

LES POLYMERES

1- Définition du polymère.

Un polymère appelé "*matières plastiques*", est une : une molécule de grande taille (macromolécule) formée par l'assemblage d'un grand nombre de molécules identiques ou (unités de répétition) appelés motifs ou monomères. Le nombre de motifs peut être extrêmement élevé, jusqu'à 10^5 et peuvent mesurer quelques micromètres, Les polymères ont des poids moléculaires élevés.

Les polymères sont des macromolécules généralement organiques formées en joignant par covalence une ou plusieurs monomères formant de longues chaînes reliés entre eux par des forces de Van der Waals, les liaisons Hydrogène ou des interactions hydrophobes. Certains polymères sont hydrosolubles quand d'autres sont hydrophiles et d'autres encore sont liposolubles. On distingue deux grandes familles de polymères :

- a) **Polymères naturels:** Par exemple les polysaccharides (la cellulose), le caoutchouc naturel ou le latex, etc et les biomolécules qui composent les êtres vivants comme protéines, les acides nucléiques. Les polymères naturels sont la base de certains des premiers matériaux utilisés par l'homme: fibres de bois et de végétaux, cuir, tendons d'animaux, laine, soie et cellulose, etc.
- b) **Polymères synthétiques:** Sont commencés à apparaître au milieu du 19^{ème} siècle. Elles sont obtenues par transformation de polymères naturels afin d'améliorer leurs propriétés physiques pour pouvoir les utiliser. Par exemples Goodyear 1839 a modifié le caoutchouc en le chauffant avec du soufre, pour obtenir le caoutchouc vulcanisé, résistant à la température (pneus de voiture). Le chimiste Schönbein a accidentellement synthétisé en 1846 Le nitrate de cellulose et Hyatt 1868, a synthétisé le celluloïde à partir de nitrate de cellulose. Ceci a contribué au développement des fibres synthétiques appelées nylons. Le chimiste Hendrik Baekeland 1907 développa le premier polymère entièrement synthétique, la bakélite. D'autres polymères importants ont été synthétisés dans les années suivantes, le polystyrène en 1911 ou le polychlorure de vinyle (PVC) en 1912.

2- Exemples de polymères :

Les polymères étaient autrefois principalement regroupés en termes de chimie globale de la réaction de polymérisation. On distingue :

Polymères d'addition : Les molécules qui s'additionnaient simplement,

Polymères de condensation : celles qui réunissaient et en même temps éliminaient une ou plusieurs petites molécules.

Afin de lier un grand nombre de monomères, il est nécessaire pour que chaque extrémité des molécules soit rendue chimiquement réactive. Généralement, cela implique de casser liaisons chimiques pour produire deux demi-liaisons réactives.

Le point de départ le plus simple pour une discussion de ce processus est la molécule de monomère éthène (éthylène): **-CH₂-CH₂-** (l'unité). La polymérisation du monomère correspond à l'ouverture de la double liaison pour former, ainsi la formule chimique du polymère résultant, appelé polyéthylène ou polyéthylène, est: **[CH₂-CH₂]_n**, où n prend une valeur de plusieurs milliers.

