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



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

THEME :

Etude sur les effets de la température T et de la vitesse de déformation ε˙sur le comportement d'un filament produit en ABS

MEMOIRE Présentées vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Présenté Par :

- KHELIFI MOHAMED
- YOUCEF EZZINE MAAMAR

Directeur de thèse :

BEN IMAM SAMIR

Année universitaire 2019/ 2020

Dédicace :

- ***Je dédie ce modeste travail à mes parents, mon père qui me donne des leçons de la vie, et à ma mère pour les conseils précieux, et de m'encourager dans ma vie.***
- ***A ma grande famille mes sœurs et mes frères.***
- ***A ma femme qui m'encouragé de contenue mes études. Et à mes filles Maram et Aya, à mon petit fils Fares Abderrezak.***
- ***A tous mes amis et surtout le bonhomme Khelifi Mohamed.***

Dédicace :

- ***Je dédie ce modeste travail à mes parents, mon père qui me donne des leçons de la vie, et a ma mère pour les conseils précieux, et de m'encourager dans ma vie.***
- ***A mon frère et mes sœurs.***
- ***A tous mes collègues en génie des matériaux et des surfaces.***
- ***A mon binôme Yocef Ezzine maamar.***

Remerciements

D’abord nous remercions dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour faire cet humble travail.

Ce travail a été réalisé au laboratoire des recherches et à l’atelier de l’université YAHIA FARES de Médéa.

***A** mon promoteur de mémoire monsieur le docteur **BEN IMAM Samir** à qui j’adresse mes sincères remercîments, ça nous a fait un très grand plaisir qu'il a accepté de nous encadrer pour ce mémoire, nous apprécions son aide et ses conseils précieux qu'il nous a donné durant notre étude pour la réalisation de ce travail, sa confiance totale qui nous a permet de travailler dans l’atelier de mécanique, avec un esprit courageux et confiant, cette confiance était associé avec son soutien et sa gentillesse.*

Votre expérience est un enseignement quotidien pour nous.

*Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à notre copromoteur monsieur **HABIRECHE Mohamed**. pour son aide à la réalisation de ce travail, et a tous les enseignants d'ingénierie des matériaux et des surfaces*

Nos remerciements s'adressent ainsi aux :

M. Le président et les membres de jury d'avoir accepté juger et évaluer notre travail.

*Nous tenons aussi Remercie **Mr**. **ABDELLAH ELHADJ Abdellah** Professeur de génie mécanique, pour son aide à l'utilisation de son atelier de recherche, en nous laissant exploiter l’extrudeuse pour le travail de notre fil d'ABS.*

Mes remerciements s’adressent enfin à tous les collègues de notre promotion pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Votre expérience est un enseignement quotidien pour nous.

Résumé

Nous avons expliqué comment réalise un fil en Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS), pour les utilisations des imprimantes 3D.

Nous avons présenté une étude expérimentale sur le comportement mécanique d'un polymère amorphe, l'Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) et ceci par des essais de traction uni axiale. La caractérisation est faite avec prise en compte de l'effet de la température qui varie de 40°C à 75°C et dans une gamme de vitesse d'étirage allant de 50mm/min à 1000 mm/min avec un pas relativement constant.

L'approche proposée consiste à analyser l'évolution de la géométrie globale des courbes contrainte déformation obtenues et ceci en considérant les zones et les points caractéristiques de ces courbes.

Cette étude montre que l'effet inverse de la température par rapport à la vitesse de déformation est mis en évidence.

.

تلخيص:

قمنا بشرح كيفية صنع خيط بلاستيكي من مادة أكريلونيتريل بوتادين ستيرين (ABS) لإستخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد.
قدمنا دراسة تجريبية حول السلوك الميكانيكي لبوليمر غير متبلور ، أكريلونيتريل بوتادين ستيرين (ABS) وذلك عن طريق اختبارات الشد المحوري الأحادي. يتم إجراء التوصيف مع مراعاة تأثير درجة الحرارة التي تتراوح من 40 درجة مئوية إلى 75 درجة مئوية وفي نطاق سرعة التشوه من 50 مم / دقيقة إلى 1000 مم / دقيقة مع درجة ثابتة نسبيًا. يتكون النهج المقترح من تحليل تطور الهندسة الإجمالية لمنحنيات إجهاد الشد التي تم الحصول عليها وذلك من خلال النظر في المناطق والنقاط المميزة لهذه المنحنيات.
توضح هذه الدراسة أن التأثير العكسي لدرجة الحرارة فيما يتعلق بمعدل التشوه يتم تسليط الضوء عليه.

Abstract

We have explained how to make an Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) wire for the use of 3D printers.

We presented an experimental study on the mechanical behavior of an amorphous polymer, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and this by uniaxial tensile tests.

The characterization is done taking into account the effect of temperature ranging from 20 ° to 75 ° C and a speed range stretching from 50mm/min to 1000 mm / min with a step relatively constant.

The proposed approach is to analyze the evolution of the overall geometry of the stress-strain curves obtained and this by considering the areas and the characteristic points of these curves.

This study shows that the opposite effect of temperature over the strain rate is highlighted.

LISTE DES TABLEAUX.

- ***Tableau1:*** *présente propriété de PLA*
- ***Tableau2 :*** *Les propriétés principales de l'ABS*
- ***Tableau3 :*** *Synthèse des types de mise en forme par polymère*
- ***Tableau4:*** *différentes valeurs expérimentales des propriétés mécaniques des quatre éprouvettes (Influence de la température, vitesse de déformation constante ε=13,02.10-3s-1) [26].*
- ***Tableau 5 :*** *différentes valeurs expérimentales des propriétés mécaniques des onze éprouvettes (Influence de la vitesse d'étirage, température constante T=20°C) [26].*
- ***Tableau 6:*** *Valeurs des propriétés typiques " Resine EX58F " (* : à la température ambiante) [27]*
- ***Tableau 7 :*** *Identification du matériau [26].*
- ***Tableau 8 :*** *Quelques propriétés d'un Acrylonitrile Butadiène Styrène ABS (* : à la température ambiante) [26].*

LISTE DES FIGURES.

- ***Figure I.1*** *Structure de l'éthylène et du polyéthylène respectivement*
- ***Figure I.2.*** *Structure moléculaire d'un polymère thermoplastique et thermodurcissable.*
- ***Figure. I.3 :*** *Nodules de polybutadiène (PB) finement distribués dans un copolymère styrène-acrylonitrile (SAN) = copolymère acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) (cliché MET d'un film ultra mince [I9]).*
- ***Figure I.4.*** *Formule de l'Acrylonitrile-butadiène-styrène*
- ***Figure I.5****. Morphologie observée au microscope électronique à transmission (MET) de deux ABS synthétisés selon deux techniques : polymérisation en masse (gauche) et par émulsion (droite).*
- ***Figure I.6 :*** *Structure d'acrylonitrile/butadiène/ styrène (ABS).*
- ***Figure I.7 :*** *Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission[21].*
- ***Figure I.8.****Illustration de la structure et de l'arrangement moléculaire des monomères de l'ABS : [22].*
- ***Figure II.1.****Pourcentage d'utilisation des différents procédés de mis en forme de thermoplastiques (tiré de : [4]).*
- ***Figure II.2*** *: Schéma général de la mise en œuvre des polymères thermoplastiques*
- ***Figure II.3 :*** *Schéma d'un système d'extrusion thermoplastique [4].*
- ***Figure II.4*** *: Schéma de principe d'une extrudeuse monovis*
- ***Figure II.5.*** *Schéma d'un système par injection de thermoplastique (tiré de : [4])*
- ***Figure II.6.****Illustration des différents types de moules utilisés par le thermoformage [4].*
- ***Figure II.7.*** *Schéma du procédé de calandrage (tiré de : [4].)*
- ***Figure II.8.*** *Schéma d'une machine à rotomoulage (tiré de : [4].)*

- ***Figure III.1:*** *matériau acrylonitrile butadiène styrène (ABS) EX58F.*
- ***Figure III.2:*** *Photo de la machine d'éxtrusion, mono-vis TPBI*
- ***Figure III.3:*** *Tableau de commande de l'extrudeuse .*
- ***Figure III.4:*** *système de refroidissement .*
- ***Figure III.5:*** *variateur de la vitesse d'extrusion*
- ***Figure III.6:*** *bobinage de filament .*
- ***Figure III.7*** *: photo de filament obtenu 1.75mm.*
- ***Figure III.8 :*** *bobine de file en ABS.*
- ***Figure III.9 :*** *Eprouvette en forme de cylindre [26].*
- ***Figure III.10 :*** *Photo de la machine de traction ZWICK /Materiaprüfung [26].*
- ***Figure III.11 :*** *Dispositif expérimentale [26].*
- ***Figure III.12 :*** *Thermocouple 666 193 Sonde*
- ***Figure III.13:*** *Photo de la machine de traction ZWICK /Roell [26].*
- ***Figure III.14 :*** *Mesure des dimensions et mise en place de l'éprouvette d'essai dans la machine de traction [26].*

- ***Figure IV.1:*** *Influence de la température (T=40°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS (ε)= 13,02.10^{-3} s^{-1}:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.2:*** *Influence de la température (T=50°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS (ε)= 13,02.10^{-3} s^{-1}:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte- déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette a la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.3:*** *Influence de la température (T=60°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS (ε)= 13,02.10^{-3} s^{-1}: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette a la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.4 :*** *Influence de la température (T=75°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS (ε)= 13,02.10^{-3} s^{-1}: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette a la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.5:*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 13,02.10^{-3} s^{-1} :a) courbe expérimentale de traction contrainte déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience[26].*
- ***Figure IV.6:*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 26,04.10^{-3} s^{-1}:****a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience.*
- ***Figure IV.7 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 52,08.10-3 s-1:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. .****b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.8 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 78,12.10^{-3} s^{-1}:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.9 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 104,16.10-3 s-1:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26]*
- ***Figure IV.10 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 130,20.10-3s^{-1} a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.11 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 156,25.10^{-3} s-^{1} : a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.12 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 182,29.10-3s-1: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.13 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 208,33.10-3s-1:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.14 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 234,37.10-3 s-1: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

- ***Figure IV.15 :*** *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 260,41 .10-3 s-1: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*
- ***Figure IV.16 :*** *Comportement en traction de l'ABS entre 40°C et 75°C pour une vitesse de déformation constante* $\dot{\varepsilon} = 13{,}02.10^{-3}\ s^{-1}$ *[26].*
- ***Figure IV.17 :*** *Comportement en traction de l'ABS à différentes vitesses de déformation entre 13,02.10-3 et 260,41.10-3 pour une température constante T=20°C [26] .*

Liste d'abréviation.

ABS : *Acrylonitrile Butadiène Styrène*

PLA : *Poly Lactique*

PEHD : *Polyéthylène Haute Densité*

PP : *Polypropylène*

SAN : *Styrène/Acrylonitrile*

PS: *polystyrène*

PVC : *polychlorure de vinyle*

PA : *polyamide*

UARSM : *Unité de Recherche Appliquée en Sidérurgie Métallurgie*

CSC, ex DRA : *Centre de Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle*

LPMM : *Laboratoire de physique et de Mécanique des Matériaux*

Table des matières.

Partie I : étude bibliographique.

Introduction générale : 1

Chapitre I : les polymères.

I-1. Historique : 2

I-2 Caractéristiques des plastiques : 2

I-2.1 Définition et notion : 2

I-3 Généralités sur les polymères : 4

I-4 Types des polymères : 6

I-4.1. Les thermoplastiques : 6

1. **Thermoplastique techniques: Acrylonitrile butadiène styrène ABS : 7**
   - **1-1. Structure et synthèse : 7**
2. **Thermoplastiques techniques acide poly lactique PLA : 8**
   - **2-1. Structure et synthèse : 8**
   - **2-2. Propriétés : 9**
3. **Polyéthylène haute densité PEHD : 9**
   - **3-1. Structure et synthèse : 10**
4. **Polypropylène PP : 10**
   - **4-1. structure et synthèse : 11**

I-4.2. Les thermodurcissables : 11

I-4.3 Les élastomères : 11

I-5 Polymères homogènes et hétérogènes : 12

I-5.1 Polymères homogènes : 12

I-5.2 Polymères hétérogènes : 12

I-5.3 Polymères modifié par une phase élastomère : 13

I-5.3-1 Structure : 13

I-5.3-2 Composantes de mélange : 13

I-6 L'acrylonitrile butadiène styrène ABS : 15

I-6.1 Introduction : 15

I-6.2 Identification du matériau : 16

I-6.2-1 Le styrène/acrylonitrile SAN : 16

I-6.3 Monomères constitutifs : 17

I-6.3-1 Proportion des monomères constitutifs : 18

I-6.4 Copolymérisation : mélange : 19

I-6.5 Structure des ABS : 20

I-6.6 Propriétés : 21

Chapitre II. Mise en forme des thermoplastiques.

II-1. Introduction : 25

II-2. Mise en forme des thermoplastiques : 26

II-3. Caractéristiques de la mise en œuvre des polymères thermoplastiques : 27

II-4. Grands procédés de mise en œuvre : 28

II-4.1 extrusion : 28

II-4.1-1 l'extrudeuse mono-vis : 29

a. Filières et dispositifs de post-extrusion : 30
b. Soufflage de gaine ou extrusion –gonflage : 31

II-4.1-2 Types d'extrudeuse bi-vis : 31

II-4.2 injection : 33

II-4.3 thermoformage : 34

II-4.4 Calandrage : 35

II-4.5 rotomolage : 36

II-5. Résumé des types de mise en forme : 37

Partie 2. Pratique

Chapitre III. Réalisation

III-1 Introduction : 39

III-2 Présentation du matériau étudié : 39

III-2-1 choix de matériau : 39

III-2-2 Caractéristique du matériau étudié: 40

III-3 La machine d'extrusion : 43

III-4 Les étapes de réalisations : 43

III-5 Etude expérimentale: 47

III-5-1 Présentation de matériau étudié : 47

III-5-2 Caractéristique du matériau étudié: 48

III-5-3 Méthode d'essais mécaniques : 49

III-5-3-1 Essais de traction : 49

III-5-3-2 Eprouvettes de traction : 49

III-5-3-3 Dispositif expérimental : 50

III-5-3-3-1 Machines Zwick/Materiaprüfung : 50

III-5-3-3-2 Machines Zwick/Roell : 52

III-5-3-3-3 Logiciel de pilotage : 53

III-5-4 Etapes de l'essai : 53

III-6 Essais expérimentaux : 54

III-6-1 Essais à plusieurs températures : 54

III-6-2 Essais à plusieurs vitesses de déformation : 54

Chapitre IV

IV-1 Résultats des expériences : 56

IV-1-1 Résultats sous l'influence de la température : 56

IV-1-2 Résultats sous l'influence de la vitesse de déformation : 61

IV-2 Explication de l'effet de la température et de la vitesse de déformation sur le comportement mécanique de l'ABS : 75

Conclusion générale *:* **77**

Références bibliographiques : **78**

Introduction générale :

Parmi les principaux thermoplastiques. On cite l'ABS, comme un polymère thermoplastique employé par l'industrie pour des produits rigides et moulés, présentant une bonne résistance au choc et à la température. Utilisé aussi dans l'industrie d'automobile et des équipements électriques et électroniques, que dans celles des jouets, des loisirs. C'est un plastique très universel, reconnu pour son faible cout.

Dans l'impression 3D, c'est un des piliers fondateurs. L'ABS est un filament destiné à imprimer des pièces fonctionnelles et techniques, précis à des fins de validation fonctionnelle. Le tous sans moule ni cire on poudre manipulation particulière.

Cependant notre travail consiste à réaliser un filament d'imprimante 3D en ABS par extrudeuse de marque TPBI.

Ce travail se compose de quatre chapitres :

Le premier chapitre comporte une généralité sur les polymères et Ces types, thermoplastiques, thermodurcissable et élastomères. Une étude bibliographique sur les thermoplastiques technique ABS, PLA, PP, PEHD.

- Le deuxième chapitre présente les mises en forme des thermoplastiques. Les différents méthodes de la mise en forme. L'extrusion, l'injection, calandrage, rotomoulage, thermoformage.

- Dans le troisième chapitre, on parle de la réalisation d'un filament pour imprimante 3D par extrudeuse.

- Le quatrième chapitre nous présentons une étude expérimentale sur les éprouvettes d'ABS lors de la traction sous l'influence des deux paramètres la température et la vitesse de déformation.

- En fin, une conclusion sur le travail accomplis.

Chapitre I

les polymères

I-1 Historique :

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

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

L'industrie de la construction et de l'automobile, l'industrie alimentaire et le monde médical sont parmi les plus grands consommateurs de ces nouveaux matériaux .Les matières plastiques ont remplacé avantageusement quantité de 'produits naturels' dans diverses applications, ce qui représente souvent un avantage pour l'environnement [1].

I-2 Caractéristiques des plastiques :

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

Les molécules sont assemblées entre elles sous formes de chaînes, linéaires ou en réseau, qu'on appelle **les** polymères. D'autres éléments interviennent dans la composition des polymères pour donner des caractéristiques spécifiques au produit, tels que : Oxygène, chlore, azote, etc. [2].

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

I-2.1 Définition et notion :

Les matières plastiques impliquent des concepts complexes, ainsi que de nombreux procédés et composés dans leur production. Il est donc essentiel de comprendre certains concepts qui seront décrits dans la section suivante. D'abord, une matière plastique se définit généralement comme un composé organique, obtenu par synthèse chimique, habituellement à partir de pétrole [3].

I-3 Généralités sur les polymères :

Les polymères sont des matériaux à molécules géantes résultant de l'assemblage de molécules élémentaires appelées monomères. Les chaînes obtenues par la répétition de ces monomères vont avoir des tailles et des masses molaires très importantes, typiquement supérieures à 10000 g.mol-1, masse à partir de laquelle les polymères vont donner un matériau au sens mécanique du terme. Les polymères sont dans l'ensemble peu denses, compte tenu de leur origine organique et, par la suite, de la présence d'éléments constitutifs légers (Carbone, Oxygène, Hydrogène, Azote). La liaison covalente des carbones est à la base de la notion de polymère. Il s'agit d'une liaison forte d'environ 100 à 450 kJ/mol (438 kJ/mol pour la liaison carbone-carbone). Par conséquent, les polymères possèdent une élasticité élevée dans le sens de la chaîne macromoléculaire.

Les polymères diffèrent des simples macromolécules parce qu'ils résultent de l'enchaînement aléatoire de monomères alors que les macromolécules (ADN, protéines) sont issues d'une succession codifiée d'éléments précis [3].

Parmi les matières plastiques, on distingue les homopolymères, répétition d'une unique structure moléculaire, et les copolymères, succession de plusieurs structures différentes.

Les homopolymères désignent donc des polymères fabriqués à partir d'un seul type de monomère, comme par exemple les polyéthylène PE et polystyrène PS. Dès qu'au moins deux types de monomère participent à la formation des macromolécules, on parlera de copolymères. C'est le cas du styrène-butadiène. La variété des copolymères est très importante. Ces matériaux possèdent des propriétés physico-chimiques et mécaniques intermédiaires avec celles obtenues sur les homopolymères correspondants.

I-3.1 polymère et polymérisation

Une matière plastique est composée en grande partie de polymères, que l'on obtient à la suite d'une polymérisation de monomères ou de copolymères afin de produire des chaînes de molécules plus importantes [4]. Ce procédé utilise habituellement des molécules de sources pétrochimiques et la méthode peut différer d'un polymère à l'autre. Par exemple, la polymérisation par étapes couple les monomères en petits groupes avant de les assembler en polymère, tel le nylon [4]. La polymérisation radicalaire, utilisée pour la synthèse du PEHD, agit directement sur les électrons libres d'un atome ou d'un groupe d'atomes pour former des liens entre les molécules et former le polymère dans la réaction [4]. La polymérisation coordinative permet de produire des structures homogènes plus

solides, avec le même monomère qu'une polymérisation radicalaire, par exemple avec de l'éthylène (voir figure 1). Ces deux types de polymérisation produisent des polymères différents, à savoir le polyéthylène basse densité et polyéthylène haute densité [4]. La polymérisation cationique est également utilisée au niveau commercial, mais pour la synthèse de plastiques thermodurcissables ou d'élastomères principalement [5].

La polycondensation est un phénomène moins rapide que la polymérisation conventionnelle et produit davantage de résidus liquides et gazeux [4]. Dans le cas contraire, si aucun résidu n'est obtenu, il s'agit d'une polyaddition [4].

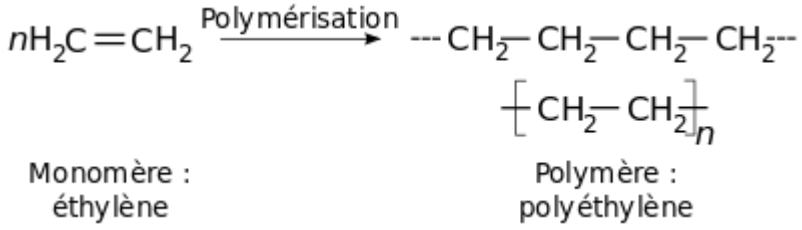


***Figure II-1* :** *Structure de l'éthylène et du polyéthylène respectivement*

Ces polymères peuvent être utilisés dans de nombreux produits autres que les matières plastiques, comme dans les peintures, les résines et les colles [6]. Pour la production de matières plastiques, à ces polymères sont couramment ajoutés trois principaux types de substances : un ou plusieurs additifs, un ou plusieurs plastifiants ainsi qu'une ou plusieurs charges [6]. Un additif a pour rôle d'améliorer certaines caractéristiques de la matière plastique finale, par exemple, un agent stabilisant qui augmente la longévité de la matière plastique [6]. Un plastifiant consiste en un ensemble de molécules, un oligomère, qui sert principalement aux propriétés de flexibilité du plastique [6] . Ces substances, des phatalates, permettent une souplesse plus élevée à une température moindre [6]. Une charge intégrée dans une matière plastique peut tenir un rôle différent par rapport au plastifiant. Cette substance peut servir simplement à abaisser le coût de production d'une matière plastique, améliorer une ou plusieurs propriétés physiques du plastique, etc. La fibre de verre joue le rôle de charge et est largement utilisée avec des matériaux plastiques, ayant pour rôle d'augmenter les propriétés de résistances physiques et thermiques du polymère [6] . Également lorsqu'une matière plastique à un rôle spécifique et nécessite un caractère particulier, il est possible que des adjuvants soient ajoutés au polymère pour obtenir le produit fini. Un adjuvant est toujours présent en petite quantité dans la composition finale de la matière plastique, il s'agit souvent d'un colorant, d'un lubrifiant ou d'un stabilisant [6].

I-4 Type des polymères

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

- Les thermoplastiques.
- Les thermodurcissables.
- Les élastomères.

Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux thermoplastiques et, plus exactement, aux thermoplastiques techniques dont l'Acrylonitrile Butadiène Styrène, ABS, qui fait objet de cette étude.

