

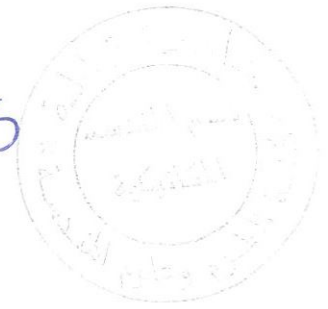
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE GUELMA



T/531.055



FACULTE DES SCIENCES ET DE L'INGENIERIE  
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Mémoire de Magister

Option : Construction et productique



Présenté par :  
LADACI NAOURI

**ETUDE COMPARATIVE DU COMPORTEMENT  
MECANIQUE DU PEHD 80 ET DU PVC RIGIDE  
UTILISES POUR LE TRANSPORT DE L'EAU.**

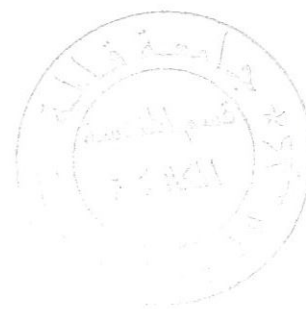
Sous la direction de :  
Dr : A. BELBAH

Devant le jury :

Président	: M. LAHMAR	Pr.	Université de Guelma
Rapporteur	: A. BELBAH	M.C	Université de Guelma
Examineurs	: K.ZEMOUR	M.C	Université d'Annaba
	: F. GHELDANE	M.C	Université d'Annaba
Invité	: B. BELFARHI	C. C	Université de Guelma

Année: 2008

## Sommaire



Résumé

Remerciements

Introduction générale

### Chapitre I : Généralités sur les polymères.

I.1 Historique.....	02
I.2 Définition.....	02
I.3 Exemples des polymères usuels.....	03
I.4 Différents types des polymères.....	03
4.1 Les homopolymères.....	03
4.2 Les copolymères.....	04
I.5 Fabrication des polymères.....	05
5.1 Raffinage et vapocraquage.....	06
5.2 Les réactions de polymérisation.....	06
5.3 Les adjuvants.....	07
I.6 Les techniques de transformation.....	08
6.1 L'extrusion.....	08
6.2 Le calandrage.....	09
6.3 L'injection.....	09
I.7 Les propriétés des polymères.....	10
7.1 Propriétés chimiques.....	10
7.2 Propriétés physiques.....	10
7.3 Propriété thermiques.....	12
7.4 Propriétés mécaniques.....	16

### Chapitre II : Application des polymères en tuyauterie.

II.1 Introduction.....	27
II.2 Propriétés.....	27
2.1 Résistance a la corrosion et a l'érosion.....	27
2.2 Absence de rugosité des parois internes.....	28
2.3 Propriétés thermiques.....	29
2.4 Propriétés électriques.....	30
2.5 Propriétés mécaniques.....	30
2.6 Inflammabilité.....	31
2.7 Pression de service.....	31
2.8 Durabilité.....	32
8.1 Résistance aux micro-organismes et aux rongeurs.....	32
8.2 Résistance aux intempéries.....	32
II.3 Applications.....	32
II.4 Exigence et normes.....	34

II.5 Marquage normalisé.....	34
------------------------------	----

### **Chapitre III : Étude expérimentale.**

III.1 Introduction.....	36
III.2 Matériaux étudiés.....	36
1. Polyéthylène haute densité.....	37
2. Poly chlorure de vinyle.....	41
III.3. Détermination des caractéristiques mécaniques de surface.	
1. Essais de dureté.....	45
2. Essais de rugosité.....	48
3. Essais de frottement.....	61
III.4 Détermination du comportement mécanique instantané.	
1. Essais de traction. ...	75
2. Essais de compression.....	93
3. Essais de flexion.....	97
4. Essais de résilience.....	103

**Conclusion générale**

**Références bibliographiques**

## ملخص :

إن البوليثلان (PE) احد المواد المتعددة الأجزاء الأكثر حداثة من PVC ،استعماله اليوم من اجل نقل السوائل تعممت بكثرة على المستوى العالمي ، خصائصه الفيزيائية ، الكيميائية و الميكانيكية جعلت منه المعدن الأكثر اختيارا في شبكات تزويد و توزيع مياه الشرب .

إن الهدف من هذا العمل هو انجاز دراسة مقارنة للتصرف الميكانيكي لمتعدد الأجزاء عديم الشكل ( PVC قاسي ) عادة مستعمل في توزيع الماء و الأخر نصف مبلور (PEHD 80). مقارنة أولى من اجل تحديد الخصائص الميكانيكية للسطح ، لان السطح هو قبل كل شئ جزء هندسي تعريفي لشكل جسم ما فهو يحقق وظائف للتجميل و الحماية .

إن التجارب الميكانيكية للسطح تسمح بوصف حالة السطح إما في مجال التشوهات الضعيفة (الصلابة) و إما الانكسار ( تآكل و هشاشة سطحية ) و إما بعبارة الخشونة .

انطلاقا من نتائج القياس على مختلف اللدائن الحرارية ، فاعن صلادة PVC اكبر بكثير من تلك ل PEHD 80 . حالات السطح الجيدة سجلت بالنسبة ل PVC القاسي في حالة القياس المباشر للخشونة على أسطح الأنابيب المحصل عليها بالثق أو تلك القياسات المحصل عليها عن طريق التصنيع . اختبارات احتكاك جرت على قطع صغيرة من PVC القاسي و PEHD 80 بينت أن PVC يظهر مقاومة جيدة للتآكل .

إن أنابيب المتعدد الأجزاء تحدث الانكسار الغير المتوقع و عادة ما يكون كارثيا في مجالات استعمالها ، أين الاهتمام بمعرفة خصائصها الميكانيكية بتحديد الأبعاد المناسبة للقنوات .

مقارنة ثانية بسطت من اجل دراسة التصرف الميكانيكي لمتعددي الأجزاء من خلال تجارب الشد ، الانضغاط ، الانحناء و الصدم .

لكل خاصية أهميتها ، حد المرونة يقود إلى الإجهاد المقبول ، التمدد و الهشاشة يقدران امن المنشأة .

اختبارات الشد المنجزة على المعدنين أظهرت أن التمدد للانكسار بالنسبة ل PEHD 80 هو اكبر بمرتين منه بالنسبة ل PVC القاسي في نفس الشروط، على العكس حد السيلان المسجل بالنسبة ل PVC اكبر منه بالنسبة ل PEHD 80 .

تجارب الانحناء ل PVC القاسي أظهرت جيدا المقاومة العالية لهذا الأخير مع ظهور منطقة بيضاء في منتصف القطعة مع تشكل بعض التشققات ، بينما PEHD 80 اظهر لدونة بدون أخطاء .

تجارب الهشاشة بينت أن PEHD 80 يقدم أحسن مقاومة للصدمات مقارنة ب PVC . ال PEHD 80 اظهر و من خلال هذه التجارب تشوهات من دون أن يتحطم، بينما ال PVC تحمل انكسار كلي .

## كلمات مفاتيح :

متعدد الأجزاء، لدن حراري، نصف مبلور ، عديم الشكل ، لزج مرن ، التحول الحرج ،  
البوليثلان عالي الكثافة ، بوليكلورير الفينيل .....



## **Résumé :**

Le polyéthylène (PE) et un matériau polymère plus récent que le PVC, son utilisation pour le transport des fluides s'est aujourd'hui largement généralisée au niveau mondial, ses caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques en ont fait un matériau de choix pour les réseaux d'adduction et de distribution de l'eau potable.

L'objectif de ce travail est de faire une étude comparative du comportement mécanique d'un polymère amorphe (PVC rigide) souvent utilisé dans la distribution de l'eau et d'un autre semi-cristallin (PEHD 80).

Une première approche pour la détermination des caractéristiques mécaniques de surface, puisque la surface est avant tout une entité géométrique caractéristique de la forme d'un corps, elle assure des fonctions d'esthétique et de protection.

Les essais mécaniques de surface permettent de caractériser l'état de surface soit dans le domaine de faibles déformations (dureté), soit à la rupture (usure et fragilité superficielle), soit en termes de rugosité.

D'après les résultats de mesure sur les deux polymères thermoplastiques, la dureté du PVC rigide est beaucoup supérieure à celle du PEHD 80. Les bons états de surface sont enregistrés pour le PVC rigide dans le cas de la mesure de rugosité directement sur les tubes obtenus par extrusion, ou les mesures obtenues après usinage. Des essais tribologiques réalisés sur des échantillons en PVC rigide et en PEHD 80, ont montré que le PVC rigide présente une bonne résistance à l'usure.

Les tubes en polymères font l'objet de rupture imprévues et parfois catastrophiques dans les domaines de leurs applications, d'où l'intérêt de la connaissance de leurs propriétés mécaniques par le bon dimensionnement des conduites.

Une deuxième approche expérimentale a été développée afin d'étudier le comportement mécanique des deux polymères à travers des essais de traction, compression, flexion et résilience. Chaque caractéristique a son importance, la limite élastique conduit à la contrainte admissible, l'allongement et la résilience permettent d'apprécier la sécurité de l'installation.

Les essais de traction effectués sur les deux polymères ont montré que l'allongement à la rupture du PEHD 80 est plus de deux fois supérieur à celui du PVC rigide pour les mêmes conditions, par contre la contrainte au seuil d'écoulement enregistré pour le PVC est plus importante que celle du PEHD 80.

Des essais de flexion effectués sur du PVC rigide montrent bien la bonne résistance de ce dernier avec l'apparition d'une zone blanche au centre de l'éprouvette ou agit directement le pénétrateur et un début de formation de quelques fissures. Cependant le PEHD 80 a montré une flexibilité sans défaut.

Des tests de résilience ont montré que le PEHD 80 apporte une meilleure résistance aux chocs par rapport au PVC rigide. Le PEHD 80 a montré à travers ces essais une déformation sans se casser, alors que le PVC a subi une rupture totale.

## **Mots clés :**

Polymère, thermoplastique, semi-cristallin, amorphe, viscoélastique, transition vitreuse, polyéthylène haute densité, Polychlorure de vinyle....

## **ABSTRACT:**

More recent polymeric material than the PVC, the use of the polyethylene (PE) for the transportation of the fluids is generalized itself extensively today to the world level, its physical, chemical and mechanical features made a material of choice for the networks of adduction and distribution of the drinking water.

Its mechanical properties describe their behaviors face to the mechanical solicitations as pressures, stretches, torsions, rubbings, shocks and effects of the weight.

The objective of this work been to make a comparative survey of the mechanical behavior of an amorphous polymer (rigid PVC) and the other semi-crystalline (PEHD80), these two thermoplastic materials are used extensively in the domain of transportation and the distribution of water.

A first approach for the determination of the mechanical features of surface, since the surface is before a whole entity geometric characteristic in the shape of a body, it assures some functions of aesthetic and protective.

Its mechanical tests of surface permit to characterize the state of surface are in the domain of weak distortions (toughness), either to the rupture (wear and superficial fragility), either in terms of roughness.

According to the results of measure, for the two thermoplastic polymers, the toughness of the rigid PVC is a lot superior has the one of the PEHD80. but for the roughness, the good states of surface are recorded for the PEHD80 that is directly in the case of the roughness measure on the tubes gotten by extrusion, or the measures gotten after machining, and that after tests tribologics on samples in rigid PVC and in PEHD80, the results went up that the PEHD carries away it extensively.

The tubes in polymers are the subject of unforeseen rupture and by catastrophic times in the domains of their applications, from where the interest of the knowledge of their mechanical properties by the good dimensionality of the conducts.

A second experimental approach been developed in order to study the behavior mechanics of the two polymers has shortcoming of the traction tests, compression, bending and resilience. Every characteristic to its importance, the elastic limit drives to the admissible constraint, the elongation and the resilience permits to appreciate the security of the installation.

The tests of traction done on the two polymers showed that the elongation has the rupture of the PEHD80 is more than two times superior has the one of the rigid PVC for the same conditions, on the other hand the constraint to the doorstep of out-flow recorded for the PVC is more important than the one of the PEHD80.

Concerning the results after the tests of bending, the rigid PVC finally brought up a considerable. At the end resistance the tests of resilience showed that the PEHD80 brings a better resistance to the shocks in relation to the rigid PVC.

### **Key words:**

Polymer, thermoplastic, semi-crystalline, amorphous, viscous-elastic, vitreous transition, Polyethylene high density, Polychlorure of vinyl....



## Remerciements :

Le travail de recherche présenté dans cette thèse a été mené au sein du département de mécanique de l'université de Guelma.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à monsieur A.BELBAH directeur de cette thèse, de son soutien tout au long de cette période m'a été d'une aide précieuse pour surmonter les moments difficiles et les moments de doutes.

J'exprime ma gratitude à monsieur M.LAHMER professeur de l'université de Guelma de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Mes remerciements vont également à monsieur K.ZEMMOUR de l'université d'Annaba pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce travail en tant qu'examineur et d'avoir participé à ce jury.

Je tiens aussi à remercier monsieur F.GHELDANE de l'université d'Annaba pour l'honneur d'accepter de juger ce travail en tant qu'examineur et d'avoir participé à ce jury.

Je remercie également monsieur B. BELFARHI, pour avoir bien accepté notre invitation et voulu participer à ce jury.

Je tiens à remercier monsieur A.EL MAHI d'avoir accepté de réaliser quelques essais au sein du laboratoire de Composite et Structures Mécaniques à l'université Maine.

Mes remerciements aussi à monsieur M. KHARROUBI de m'avoir réalisé quelques essais.

J'ai apprécié, l'accueil qui m'a été fait au sein de l'entreprise de fabrication des tubes K-Plast (Sétif), surtout son directeur monsieur Keddad qui m'a donné l'autorisation de faire des visites à son entreprise, ainsi que les membres de l'équipe qui travaillent sous sa direction.

Enfin, je serais terminé cette partie concernant les remerciements sans y associer mes proches. Tout d'abord ma mère et mon père, dont les encouragements et le soutien constant ont été d'une valeur inestimable durant ces années d'étude, mais également mes frères et sœur.

Aussi, à mon épouse de son encouragement continu.

Mes amis ont également contribué à cette thèse, de près ou de loin, ils ont su m'écouter et m'encourager, ceux – là se reconnaîtront et je les remercie sincèrement.

## **Introduction générale :**

Le choix du matériau de canalisation est gouverné par son coût et ses caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques tout en respectant les normes. Chaque matériau a des caractéristiques propres qui peuvent accélérer et faciliter certains phénomènes de défaillances. Plusieurs matériaux sont disponibles pour fabriquer une conduite d'eau potable : fonte grise, acier, béton, PVC, PE, etc....

Malgré l'intérêt croissant des matériaux polymères pour ces applications où leurs propriétés physico-chimiques sont mises à profit, les performances mécaniques restent encore leur atout majeur [1].

Les très nombreux domaines d'application que connaissent ces matériaux expliquent pourquoi leur étude est devenue très rapidement un sujet de première importance. L'un des enjeux majeurs est la maîtrise de leur durée de vie afin d'optimiser leur utilisation, que l'on cherche à augmenter cette durée de vie [2].

De part leur légèreté leur haute résistance mécanique, et leur résistance aux effets de l'environnement, les thermoplastiques constituent un matériau idéal pour les installations de tuyauterie, industrielle, commerciale et d'habitation.

Les plastiques les plus utilisés en tuyauterie, tant par la quantité que par le nombre des applications sont les thermoplastiques. Leurs caractéristiques et leur usage varient considérablement.

L'usage des thermoplastiques est très répandu en raison surtout de leur bas prix de revient comparé aux thermodurcissables et la simplicité des procédés de fabrication (généralement par extrusion).

Les thermoplastiques les plus employés sont ; le polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène (PE), le polybutylène (PB).

Le choix d'un matériau de tuyauterie est dicté par la nature de fluide à transporter et par les conditions prévues d'utilisation. Certains attributs des plastiques seront un atout ou un défaut selon l'application et le type de plastique utilisé, par ailleurs certains désavantages peuvent être réduits ou éliminés par une conception ou une installation appropriée des tuyaux.

Pour choisir le matériau qui convient, il faut donc bien connaître les caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques des divers plastiques [3].



Le vieillissement d'un polymère sous l'impact des diverses agressions qu'il peut subir dans son environnement d'usage constitue généralement une limitation sévère à son utilisation. On peut facilement imaginer les conséquences que la dégradation des propriétés fonctionnelles du matériau peut avoir, non seulement en termes économiques, mais également en termes de sécurité des biens ou des personnes. Il est donc primordial de comprendre d'une part l'origine de cette dégradation et d'autre part ses manifestations.

Parallèlement il faut pouvoir offrir des critères fiables de prévision de durée de vie du matériau. Cet exercice difficile requiert un investissement important qui s'exprime en termes de recherche fondamentale [2].

L'objectif de ce travail est de faire une étude comparative du comportement mécanique du PEHD 80 et du PVC rigide utilisés dans le transport de l'eau.

Pour cela le sujet comporte une partie théorique et une partie expérimentale.

La première partie (théorique) présente un bilan des connaissances sur les polymères. Y sont abordées des notions nécessaires au bon déroulement de cette étude, elle comporte deux chapitres :

Le premier chapitre décrit un aperçu général sur les polymères où les points suivants sont traités : définition, fabrication, transformation et propriétés des polymères.

Le deuxième chapitre donne une revue sur l'application des polymères en tuyauterie où nous avons parlé des propriétés thermiques, électriques, mécaniques et tribologiques d'une tuyauterie en polymère, leurs applications, ainsi que les exigences, les normes et enfin les renseignements de marquage normalisé des tubes.

Le troisième chapitre décrit les méthodes expérimentales des caractéristiques mécaniques de surface (essai de dureté, essai de rugosité et essai tribologique.), et la détermination du comportement mécanique instantané (traction, compression, flexion, résistance au choc).

Comme l'essai de traction est l'essai caractéristique des matériaux, nous avons étudié l'influence de deux paramètres qui portent une très grande importance (température et vitesse de déformation) à cause de leur effet sur le comportement mécanique.

À partir des résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons classer ces matériaux dans le but de faire un choix.

## **CHAPITRE I :**

### **Généralités sur les polymères**

## I.1 Historique :

Après avoir utilisé les matériaux naturels dans les temps préhistoriques (bois, pierre, peau, laine, etc.), après avoir extrait les métaux des minerais, après avoir créé des alliages métalliques, l'homme a commencé à créer des matériaux de synthèse à partir de composants organiques. C'est ainsi que sont apparus les premiers polymères de synthèse (fin XIXe siècle), les premières matières plastiques. Plus récemment encore (années quarante), l'idée est venue d'améliorer les caractéristiques mécaniques en y incorporant des fibres ce que l'on appelle depuis les années 60-70, les matériaux composites [4].

## I.2 Définition du polymère :

Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomères.

Chaque monomère est constitué d'atomes unis par des liaisons chimiques covalentes très fortes et confère au polymère certaines par le mode d'assemblage des motifs monomères, mais aussi par la longueur et la rigidité des chaînes moléculaires, par les interactions possibles entre macromolécules voisines. De plus, les arrangements moléculaires peuvent évoluer en fonction de la température. Chaque réarrangement est caractérisé par une température de transition de phase dont la plus importante est la température de transition vitreuse qui caractérise souvent un changement important des caractéristiques notamment mécaniques [5].

Les macromolécules sont obtenues par assemblage répétitif de motifs monomères associés, selon les conditions, en structures linéaires, ramifiées ou réticulées [4].

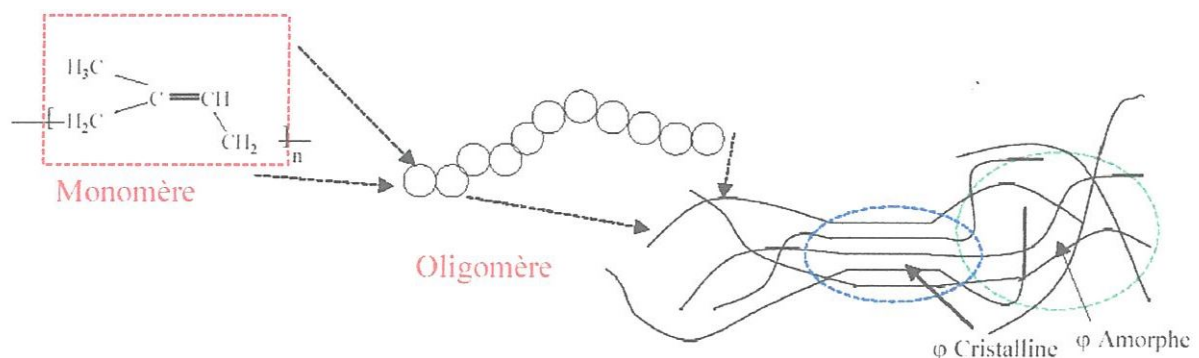
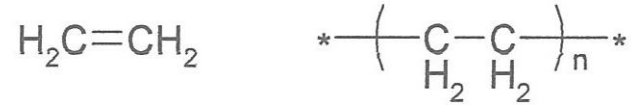


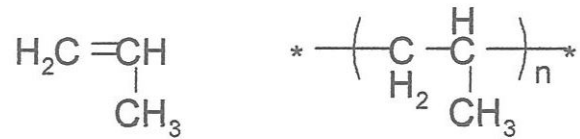
Figure I.1 : Constitution d'un polymère. [6]

### I.3 Exemple de polymères usuels :

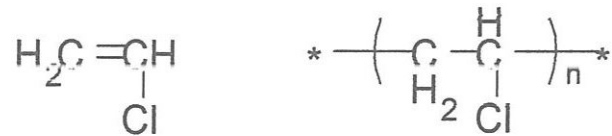
- Le polymère le plus utilisé est le polyéthylène (**PE**).



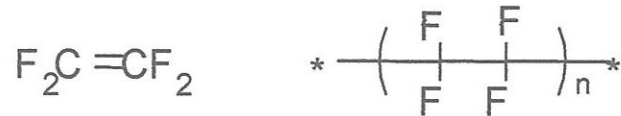
- Le deuxième polymère fort utilisé est le polypropylène (**PP**).



- Le polychlorure de vinyle (**PVC**).



- Le polytétrafluoroéthylène (**PTFE**).



### I.4 Différents types de polymères :

Il existe deux types de polymères :

- Les homopolymères.
- Les copolymères.

#### a) Les homopolymères :

Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité. Parmi les homopolymères, on peut citer le polyéthylène.

Il existe, au sein des homopolymères, différentes familles. Parmi les différents types d'homopolymères, nous trouvons :







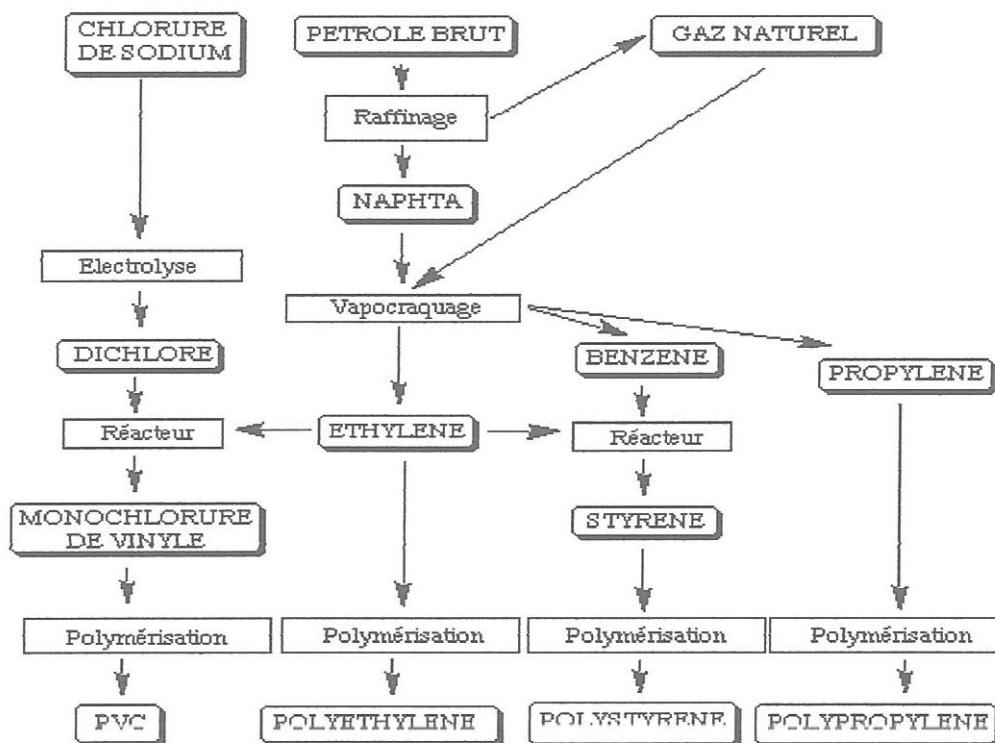


Figure I.2 : différents étapes pendant la fabrication des polymères [6].

### I.5.1 Le raffinage et le vapocraquage :

Le pétrole brut est raffiné et donne différentes fractions après distillation.

La fraction d'essences légères, appelée naphte ou naphta, est isolée pour être ensuite " craquée " (distillée) à la vapeur. Cette opération permet d'obtenir les molécules chimiques indispensables à la fabrication des polymères, les monomères : éthylène, propylène, butadiène, ...

### I.5.2 Les réactions de polymérisation :

Chaque monomère est isolé. Il est ensuite combiné avec d'autres monomères de même nature ou de nature différente lors d'une réaction chimique appelée réaction de polymérisation.

### **I.5.3 Les adjuvants :**

Les adjuvants sont des produits en général organiques, que l'on mélange aux polymères pour modifier leurs propriétés physiques ou chimiques [7] :

- **Les plastifiants :**

Contrairement aux charges, les plastifiants sont utilisés pour abaisser la rigidité des matières plastiques. Leur présence peut être permanente ou temporaire (introduits lors de la synthèse des polymères, ils ont facilitent la mise en œuvre et sont ensuite éliminés) [8].

- **Les stabilisants :**

Les stabilisants sont destinés à retarder, ralentir ou inhiber les processus responsables d'altérations de la structure pendant la mise en œuvre ou l'utilisation des matériaux [7].

### **I.5.4 Autres adjuvants :**

- **Les lubrifiants :**

Les lubrifiants tels que les cires et paraffines facilitent la mise en œuvre des polymères et réduisent leur adhérence aux parois des machines de transformation. Des lubrifiants solides peuvent également être ajoutés pour améliorer les propriétés de glissement et d'usure des matières plastiques.

- **Les colorants et pigments :**

Les colorants et pigments permettent de donner une couleur aux matières plastiques qui sont en générale incolore à l'état pur .En plus de la coloration, les pigments peuvent également changer certaines propriétés des polymères dans lesquels ils sont introduits. Ils se comportent alors comme des charges.

- **Les agents antstatistiques :**

Introduits dans les matières plastiques, ces additifs permettent de réduire le dépôt de poussières sur les produits finis.

Ces additifs permettent aux matières plastiques de mieux résister au feu. Ils sont très utilisés dans la fabrication de matériaux pour la construction et l'aménagement intérieur.



## I.6 Techniques de transformation :

Une fois synthétisés, les polymères se présentent sous forme de poudres ou granulées, prêtes à être transformés en demi-produits ou en produits finis. Il existe également de nombreux procédés de transformation adaptés à la nature du polymère à mettre en œuvre et à la forme finale souhaitée.

Les techniques de transformation des thermo plastes sont fondées sur leur caractéristique de fusion visqueuse à température élevée. On aura donc un réchauffement de la matière avant sa mise en forme [10].

### I.6.1 L'extrusion :

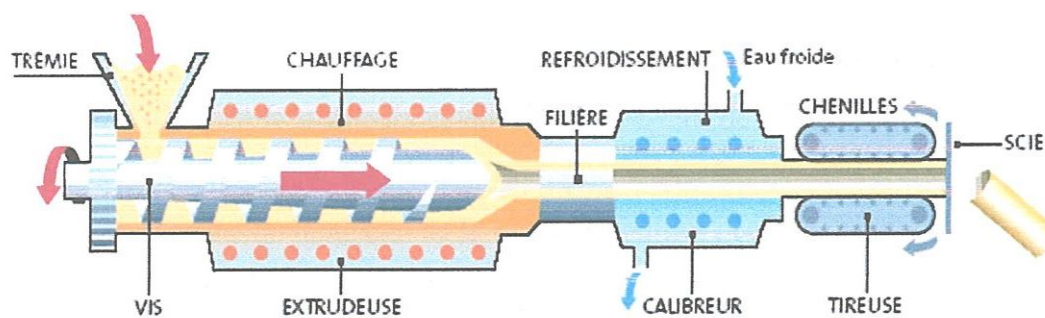


Figure I.3 : schéma de principe d'une extrudeuse monovis [10].

Procédé de mise en œuvre continue qui permet de fabriquer des granulés et de transformer les poudres et granulés en tubes, gaines, profilés, films ou plaques dont la longueur n'est pas limitée.

On introduit la matière dans un cylindre chauffant à l'intérieur duquel une vis sans fin la pousse.

En avançant, la matière fond, se comprime puis passe à travers une filière dont la forme est celle du produit à fabriquer .celui-ci est éventuellement traité pour acquérir certaines propriétés, puis refroidis [10].

### I.6.2 Le calandrage :

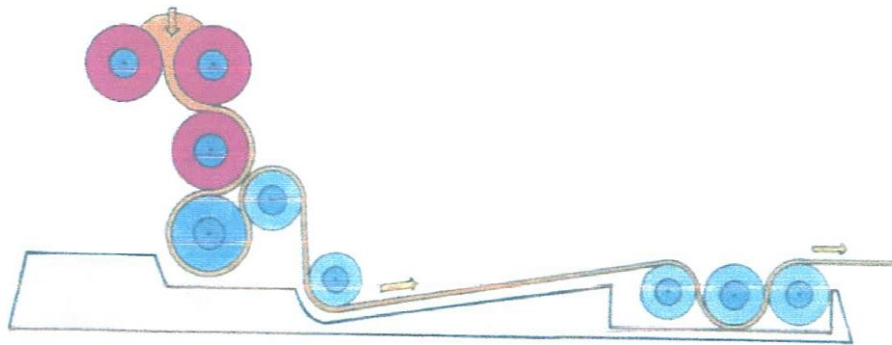


Figure I.4 : procédé de calandrage.

Une autre technique pour la fabrication de feuilles est le calandrage. Ici, la matière préchauffée passe entre plusieurs calandres, c'est-à-dire de grands rouleaux métalliques qui forcent la masse plastique à prendre la forme d'une feuille de l'épaisseur voulue. Cette technique est proche du laminage de la tôle. Les feuilles peuvent recevoir en même temps un relief, quand la dernière calandre est gravée.

### I.6.3 L'injection :

L'injection est une technique de production de pièces détachées en plastique. Comme pour l'extrusion, la matière plastique est fondue et homogénéisée dans un cylindre chauffé. La vis est de plus utilisée comme piston pour injecter la masse fondue dans un moule fermé. Après refroidissement, ce moule est ouvert et la pièce plastique en est ôtée [11] :

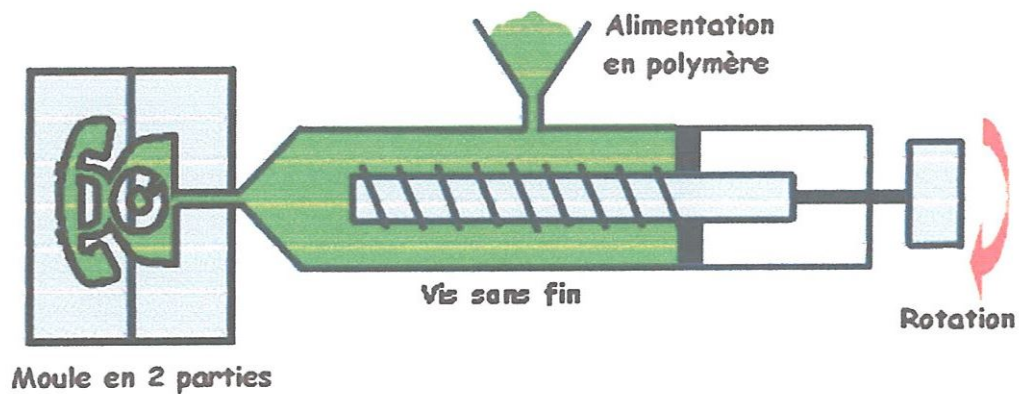


Figure I.5 : presse de l'injection [11].

## I.7 Propriétés des polymères :

### I.7.1 Propriétés Chimiques :

L'architecture d'un polymère est déterminée par sa fonctionnalité moyenne  $F$ . Si  $F=2$ , le polymère est linéaire parfait (et en général extrêmement cher). Si  $2 < F \ll 3$ , alors il possède une chaîne linéaire ramifiée. Enfin, si  $2,5 < F < 4$ , il s'agit d'une architecture en réseau (souple si  $F$  est proche de 3 et rigide si  $F$  est proche de 4) [11].