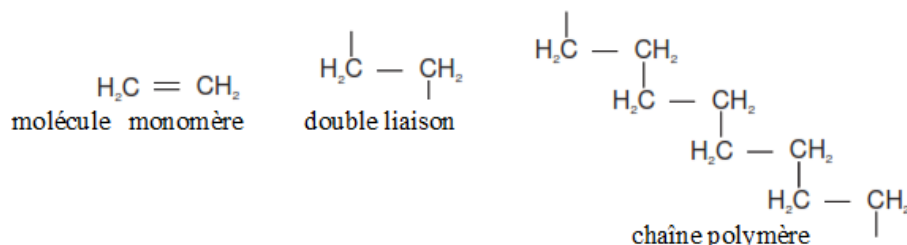


Tableau.1. Addition de polymères

Monomer source	Polymer formula	Names	Uses
CH ₂ =CH ₂ (ethene, ethylene)	(CH ₂ -CH ₂) _n	Polyethylene, polythene, PE	Squeeze bottles, food bags, dishes, insulation, coatings
CH ₂ =CH Cl (vinyl chloride)	(CH ₂ -CHCl) _n	Poly(vinyl chloride), PVC	Pipes, floor covering, insulation, adhesives, films, credit cards
CH ₂ =CCl ₂ (vinylidene chloride)	(CH ₂ -CCl ₂) _n	Poly(vinylidene chloride)	Food wraps, fibres, cling film
CH ₂ =CH CH ₃ (propylene)	(CH ₂ -CH (CH ₃)) _n	Polypropylene, PP	Pipes, valves, carpets
CH ₂ =CH C ₆ H ₅ (styrene)	(CH ₂ -CH (C ₆ H ₅)) _n	Polystyrene, PS	Jugs, cups, packaging, styrofoam, appliance parts
CH ₂ =CH CN (acrylonitrile)	(CH ₂ -CH (CN)) _n	Polyacrylonitrile, PAN, Orlon, Acrilan	Fabrics, carpets, high-impact plastics
CH ₂ =CH COOCH ₃ (vinyl acetate)	(CH ₂ -CH (CH ₃ COO)) _n	Poly(vinyl acetate), PVA	Wood adhesives, paper coatings, latex paints
CF ₂ =CF ₂ (tetrafluoroethene)	(CF ₂ -CF ₂) _n	Poly(tetrafluoroethylene), PTFE, Teflon	Non-stick coating, electrical insulation, bearings
CH ₂ =C(CH ₃)COOCH ₃ (methyl methacrylate)	(CH ₂ -C(CH ₃)COOCH ₃) _n	Poly(methyl methacrylate) Perspex, Lucite, Plexiglass	Substitute glass, acrylic paints, pipes
CH ₂ =CH - CH=CH ₂ (1,3-butadiene)	(CH ₂ - CH - CH - CH ₂) _n	Polybutadiene, buna rubber	Tyres, hoses, pond liners

3- Classification des polymères :

En fonction de leur réaction à la chaleur, On classe les polymères en 3 types: les thermodurcissables, les thermoplastiques et les élastomères.

Les thermoplastiques : peuvent être fondus et reformés plusieurs fois. Cette propriété offre l'avantage de la possibilité de les modeler, les tirer ou les mouler à l'état fondu. Exemple le cas du polyéthylène, du polypropylène, des polyamides, de certains polyesters.

- **Les thermodurcissables** : ne peuvent être formés qu'une seule fois; ils ne peuvent pas être refondus. Exemple les colles ou les peintures. Ils sont employés comme pièces de structure thermostables, par exemple les résines polyépoxydes, certains polyuréthanes,

certains polyesters. Formées à l'état mou avant qu'ils ne durcissent sous l'effet de la chaleur et d'additifs chimiques qui induisent la réaction de polymérisation.

- **Les élastomères** : peuvent être déformés en une quantité considérable et revenir rapidement à leur taille d'origine lorsque la force est supprimée.

4- Microstructure des polymères :

Bien que la composition chimique des polymères influence les propriétés, l'aspect de loin le plus important est celui de la microstructure. Les caractéristiques les plus significatives de la microstructure du polymère sont :

- La longueur de la chaîne,
- La ramification de chaîne,
- Les groupes latéraux de chaîne (qui contribuent à la rigidité de la chaîne) et
- La résistance des réticulations entre les chaînes.
- Le degré de cristallinité du polymère, qui dépend des facteurs qui viennent d'être énumérés, est également d'une importance considérable. En fait, la force de la plupart des polymères thermoplastiques dépend de manière critique sur ce dernier facteur.

4-1- Les polymères :

La polymérisation implique la rupture et le reformage d'un grand nombre de liaisons chimiques, et ce processus aboutit à un certain nombre de structures moléculaires différentes (figure).

Souvent, les chaînes ne sont pas simplement linéaires mais ont également des branches latérales, qui peuvent réticuler des molécules. La croissance de plusieurs chaînes peut également commencer à partir d'un petit centre de nucléation, et le résultat des chaînes peuvent se ramifier pour donner une structure dendritique. Toutes ces géométries moléculaires confèrent des propriétés physiques différentes au polymère résultant.

