

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
En vue de l'obtention du diplôme de :
MASTER
En Génie Mécanique
Option : Construction Mécanique
Présenté par :
AICHOUCHE Mohamed Lamin
MADI Zidane
Thème :

RÉALISATION DES SUPPORTS EN POLYAMIDE PA6

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
AMROUNE Salah	Professeur	Président
SAIB Cherif	MCA	Encadreur
ROUABHI Youcef	MCB	Examineur

Année universitaire : 2023 / 2024

N° d'ordre : GM/...../2024

Remerciements

Nous remercions le grand Dieu de nous avoir donné la Santé et la volonté de tout commencer et de terminer cette mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas riche et ne pourrait être possible sans l'aide et l'encadrement de Monsieur **"Saib Cherif"** nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité lors de notre préparation de cette thèse.

Nous tenons également à remercier tous nos enseignants pour leur générosité et leur grande patience

Dédicace

Je dédie ce simple travail à ma maman bien-aimée, à papa, à mes chers frères et sœurs, à toute ma famille, à tous mes amis et à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à terminer mon travail.

Zidane Madi

Dédicace

Je dédie ce simple travail

À :

Chers parents, que Dieu les protège Et à toute ma Famille
Et aux âmes de mon grand-père et de ma grand-mère, que
Dieu ait pitié d'eux.

A tous mes amis, et ceux qui étaient avec moi et
m'accompagnaient pendant mes études à l'université.
Et à tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort pour m'aider.

Aichouche Mohamed Lamin

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I Généralités sur les polyamides.....	4
I-1. Introduction	5
I-2. Historique des polyamides	6
I-3. Les types de polyamide (PA 6)	7
I-3.1. Les avantages et les inconvénients des polyamides	7
I-4. Définition de polyamide(PA 6)	8
I-5. Production de polyamide (PA 6)	9
I-6. Les principales caractéristiques	12
I-7. Composants en polyamide (PA 6)	12
I-8. Propriétés du polyamide (PA6)	13
I-9. Utilisations du (PA6)	15
I-10. Résistance chimique :	16
I-11. Conclusion :	17
Chapitre II Le support de remorque en polyamide.....	18
II-1. Introduction :	19
II-2. Définition :	19
II-3. Les problèmes des supports de remorque d'importation :	20
II-4. Emplacement d'installation :	21
II-5. Les fonctions des supports de remorque :	22
II-6. Processus de fabrication du support en polyamide.....	22
II-6.1 Gamme d'usage du support en polyamide :	23
II-6.2 Les étapes de fabrication :	25

II-7. Conclusion :	31
--------------------------	----

**Chapitre III Les essais de caractérisation structurale et
mécaniques 33**

III-1. Introduction.....	30
III-2. Matériau et méthode.....	34
III-3. Les essais de caractérisation structurale et mécaniques :	34
III-3.1 mode de préparation :.....	34
III-3.2 Essai de traction :	35
III-3.3. L'essai de compression :	39
III-3.4. L'essai de FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) :	43
III-4. Conclusion :	45

Chapitre IV Discussion des résultats 46

IV-1. Introduction :	47
IV-2. Resultats des essais de traction :	47
IV-3. Resultats de l'essai de compression :	49
IV-4 Resultats de l'essai de FTIR :.....	51
IV-5. Conclusion :	52

Chapitre V Simulation numérique..... 54

V-1. Introduction	55
V-2. Présentation des logiciels SolidWorks et ABAQUS	55
V-2.1. Le logiciel SolidWorks.....	55
V-2.2. Définition d'ABAQUS.....	56
V-3. Etapes principales de simulation	56
V-4. Conclusion :	66

Conclusion Générale.....	67
Référence bibliographique	69
Résumé.....	70
Annexe.....	71

Listes des figures

Fig I-1 : Formule chimique du polyamide (PA 6).....	8
Fig I-2 : le polyamide (PA 6)	9
Fig I-3 : Production de polyamide (PA6).....	10
Fig I-4 : Organigramme de production des fibres de nylon6.	11
Fig I-5 : Utilisations du polyamide (PA 6).....	16
Fig II-1 : Support d'importation " Equalizer Bush ARB0033".....	19
Fig II-2 : Support d'importation endommagé en quelques mois.....	20
Fig II- 4 : la remorque système BTK.....	21
Fig II- 3 : balancier (Equalizer LK1400).....	21
Fig II-5 : dessin technique.	22
Fig II-6 : Caractéristiques d'usinage de Polyamide (PA6).....	23
Fig II- 7 : Barre en polyamide (PA6).	25
Fig II- 8 : fixez la barre au mandrin.	26
Fig II- 9 : la forme de support.	26
Fig II- 10 : Découpe du support.	27
Fig II- 11 : Perçage interne de support.	28
Fig II- 12 : Bords et surface lisses.	29
Fig II- 13 : Le support en polyamide (PA6).....	30
Fig III-1 : dimension de plaque.	35
Fig III-2 : Les dimensions de l'éprouvette	35
Fig III.3 : Présentée l'éprouvette obtenue.	36
Fig III.4 : le courbe de traction.....	36
Fig III.4: Machine d'essai en traction type de 112.....	39
Fig III-7 : Les dimensions de l'éprouvette.	40
Fig III.8 : Présentée l'éprouvette obtenue.	41
Fig III-9 : Machine essai de compression type de WP 310.....	42
Fig III-10 : Poudre de Polyamide (PA6).	43
Fig III-11 : Machine essai de matériaux type de "Aglient Cary 630 FTIR".....	44
Fig IV.1 : Éprouvette de traction après rupture.....	47
Fig IV.2: Courbe contrainte-déformation pour le Polyamide (PA6).....	48
Fig IV.3 : Éprouvette de compression après déformation.....	49
Fig IV.4: Courbe contrainte-déformation pour le Polyamide (PA6).....	50

Fig IV.5 : Courbe de FTIR	51
FigV. 1 : La Forme géométrique.	57
Fig V. 2 : Définition du matériau.	57
Figure V.3 : Après la définition du matériau, On va créer une section.	57
Fig V. 4 : Define creat section.....	57
Fig V. 6 : Définition de Property.....	57
Fig V. 5 : Définition de la section.	57
Fig V. 7 : Création de l'assemblage	57
Fig V. 8 : Création de l'étape « pressure ».....	57
Fig V. 9 : Définition de la fixation.	57
Fig V. 10 : Définition de la fixation.	57
Fig V. 12 : la charge appliquée.....	57
Fig V. 11 : Définition de la charge.	57
Fig V. 13 : Maillage tétraédrique.	57
Fig V. 14 : Maillage du support (34625 éléments).....	57
Fig V. 15 : Création de "job".....	57
Fig V.16 : Analyse.....	57
Fig V. 17 : maillage et avant déformé du support a) Face avant, b) Face droit.....	57
Fig V. 18 : maillage et après déformé du support. a) Face avant, b) Face droit.....	57
Fig 1 : dessin technique.	57
Fig 2 : détail intérieur.	57
Fig 3:Caractéristiques d'usinage de Polyamide (PA6).....	57

Listes des tableaux

Tableau I-1 : Composition chimique du polyamide (PA6).....	12
Tableau II-1 : La gamme d'usinage.....	23

Introduction générale

Introduction générale

Les matériaux composites sont une avancée majeure dans l'ingénierie des matériaux, offrant une combinaison unique de résistance, de légèreté et de durabilité. En combinant plusieurs composants, ces matériaux surpassent les propriétés individuelles de chaque élément, révolutionnant des secteurs tels que l'aérospatiale, l'automobile, le génie civil et le sport.

Cette étude se concentre sur la conception et la fabrication de supports en matériaux composites, mettant en évidence les défis techniques, les avantages et les applications de ces structures innovantes. Les supports, qu'ils soient utilisés dans des contextes industriels, sportifs ou de loisirs, sont cruciaux pour maintenir et manipuler diverses charges.

L'utilisation de matériaux composites dans leur fabrication offre des possibilités de conception optimisée, de meilleures performances et une plus grande durabilité.

Support son rôle absorption de choc et réduire les vibrations. Cette étude examine le processus de fabrication des supports en matériaux composites, ainsi que les considérations de conception structurale et les matériaux adaptés à chaque application spécifique.

En outre, elle aborde les questions de durabilité, de recyclabilité et d'empreinte environnementale des matériaux composites, soulignant l'importance croissante de l'innovation pour relever les défis environnementaux.

La réalisation de supports en matériaux composites représente une opportunité excitante d'explorer de nouveaux horizons dans l'ingénierie des matériaux, tout en contribuant à un avenir plus durable et résilient grâce à l'association de l'expertise technique, de la créativité conceptuelle et de la conscience environnementale.

Notre mémoire de fin d'études couvre la mâturation premier polyamide PA6 en généralités dans le premier chapitre, dans le deuxième chapitre évoque le support de remorque des camions et le problème à traiter.

La caractérisation mécanique et l'analyse structurale ont été effectuées au troisième chapitre, dans le quatrième chapitre nous avons discuté les différents résultats obtenus des différents essais.

Introduction générale

Au dernier chapitre, la simulation numérique de la déformation du support a été abordé avec une charge répartie linéairement

Le mémoire est achevé par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

Généralités sur les polyamides

I-1. Introduction :

Les polymères jouent un rôle essentiel dans la structure physique de notre environnement quotidien. Leurs applications structurelles sont nombreuses, bénéficiant de leur faible densité et de leur grande résistance.

Certains polymères présentent des propriétés physiques exceptionnelles, les rendant particulièrement utiles dans la vie quotidienne, notamment en termes de capacité de glissement et d'adhérence.

Leur utilisation croissante dans l'industrie est motivée par plusieurs avantages, tels que le fonctionnement silencieux, le poids léger, la résistance à la corrosion, la facilité de production en série, le faible coefficient de frottement, et la possibilité de fonctionner sans lubrification externe.

Parmi ces polymères, nous nous intéressons particulièrement au Polyamide (PA6), largement utilisé dans divers domaines tels que l'automobile, l'électricité, l'emballage médical, l'industrie agroalimentaire, l'électroménager, les sports et les loisirs, etc.

Les procédures d'usinage pour manipuler la mise en forme des polyamides citent (moulage par compression et tournage ...etc.) des matériaux thermoplastiques techniques ne posent généralement pas de difficultés majeures.

Comme pour toutes les autres opérations d'usinage, il est essentiel de veiller à un affûtage correct des outils, aux vitesses de coupe et aux avances appropriées.

Dans la plupart des cas avec les thermoplastiques, les copeaux sont longs et doivent être rapidement évacués pour éviter qu'ils ne s'enroulent autour des pièces.

En revanche, avec les thermodurcissables, la matière est généralement usinée avec des copeaux courts et des poussières, nécessitant alors des systèmes d'aspiration appropriés[1].

I-2. Historique des polyamides :

Le développement des polyamides est extrêmement lié au développement de deux représentants de cette famille de polymères : le polyamide 6,6 (PA 6,6) et le polyamide 6 (PA 6) pour des raisons historiques.

La première synthèse du poly (ϵ -caproamide) a été réalisée en 1889. Cependant, ce n'est que dans les années 1930 que la recherche de voies de synthèse des polyamides a réellement suscité de l'intérêt. Pendant cette période, deux équipes de chercheurs travaillaient parallèlement à l'élaboration de polyamides synthétiques filables.

Aux États-Unis, chez Dupont de Nemours, les travaux de W.H. Carothers aboutirent au dépôt de nombreux brevets concernant la synthèse de polyamides à base d'acides aminés aliphatiques et en particulier en 1936, avec la mise au point du polyamide 6,6 à partir d'acide adipique et d'hexaméthylène diamine. En Allemagne chez IGFarbenindustrie, les recherches menées par P. Schlack amenèrent à la découverte d'une voie de synthèse du polyamide 6 par polymérisation de l' ϵ -caprolactame, en présence d'une faible quantité d'eau.

Le développement industriel de ces deux polymères a été accéléré lors de la Seconde Guerre mondiale. Pour faire face à la pénurie de soie utilisée à des fins militaires, notamment pour la fabrication des toiles de parachutes et comme renfort de pneus d'avions, la production commerciale des matières plastiques filables et résistantes a été lancée. Dès octobre 1939, le nylon (désignation commerciale du PA 6,6) faisait son apparition sur le marché américain, suivi en 1940 par le PA6 sur le marché allemand.

Après la Seconde Guerre mondiale, une diversification des applications faites des polyamides 6 et 6,6 à des domaines autres que textiles, s'est opérée. Retrouvé notamment dans la fabrication de :

- Mono filaments pour pinceaux, brosses et filtres industriels ;
- Pièces moulées en substitution des métaux et des résines thermodurcissables ;
- Pièces extrudées sous forme de films, de feuilles, de tubes et de tuyaux ;
- Adhésifs thermofusibles ;

- Poudres pour revêtements de pièces métalliques,

La mise au point de nouveaux types de polyamides s'est ensuite développée pour satisfaire des applications plus spécifiques[2].

I-3. Les types de polyamide (PA 6):

Les polyamides :

On distingue plusieurs types de polyamides. Pour les applications techniques, ce sont les types PA 6, PA 66 qui se sont imposés comme principaux représentants de cette famille de produits. À côté des types standards, on trouve une grande variété de polyamides qui, issus des types de bases et enrichis de différents additifs, sont conçus en particulier pour répondre à des applications spécifiques[3].

Les deux principaux types de polyamide sont les suivants :

Polyamide 6

Polyamide 6,6

Toutefois, la modification des structures chimiques (longueur des chaînes et organisation chimique) permet d'obtenir plusieurs autres familles de polyamide, notamment :

Le polyamide 11.

Le polyamide 12.

Le polyamide 4.6.

Le polyamide 6.10, 6.12, 10.10[4].

I-3.1. Les avantages et les inconvénients des polyamides :

Les polyamides figurent parmi les matériaux les plus utilisés en raison de la disponibilité abondante des matières premières, de la vaste gamme d'applications possibles, ainsi que de leur facilité de production et de transformation. Ces caractéristiques en font un produit à la fois simple à utiliser et économiquement viable[5].

Les avantages :

- Tenue aux chocs, à fatigue et fissuration sous charge.
- Résistance à l'abrasion, insensible au rayage.

- Faible coefficient de frottement.
- Bonne tenue aux hydrocarbures et aux solvants[6].

Les inconvénients :

- Teneur en eau non négligeable (sauf PA11 et 12).
- Perméabilité à la vapeur d'eau.
- Mauvaise tenue à la chaleur humide et en atmosphère desséchée[1].

I-4. Définition de polyamide(PA 6) :

Le polyamide 6 est un polymère semi-cristallin avec une température de fusion d'environ 220 °C et une température de transition vitreuse d'environ 120 °C. Sa structure chimique répétée dans la chaîne contient la fonction amide. La formule chimique du polyamide 6 est illustrée dans la figure (I-1)[1].