### I.7.2 Propriétés physiques :

D'un point de vue physique les polymères peuvent être classés en plusieurs catégories :

#### I.7.2.1. Les polymères amorphes :

Beaucoup de polymères thermoplastiques ont une structure amorphe : polyéthylène basse densité (PEBD), polystyrène (PS), polychlorure de vinyle (PVC). Les macromolécules linéaires y sont entremêlées en pelote. On dit qu'elles sont en désordre, mais c'est là un point de vue qui dépend de la définition de l'ordre. On prendra comme définition générale de l'ordre, le fait de pouvoir attribuer une règle d'arrangement, ou une organisation. Dans la structure amorphe, les macromolécules sont flexibles et disposées sans aucune règle, de façon aléatoire. Mais cela donne quelque chose d'assez homogène.

En général, les polymères amorphes employés sans adjonction d'autres substances sont transparents.

Les thermodurcissables sont généralement amorphes, par exemple les résines polyépoxydes. En effet, les réticulations et pontages ont lieu dans toutes les directions empêchant tout ordre d'orientation, provoquant l'isotropie du matériau. Cela ressemble à un enchevêtrement de lianes s'accrochant les unes aux autres par des tentacules en de multiples points [12].

Une autre catégorie d'amorphes est constituée par les élastomères. Ce sont des caoutchoucs tels que le polyisoprène (caoutchouc naturel et synthétique) et le polybutadiène. Leur température de transition vitreuse est en dessous de la température ambiante. Les macromolécules sont emmêlées en pelote, et de plus elles sont reliées de façon assez lâche par des noeuds dont la nature varie selon les types d'élastomères. Lorsqu'on tire sur un élastomère, les molécules se déplient et s'allongent. Le rôle des noeuds est de les empêcher de glisser et de les ramener dans leur position initiale lorsqu'on relâche la tension [12].

#### **I.7.2.2 Les polymères semi-cristallins :**

La structure cristalline n'est pas réservée au monde minéral. Elle est largement présente dans les polymères thermoplastiques, mais elle se révèle sous des aspects spécifiques aux polymères à cause de leurs longues molécules : les cristallites et les sphérolites. Le polyéthylène en est un bon exemple. Dans une cristallite de polyéthylène, les chaînes macromoléculaires linéaires non ramifiées sont repliées en accordéon.

Les parties rectilignes des repliements s'ajustent les unes contre les autres en empilements réguliers (figure I.6). C'est la définition même d'un cristal. Sa particularité est qu'une direction d'empilement (ici celle qui est représentée verticalement) est concrétisée par la chaîne elle-même [12].



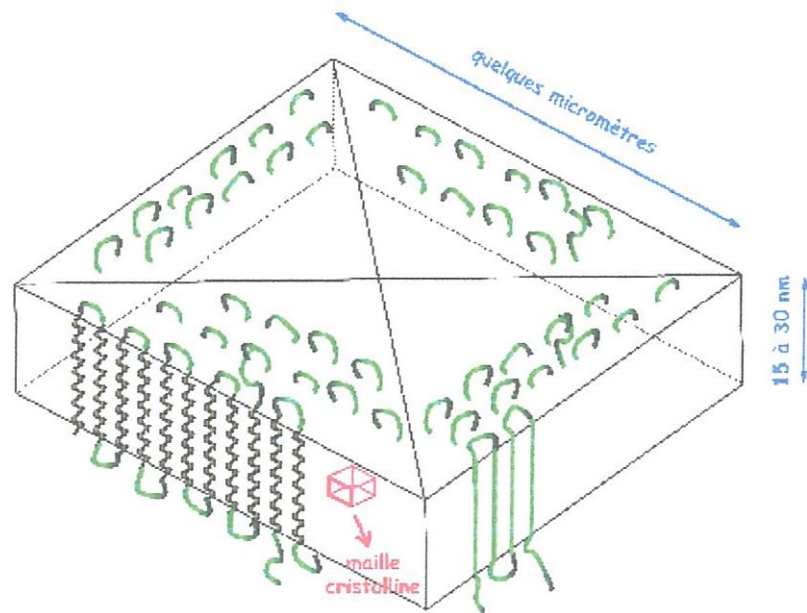


Figure 1.6 : Cristallisation du polyéthylène [12].

Cependant, ces cristaux ne sont pas parfaits. Cela ne veut pas dire qu'ils sont mauvais, mais qu'au regard de notre définition de l'ordre, ils souffrent de défauts aux règles. Par exemple, les chaînes ne sont pas parfaitement alignées et parallèles, ou bien pas vraiment calées les unes contre les autres. Il s'ensuit que les cristaux ne se développent qu'à des tailles très limitées, inférieures au micromètre. C'est ce qu'on nomme cristallites. Les matériaux en polyéthylène et autres thermoplastiques sont constitués de cristallites enrobées de matière amorphe [12]. Ils sont dits semi-cristallins.

Le polyéthylène semi-cristallin dont il a été question précédemment (figure I.6) est un polyéthylène haute densité (PEHD) dont les molécules sont parfaitement linéaires. Si par contre les chaînes sont ramifiées, elles ne s'empilent pas en cristallites. On a affaire à un polyéthylène basse densité (PEBD) amorphe [13].

### I.7.3 Propriétés thermiques :

On peut classer les polymères en deux types, en fonction de leur réaction à la chaleur : les thermodurcissables et les thermoplastiques.

**a) Les thermoplastiques** : fondent lorsqu'on les chauffe, tout comme la glace ou le beurre. C'est le cas du polyéthylène, du polypropylène, des polyamides, de certains polyesters. L'avantage est que dans l'état fondu, on peut les mouler dans la forme que l'on veut.

**b) Les thermodurcissables** : durcissent quand on les chauffe. Un exemple connu est celui des colles ou des peintures. Ils sont également très employés comme pièces de structure thermostables, par exemple les résines polyépoxydes, certains polyuréthanes, certains polyesters. On les met en forme lorsqu'ils sont encore dans leur état mou, de la même manière que les thermoplastiques, avant qu'ils ne durcissent sous l'effet de la chaleur et d'additifs chimiques qui induisent la réaction de polymérisation [12].

### **I.7.3.1 Température de transition vitreuse :**

La transition vitreuse est le changement d'état du polymère ou du matériau composite polymérisé, sous l'action de la température, et entraînant des variations importantes de ses propriétés mécaniques. La transition vitreuse est caractérisée par une température de transition vitreuse.

Au dessous de cette température, le polymère est dit vitreux (état solide) et présente le comportement d'un corps élastique.

Au dessus, il présente un comportement de solide plastique (état viscoélastique), suite à l'affaiblissement de liaison intermoléculaires (force de vander waals,...)

De nombreux paramètres structuraux influent sur la température de transition vitreuse des polymères ; parmi lesquels la ténacité, la masse molaire ou la présence des groupes latéraux volumineux [14].

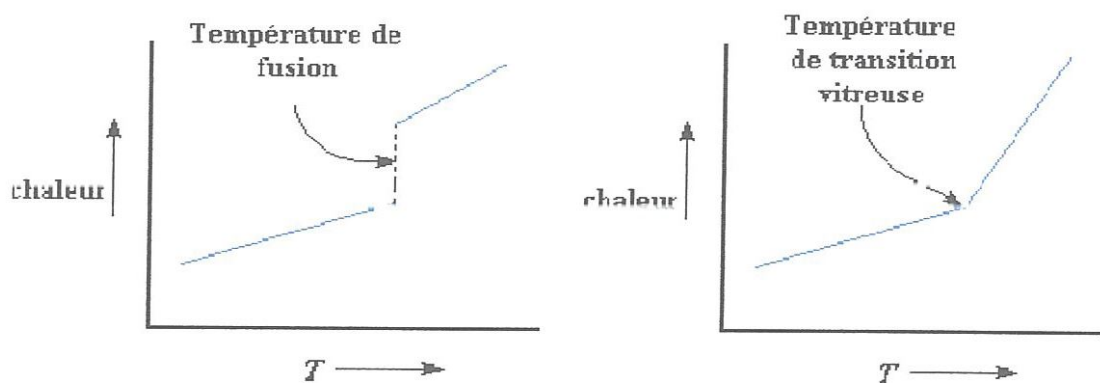
### **Polymères amorphes et cristallins :**

A présent une petite mise au point. La transition vitreuse est différente de la fusion. La fusion se produit dans les polymères cristallins.

La fusion est le passage des chaînes de polymère d'un état cristallin ordonné à un état liquide désordonné. La transition vitreuse se produit dans les polymères amorphes, c'est-à-dire des

polymères dont les chaînes ne sont pas arrangées en cristaux ordonnés, mais sont disposées au hasard, de n'importe quelle façon, même si elles sont à l'état solide.

Mais même les polymères cristallins contiennent une partie amorphe. Cette partie représente en général entre 30 et 60% de la masse du polymère. C'est pourquoi un matériau polymère a à la fois une température de transition vitreuse et une température de fusion (figure I.7). Mais comme vous vous en doutez, la partie amorphe subit uniquement la transition vitreuse et la partie cristalline subit seulement la fusion.



**Chaleur en fonction de la température pour un polymère cristallin sur la gauche et un polymère amorphe sur la droite**

*Figure I.7 : Chaleur en fonction du temps pour un polymère amorphe est l'autre Semi-cristallin.*

La courbe sur la gauche montre ce qui se passe quand on chauffe un polymère 100% cristallin. Vous pouvez voir que la courbe est discontinue. Cette discontinuité correspond à la température de fusion. A cet endroit beaucoup d'énergie est ajoutée sans aucune augmentation de la température. C'est la chaleur latente de fusion. On voit que la pente de la courbe est plus forte après la discontinuité.

Cette pente est égale à la capacité calorifique, donc l'augmentation de la pente correspond à l'accroissement de la capacité calorifique au-dessus du point de fusion.

Mais sur la courbe de droite, qui représente ce qui arrive à un polymère 100% amorphe quand on le chauffe, il n'y a pas de discontinuité. Le seul changement que l'on voit à la transition vitreuse est une augmentation de la pente, ce qui correspond à un accroissement de la capacité calorifique, il n'y a pas de chaleur latente associée à la transition vitreuse, est la différence entre une transition du premier ordre comme la fusion et une transition du second ordre comme la transition vitreuse [15].

La figure I.8 représente les températures de travail continu de quelques types de polymères semi-cristallins et d'autres amorphes.

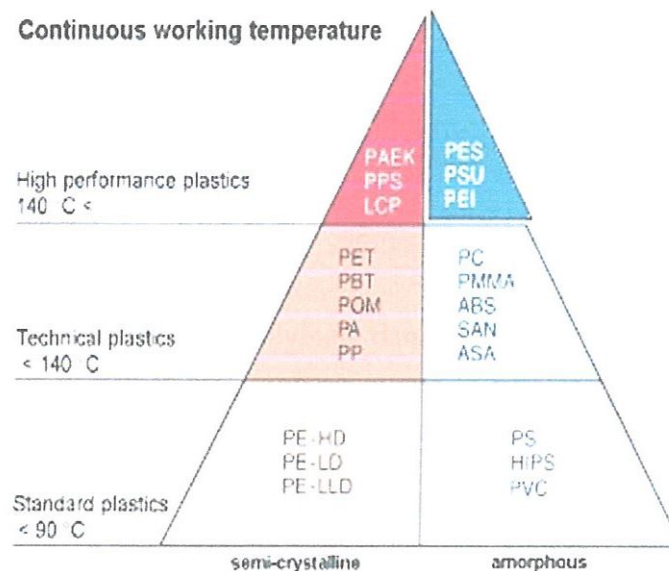


Figure I.8 : Températures de travail continu des différents polymères amorphes et semi-cristallins [16].

### I.7.3.2 Coefficient de dilatation thermique :

Les coefficients de dilatation thermique des plastiques (de 4 à 20 x 10<sup>-5</sup>/°C; de 2 à 11 x 10<sup>-5</sup>/°F) sont beaucoup plus élevés que ceux des métaux ordinaires (de 1.0 à 2.5 x 10<sup>-5</sup>/°C; de 0.6 à 1.4 x 10<sup>-5</sup>/°F). En général, les polymères et les plastiques dérivés sont de bons isolants électriques.



#### **I.7.3.4 Résistance au feu :**

Les plastiques se comportent différemment sous l'action du feu : certains s'enflamment, d'autres brûlent rapidement ou lentement, et d'autres sont auto extinguibles. La nature des polymères et des substances comme les charges, les matériaux de renforcement, les plastifiants ou les adjuvants ignifugeants, déterminent le degré d'inflammabilité [17].

Les polymères halogénés, tel que le PVC ou le PVC chloruré, sont naturellement ignifuges; lors qu'ils sont chauffés, ils libèrent des gaz halogènes qui interrompent la réaction d'oxydation en chaîne par radicaux libres. Cependant, si l'on ajoute des plastifiants, le PVC devient inflammable. La résistance au feu des plastiques peut être améliorée par l'adjonction d'adjuvants appropriés ou par l'emploi de polymères naturellement ignifugeants.

#### **I.7.3.4 Perméabilité aux gaz :**

La perméabilité d'un polymère à un gaz donné dépend de deux facteurs :

- La solubilité du gaz dans le polymère.
- La diffusion de ce gaz à travers le polymère dans la direction de gradient de concentration [7].

#### **I .7.4 Propriétés mécaniques :**

Les matériaux polymères sont utiles principalement en raison de leurs propriétés mécaniques. Par rapport aux métaux, les polymères et les plastiques ont un faible module d'élasticité et leur rapport résistance/poids est plus élevé. Les objets et structures en plastique ont des degrés de résistance au choc très variables, allant de très fragile à très tenace [11].

##### **I.7.4.1 Comportement mécanique :**

Les performances mécaniques des polymères restent encore leur atout majeur dans les principaux domaines industriels. Dans la pratique courante, le comportement en service des polymères est essentiellement limité à des déformations viscoélastiques faibles, l'objectif étant de ne pas dépasser le seuil de plasticité et d'éviter la rupture brutale ou différée. Il est

donc important d'analyser avec soin l'influence des paramètres microstructuraux des polymères sur leur comportement pré plastique [14].

Le comportement des polymères à la déformation diffère de celui des métaux de construction en ce qu'il n'est pas seulement fonction de l'ordre de grandeur de la contrainte, mais également de la durée d'application.

De plus, la température et le mode d'application de la contrainte affectent beaucoup plus les propriétés mécaniques des polymères et des plastiques que celles des métaux. Ces propriétés peuvent aussi être influencées par le procédé de fabrication, un traitement ultérieur et l'âge du produit fini.

Les polymères n'obéissent pas à la loi de Hooke, mais ont un comportement dit viscoélastique. Le préfixe "visco" veut dire que le matériau possède certaines des caractéristiques des liquides visqueux, ce qui implique une dépendance du facteur temps. Suivant ce comportement, les polymères amorphes peuvent avoir 3 types de réaction à la déformation par contraintes non destructives (relativement faibles), selon la durée de l'application de celles-ci : élasticité instantanée (ou de Hooke), élasticité retardée ou différée (haute élasticité) et écoulement visqueux [11].

- **Élasticité instantanée (ou de Hooke) :** Le matériau se comporte comme un solide élastique à la suite d'applications rapides de la contrainte; c'est pourquoi le rapport contrainte; déformation est constant et indépendant du temps. Au niveau moléculaire, l'élasticité instantanée peut s'expliquer par une légère déformation des liaisons de valence par étirement ou distorsion ou par des changements de distance entre chaînes voisines. Ceci se produit à des températures inférieures à celle du point de transition vitreuse ( $T_v$ ), températures auxquelles la chaîne de polymères est fixée dans une de ses nombreuses conformations possibles.

- **Élasticité retardée :** Lorsque l'application des forces se fait plus lentement, le rapport contrainte - déformation est fonction du temps. La déformation peut devenir considérable, mais si on supprime la force, elle disparaît. Le comportement élastique retardé correspond à des changements de la conformation des molécules et se produit au voisinage ou au-dessus du point de transition vitreuse ( $T_v$ ). Au-dessus de  $T_v$ , le polymère est caoutchouteux. Normalement, les molécules se répartissent au hasard, en forme d'hélice ou zigzag par



rotation libre autour des liaisons simples de la chaîne principale. Si une contrainte est exercée, les molécules ont tendance à se dérouler ou à se déplier et en l'absence de cristallisation, le polymère peut s'étirer jusqu'à ce que les molécules adoptent une conformation complètement allongée. Avec certains polymères caoutchouteux soumis à un effort de traction, il peut se produire des allongements de 1200%. Si la contrainte cesse d'être exercée, les molécules reprennent leur forme d'hélice ou de zigzag. L'allongement et la recouvrance de la déformation ne sont pas instantanés.

- **Écoulement visqueux** : Si le taux d'application des forces est très lent, la déformation peut être permanente, dénotant ainsi que le matériau s'est déformé en partie comme un liquide visqueux plutôt qu'un solide. L'écoulement visqueux provient du déplacement lent de chaînes entières de polymères par rapport aux chaînes voisines. Les polymères réticulés ne subissent pas l'écoulement visqueux, en raison des liaisons chimiques entre les chaînes [11].

Le comportement des polymères cristallins à la déformation est beaucoup plus complexe que celui des polymères amorphes. La plupart des polymères cristallins renferment des parties amorphes qui ont un comportement visco-élastique. La mobilité moléculaire du polymère cristallin disparaît bien au-dessous de  $T_v$ . Le matériau adoptera alors le comportement d'un solide élastique dur. Au-dessus du point de fusion ( $T_f$ ), le polymère n'est plus cristallin et se comporte comme un liquide visco-élastique amorphe. Entre  $T_v$  et  $T_f$  et un peu au-dessous de  $T_v$ , c'est-à-dire à la température d'utilisation des matériaux, le comportement sous l'effet d'une contrainte est complexe.

#### **I.7.4.2 Propriétés mécaniques aux limites :**

Dans des applications techniques, la déformation est un facteur bien plus important pour les plastiques que pour les autres matériaux. Le projeteur doit donc bien connaître le comportement mécanique des matériaux polymères pour ne pas dépasser les contraintes maximales permises afin d'éviter des ruptures. Comme pour la plupart des matériaux, une simple courbe traction-allongement constituera un bon élément de base pour connaître le comportement mécanique de tel plastique ou de tel polymère [11].

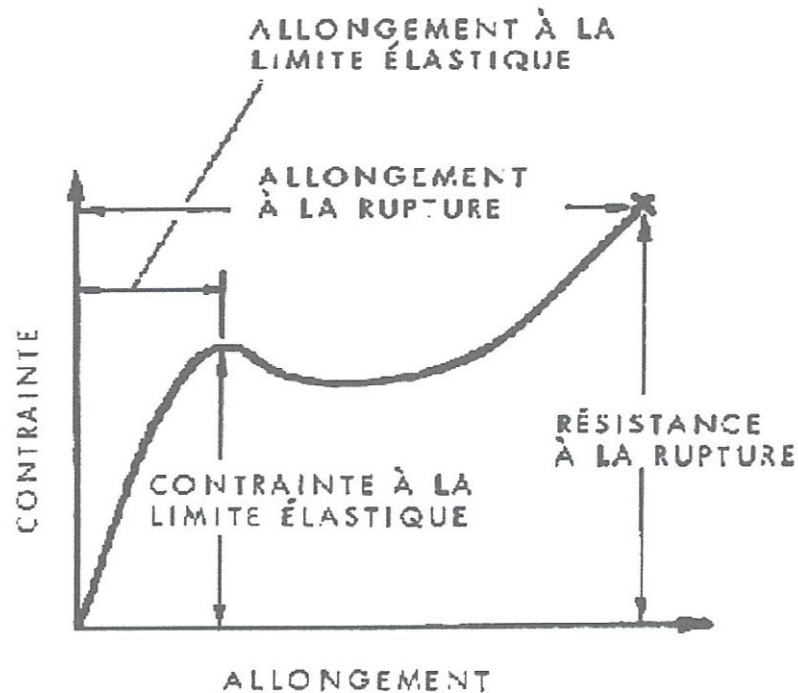


Figure I.9 : Courbe générale traction-allongement des matériaux polymères [11].

Cette courbe est habituellement établie à partir des mesures successives des forces exercées sur l'éprouvette, lorsqu'on soumet celle-ci à une traction à vitesse constante d'allongement jusqu'à la rupture. Les différents domaines de la courbe (Fig.1.9) représentent la relation contrainte-déformation (en traction) de n'importe quel plastique et permettent de déterminer plusieurs quantités utiles. La pente initiale de la courbe permet de déterminer une valeur du module de Young (module d'élasticité) qui est une mesure de rigidité. La courbe permet aussi de connaître la contrainte à la limite élastique du matériau, sa résistance et son degré d'allongement à la rupture. L'aire située entre la courbe et l'axe de déformation (allongement) représente l'énergie à la rupture et donne une mesure de la ténacité du matériau polymère. La contrainte appliquée au coude de la courbe permet de mesurer la résistance du matériau et sa capacité de résister à la déformation permanente. La contrainte au point de rupture donne une mesure de la force nécessaire pour rompre le matériau, communément désignée charge de rupture. La Figure I.10 représente le comportement contrainte - déformation de quatre catégories types de matériaux polymères.

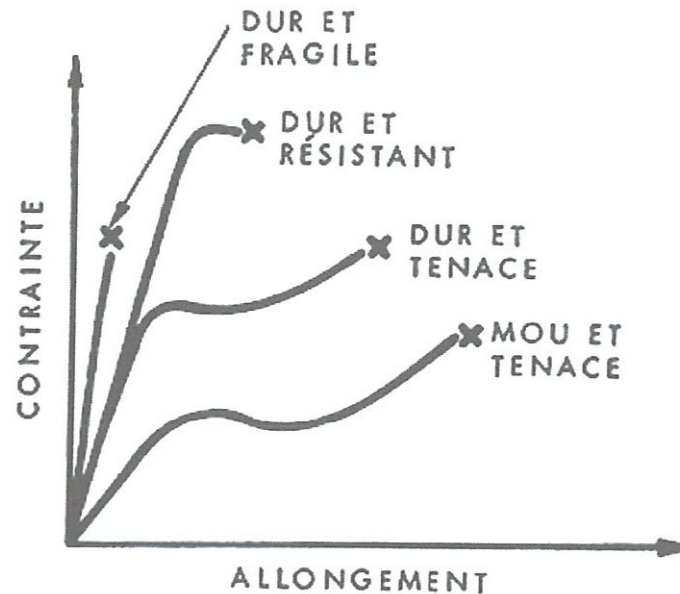


Figure I.10 : Courbes traction-allongement de 4 types de matériaux polymères [11].

La courbe d'un matériau dur et fragile tel qu'un polymère amorphe à une température bien inférieure à  $T_v$  présente habituellement une pente initiale qui indique un module d'élasticité très élevé, une résistance modérée, un faible allongement à la rupture et une aire minime en dessous de la courbe contrainte - allongement (Fig. I.10). Les valeurs caractéristiques du module d'élasticité et de la résistance à la traction sont 500,000 et 10,000 lb/po<sup>2</sup> respectivement, tandis que l'allongement typique est de 2%. En général, la déformation de ces matériaux est élastique jusqu'à la rupture, qui est une cassure fragile. Le polystyrène, le poly (méthacrylate de méthyle) et de nombreuses résines phénol-formol sont des exemples de matériaux polymères durs et fragiles à la température ambiante ou au-dessous [11].

Le module d'élasticité et la résistance des polymères durs et résistants sont élevés. Leur allongement à la rupture est de 5%. La forme de la courbe permet souvent d'affirmer que la rupture du matériau s'est produite à un endroit où on pouvait s'attendre à une limite d'écoulement plastique. Ce type de courbe caractérise certains composés rigides de poly (chlorure de vinyle) et des mélanges de polystyrènes.

Certains polymères, comme l'acétate de cellulose, le nitrate de cellulose et les nylons, ont un comportement dur et tenace. Leur contrainte à la limite élastique, module d'élasticité, résistance et leur allongement sont élevés. Sous l'effet d'un étirage, la plupart des polymères

de ce groupe subissent un écoulement à froid qui produit une striction dans l'éprouvette. L'étirage à froid améliore la résistance et constitue donc un procédé très important de la technologie des fibres synthétiques [11].

Les polymères mous et tenaces ont un faible module d'élasticité, des contraintes à la limite élastique peu élevées, une résistance à la rupture modérée et un allongement pouvant aller de 20 à 1000%. Les courbes contraintes - déformation de ce type caractérisent le PVC plastifié et les caoutchoucs (élastomères). Le tableau I.1 résume le comportement (contrainte - déformation) de différents groupes de polymères.

Caractéristiques des matériaux polymères	Type de matériaux polymères			
	Dur et fragile	Dur et résistant	Dur et tenace	Mou et tenace
	PS, PMMA, phénoliques	PVC rigide, mélange de PS	PE, PTFE	PVC plastifié, caoutchoucs
Module d'élasticité	élevé	élevé	élevé	élevé
Contrainte à la limite élastique	nulle	élevée	élevée	faible
Résistance à la rupture	mod.	élevée	élevée	mod.
Allongement à la rupture	faible	mod.	élevé	élevé

*Tableau I.1 : caractéristiques du comportement (contrainte-déformation) des matériaux polymères [11].*

Suivant la température (T), les propriétés mécaniques des polymères varient. De plus, comme ils sont métastables, il y a donc une évolution de leur comportement en fonction du temps (t) [11].



Les courbes de la figure I.11, obtenues en traction avec la méthode vidéométrique, montre le comportement plastique aux grandes déformations pour une sélection de polymères amorphes et semi cristallins (PEEK, PA6, PC, PVC, PP, PE, PTFE) à la température ambiante. On constate que le comportement de tous ces polymères est relativement semblable.

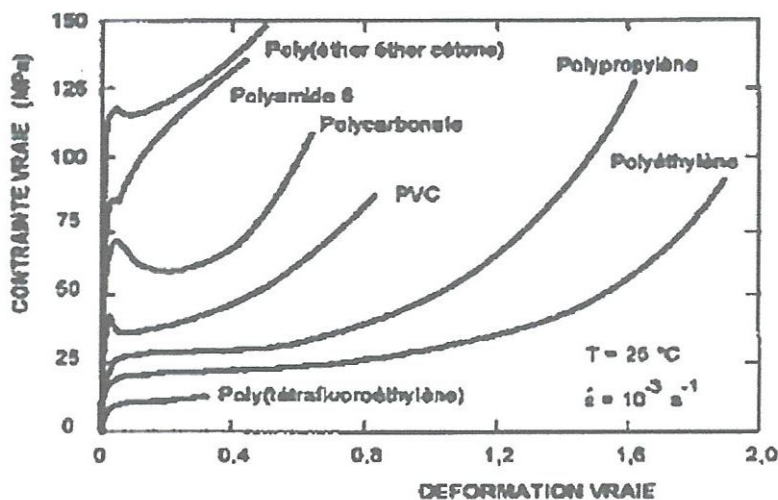


Figure I. 11 : Courbes contrainte vraie – déformation vrai de divers polymères obtenues à 25° C avec la méthode vidéométrique [17].

#### I.7.4.3 Comportement tribologique des polymères:

Par définition, la tribologie est la science relative aux surfaces à action réciproque en mouvement relatif, donc aux phénomènes de frottement de glissement (résistance au déplacement) et d'usure (perte de matière à la surface d'un corps soumis à une action mécanique), qui interviennent lorsque deux surfaces solides en contact glissent l'une sur l'autre. Ce dernier phénomène, qui résulte toujours de l'intervention d'un corps étranger, peut être décomposé en plusieurs modes, qui correspondent sur le plan méthodologique à des essais particuliers :

- L'usure adhésive correspond à un transfert par rupture de particules du matériau le plus mou sur le matériau antagoniste. Il s'agit du mécanisme d'usure principal des polymères thermoplastiques :

- L'usure abrasive (abrasion ou érosion) se manifeste par la formation de rayures, rainures ou copeaux sous l'action d'une meule, de papier émeri ou de toutes autres protubérances ou particules dures présentes sur la surface antagoniste.
- L'usure par fatigue superficielle intervient lorsque les conditions de contact (pression et/ou vitesse) génèrent un auto-échauffement suffisant pour provoquer fusion, ramollissement, déformation excessive, fragilisation ou rupture du matériau [12].

#### **I.7.4.3.1 Coefficient de frottement :**

Le coefficient de frottement, dans un glissement à sec (sans lubrification), est affecté par un nombre de paramètres, Les principaux paramètres qui interviennent sont :

- ✓ La structure interne ;
- ✓ La pression de contact ;
- ✓ La vitesse de glissement ;
- ✓ La température et l'humidité ;
- ✓ La rugosité de surface ;
- ✓ Le matériau au contact

#### **I.7.4.3.2 Amélioration des propriétés tribologiques des polymères :**

On peut améliorer les propriétés frottantes des polymères de trois façons différentes :

- En modifiant leur structure moléculaire ou leur super-structure ;
- En faisant appel à des mélanges avec d'autres polymères ;
- En ajoutant certaines charges aux polymères [12].

#### **I.7.1.3.2 Travaux antérieurs sur le frottement des polymères :**

La spécificité des polymères réside, d'une part, dans l'orientation des macromolécules qui induit une anisotropie structurale et mécanique, et d'autre part, dans leur sensibilité à la température qui influence fortement la cristallinité et les propriétés mécaniques. Les mécanismes de frottement et d'usure des polymères sont souvent corrélés aux propriétés mécaniques des matériaux considérés. Ils sont très complexes. Par conséquent, les études réalisées dans ce domaine concernent principalement les polymères massifs non orientés.

A température ambiante, les lois Amontons-Coulomb décrivent de manière satisfaisante le comportement du matériau. Le frottement du polymère sur lui-même est entaché d'un stick-slip important dont l'amplitude tend à décroître avec la vitesse. Une augmentation de la température du matériau correspond sous frottement alterné à une dégradation de la contre-surface par un transfert du polymère [12].

Le frottement devient de type abrasif et son amplitude augmente, rendant le comportement de ce matériau instable.

La température de l'interface reste une grandeur déterminante et la tendance au collage de la matrice est toujours décelable.

L'usure d'un polymère pur est plus importante sous frottement alterné que sous frottement continu et dans les deux cas on observe une augmentation du taux de cristallinité de ce polymère après usure. L'établissement d'une contre-surface rugueuse sous mouvement alterne conduit à une usure sévère de type abrasive.

Un traitement thermique du polymère a une influence secondaire par rapport au mouvement. L'usure est fortement influencée par la température de l'interface et procède par arrachement de fibres et adhésion de la matrice sur la contreface. Une contre-pièce initialement polie détériore les propriétés tribologiques de ce matériau. L'usure du PTFE et son coefficient de frottement sont identiques sous les deux types de mouvement et on observe principalement un endommagement par abrasion de la contre-pièce en acier.

Rappelons que la résistance à l'usure des polymères augmente avec le degré de cristallinité et que l'orientation des chaînes peut réduire le facteur de frottement parallèlement à la direction d'étirage [12].

### **I.7.5 Autres propriétés :**

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

#### **- Leurs propriétés optiques :**

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

- **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 [13].



## **CHAPITRE II :**

### **Application des polymères en tuyauterie**

## **II. APPLICATIONS DES POLYMERES EN TUYAUTERIE :**

### **II.1 Introduction :**

Les tuyaux plastiques ont été utilisés pour la première fois par les Allemands, au milieu des années 1930, dans des réseaux sanitaires d'évacuation. Leur emploi est maintenant très diversifié et largement répandu dans les pays industrialisés.

Comme les plastiques diffèrent sensiblement les uns des autres, le concepteur et l'utilisateur devraient, avant d'arrêter leur choix, connaître les avantages et les limites de chacun.

Une large gamme de plastiques peut être moulés ou extrudés pour réaliser des tuyaux et des raccords de tuyauterie. Les tuyaux en plastique et ceux en métal ont de multiples propriétés en commun, mais l'étendue de ces propriétés diffère. Ainsi, beaucoup de principes et de méthodes de conception et de mise en oeuvre valables pour d'autres matériaux de tuyauterie ne sont pas applicables aux tuyaux plastiques [18].

### **II .2 Propriétés :**

Le choix d'un matériau de tuyauterie est dicté par la nature du fluide à transporter et par les conditions prévues d'utilisation. Certains attributs des plastiques seront un atout ou un défaut selon l'application et le type de plastique utilisé. Par ailleurs, certains désavantages peuvent être réduits ou éliminés par une conception et une installation appropriées des tuyaux. Pour choisir le matériau qui convient, il faut donc bien connaître les caractéristiques physiques des divers plastiques [19].

#### **II .2.1 Résistance à la corrosion et à l'érosion :**

Les tuyaux en plastique sont extrêmement résistants à la corrosion due à l'eau, à presque tous les acides, aux alcalis, aux solutions salines et aux autres liquides corrosifs, ainsi qu'aux gaz. Leur résistance à l'usure par érosion dépend du fluide transporté, du type de plastique, et des conditions de service.

