

Méthodes d'analyse

I- Analyses physico - chimiques des polymères

I-1-Introduction

Les matières plastiques industrielles sont généralement des mélanges complexes de macromolécules, elles-mêmes hétérogènes sur le plan structural avec des adjuvants et éventuellement des charges. Il est facile de prévoir que dans la pratique, les problèmes d'analyse pourront se poser à des degrés de difficulté très différents allant de l'identification sommaire à l'étude d'un détail particulier de la microstructure du polymère ou au dosage d'une impureté à l'état de traces.

Les différentes méthodes physico-chimiques permettant l'analyse des polymères évoluent rapidement dans le sens d'une simplicité croissante. La rapidité avec laquelle on peut obtenir un grand nombre d'informations et de possibilités de leur utilisation empirique font que l'ingénieur (utilisateur) ne peut plus ignorer un certain nombre de ces méthodes.

Cette analyse physico-chimique des polymères fait l'objet de plusieurs fascicules ou les principales méthodes sont :

- Spectroscopie infrarouge IR.
- Spectrométrie électronique SM.
- Spectroscopie d'absorption UV-Visible.
- Chromatographie en phase gazeuse (CPG).
- Analyse thermique différentielle "ATD"
- Chromatographie liquide (C L.)

I-2 Cas particuliers des méthodes d'analyse destructives

Les méthodes destructives sont fondées sur la fragmentation des macromolécules en unités plus petites accessibles au moyen classique d'analyse.

Bien qu'indirectes, dans la mesure où il est nécessaire de faire des hypothèses sur le mécanisme de fragmentation pour remonter à la structure initiale, ces méthodes se révèlent irremplaçables dans de nombreux cas où il est impossible de réaliser des échantillons convenables pour une méthode non destructive.

- Trois méthodes sont principalement utilisées pour la fragmentation des macromolécules
- la fragmentation thermolytique "pyrolyse"
 - la fragmentation chimique
 - la fragmentation radialytique [56].

I-3 Approche empirique ou semi - empirique de l'analyse des polymères

Comme en chimie organique classique, l'ensemble des propriétés physiques (températures de fusion et d'ébullition, densité, indice de réfraction), l'ensemble des informations contenues dans un spectre ou un chromatogramme, peut être considéré comme une empreinte digitale de l'échantillon étudié.

Cette empreinte n'est pas parfaite et il peut être nécessaire de traiter par recoupement les informations obtenues par plusieurs méthodes différentes pour acquérir une certitude, toutefois on pourra l'utiliser dans la grande majorité des cas pour une approche empirique ou semi-empirique de l'analyse d'un matériau ; prenons l'exemple d'un praticien qui doit identifier un échantillon, disposant des données spectrométriques ou chromatographiques mais incapable d'interpréter les détails; deux possibilités se présentent:

- Il sait que son échantillon se trouve dans une gamme limitée de matériaux qu'il peut se procurer, il pourra alors réaliser une étude comparative directe.
- Cette étude comparative est impossible, il essayera alors de trouver la solution du problème dans la littérature.

Dans certains cas, plusieurs laboratoires universitaires et industriels peuvent se grouper pour constituer des banques de données spectrométriques ou chromatographiques. L'analyse des matières plastiques est amenée à des méthodes qui appartenaient encore récemment au domaine réservé de la recherche grâce à l'informatique.

Si l'interprétation des données sur la structure fine ou sur certains détails de la composition des plastiques relève de la recherche, leur acquisition ne doit pas être pour autant négligée par le praticien.

L'utilisation de ces données sur un plan comparatif permettra de différencier deux polymères de même nature chimique mais d'origine distincte, d'après leurs irrégularités structurales et leurs impuretés. Or nul ne peut nier l'intérêt pratique de connaître la provenance d'un matériau [57].

II- Méthodes d'analyses diverses

II-1 La thermogravimétrie

II-1-1 Principe

La dégradation thermique des matériaux se traduit souvent par l'émission de substances volatiles: eau de cristallisation, molécules provenant du craquage des modifications de structure (thermogravimétrie), elle apporte des informations intéressantes sur le mécanisme de dégradation et peut être utilisée sur le plan analytique.

Le schéma de principe est donné en figure-10, dans le cas qui nous intéresse, la méthode expérimentale la plus courante est celle qui consiste à faire croître la température de l'échantillon de façon linéaire avec le temps et à enregistrer l'évolution de la masse de ce dernier [58].

Les thermogrammes se présentent généralement comme indiqué sur la figure -11 [59]

II-1-2 Application aux polymères

Les appareils commerciaux les plus courants permettent l'étude d'échantillons de masse initiale comprise entre environ 1 mg et 1 g.

Notons au passage que la masse et la géométrie de l'échantillon qui gouvernent les transferts thermiques au sein de la matière et éventuellement la diffusion des réactifs ou des produits, peuvent influencer notablement la cinétique de dégradation. Il est donc nécessaire d'utiliser des échantillons comparables sur le plan de la masse et de la surface spécifique. Des vitesses de montée en température de l'ordre de 2°C/min sont couramment employées. Dans ces conditions, la température de début de dégradation de la majorité des polymères industriels se trouve située entre 150 et 500 °C [56].

II-2- L'analyse thermique

On sait que certaines propriétés physiques des polymères, par exemple: le coefficient de dilatation, le module d'élasticité, la capacité thermique etc..., varient avec la température, ces variations étant particulièrement marquées au voisinage des températures de

transition ou de changement d'état. Ces dernières étant caractéristiques de la structure et de la composition des polymères, on pourra envisager leur utilisation sur le plan analytique.