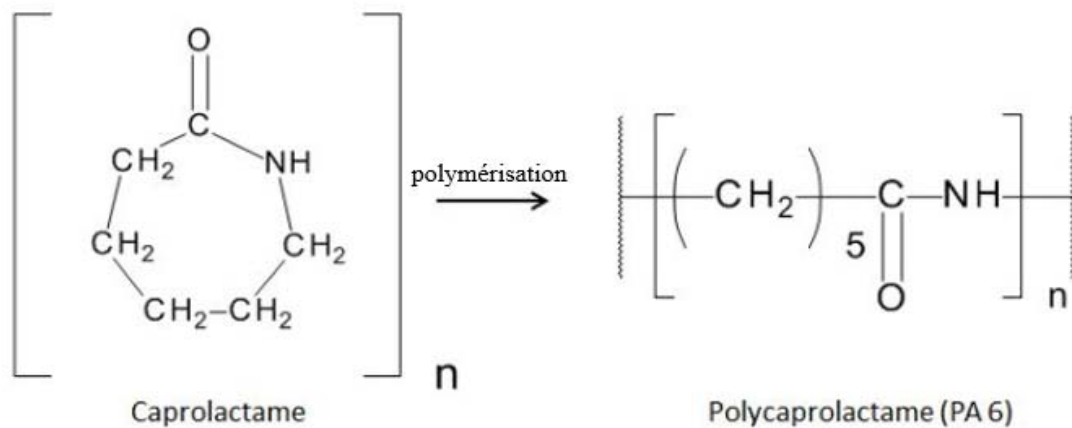


Fig I-1 : Formule chimique du polyamide (PA 6) [1].

Le polyamide PA6 est délivré commercialement sous forme de barreaux cylindriques de diamètre 110 mm et de longueur de six mètres, comme montré par la figure suivante:



Fig I-2 : le polyamide (PA6) [7].

I-5. Production de polyamide 6 :

Polymérisation :

Le nylon 6 est produit par « polymérisation par ouverture de cycle » du caprolactame, qui possède six atomes de carbone. Lorsque le caprolactame est chauffé à une température d'environ 260°C (533°K) dans une atmosphère inerte d'azote pendant 4 à 5 heures, l'anneau du caprolactame commence à se briser. L'ouverture de l'anneau est déclenchée par l'eau grâce au processus d'hydrolyse. La croissance des chaînes moléculaires se poursuit dans une atmosphère d'azote à basse pression. La viscosité du caprolactum commence à passer d'un état fluide à un état semblable à celui du miel. On obtient ainsi un polymère fondu à chaud.

Trempe à l'eau :

Ce polymère fondu est pressé à travers un type de filières dans une trempe à l'eau, où le polymère est refroidi et prend la forme d'un solide formant un brin. Dans la machine de fabrication de granulés, ces brins de polymère sont coupés et des « granulés de polymère de nylon 6 sont fabriqués ». L'ensemble de la réaction suit l'équation chimique ci-dessous :

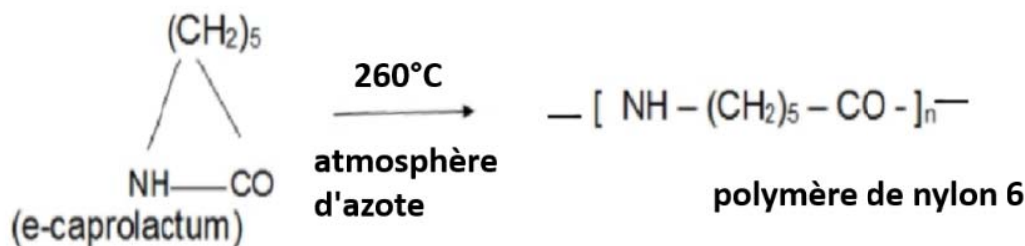


Fig I-3 : Production de polyamide PA6.

Filage par fusion :

Le filage du nylon 6 se fait selon le procédé « Melt Spinning ». Dans ce processus, le polymère fond à l'abri de l'air à une température de 250 °C à 270 °C (30 °C à 50 °C de plus que le point de fusion). Pour un processus de fusion très homogène, le polymère est fondu dans une extrudeuse. Le polymère chaud et fondu est acheminé vers les filières à l'aide d'une pompe d'alimentation et d'une extrudeuse. Ce polymère fondu passe à travers de très petits trous de filières. « Ainsi se forme le filament de nylon 6 ». Sur la partie inférieure de la filière, les filaments entrent dans le conduit de quench. Il s'agit d'une partie de 2 à 4 mètres où les filaments encore chauds sont trempés avec de l'air. Il est très important de maintenir un flux d'air très doux et stable pour éviter que les filaments ne collent entre eux.

Dessin :

Pendant le processus d'étirage, « les filaments sont étirés 4 à 5 fois par rapport à leur longueur d'origine ». Les macromolécules s'orientent au mieux au cours de ce

processus. C'est l'orientation du parallélisme le plus élevé qui fournit les propriétés requises du fil, telles qu'une bonne résistance à la traction et une bonne ténacité.

Le tirage est réalisé sur des godets, qui sont des cylindres rotatifs chauffés, tournant à différentes vitesses afin que les filaments soient tirés entre les différents duos

après cet étirage, les filaments (normalement entre 140 et 280) sont mélangés par un jet d'air continu. Ce mélange emmêle les filaments et permet au client de travailler facilement avec le fil.

Le fil désormais terminé est directement enroulé sur des bobines. La taille d'une telle bobine est d'environ 9,0 kg de fil. La vitesse d'enroulement dans le processus d'essorage varie de 2 000 à 4 000 mètres/minute. Les enrouleurs entièrement automatiques passent en quelques secondes d'un tube plein à un tube vide pour démarrer une nouvelle canette.

Le filage du nylon6 est un processus continu. Son ensemble de production fonctionne sans aucun arrêt. il est arrêté pour maintenance et pour effectuer des modifications d'un produit à un autre[7].

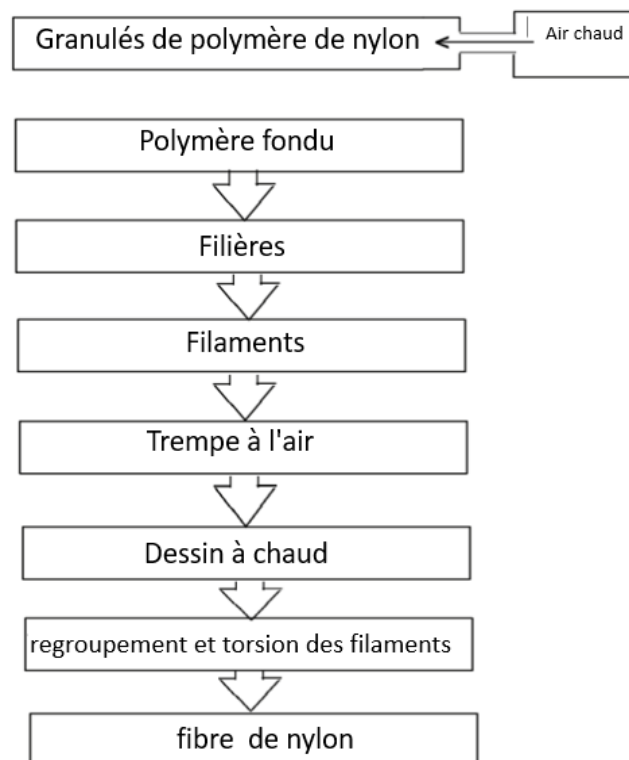


Fig I-4 : Organigramme de production des fibres de nylon6

I-6. Les principales caractéristiques :

Les principales caractéristiques du polyamide 6 sont :

1. -Haute résistance mécanique,
2. -Rigidité,
3. -Dureté et ténacité,
4. -Bonne résistance à la fatigue,
5. -Haut pouvoir amortissant,
6. -Bonne propriétés de glissement,
7. -Excellente résistance à l'usure,
8. -Hygroscopique, reprise d'humidité (variation dimensionnelle),
9. -Tous les polymères sont soumis aux variations de température[8].

I-7. Composants en polyamide (PA 6):

Dans le cadre de notre étude, nous avons entrepris de vérifier la conformité de la composition du matériau fourni avec celle du polyamide 6. À cet effet, nous avons prélevé quatre échantillons à divers emplacements de la plaque, puis nous les avons soumis à des analyses par microsonde de Castaing. Cette technique d'analyse consiste à bombarder l'échantillon avec des électrons et à étudier le spectre des rayons X émis en réponse à cette stimulation.

Les résultats des analyses de la composition chimique sont répertoriés comme suit:

Tableau I-1 : Composition chimique du polyamide (PA 6) [9].

		H	C	N	O
Données expérimentales (% atomique)	Echantillon 1	54,8	34,9	5,4	4,9
	Echantillon 2	55,0	34,3	6,2	4,5
	Echantillon 3	53,1	37,1	5,5	4,2
	Echantillon 4	53,8	36,1	6,0	4,1
	Moyenne	54,2 %	35,6 %	5,8 %	4,4 %
Données théoriques	Nombre d'atomes	11	6	1	1
	% atomique	57,9 %	31,6 %	5,3 %	5,3 %
Données expérimentales (% massique)	Echantillon 1	8,9	69,0	12,0	10,1
	Echantillon 2	7,3	70,0	12,4	10,3
	Echantillon 3	8,4	69,2	11,8	10,5
	Echantillon 4	8,1	69,5	12,5	10,0
	Moyenne	8,2 %	69,4 %	12,2 %	10,2 %
Données théoriques	Poids	11	72	14	16
	% massique	9,7 %	63,7 %	12,4 %	14,2 %

Il convient de noter que cette méthode n'est pas adaptée à une mesure précise des éléments légers (de faible numéro atomique Z), et le calcul des concentrations en hydrogène s'effectue par soustraction sur une base 100. Toutefois, cette technique offre une profondeur de pénétration plus importante que d'autres méthodes utilisées pour ce type d'analyse.

De plus, étant donné que les éléments constitutifs du PA6 sont tous relativement légers, cette méthode demeure assez imprécise. Néanmoins, les valeurs mesurées demeurent généralement proches des valeurs théoriquement calculées. Par conséquent, nous pouvons conclure que le matériau analysé correspond bien au PA6[9].

I-8. Propriétés du polyamide (PA6) :

Le polyamide PA6 est un polymère semi-cristallin, C'est un matériau solide et les propriétés sont suivantes :

a. Propriétés mécaniques :

Le PA semi-cristallin a un module de Young compris entre 3 et 3,5 GPA, une résistance à la traction comprise entre 50 et 70 MPA, un allongement à la rupture variant de 2 à 10 %, une résistance à la flexion de 1 000 MPA et un module de flexion de 4 000 à 5 000 MPA.

b. Propriétés chimiques :

Les polyamides ont une bonne résistance à l'action d'un grand nombre de produits chimiques et sont insensibles aux huiles de lubrification, graisses, fluides hydrolytiques et de transmission, hydrocarbures, fuels, peintures, laques, produits cosmétiques ou alimentaires, aldéhydes, cétones ou esters. Cependant, ils sont solubles dans l'acide formique, les phénols, les acides minéraux et les alcools fluorés (2.2.2-trifluoroéthanol). Les PA sont fortement attaqués par des sels métalliques.

c. Propriétés électriques et thermiques:

Les PA sont utilisés comme isolants pour des tensions allant jusqu'à 600 volts et des fréquences inférieures à 400 Hz. La teneur en humidité affecte les pertes diélectriques. La fusion des PA est franche et à l'état fondu ils sont très fluides. Les PA sont classés autos extingtibles et sont largement utilisés dans l'industrie automobile malgré des tests et contrôles drastiques. Les points de fusion élevés de PA6 (225°C) et PA66 (255°C) sont fonction de la force de la liaison d'hydrogène entre les chaînes. Le PA6 et le PA66 sont des isomères ayant la même formule, la même densité ainsi que d'autres propriétés, mais les températures de fusion sont différentes.

d. Propriétés physiques du polyamide (PA6) :

Les PA possèdent une densité allant de 1,04 à 1,18. Sous certaines conditions de fabrication et pour une faible épaisseur, ils peuvent être transparents. Les polyamides sont hygroscopiques et l'hydrogène contenus dans l'eau sur l'amide polaire. L'absorption est plus importante dans les phases amorphes à cause d'une plus grande disponibilité des groupes amides. Les PA6 et PA66 reprennent 2,5% d'eau dans les conditions normales à 50% d'humidité relative (HR) et jusqu'à 8,5% dans une ambiance saturée (100% HR). L'eau joue le rôle d'un plastifiant pour les polyamides, ce qui signifie que la température de transition vitreuse est déplacée vers les basses températures dès que la concentration en eau dans le PA augmente ($T_g = 50^\circ\text{C}$ pour 50% HR, $T_g = 0^\circ\text{C}$ pour 100% HR).

Une trop grande absorption d'eau altère les propriétés mécaniques, thermiques et électriques ainsi que la stabilité dimensionnelle (gonflement) du PA. La plage des températures de fusion est étroite (10°C) et toute augmentation de la température au-delà d'une limite maximale entraîne la dégradation du matériau. Les PA fondus sont d'une grande fluidité.

Les polyamides sont parmi les thermoplastiques les plus résistants et sont de plus en plus utilisés pour des applications techniques. Ils possèdent de bonnes propriétés d'endurance en fatigue et d'excellentes propriétés contre le frottement. Les facteurs de frottement sont à peu près constants pour une utilisation entre 23 et 120°C. Au PA,

peuvent être ajoutés des charges autolubrifiantes telles les huiles, le graphite ou le bisulfure de molybdène (MoS₂)[8].

I-9. Utilisations du (PA6):

Le PA6 trouve une application dans une large gamme de produits nécessitant des matériaux de haute résistance. Il est largement utilisé pour les engrenages, les raccords et les roulements, dans l'industrie automobile pour les pièces sous-jacentes, et en tant que matériau pour les boîtiers d'outils électriques.

- **Construction automobile :**

- **Pièces sous capots :** collecteurs d'admission d'air, pompes à eau, boîtes à eau de

Radiateur, éléments de thermostats, divers réservoirs, couvre-culasse, phares, etc.

- **Pièces extérieures :** Enjoliveurs de roues, cendriers, pare-chocs, spoilers, grilles

de Calandres, etc.

- **Électroménager :** éléments de programmeurs, barrettes de connecteurs, Clips, carcasses de bobinages électriques, etc.

- **Électrotechnique :** boîtiers de contacteurs, sectionneurs, carcasses de bobines, Interrupteurs, connecteurs, plaques à bornes, serre-câbles, colliers, agrafes, etc.

- **Mécanique :** cages de roulements à billes, coussinets, bagues, etc.

- **Sports et loisirs :** berceaux de selles de vélos, embouts de wishbones (planche à Voile) composants de skis, rollers, etc.

- **Divers :** biens de consommation, flacons, etc[8].



Fig I-5 : Utilisations du polyamide (PA6).

I-10. Résistance chimique:

Les polyamides ont une bonne résistance chimique, à l'exception des acides et des alcools qui peuvent causer l'hydrolyse. L'effet des produits chimiques sur les PA augmente avec la température. Cet effet peut être dû à la réaction de produits chimiques avec les groupes fonctionnels du polymère ou à la diffusion du fluide dans le polymère, ou aux deux à la fois.