La résistance d'un plastique aux agressions chimiques diminue à mesure qu'augmente la concentration du réactif. Certains types de polyéthylène (PE), par exemple, utilisés au transport des solutions d'acide sulfurique concentrées à 70 pour cent à 23°C, ne conviennent pas aux solutions concentrées à 95 pour cent.

La résistance chimique dépend aussi beaucoup des températures de service. Certains tuyaux en polyéthylène (PE) qui transportent de l'oxyde d'azote à 23°C ne devraient pas être employés pour transporter ce gaz à 50°C. La composition particulière d'un plastique détermine également sa réactivité.

### **II .2.2 Absence de rugosité des parois internes :**

Les tuyaux en plastique ont des parois internes très lisses, ce qui permet un écoulement rapide, réduit la formation des dépôts et prévient l'engorgement des tuyaux. En revanche, la plupart des tuyaux en métal se corrodent avec le temps, et l'accumulation de rouille et de tartre augmente les pertes de charge par frottement.

Matériau	Masse volumique g/cm <sup>3</sup>	Coefficient de dilatation thermique, 10 <sup>-6</sup> /°C	Conductivité thermique, W·m <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup>	Résistance à la traction MPa (ASTM D 638)	Module d'élasticité GPa (ASTM D 638)
<b>Plastiques :</b>					
Thermoplastiques	0,09-1,80	50-180	0,14-0,5	23-50	1,0-3,1
Thermodurcissables	1,30-2,00	22-31	0,19-0,26	62	0,90-19
<b>Métaux n. ferreux</b>					
Aluminium	2,70	23	220	76	69
Laiton	8,50	19	120	500	100
Cuivre	8,75	17	390	220	120
<b>Métaux ferreux</b>					
	7,20-7,85	12-16	33-52	160 -1400	90-270
Plomb	11,35	30	35	17	14
Béton	1,80-2,50	11	-	1,4-3,4	14-34

Tableau II.1 : Propriétés des plastiques et des matériaux traditionnels employés en tuyauterie.

### II .2.3 Propriétés thermiques :

Les plastiques ont un coefficient de conductibilité thermique beaucoup plus faible que la plupart des autres matériaux utilisés en tuyauterie (tableau II.I). Dans la tuyauterie d'évacuation, d'évacuation des eaux usées et de ventilation (DWV), cette caractéristique est un avantage, car les substances grasses ne se déposent pas ou se déposent plus lentement à l'intérieur des conduites.

Les tuyaux plastiques se dilatent plus sous l'effet de la chaleur que les tuyaux faits de matériaux traditionnels. Il faut tenir compte de ce facteur si de grandes variations de



température sont prévues. Par exemple, le coefficient de dilatation thermique du poly (chlorure de vinyle) (PVC) de type I ( $50 \text{ à } 63 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) est environ quatre à cinq fois plus grand que celui de l'acier ( $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ), et celui du polyéthylène (PE) de type I, près de quinze fois plus grand.

En raison de cette capacité de dilatation des plastiques, les supports des tuyaux sont plus rapprochés que ceux des tuyaux métalliques, et on fait serpenter dans les tranchées la tuyauterie enterrée.

Parce qu'ils se ramollissent à des températures relativement basses, les tuyaux plastiques doivent être situés à distance des zones à température élevée et être éloignés des autres tuyaux ou conduits et des conducteurs qui pourraient dégager une chaleur excessive. Selon le type de plastique et les contraintes, la température de service maximale se situe entre  $50^{\circ}\text{C}$  et plus de  $150^{\circ}\text{C}$ .

#### **II .2.4 Propriétés électriques :**

Les plastiques ne sont habituellement pas conducteurs d'électricité. Ils ne sont donc pas sujets à la corrosion électrolytique ou galvanique, une des principales causes de dégradation des tuyaux en métal enterrés, mais ne peuvent être employés pour les conduites de mise à la terre.

#### **II.2.5 Masse volumique :**

Les tuyaux plastiques sont beaucoup plus légers que les tuyaux en métal, en béton ou en amiante-ciment; leur masse volumique se situe généralement entre  $0,90$  et  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , selon la résine de base et leur formulation. Ainsi, le coût d'installation est moindre, puisqu'ils peuvent être mis en place à la main, sans l'aide de l'équipement requis par le positionnement des matériaux lourds. Le poids allégé diminue par ailleurs les coûts de transport.

#### **II .2.6 Propriétés mécaniques :**

Les plastiques n'ont pas la robustesse des métaux (tableau II.1), mais ils sont plus souples. Ils ont une résistance à la traction et à l'éclatement largement suffisante pour soutenir les pressions imposées par la plupart des conditions de service, dans un intervalle de

température donnée. La résistance mécanique diminue lorsque la température augmente, mais la résistance au choc s'accroît. Les tuyaux plastiques sont généralement tenaces; les chocs qui provoqueraient la rupture de matériaux plus rigides ou plus fragiles sont absorbés et ne causent pas ou causent peu de dégâts.

### II .2.7 Inflammabilité :

Les plastiques sont formés à partir de polymères et contiennent d'autres composés organiques qui sont généralement combustibles. Les produits plastiques ont un comportement au feu très variable et leur vitesse de combustion dépend du type de résine, de la composition du produit fini et de l'épaisseur de la paroi. Comme les matières plastiques utilisées pour les tuyaux se décomposent lors de l'incendie d'un bâtiment, les produits de la combustion, qui peuvent propager le feu, doivent être pris en considération au moment de la conception et de l'installation des tuyaux.

### II .2.8 Pression de service :

À l'exception des tuyaux d'égouts et d'évacuation, tous les tuyaux en plastique comportent une indication de la pression de service. Il existe trois méthodes pour désigner la pression de service :

- le numéro de désignation (Schedule number) qui s'obtient à l'aide de l'expression suivante :  $1\ 000 \times P/S$ , où P est la pression de service et S est la contrainte admissible, ces deux grandeurs étant exprimées avec les mêmes unités;
- le rapport de dimension normalisée (SDR), calculé en divisant le diamètre extérieur du tuyau par l'épaisseur de la paroi;
- le niveau de pression de service, qui donne la pression de service à une température donnée. Dans le commerce, on trouve des tuyaux plastiques de différentes pressions de service. Les plus courants sont : (340, 690 et 860 kPa; 160, 200, 250 et 1,1, 1,4, 1,7 et 2,2 MPa.

Les tuyaux en matière thermoplastique sont identifiés par un code alphanumérique composé d'un groupe de lettres suivi de quatre chiffres. Les lettres désignent la résine. Le

premier chiffre et le second chiffre indique respectivement le type et la classe de résine plastique; le troisième et le quatrième chiffre indiquent la pression hydrostatique divisée par 100. Par exemple, le code PVC 1120 désigne un tuyau de poly (chlorure de vinyle) (PVC), de type 1, de classe 1, dont la pression hydrostatique d'essai est de 13,8 MPa [19].

## **II .2.9 Durabilité :**

### **II .2.9.1 Résistance aux micro-organismes et aux rongeurs :**

Les essais in situ et en laboratoire sur des câbles et des tuyaux thermoplastiques enterrés ont montré que les plastiques étaient pratiquement à l'abri des attaques par les bactéries, les moisissures ou autres microorganismes, ou par les insectes. Bien que les essais n'aient pas montré d'agression par les termites, les tuyaux ont parfois été endommagés en surface par les rongeurs.

### **II .2.9.2 Résistance aux intempéries :**

Les plastiques, en général, sont susceptibles d'être détériorés par les intempéries. Plus précisément, la plupart des plastiques se détériorent lorsqu'ils sont exposés au rayonnement ultraviolet du spectre solaire. La fragilisation photochimique du plastique réduit sa résistance mécanique et sa résistance à la fissuration. Pour améliorer de façon substantielle la résistance à la détérioration, on emploie des plastiques ayant une composition stabilisée contre les effets des intempéries et qui contiennent des agents anti-ultraviolets.

## **II .3 Applications :**

Les principales propriétés qui déterminent l'emploi des plastiques comme matériaux de tuyauterie sont: la température de ramollissement, la résistance mécanique, la stabilité dimensionnelle, la résistance aux produits chimiques domestiques et industriels, le coût de fabrication, le coût et la facilité d'installation.

Les applications les plus courantes des tuyaux en plastiques sont décrites ci-dessous.

### **II .3.1 Réseaux d'évacuation, d'évacuation des eaux usées et de ventilation (DWV) :**

Dans la plupart des pays industrialisés où les codes en permettent l'emploi, les plastiques dominent dans les réseaux de ventilation et d'évacuation des secteurs résidentiel et commercial. Un nombre sans cesse croissant d'industries et d'établissements utilisent avec succès les tuyaux plastiques pour évacuer les acides.

### **II .3.2 Irrigation et distribution d'eau :**

Les tuyaux plastiques sont les mieux adaptés aux réseaux d'irrigation et de distribution d'eau, car ils résistent bien dans le sol et sont peu coûteux.

### **II .3.3 Industries pétrolières et gazières :**

Les tuyaux plastiques sont couramment utilisés pour transporter tous les types de pétroles bruts et de gaz naturels et sont maintenant préférés aux tuyaux en métal, qui s'encrassent et tendent à s'engorger.

### **II .3.4 Applications diverses :**

Comme nous l'avons vu, les plastiques résistent beaucoup mieux à un grand nombre de produits chimiques que les matériaux traditionnels de tuyauterie. L'industrie minière utilise les plastiques pour éviter les problèmes de corrosion par l'acide sulfurique. Les tuyaux plastiques sont très répandus dans l'industrie chimique et l'industrie de conditionnement des aliments, car les plastiques, en général, ne contaminent pas les produits finis. Certaines résines plastiques sont approuvées par la Food and Drug Administration (U. S.) et la National Sanitation Foundation (U. S.). Au Canada, les tuyaux plastiques utilisés dans l'industrie alimentaire doivent satisfaire à la Loi des aliments et drogues.

Enfin, les tuyaux plastiques sont couramment employés pour le traitement des eaux usées et dans les installations de traitement d'eau, pour transporter l'eau pure [20].



## II .4 Exigences et normes :

De nombreuses exigences et normes s'appliquent aux tuyaux et raccords en plastique : normes pour les matières premières, pour les tuyaux et les raccords, et pour les méthodes d'essai, ainsi que des recommandations sur la conception, l'installation et l'assemblage [21].

## II .5 Marquages normalisés :

Un bon tube porte les indications suivantes :

- le nom de l'usine, la marque ou un signe permettant d'identifier le fabricant.
- les dimensions nominales :  $\varnothing$  ext. épaisseur de la paroi et pression.
- la matière plastique et l'application par exemple . PE80 - eau potable.
- l'année et la semaine de fabrication.

La désignation est constituée par une suite d'informations [22] :

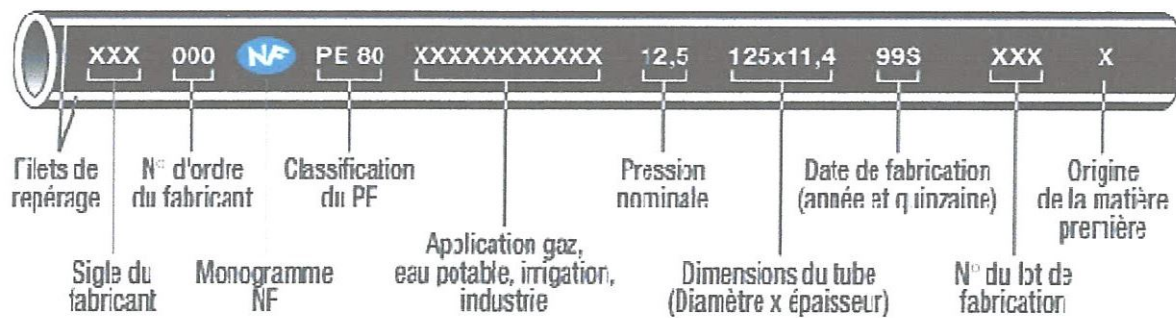


Figure II.1 : différents informations pour la désignation d'un tube [22].

## **CHAPITRE III :**

### **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **III. Etude comparative du comportement mécanique :**

#### **III.1 Introduction :**

Malgré l'intérêt croissant des matériaux polymères thermoplastiques pour les applications où leurs propriétés physico-chimiques sont mises à profit, les performances mécaniques restent encore leurs atouts majeurs dans les principaux domaines industriels [23].

Les essais mécaniques permettent de définir les caractéristiques mécaniques des matériaux. On mesure sur éprouvettes les caractéristiques de rupture, d'élasticité, de dureté, etc....

A travers ces essais nous pouvons comparer objectivement des matériaux entre eux pour faire un choix.

Plusieurs essais ont été effectués dans le but de faire une étude comparative du comportement mécanique du PEHD 80 et du PVC rigide, notre caractérisation comporte deux parties :

- Détermination des caractéristiques mécaniques de surface (dureté, usure, rugosité).
- Détermination du comportement mécanique instantané (Traction, compression, flexion, choc).

#### **III.2 Présentation des Matériaux étudiés :**

Pour notre étude, nous avons sélectionné deux matériaux polymères : le PEHD 80 et le PVC rigide. Ces deux matériaux sont largement utilisés dans le domaine de transport et de la distribution de l'eau.

D'après les statistiques des pourcentages en dommages constatés sur plusieurs types de tubes au JAPON après le tremblement de terre de KOBE en 1995, l'utilisation des tubes en PE au lieu d'autres types, est évoluée d'une façon appréciable.

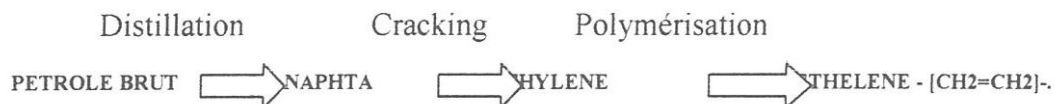
- Ses caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques en ont fait un matériau de choix pour les réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable. L'utilisation du PE s'est aujourd'hui largement généralisée au niveau mondial [24].

### III.2.1. POLYTHELENE A HAUTE DENSITE (PEHD) :

Le polyéthylène à haute densité est obtenu par des procédés de polymérisation de l'éthylène à basse pression, seul ou avec des monomères.

Les principales qualités du PEHD : résilience même à basse température, résistance aux produits chimiques, faible sensibilité à l'eau, imperméabilité à la vapeur d'eau, excellentes propriétés électriques, en font un matériau de choix dans les applications les plus variées comme l'extrusion-soufflage de corps creux, l'injection d'articles les plus divers, l'extrusion de films, tubes et câbles [25].

Le polyéthylène est obtenu selon le procédé suivant :



#### III.2.1.2 Propriétés :

Les propriétés d'un objet en polyéthylène haute densité dépendent :

- De ses paramètres structuraux : cristallinité, masse volumique et distribution des masses molaires.
- De la conception de la pièce.
- Des conditions de mise en œuvre.
- De paramètres d'utilisation comme le type et la durée des contraintes, la température.

#### III.2.1.5 Avantage des tubes en PEHD :

- Facilité de transport et d'installation due à leur légèreté et leur flexibilité.
- Facilité de soudage par électrofusion au bout à bout, offrant un système complètement soudé.
- Résistance à la corrosion interne, externe et microbiologique
- Bonnes propriétés hydrauliques grâce à des surfaces intérieures lisses.
- Bonne résistance chimique



- Longue durabilité avec un coût complet minime
- Contact sans incidence avec les produits alimentaires
- Robuste et de longue durée de vie.
- Résistant à la cassure car le PEHD est flexible.
- Extrêmement résistant à l'usure.
- Résistant aux chocs.
- Écologique.

#### **III.2.1.6 Principales applications :**

- Réseaux enterrés d'adduction d'eau potable,
- Branchements d'alimentation [26].

#### **III.2.1.7 Caractéristiques :**

Tubes semi-rigides en polyéthylène PE 80 (MRS 8 MPa), ou PE 100 (MRS 10 MPa), de couleur noire avec un repérage spécifique par bandes bleues.

- La spécificité organoleptique de ces tubes atteste outre leur qualité alimentaire, l'assurance du maintien de la pureté de l'eau et de l'inaltérabilité du goût et de l'odeur.

Conformité à la norme NF T 54 063 et au règlement de marque NF 114 groupe 2 certifiées par la marque de qualité NF [26].

#### **III.2.1.8 Caractéristiques techniques des tubes en PEHD 80 :**

Caractéristiques	Méthodes d'essai	Valeurs
<b>Retrait à chaud</b>	NF T 54-047	1% Aspect du tube conservé après essai, par rapport à l'aspect initial
<b>Résistance à la pression hydraulique</b>	NF T 54-025	T=20°C, $\sigma=12$ Mpa, $t \geq 1$ h T=80°C, $\sigma=4.6$ Mpa, $t \geq 170$ h T=80°C, $\sigma=4.0$ Mpa, $t \geq 1000$ h
<b>Traction à vitesse constante</b>	NF T 54-074	$\sigma \geq 15$ MPa $\varepsilon \geq 500\%$
<b>Tenue à la fissuration en milieu tensioactif</b>	NF T 54-077	Pas de propagation de la fissure à T=80°C pendant 7 jours.
<b>Teneur en noir de carbone</b>	NF T 51-140	2.2 en masse
<b>Dispersion du noir de carbone</b>	NF T 51-142	Note = 2
<b>Stabilité à l'oxydation</b>	NF T 54-075	T=36 mn
<b>Indice de fluidité</b>	NF T 51-016	0.8 g/10 mn

Tableau III.1 : caractéristiques techniques des tubes en PEHD 80.

### III.3. : Caractéristiques dimensionnelles des tubes en PEHD 80 :

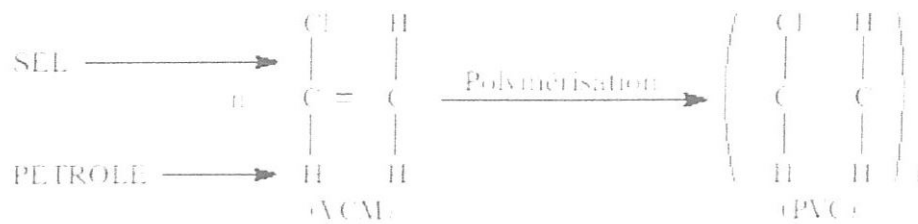
Diamètre nominal (mm)	Tolérance (mm)	Épaisseur nominale			Tolérance épaisseur (mm)			Poids (kg/ml)		
		PN6	PN10	PN16	PN6	PN10	PN16	PN6	PN10	PN16
20	+0.2	2.0	2.5	2.8	+0.4	+0.5	+0.5	0.118	0.164	0.164
	0				0	0	0			
25	+0.3	2.0	2.5	2.8	+0.4	+0.5	+0.5	0.172	0.216	0.241
	0				0	0	0			
32	+0.3	2.0	2.5	3.6	+0.4	+0.5	+0.6	0.221	0.277	0.398
	0				0	0	0			
40	+0.4	2.3	3.0	4.5	+0.4	+0.5	+0.7	0.328	0.428	0.642
	0				0	0	0			
50	+0.5	2.9	3.7	5.6	+0.5	+0.6	+0.8	0.521	0.655	1.000
	0				0	0	0			
63	+0.6	3.6	4.7	7.1	+0.5	+0.7	+1.0	0.651	0.850	1.284
	0				0	0	0			
75	+0.7	4.3	5.6	8.4	+0.6	+0.8	+1.1	0.929	1.210	1.815
	0				0	0	0			
90	+0.9	5.4	6.7	10.1	+0.6	+0.9	+1.3	1.114	1.737	2.618
	0				0	0	0			
110	+0.0	5.3	8.1	12.3	+0.7	+1.1	+1.5	1.679	2.567	3.898
	0				0	0	0			
125	+0.1	6.0	9.2	14.0	+0.8	+1.2	+1.6	2.160	3.313	5.041
	0				0	0	0			
160	+0.1	7.7	11.8	17.9		+1.4	+2.0	3.549	5.439	8.250
	0					0	0			
200		9.6	14.7	22.4				5.531	8.470	12.906
250		11.9	18.4	27.9				8.569	13.250	20.090
315		15.0	23.2	35.2				13.612	21.054	31.944
400		19.1	29.4	44.7				22.010	33.88	51.510

Tableau III.2 : Caractéristiques dimensionnelles des tubes en PEHD 80.

Le deuxième matériau choisi pour notre étude est le poly chlorure de vinyle (**PVC**)

### III.2.2 POLY CHLORURE DE VINYLE (PVC) :

Le PVC est un polymère thermoplastique obtenu par polymérisation du monomère de chlorure de vinyle. Ce matériau de synthèse est constitué de carbone, d'hydrogène et de chlore [26].



#### III.2.2.1 Composition :

Le PVC est composé de chlore (57 % en poids) et d'éthylène, hydrocarbure composé de carbone et d'hydrogène (43 %) issu du pétrole. Le chlore est obtenu par électrolyse du sel (Chlorure de sodium : Na Cl).

#### III.2.2.3 Utilisation :

Le PVC est utilisé pour une multitude d'applications rigides ou souples :

- Canalisations (tubes et raccords) ;
- Emballages (films et feuilles rigides, bouteilles et flacons) ;
- profilés (bardages, volets, fenêtres, gaines de câbles...) ;
- Films et feuilles (similicuir, feuilles d'étanchéité...) ;
- Revêtements de sols et de murs ;
- Applications médicales (poches à sang, drains, tuyaux, alèses, gants de soins...)
- Jouets (ballons, poupées...)



- Divers (tuyaux d'arrosage, cartes de crédits, bottes et chaussures, vêtements, pièces techniques, équipements automobiles, fils électriques, articles de bureaux, papeterie, gants de vaisselles ou de jardinage etc.)[27].

#### **III.2.2.4 Caractéristiques :**

Le choix d'une matière plastique pour une application déterminée, se fait donc, en fonction des caractéristiques et des performances que devra présenter le produit fini.

C'est sans aucun doute ce qui explique le succès du PVC qui peut être souple ou rigide, transparent ou opaque, incolore ou teinté, compact ou cellulaire...

En fonction des applications, les fabricants recherchent des qualités bien précises.

- Résistance mécanique.
- Légèreté.
- Non biodégradabilité.
- Faible inflammabilité naturelle.
- Résistance (chaleur, U.V., corrosion...) [26].

#### **III.2.2.5 Caractéristiques techniques des tubes en PVC rigide :**

<b>I. Propriétés générales</b>	<b>Normes</b>	<b>Unit i. e.</b>	<b>PVC</b>
<b>1. Densité (<math>\rho</math>)</b>	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,36
<b>2. Absorption d'eau</b>	DIN 53495	%	0,2
<b>3. Température maxi</b>	–	°C	60
<b>4. Température mini</b>	–	°C	-15
<b>II. Propriétés mécaniques</b>			
<b>1. Tension à l'étirage (<math>\sigma_s</math>)</b>	ISO 527	MPa	55
<b>2. Allong. à la tension à l'étirage (<math>\epsilon_s</math>)</b>	ISO 527	%	3
<b>3. Résistance à la traction (<math>\sigma_R</math>)</b>	ISO 527	MPa	30
<b>4. Allongement en traction (<math>\epsilon_R</math>)</b>	ISO 527	%	33
<b>5. Résistance sur barreau entaillé (<math>a_k</math>)</b>	ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	3
<b>6. Dureté à la bille (Hk)/Rockwell</b>	ISO 2039-1	MPa	120
<b>7. Résistance à la flexion (<math>\sigma_B</math> 3,5%)</b>	ISO 178	MPa	90
<b>8. Module d'élasticité (Et)</b>	ISO 527	MPa	3000
<b>III. Propriétés thermiques</b>			
<b>1. Temp. de ramoll. Vicat VST/B/50</b>	ISO 306	°C	75
<b>2. Temp. de stabilité dimens. HDT/B</b>	ISO 75	°C	72
<b>3. Coef. de dilatation thermique (<math>\alpha</math>)</b>	DIN 53752	K <sup>-1</sup> x 10 <sup>-4</sup>	0,8

III.3 : Caractéristiques techniques des tubes en PVC rigide.

## III .2.2.6 Gammes des tubes en PVC rigide :

Diamètre nominal (mm)	Tolérance (mm)	4 Kgf/cm <sup>2</sup>			6 Kgf/cm <sup>2</sup>			10 Kgf/cm <sup>2</sup>			16 Kgf/cm <sup>2</sup>		
		e	Écart Toléré (pour e)	Poids (Kg/m)	e	Écart Toléré (pour e)	Poids (Kg/m)	e	Écart Toléré (pour e)	Poids (Kg/m)	e	Écart Toléré (pour e)	Poids (Kg/m)
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	1.6	+0.4	0.307	2.4	-	-
40	0.2	-	-	-	-	-	-	1.9	+0.4	0.423	3.0	+0.5	0.525
50	0.2	-	-	-	-	-	-	2.4	+0.4	0.547	3.7	+0.6	0.805
63	0.2	-	-	-	1.9	+0.4	0.562	3.0	+0.5	0.854	4.7	+0.7	1.28
75	0.3	-	-	-	2.2	+0.4	0.765	3.6	+0.6	1.21	5.6	+0.8	1.81
90	0.3	-	-	-	2.7	+0.5	1.12	4.3	+0.6	1.74	6.7	+0.9	2.60
110	0.3	-	-	-	3.2	+0.5	1.62	4.2	+0.7	2.60	6.6	+1.0	3.38
125	0.3	-	-	-	3.7	+0.6	2.12	4.8	+0.8	3.34	7.4	+1.1	5.00
140	0.4	-	-	2.38	-	-	-	5.4	+0.9	4.16	8.3	+1.2	6.25
160	0.4	3.2	+0.5	3.052	3.8	+0.7	3.43	6.2	+1.0	5.45	9.5	+1.4	8.17
200	0.4	3.3	+0.6	4.842	4.7	+0.8	5.37	7.7	+1.2	8.49	11.9	-	13.58
250	0.5	4.2	+0.7	8.842	5.9	+0.9	8.28	9.6	+1.4	13.2	14.8	-	21.11
315	0.6	6.2	+0.8	8.95	7.1	+1.1	31.1	12.1	+1.7	20.9	18.7	-	33.62
400	0.7	7.9	+0.10	14.5	11.7	+1.4	21.31	15.3	+2.1	33.7	23.7	-	50.95

Tableau III.4 : Gammes des tubes en PVC rigide



### III.3 Détermination des caractéristiques mécaniques de surface :

Si la surface est avant tout une entité géométrique caractéristique de la forme d'un corps, elle est aussi l'enveloppe matérielle soumise directement aux agressions extérieures. À ce double titre, elle assure des fonctions d'esthétique et de protection. Il est donc important de pouvoir caractériser l'état de surface, lié à des paramètres géométriques et physico-chimiques, ainsi que ses comportements mécanique, chimique, électrique, etc., d'autant plus que le matériau dans cette zone n'a pas toujours la même structure qu'au cœur de la pièce [28].

Les essais mécaniques de surface, permettent de caractériser l'état de surface des pièces soit dans le domaine des faibles déformations (dureté), soit à la rupture (usure et fragilité superficielle), soit en termes de rugosité.

#### III.3.1 Essais de dureté :

La dureté (ou rigidité superficielle) est une grandeur qui permet d'apprécier la déformabilité de la surface lorsqu'elle est sollicitée normalement par un poinçon (ou pénétrateur) de géométrie définie. Il s'agit d'une notion très répandue dans le domaine de la caractérisation des matériaux et la simplicité de certains matériels d'essais en fait une méthode souvent préconisée pour le contrôle courant de fabrication. Cependant, malgré la simplicité du principe de la mesure, une telle sollicitation engendre un état de contraintes complexes au niveau du poinçon. Aussi le déplacement du pénétrateur dépend-il non seulement du caractère viscoélastique du matériau, mais également de la géométrie et de l'état de surface du poinçon, autant de paramètres qui ne permettent pas de définir une grandeur caractéristique du matériau [28].

##### III.3.1.1 Procédure expérimentale :

Conformément à la norme ASTM D785, Nous avons réalisé à température ambiante des mesures de dureté en utilisant la méthode de Rockwell (bille) ou HRB sur des échantillons en PEHD 80 et en PVC rigide.

La machine utilisée est du type DIA TESTOR série 722 (figure III.1), c'est une machine combinée à essayer les matériaux à la dureté, doté d'un dispositif de mesure de la profondeur de pénétration, elle se prête aux essais de types :

Brinell, Vickers et Rockwell.



L'évaluation des empreintes de la dureté se fait à l'aide d'une échelle incrémentale reliée directement au TESTOR PANEL. La valeur qui y correspondre est calculée par le TESTOR et affichée en numérique sur l'indicateur.



*Figure III .1 : Machine d'essai de dureté.*

Afin de déterminer la dureté du PVC rigide et celle du PEHD 80, il a été indispensable de faire plusieurs mesures et d'adopter une valeur moyenne. Parfois entre deux empreintes, il convient de laisser suffisamment de distance, pour éviter que la déformation des matériaux lors de l'essai précédent ait une influence sur l'essai courant.

### III.3.1.3 Résultats :

La comparaison entre les valeurs de dureté Rockwell (HRB) pour le PVC rigide et le PEHD 80 sont représentés dans l'histogramme de la figure III.2.

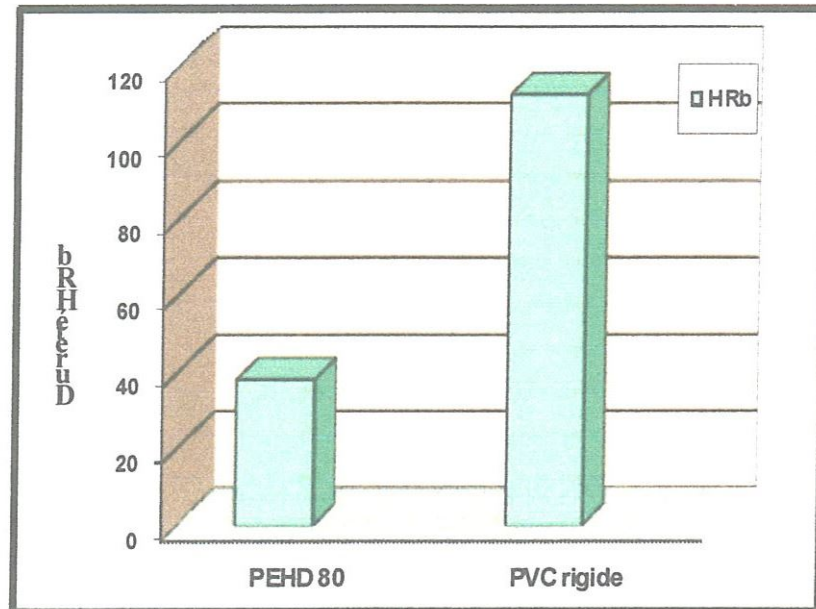
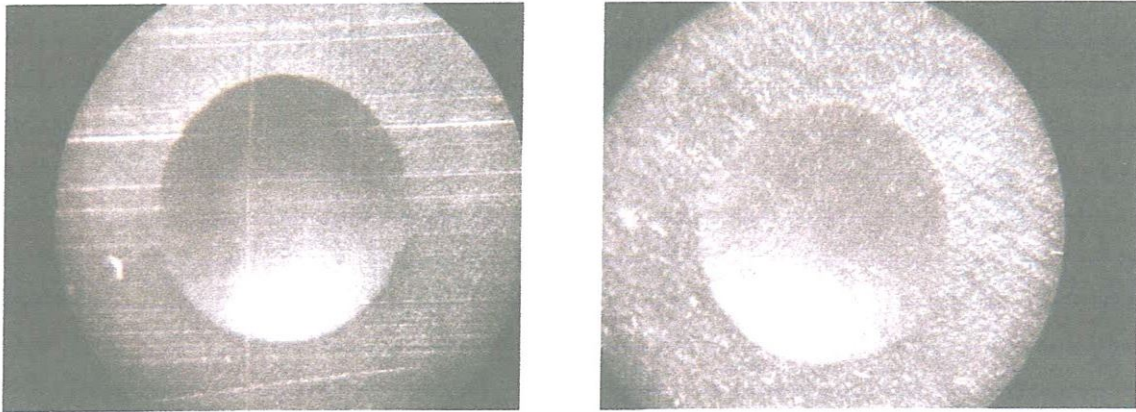


Figure III.2 : Comparaison des duretés HRB du PEHD 80 et du PVC rigide.

Nous constatons que la pénétration de la bille dans le PEHD 80 est plus facile que dans le PVC rigide, ceci nous a donné une première impression que ce dernier est plus rigide que le premier (PEHD 80).

La dureté Rockwell (bille) du PVC rigide est beaucoup supérieure à celle du PEHD 80, (102 HRB pour le PVC rigide et 38 HRB pour le PEHD 80).

Des observations au microscope optique ont été faites, afin d'étudier la morphologie des empreintes figures III.3 a et b.



(a)

(b)

Figure III.3 : Observations microscopiques des empreintes après essai de dureté  
(Agrandissement 4X/0.13).