On conviendra d'appeler analyse thermique toute méthode de détermination de ces caractéristiques fondée sur l'étude de la variation d'une propriété physique avec la température.

En principe, on dispose d'un large éventail de possibilités par exemple, on peut envisager d'utiliser la perméabilité aux gaz ou l'indice de réfraction pour application vraiment générale, la plus répandue étant l'analyse thermique différentielle A T D[60].

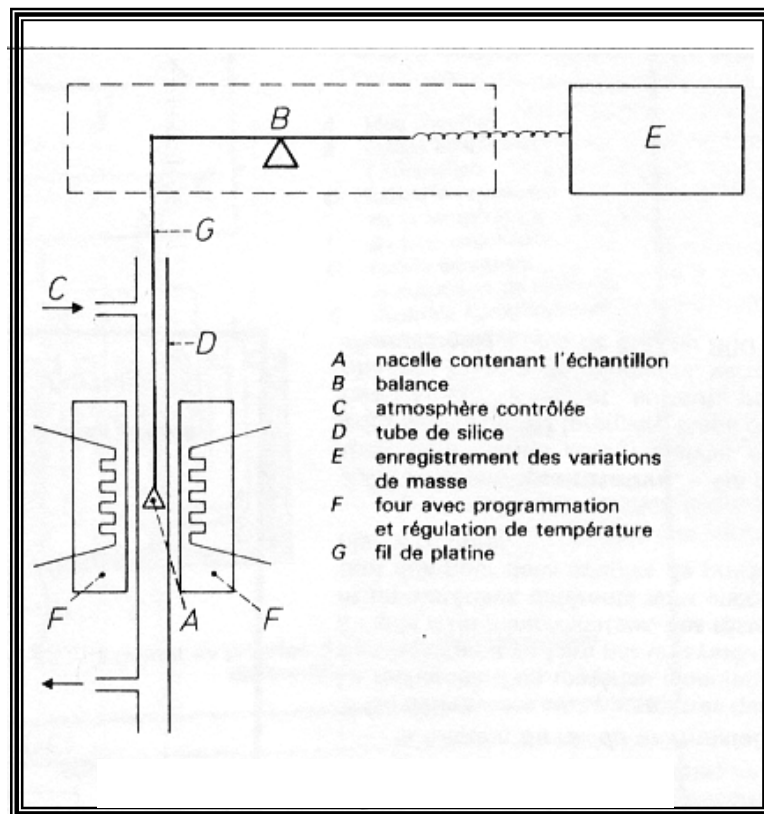


Figure-10 Schéma de principe d'un appareil de thermogravimétrie

II-2-1 L'analyse thermique différentielle A T D

2-1-1 Principe

L'ATD a fait l'objet d'un nombre important de publications et nous nous contenterons d'en décrire très brièvement le principe.

La température T du four est constante, elle croit selon un programme déterminé et l'on enregistre la différence de température T entre l'échantillon et une substance de référence qui ne présente pas de transitions ou de changements d'état dans le domaine de température

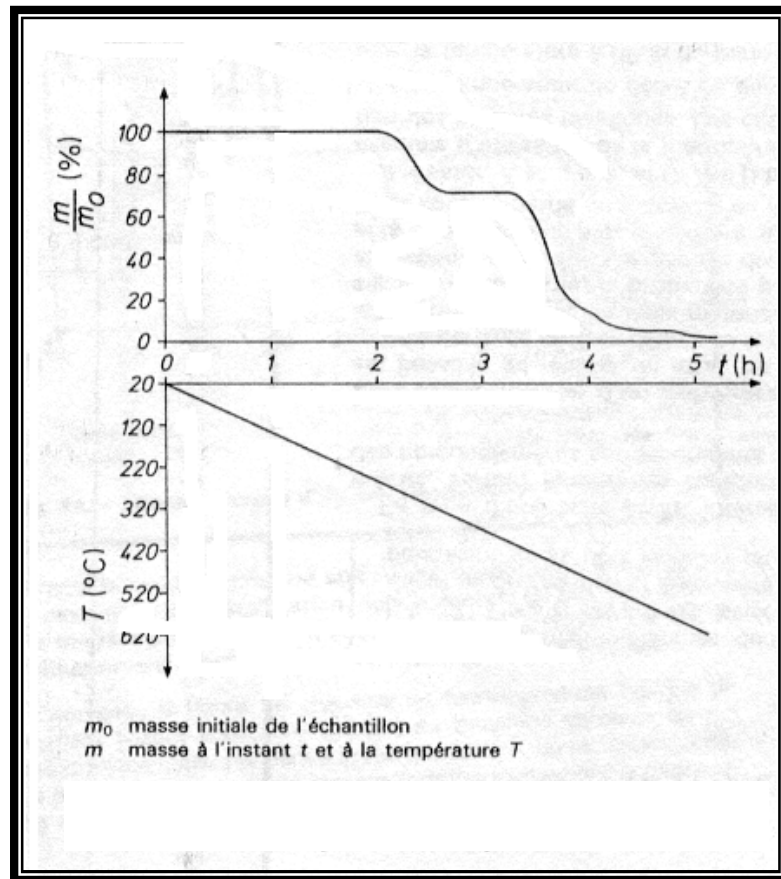


Figure-11 Allure d'un thermogramme pour détermination de la perte de masse en fonction du temps et de la température

considéré (alumine pure par exemple). Une variante qui connaît actuellement beaucoup de succès dans le domaine des polymères, consiste à mesurer directement la quantité d'énergie échangée par l'échantillon avec le milieu [analyse enthalpique ou (calorimétrique) différentielle D S C " différentiel scanning calorimetry "] grâce à des appareils sophistiqués, permettant de mettre en œuvre des programmes complexes de température avec cycles, paliers, etc.