La cristallite du PA a une forte influence sur la diffusion et l'interaction des produits chimiques avec le polymère. En général, l'augmentation de la cristallite des PA entraîne aussi bien une réduction des interactions qu'un abaissement du taux de diffusion des substances chimiques. Cependant, la perméabilité des PA augmente avec la teneur en humidité contenue dans le polymère ; ceci, en raison de l'augmentation de la mobilité de chaîne notamment dans la phase amorphe du matériau[8].

I-11. Conclusion :

Ce chapitre met en avant le polyamide 6 (PA6). L'émergence de ce polymère découle de la découverte par P. Schlack de la méthode de synthèse par polymérisation par ouverture de cycle, stimulant ainsi son développement industriel. Initialement utilisé dans l'industrie textile, son usage s'est progressivement diversifié dans des secteurs tels que l'automobile, l'électronique et l'emballage. Ce matériau technique offre par nature de solides propriétés physiques et chimiques, qui peuvent être améliorées en incorporant des additifs réactifs à des fins spécifiques, en incorporant des charges et des fibres minérales, ou encore en créant des alliages polymères. Cependant, il présente certaines limites, notamment une résistance au feu limitée[10].

Chapitre II
Le support de
remorque en
polyamide

II-1. Introduction :

Les supports de remorque sont des éléments essentiels du système de suspension des remorques de camions, utilisés pour renforcer la stabilité et la solidité lors du transport de la charge et lors de l'arrêt.

Les supports de remorque sont généralement constitués de cylindres hydrauliques ou mécaniques qui offrent un soutien supplémentaire à la remorque lorsqu'elle est à l'arrêt et aident à prévenir les vibrations excessives pendant le déplacement.

II-2. Définition :

Les supports de remorque sont des composants vitaux du système de suspension des remorques de camions, utilisés pour renforcer la stabilité et la solidité lors du transport de charges et des arrêts. Parmi ces supports, le support du nom commercial "Equalizer Bush ARB0033" est un exemple notable. Ce support travaille à assurer l'équilibre et à répartir la charge de manière uniforme sur l'essieu de la remorque de camion. Lorsque le remorque de camion est chargée de poids lourds ou traverse des routes inégales, ce support absorbe les chocs et assure l'équilibre, améliorant ainsi la stabilité de la remorque de camion et évitant les vibrations excessives. De plus, il contribue à réduire les variations de hauteur et de basculement de la structure, en faisant un matériau idéal pour les applications de transport lourd et dans des conditions



Fig II-1 : Support d'importation " Equalizer Bush ARB0033".

difficiles. Les supports sont généralement en caoutchouc (Figure II-1).

II-3. Les problèmes des supports de remorque d'importation :

Les inconvénients des supports en caoutchouc sont suivis :

1. Qualité du matériau :

- Les matériaux de mauvaise qualité utilisés dans la fabrication de support peuvent ne pas être résistants à la corrosion et à la pression élevée, ce qui entraîne leur détérioration rapide.

2. Pression et frottement :

- Une exposition continue au frottement et à la pression élevée peut entraîner une corrosion accélérée de supports.

3. Conditions environnementales :

- L'exposition à des conditions sévères telles que la chaleur élevée, l'humidité et les produits chimiques peut accélérer la détérioration du matériau.



Fig II-2 : Support d'importation endommagé en quelques mois.

II-4. Emplacement d'installation :

Les images suivantes montrent la barre de balancier (Equalizer LK1400) (Figure II-3) sur laquelle la bague la support " Equalizer Bush ARB0033" est installée, ainsi que la remorque système BTK (Figure II- 4).



Fig II- 3 : balancier (Equalizer LK1400) [11].



Fig II- 4 : la remorque système BTK.

II-5. Les fonctions des supports de remorque :

Il existe de nombreuses fonctions du support, et nous en citerons quelques-unes :

- 1. Répartition du poids :** Ils aident à répartir le poids de manière uniforme sur les roues arrière de la remorque, ce qui améliore sa stabilité et réduit la pression sur les roues avant du camion tracteur.
- 2. Stabilisation de la remorque :** Ils empêchent les vibrations excessives et le balancement latéral de la remorque lors des arrêts, rendant les opérations de chargement et de déchargement plus sûres et plus faciles.
- 3. Fournir un soutien supplémentaire :** Les supports de remorque offrent un soutien supplémentaire à la remorque lorsque cela est nécessaire, par exemple lors du chargement de charges lourdes ou lors des arrêts prolongés du camion.
- 4. Assurer la sécurité et la stabilité :** Ils contribuent à renforcer la sécurité et la stabilité pendant la conduite, réduisant ainsi le risque d'accident et garantissant la sécurité du camion et de la cargaison.

II-6. Processus de fabrication du support en polyamide :

SolidWorks est un logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur) largement utilisé pour créer des modèles 3D et des dessins techniques.

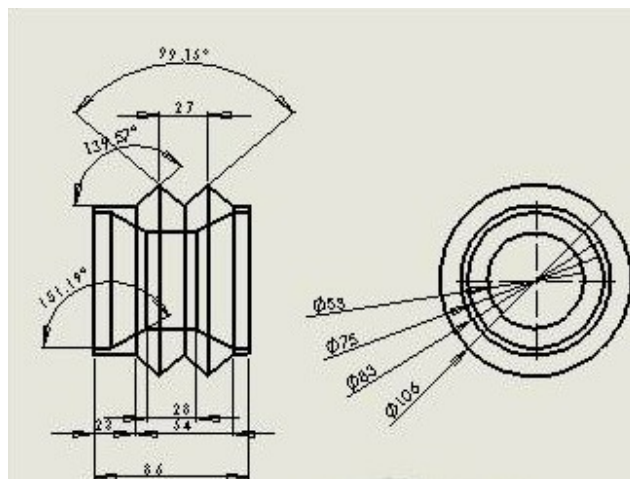


Fig II-5 : dessin technique.

Pour obtenir des pièces de haute qualité avec des propriétés mécaniques et dimensionnelles stables, il est essentiel de prendre en compte les paramètres de coupe lors de l'usinage du polyamide PA6.

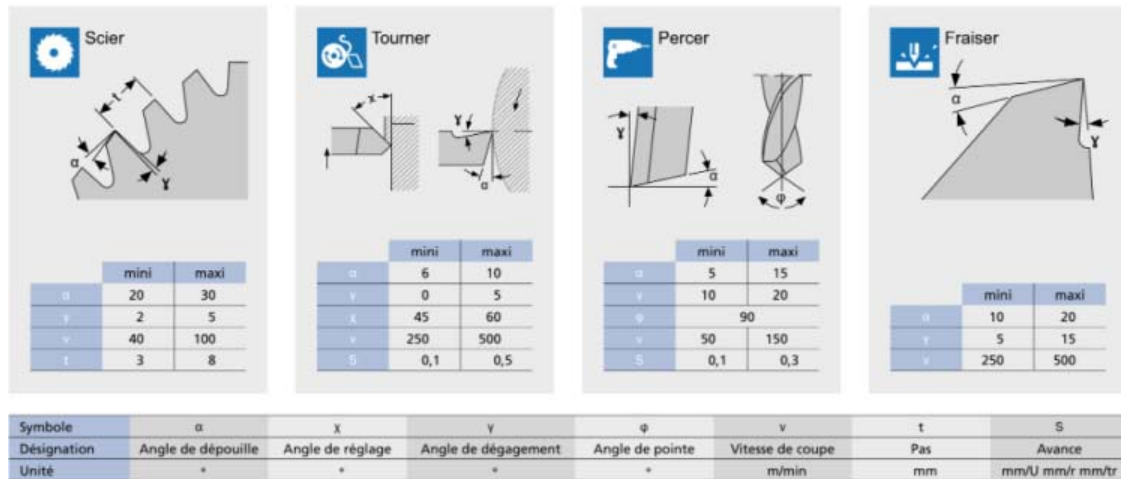


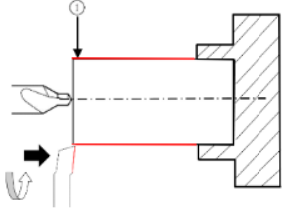
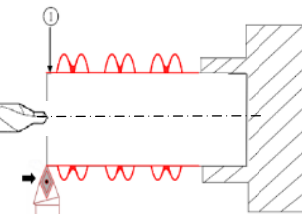
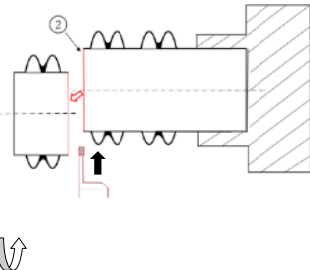
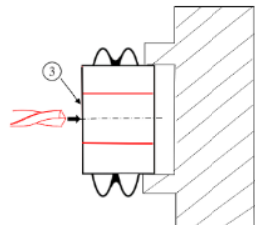
Fig II-6 : Caractéristiques d'usinage de Polyamide PA6.

II-6.1 Gamme d'usinage du support en polyamide :

Gamme d'usinage montrée dans le tableau suivant :

Tableau II-1 : La gamme d'usinage.

Gamme d'usinage		Pièces:Support		Bureaudeméthode
		Matière:Polyamide PA6		
N° de phase	Les désignations des phases, sous-phases ET opération	Machine	Poste de travail Ap pareillage outil-coupant Vérification	Croquis de la pièce
10	Contrôle de brut D110x600		Pied à coulisse (P.C)	

<p>20</p>	<p>Tournage Centrage Chariotage (1)</p>	<p>Tour parallèle</p>	<p>P.C Outil à chariot</p>	
<p>30</p>	<p>Rainurage (1)</p>	<p>Tour parallèle</p>	<p>P.C Outils à charioter</p>	
<p>40</p>	<p>Tronçonnage(2)</p>	<p>Tour parallèle</p>	<p>P.C Outil à tronçonner</p>	
<p>50</p>	<p>Parcage (3)</p>	<p>Tour parallèle</p>	<p>P.C Outil à foret</p>	

2. Installation :

Fixez la barre en polyamide au mandrin du tour à l'aide des attaches appropriées pour garantir la stabilité pendant l'usinage.



FigII- 8 : fixez la barre au mandrin.

3. Tournage :

Utiliser des outils de coupe sur le tour pour façonner la barre en polyamide aux dimensions requises.



Fig II- 9 : la forme de support.

4. Découpe du support :

Une fois la barre en polyamide façonnée et percée selon les spécifications requises, il est important de couper soigneusement le support final de la barre restante. Cela peut être fait à l'aide de l'outil séparateur sur le tour.



Fig II- 10 : Découpe du support.

5. Perçage :

Nous créons un trou central au milieu de la barre en nylon pour former la cavité intérieure du support. Utilisez un foret approprié monté sur le tour pour un perçage précis.



Fig II- 11 : Perçage interne de support.

6. Tournage :

Remettre le support au tour pour travailler les bords.

- 7. Finition :** Utilisez du papier de verre ou un outil de finition pour lisser les bords ou surfaces rugueux résultant des opérations de tournage, de perçage et de découpe.



Fig II- 12 : Bords et surface lisses.

- 8. Inspection de qualité :**

Vérification des dimensions, de la finition de surface et de la qualité globale du support en polyamide pour garantir qu'il répond aux spécifications requises.

- 9. Inspection finale :**

Avant d'utiliser le support en polyamide, il est nécessaire d'effectuer une inspection finale pour vérifier qu'il n'y a pas de défauts et pour s'assurer que les dimensions, les tolérances et l'état de surface répondent aux spécifications requises.

10. Emballage :

Une fois que le support en polyamide a passé l'inspection, il peut être emballé et préparé pour l'expédition ou l'installation. Un emballage approprié aidera à protéger le support de remorque fabriqué en polyamide PA6 pendant le transport et le stockage.

Notre support de remorque en polyamide Pa 6 après usinage aura la forme finale suivante :



Fig II- 13 : Le support en polyamide PA6.

II-7. Conclusion :

Les supports ou entretoises sont une partie intégrante du système de suspension des remorques de camions. Ils jouent un rôle crucial dans le renforcement de la stabilité, la répartition du poids, l'absorption des chocs, et l'amélioration de la sécurité et des performances globales du camion. Ainsi, un bon entretien et le choix approprié des supports sont des facteurs essentiels pour garantir le fonctionnement efficace et performant du système de suspension.

Chapitre III
Les essais de
caractérisation
structurale et
mécanique

Chapitre III Les essais de caractérisation structurale et mécaniques

III-1. Introduction :

La compréhension du comportement mécanique des matériaux est cruciale pour sélectionner les bons matériaux. Ce chapitre se concentre sur les approches pour étudier ce comportement et les techniques d'évaluation numérique associées. Les propriétés des matériaux sont évaluées à travers des essais mécaniques pour obtenir des données, et nous détaillerons les essais que nous avons effectués dans le cadre de notre étude.

III-2. Matériel et dispositifs :

III-2.1. Matériau et méthode :

Cette partie décrit le dispositif mis en place pour nos essais. Ces essais ont été effectués au Hall technologique du département mécanique faculté des sciences et de la technologie université de M'SILA.

III-3. Les essais de caractérisation structurale et mécanique :

Les essais structuraux et mécaniques visent à évaluer les caractéristiques mécaniques et le comportement des matériaux dans diverses conditions de charge.

III-3.1 mode de préparation :

Les éprouvettes ainsi que la description du protocole expérimental y sont également détaillées. Le matériau étudié est le Polyamide de PA6 sous forme de plaque blanche d'épaisseur 12 mm de dimension 500 x 1000 (Figure III-1).



Fig III-1 : dimension de plaque.

III-3.2 Essai de traction :

III-3.2.1. Usinage des éprouvettes :

Les essais de traction sont réalisés sur des éprouvettes normalisées selon la norme américaine D882-12 (Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting)[11]. Découpées directement à partir des Plaques, à l'aide d'une machine CNC.

Les dimensions de l'éprouvette sont représentées dans la Figure III-2 :

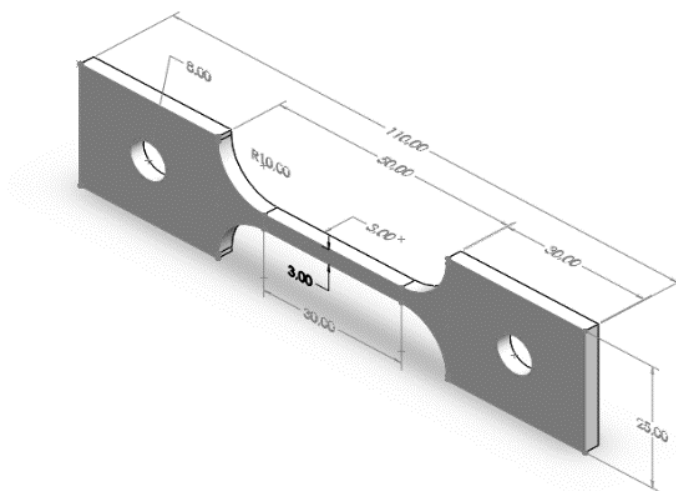


Fig III-2 : Les dimensions de l'éprouvette

L'éprouvette obtenue est présentée par la Figure III.3 :



Fig III.3 : Présentée l'éprouvette obtenue.

Analyser la résistance à la traction, le coefficient d'élasticité, l'accroissement à la rupture et d'autres caractéristiques.