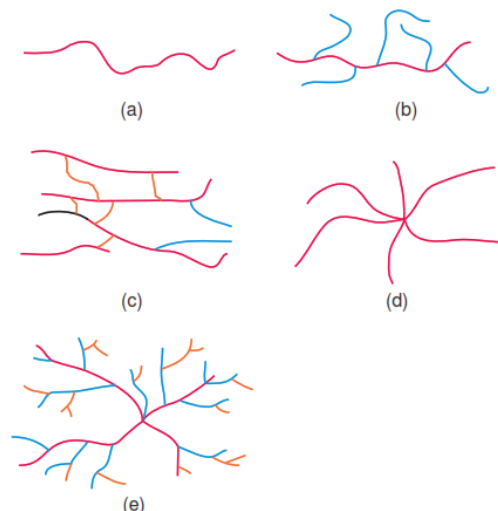
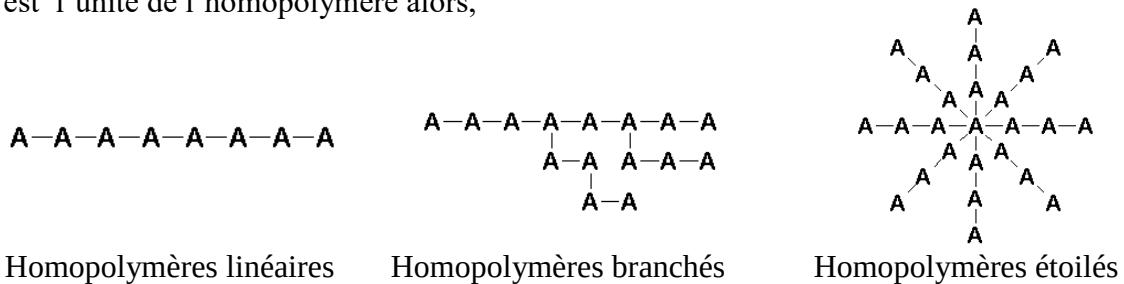


Figure.1 . Géométries des chaînes polymères: (a) linéaires; (b) ramifié; (c) réticulé; (d) étoile; (e) dendrimère.

Selon l'architecture, il y a deux types de polymères :

Les homopolymères : sont des polymères qui *ne possèdent qu'une seule unité*. exemple le polyéthylène. Il existe, au sein des homopolymères, différentes familles. si l'on considère que « A » est l'unité de l'homopolymère alors,



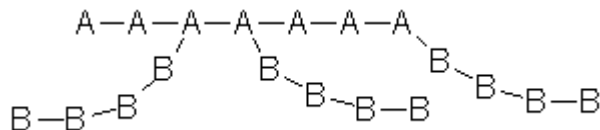
Les copolymères : qui sont des polymères *qui possèdent plusieurs unités*. Les copolymères peuvent se classer dans différentes familles. On parle alors de modes de copolymères. Si A et B seront deux unités différentes du copolymère. Parmi les différents modes de copolymères, nous trouvons :

Le mode statistique : A-A-B-A-B-B-B-B-A-A-B-A

Le mode alterné : A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A

Le mode séquencé. A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-B

Le mode greffé :



Les polymères, qu'ils soient homo ou copolymères, peuvent être **réticulés**.

4-2- Les Élastomères:

Les élastomères sont des matériaux qui se comportent comme du caoutchouc. Ils peuvent être étirés jusqu'à plusieurs fois leur longueur d'origine et, lorsque la force est relâchée, ils reprennent leur taille et leur forme d'origine. Les élastomères sont un sous-groupe de thermoplastiques amorphes avec la particularité de dépendre de la température de transition vitreuse, T_g , du polymère. Les thermoplastiques normaux ont une température de transition vitreuse bien supérieure à la température ambiante et se comportent comme des solides durs et cassants. Ceux dont la température de transition vitreuse est inférieure à la température ambiante sont souples et peuvent être facilement déformés à température ambiante. Ce sont des élastomères. Refroidir un élastomère bien en dessous de sa température de transition vitreuse le rendra dur et cassant.

Par exemple, un morceau de tube en caoutchouc trempé dans de l'azote liquide devient cassant et peut facilement être brisé avec un coup de marteau. Dans sa forme normale, la microstructure d'un élastomère est un désordre de chaînes polymères enroulées enchevêtrées (figure.5.a). Lorsqu'elles sont étirées, les chaînes ont tendance à s'aligner partiellement parallèlement les unes aux autres (Figure.5.b). L'état étiré est thermodynamiquement moins

stable que l'état enroulé, et le matériau reviendra à l'état enroulé lorsque la contrainte de déformation est supprimée. L'entropie de l'état enroulé est supérieure à celle de l'état étiré et fournit la force motrice du matériau pour revenir à la configuration enroulée. Cependant, l'entropie ne contrôle pas à elle seule la propriété clé de «retour en arrière» des élastomères. Ceci est assuré par la réticulation de quelques-unes des molécules d'élastomère à l'aide d'autres molécules. Lorsque l'élastomère est maintenant étiré, certaines des liaisons dans les réticulations sont étirées, et celles-ci ressortent rapidement lorsque la tension est relâchée.

