sont plus rigides.

Les premiers donnent lieu à des polymères thermoplastiques, les seconds à des polymères thermodurcissables.

I.5.2.Propriétés physiques :

On le verra ultérieurement, la densité, Tf, Tg sont modifiées par l'architecture moléculaire. De façon intuitive, on comprend par exemple que la densité diminue avec la ramification des molécules en augmentant l'espace entre les chaînes principales. Ainsi le PE linéaire non ramifié présente une haute densité (PEHD) et donc un point de fusion 20°C plus élevé que le PE ramifié basse densité (PEBD).

- **Structure supramoléculaire :**

Les macromolécules sont organisées de façon spaciale : compacité et ordre de « l'empaquetage » des chaînes, orientation, enchevêtrements...

I.5.3.Propriétés thermiques :

Les polymères sont des matériaux que l'on peut classer d'un point de vue thermique dans la famille des isolants. Sous forme solide, leur conductivité thermique varie entre 0.1 et 0,5 W.m-1.K-1 à température ambiante .Cette conductivité dépend principalement de la composition du polymère, de l'organisation des chaînes macromoléculaires (polymère) amorphe ou semi-cristallin) et de son état (vitreux ou caoutchoutique).

Le transfert de chaleur peut être amélioré par mélange avec des matériaux plus conducteurs (métaux, céramiques par exemple).

Au contraire une mise en forme sous forme de mousse permet de réduire encore le transfert de chaleur et d'obtention d'une conductivité thermique s'approchant de celle de l'air.

Enfin comme pour la plupart des propriétés physiques des polymères, la température à une grande influence sur les valeurs de la conductivité thermique.

Il existe différentes méthodes permettant de caractériser les propriétés thermophysiques de matériaux en fonction de la température :

I.5.4. Propriétés chimiques :

Les différences de propriétés résultent de la différence de structure des polymères et des interactions ou véritables liaisons entre les chaînes.

Polymère thermoplastique Sous l'effet de la chaleur, il se ramollit et devient malléable, en se refroidissant, il se durcit en conservant la forme donnée à chaud. Ex : PE, PS, Polyamide.

Explication : Les polymères thermoplastiques sont linéaires ou ramifiés La présence de fonctions chimiques sur les molécules leur attribue des propriétés particulières et des facilités à réagir avec d'autres molécules. Leur réactivité est due à la présence des fonctions alcool, acide, amine ou aldéhyde qui réagissent facilement grâce à leur site nucléophile et électrophile La présence de certaines insaturations et des groupements hydroxyles sur les chaînes alkyles des triglycérides permet leur fonctionnalisation et conduit à la formation de polyuréthanes, polyamides ou polyesters On peut distinguer 4 classes de matières premières issues du végétal : les glucides, les lipides, les protéines et les dérivés phénoliques.

Les structures chimiques de quelques polymères issus du végétal. Les principales matières premières végétales et les applications potentielles dans le domaine des polymères sont reprises.

Une autre particularité des biopolymères est l'existence de stéréo-isomères due à la présence de carbone asymétrique sur certains bio-monomères comme l'acide lactique.

Cette propriété infl uence les propriétés physiques des polymères. Dès lors, on peut modifi er les propriétés physiques et mécaniques des polymères ainsi que leurs applications. Dans l'exemple du PLA, suivant la proportion des formes L et D.

La structure du polymère est différente. Un PLA à plus de 93 % de la forme L présente une structure semi-cristalline par exemple tandis qu'un PLA contenant moins de 93 % de forme L possède une structure amorphe. Suivant la composition du PLA, ses propriétés mécaniques varien.

I.5.5.Autres propriétés :

D'autres caractéristiques des polymères sont largement exploitées dans leurs applications:

I.5.5.1.Leurs propriétés optiques :

Les théories classiques permettent de décrire bon nombre de propriétés électriques, il montre, en particulier dans le cas des polymères π-conjugués utilisés en optoélectronique, que le recours à des affinements par les théories quantiques s'avère nécessaire dans le domaine optique.

Transparence (étuis de CD, bouteilles d'eau), translucidité, opacité, coloration.

I.5.5.2.Leurs propriétés électriques et électro-optiques :

Les polymères sont largement utilisés comme isolants électriques, en particulier dans les circuits électroniques et les gaines de câbles électriques. Il existe aussi des polymères conducteurs, soit à l'état intrinsèque, soit parce qu'ils sont chargés de particules de carbone conductrices *(*voir plus loin les composites).

Certaines molécules de polymères, rigides et allongées, sont susceptibles de s'orienter sous l'effet d'un champ électrique**.** Cet effet est utilisé dans des dispositifs d'affichage comportant des polymères de structure cristal-liquide (voir plus loin et article Les cristaux liquides*).*

Lorsque le champ n'est pas appliqué, les molécules sont en désordre local, le matériau est opaque et d'apparence laiteuse. Lorsque le champ est appliqué, les molécules s'orientent dans la même direction et laissent passer la lumière. Le matériau devient transparent.

Toutes les propriétés décrites sont directement reliées à la nature chimique des molécules.

Les polymères synthétiques ont également conquis le domaine des fibres ; Le nylon (un polyamide) a été l'un des premiers polymères synthétiques. Les fibres synthétiques ont une longueur pratiquement aussi grande que l'on veut, et sont appelées des filaments.

Leur diamètre est très petit, environ 50 à 10 µm, et même moins de 10 µm dans le cas des microfibres. Les filaments sont assemblés en fils.

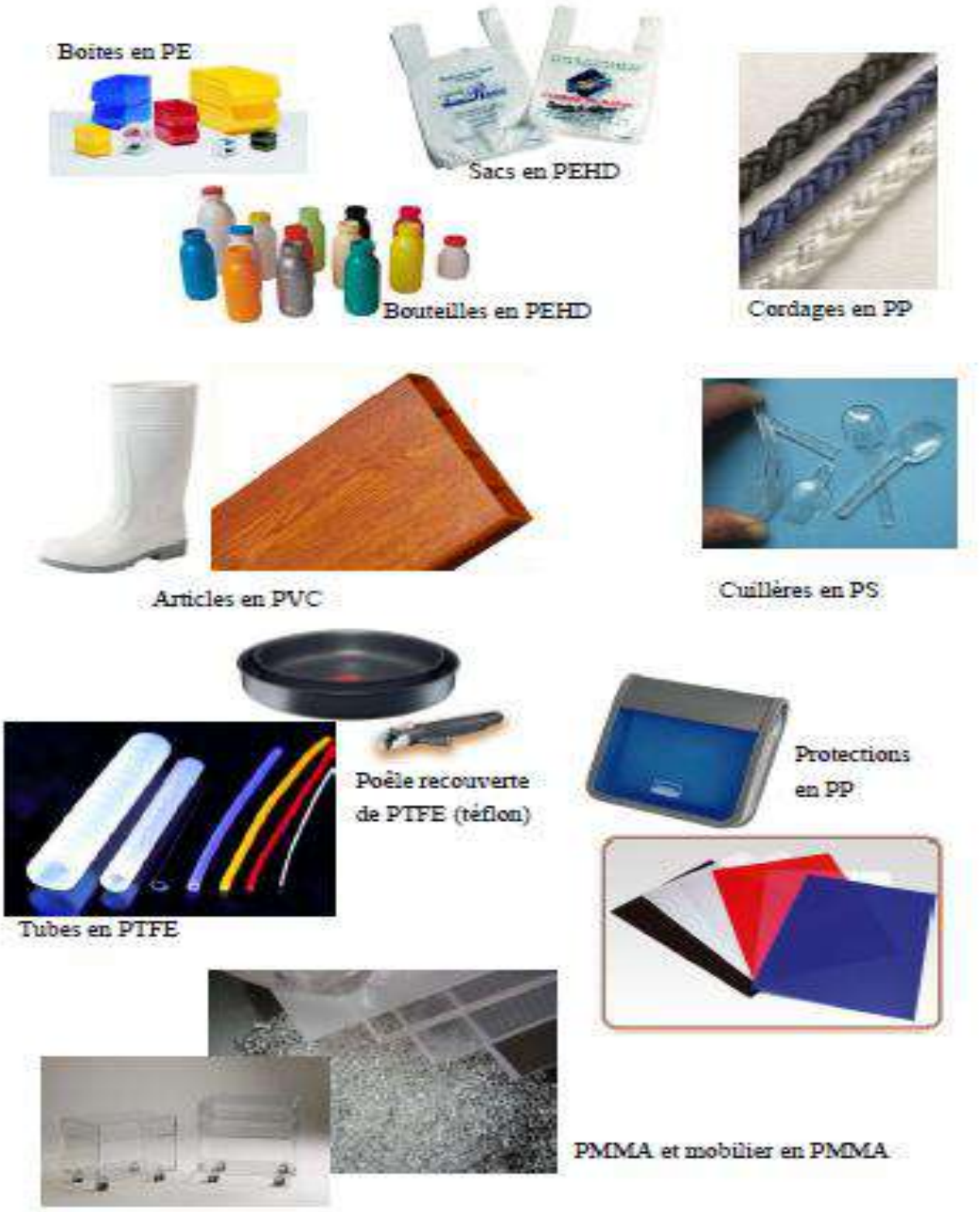


Figure .I. 6 : quelques matériels en polymères

I.6. Isomérie de configuration :

I.6.1.Tacticité :

Le caoutchouc naturel extrait du latex de l'hévéa est le poly isoprène, l'isoprène étant le méthylbutadiène le motif du caoutchouc naturel correspond à un enchaînement 1,4-cis de l'isoprène.

La polymérisation du 2-méthylbutadiène peut aussi se faire par enchaînement 1,4-cis enutilisant du lithium métal finement divisé ou des catalyseurs de type Ziegler (tétrachlorurede titane et trialkylaluminium).

Le trans 1,4-polyisoprène appelé gutta-percha a, lui, des propriétés différentes ducaoutchouc naturel (plus dur et cassant).

Ce gutta-percha est un latex naturel obtenu à partir d'arbres de l'espèce Palaquium gutta, et possède du fait de son enchaînement, une structure semi-cristalline.

I.6.2. Moyenne en poids :

Un raisonnement analogue peut s'appliquer non plus au nombre *Ni* , mais au poids *pi* de l'espèce *i*

I.7.Le degré de polymérisation :

Le degré de polymérisation moyen en poids *w DP* se définit alors comme la somme des degrés de polymérisation de chaque espèce *i*, affectés d'un coefficient égal au rapport du poids de l'espèce *i* au poids total du polymère :

$$\overline{DP_w} = \frac{\text{poids de motifs } i}{\text{poids de macromolécules}} = \frac{\sum_i p_i DP_i}{\sum_i p_i}$$

Figure .I.7 : Le degré de polymérisation moyen en poids

La masse molaire moyenne en poids est également la moyenne en poids des masses *Mi* de chaque espèce *i* et se déduit du *w DP* par :

$$\overline{M_w} = M_0 \overline{DP_w} = \sum_i M_i \left(\frac{p_i}{\sum_i p_i} \right) = \frac{\sum_i N_i M_i^2}{\sum_i N_i M_i}$$

Figure.I.8: La masse molaire moyenne en poids

I.7.1.L'influence la Tg :

Structure à l'échelle moléculaire :

- pour les polymères à squelette aliphatique : o liaisons de faible énergie, Tg augmente quand la polarité augmente o L'encombrement des groupes latéraux : Tg augmente avec la gêne stérique des groupements latéraux
- pour les polymères à squelette aromatique, c'est le rapport plaques rigides/rotules qui joue le rôle principal. Tg augmente avec la rigidité de la chaîne .

I.7.2.Structure à l'échelle macromoléculaire :

- influence de la masse molaire pour les polymères linéaires
- influence de la densité de réticulation pour les polymères tridimensionnels
- copolymérisation TgA < TgAB < TgB

Plastification : augmentation du volume libre

I.7.3.Structure de base des matières plastiques :

Composante : Les atomes rencontres dans les matières plastiques sont au nombre de huit est nombre de masse molaire dans une g/mol comme représente dans le tableau suivant :

Eléments	carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Chlore	Silicium	Soufre	Fluor
Symbole	C (12)	H (1)	O (16)	N(14)	C(13,4)	Si(28,0)	S(32)	F(18,99)

Tableau 2 : représentation des matières

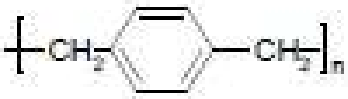
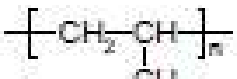
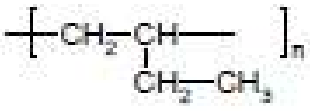
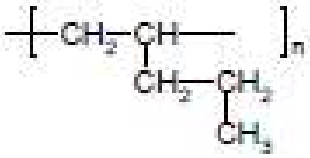
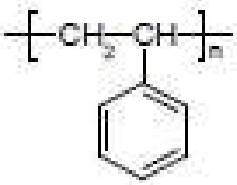
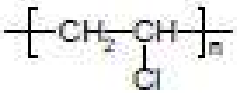
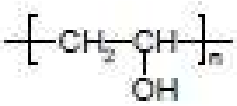
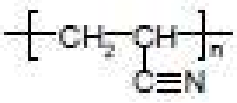
Nom du polymère	Polymère	T_g (K)	Type de groupement affectant T_g
	PE	193	Groupement aromatique
	Polyphénylethylène	353	
	PP	250	Groupes latéraux volumineux
	Polybutène	249	
	Polypentène	233	
	PS	373	
	PVC	354	Groupes polaires
	Polyalcool de vinyle	358	
	Polyacrylonitrile	370	

Tableau 3 : Structure des polymères courants et leurs usages

I.7.4. types de réactions de polymérisation **:**

La polymérisation par étapes : les macromolécules formées par réactions par étape, entre les fonctions chimiques réactives portées par les molécules monomères ou polymères. Chaque molécule peut croître par réaction avec n'importe quelle autre molécule (mono, di, tri, tétra, etc).

La polymérisation en chaîne : un centre actif initial unique (ion, radical ou complexe organométallique) provenant d'un initiateur permet la formation d'une chaîne de polymère.

La chaîne ne peut croître que par réaction d'un monomère avec la fonction chimique réactive située à l'extrémité de la chaîne en croissance.

I.7.5. La polymérisation par étapes :

Polymères formés par réactions successives entre 2 fonctions chimiques (X, Y,...) portées par des molécules comportant au moins 2 fonctions chimiques.