(a) : PEHD 80. (b): PVC rigide.

### III.3.3 Essais de rugosité :

Il n'existe pas encore de norme spécifique aux plastiques dans ce domaine. En revanche, sont disponibles des normes en mécanique qui définissent, mesurent et spécifient l'état de surface des produits.

Ces normes ont surtout été rédigées pour des produits métalliques usinés. Même si les plastiques sont très rarement soumis à des opérations d'usinage, on peut néanmoins en tirer un certain nombre d'informations, surtout pour les pièces moulées sous pression, qui ne sont en fait que l'empreinte directe de l'état de surface géométrique du moule métallique correspondant [28].

#### III.3.3.1 Rugosité initiale (après l'extrusion) :

Les valeurs initiales mesurées des différents critères de la rugosité  $R_t$ ,  $R_z$  et  $R_a$  des deux polymères thermoplastiques sont regroupées dans le tableau III.5.

	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Rt ( $\mu\text{m}$ )
<b>PVC rigide</b>	0.32	1.3	2.6
<b>PEHD 80</b>	0.78	3.0	5.6

Tableau III.5 : Valeurs initiales mesurées de la rugosité (paroi externe).

La figure ci –dessous illustre une comparaison des différents critères de rugosité mesurés directement sur des tubes, entre le PVC rigide et le PEHD 80.

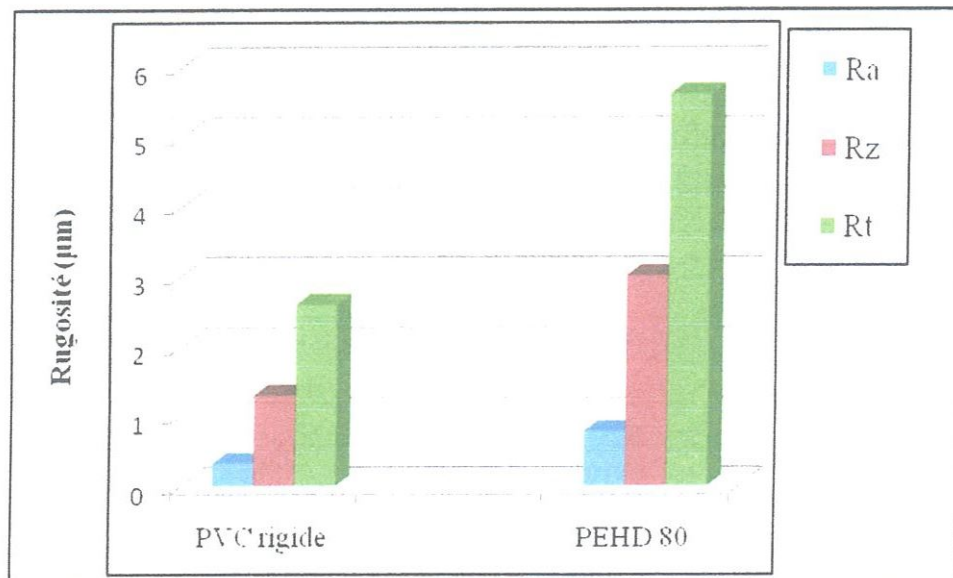


Figure III.4 : Comparaison des rugosités initiales sur des tubes en PVC rigide et en PEHD 80.

Les mesures de différents critères de rugosité enregistrés directement sur les deux tubes obtenus par extrusion nous montrent que le PVC rigide possède une bonne qualité de surface (faible taux de rugosité).

### III.3.3.2 Rugosité après usinage :

#### a) Comportements des polymères vis-à-vis de L'usinage

Les caractéristiques des polymères qui, de près ou de loin, ont une influence sur les opérations d'usinage, sont les suivantes :



- **Le module d'élasticité et la dureté** : les plastiques sont très souples par rapport aux aciers et beaucoup moins durs, ce qui impose, par exemple, des précautions de serrage particulières pour ne pas déformer la pièce ni en marquer la surface.

- **Les contraintes internes** : les pièces en plastique contiennent souvent des contraintes internes après moulage, dues, en particulier, au retrait de la matière passant de l'état liquide à l'état solide. Il arrive fréquemment que l'usinage modifie la répartition de ces contraintes. Des précautions doivent par conséquent être prises pour qu'il n'y ait pas d'accumulation de contraintes susceptibles d'entraîner des fissurations. Parfois, l'usinage est réalisé après dégrossissage d'une ébauche.

Dans ce cas, l'ébauche est généralement sans contraintes car celles-ci sont libérées lors du dégrossissage ;

#### **b) Précautions avant usinage :**

##### **- Fixation des pièces :**

La précaution essentielle consiste à éviter toute déformation.

Il faut penser aussi que l'effort d'usinage est inférieur à celui nécessaire pour usiner une pièce similaire en acier ; il n'est donc pas nécessaire de serrer la pièce plastique avec le même effort.

Les plastiques sont plus souples que les métaux et fléchissent davantage que ces derniers; c'est pourquoi les profondeurs de passe et les avances ne doivent pas être excessives. On obtient généralement les meilleurs résultats en travaillant à très grande vitesse avec une faible avance et des outils bien affûtés et lisses [28].

#### **C) Facteurs influençant la qualité de surface en tournage :**

Plusieurs facteurs affectent la qualité et l'intégrité de la surface en tournage .Ces derniers peuvent être classée en facteurs concernant le matériau de la pièce à usiner (dureté, propriétés métallurgiques ..., facteurs liés à l'outil de coupe (composition chimique du matériau, géométrie....) et les paramètres de coupe.

La qualité de la surface est influencée par la dureté et les propriétés du matériau usiné. Il est prouvé que la rugosité de la surface diminue avec l'augmentation de la dureté de la

pièce, pour le matériau polyéthylène elle est inférieure à celle des matériaux coupants, ce qui n'influe donc guère sur la durée de vie de l'outil de coupe [29].

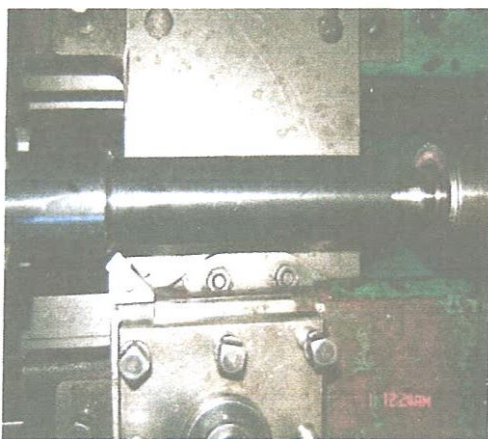
Les paramètres de coupe ont des effets considérables sur la qualité de surface obtenue en tournage. L'augmentation de la vitesse de coupe et la diminution de l'avance permettent la diminution de la rugosité et améliorent la qualité de surface. Du point de vue théorique, la profondeur de passe a moins d'importance que l'avance. Pour un outil correctement affûté, la rugosité est directement liée à la valeur de l'avance par tour [30].

### III.3.3.3 Procédure expérimentale :

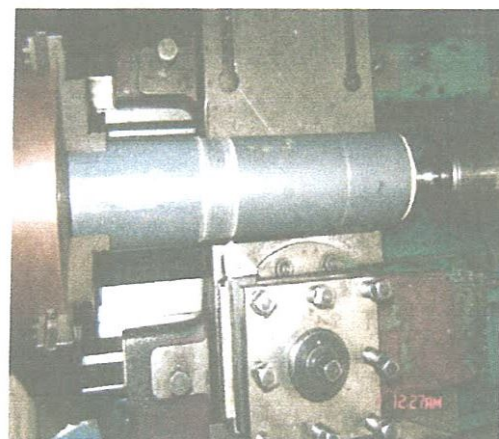
La procédure expérimentale consiste à réaliser des passes de chariotage en variant les conditions de coupe et en mesurant les trois critères de rugosité ( $R_a$ ,  $R_z$  et  $R_t$ ). Les opérations de tournage ont été réalisées sur deux tubes, en PEHD80 (diamètre extérieur 63mm et de longueur 300mm) et en PVC rigide (diamètre 63mm et de longueur 300mm).

L'usinage des deux tubes a été réalisé sur un tour de type TOS TRENCIN modèle SN40. Un mandrin en bois, ajusté au diamètre intérieur, est adopté pour maintenir les tubes. Pour éviter tout déplacement radial du montage ; le mandrin a été également soutenu par une poupée mobile (figure III.5 a et b).

L'outil de coupe composé d'une plaquette en carbure métallique.



(a)



(b)

Figure III.5 : Opérations de tournage (chariotage) sur deux tubes en :

(a): PEHD 80. (b): PVC rigide.

Un rugosimètre Surf test 301 de marque MUTUTOYO été utilisé pour la mesure des critères de la rugosité Ra,Rz et Rt , pour chaque condition de coupe (figure III.6 a).

Ce dernier est constitué d'un palpeur en diamant, avec un rayon de pointe de 0.5  $\mu\text{m}$  se déplaçant linéairement sur la surface mesurée. Chaque palier de palpation est de  $0,3 \times 8$  ce qui donne une longueur totale de mesure de 1,4 mm. Afin de contrôler toute élévation de température durant le processus de chariotage, un thermomètre à infrarouge ; modèle RAYNER a été servi pour l'acquisition à distance des mesures de température (figure III. 6 b).



(a)



(b)

Figure III.6 : Appareils utilisés pour la mesure de la rugosité

(a): Rugosimètre.

(b): Thermomètre à infrarouge.

La température mesurée pendant l'usinage n'a pas dépassé  $32^{\circ}\text{C}$  et ceci quelques soient les paramètres de régime de coupe.

On remarque que ces deux matériaux polymères s'usinent bien avec des outils bien affûtés, on travaillant à grande vitesse et à faible avance. Le refroidissement n'est pas nécessaire puisque les polymères ont un faible coefficient de frottement. Le copeau ne se fragmente pas pendant l'usinage figure III. 7.

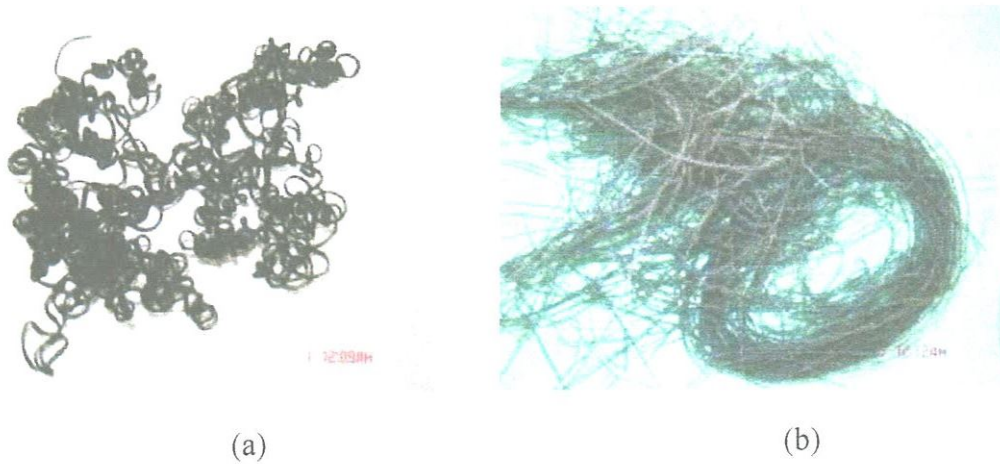


Figure III.7 : Forme du copeau enlevé après tournage ( $a_p=2\text{mm}$ ,  
 $f=0.08\text{mm/tr}$ ,  $V_c=200\text{m/min}$ )

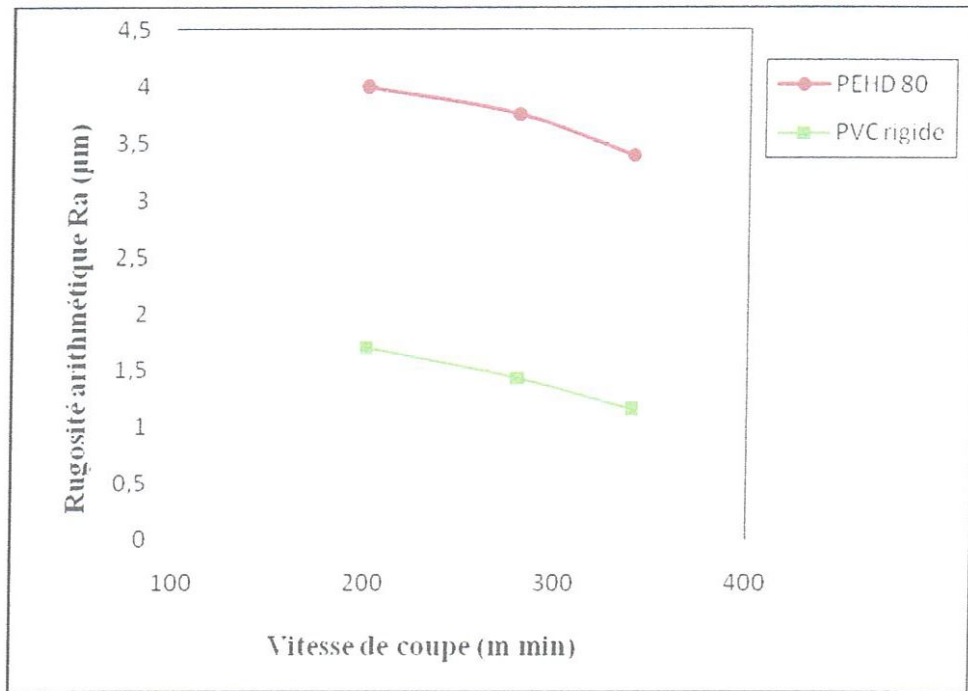
(a): PEHD 80.      (b): PVC rigide.

#### III.3.3.4 Résultats:

Les paramètres des régimes de coupe choisis pendant les opérations de chariotage sur les deux tubes sont comprises dans les intervalles admissibles pour l'usinage des plastiques et conformément à la norme NF EN ISO 2818.

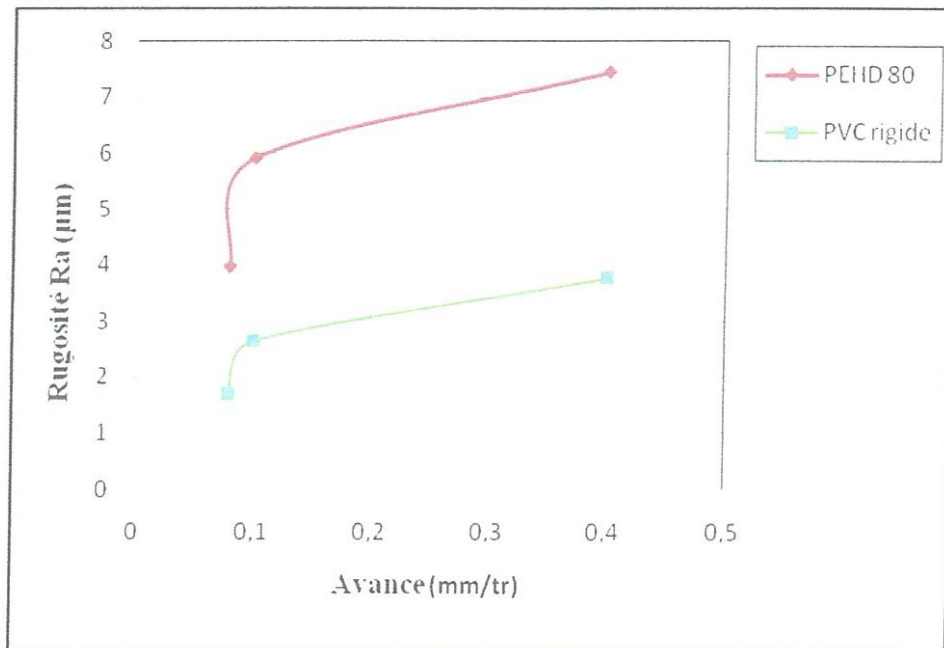
Les résultats expérimentaux obtenus ont permis de tracer les graphes correspondant à l'évolution de la rugosité en fonction de la variation des éléments du régime de coupe. Les figures III. 8 a, b et c, représentent la rugosité arithmétique ( $R_a$ ) en fonction des paramètres de régime de coupe (vitesse de coupe, avance et profondeur de passe).





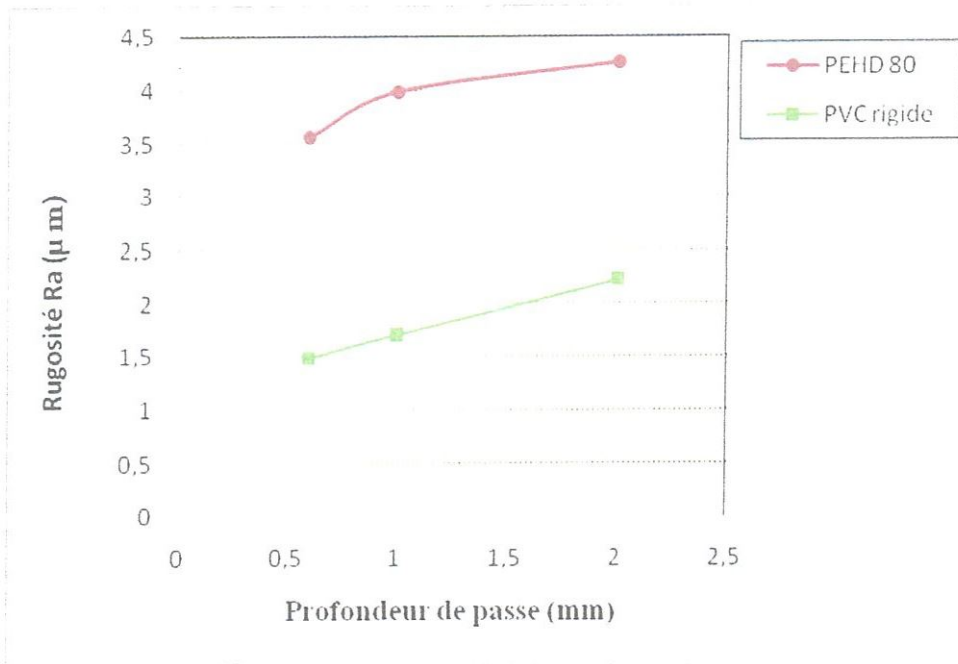
Avec :  $f = 1.2 \text{ mm/tr}$  et  $a_p = 0.2 \text{ mm}$

(a)



Avec :  $V_c = 280 \text{ m/min}$  et  $a_p = 2 \text{ mm}$

(b)



Avec :  $V_c = 280 \text{ m/min}$  et  $f = 1.2 \text{ mm/tr.}$

(c)

Figure III.8 : Variation de la rugosité arithmétique ( $R_a$ ) en fonction des paramètres de Régime de coupe.

(a) : la vitesse de coupe.

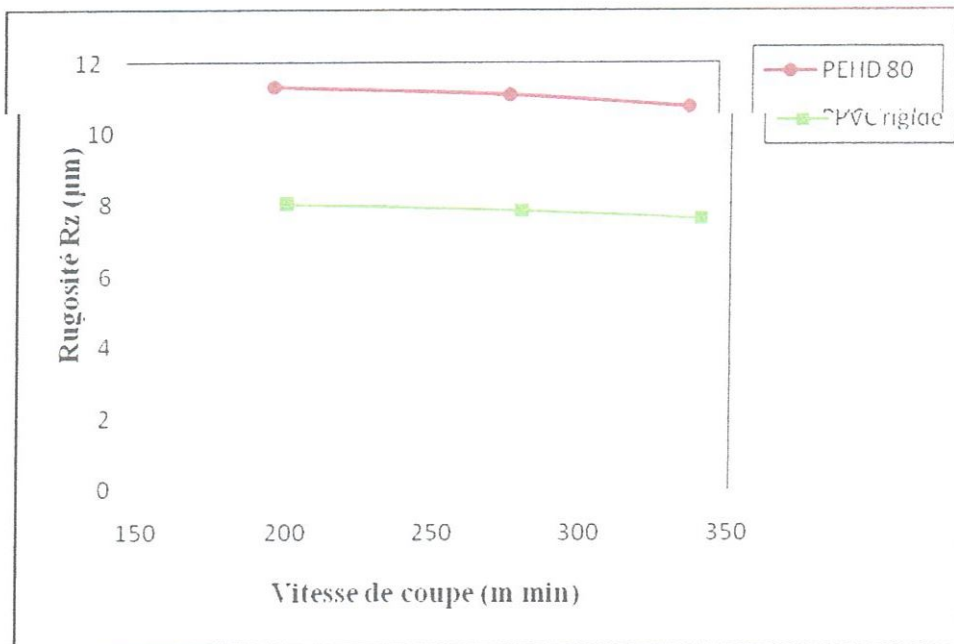
(b) : l'avance.

(c) : la profondeur de passe.

L'effet de différents paramètres du régime de coupe (vitesse de coupe, avance et profondeur de passe) sur la rugosité arithmétique est bien illustré sur les figures précédentes :

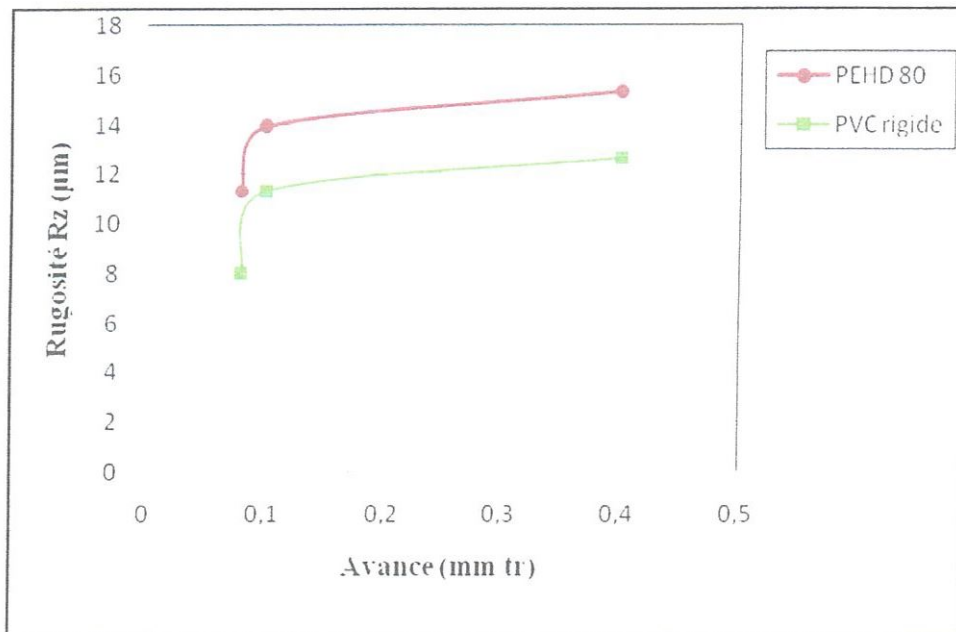
- Avec l'augmentation de la vitesse de coupe, la rugosité arithmétique ( $R_a$ ) décroît, mais il ya des risques d'élévation de la température dans la zone de coupe, c'est pourquoi il est conseillé de travailler dans les intervalles de vitesses admises.
- Avec l'augmentation de l'avance, la rugosité arithmétique s'accroît.
- Aussi, l'augmentation de la profondeur de passe entraine une rugosité importante.

Les figures III.9 a, b et c, représentent respectivement la rugosité ( $R_z$ ) en fonction des paramètres de régime de coupe (vitesse de coupe, avance et profondeur de passe).



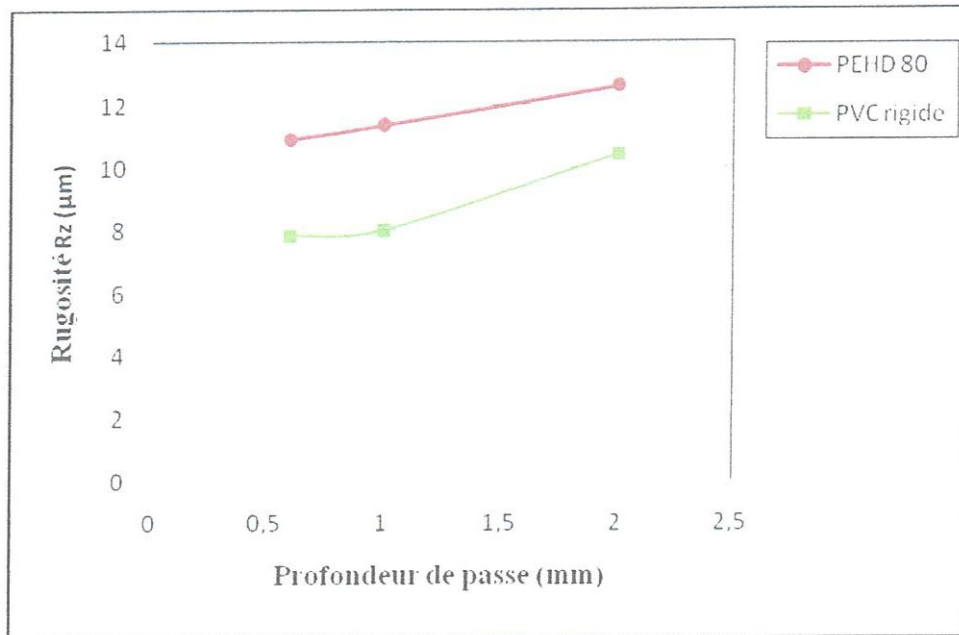
$f = 1.2 \text{ mm/tr}$  et  $a_p = 02 \text{ mm}$ .

(a)



$V_c = 280 \text{ m/min}$  et  $a_p = 2\text{mm}$ .

(b)



$V_c = 280 \text{ m/min}$  et  $f = 1.2 \text{ mm/tr}$ .

(c)

Figure III.9 : Variation de la rugosité ( $R_z$ ) en fonction des paramètres du régime de coupe.

(a) : la vitesse de coupe.

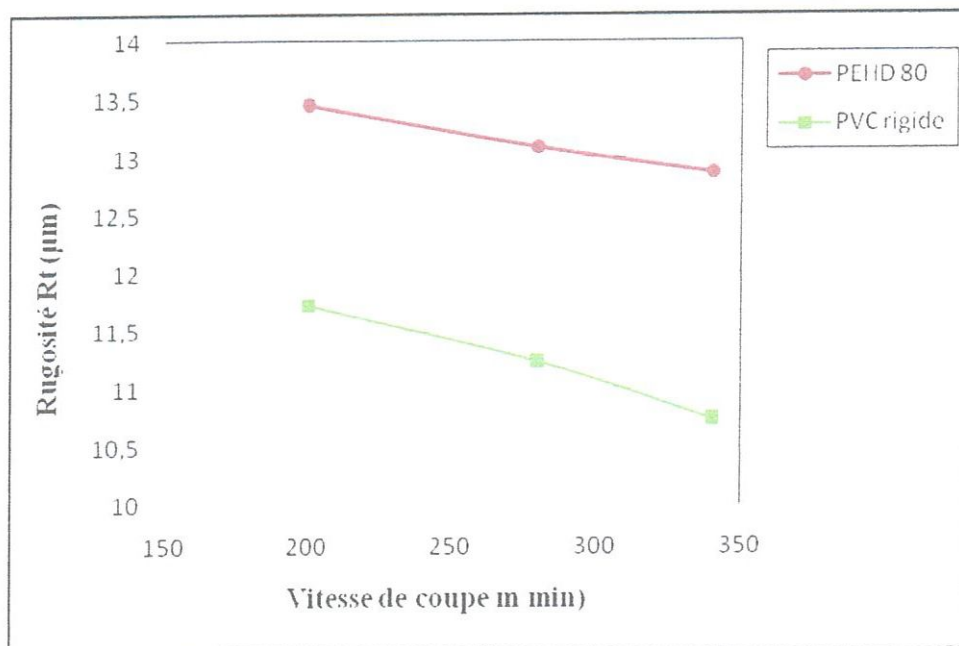
(b) : l'avance.

(c) : la profondeur de passe.

Les courbes qui montrent la variation de la rugosité  $R_z$  en fonction des paramètres du régime de coupe indiquent que la rugosité  $R_z$  varie dans le même sens que l'avance et la profondeur de passe, par contre la rugosité  $R_z$  varie dans le sens contraire que la vitesse de coupe.

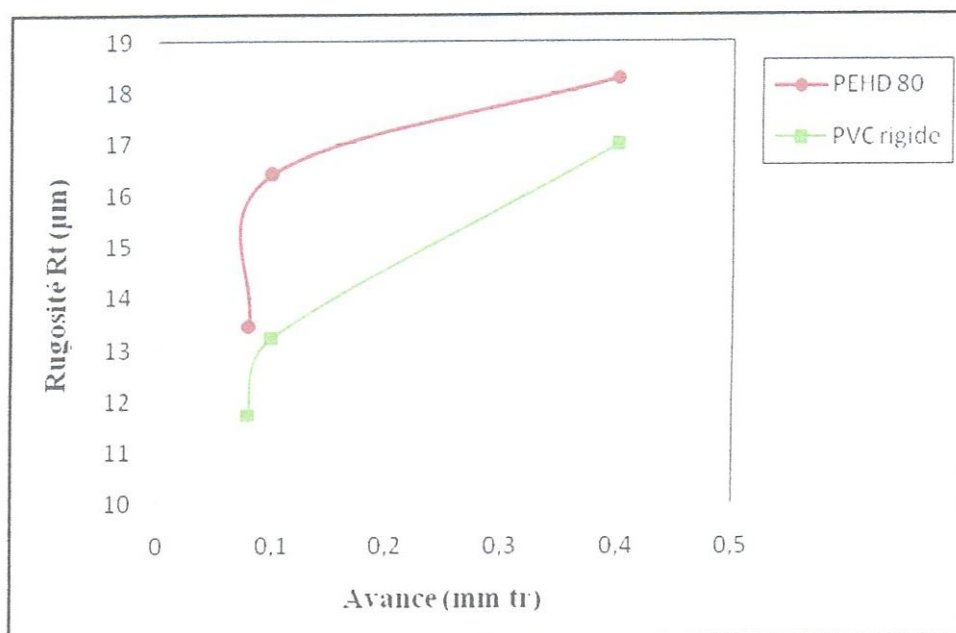
Les figures III.10 a, b et c, représentent la rugosité totale ( $R_t$ ) en fonction des paramètres de régime de coupe (vitesse de coupe, avance et profondeur de passe).





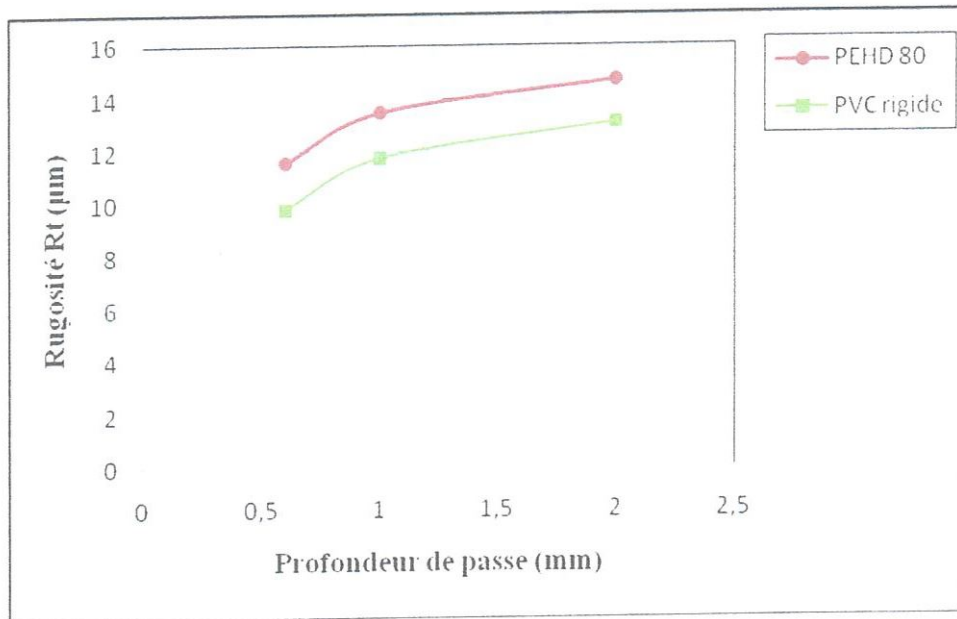
$f = 1.2 \text{ mm/tr}$  et  $a_p = 02 \text{ mm}$ .

(a)



$V_c = 280 \text{ m/min}$  et  $a_p = 2 \text{ mm}$ .

(b)



$V_c = 280$  m/min et  $f = 1.2$  mm/tr.

(c)

Figure III.10 : Variation de la rugosité totale ( $R_t$ ) en fonction des paramètres de Régime de coupe.

(a) : la vitesse de coupe.

(b) : l'avance.

(c) : la profondeur de passe.