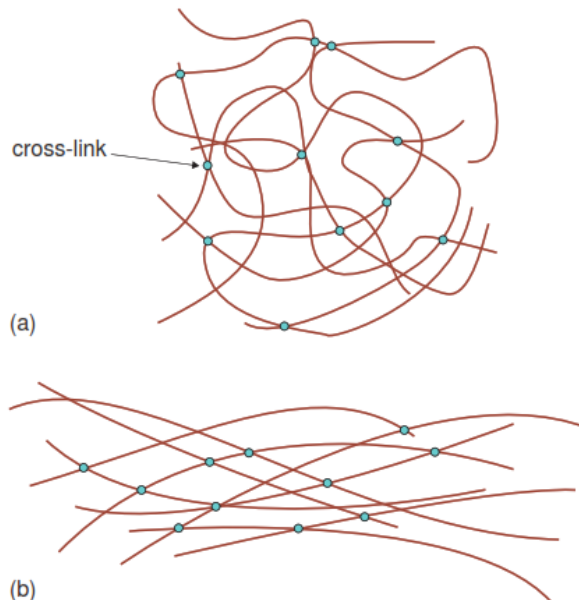


Figure.5. Schématisation d'un élastomère dans (a) un état non étiré et (b) un état étiré.

4-3- Polymères renforcés de fibres :

Les fibres

Les fibres naturelles : tel que fils textiles et cordages par exemple le coton, le lin le chanvre, la soie et la laine. Ils sont extrêmement allongés dans un sens, et une section toute petite. Elles sont utilisées pour leur teneur mécanique dans le sens de la longueur. Cette propriété provient d'un constituant, la cellulose, polymère naturel du glucose.

Les polymères synthétiques : 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 6).

Les microstructures des fibres sont de toutes sortes :

Amorphes : exemple (fibres transparentes en polyméthacrylate de méthyle pour l'optique, fil de pêche en polyamide),

Semi-cristallines : cas du Kevlar, un polyaramide. Souvent, les molécules s'étirent parallèlement à l'axe de fibre. Dans cette configuration la fibre possède la meilleure résistance

à la traction. On peut fabriquer des fibres ultra-résistantes. Grâce à des enchevêtrements ou par des liaisons hydrogène (figure 7).



Fig.6. Dans une toile, les fils de coton entrecroisés sont faits de faisceaux de fibres (microscopie électronique,)

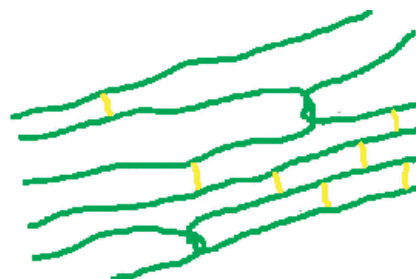


Fig.7. Dans une fibre à haute résistance, les molécules (en vert) sont parallèles et sont reliées par des nœuds ou par des liaisons hydrogène (en jaune)

4-4- Les polymères cristaux-liquides ou mésomorphes

Les molécules des cristaux-liquides ne sont pas isotropes (leur forme n'a pas d'orientation privilégiée). Elles ont une forme rigide qui possède une **orientation privilégiée**. Elles sont par exemple allongées sous forme de bâtonnets (figure.8). Ces bâtonnets ont tendance à s'empiler côte à côte, parallèlement les uns aux autres. Par rapport aux structures amorphe et cristalline, **un ordre d'orientation** a été introduit, une anisotropie dans la structure.

Une autre façon d'introduire les bâtonnets rigides dans une macromolécule est de les attacher comme pendentifs le long d'une chaîne flexible (figure.9). On obtient des polymères cristaux-liquides en peigne. Ils adoptent naturellement une structure en couches constituées par les "dents" du peigne.



Fig.8. Macromolécule de polymère cristal-liquide linéaire

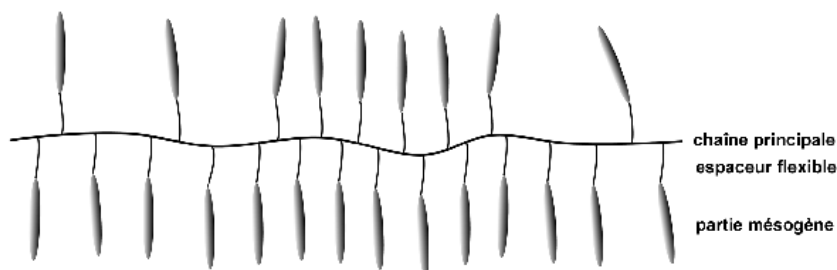


Fig.9. Macromolécule de polymère cristal-liquide en peigne

4-5- Les polymères associés

Afin d'améliorer ou d'adapter les caractéristiques des polymères, on leur ajoute ou on leur associe d'autres substances: additifs chimiques, minéraux, gaz, fibres de renforts, autres polymères.