Les réactions se produisent par simple chauffage ou en présence d'un catalyseur, elles s'arrêtent quand on refroidit le milieu actif ou lorsque l'un des réactifs initiaux est entièrement consommé

Exemples : polyesters, polyamides (nylon), polyuréthanes, résines époxydes, phénoplastes

Polymérisations par étapes 2 types :

- Polycondensation : élimination d'une petite molécule à chaque étape, comme une molécule d'eau
- Polyaddition: les monomères réagissent sans perte de molécules

I.7.6. Synthèse de molécules linéaire par polymérisation par étapes de molécules bifonctionnelles (Thermoplastiques) :

Synthèse du nylon par polycondensation (élimination d'une molécule d'eau) ; l'un des monomères possède 2 fonctions amine (-NH2), l'autre monomère contient 2 fonctions acide carboxylique (-CO2H) Synthèse

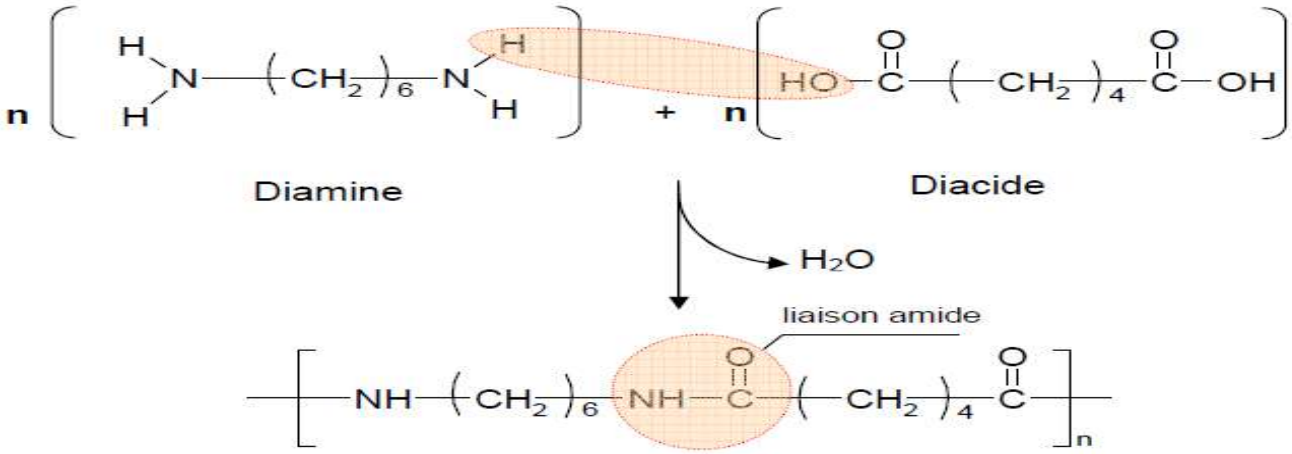
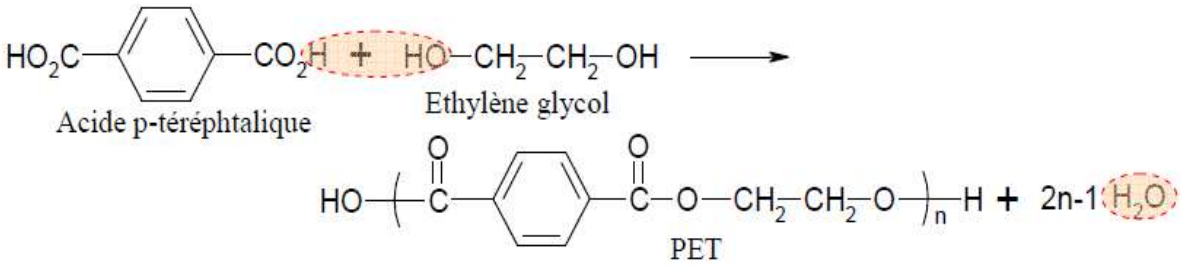


Figure.I. 9: polyamide 6.6 « naylon »

Autres exemples de polycondensation : la polycondensation présente une grande importance industrielle :

Les qualités mécaniques sont accrues, même si les masses moléculaires sont généralement plus faibles qu'avec les autres techniques de polymérisation Le polyester



Le procédé industriel utilise la transestérification pour éliminer facilement MeOH et déplacer l'équilibre vers la formation du polymère.

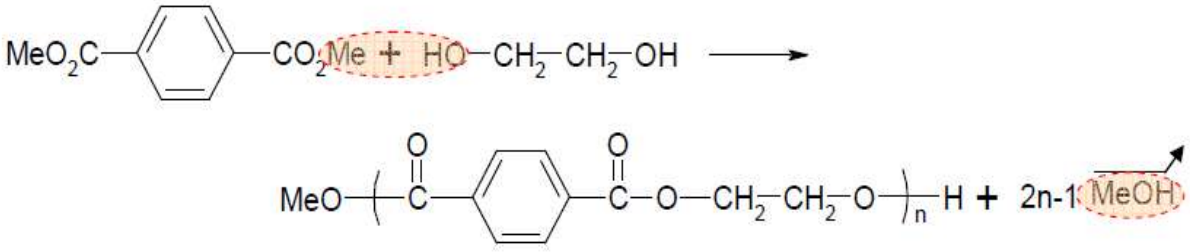


Figure.I. 10 : techniques de polymérisation

I.7.7.Contrôle de la masse molaire lors de la polymérisation :

Puisque les propriétés physiques d'un polymère sont liées à la taille des chaînes et donc au n DP et par suite à nM , il serait intéressant de savoir fabriquer un produit de n DP déterminé.

On peut le réaliser en arrêtant la réaction par consommation totale de l'un des réactifs (réactif limitant).

I.8.Polychlorure de vinyle :

I.8.1.Introduction :

Dans neutre a utilisé sur notre recherche quatre polymères qui sont : ABS ; PC ; PVC ; HDPE Polychlorure de vinyle. Matière plastique très courante, formée à partir de sel et de pétrole. Sa formule moléculaire est (C2H3Cl)n.

La stabilité du PVC permet à ce produit d'être utilisé dans l'industrie alimentaire et médicale. On le trouve sous forme rigide ou souple.

En chimie le PVC est un matériau plastique qu'on appelle polychlorure de vinyle ou chlorure de polyvinyle.

Il a été découvert en 1835 par accident par un physicien français, Victor Regnault le premier brevet a été déposé en 1914 par l'allemand Friedrich Klatte et la productio industrielle du PVC a débuté en 1935.

I.8.2. Les types de PVC :

- Le **PVC rigide**, principalement utilisé dans le bâtiment pour la confection des canalisations ou des fenêtres.
- 2Le **PVC expansé**, plus connu sous le nom Forex, principalement utilisé pour la fabrication d'enseignes.
- Le **PVC souple** qui sert à fabriquer certains revêtements de sol
- Les **films de PVC** comme le film étirable ou les films adhésifs utilisés dans le marquage publicitaire.

Aujourd'hui le PVC est l'une des matières plastiques les plus utilisées, mais les avis divergent sur ses effets sur la santé humaine et sur l'environnement.

Ses promoteurs le voient comme un matériau sain, que l'on peut utiliser sans risque dans le secteur sanitaire : gants chirurgicaux, poches à sang, tubes souples pour la transfusion sanguine ou encore conditionnement des bouteilles d'eau, etc.

Selon ses fabricants le PVC est chimiquement stable et il ne libère aucune émanation pouvant être nuisible pour la santé.

De plus, il répond à des normes environnementales précises à cause de son utilisation dans le secteur du bâtiment.

Les ONG voient quant à elles de nombreux dangers dans une utilisation intensive du PVC.

Pour Greenpeace, « les nombreux dangers du PVC à chacune des étapes de son cycle de vie se rapportent toujours aux deux mêmes causes, spécifiques au PVC : il est fabriqué à base de chlore et de grandes quantités d'additifs sont nécessaires pour qu'il soit fonctionnel.

La combustion du PVC - qu'il s'agisse d'incendies accidentels ou de l'incinération des déchets entraîne la formation de dioxines, la substance chimique synthétique la plus nocive pour l'être humain qui soit connue. [1]

Synthèse du VCM et du PVC : Historiquement le chlorure de vinyle était produit par réaction de l'éthylène avec du chlore gazeux. Aujourd'hui il s'agit d'une réaction opposant l'éthylène avec l'acide chlorhydrique en présence d'oxygène, qui est généralement utilisée.

Le produit intermédiaire le dichloroéthane se transforme en chlorure de vinyle sous l'effet de la chaleur.

La polymérisation du VCM est amorcée par des radicaux le procédé le plus courant est celui en suspension.[2]

Divers additifs permettent de contrôler sa polymérisation (amorceurs de polymérisation, shortstoppers, emergency killers, agents gonflants, etc.).

- NB : le PVC est insoluble dans son monomère.

I.8.2.1.Formule moléculaire :

De formule chimique —(CH2—CHCl)n—, il est obtenu par polymérisation radicalaire du monomère chlorure de vinyle (sigle VCM, formule CH2=CHCl). Le PVC est un matériau organique.

Polymérisation radicalaire sauter à la navigation Sauter à la recherche la polymérisation (par voie) radicalaire est un processus de polymérisation en chaîne qui, comme son nom l'indique, fait intervenir comme espèce active des radicaux.

Elle fait intervenir des réactions d'amorçage, de propagation, de terminaison et de transfert de chaîne.[3]

I.8.3.Utilisation de PVC dans la fabrication :

Le polychlorure de vinyle est utilisé dans la fabrication de nombreux produits: profilés de fenêtre, portes, barrières, gouttières extérieures, pots de margarine, tuyaux de gaz, classeurs et pochettes à documents …etc.

Une flamme verte apparaît lorsque vous brûlez un fil de cuivre sur lequel se trouve le PVC à cause de la présence de chlore ; comment travailler et bricoler avec ce matériau**:**

Le PVC se colle facilement avec les différentes colles disponibles sur le marché dont les colles contact c'est un matériau rigide et cassant il est possible de percer mais nous vous recommandons d'utiliser des scies manuelles pour le découper. [4]

Le PVC La troisième matière plastique la plus utilisée dans le monde s'est adaptée au fil des années, des règlementations et des besoins des industriels.

Le PVC est une matière première sur laquelle nous avons près d'un siècle de recul néanmoins le PVC continue de soulever des questionnements et des avis contradictoires, souvent fondés sur des raccourcis médiatiques.

Le sujet est aussi vaste que complexe ; Voici l'essentiel à savoir sur le PVC, pour pouvoir faire la part entre les idées reçues et la réalité d'une matière première plastique qui n'a cessé d'évoluer et de s'adapter aux divers besoins et réglementations.

I.8.4.Les principales applications du PVC :

Le PVC est largement présent dans notre quotidien. Il existe autant de formulations spécifiques de PVC que d'applications industrielles.

Ainsi selon que le PVC soit utilisé pour des produits dans les secteurs de la puériculture du médical, de la papeterie, du bâtiment de l'automobile ou encore du nucléaire les formulations seront différentes afin de s'adapter aux cahiers des charges et aux réglementations concernant chaque famille de produits.

Les principales applications sont les suivantes :

- Dans l'habitation et la construction : revêtements de sols et de murs, ameublement, fenêtres, cloisons, volets, canalisations d'adduction et d'évacuation, clôtures, profilés divers, etc… Les produits phares dans le secteur de la construction restent les tubes et fenêtres dans le bâtiment (55 % des menuiseries sont en PVC contre 23 % pour le bois et 20 % pour l'aluminium).

- Dans l'emballage : bouteilles, flacons, films souples et rigides, boîtes pour corps gras, boîtes pour pâtisseries etc. Dans ce secteur industriel de l'emballage, le PVC représente 5% du marché contre 85% du PET (polyéthylène téréphtalate) et 10% pour le verre.

- Dans le domaine électrique : on retrouve du PVC dans les câbles, gaines, chemins de câbles, boîtiers, etc…

- Dans les biens de consommation courante : textile, maroquinerie, chaussures, bottes, habillement, articles de bureaux, papeterie, jouets etc.

- Dans l'industrie automobile : pièces techniques, garnitures intérieures, tableaux de bord etc.

- Dans le domaine médical : matériel hospitalier (tubes de transfusion, poches à sang et à perfusion, gants médicaux, alèses, etc…)

En résumé le PVC est très présent dans de très nombreux secteurs et fait partie intégrante de notre quotidien.

A ces niveaux d'utilisation, tous les polymères soulèvent débats et questionnements. Les idées reçues, largement médiatisées, sont souvent fondées sur des raccourcis.

Le PVC n'échappe pas à cette règle. Les questions les plus fréquentes concernent naturellement les éventuels impacts sur la sécurité, la santé et l'environnement [5]

I.8.5. les déchets en PVC sont-ils valorisés :

La production et la transformation du PVC en produits finis génèrent deux types de déchets **:**

- Les déchets de production et de transformation
- Les déchets de fin de vie(emballage principalement, automobile ; électricité/électronique, bâtiment etc...).

La quasi-totalité des déchets de production est récupérée directement par les industriels qui la réintègrent dans leurs fabrications.

Les déchets de transformation sont pris en charge par des filières de valorisation.

Quant aux déchets de fin de vie, ils peuvent être collectés, régénérées et réutilisées sous forme de produits finis (tuyaux, murs anti-bruit, équipements routiers, etc.) ou bien, être également pris en charge par des filières de valorisation.

En 2013, plus de 444 000 tonnes de PVC ont été recyclées en Europe, contre 362 000 tonnes en 2012.[6]

Il est à noter que, contrairement à une idée reçue, l'ensemble des matières plastiques utilisées dans le monde ne représente que 4 % du pétrole extrait annuellement.

Et le PVC ne représente que 0,6 % de la consommation mondiale de pétrole [7].

Les propriétés intrinsèques du PVC lui confèrent un certain nombre d'avantages tels que sa composition, avec sa teneur limitée en dérivés du pétrole, comparativement à d'autres polymères, sa très bonne résistance au feu, sa grande longévité, sa facilité d'entretien et sa résistance à l'eau. Et naturellement, sa capacité à être recyclable à 100%. [8]

De plus la polyvalence du PVC liée à sa capacité à être formulé de façons très différentes, lui permet de répondre à un grand nombre de demandes et d'exigences.

Pour en citer quelques-unes, il peut être très résistant aux chocs, aux U.V., présenter des aspects, finitions et couleurs très différents que ce soit en souple ou en rigide et sur des épaisseurs très diverses.

En d'autres termes, le PVC, c'est la possibilité d'une créativité illimitée le PVC est une matière qui a plus de cent ans d'existence.

Cette matière a-t-elle beaucoup évolué au fil du temps les nouveaux marchés les nouvelles technologies, notre façon de consommer ainsi que l'amélioration de nos connaissances sur la sécurité la santé et l'environnement sur ces dernières décennies n'ont cessé de faire évoluer positivement le PVC.

Toutes ces modifications et améliorations successives nous permettent aujourd'hui de proposer un PVC qui n'a jamais été aussi respectueux du monde qui l'entoure.

Et je ne doute pas que, grâce à sa capacité d'adaptation, des améliorations soient encore possibles appuyées par une réglementation en constante évolution.

I.9.Le polypropylène (PP) :

Également connu sous le nom de polypropène, est un polymère thermoplastique utilisé dans une grande variété d'applications. Il est produit par polymérisation à croissance de chaîne à partir du monomère propylène.

Le polypropylène appartient au groupe des polyoléfines et est partiellement cristallin et non polaire. Ses propriétés sont similaires à celles du polyéthylène, mais il est légèrement plus dur et plus résistant à la chaleur.

C'est un matériau blanc, mécaniquement robuste et a une résistance chimique élevée le polypropylène est le deuxième plastique de base le plus produit (après le polyéthylène) et il est souvent utilisé dans l'emballage et l'étiquetage. en 2019, le marché mondial du polypropylène valait 126,03 milliards de dollars.