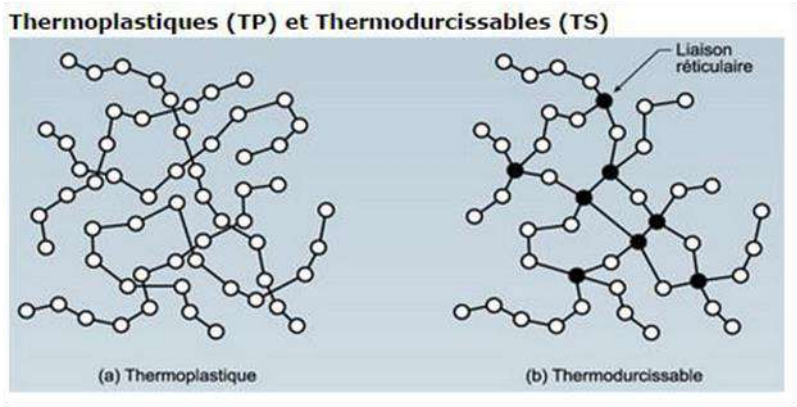


Figure II- 2 : *Structure moléculaire d'un polymère thermoplastique et thermodurcissable.*

I-4-1 Les thermoplastiques

A température ambiante, ces matériaux sont solides. Leurs particularités structurales sont une taille des molécules limitée et une structure linéaire ou ramifiée. C'est ce qui leur confère de très bonnes propriétés mécaniques comme la ductilité. Sous l'effet de la chaleur, ils deviennent souples jusqu'à fondre : L'énergie thermique est suffisante pour vaincre les liaisons intermoléculaires et les molécules peuvent glisser les unes sur les autres. En revanche, l'avantage est qu'à l'état fondu on peut les mouler dans la forme que l'on veut. C'est un procédé industriel employé pour fabriquer des objets à la pièce, en discontinu, et on peut les déformés car ils sont façonnables sous l'effet de la chaleur, gardant cette forme en refroidissant. Ce phénomène réversible permet le recyclage : Les objets sont broyés et fondus pour élaborer d'autres. Les techniques employées dans leur mise en forme sont pour l'essentiel le coulage, l'injection et l'extrusion.

Parmi les principaux thermoplastiques, on cite le polyéthylène PE, le polypropylène PP, le polystyrène PS, le polychlorure de vinyle PVC, les polyamides PA, etc. [7].

1. Thermoplastiques techniques : Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS).

Daly fût le premier à déposer un brevet sur les ABS en 1948 [8]. Ce dernier a pour formule chimique : (C8H8)x (C4H6)y (C3H3N)Z, c'est un thermoplastique employé par l'industrie pour des produits rigides et moulés.

Il est opaque du fait de sa structure à deux phases styréniques. En raison de ses bonnes qualités d'aspect de surface, de sa stabilité dimensionnelle et de son aptitude à la décoration, l'ABS est beaucoup utilisé pour des applications de capotage dans des secteurs comme l'électroménager, la téléphonie, le matériel informatique, le jouet, ...

Il a une bonne résistance aux chocs et détient une bonne rigidité, ce qui explique sa large utilisation dans le domaine des transports, automobiles, sport et loisir, comme on l'a vu précédemment.

Donc, pour résumer ses propriétés exceptionnelles :

- Bon compromis choc/rigidité.
- Légèreté.
- Bonne stabilité dimensionnelle.
- Facilité d'usinage.
- Excellent isolant électrique.
- Facilité de soudage ou de collage.
- Se prête bien à la décoration.

1.1 . Structure et synthèse

Contrairement aux polymères présentés précédemment, l'ABS nécessite deux étapes de polymérisation pour produire la structure finale du polymère [9]. La concentration de chaque monomère varie en fonction du produit recherché, mais généralement l'ABS contient entre 15 et 35 % d'acrylonitrile, entre 40 et 60 % de styrène, ainsi qu'entre 5 et 30 % de butadiène [9]. La

production de ce polymère nécessite donc la synthèse de deux copolymères, qui subissent par la suite une polymérisation en présence d'acrylonitrile [9].

Polymérisation nécessaire pour assembler ces monomères en ABS est de type radicalaire, soit une polymérisation en chaîne. Cependant, le processus de synthèse ne forme pas le polymère directement à partir de ces molécules, des étapes doivent être réalisées en amont.

Le processus débute par l'extraction du naphta par le raffinage du pétrole, suite auquel les différents gaz sont séparés [9]. Parmi ces gaz se trouvent le benzène, l'éthylène, le propylène, certains isomères de butène et le butadiène [9] . Dans la plupart des cas, le styrène et l'acrylonitrile sont obtenus à partir de la déshydrogénation de l'éthylbenzène, un sous-produit du raffinage [9].

La réaction de polymérisation des copolymères se produit à 180 °C où le styrène acrylonitrile est sous forme solide et le polybutadiène sous forme de caoutchouc [9]. Les molécules qui forment la structure de l'ABS se positionnent de façon perpendiculaire ; elles possèdent des liaisons polaires, ce qui contribue à la bonne résistance globale du polymère [9] . Le styrène est responsable de l'apparence brillante du plastique, la concentration de celui-ci varie donc en fonction de l'utilisation qui sera faite du produit [9].

L'ABS est mis en forme par injection, thermoformage, calandrage ou extrusion à une température qui peut atteindre entre 230 °C et 250 °C [9].

2- Thermoplastiques techniques acide poly lactique PLA

Le PLA est un bioplastique biosourcé fabriqué à partir de sucre de provenance végétale [10]. Les végétaux au plus grand potentiel de production sont le maïs, la pomme de terre, la betterave et la canne à sucre [10]. Ce polymère a augmenté sa part de marché dans les dernières années, à la suite d'une diminution de son coût de production et de la montée en popularité des bioplastiques. Le PLA peut être utilisé dans les domaines du médical, de l'emballage, de l'imprimante 3D, de l'industriel et du commercial [10].

2.1. Structure et synthèse

Le monomère utilisé dans la polymérisation du PLA est l'acide lactique (AL) qui est obtenu à la suite d'une fermentation de sucres faite par certaines bactéries, particulièrement du genre des Lactobacillus [11]. La fermentation se produit dans un milieu indiquant un pH entre 5,4 et 6,5 à une température d'environ 40 °C [11]. Par la suite, l'acide lactique obtenu subit une distillation afin de purifier le produit d'acide sulfurique et autres impuretés [11]. Le type de polymérisation peut varier selon la masse moléculaire qui est souhaitée, dépendant de l'utilisation qui sera faite du produit final

[11]. Pour la production de thermoplastiques, l'acide lactique qui a été distillé subit une polymérisation directe par condensation [11]. Les monomères sont soumis à une température élevée et à une forte pression à l'intérieur de réactions dont la vapeur d'eau résultant de la condensation est évacuée. Pour évacuer la vapeur d'eau durant la polymérisation, des solvants et des catalyseurs sont intégrés à la solution [11]. Par la suite, les molécules sont envoyées dans des appareils qui se chargent de condenser la solution, de la cristalliser et de la sécher afin d'obtenir les pastilles de PLA [11].

2.2- Propriété de PLA :

Tableau 1. *Présente propriété de PLA.*

Type	**TS (MPa)**	**FS (MPa)**	**Tm (GPa)**	**Charpie kJ/m^2**	**Allongement à la rupture**	**Densité (g/cm^3)**	**TTV (°C)**	**Dureté**	**Humidité (%)**
PLA	45	80	4.1	24	6 %	1,25	60	SD83	3

Légende : **TS** : Résistance à la traction ; **FS** : Résistance à la flexion ; **TM** : module d'élasticité ; **TTV** : température de transition vitreuse

3. Polyéthylène haute densité (PEHD)

Le PEHD est un thermoplastique de la famille des polyéthylènes (polyéthylène basse densité, polyéthylène haute densité et polyéthylène linéaire) [13]. Ce polymère a été développé vers 1930 et est aujourd'hui le thermoplastique détenant la plus grande part de ce marché, avec plus de 80 t produites chaque année, soit plus de 70 % de la production mondiale [13]. Le PEHD est utilisé pour la fabrication de nombreux produits dans les secteurs automobile, ménager, industriel et commercial [13]. Les réservoirs d'essence, les contenants de plastique, les tubes de transport d'eau potable et d'isolation de câbles de télécommunication sont quelques exemples d'utilisation de ce matériau [13].

3.1- Structure et synthèse

La synthèse du PE pétrosourcé nécessite plusieurs étapes, en commençant par la distillation [13]. La distillation consiste à chauffer la matière première, le pétrole, jusqu'à 400 °C dans une colonne de fractionnement [6]. Ce procédé permet de différencier les molécules contenues dans le pétrole en fonction de leur volatilité qui dépend de leur masse molaire [6]. À la suite de cette distillation, le pétrole brut est divisé en neuf sous-produits, des molécules les plus lourdes (bitume) aux produits contenant un nombre d'atomes de carbone le plus faible (butane et propane) [6].

Le naphta, entre l'essence et le kérosène, obtenu à 160 °C, est le produit utilisé pour la production de matières plastiques [6]. Ensuite, lors du vapocraquage, le naphta est chauffé à 825 °C à l'aide de vapeur d'eau pour le subdiviser à nouveau en sous-produits, dont l'éthylène, le monomère utilisé dans la fabrication de PE et de PVC, entre autres [6]. De nombreux autres produits sont obtenus : butadiène, essences aromatiques et propylène [6].

Finalement, l'éthylène est polymérisé généralement à 100 °C et à une pression de 50 bars lors d'une polymérisation radicalaire, avec la présence d'un catalyseur de type organométallique [6].

Le naphta, entre l'essence et le kérosène, obtenu à 160 °C, est le produit utilisé pour la production de matières plastiques [6]. Ensuite, lors du vapocraquage, le naphta est chauffé à 825 °C à l'aide de vapeur d'eau pour le subdiviser à nouveau en sous-produits, dont l'éthylène, le monomère utilisé dans la fabrication de PE et de PVC, entre autres [6]. De nombreux autres produits sont obtenus : butadiène, essences aromatiques et propylène [6].

Finalement, l'éthylène est polymérisé généralement à 100 °C et à une pression de 50 bars lors d'une polymérisation radicalaire, avec la présence d'un catalyseur de type organométallique [6].

4. Polypropylène (PP)

Le PP a été développé en 1954 et a ensuite été commercialisé durant les années suivantes [14]. Ce polymère est fortement utilisé depuis les années 1970 en raison du rapport entre ses bonnes propriétés et son faible prix [14]. De plus, le PP possède une bonne résistance à plusieurs groupes de produits chimiques, une forte résistance à la chaleur et est synthétisé facilement. Ce polymère peut être mis en forme par injection, extrusion, thermoformage ou rotomoulage pour concevoir des produits d'emballage, de consommation domestique, des pièces automobiles, des domaines de l'électronique, laboratoire et médical [14].

4.1- Structure et synthèse

Le PP est un polymère thermoplastique de la famille des vinyles et peut être polymérisé en trois configurations différentes [15]. La structure du PP peut varier entre la configuration atactique, isotactique et syndiotactique, selon le type d'utilisation auquel le polymère est destiné [15].

I-4-2 Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus, une fois moulés. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaines dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes. Les thermodurcissables représentent 20%, pourcentage volumique, de matières plastiques [16].

Ce sont des matériaux amorphes et infusibles, il ne peut y avoir aucun déplacement des chaînes les unes par rapport aux autres. Lorsque la température augmente, le matériau ne devient pas visqueux, mais conserve sa rigidité jusqu'au moment où il se dégrade. Enfin, on appelle ces plastiques thermodurcissables car, en général, une élévation de température favorise la réaction de polymérisation et le degré de réticulation, donc la rigidité [17].

1-4-3 Les élastomères

Les élastomères sont des matériaux aux propriétés bien particulières. Ce sont des polymères de haute masse moléculaire et à chaines linéaires. Le déplacement de leurs chaînes, les unes par rapport aux autres, n'étant limité que par une légère réticulation due aux enchevêtrements, on peut obtenir de grandes déformations élastiques totalement réversibles. Lorsque la contrainte est nulle, ces matériaux sont amorphes. Leurs chaînes tendant toutefois à s'aligner au cours de la déformation, il se produit une augmentation de la rigidité, ou durcissement structural. Pour obtenir un tel comportement, il faut utiliser ces matériaux à une température supérieure à leur température de transition vitreuse.

Exemples : Caoutchouc naturel, polybutadiène, polyisoprène [18].

I- 5 Polymères homogènes et hétérogènes

I-5-1 Polymères homogènes

Les matériaux polymères sont définis comme homogènes lorsque leurs propriétés sont macroscopiquement identiques en tout point, c'est-à-dire qu'aucune différence de propriétés, même due aux différents types de macromolécules constitutives, n'est macroscopiquement détectée. Ceci ne signifie pas que le matériau se trouve dans un seul état physique (vitreux, caoutchoutique ou fondu). Les macromolécules d'un thermoplastique peuvent être simultanément dans un état solide, sous forme de cristallites, et un état caoutchoutique ou vitreux, en tant que zones amorphes désordonnées entre les cristallites. On parle dans ce cas d'un matériau polymère homogène biphasique [19].

I-5-2 Polymères hétérogènes

Les matériaux polymères hétérogènes sont constitués au minimum de deux composés organiques de nature chimique différente, dont l'un au moins est un matériau polymère qui assure la cohésion du système. Les différents constituants sont liés entre eux, soit chimiquement, soit physiquement.

Les propriétés des matériaux polymères hétérogènes sont déterminées à partir de celles de leurs constituants. Les mélanges de polymères représentent le groupe le plus important des matériaux polymères hétérogènes et donnent naissance à des matériaux polymères à plusieurs composants, dont les propriétés peuvent être macroscopiquement différenciées [19].

Lorsque deux polymères différents sont mélangés, les propriétés du produit résultant ne sont pas identiques à celle des matières de départ et peuvent être, soit intermédiaires (interpolation linéaire, lois des mélanges), soit réduites (altération) ou encore améliorées par rapport aux propriétés de chacun des polymères d'origine.

Approximativement, 10 % des thermoplastiques et 75 % des élastomères sont utilisés sous forme de mélanges. Initialement, les mélanges de polymères étaient principalement destinés à améliorer la ténacité et la processabilité des matériaux. D'autres améliorations sont toutefois possibles, à savoir l'augmentation de la température de déformation à chaud, de la résistance à la fissuration sous contrainte, de l'aptitude à l'induction et à la galvanisation, mais aussi une amélioration du comportement au feu. Les mélanges de polymères les plus importants sont, du point de vue application, ceux préparés par modification d'un polymère à base de styrène par une phase élastomère (caoutchouc).

I- 5-3 Polystyrène modifié par une phase élastomère

I-5-3-1 Structure

La capacité d'absorption et de restitution de l'énergie mécanique, résistance au choc ou résilience, des copolymères et des homopolymères à base de styrène est augmentée par modification de la matrice d'origine, par ajout de 5 à 20 % d'une phase élastomère. Il peut, par exemple, s'agir de polybutadiène PB ou d'un copolymère à base d'acrylate. Il est important que la distribution de la phase élastomère soit aussi uniforme que possible dans la matrice polymère. La figure3 montre un copolymère styrène-acrylonitrile (SAN) modifié par une dispersion de nodules de polybutadiène. Il s'agit du copolymère acrylonitrile-butadiène- styrène, plus communément appelé ABS. Ce terpolymère est l'un des représentants les plus importants de cette famille de matériaux.

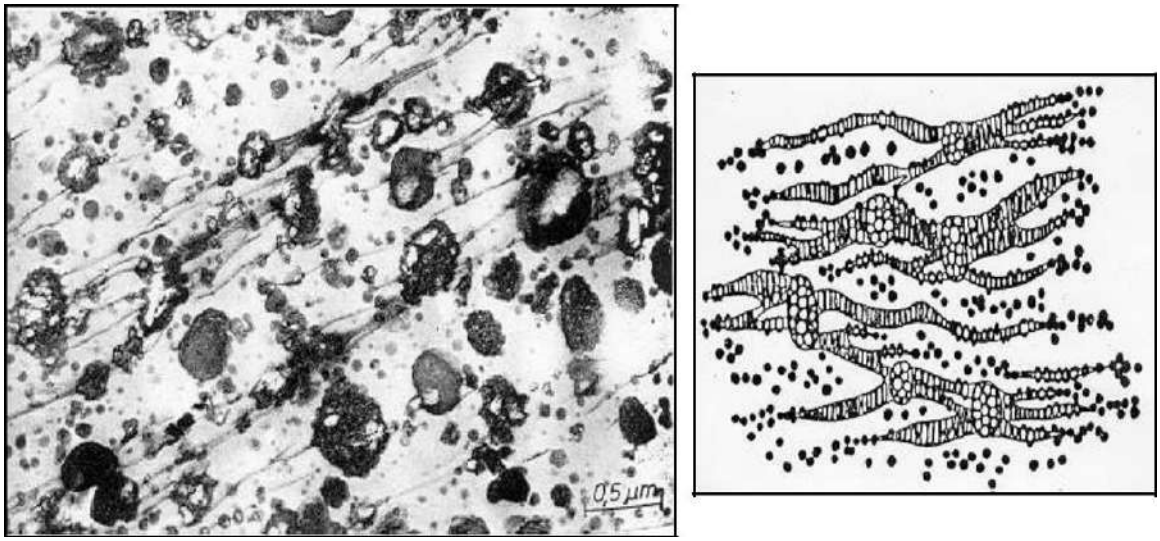


Figure II- 3 : *Nodules de polybutadiène (PB) finement distribués dans un copolymère styrène-acrylonitrile (SAN) = copolymère acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) (cliché MET d'un film ultra mince [19]).*

I-5-3-2 Les composants du mélange Acrylonitrile- butadiène- styrène (ABS)

L'ABS est un terpolymère obtenu par copolymérisation de styrène, de butadiène et d'acrylonitrile. Il est composé de deux éléments essentiels : un copolymère d'acrylonitrile/styrène (SAN), qui constitue la matrice, et des nodules de caoutchouc (butadiène greffé de copolymères de styrène/acrylonitrile). La formule de l'ABS est donnée à la Figure 4.

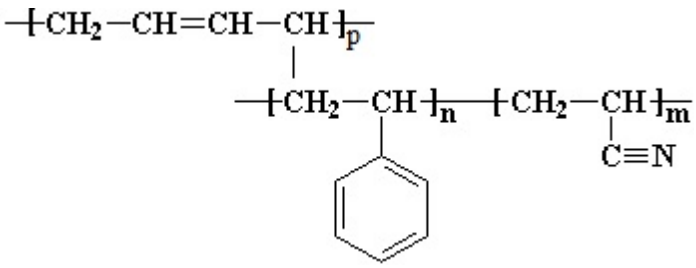


Figure II-4. *Formule de l'Acrylonitrile-butadiène-styrène*

Les greffons sur les nodules de butadiène assurent une bonne compatibilité avec la matrice, ce qui procure au polymère de bonnes propriétés mécaniques, en particulier une excellente résistance au choc. Avec le Polystyrène choc (HIPS) et les mélanges PVC/caoutchoucs nitriles, l'ABS devient historiquement le troisième membre d'une famille de polymères multiphasés, présentant une haute résistance au choc et constitués d'une matrice thermoplastique et d'une phase dispersée caoutchoutique.

On peut réduire les différentes techniques de synthèse de l'ABS à deux principales, qui conduisent à des morphologies légèrement différentes. La première, dite polymérisation en masse, s'inspire de la synthèse du PS choc. Elle consiste à polymériser les monomères de styrène et acrylonitrile, dilués dans le latex d'élastomère non réticulé. A mesure que le copolymère styrène-acrylonitrile (SAN) se forme, une séparation de phase a lieu, suivie d'une inversion de phase lors de laquelle le SAN devient la phase matrice continue et du SAN est « piégé », sous forme d'inclusions, dans les particules de polybutadiène.

La quantité de caoutchouc qui peut être incorporée dans de l'ABS synthétisé de cette façon est limitée, du fait des effets de viscosité, à 18% en masse et les particules de caoutchouc résultant sont relativement larges (0,5 – 1 µm). La deuxième technique de synthèse, dite par émulsion aqueuse, contient deux étapes de polymérisation. Premièrement, le latex de butadiène est polymérisé et réticulé pour former le polybutadiène. Dans un deuxième temps, du styrène et de l'acrylonitrile sont polymérisés en présence de particules de polybutadiène pour former une matrice SAN et des nodules de caoutchoucs greffées SAN. Cette technique permet d'incorporer des quantités supérieures de caoutchouc et conduit à des nodules de tailles plus petites (typiquement 0,1 - 0,5 µm). La Figure 5 compare les morphologies de ces deux types d'ABS, telles qu'observées au microscope électronique à transmission (MET).

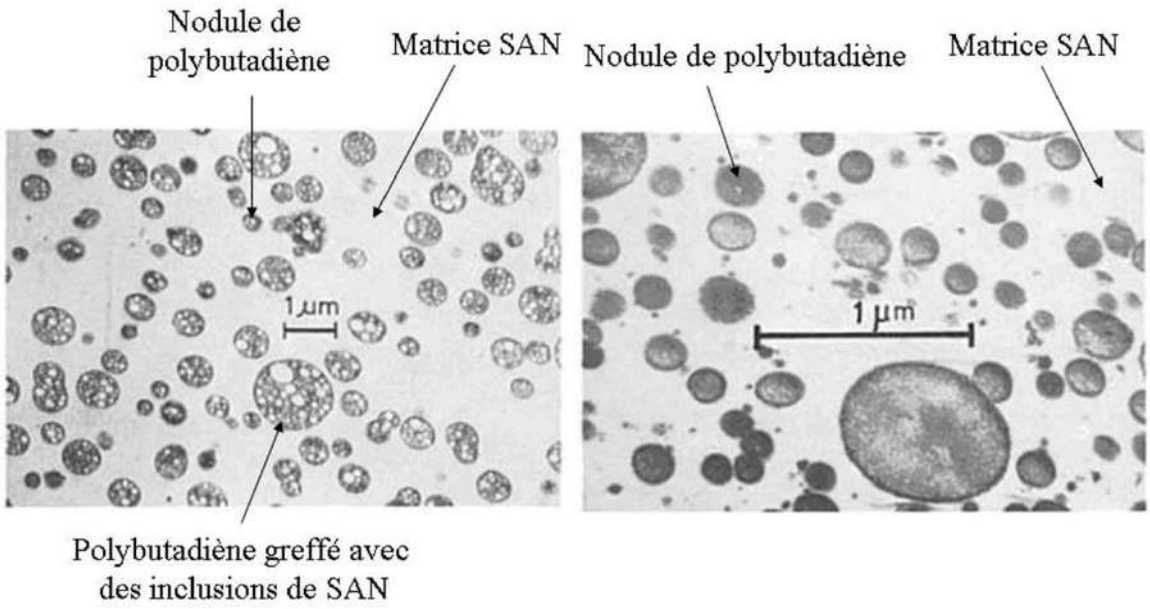


Figure II- 5. *Morphologie observée au microscope électronique à transmission (MET) de deux ABS synthétisés selon deux techniques : polymérisation en masse (gauche) et par émulsion (droite).*

Les propriétés et performances de l'ABS dépendent de nombreux paramètres, comme la taille et la distribution des nodules de caoutchouc, la densité de réticulation du caoutchouc, le niveau de greffage de SAN sur les nodules, le poids moléculaire et la distribution de la matrice de SAN. Ces points ne seront pas détaillés dans cette partie bibliographique, dans la mesure où nous allons nous concentrer sur les propriétés des mélanges ABS/PC.

I-6 L'Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS)

I.6-1 Introduction :

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

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

Il existe aussi un gros marché des copolymères de l'acrylonitrile comme le styrène/acrylonitrile (SAN), et l'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), qui sont utilisés comme thermoplastiques. Ce marché du terpolymère d'acrylonitrile, de butadiène et de styrène (ABS) enregistre actuellement une forte croissance de la demande notamment en raison de la multiplication de ses applications dans des secteurs tels que l'automobile, l'électronique, le jouet …

Par conséquent, les principaux producteurs d'ABS, tels que SABIC Innovative Plastics, LANXESS et INEOS ont annoncé des augmentations de leur capacité de production notamment en Inde et en Chine, marchés qui représentent les plus fortes croissances. L'auteur présente également les capacités de production européennes d'ABS en 2007 [20].

I-6-2 Identification du matériau

Chimiquement, ce thermoplastique de la famille des matières plastiques est donc appelé "terpolymère", dans la mesure où il est la combinaison de trois différents monomères pour former un seul matériau qui puise dans les propriétés des trois. L'ABS possède une remarquable résistance aux chocs et à haute résistance mécanique. En outre, l'ABS a une bonne stabilité dimensionnelle et des propriétés d'isolation électrique.

L'ABS, constitue une famille de copolymères à usage technique du fait de ses propriétés physiques et chimiques élevées : rigidité, résistance à de nombreux agents chimiques, très utilisé dans les véhicules qui nécessitent un faible poids et une résistance élevée aux chocs.