Dans de larges domaines de températures (par exemple -150, +1000 °C pour les polymères) et pouvant fonctionner en atmosphère contrôlée et éventuellement sous pression [61].

2-1-2-Applications aux polymères [62,63]

a- Identification à l'aide d'atlas de thermogrammes

Le thermogramme d'un polymère industriel contient suffisamment d'informations, pour que l'on puisse envisager de l'utiliser dans des applications d'analyse quantitative.

L'existence de collections importantes de thermogrammes (par exemple la collection Sadtler plus de 700 thermogrammes de matières plastiques) permet d'envisager une approche empirique utilisant éventuellement des polymères, par exemple les polyesters insaturés.

b- Analyse de mélanges de polymères et de systèmes composites

Si les méthodes spectrométriques se révèlent les plus intéressantes pour l'identification de mélanges de polymères très différents par leurs structures (par exemple: mélange de polystyrène et du polybutadiène), elles peuvent présenter des difficultés dans le cas où les polymères appartiennent à la même famille et contiennent les mêmes types de groupements chimiques, par exemple: mélange de polyéthylène basse densité et polyéthylène haute densité. Dans ce cas l'ATD est probablement la méthode d'analyse la plus rapide et la plus efficace.

On peut en dire autant pour les composites du type emballages multicouches avec pellicule cellulosique, polyéthylène ou PVC, etc....

c- Transition vitreuse dans les polymères et les copolymères linéaires

La température de transition vitreuse T_g dépend d'un certain nombre de facteurs structuraux tels que l'orientation, la stéréorégularité, la présence de groupes latéraux (avec des groupes polaires volumineux T_g croît, avec des ramifications aliphatiques T_g décroît) avec la masse molaire figure-12.

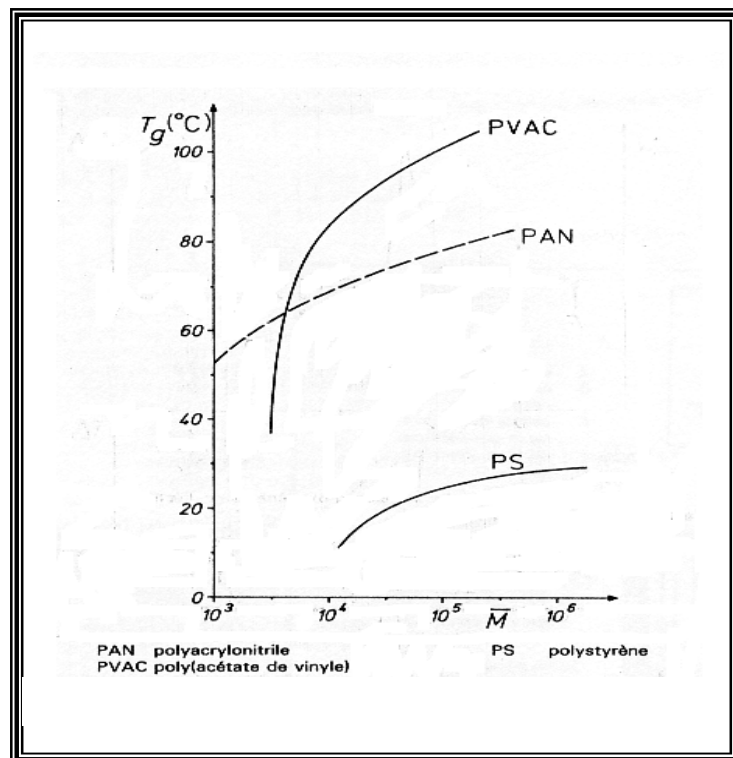


Figure 12 Variation de la température de transition vitreuse en fonction de la masse macromoléculaire moyenne

d- Fusion des polymères linéaires

La température de fusion des polymères linéaires est comme la température de transition vitreuse, une fonction croissante de la masse macromoléculaire.

Le polyéthylène pour lequel on peut disposer de polymères de référence très proches de la perfection cristalline (paraffines normales), a fait l'objet de nombreuses études; la cristallisation, le phénomène exothermique peut également être étudié par ATD.

e- Etude de la dégradation thermique et de la combustion

L'ATD fréquemment couplée à la thermogravimétrie et à l'analyse des produits volatils de dégradation (CPG, SM,...) est un outil particulièrement puissant pour l'étude de la thermo dégradation et de la combustion des polymères car elle fournit des renseignements exploitables à la fois sur le plan pratique (température de début de dégradation, exo ou endothermicité, études comparatives) et sur le plan fondamental (étude cinétique, identification des mécanismes etc...).

II-3 Spectroscopie infrarouge I.R

Parmi toutes les méthodes d'analyses des polymères, la spectrophotométrie infrarouge (I.R) occupe une place privilégiée pour trois raisons:

- elle fournit aux matières plastiques des informations extrêmement abondantes concernant la structure des macromolécules, mais aussi concernant la nature et la concentration des adjuvants et des charges éventuelles, ou morphologie (cristallinité, orientation etc...)
- elle donne lieu à une littérature très abondante, il existe par ailleurs des ouvrages spécialisés dans le domaine des polymères et plusieurs atlas de spectres spécifiques aux matières plastiques ont été publiés.
- le coût des appareils et leur facilité d'emploi mettent cette méthode à la portée des laboratoires les plus modestes [64].