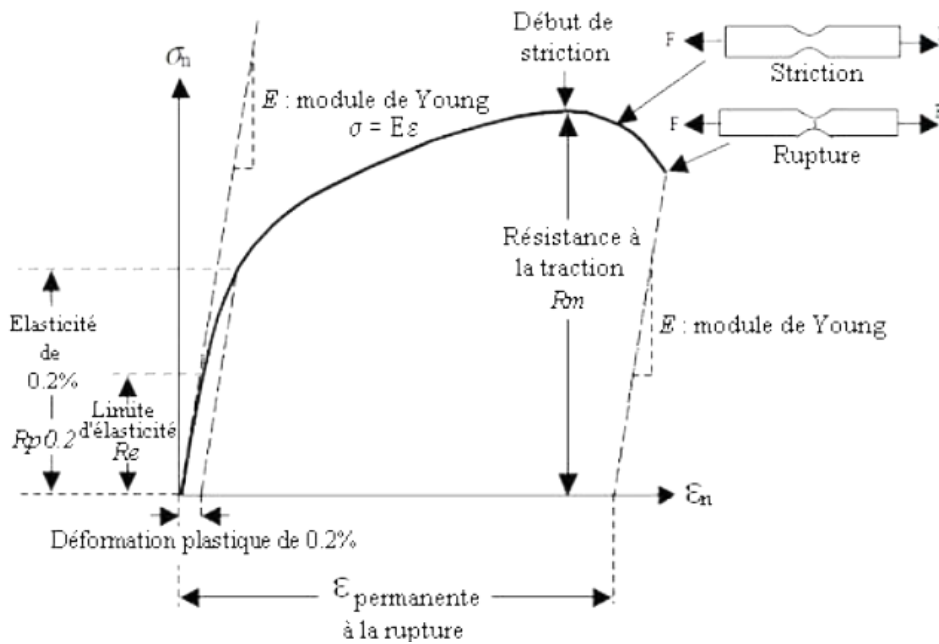


Fig III.4 : le courbe de traction[12].

Chapitre III Les essais de caractérisation structurale et mécaniques

Les caractéristiques mécaniques déterminées de l'essai de traction sont :

a. Contrainte de rupture :

La contrainte de rupture est donnée par la relation :

$$1/\sigma = F/S$$

Avec :

F : Force de traction (N).

S : Section rompue (mm²).

σ : Contrainte de rupture (MPa)[12].

b. Module de Young :

Le module d'Young est le facteur de proportionnalité entre la contrainte σ et la déformation ε :

$$2/\varepsilon = \Delta L / L_0$$

$$3/E = \sigma / \varepsilon = (F * L_0) / (S * \Delta L)$$

Avec :

E : Module d'Young (Mpa).

L₀ : Distance entre mors (mm).

S : Surface ou section (mm²).

ε : La déformation de la longueur des éprouvettes.

ΔL : L'allongement des éprouvettes (mm)[13].

III-3.2.2. La machine utilise :

Les essais de traction ont été effectués sur une machine de traction universelle Test 112 est le modèle classique en matière de test de matériaux et de composants. Cette série à deux colonnes couvre une plage de mesure allant jusqu'à 50 kN et peut être utilisée de manière flexible pour diverses applications en traction, compression et flexion. La

Chapitre III Les essais de caractérisation structurale et mécaniques

construction de base est basée sur un modèle de table, mais peut également être conçue comme une version autonome en fonction de la plage de mesure ou de la hauteur de la zone de travail requise. Toutes les machines d'essais Test de la série 106 – 115 sont équipées du TestController 850, qui est compatible avec TEDS. Le logiciel TestWinner® associé offre à l'utilisateur, en plus de la programmation libre, un immense répertoire de possibilités pour les procédures de test standard et l'exécution des tests de routine, l'évaluation, l'affichage et le traitement des résultats, l'automatisation des processus et bien plus encore.

Comme sur toutes les machines d'essais universelles Test à deux colonnes, la zone de travail supérieure peut également être utilisée sur le modèle 112 et ne peut être sélectionnée que par le logiciel avant le test. Cela fait de la série 112 une solution économique pour un large éventail de tâches. La vaste gamme d'accessoires garantit un large éventail d'applications[14].

- Exécution – Modèle de table
- Plage de mesure : 2 kN, 5 kN, 10 kN, 20 kN, 30 kN, 50 kN



Fig III.4: Machine d'essai en traction type de 112.

- Transmission – Moteur à courant continu régul[14].

III-3.3.L'essai de compression :

L'essai de compression est considéré comme l'un des essais les plus fondamentaux en mécanique, il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques usuelles telles que le module d'élasticité, la contrainte au seuil d'écoulement, la contrainte au plateau de plasticité et l'allongement à la rupture, nous présenterons le résultat associé à cette technique expérimentale.

III-3.3.1.Préparation des éprouvettes :

Les essais de compression sont réalisés sur des éprouvettes normalisées selon la norme américaine D695-15 (Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics) [15]. Découpées directement à partir des plaques, à l'aide d'une tour.

Les dimensions de l'éprouvette sont représentées dans la Figure III-7 :

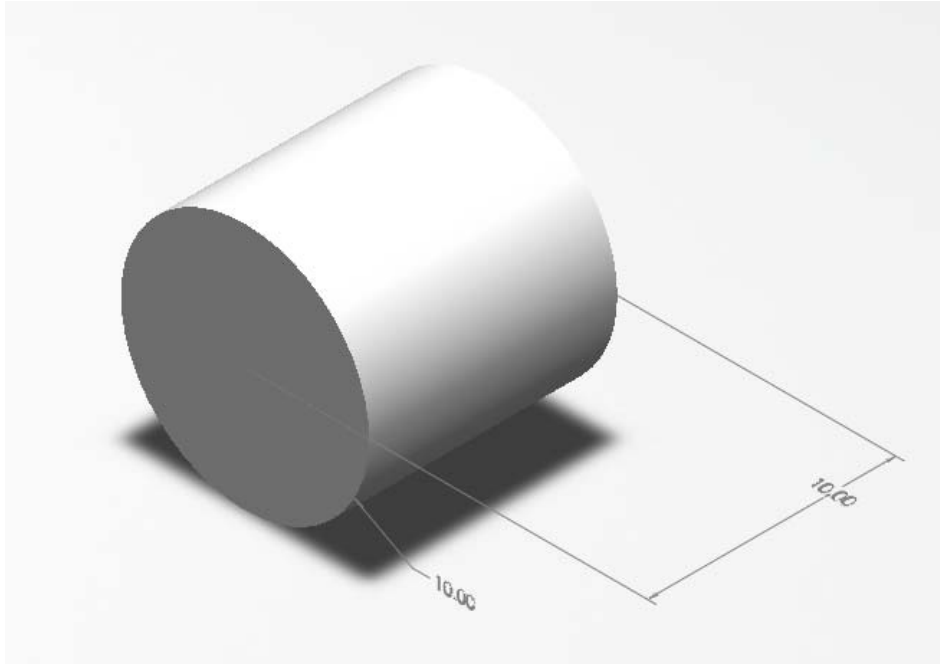


Fig III-7 : Les dimensions de l'éprouvette.

L'éprouvette obtenue est présentée par la Figure III.8 :



Fig III.8 : Présentée l'éprouvette obtenue.

III-3.3.2.La machine utilisée :

Ce dispositif de plaques de compression, disponible en tant qu'accessoire pour l'appareil d'essai WP 310, permet d'effectuer des essais de compression. La résistance à la compression est une propriété essentielle des matériaux, car elle marque le point où la déformation plastique commence, au-delà duquel aucune résistance à la compression ne peut être définie. L'échantillon est positionné entre deux plaques de compression et placé dans la zone de chargement de l'appareil d'essai WP 310. Des repères circulaires sont présents pour faciliter le centrage de l'échantillon. Pendant l'essai de compression, une contrainte uniaxiale est appliquée à l'échantillon, générant un état de contrainte spécifique sur sa géométrie définie. Cette contrainte est induite par une force de compression exercée de l'extérieur dans la direction longitudinale de l'échantillon. Ainsi, une

Chapitre III Les essais de caractérisation structurale et mécaniques

distribution uniforme de contraintes normales est observée dans la section d'essai de l'échantillon. Pour évaluer la résistance du matériau, la charge est progressivement et constamment augmentée jusqu'à ce que l'échantillon se rompe[16].

Caractéristiques techniques de la machine :

- force d'essai : 0...50kN
- Vitesse de déplacement : 0...425mm/min
- Déplacement : 0...150 mm[16].



Fig III-9 : Machine essai de compression type de WP 310.

III-3.4.L'essai de FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) :

Est une technique utilisée pour obtenir un spectre infrarouge d'absorption ou d'émission d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz. Un spectromètre FTIR collecte simultanément des données spectrales haute résolution sur une large plage spectrale. Cela confère un avantage significatif par rapport à un spectromètre dispersif, qui mesure l'intensité sur une plage étroite de longueurs d'onde à la fois.

III-3.4.1. Préparation Poudre de Polyamide PA6 :

La poudre de polyamide est obtenue en le broyant, en éliminant les impuretés, puis en le tamisant pour obtenir une poudre de polyamide homogène.

Le poudre de polyamide Pa6 obtenue est présentée par la Figure III.8 :

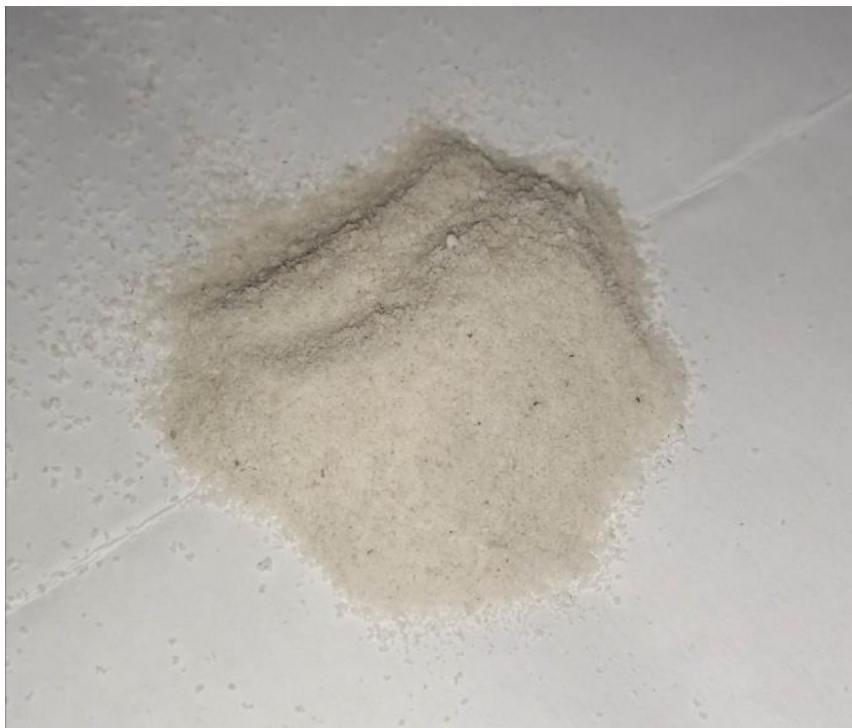


Fig III-10 : Poudre de Polyamide PA6.

III-3.4.2.La machine utilisée :

Le spectromètre FTIR Agilent Cary 630 est un instrument FTIR de table flexible offrant des performances élevées et une extraordinaire facilité d'utilisation dans un design ultra-compact. Il est conçu en mettant l'accent sur l'utilisateur et fournit des flux de travail simples et intuitifs pour fournir des réponses significatives dans l'analyse de routine du spectromètre FTIR et la recherche de pointe.

Le spectromètre FTIR Cary 630 est un instrument FTIR de paillasse robuste, fiable et flexible bénéficiant de l'expérience d'Agilent en matière de spectromètres FTIR mobiles et portables éprouvés sur le terrain. Sa modularité offre une flexibilité d'échantillonnage pour l'analyse des solides, des liquides, des poudres et des gaz. Les optiques alignées en permanence permettent d'échanger une large gamme de modules en quelques secondes, offrant ainsi une qualité quantitative et qualitative supérieure[17].

Caractéristiques de la machine :

- Logiciel de conformité : Logiciel MicroLab Pharma.
- Logiciel de contrôle : MicroLab Expert de Microlab.
- Type : Spectromètre FTIR de table.
- Poids :3,5 kg.



Fig III-11 : Machine essai de matériaux type de "Agilent Cary 630 FTIR".

III-7. Conclusion :

Les tests de traction et de compression jouent un rôle crucial dans l'évaluation des propriétés mécaniques des matériaux, fournissant des informations précieuses pour leur conception et leur amélioration dans divers domaines industriels. Parallèlement, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) propose une approche complémentaire pour caractériser les matériaux, en identifiant leurs groupes fonctionnels et en comprenant leur composition chimique. La combinaison des résultats de ces tests avec ceux de la FTIR permet une compréhension plus approfondie des propriétés mécaniques et chimiques.

Chapitre IV

Discussion des résultats

IV-1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous exposons et analysons les résultats obtenus à partir des divers tests réalisés. Nous avons étudié. Les essais de traction et de compression nous avons obtenu un ensemble des résultats exprimés par le programme Origin avec des courbes suivant :

IV-2. Résultats des essais de traction :

Les tests de traction sont des expériences mécaniques menées pour mesurer l'allongement, la contrainte à la rupture et le module d'Young des biocomposites. Ces essais ont été effectués à l'aide d'une machine de traction au Hall dans le département de mécanique de la Faculté des sciences et de la technologie de l'Université de M'Sila. Les essais de traction ont été exécutés à la vitesse 4 mm /s.

La figure suivante montre la rupture de l'une des éprouvettes après l'essai de traction.



Fig IV.1 : Éprouvette de traction après rupture.

IV-2.1. Le courbe de test de traction :

La courbe de test de traction, ou courbe contrainte-déformation (σ - ϵ), est un graphique décrivant la corrélation entre la contrainte exercée sur un matériau et la déformation qu'il subit lors d'un test de traction.