D'abord on parle du styrène/acrylonitrile (SAN) puis d'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), du fait que l'ABS est fabriqué à partir de branches de SAN greffée sur la chaîne principale du polybutadiène.

1.6-2-1. Le styrène/acrylonitrile (SAN)

Le SAN est un copolymère statistique du styrène et de l'acrylonitrile. Mais l'ABS est plus compliqué. Il est fabriqué par polymérisation du styrène et de l'acrylonitrile en présence du polybutadiène. Le polybutadiène a des doubles liaisons carbone- carbone, qui peuvent polymériser aussi. Donc on termine avec une chaîne de polybutadiène avec des chaînes de SAN greffées dessus, comme vous pouvez le voir sur la figure 6.

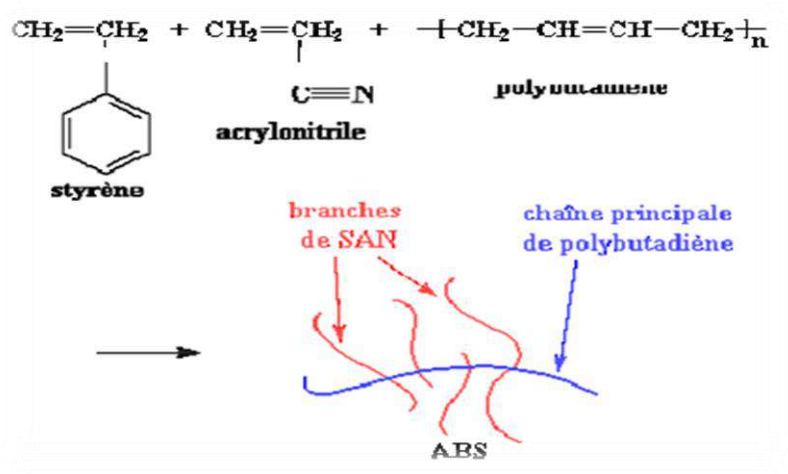


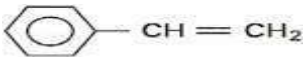
Figure II-6 : *Structure d'acrylonitrile/butadiène/ styrène (ABS).*

I-6-3 Monomères constitutifs

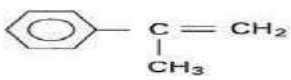
Les polymères ABS sont une famille unique de technopolymère. Leur nom est représenté par les initiales des trois monomères qui le constituent.

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

L'ABS est fait à partir des monomères suivants :

- Acrylonitrile $H_2C=CH-C\equiv N$
- Butadiene **H2C = CH — CH = C H2**
- Styrène: 

Pour améliorer sa tenue thermique, un quatrième monomère l'alpha-methylstyrène est incorporé. On parle alors de d'ABS Chaleur [11].

- α-Méthylstyrène : 

I-6-3-1 Proportion des Monomères constitutifs

Les ABS sont obtenus par copolymérisation de styrène (comonomère majoritaire), de butadiène et d'acrylonitrile, avec éventuellement un quatrième comonomère conférant des propriétés particulières.

Les proportions des -différents monomères varient d'un ABS à l'autre :

- Acrylonitrile de 15 à 35%.
- Butadiène de 5 à 30%.
- Styrène de 40 à 60%.

Un ABS est essentiellement caractérisé par trois propriétés physiques liés à sa composition initiale (nature et proportions des différents monomères) :

- la résistance au choc est principalement fonction du taux de caoutchouc :

a. ABS « mi-choc » : 10 à 14 % de butadiène ;

b. ABS « choc » : 14 à 18 % de butadiène ;

c. ABS « très haut choc » ou « superchoc » : 18 à 25 % de butadiène.

- La tenue à la chaleur est fonction de la composition de la matrice (si le taux de caoutchouc n'excède pas 15 %) :

1. ABS « standard » : matrice en poly(styrène/acrylonitrile) SAN.

2. ABS « mi-chaleur » : matrice SAN + 10 % d' α-méthylstyrène.

3. ABS « super-chaleur » : matrice SAN + 40 % d' α méthylstyrène.

- La fluidité est fonction du taux de butadiène et de la fluidité intrinsèque de la matrice, elle-même directement déterminée par la masse molaire de la matrice.

Chaque type d'ABS correspond à un compromis entre ces trois propriétés auxquelles on ajoute la brillance et la rigidité [21].

I-6-4 Copolymérisation:

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

La matrice est obtenue le plus couramment par polymérisation en suspension ou par polymérisation continue en solution.

La phase élastomérique (caoutchouc) est en général synthétisée par polymérisation en émulsion, ou éventuellement par polymérisation en suspension en deux étapes :

On fabrique d'abord des « nodules » de polybutadiène ayant une granulométrie et un taux de réticulation bien définis, qui sont ensuite greffés avec des copolymères styrène/acrylonitrile. Le résultat est un latex qui est ensuite stabilisé avant coagulation (séparation de la phase aqueuse), lavage et séchage. Le produit final est une poudre ou bien des billes dans le cas d'une polymérisation en suspension.

Pendant l'étape suivante de compoundage, le caoutchouc greffé et la matrice ainsi que divers additifs sont mélangés à l'état fondu pour obtenir le produit fini avec les propriétés nécessaires à l'utilisation finale. Les additifs conférant des propriétés particulières sont des lubrifiants, des pigments, des charges renforçantes, des agents antistatiques, des stabilisants, des ignifugeants, des agents porogènes [21].

- **Autre procédé**

Depuis quelques années, certains producteurs ont développé un procédé où la matrice et le caoutchouc sont produits en une seule étape par polymérisation continue en solution.

Le produit final est un ABS « plus propre » (c'est-à-dire contenant moins d'impuretés de polymérisation), éventuellement utilisable tel quel à la sortie du réacteur. Ce type de procédé offre un écobilan plus favorable vis-à-vis de l'environnement que ceux des procédés classiques [21].

I-6-5 Structure des ABS

Les ABS sont des polymères amorphes biphasiques, constitués d'une phase continue ou matrice (copolymère de styrène/acrylonitrile ou SAN) et d'une phase discontinue (nodules de polybutadiène greffés de copolymères de styrène/acrylonitrile). Les greffons assurent la compatibilité matrice-nodule et confèrent de bonnes propriétés mécaniques au polymère final. La taille de ces occlusions de caoutchouc est comprise entre 0,1 et 1 µm, voire au-delà, suivant la qualité de l'aspect de surface et la résistance au choc requises (figure 7).

Cette structure biphasique confère au matériau une très bonne tenue au choc car les nodules initient alors de multiples microcraquelures, ce qui consomme de l'énergie, de plus la propagation d'éventuelles fissures (microcraquelures devenues macrocraquelures) est ralentie voir stoppée par ces mêmes nodules [21].

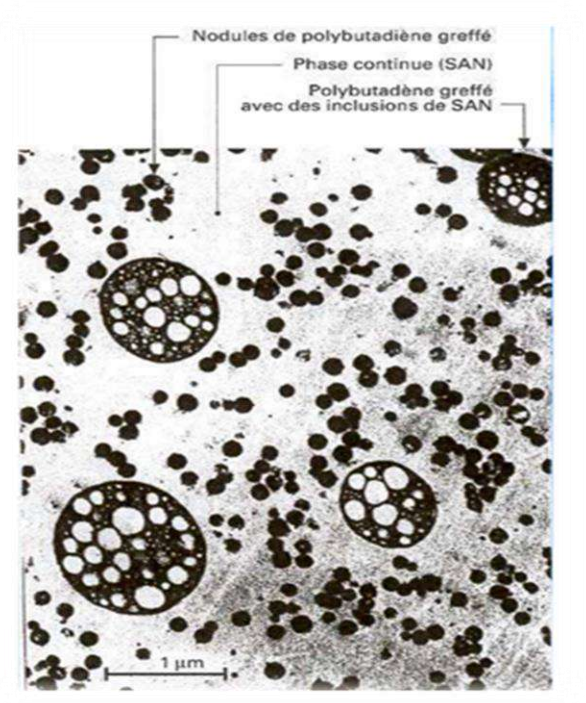


Figure II-7 : *Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission[21].*

I-6-6 Propriétés :

L'ABS est composé de trois monomères distincts à différentes concentrations, l'acrylonitrile, le butadiène et le styrène [9]. Chaque monomère contribue à l'expression de certaines caractéristiques du polymère, que ce soit la résistance aux chocs, à la température ou encore une apparence brillante et nette [9]. Ce thermoplastique possède des caractéristiques lui permettant d'être utilisé dans le milieu de l'ingénierie industrielle et pour la fabrication de produits de consommation domestique [9]. À noter que l'échantillon d'ABS utilisé pour ces tests est composé de 30 % d'acrylonitrile, de 20 % de butadiène et de 60 % de styrène [9].

Type	**TS (MPa)**	**FS (MPa)**	**Tm (GPa)**	**Charpie kJ/m^2**	**Allongement à la rupture**	**Densité (g/cm^3)**	**TTV (°C)**	**Dureté**	**Humidité (%)**
ABS	45	75	2,5	20	35 %	1,05	110	SA97 ou R102	0,1

Tableau.2 *: Les propriétés principales de l'ABS*

Légende : TS : Résistance à la traction ; **FS** : Résistance à la flexion ; **TM** : module d'élasticité ; **TTV** : température de transition vitreuse

Le tableau 2. Illustre les propriétés principales de l'ABS qui possède une densité de 1,05 et une dureté de 102 sur l'échelle de Rockwell. L'ABS démontre une forte résistance aux produits chimiques, à la chaleur et à l'humidité, avec une absorption maximale de 0,1 % de son poids total. La résistance à la tension et la résistance à la flexion du polymère sont respectivement de 45 et 75 MPa, soit les valeurs les plus élevées chez les plastiques pétrosourcés présentés. Néanmoins, la valeur du module d'élasticité est de 2,5 GPa, signifiant que l'ABS est au contraire le plastique pétrochimique présenté ayant la plus faible élasticité. Finalement, la température de transition vitreuse chez l'ABS se situe autour de 110 °C, la résistance au test Charpy est de 20 kJ/m2 et l'allongement à la rupture est de 30 %, confirmant la forte résistance et la faible élasticité du polymère.

1.6.7- Structure et synthèse

Contrairement aux polymères présentés précédemment, l'ABS nécessite deux étapes de polymérisation pour produire la structure finale du polymère [9]. La concentration de chaque monomère varie en fonction du produit recherché, mais généralement l'ABS contient entre 15 et 35 % d'acrylonitrile, entre 40 et 60 % de styrène, ainsi qu'entre 5 et 30 % de butadiène [9]. La production de ce polymère nécessite donc la synthèse de deux copolymères, qui subissent par la suite une polymérisation en présence d'acrylonitrile [9].

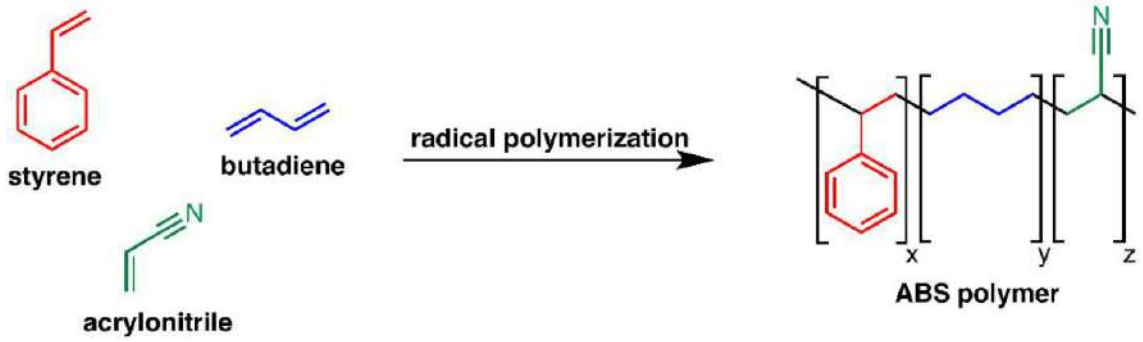


Figure II- 8. *Illustration de la structure et de l'arrangement moléculaire des monomères de l'ABS : [22].*

La figure II-8. illustre de façon élémentaire la structure moléculaire et la disposition que ces dernières adoptent pour ultimement former le polymère. Il est également indiqué que la polymérisation nécessaire pour assembler ces monomères en ABS est de type radicalaire, soit une polymérisation en chaîne. Cependant, le processus de synthèse ne forme pas le polymère directement à partir de ces molécules, des étapes doivent être réalisées en amont.

Le processus débute par l'extraction du naphta par le raffinage du pétrole, suite auquel les différents gaz sont séparés [9]. Parmi ces gaz se trouvent le benzène, l'éthylène, le propylène, certains isomères de butène et le butadiène [9]. Dans la plupart des cas, le styrène et l'acrylonitrile sont obtenus à partir de la déshydrogénation de l'éthylbenzène, un sous-produit du raffinage [9].

La réaction de polymérisation des copolymères se produit à 180 °C où le styrène acrylonitrile est sous forme solide et le polybutadiène sous forme de caoutchouc [9]. Les molécules qui forment la structure de l'ABS se positionnent de façon perpendiculaire ; elles possèdent des liaisons polaires, ce qui contribue à la bonne résistance globale du polymère [9]. Le styrène est responsable de

l'apparence brillante du plastique, la concentration de celui-ci varie donc en fonction de l'utilisation qui sera faite du produit [9].

L'ABS est mis en forme par injection, thermoformage, calandrage ou extrusion à une température qui peut atteindre entre 230 °C et 250 °C [9].

Charitre II

Mise en forme des thermoplastiques

II-1. Introduction :

Les polymères peuvent être mis en œuvre à partir de poudres (revêtements), de solutions ou d'émulsions (peintures, colles et adhésifs, fibres Kevlar), de l'état fondu ou caoutchoutique, et de l'état solide (usinage de pièces mécaniques ou de prothèses articulaires). Compte tenu de l'importance économique des thermoplastiques de grande diffusion (PE, PP, PS, PVC), auxquels on peut ajouter les thermoplastiques techniques (polyamides, par exemple), c'est la mise en oeuvre à partir de l'état fondu qui joue un rôle prépondérant. Un certain nombre d'objets (bouteilles, pots de yaourt) sont également produits à partir de l'état caoutchoutique, la philosophie générale n'étant pas sensiblement différentes

II-2 Mise en forme des thermoplastiques :

De nombreuses méthodes de mise en forme des thermoplastiques ont été développées et sont utilisées par les industries, dépendant en partie du type de polymère utilisé et du produit conçu. De ces méthodes, la majorité des thermoplastiques utilisent les techniques de moulage par injection, d'extrusion ou encore le thermoformage [4].

La figure 9. Illustre l'importance de l'utilisation actuelle des différentes méthodes dans la mise en forme des thermoplastiques, extrusion films, de l'extrusion par gonflage et extrusion feuilles, du calandrage.

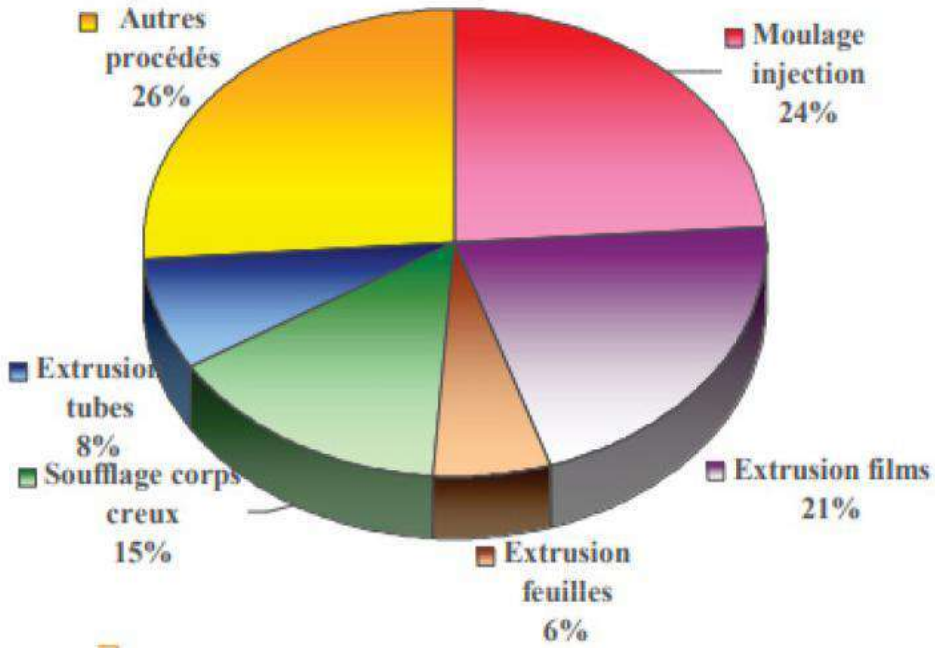


Figure II-1 :*Pourcentage d'utilisation des différents procédés de mise en forme de thermoplastiques (tiré de : [4]).*

Comme illustré ci-dessus, plusieurs types d'extrusion existent en fonction de l'épaisseur du plastique et du type de polymère. La figure 9 indique également que le moulage par injection constitue environ le quart de toutes les mises en forme des thermoplastiques.

II-3 Caractéristiques de la mise en œuvre des polymères thermoplastiques :

La mise en œuvre des polymères thermoplastiques s'effectue selon le schéma général de la Figure 10. Le polymère est mélangé à différents produits (stabilisants, lubrifiants, plastifiants, charges, etc.) pour élaborer une formulation qui se présente le plus souvent sous forme de poudre ou de granulés. Cette formulation est ensuite fondue (cas des polymères semi-cristallins) ou plastifiée (cas des polymères amorphes), à la fois par conduction thermique depuis les parois de l'outillage de mise en forme et par dissipation d'énergie mécanique. Cette matière liquide très visqueuse est ensuite forcée dans un outillage qui va donner une première forme au produit : tube, jonc, film, pièce injectée, etc. Cette matière thermoplastique mise en forme est alors refroidie, dans certains cas étirée et biétirée, pour obtenir le produit final. De ce processus de mise en forme, des paramètres d'étirage et de refroidissement, vont dépendre la microstructure du polymère, et donc ses propriétés.

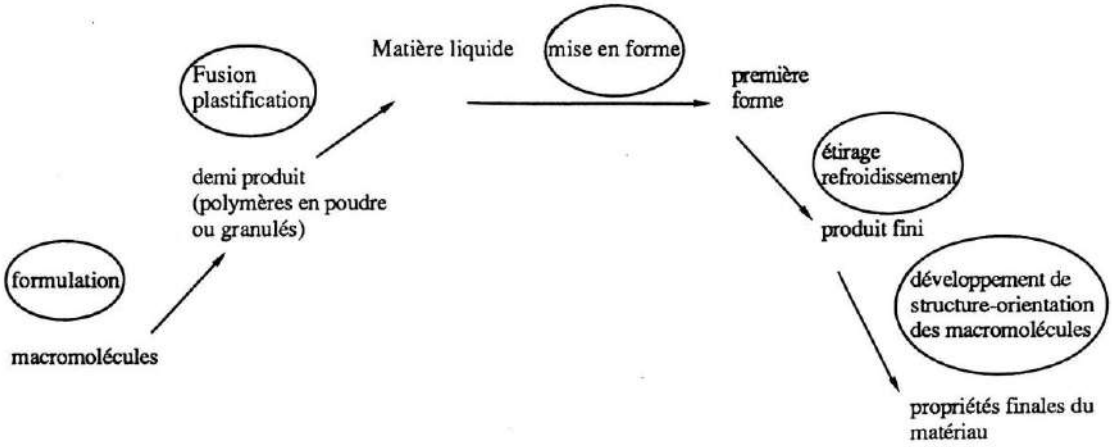


***Figure II-2** : Schéma général de la mise en œuvre des polymères thermoplastiques*

L'originalité de la mise en œuvre des polymères thermoplastiques tient à un certain nombre de caractéristiques résultant de leur composition chimique et de leur structure moléculaire en longues chaînes linéaires (ou ramifiées) et enchevêtrées : forte viscosité, comportement pseudoplastique et viscoélastique, faible conductivité thermique. En outre, si les chaînes sont régulières, elles ont la possibilité de contribuer à la formation de cristaux.

II-4 Grands procédés de mise en œuvre

II-4.1 Extrusion :

Ce procédé peut être utilisé avec la plupart des thermoplastiques et certains élastomères [24]. L'ensemble des polymères étudiés dans cet essai peuvent être utilisés par ce type de mise en forme [24]. Le processus consiste simplement à acheminer la matière plastique sous sa forme solide, la chauffer à son point liquide et de pomper la matière dans la tête d'extrusion qui forme et refroidit le produit final [4].

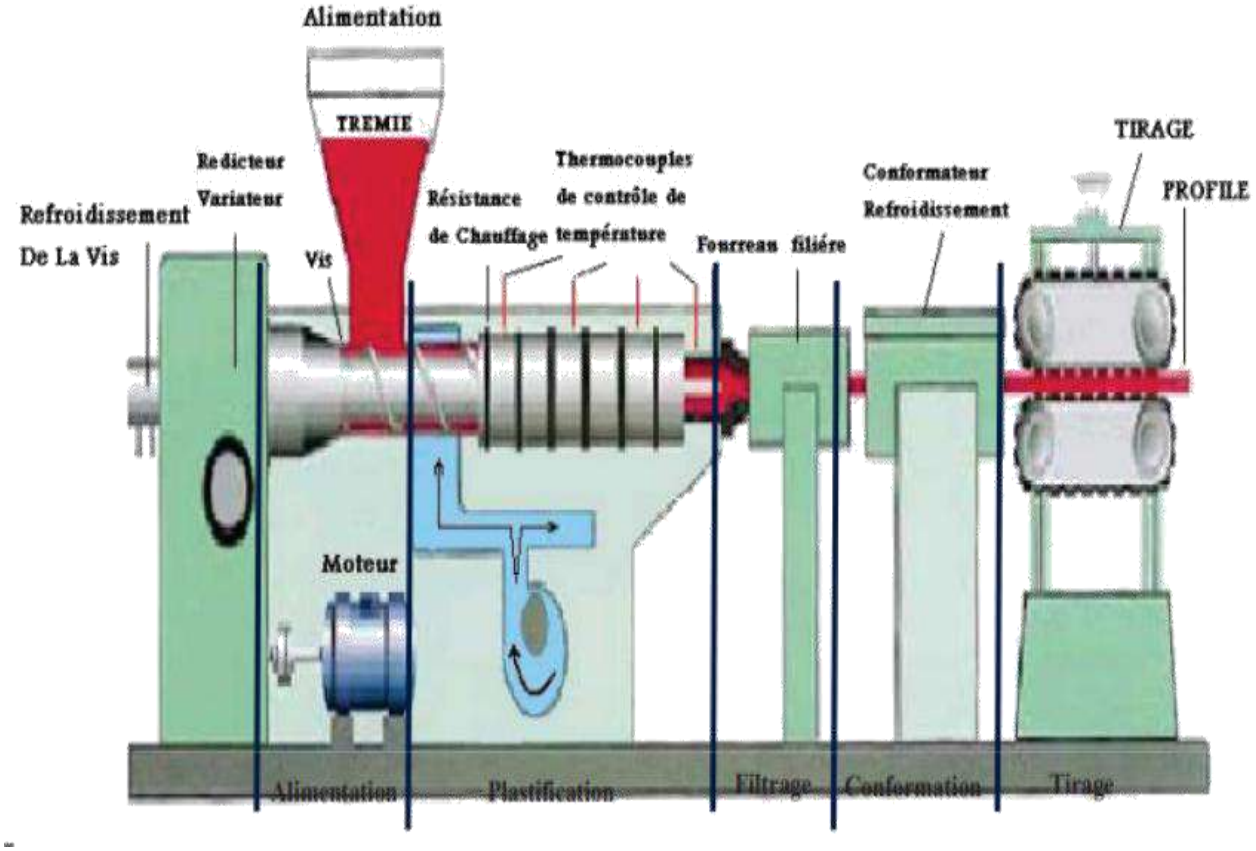


Figure II-3: *Schéma d'un système d'extrusion thermoplastique [4].*

Dans le bas de la figure 11, on peut voir les différentes étapes et les pièces qui interagissent pour effectuer ces actions. Le système est conçu de sorte que la production peut s'opérer de façon continue, mais avec certains types de produits spécifiques [4]. Ce type de mise en forme peut également s'appliquer aux pellicules plastiques par le procédé d'extrusion-soufflage [25].

