



BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY جامعة باجي مختار عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

### INTITULE

**Caractérisation d'un TD fibres de verre et résine  
acrylique pour réalisation de prothèses pour  
handicapés**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MECANIQUE DES MATERIAUX

PRESENTE PAR : ALOUI DALILA

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Dr MENAIL YOUNES

### DEVANT LE JURY

PRESIDENT:	Mr HAMADACHEH.Pr	UNIVERSITE D'ANNABA
EXAMINATEURS :	Mme ZEMMOURIZ.Pr	UNIVERSITE D'ANNABA
	Mr MENAILY.MCB	UNIVERSITE D'ANNABA
	MrBOUSSAID.OMCA	UNIVERSITE D'ANNABA
	MrTOUATI. R MAA	UNIVERSITE D'ANNABA

Année : 2015/2016

## *Remerciements*

*Je remercie Dieu qui m'a donné l'occasion, l'inspiration et le courage d'atteindre mon but et de réaliser ce travail.*

*Ensuite, pour ce qui a trait au long déroulement de cette recherche, je ne peux pas manquer de remercier très vivement en premier lieu le Dr. Menail Younès, directeur de ce mémoire, pour son encadrement, sa compréhension et son soutien.*

*Mes remerciements vont également aux responsables de l'ONAAAPH : Monsieur Allèle Fouad, Président Directeur Général, de m'avoir accepté au sein de son entreprise, Monsieur Boudiaf Sofiane, directeur général de la société et je remercie également Madame Guinadil moniya, kinésithérapeute pour son accueil chaleureux et sa disponibilité.*

*Je tiens aussi à remercier mademoiselle Siham du laboratoire d'essais mécaniques du département de métallurgie au bloc E de l'Université d'Annaba. Sans oublier les enseignants, personnels technique et administratif et les étudiants du département de Génie Mécanique pour leur collaboration et leur compréhension ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent de près ou de loin, je leur exprime ma reconnaissance et je leur offre ce travail.*

*Aloui Dalila*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à ma famille pour son aide et sa compréhension.*

*Et surtout à ma sœur Salma.*

*Comme je le dédie à toutes mes camarades Moufida et Khaulia  
Et spécialement à mon amie Bouchareb Soumia mon amie d'études.*

*Je le dédie spécialement à mon fiancé Ahmed qui m'a été d'une aide  
Psychique pour cette année.*

## RESUME

Le présent travail est le fruit de plusieurs années de formation à l'université d'Annaba, d'un stage pratique au sein de l'entreprise d'orthopédie ONAAPH d'Annaba, de plusieurs essais mécaniques et microscopiques au sein d'entreprises et de départements de l'université d'Annaba et de plusieurs mois de préparations et d'interprétation des résultats.

Pour cela nous avons réalisé des éprouvettes en matériaux composites fibres de verre, de perlon et résine acrylique au sein de l'ONAAPH. Puis nous les avons découpés et préparées au niveau du département du Génie Mécanique de l'université d'Annaba, de l'entreprise Polymed de Skikda, de l'entreprise Alpha Pipe Annaba. Les essais mécaniques (traction, résilience et dureté) ont été réalisés au sein du département de métallurgie au bloc E. Et enfin le suivi par microscopie électronique a été réalisé au sein de l'Ecole Nationale Supérieure de Mines et Métallurgie ENSMM d'Annaba.

Nous avons réalisé deux types d'éprouvettes, des éprouvettes parallélépipédiques (200, 20 et 5) mm<sup>3</sup> pour les essais de traction et des éprouvettes (90, 20 et 5) mm<sup>3</sup> avec entaille centrale 2mm et 45° pour les essais de choc.

Les essais de traction ont été réalisés sur une universelle avec une vitesse de 1 mm/min. Les essais de choc ont été réalisés sur un mouton pendule de Charpy et les essais de dureté ont été menés sur une machine à essais Brinell.

Les résultats obtenus ont été traités par Excel et les simulations par le logiciel Abacus. Les résultats de tractions montrent une similitude entre les différentes courbes malgré la forte hétérogénéité des matériaux des éprouvettes. Les résultats de la simulation sont proches de ceux obtenus sur machines. Quant aux essais de dureté, ils montrent une faiblesse des matériaux aux zones de rupture.

Les résultats de la microscopie électronique ont montré une morphologie très hétérogène avec des décohésions et des délaminages.

Ses résultats sont le fruit de la nature des fibres de verre et surtout de la technique de moulage.

## ملخص

هذا العمل هو نتيجة سنوات من التدريب في جامعة عنابة، من التدريب العملي في الشركة ONAAPH عنابة (الديوان الوطني للاعضاء الاصطناعية و ملحقاتها للمعاقين) ,العديد من الاختبارات الميكانيكية والمجهريّة في الشركات و أقسام جامعة عنابة و عدة أشهر من التحضيرات و تفسير النتائج.

لهذا أجرينا قطع الألياف الزجاجية المركبة، ألياف قطنية و ريزين أكريليك في ONAAPH. ثم أجرينا قطع وتحضير في قسم الهندسة الميكانيكية في جامعة عنابة، الشركة POLYMED سكيكدة، شركة ألفا الأنابيب عنابة. تحققت الاختبارات الميكانيكية (الشد، الصلابة والمرونة) في قسم التعدين في قسم E. وأخيرا تم إجراء رصد بالمجهر الإلكتروني داخل المدرسة الوطنية للمناجم وتعدين ENSMM عنابة.

أجرينا نوعين من القطع، قطع مستطيلة ( 200, 20, و 5 ) مم لاختبارات الشد , و قطع ( 90, 20, و 5 ) مم مع الشق المركزية 2مم في 45 درجة لاختبارات التصادم.

أجريت اختبارات الشد على عالمية مع سرعة 1 مم / دقيقة. تم إجراء اختبارات التصادم على شاربي البندول ووأجرت اختبارات الصلابة على آلة الاختبار برينل. تم تجهيز النتائج بواسطة المجدول والمحاكاة ببرنامج اباكوس. عرض النتائج يبين التشابه بين المنحنيات المختلفة على الرغم من عدم تجانس مواد العينات. نتائج المحاكاة هي قريبة لتلك التي حصلت على الآلات. أما بالنسبة للاختبارات الصلابة، فإنها تظهر ضعف المواد في مناطق الانكسار. هذه النتائج هي ثمرة طبيعة الألياف الزجاجية وخصوصا تقنية القولية.

## Abstract

This work is the result of years of training at the University of Annaba, from a practical internship in the company orthopedic ONAAPH Annaba, several mechanical and microscopic tests in companies and University departments of Annaba and several months of preparations and interpreting results.

For this we performed pieces composite fiberglass, Perlon and acrylic resin in the ONAAPH. Then we have cut and prepared them at the Mechanical Engineering Department of the University of Annaba, the company Polymed Skikda, company Alpha Pipe Annaba. Mechanical tests (tensile, hardness and resilience) were realized in the metallurgy department at block E. Finally the electron microscopy monitoring was conducted within the National School of Mines and Metallurgy ENSMM Annaba.

We conducted two types of test tubes, rectangular tubes (200, 20 and 5) mm<sup>3</sup> for tensile tests and test pieces (90, 20 and 5) mm<sup>3</sup> with 2mm central notch 45 ° for the impact tests. The tensile tests were conducted on a universal with a speed of 1 mm / min. Impact tests were performed on a Charpy pendulum and hardness tests were conducted on a Brinell testing machine.

The results were processed by Excel and simulations by the Abacus software. The results show pulls a similarity between the different curves despite the high heterogeneity of materials specimens. The simulation results are close to those obtained on machines. As for the hardness tests, they show weakness materials to rupture zones.

The results of electron microscopy showed a very heterogeneous morphology with debonding and delaminations.

Its results are due to the nature of glass fibers and especially of the molding.

# Sommaire

Remerciements	
Résumés	
Introduction générale	

## Chapitre I : L'entreprise ONAAPH

I.1 Historique	1.
I.2 Représentation de l'entreprise	2.
I.3 Définitions de l'handicap	3.
I.4.1 Les orthèses	3.
I.4.1.1 Orthèse du membre inférieur	3.
I.4.1.2 Orthèse du membre supérieur	4.
I.4.1.3 Orthèse du tronc	4.
I.4.1.4 Attelle du membre inférieur	4.
I.4.2 Les prothèses	5.
I.4.2.1 Prothèse des membres supérieurs	5.
I.4.2.2 Prothèses des membres inférieurs	5.

## Chapitre II : Etude bibliographique

II.1 Introduction	9.
II.2 Définition générale d'un matériau composite	9.
II.3 Différents constituants d'un matériau composite	10.
II.4 Matrices	10.
□ Résines thermodurcissables	11
II.5 Les renforts	11
□ Fibre de verre	12
II.6 Structures composites stratifiées	15.
1.6.1 Désignation des structures stratifiées	16.
1.6.2 Désignation des structures sandwiches	17.
II.7 Les charge	17.
II.8 Additifs spécifiques	18.
II.9 Mise en œuvre des composites	18.

## Chapitre III : Réalisation des éprouvettes en fibres de verre et résine acrylique

III.1 Matériaux	19.
III.1.1 Moulage sous vide	19.
III.1.2 Les constituants de base	20.
III.1.2.1 Perlone	20.
III.1.2.2 Tissu de verre	21.
III.1.2.3 Résine	22.
III.1.2.3 Additifs	22.
III.2 Réalisation des éprouvettes	23.
III.2.1 Moule à base de bois	23.

III.2.2 Préparation de la feuille (PVA) du moule : .....	23.
III.2.3 Mise en place des différentes couches de tissus (verre et perlon) .....	24
<b>non défini.</b>	
III.2.4 Pompe à vide.....	24.
III.2.5 Coulage de l'emboîture de l'éprouvette.....	25.
III.2.6 Découpe des éprouvettes.....	26.
III.2.7 Perçage des éprouvettes de traction.....	27

## Chapitre IV : Essais mécaniques et discussions

IV.1.1 Essai de traction .....	28.
IV.1.1.1 Objectif .....	28.
IV.1.1.2 Principe .....	28.
IV.1.1.3 l'éprouvette .....	29.
IV.1.1.4 La machine de traction.....	30.
IV.1.2 Résultats des essais de traction .....	31.
IV.1.2.1 Résultats d'essais de traction pour éprouvettes sans trou.....	31
.	
IV.1.2.2 Résultats d'essais de traction pour éprouvette avec trou .....	32
.	
IV.1.3. Résultats des l'éprouvettes en Abaqus CAE et essai de traction .....	34
.	
IV.1.3.1 l'éprouvette N°1 sans trou .....	34.
IV.1.3.2 l'éprouvette N°5 avec trou.....	35.
IV.2.1 L'essai de choc.....	40.
VI.2.1.2 Machine de choc .....	41.
IV.2.1.3 l'éprouvette .....	42.
IV.2.1.4 Dimensions des éprouvettes de choc .....	42.
IV.2.2 Résultats des essais de choc.....	43.
IV.3.1 Essais de dureté .....	45.
IV.3.1.1 Essai Brinell (HB).....	45.
IV.3.1.2 La machine.....	45.
IV.3.2 Résultats de dureté .....	47.
IV.3.2.1 Résultats de dureté après traction sur éprouvette sans trou .....	47
<b>défini.</b>	
IV.3.2.2 Résultats de dureté traction pour éprouvette N°6 avec trou .....	47
.	
IV.3.2.3 Résultats de la dureté le choc pour éprouvette N°5.....	47.
IV.4 Microscopie électronique .....	48.
IV.4.1 Microscopie après tronçonnage.....	49.
IV.4.2 Microscopie après traction .....	50.
IV.4.3 Microscopie après perçage .....	52.

Conclusion générale  
Bibliographique

## Liste de figures

### Chapitre I

Figure I.1 : Orthèse cruro-pédieuse .....	3
Figure I.2 : Orthèse bras.....	4
Figure I.3 : Corset de maintien monovalv.....	4
Figure I.4 : Attelle palmaire.....	4
Figure I.5 : Prothèses internes.....	5
Figure I.6 : Prothèses passive pour désarticulation d'épaule.....	5
Figure I.7 : Différentes prothèses des membres inférieurs.....	6
Figure I.8 : Etapes de fabrication des prothèses.....	8

### Chapitre II

Figure II.1: Différents constituants d'un matériau composite.....	10
Figure II.2 : Différentes familles de matrice.....	10
Figure II.3 : Diverses formes et origines de renfort.....	11
Figure II.4 : Fibre de verre.....	12
Figure II.5 : Différents types de fibre de verre.....	13
Figure II.6 : Orientation des fibres.....	14
Figure II.7 : Présentation d'un roving.....	14
Figure II.8 : Présentation schématique d'une chaîne et trame.....	14
Figure II.9 : Classement des tissus.....	15
Figure II.10 : Principaux types de mats.....	15
Figure II.11 : Stratifié constitué de couches parfaitement liées.....	15
Figure II.12 : Désignations du stratifié.....	16
Figure II.13 : Désignations d'une âme nid d'abeilles.....	17

Figure II.14 : Processus général du moulage.....	18
--------------------------------------------------	----

### Chapitre III

Figure III.1 : Tissu de perlon.....	20
Figure III.2 : Microscopie de tissu de perlon agrandissement de 10 <sup>4</sup> .....	20
Figure III.3 : Tissu de verre.....	21
Figure III.4 : Microscopie de tissu de verre (agrandissement de 10 <sup>4</sup> ).....	21
Figure III.5 : Résine acrylique.....	22
Figure III.6 : La feuille.....	22
Figure III.7 : Durcisseur.....	23
Figure III.8 : Moule en bois.....	23
Figure III.9 : Préparation de la feuille (PVA) du moule.....	23
Figure III.10 : Mise en place des différentes couches de tissus (verre et perlon).....	24
Figure III.11 : Pompe à vide reliée au moule.....	24
Figure III.12 : Coulage de l'émboiture.....	25
Figure III.13 : La plaque dans le four.....	25
Figure III.14 : Découpe des éprouvettes de traction et de choc.....	26
Figure III.1 : Perçage l'éprouvette.....	27

### Chapitre IV

Figure IV.1 : Courbe de traction.....	28
Figure IV. 2 a : Dimensions de l'éprouvette de traction.....	29
Figure IV. 2 b : Eprouvettes avec trou et sans trou.....	29
Figure IV. 3 : La machine de traction Zwick /Roell/Z050.....	30
Figure IV.4 : l'éprouvets sans trou en traction.....	31
Figure IV.5 : Courbes contrainte allongement des éprouvettes 1,2 et 3.....	31
Figure IV.6 : Eprouvettes avec trou avant et après rupture.....	32
Figure IV.7 : Courbes contrainte déformation des éprouvettes avec trou 5,6 et 7.....	32
Figure IV.8 : L'éprouvette N°1 avant et après traction.....	34
Figure IV. 9 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N° 1.....	34
Figure IV. 10 : Contraintes l'éprouvette N°1.....	35
Figure IV. 11 : Déformation l'éprouvette N°1.....	35
Figure IV. 12 : l'éprouvette N° 1 sur labqus avant la rupture.....	35
Figure IV. 13 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N° 1 en simulation.....	36
Figure IV. 14 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N°1 en simulation et en traction...36	
Figure IV.15 : L'éprouvette N°5 avant et après traction.....	37
Figure IV.16 : Courbe de traction sur machine.....	37
Figure IV. 17 : Contraint l'éprouvette N°5.....	38
Figure IV. 18 : Déformation l'éprouvette N°5.....	38
Figure IV. 19 : l'éprouvette N° 5 sur abaqus Avant la rupture.....	38
Figure IV. 20 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N° 5 en simulation.....	39
Figure IV. 21 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N°5 en simulation et en traction...39	
Figure IV. 22 : Principe de l'essai de résilience utilisant un mouton-Charpy.....	40
Figure IV. 23 : Machine de choc.....	41
Figure IV.24 : Dimensions de l'éprouvette de choc.....	42
Figure IV.25 : Eprouvettes de choc.....	43
Figure IV.26 : Courbe énergie éprouvette N° 1, 2, 3,4 et 5.....	44
Figure IV. 27 : Principe de l'essai de dureté BRINELL.....	45
Figure IV. 28 : La machine de durée.....	46
Figure IV. 29 : Etude microscopique des éprouvettes.....	48

Figure IV.30 : Face tronçonnée (a), (b) et (c).....	50
Figure IV.31 : Effets de la traction (d), (e) et (f).....	51
Figure IV.32 : Effets du perçage sur un matériau verre matrice acrylique (g) et (h).....	52

## Introduction générale

Aujourd'hui, le monde traverse de nombreuses crises, parmi elles les guerres et les conflits, le terrorisme et les conséquences du printemps arabe (El Rabia El Arabe). Ces crises ont causé de nombreux dégâts à des victimes innocentes. Elles ont perdu des organes irremplaçables tels que pied, main, jambe, etc.

L'Algérie occupe la première place au monde, à cause des accidents et du nombre d'handicapés qui en découle. L'ONAAPH a travaillé dur pour répondre aux besoins des blessés qui ont besoin de prothèses, pour subvenir aux membres déficients.

De nos jours, les matériaux composites trouvent de plus en plus d'application dans la réalisation de pièces structurales de dimensions diverses dans de nombreux secteurs industriels tels que l'aéronautique, la construction automobile, le nucléaire, le géniebiomédical...En effet dans ces domaines d'application le remplacement des matériaux métalliques par les composites est motivé par l'allègement des structures à propriétés mécaniques égales voir supérieures.

Depuis une trentaine d'années des efforts ont été déployés pour la fabrication et la caractérisation des matériaux composites à matrice organique (polyester, acrylique...etc.) et à fibres continues (verre, aramide, carbone, ...etc.). A l'heure actuelle, la difficulté de prévision de leur durée de vie limite leur utilisation. Une meilleure connaissance des différents mécanismes d'endommagement, qui conduisent à la ruine finale des matériaux composites et qui varient avec l'architecture du stratifié, s'avère alors nécessaire au cours du chargement.

Dans ce but nous avons formulé notre thème d'étude, à savoir :«Caractérisation des matériaux thermodurcissables pour la réalisation des prothèses pour handicapés ». Le travail proposé s'intéresse à l'étude théorique et expérimentale des matériaux composites stratifiés sollicités en traction et au choc.

Nous présenterons dans ce travail, une structure composée de plusieurs parties :

- Une étude bibliographique, qui contient les rubriques suivantes :
  - ✓ L'entreprise ONAAPH.
  - ✓ Généralité sur les composites.
  - ✓ Matériaux à usage orthopédique.
- Une deuxième partie expérimentale composée de :
  - ✓ Méthodologie expérimentale.
  - ✓ Résultats et discussion.

## **I.1 Historique :**

Les appareillages orthopédiques, étaient destinés dès l'indépendance de l'Algérie en 1962, à la prise en charge des victimes de la guerre de libération nationale au moyen d'ateliers mobiles (camions aménagés). Quant à la fabrication de ces appareillages, elle était à cette époque assurée par les établissements étrangers "Lebret", situés jadis à la place des martyrs (Alger). Après 50 ans d'indépendance, la prise en charge en appareillages profite actuellement à 250.000 patients, dont les bénéficiaires des appareillages orthopédiques et des aides techniques à la marche. Il s'agit notamment des personnes handicapées de naissance, les personnes atteints de la scoliose, les diabétiques, les victimes d'accidents de la circulation et de travail.

-Les personnes atomisées (qui ont subi une intervention chirurgicale qui consiste à créer une ouverture artificielle et nécessite utilisation des poches), sont parmi le nombre global de ces patients.

-Les appareillages destinés à l'ensemble de ces patients sont pris en charge par l'Office national de l'Appareillages et Accessoires pour personnes handicapées (ONAAPH).

-L'entreprise ONAAPH créée par décret n°88-27 du 09 février 1988, est un établissement public à caractère industriel et commercial disposant de plusieurs unités de fabrication et antennes polyvalentes implantées à travers le territoire national.

-L'office national d'appareillages et d'accessoires pour personnes handicapées est une entreprise spécialisée dans la fabrication, le développement, la promotion et la distribution des produits et moyens techniques et aides sanitaires sur mesure et de série relative aux affections de l'appareil locomoteur auditive, acuité visuelle et autres pathologies telles que les incontinences unitaires, colostomies et autres.

### **- Domaines d'activités :**

La mission de l'office, est la réalisation des objectifs ayant pour sujet, la rééducation, la réadaptation et la réinsertion des personnes handicapées. «Assurer la réalisation des appareillages et aides techniques à la marche pour personnes handicapées, organiser et assurer la maintenance des produits d'appareillage, aides techniques à la marches et accessoires et de participer à l'élaboration des normes en matière d'appareillages", figurent également parmi les missions de l'Office.

La deuxième activité stratégique de l'office porte sur la prise en charge en matière d'aides techniques à la marche, notamment les fauteuils roulants dont la production est 100% locale, en plus des voiturettes et des poussettes pour les enfants ayant une insuffisance motrice cérébrale (IMC).

### **- L'entreprise aujourd'hui :**

L'évolution de la voiturette est passée du démarrage à tirette durant les années 1990 au démarrage à moteur complètement rénové en 2012

L'ONAAPH assure également une prise en charge dans le domaine de l'audiologie, par l'importation de l'appareillage audio logique (aides auditives), pour la disponibilité de produits couvrant tous les types de surdités.

Par ailleurs, des négociations sont en cours entre l'ONAAPH et la sécurité sociale pour assurer des produits modernes beaucoup plus légers et souple qui pèseront entre 800g à 2 kg. En utilisant de nouveaux matériaux notamment la fibre en carbone, selon des responsables à l'Office. La production de ces nouveaux moyens s'inscrit dans le cadre du développement des capacités de production de l'ONAAPH et de l'intégration de nouvelles techniques de fabrication dans le processus d'appareillage conformément aux orientations stratégiques de l'Etat pour faire face à la mondialisation".

Assurer la "disponibilité" du produit pour une "prise en charge immédiate" et "plus correcte" des personnes handicapées, représentait également parmi les objectifs.

L'intégration de nouvelles technologies dans la conception, la fabrication et le réglage des appareillages orthopédiques a été un défi relevé pour une meilleure insertion des assurés sociaux particulièrement les personnes handicapées, dans la vie sociale.

## **I.2 Représentation de l'entreprise :**

L'office national d'appareillages et d'accessoires pour personnes handicapés est une entreprise spécialisée dans la fabrication .le développement. La promotion et la distribution des produits et moyens techniques et aides sanitaires sur mesure et de série relative aux affections de l'appareil locomoteur auditive ; acuité visuelle et autres pathologies telles que les incontinences urinaires ; colos-tomies et autres.

Cette gamme très variée de produits prothétique et orthopédique destinée à supplée une déficience, corriger une déformation et remplacer un segment absent de l'appareil locomoteur obéit à des critères de prescription.

-l'état de santé du patient le poids du patient.

-l'activité du patient

-l'environnement du patient.

Et enfin son degré d'acceptations. L'industrie orthopédique aujourd'hui nous offre une gamme très large de composants mécaniques ; organes ainsi que des matières premières plastiques de haute technologie en différents matériaux ; titane ; carbone ; alliage léger ; silicone : Kevlar ; est le choix de composants et matériaux doivent obéir à ces paramètres de prescription énumérés ci-dessus. C'est pour cela une politique de médicalisation de l'appareillage orthopédique est menée au sein de l'entreprise par la présence d'un médecin spécialiste au sein des structures de l'ONAAPH.