Les figures précédents représentent l'influence de différents paramètres de régime de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe) sur les différents critères de rugosité ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$ ) après l'usinage du PEHD 80 et du PVC rigide.

L'augmentation de la vitesse de coupe entraîne une diminution des différents critères de rugosité pour les deux polymères.

Les faibles avances améliorent les états de surface des deux matériaux polymères mais avec des valeurs différentes.

Les polymères s'usinent bien avec des outils bien affûtés même pour des profondeurs de passe importantes, ceci est dû principalement à leur souplesse et leur faible dureté [28].

La dureté élevée du PVC rigide supprime l'arrachement de la matière, par contre pour le PEHD 80 on remarque qu'il y a allongement de la structure du matériau malléable lorsque la

matière est comprimée sous la poussée du tranchant de l'outil, ce qui a provoqué des défauts liées à l'arrachement. Le meilleur état de surface est enregistré sur le PVC rigide par rapport au PEHD 80.

La figure III.11 résume une quantification comparative entre différents critères de rugosité pour les deux matériaux usinés sous les mêmes paramètres de coupe qui suivent :  $V_c=280\text{m/min}$ ,  $f=0.08\text{mm/tr}$ ,  $a_p=2\text{mm}$ .

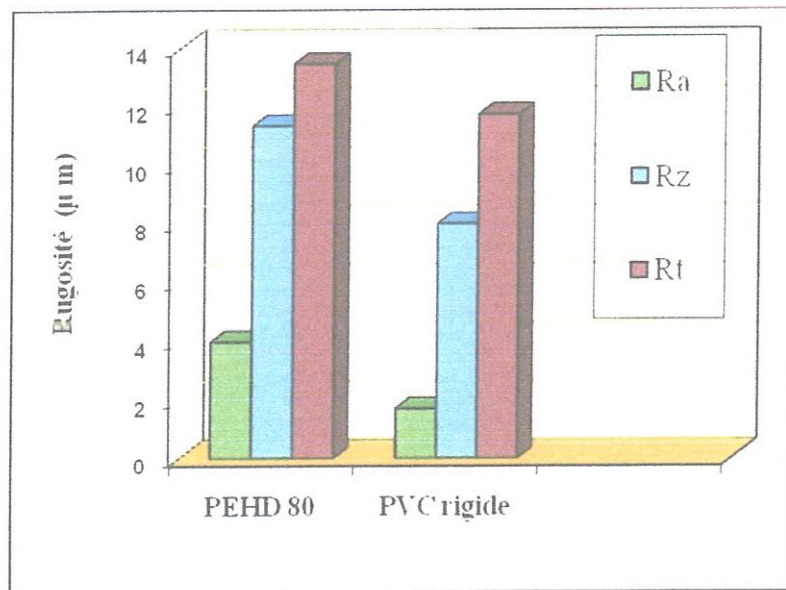


Figure III.11 : Comparaison des rugosités après usinage des deux tubes.

### III.3.3.5 Conclusion :

Les résultats expérimentaux ont permis, d'une part de déterminer l'influence des paramètres de régime de coupe sur la rugosité du PEHD 80 et du PVC rigide, et d'autre part, le comportement des deux matériaux vis-à-vis de l'usinage.

Notons que ces polymères s'usinent bien avec des outils bien affûtés et le refroidissement est souvent inutile, mais cette solution consiste à choisir les paramètres adéquats qui donnent un état de surface acceptable sans que la température dans la zone de coupe dépasse les 40°C (NF T 54-078) afin de conserver les caractéristiques mécaniques des pièces usinées.

La rugosité du PVC rigide est très faible par rapport à celle du PEHD 80. En rappelant aussi, que le meilleur état de surface est celui obtenu directement après l'extrusion des tubes.

### III.3.2 Essais tribologiques :

Les relations entre les propriétés de surface d'un matériau et son comportement tribologique sont aujourd'hui encore mal connues.

Plusieurs mécanismes macroscopiques ou microscopiques interviennent dans un contact glissant, d'origine mécanique (déformations plastiques, élastiques, rhéologiques...) ou d'origine physico-chimique (forces d'interaction, modification chimiques des surfaces...). Ils gouvernent ainsi l'évolution de la topographie des surfaces, et donc les conditions même du contact.

- Des expérimentations tribologiques simples permettent le contrôle d'un maximum de paramètres de frottement (vitesse, température, géométrie, pressions de contact) ;
- Des caractérisations fines de la topographie et des propriétés mécaniques et physico-chimiques de la surface des matériaux considérés,
- Les caractérisations de surface sont primordiales pour la compréhension et la maîtrise des phénomènes tribologiques comme le frottement et l'usure. L'objectif affiché est de mettre en relation ces propriétés de surface et le comportement tribologique dans un contact en régime sec [31].

#### III.3.2.1 Dispositif expérimental :

Afin d'identifier les mécanismes d'usure des deux polymères (PEHD 80 et PVC rigide) dans des conditions représentatives d'une utilisation industrielle et de déterminer les paramètres macroscopiques pertinents, un dispositif de frottement utilisant un contact plan/plan a été développé.

Cette configuration géométrique (plan/plan) permet le frottement des échantillons sur lesquels on peut mesurer la quantité de matière enlevée par une simple pesée à l'aide d'une balance analytique de grande précision ( $10^{-4}$  g).

Les tests d'usure ont été effectués sur une polisseuse tournant à deux vitesses  $V_1=1.1$  m/s et  $V_2=2.2$  m/s.



Les valeurs paramétriques des différents paramètres tribologiques (charge, vitesse) et les diverses conditions de frottement possibles (température, environnement) sont indiquées dans le tableau III.6.

<b>Charge</b>	<b>P1=12N, P2= 20 N</b>
<b>Température</b>	<b>19 °C</b>
<b>Lubrification</b>	<b>sans</b>
<b>Vitesse</b>	<b>V1=150 tr.min<sup>-1</sup> , V2= 300 tr.min<sup>-1</sup></b>

*Tableau III.6 : Conditions des essais effectués sur le dispositif de frottement avec géométrie de contact plan plan.*

Comme est noté précédemment, nous avons considéré le frottement plan/plan de deux antagonistes de même nature (polymère/polymère).

L'échantillon qui est fixe est maintenu par un porte-échantillon que nous avons réalisé, frotte contre un autre échantillon de même nature pendant huit heures interrompues est monté sur un support fixe sur l'axe de la polisseuse et qui est animé d'un mouvement de rotation (figure III.12), chaque deux heures de frottement les échantillons sont retirés ; nettoyés pour être examinés et pesés. L'ensemble frotte dans un milieu non lubrifié (sec).

Les essais de frottement ont été réalisés à différentes charges (P1,P2) et différentes vitesses (V1,V2).

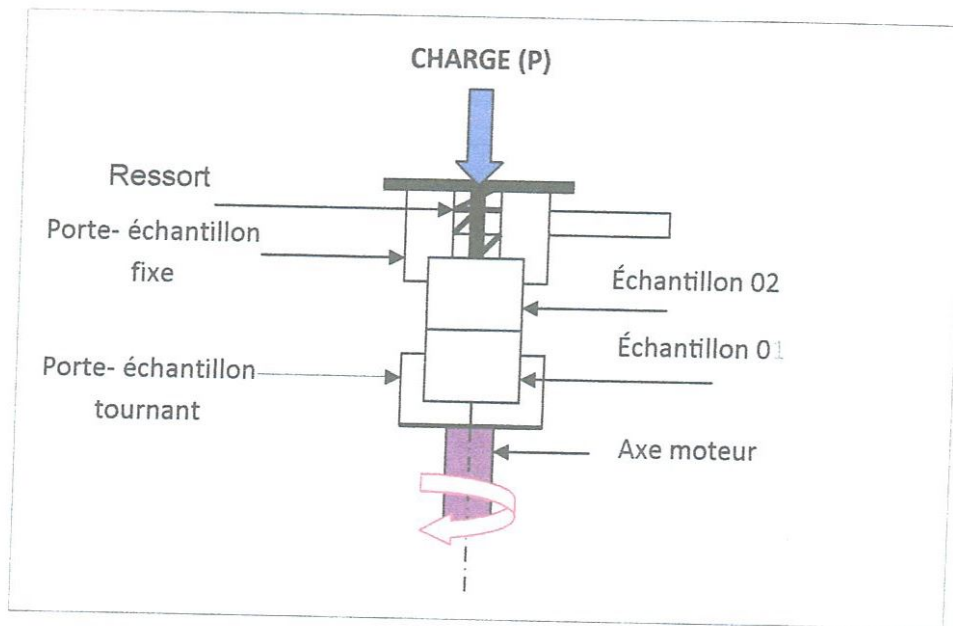


Figure III.12 : Représentation schématique du dispositif de frottement.

### III.3.2.3 Résultats et discussion :

Nous signalons que la charge et la vitesse appliquées à chaque essai sont maintenues constantes, et que les essais sont interrompus toutes les 120 min de façon à mesurer l'évolution de la perte en poids pendant huit heures.

Comme est noté précédemment, la géométrie de contact choisie pendant le frottement est une géométrie plan/plan.

Les courbes figures III.13, III.14, III.15 et III.16 représentent une comparaison de la perte en poids en fonction du temps pour les différents matériaux testés en faisant varier la charge et la vitesse de frottement.

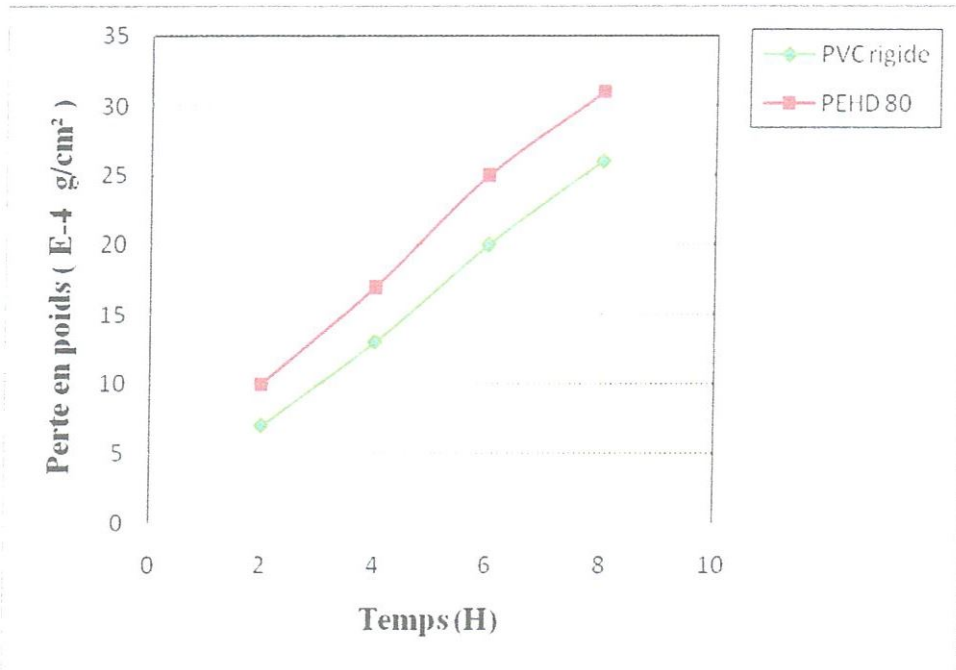


Figure III.13 : Évolution de la perte en poids en fonction du temps du PEHD 80 et du PVC rigide avec V1, P1.

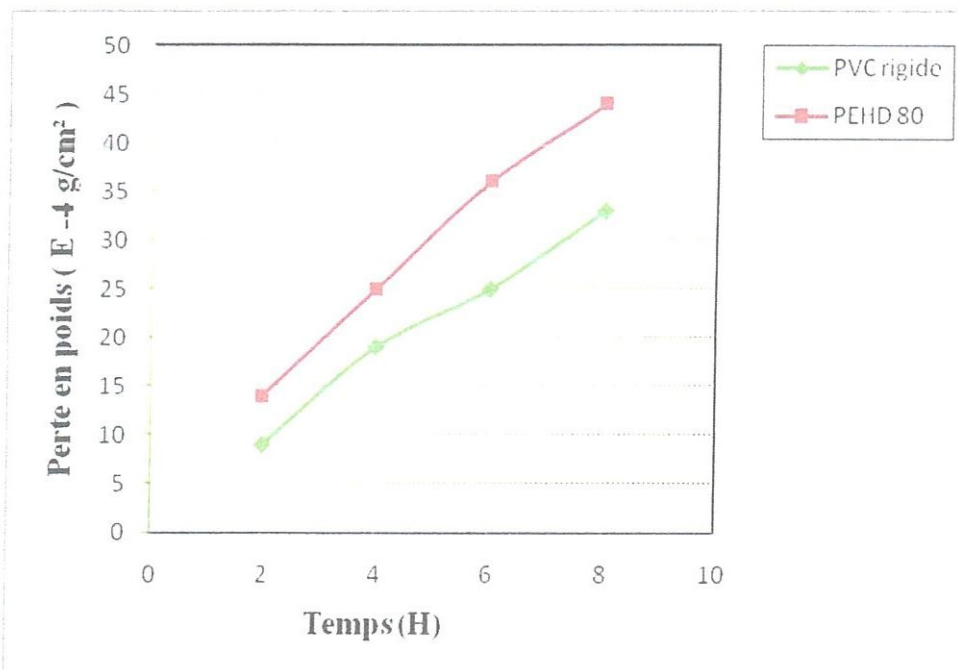


Figure III.14 : Évolution de la perte en poids en fonction du temps du PEHD 80 et du PVC rigide avec V1, P2.

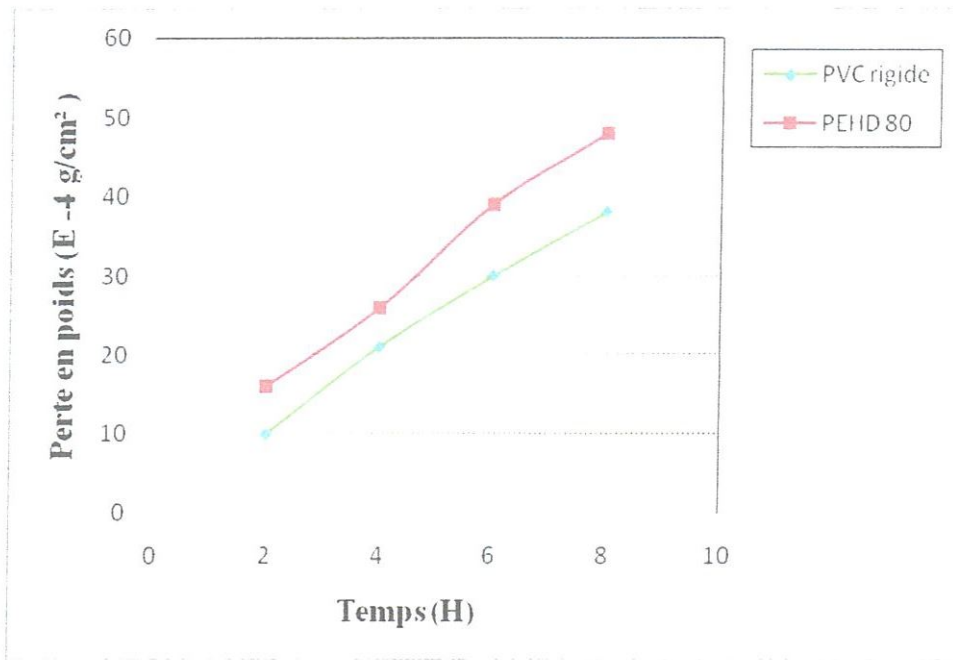


Figure III.15 : Évolution de la perte en poids en fonction du temps du PEHD 80 et du PVC rigide avec V2, P1.

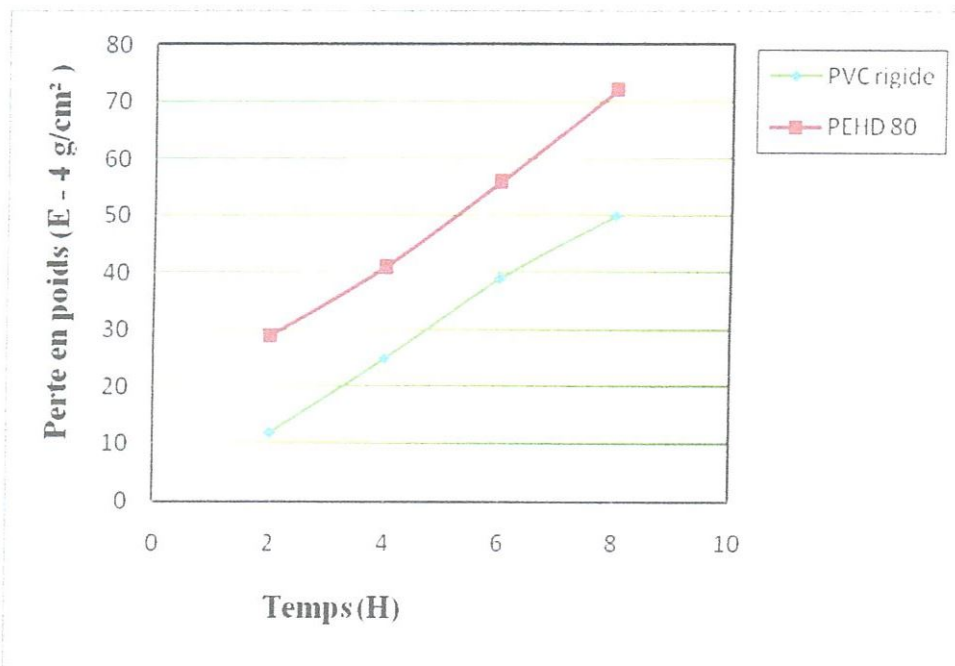


Figure III.16 : Évolution de la perte en poids en fonction du temps du PEHD 80 et du PVC rigide avec V2, P2.



L'étude que nous avons entreprise nous a conduit à mieux comprendre le comportement en frottement et à l'usure des deux matériaux thermoplastiques (le PEHD 80 et le PVC rigide); ainsi que l'influence de différents paramètres.

En général, la perte de masse quantifiant l'usure d'un corps mou glissant sur une autre surface de même nature est proportionnelle non seulement à la vitesse et à la distance de glissement, mais aussi à la charge normale appliquée,  $F_N$ , [32, 33,34].

L'influence des charges normales appliquées sur les deux matériaux polymère que nous avons étudiés (P1, P2) nous a conduit aux conclusions suivantes :

A partir des courbes de frottement (figures III.13, III.14, III.15, III.16); on note que la dégradation est moindre pour les faibles charges, en plus ce régime est caractérisé par la présence de trace d'usure sur les deux échantillons et quelques débris d'usure dans le contact.

Plus la charge est élevée on remarque l'existence d'un régime d'usure accéléré avec un arrachement important de particules qui n'arrivent pas à former un écran stable (appelé troisième corps) pour séparer et protéger les surfaces en frottement. Ses particules sont éliminées rapidement du contact et, sont injectés à l'extérieur, ce qui entraîne une usure sévère.

Donc ; l'augmentation de la charge engendre une augmentation de l'usure.

- Dont le but de mettre en évidence l'influence de la vitesse de frottement sur la dégradation du PEHD 80 et du PVC rigide, nous pouvons constater que nous sommes en présence de deux régimes de frottement selon la vitesse choisie :

- Le premier est caractérisé par une dégradation plus faible (usure douce) ceci est exprimé par la présence des débris d'usure dans le contact puisque, les transferts ne sont pas évacués à l'extérieur ce qui entraîne d'une part, une séparation partielle de surface frottant. D'autre part il s'établit une portance dédominant l'interaction entre les deux corps et par conséquent diminuer l'usure.

- Pour le deuxième régime ou' les vitesses sont élevées, on constate une usure considérable pour les deux polymères mais avec un taux d'usure variable.

La vitesse de glissement a pour principal effet d'agir sur la température de la zone de contact. Le dépassement d'une vitesse critique entraîne l'échauffement superficiel des matériaux.

L'usure des matériaux en contact glissant contribue, avec l'échauffement, à dissiper l'énergie de frottement entre les deux matériaux. Ceci est justifié par le fait que l'énergie de frottement génère l'endommagement ou usure, par déformation plastique, rupture et/ou réaction tribochimique, M. Z. Huq et al. [35].

L'augmentation de la température du contact avec la vitesse induit des transformations structurales et accroît la réactivité des surfaces vis-à-vis de l'environnement (oxydation en présence d'air) [36]. Au-dessus d'une certaine température et donc pour des vitesses de glissement supérieures à une valeur critique, le film d'oxyde, résultant d'une oxydation permanente, se reconstitue au fur à mesure qu'il est détruit par l'usure.

Par ailleurs, l'élévation de la température des matériaux en contact influence leur résistance à l'usure, sachant qu'elle entraîne une dégradation de leurs propriétés mécaniques [37,38].

Remarquons enfin que l'état géométrique (rugosité) et physico-chimique des surfaces des deux matériaux polymères en contact glissant influence grandement le comportement tribologique des couples de frottement.

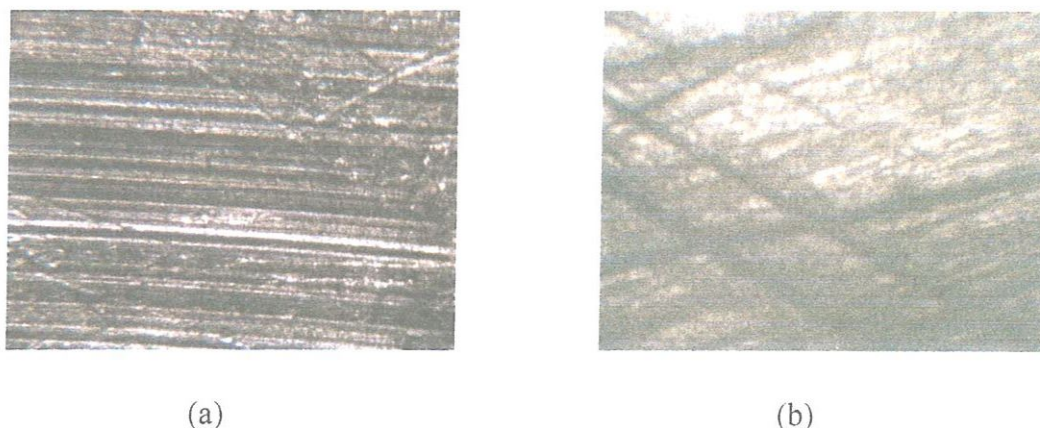


Figure III.17 : Observations microscopiques des pistes après frottement (agrandissement 4X).

(a) PEHD 80.

(b) PVC rigide

Les faciès caractéristiques d'usure et de rupture des polymères sont observés en microscope optique. Après frottement (figure III.17 a et b), dans la zone de contact, toutes les



pistes présentent les mêmes rayures abrasives, orientées dans la direction du glissement. Elles révèlent la présence de déformation plastique à la surface de la piste. La topographie des surfaces usées ne semble pas corrélée aux dimensions caractéristiques de la microstructure des polymères.

### III.3.2.4 Mécanisme d'usure des surfaces :

L'analyse des différents faciès d'usure montre bien que la dégradation des matériaux étudiés résulte de trois principales altérations, selon la gamme des conditions expérimentales imposées.

Un mécanisme de polissage (Figure III.18), un deuxième d'abrasion (Figure III.19) et un troisième d'arrachement des grains (Figure III.20) ; dont ce dernier est prépondérant :

- Le premier mécanisme se caractérise essentiellement par une forme particulière d'usure caractérisée par la présence de particules abrasives de faibles dimensions ce mécanisme est le moins dégradant et le moins important.
- Le second mécanisme (mécanisme d'abrasion) se manifeste par un enlèvement important de matière où la surface de frottement présente un aspect lisse avec une faible rugosité. La trace d'usure est parcourue par des stries ou de sillons le long des traces, orientées selon le sens de mouvement.
- Le troisième mécanisme (mécanisme d'arrachement de grain) correspond au détachement de débris d'usure de grandes dimensions sous l'effet des contraintes de cisaillement comme le suggère le taux d'usure élevé.

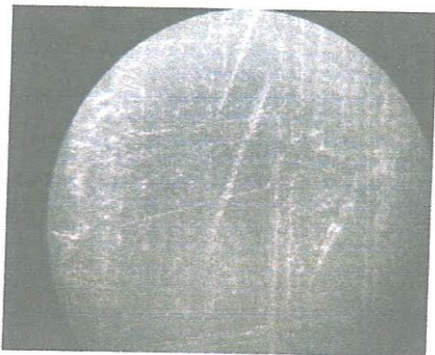


Figure III.18 : Polissage(X4).

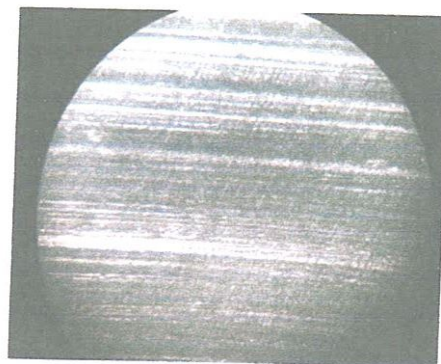


Figure III.19 : Abrasion d'une surface(X4).

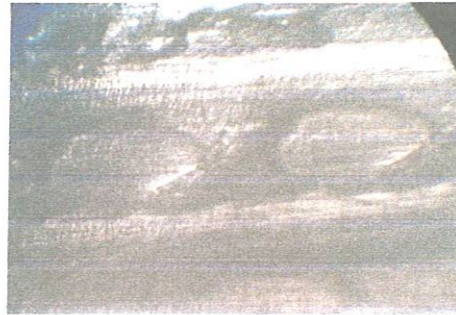


Figure III.20 : Arrachement des grains(X4).

### III.3.2.5 Comportement et rôle du troisième corps :

De nombreuses études ont mis en évidence le rôle important joué par les débris engendrés par les processus d'usure [39,40]. En fonction de leur nature physico-chimique, de leur forme et leur taille, les triboparticules du troisième corps engendrent une usure abrasive plus ou moins sévère se manifestant par l'apparition de rayures, de sillons sur la piste et/ou le faciès de frottement. Ce type d'usure se traduit par un enlèvement de matière (rupture) accompagné par un effet de labourage (déformation plastique).

Les micrographies de la piste d'usure des deux polymères (PVC rigide et PEHD 80) (Figure III. 21) obtenues au microscope optique donnent des informations utiles. Les débris d'usure tapissent les parties latérales et non le fond de la piste d'usure, constituant un écran entre les corps antagoniste [41].

Ces observations microscopiques, de la piste d'usure des deux échantillons, révèlent que la majeure partie des débris d'usure n'est pas éliminée de la piste (Figure III.21. D). Ces débris sous la forme de fines particules, lesquelles adhèrent fortement sur la piste et alternent avec des régions (zones sombres) comportant des stries, des rayures, symptomatiques d'une usure abrasive. Des rayures sont observées aussi sur le faciès de frottement du PEHD 80. (Figure III. 21.C).

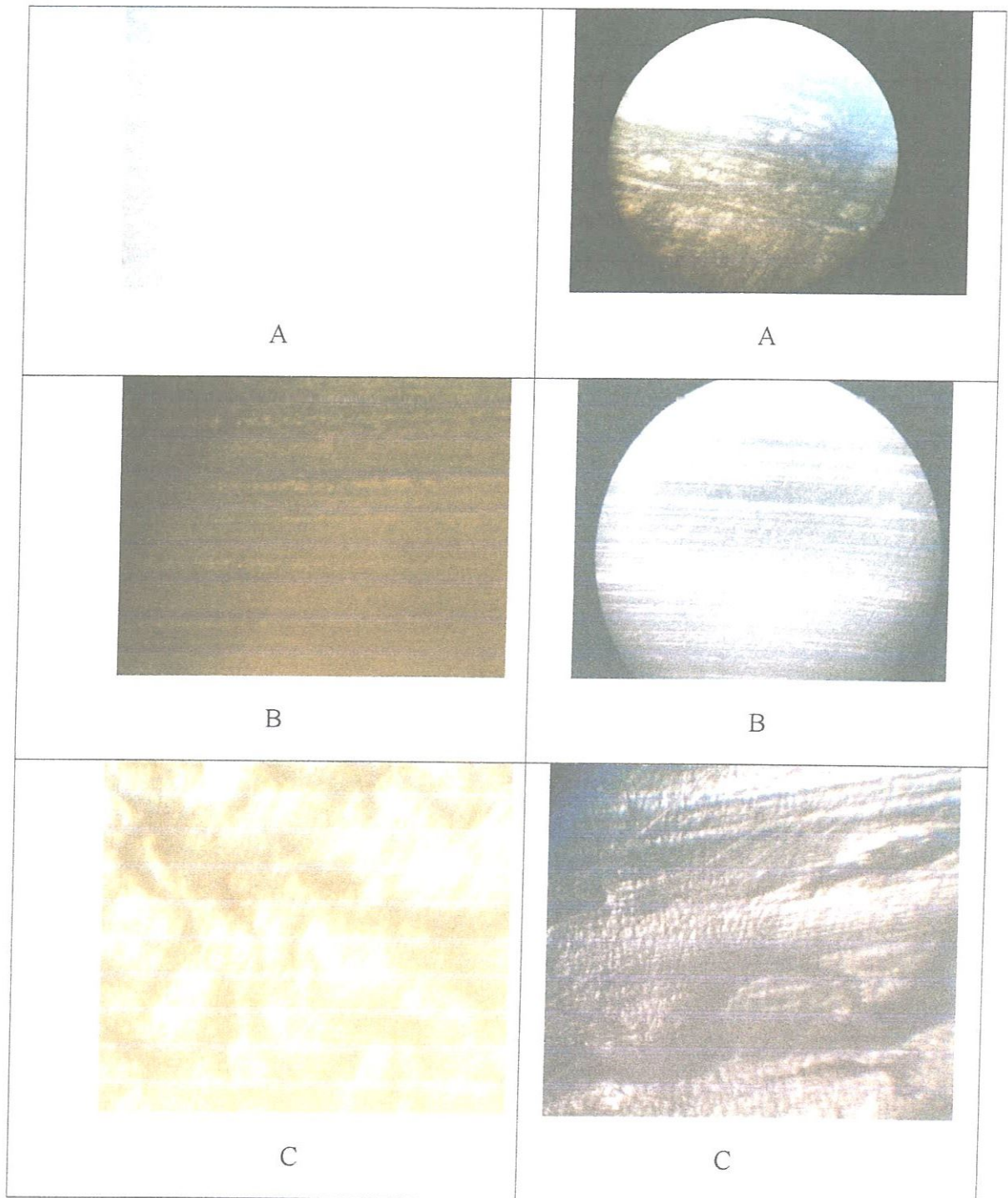
Nous avons vu que la destruction de l'écran entraîne la formation des débris d'usure qui se déposent nécessairement dans l'espace confiné qui définit le contact.

Sous l'effet des sollicitations, une partie des débris d'usure est éjectés lors du contact, ce qui empêche la séparation des surfaces frottantes et par conséquent une importante dégradation de ces dernières. A terme, ce n'est pas une seule particule qui est formée dans le



contact, mais plusieurs qui peuvent aller jusqu'à la constitution d'un lit de débris qui forme encore un écran dynamique et entraîne la séparation des surfaces.

Cependant, les particules piégées à l'intérieur subissent des variations de taille et de composition à cause des transformations mécaniques et physico-chimiques.



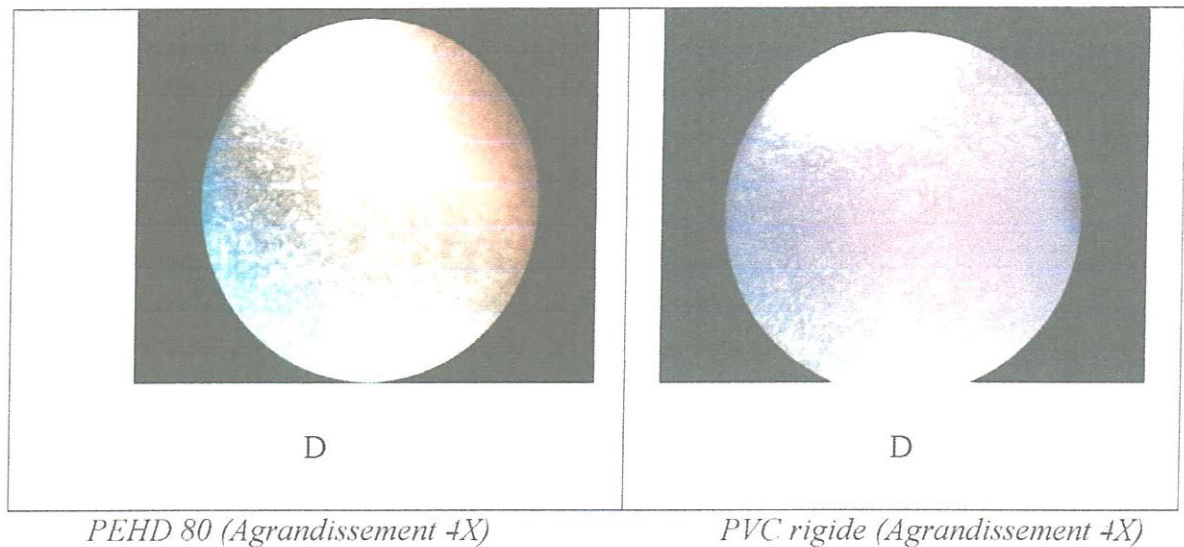


Figure III.21 : Profils d'usure et photographies des pistes d'usure des échantillons plans et des faciès d'endommagement du PEHD 80 et PVC rigide

- (A) : Polissage des faces.
- (B) : Trace d'usure.
- (C) : Enlèvement de matière (processus d'usure)
- (D) : Accumulation de 3<sup>ème</sup> corps sur les pistes d'usure.