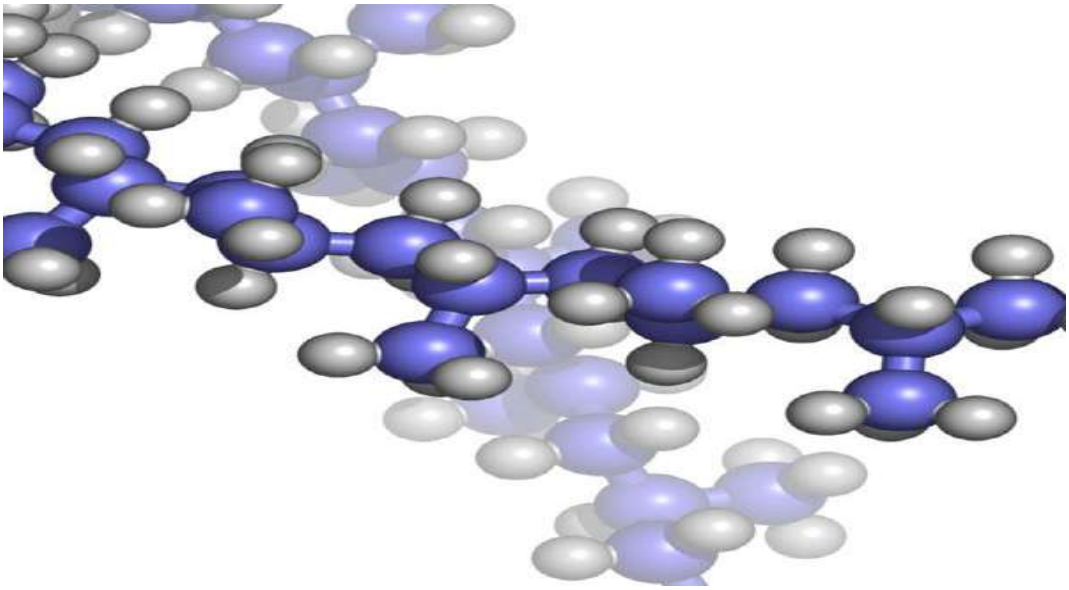


Figure.I.11 : structure 3D de PP

I.9.1. Historique de PP :

Les chimistes de Phillips Petroleum J. Paul Hogan et Robert Banks ont polymérisé le propylène pour la première fois en 1951.

Le propylène a été polymérisé pour la première fois en un polymère isotactique cristallin par Giulio Natta ainsi que par le chimiste allemand Karl Rehn en mars 1954.

Cette découverte pionnière a conduit à la production commerciale à grande échelle de polypropylène isotactique par la société italienne Montecatini à partir de 1957.

Le polypropylène syndiotactique a également été synthétisé pour la première fois par Natta et ses collègues.

Après le polyéthylène, le polypropylène est le plastique le plus rentable avec des revenus qui devraient dépasser 145 milliards de dollars US d'ici 2019 ; Les ventes de ce matériau devraient croître de 5,8% par an jusqu'au 2021.

I.9.2.Propriétés chimiques et physiques :

Le polypropylène est à bien des égards similaire au polyéthylène, en particulier en ce qui concerne le comportement de la solution et les propriétés électriques. le groupe méthyle améliore les propriétés mécaniques et la résistance thermique, bien que la résistance chimique diminue:

19 Les propriétés du polypropylène dépendent du poids moléculaire et de la distribution des poids moléculaires, de la cristallinité, du type et de la proportion de comonomère (s'il est utilisé) et de l'isotacticité.

Dans le polypropylène isotactique, par exemple, les groupes méthyle sont orientés d'un côté du squelette carboné. Cet agencement crée un plus grand degré de cristallinité et se traduit par un matériau plus rigide qui est plus résistant au fluage que le polypropylène et le polyéthylène atactiques.

I.9.3.Propriétés mécaniques :

La densité de (PP) est comprise entre 0,895 et 0,92 g / cm³. Par conséquent, le PP est le plastique de base ayant la densité la plus faible.

Avec une densité plus faible, des pièces moulées de poids inférieur et davantage de pièces d'une certaine masse de plastique peuvent être produites.

Contrairement au polyéthylène, les régions cristallines et amorphes ne diffèrent que légèrement par leur densité. Cependant la densité du polyéthylène peut changer considérablement avec les charges.24 le module de Young du PP est compris entre 1300 et 1800 N / mm².

Le polypropylène est normalement résistant et flexible, surtout lorsqu'il est copolymérisé avec de l'éthylène. Cela permet au polypropylène d'être utilisé comme plastique technique, en concurrence avec des matériaux tels que l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS)

Le polypropylène est raisonnablement économique. [Citation nécessaire] le polypropylène a une bonne résistance à la fatigue. 3070

I.9.4.Propriétés thermiques :

Le point de fusion du polypropylène se produit dans une plage, de sorte que le point de fusion est déterminé en trouvant la température la plus élevée d'un diagramme de calorimétrie à balayage différentiel.

Le PP parfaitement isotactique a un point de fusion de 171 ° C (340 ° F). Le PP isotactique commercial a un point de fusion qui varie de 160 à 166 ° C (320 à 331 ° F), selon le matériau atactique et la cristallinité.

Le PP syndiotactique avec une cristallinité de 30% a un point de fusion de 130 ° C (266 ° F). en dessous de 0 ° C, le PP devient cassant

I.10.Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) :

Pour être en mesure de répondre à la demande croissante de ces matériaux plastiques, tout en continuant à améliorer leurs précieuses propriétés, la science et l'industrie ont développé une série de nouveaux polymères qui sont les copolymères.

La combinaison de deux ou plusieurs polymères de natures chimiques et de propriétés physiques différentes, permet d'avoir dans certains cas des matériaux d'intérêt pratique avec des performances supérieures aux produits de départ. Cette technique a été employée durant les dernières décennies pour améliorer les propriétés physiques comme la résistance aux chocs, la flexibilité et la stabilité thermique [9]

L'ABS est plus compliqué , Il est fabriqué par polymérisation du styrène et de l'acrylonitrile en présence du polybutadiène ; le polybutadiène a des doubles liaisons carbone-carbone qui peuvent polymériser aussi.

Donc on termine avec une chaîne de polybutadiène avec des chaînes de SAN greffées dessus

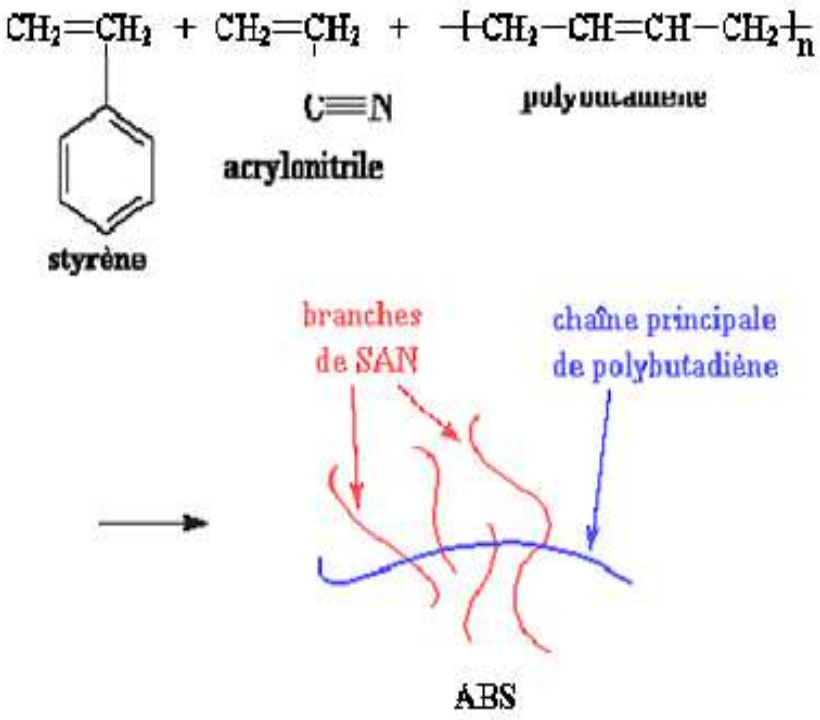


Figure .I.12 :structure d'acrylonitrile / butadine / styrene

I.10.1.Copolymérisation : Mélange :

Les polymères ABS sont une famille unique de techno polymère ; leur nom est représenté par les initiales des trois monomères qui le constituent

L'Acrylonitrile qui apporte la résistance thermique au vieillissement, le Butadiène qui contribue à la conservation des propriétés aux basses températures, à la ténacité et à la résistance aux coup ; le Styrène donne la luminosité, la rigidité et la facilité au travail.

L'ABS est composé de deux éléments essentiels : la matrice, qui est généralement un copolymère d'acrylonitrile/styrène (ou/et α-méthylstyrène), et un caoutchouc copolymère de butadiène/styrène/acrylonitrile dispersé dans la matrice.[10]

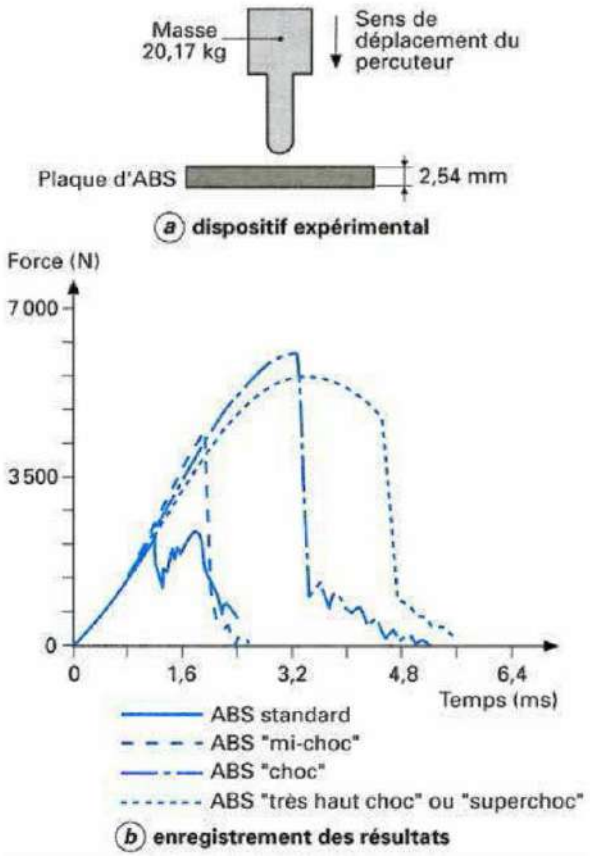


Figure .I.13 : Caractéristiques des ABS en choc multiaxial selon la méthode ISO 6603

I.10.2..Propriétés :

I'ABS a été fourni par la firme STATASYS au laboratoire de Metz et ces principales caractéristiques sont mentionnées dans le tableau ci-dessous [11]

Propriétés	ABS
Densité (g/cm3)	1,03/1,07
Module d'Young (MPa)	2200/3000
Résistance en traction (MPa)	45/65
Conductivité thermique (W/M°K)	0,18
Température de fusion Tf *(°C)*	
Température de transition vitreuse Tg (°C)	-85°C/95-105°C

Tableau 4: Quelques propriétés d'un acrylonitrile butadine styrene

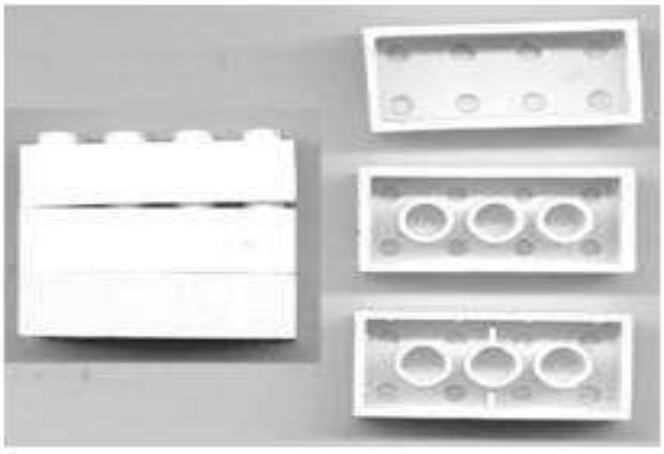


Figure . I. 14. : Brique de base Lego. La première, datant d'avant 1958 est en acétate de cellulose, les deux autres en ABS



Figure .I.15 : Lego bricks en ABS

I.11.Le polyéthylène haut densité HDPE :

I.11.1. Introduction :

Le polyéthylène haute densité HDPE est un polyéthylène qui a été synthétisé en 1953 par le chimiste et prix Nobel allemand Karl Ziegler

Le polyéthylène haute densité (PEHD), issu de catalyse de type Ziegler. La masse volumique est comprise entre 955 et 970 kg/m3 ; pour des taux de cristallinité pouvant atteindre 80% et des modules de l'ordre de 1 GPa. Sa bonne rigidité fait qu'il est largement utilisé pour la fabrication de pièces injectées.

Il est utilisé également en extrusion-soufflage sa moins bonne processabilité a conduit, à partir des années 1980, à utiliser des polyéthylènes basse densité linéaires, issus de catalyse Ziegler par copolymérisation en présence de chaînes courtes, généralement de C4 à C8. on peut ainsi régler la longueur des branchements courts**.**

Le polyéthylène HDPE est un matériau blanc ou coloré, conforme aux normes sanitaires FDA (naturel) et avec une bonne résistance aux produits chimiques.

Disponible dans un fini luisant ou autre, il se caractérise par sa rigidité, sa soudabilité et ses propriétés thermoformables.

Cette formulation de polyéthylène est reconnue pour sa stabilité et son uniformité.

I.11.2. Fabrication :

Les PE-HD peuvent être produits par polymérisation coordinative de type catalyse de Ziegler-Natta ou catalyse avec un métallocène

I.11.3. Propriétés :

- Polyoléfine semi-cristalline Température maximale d'emploi : 105 °C ; température de fragilisation : −50 °C
- Compatible aux micro-ondes
- Bonne flexibilité
- Très bonne résistance aux acides, alcools aliphatiques, aldéhydes, hydrocarbures aliphatiques et aromatiques
- Faible résistance aux agents oxydants, qui peuvent alors faciliter l'installation d'un biofilm indésirable3.
- Il est régénéré et recyclé sous forme de granulés.

I.11.4. Usages :

Canalisation en PE-HD Il est par exemple utilisé pour produire des caisses en plastique hautement résistantes, des canoës-kayaks, emballages de produits détergents, bidons d'huile moteur, bouteilles de lait et de shampoing, flacons de médicaments, bouchons de boissons gazeuses, filets de signalisation pour les conduites, câbles enterrés et des tubes pour le transport de gaz, d'eau ou de câbles4.

On en fait aussi des bâches et des géomembranes par exemple utilisées comme barrière d'étanchéité dans les décharges dites (Installations de stockage de déchets non dangereux) bien que malgré les bonnes propriétés initiales du PEHD, face aux agressions chimiques et biologiques du lixiviat, sa durabilité reste une question ouverte .

I.11.5. Résistance :

La plupart des polymères sont plus ou moins biodégradables ; en se dégradant (ex. : par oxydation de surface ou dégradation mécanique), le polyéthylène peut perdre son caractère hydrophobe et faciliter l'accroche d'un biofilm, lequel pourrait alors lentement contribuer à sa dégradation (à échelle micro- ou nanoscopique).

Des études ont porté sur la biodégradation du polyéthylène en présence de diverses souches bactériennes pures ou dans des composts où il est alors aussi exposé à des champignons, et quelques études ont exposé du PEHD à décharges (de type ISDND), par exemple avec un HDPE sans additif incubé sept mois dans un vieux de dix ans.

Ainsi que dans un lixiviat abiotique (débarrassé de ses micro-organismes par du thiomersal) et maintenu à 40 °C, après oxydation effectuée en laboratoire conformément à la norme NF EN ISO 13 438 des géosynthétiques3.