L'ONAAPH œuvre sans cesse pour le développement de l'appareillage orthopédique et d'accessoires pour personnes handicapées en Algérie.

1. par l'introduction dans le processus de fabrication nouveaux produits de haute technologie.

2. par la formation continue de son personnel technique tant au plan national et étranger.

3. par l'acquisition de nouveaux équipements de production et d'outillages spécifiques.

L'ONAAPH possède un réseau important de fabrication ; d'accueil ; de prestation et de distribution des moyens techniques et sanitaires implanté à travers le territoire national un savoir-faire et une maîtrise de la technologie au service de la personne handicapée :

04 agences.14 unités de production.

11 centres de fabrication.32 antennes.

07 centres de lunetterie.05 centres d'audioprothèses.

### I.3 Définitions de l'handicap :

Le mot « handicap » est un mot d'origine irlandaise « Hand in cap » (= la main dans le chapeau) qui désigne le tirage au sort dans un jeu de hasard sur les champs de course. Depuis, celui-ci désigne la compensation des différences de poids ou de capacités, entre concurrents dans une course ou au golf. Dans cette définition, il y a donc la notion de possible compensation d'une différence (Universalise, 1998). Ce même mot est apparu dans la législation française dans la loi du 23 novembre 1957 sur le reclassement des travailleurs handicapés puis dans la loi d'orientation du 30 juin 1975 en faveur des personnes handicapées. Un terme générique qui englobe des difficultés de natures (handicap physique, sensoriel, mental...), de gravités (handicap sévère, léger...), de configurations (polyhandicap, multi handicap...) et de causes très diverses (organiques, psychologiques, socioéconomiques et culturelles...) (Universalise, 1998). En conséquence, le handicap est devenu une notion relative et variable qui recouvre une situation évolutive et des réalités différentes.

Et il ne peut être appréhendé qu'en relation avec l'état de la société à un moment donné.

Les principaux dictionnaires de la langue française définissent le handicap comme un désavantage quelconque, une infirmité qui met quelqu'un en état d'infériorité :

- « Désavantage imposé à quelqu'un, infirmité, déficience. Un handicapé se dit d'une personne atteinte d'une déficience physique ou mentale » (Le maxi dico, 1996, p.550).

- « Désavantage souvent naturel, infériorité qu'on doit supporter. Infirmité ou déficience, congénitale ou acquise. Un handicapé est une personne atteinte d'une infirmité ou défavorisée sur un point quelconque : Un handicapé moteur » (Le Larousse Expression, 2006).

D'un autre côté, l'Organisation Mondiale de la Santé a présenté la distinction suivante, dans le contexte sanitaire, entre déficience, invalidité et handicap.

### I.4 Activité de la société :

#### I.4.1 Les orthèses :

Ces appareils suppléent à des fonctions motrices défaillantes au niveau des membres et du rachis. Par définition, elles immobilisent le segment concerné et elles répondent à plusieurs objectifs thérapeutiques :

Le repos, antalgique anti-inflammatoire

La fonction par la stabilisation articulaire

La prévention des déformations

Dans la mesure où plusieurs orthèses successives seront moulées, elles peuvent être utilisées pour obtenir une récupération d'amplitude.

La technique est appelée statique progressif la correction d'attitude vicieuse. Les critères de choix entre les différents types d'orthèse sans rentrer dans des prescriptions détaillées,

##### I.4.1.1 Orthèse du membre inférieur :

- Orthèse cruro-pédieuse (Figure I.1)

- Orthèse cruro-jambière



Figure I.1 : Orthèse cruro-pédieuse

**I.4.1.2 Orthèse du membre supérieur :**

Les orthèses du membre supérieur peuvent par la suite être préfabriquées ou réalisées sur mesure, mais dans les deux cas, elles doivent être mises en place sur le patient par un professionnel (si possible un orthésiste).

- Orthèse bras ; avant-bras et main.
- Orthèse bras et avant-bras (FigureI.2)
- Orthèse avant-bras et main.



Figure I.2 : Orthèse bras

**I.4.1.3 Orthèse du tronc :**

Ce traitement a pour but de réduire les courbures d'une scoliose et va être porté environ 18 mois ou tout au moins jusqu'à maturité osseuse. Un corset est dit valide s'il est

- Sur mesure
- Réglable (la croissance est bien sûr à prendre en compte),
- Esthétique
- "Semaine" (fabriqué en 3 jours)
- Contrôlé

- Corset de maintien monoalv (FigureI.3)
- Corset bivalve.
- Corset lyonnai
- Corset milwaukee.
- Corset de boston.
- Corset de chenneau.
- Corset siège.



Figure I.3 : Corset de maintien monoalv

**I.4.1.4 Attelle du membre inférieur :**

- Attelle cruro-pédieuse (FigureI.4)
- Attelle palmaire
- Attelle cruro-jambière
- Attelle jambo- pédieus
- Attelle pédieuse



Figure : I.4 Attelle palmaire

### I.4.2 Les prothèses :

1-Les prothèses internes : remplacent une articulation malade ou détruite et permettent de lui restituer sa mobilité (arthroplastie de la hanche, du genou, de l'épaule)(Figure I.5). La prothèse peut être unipolaire (ne remplaçant que l'un des pôles de l'articulation) ou totale(remplaçant les deux surfaces articulaires).



Figure I.5 : Prothèses internes

2-Les prothèses externes : permettent la reprise de la marche et la station debout les personnes amputées d'un membre inférieur. Il existe également des prothèses pour les membres supérieurs, dont le rôle est plus esthétique que fonctionnel ; des recherches sont actuellement menées sur des prothèses permettant la préhension des objets.

#### I.4.2.1 Prothèse des membres supérieurs :

L'amputation du membre supérieur est vécue par le patient comme la perte d'une partie de lui-même, ceci d'autant plus que l'activité professionnelle est systématiquement remise en cause, le premier choc passé, l'amputé est demandeur d'une nouvelle main qu'il imagine aussi performante que la main perdue. C'est à l'équipe médicale de faire la synthèse afin de réaliser l'appareillage le mieux adapté et cela en tenant compte de plusieurs impératifs :

- réaliser une prothèse la plus esthétique et la plus fonctionnelle possible.
- réduire au minimum l'emboîture pour libérer toutes les articulations restantes en conservant un accrochage stable.
- tenir compte des « désirs » du patient, de sa collaboration et de l'utilisation qui pourra être faite de la prothèse.



Figure I.6 : Prothèses passive pour désarticulation d'épaule

#### I.4.2.2 Prothèses des membres inférieurs :

Les prothèses pour les amputations des membres inférieurs ont un double rôle :

- restituer l'intégrité anatomique en se substituant au segment manquant tout en corrigeant certaines déviations anatomiques consécutives au déséquilibre musculaire post-chirurgical, - rétablir les fonctions de l'appareil locomoteur en position érigée au niveau des équilibres statiques et dynamiques. Les prothèses doivent posséder plusieurs qualités :

- Une mise en place facile (chaussage).

- Un confort pour supporter la prothèse toute la journée.
- Les changements de position doivent être faciles.

La polyvalence de la prothèse doit être recherchée en premier pour les différentes activités de la vie courante (piétinement, marche lente et rapide, activités professionnelles et de loisirs) dans la mesure où, très habituellement, le patient ne possède que deux prothèses, le plus souvent identiques. Les prothèses actuelles tentent de reproduire, dans les trois plans de l'espace, les différentes fonctions des membres inférieurs : appui, mobilité, amortissement et propulsion. L'évolution des différents composants prothétiques a permis d'approcher, particulièrement depuis les quinze dernières années, ces quatre fonctions. (figure I.7)

Toute prothèse de membre inférieur est constituée d'un certain nombre de composants, qui sont : emboîtures et manchons intermédiaires en contact avec le moignon d'amputation, articulations (de genoux et de hanches), pieds et chevilles, et diverses adjonctions et éléments de liaisons.



Figure I.7 : Différentes prothèses des membres inférieurs

➤ Etapes de fabrication des prothèses :

Les étapes de fabrication des prothèses sont rassemblées dans la figure I.8

 <p>Plier le film en dessous de l'ouverture supérieur avec une bande</p>	 <p>Mettre l'appareil électrique à dépression en marche.</p>	 <p>Enfiler deux couches de perlon sur le manchon isolé</p>	 <p>Enfiler deux couches de tissu de verre</p>
 <p>Recouvrir le tissu avec 2 couches de perlon.</p>	 <p>Mettre un autre film PVA, fixer l'extrémité de film en dessous de la 2ème ouverture du tube d'aspiration.</p>	 <p>Mettre l'appareil électrique à dépression en marche.</p>	 <p>Faire un mélange de 200g de résine acrylique et 6g de durcisseur, ajouter 4 à 6g de pâte colorante</p>

			
<p>Verser le mélange dans l'ouverture du film PVA, puis fermer.</p>	<p>Masser le mélange de résine vers le bas</p>	<p>Avec un cordon, masser le mélange de résine.</p>	<p>Obtention d'une prothèse modulaire tibiale.</p>

Figure I.8 : Etapes de fabrication des prothèses.

## II.1 Introduction :

Il existe différentes familles de matériaux : les matériaux métalliques, les plastiques, les matériaux composites, etc... Les matériaux composites seront traités dans ce travail. Le principal intérêt de l'utilisation de ces derniers provient de leurs avantages :

- un faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur et de la corrosion.
- une insensibilité aux produits chimiques "mécaniques" comme les graisses, les huiles, les liquides hydrauliques, les peintures, les solvants et le pétrole.

Les matériaux composites sont très anciens : bois (composite naturel), torchis, béton (agrégatset pâte de ciment), béton armé, bois contre-plaqué (sandwichs), lamifiés décoratifs par exemple.

## II.2 Définition générale d'un matériau composite :

Les matériaux composites, appelés souvent composites, sont des matériaux solides et multiphasiques. Ils sont une combinaison de matériaux de composition ou de formes différentes et sont constitués

d'au moins deux matériaux immiscibles aux caractéristiques complémentaires. La zone de contact entre chacun des matériaux constitue l'interface, dont la qualité est très influente sur les caractéristiques mécaniques et physiques du composite.

Les renforts se présentent sous forme de fibres continues ou discontinues. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure.

Nous étudions plus particulièrement les matériaux composites à renfort fibre longue continue utilisés dans l'industrie orthopédique. Les pièces structurelles sont réalisées par empilement de nappes en optimisant les directions des renforts en fonction des charges qu'elles doivent subir. La nature de la résine ou du renfort est choisie en fonction de l'application finale visée. Nous présentons les différents types de matrices et renforts classiquement employés dans l'industrie.

D'un point de vue général, les matériaux qui constituent la matrice peuvent être des métaux, des polymères. On peut utiliser des renforts de type particulière ou fibreux. On distingue les fibres courtes (longueur : 0,1 mm à 1mm), longues (longueur : 1 mm à 50 mm) et continues (longueur supérieure à 50 mm).

Dans la suite, nous ne nous intéresserons qu'à la famille de composites faisant l'objet de cette thèse : fibresde verre et matrice thermodurcissable.

Schématiquement, les propriétés des matériaux composites dépendent :

Des propriétés des constituants élémentaires.

- De la distribution géométrique des renforts, par exemple s'ils sont constitués de fibres, de leur orientation.
- Des interactions éventuelles entre les constituants : qualité de l'adhésion entre la matrice et les renforts

Le choix des constituants repose sur plusieurs critères. Le plus important est le fait que les matériaux associés ensemble doivent donner naissance à un composite ayant des propriétés plus intéressantes que celles de chaque matériau pris seul, et ce pour répondre aux exigences de conception, fabrication, résistance et sécurité.

Les composites peuvent être classés selon la nature de leur matrice, et on a utilisé pour la réalisation des prothèses les composites à matrice polymère PMC (Polymère Matrix Composites).

Les renforts utilisés en général, sont des fibres telles que les fibres de verre.

### II.3 Différents constituants d'un matériau composite :

Généralement, un matériau composite est constitué d'une matrice et d'un renfort. La figure suivante illustre les différents constituants.(figure II.1)

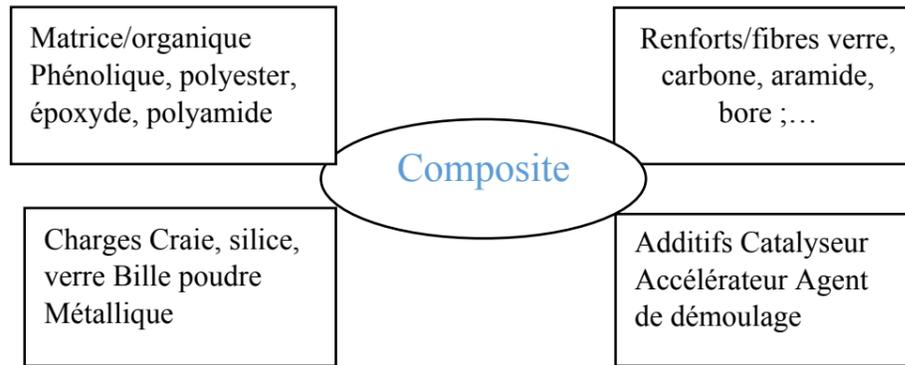


Figure II.1 : Différents constituants d'un matériau composite.

### II.4 Matrices :

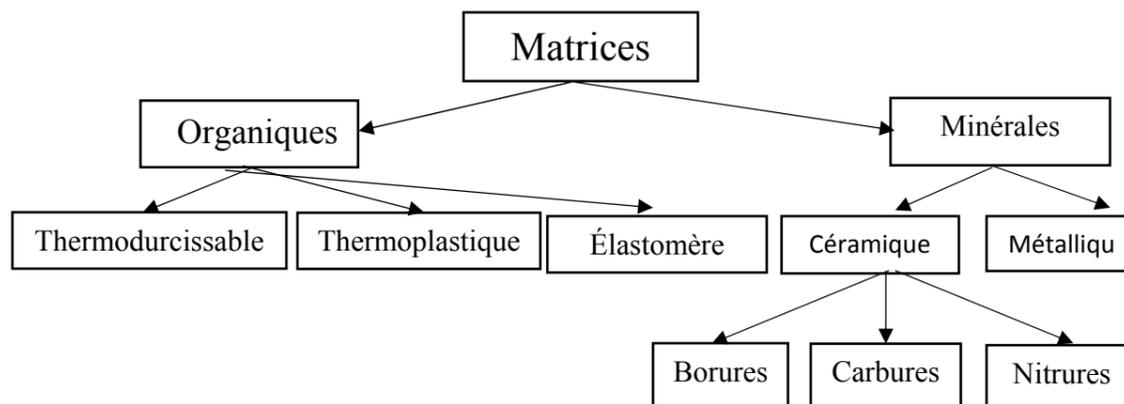
C'est l'un des constituants de base des matériaux composites. Elle assure la liaison entre les fibres et crée une rigidité et une cohésion pour le matériau. Elle transmet au renfort les efforts (résistance à la flexion ou à la compression) exercés sur la structure. La matrice sert de protection que ce soit contre les chocs ou contre l'environnement.

La matrice doit adhérer suffisamment aux fibres afin que le transfert des contraintes mécaniques appliquées au matériau composite soit optimal et que le déplacement soit limité.

D'autre part la matrice ne doit pas être trop rigide, car elle pourra gêner la tâche des fibres.

Elle permet de fabriquer facilement le matériau composite et ce au coût le plus faible possible.

Le choix de la matrice dépend de l'utilisation à laquelle est destiné le matériau composite. Les différents types de la matrice sont résumés dans la figure II.2.



FigureII.2 : Différentes familles de matrice

### ➤ Résines thermodurcissables :

Elles sont obtenues à partir de pré-polymères de faible poids moléculaire qui sont réticulés sous l'effet de la chaleur en présence de catalyseurs et de durcisseurs. Les principales résines thermodurcissables utilisées dans l'industrie composite sont les résines époxydes, polyesters, vinylesters et acrylique. Elles présentent une bonne résistance à la chaleur, un vieillissement lent et une bonne tenue aux agressions extérieures mais des durées de stockage avant mise en œuvre limitées, des temps de cuisson élevés ou encore des difficultés de recyclage.

#### - Mise en œuvre de résines thermodurcissables :

Dans l'industrie composite les principaux procédés de mise en forme des résines TD sont : le moulage par injection basse pression de résine liquide (procédé RTM : résine transfert Mödling), le moulage au contact, la pultrusion, l'enroulement filamentaire ou encore l'infusion. Le procédé RTM est la technique la plus courante pour réaliser des pièces de structures en série de bonne qualité. Il consiste à remplir l'empreinte d'un moule rigide et fermé par injection de résine en un ou plusieurs points. Outre sa productivité importante le procédé RTM donne une grande flexibilité aux industriels de par sa souplesse de mise en œuvre et sa facilité de réglage des paramètres procédés (temps de cycle, forme des pièces, positions d'injection, taux de renforts...).

## II.5 Les renforts :

Les renforts sont les éléments qui contribuent majoritairement à la réponse mécanique du composite. Ils requièrent donc d'excellentes propriétés de résistance mécanique, mais aussi de bonnes propriétés thermiques, électriques ou encore chimiques suivant les applications. Malgré leur diversité il est possible de les classer suivant différentes catégories selon leur nature, comme le montre la figure II.3

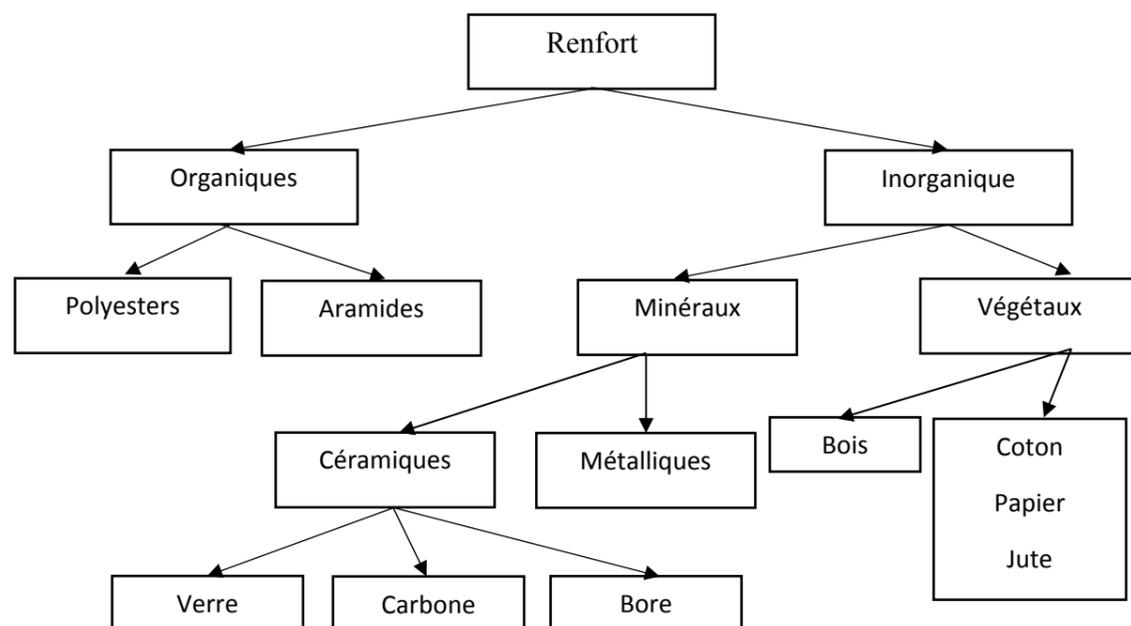


Figure II.3 : Diverses formes et origines de renfort.

➤ **Fibre de verre :**

Les fibres de verre sont élaborées à partir d'un verre filable appelé verre textile, composé de silice, alumine, chaux, magnésie etc... Le verre est un matériau dont les propriétés ont pu être considérablement améliorées au cours du temps. [10]. Ce produit peu coûteux, associé à des procédés assez simples d'élaboration confèrent aux fibres un excellent rapport performance/prix qui les placent de loin dans le premier rang des renforts utilisés dans les composites (95%). En Europe, les fibres de verre utilisées dans les composites représentent 500 000 tonnes/an.



Figure II.4 : Fibre de verre

Les fibres de verre sont réparties en trois qualités :

- Verre E : pour les composites de grande diffusion et les applications courantes.
- Verre R : pour les composites hautes performances.
- Verre D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques)

Le tableau 1 rassemble la composition des différents types de fibres de verre.

Tableau II.1 : Composition des différents types de fibres de verre

Constituants	Composition en masse %		
	E	D	R
Silice.....SiO <sub>2</sub>			
Alumine.....Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
Chaux.....CaO	53-54	73-74	60
Magnésie.....MgO	14-		25
Oxyde de bore.....B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.5	0.5-0.6	9
Fluor.....F	20-24		6
Oxyde de fer.....Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		22-23	
Oxyde de titane.....Ti O <sub>2</sub>	6.5-9		
Oxyde de sodium.....Na <sub>2</sub> O	0-0.7	0.1-0.2	
Oxyde de potassium.....K <sub>2</sub> O	<1		
		1.3	
	<1	1.5	

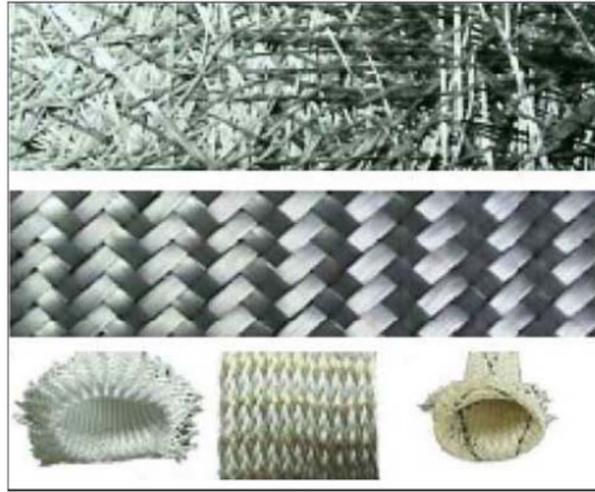


Figure II.5 : Différents types de fibre de verre

Les étapes de la fabrication des fibres de verre sont :

1. Composition (mélange des oxydes)
2. Fusion (1500°C)
3. Fibrage (1200°C) : four filière de diamètre de 1 à 2 mm
4. Etirage : diamètre de 3 à 20 mm
5. Ensimage (protection, amélioration de l'adhésion fibre- matrice)
6. Bobinage
7. Tissage

Les fibres de verre sont élaborées par fibrage du verre fondu à travers des filières, sorte de bacs réalisés en alliage platine- radium, et percés à bases d'orifices d'environ 5mm de diamètre. Le verre fondu est maintenu dans les filières chauffées par effet Joule, aux environs de 12500. A cette température, la viscosité du verre permet un écoulement à travers les orifices, sous forme de fibres de quelques dixièmes de mm. A la sortie de la filière, le verre en phase plastique est simultanément étiré à grande vitesse (60m/s) et refroidi.

Les filaments de verre issus de la filière ne peuvent pas être utilisés directement pour diverses raisons

- l'absence de cohésion entre les filaments qui s'opposent à la constitution des fils.
- la sensibilité de verre à l'abrasion
- la sensibilité à l'attaque de l'eau
- la création de charge électrique aux divers frottements...