### III.3.2.6 Influence de la charge et de la vitesse sur le comportement tribologique :

Des essais comparatifs, menés à différentes vitesses et différentes charges permettent de proposer une interprétation du frottement. L'influence des différents paramètres ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $P_1$  et  $P_2$ ) pour les deux matériaux polymères est représenté sur les figures III.22 et III.23.

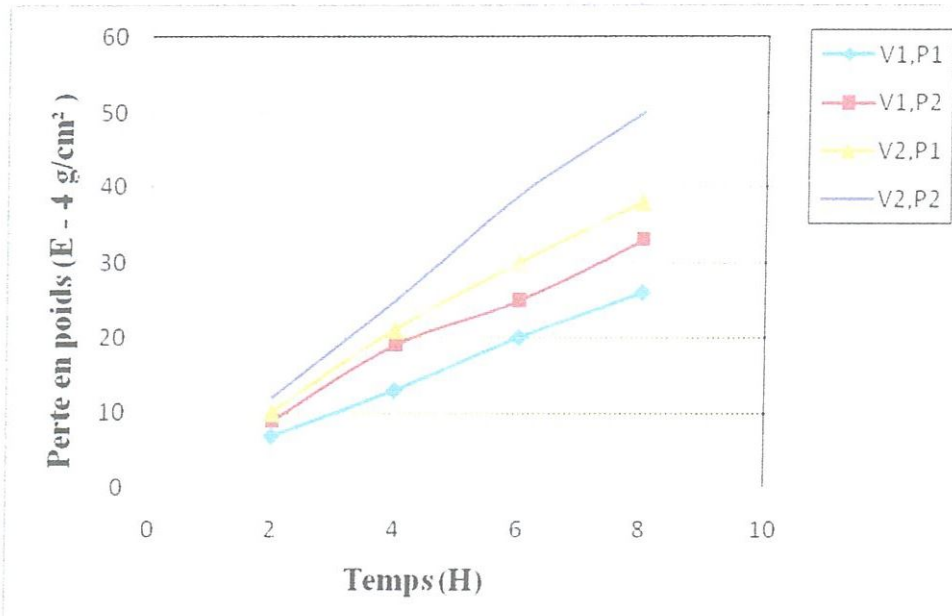


Figure III.22: Influence des différents paramètres sur la perte en poids en fonction du temps à température ambiante (19°C) et sans lubrification d'un PVC rigide.

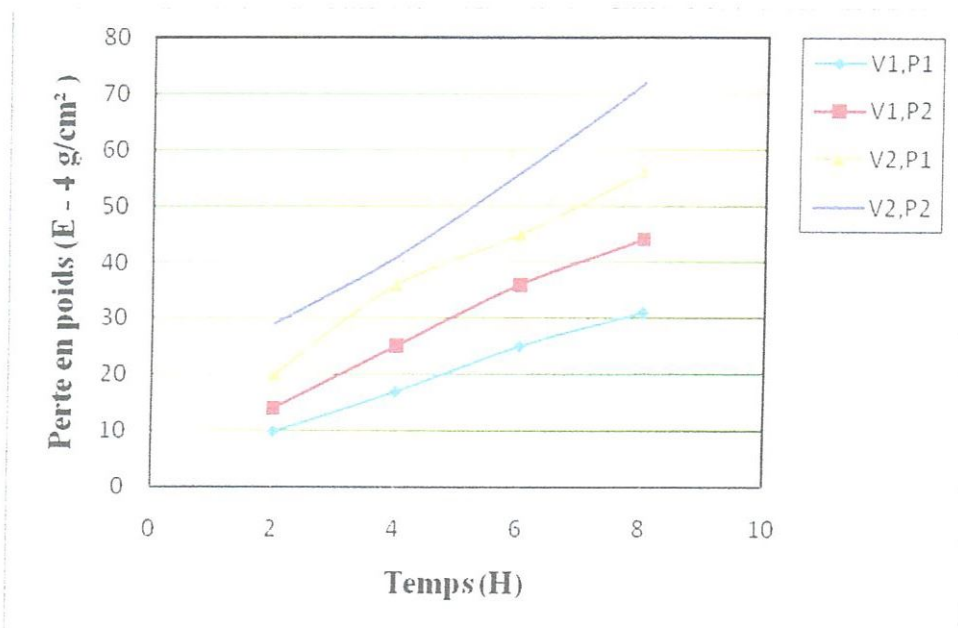


Figure III.23: Influence des différents paramètres sur la perte en poids en fonction du temps à température ambiante (19°C) et sans lubrification d'un PEHD 80.

L'évolution de la perte en poids en fonction du temps sous différents paramètres (Figure III.22 et III.23) montre que l'usure est minimisée dans le cas du PVC rigide.

Durant leur frottement, les échantillons en PEHD 80 perdent de la matière. Cette perte de matière diffère selon les conditions. De faibles taux sous faibles conditions et importante sous conditions sévères.



La figure III.24 montre d'une façon claire une quantification de la valeur de la perte de matière après 8 heures de frottement sous différents paramètres tribologiques du PVC rigide et du PEHD 80.

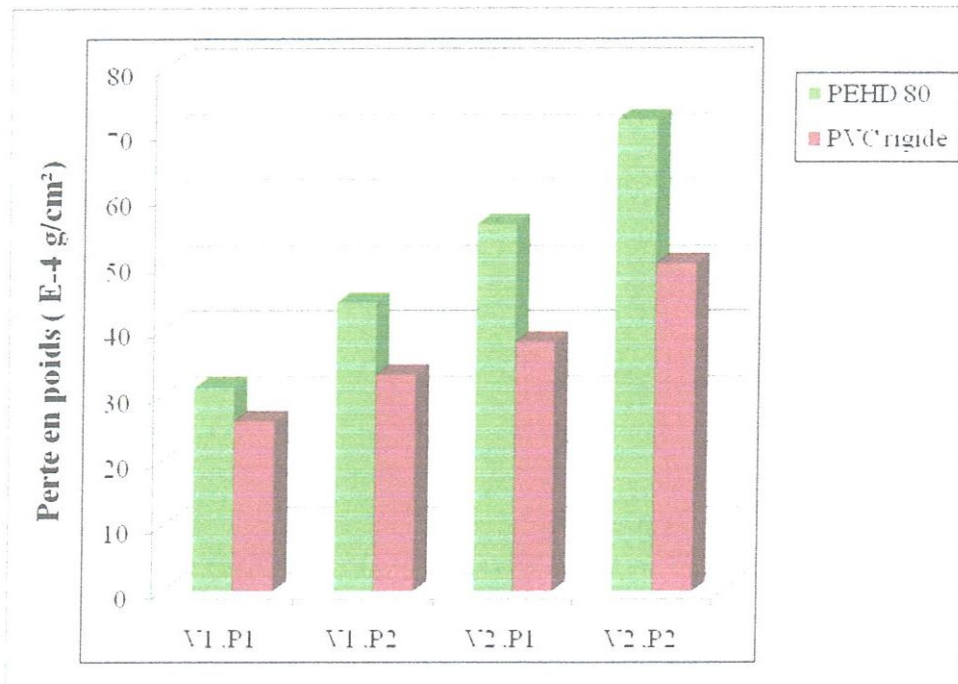


Figure III.24 : Évolution de la perte en poids après 8H de frottement du PEHD 80 et du PVC rigide sous différents paramètres.

L'évaluation de la perte de matière sous conditions sévères (V2 et P2), par conséquent une perte de 66 E-4 g/Cm<sup>2</sup> de matière pour le PVC rigide contre 75 E-4 g/cm<sup>2</sup> pour le PEHD 80.

### III.3.2.5 Conclusion :

Afin d'identifier les paramètres pertinents pour la compréhension des mécanismes d'usure des polymères, les tests de frottement (puisque le frottement est sans doute responsable au premier ordre de l'usure), sous un contact plan/plan on été développés.

Des essais comparatifs sont menés en faisant varier des paramètres tribologiques (vitesse de sollicitation et charge).

L'étude comparative des comportements tribologiques des deux polymères thermoplastiques (PEHD 80 et PVC rigide) aboutit aux conclusions suivantes :

- L'augmentation de la charge et de la vitesse entraîne une augmentation de l'usure.



- Le matériau de dureté élevée offre une meilleure résistance à l'usure par abrasion.
- Quelque soient les conditions de frottement pour notre étude tribologique des polymères, le comportement du PVC rigide est meilleur par rapport à celui du PEHD 80, ceci signifie que ce matériau possède des propriétés intrinsèques assez élevées, ou sa grande dureté lui assure une meilleure résistance à l'usure.

Enfin, la dureté des polymères constitue le paramètre caractéristique permettant d'estimer la résistance à l'usure.

Les effets thermiques sont cependant peu étudiés, soulignons l'importance de ces derniers dans le contact, en particulier pour les polymères. En effet, le frottement entre deux solides en contact dissipe une énergie qui se transforme en partie plus ou moins grande en chaleur. Cette chaleur diffusant à partir de la zone de contact, est susceptible de modifier les propriétés mécaniques des deux corps et les phases interraciales. Ces dernières contrôlent les mécanismes d'usure mis en jeu.

Dans notre cas, la suivi simultané de la température au cours des essais, a montré que la température de contact n'a jamais dans aucun cas dépassée 47 °C, elle a resté inférieure à la température d'utilisation admise pour les deux polymères thermoplastiques (60°C pour le PEHD et 80°C pour le PVC).

L'élévation de la température engendre une transition, d'un régime d'usure faible à un régime d'usure forte pour les deux polymères, Ceci est attribué au comportement particulier des débris d'usure en tant que troisième corps.

### III.4 Détermination du comportement mécanique instantané :

L'objectif des essais instantanés (à court terme) est la mesure des modules (caractéristiques linéaires ou élastique) et des allongements et résistances selon le type de sollicitation, autant de données figurant désormais couramment dans les fiches techniques, catalogues et banques de données informatisées.

L'intérêt se limite au contrôle qualité et au choix préliminaire de matériau.

#### III.4.1 Essai de traction :

Les essais de traction permettent de déterminer qualitativement si un matériau est fragile ou ductile, rigide ou souple. Ils permettent aussi de voir l'influence de différentes caractéristiques chimiques (taux de réticulation, taille des groupes latéraux) et physiques (pré-orientation, cristallinité, température de transition vitreuse) du polymère, ainsi que certains paramètres extrinsèques (vitesse de traction, température) [34].

##### III.4.2.1 Géométrie des éprouvettes de traction :

Les éprouvettes d'essai peuvent être obtenues par moulage, découpage ou usinage dans des plaques ou objet finis tels que tubes, elles ont des géométries bien définies [30].

Nos éprouvettes sous forme d'altères ont été obtenues par découpage (déformation plastique) à l'aide d'un emporte pièce à partir des tubes, selon les normes (ISO 6259-2 pour le PVC rigide et ISO 6259-3 pour le PEHD). la forme des éprouvettes est illustrée sur la

figure III.25

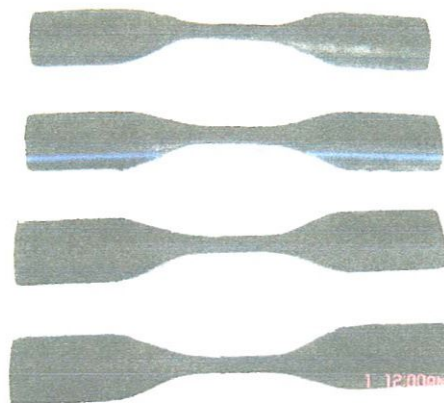


Figure III. 25: forme des éprouvettes de traction.

### III.4.2.2 Dimensions des éprouvettes selon les normes [34,30] :

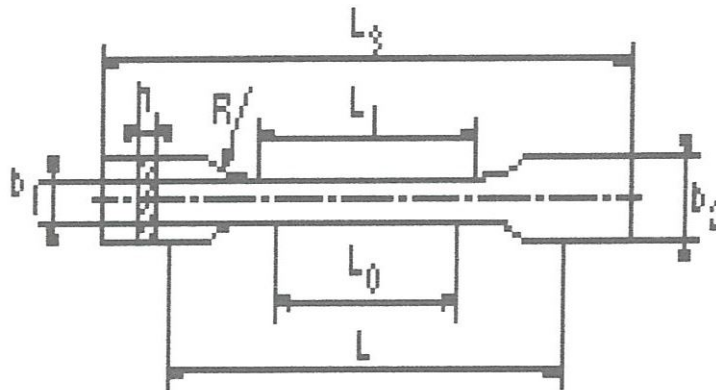


Figure III. 26 : Dimensions des éprouvettes de traction.

Avec :

$L_0$  : longueur référence.

$L$  : Écartement entre outillages.

$L_1$  : Longueur de la partie calibrée étroite / diamètre interne.

$L_2$  ( $l_e$ ) : Écartement entre les parties parallèles, larges.

$L_3$  : Longueur totale / diamètre externe.

$b_2$  : Largeur dans la zone de l'épaulement.

$b_1$  : Largeur dans la zone de la longueur de référence.

$h$  : Épaisseur de l'éprouvette.

$R$  : Rayon minimal (2 -3) mm.

## a) Tube en PVC rigide :

Norme	Type	application	L2	L1	B2	B1	l <sub>0</sub>	L
			mm	mm	mm	mm	mm	mm
ISO 6259-2	2	Éprouvette usinée avec emporte pièce.	>115	33±2	25±1	6+0.4	25±1	80±5

Tableau III.7 : Dimensions des éprouvettes de traction en PVC rigide [34,30].

## b) Tube en PEHD 80 :

Norme	Type	application	L2	L1	B2	B1	l <sub>0</sub>	L
			mm	mm	mm	mm	mm	mm
ISO 6259-3	1	Épaisseur de la paroi >5mm (sim iso 527-2type 1B).	>115	60±0.5	20±0.2	10±0.2	50±0.5	115±0.5

Tableau III.8 : Dimensions des éprouvettes de traction en PEHD [34,30].

Un minimum de Cinq éprouvettes est en général requis afin de pouvoir estimer statistiquement une valeur moyenne. Les tests ont été pratiqué pour chaque type de polymères sur la machine de traction uniaxiale, avec une vitesse de déformation constante de 25 mm/min selon la norme NF T51-034. Nous signalons que nous essais ont été effectués à la température 21°C.

Le dimensionnement de chaque éprouvette a été contrôlé avant chaque essai à l'aide d'un pied à coulisse.



La machine de traction utilisée est de type HOYTOM, modèle : DI-CP 100KN (figure III.27), est couplé a un ordinateur, pour le traitement des mesures à l'aide du logiciel HOYWIN version 9.11, ce logiciel permet d'obtenir les valeurs des contraintes a la rupture aussi que la valeur de l'allongement à la rupture.



Figure III. 27 : Machine d'essai universelle (HOYTOM).

#### III.4.2.4 Résultats :

L'essai en traction permet de déterminer un certain nombre de caractéristiques mécaniques : module d'Young, limite élastique, limite à la rupture, allongement à la rupture, seuil d'écoulement plastique....

La pente initiale de la courbe permet de déterminer une valeur du module de Young (module d'élasticité) qui est une mesure de rigidité.

La courbe de la figure III.28 a et b représente la contrainte en fonction du temps d'un PEHD 80 à température ambiante et sous une vitesse de déformation constante de l'ordre de 25mm/min.

Figure III.28 a

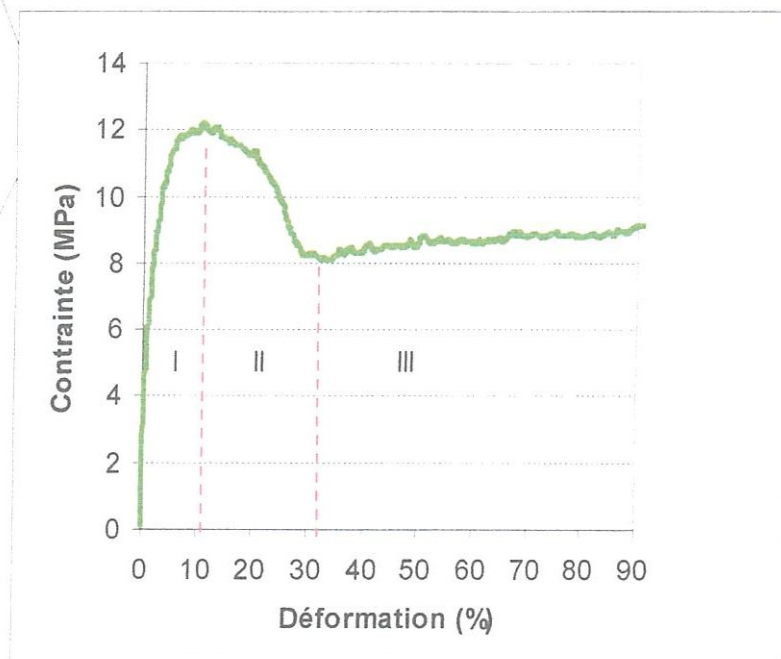
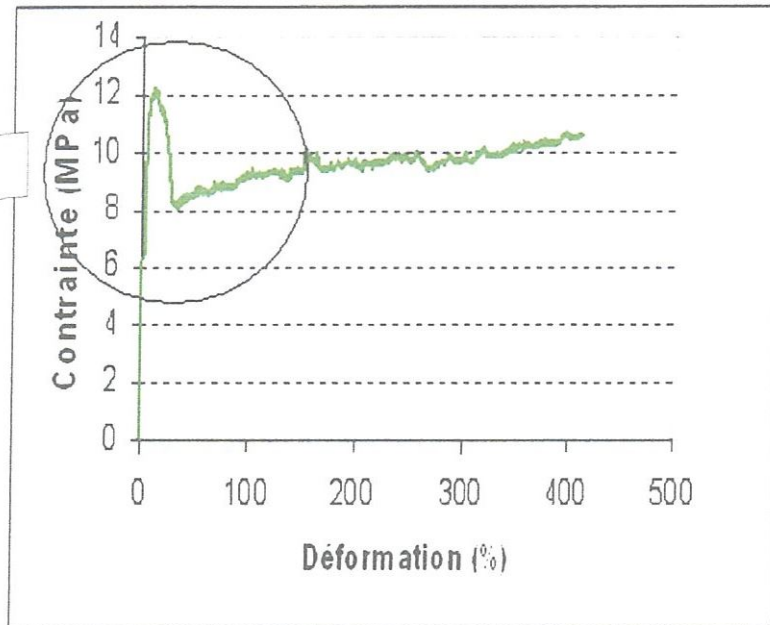


Figure III.28 b

Figure III.28 a, b : Courbe contrainte – allongement du PEHD 80 à température ambiante (21°C) et vitesse constante (25mm/min).

Les courbes ci-dessous illustrent le comportement en traction du PVC rigide sous les mêmes conditions expérimentales que celle du PEHD 80.

Figure III.29 a

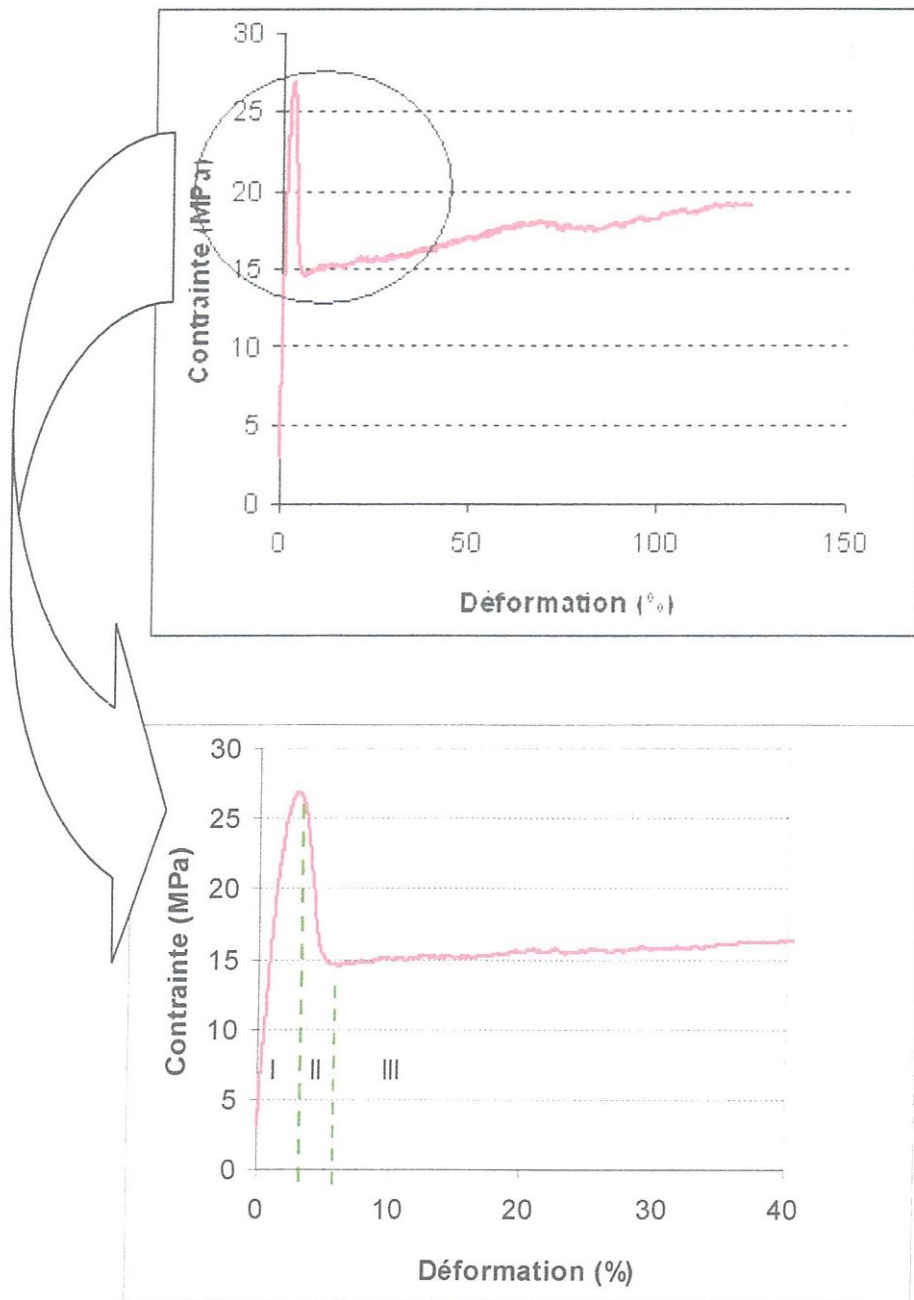


Figure III.29 b

Figure III.29 a,b: Courbe contrainte – allongement du PVC rigide à température ambiante (21°C) et vitesse constante (25mm min).

La figure III.30 présente une comparaison des contraintes en fonction des déformations pour le PEHD 80 et le PVC rigide.

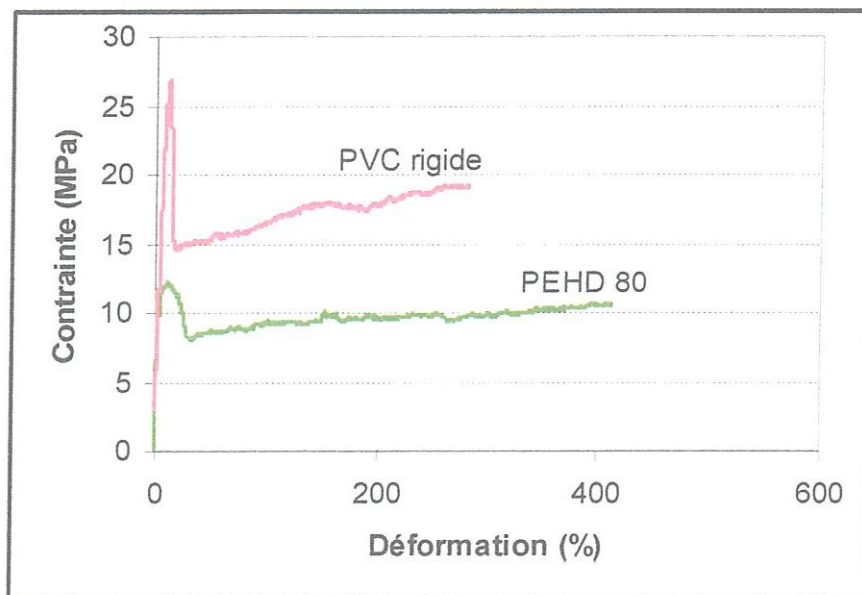


Figure III.30 : Comparaison des courbes contrainte-déformation en traction pour une même vitesse de déformation (25mm/min) et sous une température de 21°C pour le PEHD 80 et le PVC rigide.

La première remarque qu'il faut indiquer est que ces courbes sont de type matériaux ductiles avec seuil d'écoulement [28].

On note aussi, que l'une des caractéristiques les plus remarquables des thermoplastiques semi-cristallins (PEHD 80) est leur faculté à subir une grande déformation plastique avant la rupture à température ambiante [43] (Figure III.27). Ce phénomène provient en partie du fait que leur température de transition vitreuse (-110°C) est située au dessous de la température ambiante [44].



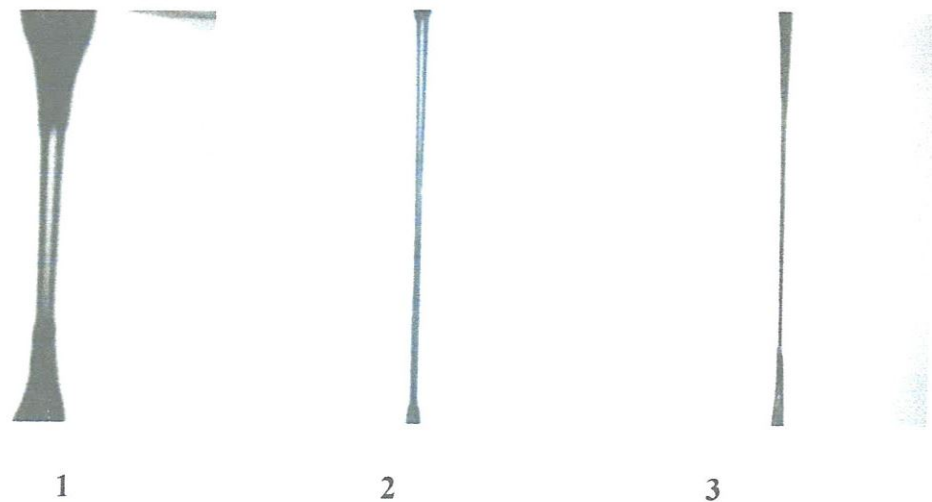


Figure III.31 : Évolution de l'allongement d'une éprouvette en PEHD 80 au cours d'un essai de traction.

Cette déformation peut atteindre 412% pour le PEHD 80 avant la rupture, cependant le PVC rigide a enregistré 123%.

Les valeurs moyennes des différents résultats expérimentaux obtenus sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

	PVC rigide	PEHD 80
<b>Contrainte au seuil d'écoulement <math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	26.65	12.20
<b>Résistance a la rupture</b>	19.13	10.60
<b>Allongement (%)</b>	123.25	412.20
<b>Module de Young E (N/mm<sup>2</sup>)</b>	207.53	160.32

Tableau III.9 : Valeurs moyennes des différentes caractéristiques mécaniques.

### III.4.2.5 Discussions :

Les courbes III.28 et III.29, illustrent le comportement en traction à température ambiante et sous sollicitation uniaxiale à une vitesse de l'ordre de 25mm/min d'un polymère amorphe PVC rigide et celui d'un polymère Semi-cristallin PEHD 80 font apparaître trois étapes principales :

**Étape I :** Le début de la courbe présente une pente élevée quasi-linéaire à l'origine. Cette partie est appelée réponse viscoélastique. Dans le cas du PVC rigide polymères amorphes (courbe III .28), un crochet de traction se produit fréquemment à la fin du stade viscoélastique. Cet adoucissement est généralement absent chez les polymères semi-cristallins (courbe III.29), pour lesquels la limite élastique présente une transition arrondie progressive.

**Étape II :** La déformation devient irréversible. La striction se développe. Cette étape est associée en partie au déroulement des macromolécules sous l'effet de la déformation appliquée.

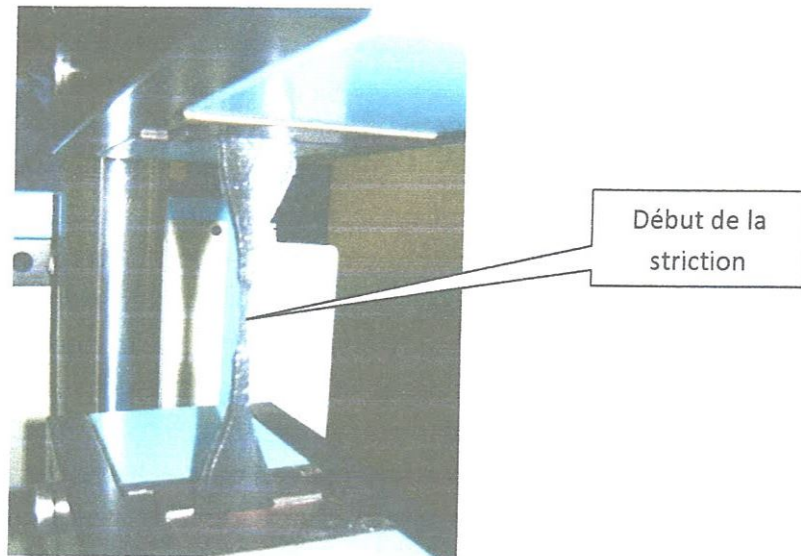


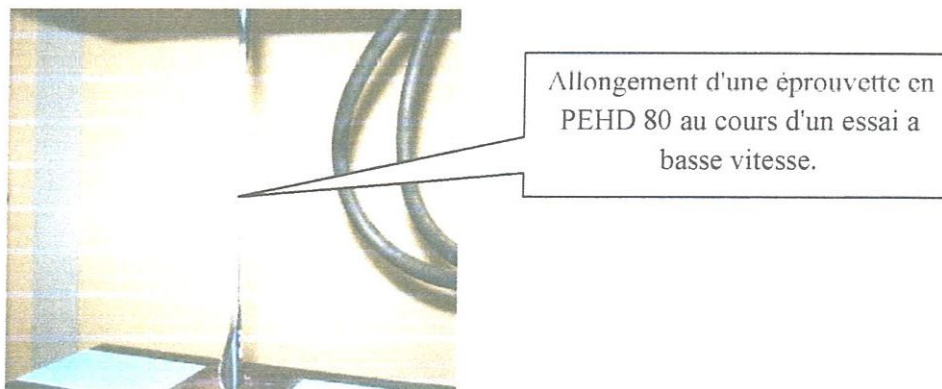
Figure III.32 : Début de la striction d'une éprouvette en PEHD 80.

Un autre phénomène s'est produit dès l'apparition de cette zone (développement de la striction), caractérisé par une augmentation de la température, cette dernière est détectée à l'aide d'un pyromètre à infrarouge, ce phénomène est appelé : "auto-échauffement". Il est dû principalement à l'écoulement rapide du matériau et le mouvement des molécules et des chaînes dans le sens de l'effort appliqué.

**Étape III :** Dans les deux polymères, la striction se stabilise et l'épaisseur minimale de l'éprouvette ne diminue quasiment plus.

Les épaules de striction se propagent alors vers les extrémités de l'éprouvette. Cette propagation se traduit par une faible variation de la force alors que l'allongement relatif peut atteindre 412 % pour le PEHD 80 et 123% pour le PVC rigide.