Quand un film de PEHD a été oxydé en laboratoire, il perd principalement des acides carboxyliques et cette oxydation permet effectivement l'apparition d'un biofilm quand il est immergé dans le lixiviat, alors que seule une cristallisation de carbonates se forme si la membrane n'a pas été oxydée [12]

C'est avec certitude le thermoplastique avec lequel nous sommes plus familiarisés de nos jours. Le HDPE, ou polyéthylène de haute densité, est présent à des objets si quotidiens comme des bouteilles, emballages, jouets, casques, emballages de cosmétiques et aliments et tout type d'objets domestiques. [13]

De fait, c'est le polymère synthétique avec un majeur volume de production à tout le monde il est inodore insipide et pas toxique

En plus de ses innombrables utilisations au foyer, l'utilisation de tuyauteries de ce matériel est habituel aussi pour la conduction de liquides en égouts ou à l'agriculture.

Ses avantages Font qu'on l'emploi en plus à la construction, l'industrie et les chimiques ou à la pêche ; Parmi ses caractéristiques sont sa légèreté, sa flexibilité, voire avec des températures basses et sa haute résistance aux impacts.

Les produits et agents chimiques, ainsi que les acides, ne le provoquent pas de dommage, et aussi il supporte des températures de l'eau au dessus des cents degrés.

Le HDPE subit de l'oxydation à 50 ºC avec la dégradation des molécules du polymère voire à des températures ordinaires, en présence de la lumière, il subit une dégradation.

Face à l'oxydation thermique, l'incorporation d'antioxydants peut la réduire et même la supprimer par rapport à la conductivité électrique, dans le cas de ce thermoplastique est base. Il a en plus une haute résistance diélectrique et un facteur de puissance bas (9,15). [14]

Par surcroît, il est recyclable et respectueux de l'environnement.

I.11.6. Les avantage de HDPE :

Avec ces caractéristiques, les tuyauteries qui l'emploient comme principal composant a des grands avantages par rapport à d'autres.

- Rapide Installation. Grâce à sa légèreté, le processus de transport, traitement et installation se raccourcit. En plus il ne faut pas de machine lourde pour les transporter.
- Flexibilité. Elles s'adaptent à des changements de direction et courbes, alors il ne faut pas d'accessoires ou d'outils additionnels. En comparaison, c'est plus flexible que le polypropylène.
- Résistance. Elles supportent des charges verticales car elles transfèrent la plupart de la charge au sol qui est autour de la tuyauterie. Cela est car son mur extérieur est ondulé.
- Vie Utile. Résistante aux effets de liquides abrasifs, aux impacts et à d'autres agents chimiques, la vie utile estimée des tuyauteries en HDPE est de 50 ans [15].
- Sécurité. On n'emploie pas de liaisons, car les soudures sont faites par soudure par thermo fusion, alors la sécurité de l'installation est complète.
- Efficacité. Grâce à son intérieur lise, elles rendent facile un flux de liquides aux tuyauteries d'autres matériels. En plus elles ne cumulent pas de sédiments et incrustations à leur intérieur.[16]

Le HDPE se différencie du polyéthylène de densité conventionnelle parce qu'il a un poids moléculaire supérieur, et sa fabrication peut se faire par trois méthodes; la méthode de Ziegler, Phillips ou 'phase gaz'. [17]

A différence du polyéthylène de basse densité, il est plus dur, fort et pèse plus, en plus d'être moins ductile.

Dans la famille du polyéthylène, le HDPE cohabite avec le nommé UHMWPE (Ultra High Moléculaire Weight Polyethylene), qui s'utilise pour fabriquer des fibres très résistantes, comme celles qui sont utilisées à des gilets pare-balles, et c'est jusqu'à 15 fois plus résistent que l'acier de charbon face à l'abrasion .[18]

I.11.7. Utilisation de HDPE :

Le polyéthylène HDPE (polyéthylène à haute densité) est principalement utilisé dans les secteurs alimentaire, médical et chimique. Il entre dans la fabrication de réservoirs, d'équipements sportifs, de prothèses, de produits d'emballage et de plusieurs autres éléments.[19]

I.11.8.Caractéristiques de HDPE :

- Le polyéthylène HDPE est un matériau blanc ou coloré, conforme aux normes sanitaires FDA (naturel) et avec une bonne résistance aux produits chimiques.
- Disponible dans un fini luisant ou autre, il se caractérise par sa rigidité, sa soudabilité et ses propriétés thermoformables.
- Cette formulation de polyéthylène est reconnue pour sa stabilité et son uniformité

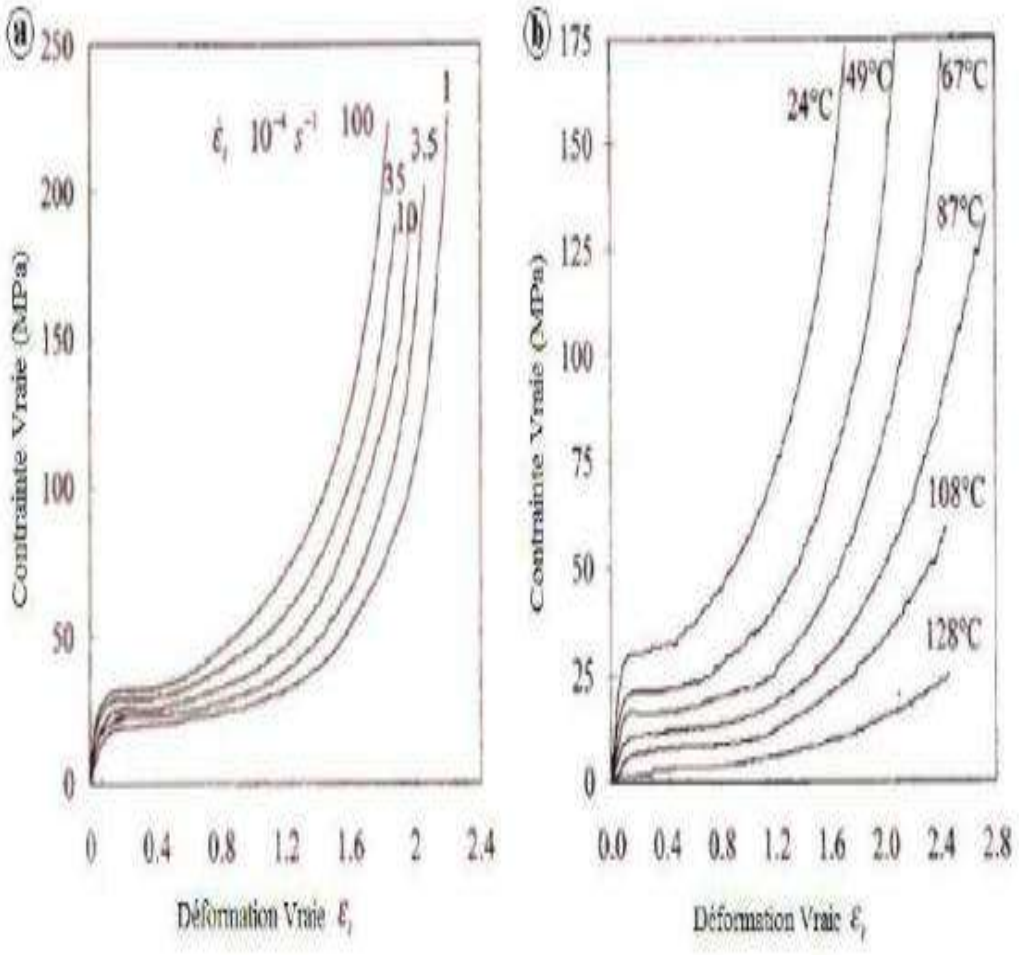


Figure .I.16 : Sensibilité de HDPE a) à la vitesse de déformation b) à la température

I.11.9.Conclusion :

Le polyéthylène HDPE (polyéthylène à haute densité) est principalement utilisé dans les secteurs alimentaire, médical et chimique ; Il entre dans la fabrication de réservoirs, d'équipements sportifs, de prothèses, de produits d'emballage et de plusieurs autres éléments.

Charitre II

Mise en forme des thermoplastiques

II.1. Introduction :

L'un des procédés de mise en forme le plus connu et le plus ancestral, est le soufflage des polymères.

Dans ce procédé, les souffleurs de verre donnent forme au verre, alors en fusion et le soufflage peut être réalisé à l'aide d'un moule pour s'assurer de la bonne conformation externe de la pièce, ou bien en soufflage libre où seul le talent de l'artisan s'exprime.

Le procédé d'extrusion gonflage peut ´également être cité et est utilisé pour produire des gaines et des films ; bouteille d'eau et bouteilles en plastique

Lors de phases de mise au point de cette technologie, le moule prototype ´était un moule mono-empreinte. Un deuxième moule prototype consiste en un moule bi empreinte.

Le dernier moule produit, dans l'optique d'être un moule industrialisable est un moule bi étages huit empreintes. Au d´début de ce projet, plusieurs matériaux ont ´été testes : des polyéthylène téréphtalates (PET) et des polypropylènes (PP) copolymères d'éthylènes et le polyéthylène haut densité HDPE**.**

Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord le matériel qui fait l'objet de notre étude et la moitié des principales caractéristiques de nos échantillons tout en les replaçant dans leur contexte industriel.

Afin de voir et d'étudier l'effet de la charge sur le polyéthylène pour connaître la quantité d'exploitation de polycarbonate à la place du polyéthylène en faisant passer le pourcentage de polycarbonate de 20% à 50%

II.2. Mise en ouvre des polymères :

La mise en œuvre des matières plastiques regroupe les procédés de transformations des polymères en produit fini ou semi-fini.

La plupart des procédés de transformation existant aujourd'hui (extrusion mono-vis ou bi-vis, injection, soufflage de corps creux, extrusion gonflage de films, calandrage…) sont nés après le deuxième conflit mondial, en même temps que se développaient les grands polymères de commodité.

Certaines de ces techniques étaient, il est vrai, elles-mêmes issues de secteurs industriels parents (industrie agroalimentaire ou transformation des caoutchoucs).

Dans ces domaines nous avons assisté depuis les années 1950 à un développement continu des procédés, ce qui a débouché sur des progrès spectaculaires.

Le polymère est mélangé à différents produits (stabilisants, lubrifiants, plastifiants, charges, etc.) pour élaborer une formulation qui se présente le plus souvent sous forme de poudre ou de granulés.

Les procédés de transformation des matières thermoplastiques sont essentiellement thermomécanique

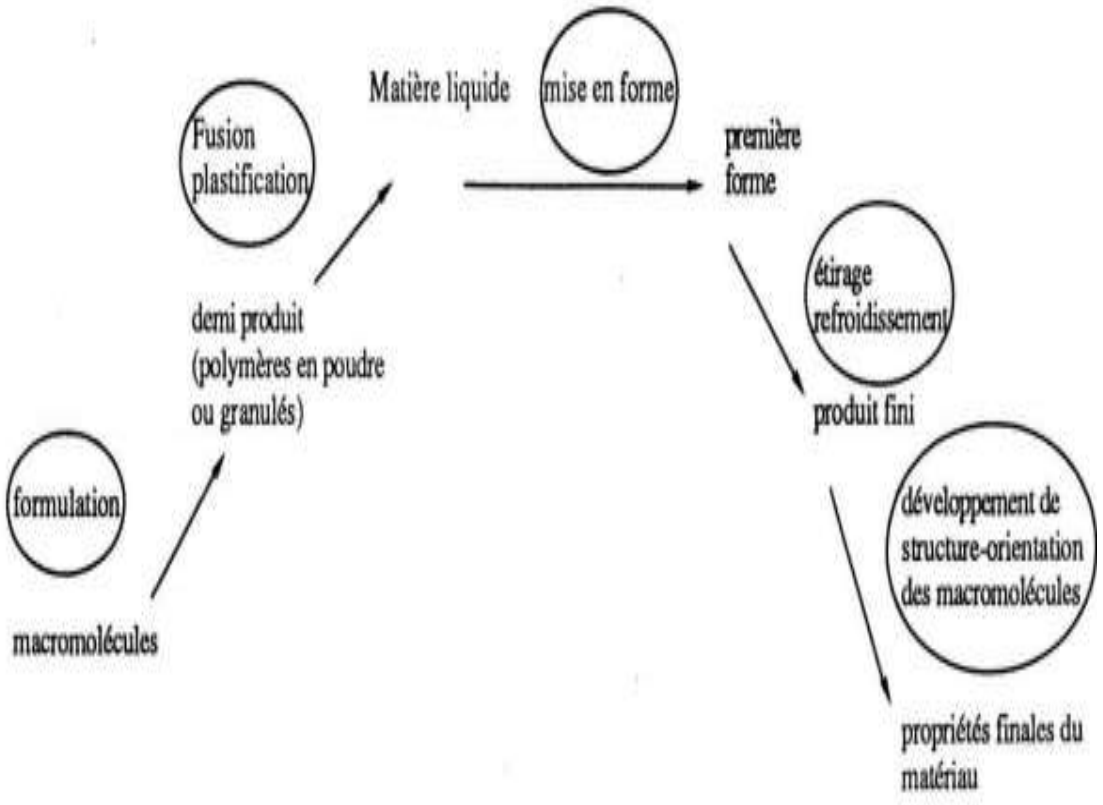


Figure. II.1:schéma générale de mise en œuvre des polymères

Les procédés de transformation des matières plastiques sont essentiellement thermomécaniques. Ils comportent trois étapes:

La fusion, c'est-à-dire le passage de l'état de solide, en poudre ou en granulés, à un état fondu, suffisamment homogène et fluide.

Ce terme de fusion recouvre plusieurs phénomènes physiques différents, suivant que le polymère est semi-cristallin ou amorphe

La mise en forme à l'état fondu, par écoulement sous pression à travers une filière ou dans un moule ; La conformation et le refroidissement, avec éventuellement des opérations d'étirage, biétirage, soufflage…

Les propriétés de l'objet fabriqué dépendent, bien entendu, du polymère choisi, mais également de ce « chemin thermomécanique » qu'il a suivi pour déboucher sur cet objet.

On peut imaginer que la mise en œuvre des polymères est un simple problème de mécanique des fluides couplé au transfert thermique.

En réalité c'est plus compliqué du fait des caractéristiques physiques communes à l'ensemble des polymères thermoplastiques.

L'énergie nécessaire à la fusion et à la mise en pression du polymère est issue de deux sources principales :

L'énergie mécanique, fournie par la rotation de la vis (Extrudeuse, mélangeur interne) qui engendre des déformations au sein d'un milieu très visqueux ;

L'énergie thermique, fournie par la régulation du fourreau ; Le rapport de ces deux termes est ce que l'on appelle le nombre de Brinkman :

$$Br = \frac{\eta V_F^2}{\lambda (T_F - \overline{T})}$$

fugure. II.2 :nombre de Brinkman

Avec : η (Pas): Viscosité du polymère,

VF (m·s –1): Vitesse de la vis.

λ (W·m–1 · °C –1) : Conductivité thermique du polymère,

T F :(°C): Température du fourreau,

T (°C): Température moyenne du polymère.

Le volume V (m3) déplacé à chaque tour de vis est obtenu en multipliant la section de l'anneau de matière par l'avance par tour,

Soit : V = S*AV (I.2)

D'où le débit-volume : Qv = V*N (m3 /min) = 60*V*N (m3 /h) (I.3) Avec N (tr/min) vitesse de rotation de la vis.