1) Les additifs

Dans les polymères, on ajoute systématiquement des substances chimiques appelées additifs destinées à modifier leurs caractéristiques: dureté, aspect (agents gonflants), couleur (pigments), résistance chimique (agents antioxydants). Les plastifiants favorisent leur mise en forme en les rendant plus souples, ou plus coulants lorsqu'ils sont chauffés. Le polychlorure de vinyle (PVC) est un produit rigide et dur employé par exemple pour la fabrication de tuyaux. Si on lui ajoute un plastifiant, il devient souple et sert à la fabrication de toiles cirées.

2) Les mousses de polymères

Les mousses sont obtenues en incorporant des microbulles de gaz à l'intérieur du polymère. Deux exemples connus de mousses de polymères sont les matelas-mousses en polyuréthane et le polystyrène expansé. Le premier est intéressant pour sa souplesse (ameublement) et le second pour ses propriétés d'isolation (bâtiment) ou sa capacité à amortir les chocs (emballages).

3) Les polymères renforcés ou composites

Afin de renforcer un polymère, on peut le parsemer de diverses substances soit sous forme de particules, soit sous forme de fibres. On dit que le polymère constitue la matrice et qu'il est chargé ou renforcé de particules ou de fibres.

Le polypropylène dont sont faites les tables et chaises de jardin contient des particules de talc qui augmentent sa rigidité, sa résistance à la chaleur, sa tenue à la lumière, et diminuent le coût des matières premières. Dans les composites dentaires, les charges sont des particules de silice, dont l'intérêt est de diminuer le retrait lors de la polymérisation et d'augmenter la compatibilité du matériau avec les tissus vivants. Les élastomères des pneus sont chargés de noir de carbone.

Pour obtenir de hautes performances mécaniques, il vaut mieux renforcer les matrices par des fibres longues disposées de façon régulière et ordonnée. Ce sont des fibres minérales telles que fibres de verre ou de carbone, fibres polymères (polyaramides, polyesters aromatiques, polyéthylène) ou fibres végétales (lin, chanvre). Elles sont disposées en **tissus** orientés à une ou deux dimensions, ou tressées en trois dimensions.

Les matrices sont choisies en fonction de leur tenue à la chaleur. Les plus résistantes sont les thermodurcissables comme les polyesters insaturés et les polyépoxydes, mais les thermoplastiques ont l'avantage d'être stockés et mis en œuvre plus facilement, d'être recyclables, et certains peuvent résister à de hautes températures de l'ordre de 250°C (polytéréphtalate d'éthylène, polyparaphénylène). La qualité d'un composite dépend de la qualité de l'imprégnation des fibres par la matrice.

4) Les mélanges de polymères

Le polystyrène est un polymère très employé, transparent et rigide, mais cassant. Un bon moyen de remédier à cette faiblesse vis-à-vis des chocs est de lui incorporer un autre

polymère absorbant les chocs, un élastomère appelé polybutadiène. On aboutit à un matériau différent, opaque, macroscopiquement homogène, le polystyrène-choc. Le polybutadiène, en proportion de quelques pour cent, est **dispersé sous forme de gouttelettes** de quelques micromètres de diamètre.

On fait souvent appel aux mélanges pour associer diverses sortes de polymères, quoiqu'**il ne soit pas facile de mélanger deux polymères différents**. Ils ont tendance à vouloir se séparer. Il faut leur appliquer un brassage énergique et leur ajouter des émulsifiants pour obtenir un mélange homogène. Cependant au niveau microscopique, les deux polymères restent distincts, ainsi qu'on peut le constater en microscopie électronique (figure 10).

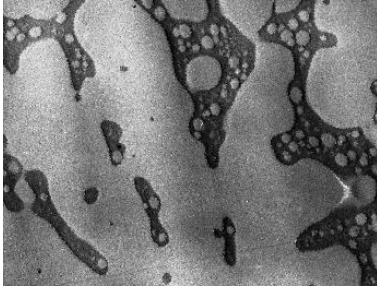


Fig.10- Mélange d'un thermoplastique et d'une résine polyépoxyde

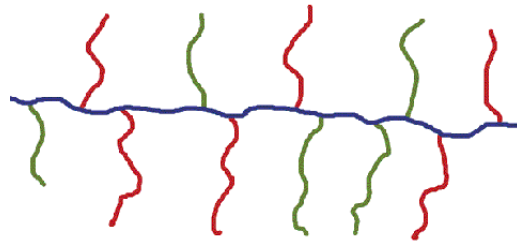


Fig.11- Molécule de copolymère en peigne à trois composants.