Pour pallier à ces défauts, on réalise à la sortie de la filière une opération dite ensimage avec un produit de composition complexe comportant un agent collant, un agent portant et des antistatiques.

Selon l'orientation des fibres, on définit deux types de matériaux composites :

- Les matériaux composites unidirectionnels : les fibres sont noyées dans une matrice. Ils ne présentent une résistance importante qu'à des efforts de traction ou de compression dans le sens des fibres. Ainsi, il est nécessaire de disposer les fibres suivant plusieurs directions lorsqu'il s'exerce dans le plan des efforts suivant plusieurs directions. (Figure II.6).
- Les matériaux composites multidirectionnels : ils sont préparés à partir des types de fibres suivants :

Différents fils coupés et feutres de fils coupés dit mat pour une résistance multidirectionnelle aléatoire.

Différents mats à fibres continues, tissus bi ou tri- directionnels et tresses pour une résistance multidirectionnelle dans une direction privilégiée.

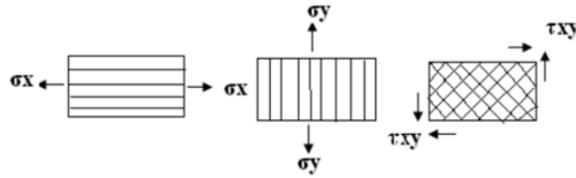


Figure II.6 : Orientation des fibres

Il y a trois sortes de produits de fibres de verre industriellement commercialisés : le roving (Stratifié unidirectionnel ; fil continu), tissu (roving bidirectionnel) et le mat. Le roving (figure II.7) est préparé par un assemblage parallèle de fils de base au travers d'un régulateur de tension puis enroulé et se présente sous forme de pelotes. On dit que les fibres sont unidirectionnelles, lorsqu'elles sont orientées suivant une même direction de l'espace (figure II.6).



Figure II.7 : Présentation d'un roving

#### Tissus :

Les tissus sont constitués par des fibres disposées suivant deux directions perpendiculaires :  
- Une direction dite de chaîne et une de trame. Les fibres sont liées par tissage, c'est-à-dire par passage des fils de trame au-dessus des fils de chaîne, suivant des séquences préétablies (figure II.8).

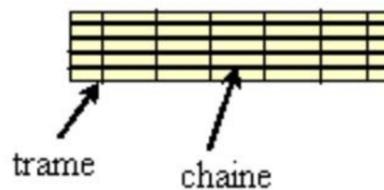


Figure II.8 : Présentation schématique d'une chaîne et trame

Il y a une large gamme de qualité de tissus. Un classement est effectué en fonction de leur armure et de leur grammage : satin, sergé et taffetas (figure II.9).

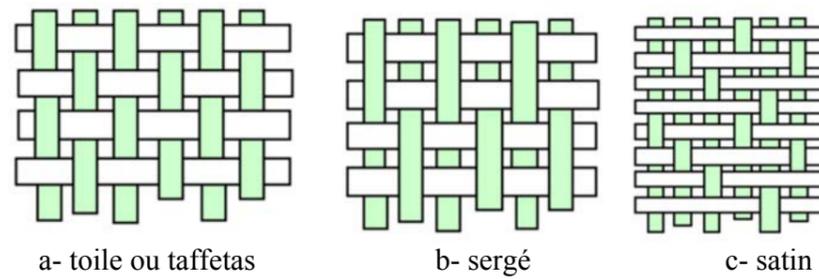


Figure II.9 : Classement des tissus

Le satin est surtout employé pour de grandes résistances. Le taffetas et le sergé sont plus couramment employés. Pour notre cas on a utilisé le tissu

Les mats ce sont des nappes de filaments, de fibres discontinues ou de fils de base, maintenus ensemble par un liant soluble (figure II.10). Ce sont des matériaux déformables, peu coûteux et quasi isotropes dans leur plan puisque les fils sont disposés sans orientation préférentielle. Ils permettent en particulier d'atteindre des taux volumiques de fibres élevés dans le composite final.

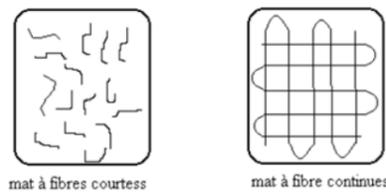


Figure II.10 : Principaux types de mats.

## II.6 Structures composites stratifiées :

Les structures composites stratifiées sont constituées de couches successives de renforts imprégnés de résines. Les couches sont également nommées plis. Les structures stratifiées réalisées à partir de matériaux composites sont constituées d'empilements de nappes unidirectionnelles ou bidirectionnelles. Ces nappes sont formées de renforts en fibres longues liées par la résine. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La résine assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. Les pièces structurelles sont réalisées par empilement de nappes en optimisant les directions des renforts en fonction des charges qu'elles doivent subir.

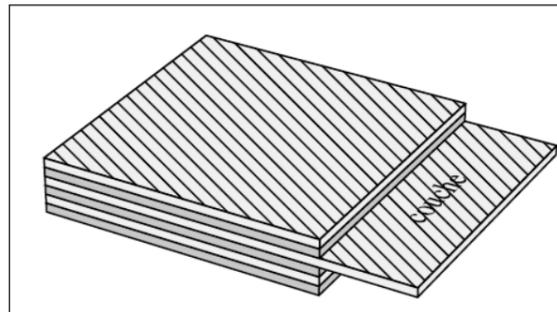
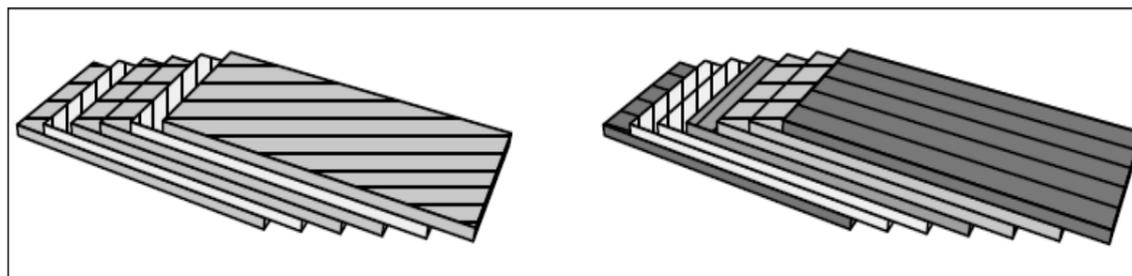


Figure II.11 : Stratifié constitué de couches parfaitement liées

Les matériaux composites sont modélisés à une échelle intermédiaire entre l'échelle microscopique associée aux constituants de base du composite (le renfort et la matrice) et l'échelle macroscopique liée à la structure. À cette échelle, appelée mésoéchelle, une structure stratifiée est schématisée par un empilement de monocouches homogènes dans l'épaisseur et d'interfaces inter-laminaires. La couche et l'interface sont les deux entités appelées méso-constituants, comme illustré sur la figure II.11, qui forment les bases des modèles dédiés à l'étude des structures stratifiées. L'interface inter-laminaire est une entité surfacique assurant le transfert des déplacements et des contraintes normales d'une couche à une autre. En élasticité, les couches sont parfaitement liées et l'interface ne joue aucun rôle particulier. L'étude des composites jusqu'à la phase ultime de la rupture montrera l'utilité d'employer un modèle d'interface pour simuler les phénomènes de délaminage (séparation progressive des couches).

### 1.6.1 Désignation des structures stratifiées :

Les structures stratifiées à base de tissus unidirectionnels sont constituées d'un grand nombre de couches ou plis. L'épaisseur d'une couche dépend de son grammage. L'épaisseur de chacune des couches est généralement très faible, de l'ordre de 0,125 mm pour un matériau carbone époxy de type Aéronautique et 0,3 mm pour ceux qui sont utilisés dans l'Industrie nautique. Ces structures stratifiées sont constituées de couches unidirectionnelles avec des fibres orientées de façon différente d'une couche à l'autre afin d'obtenir les propriétés mécaniques souhaitées pour la structure finale.



(a) [-45/45/-45/-45/45/-45]

(b) [0/45/45/90/-45/-45/0]

Figure II.12 : Désignations du stratifié

La désignation des structures stratifiées est délicate car il faut préciser les axes de référence. Un stratifié est codifié de la façon suivante :

- chaque couche est désignée par un nombre indiquant la valeur en degré de l'angle que fait la direction des fibres avec l'axe de référence  $x$ . Sur les figures 1.12(a) et 1.12(b), les couches sont représentées décalées les unes par rapport aux autres. La structure stratifiée est décrite de bas en haut ;
- les couches sont nommées successivement entre crochet en allant de la face inférieure à la face supérieure. Les couches successives sont séparées par le symbole « / » comme l'exemple de la figure 1.12(a) : [-45/45/-45/-45/45/-45],
- les couches successives d'un même matériau et de même orientation sont désignées par un indice numérique, comme sur la figure 1.12(b) : [0/45/45/90/-45/-45/0] ;
- en cas de stratification hybride (différents matériaux dans un même stratifié), il faut préciser par un indice la nature de la couche ;

– en cas de structures symétriques, la moitié est codifiée et le symbole  $s$  indique l'asymétrie :  $[-45/45/ -45/ -45/45/ -45]$  devient  $[-45/45/ -45]$  set  $[0/45/45/90/ -45/ -45/0]$  devient  $[0/45/2/90/ -45/2/0]$ .

### 1.6.2 Désignation des structures sandwiches :

Les structures composites subissant des sollicitations de type flexion ou torsion sont généralement construites en matériaux sandwichs. Une structure sandwich est composée d'une âme et de deux peaux en matériaux composites. L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine compatible avec les matériaux en présence. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Les peaux sont généralement constituées de structures stratifiées. Une âme nid d'abeilles est présentée sur la figure II.13.

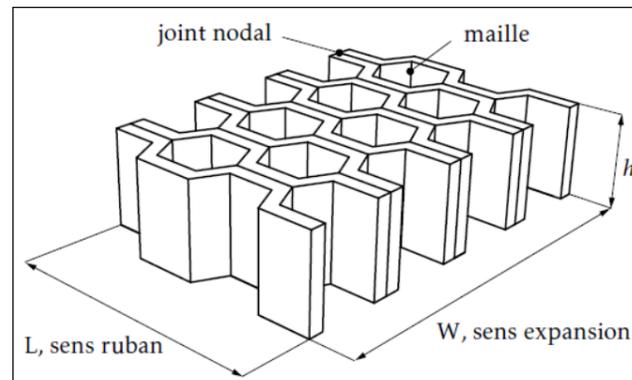


Figure II.13 : Désignations d'une âme nid d'abeilles

## II.7 Les charge :

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé.

A l'inverse des matières thermoplastiques, les matières thermodurcissables ont toujours contenu des charges de nature et de forme variée, à des taux souvent élevés pouvant atteindre 60 % en masse.

Pour un polymère donné, le choix d'une charge est déterminé en fonction des modifications recherchées pour l'objet fini. Mais, d'une manière générale, les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences :

Compatibilité avec la résine de base ; Mouillabilité ; Uniformité de qualité et de granulométrie,

Faible action abrasive ; bas prix de revient.

## II.8 Additifs spécifiques :

Les additifs sont notamment des catalyseurs, des accélérateurs de polymérisation...

## II.9 Mise en œuvre des composites :

La plupart des méthodes de mise en œuvre constituent à élaborer les pièces en matériaux composites répondant à toutes les exigences (forme, cadence) par des couches successives comportant matrice et renfort pour avoir un matériau composite stratifié. Il y a trois opérations qui sont indispensables (figure II.14) :

1. Imprégnation du renfort par le système résineux.
2. Mise en forme de la géométrie de la pièce.
3. Durcissement du système
  - soit par polycondensation et réticulation pour les matrices thermodurcissables
  - soit par simple refroidissement pour les matières thermoplastiques.

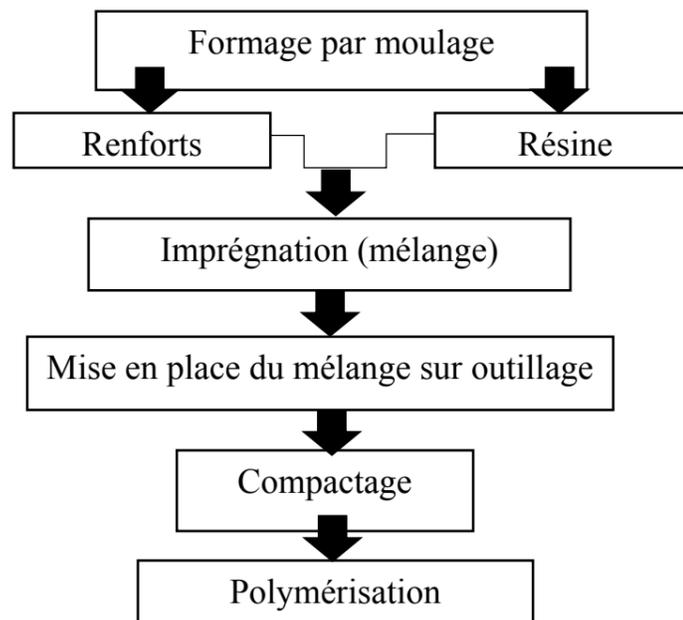


Figure II.14 :Processus général du moulage.

Quelques procédés de moulage sont utilisés :

- 1-moulage au contact.
- 2-moulage par projection.
- 3-Moulage sous vide ou «au sac».
4. Enroulement filamentaire.
5. RTM (Resin Transfer Moulding).
6. L'infusion.
7. Compression à chaud.
8. Enroulement par drapage.

### **III.1 Matériaux :**

Tous les matériaux entrant dans la fabrication des appareils de prothèse ou d'orthopédie doivent être de premier choix, ne présentant aucune défectuosité et n'ayant subi aucun traitement susceptible d'en dissimuler les défauts. Le composite utilisé dans la fabrication des prothèses orthopédiques de l'ONNAPH l'Office National d'Appareillages et d'Accessoires pour Personnes Handicapées résulte de l'association de résine et de renforts verre ainsi que de l'absorbant de la résine le perlon. Les composites de la résine Acrylique renforcé de fibres de verre sont les matières plastiques renforcées les plus populaires dans l'industrie de l'ONNAPH Annaba. Selon la formulation et les exigences d'utilisation, ils peuvent se présenter sous la forme de produits légers, transparents, translucides ou opaques, colorés ou incolores sans limitation quant aux dimensions de l'objet à fabriquer. D'une manière générale, la fabrication des composites est basée sur le procédé de moulage. Le moule utilisé dépend essentiellement de la technique de mise en œuvre adoptée, ce qui conduit à une variété de méthodes. Le procédé de fabrication dans le cas de cette étude et qui est adapté à ce type de structure et constituants, est le moulage au sac sous vide.

#### **III.1.1 Moulage sous vide :**

Le moulage sous vide s'effectue entre moule et contre moule, semi rigide ou souple (sac) suivant les caractéristiques des pièces.

Le renfort (mat, tissu...) est placé à l'intérieur du moule. La résine catalysée est versée sur le renfort. On utilise la pression qui s'exerce sur le moule lors de la mise sous vide pour répartir la résine et imprégner le renfort. La résine peut également être admise ponctuellement par l'aspiration consécutive au vide.

##### **Avantages**

- deux faces lisses éventuellement gelcoatées.
- Qualité constante
- Bonne cadence de production
- Nécessite peu de surface
- Investissement très modéré (moule, pompes à vide)
- Bonnes conditions de travail et d'hygiène.

##### **Limites :**

- Possibilité de forme plus réduite qu'au contact
- Mise au point parfois difficile.

#### **III.1.2 Les constituants de base :**

##### **III.1.2.1 Perlon :**

C'est une fibre synthétique d'origine chimique, fabriquée à partir de la distillation du charbon ou du cracking du pétrole .On trouve diverses formes de fibres polyamide utilisées principalement dans l'industrie textile sous les noms Nylon ou Rilsan (figure III.1). Le nylon est surtout utilisé sous forme de tissus à arracher. En utilisant ce tissu comme dernière strate, on obtient après l'arrachage une surface uniforme et rugueuse offrant une bonne prise aux pieds (bateaux, planches à voile) et se prêtant bien aux collages.

Confort d'utilisation : Bonnes propriétés isolantes ; touché doux, ne provoque aucune allergie, très grande résistance à l'humidité.

**Entretien :** lavage à 30°, action mécanique réduite, essorage réduit, pas de chlorage ; séchage en tambour, chaleur modérée, repassage à température faible, nettoyage à sec avec solvants courants.

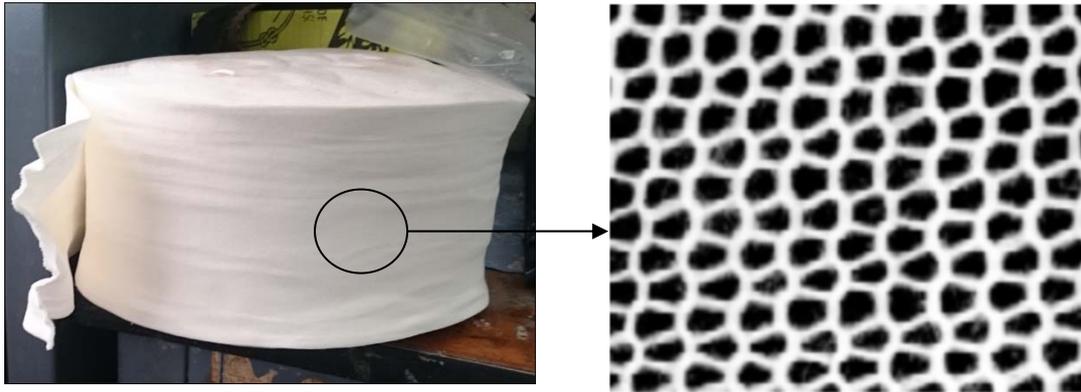


Figure III.1 : Tissu de perlon (avec détail grossi)

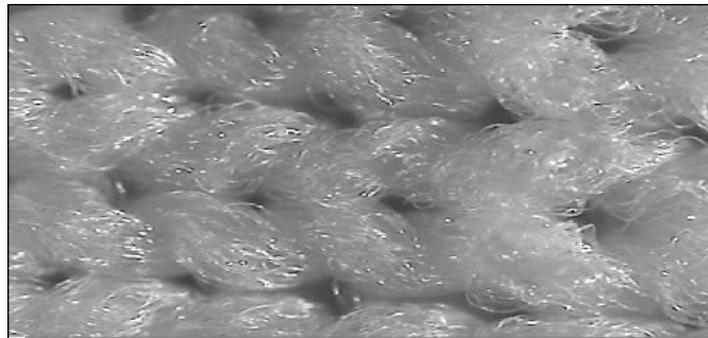


Figure III.2 : Microscopie de tissu de perlon (agrandissement 10<sub>4</sub>)

### III.1.2.2 Tissu de verre :

C'est un filament à haute résistance, produit par étirement à très grande vitesse (60m/s) de verre en fusion à plus de 1500°C. Il représente 99% des verres textiles. Les fibres de verre textiles sont peu coûteuses en raison de la nature des produits entrant dans leur composition (silice, kaolin, chaux, ...) et de la relative simplicité des procédés de fabrication. Pour nos expériences, nous avons utilisé un rouleau de diamètre 20cm et de grammage 1kg/m<sup>2</sup> (Figure III.3).

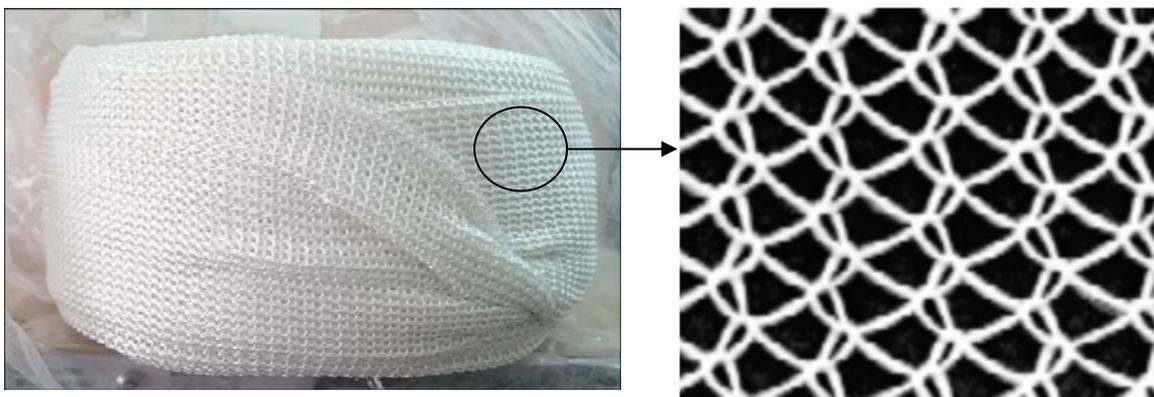


Figure III.3 : Tissu de verre (avec détail grossi)



Figure III.4: Microscopie de tissu de verre (agrandissement de 104)

Tableau III.1 Propriétés mécaniques des fibres de verre et de polyamide.

Fibre	Densité	Charge de rupture en traction (Mpa)	Module d'élasticité (Mpa)	Allongement à la rupture (%)
Verre E	2.45	3400	73000	4.8
Polyamide	1.1	950	70000	15

### III.1.2.3 Résine :

La résine utilisée est une résine acrylique. C'est une résine synthétique résultant de la polymérisation ou de la copolymérisation de divers monomères acryliques et/ou méthacryliques avec souvent d'autres monomères. Des fibres de verre rebelles peuvent occasionner des bulles d'air dans les couches qui vont être appliquées.(figure III.5).

La polymérisation est d'une grande importance dans la phase de fabrication du composite. Elle dépend directement des proportions de chacun des composants et comporte plusieurs

#### Phases :

1. Phase pendant laquelle le mélange reste visqueux et peut se travailler facilement ;
2. Phase de gélification apparaissant plus ou moins rapidement selon le dosage de l'accélérateur et du catalyseur ;
3. Phase de durcissement soit à température ambiante, soit sous l'action de la chaleur qui a pour effet de diminuer la durée de cette phase.

**État** : liquide

**Couleur** : incolore

**Odeur** : semblable à l'ester

**Danger** : irritant et Facilement inflammable.

#### Statut des risques

Ce produit est classé comme dangereux sous les lois de l'OSHA aux États-Unis et du SIMDUT au Canada.

Effets potentiels sur la santé.

Irritant pour les voies respiratoires et la peau.

Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau.

## Chapitre III : Réalisations des éprouvettes en fibres de verre et résine acrylique

Importantes indications relatives à la protection de la santé et de l'environnement ainsi qu'à la sécurité.

Température d'ébullition/plage d'ébullition : 100,5 (1013 hPa)

Point éclair/plage d'inflammabilité : 10 °C (DIN 51755 (MMA))

Température d'ignition 430 °C (DIN 51794 (MMA))

Limites d'explosibilité : Inférieur (à) < : 2.1Vol% (MethylmethacrylatSupérieur (à) > : 12.5 Vol% (Methylmethacrylat)

Tension de vapeur à 20 °C: 47 hPa

Densité à 20 °C : env. 1 g/cm<sup>3</sup>

Solubilité dans l'eau à 20 °C : (MMA) 16 g/l

Viscosité, dynamique à 20 °C : env. 500 mPa.s



Figure III.5 : Résine acrylique

### III.1.2.3 Additifs

Ce sont un accélérateur et un durcisseur.