Il y a un peu plus d'une dizaine d'années, la spectroscopie infrarouge était pratiquée à l'aide d'instruments dispositifs et leurs sensibilités restreintes limitaient fortement l'emploi de cette technique, mais de nos jours, les applications de la spectroscopie infrarouge connaissent un essor fabuleux depuis l'introduction des méthodes interférométriques, ou les appareils modernes sont basés sur un interféromètre de type Michelson figure-13 et grâce notamment aux opérations de traitement mathématique de l'interférogramme par des algorithmes rapides

de transformée de Fourier permettant ainsi la reconstruction d'un spectre en fréquence. Cette révolution a donné naissance à une nouvelle génération d'instruments à la fois performants en vitesse d'acquisition et en sensibilité.

L'analyse des longueurs d'onde s'effectue de façon temporelle grâce à un codage par modulation de fréquences; toutes les longueurs d'ondes sont vue en même temps par le détecteur et sont ensuite discontinuées numériquement par analyse de Fourier[65].

SE : une lame mince à faces parallèles

M_1 et M_2 : deux miroirs plans orthogonaux,

l'une est fixe, l'autre mobile.

S : une source de rayonnement IR.

D : un détecteur.

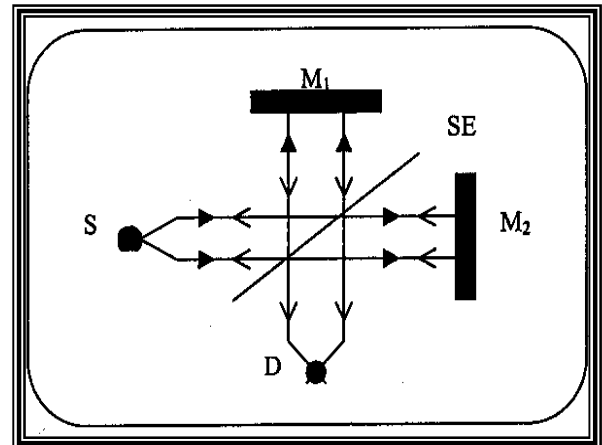


Figure-13 Interféromètre de Michelson

II-3-2 Pour les copolymères et les mélanges industriels

Les mesures quantitatives dans le cas d'un copolymère ou d'un mélange de polymères et d'adjuvants, le spectre global est sensiblement la somme des spectres des différents composants, avec éventuellement en plus quelques nouvelles bandes caractéristiques de l'interaction entre ces composants.

Les recouvrements partiels ou totaux de bandes font qu'une bonne partie des informations est difficilement utilisable directement, cependant dans des systèmes relativement simples (binaires ou ternaires), quelques pics isolés peuvent suffire pour une identification sûre [62].

II-3-3 Utilisation de routine de la spectroscopie infrarouge

a- La spectroscopie IR est utilisée en routine pour des identifications de polymères et pour des analyses quantitatives de co-monomères, d'adjuvants ou d'irrégularités structurales bien déterminées dans des familles relativement homogènes de matériaux (contrôle de la production) [64].

b- Identification des polymères

On opère généralement non pas par interprétation directe du spectre à identifier mais par comparaison avec des spectres de référence de matières connues.

On dispose pour cela de plusieurs atlas, mais le nombre actuel de polymères commerciaux est tels (plusieurs milliers) que la recherche de spectre de référence doit être orientée. Ces critères d'orientation peuvent être divers :

- les critères fonctionnels, le matériau est-il thermoplastique, thermo rigide, transparent, thermostable, sous forme de film, d'objet injecté, chargé de fibres de verre, ces derniers permettent en général de limiter la recherche à quelques familles de polymères.
- les critères physico-chimiques, densité, température de fusion, allure de combustion, fonctions chimiques, qui sont détectables à première vue dans le spectre I.R etc. [64].

c- Etude de la dégradation thermique

Les transitions structurales intervenant au cours de la dégradation thermique et surtout de la thermo-oxydation peuvent être suivies par infrarouge [64].

III- Caractérisations mécaniques**III-1 LA TRACTION**

Essais de base pour les plastiques homogènes ; elle permet de déterminer la contrainte à la rupture, l'allongement à la rupture, le module d'élasticité.

Une éprouvette de géométrie parfaitement définie figure-14 est encastrée à ces deux extrémités dans des mors ou des mâchoires. L'un de ces mors fixe est relié pour la mesure des efforts à un système dynamométrique par une rotule de telle sorte que l'axe des efforts soit confondu avec celui de l'éprouvette, l'autre mors mobile est relié à un système d'entraînement à vitesse de déplacement plus rarement ou de charge constante. Figure-15 [21].