II-4.1-1 L'extrudeuse Mono-vis :

L'extrusion est de loin le procédé le plus important, la plupart des polymères passant au moins une fois dans une extrudeuse, ne serait-ce que pour être granulés. Une extrudeuse mono-vis est constituée d'une vis sans fin en rotation à l'intérieur d'un fourreau chauffé (Figure 12). Ce système, issu de l'industrie alimentaire et de l'industrie du caoutchouc, assure les trois fonctions suivantes :

· une fonction de convoyage **:** le polymère descendant de la trémie sous forme de poudre ou de granulés est compacté et convoyé : c'est le principe de la vis d'Archimède ;

une fonction de plastification : le passage de l'état solide à l'état liquide est réalisé progressivement grâce à la fois à la chaleur fournie par conduction et à la dissipation d'énergie de cisaillement ;

· une fonction de pompage: le diamètre de la vis augmente entre la zone d'alimentation et la zone terminale de l'extrudeuse, ce qui aboutit à mettre le polymère liquide en pression pour obtenir un débit régulier dans la filière.

· une fonction de convoyage **:** le polymère descendant de la trémie sous forme de poudre ou de granulés est compacté et convoyé : c'est le principe de la vis d'Archimède ;

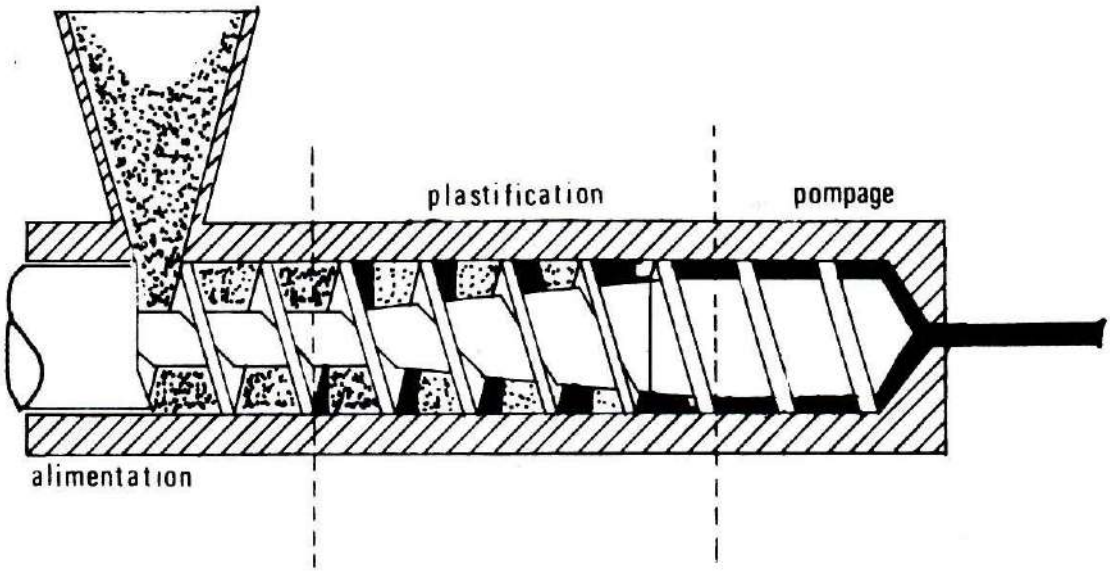


Figure II-4 *: Schéma de principe d'une extrudeuse mono-vis*

a. Filières et dispositifs de post-extrusion :

A la sortie de l'extrudeuse, le polymère fondu entre dans une filière, qui a pour but de répartir le flux de matière et de le faire passer à travers un orifice, qui lui donne une forme correspondant à différents types de produits :

· Joncs, qui sont coupés sous eau à grande vitesse pour produire des granulés, ou qui servent à l'usinage de pièces mécaniques.

· plaques, feuilles et films : quand l'épaisseur du polymère est importante, de 1 à plusieurs millimètres, on parle de plaque. Celle-ci est généralement conformée et refroidie entre des cylindres, puis découpée à la dimension désirée. Les feuilles et les films sont des produits plus minces pouvant être enroulés sous forme de bobines. Les feuilles correspondent à une épaisseur supérieure à 250 - 500 mm, les films étant les produits les plus minces. Toutefois, il y a souvent confusion entre les deux termes dans la gamme de 250 à 500 mm.

Une installation classique d'extrusion de film à plat, ou procédé cast-film, le polymère est extrudé à travers la filière plate, étiré sur une courte distance dans l'air, de l'ordre de 10 cm, et refroidi par contact avec un rouleau thermostaté.

Une des applications est de fournir des feuilles et des films, dits primaires, destinés au monoétirage (bandelettes de polyéthylène et de polypropylène), au biétirage (films de polypropylène pour condensateurs, films de PET pour bandes audio et vidéo) et au thermoformage (pots de yaourts).

· tubes : en sortie de filière, le tube passe dans un conformateur, constitué d'un anneau refroidi et percé de trous par lesquels l'eau sous pression vient figer la surface extérieure du tube tout en lubrifiant son déplacement. Une légère surpression appliquée à l'intérieur du tube permet de lui conserver la géométrie cylindrique et de le plaquer sur le conformateur. Le tube poursuit son refroidissement par déplacement dans un ou plusieurs bacs d'eau avant d'être découpé à la longueur requise.

· gainage de câbles : le refroidissement s'effectue comme précédemment par passage dans des bacs d'eau de longueur variable selon l'épaisseur de l'isolant et la vitesse d'extrusion.

· profilés : pour conserver la forme du profilé en sortie de filière, on le fait passer dans un conformateur analogue à celui présenté pour les tubes.

b. Soufflage de gaine (ou extrusion-gonflage) :

Il s'agit d'un cas particulier d'extrusion, mais qui a pris une importance économique considérable du fait des tonnages de films en polyéthylène de haute, moyenne ou basse densité qu'il permet de réaliser.

Le polymère fondu passe d'abord dans une filière de tube. A la sortie de la filière, il est étiré longitudinalement par un système de rouleaux pinceurs. Une certaine quantité d'air emprisonnée à l'intérieur de la gaine assure son gonflage, c'est-à-dire son étirage transversal. La gaine est refroidie par un jet d'air comprimé appliqué en sortie de filière par un anneau de refroidissement. A partir d'une certaine ligne, appelée ligne de figeage, elle est entièrement solidifiée et ne se déforme plus.

II-4.1-2. Types d'extrudeuses bi-vis :

Dans une extrudeuse bi-vis, deux vis parallèles sont contenues dans un fourreau cylindrique à section en forme de 8. Deux critères principaux permettent de classer les différents systèmes bivis :

le sens de rotation : les vis sont dites contrarotatives si elles tournent dans le même sens et contrarotatives si elles tournent en sens inverse l'une de l'autre. Ceci a une grande importance sur les conditions d'écoulement.

L'interpénétration : les vis sont dites interpénétrées lorsque le filet de l'une d'elles pénètre plus ou moins profondément dans le chenal de la vis voisine. On parle alors de vis partiellement ou totalement interpénétrées. Dans le cas contraire, on aura affaire à des vis tangentes ou non interpénétrées.

En fonction de l'application recherchée, le type d'extrudeuse bi-vis adapté sera choisi. Par exemple, les systèmes contrarotatifs interpénétrés sont très utilisés pour l'extrusion de tubes ou profilés en PVC, alors que les systèmes corotatifs interpénétrés sont plutôt recherchés pour des applications de compoundage, de dispersion de charges ou de modification chimiques. Les systèmes non interpénétrés, plus rares, sont plus souvent employés pour le développement de réactions chimiques ou la dévolatilisation (extraction de substances volatiles).

Suivant le type d'extrudeuse, les propriétés géométriques des chenaux de vis et donc les caractéristiques d'écoulement sont différentes. Le passage d'une vis à l'autre dans la zone d'interpénétration est plus ou moins ouvert et aisé suivant la configuration. Pour des vis contrarotatives, Ce passage est très limité. Le polymère occupe sur chacune des vis un espace en

forme de C, au sein duquel il recircule, avec très peu d'échanges avec les chambres en C voisines. La matière progresse de l'amont vers l'aval grâce à la rotation des vis, jouent ici le rôle de pompes volumétriques. Pour des vis corotatives autonettoyantes à deux filets, ce passage est contraire très ouvert et la matière passe très facilement d'une vis sur l'autre, en suivant une trajectoire hélicoïdale en forme de huit. On a ici un écoulement de type « chenal continu », très semblable à celui que l'on pourrait observer sur une extrudeuse mono-vis.

Pour favoriser le mélange ou la dispersion, on incorpore très souvent dans le profil de vis des éléments particuliers :

- éléments malaxeurs
- contre-filets (élément à pas inverse, dont les flancs sont percés d'ouvertures axiales).
- Disques mélangeurs (sortes de roues dentées, destinées à séparer et recombiner les flux de matière).

II-4.2 Injection :

L'injection de matière plastique est une technique utilisée par les industries qui fonctionnent à un rythme de production souvent très élevé, telle l'entreprise LEGO, qui doit produire 31 milliards de pièces en acrylonitrile butadiène styrène (ABS) chaque année [23]. Les possibilités avec cette technique sont variées, autant sur le plan de la dimension des pièces fabriquées que dans la complexité de celles-ci. La technique consiste simplement à souffler de la matière plastique dans un moule ayant la forme de l'objet qui doit être obtenu. Cette matière plastique se trouve normalement en pastilles de plastique qui sont chauffées et fondues au début du processus [23].

Une presse à injection classique peut atteindre une force de fermeture de 3000 tonnes (t) avec une pression sur la matière plastique de 2000 bars [4]. La figure 10 illustre un système hydraulique qui fournit la puissance à la machine, le moule et le vérin de fermeture qui se situe à la fin du cycle. De l'autre côté, le fourreau, la trémie et la vis servent d'ensemble de plastification et d'injection [4].

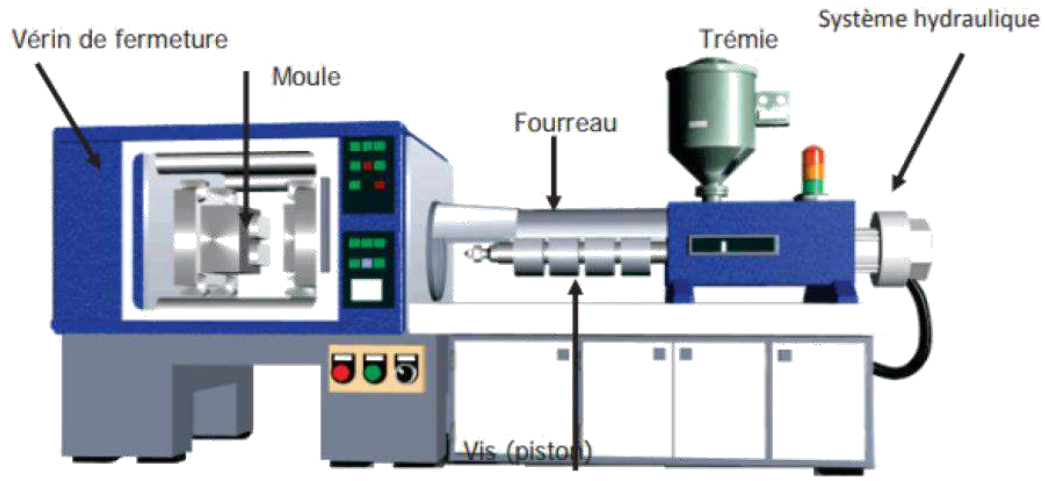


Figure II-5 : *Schéma d'un système par injection de thermoplastique (tiré de : [4])*

Un système de refroidissement agit sur le thermoplastique moulé et éjecte le produit dans le but de produire d'autres pièces le plus rapidement possible. La vis de plastification tient le rôle le plus important du système puisqu'elle transporte le plastique fondu, l'injecte et le compresse dans le moule en s'assurant de l'homogénéité de la matière et de ses additifs [4].

II-4.3 Thermoformage :

Le procédé de thermoformage est simple et efficace, utilisant des matières plastiques déjà formées en plaques ou en feuilles [4]. La technique consiste à chauffer une feuille de plastique dans un moule, jusqu'à ce qu'elle soit complètement moulée, pour ensuite être refroidie. Il existe deux principales variantes à ce processus, soit en créant un vide et en aspirant le plastique chauffé pour qu'il soit moulé. La seconde consiste à appliquer le moule à l'aide d'une presse hydraulique sur la feuille de plastique chauffée, comme l'illustre la figure 14. [4].

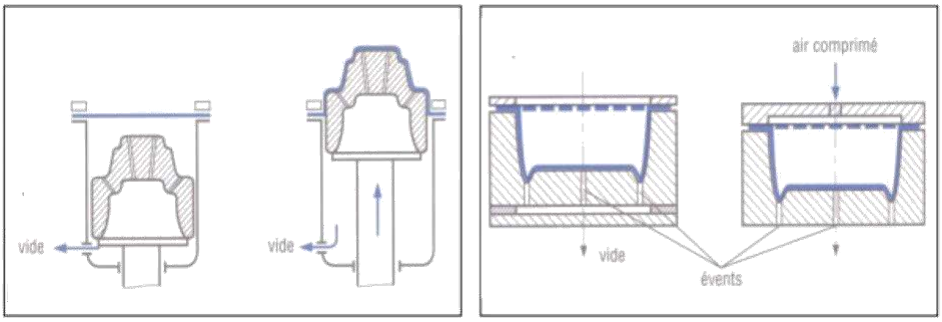


Figure II-6 : *Illustration des différents types de moules utilisés par le thermoformage [4].*

Le procédé se compose en trois étapes principales, la première consistant à chauffer la feuille de plastique installée dans la machine. Par la suite, la feuille chauffée est formée par le moule selon l'une des techniques présentées ci-dessus, pour finalement être découpées et disposées. Il est à noter que les deux techniques nécessitent une aspiration d'air avant que le produit final soit refroidi dans le but d'éviter les imperfections [4]. La technique utilisée dépend du type de produit recherché.

II-4.4 Calandrage :

Cette technique utilise des cylindres à température élevée en rotation qui, à l'aide d'un convoyeur, produisent une pellicule continue de thermoplastique. Cette technique s'applique pour la production de polyéthylène (PE) et de polychlorure de vinyle (PVC), dans certains cas [4].

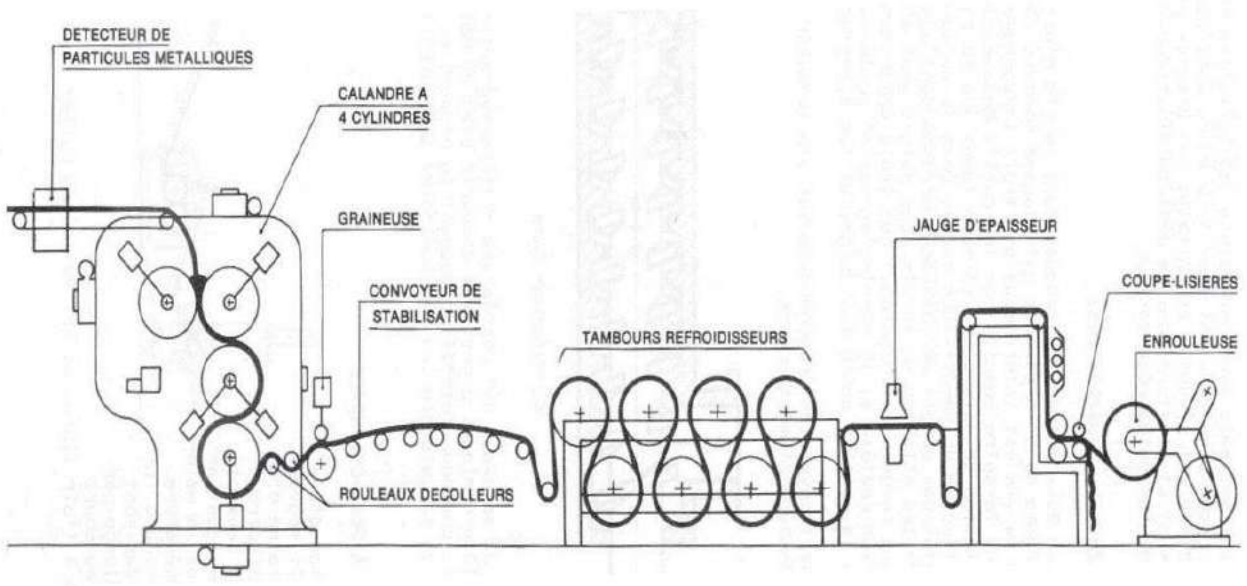


Figure II-7 : *Schéma du procédé de calandrage (tiré de : [4].)*

Le système (voir figure II-7) débute à la gauche de l'image ou le polymère est intégré sous forme de pastilles, ou autre, chauffé et écrasé par des rouleaux avant d'être refroidi [4]. Une fois refroidi, le produit est soit coupé de façon constante ou enroulé s'il s'agit de films [4].

II-4.5 Rotomoulage :

Le rotomoulage est une technique utilisée pour la production de thermoplastiques aux formes anormales, creuses ou vides, entre autres. La matière plastique est intégrée sous forme de poudre et non de pastilles comme dans la plupart des techniques détaillées précédemment [4]. La poudre de plastique est insérée à l'intérieur de la machine à rotation pour ensuite être chauffée. La machine réalise ensuite des rotations pour répartir adéquatement le plastique fondu dans l'ensemble du moule avant de le refroidir [4].

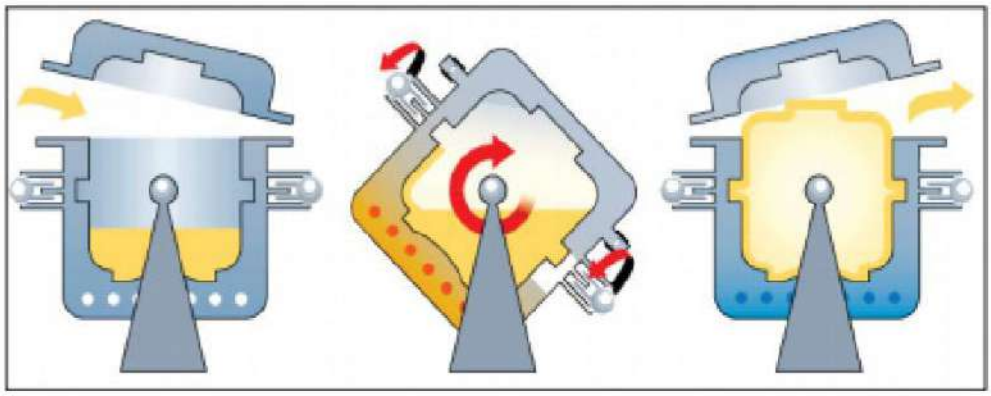


Figure II-8 : *Schéma d'une machine à rotomoulage (tiré de : [4].)*

La machine à rotomoulage (voir figure II-8) comprend deux pièces principales qui permettent d'intégrer la poudre de plastique et de retirer le produit final. Cette technique utilise de nombreux types de thermoplastique, mais a une capacité de production plus limitée que le thermoformage ou l'injection.

II-5 Résumé des types de mise en forme :

Le tableau 3, résume les types de mise en forme associés aux polymères étudiés dans cet essai.

POLYMÈRE	CALANDRAGE	THERMOFORMAGE	ROTOMOULAGE	INJECTION	EXTRUSION
ABS	√	√	√	√	√
AC	√	√		√	√
PEHD		√	√	√	√
PLA		√		√	√
PP	√	√	√	√	√

Tableau II-3 : *Synthèse des types de mise en forme par polymère*

Le PP et l'ABS offrent l'avantage de pouvoir être mis en forme par l'ensemble des types de mise en forme présentés. Également, l'entièreté des polymères peuvent être mis en forme par thermoformage, injection et extrusion, à différentes températures.

Chapitre III.

Matériaux Etudié Et technique Expérimentales

III-1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons d'abord procédé pour présenter et clarifier le processus de réalisation d'un filament en ABS au moyen d'une machine d'extrusion, ce processus a été réalisé au niveau de l'atelier de GENIE mécanique à l'université de Médéa, Dr Yahya Fares, après nous allons présenter une étude expérimentale réalisée pour un projet de mémoire de fin d'études, afin d'obtenir le diplôme de Magister, sous le titre " étude expérimentale du comportement mécanique des polymères " dans la faculté des sciences à l'université BADJI MOKHTAR -ANNABA.

Cette étude expérimentale consiste à soumettre des éprouvettes en ABS à l'essai de traction, dans le but de voir et d'étudier les effets de la température T puis ceux de la vitesse de déformation ε sur le comportement du matériau, ces étirages ont été établis selon deux protocoles. d'abord à 50 mm/min faire changer la température de 40 à 75°C, puis à 20°C la vitesse de déformation variera de 50mm/min à 1000 mm/min.

Ces deux séries d'expériences ont été respectivement réalisées, d'abord, à l'Unité de Recherche Appliquée en Sidérurgie Métallurgie (URASM) et au Centre de recherche scientifique et technique en Soudage et Contrôle d'Annaba (CSC, ex DRA), puis ensuite au Laboratoire de Physique et de Mécanique des Matériaux (LPMM) de l'université de Metz (France). [26]

III-2 Présentation du matériau étudié :

III-2-1 choix de matériau :

Le matériau choisit pour la réalisation de nos travaux est un terpolymère: l'Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) ; Il est utilisé généralement sous forme de granule produit par la société SABIC d' Arabie Saoudite sous nom commercial "cycolac résine EX58F . Le matériau utilisé dans ce travail est destiné pour la réalisation d'un filament par extrusion.



Figure III-1: *matériau acrylonitrile butadiène styrène (ABS) EX58F.*

III-2-2 Caractéristique du matériau étudié:

L'ABS a été choisi préférentiellement à d'autre polymères en raison de ces propriétés mécaniques, physiques et chimiques élevées; L'ABS est l'un des deux plastiques les plus utilises pour l'impression 3D , il peut être recyclé , il est un plastique très résistant et plus flexible que le PLA . Il est aussi plus résistant à la chaleur que le PLA , en raison de ces propriétés; il est très utilisé en l'industrie il est doté d'une bonne stabilité dimensionnelle , résiste à la rayure, et à de nombreux agents chimiques et présente surtout une très bonne résistance aux chocs , sa température d'extrusion est généralement comprise entre 200 et 250**°C**

Les propriétés de ce matériau utilisé sont indiquées dans la fiche technique ci-dessous :

CYCOLAC™ RESIN EX58F

REGION ASIA

DESCRIPTION

High impact ABS for sheet extrusion and blow molding applications. FDA food contact compliant.