Les techniques de transformation des plastiques dépendent de la nature des polymères et de la destination des produits finis.

Quelques méthodes sont régulièrement utilisées pour la fabrication des pièces et des objets en polymère.

Les principaux procédés de fabrication industrielle sont: le moulage, l'injection, l'injection soufflage, l'extrusion, l'extrusion soufflage, le thermoformage, etc.

Dans ce qui va suivre on s'intéresse au phénomène d'extrusion des tubes pour notre étude

Cependant l'extrudeuse seule ne saurait suffire à garantir la qualité du produit. d'autres éléments intervenant le long de la ligne de fabrication ont un rôle important à jouer.

En plus du groupe d'extrusion (extrudeuse et tête), on retrouve dans toutes les lignes des dispositifs de dosage, des bacs de refroidissement, des éléments de CHAPITRE I 13 mesure de diamètre et des bobinoirs (stockage en bobine pour des tuyaux de faible diamètre) ou des scies

Les procédés de mise en forme des polymères thermoplastiques et des composites correspondants sont directement dépendants des matériaux et des procédés de transformation existants dans l'industrie selon la production en petite, moyenne et grande série.

Les différents procédés de mise en forme des composites à matrice thermodurcissable

- Moulage par injection base pression de résine liquide (RTM**),** La résine thermodurcissable est injectée sous basse pression (1 à 10 bars) entre le moule et le contre-moule. En fonction des cadences de production la polymérisation se fait à température ambiante ou par chauffage.
- Moulage par injection de résine réactive renforcée fibres longues **(**S-RIM**)**, Moulage du renfort sous forme de mats ou de tissus préalablement dans le moule chauffé (100 - 150 °C). Le système de résine à deux composants très réactifs est injecté sous pression (20 - 30 bars). Après durcissement (1 à 3 min), la pièce peut être démoulée.
- Moulage au contact**,** réalisé manuellement, l'imprégnation de la résine se fait à l'aide d'un rouleau adapté sur le drapage d'un renfort fibreux déposé sur un moule, La polymérisation est effectuée à froid.
- Moulage par injection – réaction (R-RIM**)** : Les produits réactifs mélange d'un polyol et de fibres de verre (fibres coupées ou broyées) d'une part et d'un isocyanate d'autre

part incorporés dans un mélangeur et injectés (250 bars) aussitôt dans le moule de cuisson, chauffé à température de 65°C.

- Un film multimédia sur la mise en forme des thermoplastiques réalisé par le Centre de Développement Pédagogique pour la formation générale en science et technologie (CDP)
- Un film multimédia sur la mise en forme des composites à matrice thermodurcissable réalisé par le Centre de Développement Pédagogique pour la formation générale en science et technologie (CDP)

I1.2.1. Les procédés de mise en forme des polymères

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une **forme** déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine géométrie, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées.

Les techniques de mise en forme diffèrent selon les matériaux. Pour les métaux les principaux procédés sont :

1. **Forgeage** : consiste à déformer, par choc ou par pressage entre deux outils, une masse métallique rendue malléable par chauffage.

2. **Fonderie** : cette technique consiste à fondre et à couler le métal dans un moule.

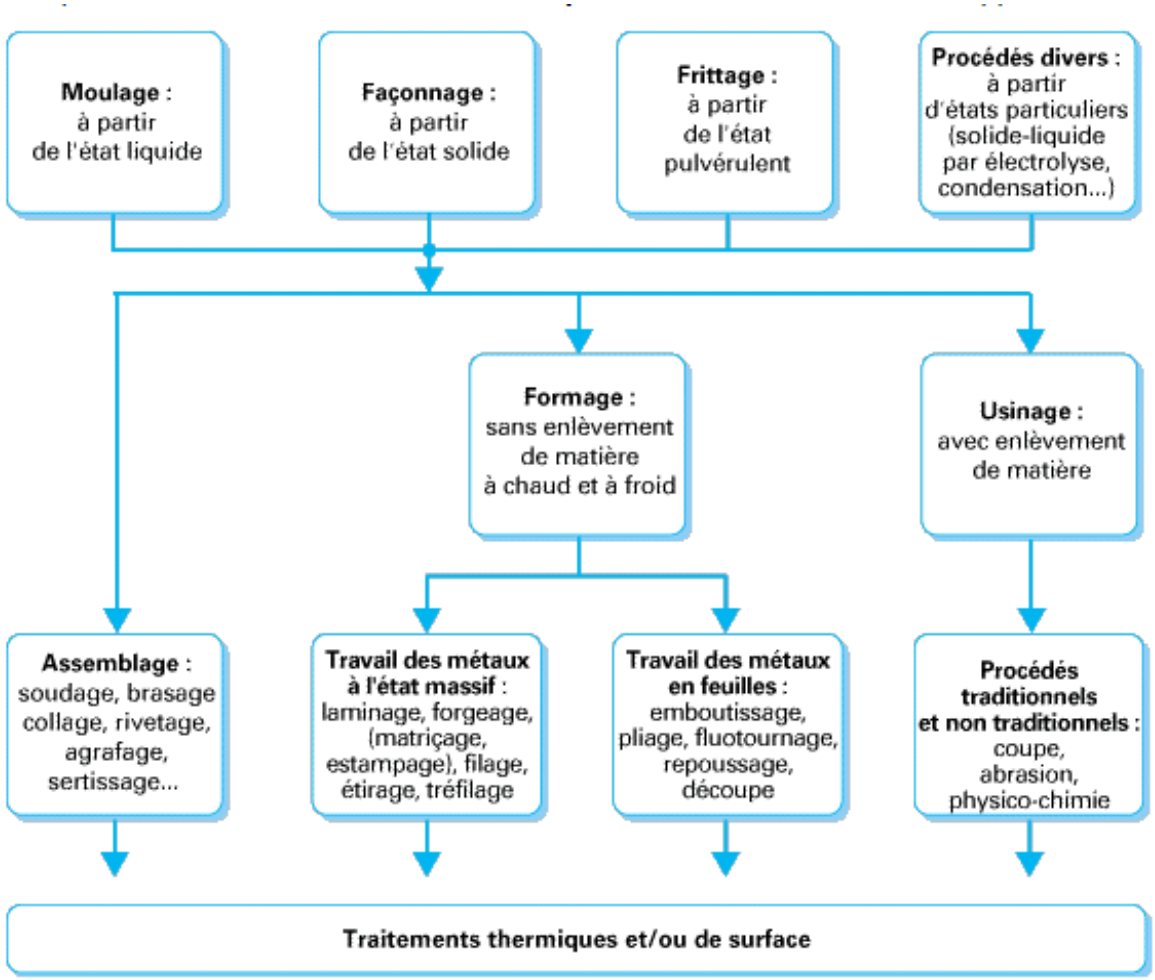
3. **Frittage** : permet de consolider la poudre sous l'action de la chaleur et la rend ainsi compacte.

Emboutissage : permet d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle mince, un objet dont la forme est non développable.

II.2.2.Choix du matériau :

Le matériau choisit pour la réalisation de nos travaux est un polymère. Le polyéthylène haut densité HDPE Il est utilisé généralement par ce que il est Très bonne résistance aux acides, alcools aliphatiques, aldéhydes, hydrocarbures aliphatiques et aromatiques .

4. Le matériau étudié (HDPE) Il est régénéré et recyclé sous forme de granulés il est Bonne flexibilité et Polyoléfine semi-cristalline Température maximale d'emploi : 105 °C ; température de fragilisation : −50 °C



Fugure.II.3: Les différents procédés de mise en forme et de fabrication des matériaux

.

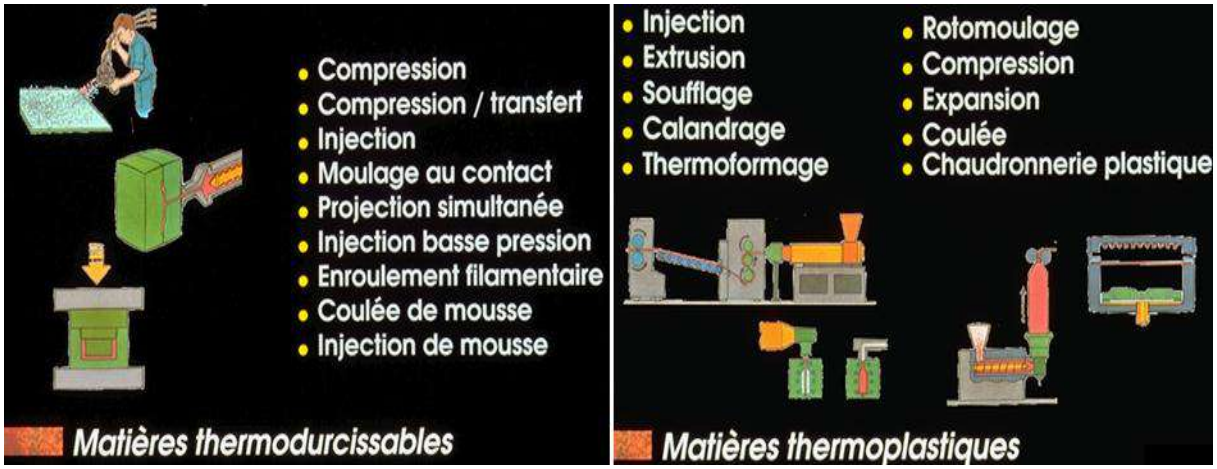


Figure.II.4 : Les mises en forme des matériaux polymères et des composites

II.3. Définition :

Le soufflage est un procédé de transformation des matières plastiques à base de résines sous forme de granulés.

Ce métier est un dérivé de l'injection et de l'extrusion dans lequel la machine a pour principe d'extruder une paraison de façon verticale puis de souffler dans cette même paraison une fois que le moule est fermé.

La paraison vient ainsi épouser la géométrie interne du moule pour en former une pièce semi-finie.

Les techniques d'extrusion-soufflage et d'injection-soufflage sont des méthodes de mise en œuvre des matières thermoplastiques pour la fabrication d'objets tridimensionnels creux.

Depuis les petits flacons de quelques millilitres utilisés en pharmacie jusqu'aux cuves de mazout de 5000 L, ces corps creux en matières thermoplastiques sont utilisés au conditionnement de toutes sortes de produits liquides, pâteux, pulvérulents, qu'ils soient alimentaires, d'entretien, chimiques etc...

Parmi les différents corps creux autres que ceux fabriqués par extrusion soufflage ou par injection-soufflage, citons :

➢ Les sachets ou pochons, réalisés à partir de films souples extrudés ;

➢ Les gobelets, pots thermos celles, etc., fabriqués à partir de feuillets rigides par thermoformage ;

➢ Les cuves et enceintes fabriquées par les techniques de mise en œuvre des plastiques renforcés : bobinage filamentaire, centrifugation, etc.

II.3. techniques de soufflage

Il existe 3 techniques de soufflage telles que :

- L'extrusion **soufflage**
- L'injection **soufflage**
- L'étirage **soufflage**

L'épaisseur de la paraison déterminera après soufflage l'épaisseur souhaitée de la pièce.

La particularité du soufflage réside dans le pourcentage de matière résiduelle à chaque cycle

En effet cette application produit une importante quantité de matière à réintégrer.

Il est donc impératif d'utiliser des systèmes de broyage qui traiteront les parties inférieures et supérieures encore chaudes [20]de la pièce, appelée aussi « col » et « fond ».

Il est aussi important de considérer les équipements de dosage et de mélange qui doivent accepter sans contrainte la matière broyée en continu, les gammes de MAT TECHNOLOGIC peuvent répondre aisément à ces applications.

La plupart des techniques de soufflage s'effectuent dans le secteur de l'emballag**e** pour des produits courants comme les bouteilles, les flacons, les bidons et les containers pour l'industrie alimentaire, cosmétique et chimique mais également pour des pièces techniques comme des corps creux tels que des réservoirs ou autre pour le secteur de l'automobile.



Fugure.II.5 : Machine soufflage

II.3.1. Extrusion Soufflage :

Extrusion-soufflage Le soufflage est couramment utilisé dans les lignes de production de gaines et de films en continu.

Il consiste à extruder un tube, à le pincer à quelque distance de la filière à l'aide de deux panneaux et de rouleaux de direction, et à le gonfler en envoyant de l'air sous faible pression à travers l'axe de la filière.

Cette technique permet d'obtenir des gaines plastiques continues de plus de 4 m de diamètre donnant des films de plus de 12 m de largeur avec des épaisseurs de l'ordre de 200 μm à des débits dépassant 300 kg/h.

Pour l'obtention des corps creux par extrusion-soufflage à partir d'un polymère plastifié par la chaleur, on produit une « paraison » tubulaire en forçant la matière à passer dans l'entrefer circulaire avant de s'écouler à l'air libre, puis on procède à l'emprisonnement de cette paraison dans un moule et au soufflage à l'aide d'air comprimé de la paraison encore chaude pour qu'elle prenne les formes du moule.

Procédé de mise en forme de matières thermoplastiques ; La matière extrudée passe dans un moule, de l'air y est ensuite insufflé pour obtenir des corps creux type bouteilles en plastique.