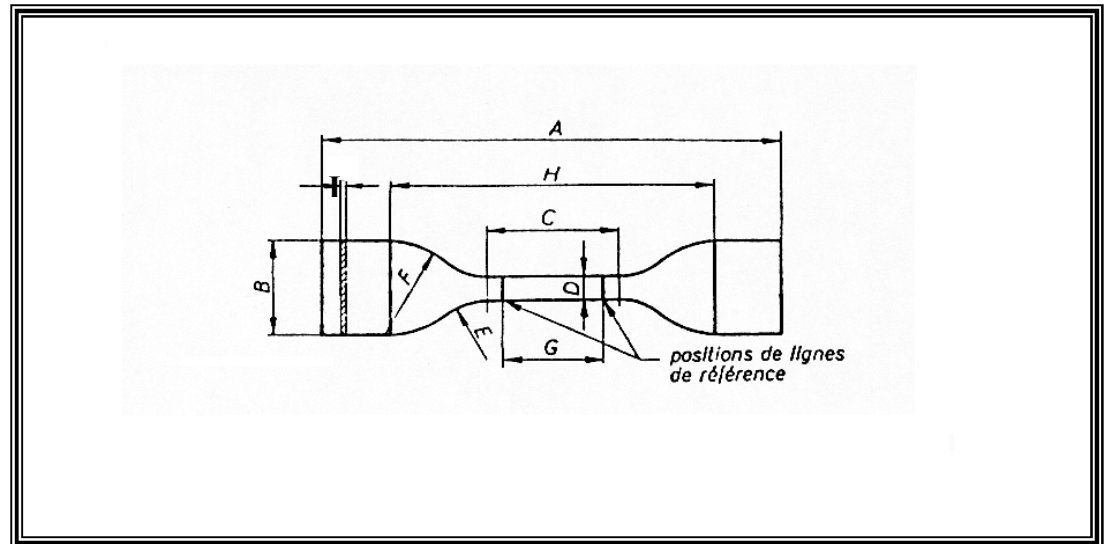


Figure-14 Eprouvette altère pour test de traction

Dimensions:

A Longueur totale minimale	75.00	mm
B Largeur des extrémités	12.5 ± 1.0	mm
C Longueur de la partie calibrée	25.0 ± 2.0	mm
D Largeur de la partie calibrée	4.00 ± 0.4	mm
E Petit rayon	8.00 ± 1.0	mm
F Grand rayon	12.5 ± 2.0	mm
G Distance entre les lignes de référence	20.0 ± 1.0	mm
H Distance initiale entre mâchoires	62.5 ± 5.0	mm
I Epaisseur	2.00	mm

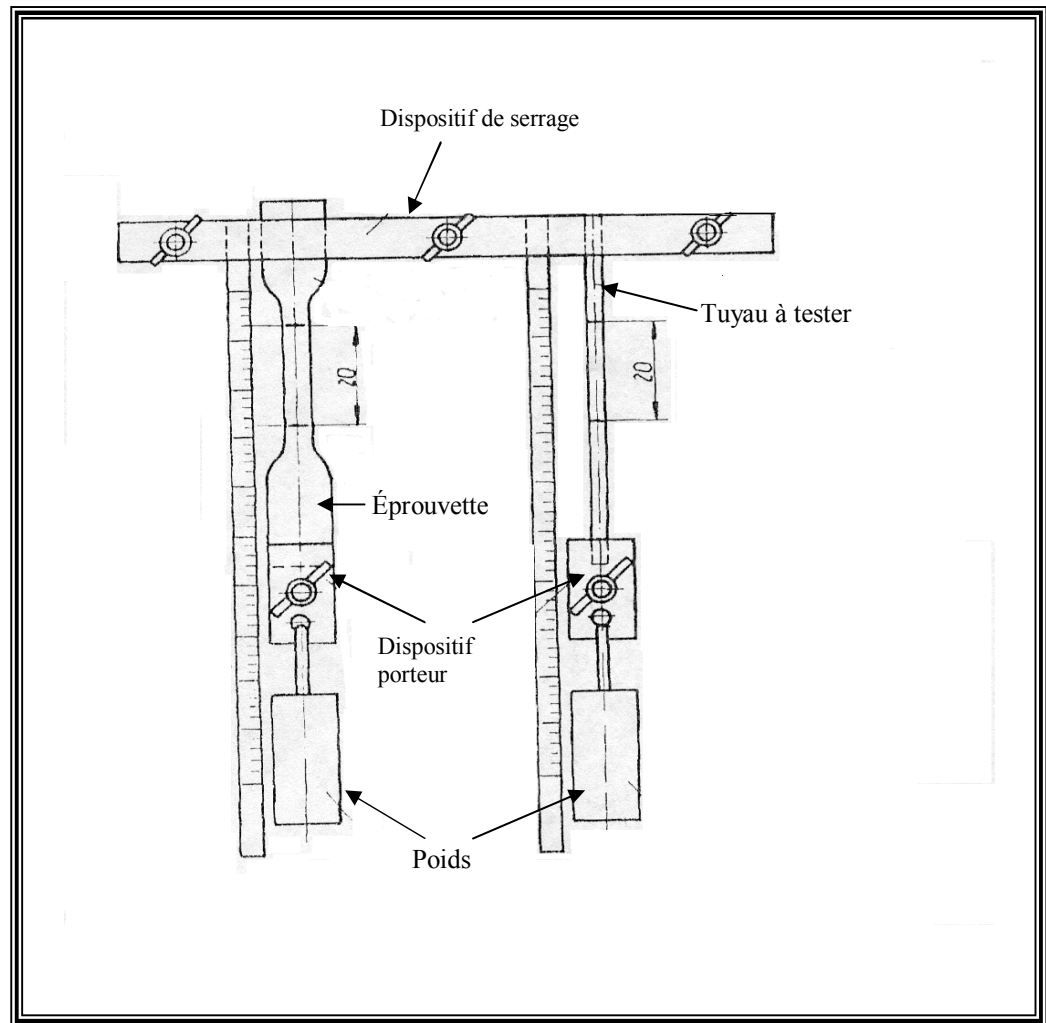


Figure-15 Schéma d'un appareil de l'essai de traction à la rupture

La contrainte à la rupture a été calculée en accord avec la relation suivante :

$$R(\sigma) = F / S$$

F: la force appliquée (N)

S: section de l'éprouvette (mm)

L'allongement à la rupture a été calculé à partir de la relation

$$All \% = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100$$

All : allongement à la rupture en %

l : allongement final mesuré en mm , l_0 : allongement d'essai initial mesuré en mm

III-2 ESSAI DE LA DURETE

La dureté d'un matériau est la résistance de celui-ci à l'enfoncement d'un pénétrateur de forme et de dimension données (bille en acier ou un cône en diamant).