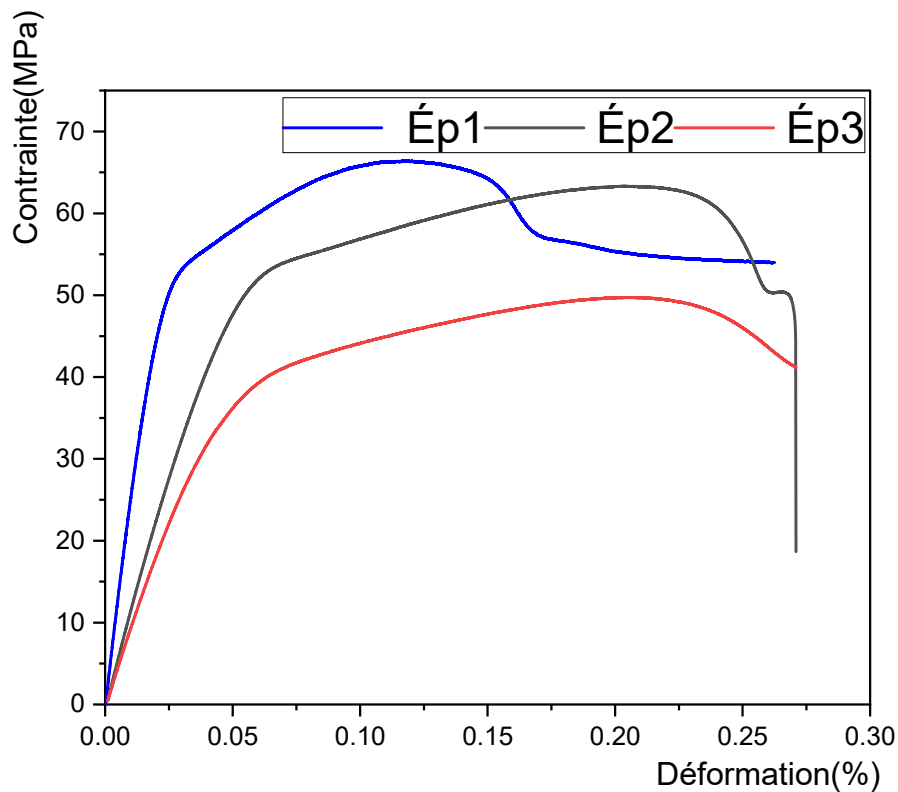


Fig IV.2: Courbe contrainte-déformation pour le Polyamide PA6.

Pour analyser la courbe de traction monotone du matériau polyamide préparé en laboratoire. (figure IV-2), illustre l'évolution de la contrainte par rapport à la déformation%. Le matériau présente une relation linéaire suivant une loi de Hooke.

Une valeur de 62 MPa est enregistrée comme une résistance à la traction à l'allongement de l'élasticité.

L'analyse des courbes de traction du polyamide présente des résultats similaires avec Diabi Ahlem[18].

IV-3. Résultats de l'essai de compression :

L'essai de compression avec le dispositif WP 310 suit un protocole standardisé pour évaluer la résistance d'un matériau à la compression. Lorsqu'on teste le polyamide PA6, le matériau subit une séquence de déformations élastiques et plastiques jusqu'à ce qu'il atteigne un point de rupture sous l'effet de la charge appliquée. La résistance à la com

pression du matériau est déterminé par sa capacité à supporter cette charge avant de se déforme. Ces essais ont été effectués à l'aide d'une machine de traction au Hall dans le département de mécanique de la Faculté des sciences et de la technologie de l'Université de M'Sila.



Fig IV.3 : Éprouvette de compression après déformation.

IV-3.1. Le courbe de test de compression :

La courbe de test de compression est similaire à la courbe de traction en ce qu'elle représente la relation entre la contrainte et la déformation d'un matériau (σ - ϵ).

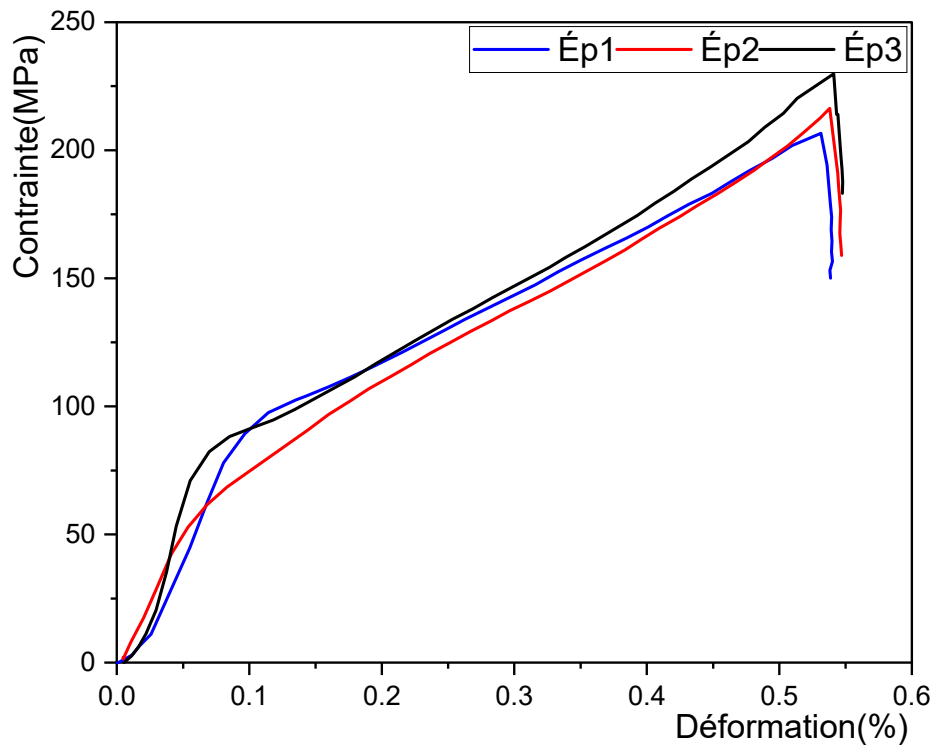


Fig IV.4: Courbe contrainte-déformation pour le Polyamide PA6.

Initialement, la force est nulle à une déformation de 0 %, puis augmente rapidement jusqu'à 78 MPa entre 0 % et 0,08 % de déformation, indiquant une compression initiale. La force augmente progressivement jusqu'à 220 MPa, suggérant une réponse linéaire du matériau.

Au-delà de 0,54 % de déformation, la croissance de la force ralentit, suggérant une possible saturation de la capacité du matériau à résister à la compression.

À 0,5 % de déformation, une diminution brusque de la force de 220 MPA à 160 MPA est observée, suggérant un changement structural ou un écrasement significatif du matériau.

IV-4 Résultats de l'essai de FTIR :

Les analyses spectroscopiques infrarouges de notre échantillon ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre Agilent Cary 630 FTIR au hall dans le département de mécanique de la Faculté des sciences et de la technologie de l'Université de M'Sila. L'échantillon à analyser est préparé sous forme de poudres.

IV-4.1 Le courbe de test de FTIR :

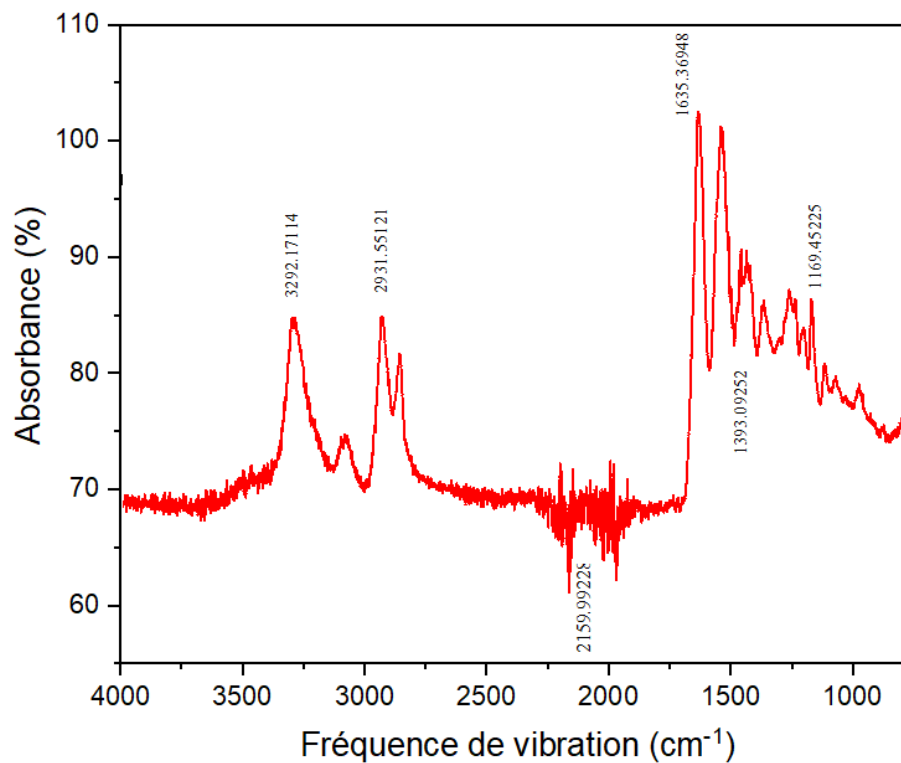


Fig IV.5 : Courbe de FTIR

Cette courbe représente un spectre obtenu par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), qui est utilisée pour identifier les groupes fonctionnels chimiques dans les échantillons en analysant les fréquences de vibration des liaisons. Voici une analyse des principaux pics observés sur ce spectre :

Le spectre suggère la présence de composés organiques avec des chaînes aliphatiques (comme indiqué par les pics dans la région $2922,11 \text{ cm}^{-1}$ et $2857,12 \text{ cm}^{-1}$), des groupes fonctionnels hydroxyles ou de l'eau ($3427,14 \text{ cm}^{-1}$), et des groupes contenant des liaisons carbonyle ($1751,51 \text{ cm}^{-1}$).

L'analyse de courbe de FTIR du polyamide présente des résultats similaires avec Said lotfi HAFSAOUI [2].

IV-5. Conclusion :

Les tests de traction et de compression fournissent des informations cruciales sur les propriétés mécaniques des matériaux, telles que la résistance, la ductilité et le module d'élasticité. Ces informations sont fondamentales pour la conception, la fabrication et l'évaluation de la performance des matériaux dans diverses applications industrielles. En comprenant comment les matériaux se comportent sous différentes charges.

Chapitre V

Simulation

numérique

V-1. Introduction:

Dans notre étude, nous avons résolu numériquement des équations aux dérivées partielles sur une configuration tridimensionnelle en utilisant le logiciel ABAQUS 2017.

La conception des formes géométriques a été effectuée à l'aide du logiciel SolidWorks 2012. Dans cette section, nous allons fournir des informations générales sur ces deux logiciels, ABAQUS et SolidWorks, puis nous présenterons les étapes clés de la création de la géométrie étudiée, ainsi que les phases de simulation effectuées avec ABAQUS.

V-2. Présentation des logiciels SolidWorks et ABAQUS :

V-2.1. Le logiciel SolidWorks :

SolidWorks représente un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) en 3D, essentiel dans le processus de modélisation, de simulation et de création de plans de fabrication. Principalement utilisé dans les domaines de l'ingénierie mécanique, de la conception de produits, de l'architecture, et d'autres industries apparentées, il offre une panoplie d'outils permettant de créer des modèles 3D précis. Ces outils comprennent la modélisation solide, la modélisation surfacique, ainsi que la modélisation de pièces moulées. En plus de la modélisation, SolidWorks propose des fonctionnalités avancées de simulation et d'analyse, permettant aux ingénieurs de tester la résistance, la rigidité, et le comportement des pièces et des assemblages dans des conditions réelles.

En outre, SolidWorks facilite la création de plans détaillés et de dessins de fabrication à partir des modèles 3D. Ses fonctionnalités de mise en plan permettent de générer des vues orthographiques, des coupes transversales, des nomenclatures, et d'autres éléments nécessaires à la fabrication. Ce logiciel se distingue par sa convivialité et son interface intuitive, ce qui en fait un choix populaire parmi les concepteurs et les ingénieurs. Il est largement utilisé dans l'industrie manufacturière et est compatible avec une variété de formats de fichiers, facilitant ainsi son intégration avec d'autres logiciels et systèmes de gestion de données[19].

V-2.2. Définition d'ABAQUS :

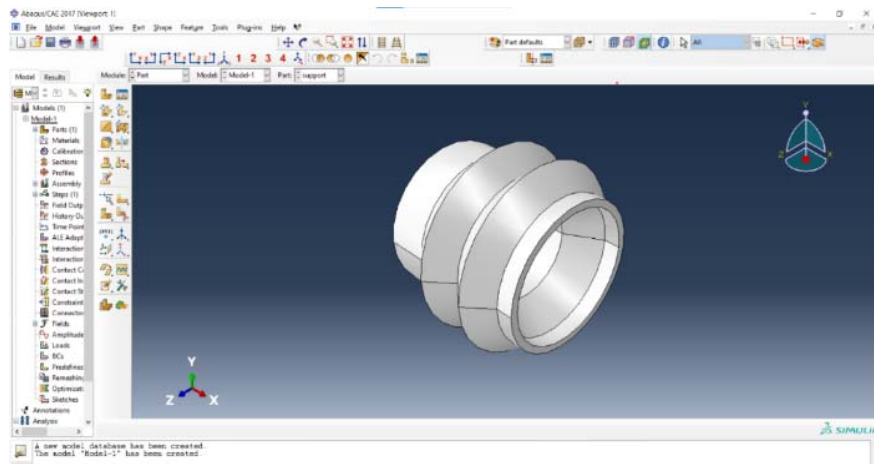
ABAQUS, développé par DASSAULT, est un logiciel de calcul en éléments finis composé de trois produits principaux : ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit et ABAQUS/CAE. Reconnue pour sa technologie de pointe, sa qualité et sa fiabilité, la gamme de logiciels ABAQUS est devenue un élément essentiel des processus de conception pour de nombreuses sociétés de renom à travers divers secteurs industriels. Avec ses solutions adaptées aux problèmes linéaires, non linéaires, explicites et dynamiques, ABAQUS offre un environnement incomparable pour l'analyse par éléments finis, offrant une multitude d'options pour les opérations impliquant divers fournisseurs et produits.

La simulation de cette étude a été réalisée à l'aide du logiciel ABAQUS, crucial dans le domaine des simulations pour obtenir des résultats sur différentes variables et comprendre le comportement des matériaux. Au cours de cette étude, nous avons manipulé divers paramètres, tels que le maillage, le coefficient de Poisson et le module de Young, afin de comprendre leur impact sur les résultats numériques obtenus[20].

V-3. Étapes principales de simulation :

Importez la géométrie dans Abaqus à partir du logiciel SolidWorks. Cela peut être fait à partir des fichiers au format : stp, igs, sat, etc.

V-3.1. Création de la géométrie :



FigV. 1 : La Forme géométrique.

Importez la géométrie dans Abaqus à partir du logiciel SolidWorks.

V-3.2. Propriétés du matériau :

- Dans le module Property, on clique sur **Create Material**
- On choisit un nom pour notre matériau
- Puis on va vers **Mechanical Elasticity Elastic** pour définir les caractéristiques élastiques du matériau. Enfin on appuie sur **OK**.