II.3.2.Moulage des corps creux par soufflage :

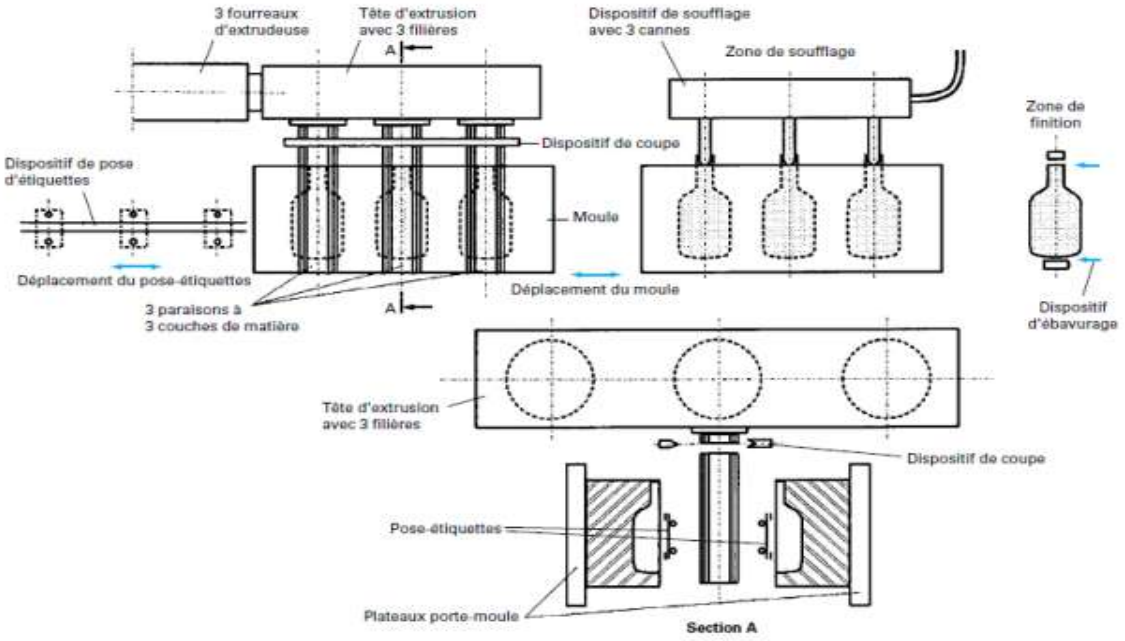
Les machines de ce type comprennent :

➢ une extrudeuse comportant un ou plusieurs fourreaux d'extrusion, le nombre étant déterminé par le nombre de couches de matière constituant la paraison ;

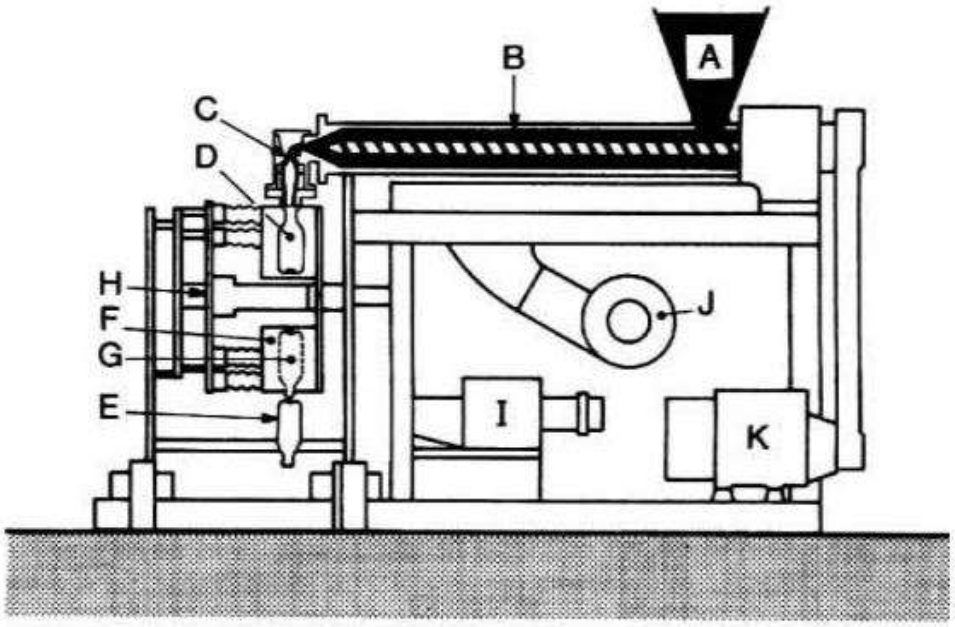
➢ une tête d'extrusion équipée d'une ou plusieurs filières qui délivrent les paraisons dont le nombre correspond au nombre d'empreintes du moule ;

➢ une unité de moulage composée du mécanisme de fermeture et de déplacement, entre le poste de moulage et le poste de soufflage, des plateaux porte-moule ;

➢ un dispositif de soufflage constitué soit d'une aiguille qui traverse la paroi du moule et qui permet le gonflage de la paraison dans l'empreinte pour obtenir des objets tels que des jouets, des arrosoirs de jardin, des contenants de grand volume..., soit d'une canne qui est introduite dans l'orifice supérieur de la bouteille ou du flacon à mouler



Fugure . II.6 : Moulage des bouteilles par soufflage



A	trémie d'alimentation en granulés
B	extrudeuse
C	tête d'équerre
D	bouteille en cours de soufflage
E	bouteille en cours d'éjection
F	moule
G	empreinte
H	roue de soufflage
I	moteur d'entraînement de H
J	ventilateur d'air de refroidissement
K	moteur d'entraînement de la vis d'extrusion

Figuer .II.7. : machine d'extrusion soufflage de bouteilles



Fugure.II.8: Machine extrusion soufflage

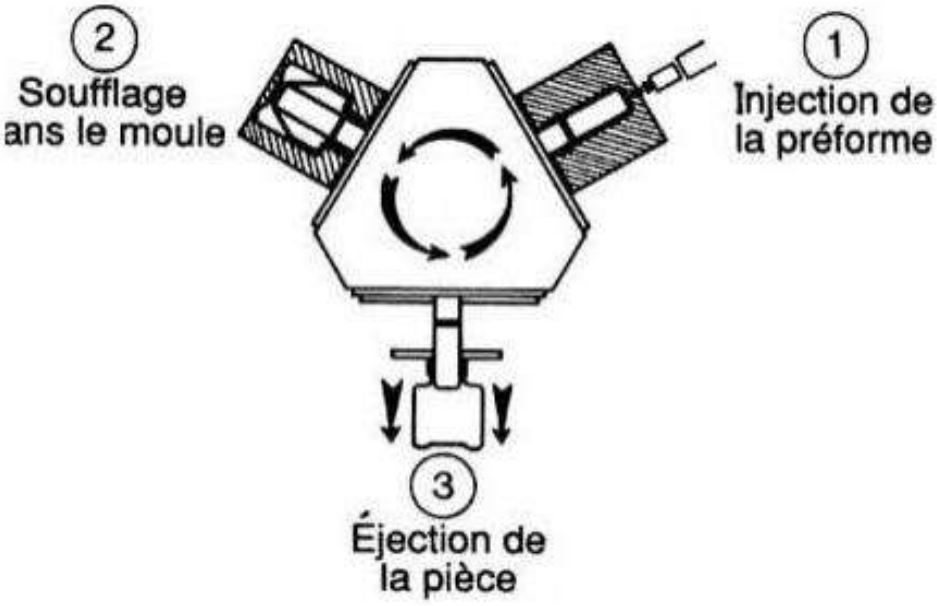


Fig.II.9: poste d'injection soufflage de corps creux

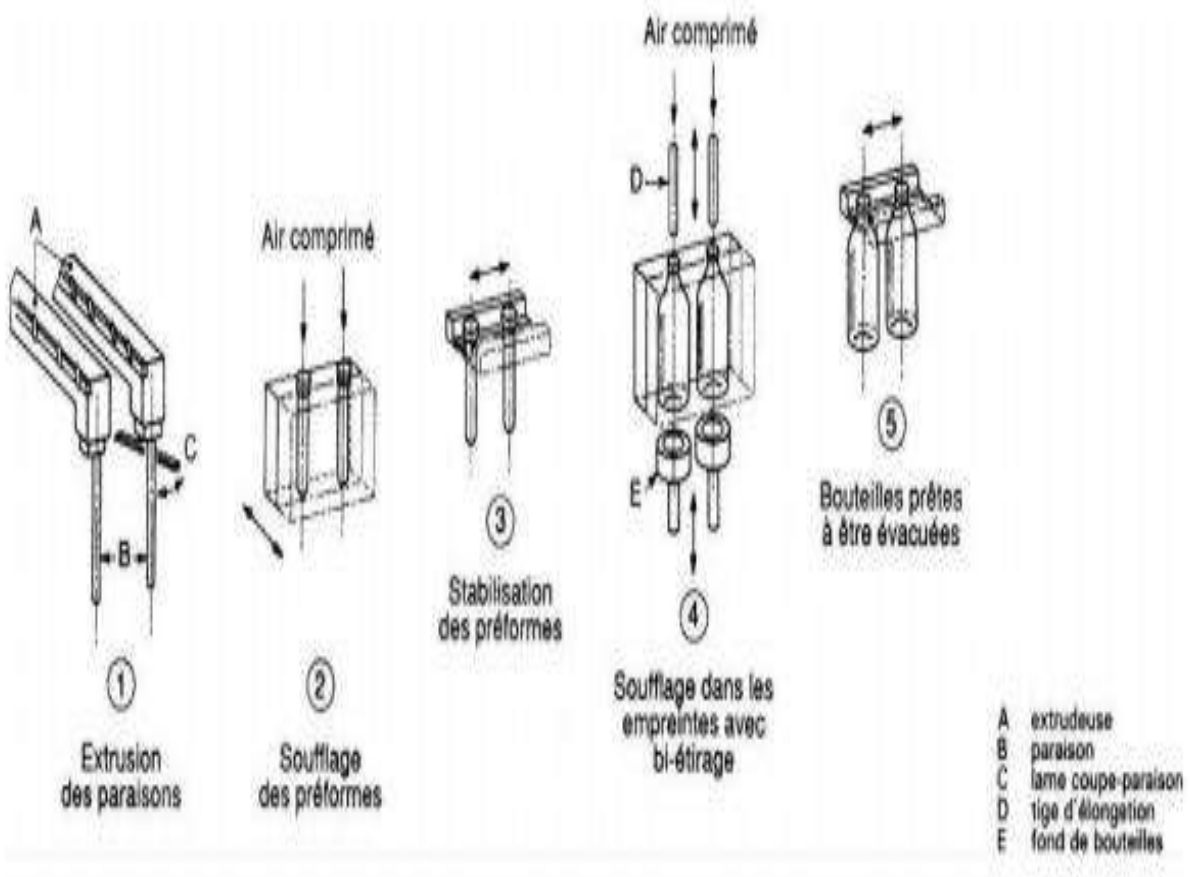
II.3.3. Extrusion-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud :

Dans ce procédé en une étape, on procède à l'extrusion d'une paraison tubulaire chaude qui est immédiatement soufflée dans un moule à préforme (la préforme est l'ébauche réduite de la bouteille finale)

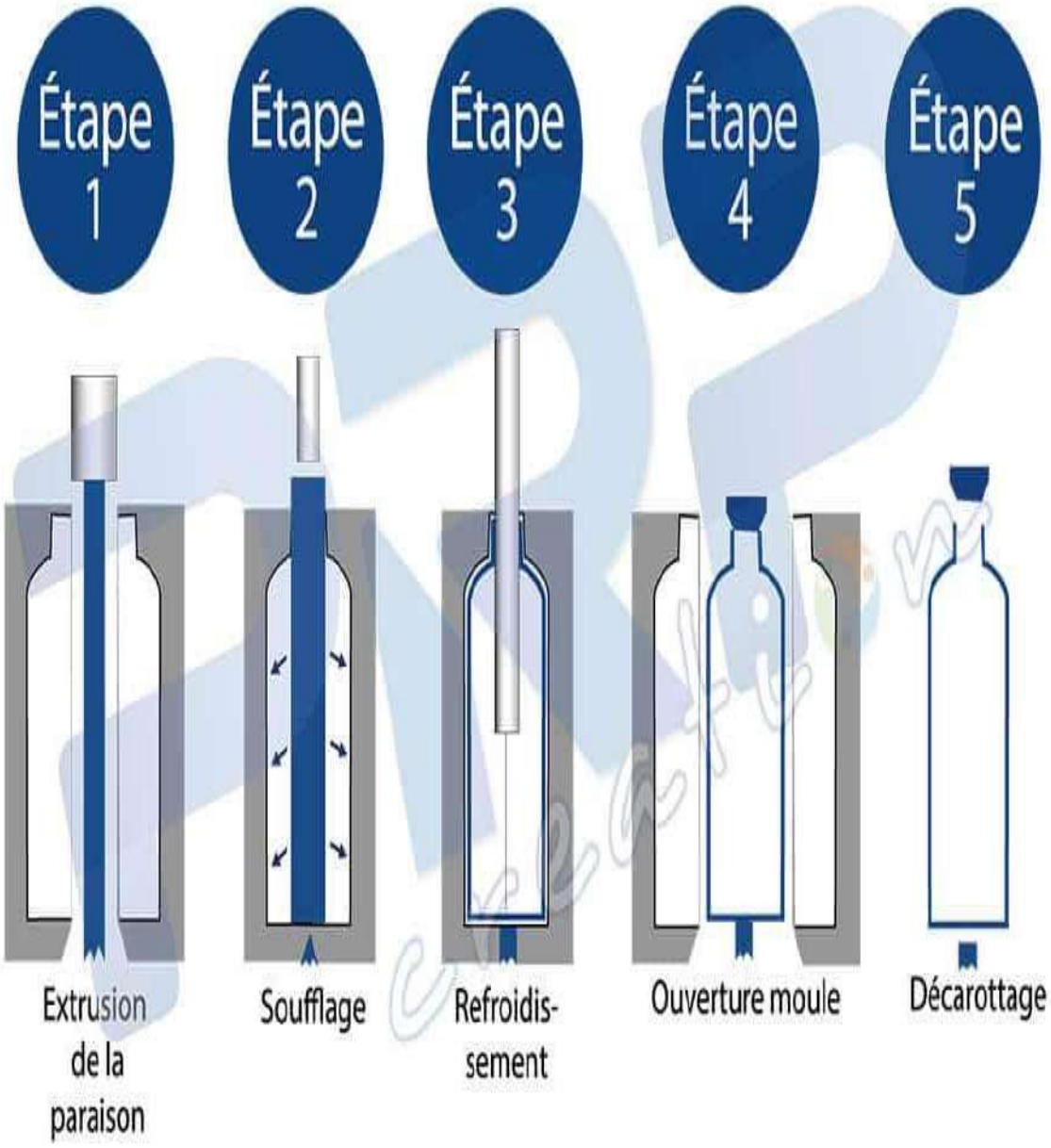
Cette préforme est ensuite transférée et/ou conditionnée dans le moule de finition où l'on procède au bi-étirage de la préforme. Ce bi-étirage est réalisé le plus souvent par la conjugaison d'un étirage axial effectué par une tige d'élongation et d'un étirage radial effectué par gonflage à l'aide d'air comprimé introduit dans la préforme pendant l'étirage axial.

Ce gonflage permet d'appliquer la matière aux parois du moule. Le corps du moule est refroidi (par une circulation d'eau, en général) pour figer la structure moléculaire dans la forme finale et garantir la rigidité du corps creux avant son éjection.

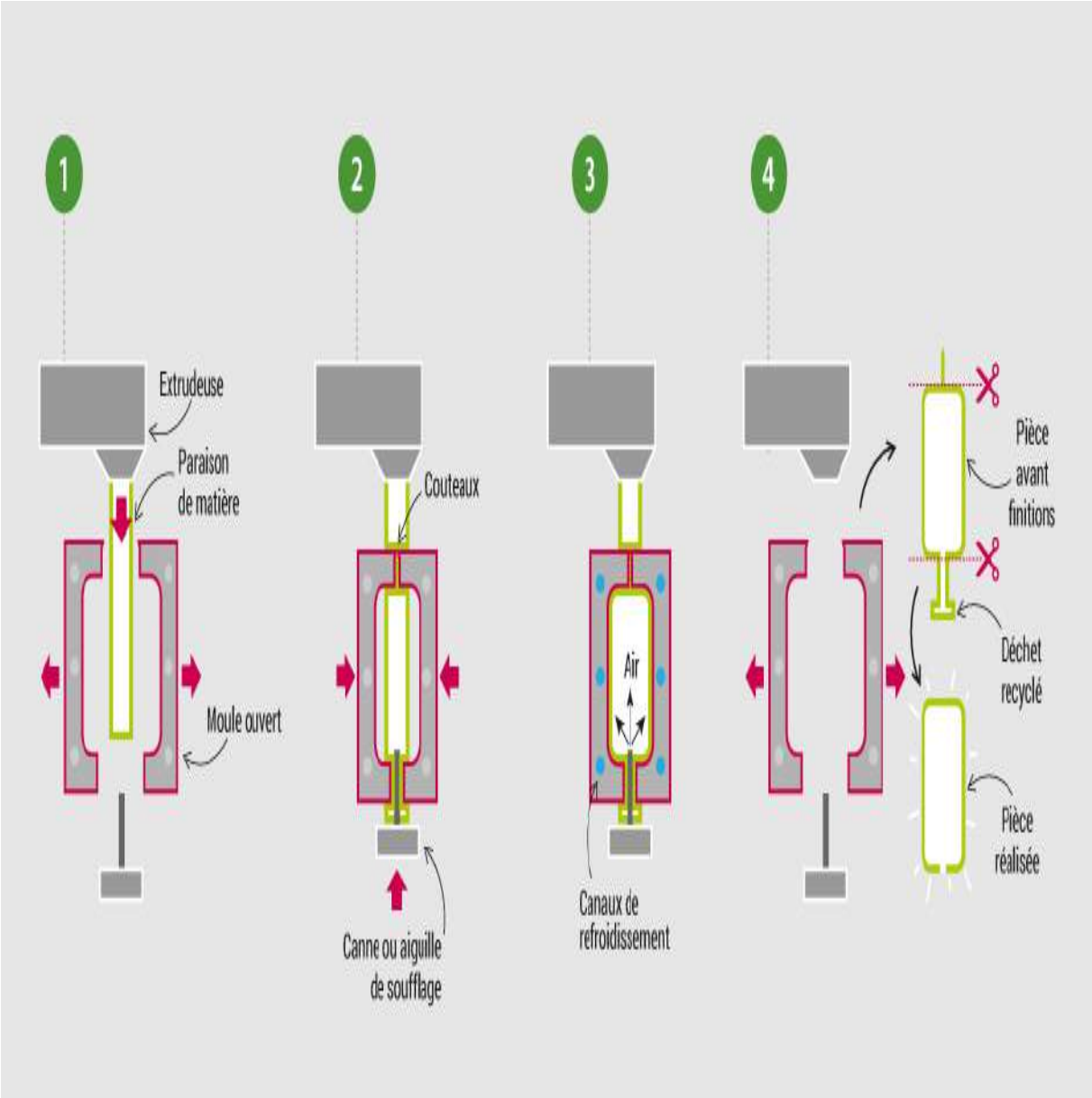
La matière se solidifie alors au contact des parois du moule pour donner le corps creux final.