Figure III.7 : Durcisseur

## **III.2 Réalisation des éprouvettes :**

### **III.2.1 Moule à base de bois :**

Le mode d'obtention adopté pour la fabrication des éprouvettes est le même que celui utilisé dans la fabrication des prothèses. L'adaptation apportée se limite à la forme géométrique du moule à base de bois de dimensions 340/15/100 mm<sup>3</sup> pour permettre d'avoir des plaques qui serviront à la découpe des éprouvettes (figure III.8).



Figure III.8 : Moule en bois

### **III.2.2 Préparation de la feuille (PVA) du moule :**

Maintenir le bord de la feuille avec une barre en métal léger sur la mesure du moule et la coupe la feuille PVA. Enrouler cette solution entre les bords de la feuille avec un pinceau plat et souder régulièrement avec fer à souder. Envelopper un des films PVA dans un essuie-mains humide et laisser reposer 10 minutes environ. Talquer ensuite l'intérieur du film, enfiler le film par-dessus le moule (Figure III.9).



Figure III.9 : Préparation de la feuille (PVA) du moule

**III.2.3 Mise en place des différentes couches de tissus (verre et perlon) :**

Pour commencer mettre en place le film PVA, puis couper du tricot nylglas (40% perlon , 60 % fibre de verre ) et le retourner , côté intérieur vers le moule.

Répéter la même opération avec du tricot en fibre de verre ( 2 P ,2 V,2 P) (2P,2 V ,2P)

Enlever le film PVA de l'essui-mains ; talquer l'intérieur et enfiler sur le modèle. (Figure II.10) .



PVA



tricot perlon



fibre de verre

Figure III.10 : Mise en place des différentes couches de tissus (verre et perlon)

**Architecture :**

Le nombre des couches est pris égal à 12 avec 4couches de verre 8 de perlon. (PVA- (2P – 2V – 2P) ; (2P – 2V-2P)-PVA).

**III.2.4 Pompe à vide :**

Le moule est relié à la pompe à vide. On démarre la pompe pour assurer le vide sous une dépression de 0,8 bar durant toute la durée de moulage (figure III.11).



Figure III.11 : Pompe à vide reliée au moule

### III.2.5 Coulage de l'emboiture de l'éprouvette :

Bien mélangeage de 350 g de résine a laminer et 7 g (= 6 cuillères graduées ) de durcisseur en poudre . Ajouter ensuite 4 à 6 g de pâte colorante. Verser ce mélange dans l'ouverture du film PVA puis fermer ensuite cette ouverture hermétiquement (Figure III.12)

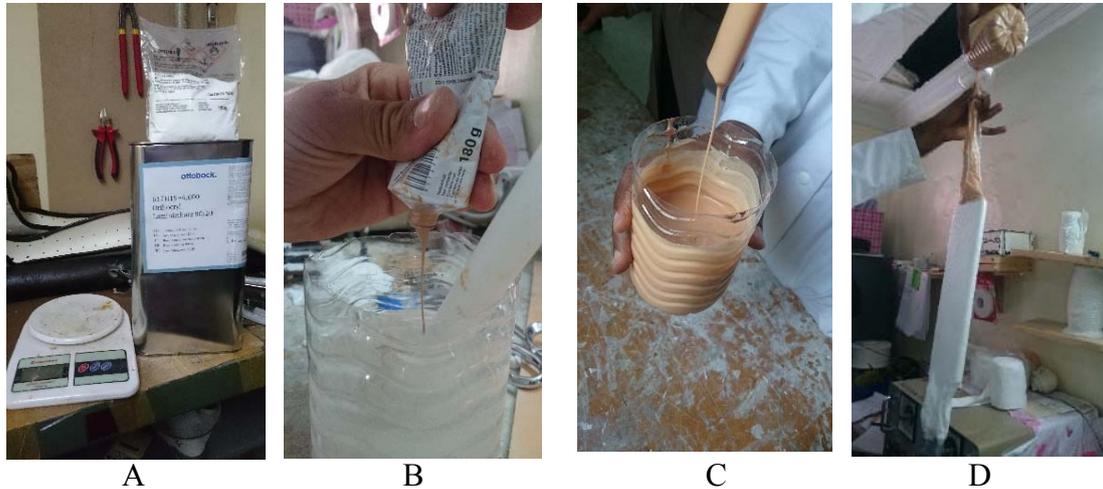


Figure III.12 : Coulage de l'emboiture

Après avoir placé le mélange, il commence à descendre selon la programmation de dispositif (-1) bar. Après environ 15 minutes plus tard, la température commence à s'élever à environ 20° chaque 5 minutes, jusqu'à ce qu'il atteigne un pic de 120 degrés, de la plus haute place de l'accumulation du mélange dans le fond.

Avec le passage de temps environ 30 minutes le processus se produit à l'envers, la température augmente 120°et commence à diminuer progressivement. la Après avoir terminé la réalisation de la plaque du moule pour l'éprouvette, on la dépose dans le four à 80°C pendant 8 heures pour réaliser la polymérisation. Après on entame le découpage des éprouvettes (Figure III.13).



FigureIII.13 : La plaque dans le four

**III.2.6 Découpe des éprouvettes :**

**1. Eprouvettes pour essais de traction :**

Les conditions de coupe sont :

- sans lubrification.
- disque en acier.
- Vitesse de coupe de 2000 tr/min.
- avance très lente « manuelle ».

Les dimensions de découpe des éprouvettes prismatiques de traction sont : 200mm de longueur et 20 mm de largeur.

**2. Eprouvettes pour essais de traction :**

L'essai au choc est réalisé selon la norme EN ISO 14125 : Longueur de 90mm, distance entre appuis de 64 mm, largeur de 15 mm et épaisseur de l'éprouvette 3 mm.

Une rectification sur les surfaces coupées a été réalisée pour éviter les microfissures et pour avoir des éprouvettes globalement identiques parce qu'il est probable que des fissures se créent lors de l'usinage des éprouvettes. Ces fissures peuvent entraîner le délaminage de l'échantillon. Vu la nature du matériau, une vérification de la surface du disque est indispensable. Les éprouvettes ont été numérotées et un traçage d'une droite ou centre de la largeur a été fait (figure III.14)

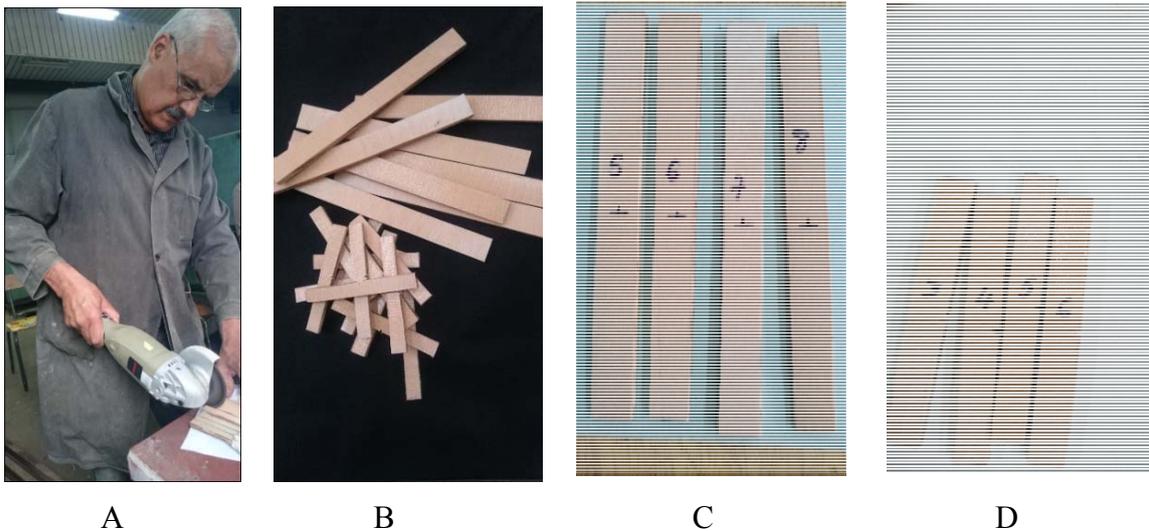


Figure III.14 : Découpage des éprouvettes de traction et de choc

**III.2.7 Perçage des éprouvettes de traction :**

Perçage des éprouvettes de traction avec un foret de 5 mm de diamètre.

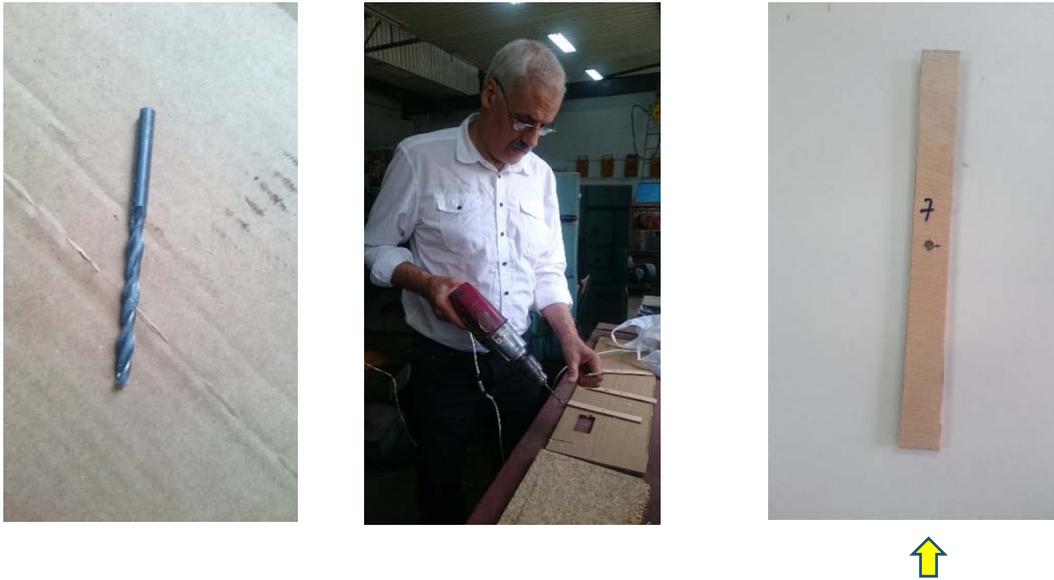


Figure III.15 : Perçage l'éprouvette

## Introduction :

Lors de notre étude, nous avons réalisé trois types d'essais, des essais de traction, des essais de choc et des essais de résilience.

### IV.1.1 Essai de traction :

#### IV.1.1.1 Objectif :

- Réaliser des essais de traction sur des éprouvettes composites.
- Exploiter les courbes de traction.

#### IV.1.1.2 Principe :

Un essai de traction est une expérience physique qui permet de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau quelconque. Cet essai ou expérience consiste à placer une éprouvette du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction, qui tire sur elle jusqu'à sa rupture. On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en déformation et en contrainte. On obtient alors le graphe suivant (figure IV.1).

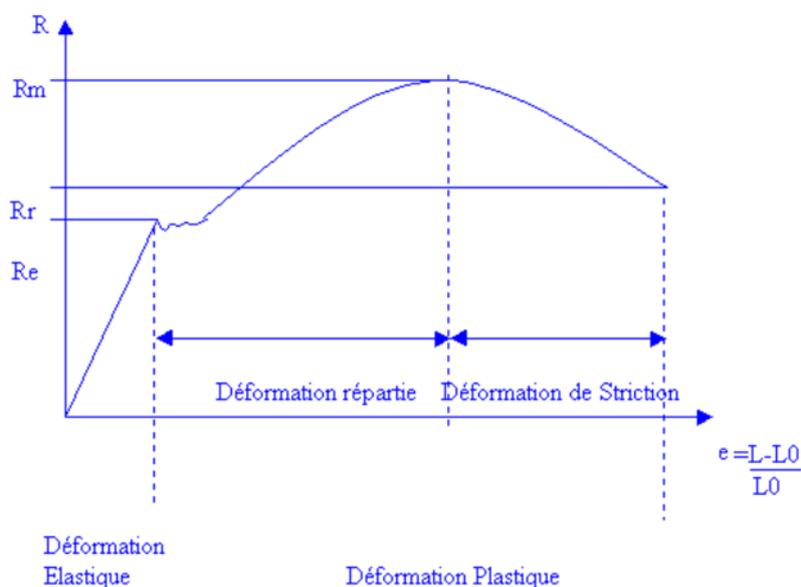


Figure IV.1 : Courbe de traction

#### Courbe de traction

- L'essai de traction donne plusieurs valeurs importantes :
- Le module de Young  $E$  ou module d'élasticité longitudinale,
- La limite élastique  $R_e$  ou  $\sigma_e$  qui sert à caractériser un domaine conventionnel de réversibilité.
- La limite à la rupture  $R_m$  ou  $\sigma_m$ .
- L'allongement à la rupture  $A$ , qui mesure la capacité d'un matériau à s'allonger sous la charge avant sa rupture, propriété intéressante dans certaines applications ;
- Le coefficient de Poisson, qui chiffre la variation de volume induite par la déformation des matériaux dans le domaine élastique.

IV.1.1.3 l'éprouvette :

Nous avons réalisé deux types d'éprouvettes, des éprouvettes parallélépipédiques et d'autres avec un trou au centre.

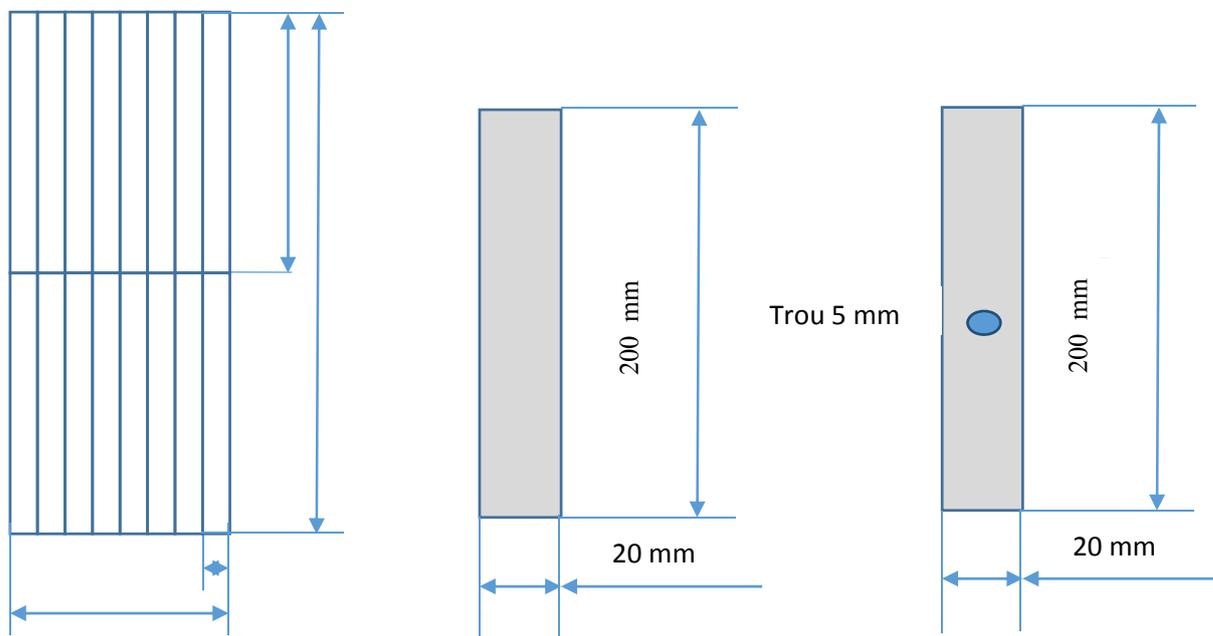


Figure IV. 2 a : Dimensions de l'éprouvette de traction

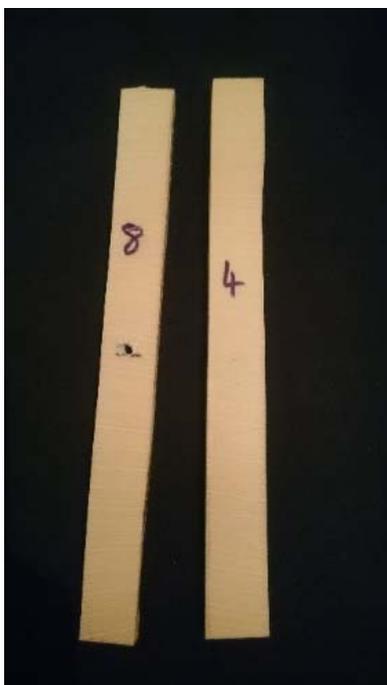


Figure IV. 2 b : Eprouvettes avec trou et sans trou

Tableau IV.1 : Dimensions des éprouvettes sans trou :

N°d'éprouvette	Epaisseur (mm)				Largeur (mm)			
	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy
1	5.4	6.8	6.4	6.2	19.2	18.8	18.8	19
2	5.4	5.8	5.1	5.5	19.8	19.9	20.2	20
3	5.2	5.2	5.2	5.2	20.4	20.6	20	20.3
4	5.1	5.1	5.1	5.1	19.6	19.6	20.6	19.9

Tableau IV.2 : Dimensions des éprouvettes avec trou :

N°éprouvette	Epaisseur (mm)				Largeur (mm)			
	1	2	3	Moy	1	2	3	Moy
5	5.2	5.6	5.8	5.5	20.8	20.8	20.8	20.8
6	5.4	5.1	5.4	5.3	20.8	20.0	19.2	20
7	5.0	5.4	5.1	5.2	19.2	19.4	19.6	19.4
8	5.4	5.6	5.1	5.4	19.6	19.6	19.8	19.7

**IV.1.1.4 La machine de traction :**

La machine de traction ZO50 est une machine de traction universelle à un seul poste de travail, c'est une machine à vis sans fin. Elle est constituée des parties essentielles suivantes : la traverse sur colonnes et la partie électronique de commande. Elle est dotée d'extensomètre avec les deux palpeurs

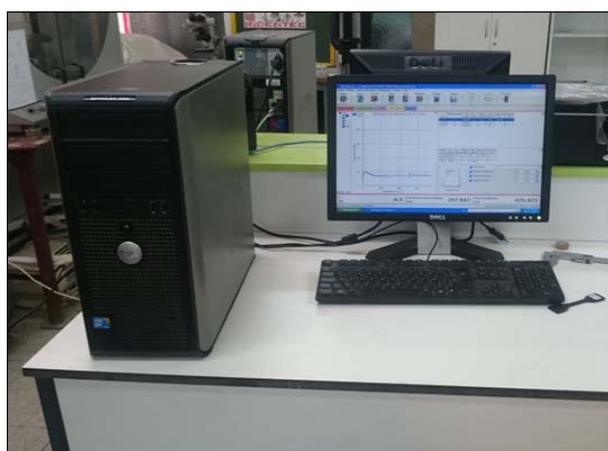


Figure IV. 3 : La machine de traction Zwick /Roell/ZO50

IV.1.2 Résultats des essais de traction :

IV.1.2.1 Résultats d'essais de traction pour éprouvettes sans trou :



Figure IV.4 : l'éprouvets sans trou en traction

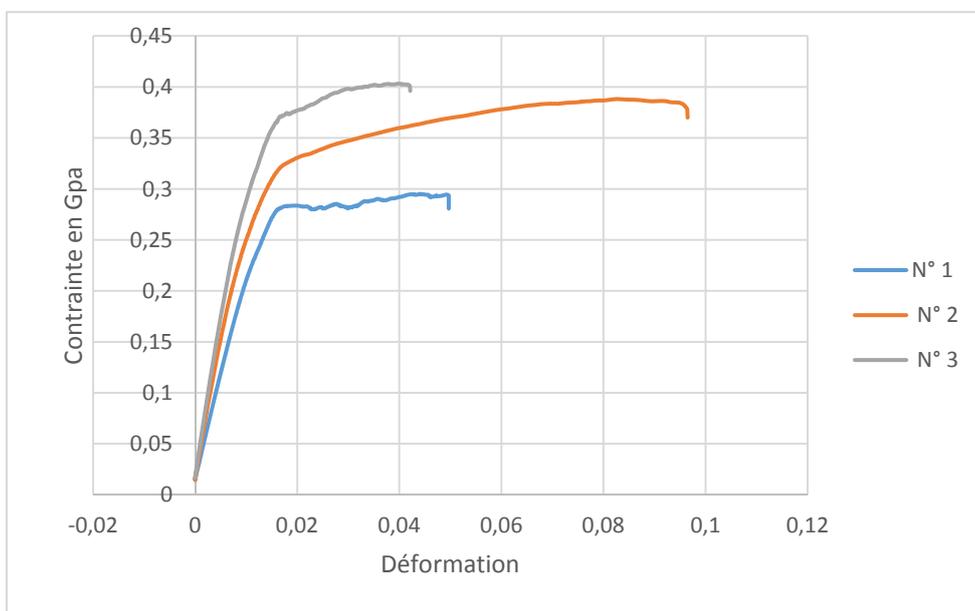


Figure IV.5 : Courbes contrainte allongement des éprouvettes 1,2 et 3

## IV.1.2.2 Résultats d'essais de traction pour éprouvette avec trou :

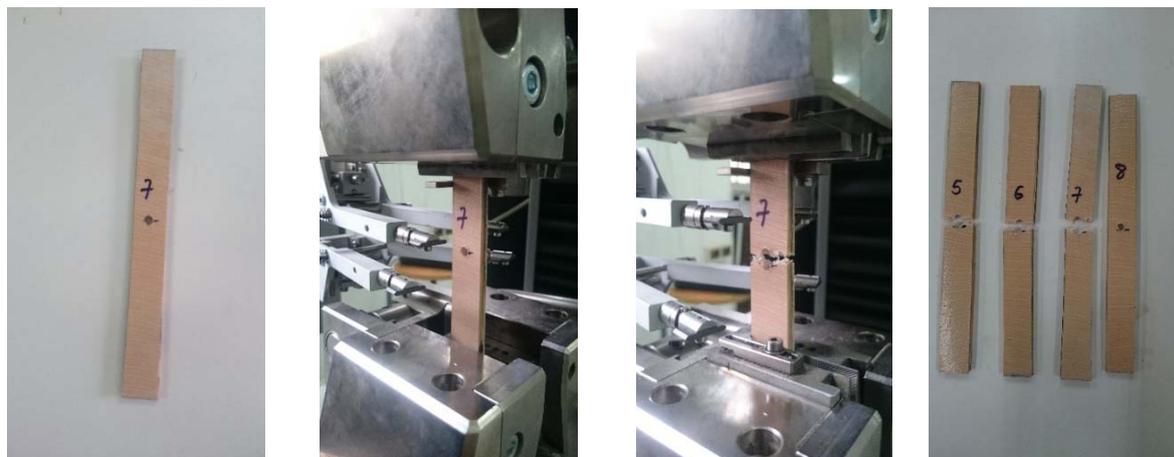


Figure IV.6 : Eprouvettes avec trou avant et après rupture

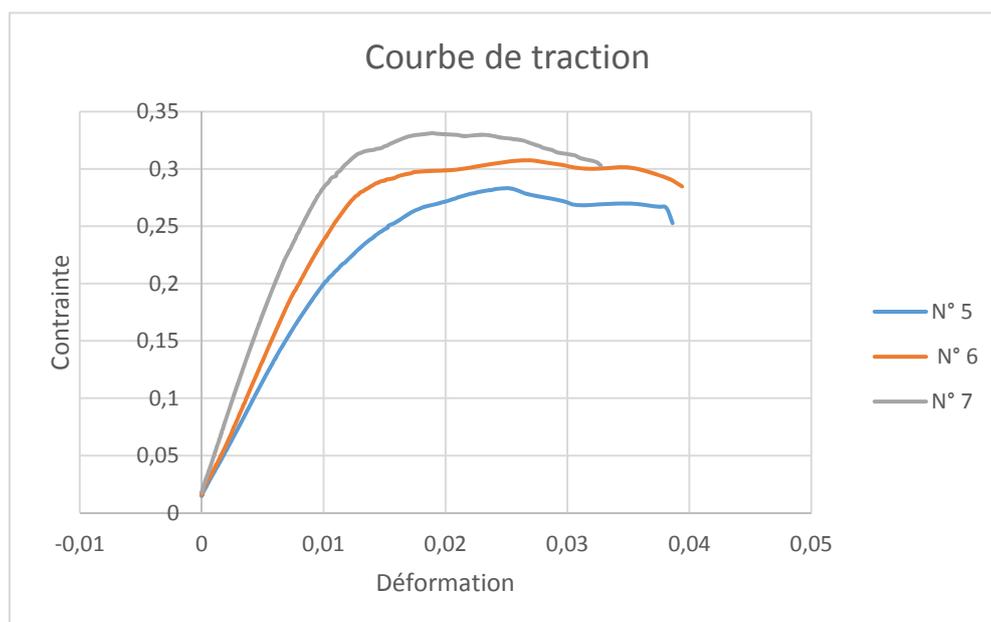


Figure IV.7 : Courbes contrainte déformation des éprouvettes avec trou 5,6 et 7

➤ **Discussion :**

Les 06 essais de traction ont été effectués sur des éprouvettes identiques. Les résultats sont représentés sur des courbes (contraintes – déformations) pour chaque essai.