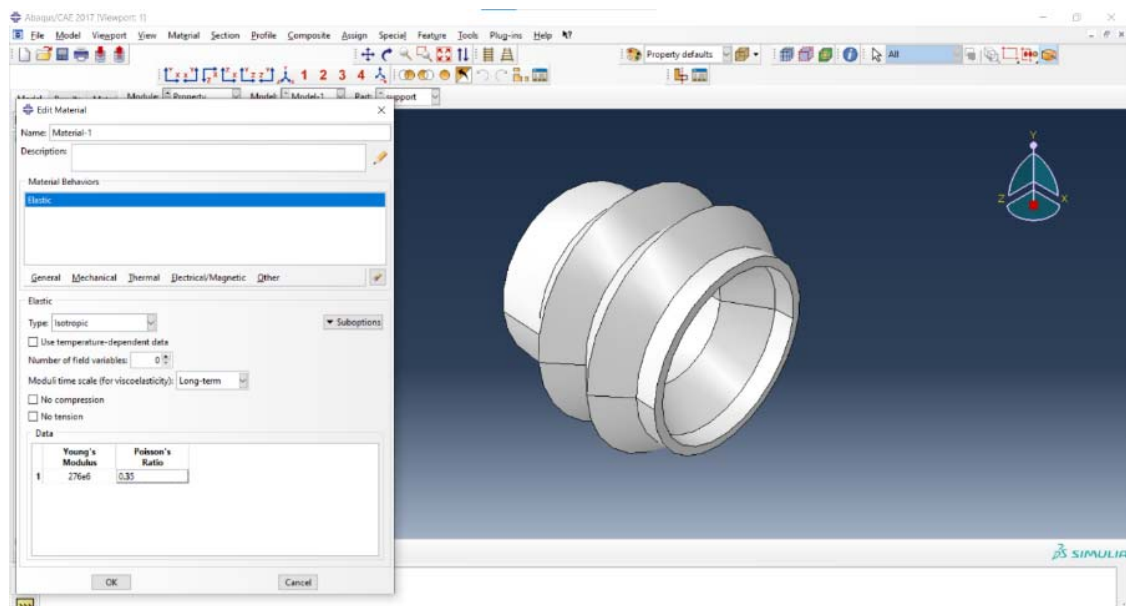


Fig V. 2 : Définition du matériau.

Après la définition du matériau, On va créer une section :

- Dans le même module, on appuie sur **Create Section**.

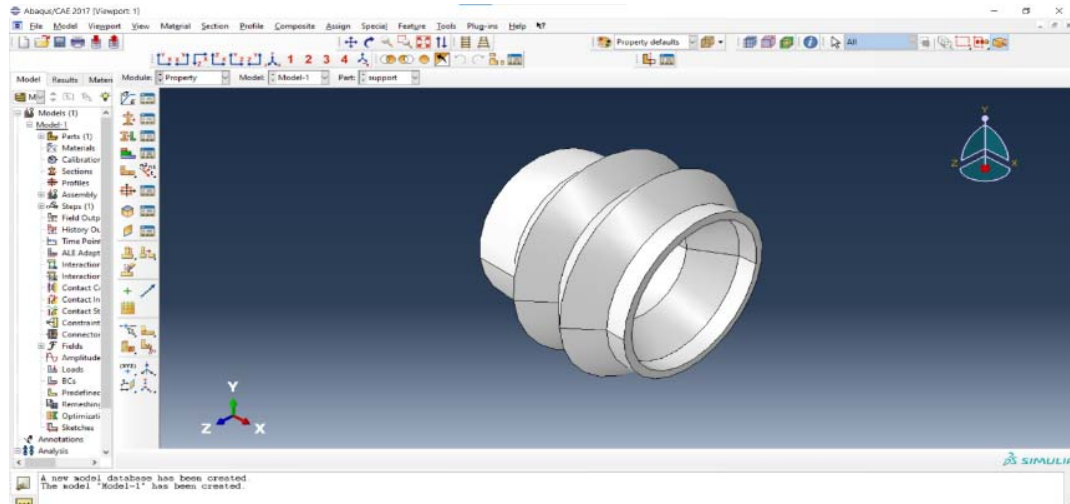


Figure V.3 : Après la définition du matériau, On va créer une section.

- On va nommer notre section « Section-1 » et sélectionner Solid dans Category et Homogeneous dans Type, on termine par **Continue**.

- Une fenêtre va apparaître, on va choisir dans Material notre matériau créé précédemment et on termine par **OK**.

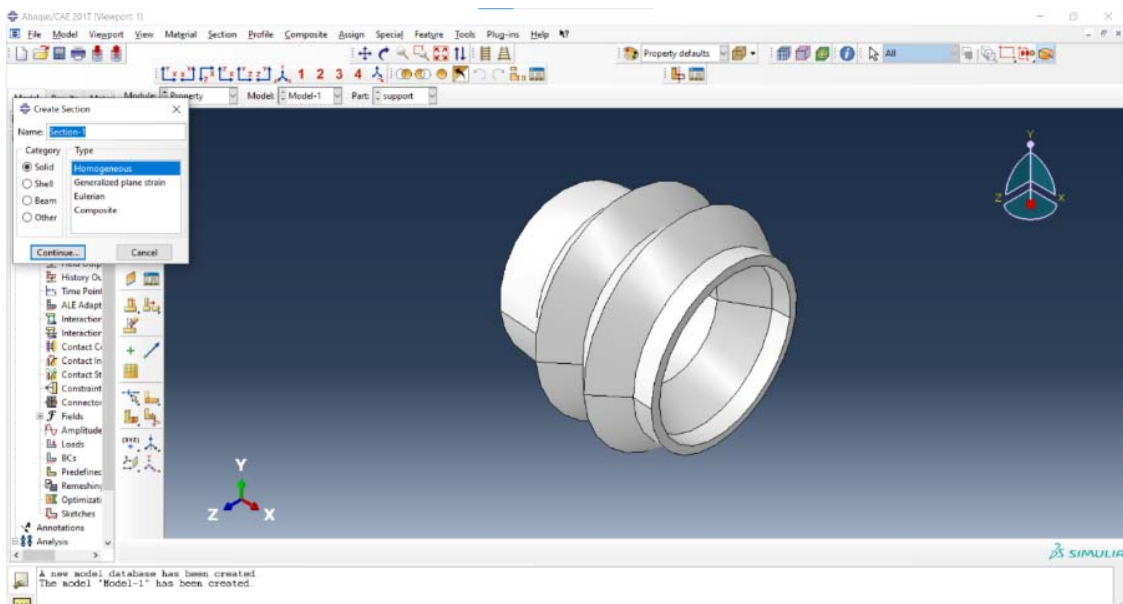


Fig V. 4 : Define creat section.

Maintenant, on va attribuer à notre géométrie la section créée précédemment :

- Dans le même module, on appuie sur **Assign Section** puis on sélectionne la géométrie et on clique sur **Done**.

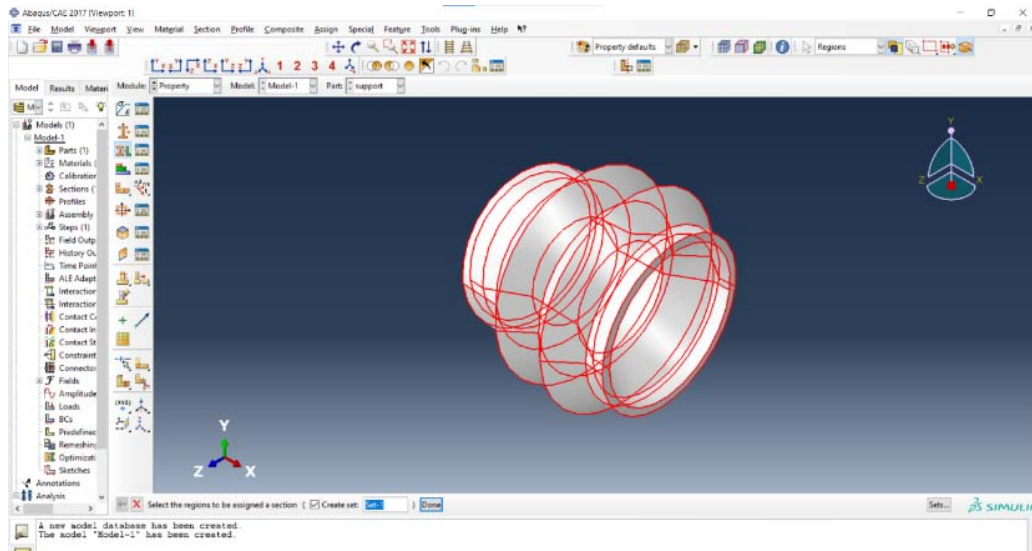


Fig V. 6 : Définition de Property.

- Dans la nouvelle fenêtre, on choisit notre section et on tape sur **OK**.

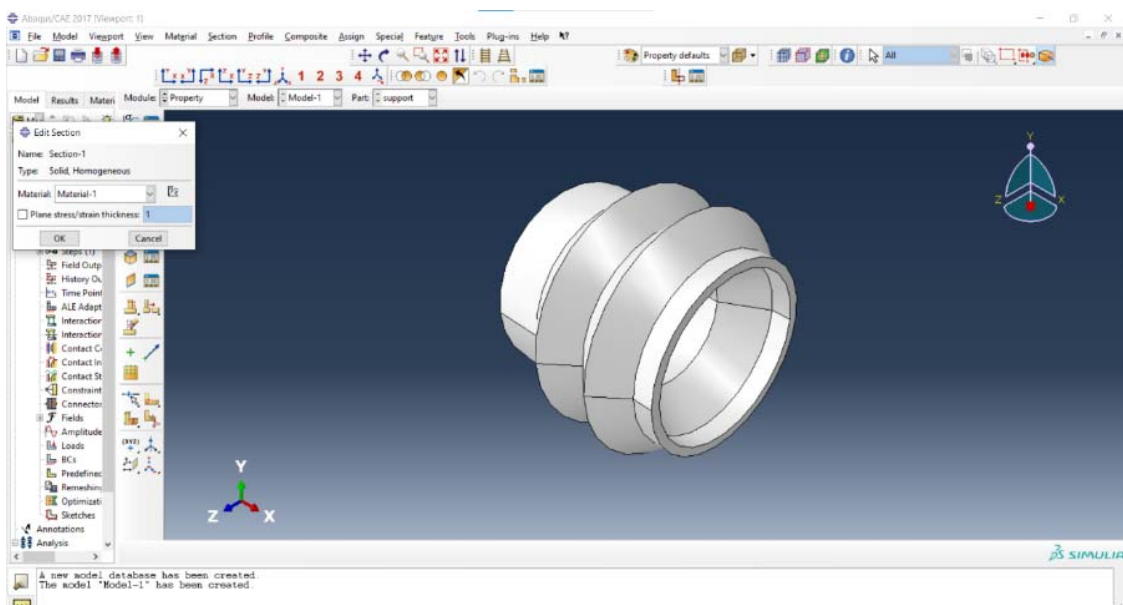


Fig V. 5 : Définition de la section.

V-3.3. Création de l'assemblage :

Dans ce module, on va créer un assemblage. Dans Abaqus, chaque modèle doit contenir un assemblage, même s'il se compose d'une seule partie :

- Dans le module Assembly, on sélectionne **Create Instance**.
- On remarque que notre plaque a été choisie par défaut. Dans Instance Type, on sélectionne Independent (mesh on instance)
- on termine par **OK**.

Ce choix signifie que le maillage se fera au niveau de l'assemblage non pas au niveau de la

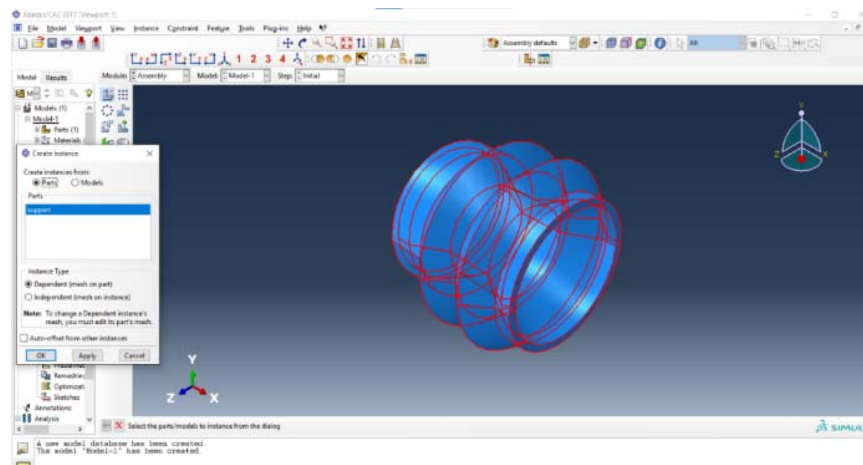


Fig V. 7 : Création de l'assemblage.

pièce. La création des singularités n'est possible que dans ce cas.

V-3.4. Étapes et paramètres de sortie :

Dans notre étude, on aura besoin d'une seule étape de calcul :

- Dans le module Step, on clique sur **Create Step**.
- Ensuite, on va nommer notre étude « pression », et puisque cette dernière est statique, on choisit Static, General puis on tape sur **Continue**.
- Dans la fenêtre sortante **Edit Step** On laisse les paramètres par défaut et on termine par **OK**.

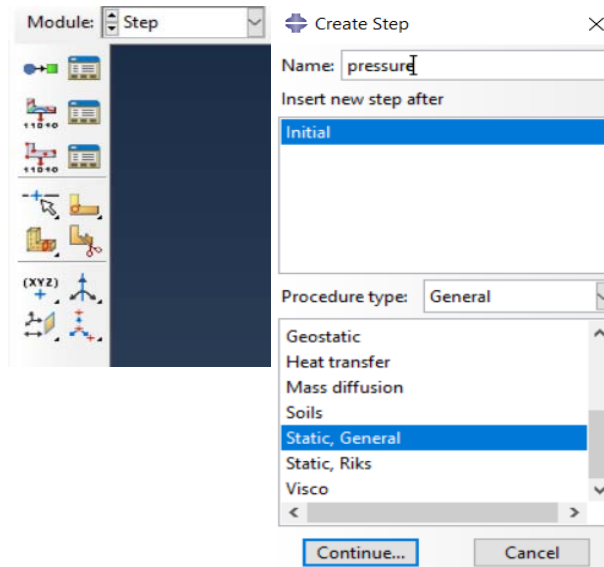


Fig V. 8 : Création de l'étape « pressure ».

V-3.5. Chargement et conditions aux limites :

On va définir maintenant la fixation :

- On sélectionne le module Load puis, on clique sur **Boundary condition**

Puis, on va vers Symmetry/Antisymmetry/Encastre et sur **Continue**.

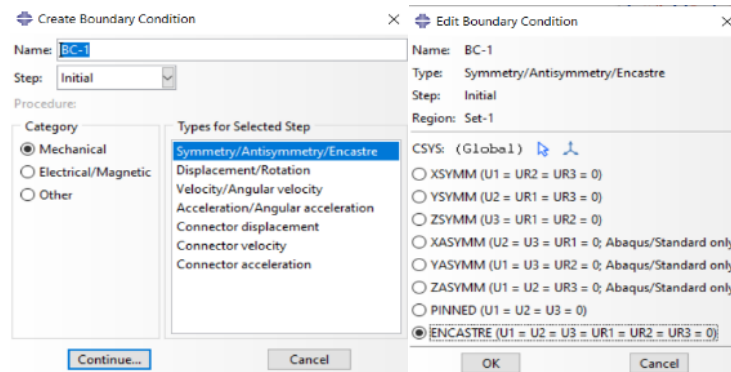


Fig V. 9 : Définition de la fixation.