Fugure.II.10 : Extrusion-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud



Fugure.II.11: les étapes Extrusion Soufflage



Figuer .II.12: Représente les méthodes de l'Extrusion Soufflage

II.4.Injection Soufflage :

La technique de mise en œuvre des polymères thermoplastiques qui se trouve associée au soufflage est le procédé d'injection .À partir d'un matériau plastifié par la chaleur, on procède à l'injection sous forte pression (jusqu'à 120 MPa) de ce matériau à travers une buse de faible diamètre, dans une cavité du moule à préforme.

Sous l'effet de la pression, le matériau plastifié remplit la cavité et se solidifie au contact des parois du moule.

On obtient la préforme, c'est la phase d'injection. ; puis cette préforme encore chaude (120 à 220 °C suivant les matériaux) est transférée dans le moule de soufflage (appelé aussi moule de finition).

L'air comprimé est alors introduit au travers du noyau portant la préforme. Le matériau se trouve alors plaqué contre les parois du moule de finition refroidi et se solidifie pour donner l'objet final : c'est la phase de soufflage

L'injection Soufflage est utilisée pour la fabrication de corps creux (flacons, bouteilles). Une préforme injectée est ensuite plaquée par jet d'air comprimé contre les parois d'un moule puis refroidie.



Figeur.II.13.: machine injection Soufflage

.

II.4.1.Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud :

Dans ce procédé en une étape, il peut y avoir encore deux variantes : • l'injection de la préforme puis, après conditionnement thermique, le soufflage avec biétirage du corps creux final

l'injection de la préforme, puis, au poste de conditionnement thermique, le soufflage intermédiaire d'une préforme plus grande et reconditionnée ; enfin, on procède au soufflage avec bi-étirage du corps creux final .

II.4.2.Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid :

Dans ce procédé en deux étapes, on réalise l'injection d'un produit semi-ouvré : la préforme, puis la reprise de cette préforme par soufflage avec bi-étirage jusqu'à l'obtention de l'objet final : le corps creux**.**

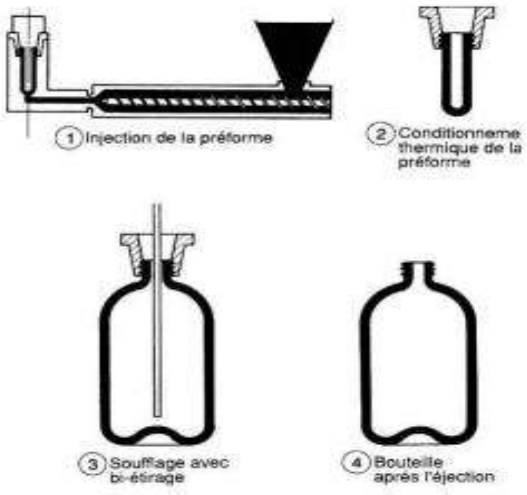
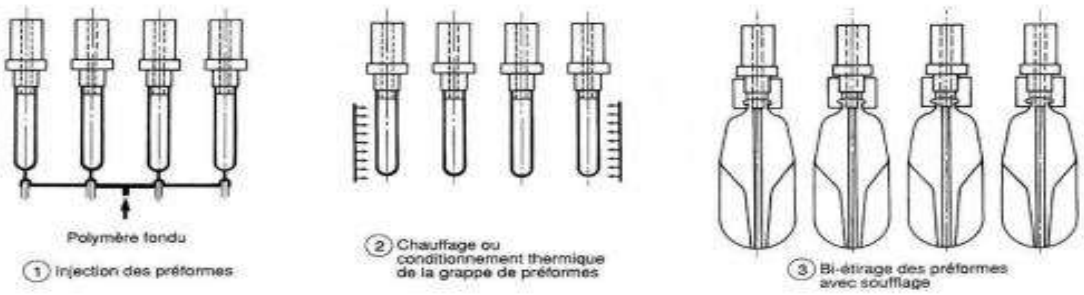


Figure VII.6 : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud



Figuer .II.14. : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid

II.5. Le soufflage bi-étirage :

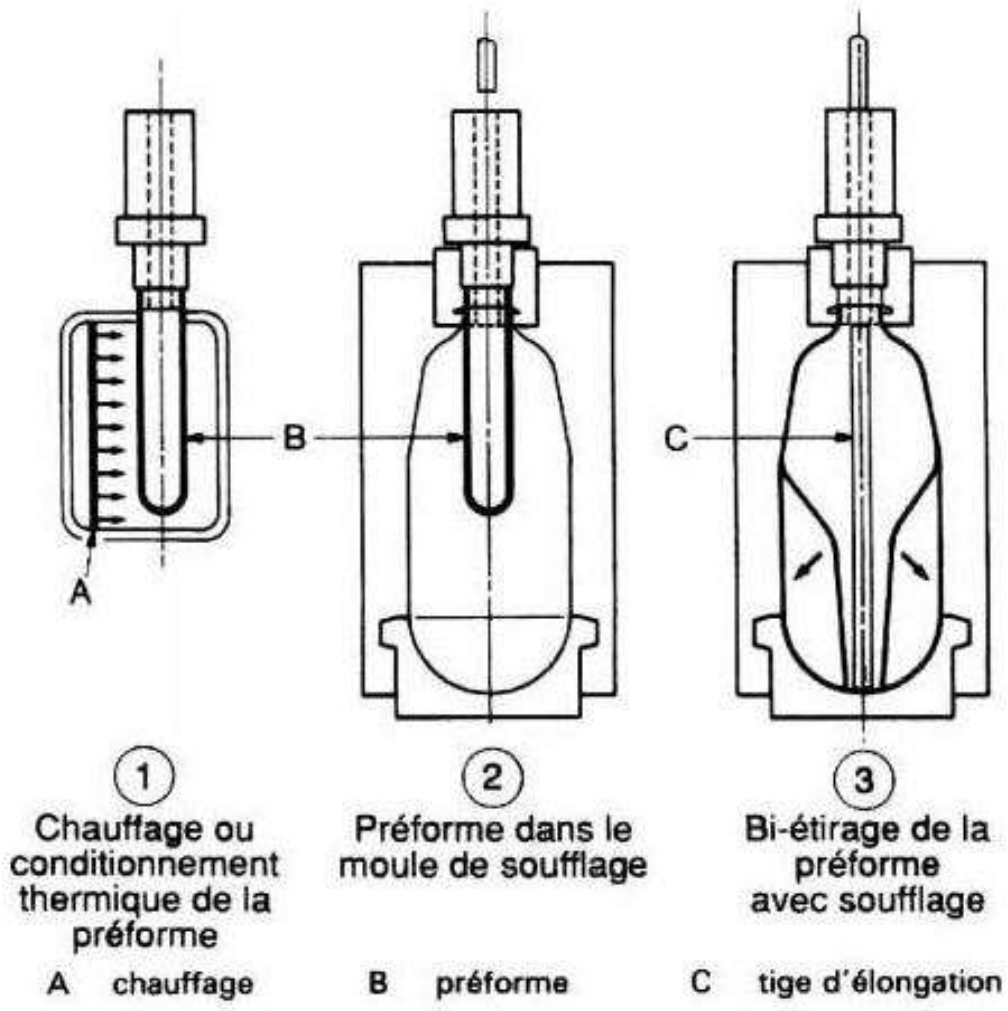
Cycle froid est un procédé de fabrication de corps creux, plus précisément de bouteilles, particulièrement adapté au PET, ou polyéthylène téréphtalate.

Il est composé de deux étapes :

Un semi-produit, appelé préforme, est d'abord moulé par injection ; il s'agit d'une sorte de tube à essai épais (2 à 4 mm) et relativement court (100 mm pour une bouteille de 1 L

Cet objet doit absolument être obtenu à l'état amorphe pour cela, le PET, dont l'état d'équilibre stable à 23 °C est semicristallin, doit être trempé dans le moule de la presse à injecter.

La préforme est dans un deuxième temps réchauffée puis introduite dans un moule ayant la forme de la bouteille.



Figuer.II.15. : Le soufflage bi-étirage

Principe de l'étirage-soufflage d'une bouteille plastique : une préforme est mise en place par une pince de transfert ; la canne d'étirage descend.

La canne stabilise la préforme pendant la fermeture du moule et le retrait de la pince de transfert.

La canne descend et tire le plastique vers le bas (étirage) ; simultanément, de l'air comprimé (environ 5 bar) étire la préforme radialement (présoufflage).

Cela assure la résistance mécanique de la bouteille par bi-orientation des chaînes polymères.

La pression est relâchée (dégazage) ; une pince de transfert saisit la bouteille, le moule s'ouvre ;

La canne remonte, la bouteille est évacuée tandis qu'une nouvele préforme arrive



Figure .II.16: Machine Le soufflage bi-étirage

II.6. Les avantages et inconvénients du soufflage :

II.6. 1. Les avantages :

Les avantages de cette technologie sont principalement l'investissement minime pour démarrer une production. La préforme ´étant soufflée immédiatement après avoir ´été injectée, il n'est pas nécessaire d'investir dans une logistique de stockage. Il n'est pas non plus n´nécessaire de réchauffer la préforme car elle est soufflée alors qu'elle est en train de refroidir ; la préforme est encore suffisamment chaude pour pouvoir être mise en forme par soufflage.

Le système de bullage étire le plastique par soufflage d'air et permet ainsi de garder une épaisseur stable sur la surface bombée. L'utilisation de ce procédé offre un rendu qualitatif.

Il est possible de souffler des matières plastiques opaques, diffusantes et même incolores

Cette technique ne permet cependant pas de créer des sphères complètes, seules des demi-sphères sont réalisables.

Pour arriver à une sphère complète ; il faudrait faire du roto moulage ou de l'extrusion soufflage.

II.6.2. Les inconvénients :

Les inconvénients de cette technologie découlent comme bien souvent de ses avantages. La qualité finale de la pièce dépend directement du bon calibrage de la phase d'injection en amont. Les phases de maintien et de refroidissement pos injection et donc pré-soufflage vont directement impacter la qualité de la pièce finale. Un refroidissement trop long ne conduira a une préforme que partiellement, voire non déformable car trop froide par endroit.

Une trop grande hétérogénéité du champ de température préchauffage induira un déséquilibre lors du soufflage.

L'absence de phase de réchauffages implique que la fenêtre de température du procédé n'est pas totalement contrôlable. Ceci limite donc le choix matériau, car certains matériaux ont une fenêtre de mise en forme très étroite et incompatible avec ce procédé´

II.7. fonctionnement de soufflage :

1. Une plaque de plastique est placée dans l'étuve pour y être chauffée. Le temps de chauffe et la température varient en fonction du type de matière et de son épaisseur.[21]
2. Une fois prête à être formée, la plaque est prise en étaux entre le plateau de la presse et un moule.
3. Une fois le moule bridé par la presse, on vient injecter un filet d'air pour commencer à souffler la demi-sphère.
4. Une fois le soufflage arrivé à la bonne hauteur, une partie de l'air est rejeté pour stabiliser la bulle. Elle ne soit ni s'affaisser ni continuer de gonfler. Il s'agit de la phase de refroidissement de la pièce.
5. Une fois la bulle figée, la presse relâche la pression et libère la pièce.

II.7.1. Principe soufflage :

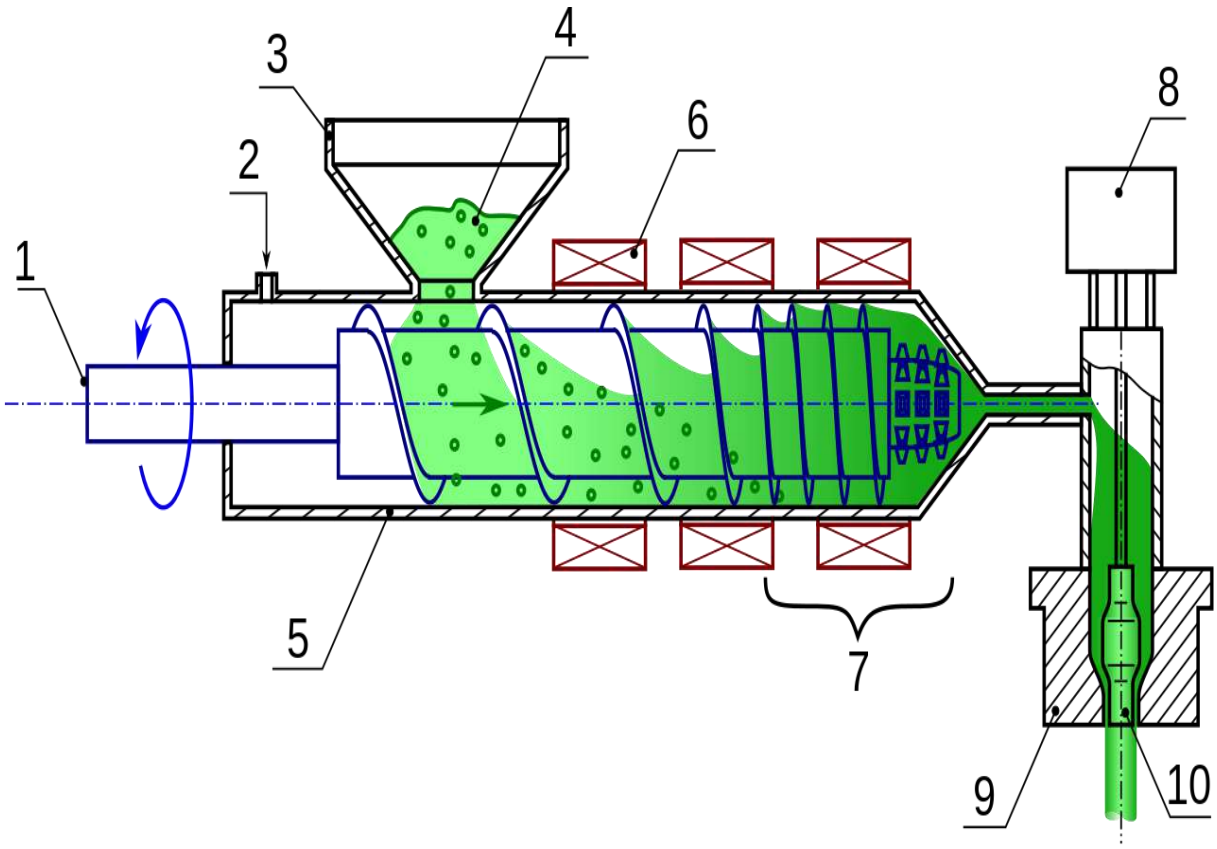


Figure .II.17 : Principe de l'extrusion-soufflage

1. vis d'extrusion ;
2. air comprimé ;
3. trémie ;
4. granulés ;
5. groupe de plastification ;
6. éléments chauffants ;
7. broyage, malaxage ;
8. groupe hydraulique pour le vérin ;
9. filière ;
10. noyau/poinçon.