On note la présence d'une partie linéaire qui représente le comportement élastique du matériau. Dans cette partie, la charge augmente considérablement pour de faibles déplacements, contrairement à la seconde partie où les déformations sont importantes pour de faibles charges. On peut conclure qu'à partir des valeurs de la contrainte à la rupture ainsi que du module de Young pour les essais de traction sur l'éprouvette simple et l'éprouvette avec trou dans le même sens (sens du moulage ou sens perpendiculaire du moulage).

La connaissance des caractéristiques mécaniques déduites de l'essai de traction peut être insuffisante, puisque des ruptures peuvent être obtenues en dessous de la limite élastique dans des conditions particulières qui rendent le matériau fragile.

La rupture est la séparation d'un matériau en deux ou plusieurs parties sous l'action d'une contrainte. Cette séparation se produit à plus ou moins grande vitesse par propagations de fissures existant dans le matériau. La rupture est donc fortement influencée par la présence de microfissures, de pores, d'inclusions de particules fragiles (défauts internes) et par la présence d'entailles (macro fissures) résultant de défauts de fabrication ou de conception.

Tous les matériaux contiennent un certain nombre de microfissures qui deviennent instables et conduisent à la rupture lorsque la force appliquée dépasse une valeur critique.

L'étude élémentaire de la mécanique de la rupture montre que la rupture dépend de deux grandeurs : la contrainte appliquée  $\sigma$  (sigma) et la dimension  $l$  des microfissures. Ces deux grandeurs sont combinées dans le facteur d'intensité des contraintes  $K$ . La rupture se produit lorsque l'on atteint la valeur critique  $K_c$ .

Nous avons visualisé dans l'essai de traction une rupture ductile. Elle se produit après une déformation plastique plus ou moins grande. Elle semble liée essentiellement à la présence d'inclusions plus dures que le métal. Il y a déformation plastique autour des inclusions, formation de microcavités, allongement et coalescence de ces microcavités aboutissant à la rupture. [18]

Il existe un autre type de rupture dite fragile. Elle se produit après une déformation plastique très faible voire nulle. Elle est caractérisée par la propagation très rapide possible des fissures (consommation d'énergie faible) soit au travers des grains, soit le long des joints de grains.

Les tableaux IV.3 et IV.4 rassemblent les résultats d'essai de traction pour les deux types d'éprouvette sans trou et avec trou.

Tableau IV.3 : Caractéristiques mécaniques l'éprouvette N°1,2 et 3 :

N°	S <sub>0</sub> (mm)	E (GPa)	R <sub>eH</sub> (MPa)	A <sub>e</sub> (%)	R <sub>eL</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)
1	117,8	1.74	33,4091	1,817223	32,97181	34,75067
2	112,00	1.70	43	0,15	43	43
3	105,56	1.78	40	0,05	39	43

Tableau IV.4 : Caractéristiques mécaniques l'éprouvette avec trou N°5,6 et 7 :

N°	S <sub>0</sub> (mm)	E (GPa)	R <sub>eH</sub> (MPa)	A <sub>e</sub> (%)	R <sub>eL</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)
5	114,4	1.79	32,41109	0,644711	30,69999	30,87637
6	106	1.74	32,61658	0,522962	31,80949	31,96744
7	100,88	1.79	33,41864	0,05	39	33,26811

IV.1.3. Résultats des l'éprouvettes en Abaqus CAE et essai de traction

IV.1.3.1 l'éprouvette N°1 sans trou :

➤ L'éprouvette N°1 en traction sur la machine :



Figure IV.8 : L'éprouvette N°1 avant et après traction

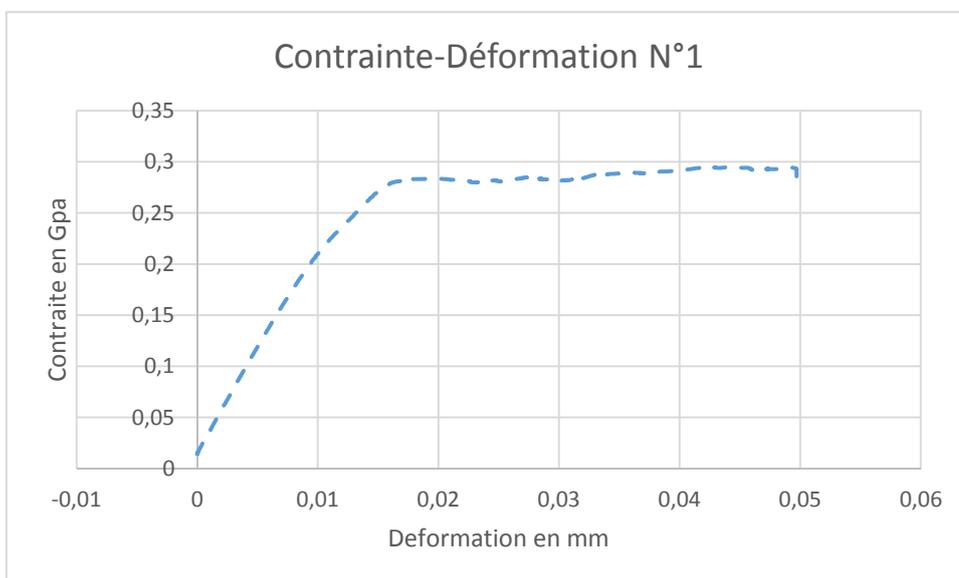


Figure IV. 9 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N° 1

➤ L'éprouvette N°1 en traction sur l'Abaqus :

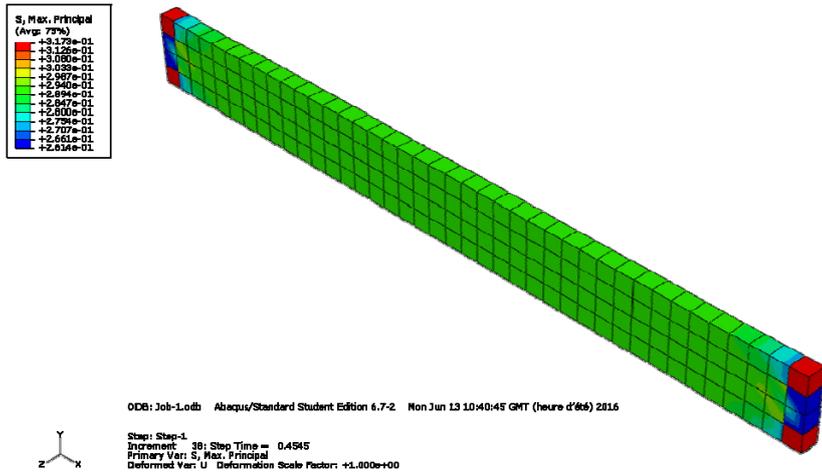


Figure IV. 10 : Contraintes l'éprouvette N°1

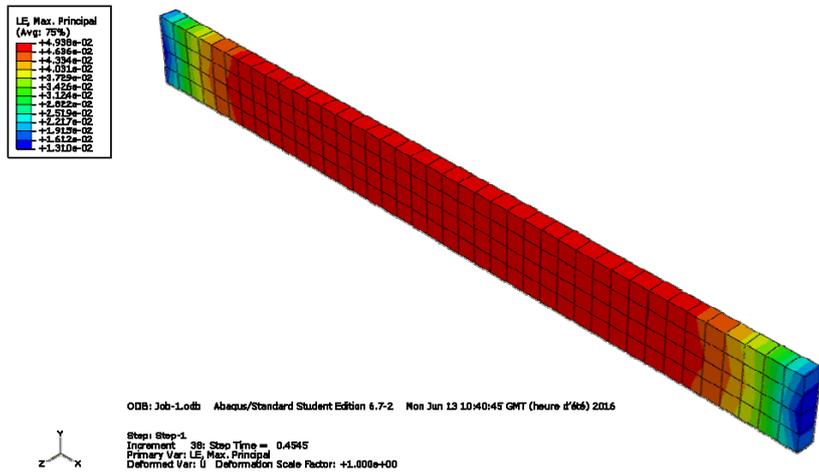


Figure IV. 11 : Déformation l'éprouvette N°1

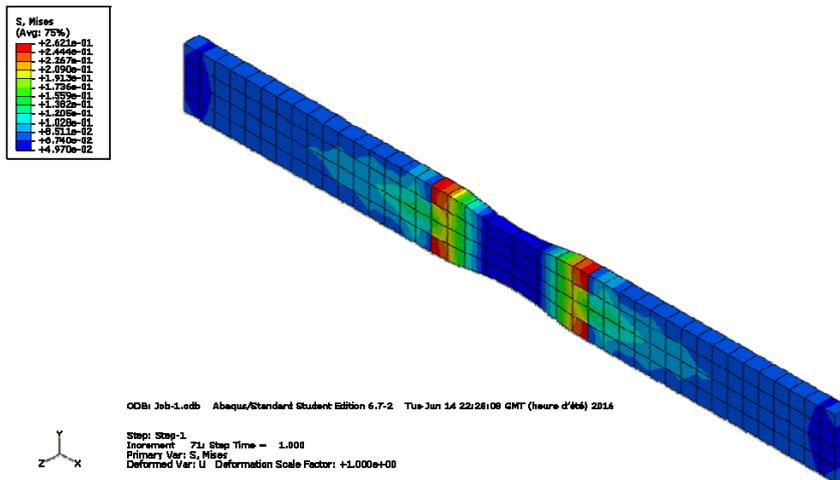


Figure IV. 12 : l'éprouvette N° 1 sur labqus avant la rupture

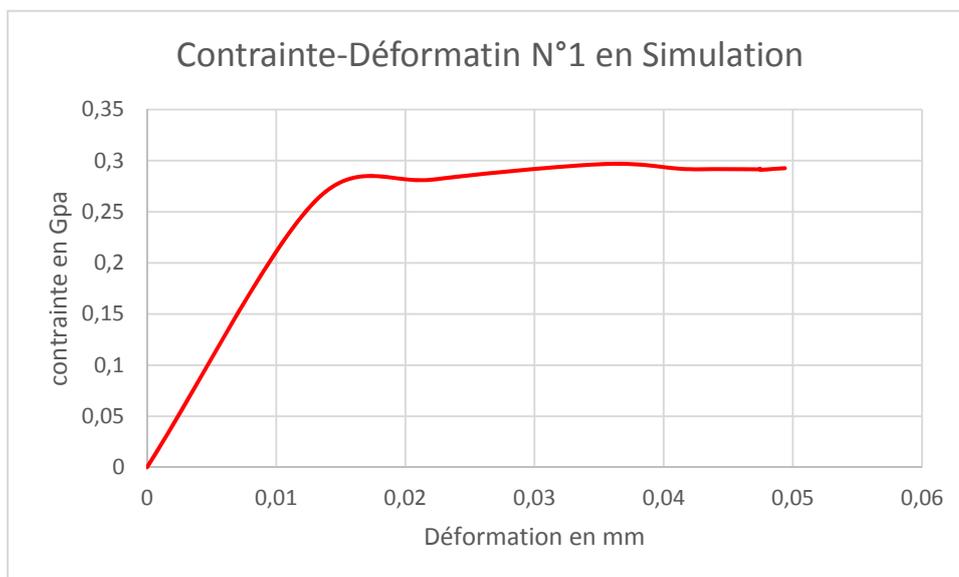


Figure IV. 13 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N° 1 en simulation

➤ **Comparaison :**

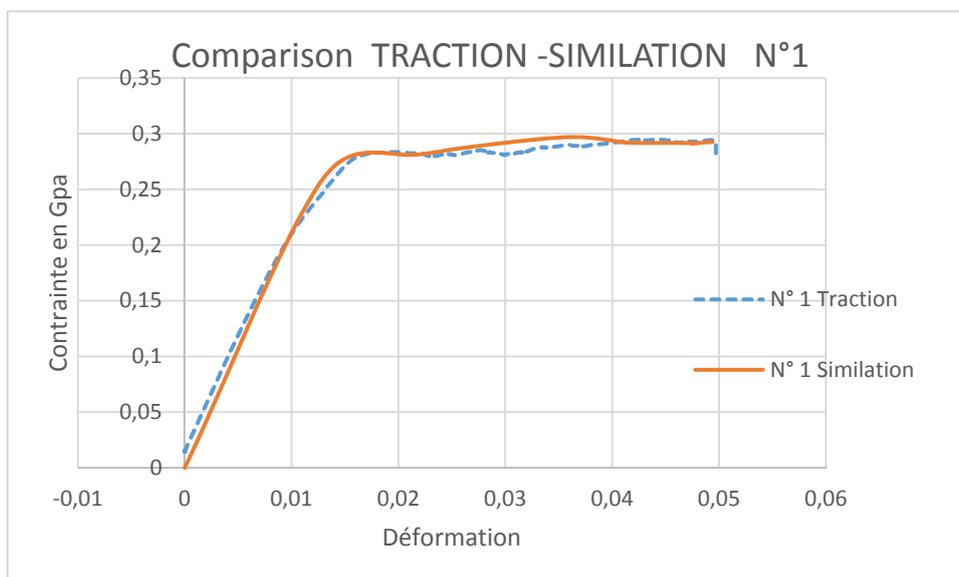


Figure IV. 14 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N°1 en simulation et en traction

IV.1.3.2 L'éprouvette N°5 avec trou :

➤ L'éprouvette N°5 en traction sur la machine :



Figure IV.15 : L'éprouvette N°5 avant et après traction

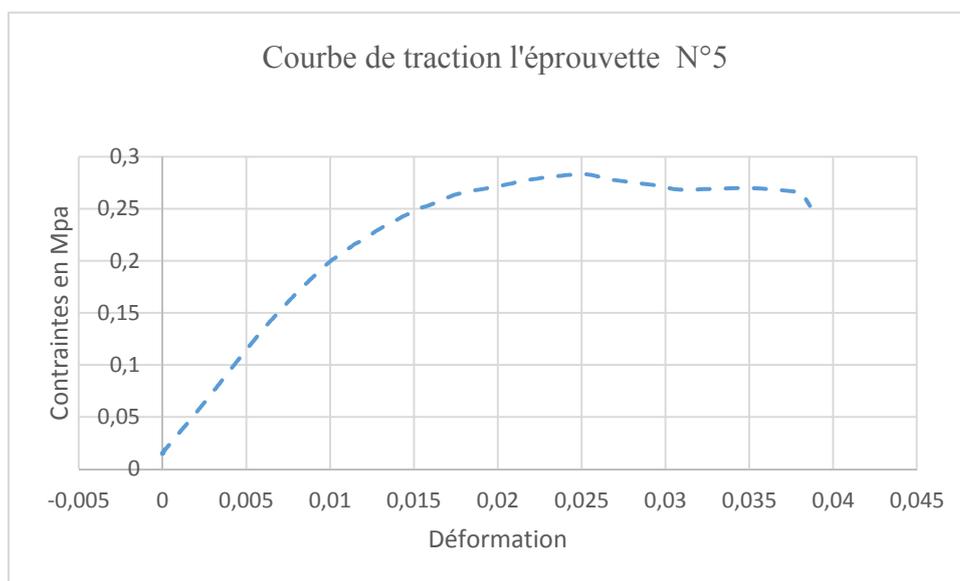


Figure IV.16 : Courbe de traction sur machine

➤ L'éprouvette N°5 en traction sur Abaqus :

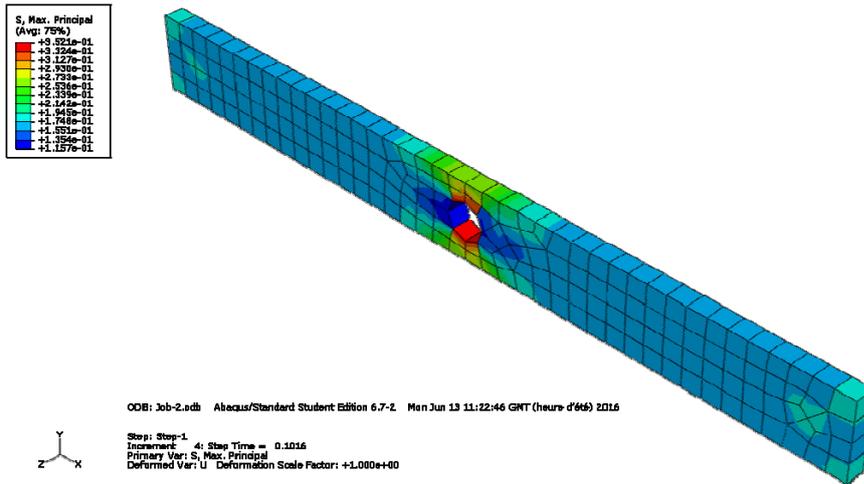


Figure IV. 17 : Contraint l'éprouvette N°5

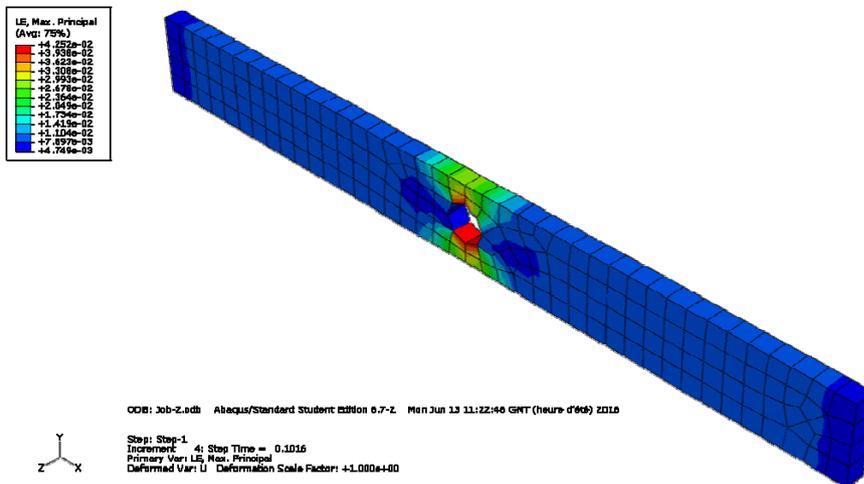


Figure IV. 18 : Déformation l'éprouvette N°5

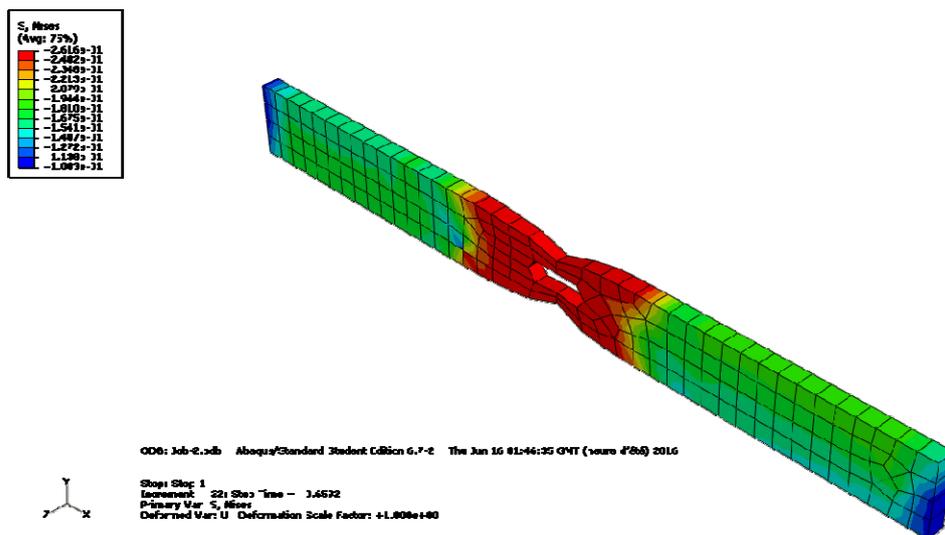


Figure IV. 19 : l'éprouvette N° 5 sur abaqus avant la rupture

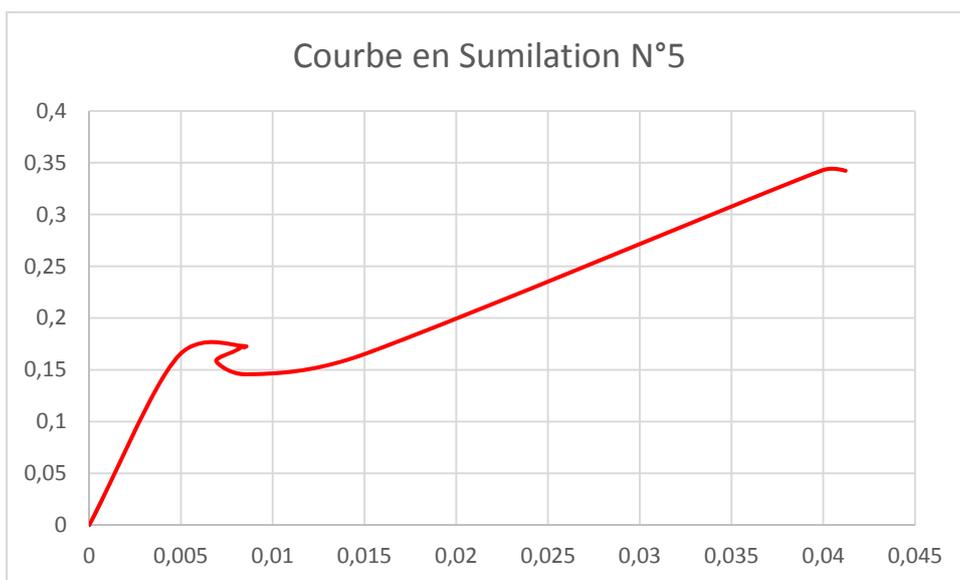


Figure IV. 20 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N° 5 en simulation

➤ **Comparaison :**

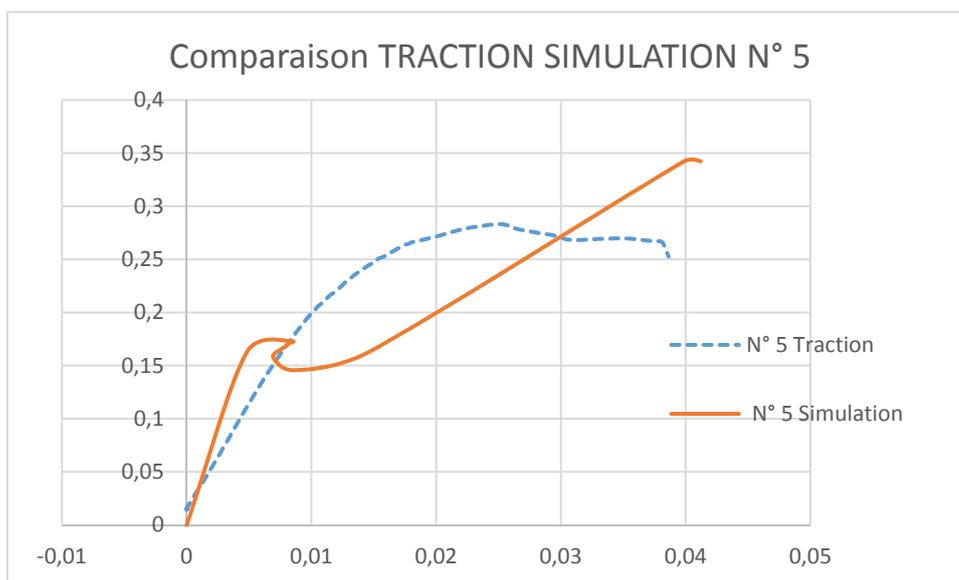


Figure IV. 21 : courbe contrainte déformation l'éprouvette N°5 en simulation et en traction

### IV.2.1 L'essai de choc :

Le moyen le plus classique pour caractériser la fragilisation du matériau sous l'action d'un choc est cet essai de résilience qui est un essai de flexion par choc sur une éprouvette entaillée qui mesure la résistance d'un matériau à la rupture brutale. Il est fréquemment dénommé essai de résilience CHARPY ou même essai CHARPY. En effet, Georges CHARPY, ingénieur dans une usine sidérurgique, met au point en 1901 la machine (mouton CHARPY) qui permet de réaliser cet essai de résilience. Cet essai a permis d'améliorer la qualité des aciers et d'éviter les accidents liés à leur possible fragilité.