On appelle indice de dureté de pénétration Shore ou plus couramment dureté Shore A ou Shore D, le résultat de la mesure effectuée selon un mode opératoire bien déterminé et réalisé à l'aide d'un duromètre Shore A ou d'un duromètre Shore D.

L'éprouvette peut avoir une forme quelconque (carrée, rectangulaire ou disque) à condition que les dimensions permettent l'obtention d'au moins cinq mesures en des emplacements différents distants entre eux d'au moins 6 mm et distants des bords de l'éprouvette d'au moins 12 mm. La face de l'éprouvette sur laquelle doit être effectuée la mesure doit être aussi plane que possible. Il est préférable d'utiliser des éprouvettes à deux faces parallèles de telle sorte à avoir la face d'essai plane et horizontale.

L'essai s'effectue après vérification de la masse marquée de 1 kg pour le duromètre Shore A ou 5 kg pour le duromètre Shore D et un bon positionnement de l'éprouvette sur le plateau mobile comme le montre la figure-16 [66].

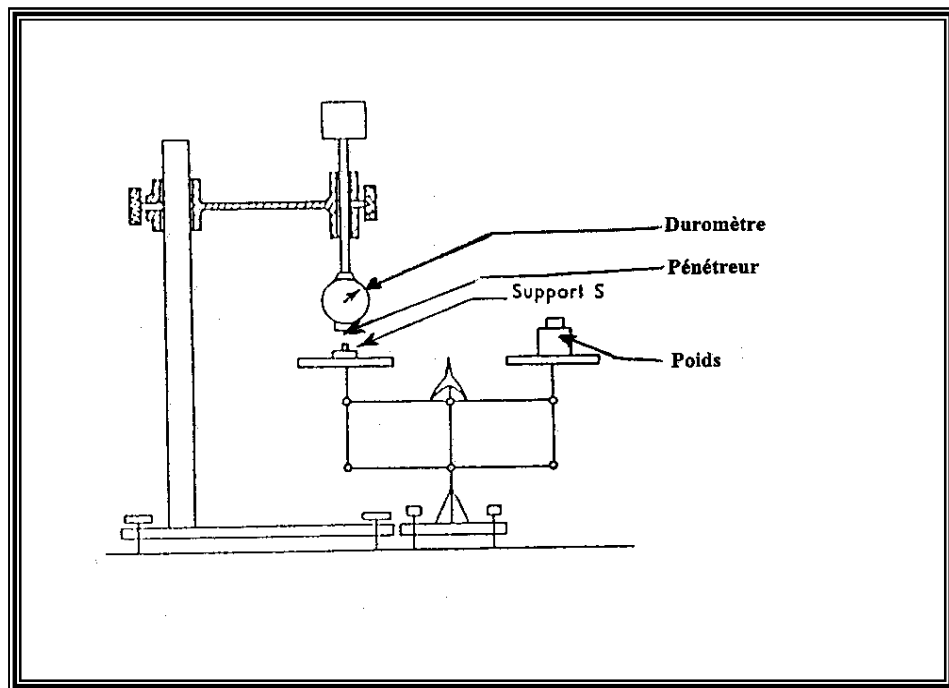


Figure- 16 Schéma d'un appareil d'essai de dureté

On fait monter le plateau rapidement de façon à appliquer le pied presseur sur l'éprouvette et sans choc, dès qu'un contact stable s'établit, on déclenche le duromètre et la lecture se fera au bout de (15 ± 1) secondes.

La dureté Shore est exprimée de la manière suivante :

Dur. Shore X = M

X : étant la lettre correspondante au type de duromètre Shore utilisé : A ou D.

M : valeur moyenne calculée.

III-3-PERTE DE MASSE

Tous les essais évoqués précédemment sont des essais instantanés c'est-à-dire permettant de déterminer les caractéristiques du matériau à court terme ,il est certain qu'en fonction des conditions d'utilisation, ces caractéristiques vont évoluer dans le temps ,il est donc nécessaire d'envisager des essais à long terme qui tiennent compte des contraintes mécaniques.

La perte de masse se base sur la pesée de l'échantillon avant et après le traitement thermique

La perte de masse a été calculée à partir de la relation suivante:

$$P= \Delta P/ S$$

P: perte de masse g/cm^2

ΔP : différence de poids en g.

S: la surface de l'éprouvette en mm^2 .

ou cette surface est calculée à l'aide de la relation suivante:

$$S= \frac{180 \times E + 1256}{100}$$

E : épaisseur de l'éprouvette en mm.

Deuxième partie : Vieillissement thermique des polymères

I- Généralités

On convient d'appeler vieillissement toute altération lente et irréversible des propriétés d'un matériau, résultant de son instabilité propre ou d'effets de l'environnement. Cette altération peut concerner la structure chimique des macromolécules ou des adjuvants (vieillissement chimique), la composition du matériau (pénétration ou départ de petites molécules), ou son état physique (taux de cristallinité, fraction de volume libre, contraintes internes etc...).