5) Les copolymères

Pour éviter que deux polymères différents ne se séparent trop fortement comme dans un mélange, on peut **associer chimiquement leurs monomères au sein d'une même molécule**. Le procédé est plus élaboré qu'un mélange et les produits obtenus sont employés dans des applications plus techniques.

Par exemple, la molécule peut comporter à la fois de l'éthylène et du propylène. On a un copolymère éthylène - propylène. Il y a plusieurs types d'assemblages possibles dans une molécule:

Si les monomères sont disposés en blocs, chaque bloc étant composé d'un seul type de monomères (copolymère à blocs), le copolymère présente les qualités de ses deux composants: l'éthylène apporte au polypropylène une meilleure tenue au froid. En général, le nombre de blocs est limité à deux ou trois. Les blocs sont associés en ligne, en étoile ou en peigne (figure 11)

Si les monomères sont disposés au hasard (copolymère statistique), la molécule perd sa régularité et sa capacité à cristalliser. Le copolymère statistique d'éthylène - propylène est amorphe et plus souple que le polypropylène.

5- Propriétés des polymères :

5-1- Masse molaire des polymères :

Les polymères sont constitués de longues chaînes de longueur variable qui ne peuvent être caractérisées par une masse molaire constante. En effet, les polymères réticulés peuvent être

considérés comme une seule molécule, de sorte que la masse molaire est la masse totale de l'objet. Cependant, il est utile d'avoir une mesure du degré de polymérisation ou de la distribution des longueurs de chaîne dans un polymère, et ceci est donné en termes de masse molaire moyenne.

Afin de quantifier la longueur de la chaîne, la masse molaire doit être définie statistiquement. La moyenne numérique la masse molaire, M_n , est donnée par:

$$M_n = \frac{\sum x_i M_i}{\sum x_i}$$

$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$$

Où;

x_i : est la fraction du nombre total de chaînes dans la gamme de masse molaire choisie,
 n_i : est le nombre de molécules de masse molaire M_i .

Une autre alternative de mesure, la masse molaire moyenne en poids, M_w , tient compte du fait que la majeure partie de la masse de l'échantillon réside dans des molécules plus grosses.

$$M_w = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i}$$

$$w_i = \frac{n_i M_i}{\sum n_i M_i}$$

Où ;

w_i : est la fraction massique de chaque type de molécule présente dans la gamme de masse molaire choisie.

La masse molaire peut également être déterminée expérimentalement. Une méthode fréquemment utilisée consiste à mesurer la viscosité d'une solution contenant le polymère. Une viscosité plus élevée indique des chaînes plus longues et une masse molaire plus élevée. La masse molaire ainsi déterminée, M_v , se situe entre M_n et M_w (figure). Le degré de polymérisation, N , est le nombre d'unités monomères dans une chaîne moyenne. Il est donné par la masse molaire divisée par la masse du monomère, m . La valeur obtenue dépend de laquelle des différentes valeurs de masse moléculaire est choisie.