C'est un essai de résistance au choc, qui constitue à mesurer l'énergie nécessaire pour casser une éprouvette préalablement entaillée. On utilise en général un échantillon en forme de barre de section carrée et de dimension standard (10mmx10mmx55mm).

L'entaille peut être soit en V (angle de 45° et de profondeur 2mm), soit en U de profondeur 5mm et de rayon en fond d'entaille de 1mm.

L'essai consiste à imposer un choc à l'aplomb de l'entaille, l'éprouvette étant maintenue par deux appuis sur la face opposée de façon à provoquer l'ouverture de la fissure. On utilise pour cela un mouton-pendule de CHARPY.

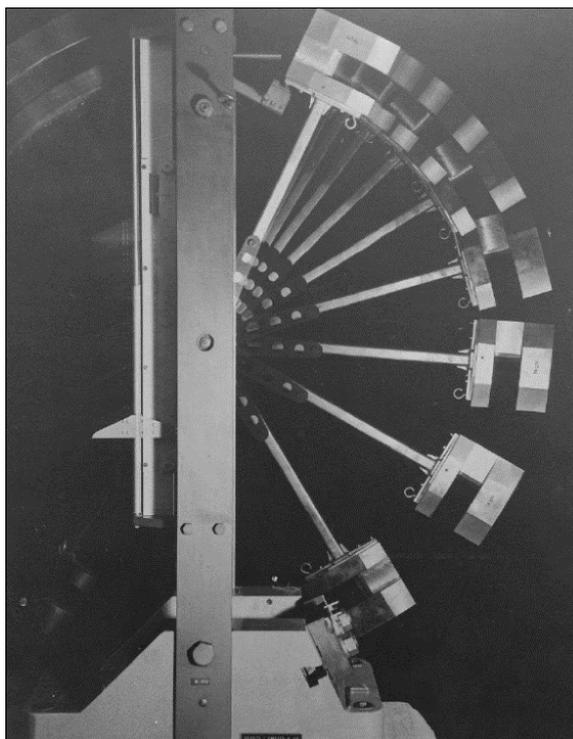


Figure IV. 22 : Principe de l'essai de résilience utilisant un mouton-Charpy

On détermine l'énergie absorbée dont on déduit la résilience.

La résilience est l'énergie exprimée en Joules par cm<sup>2</sup>, nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette.

Résilience = énergie absorbée par la rupture  $W$  (joules) / section au niveau de l'entaille ( $\text{cm}^2$ )

Un couteau fixe sur un marteau oscille dans un plan vertical autour d'un axe  $O$ .

Le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspondant à une énergie de départ

$W_0 = 300$  joules. On libère le couteau. Dans sa chute en passant à la verticale, il brise

l'éprouvette. On mesure la hauteur à laquelle remonte le pendule pour calculer l'énergie

non absorbée  $W_1$ . On calcule l'énergie absorbée par la rupture  $W = W_0 - W_1$

La résilience s'exprime en  $\text{J}/\text{cm}^2$ .

On la note  $KCV$  ou  $KCU$  (Charpy + entaille  $V$  ou  $U$ )

Il existe encore un autre type de rupture dite par fatigue. Lorsque le matériau est soumis à

des sollicitations répétées, la fissuration peut progresser sans que le facteur d'intensité des

contraintes ne dépasse la valeur critique  $K_c$ . Ces sollicitations entraînent finalement la

rupture de l'échantillon par fatigue.

On constate ces ruptures :

- sous sollicitation cyclique (fatigue mécanique ou thermique)

- sous sollicitation statique (corrosion sous contrainte, fluage)

- sous sollicitation complexe (fatigue-corrosion, fatigue-fluage).

Un essai de fatigue a ainsi été mis au point.

### **VI.2.1.2 Machine de choc :**



Figure IV. 23 : Machine de choc

IV.2.1.3 l'éprouvette :

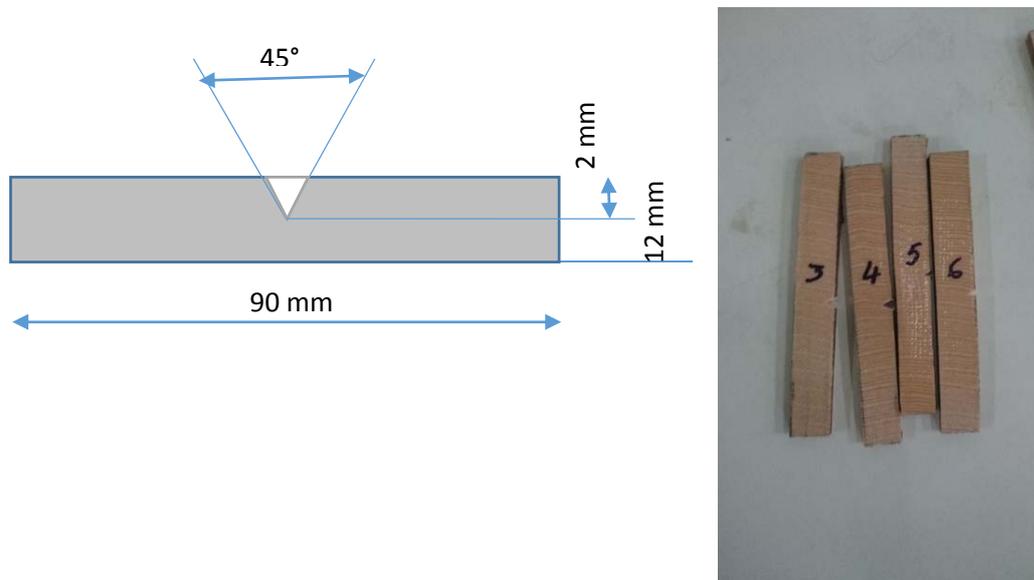


Figure IV.24 : Dimensions de l'éprouvette de choc

IV.2.1.4 Dimensions des éprouvettes de choc :

Tableau IV.5 : Dimensions des éprouvettes de choc N°1,2, 3,4 et 5 :

N°éprouvette	l'épaisseur (mm)				la largeur (mm)			
	1	2	3	Moyenne	1	2	3	Moyenne
1	4.6	5.2	5.3	5.0	12.2	11.9	11.3	11.8
2	4.2	4.8	5.1	4.7	11.4	11.2	12.2	11.6
3	5.1	4.8	4.8	4.9	12.6	13.2	13.2	13.0
4	4.8	4.9	4.5	4.5	12.2	12.2	12.2	12.2
5	4.6	5.4	5.2	5.0	11.5	11.6	11.6	11.5

IV.2.2 Résultats des essais de choc :



Figure IV.25 : Eprouvettes de choc

Tableau IV.6 : Résultats de l'essai de choc :

N°	Energie de choc (J)	Section (mm <sup>2</sup> )	Largeur éprouvette b0 (mm)	Epaisseur éprouvette a0 (mm)
1	2,18	59,22	12,6	4,7
2	2,71	59	11,8	5
3	2,81	54,52	11,6	4,7
4	2,62	63,7	13	4,9
5	2,21	54,9	12,2	4,5

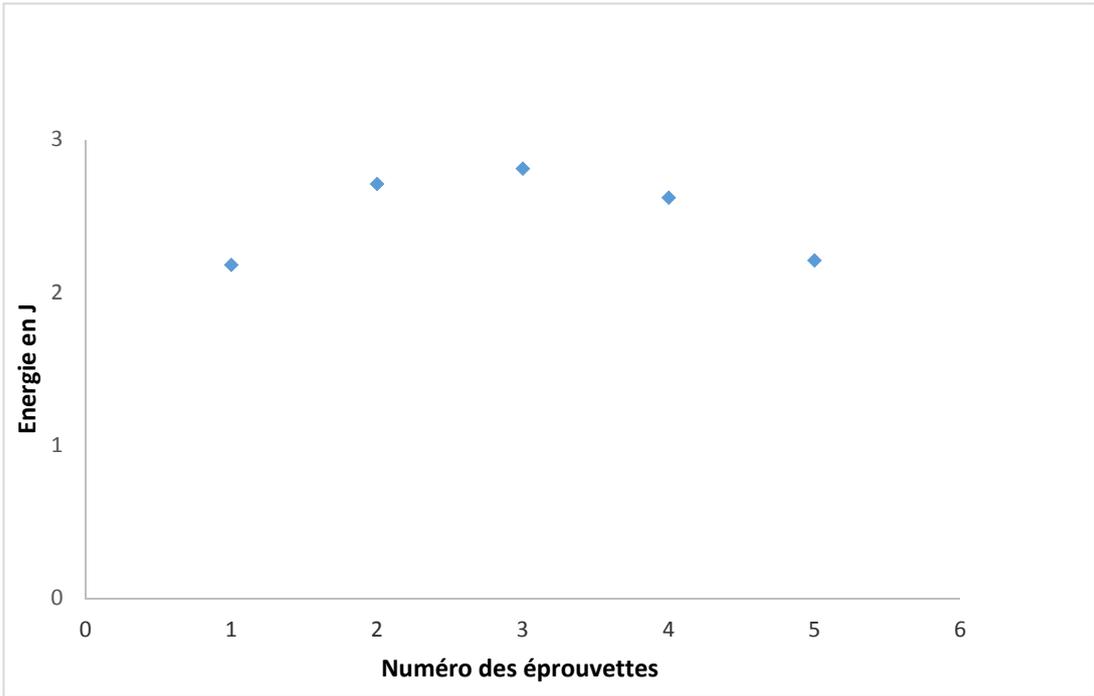


Figure IV.26 : Courbe énergie éprouvette N° 1, 2, 3,4 et 5

### IV.3.1 Essais de dureté :

La dureté peut être définie comme une mesure de la résistance à la déformation plastique localisée. Les méthodes de mesure de la dureté sont basées sur la pénétration forcée d'un indenter à la surface d'un matériau. Une valeur de dureté est déterminée par la mesure de la dimension ou de la profondeur de l'empreinte faite par l'indenter soumis à des charges et des vitesses d'application contrôlées.

#### IV.3.1.1 Essai Brinell (HB) :

Johan August BRINELL (1849–1925), ingénieur métallurgiste suédois, travaillait sur la transformation des aciers en fonction de la température. Il avait besoin d'un test rapide non destructif pour déterminer la dureté des différents aciers testent. Il met au point son test de dureté BRINELL base sur un indenter bille, pour alliages métalliques peu durs.

L'essai consiste à imprimer dans la pièce une bille en acier ou en carbure de tungstène de diamètre  $D$  sous une charge  $F$  et à mesurer le diamètre  $d$  de l'empreinte.

**Dureté Brinell HB =  $F / p \ 2D \cdot [D - \sqrt{D^2 - d^2}]$**  (Surface d'une calotte sphérique)

$F$  = charge d'essai (fonction du matériau) de 500 à 3000 daN

$D$  = diamètre de la bille (5 ou 10 mm)

$d$  = diamètre de l'empreinte en mm

La charge est appliquée progressivement pendant 15 secondes et maintenue à sa valeur finale pendant 15 secondes.

L'essai BRINELL est très peu utilisé en Odontologie.

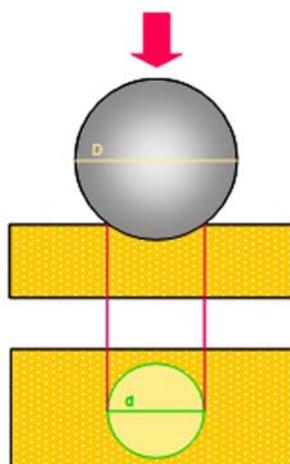


Figure IV. 27 : Principe de l'essai de dureté BRINELL

#### IV.3.1.2 La machine :

La machine d'essai de dureté c'est un d'uromètre universel (figure) Zwick /Roell à inventeur Brinell, Rockwell et Vickers.

Placer la pénétration qui convient pour HV : le pénétrateur pyramide à base cavé est l'angle au sommet est 136, (la machine dureté Vickers, AV5, AV10 et HV3)

-HB : le pénétrateur est une bille en WC de diamètre 2,5 mm et la charge est de 187,5kg on bien 62,5 kg

-HR ; on a plusieurs échelles (dureté Rack Wells)

HRC: charge 150kg f (20-70)

HRD :< 77 100kg f

HRA 20-88 charge 60kg → pénétrateur, cône en diamant avec l'angle au Sommet de 120° après temps

HRB: charge 100kg → 110veler

HRF: charge 60kg

Pénétrateur : bille en acier tramp de diamètre 110

Placer le pénétrateur qui contient en tenant le prêt pénétrateur fors de l'axe

Sur le cote latéral droit, choisir entre gammes les perdis couves pondant

Bran cher l'appareil sur 220 V et appuyer le boston manche –Arrêt derrière

Sur l'écran lumineux apparait la méthode que vous voulut utiliser en se servant de la toux menu confirmer la et vérifier tous le paramètre poids pénétrateur, temps tandis que les deux paramètres (live on et lignes zone) sont destinés uniquement pour HB et Vickers

Une fais que tous les paramètres sont définis et programmé, mettre l'éprouvette sur le plateau de travail et commencer à tourner le volant dès le sens aiguilles d'une montre j'étire qu'en contact avec le pénétrateur, une sonorisation vous indique ce le bon dévoilement de l'essai ; un chrono mêlé sur l'écran affichera le temps de l'essai et à gauche de l'écran la valeur du test (Rn.kg/mm<sup>2</sup>) Dera afficher peur HR (A.C.D.F.B...)

Pour HB et Vickers

- 1- Une fois la pénétrateur consonant placé et les pais sélectionnés par la touche même faire apparaitre sur l'écran d et superposer les deux axes jusqu' à l'apparition de D =0000 en utilisant l'oculaire de l'appareil
- 2- Appliquer la charge en appuyant sur la touche S retirer le pénétrateur après 03 secondes et par l'opalisant les deux mallettes D puis faire pivoter l'oculaire à 90° et mesurer D
- 3- Tout en confirmant à chaque fois la mesure en appuyant sur le bouton qui se trouve désirée le préscolaire
- 4- La valeur exacte est affichée sur l'écran avec une tolérance de 2 unités

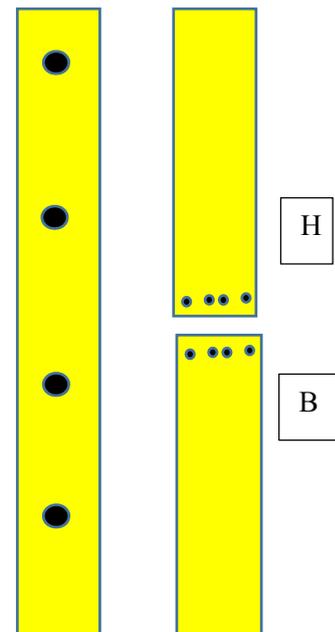


Figure IV. 28 : La machine de durée

**IV.3.2 Résultats de durté :****IV.3.2.1 Résultats de durté après traction sur éprouvette sans trou :**

Tableau IV.7 : Résultats de durté traction simple en (HRP)

N° d'essai	Eprouvette N° 1	EprouvetteN°1 Haut	Eprouvette N° 1 Bas
1	36.4	15.5	28.1
2	37.4	23.1	24.7
3	39.3	36.7	31.2
4	36.6	27.0	34.6

**IV.3.2.2 Résultats de durté traction pour éprouvette N°6 avec trou :**

Tableau IV.8 : Résultats de durté traction pour éprouvette N°6 avec trou

N° d'essai	Éprouvette N° 6	Éprouvette N° 6 Haut	Éprouvette N° 6 B
1	33.9	21.5	13.8
2	37.0	23.6	14.8
3	38.9	13.3	17.4
4	39.5	22.5	18.7

**IV.3.2.3 Résultats de la durté le choc pour éprouvette N°5 :**

Tableau IV. 9 : Résultats de durté le choc pour éprouvette N°5

N° d'essai	Eprouvette N°5	EprouvetteN°5 Haut	EprouvetteN°5 B
1	39.4	37.3	40.2
2	43.3	38.9	43.4
3	45.7	42.2	39.7
4	46.5	36.3	41.5

#### IV.4 Microscopie électronique :

Afin d'affiner nos investigations et mieux comprendre les effets qu'a subi le matériau, nous avons fait appel à l'outil microscope électronique à balayage MEB. Il est sensé compléter les résultats obtenus par traction, par résilience et par essais de dureté après traction. Pour cela nous avons réalisé trois séries de photos pour mettre en relief les effets du tronçonnage et du perçage après traction et des effets de la traction elle-même, (Figure IV. 30).

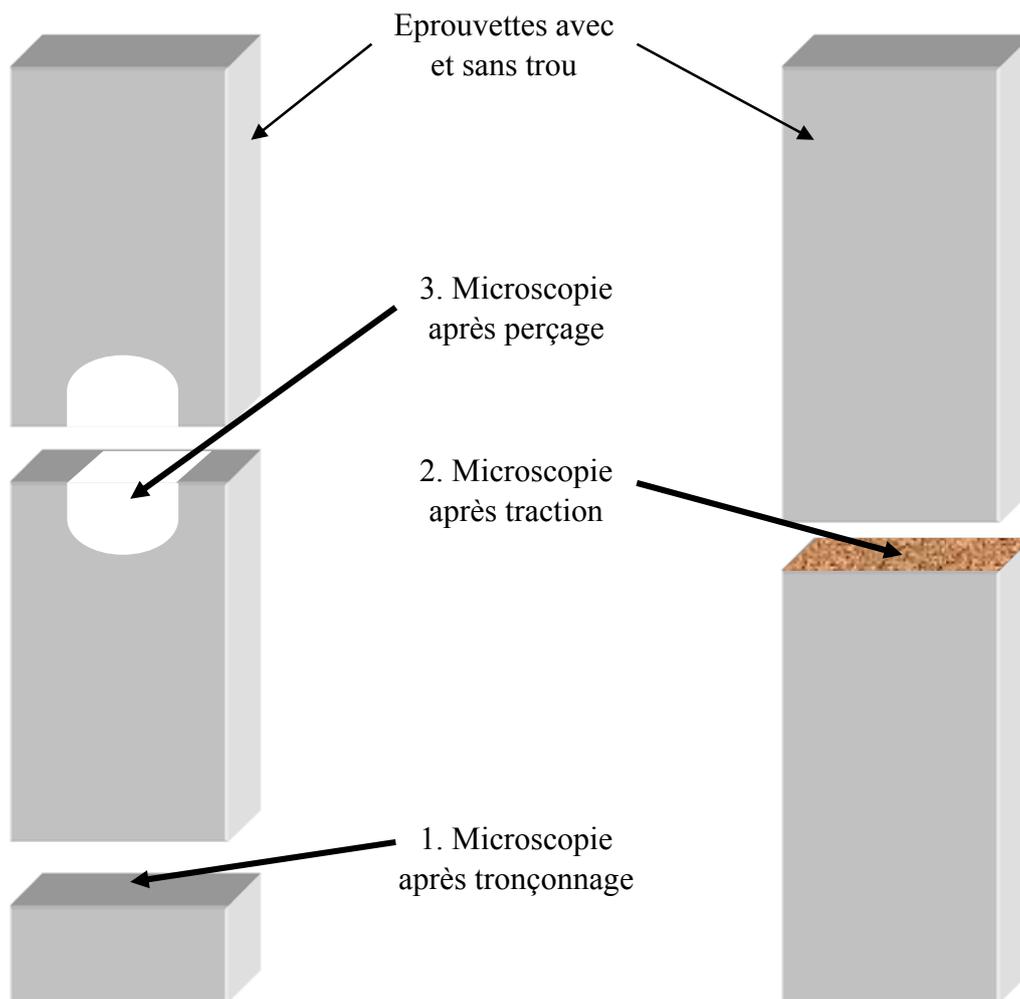
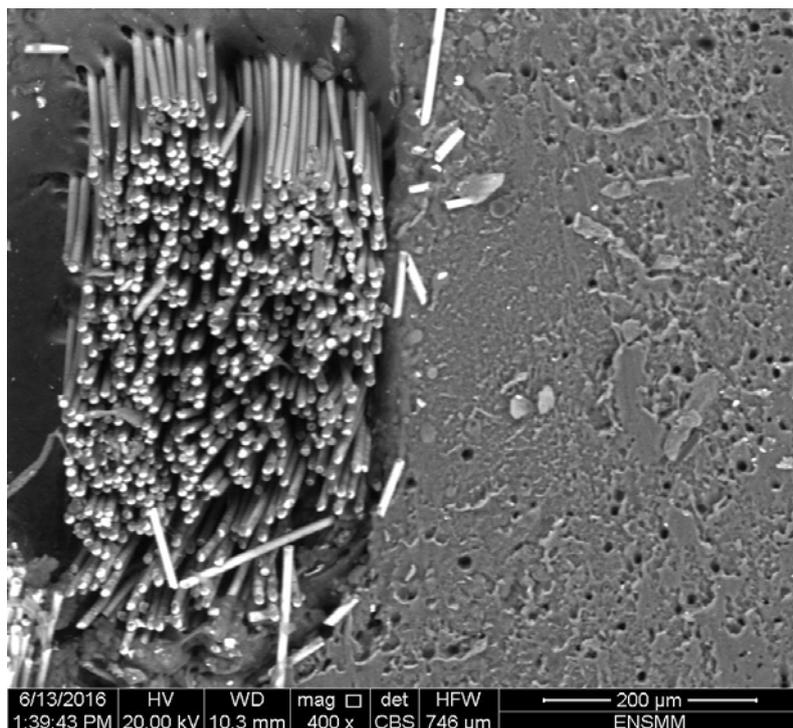