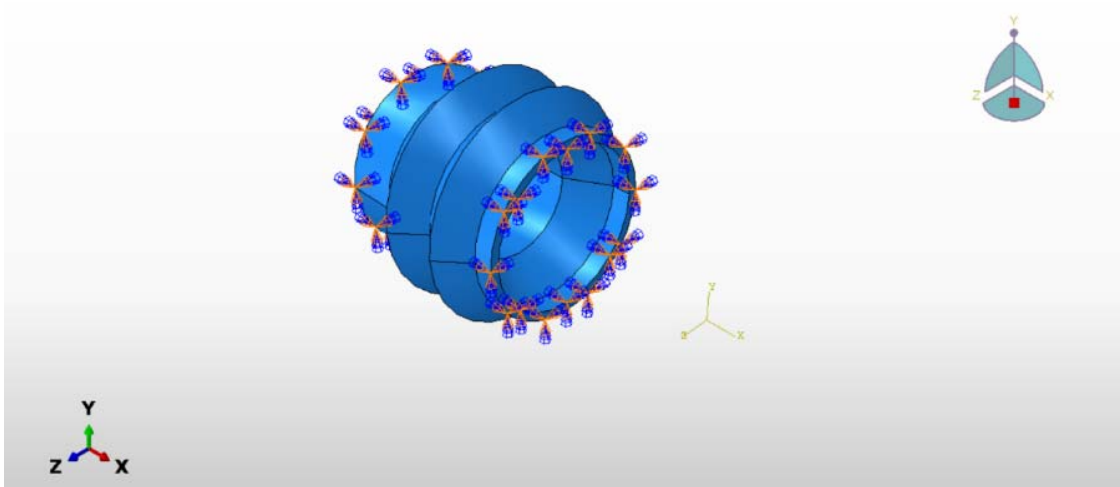


Fig V. 10 : Définition de la fixation.

On va définir maintenant la charge de pression :

- On sélectionne le module Load puis on clique sur **Create Load**. Puis, on va vers Mechanical Pressure et sur **Continue**.

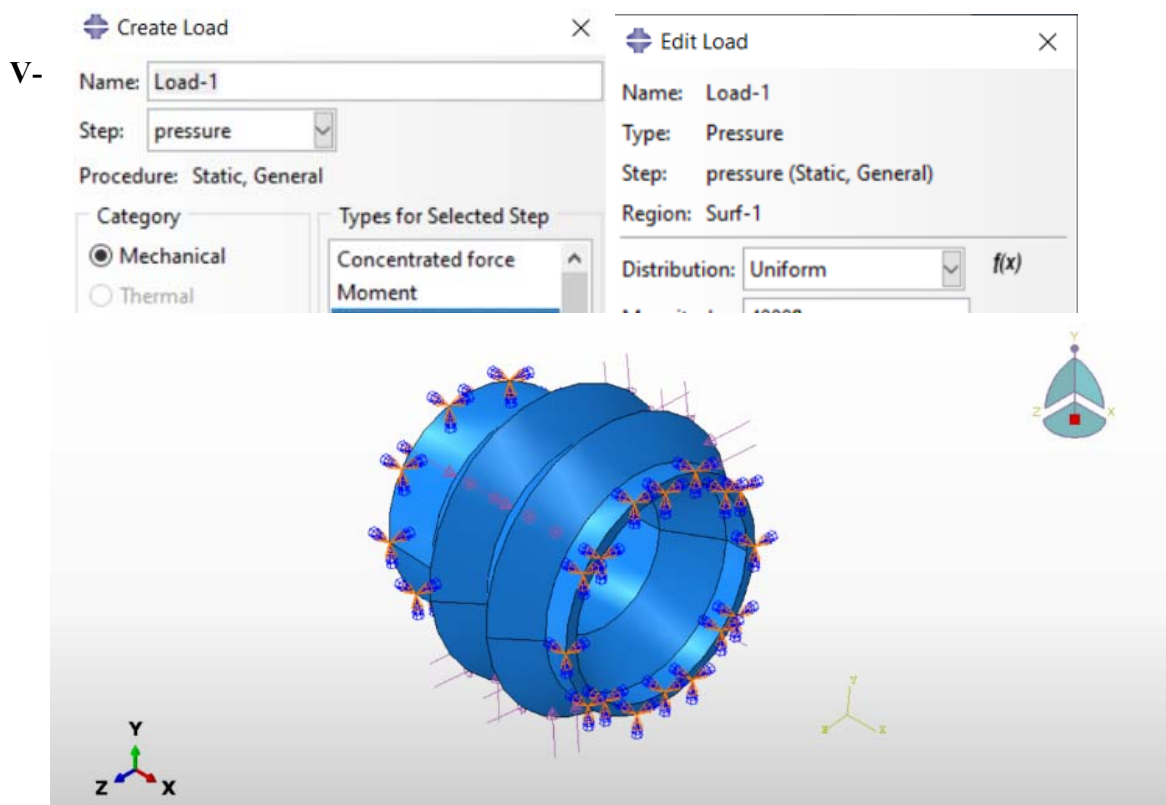


Fig V. 12 : la charge appliquée.

3.6. Maillage :

Pour effectuer le maillage, il faut passer par trois étapes :

1. Définir la précision du maillage.
2. Choix des éléments.

Maillage tétraédrique : Un maillage tétraédrique présente l'avantage de pouvoir bien approximer le contour de la surface. Pour obtenir de bons résultats, il convient d'utiliser des éléments d'ordre supérieur tels que des éléments tétraédriques à 10 nœuds interpolables quadratiques plutôt que des éléments à 4 nœuds, qui ne peuvent qu'interpoler. Présent par la figure suivante :

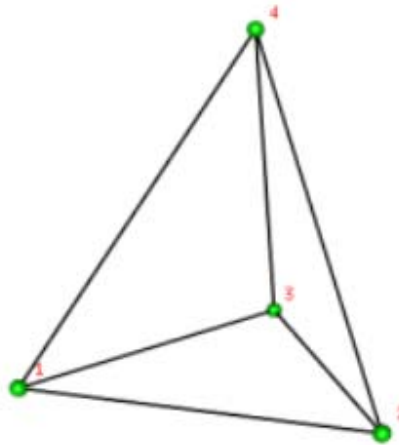


Fig V. 13 : Maillage tétraédrique.

3. Contrôle du maillage.

- Définir la précision du maillage
- Dans le module Mesh, On clique sur **Seed Part**, puis tapez 4 dans Approximate global size et sur **OK**.
- Ensuite, clique sur **Mesh Part**, appuie sur **Yes**, puis maillage le support. Et clique sur **Assign element type**, puis on sélectionne tout le support et on appuie sur **Done**.

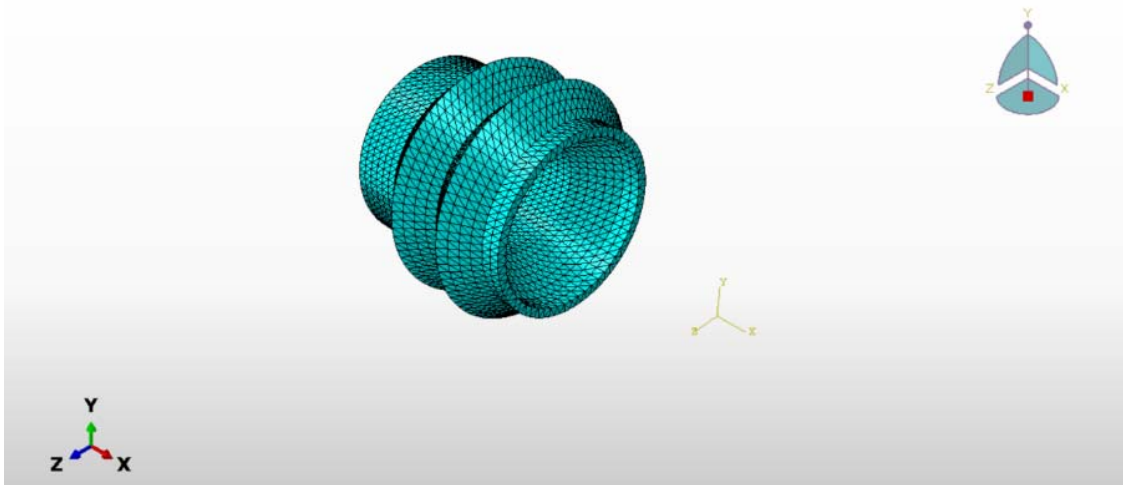


Fig V. 14 : Maillage du support (34625 éléments).

V-3.7. Resultats et discussion :

Maintenant, on va passer au module Job, on clique sur **Create**

Job. Dans la nouvelle fenêtre, on clique sur **Continue**.

Dans la fenêtre **Edit Job**, on laisse tous le paramètres par défaut et on appuie sur **OK**.

Après la création du Job, on va lancer l'analyse. Pour cela, on clique sur **Job Manager**, Dans la nouvelle fenêtre, on appuie sur **Submit**. On attend quelques instants jusqu'à l'affichage de **Completed** dans Status. On accède aux résultats par résultat.

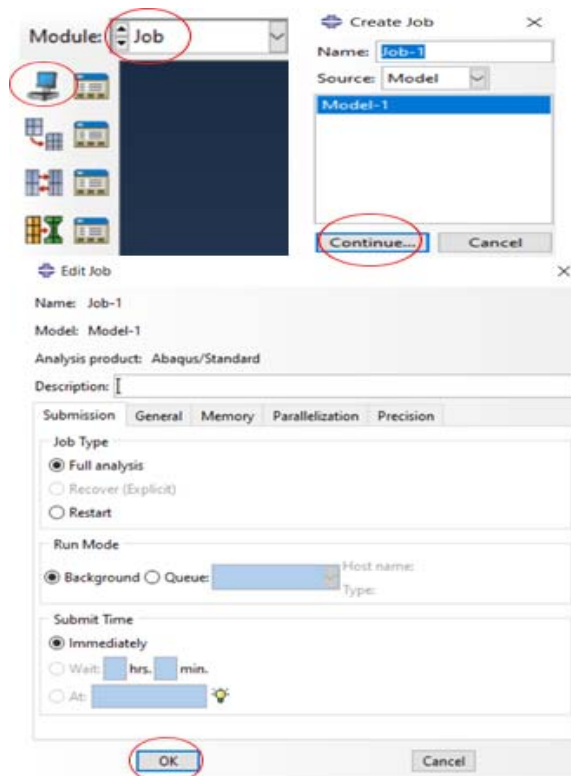


Fig V. 15 : Création de "job".

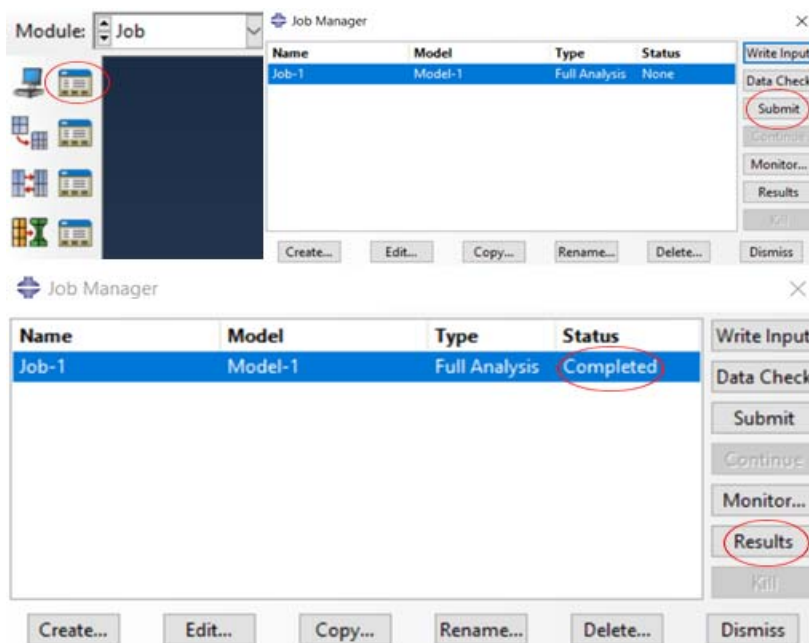


Fig V.16 : Analyse.

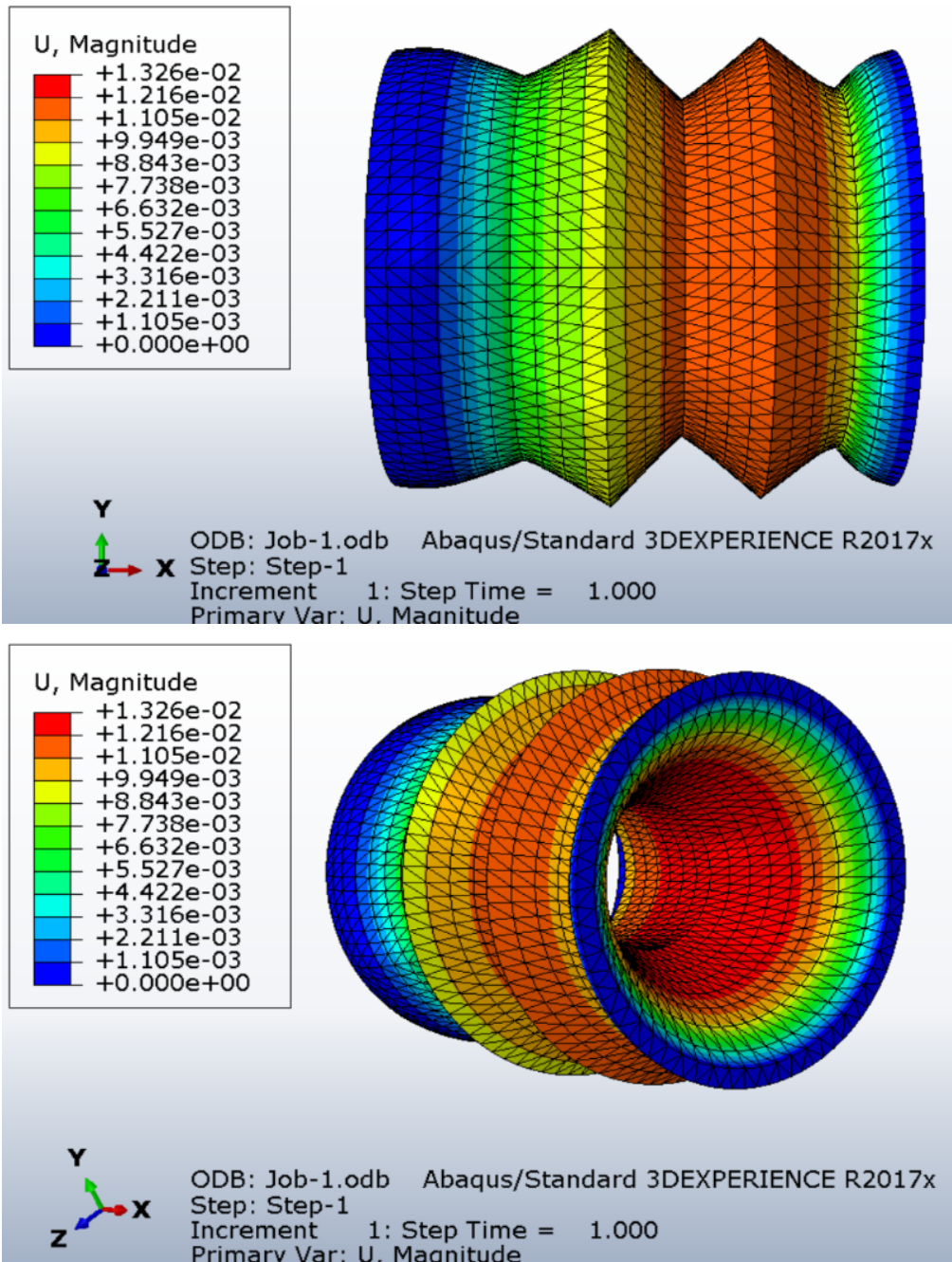


Fig V. 18 : maillage et après déformé du support. a) Face avant, b) Face droit.