$$N_n = \frac{M_n}{m} \quad N_w = \frac{M_w}{m} \quad N_v = \frac{M_v}{m}$$

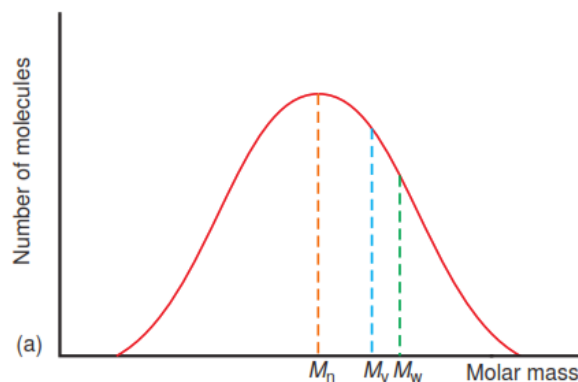
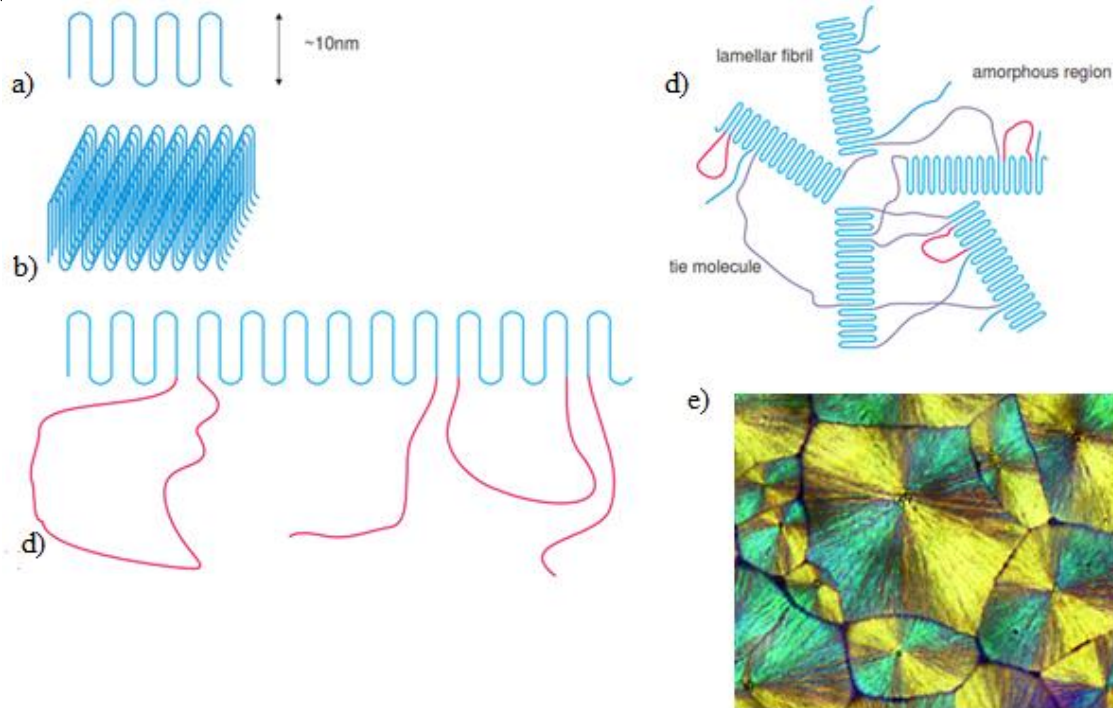


Figure.12.: Masse moléculaire d'un polymère. Distribution idéalisée: M_n est la masse moléculaire moyenne, M_v est la masse moléculaire de viscosité et M_w la masse moléculaire moyenne en poids.

5-2- Structure cristalline:

Dans les polymères, les chaînes droites se produisent rarement. Le plus souvent, les chaînes se replient sur elles-mêmes avec une longueur de pliage caractéristique (figure.13.a). Les chaînes pliées s'agrègent en blocs qui ont une structure régulière semblable à un cristal. Cette unité de microstructure est appelée lamelle (figure.13.b). Les lamelles ne sont généralement pas constituées d'une seule chaîne pliée, mais sont formées par une variété de chaînes voisines (figure.13.c). Les parties des chaînes non incorporées dans les lamelles relient alors une lamelle à une autre dans le matériau partiellement cristallin. Lors de la cristallisation de la masse fondue, des lamelles se forment en trois dimensions, à partir d'un site de nucléation, pour former une sphérulite. Cette caractéristique consiste en un ensemble de rayons, appelés fibres lamellaires, rayonnant depuis un centre commun vers les régions amorphes interposées (figure.13.d). Le degré auquel un polymère peut cristalliser dépend des détails de la chaîne.



La figure.13. Structure schématique (a) Les chaînes polymères en polyéthylène se replient sur elles-mêmes environ tous les 10nm. (b) Les chaînes pliées s'agrègent pour former une lamelle. (c) Les lamelles peuvent contenir plus d'une chaîne polymère, ou une chaîne repliée dans l'agencement d) une sphérulite en polyéthylène. e) Sphérulite dans du polysulfure de phénylène (microscopie optique).

Le degré de cristallinité d'un polymère peut être déterminé si la densité des cristaux de polymère et du matériau purement amorphe est connue. Le raisonnement est exactement le même que celui utilisé dans la loi de Vegard, pour la détermination du paramètre de réseau d'une solution solide. La fraction de polymère cristallin, x_c , est:

Où

$$x_c = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_c - \rho_a}$$

ρ_s : est la densité de l'échantillon,

ρ_c : est la densité des cristaux et

ρ_a : est la densité du polymère complètement amorphe.