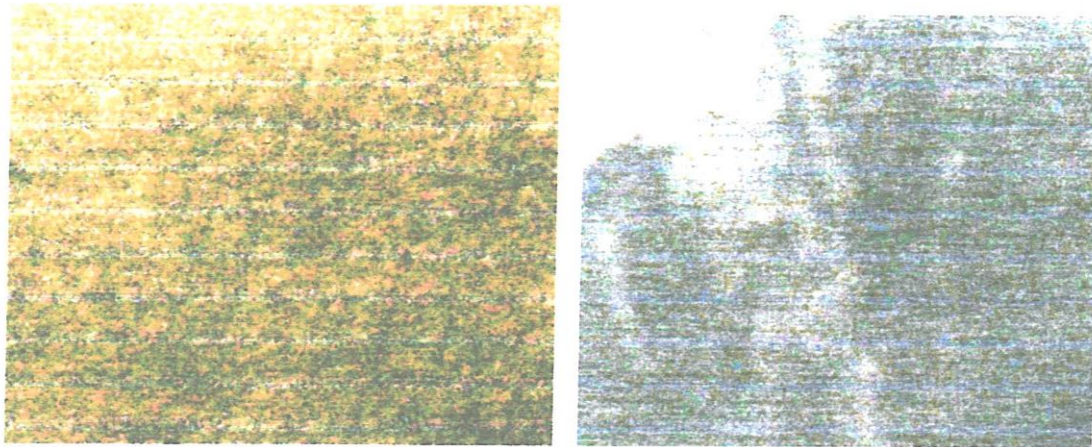
Ce stade, qualifié de durcissement structural est vraisemblablement lié à l'orientation des chaînes selon la direction principale de déformation. Lorsque la striction s'est entièrement propagée, la déformation redevient homogène jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



*Figure III.33 : Aptitude d'une éprouvette en PEHD à subir une grande déformation.*

L'examen des surfaces au microscope optique (modèle Hund WETZLAR) des éprouvettes avant et après essais montre un allongement et un alignement des macromolécules dans le sens de l'étirement pour les deux polymères (figure III.34 et III.35).

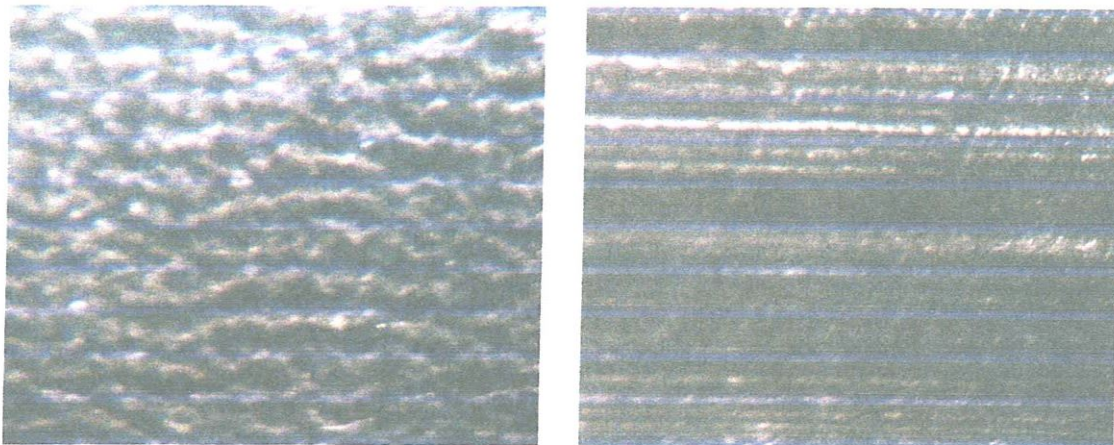




a) Avant essai

b) Après essai

Figure III.34: Observation des facies d'une éprouvette de traction en PEHD 80 avant et après essai (Agrandissement 4X).



a) Avant essai

b) Après essai

Figure III.35 : Observation des facies d'une éprouvette de traction en PVC rigide avant et après essai (Agrandissement 4X).

Les propriétés mécaniques des polymères, sont étroitement liées à la microstructure, cette dernière dépend de :

- la nature des chaînes, plus les chaînes macromoléculaires sont courtes, plus elles ont de facilité à glisser les unes par rapport aux autres. Dans le cas du PEHD 80, elle est constituée par



des sphérolites à l'intérieur desquels sont disposées, suivant une symétrie radiale, des lamelles cristallines séparées par des régions de phase amorphe [45].

- la température de transition vitreuse, en-dessous de celle-ci les macromolécules sont peu déformables dans un état rigide (vitreux), au-dessus de  $T_v$  les mouvements des chaînes rendus possible et permettront des déformations plus importantes et plus faciles.

Le PVC rigide offre une excellente rigidité jusqu'au voisinage de sa température de transition vitreuse (comprise entre  $75^{\circ}\text{C}$  et  $80^{\circ}\text{C}$ ), c'est-à-dire qu'à température ambiante ( $21^{\circ}\text{C}$  pour nos essais) il est rigide et qu'au-dessus de  $90^{\circ}\text{C}$  il est caoutchoutique.

La faible résistance mais la grande déformation du PEHD 80 est due à sa faible température de transition ( $-110^{\circ}\text{C}$ ), c'est-à-dire qu'à température ambiante il est au-dessus de sa température de transition, d'où une grande sensibilité au niveau des propriétés mécaniques [28].

#### III.4.2.6 Conclusion :

Le comportement en traction de ces matériaux polymères nous a conduits à la comparaison suivante :

La différence essentielle entre les amorphes et les semi-cristallin se manifeste principalement au niveau de la limite élastique : crochet avec stade d'adoucissement dans le premiers groupe (PVC rigide), transition progressive en forme de genou dans le second (PEHD 80) .

D'un point de vue contrainte maximale à la rupture le PVC rigide est mieux, mais l'allongement du PEHD 80 est beaucoup supérieur à celui du PVC rigide.

La contrainte au seuil d'écoulement pour le PVC rigide est meilleure par rapport au PEHD80 (26 MPa pour le PVC rigide, 12 MPa pour le PEHD 80).

La valeur du module d'élasticité longitudinal pour le PVC rigide est beaucoup supérieure à celle du PEHD 80.

### III.4.2.7 Effet de la température et de la vitesse de déformation sur le comportement en traction :

Dans leurs applications, les polymères sont de plus en plus souvent soumis à des vitesses de sollicitations élevées, étant viscoélastiques par nature, leurs propriétés dépendent dans une large mesure de la température et de la vitesse de déformation [46]

#### 1) Influence de la vitesse de déformation :

En ce qui concerne l'influence de la vitesse de déformation, elle est déterminée à partir d'un ensemble d'essais de traction à différentes vitesses.

Le PEHD 80 et le PVC rigide sont caractérisés avec les mêmes vitesses (10,30 et 100 mm/min) sous la même température ambiante (21°C).

#### 1.1 Résultats obtenus :

Les courbes montrant l'effet de la vitesse de traction sur le comportement des deux polymères sont représentées sur les figures III.36.

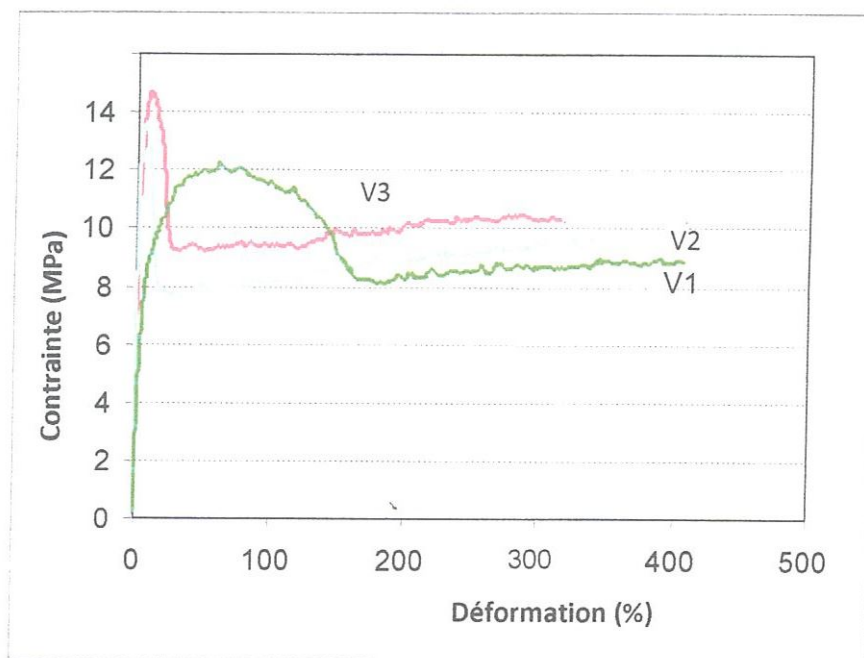


Figure III.36 : Influence de la vitesse de déformation sur le comportement en traction du PEHD 80.

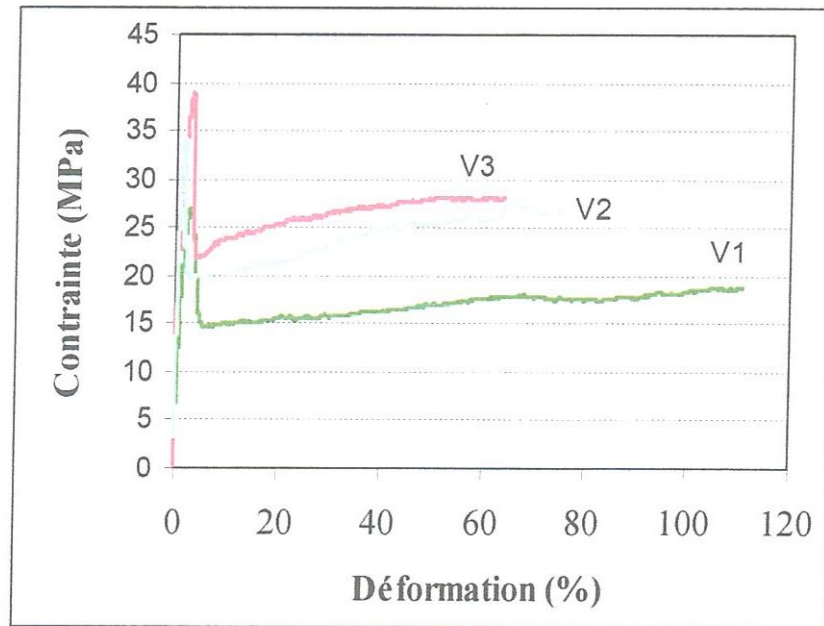


Figure III.37 : Influence de la vitesse de déformation sur le comportement en traction du PVC rigide.

L'évolution des propriétés mécaniques en fonction de la vitesse de chargement (figure III.36. et III.37) montre d'une manière précise l'effet de la vitesse sur les caractéristiques mécaniques de ces deux polymères thermoplastiques.

Les résultats des essais de traction en termes de module d'Young, de la contrainte au seuil d'écoulement, de la contrainte à la rupture et de l'allongement à la rupture menés avec trois vitesses de chargement sont présentés dans les tableaux qui suivent :

Polymère	Module d'YOUNG E en MPa		
	10 mm/min	30 mm/min	100 mm/min
<b>PEHD 80</b>	140	175	180
<b>PVC rigide</b>	196	215	240

Tableau III. 10 : Résultats des essais de traction en terme de module d'YOUNG (E) sous différents vitesses pour le PEHD 80 et le PVC rigide.

Polymère	Contrainte au seuil d'écoulement en MPa		
	10 mm/min	30 mm/min	100 mm/min
<b>PVC rigide</b>	26.64	34.01	38.74
<b>PEHD 80</b>	12.50	13.80	14.80

Tableau III.11 : Résultats des essais de traction en terme de Contrainte au seuil d'écoulement sous différents vitesses pour le PEHD 80 et le PVC rigide.

Polymère	Contrainte à la rupture en MPa		
	10 mm/min	30 mm/min	100 mm/min
<b>PVC rigide</b>	19.09	26.83	27.75
<b>PEHD 80</b>	9.50	9.80	10.40

Tableau III.12 : Résultats des essais de traction en terme de Contrainte à la rupture sous différents vitesses pour le PEHD 80 et le PVC rigide.

Polymère	Allongement à la rupture en %		
	10 mm/min	30 mm/min	100 mm/min
<b>PVC rigide</b>	113.80	76.26	65.12
<b>PEHD 80</b>	412.00	400.00	358.50

Tableau III.13 : Résultats des essais de traction en terme de l'Allongement à la rupture sous différents vitesses pour le PEHD 80 et le PVC rigide.



## 1.2 Analyse des résultats :

On voit clairement sur les figures III.36 et III.37 que la réponse contrainte/déformation est affectée par la vitesse de déformation imposée.

Les figures ont montré que le PVC rigide supporte mieux l'élévation de la vitesse de déformation par rapport au PEHD 80 pour la contrainte à la rupture et la contrainte au seuil d'écoulement mais le cas inverse en ce qui concerne l'allongement.

D'après les résultats obtenus (tableau III.10, III.11, III.12 et III.13, l'augmentation de la vitesse de traction est accompagnée par une amélioration du module et de la contrainte à la rupture ainsi la contrainte au seuil d'écoulement mais avec une diminution conséquente de l'allongement. En effet, pour les semi-cristallins, à faible vitesse de déformation, la réorganisation par orientation des chaînes macromoléculaires dans le sens de l'écoulement provoquée est plus facile, ce qui favorise l'aptitude à subir des grandes déformations du matériau [47].

Aux vitesses de déformation élevées, l'orientation des chaînes dans le sens de déformation devient plus difficile compte tenu du temps d'application de la déformation par rapport au temps de relaxation des chaînes. La réorganisation des chaînes macromoléculaires est défavorisée et leurs enchevêtrements offrent une plus grande résistance à la déformation du matériau d'où une augmentation de la contrainte à la rupture et du module mais aux dépend de l'allongement [40] (voir figure III.36 et III.37).

On note aussi que, la température maximale atteinte pour le PEHD 80 et le PVC rigide lors des essais n'a jamais dépassée les températures de transitions (qui sont  $-110^{\circ}\text{C}$  pour le PEHD et  $80^{\circ}\text{C}$  pour le PVC) et ceci quelques soient les vitesses appliquées ce qui implique que leurs propriétés mécaniques ne vont pas être modifiées.

## 2) Influence de la température :

Pour caractériser le comportement mécanique des deux polymères thermoplastiques, il nous a semblé indispensable d'effectuer certains essais à température de  $9^{\circ}\text{C}$  et d'autres à  $21^{\circ}\text{C}$ .

Rappelons que ces essais ont été effectués sur la même machine que précédemment et avec une même vitesse de traction (constante)  $25\text{mm}/\text{min}$ .

## 2.1 Résultats :

L'évolution de la courbe contrainte –Déformation avec la température est représenté sur les figures III.38 et III.39 respectivement pour le PEHD 80 et le PVC rigide.

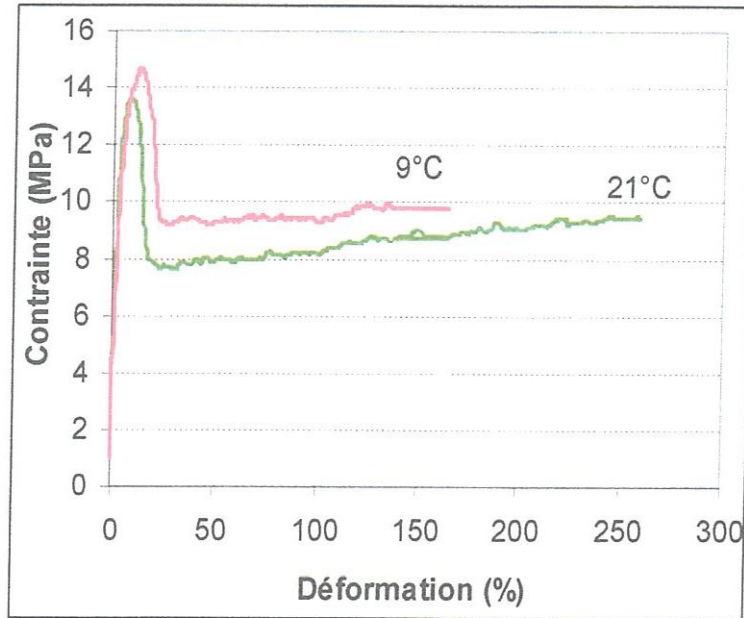


Figure III.38 : Influence de la température sur le comportement en traction du PEHD80.

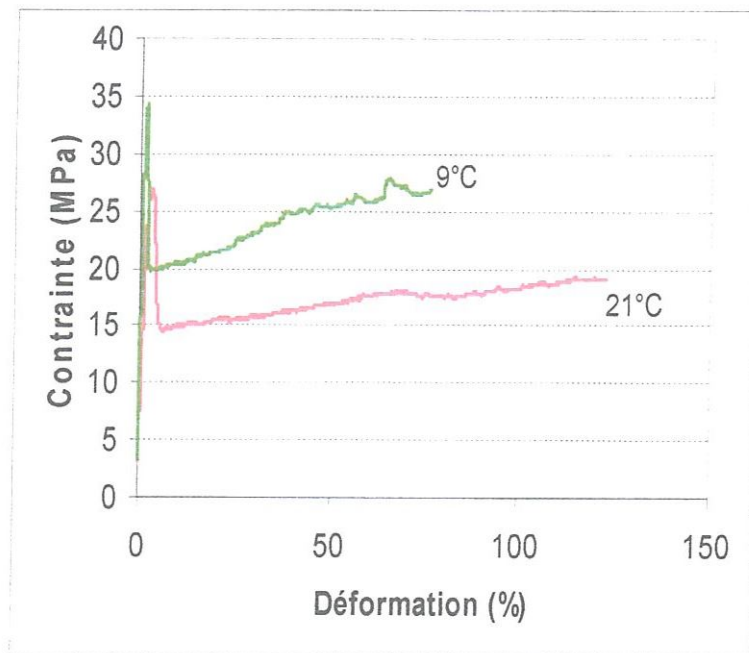


Figure III.39 : Influence de la température sur le comportement en traction du PVC rigide.

L'évolution des différents paramètres (contrainte au seuil d'écoulement, contrainte à la rupture, allongement à la rupture...) avec la variation de la température montre des comportements comparables pour les deux polymères, c'est-à-dire une diminution de la contrainte au seuil d'écoulement mais une augmentation de l'allongement à la rupture.

Les différents résultats expérimentaux des principaux paramètres sont regroupés dans le tableau III.14.

Température (°C)	PVC rigide		PEHD 80	
	T1	T2	T1	T2
Contrainte au seuil d'écoulement (MPa)	34.9	27.8	14.90	13.8
Contrainte à la rupture (MPa)	27.5	19.8	9.98	9.95
Allongement a la rupture (%)	70	124	170	265
Module de Young (MPa)	203.5	200.6	169.4	165.2

*Tableau III.14 : Comparaison des différents paramètres sous différentes températures après essai de traction des deux polymères.*

Les courbes de la figure III.38 et III.39 montrent l'influence de la température, pour les deux matériaux, on constate que la contrainte à la rupture, la contrainte à la limite élastique et le palier de durcissement diminuent progressivement quand on augmente la température de l'essai [45].

Ces courbes montrent clairement que le palier de durcissement structural des deux matériaux thermoplastiques décroît avec la température [47], donc plus la température est importante, plus l'éprouvette va se "creuser " avant de laisser la striction se propager.

- A température 9°C la rigidité du PVC est due à :
- L'attraction entre les atomes de chlorure (électro -) d'une chaîne macromoléculaire et les atomes d'hydrogène (électro +) de chaîne voisines.

- L'augmentation de la température ambiante a pour effet d'augmenter statistiquement les distances entre les chaînes macromoléculaires et par suite de diminuer les forces d'attraction électrostatique.
- Au delà d'une température, la cohésion entre les chaînes diminue rapidement (température de transition vitreuse) [27].

### 3 Conclusion :

La température peut engendrer des phénomènes physiques ou chimiques. Ces variations de température altèrent les caractéristiques mécaniques, qui sont reliées aux propriétés d'extensibilité du matériau.

- Une baisse de température (9°C) accroît la dureté et par conséquent le module de Young des matériaux.
- Une hausse de température ramollit les matériaux tels que les thermoplastiques dont la réticulation entre molécules est faible.

Pour l'ensemble des polymères, le niveau de la contrainte à la rupture, de la contrainte à la limite élastique, atteint au cours de la déformation diminue lorsque la température augmente, il en va de même pour le module d'Young.

On peut conclure que les caractéristiques mécaniques des polymères diminuent quand la température s'élève.

L'examen des surfaces des éprouvettes avant et après essais montre un allongement des macromolécules dans le sens de l'étirement.

#### III.4.2 Essai de compression :

Les essais ont été effectués sur la même machine HOYTON S-L conformément à la norme NF 51-101 (ISO 604) avec une vitesse standard et constante de l'ordre de 2 mm/min.

Les éprouvettes ont été obtenues par usinage à partir des tubes, d'une forme prismatique de section rectangulaire (50×10×4) mm<sup>3</sup> selon les normes. Les essais ont été effectués à température ambiante (21°C).



### III.4.2.1 Résultats obtenus :

Les résultats de l'essai de compression enregistrés pour le PEHD 80 et le PVC rigide sont illustrés sur les courbes figure III.40 et III.41.

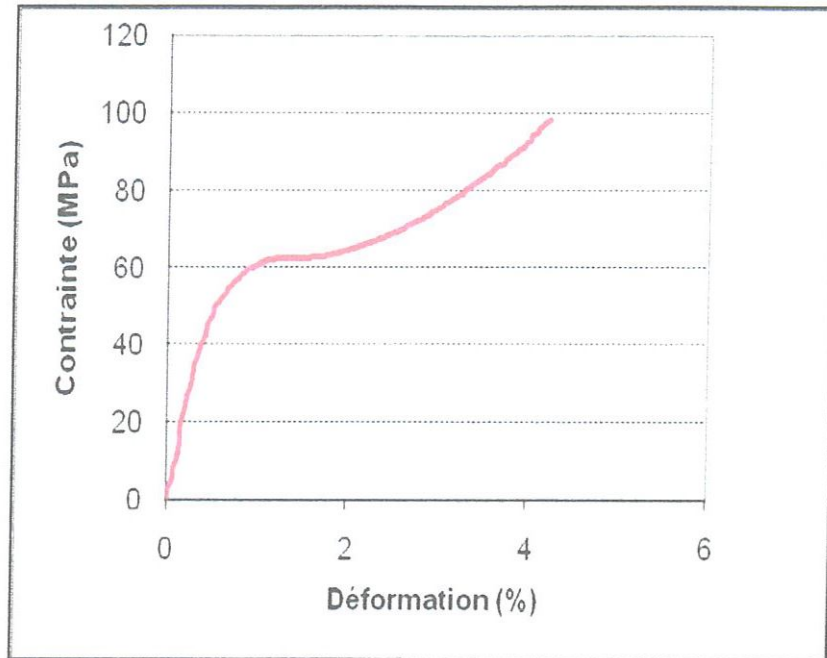


Figure III.40 : Courbe de contrainte- déformation d'un

*PVC rigide.*

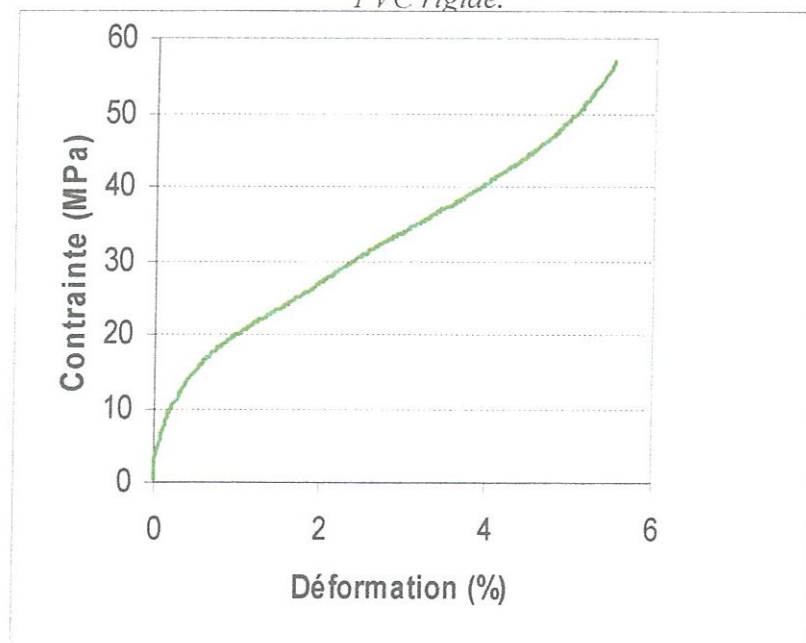


Figure III.41 : Courbe de contrainte-déformation d'un PEHD 80

La courbe de la figure III.42 illustre une comparaison du comportement en compression des deux polymères.

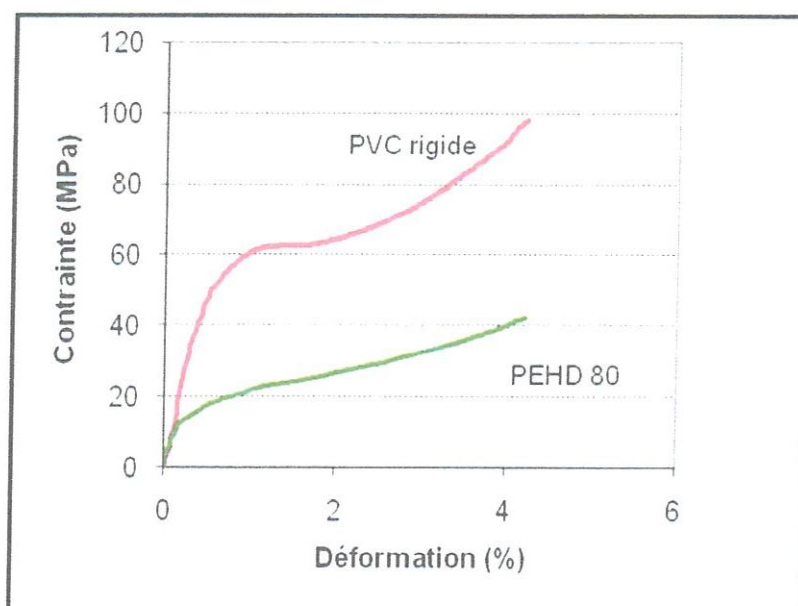


Figure III.42 : Comparaison des comportements en compression du PEHD 80

et du PVC rigide pour une vitesse constante (2mm/min) et à température ambiante (21°C).

Les valeurs des différentes caractéristiques mécaniques de l'essai de compression pour les deux matériaux thermoplastiques sont regroupées dans le tableau III.15 :

	<b>PVC rigide</b>	<b>PEHD 80</b>
<b>Contrainte à la rupture (MPa)</b>	98.05	41.50
<b>Limite élastique (MPa)</b>	59.70	14.25
<b>Déformation à la rupture (%)</b>	4.25	5.50

Tableau III.15 : Différents caractéristiques mécaniques en compression des polymères.

### III.4.2.2 Discussion:

D'après les courbes contraintes-déformations obtenues pour les deux matériaux polymères, les comportements sont très différents.

On remarque bien d'après les courbes obtenues, que pour le PVC rigide, la contrainte semble se stabiliser après le domaine viscoélastique (valeur supérieure à 60 MPa),

La contribution viscoplastique se développe, et le matériau se durcit progressivement, consécutivement à l'orientation des macromolécules selon la direction de déformation [46].

Par contre, le comportement du PEHD 80 semble un peu différent, après le domaine viscoélastique (qui n'arrive pas à atteindre 20 MPa), un durcissement progressif apparaît ou on constate bien l'absence de la partie de stabilisation de la contrainte [47].

On note aussi que, le domaine de déformation pour le PEHD 80 peut atteindre des valeurs jusqu'à 5.5 % ceci est traduit par un flambement durant chaque essai. Cependant on constate que lors de l'essai du PVC rigide le domaine de déformation n'a enregistré que des déformations jusqu'à 4.2%. Ce qui indique que le PVC rigide possède une résistance supérieure à celle du PEHD 80, cette résistance est due principalement à la rigidité importante du PVC.

Après l'examen des déformations au niveau des deux polymères, nous avons remarqués deux phénomènes, un flambage des échantillons en PVC rigide et une déformation sous forme de tonneau pour PEHD 80.

La figure III.43 montre bien le flambement des échantillons suit la direction principale de compression.

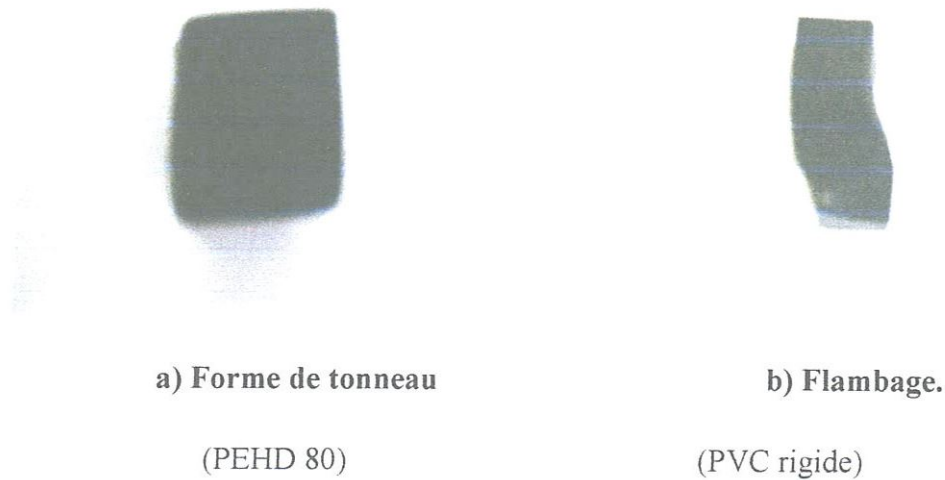


Figure III.43 : Déformation en compression.

#### III.4.2.3 Conclusion :

Lors de cet essai de compression deux phénomènes se sont produits ; la déformation en forme de tonneau (pour le PEHD 80) et la déformation par flambage (pour le PVC rigide).

Ces deux phénomènes sont dus à des problèmes de dimensions de l'échantillon et de frottement au niveau du plateau (forme prismatique au lieu de cylindrique). Le rôle des faces de contact lors d'un essai de compression est important : le déplacement latéral des extrémités de l'éprouvette peut être gêné par le frottement entre l'échantillon et les plateaux de compression. De ce fait, les extrémités de l'éprouvette en compression ont tendance à garder leur largeur initial alors que la section centrale augmente sous l'effet de la déformation plastique en donnant à l'éprouvette en PEHD 80 une forme de « tonneau ».

Le deuxième phénomène apparaît au moment de l'essai de compression pour le PVC rigide est le flambage. On voit bien que le flambement commence par un écrasement transversal de l'éprouvette.

#### III.4.3 La flexion statique :

L'essai de flexion est un test mécanique statique, qui fait partie de la famille des essais indépendants du temps (comme le choc, la dureté...).



Cet essai permet de caractériser des propriétés intrinsèques et extrinsèques du matériau étudié. Il est très facile à mettre en œuvre, géométrie simple de l'échantillon, et il reproduit assez bien les sollicitations courantes auxquelles sont soumises les pièces industrielles.

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance des appuis. On impose à une éprouvette normalisée une déformation ou flèche à vitesse de déformation constante, et on mesure la force qu'oppose l'éprouvette à cette déformation.

Cet essai permet de connaître :

- Le comportement mécanique du matériau ;
- Les propriétés du matériau ;
- Les valeurs des caractéristiques du matériau.

#### **III.4.3.1 Procédure expérimentale :**

Une éprouvette, supportée comme une poutre, est soumise à une flexion au milieu de la portée, à une vitesse constante, jusqu'à la rupture de l'éprouvette ou jusqu'à ce que la déformation ait atteint une valeur prédéterminée.

Durant cet essai, la charge supportée par l'éprouvette est mesurée.

Cet essai a été réalisé à température ambiante (20°C). La géométrie des éprouvettes testées ainsi que les conditions expérimentales de flexion (flexion trois points) sont conformes aux Normes Françaises Homologuées pour les matériaux plastiques (flexion trois points = NF T 51-001  $\Leftrightarrow$  NF EN ISO 178).

Les éprouvettes ont été usinées à partir de produits finis (tubes),

Les dimensions recommandées, en millimètres, sont :

- Longueur :  $l = 80 \pm 2$ .
- Largeur :  $b = 10,0 \pm 0,2$ .
- Épaisseur :  $h = 4,0 \pm 0,2$ .

Les résultats provenant d'éprouvettes dont la rupture s'effectue à l'extérieur du tiers de la longueur de la portée doivent être éliminés et de nouvelles éprouvettes doivent être soumises à l'essai à leur place.

En règle générale, un minimum de cinq éprouvettes est suffisant.

La machine d'essai utilisée était celle qui a servi aux essais en traction et le dimensionnement de chaque éprouvette a été contrôlé de la même façon.

L'enregistrement de la courbe charge-flèche jusqu'à rupture de l'échantillon. Là encore pour chaque essai ont été relevées les principales données numériques (force maximum force à la rupture) ainsi que les courbes charge-flèche obtenues.

#### III.4.3.3 Résultats et discussion :

Les courbes charge-flèche pour le PVC rigide et le PEHD 80 sont représentées sur les figures III.44 et III.45.