Répartition de la déformation :

Face avant (image du haut) : montre la répartition des déformations du bleu (faible déformation) au rouge (forte déformation).

Face droite (image du bas) : montre les déformations de l'autre côté de la pièce.

Échelle de couleurs :

Indique le niveau de déformation, de 0 (bleu) à $+1.326e-02$ (rouge), où le rouge représente la déformation maximale.

Analyse des résultats :

Zones de forte déformation : concentrées au centre, indiquant des points de faiblesse potentiels.

Zones de faible déformation : aux extrémités, moins soumises aux contraintes.

V-4.Conclusion :

En résumé, Abaqus et SolidWorks sont des outils puissants pour réaliser des simulations, chacun avec ses propres atouts et cas d'utilisation idéaux. Abaqus est adapté aux simulations détaillées et d'haute-fidélité qui nécessitent des capacités et une précision avancée, tandis que SolidWorks offre une solution accessible et intégrée pour la validation de conception générale et le développement itératif.

Le choix entre les deux dépend de la complexité du problème, du niveau de détail requis et de la connaissance de l'utilisateur avec le logiciel.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'incarnation des supports des remorques de camions en polyamide PA6 est une solution économique et innovante pour améliorer l'efficacité, la durée de vie et les performances surtout côté mécanique de ces remorques. Nous avons mené une étude complète sur le polyamide, les propriétés mécaniques et la fabrication d'un support en polyamide représentent des nombreux avantages ainsi que la résistance aux facteurs environnementaux qui peuvent être considérés une meilleure solution pour les supports des remorques.

L'application de la technologie du polyamide pour incarner les supports des remorques de camions est un pas important vers l'amélioration des performances et de l'efficacité de ces remorques, tout en préservant leur robustesse et leur qualité. Il est essentiel de continuer à suivre cette tendance et à tirer parti des évolutions technologiques dans ce domaine pour atteindre l'objectif final qui est le développement du secteur du transport et de la logistique de manière générale.

Référence bibliographique :

1. BRAHMIA, Y., *Maximisation de la productivité et minimisation de la rugosité de surface lors de l'usinage du Polyamide PA6*. 2020.
2. Hafsaoui, S.L., *Etude et modélisation de la stabilité thermique et des propriétés des polyamides au cours du rotomoulage*. 2013, Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM; École Militaire
3. *PA (polyamide)*
4. *types de polymeres*.
5. AOUADJ, S., *Mise en œuvre des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) en Algérie: secteur de production d'électricité par des énergies renouvelables et élaboration des documents de références*. 2022, Université de Batna 2.
6. Aggoun, N. and M. Mokhtari, *Synthèse et polymérisation de caprolactame*. 2012.
7. *PRODUCTION OF NYLON 6*. 2019.
8. Bessad, K., *Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à matrice polyuréthane chargé en particules polyamide 6 recyclé*. 2021, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.
9. Regrain, C., *Comportement, endommagement et fissuration par fluage du Polyamide 6: étude expérimentale et modélisation*. 2009, École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
10. Samyn, F., *Compréhension des procédés d'ignifugation du polyamide 6: apport des nanocomposites aux systèmes retardateurs de flamme phosphorés*. 2007, Lille 1.
11. INTERNATIONAL, A., *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*.
12. Sadou, F. and K. Tiouchichine, *Etude de voilage d'une tôle en acier au cours d'emboutissage par une méthode expérimentale et numérique*. 2019, Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou.
13. MAZOUZI, D., *Caractérisation des UHPC à l'échelle nanomètre*. 2014.
14. *directindustry, machine de traction universelle Test 112*
15. INTERNATIONAL, A., *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*.
16. HAMBURG, g., *Machine essai de compression type de WP 310*.
17. Agilent, *The Agilent Cary 630 FTIR spectrometer*.
18. Ahlem, D., *Contribution à l'étude de phénomène du fluage de polyamide 6 sous l'effet des contraintes échelonnées*. 2020.
19. DUBE, M.K., *ETUDE, CONCEPTION ET SIMULATION D'UN LIT ELEVATEUR D'HOPITAL PAR SOLIDWORKS*. 2021.
20. BOUROUIS, F.Z. and N.M. MECEMMENE, *Comportement en rupture d'une fissure centrale*. 2022.

ملخص

في هذه الدراسة، تم صناعة دعامة المقطورة من نوع "Equalizer Bush ARB0033" من نظام BTK بمادة البولي اميد PA6. قد تحققت من خلال تعريف مختلف مراحل التصنيع الخصائص الميكانيكية والبنوية (FTIR) قد اتبعت بمحاكات رقمية مستخدما برنامج «Abaqus 17» معطيا مطابقة بين القيم التجريبية والمراجع الكلمات المفتاحية: الدعامة-البولي اميد-النيلون-الخصائص الميكانيكية-مادة مركبة.

Résumé

Dans cette étude, la fabrication d'un support de remorque de marque " Equalizer Bush ARB0033" de système BTK en polyamide PA6 a été réaliser, en passant par la définition des différentes étapes.

La caractérisation mécanique ainsi que structurale (FTIR) ont été bien suivis par une simulation numérique par le logiciel « Abaqus 17 » donnant par la suite une concordance entre les valeurs expérimentales et de la littérature.

Mots Clés : Support-Polyamide-Nylon-propriétés mécaniques- matériau composite.

Abstract

In this study, the manufacturing of a trailer support of the brand "Equalizer Bush ARB0033" of BTK system in polyamide PA6 was carried out, going through the definition of the different stages.

The mechanical as well as structural characterization (FTIR) were well followed by a numerical simulation by the software "Abaqus 17" subsequently giving a concordance between the experimental and literature values.

Keywords : Support-Polyamide-Nylon-mechanical properties-composite material.

Annexe

Annexe

Annexe 1 : Rappel sur le dessin en logiciel SolidWorks :

SolidWorks est un logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur) largement utilisé pour créer des modèles 3D et des dessins techniques.

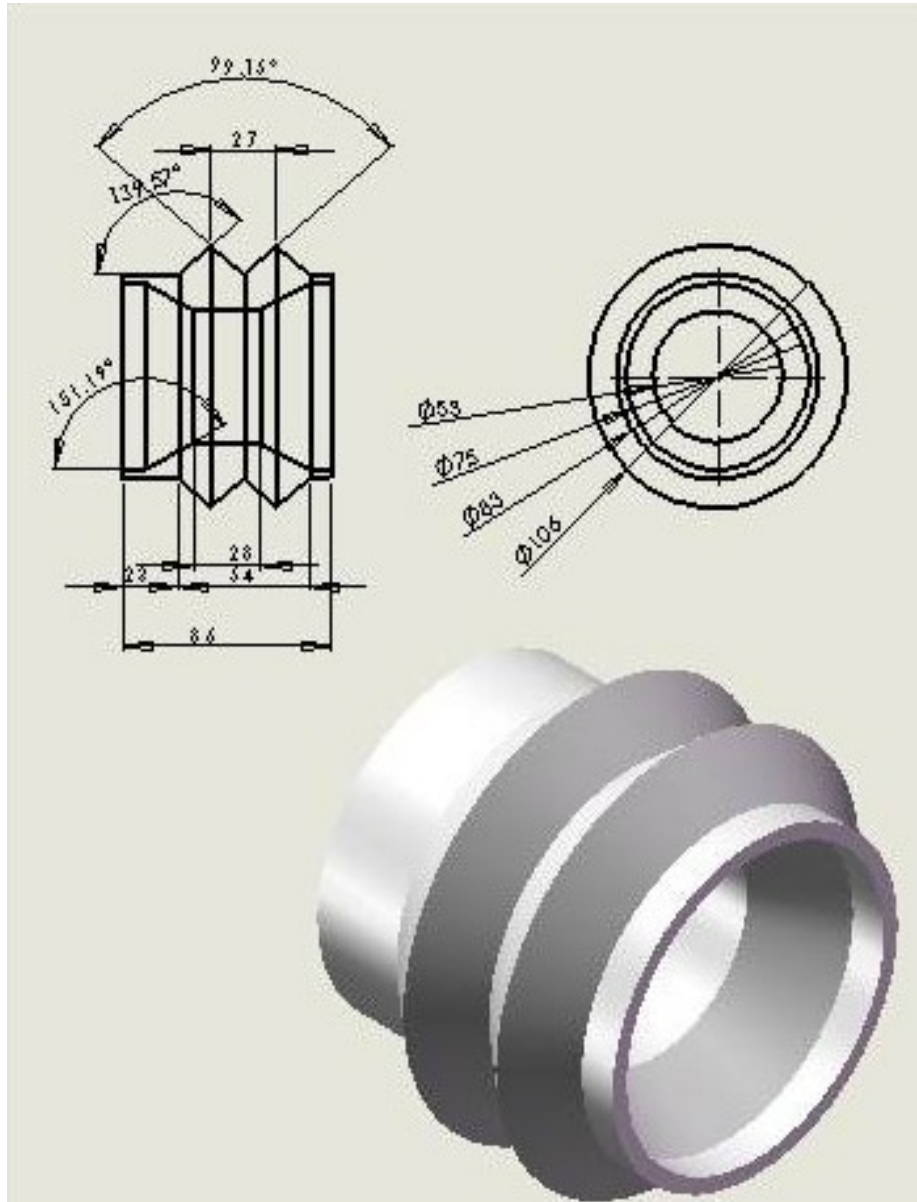


Fig 1 : dessin technique.

Annexe

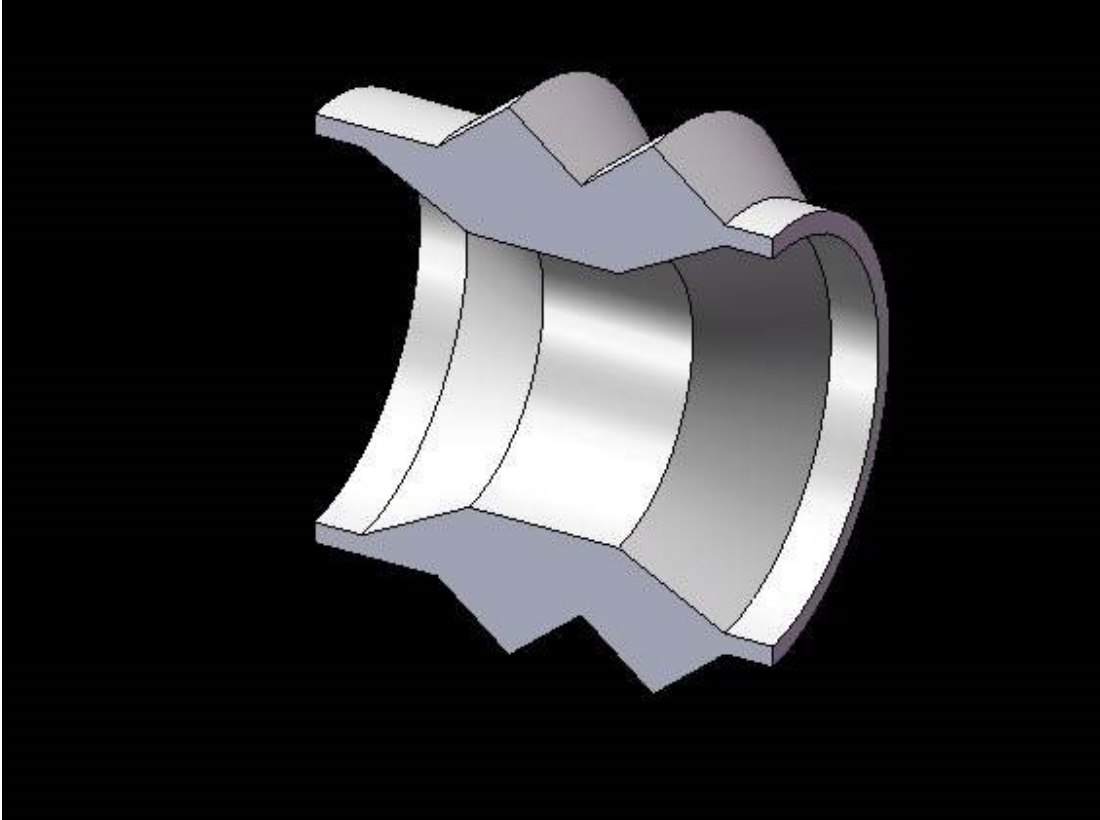


Fig 2 : détail intérieur.

Annexe

Annexe 2 : Rappel sur le Caractéristiques d'usinage de Polyamide PA6 :

Pour obtenir des pièces de haute qualité avec des propriétés mécaniques et dimensionnelles stables, il est essentiel de prendre en compte les paramètres de coupe lors de l'usinage du polyamide PA6.

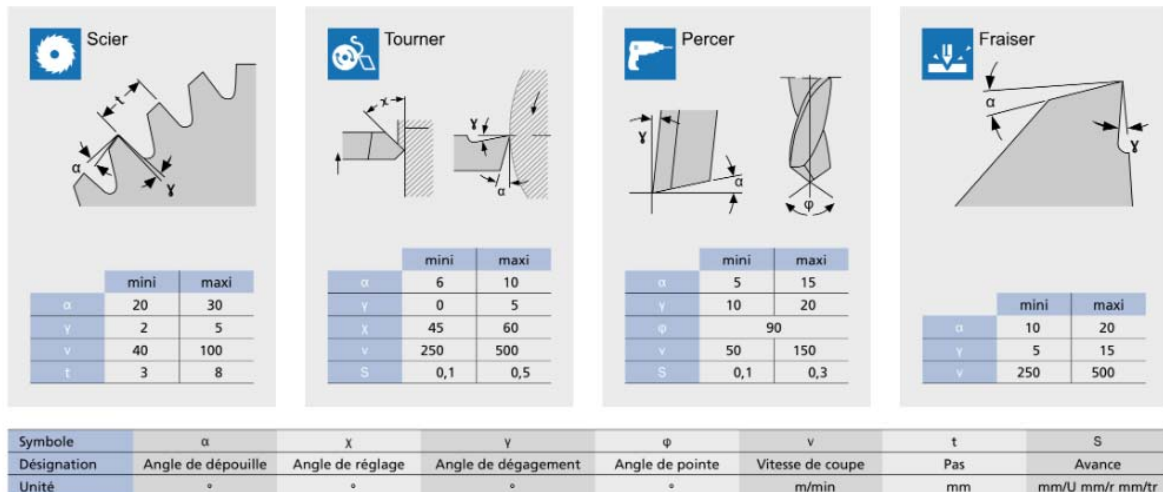


Fig 3:Caractéristiques d'usinage de Polyamide PA6.