1

TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20190925

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
MECHANICAL			
Tensile Stress, yld, Type I, 5 mm/min	39	MPa	ASTM D 638
Tensile Stress, brk, Type I, 5 mm/min	30	MPa	ASTM D 638
Tensile Strain, yld, Type I, 5 mm/min	3.1	%	ASTM D 638
Tensile Strain, brk, Type I, 5 mm/min	32	%	ASTM D 638
Tensile Modulus, 5 mm/min	2080	MPa	ASTM D 638
Flexural Stress, yld, 1.3 mm/min, 50 mm span	66	MPa	ASTM D 790
Flexural Modulus, 1.3 mm/min, 50 mm span	2160	MPa	ASTM D 790
Hardness, Rockwell R	102	-	ASTM D 785
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	41	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	30	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	2.6	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	21	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	1970	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	60	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2000	MPa	ISO 178
IMPACT			
Izod Impact, notched, 23°C	432	J/m	ASTM D 256
Izod Impact, notched, -30°C	299	J/m	ASTM D 256
Instrumented Impact Total Energy, 23°C	37	J	ASTM D 3763
Izod Impact, notched 80*10*4 +23°C	35	kJ/m²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80*10*4 -30°C	23	kJ/m²	ISO 180/1A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80*10*4 sp=62mm	37	kJ/m²	ISO 179/1eA
THERMAL			
Vicat Softening Temp, Rate B/50	106	°C	ASTM D 1525
HDT, 0.45 MPa, 3.2 mm, unannealed	91	°C	ASTM D 648
HDT, 1.82 MPa, 3.2mm, unannealed	76	°C	ASTM D 648
CTE, -40°C to 40°C, flow	1.01E-04	1/°C	ASTM E 831
CTE, -40°C to 40°C, xflow	1.04E-04	1/°C	ASTM E 831
Vicat Softening Temp, Rate B/50	95	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/120	97	°C	ISO 306
HDT/Af, 1.8 MPa Flatw 80*10*4 sp=64mm	78	°C	ISO 75/Af
Relative Temp Index, Elec	60	°C	UL 7468
Relative Temp Index, Mech w/impact	60	°C	UL 7468
Relative Temp Index, Mech w/o impact	60	°C	UL 7468

© 2019 Copyright by SABIC. All rights reserved

CHEMISTRY THAT MATTERS™

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
PHYSICAL			
Specific Gravity	1.03	-	ASTM D 792
Mold Shrinkage, flow, 3.2 mm	0.6 – 0.8	%	SABIC method
Melt Viscosity, 240°C, 100 sec-1	15500	Poise	ASTM D 3825
Density	1.03	g/cm³	ISO 1183
Melt Flow Rate, 220°C/10.0 kg	4	g/10 min	ISO 1133
ELECTRICAL			
Arc Resistance, Tungsten (PLC)	5	PLC Code	ASTM D 495
Hot Wire Ignition (PLC)	4	PLC Code	UL 746A
High Voltage Arc Track Rate (PLC)	1	PLC Code	UL 746A
High Ampere Arc Ign, surface (PLC)	4	PLC Code	UL 746A
Comparative Tracking Index (UL) (PLC)	0	PLC Code	UL 746A
FLAME CHARACTERISTICS			
UL Recognized, 94HB Flame Class Rating	1.5	mm	UL 94
EXTRUSION BLOW MOLDING			
Drying Temperature	80 – 90	°C	
Drying Time	4 – 5	hrs	
Drying Time (Cumulative)	24	hrs	
Maximum Moisture Content	0.02	%	
Melt Temperature (Parison)	215 – 230	°C	
Barrel - Zone 1 Temperature	205 – 225	°C	
Barrel - Zone 2 Temperature	205 – 225	°C	
Barrel - Zone 3 Temperature	205 – 225	°C	
Barrel - Zone 4 Temperature	205 – 225	°C	
Adapter - Zone 5 Temperature	210 – 230	°C	
Head - Zone 6 - Top Temperature	215 – 230	°C	
Head - Zone 7 - Bottom Temperature	215 – 230	°C	
Screw Speed	20 – 60	rpm	
Extruder Feed Zone Temperature	60 – 75	°C	
Mold Temperature	40 – 80	°C	
Die Temperature	215 – 235	°C	
SHEET EXTRUSION			
Drying Temperature	80 – 95	°C	
Drying Time	4	hrs	
Maximum Moisture Content	0.02	%	
Melt Temperature	215 – 260	°C	
Barrel - Zone 1 Temperature	170 – 200	°C	
Barrel - Zone 2 Temperature	180 – 220	°C	
Barrel - Zone 3 Temperature	190 – 225	°C	
Barrel - Zone 4 Temperature	200 – 240	°C	
Adapter Temperature	205 – 250	°C	
Die Temperature	205 – 250	°C	
Roll Stack Temp - Top	90 – 95	°C	
Roll Stack Temp - Middle	95 – 105	°C	
Roll Stack Temp - Bottom	100 – 105	°C	

© 2019 Copyright by SABIC. All rights reserved

CHEMISTRY THAT MATTERS™

2

Tableau III-1: *Valeurs des propriétés typiques " Resine EX58F " (* : à la température ambiante) [27].*

III-3 La machine d'extrusion :

- Type d'extrudeuse : mono-vis
- Marque : THAI PLASTIC BAGS INDUSTRIES CO.LTD (TPBI)
- Source : 380V / 50 Hz
- Puissance de moteur : 3 Hp / 4 Pole
- diamètre de la buse (filière) : 1.75mm



Figure III-2: *Photo de la machine d'extrusion, mono-vis TPBI*

III-4 Les étapes de réalisations :

- **1er étape :** préparation de l'extrudeuse :
- réglage de la température selon la fiche technique de matériau utilisé
- ajustement de la vitesse d'extrusion.
- mettre la matière dans l'entonnoir de l'extrudeuse



Figure III-3: *Tableau de commande de l'extrudeuse .*

- **2eme étape :** préparation de système de refroidissement a la sortie du fil , afin de le refroidir et de maintenir sa forme



Figure III-4: *système de refroidissement .*

Ces trois paramètres sont lie afin de pouvoir correctement obtenir un filament calibré, ces paramètres ont été définis après plusieurs tentatives infructueuses, après avoir ajusté ces paramètres, nous démarrons le machine d'extrusion lors la température atteinte les valeurs définies .

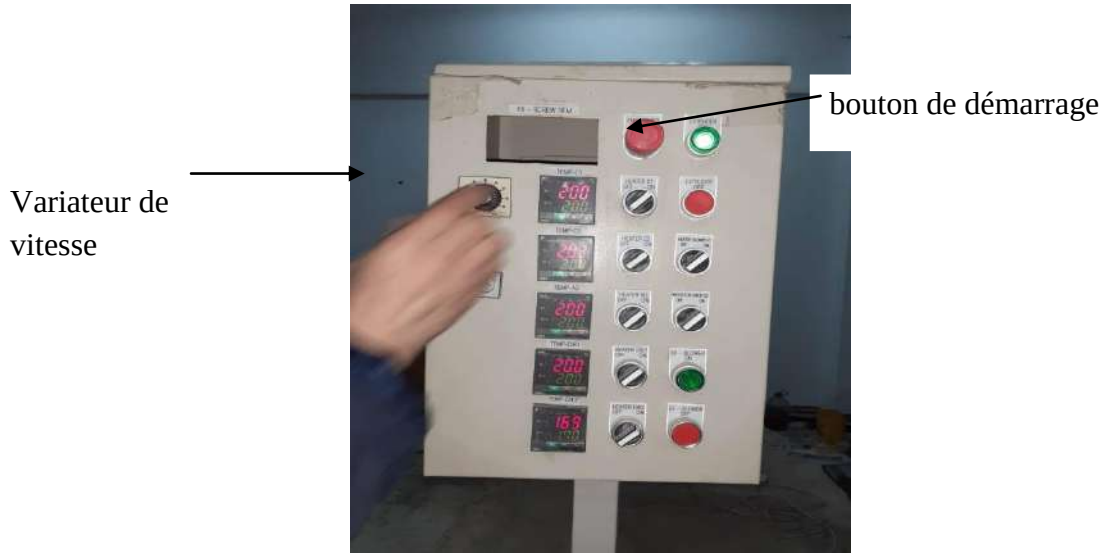


Figure III-5: *démarrage de l'extrudeuse*

L'astuce pour avoir un bon filament est de l'ajustement de la vitesse de bobinage de fil avec la vitesse d'extrusion ainsi que de laissé le fil tomber dans le bassin de refroidissement .



Figure III-6: *bobinage de filament.*



***Figure III-7** : photo de filament obtenu 1.75mm.*

III-5 Etude expérimentale:

III-5-1 Présentation de matériau étudié :

Le matériau choisit pour la réalisation de ces travaux est un terpolymère **:** l'Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS). Il est utilisé généralement comme filament par le fournisseur qui est Stratasys Inc. Commande Minneapolis et porte comme référence manganese55344-2020 Etats-Unis de 14950 Martin . Le matériau étudié dans ce travail est destiné pour le prototypage rapide, les appareils électroménagers, la téléphonie, le matériel informatique, le jouet, les carters d'aspirateurs dans ce cas il s'agit le plus souvent de pièces moulées [26].

Le produit est identifié au tableau ci-dessous :

Nom du produit	P400 ABS
Famille chimique	Styrène Terpolymer
Utilisation générale	Filament d'utilisation générale pour Stratasys ® FDM Inc. ™ Modeleur
Fabricant et adresse	Stratasys Inc. 14950 Martin Drive Minneapolis, MN 55344-2020 USA

Tableau III-2 : *Identification du matériau [26].*



Figure III-8 : *bobine de file en ABS.*

III-5-2 Caractéristique du matériau étudié:

Le matériau étudié l'ABS se présente sous la forme d'un cylindre de longueur L_0= 64mm, de diamètre d=2.46mm, de densité 1.05g/cm^3.

Les propriétés utilisées sont indiquées dans le tableau III-3.

Propriétés	**ABS**
Densité (g/cm3)	1,05
Module D'élasticité par traction (N/mm^2)	2000
Résistance à la rupture par traction (N/mm^2)	6.1
Allongement à la rupture par traction %	20 à60
Conductivité thermique (W/M°K)	0,14
Température de fusion Tf *(ºC)*	-85°C/95-105°C
Température de transition vitreuse Tg (ºC)	-

Tableau III-3 : *Quelques propriétés d'un Acrylonitrile Butadiène Styrène ABS (* : à la température ambiante) [26].*

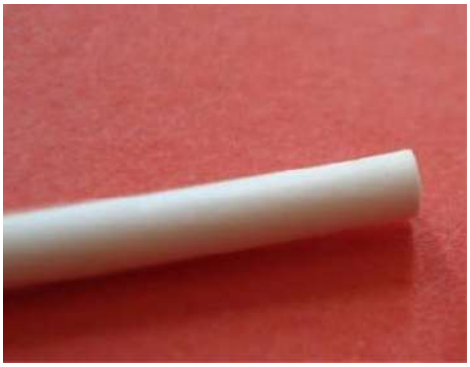
III-5-3 Méthode d'essais mécaniques :

III-5-3-1 Essais de traction :

L'essai de traction est la méthode expérimentale qui est utilisée couramment pour la détermination des comportements mécaniques des matériaux. Ces comportements sont décrits par un ensemble de relations entre les contraintes, les déformations et leur évolution au cours du temps. Dans cet essai, on exerce une force de traction sur un cylindre de longueur L_0 =64 mm, qu'on a déterminé, Car les résultats d'essai sont influencés par la précision de mesure des dimensions de l'éprouvette, Jusqu'à sa rupture [26].

III-5-3-2 Eprouvettes de traction :

Utilisé des éprouvettes en forme d'un cylindre (figure III-9) ayant une section S_0=2.46mm^2 et une longueur L_0=64mm .La figure III.9 illustre la géométrie de ces éprouvettes qui présente les deux caractéristiques définies précédemment [26]**.**



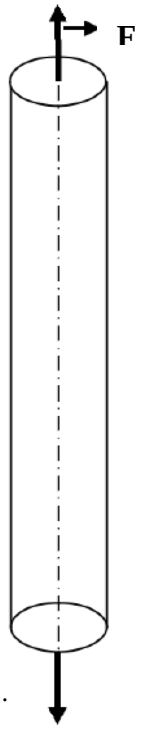


Figure III-9 : *Eprouvette en forme de cylindre [26].*

III-5-3-3 Dispositif expérimental :

Ces deux séries d'essais de traction ont été effectuées avec des machines Zwick. La première sur une machine de type Zwick/Materiaprüfung 10 Tonnes à base d'un logiciel TestXpert, et équipée d'un four de chauffage (au niveau de la DRA, effet de T) et la deuxième Zwick/Roell fonctionnant à base d'un logiciel Testxpert (au niveau du laboratoire LPMM, effet de ε) .Elles sont pilotées par ordinateur . La figure III.10 montre la machine utilisée [26].

III-5-3-3-1 Machines Zwick/Materiaprüfung :

L'essai de traction a été réalisé au sein de la (DRA) sur une machine de type Zwick/Materiaprüfung 10 Tonnes, c'est une machine universelle et flexible, elle est pilotée par ordinateur. Le Pc et le logiciel correspondant assurent le traitement des valeurs mesurées et le contrôle du déroulement des essais.



Figure III-10 : *Photo de la machine de traction ZWICK /Materiaprüfung [26].*

Pour chauffer l'éprouvette placé un dispositif de chauffage adéquat (figure III-11) où la température est repérée, à son contact, par un thermocouple, la sonde de température en NiCrNi, livrée avec câble de raccordement (1,5 m) et connecteur mâle. Plage de mesure: -200 °C à +1100 °C (figure III-12).



Figure III-11 : *Dispositif expérimentale [26].*



Figure III-12 : *Thermocouple 666 193 Sonde de température NiCrNi [26].*

III-5-3-3-2 Machines Zwick/Roell :

La machine d'essai ZWICKI Z2.5, est une machine universelle récente d'utilisation facile et flexible, grâce à sa compacité (longueur 1073 mm) et à son poids (moins de 40 Kg) on peut l'installer sur n'importe quelle table. Avec un extensomètre à grande course mécanique permet de mesurer des déformations importantes sur les plastiques, caoutchoucs et élastomères, mousses, films et feuilles fines, dont la résistance est supérieure à 20 N, leurs avantages sont :

• robustesse et simplicité d'utilisation, spécialement développé pour les caoutchoucs et élastomères.

• mesure de la déformation jusqu'à rupture, reconnaissance automatique par prise intelligente.

• bras de palpeur interchangeable , mesures en enceintes thermiques et climatiques.

La Zwick peut être commandée manuellement grâce au perpètre de commande manuelle ou par ordinateur (utilisation du logiciel TestXpert). Le Pc et le logiciel correspondant assurent le traitement des valeurs mesurées et le contrôle du déroulement des essais [26].

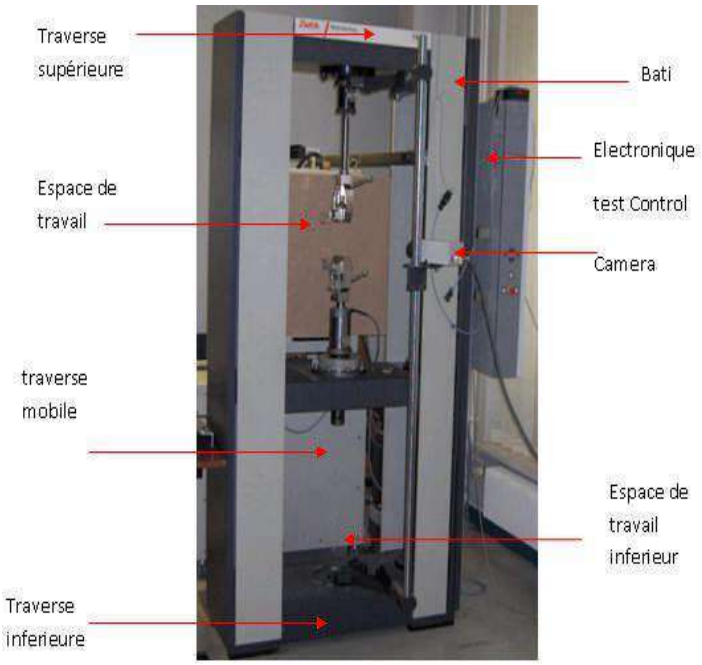


Figure III-13 : *Photo de la machine de traction ZWICK /Roell [26].*

III-5-3-3-3 Logiciel de pilotage :

TestXpert est un logiciel d'essai universel pour tests, utilisé depuis 1996 sur matériaux, composants ou pièces fines .La plage d'utilisation du logiciel TestXpert couvre les machines d'essais traditionnelles de la gamme ZWICK (machine de traction, compression, flexion et machines universelles) [26].

III-5-4 Etapes de l'essai :

La méthode de traction nécessite les étapes suivantes qui sont:

a)-il faut d'abord introduire les données relatives de l'éprouvette à tester dont : la surface S_0 longueur initiale L_0, sa forme (cylindrique dans cette étude).

b)-Placer l'éprouvette dans la machine d'essai après avoir mesuré sa longueurL_0.

c)-Introduire les conditions de l'expérience (la vitesse de déformation ou la température d'essai).

d)-Démarrer la machine et la courbe s'affiche progressivement sur l'écran.



Figure III-14 : *Mesure des dimensions et mise en place de l'éprouvette d'essai dans la machine de traction [26].*

III-6 Essais expérimentaux :

III-6-1 Essais à plusieurs températures :

Les essais ont été réalisés à l'URASM.

La traction a été exercée sur quatre éprouvettes d'ABS de section et de longueur initiale identiques, soient S_0 = 2,46 mm^2 et L_0 =64 mm, à des températures d'essais différentes allant de 40°C ,50°C, 60°C, 70°C à un pas de 10°C.

Durant les essais, les éprouvettes ont été étirées à la même vitesse v = 50 mm/mn. Par conséquent, la vitesse de déformation ε est égale à 13.02 10^{-3} S^{-1}.

Les éprouvettes ont été soumises à un dispositif de chaleur à différentes températures [26].

III-6-2 Essais à plusieurs vitesses de déformation :

Les expériences ont été effectuées sur onze éprouvettes d'ABS de longueurs et de surfaces identiques aux précédentes. Le matériau a subi plusieurs vitesses d'étirage correspondantes donc à différentes vitesses de déformation, cette étape s'est déroulée a INSMA de paris.

La température des essais est constante T = 20 °C.

Ces vitesses sont quasi statiques dans une gamme avec un pas relativement constant de 100.

Pour une vitesse d'étirage choisie lors de l'essai, il est possible de calculer la vitesse de déformation suivant la relation : $\dot{\varepsilon} = v / L_0$ (v est la vitesse d'étirage, L_0 est la longueur initiale de l'éprouvette [26].

Chapitre IV.

Résultats Et discutions

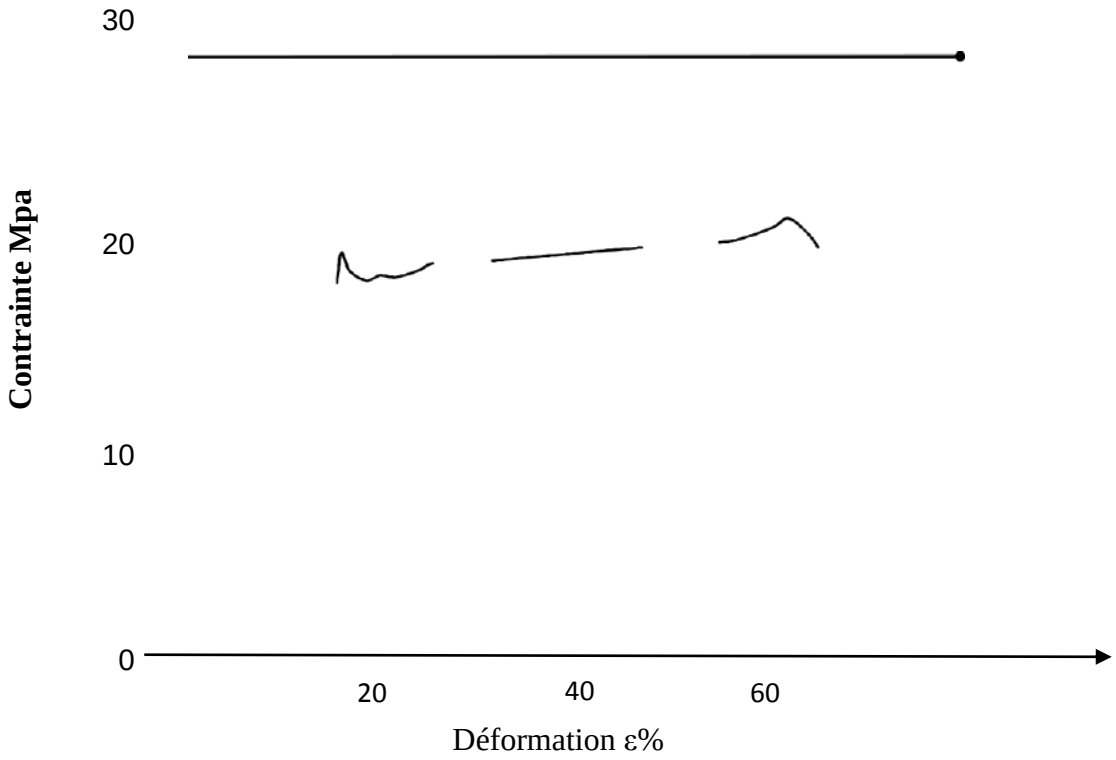
IV-1 Résultats des expériences :

L'ABS à montré des comportements mécaniques différents pour des variations de T et de $\dot{\varepsilon}$, se traduisant par des courbes contrainte-déformation différentes.

IV-1-1 Résultats sous l'influence de la température :

Les résultats des quatre essais aux différentes températures sont représentés aux figures IV-1, IV-2, IV-3, IV-4**.**

a)



b)

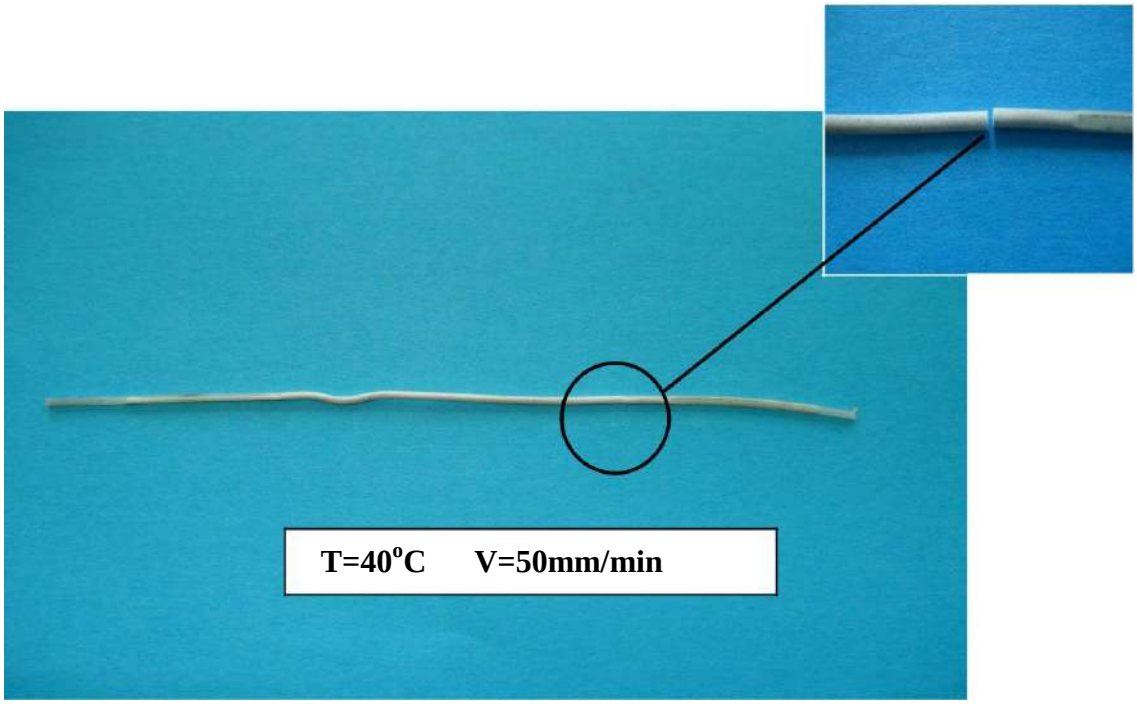


Figure IV-1: *Influence de la température (T=40°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS* $(\dot{\varepsilon})= 13{,}02.10^{-3}\ s^{-1}$*:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

b)

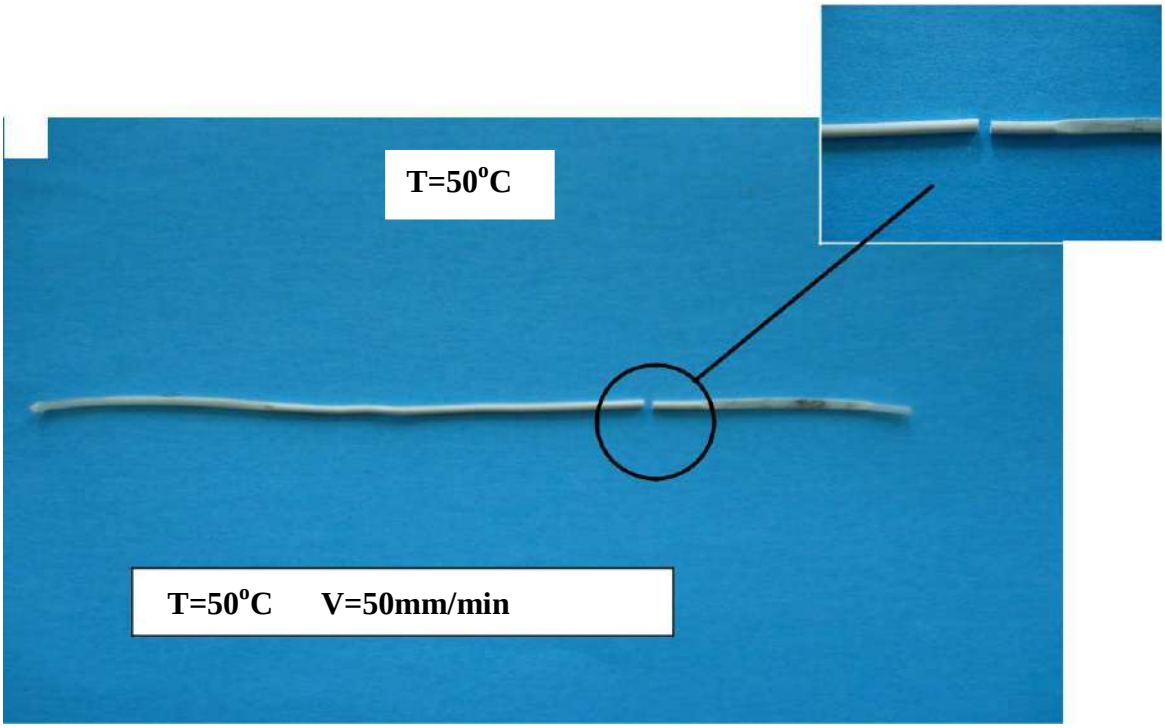
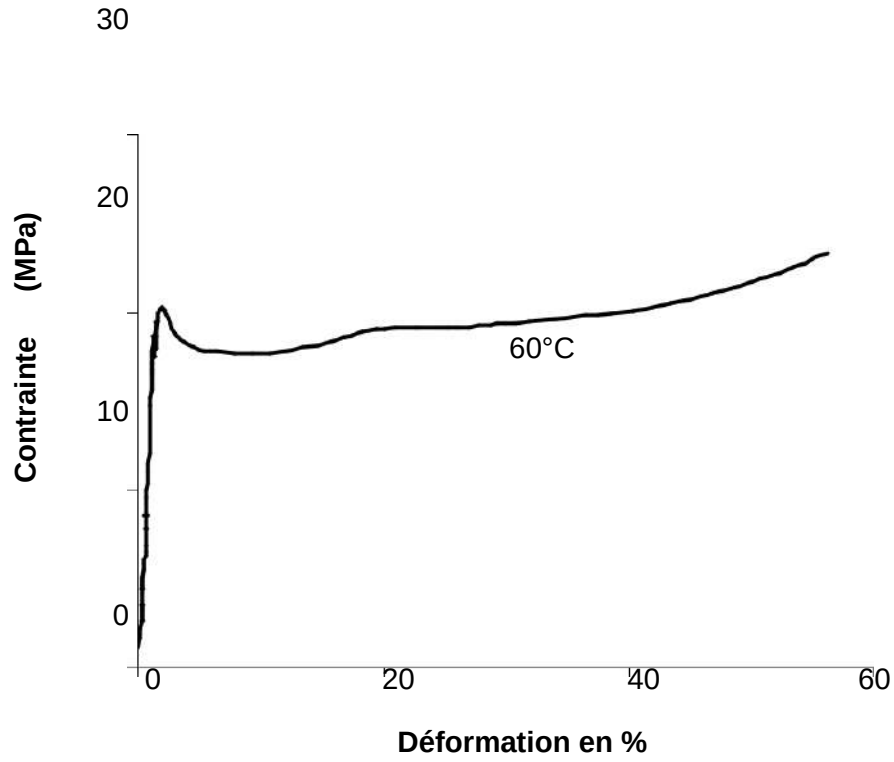


Figure IV-2 : *Influence de la température (T=50°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS* $(\dot{\varepsilon}) = 13{,}02.10^{-3}\ s^{-1}$ *:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte- déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette a la fin de l'expérience [26].*

a)



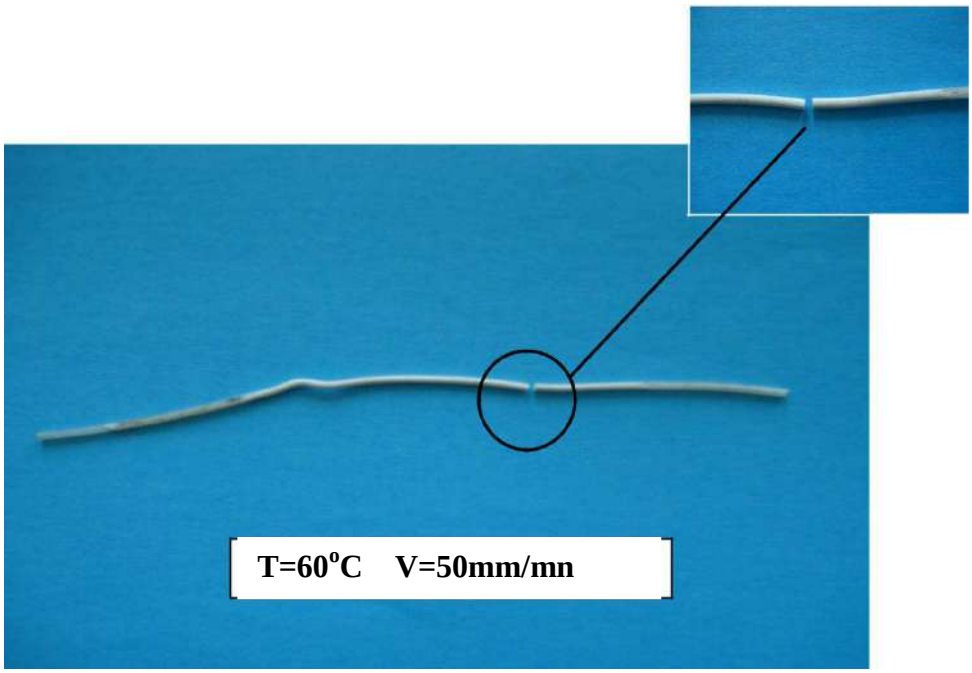
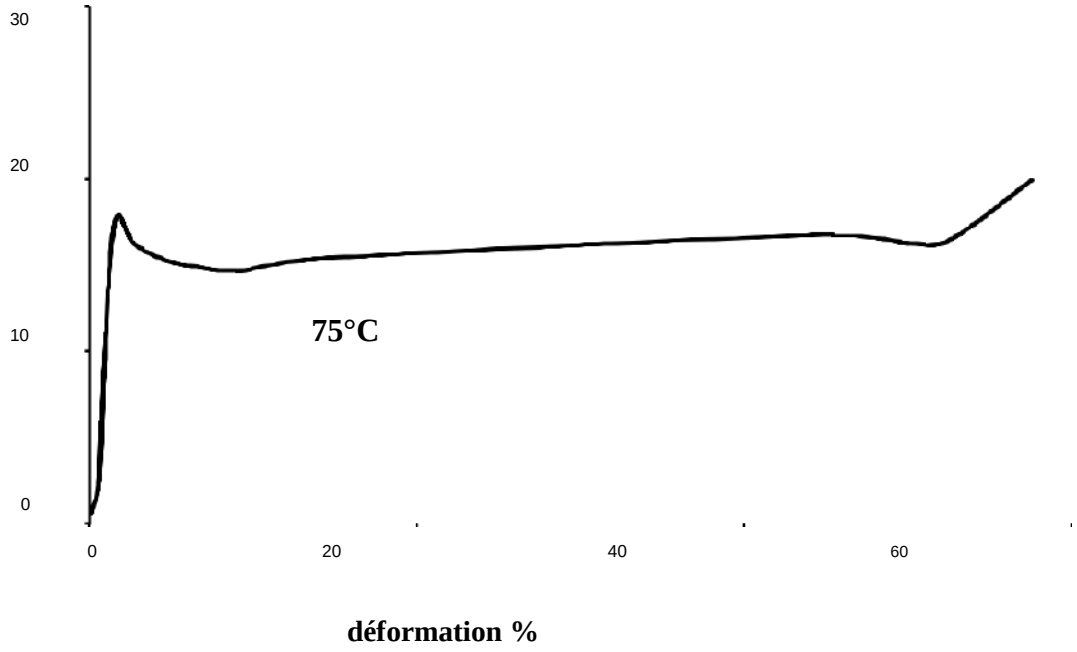


Figure IV-3: *Influence de la température (T=60°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS* $(\dot{\varepsilon}) = 13{,}02.10^{-3}\ s^{-1}$*: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette a la fin de l'expérience [26].*

a)



b)

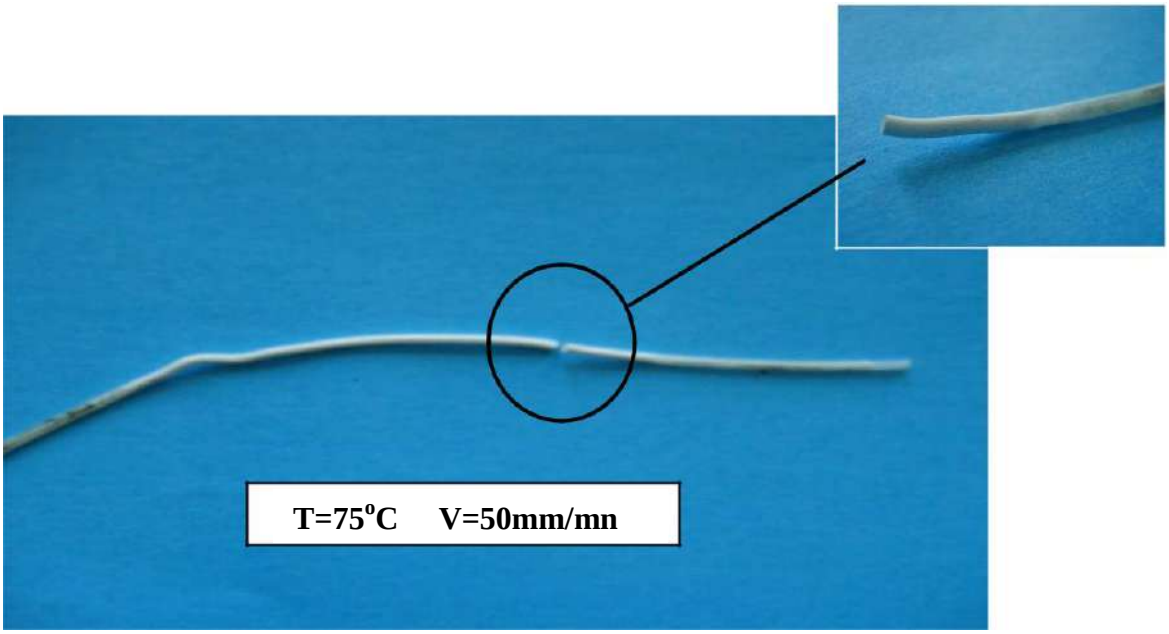


Figure IV-4 : *Influence de la température (T=75°C) et la vitesse de déformation constante d'un ABS* $(\dot{\varepsilon}) = 13{,}02.10^{-3}\ s^{-1}$*: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette a la fin de l'expérience [26].*

IV-1-2 Résultats sous l'influence de la vitesses de déformation :

Les expériences ont été effectuées sur onze éprouvettes de longueurs et de surfaces identiques aux précédentes. Le matériau a subi plusieurs vitesses d'étirage correspondantes donc à différentes vitesses de déformation .La température des essais est T = 20 °C.

Il est possible de calculer la vitesse de déformation suivant la relation $\dot{\varepsilon} = v / L_0$ (v est la vitesse d'étirage, L_0 est la longueur initiale de l'éprouvette.

Les résultats sont représentés aux figures IV-5, IV-6, IV-7, IV-8**,** IV-9, IV-10, IV-11, IV-12, IV-13, IV-14, IV-15 **.**

b)

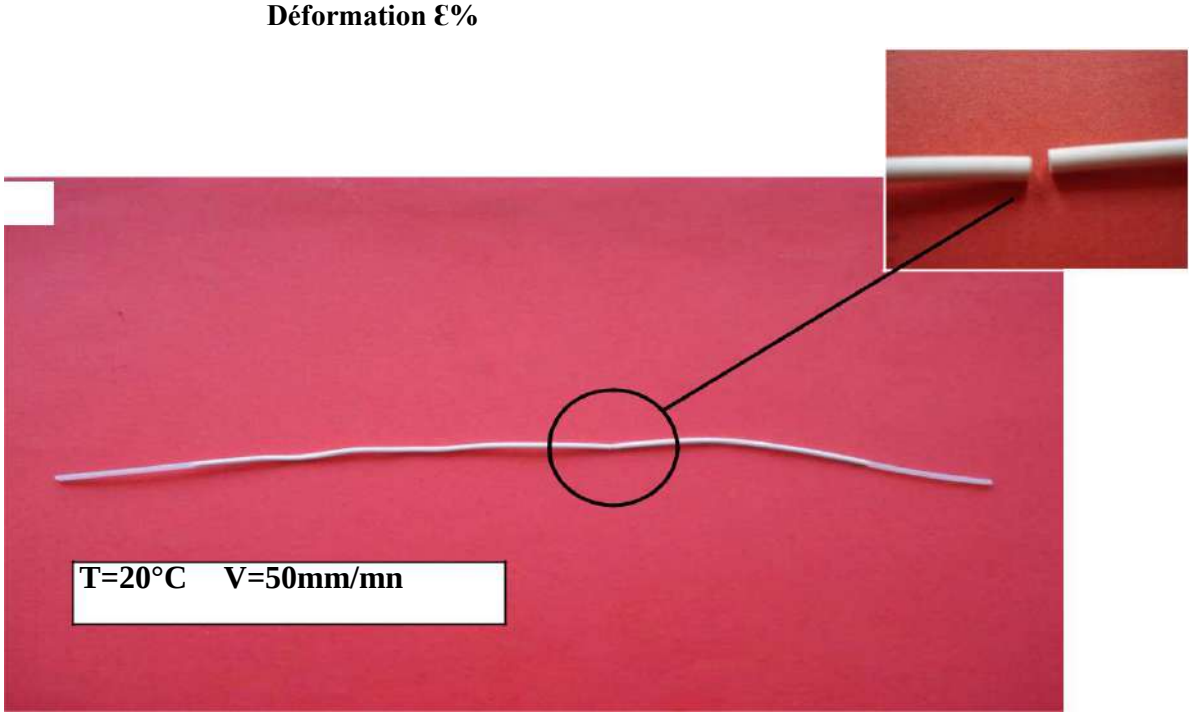
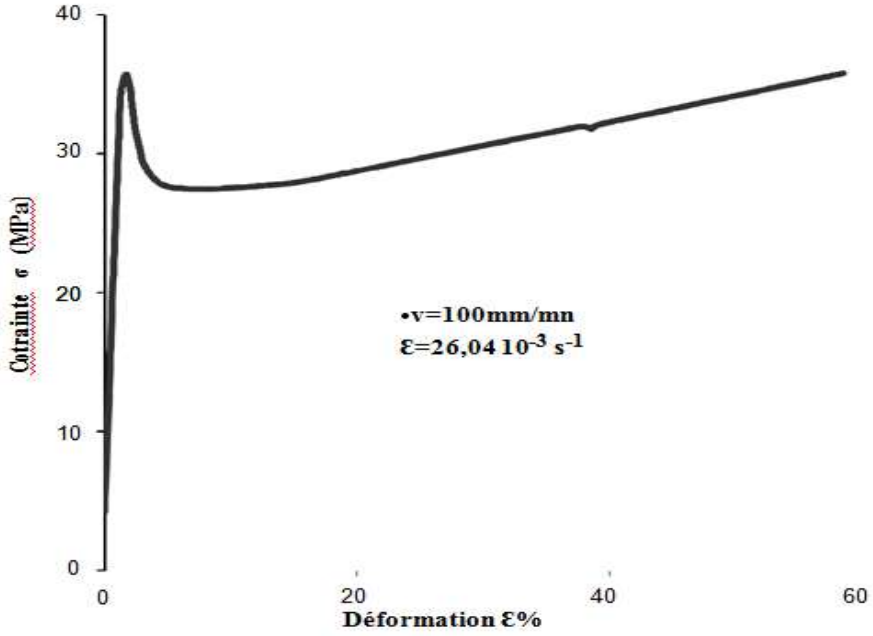


Figure IV-5: *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à* $13{,}02.10^{-3}\ s^{-1}$ *:a) courbe expérimentale de traction contrainte déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience[26].*

a)



b)

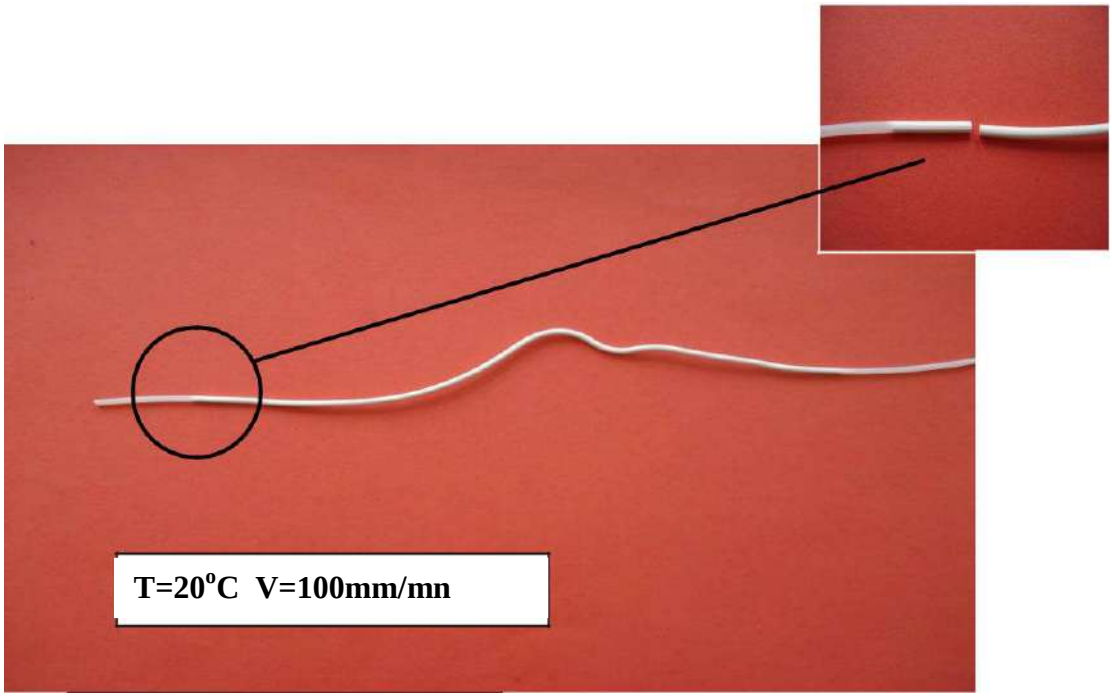
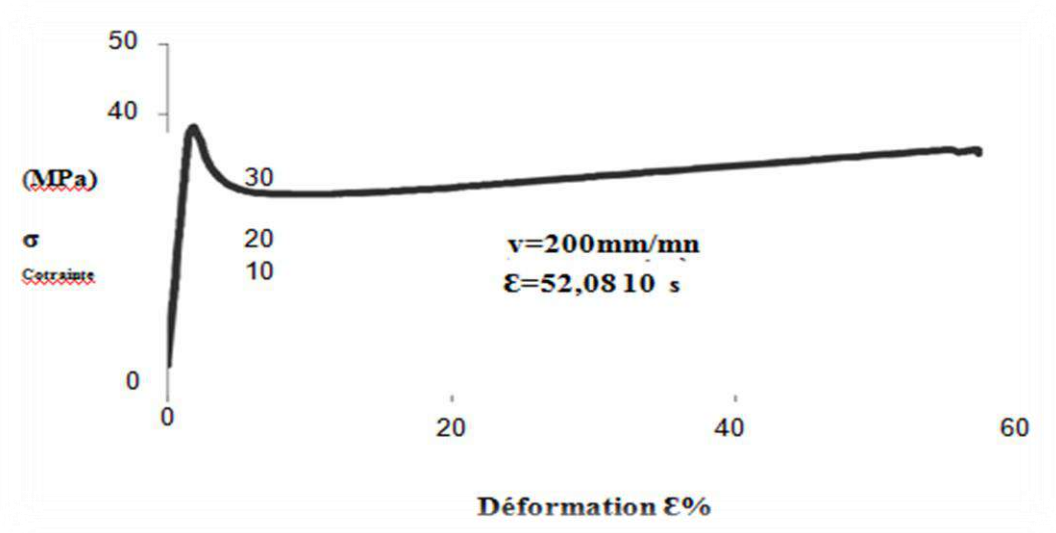


Figure IV-6: *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 26,04.10^{-3} s^{-1}:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience.*

a)



b)

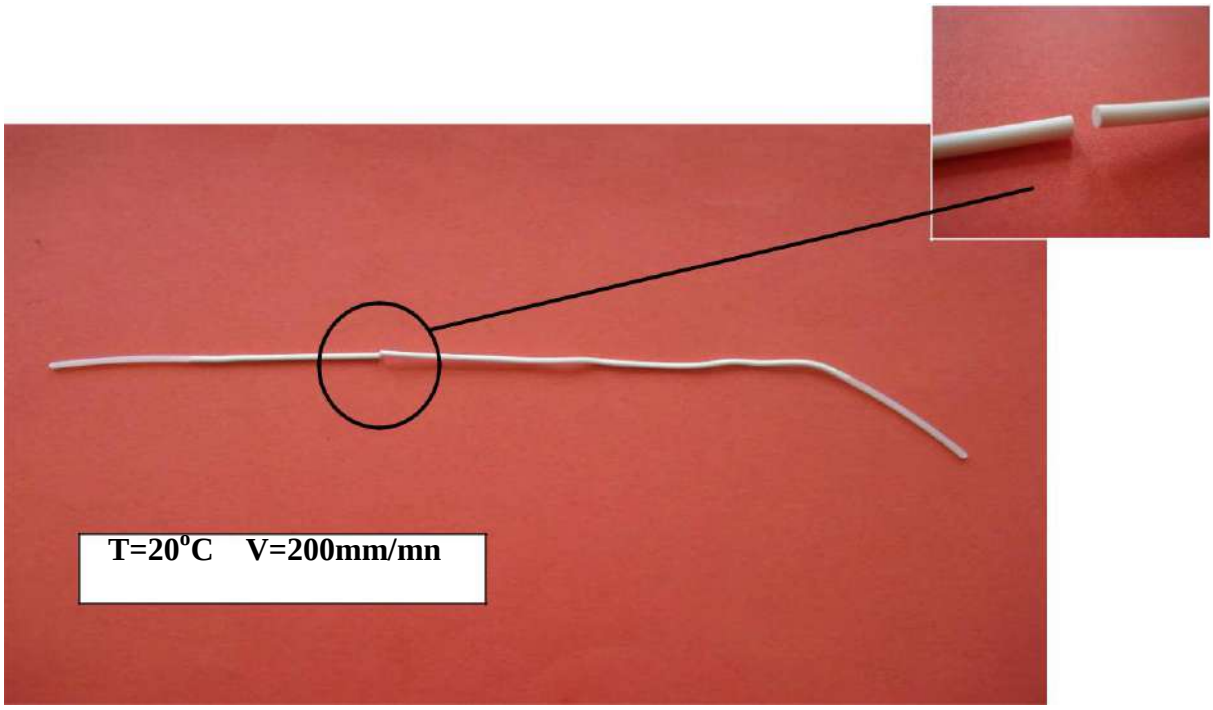


Figure IV-7 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 52,08.10-3 s-1:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***.b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

b)