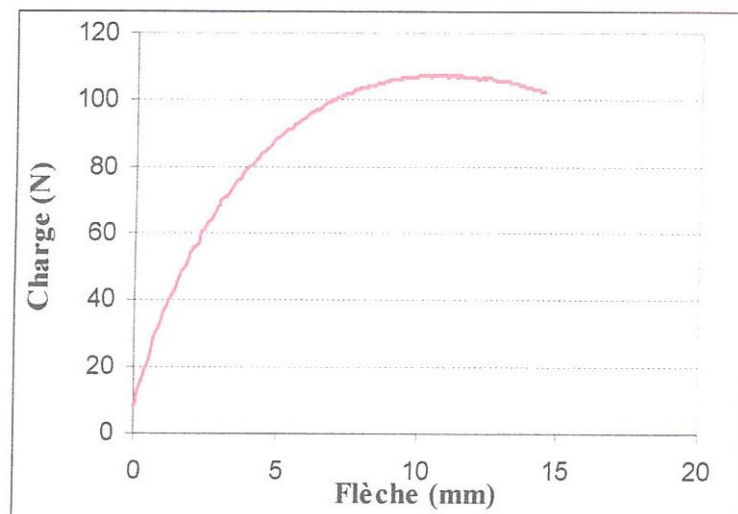


Figure III.44 : Courbe charge-flèche du PEHD 80.

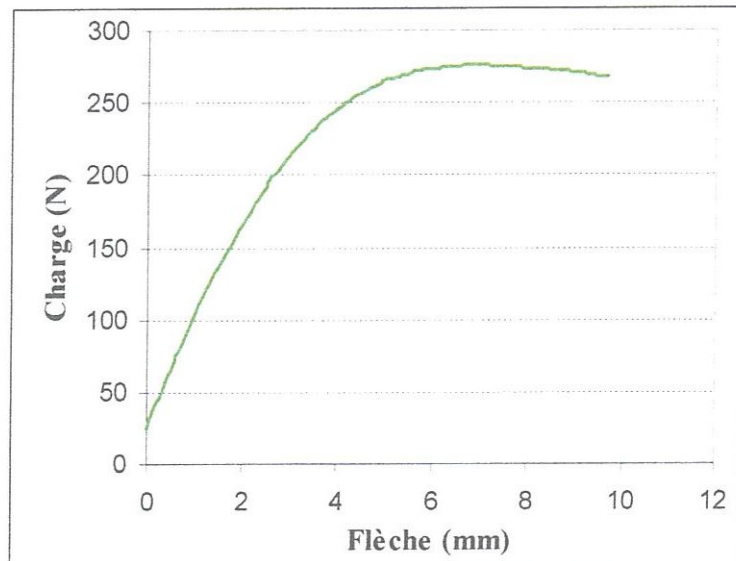


Figure III.45 : Courbe charge-flèche du PVC rigide.

En superposant les deux courbes, nous obtenons la figure III.46 :

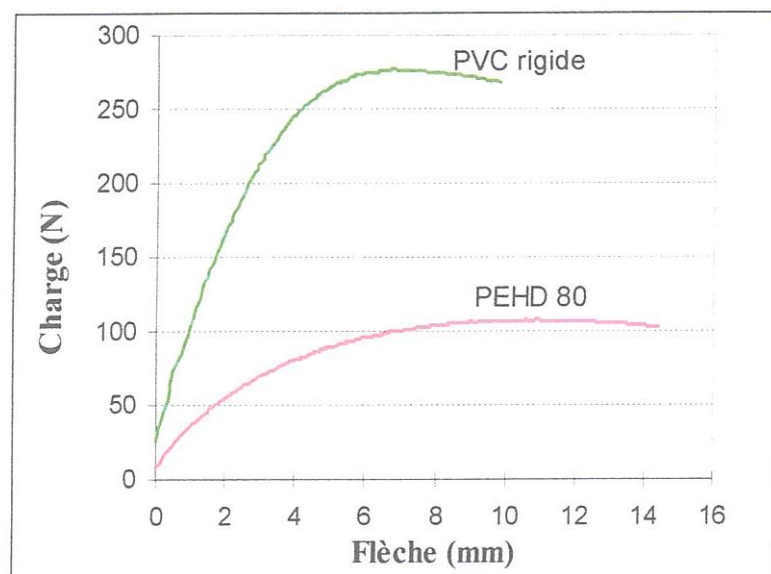


Figure III.46: Comparaison des courbes charge-flèche du PVC rigide et du PEHD 80.

Les différentes caractéristiques des deux matériaux sont regroupées dans le tableau

III.16 :

	<b>PEHD 80</b>	<b>PVC rigide</b>
<b>Charge maximale (N)</b>	107.25	276.05
<b>Flèche maximale (mm)</b>	11.20	7.07

*Tableaux III.16 : Comparaison des différents résultats de la flexion des deux matériaux polymères.*

Les tests de flexion effectués sur le PEHD 80 et le PVC rigide montrent bien deux comportements différents. Ces deux comportements sont résultats des phénomènes intervenant au niveau de chaque matériau.

Pour le PEHD 80 (figure III.44) on remarque l'apparition d'un palier plastique pour des valeurs des déplacements comprises entre 1.8 et 14 mm, ces valeurs indiquant ainsi une large aptitude à la déformation du PEHD 80, par contre pour le PVC rigide (figure III.45) on constate que la charge et la flèche augmentent proportionnellement jusqu'à des valeurs respectives de 276 N pour la charge et 7 mm pour la flèche. Au delà de ces valeurs une chute brutale de la résistance à la flexion de ce polymère est enregistrée d'où un petit domaine de déformation.

#### **III.4.3.4 Mécanisme du comportement élastique après l'essai de flexion :**

Pour ces deux polymères thermoplastiques (PEHD 80 et PVC rigide), cette déformation est une combinaison de déplacements d'atomes et de macromolécules correspondant à une augmentation de la distance d'équilibre interatomique ou intermacromoléculaire dans la direction de la charge. L'entrelacement des chaînes fait que certaines liaisons intermoléculaires sont raccourcies tandis que d'autres sont allongées, faisant jouer les liaisons interatomiques à l'intérieur des molécules. De plus, la géométrie de certaines macromolécules favorise ce type de comportement : une configuration torsadée [48].

Cette déformation a pour limite (limite élastique) la force interatomique ou intermacromoléculaire maximale.

Après le domaine élastique, sous l'effet de la flexion, les deux polymères étaient plastiques et la rupture n'a pas eu lieu.



### III.4.3.5 Mécanisme du comportement plastique après l'essai de flexion :

Le mécanisme de la plasticité en flexion pure est le même qu'en traction simple : glissement suivant des plans orientés dans la direction générale de la contrainte de cisaillement maximale.

Quand les sphérolites les plus éloignées de l'axe neutre atteignent la déformation à laquelle commence la plasticité en traction simple, une plasticité locale prend naissance, exactement comme dans un barreau sous traction [49].

Lorsque la flexion continue, la plasticité progresse graduellement de l'extérieur vers la fibre neutre. La contrainte, dans chaque fibre, suit la loi contrainte-déformation de la traction simple (figure III.47).

En général, l'éprouvette ne commence à devenir plastique que lorsque l'on atteint des contraintes un peu plus supérieures qu'à celles observées en traction.

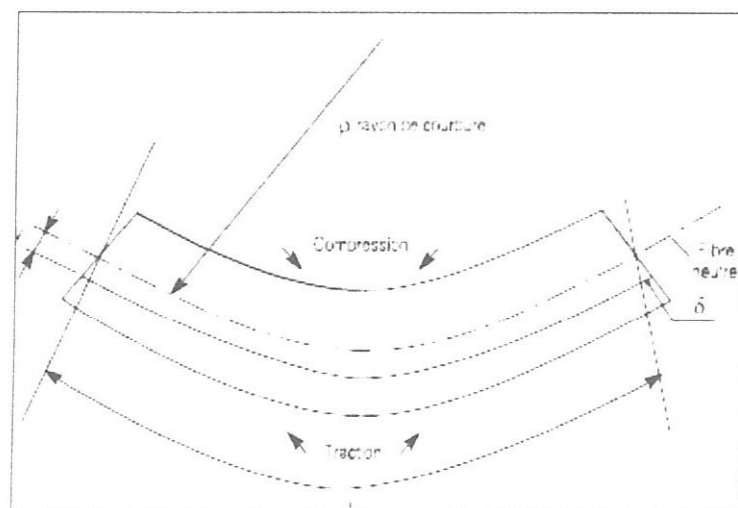


Figure III. 47 : Déformation d'une éprouvette au cours d'un essai de flexion

### III.4.3.6 Conclusion :

Durant cet essai, nous avons observé que la déformation est proportionnelle à la charge. Les résultats de l'allongement, pour la flexion, renseignent sur le comportement du PVC et PEHD 80 à savoir s'ils sont fragiles (ou plutôt quasi-fragiles), semi-ductiles ou ductiles.

Les tests de flexion effectués sur les deux matériaux aux mêmes conditions ont montré que le PVC rigide à une bonne tenue à la flexion par rapport au PEHD 80 d'un point de vue charge maximale a supportée, mais l'aptitude à subir des grande déformations dans le domaine plastique est enregistrée pour le PEHD 80.

### III.4.4 Essai de résilience :

L'essai Charpy est destiné à mesurer l'énergie nécessaire pour rompre en une seule fois une éprouvette préalablement entaillée. On utilise un mouton-pendule muni à son extrémité d'un couteau qui permet de développer une énergie donnée au moment du choc.

L'énergie absorbée est obtenue en comparant la différence d'énergie potentielle entre le départ du pendule et la fin de l'essai. La machine est munie d'index permettant de connaître la hauteur du pendule au départ ainsi que la position la plus haute que la pendule atteindra après la rupture de l'éprouvette.

#### III.4.4.1 Machine d'essais :

L'essai a été effectué sur une machine de choc Charpy de marque PHYWE d'après la norme DIN 51 222 (ISO R283/148) figure III.48.

L'avantage de cette machine est la possibilité de changer l'énergie potentielle de 15 N.m à 25 N.m en fixant les poids par des vis sur le marteau.

Les valeurs des énergies perdues par le marteau à l'instant d'impact sont obtenues par lecture visuelle sur un cadran à deux échelles (15 et 25 N.m), la gamme des niveaux d'énergie est de 5 à 50 joules s'applique à l'ensemble des matériaux.

Le système d'appui de la machine donne la possibilité de changer les dimensions entre appuis.

Les tests des deux matériaux (PEHD 80 et PVC rigide) sont réalisés à température ambiante 20° et d'après la norme DIN 53453 (ISO/R 179-1961 avec une vitesse de chute du couteau de l'ordre de 3.8 m/s et de longueur entre support égale à 40 mm.

Les éprouvettes ont été obtenues par usinage de dimensions moyennes (80x10x4) mm avec entaille en "V" selon la norme ISO 179-1.

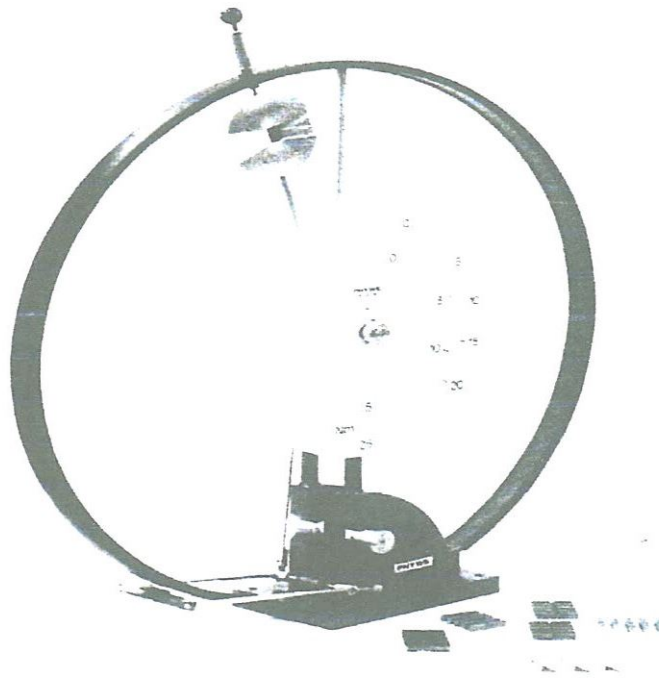


Figure III.48 : Appareil d'essai de choc (Charpy).

#### III.4.4.2 Procédure expérimentale :

Au début le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspond à une énergie de départ  $W_0$ .

On libère le couteau. Dans sa chute, il brise l'éprouvette.

On mesure la hauteur à laquelle remonte le pendule pour calculer l'énergie non absorbée  $W_1$ .

On calcule l'énergie absorbée :

$$W = W_0 - W_1 \quad \text{III.1}$$

$$W = P (h_0 - h_1) \quad \text{III.2}$$

La résilience s'écrit:

$$K_{cv} = P (h_0 - h_1) / S \quad \text{III.3}$$

Avec : **P** : poids (charge)

**W<sub>0</sub>** : énergie initiale.

**W<sub>1</sub>** : énergie après choc.

**S** : section au droit de l'entaille.

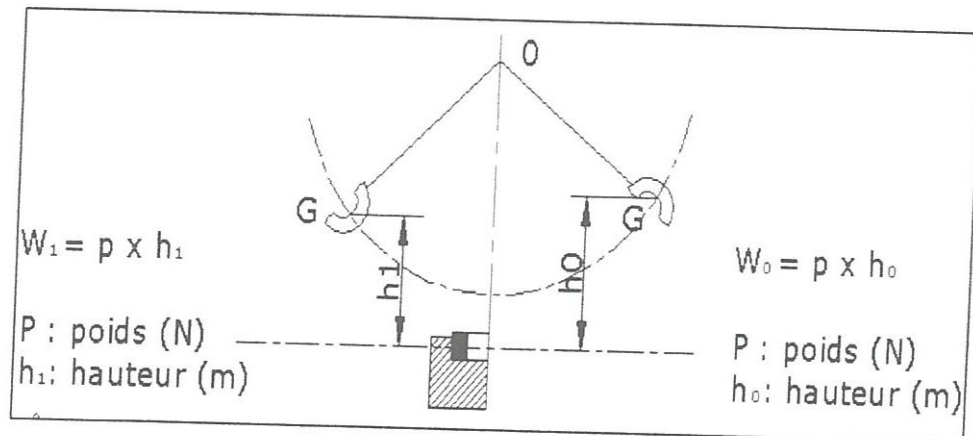


Figure III.49 : Principe de l'essai de résilience (Charpy).

#### III.4.4.3 Résultats et discussion :

Cinq éprouvettes pour chaque polymère ont subi des essais de choc à température ambiante (21°C) afin de déterminer leur résilience.

Les valeurs moyennes des résiliences obtenues pour le PVC rigide et le PEHD 80 sont regroupées dans le tableau III.17 :

Polymère	Résilience (J/cm <sup>2</sup> )
PVC rigide	16.24
PEHD 80	36.25

Tableau III.17 : Valeurs moyennes des résiliences des deux polymères thermoplastiques.



L'observation des faciès de rupture montre bien qu'après le test, le PEHD 80 n'est pas rompu, il a été déformé mais sans se casser, par contre le PVC rigide a subi une rupture complète (Figure III.50).

D'après les résultats obtenus tableau III.17, et par une simple comparaison entre différentes valeurs, on remarque que le PEHD 80 possède une résistance aux chocs supérieure à celle du PVC rigide ( $36.25 \text{ J/cm}^2$  pour le PEHD 80 et  $16.24 \text{ J/cm}^2$  pour le PVC rigide).

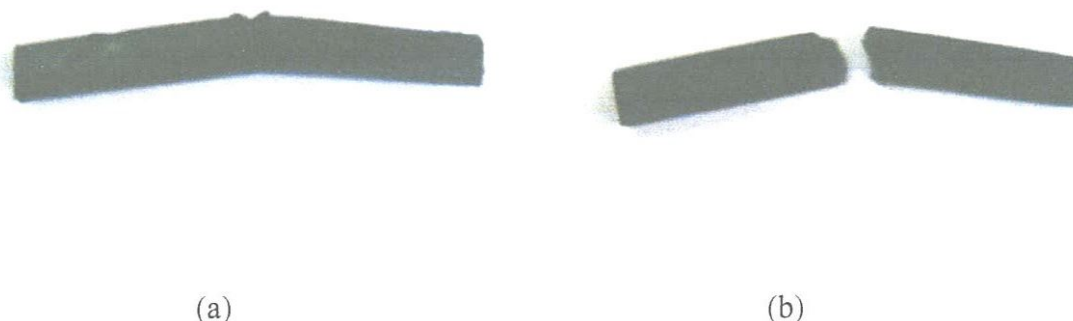


Figure III.50 : Forme des éprouvettes après l'essai charpy.

(a) PEHD 80. (b) PVC rigide.

Pour le PVC rigide, les défauts aigus (entaille en V) sont susceptibles d'initier sa rupture fragile lors de chocs à des vitesses de quelques m/s [49] (dans notre cas la vitesse de  $3.8 \text{ m/s}$  a provoqué sa rupture totale). Par contre, pour le PEHD 80, la présence de ces défauts n'a pas provoqué les mêmes conséquences d'où il a été déformé sans se casser.

Comme l'essai de choc sert à classer les matériaux entre eux, ou la résistance au choc est caractérisé par l'énergie absorbée par l'éprouvette rapportée à la section droite de l'éprouvette et à travers les essais réalisés sur le PEHD80 et le PVC rigide, on note que le PEHD80 l'emporte largement.

Donc, les polymères semi-cristallins sont moins sensibles au choc, les chaînes distribuées régulièrement du PEHD 80 lui conférant une certaine capacité d'amortissement [50].

La résistance au choc varie en sens inverse de la rigidité.

L'excellent comportement au choc du PEHD 80 est lié à sa distribution régulière de ses chaînes et à sa température de transition vitreuse qui est de l'ordre de  $-110^{\circ}\text{C}$  [25].

## Conclusion générale :

Comme le PEHD est un matériau plastique plus récent que le PVC, son utilisation pour le transport de l'eau potable s'est aujourd'hui généralisée au niveau mondial. Nous avons essayé à travers ce travail de faire une étude comparative du comportement mécanique du PEHD 80 et du PVC rigide pour trouver les justifications du remplacement presque généralisé des canalisations en PVC par d'autres en PEHD.

Une première campagne d'essais a permis la détermination des caractéristiques mécaniques de surface, Puisque la surface est avant tout une entité géométrique caractéristique de la forme d'un corps, elle assure des fonctions d'esthétique et de protection.

D'après les résultats de mesure, la dureté du PVC rigide est beaucoup supérieure à celle du PEHD 80., les bons états de surface sont enregistrés pour le PVC rigide soit dans le cas de la mesure de rugosité directement sur les tubes obtenus par extrusion, ou les mesures obtenues après usinage, les essais tribologiques effectués sur des échantillons en PVC rigide et en PEHD 80, ont montré que le PVC rigide présente une bonne résistance à l'usure.

Les tubes en polymères font l'objet de ruptures imprévues et parfois catastrophiques dans les domaines de leurs applications, d'où l'intérêt de la connaissance de leurs propriétés mécaniques par le bon dimensionnement des conduites.

Une deuxième approche expérimentale a été développée afin d'étudier le comportement mécanique des deux polymères à travers des essais de traction, compression, flexion et résilience. Chaque caractéristique a son importance, la limite élastique conduit à la contrainte admissible, l'allongement et la résilience permettent d'apprécier la sécurité de l'installation.

Les essais de traction effectués sur les deux polymères ont montré que l'allongement à la rupture du PEHD 80 est beaucoup supérieur à celui du PVC rigide pour les mêmes conditions, par contre la contrainte au seuil d'écoulement enregistrée pour le PVC est plus importante que celle du PEHD 80.

La vitesse de traction et la température de l'essai influent considérablement sur le comportement mécanique :

- La faible vitesse de déformation entraîne une réorganisation macromoléculaire plus facile qu'à grande vitesse, et par conséquent une augmentation du module d'élasticité et des contraintes au seuil d'écoulement.

D'où le passage d'un comportement rigide à un comportement ductile des matériaux.

- L'augmentation de la température de l'essai provoque une diminution des propriétés des deux matériaux polymères.

Des essais de flexion, sur le PVC rigide montrent bien la bonne résistance de ce dernier avec l'apparition d'une zone blanche au centre de l'éprouvette ou agit directement le

pénétrateur et un début de formation de quelques fissures. Cependant le PEHD 80 a montré une flexibilité sans défaut.

Des tests de résilience ont montré que le PEHD 80 apporte une meilleure résistance aux chocs par rapport au PVC rigide, le PEHD 80 a montré à travers ces essais une déformation sans se casser, alors que le PVC rigide a subi une rupture totale.

Le bon comportement du PEHD 80 lui permet d'être un matériau de substitution pour le PVC rigide dans le domaine de la distribution et le transport de l'eau.

Les paramètres importants quant aux propriétés mécaniques des polymères peuvent être liés aux polymères mais aussi aux conditions de mise en oeuvre et aux conditions de sollicitation (sens, vitesse) ou d'environnement (température, pression et milieu environnant).

Nous devons donc, pour gérer les polymères et leur comportement, prendre l'habitude de s'informer au mieux sur les résines employées, à savoir :

- L'architecture du polymère.
- La formulation du polymère.
- La mise en oeuvre du matériau
- Les conditions d'utilisation.

De toute évidence tous ces paramètres ne sont pas tous indépendants puisque, dans une certaine mesure, la nature des chaînes conditionne leur organisation et leur comportement.

Une caractérisation rigoureuse impose l'emploi d'outils adaptés et une maîtrise des paramètres pertinents :

- Pour pouvoir choisir un matériau pour un usage donné basé sur des considérations de coût et d'exécution.
- Pour pouvoir créer un nouveau matériau qui aura quelques propriétés souhaitables.

On peut conclure que, le choix des matériaux n'est pas simple. Ce choix a des composantes techniques, économiques et réglementaires souvent difficiles à rendre compatibles.



## Références bibliographiques :

- [01] : **Hatem HAIDAR**, réhabilitation des réseaux d'eau potable : méthodologie d'analyse multicritères des patrimoines et des programmes de réhabilitation, thèse doctorat, INSA Lyon ,2006.
- [02] : **P.O. Bussière, B. Mailhot, A. Rivaton et J.L. Gardette**, Étude de l'impact de l'évolution de la structure chimique sur les propriétés physiques de polymères soumis au vieillissement photochimique. Ferrand, 2007.
- [03] : [www.expertanet.com](http://www.expertanet.com)
- [04] : **Alain DESSARTHE**. Introduction aux plastiques et composites en mécanique. Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie mécanique, Doc. B5 170-2.
- [05] : Propriétés, synthèses, polymérisations, utilisations. Des cours de chimie, Site internet : [www.chimie-sup.fr](http://www.chimie-sup.fr)
- [06] : **Marc Carrega et Coll**, Matériaux polymères, DUNOD Paris, 2000.
- [07]: **J.P.TROTIGNON, J.VERDU, M. PIPERAUD, A. OBRACZYNSKI** Structures-proprietés, mise en œuvre et normalisation, précis de matière plastique, 2<sup>ème</sup> Édition, NATHAN.Paris, 1996.
- [08] : [www.cercle-recyclage.asso.fr/publi/dossiers/materiaux/plastique](http://www.cercle-recyclage.asso.fr/publi/dossiers/materiaux/plastique).
- [09] : <http://e.m.c.2.free.fr/matieres-plastiques-techniques.htm>.
- [10] : [WWW.expertanet . Com](http://WWW.expertanet.com).
- [11] : **A.BLAGA**, CBD-157-F. Propriétés et comportement des matières plastiques (1975).
- [12] : **H. EL BARI**, « Étude des mécanismes de la déformation en cisaillement simple des polymères vitreux », Thèse Institut National Polytechnique de Lorraine, (1987).
- [13] : **A.BOUDET** ; voyage au cœur de la matière plastique, CNRS Édition Paris (2003).
- [14] : **G'SELL**, instabilité de déformation pendant l'étirage des polymères solides, Rev. Plys, 23 (1988).
- [15] : **R.SMAI**, comportement viscoélastique lineare et non lineare en cisaillement de fraction de polystyrène : prévisions de quelques modèles issues de la dynamique moléculaire.thèse de doctorat, université de Jean Monnet, Saint-Étienne (1997).
- [16] : **THOMAS Hanemann**, **Polymeric Materials: Basic Properties**, Imtek, 2003.

- [17] : **A.DAHOUN, C.G'SELL, A.MOULINARI et G.CANOVA**, plastics behavior and deformation texture of poly (ether Ketene) under uniaxial tension and simple shear, Edition ASME New York (1993).
- [18] : **N.BROWN**, yield behavior of polymers, in "failure of plastics", Ed .W.Brostow et R.D .cornelieusseu, Hanser, Munich (1986).
- [19] : **Yannas**, travail non-publier cité par N.P, suh et A.P.L.Turner, Elements of the mechanical properties of solids, scripta books (Washington, DC) et Mc Grew hill, New York (1975).
- [20] : **F.RENIERS, J.P.LICKERS, Y.GEERTS**, cours de chimie générale (2002-2003). Site Internet: [www.ULB.ac.be/science](http://www.ULB.ac.be/science).
- [21] : **A. Blaga. CBD-219-F**. Applications des plastiques en tuyauterie, avril 1982.  
**W.M.Davis et C.W.MAKOSKO**, Non linear mechanical moduli for polycarbonatc and PMMA, journal of rheology, 22(1978).
- [22] : **HUBERT L,DAVID L,SEGUELA R, VIGIER G**, « Physical and mechanical properties of polyethylene for pipes in relation to molecular architecture » polymer 42 (2001) 8425-8434.  
Étude du vieillissement des produits textiles de type sangles, élingues et cordes toronnées. Rapport de l'IFTH (2004), 64 pp.décembre 2005.
- [23] : **H.Bouregghda** , Étude de l'influence de la mise en forme sur la cristallisation & les propriétés physiques des polymères,Mémoire de magister, Université de Batna , 2006.
- [24]: **L. H. Chiu, C. F. Yang, W. C. Yang**, Surf. Coat. Techn., 154 (2002), p. 282-288.
- [25] : **Reynald DOSSOGNE**, Polyéthylène haute densité PE-HD, Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites Doc. A 3 315.
- [26] : **H.Gibello**, le chlorure de vinyle et ses polymères, Dunod, (1959).
- [27] : **Daniel Ausseur**, Polychlorure de vinyle, Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites .AM 3 325-10.
- [28] : **Patricia KRAWCZAK**, Essais mécaniques des plastiques, Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites Doc.AM 3 512.
- [29] : **B.DERIQUEHEM**, pratique des plastiques et composite, la caractérisation des matériaux, les essais, DUNOD, 2003 .
- [30] : **Alain DESSARTHE**. Usinage des polymères, Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie mécanique, Doc. AM 3780. [31]: **P. La, Q. Xue, W. Liu**, Wear, 249 (2001), p. 94-100.

- [31] : **Y. Kimura, T. Wakabayashi, K. Okada**, *Wear*, 232 (1999), p. 199-206.
- [32]: **J. R. Gomes, O. M. Silva, L. C. Pardini**, *Wear*, 249 (2001), p. 240-245.
- [33] : **J. L. Lawen, S. J. Calabrese, O. S. Dinc**, *J. Tribo*, 120 (1998), p. 339-344.
- [34] : **S. Hemery**, PFE, ENSAM d'Angers (1996).
- [35] : **M.Ishikawa and I.Narisawa**, crazing in semi crystalline thermoplastics, *Advances in polymer science*, 1990, 91/92, P.353-391
- [36] : **A.S ARGON**, A theory of the low – temperature plastic deformation of glass y polymers, *Phil.Mag* 28 (1973).
- [37] : **F. E. Kennedy**, “Friction, lubrication and wear “, *ASM Handbook* (1992), p. 438-444.
- [38] : **K. H. Zum Gahr**, *Tribo. Int.*, 31 (1998), p. 587-596.:
- [39] : **A. J. A. Winnubst, Y. J. He, A. J. Burggraaf, H. Verweij**, *Wear*, 210 (1997), p. 178-187.
- [40] : **J. Jiang, F. H. Stott, M. M. Stack**, *Tribo. Int.*, 31 (1998), p. 243-256.
- [41] : **O. Lesquois, J.J. Serra, P. Kapsa**, *Wear*, 201 (1996), p. 163-170
- [42] : Essais sur matériaux, normes plastiques et caoutchoucs. Site Internet : [www.Zwick.fr](http://www.Zwick.fr).
- [43] : **Christian G'SELL, Jean- Marie Hiver**, nouvelles méthodes d'essais mécaniques pour la détermination des lois de comportements des polymères
- [44] : **J. CAZENAVE**, sur compromis rigidité/durabilité du polyéthylène haute densité en relation avec la structure de chaîne, la microstructure et la topologie moléculaire issues de la cristallisation, thèse doctorat, INSA de Lyon, 2005.
- [45] : **C. G'SELL, H. EL BARI, J. PEREZ, J. Y. CAVAILLE et G. P. JOHARI**, « Effect of Plastic Deformation on the Microstructure, and Properties of Amorphous Polycarbonate », *Mater. Sci. Eng., A* 110, pp. 223 - 229, (1989).
- [46] : **T. A. TERVOORT**, « Constitutive modeling of Polymer Glasses; Finite Non-linear Viscoelastic Behavior of Polycarbonate », Eindhoven: University of Technology, (1996).
- [47] : **Yannick Tillier**, Identification par analyse inverse du comportement mécanique des polymères solides, Application aux sollicitations multiaxiales et rapide, thèse doctorat, 1998.
- [48] : **J.BABIDT**, Les fonctions caractéristiques rhéologiques des hauts polymères, *Plastiques modernes et élastomères*, N° 1, 1970.

[49] : **B.DERIQUEHEM**, Pratique des plastiques et composite, La caractérisation des matériaux, Les essais, DUNOD, 2003.

[50] : **R.JACOB**, Rupture fragile des produits en PVC, Pure & appl.chem. vol.49, pp.615-626, Great Britain, 1977.



## Résumé :

Le polyéthylène (PE) et un matériau polymère plus récent que le PVC, son utilisation pour le transport des fluides s'est aujourd'hui largement généralisée au niveau mondial, ses caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques en ont fait un matériau de choix pour les réseaux d'adduction et de distribution de l'eau potable.

L'objectif de ce travail est de faire une étude comparative du comportement mécanique d'un polymère amorphe (PVC rigide) souvent utilisé dans la distribution de l'eau et d'un autre semi-cristallin (PEHD 80).

Une première approche pour la détermination des caractéristiques mécaniques de surface, puisque la surface est avant tout une entité géométrique caractéristique de la forme d'un corps, elle assure des fonctions d'esthétique et de protection.

Les essais mécaniques de surface permettent de caractériser l'état de surface soit dans le domaine de faibles déformations (dureté), soit à la rupture (usure et fragilité superficielle), soit en termes de rugosité.

D'après les résultats de mesure sur les deux polymères thermoplastiques, la dureté du PVC rigide est beaucoup supérieure à celle du PEHD 80. Les bons états de surface sont enregistrés pour le PVC rigide dans le cas de la mesure de rugosité directement sur les tubes obtenus par extrusion, ou les mesures obtenues après usinage. Des essais tribologiques réalisés sur des échantillons en PVC rigide et en PEHD 80, ont montré que le PVC rigide présente une bonne résistance à l'usure.

Les tubes en polymères font l'objet de rupture imprévues et parfois catastrophiques dans les domaines de leurs applications, d'où l'intérêt de la connaissance de leurs propriétés mécaniques par le bon dimensionnement des conduites.

Une deuxième approche expérimentale a été développée afin d'étudier le comportement mécanique des deux polymères à travers des essais de traction, compression, flexion et résilience. Chaque caractéristique a son importance, la limite élastique conduit à la contrainte admissible, l'allongement et la résilience permettent d'apprécier la sécurité de l'installation.

Les essais de traction effectués sur les deux polymères ont montré que l'allongement à la rupture du PEHD 80 est plus de deux fois supérieur à celui du PVC rigide pour les mêmes conditions, par contre la contrainte au seuil d'écoulement enregistré pour le PVC est plus importante que celle du PEHD 80.

Des essais de flexion effectués sur du PVC rigide montrent bien la bonne résistance de ce dernier avec l'apparition d'une zone blanche au centre de l'éprouvette ou agit directement le pénétrateur et un début de formation de quelques fissures. Cependant le PEHD 80 a montré une flexibilité sans défaut.

Des tests de résilience ont montré que le PEHD 80 apporte une meilleure résistance aux chocs par rapport au PVC rigide. Le PEHD 80 a montré à travers ces essais une déformation sans se casser, alors que le PVC a subi une rupture totale.

### Mots clés :

Polymère, thermoplastique, semi-cristallin, amorphe, viscoélastique, transition vitreuse, polyéthylène haute densité, Polychlorure de vinyle....