Les machines de soufflage travaillent, en général, à partir de préformes ; ces dernières sont chauffées puis étirées, et prennent la forme d'un moule sous l'effet de la pression produite par la station de soufflage.

Les systèmes d'étirage sont pneumatiques ou mécaniques. Sont ici présentées également des machines qui travaillent par extrusion de matières plastique.

Certaines produisent des emballages avec étiquetage dans le moule (IML) ; une seule et même machine peut contenir une ou plusieurs stations de soufflage qui comportent elles-mêmes une ou plusieurs cavités avec, pour conséquence, des cadences plus ou moins élevées.

Les préformes se déplacent sur un plateau rotatif ou de manière transversale la plupart des machines ici présentées fonctionnent en automatique et sont polyvalentes. Elles sont, en effet, conçues pour fabriquer des emballages de plusieurs tailles[22] et dans différentes matières, en mono ou en multicouches.

Un soin tout particulier est apporté par les constructeurs pour améliorer la qualité, réduire les coûts de fonctionnement et de maintenance, tout en augmentation la polyvalence.

D'où la proposition de nombreuses options comme le recyclage de l'air de soufflage avec filtration, l'inspection visuelle des préformes, la régulation de la vitesse d'étirage ou l'installation d'un système de pré soufflage.

Nous verrons la technique expérimentale adoptée qui consiste des fabrication " des jerricanes " nous avons faits ;

Dans le but de voir et d'étudier les effets de la charge CC sur la matière premier HDPE on a fait 4 étapes pour avoir combien de charge (CC) on peut utiliser sur le produit 100% matière première sans perdre ces caractéristiques ou pour avoir presque les mêmes

On a employé 100% une matière première HDPE de 6 kg

- Le poids du produit **:**180 g
- Carottes (Déchets) **:**43 g



Figure .II.18 : Sac de matière premier HDPE

SABIC® HDPE B5429

HIGH DENSITY POLYETHYLENE

DESCRIPTION

B5429 grade is medium molecular weight High Density Polyethylene copolymer. They are primarily intended for blow molding articles of small sizes. B5429 series grades offer excellent combination of toughness, stress cracking resistance, load bearing strength with easy processability. The grade available with antistatic additive is B5429A.

TYPICAL APPLICATIONS

B5429 is classified as a multipurpose blow molding grade. It may be blow molded into containers for household and industrial chemicals (eg. Detergents, bleach, fabric softeners, solvents, paints etc), automotive supplies, foodstuffs, toiletries and cosmetics . They can also be used in other hollow thin walled parts and profile extrusions.

TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20170531

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
POLYMER PROPERTIES			
Melt Flow Rate			
at 190°C and 2.16 kg (1)	0.3	g/10 min	ASTM D1238
at 190°C and 21.6 kg (1)	29	g/10 min	ASTM D1238
Density at 23°C (2)	954	kg/m³	ASTM D1505
MECHANICAL PROPERTIES (1) (2)			
1% Secant Modulus (2)	1050	MPa	ASTM D638
Tensile Strength at Yield (2)	28	MPa	ASTM D638
Tensile Strength at Break (2)	19	MPa	ASTM D638
Tensile Elongation at Break (2)	> 500	%	ASTM D638
Flexural Strength (2)	25	MPa	ASTM D790
Flexural Modulus (2)	1000	MPa	ASTM D790
Izod Impact Strength (2)	180	J/m	ASTM D256
Hardness (Shore D) (2)	65	-	ASTM D2240
ESCR (100% Igepal), F50 (2)	100	hrs	ASTM D1693B
ESCR (10% Igepal), F50 (2)	60	hrs	ASTM D1693B
THERMAL PROPERTIES			
Vicat Softening Point (2)	121	°C	ASTM D1525
Brittleness Temperature (2)	< -75	°C	ASTM D746

© 2017 Copyright by SABIC. All rights reserved

CHEMISTRY THAT MATTERS™

Figure .II.19 : Fiche technique de la matière première HDPE utilisée.



Figure .II.20 : La charge PC

micro

MICRO-FL-1014 A

Technical Data Sheet (TDS)

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Property	Method	Typical Values
Melt Index, 190^0 C, 2.16 kg	ASTM D1238	0.1g/10min
Moisture	ASTM D7191-10	<1000 ppm
Bulk Density	ASTM D1895B	1.14 g/cm^3
Density	ASTM D792	1.76 g/cm^3
Calcium Carbonate	ASTM D5630	81 %
Mean particle size (D50)	Supplier	1.89
Top cut (D98)	Supplier	7

Typical values are provided for reference only, and cannot be used for specification. These values are only provided as a general guide, and are not intended to represent any warranty, guarantee of merchantability, or fitness for a particular purpose. All users should perform their own tests to determine performance in their material systems and equipment.

DOSAGE

A ratio of 1 to 50% depending on the end use application

PRODUCT FORM AND PACKAGING

Off-white Masterbatch in pellet form, packed in PE bags of 25 kg each, 1000kg Gaylords or 1000kg FIBC bags.

PRODUCT DESCRIPTION

This product is an economical Masterbatch based on very fine particle size coated Calcium Carbonate with LLDPE carrier which contributes to extrusion process stability and improved output.
It is also recommended for PE colored films for its anti-blocking properties and hiding power.

APPLICATIONS

- Blown film (mono and extrusion)
  - Garbage bag (low thickness)
  - grocery bags
  - Medium duty bags
- Blow molding

Detailed information on special applications can be provided by our Technical Department.

LIFETIME AND STORAGE

Not to exceed 12 months. Storage in very humid areas or under direct sunlight for long periods should be avoided

ENVIRONMENTAL COMMITMENT

Calcium Carbonate is a naturally occurring mineral with thermal characteristics that result in improved productivity and reduced energy consumption thus lowering the carbon footprint of finished products.

REGULATORY COMPLIANCE

Ingredients in this Masterbatch comply with the requirements of the U.S. FDA regulations covering safe use in food contact applications.

Detailed information is available upon request.

V20151105

Figure .II.21 : Fiche technique de la charge utilisée.

L'influence de la charge (charge) 20%

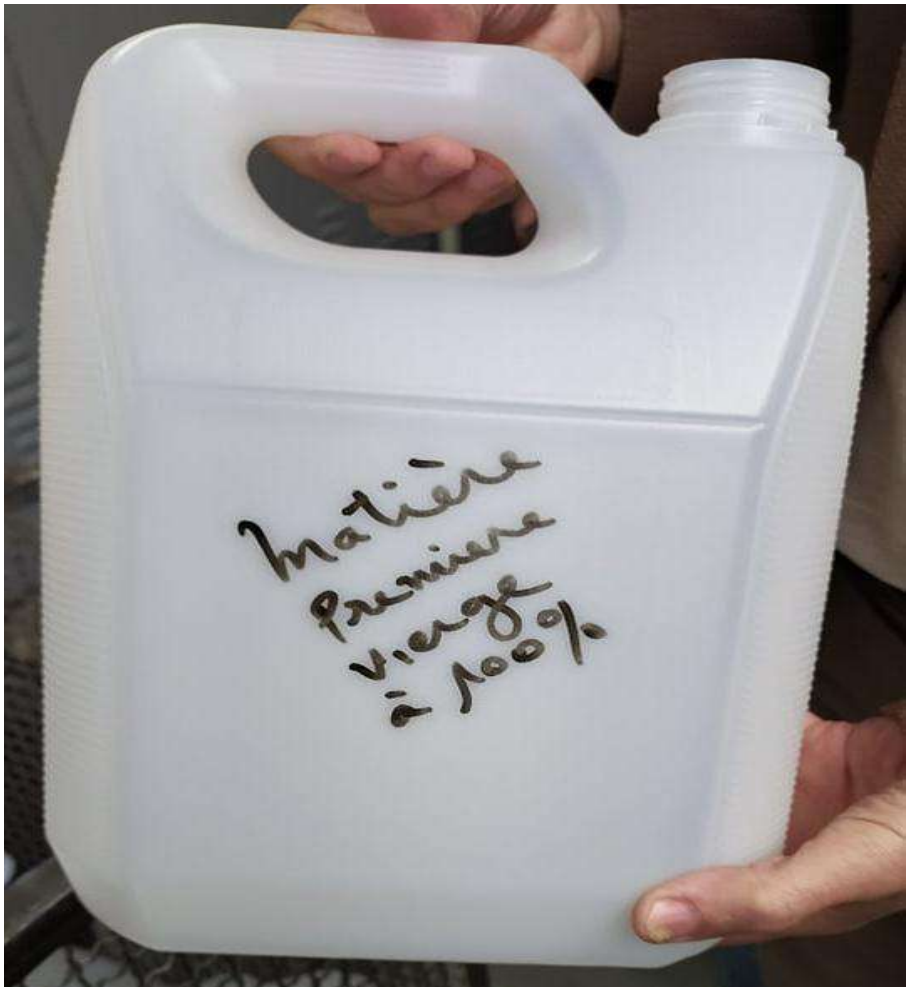


Figure .II.22 :100% la matière première HDPE

1er étape :

- ✓ 5kg de la matière
- ✓ première la charge :1kg = 20%





Figure .II.23 : 20% de charge & 80% de HDPE

- poids du produit : 166.5 g
- carottes (Déchets) : 88.5 g

2eme étapes :

- ✓ 5kg de la matière première
- ✓ la charge : 1.5 kg = 30%



Figure .II.24 :30% de charge &70% de HDPE

- poid du produit : 176.3 g
- carottes (Déchets) : 79 g

3eme étapes :

- ✓ 5kg de la matière première
- ✓ la charge : 2 kg = 40%



Figure .II.25: 40% de la charge & 60% de HDPE

- poids du produit : 181.5 g
- carottes (Déchets) : 106 g

4eme étapes :

- ✓ 5kg de la matière première
- ✓ la charge 50%



Figure .II .26 : 50% de charge & 50% de HDPE

- Poids du produit :167 g
- carottes (Déchets) :100 g

Observation :

1. _la qualité de la couleur a changé elle est devenue plus mate.
2. _la charge progresse à 30 % par du poids de produit.
3. _le produit perd sa briance.
4. _l'état de surface est un peu atténué.

Conclusion générale

Tout au long de la préparation de notre projet de fin d'études, nous avons essayé de mettre en pratique nos connaissances acquises durant nos études universitaires pour cela on a voulu utiliser de la matière broyée qui est moins couteuse que celle de la matière vierge comme on a aussi utilisée de la charge (carbonate de calcium) afin d'arriver à avoir un produit fiable et moins couteux avec le procédé extrusion soufflage.

Au cours de cette mémoire, nous avons étudié et implémenté les essais d'extrusion soufflage de HDPE (**High Density Polyethylene).**

Les critères de comparaisons pris prises en considération sont :

- La vitesse et le temps de l'opération d'extrusion soufflage
- La qualité et la performance de l'opération des produits qui ont étaient fabriqué
- Et enfin la variation de la charge et son influence sur les produits ainsi préparés.

D'après une étude comparative que nous avons réalisée, nous avons remarqué que le la qualité de surface des produits est changer avec l'augmentation de la charge, également la densité et la couleur sont un peu changées, le produit est devenu un peu plus mat.

Nous avons observé aussi, que la cadence de production est ralentie en augmentant le pourcentage de CC (la charge).

<u>En perspective ce travail aurait pu être plus étoffé si :</u>

- Améliorer le contrôle de la charge dans le HDPE
- Compléter la caractérisation par des essais de traction et compression pour obtenir

E: module de Young ; Rm: résistance à la traction ; Rp: la limite d'allongement.

En perspective, nous souhaitons que les projets à venir travailleront sur cet aspect que nous souhaitions faire, mais malheureusement, le cas que traverse notre pays et le monde entier, nous n'a pas permis d'aboutir à notre aspiration.

Références bibliographiques

[1] https://www.novethic.fr/lexique/detail/pvc.html

[2] 21 décembre2006 Auteur(s): bricoleur du dimanche https://www.bricoleurdudimanche.com/fiches-materiaux/plastiques/les-polychlorures-de-vinyle-pcv-pvc.html)

[3] http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1084/6/chapitre1.pdf

[4] https://www.usinenouvelle.com/expo/guides-d-achat/l-essentiel-a-savoir-sur-le-pvc-313

[5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Poly%C3%A9thyl%C3%A8ne_haute_densit% C3%A9

[6] https://www.synoxis.fr/le-soufflage-des-matieres-plastiques/

[7] https://www.emballa gesmagazine.com/actualites/machines-de-soufflage.7784.

[8]https://www.usinenouvelle.com/expo/guides-d-achat/l-essentiel-a-savoir-sur-le-pvc-313

[9] Thèse de magistère par L.Kanouni .Développement d'une technique de mesure de la vitesse de fissuration dans les dents dégermages en polymère Annaba 2010

[10] http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1084/6/chapitre1.pdf

[11] https://www.synoxis.fr/le-soufflage-des-matieres-plastiques/

[12] THÈSE Étude Des Polymères Par Dynamiques Moléculaire Thèse soutenue publiquement le : 30/06 /2015.

[13] Thèse Elaboration et caractérisation fonctionnelle de matériaux polymères Soutenance prévue le 9 Octobre 2012 .

[14] THESE Doctorat Caractérisations des mélanges et des nanocomposites à base de poly(acide lactique) et de polycarbonate après les réactions de transestérification catalysées par le samarium acétylacétonate .

[15] Thèse Etude Expérimentale du Comportement Mécanique des Polymères Année 2011

[16] Techniques de l'ingénieur par **Didier SAPIN** Ingénieur de l'École d'Application des Hauts Polymères de Strasbourg Responsable Recherche-développement et Qualité CTE Compounding Technology Euro S.A.et **Jean DASNOY-SUMELL** Ingénieur Civil Métallurgiste de l'Université Catholique de Louvain Responsable du développement des marchés Monsanto Europe S.A

[17] Matériaux polymères structure, propriétés et applications par **Gottfried W Ehrenstein** et **Fabienne Montagne** édition HERMES science Publication paris 2017

[18] https://www.synoxis.fr/le-soufflage-des-matieres-plastiques/

[19] http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1084/6/chapitre1