Les praticiens peuvent être confrontés à toutes sortes de problèmes de vieillissement, que l'on peut classer dans les catégories suivantes:

- a)-expertise: analyse de pièces défaillantes, recherches des causes de vieillissement, détection d'éventuelles anomalies de comportement et de leurs corrélations possibles avec certains paramètres de composition, de fabrication ou d'utilisation.
- b)-optimisation: amélioration de la stabilité d'un matériau par modification de sa structure ou de sa composition, mise au point de formulations, essais comparatifs.
- c)-prédiction de durée de vie : essais de vieillissement accéléré, étude de modèles cinétiques permettant la prédiction des durées de vie.
- d)-recherches de base: sur les mécanismes de vieillissement et de stabilisation [67].

Le terme vieillissement n'implique pas un mécanisme précis, on est même souvent en présence de phénomènes complexes faisant intervenir simultanément plusieurs mécanismes.

Le vieillissement thermique peut faire intervenir des phénomènes purement physiques (dégazage, migration de plastifiants, évolution de la morphologie) ou des phénomènes chimiques parmi lesquels l'oxydation par l'oxygène atmosphérique qui joue souvent un rôle prépondérant.

Ces phénomènes peuvent affecter la structure chimique du polymère ou dans certains cas concernent seulement les additifs (problèmes d'incompatibilité d'adjuvants), le vieillissement thermique est souvent un phénomène de surface, autrement dit le degré de dégradation est plus fort au voisinage de la surface des objets exposés que dans la masse.

L'appréciation du matériau sera donc fonction de l'épaisseur de celui-ci et du type d'essai pratiqué [68], ce vieillissement est d'autant plus rapide que la température est élevée.

II- Vieillissement physique

Le terme vieillissement physique englobe tous les processus conduisant à une altération irréversible des propriétés d'utilisation du matériau sans qu'il y ait modification chimique de la structure des macromolécules constituant le matériau

Le vieillissement physique peut résulter de :

- modifications de la configuration spatiale des macromolécules (cristallisation)
- phénomène de surface (fissuration milieu tensioactif).
- phénomène de transport (pénétration de solvants, migration d'adjuvants)

On distingue deux grandes catégories de phénomènes selon qu'ils impliquent ou non un transfert de masse c'est-à-dire un transport de petites molécules du matériau vers l'environnement (perte d'adjuvants) ou de l'environnement vers le matériau (absorption de solvants) [67, 38].

II-1 Vieillissement physique avec transfert de masse

Les phénomènes de transport de masse font essentiellement appel aux notions de solubilité, de diffusion et de plastification [69].

A) Pénétration de solvants

La pénétration de solvants a pour conséquence le gonflement du polymère aussi la plastification qui se traduit par une modification du comportement mécanique du matériau [69].

B) Perte d'adjuvants

La perte d'adjuvants résulte de la migration de ces derniers hors des matériaux ,dans tous les cas le départ de l'adjuvant se traduit par la perte des propriétés qu'il était censé d'apporter au polymère. [67]

La vitesse de perte de plastifiants dépend essentiellement de l'épaisseur du matériau de la température, du confinement de l'atmosphère et de la structure du plastifiant [64]

II-2 Vieillissement physique sans transfert de masse

A) fissuration sous contrainte en milieu tensioactif

En milieu tensioactif, les polymères sont le siège de fissurations dans les zones les plus contraintes et ceci après un temps pouvant varier entre quelques minutes et quelques jours, selon les conditions et la qualité des polymères. Le phénomène de fissuration est lié au développement de forces de tension superficielle à l'interface polymère liquide. [69]

B) vieillissement physique interne (évolution de la morphologie)

Le vieillissement physique interne est uniquement lié à des causes internes au matériau (mobilité moléculaire) c'est-à-dire au fait que le matériau est au terme de sa mise en œuvre, dans un état thermodynamiquement instable, le vieillissement résulte alors d'une évolution plus ou moins lente vers un état plus stable [69].

C) chocs thermiques (variations de température)

Les chocs thermiques peuvent entraîner des ruptures mécaniques induites par dilatation différentielle. Deux mécanismes sont susceptibles d'intervenir [38].

III- Vieillissement chimique

On appelle vieillissement chimique tout phénomène impliquant une modification chimique du matériau (polymère ou ses adjuvants) sous l'influence de l'environnement.

En pratique, le vieillissement chimique se superpose souvent à un vieillissement physique et les deux phénomènes interfèrent [38]. Les principaux types généraux de réaction intervenant lors du vieillissement chimique sont les suivants:

- coupure de chaînes statistiques
- dépolymérisation
- réticulation
- oxydation

A) coupure de chaînes statistiques:

Les coupures de chaînes statistiques se produisent sur des sites distribués de manière aléatoire dans le réseau macromoléculaire.

Une grande variété de mécanismes chimiques peut être la cause de coupure statistique des chaînes. On peut citer la thermolyse, coupure β , l'hydrolyse et la radiolyse [70].

Sur le plan de la structure, ces coupures de chaînes provoquent une diminution de la masse moyenne dans le cas des polymères linéaires et une diminution du taux de réticulation dans le cas des polymères tridimensionnels. Les propriétés physiques telles que les propriétés optiques, élastiques et thermiques sont très peu affectées par les coupures de chaînes statistiques.

Cependant, les coupures de chaînes affectent considérablement les propriétés mécaniques car elles sont responsables de la fragilisation du matériau [69].

B) dépolymérisation

La dépolymérisation est un cas particulier de la réaction de coupure de chaînes, elle conduit à l'élimination d'un fragment moléculaire (monomère) et à une diminution très faible et rapide de la masse moléculaire.