Transition vitreuse :

Les thermoplastiques et les thermodurcissables sont sujets du phénomène de vitrification. Au-dessous d'une certaine température (température de vitrification ou transition vitreuse), ils deviennent durs et cassants comme du verre. Au-dessus, ils sont plus souples, plus plastiques. A l'extrême, ils deviennent élastiques.

5-3- Tacticité:

La disposition des groupes latéraux sur une chaîne polymère a une grande influence sur les propriétés, en particulier la flexibilité de la chaîne, modifiant ainsi le point de fusion du polymère et la capacité des chaînes à emballer ensemble. Ceux-ci modifient à la fois la résistance et les propriétés optiques. Trois arrangements différents ont été caractérisés:

- Les polymères atactiques ont une disposition des groupes latéraux;
- Les polymères isotactiques ont les groupes tous sur un côté de la chaîne; et
- Les polymères syndiotactiques ont les groupes latéraux en alternance (figure.14.).

Par exemple, polypropylène atactique est largement amorphe et faible. Le polypropylène syndiotactique matériau stéréo-régulier est cristallin, transparent et dur, tandis que le polypropylène isotactique cristallise également et se forme facilement des fibres. Le polystyrène est similaire. Le matériau atactique est amorphe alors que le polystyrène syndiotactique est cristalline. Le poly (méthacrylate de méthyle), utilisé en remplacement du verre, est presque complètement amorphe.

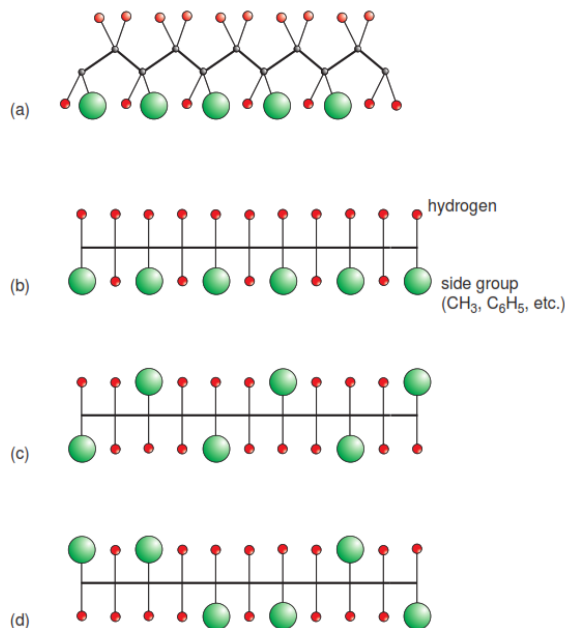


Figure.14. Chaînes polymères: (a) vue en perspective d'une chaîne polymère isotactique; (b) projection de (a) par le haut; (c) une chaîne polymère syndiotactique représentée comme en (b); (d) une chaîne polymère atactique représentée comme en (b).

6- Propriétés mécaniques:

Les propriétés mécaniques décrivent leur comportement (la structure et la forme) vis à vis à des sollicitations mécaniques telles que pressions, étirements, torsions, frottements, chocs et sous l'effet de la pesanteur.

Certains polymères seront appréciés pour leur bonne stabilité dimensionnelle (par exemple les polyesters aromatiques). D'autres, les élastomères, seront recherchés pour leur élasticité qui leur confère une excellente capacité d'absorption des chocs (les pneus, les semelles de chaussures, les matelas, les fibres textiles élasthane (polyuréthane) ...)

7- Propriétés optiques :

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

8- Propriétés électriques:

Les polymères sont largement utilisés comme isolants électriques, en particulier dans les circuits électroniques et les gaines de câbles électriques. Il existe également des polymères conducteurs de courant soit du a un état intrinsèque, soit qu'ils sont chargés de particules conductrices de carbone.

9- Propriétés électro-optiques :

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. Cela est rendu au fait que les molécules sont en désordre local, le matériau est opaque lorsque le champ n'est pas appliqué. Mais les molécules s'orientent dans la même direction et laissent passer la lumière. Le matériau devient transparent lorsque le champ est appliqué.

10- Propriétés de protection physique et chimique :

Imperméabilité aux liquides et aux gaz, **Résistance chimique** aux solvants, résistance aux rayons ultraviolets. Les polymères sont employés pour la fabrication d'imperméables, d'emballages, de boîtes de conservation, de flacons pour les laboratoires, de citernes, de gaines de câbles, pour l'enduction de tissus, etc.