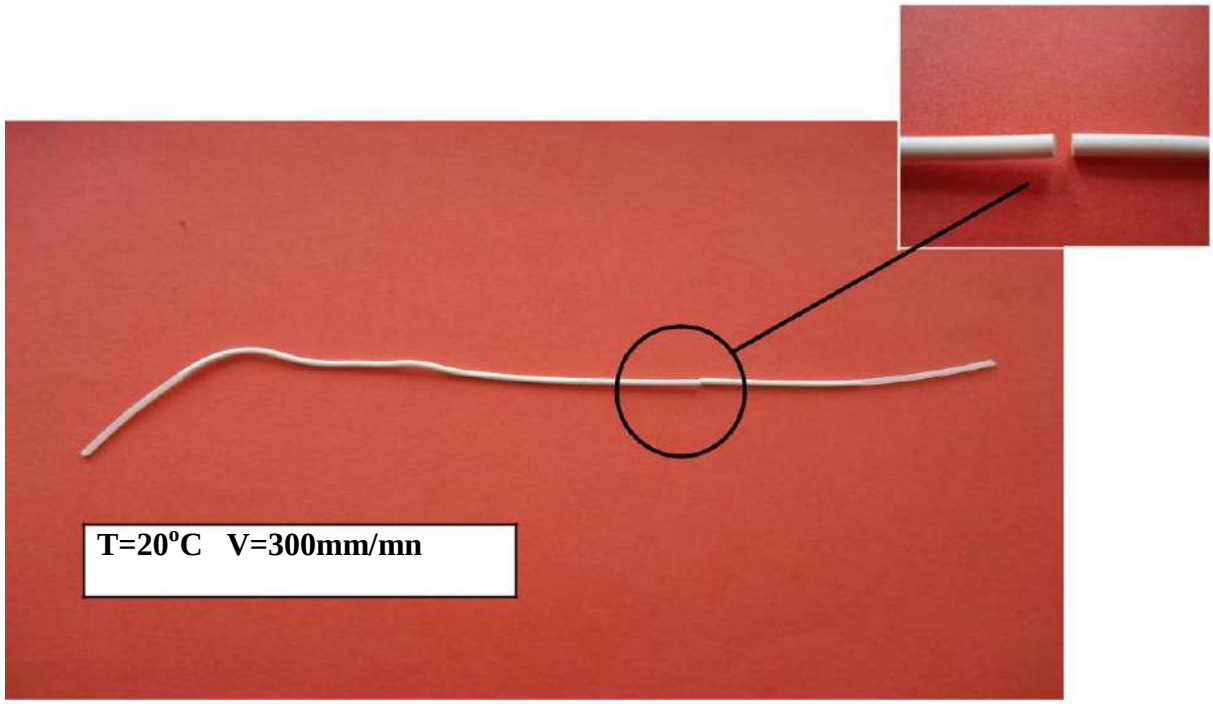
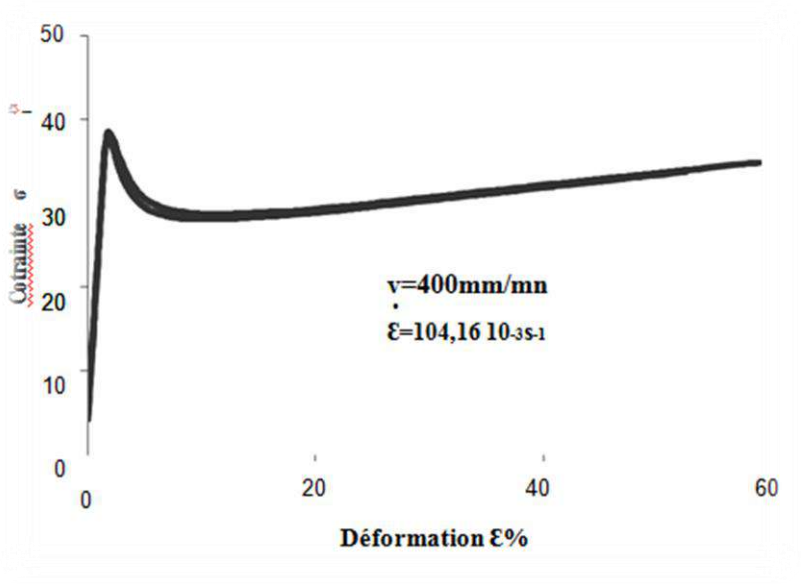


Figure IV-8 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à* $78{,}12.10^{-3}\ s^{-1}$*:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

a)



b)

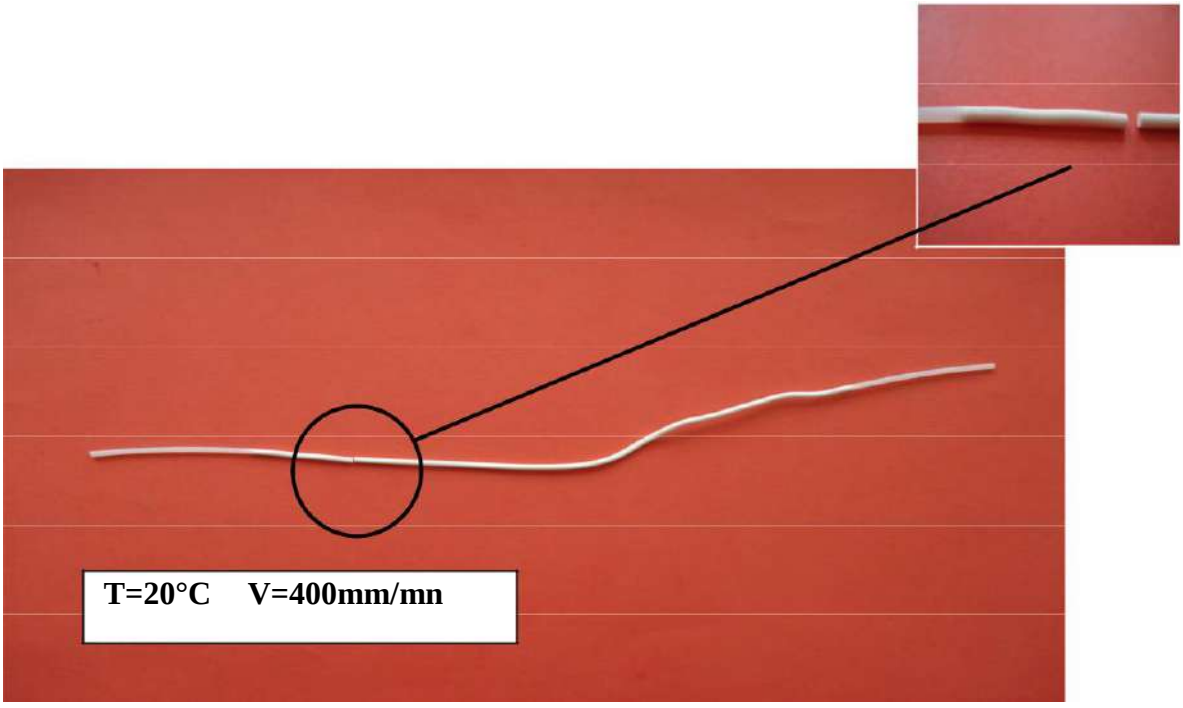
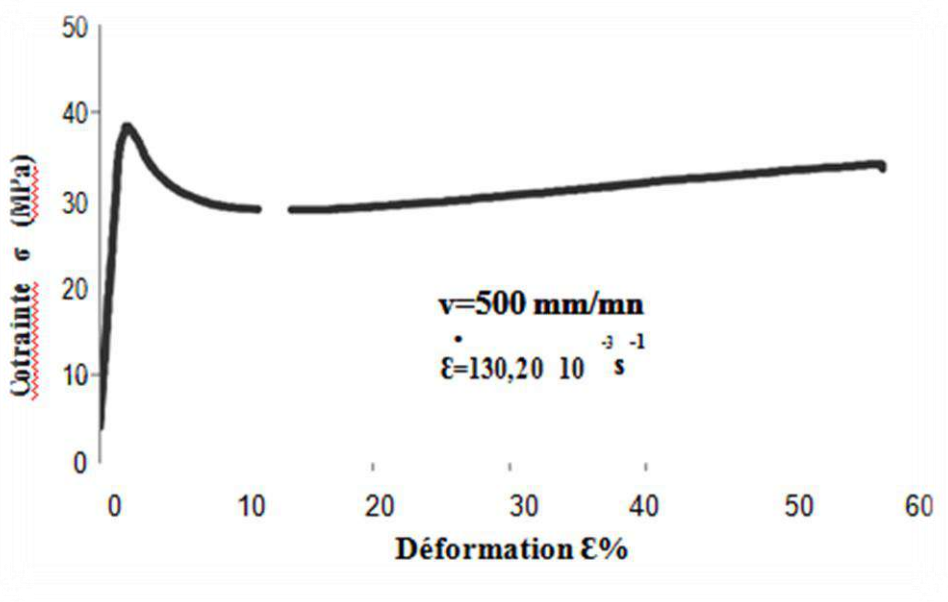


Figure IV-9 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 104,16.10-3 s-1:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

a)



b)

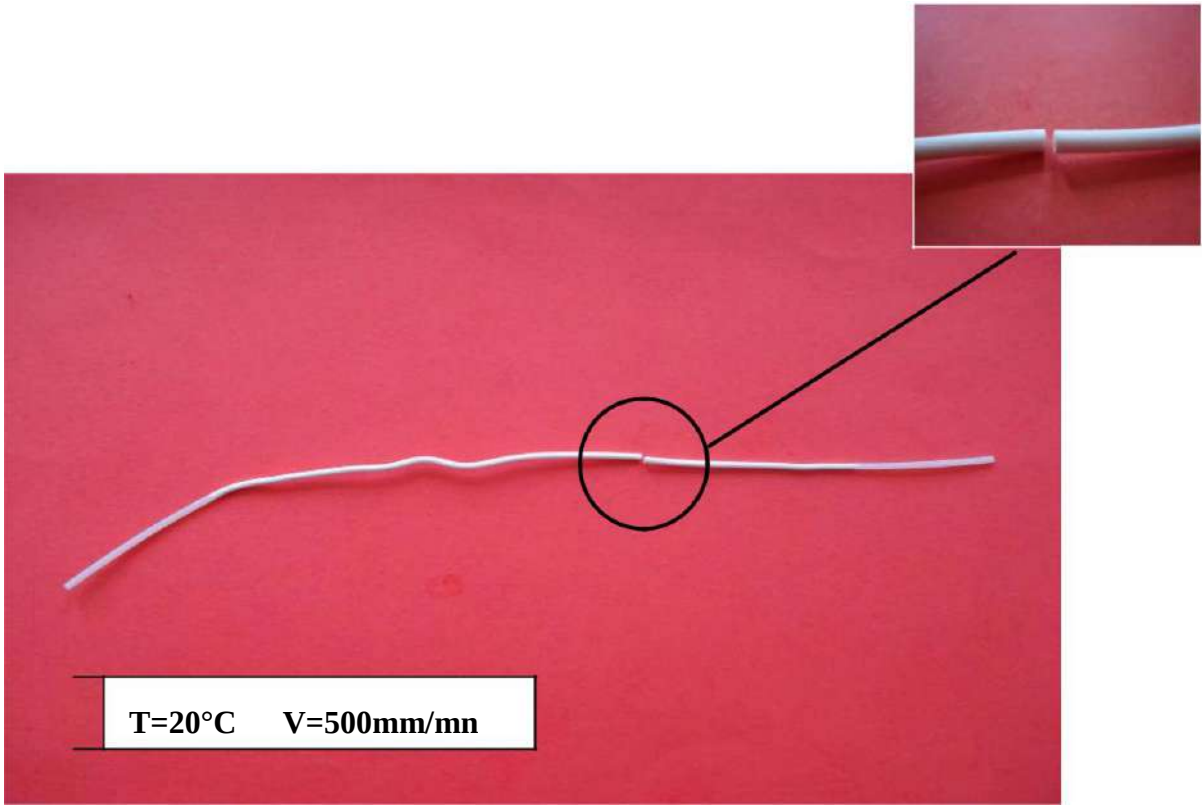
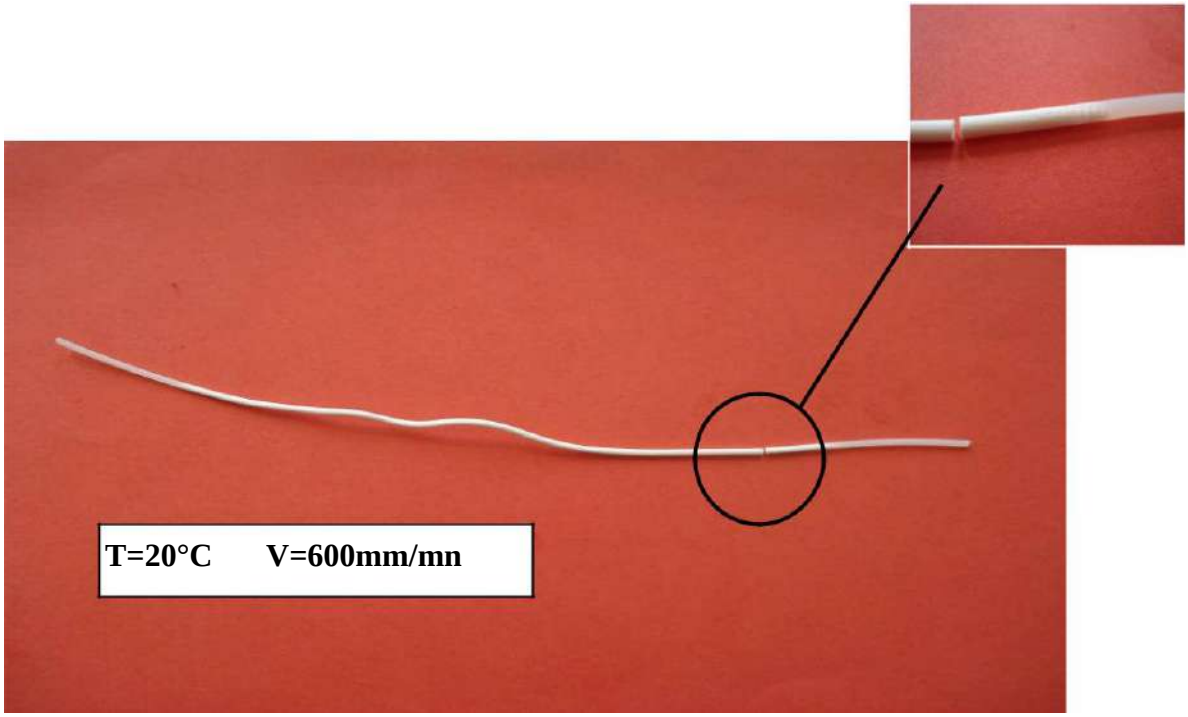


Figure IV-10 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 130,20.10-3s^{-1} a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

b)



Fifure IV-11 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à* $156{,}25.10^{-3}\ s^{-1}$ *: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

b)

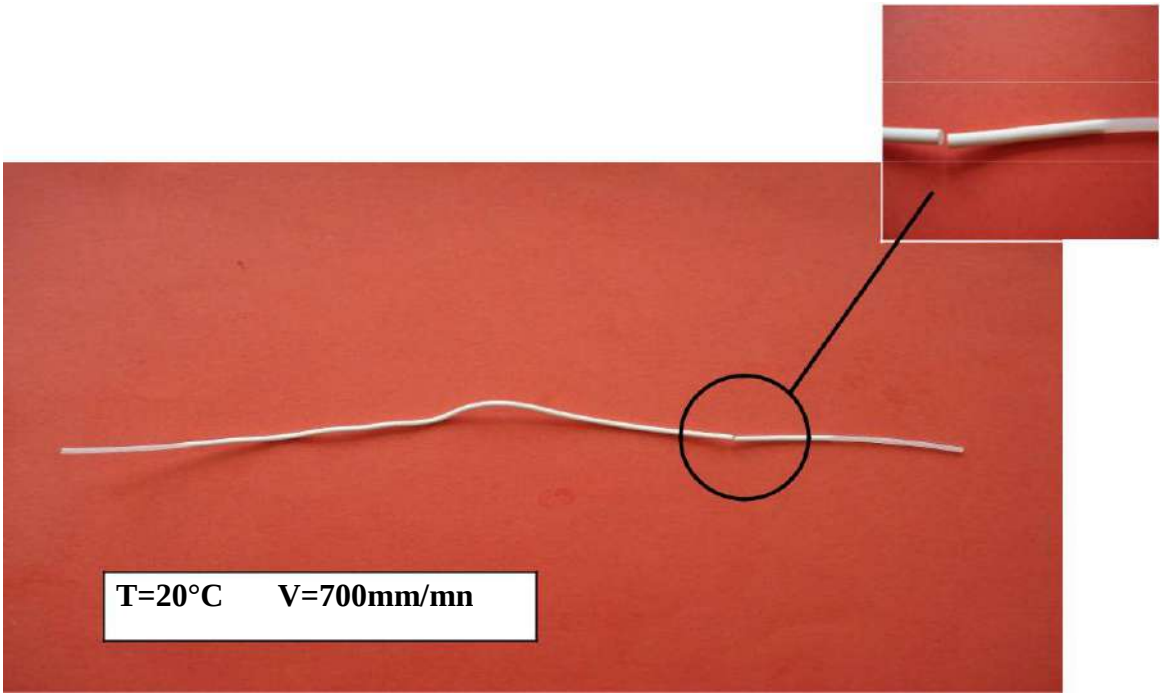
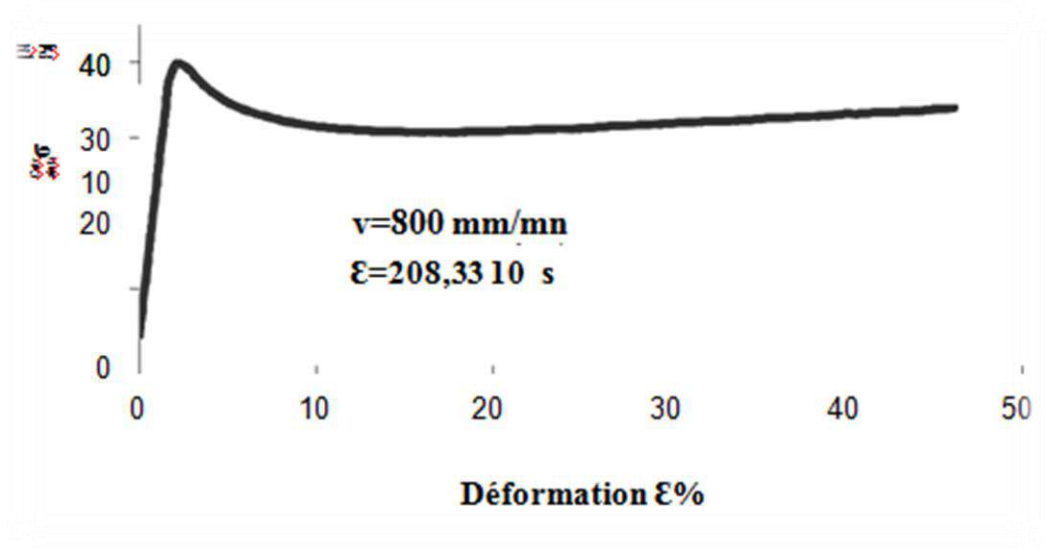


Figure IV-12 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 182,29.10-3s-1: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

a)



b)

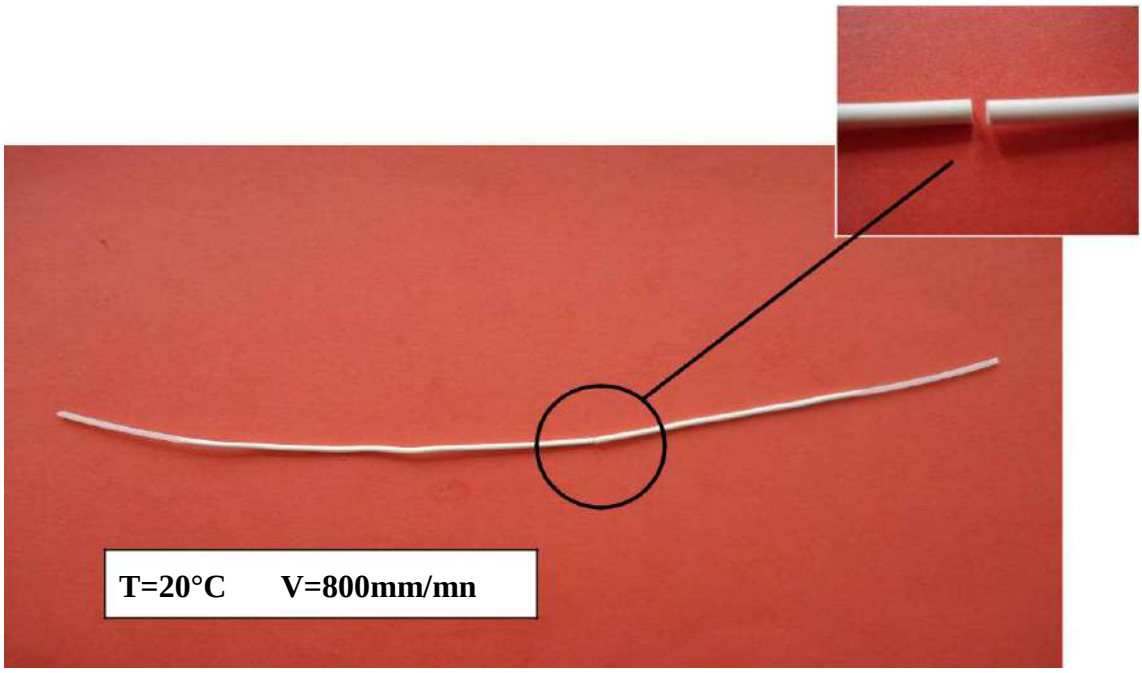
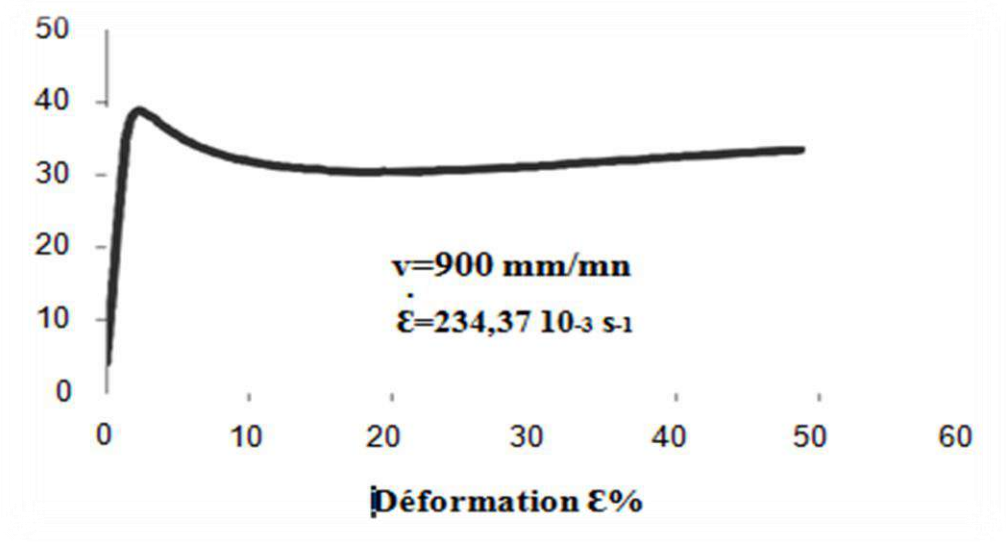


Figure IV-13 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 208,33.10-3s-1:* ***a)*** *courbe expérimentale de traction contrainte-déformation.* ***b)*** *photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

a)



b)

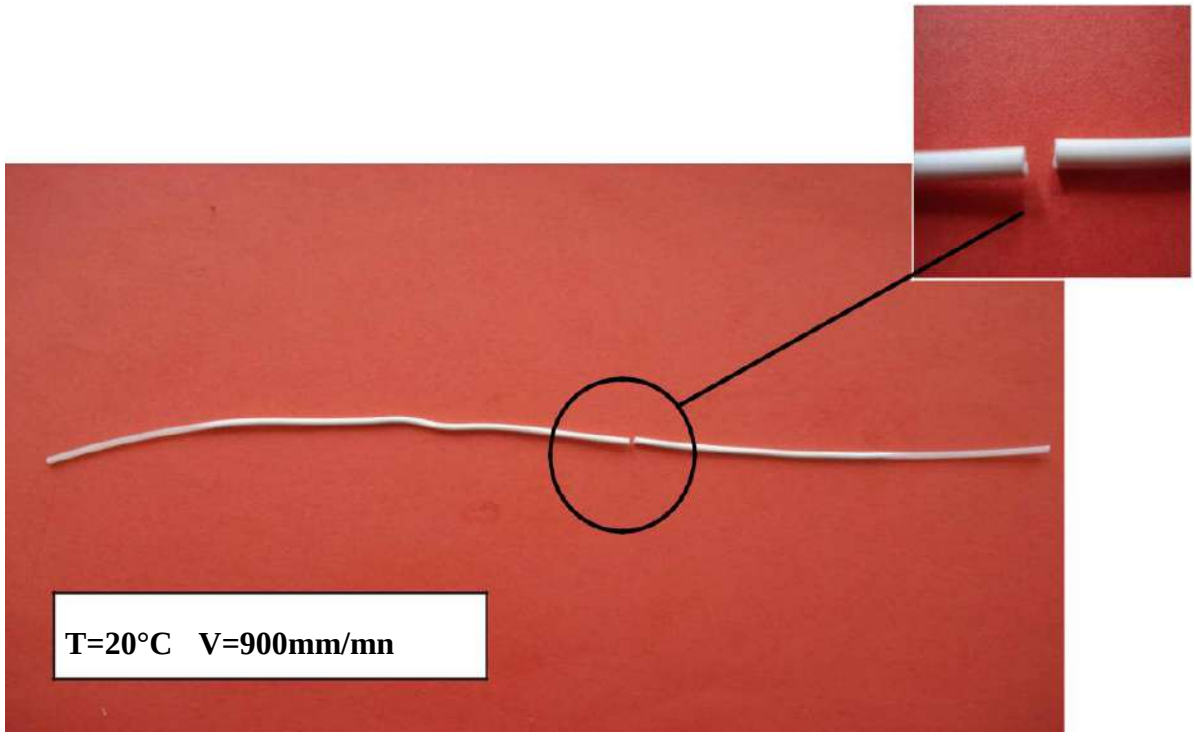
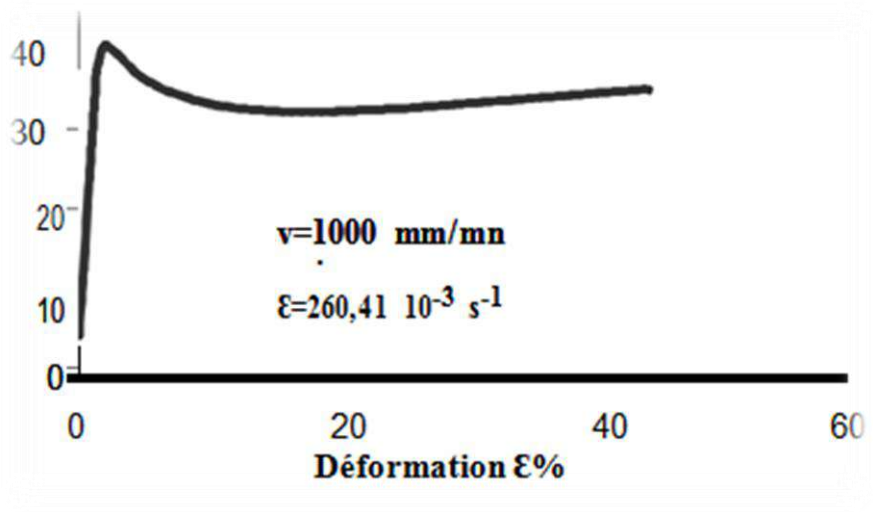


Figure IV-14 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 234,37.10-3 s-1: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

a)



b)

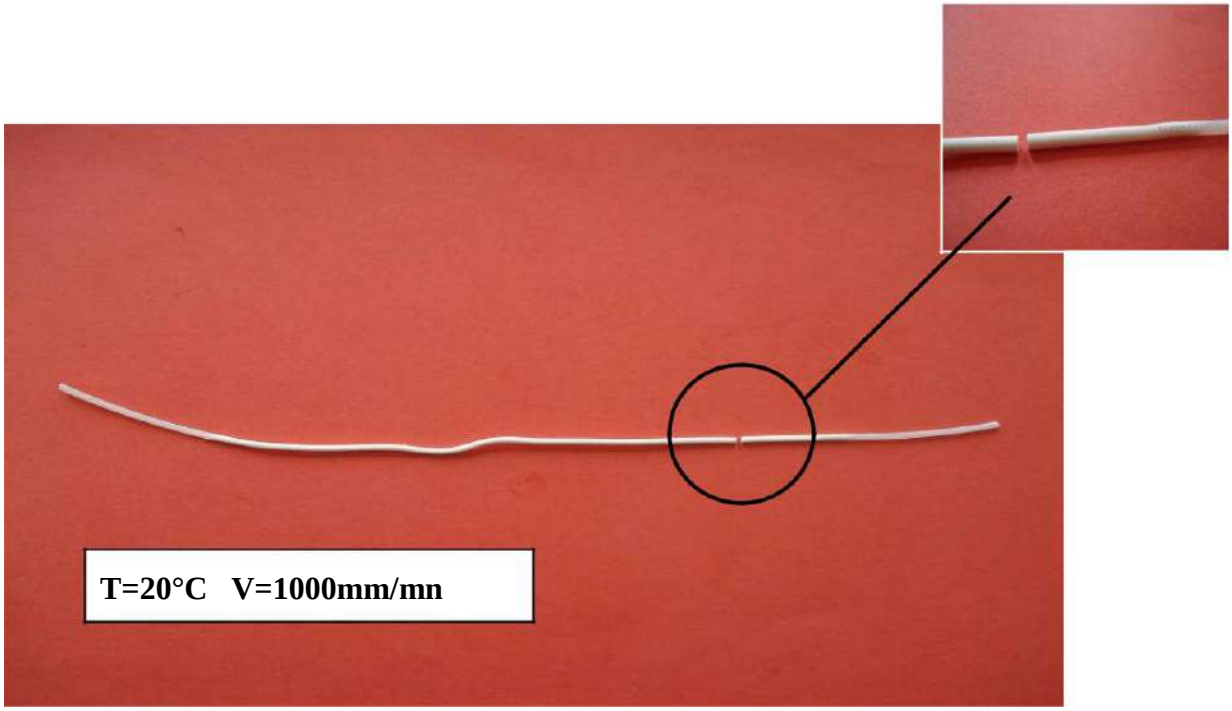


Figure IV-15 : *Comportement en traction d'un ABS à 20°C pour une vitesse de déformation égale à 260,41 .10-3 s-1: a) courbe expérimentale de traction contrainte-déformation. b) photo de l'éprouvette à la fin de l'expérience [26].*

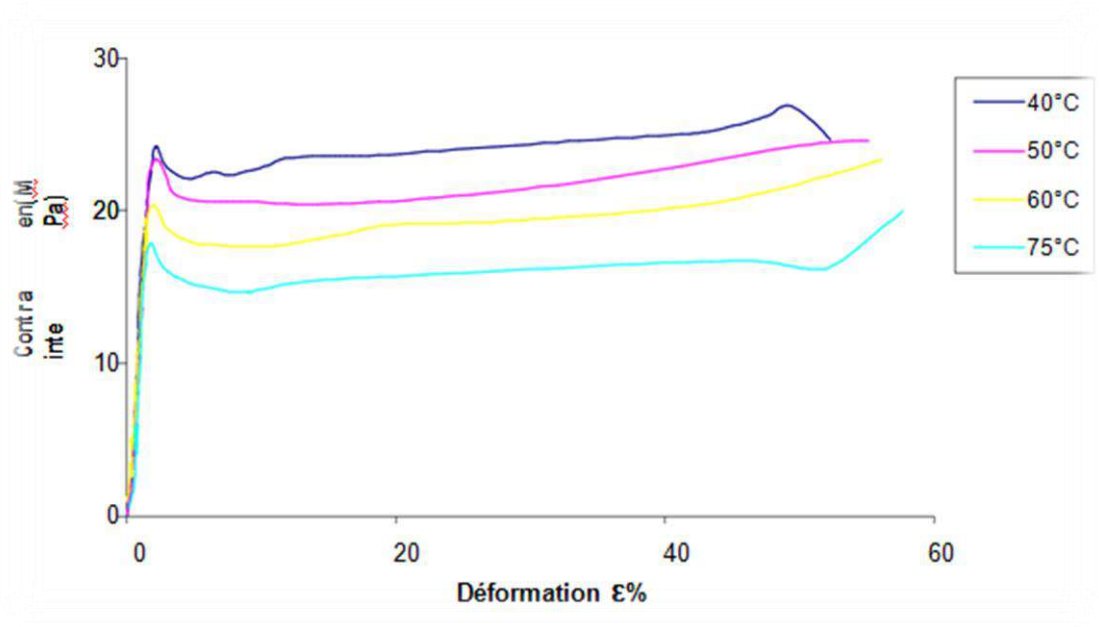


Figure IV-16 : *Comportement en traction de l'ABS entre 40°C et 75°C pour une vitesse de déformation constante* $\dot{\varepsilon} = 13{,}02.10^{-3}\ s^{-1}$ *[26].*

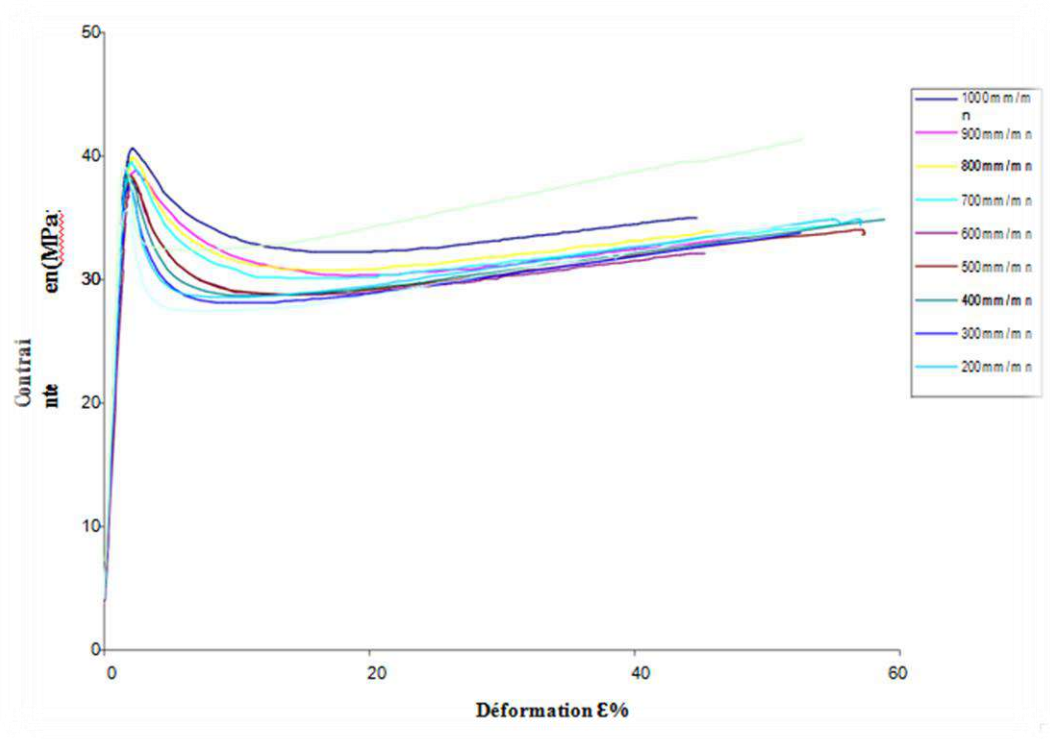


Figure IV-17 : *Comportement en traction de l'ABS à différentes vitesses de déformation entre 13,02.10-3 et 260,41.10-3 pour une température constante T=20°C [26].*

Les tableaux IV-1, IV-2 représentent respectivement des valeurs expérimentales des propriétés mécaniques de l'ABS sous l'influence de la température T et la vitesse de déformation ε .

Numéro de l'éprouvette	**T (°C)**	**R_e (MPa)**	**R_m (MPa)**	**E (MPa)**	**R_p (MPa)**
1	40	21,91	24,19	15,75	24,63
2	50	20,07	23,38	13,50	24,3
3	60	17,94	20,35	12,48	23,59
4	75	16,03	17,86	12,3	19,96

Tableau IV-1 : différentes valeurs expérimentales des propriétés mécaniques des quatre éprouvettes (Influence de la température, vitesse de déformation constante ε̇=13,02.10-3s-1) [26].

Numéro de l'éprouvette	**$\dot{\varepsilon}$ (s^{-1})**	**R_e (MPa)**	**R_m (MPa)**	**E (MPa)**	**R_p (MPa)**
1	$13{,}02.10^{-3}$	35,19	40,60	26,52	41.29
2	$26{,}04.\ 10^{-3}$	37,68	38,5	23,89	35.76
3	$52{,}08.10^{-3}$	38,11	38,98	22,21	34.87
4	$78{,}12.10^{-3}$	37,58	39,24	21,17	33.77
5	$104{,}16.10^{-3}$	38.48	37,95	21,65	34.86
6	$130{,}20.10^{-3}$	38.39	38,39	22,25	33.55
7	$156{,}25.10^{-3}$	37.95	38,48	19,35	32.13
8	$182{,}29.10^{-3}$	39.44	35,58	21,60	34.39
9	$208{,}33.10^{-3}$	39.87	38,11	20,45	33.91
10	$234{,}37.10^{-3}$	38.87	35,68	22,73	33.4
11	$260{,}41.10^{-3}$	40.60	39.19	31 ,16	34.98

Tableau IV-2 :différentes valeurs expérimentales des propriétés mécaniques des onze éprouvettes (Influence de la vitesse d'étirage, température constante T=20°C) [26].

T (°C) : température d'essai.

$\dot{\varepsilon}$ (s^{-1}) : vitesse de déformation.

R_e (MPa) : résistance à la limite élastique.

R_m (MPa) : Résistance à la traction.

E (MPa) : Module d'Young.

R_p (MPa) : Résistance à la rupture.

IV-2 Explication de l'effet de la température et de la vitesse de déformation sur le comportement mécanique de l'ABS :

Les matériaux d'une façon générale ont un phénomène d'absorption d'énergie lors de la traction. La capacité d'absorption d'énergie d'un corps est définie comme l'énergie à fournir pour provoquer sa rupture. Cette énergie peut être déterminée par intégration à partir de l'aire sous la courbe contrainte-allongement correspondante jusqu'au point de rupture. Rapportée à la section nommée ou au volume de l'éprouvette étudié. Elle est souvent définie comme la ténacité du matériau.

Une aire large sous la courbe contrainte-déformation est équivalente à une capacité d'absorption mécanique élevée, contrairement pour une aire étroite, la capacité d'absorption mécanique est faible.

Le comportement spécifique des polymères est lié au fait que les macromolécules ne réagissent pas toujours instantanément à l'application d'une sollicitation. Les différentes chaines moléculaires consécutives tentent de repartir les contraintes imposées se réarrangeant physiquement jusqu'à atteindre une position d'équilibre. Si la sollicitation appliquée est trop rapide par rapport à la capacité de réarrangement des molécules, les matériaux polymères ont un comportement rigide et fragile, ceci est lié à l'incapacité des macromolécules à se réarranger dans un intervalle de temps adéquat. Dans le cas contraire, si la sollicitation est lente ; les mêmes matériaux présentent un comportement ductile est souple, en raison du temps suffisant permettant aux chaines moléculaires d'atteindre une position d'équilibre correspondant aux contraintes subies.

Ainsi, les polymères présentent un comportement fragile pour une basse température et un comportement ductile s'ils sont soumis à une température élevée. Une élévation de la température rompt la chaine du polymère et augmente les mouvements des vibrations d'atomes ; ceci facilite les processus de réarrangement moléculaire pour avoir une position d'équilibre lors de traction.

Alors pour une même application, les matériaux polymères peuvent donc se comporter de façon fragile ou ductile et ce, selon les conditions des températures et des vitesses de déformation.

Pour cette étude, l'ABS a été soumis a la traction, sous l'influence de la température dans le domaine entre 40°C et 60°C et la vitesse de déformation de $0{,}78.10^{-3}\ s^{-1}$ à $15{,}62\ .10^{-3}\ s^{-1}$.

Le matériau a montré un comportement de choc sous l'effet de la température la plus faible T_{min}= 40°C. Les valeurs de module d'Young E, résistance de la traction R_m et résistance à la limite élastique R_e ont été les plus élevées par rapport à celles des autres éprouvettes qui ont été soumises à la traction sous l'influence des températures plus élevées (tableau IV-1) Ainsi le matériau a présenté un autre comportement de choc pour une vitesse de déformation élevée.

Conclusion générale

L'objectif principale de ce travail est basé sur la réalisation d'un filament en ABS par extrusion pour l'utilisation dans les imprimantes 3D et de faire des essais expérimentaux sur le produit ainsi réalisé pour connaître ses caractéristiques mécanique.

La réalisation est basé sur deux facteurs : la température et la vitesse d'extrusion.

Les essais expérimentaux reposaient sur deux paramètres comme variable : la température et la vitesse de déformation

En perspective ce travail aurait pu être étoffé si :

- On complété la caractérisation par des essais de traction et compression pour revoir les propriétés mécaniques des fils réalisés
- On a fait des investigations sur l'utilisation de la matières plastique ABS recyclée et broyée, pour la réalisation du filament désiré avec des gains économiques et environnementales.

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

Références bibliographiques

[1] **livre blanc du chlore** – novembre 2006 P3.6-1.

[2] **IPEC** et **RECYC-QUEBEC** .Comprendre les facteurs cl2s de la valorisation des matières plastiques résiduelles .Septembre 2001.

[3] Gironi, F. et Piemonte, V. (2011). Bioplastics and petroleum-based plastics: Strengths and

a. weaknesses. ‑*Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*,

b. *33*(21), 1949 1959. Repéré à
c. http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030903436830

[4] Hammami, T. et Louati, H. (2016). *Introduction et généralités sur les matières plastiques*. Repéré https://www.technologuepro.com/cours-procedes-mise-en-forme-matieres-plastiques/chapitre-1-introduction-generalites-sur-matieres-plastiques.pdf

[5] National Academy of Sciences. (1994). *Polymer science and engineering: The shifting research frontiers*. Washington, DC: National Academies Press. Repéré à http://www.nap.edu/catalog/2307

[6] Mark, J. E. (2009). *Polymer data handbook* (2e éd.). Oxford, England: Oxford University Press.

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

[8] **DALY L. E**. (1948), US. Pat. 2435202. Assigned to United States Rubber Co.

[9] Yu, Z., Li, Y., Zhao, Z., Wang, C., Yang, J., Zhang, C., … Wang, Y. (2009). Effect of rubber types on

d. synthesis, morphology,‑ and properties of ABS resins. *Polymer Engineering & Science*, *49*(11), 2249 2256. Repéré à http://doi.wiley.com/10.1002/pen.21475

[10] Guo, Q. et Crittenden, J. C. (2011). An energy analysis of polylactic acid (PLA) produced from corn grain and corn stover integrated system. Dans *Proceedings of the ‑2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology* (p. 1 5). Repéré à https://ieeexplore.ieee.org/document/5936897

[11] Castro-Aguirre, E., Iñiguez-Franco, F., Samsudin, H., Fang, X. et Auras, R. (2016). Poly(lactic
- *a.* acid)—Mass production, processing,‑ industrial applications, and end of life. *Advanced*
- b. *Drug Delivery Reviews*, *107*, 333 366. Repéré à
  - i. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169409X16300965

[12] Anum Laate, E. (2016). *Industrial hemp seed production costs and returns in Alberta, 2015*.
- a. Alberta Agriculture and Forestry. Repéré à
- b. https://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/econ16267/$FILE/2015Ind
- c. ustrialHempCOP.pdf

[13] Glynwed. (2008). *Le polyéthylène*. Repéré à http://www.aliaxis-ui.fr/Docs/Documents/PUSH-FAST_dossier.pdf

[14] Maddah, A. H. (2016). Polypropylene as a promising plastic: A review. *American Journal of*
- a. *Polymer Science*, *6*(1), 1-11. Repéré à
- b. http://article.sapub.org/10.5923.j.ajps.20160601.01.html

[15] Schimanski, T. (2002). *High-performance polypropylene structures for eco-friendly, fully recyclable composites*. Technische Universiteit Eindhoven. doi:10.6100/ir555619

[16] **J.M Cowie**, s Polymer Chemistry and physics of modern Material, Blackie, 1991.

[17] **P. Kiekens** Thermoplastic polymers: overview of several properties and their consequences in flax fibre reinforced composites Polymer Testing, Volume 20, , 2001, Pages 885-893 K. Van de Velde, P. Kiekens.

[18] thèse de magistère **,** par **M.Boulkra** , Détermination de la loi de comportement effective du polyéthylène téréphtalate par les algorithmes génétiques, Annaba, 2008

[19] Matériaux polymères structure, propriétés et applications par **Gottfried W Ehrenstein** et **Fabienne Montagne** édition HERMES science Publication paris 2000.

[20] Plastiques et Caoutchoucs magazine numéro hors série, 01/2008, p.38.

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

[22] PolyCraft World. (2015). Acrylonitrile-butadiene-styrene pellets. Repéré à https://polycraft.utdallas.edu/index.php?title=Sack_(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene_Pellets)

[23] Palmer, K. M. (2015, 7 juillet). Sorry, but the perfect Lego brick may never be eco-friendly. *Wired*. Repéré à https://www.wired.com/2015/07/sorry-perfect-lego-brick-may-never-eco-friendly/

[24] Wibowo, A. C., Mohanty, A. K., Misra, M. et Drzal, L. T. (2004). Chopped industrial hemp fiber

a. reinforced cellulosic plastic biocomposites: Thermomechanical and morphological
b. properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *43*(16), 4883 4888. Repéré à
c. http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie030873c

[25] Wibowo, A. C., Desai, S. M., Mohanty, A. K., Drzal, L. T. et Misra, M. (2006). A solvent free graft copolymerization of maleic anhydride onto cellulose acetate butyrate bioplastic by reactive extrusion. *Macromolecular Materials and Engineering*, *291*(1), 90-95. Repéré à http://doi.wiley.com/10.1002/mame.200500171

[26] Thèse de magister, par Houria LADJABI, étude expérimentale du comportement mécanique des polymères, Annaba, 2011

[27] fiche technique, RESINE EX58F, SABIC Arabie saoudite