Une coupure de chaîne crée un site actif qui déstabilise la liaison monomère voisine et entraîne l'élimination séquentielle de molécules du monomère.

La dépolymérisation est donc l'inverse de la polymérisation, elle est d'autant plus facile que l'énergie de liaison monomère – monomère est faible [69].

C) réticulation

La réticulation est la réaction conduisant à la formation de ponts covalents entre les segments de chaînes voisines, elle se traduit par une diminution de la mobilité moléculaire.

Dans le cas des polymères linéaires de taux de réticulation modérés, la réticulation se traduit par l'apparition de chaînes plus ramifiées de masses moléculaires plus élevées que les chaînes initiales [69].

D) oxydation

L'oxydation est une réaction en chaînes amorcée par la rupture d'une liaison en radicaux libres, elle se traduit par l'accumulation de groupes tels que $-\text{OH}$ et $>\text{C}=\text{O}$, la stabilité d'un matériau dépend de la présence de liaisons faibles.

La dégradation oxydante du polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) conduit à la formation de composés carbonyles [38].

IV- Endurance thermique et durée de vie des polymères

IV-1 Position du problème

Certains auteurs comme B.Fallou[71] et C.Moriane[72] se sont intéressés à l'étude de l'endurance thermique des polymères.

La caractéristique du vieillissement ou la stabilité à long terme des isolants solides doit permettre de répondre à l'une des questions simples suivantes:

- pendant quel temps t , peut on maintenir un matériau isolant sous une contrainte σ_0 ?
- si l'on désire une durée de maintien ou durée de vie donnée t_0 , quelle contrainte maximale sera autorisée?

Pour y répondre, il suffit de connaître la relation temps – contrainte $t = f(\sigma)$ figure-17 la contrainte peut être la température, la tension ou le champs électrique.

Pratiquement, l'établissement de cette relation passe assez souvent par la détermination d'une relation de type de celle présentée à la figure- 18 qui décrit les variations d'une propriétés du matériau en fonction du temps de vieillissement et ce pour diverses valeurs σ_1 , σ_2 , σ_n de la contrainte appliquée σ .

Si l'on se fixe une valeur de la propriété P_0 , choisie en fonction des critères d'emploi, on obtient la relation $t(\sigma)$ relative à la valeur de la propriété P_0 .

Il s'agit de ce qu'on a coutume d'appeler courbe de durée de vie ou d'endurance thermique. La propriété peut être une propriété électrique (rigidité diélectrique, par exemple) ou une propriété mécanique (résistance à la traction, par exemple).

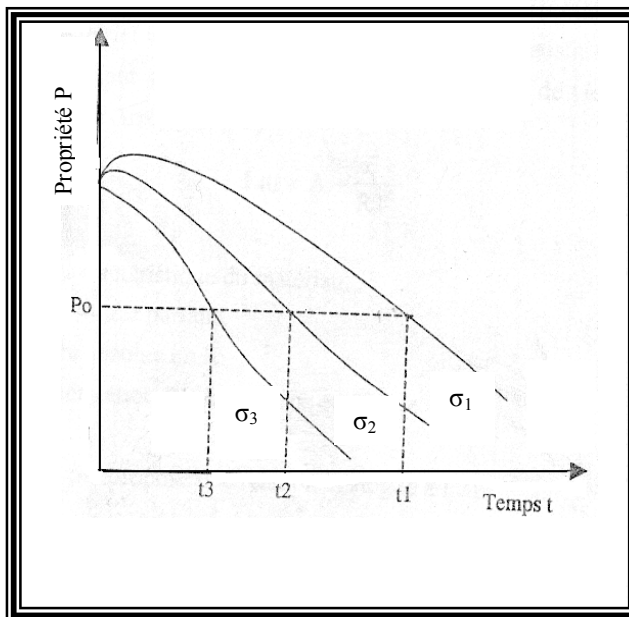


Figure-18 Variation d'une propriété en fonction du temps

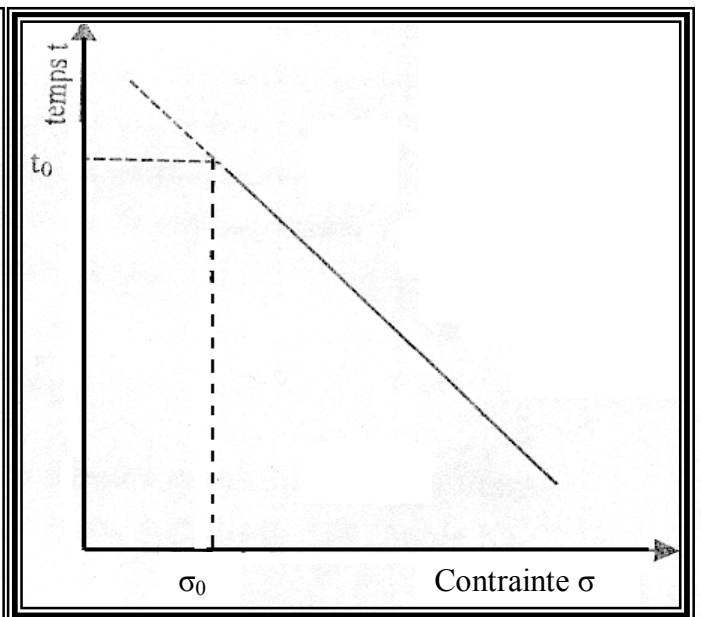


Figure-17 Relation de temps avec la contrainte