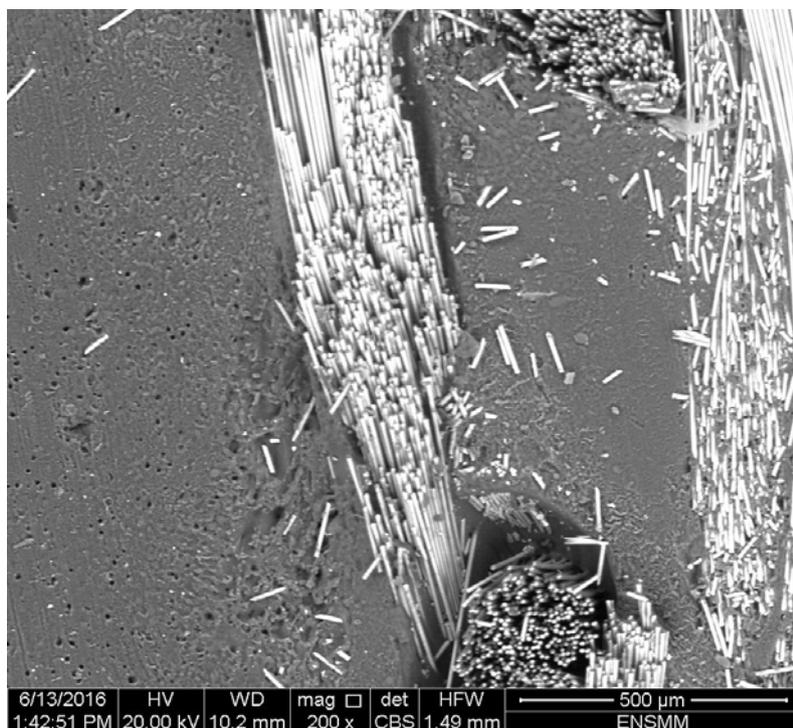
Figure IV. 29 : Etude microscopique des éprouvettes

## IV.4.1 Microscopie après tronçonnage :

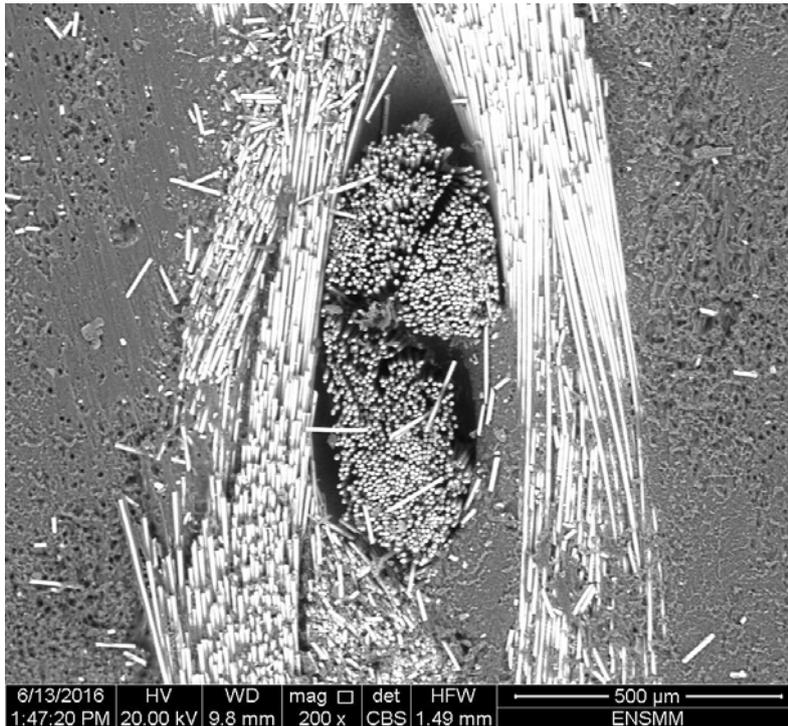


Cette photo met en relief très nettement deux matériaux bien distincts, les fibres de verre et la résine acrylique. La résine est nettement coupée sur le côté gauche montrant des trous dus à l'arrachage des fibres lors de la traction.

Sur le côté droit, nous observons des fibres libres avec une décohésion sur la partie supérieure. Ces fibres montrent qu'il n'y a pas une bonne adhérence avec la résine.



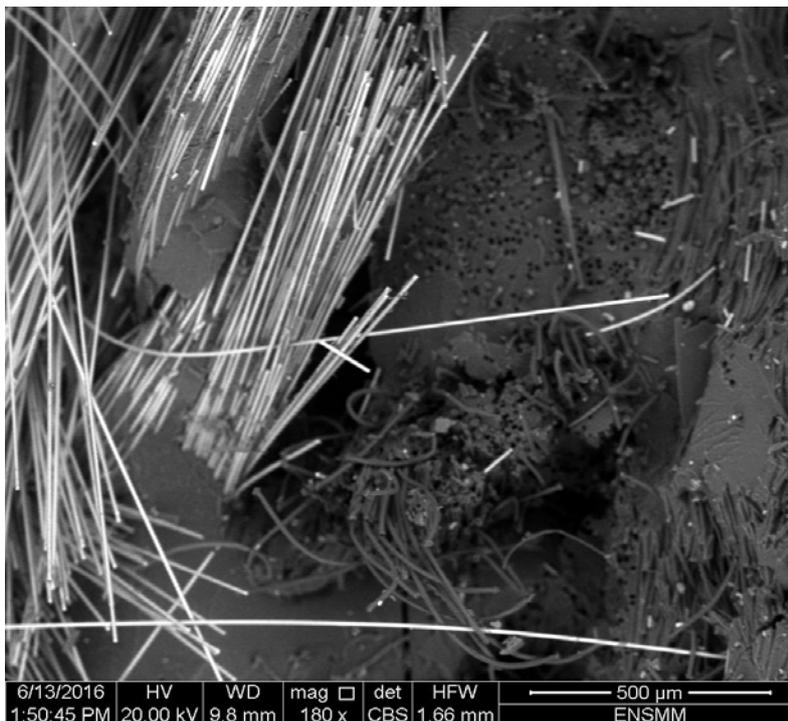
Les couches de fibres sont mal réparties entre les couches de résines. Cela donne un matériau très hétérogène, affaibli par un important délaminage et une forte décohésion.



L'orientation des fibres (au centre) dans l'axe de l'effort et d'autres dans un sens relativement oblique est due à la nature du tissage de ces dernières.

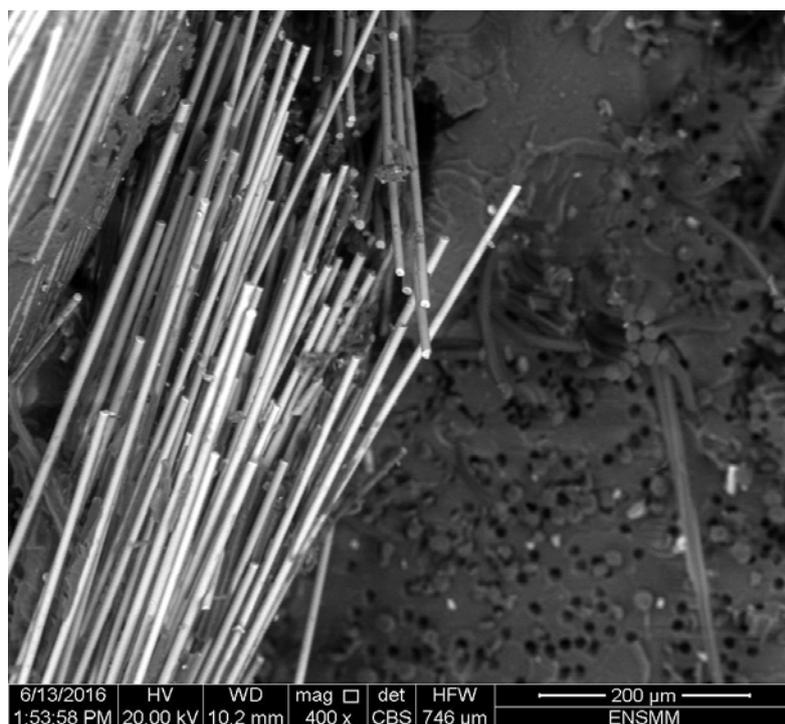
Figure IV.30 : Face tronçonnée (a), (b) et (c)

#### IV.4.2 Microscopie après traction :



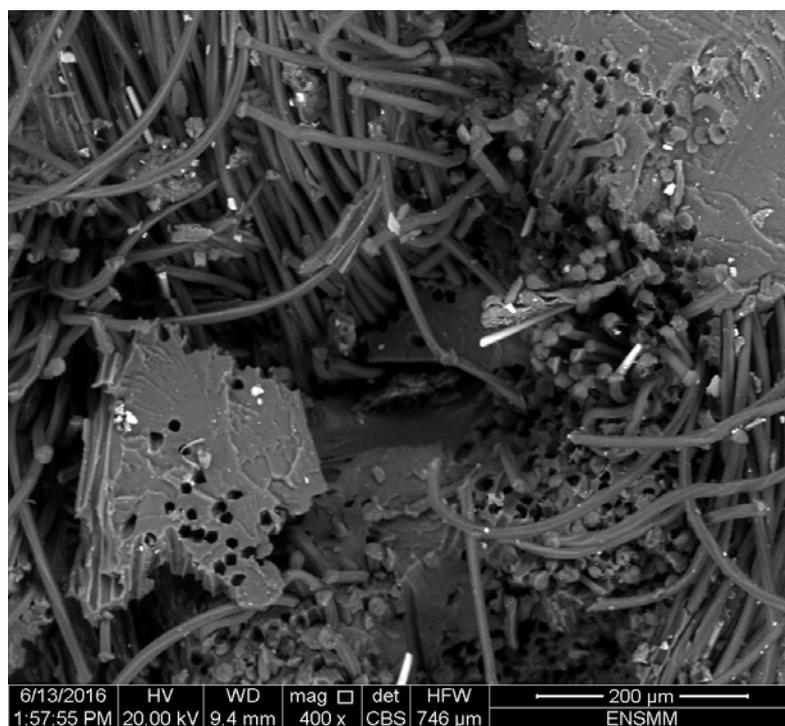
Le côté droit montre une matrice criblée de micro trous, dus à l'arrachage des fibres lors de la traction.

Le côté gauche montre des torons de fibres sans aucune liaison dû à une décohésion.



Cette photo est semblable à la précédente, montrant une décohésion côté droit matérialisée par des trous et côté gauche par des fibres flottantes.

(e)

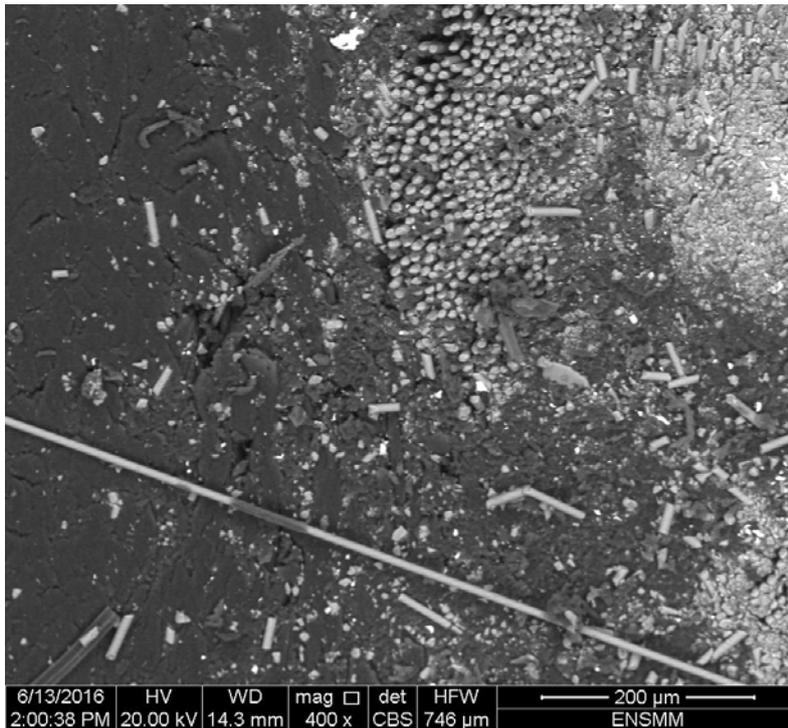


La particularité de cette photo, c'est la tête des fibres qui présentent des bouffelets dus à une forte traction et une rupture après une longue elongation.

(f)

Figure IV.31 : Effets de la traction (d), (e) et (f)

## IV.4.3 Microscopie après perçage :



La surface relativement plane, montre des fibres en toron, liées entre elles par une résine craquelée avec des fissures orientées dans tous les sens.

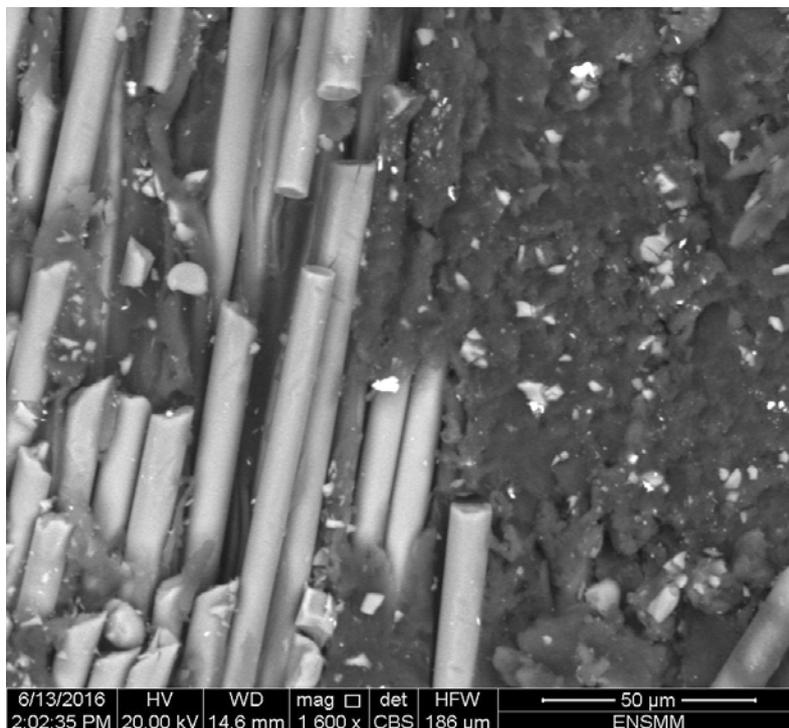


Figure IV.32 : Effets du perçage sur un matériau verre matrice acrylique (g) et (h)

# Conclusion générale

Le but de notre étude, entrant dans le cadre de la préparation du mémoire du master en mécanique des matériaux et dans le cadre de la relation entreprise université, a de multiples facettes.

- ✓ Cette étude fait suite à un stage pratique au sein de l'entreprise ONAAPH Annaba, qui nous a permis de découvrir l'entreprise, de côtoyer des administrateurs et des techniciens qui nous ont beaucoup appris. L'apprentissage au sein de l'entreprise diffère de loin de l'apprentissage à l'université. **Pour cela nous préconisons plus de stages et plus d'échange avec l'entreprise.**
- ✓ La préparation du mémoire nous a permis de découvrir plusieurs entreprises et institutions scientifiques, tels que le complexe sidérurgique d'El hadjar pour le découpage des éprouvettes, le département de métallurgie de notre université pour les essais de traction, de résilience et de dureté, ainsi que l'Ecole Nationale Supérieure de Mine et de Métallurgie Pour la microscopie électronique. **Nous conseillons vivement l'échange intra université, pour l'exploitation en commun des équipements scientifiques et techniques dans le cadre de la recherche scientifique.**
- ✓ La préparation de notre mémoire nous a permis de compléter notre formation pratique par l'utilisation de techniques et de machines que nous n'avons pas utilisé durant notre cursus universitaire, tels que le moulage des composites, l'utilisation des machines d'essais mécaniques et de microscopie. **A cet effet nous proposons l'intégration de TP réellement pratique au sein de la formation des étudiants étant donné la disponibilité des moyens.**
- ✓ Les résultats des essais mécaniques et de la microscopie électronique obtenus lors de la préparation de notre mémoire montrent des faiblesses dans les matériaux utilisés pour la réalisation des prothèses. **Pour cela nous proposons des recherches approfondies et des échanges mieux structurées avec les laboratoires concernés de l'université d'Annaba.**
- ✓ Les différentes visites à l'atelier de réalisation des prothèses de l'ONAAPH Annaba, nous a été très bénéfique, et nous a permis d'enrichir nos connaissances pratiques et de constater de visu le mode opératoire de préparation des prothèses. Notre formation universitaire, notre stage pratique et l'exploitation des moyens techniques nous ont permis de réaliser un mémoire que nous jugeons utile et bénéfique à l'entreprise. Les résultats obtenus nous permettent de faire les propositions suivantes :
  - **Faire d'autres travaux avec l'université selon des axes bien précis.**
  - **Réduire la quantité de durcisseur pour la préparation des résines**
  - **Augmenter la valeur de la dépression.**
  - **Assurer une bonne ventilation des locaux.**
  - **Utiliser de bons équipements de sécurité (tablier, masque, gants, lunettes**
  - **Faire un suivi médical.**
  - **Agrandir les locaux de travail et faire des séparations par spécialités.**
  - **Faire des rotations pour les équipes exposées aux résines.**
- ✓ Maintenir les échanges avec l'entreprise, créer des équipes de recherches en commun. **Pour cela il est souhaitable d'assurer la continuité des travaux en recensant tous les travaux réalisés et assurer une pérennité aux travaux en cours.**

# Bibliographiques

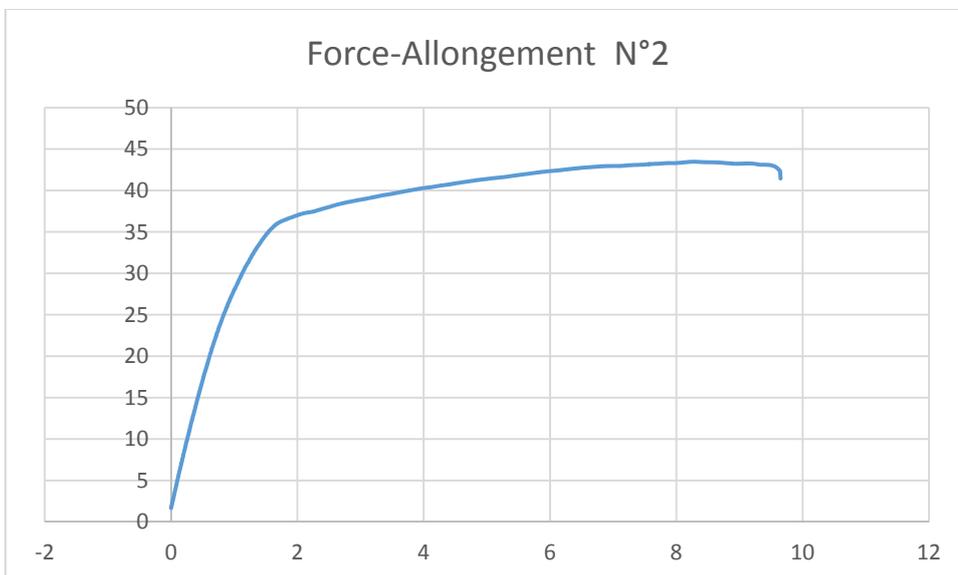
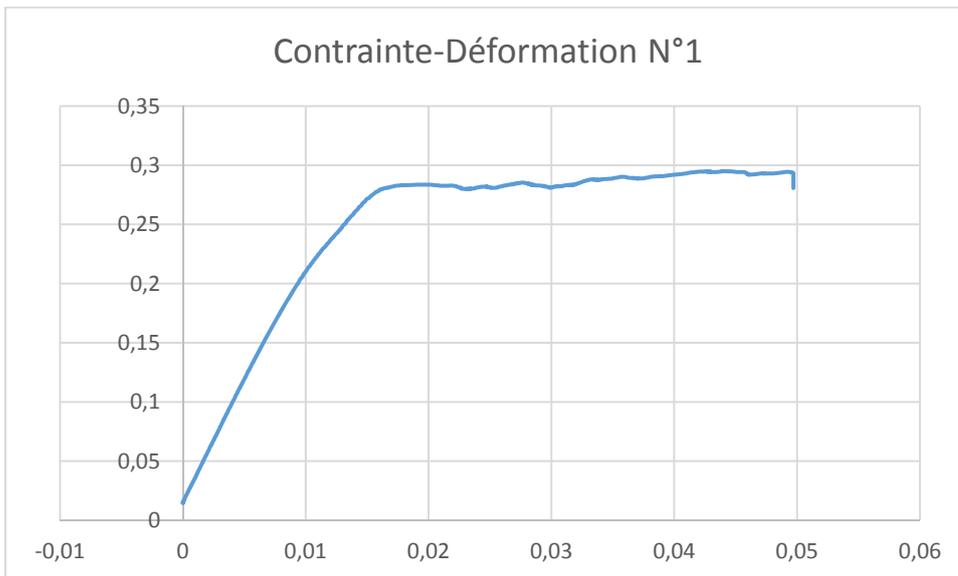
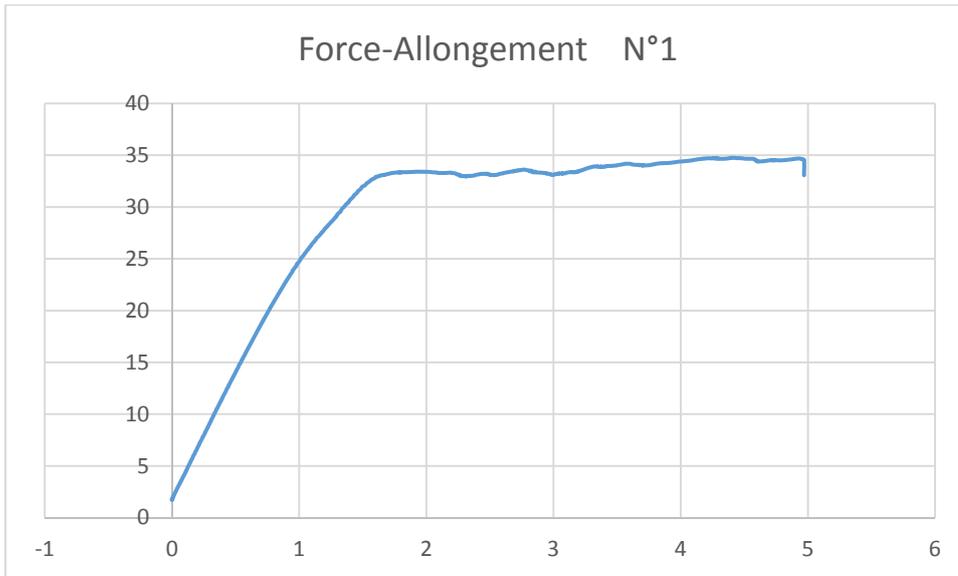
- Appareillages orthopédiques : contribué à l'insertion des malades. Extrait de l'El m'ouatine <http://elmouwatin.dz/?Appareillages-orthopediques>.
- NAILI Mokhtar Mémoire de master : Modélisation géométrique d'une prothèse totale de hanche 2008/2009.
- S. ACHOURI, M. BENAMIRA, B. REDJEL « Résistance à la fissuration en régime dynamique d'un matériau composite à usage orthopédique » 5<sup>èmes</sup> Journées de Mécanique JM'05. Bordj El-Bahri (Algérie), 29-03- 2006.
- P. SAUTREUIL « L'appareillage orthopédique 415 \*Source «Déficiences motrices et situations de handicaps» Centre régional d'appareillage, Val-de-Fontenay-2005.
- V. PAUCHARD, H. BOULHARTS-CAMPION, F. GROSJEAN1, P. ODRU, A. CHATEAUMINOIS « Développement d'un modèle de durabilité de poutres composites unidirectionnelles renforcées par des fibres de verre », Rev. IFP, Vol. 56 (2001), No. 6, pp. 581-595-2001.
- N. BEHLOULI « les matériaux composite », cours des matériaux composites, université de Strasbourg.
- Laurent Gornet. Généralités sur les matériaux composites. Ecole d'ingénieur. 2008. <cel-00470296v2>.
- Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Théorique et Appliquée - UMR 75632, avenue de la Forêt de Haye, BP160 54504 Vandœuvre-lès-Nancy.
- H. SAADAOUI « évaluation des endommagements thermiques et mécaniques du composite graphitai/époxyde par émission acoustique et acousto- ultrasonique. » Université Moncton- 1996.
- D. GAY « matériaux composites » 3<sup>e</sup> édition revue et augmentée, Hermès 1991.
- J.C. LEHMANN « Verre et produits verriers d'aujourd'hui et de demain » Groupe Saint Gobain-2006.
- J. M. BERTHELOT, matériaux composites ; comportements mécanique et analyse des structures ; édition TEC et DOC -1999.
- J. J. BARREAU & S. LAROZE « structure en matériaux composites » Génie mécanique, fonction et composants mécaniques ; BD1.5080
- HANDBOOK « composite materials volume 3. Polymer matrix composites materials usage, design, and analysis ». MIL-HDBK-17-3F Volume 3 of 5 .17 June -2002.
- C.DECATHLON « Les matériaux composites dans l'industrie des sports et loisirs ». Rui Pedro Carreir a. Congrès RFIS, juin -2005.
- M. BENAMIRA « Caractérisation à la rupture du matériau composite utilisé par l'ONAAPH ».Mémoire de Magister, Université Annaba -2002.

- CARMA « Glossaire des matériaux composites » carma décembre -2004.
- Université de lorraine «Essai de traction » SSTIN.
- Encycl. Med. Chir. (Paris-France, Odontologie, 23063 B10, 7-1990, 17p.
- BAILON JP, DORLOT JM. : Des matériaux. Presses Internationales Polytechniques, 2000, 736p.
- GORDON JE. : Structure et Matériaux. L'explication mécanique des formes. Pour La Science Diffusion Belin, 1994, 213p.
- LE MEN A. : Propriétés mécaniques des biomatériaux de restauration utilisés en art dentaire, Editions techniques.

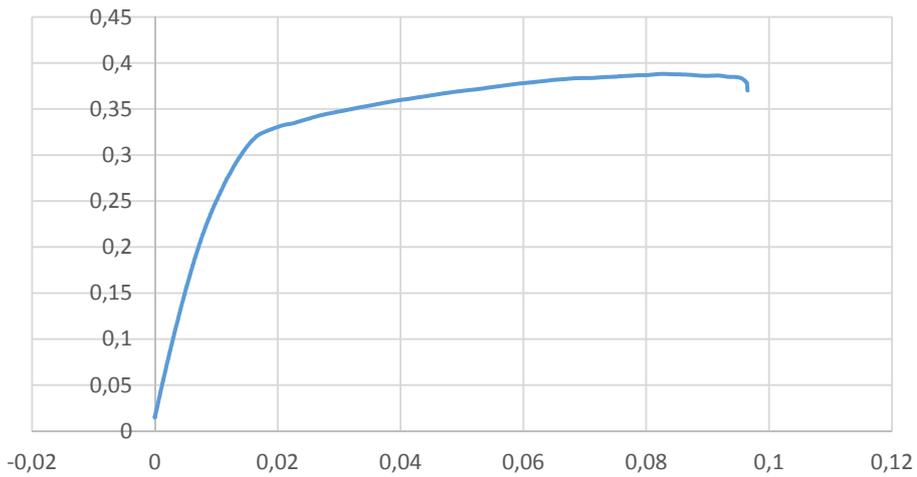


ANNEXE

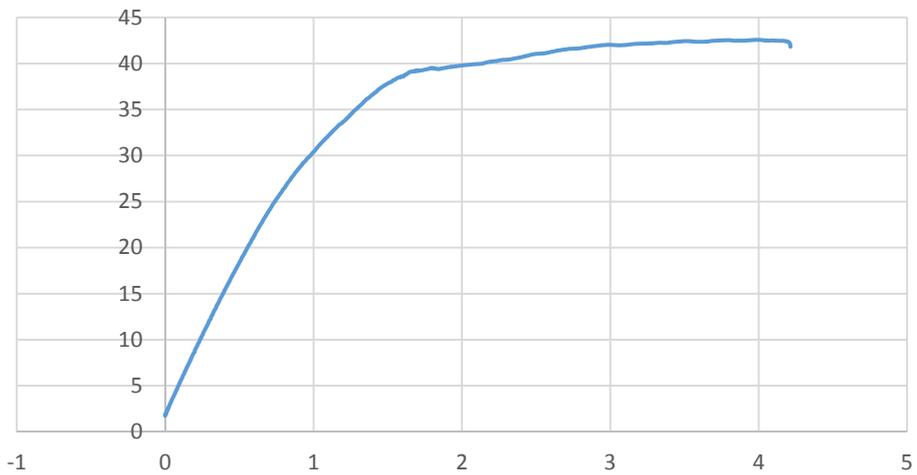
# TOUT LES FIGURE D'ESSAI DE TRACTION



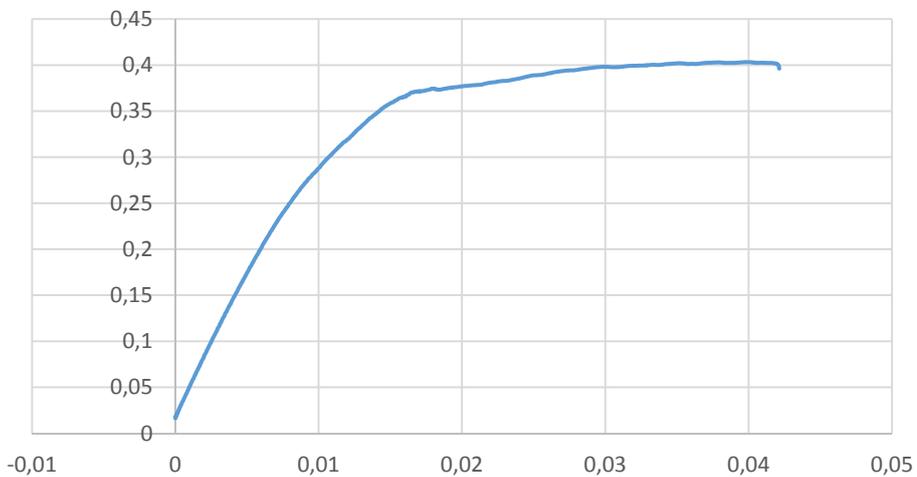
### Contraintes-Déformation N°2



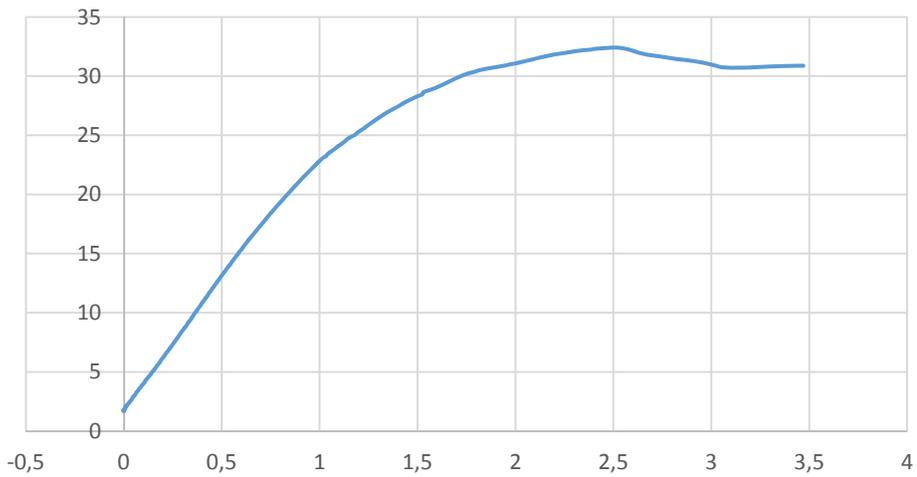
### Force-Allongement N°3



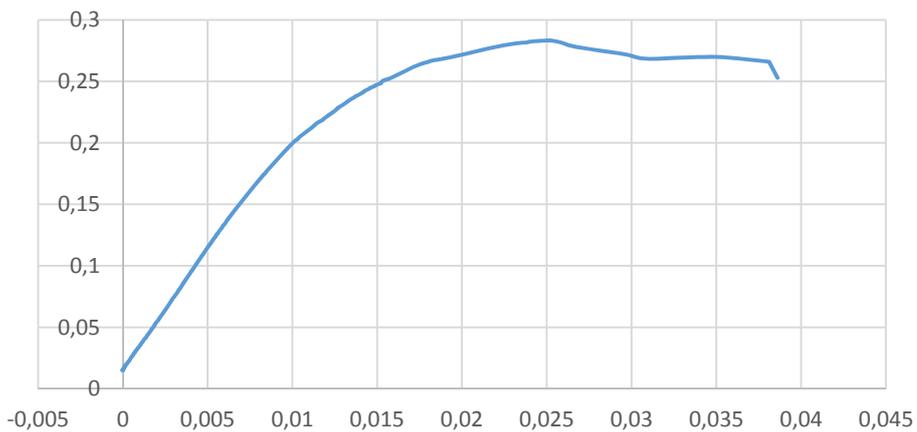
### Contrainte -Déformation N°3



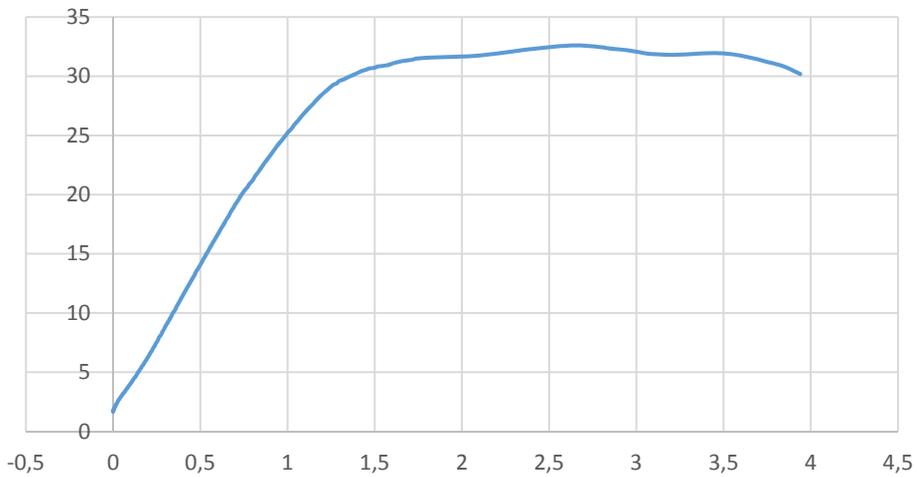
### Force-Allongement N°5



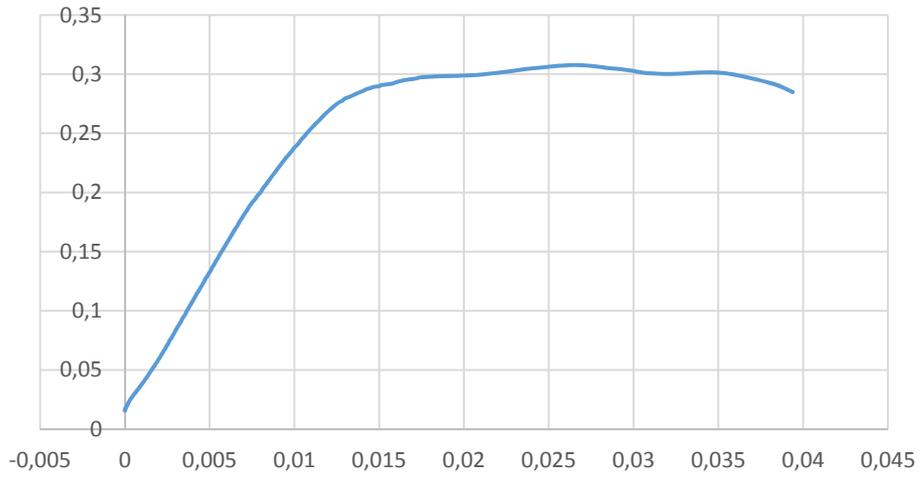
### Contraintes -Deformation N°5



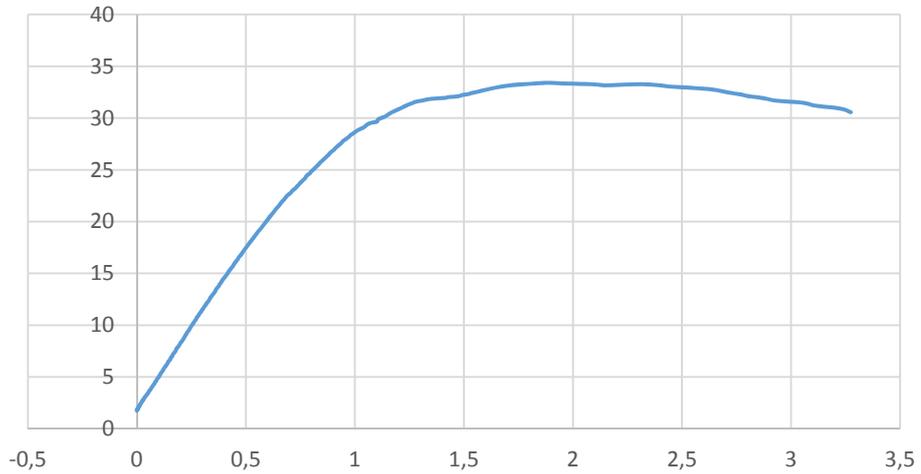
### Force-Allongement N°6



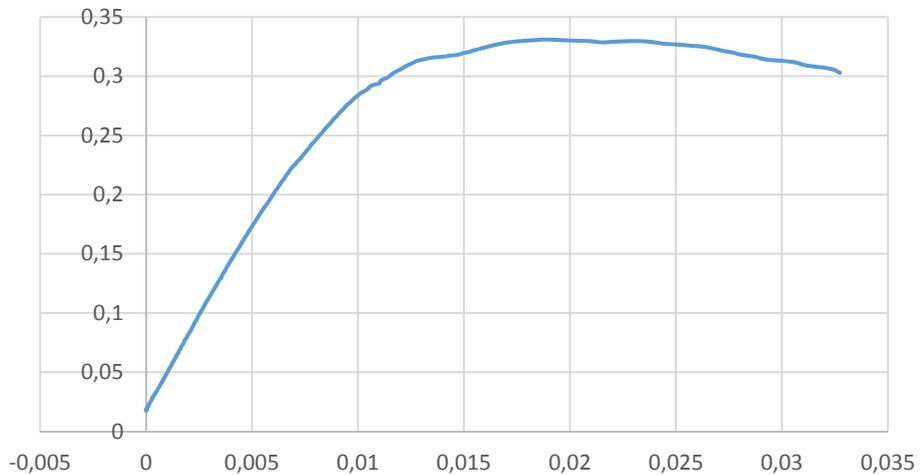
Contrainte-Déformation N°6

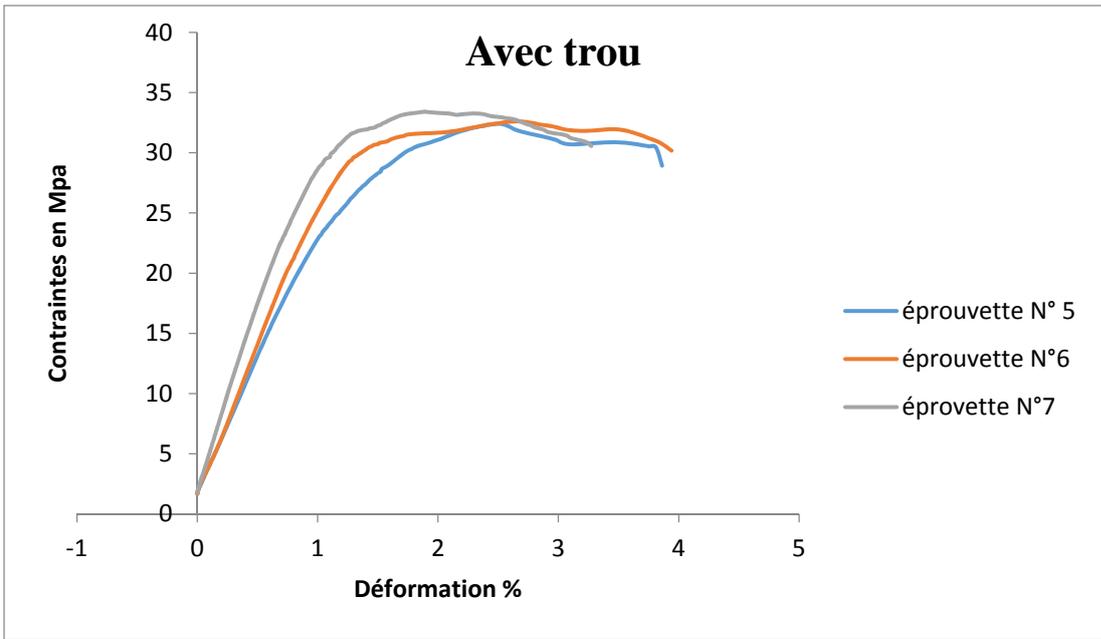
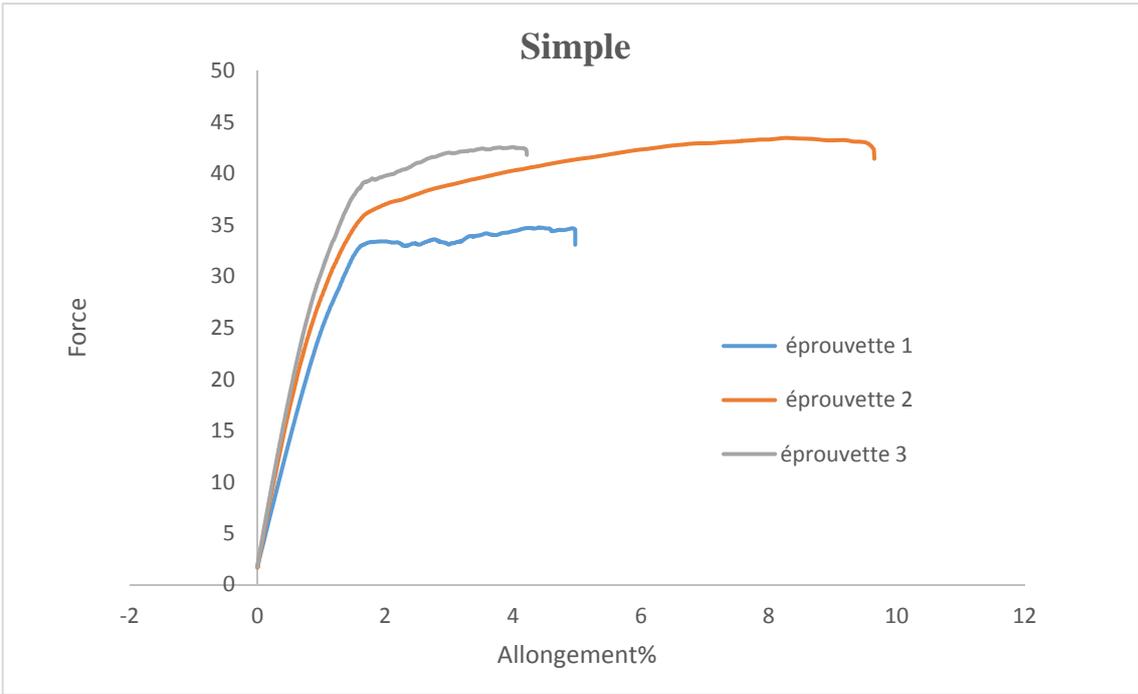


Force-Allongement N°7



Contrainte-Déformation N°7





Dies ist ein Beispiel-Export der Prüfvorschrift aloui verre.zs2.  
Der Export wurde am 05.06.16 um 11:09:16 ausgeführt.

## Prüfungsdaten:

### Paramètres pour le procès-verbal:

Client : BELDI  
 N° de demande : 01  
 Norme d'essai : DIN EN 10002-1  
 Type et descriptif :  
 Matériau : ACIER  
 Echantillon : 45  
 Type d'éprouvette : plate  
 Traitement préparatoire :  
 Opérateur : Melle GHARBI  
 Remarque :  
 Données machine : Z050

### Tableau de résultats:

Nr	Prélèvement	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	E MPa	R <sub>eH</sub> MPa	A <sub>e</sub> %	R <sub>eL</sub> MPa	R <sub>p0.2</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa	A <sub>t</sub> (corr.) %
1	1	117,80	1740	33	1,82	33	-	35	-
2	2	112,00	1700	43	0,15	43	-	43	-
3	3	105,56	1780	40	0,05	39	-	43	-
4	5	114,40	1790	32	0,64	31	-	31	-
5	6	106,00	1740	33	0,52	32	-	32	-
6	7	100,88	1790	33	-	-	-	33	-

### Tableau de statistiques:

Série n = 6	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	E GPa	R <sub>eH</sub> MPa	A <sub>e</sub> %	R <sub>eL</sub> MPa	R <sub>p0.2</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa	A <sub>t</sub> (corr.) %
x	109,44	-	36	0,64	36	-	36	-
s	6,34	-	4	0,71	5	-	5	-
v	5,80	-	12,40	110,95	15,00	-	15,17	-

### Graphique de courbes:

