

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

N° d'ordre : GM/...../2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Construction Mécanique

Présenté par :

SALEM Younes ET TAHI Ahmed

Thème

CONCEPTION ET REALISATION DES COUVERCLES DES AVALOIRS EN MATERIAUX COMPOSITES A FIBRES DE VERRES

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
BOUDILMI Aissa	MCA	Président
MENASRI Nouredine	Pr	Encadreur
MOUSSA M El Amine	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2023 / 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Dédicace

Je remercie dieu de m'avoir donné
le courage et la volonté tout au
long de mon cursus.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents Mes grands-
mères et Mes grands pères

Mes frères Mes sœurs Mes cousins ;

Mes cousines ; Mes tantes ; Mes
oncles

Toute la famille **SALEM** et **RAHALI**

Toute la famille **TAHI** et **CHINOUN**

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord Dieu le tout puissant qui m'a donné, durant toutes ces années, la santé, le courage et la foi pour arriver à ce jour.

J'adresse mes chaleureux remerciements à l'encadreur de ce mémoire, le **Pr. Menasri Noureddine** pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire.

Je remercie mes parents pour la confiance qu'ils m'ont accordés tout au long de mes études.

Je remercie enfin tous mes amies Surtout mon ami **Khaled Al-Khuwailidi** de Libye et **Dr. Aimeur Noureddine** Merci...

Tableau de martial

Dédicace

Remerciements

Tableau de martial.....	I
Liste de figure	IV
Liste des tableaux.....	VI
Introduction Générale.....	2

CHAPITRE I : Généralités sur les matériaux composites

I.1 Définition	4
I.2 Les caractéristiques générales.....	4
I.3.1 Classification effectuée par rapport au constituant de la matrice	6
I.3.2 Classification effectuée par rapport à la géométrie	6
I.3.2.1 Composites à fibres	6
I.3.2.2 Composites à particules	7
I.3.2.3 Composites structuraux	7
I.3.2.4 Les stratifiés	7
I.3.2.5 Les sandwiches.....	8
I.4 Constituants des matériaux composites.....	9
4.1 Les matrices	9
I.4.1.1 Les résines thermoplastiques	10
I.4.1.2 Les résines thermodurcissables	11
I.4.1.3 Les résines en céramique	11
I.4.1.4 Les résines métalliques	12
I.4.2 Les renforts.....	12
I.4.2.1 Fibres de carbone.....	14
I.4.2.2 Fibres céramiques.....	15
I.4.2.3 Autres types de fibres	16
I.4.3 Les charges	16
I.4.4 Les additifs :	17
I.4.5 L'interface fibre/matrice :	17

I.5 La mise en œuvre des matériaux composites	17
I.5.1 Les technologies en moule ouvert	17
I.5.1.1 Moulage au contact :	17
I.5.1.2 Moulage par projection simultanée :	19
I.5.2 Les technologies en moule fermé	20
I.5.2.1 Moulage sous vide	20
I.5.2.2 Moulage par injection a basse pression de résine (RTM).....	20
I.5.2.3 Moulage à froid	21
I.5.2.4 Moulage par injection de compound BMC.....	22
I.5.2.5 Compression thermodurcissable SMC: (Sheet Molding Compound)	22
I.5.2.6 Enroulement filamentaire (ou bobinage)	23
I.6 Mécanismes d'endommagement des composites.....	24
I.6.1 Décohésion fibre-matrice	25
I.6.2 Fissuration Matricielle	26
I.6.3 Délaminage.....	26
I.6.4 Rupture de la Fibre.....	27

CHAPITRE II : Conception et simulation des 1couvercles

II.1 Conception des couvercles en utilisant la logiciel SOLIDWORKS	29
II.1.1 Présentation des logiciels SOLIDWORKS	29
II.1.2 Conception des couvercles.....	30
II.2 Partie théorie des plaques épaisses	32
II.2.1 Hypothèses pour l'étude des plaques épaisses :	32
II.2.2 Champs de déplacement	32
II.2.3 Champs de déformation	34
II.2.4 Efforts résultants de membrane :	34
II.3. Présentation de logiciels ANSYS Workbench.....	35
II.3.2 Simulation d'essai de flexion pour les couvercles	36
II.3.2.1 Géométrie :	36
II.3.2.2 Maillage :	36

II.3.2.3 Propriétés des matériaux :.....	38
II.3.2.4 Conditions aux limites :.....	38
II.3.2.5 Résultats et discussion :.....	40
II.3.2.6 Application I : sur tampon de regard.....	40
II.3.2.7 Application II : sur grille d’avaloir.....	43
II.4 Conclusion :	46

CHAPITRE III : Fabrication des couvercles et étude économique

III.1 Fabrication des couvercles.....	48
III.1.1 Introduction :.....	48
III.1.2 Composition Chimique du Matériau GRP :.....	48
III.1.3 Les Caractéristiques Distinctives du Matériau GRP et son Importance dans la Fabrication des Couvertures de Systèmes d'Assainissement :	49
III.1.4 Conception des Couvercles d'Égouts :	49
III.1.5 Étapes générales du Processus de Fabrication des Couvercles d'Égouts en GRP :	50
III.1.6 Les méthode de fabrication couvercles :	51
III.1.6.1 Fabrication Artisanale (Manuelle) :	51
III.1.6.2 Fabrication Automatisée (Mécanisée) :	52
III.1.7 Couté réalisation :.....	52
III.1.7.1 Préparation et fabrication	52
III.1.7.2 Matériaux :	52
III.1.7.3 Étapes pour préparer la pâte GRP :.....	53
III.1.7.4 Les quantités nécessaires pour réaliser une couverture circulaire de 60 cm et une épaisseur de 10 cm :	54
III.1.7.5 Matériels	55
III.1.8 Les étapes du travail :	58
III.2 Etude économique :	62
III.3 Conclusion	63
Conclusion générale.....	65

Références Bibliographiques

Résumé

Liste de figure

Figure I-1 : Schéma de matériau composite.....	5
Figure I-2 : Classification des matériaux composites.....	6
Figure I-3 : Schéma d'un matériau composite.....	7
Figure I-4 : composite stratifié	8
Figure I-5 : Représentation d'un pli unidirectionnel.....	8
Figure I-6 : Structure sandwich	9
Figure I-7 : Différents constituants d'un matériau composite.....	9
Figure I-8 : Organigramme des différentes familles de matrice.....	10
Figure I-9 : Les différents types de renfort de base	12
Figure I- 10 : Les différents types de renfort de base	13
Figure I- 11 : Fibres de Graphite (a), fibre de Carbone (b).....	14
Figure I-12 : Fibres d'aramide.	15
Figure I-13 : Procédé de moulage par contact	18
Figure I-14 : Moulage par projection simultanée	19
Figure I-15 : Moulage sous vide	20
Figure I-16 : principe de moulage par injection de résine.....	21
Figure I-17 : Principe de moulage à la presse à froid	21
Figure I-18: Moulage par injection de compound BMC	22
Figure I-19 : Compression thermodurcissable SMC	23
Figure I- 20: Enroulement filamentaire (ou bobinage).....	23
Figure I-21 : Phase de l'endommagement d'un matériau	24
Figure I- 22 : Décohésion fibre-matrice.	25
Figure I-23 : Fissuration de la matrice.....	26
Figure I-24 : Délaminage d'un composite	27
Figure I-25 : Rupture de la fibre	27
Figure II-1 : Conception 3D de grille d'avaloir.....	30
Figure II -2 : dessin de définition de grille d'avaloir.....	31
Figure II-3 : Conception 3D de tampon de regard	31
Figure II-4 : dessin de définition du tampon de regard	32
Figure II -5 : Géométries de tampon	32
Figure II-6 : Géométries de grille d'avaloir	36
Figure II-7 : Géométrie SOLID 187	37
Figure II-8 : Modèle Maillage de tampon de regard.....	37

Figure II-9 : Modèle Maillage de grille d'avaloire	38
Figure II-10 : Condition aux limites et appliquées la force	39
Figure II-11 : Condition aux limites et appliquées la force	39
Figure II -13 :la charge 10 tonnes.....	40
Figure II-14 :la charge 20 tonnes.....	40
Figure II-15 :la charge 30 tonnes.....	41
Figure II-16 : la charge 10 tonnes.....	41
Figure II-17 : la charge 20 tonnes.....	41
Figure II-18 : la charge 30 tonnes.....	42
Figure II-19 : La courbe représente les contraintes sur une tampon de regard avec différentes charges.	42
Figure II-20 : La courbe représente les déformations élastiques équivalentes sur un tampon de regard avec différentes charges.	43
Figure II-21 : la charge 10 tonnes.....	43
Figure II-22 : la charge 20 tonnes.....	44
Figure II-23 : la charge 10 tonnes.....	44
Figure II-24 : la charge 20 tonnes.....	44
Figure II-25 : La courbe représente les déformations élastiques équivalentes sur une grille d'avaloire avec différentes charges.	45
Figure II-26 : La courbe représente les déformations élastiques équivalentes sur une grille d'avaloire avec différentes charges.	46
Figure III -1 : Matériels de fabrication	57
Figure III-2 : Les étapes de fabrication de tampon.....	60
Figure III-3 : la presse ZHENGXI -YzS -400T	61
Figure III-4 : le produite final « tampon de regard »	61

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Caractéristiques des résines thermoplastiques.....	11
Tableau I-2 : Caractéristiques des résines thermodurcissables	11
Tableau I-3 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre	14
Tableau I-4 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone	15
Tableau II-5 : des dimensions de conception de grille d'avaloir.....	30
Tableau II -6 : des dimensions de conception de tampon de regard	31
Tableau II-7 : Caractéristiques mécaniques des matériaux (GRP).....	38

Introduct
TUCTOAGC

ion
TOU

générale
dEUGI9J6

ION
TOU

Introduction Générale

Avec le développement des industries et le besoin croissant de matériaux aux propriétés mécaniques avancées, les matériaux composites sont devenus l'une des solutions prometteuses pour améliorer les performances des produits dans divers domaines. La fibre de verre renforcée de polyester est l'un des matériaux composites les plus remarquables, combinant une grande durabilité et une légèreté, ce qui en fait un choix idéal pour de nombreuses applications.

Ce mémoire de fin d'études vise à étudier et à développer des couvercles d'égouts en utilisant la fibre de verre renforcée de polyester, en raison de ses nombreux avantages par rapport aux matériaux traditionnels tels que le fer et le béton. L'étude comprend plusieurs étapes allant de la compréhension des propriétés des matériaux composites, à la conception des couvercles à l'aide de logiciels de simulation avancés, jusqu'à la fabrication des couvercles et le test de leur qualité.

La recherche s'articule autour de trois axes principaux : l'étude des matériaux composites et de leurs propriétés, la conception des couvercles et la simulation de leurs performances, et enfin, le processus de fabrication des couvercles et leur test. Ces étapes visent à fournir une compréhension complète et approfondie de la manière d'améliorer les performances des couvercles d'égouts en utilisant des matériaux composites, en se concentrant sur les applications pratiques et les défis potentiels de la fabrication.

À travers cette recherche, nous cherchons à mettre en avant l'importance des matériaux composites dans les industries modernes et à montrer comment leur utilisation peut améliorer la qualité et l'efficacité des produits, tout en offrant des recommandations pour développer les processus de fabrication et garantir la qualité des produits finis.

CHAPITRE I :

Généralités

sur les

matériaux

I.1 Définition

Dans un sens large, le mot " composite " signifie, un matériau constitué de deux ou plusieurs parties différentes. Certains auteurs emploient parfois le terme multi-matériaux pour désigner les composites, En fait l'appellation "matériau composite" ou "composite" est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, qui sera précisé tout au long de ce mémoire.

Dans un sens plus précis, un matériau composite utilisé dans la réalisation des structures est par définition, toute matière première comportant un renfort associé à au moins deux autres composants, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau hétérogène dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. Le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser, ce qui introduit la notion d'un agent de liaison [1].

Il existe d'autres définitions plus restrictives. Ainsi, dans l'industrie, le terme « composites » n'est utilisé que pour quelques familles de matériaux modernes à base de résines plastiques, de céramiques, de carbone ou de métaux, renforcés par des fibres .Cependant, la définition ci- dessus peut s'appliquer à des « multi-matériaux » plus anciens comme le torchis un des premiers matériaux de construction utilisé par l'homme ou le béton armé, et même à des matériaux naturels comme le tissu osseux ou le bois qui, bien que n'étant pas fabriqués par l'homme. En revanche, les alliages métalliques ne peuvent généralement pas être qualifiés de composites, même lorsqu'ils sont hétérogènes, leur structure ne participe habituellement pas à la sélection ou à l'émergence de propriétés particulières. Il existe toutefois quelques exceptions, comme l'acier de Damas utilisé depuis l'antiquité pour la fabrication des armes blanches ; les lames forgées dans cet acier sont constituées d'une alternance de couches fragiles (dures) et ductiles (résistantes aux chocs), ce qui leur permet de conserver leur tranchant. Une telle structure « par couches », dite stratifiée, se retrouve dans de nombreux composites [2].

I.2 Les caractéristiques générales

Un matériau composite dans le cas général est constitué d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue. La phase continue et appelée " la matrice ", la phase discontinue est appelée "le renfort ". Les propriétés des matériaux composites se définissent par :

- Les propriétés des matériaux constituants.
- Leurs distributions géométriques.
- Leurs interactions.

Ainsi, pour accéder à la description d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier :

- La nature des constituants et leurs propriétés

- La géométrie du renfort, et sa distribution
- La nature de l'interface : matrice-renfort.

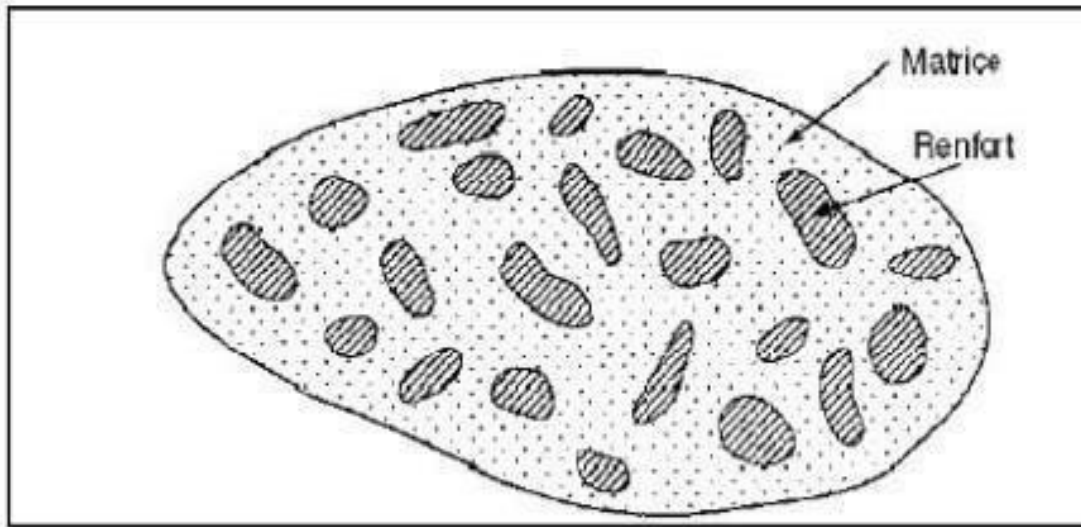


Figure I-1 : Schéma de matériau composite.

La géométrie du renfort sera caractérisée par : sa forme, sa taille, sa concentration et sa disposition (son orientation).

La concentration du renfort est habituellement mesurée par la fraction volumique (concentration en volume) ou par la fraction massique (concentration en masse), la concentration du renfort est un paramètre déterminant des propriétés mécaniques du matériau composite.

Pour une concentration donnée, la distribution du renfort dans le volume du composite est également un paramètre important, sa distribution uniforme assurera une homogénéité du matériau composite.

Dans le cas d'une distribution non uniforme du renfort, la rupture du matériau sera initiée dans des zones pauvres en renfort, diminuant ainsi la résistance du composite. Dans le cas des matériaux composites dont le renfort est constitué de fibres, l'orientation des fibres détermine l'isotropie du matériau composite. Cet aspect constitue une des caractéristiques fondamentales.

Des composites et aussi la possibilité de contrôler l'anisotropie du produit fini par une conception et une fabrication adaptée aux propriétés souhaitées [3] [4].

I.3 Classification des matériaux composites

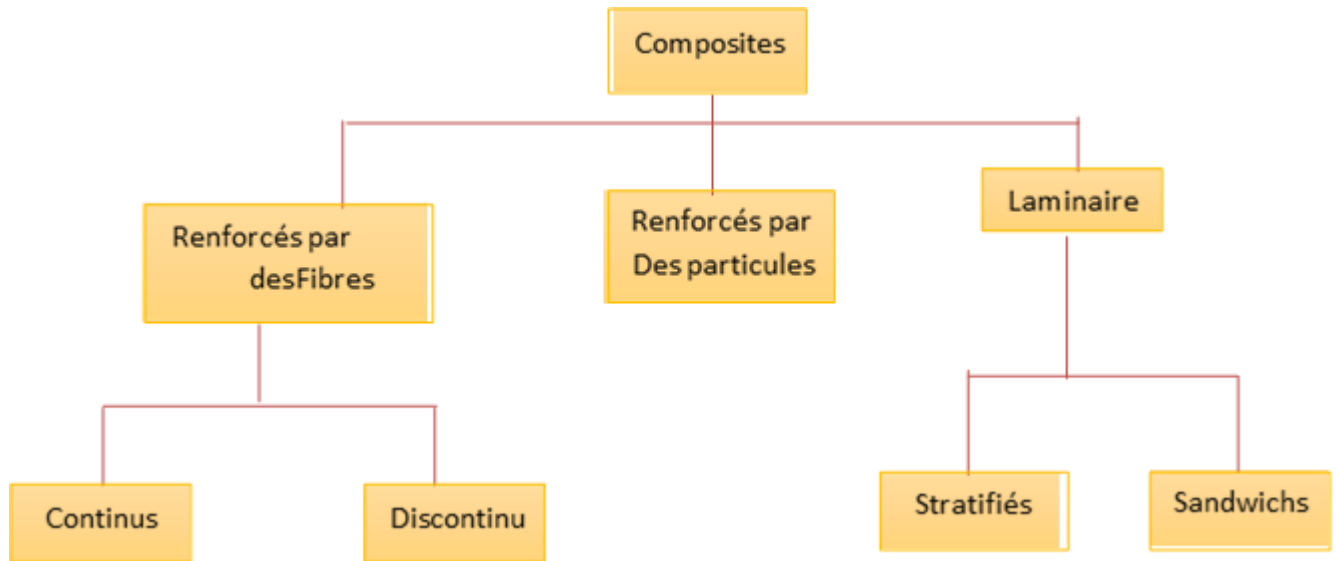


Figure I-2 : Classification des matériaux composites.

I.3.1 Classification effectuée par rapport au constituant de la matrice

Les principales classes des composites comprennent les composites à matrice polymère (PMC), les composites à matrice métallique (MMC), les composites à matrice céramique (CCM) et les composites à matrices de carbone (CMC). Le terme composite à matrice organique (OMC) est généralement présent les deux classes de composites, à savoir les composites à matrice polymérique (PMC) et les composites à matrice de carbone (CMC) [5].

I.3.2 Classification effectuée par rapport à la géométrie

I.3.2.1 Composites à fibres

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues ou bien sous forme de fibres discontinues (fibres coupées, fibres courtes). L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de moduler la carte des propriétés mécaniques des matériaux composites afin d'obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan [6].

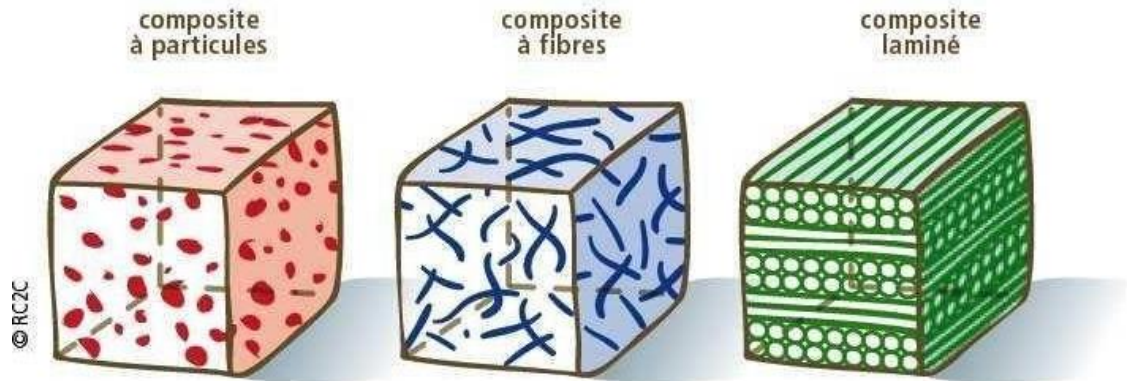


Figure I-3 : Schéma d'un matériau composite [7].

I.3.2.2 Composites à particules

Un matériau composite est un composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, la diminution du retrait, etc. Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques [6].

I.3.2.3 Composites structuraux

La fabrication d'un renfort peut se faire avec des fibres dispersées aléatoirement ou orientées dans une ou plusieurs directions. Des axes de renforcement peuvent être définis par le croisement de fils (le tissage). Des structures 3D ont également été développées afin d'améliorer le renforcement du matériau et d'apporter une solution aux problèmes de délaminage [6].

I.3.2.4 Les stratifiés

Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié.

En jouant sur l'ordre et l'orientation de ces couches, il est possible d'adapter finement les propriétés mécaniques du stratifié aux sollicitations extérieures, et donc atteindre un haut niveau d'optimisation en mettant la matière là où elle est le plus utile [6].

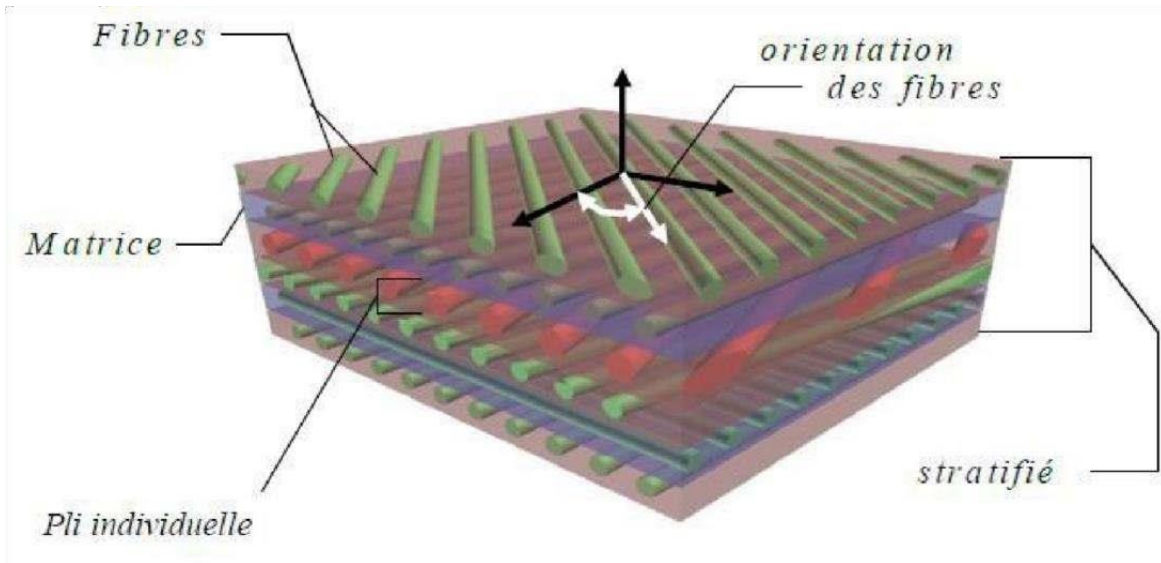


Figure I-4 : composite stratifié [5].

Dans ces structures, les fibres sont tressées ou alignées en « câbles » nommés torons ou simplement fils, comptant chacun quelques centaines ou milliers de fibres. Ces fils sont ensuite tissés selon des motifs plus ou moins sophistiqués, les motifs du tissu peuvent être extrêmement variés selon les caractéristiques désirées du matériau [6].

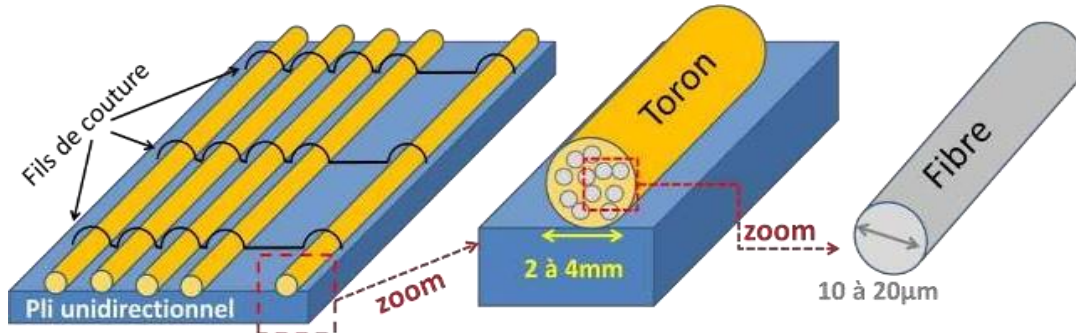


Figure I-5 : Représentation d'un pli unidirectionnel.

I.3.2.6 Les sandwichs

Matériaux composés de deux semelles (ou peaux) de grande rigidité et de faible épaisseur enveloppant une âme (ou cœur) de forte épaisseur et faible résistance. L'ensemble forme une structure d'une grande légèreté. Le matériau sandwich possède une grande légèreté en flexion [6].

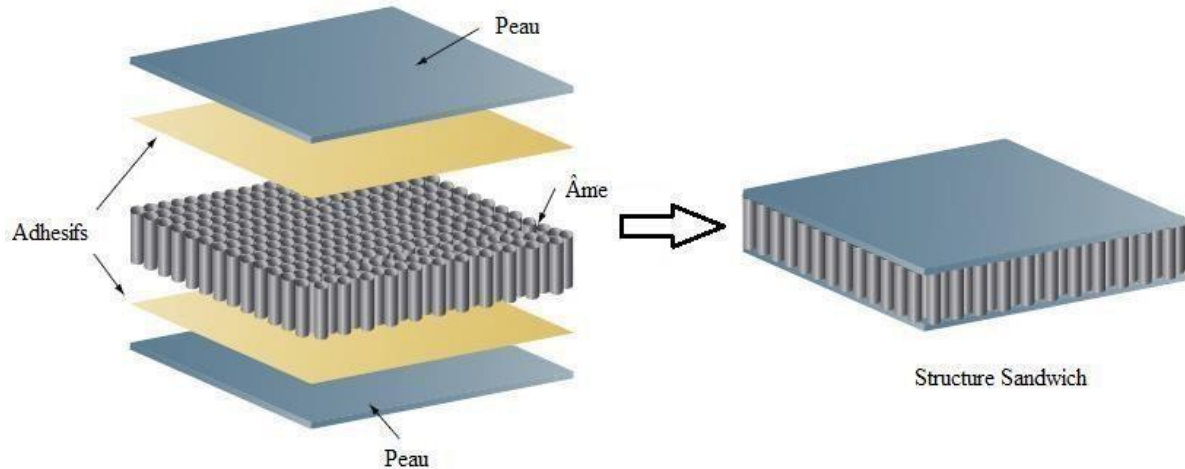


Figure I-6 : Structure sandwich [9].

I.4 Constituants des matériaux composites

Un matériau composite résulte de l'association d'une matrice, d'un élément renforçant et de différents additifs et adjuvants (agents de démoulage stabilisant etc.) Lorsque le matériau composite est non endommagé, les renforts et la matrice sont parfaitement liés et il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases de la structure pour obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques.

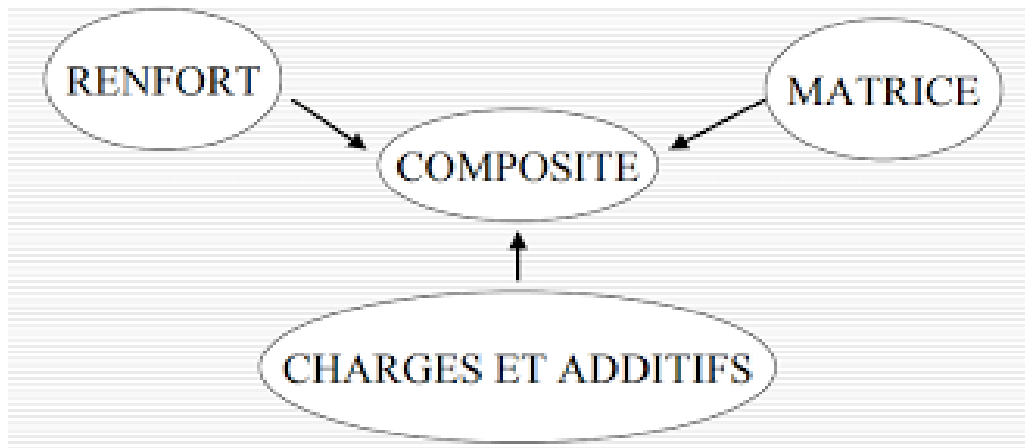


Figure I-7 : Différents constituants d'un matériau composite [10].

4.1 Les matrices

Du fait de leurs faibles sections (des diamètres aux environs de 10 à 20 μm), les fibres ne pouvant toutefois être utilisées directement dans une application mécanique d'où l'idée de les incorporer dans une matrice polymère pour constituer un composite à fibres.

On désigne généralement sous le nom de matrice, un liant polymérique qui, associé à un renfort, permet de le maintenir dans ses formes en assurant la cohésion de l'ensemble et le transfert des efforts. C'est elle qui apporte les propriétés physico-chimiques du produit final. Le premier rôle de la matrice est de maintenir les renforts dans une forme compacte et de donner la forme voulue au produit. Elle sert également à protéger les fibres contre l'abrasion et les agressions extérieures et d'assurer le transfert de charges entre les fibres. Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice organique, composites à matrice métallique ou composites à matrice minérale [11].

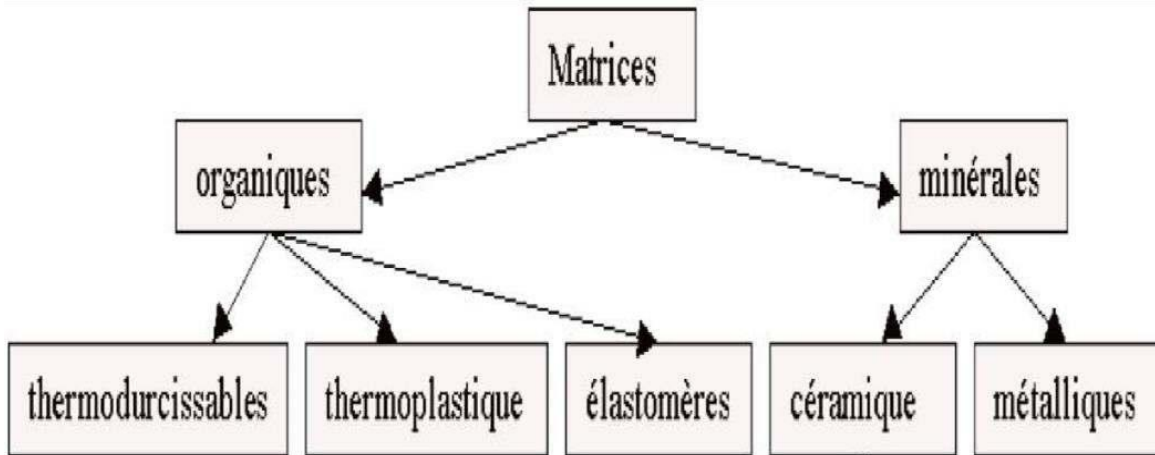


Figure I-8 : Organigramme des différentes familles de matrice [11].

La matrice composée elle-même d'une résine (polyester, époxy etc.), et de charges dont le but est d'améliorer les caractéristiques de cette résine tout en diminuant le coût de production. Deux grandes familles de résines polymères existent : les résines thermoplastiques et les résines thermodurcissables. Ces deux types de résines possèdent la faculté de pouvoir être moulés ou mises en forme pour donner, soit un produit fini soit un produit semi-fini dont la forme peut être modifiée.

I.4.1.1 Les résines thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des chaînes polymères reliées entre elles par de faibles liaisons, elles se présentent sous forme solide (granulés, plaques...) qu'on met en forme en les ramollissant par chauffage, puis en les solidifiant par refroidissement.

Les plus courantes sont le poly (chlorure de vinyle) qui est utilisé dans la fabrication des tuyauteries, le poly (acétate de vinyle) que l'on trouve dans les colles et adhésifs, le polyéthylène dont on se sert pour fabriquer les jouets, les bouteilles ou les sacs de supermarchés, le polypropylène pour les boîtes alimentaires ou les revêtements de sols, le polystyrène qui intervient dans la composition des contenants alimentaires, etc. Leur recyclabilité et leur thermo-réversibilité constituent l'un des grands avantages qui prend de plus en plus d'importance dans la protection de l'environnement [6].

Tableau I-1 : Caractéristiques des résines thermoplastiques [23].

Résines	Masse volumique (g/cm ³)	Résistance (MPa)	Module d'Young (GPa)	Allongement (%)
Polypropylène	0.9	30	1.2	20-400
Polyamide	1.1	70	2	200

I.4.1.2 Les résines thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des polymères qui ne peuvent être mis en forme qu'une seule fois (non recyclable) mais possèdent des propriétés mécaniques et thermomécaniques élevées par rapport aux thermoplastiques [8].

Ils se présentent sous forme liquide visqueux et que l'on met en forme en déclenchant une réaction chimique de polymérisation par ajout d'un durcisseur, ce qui entraîne une solidification. Les plus connus sont les polyesters insaturés (vinyle ester, les dérivés allyliques, les polyesters condensés, etc.), les résines époxydes, les résines de condensation (les phénoliques, les aminoplastes...etc.) [6]. Ils offrent beaucoup d'avantages fondamentaux importants par rapport aux thermoplastiques tels que la résistance à la fatigue et à l'impact, la longévité et la résistance à la corrosion.

Tableau I-2 : Caractéristiques des résines thermodurcissables [23].

Résines	Masse volumique (g/cm ³)	Résistance (MPa)	Module d'Young (GPa)	Allongement (%)
Polyesters	1.2	80	4	2.5
Epoxy	1.1-1.5	130	4.5	2

I.4.1.3 Les résines en céramique

Les matrices céramiques sont composées d'un ou plusieurs métaux combinés à un élément dont le plus courant est l'oxygène comme par exemple AL₂O₃ (Alumine), SiO₂ (Silice), MgO (Magnésie). Beaucoup moins répandus que leurs homologues à matrice organique en raison d'un coût élevé, ces CMC s'adressent aux applications à très hautes températures. Ils sont principalement utilisés dans l'industrie spatiale et l'aéronautique militaire, ainsi que pour la conception d'organes haut de gamme comme des disques ou plaquettes de freins [6]. Les céramiques possèdent de nombreux atouts pour de telles applications : elles peuvent résister à des températures très élevées, sont plus légères que de nombreux métaux, et présentent une bonne stabilité chimique. Leur grande fragilité limite fortement leur domaine d'utilisation.

I.4.1.4 Les résines métalliques

Composites à matrice en métal sont des matériaux qui combinent la dureté des métaux et la rigidité de la céramique. Ce type de résines est utilisé comme liant dans des applications nécessitant un matériau aux bonnes propriétés spécifiques et possédant une bonne tenue en température. A l'heure actuelle, ces applications restent peu nombreuses et sont limitées aux secteurs de pointe à cause du coût de mise en Tuvre et de la complexité d'imprégnation. Les matrices les plus utilisées à ce jour sont les alliages d'aluminium. Les fibres utilisées sont le carbone et les fibres céramiques [6].

I.4.2 Les renforts

Les renforts Souvent sous forme de fibres, le but des renforts dans les matériaux composites est essentiellement d'accroître leurs propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.) et d'améliorer des propriétés physiques, tels les comportements au feu et à l'abrasion, la tenue en température ou les propriétés électriques. Les caractéristiques recherchées dans les renforts sont une masse volumique faible, une compatibilité avec les matrices et une facilité de mise en Tuvre. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel) [11]. La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure I-9 [20].

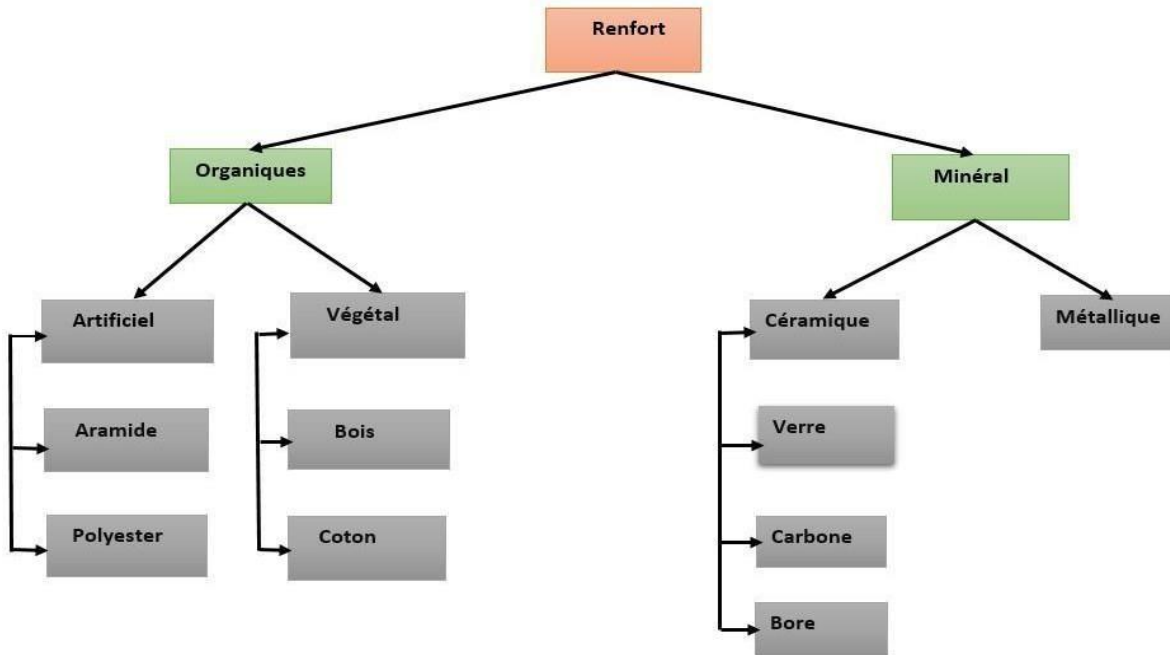


Figure I-9 : Les différents types de renfort de base [20].

Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix qui les placent de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites. Ces

derniers présentent un module de traction faible, mais une résistance en traction intéressante [13]. Elles sont constituées de silicates et considérées comme des matériaux anisotropes.

- **Verre E** : à usage général avec de bonnes propriétés électriques
- **Verre D** : il a de bonnes propriétés diélectriques pour l'utilisation en électronique (circuit imprimé).
- **Verre C** : il a une bonne résistance chimique, pour les couches superficielles des structures sur le plan chimique.
- **Verre R et S** : ont une haute résistance mécanique pour la réalisation des pièces structurales.



a-Roving de verre

b-Tissu de verre



c- Mat de verre

Figure I- 10 : Les différents types de renfort de base [21]

Tableau I-3 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [22].

Caractéristiques	Type E	Type D	Type C	Type R	Type S
Résistance en traction. (MPa)	3500	2450	2800	4650	4650
Module en traction (GPa)		52,5	70	86,5	86,5
	73,5				
Allongement à la					
	4,5	4,5	4,0	5,3	5,3

I.4.2.2 Fibres de carbone

Les fibres de carbone sont des filaments minces faites de carbone élémentaire avec les structures qui changent de ceux du carbone amorphe à ceux du graphite cristallin. Ces fibres sont élaborées à partir d'un polymère de base appelé précurseur, les propriétés chimiques et physiques des fibres de carbone finales dépendent fortement des qualités du précurseur [7].

Les fibres de carbone possèdent de très fortes propriétés mécaniques, leur résistance peut atteindre entre 200 et 300 GPa, elles sont souvent employées comme renfort dans les composites polymères rigides [14].



Figure I- 11 : Fibres de Graphite (a), fibre de Carbone (b) [6].

Tableaux I-4 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone [22].

Caractéristique	Fibres HR	Fibres HM	Fibres IM
Résistance en traction (MPa)	3400/4500	2000/2500	4800
Module en traction (GPa)	230/250	390/450	296
Allongement à la rupture (%)	1.4/1.8	0.5/0.6	2.0
Résistance en compression (MPa)	2200/2800	1300/1700	–

Les polyamides aromatiques qui contiennent les groupes aromatiques plus fortement que 85% s'appellent l'aramides, les fibres d'aramides connues sont le Kevlar. Elles ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leur résistance à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite. Pour y remédier, des enzymes des fibres peuvent être utilisés. L'utilisation de composites à fibres hybrides permet également de remédier aux faiblesses des composites à fibres aramides [13]. Des renforts hybrides de type verre kevlar ou carbone. Kevlar sont largement utilisés dans le domaine des loisirs (ski, raquette de tennis, & etc).



Figure I-12 : Fibres d'aramide.

I.4.2.4 Fibres céramiques

Les matériaux composites de type céramiques sont souvent constitués de renforts et de matrice en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Ces fibres ont des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2000°C. Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avions [13]. Les fibres céramiques les plus utilisées sont :

- Fibres de Carbure de Silicium
- Fibres de Bore.
- Fibres de Bore carbure de silicium

I.4.2.5 Autres types de fibres

Cette partie rassemble tous les autres types de fibres non citées auparavant. Ces fibres sont généralement utilisées pour des applications spécifiques (papiers spéciaux, pour une bonne conductivité électrique). Elles possèdent des modules d'élasticités relativement faibles par rapport aux autres fibres déjà citées [8]. Les fibres concernées sont :

- Les fibres d'origine végétale (cellulose, lin, chanvre, &etc.).
- Les fibres d'origine minérale (amiante, silice).
- Les fibres synthétiques (tergal, nylon, etc.) issus des polyesters, de polypropylène ou de polyéthylène.
- Les fibres métalliques (acier, cuivre, aluminium) qui sont utilisées souvent avec des matrices métalliques.

Ces fibres sont appréciées pour diverses raisons par exemple :

- Leur prix de revient assez bas
- Leur haute capacité d'isolation thermique.
- Leur bonne conductivité thermique et électrique.
- Leur propriété d'isolation acoustique

I.4.3 Les charges

L'objet de la charge renforçant est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine, ou diminuer le coût des résines en conservant les performances des résines. En générales ces charges sont des microbilles ou des particules (poudre) [12].

Les principales charges utilisées sont :

- Microbille en (verre, carbone, époxyde, phénolique, polystyrène, & etc.).
- Des poudres ou paillettes métalliques : (cuivre, fer, aluminium, & etc.).
- Des particules de carbone (noir de carbone).

I.4.4 Les additifs :

Ils sont nécessaires pour assurer une adhérence suffisante entre le renfort fibreux et la matrice et de modifier l'aspect ou les caractéristiques de la matière à laquelle ils sont ajoutés [12]. Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques % et moins) et interviennent comme :

- Lubrifiants et agents de démoulage.
- Pigments et colorants.
- Agents anti-retraits.
- Agents anti-ultraviolets.
- Accélérateur.
- Catalyseur

I.4.5 L'interface fibre/matrice :

En plus de ces fibres et la matrice, il faut rajouter une interface qui assure la compatibilité renfort/matrice, qui transmet les contraintes de l'un à l'autre sans déplacement relatif assurant une bonne adhérence en couche fine. Des produits chimiques entre aussi dans la composition du composite, l'interphase, ...etc. qui peut influencer sur le comportement mécanique, mais n'interviennent pratiquement jamais dans le calcul de structure composite [12].

I.5 La mise en œuvre des matériaux composites

De nombreuses méthodes de fabrication ont été développées pour répondre aux besoins de l'industrie, leurs choix dépend surtout des caractéristiques mécaniques et de la géométrie du produit.

I.5.1 Les technologies en moule ouvert**I.5.1.1 Moulage au contact :**

Le principe consiste à disposer dans un moule les renforts (sous forme de mat ou de tissu) imprégnés manuellement d'une matrice thermodurcissable [15].

Les pièces de formes quelconques peuvent être réalisées avec une cadence très faible. Les renforts sont déposés sur le moule et imprégnés de résine liquide, accélérée et catalysée. Après durcissement de la résine, la pièce est démoulée.

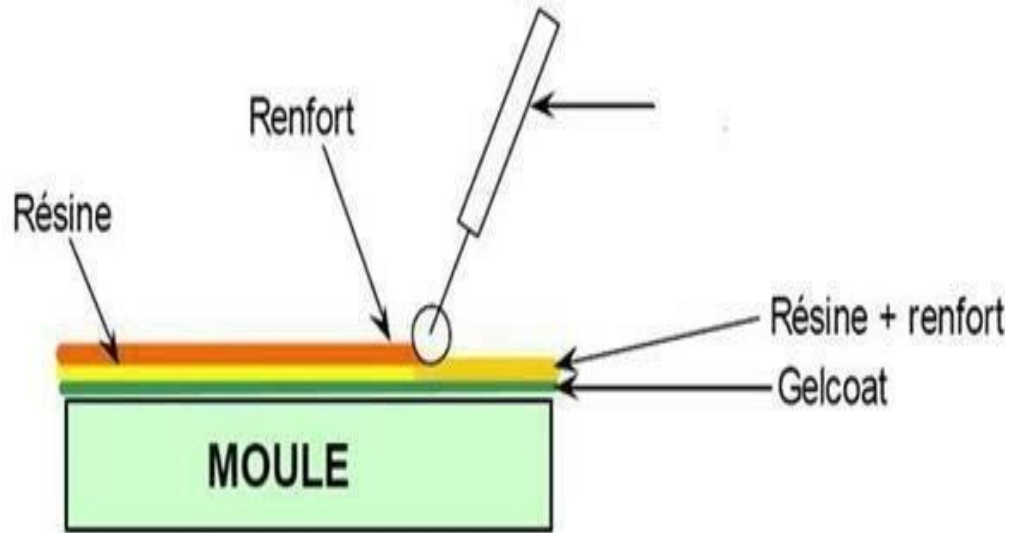


Figure I-13 : Procédé de moulage par contact [15].

On utilise cette technologie de moulage dans le cas de fabrication de petites séries de pièces (1 à 1000 pièces / an et des pièces de très grandes dimensions).

Ce type de moulage présente des avantages tels que :

- Très larges possibilités de formes ;
- Pas de limite dimensionnelle ;
- Une surface lisse gelcoatée (aspect, tenue à la corrosion) ;
- Propriétés mécaniques moyennes à bonnes ;
- Investissements spécifiques très faibles ;
- Moule simple, peu onéreux, rapide à réaliser en interne

Mais aussi il se limite à :

- Une seule face lisse ;
- Nécessité de finition (détourage, perçage, etc.) ;
- Qualité tributaire de la main d'œuvre ;
- Faible cadence de production par moule ;
- Espace de travail important ;
- Conditions de travail médiocres ;

I.5.1.2 Moulage par projection simultanée :

Les matières premières sont mises en Tuvre à l'aide d'une machine de projection. Le dispositif de projection est composé de :

- Un dispositif de coupe.
- Projection du renfort (roving).
- Un ou deux pistolets projetant simultanément la racine.

Les fils coupés et la résine sont projetés sur la surface du moule puis compactés et éboulés à l'aide de rouleaux et d'ébulleurs. La résine pré-accélérée est catalysée en continu lors de sa projection.

Parmi les avantages associés à ce type de moulage on retrouve :

- Très larges possibilités de forme et dimensions.
- Travail simplifié, suppression de la mise en forme obtenue directement par la projection.
- Investissements très modérés.
- Moules simples, peu onéreux, rapides à réaliser en interne.

En plus des limites rencontrées par le moulage au contact, celui-ci se limite à des propriétés mécaniques moyennes [15].

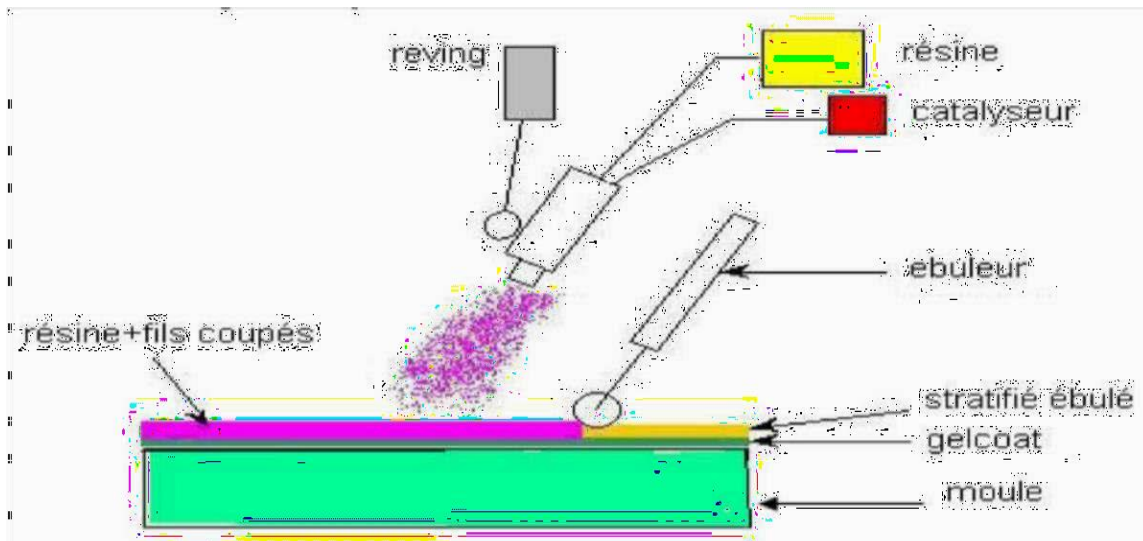


Figure I-14 : Moulage par projection simultanée [15].

I.5.2 Les technologies en moule fermé

I.5.2.1 Moulage sous vide

Le moulage sous vides s'effectue en utilisant un moule ouvert sur lequel on dispose les couches de renfort imprégné.

Le renfort est placé à l'intérieur du moule et la résine catalysée est versée sur ce dernier, un sac de plastique souple vient couvrir le tout hermétiquement (technique du sac), l'étanchéité est assurée au moyen d'un joint placé sur le périmètre. Le vide est fait sous la feuille de plastique des bulles d'air, fluage de l'excédent de résine qui est absorbé par un tissu de pompage.

L'ensemble est ensuite soumis à polymérisation en étuve ou en autoclave. La résine peut également être injectée par l'aspiration consécutive au vide. On utilise ce type de moulage dans le cas d'une production en petites séries de pièces nécessitant deux faces lisses [15].

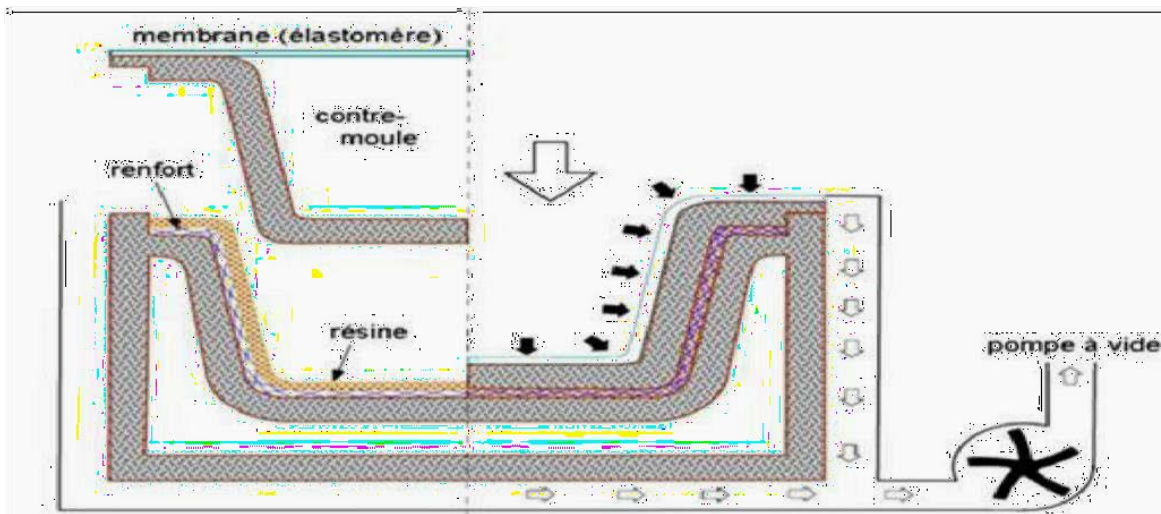


Figure I-15 : Moulage sous vide [16].

I.5.2.2 Moulage par injection à basse pression de résine (RTM)

Le moulage par injection de résine liquide RTM (Résine Transfert Molding) s'effectue entre moule et contre-moule rigides. Le renfort (mats, préforme, éventuellement tissus) est mis en place dans le moule, ensuite, la résine, accélérée et catalysée, est injectée sous faible pression (1.5 à 4 bars) à travers le renfort jusqu'au remplissage complet de l'empreinte. La pression de moulage est faible et le procédé convient pour des cadences jusqu'à 30 pièces par jour [15].

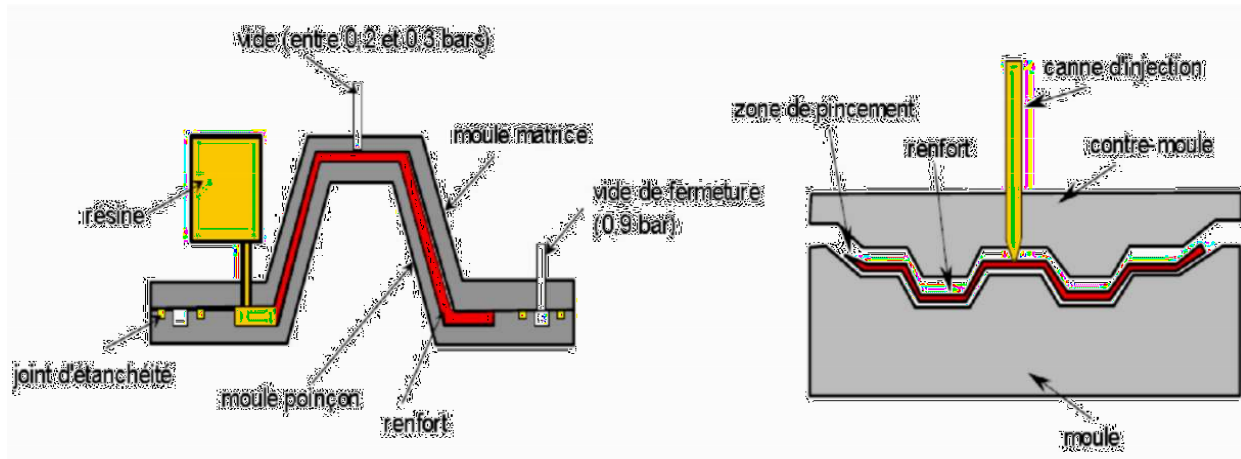


Figure I-16 : principe de moulage par injection de résine [15].

I.5.2.3 Moulage à froid

C'est un moulage dans lequel on se sert d'une presse à compression entre moule est contre moule rigides initialement sans apport thermique extérieur. Le renfort (mat) est posé sur la partie inférieure du moule, la résine dotée d'un système catalytique très réactif, est tout de suite versée en vrac. La fermeture du moule sous pression (2 à 4 bars) entraîne la répartition de la résine dans l'empreinte et l'imprégnation du renfort. Le durcissement de la résine est accéléré progressivement par l'élévation de température du moule [15].

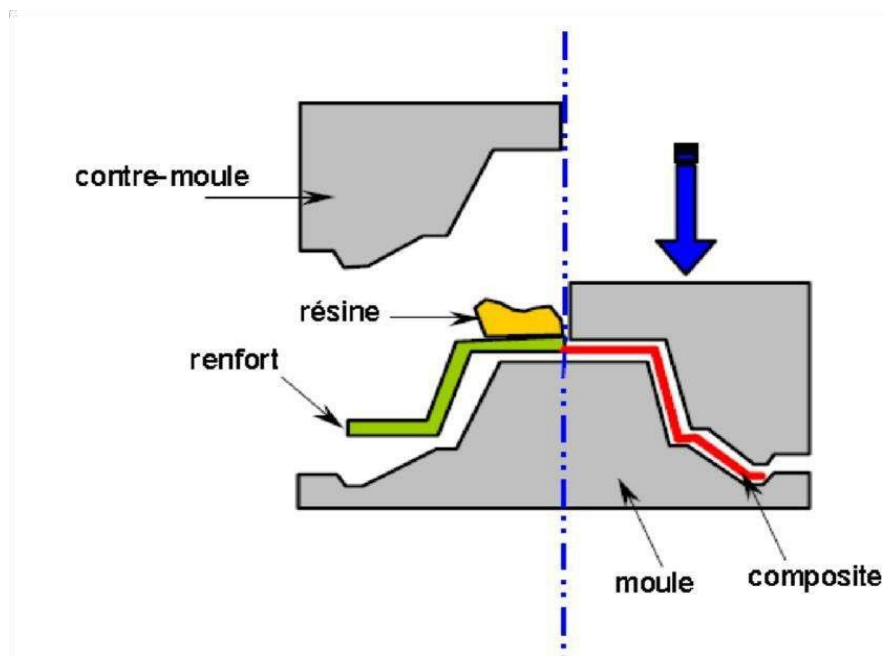


Figure I-17 : Principe de moulage à la presse à froid [15].

I.5.2.4 Moulage par injection de compound BMC

Le compound (Bulk Molding Compound), est une masse à mouler constituée de résine, de charges et d'adjuvants divers, renforcé par des fils de verre coupés. Cette masse est préparée dans un malaxeur. Le moulage se fait à chaud (130-150 °C) par injection (principalement) entre moule et contre moule en acier usiné. La pression (50 à 100 bars) de fermeture du moule entraîne le fluage de la matière préalablement dosée et le remplissage de l'empreinte. Le temps de durcissement très court permet un démoulage rapide. On utilise ce type de moulage pour une production en grandes séries, et pour des pièces de taille petite et moyenne, plus ou moins épaisses [15].

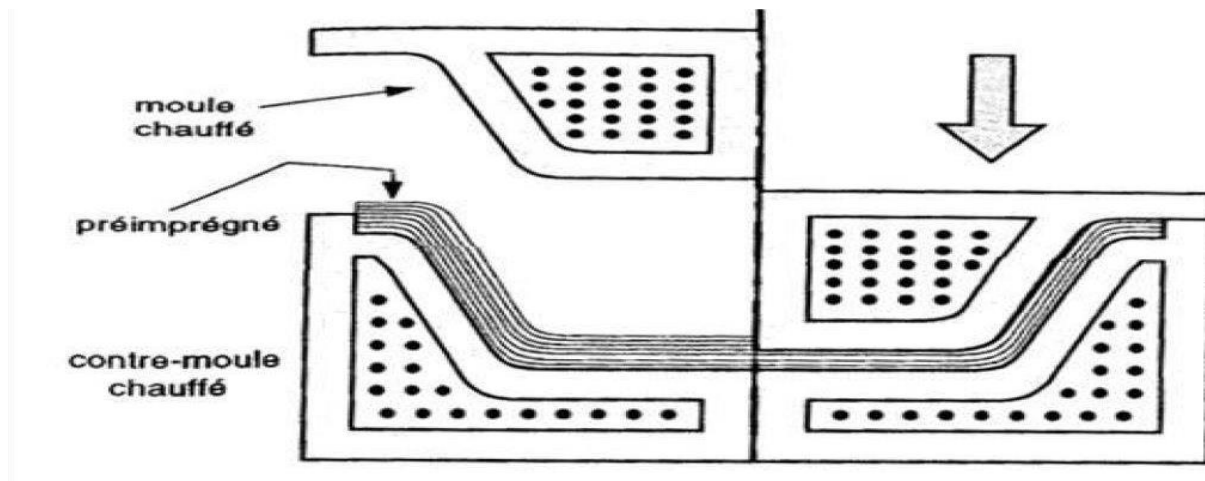


Figure I-18: Moulage par injection de compound BMC [12].

I.5.2.5 Compression thermodurcissable SMC: (Sheet Molding Compound)

Le principe consiste à déposer des feuilles de pré imprégnés dans un contre moule chauffé, de comprimer le matériau avec un moule chauffé, puis polymérisation suivi de l'éjection de la pièce. Les avantages de cette technique sont: coût matière, propriétés mécaniques et thermiques. Les limites sont l'aspect, le dimensionnement des presses et la finition [17].

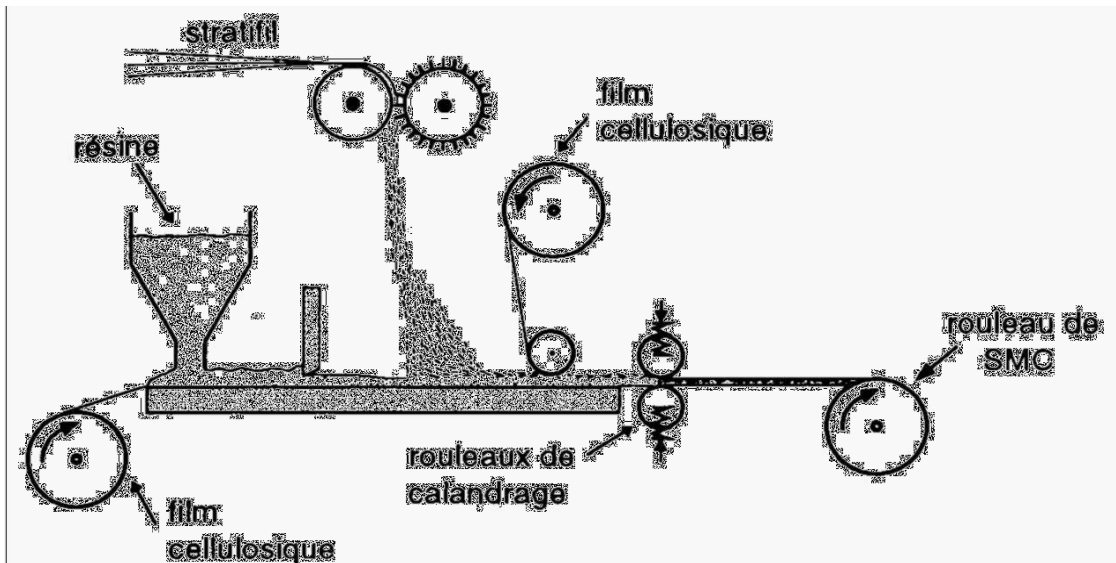


Figure I-19 : Compression thermodurcissable SMC [12].

I.5.2.6 Enroulement filamentaire (ou bobinage)

Suivant la figure ci-après, il peut être intégré dans une chaîne de fabrication en continu, et ainsi autoriser l'obtention de tubes de grande longueur [18]. Pour des pièces de révolution à méridienne quelconque, l'enroulement est réalisé sur un mandrin de forme démontable, puis polymérisé en étuve ou en autoclave. Ce procédé est utilisé pour la fabrication de pièces devant résister aux pressions internes, (réservoirs, corps de propulseur etc.) [17].

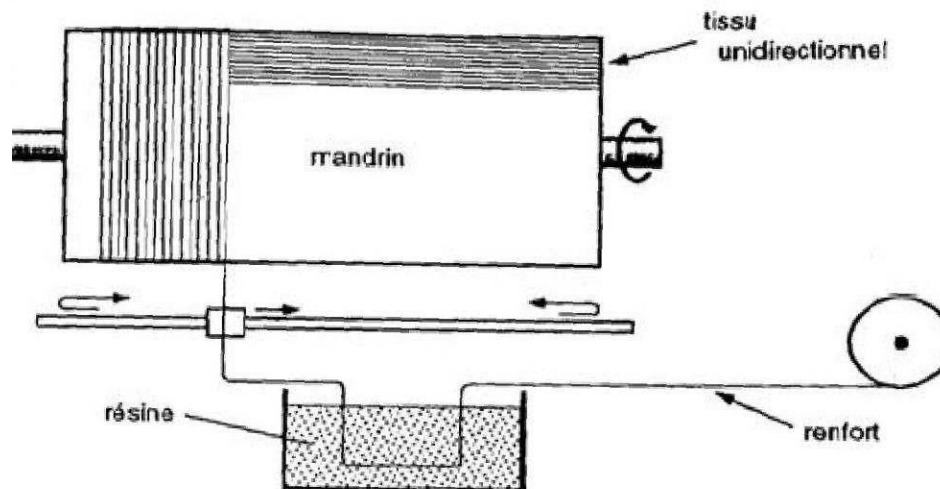


Figure I- 20: Enroulement filamentaire (ou bobinage) [12].

Aussi il existe d'autres procédés tels la pultrusion, drapage en autoclave, centrifugation, stratification en continu...etc.

I.6 Mécanismes d'endommagement des composites

L'endommagement désigne les phénomènes de création de nouvelles surfaces au sein d'un matériau sous l'effet d'une sollicitation. L'endommagement est défini comme une augmentation de la taille ou du nombre de fissures. Ceci engendre une diminution des caractéristiques mécaniques du système qui mène à sa ruine. Trois mécanismes sont généralement observés lors de processus d'endommagement (Figure I-21) :

- **L'amorçage** : qui correspond à l'apparition de la cavité au sein du matériau.
- **L'accroissance** : au cours de laquelle des volumes de cavités augmentent.
- **La rupture** : phase qui correspond à l'apparition de microcavités par coalescence des microcavités existantes.

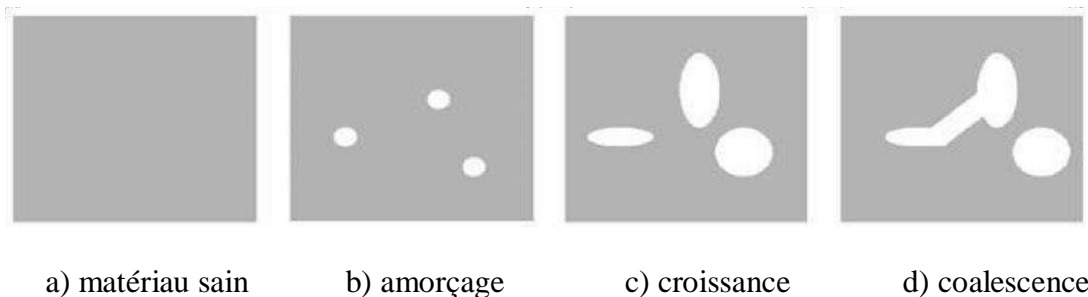


Figure I-21 : Phase de l'endommagement d'un matériau [19].

Lorsqu'ils sont soumis à des contraintes externes, les matériaux composites subissent des différents types de dégradation résultant de l'endommagement local au niveau de la matrice des fibres et de l'interface. Généralement ces mécanismes se produisent simultanément réduisant ainsi les propriétés mécaniques des matériaux composites. Les mécanismes de dégradation se développent suivant la nature des matériaux et les conditions de sollicitations mécaniques imposées. Dans un matériau composite, la redistribution des contraintes et par conséquent le processus de rupture résultant, dépend principalement de la contrainte à la rupture des fibres, de la capacité de la matrice à absorber l'énergie libérée de la propriété, de l'interface de fibre-matrice de la fraction volumique ainsi que de l'état et des conditions des sollicitations mécaniques imposées [20]. Les modes de dégradation des composites stratifiés ont fait l'objet de nombreuses études expérimentales et sont aujourd'hui clairement identifiés. De façon générale, on distingue plusieurs phases dans le scénario d'endommagement d'une éprouvette constituée de l'empilement de plis unidirectionnels.

- L'apparition de fissures transverses, parallèles aux fibres et traversant le pli, résultant de la coalescence de micro dommages.

- L'apparition et l'évolution micro délaminages en pointe de fissure transverse au niveau des interfaces entre plis.
- La ruine finale du stratifié par rupture de sollicitations et la stratification [19].

I.6.1 Décohésion fibre-matrice

Dans la pratique même après avoir choisi les constituantes fibres et matrice avec soin en les soumettant à des contrôles précis, dont leur interface issue de leur interaction ne peut être totalement maîtrisée par les efforts d'analyse et de prévision. Dans le cas particulier où les fibres sont discontinues, la zone inter faciale est le siège d'initiation de fissures devient critique à l'accumulation de l'endommagement (Figure I-22). Cela est dû essentiellement à l'efficacité du transfert de charges à l'interface fibre-matrice ainsi qu'à la concentration des contraintes aux extrémités des fibres. Le comportement de l'interface fibre-matrice dépend essentiellement de ses propriétés mécaniques comparées à celles des fibres et de la matrice. Généralement la décohésion a lieu dans deux cas :

- Lorsque la cohésion est inférieure à la contrainte de cisaillement à la rupture de la matrice.
- Lorsque l'adhérence fibre-matrice est faible : dans ce cas, la rupture de la matrice traverse sans qu'il y ait rupture de fibre mais avec décohésion de l'interface fibre matrice

Dans le cas d'une adhérence fibre-matrice élevée la rupture initiée soit par rupture de fibre soit par rupture de la matrice, induit en front de fissure des concentrations de contraintes conduisant à une propagation de la rupture successivement dans les fibres et dans les matrices.

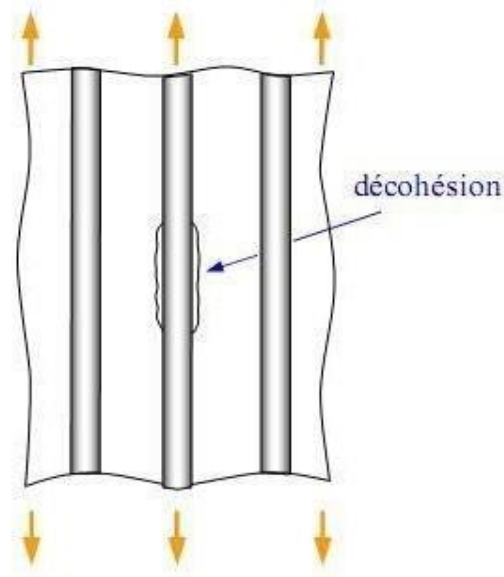


Figure I- 22 : Décohésion fibre-matrice [1].

I.6.2 Fissuration Matricielle

Dans la matrice, la fissuration peut être transverse ou longitudinale. La première se produit lorsque la contrainte en traction dans la matrice atteint la contrainte de rupture de la matrice, alors que la seconde a lieu lorsque la contrainte de cisaillement dans la matrice atteint la contrainte en cisaillement à la rupture généralement au voisinage d'une fibre. Ce dernier mode de rupture appelé « Splitting » se produit lorsque la contrainte de décohésion est supérieure à la contrainte de cisaillement à la rupture de la matrice. Dans le cas des composites industriels à fibres de verre, les performances à la rupture peuvent être limitées par une déformabilité trop faible de la matrice. Il apparaît donc nécessaire d'adapter au mieux les propriétés de la matrice à celles des fibres pour optimiser les performances à la rupture des matériaux composites.

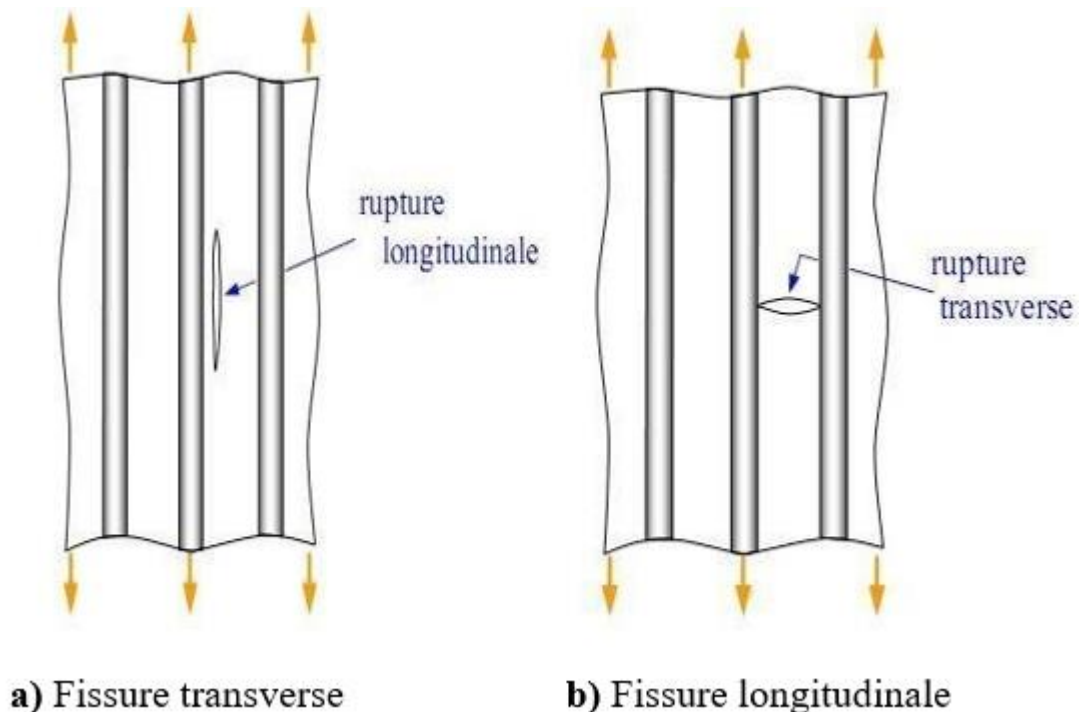


Figure I-23 : Fissuration de la matrice [1].

I.6.3 Délaminage

Dans le cas d'un stratifié ou multicouche, aux mécanismes élémentaires précédemment décrits s'ajoute un mécanisme de rupture entre couches appelé rupture par « délaminage » ce type d'endommagement dépend de la nature de constituants, de l'architecture des couches et du mode de sollicitation mécanique imposé. Le délaminage qui apparaît après la phase d'endommagement intra laminaire commence souvent sur les bords avant de s'étendre sur toute l'éprouvette. Il correspond d'une fissuration qui a tendance à séparer les plis ou les couches du composite [1].

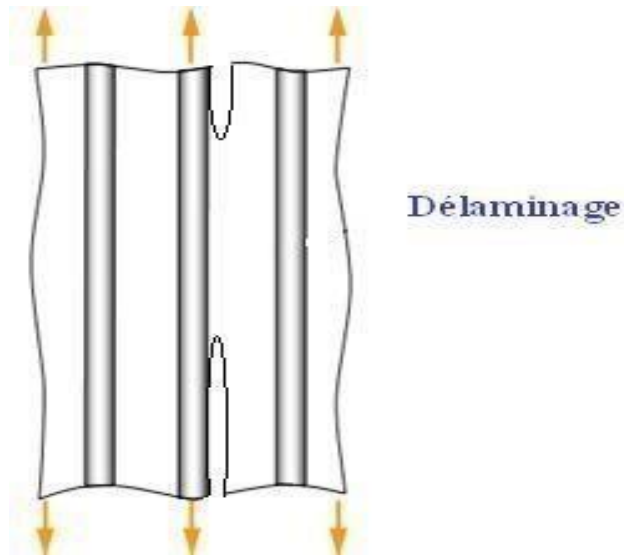


Figure I-24 : Délaminage d'un composite [1].

I.6.4 Rupture de la Fibre

Dans certains cas, l'endommagement dans les composites est initié par une rupture de la fibre. Cela se produit en générale lorsque l'orientation des fibres coïncide plus ou moins avec l'axe de sollicitation du matériau composite. La rupture aura lieu lorsque la contrainte de rupture de la fibre est atteinte. L'endommagement se produit et ne cesse de se progresser à mesure que la contrainte est appliquée ce qui provoque ainsi la rupture de la matrice et de la fibre jusqu'à la rupture totale du matériau.

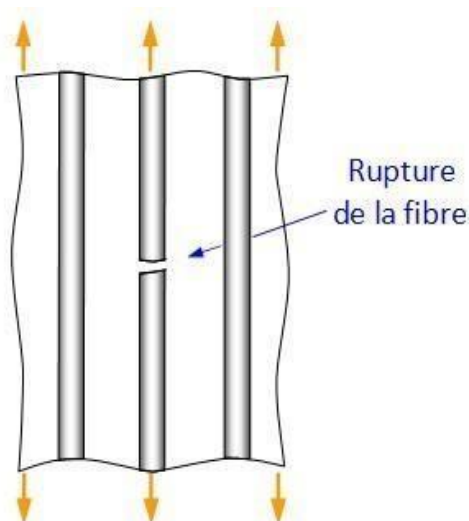


Figure I-25 : Rupture de la fibre [1]



CHAPITRE II

⋮

Conception

et

simulation

II.1 Conception des couvercles en utilisant la logiciel SOLIDWORKS

II.1.1 Présentation des logiciels SOLIDWORKS

SOLIDWORKS est également connu sous le nom de « DSS SOLIDWORKS ». DSS désigne Dassault System, qui est le développeur de ce logiciel de CAO. Il s'agit d'un logiciel de CAO qui permet de créer des modèles solides 2D ou 3D sans aucune complexité, plus rapidement et de manière rentable. L'avantage principal du modélisateur solide est que très facile à utiliser, l'interface utilisateur graphique simple et beaucoup plus amical, par rapport à d'autres logiciels de modélisation solide CAD. Il contient la modélisation solide, Motion, Simulation, Boîte à outils, TOLANALYST, Circute Works, PHOTOVIEW 360, SCANTO3D, et éditeur DWG.

SOLIDWORKS est considéré comme un logiciel de CAO avec Haute productivité (jusqu'à 95%). Il offre une meilleure visualisation de conception, concevoir de meilleurs produits, des itérations de conception plus rapides, des communications améliorées, la conception avec moins d'erreurs, crée des designs de produits avec plus d'esthétique et répond également aux exigences des clients / clients.

SOLIDWORKS a une vaste gamme d'applications dans des industries telles que l'aérospatiale, la défense, l'automobile, le transport, les produits de consommation, l'électronique, usine de traitement, la conservation de l'énergie, la construction, l'équipement lourd, machines, outils médicaux, Mold & prestations de service. Il aide à concevoir différents produits et services, les tester de manière très rentable comme le modèle et le prototype de test.

Le DSS SOLIDWORKS Corp développe également d'autres produits logiciels, ce qui aide dans diverses sections d'ingénierie, en particulier pour la mécanique. Il s'agit de CAO 3D, Simulation, Gestion de données produit, Communication technique, Conception électrique et 3D expérience. Ce modélisateur CAO n'est pas limité aux ingénieurs mécaniciens ; D'autres filières techniques (spécialement pour l'électricité et le civil) et les concepteurs de produits peuvent convertir les idées de nouveaux produits en réalité [24].

II.1.2 Conception des couvercles

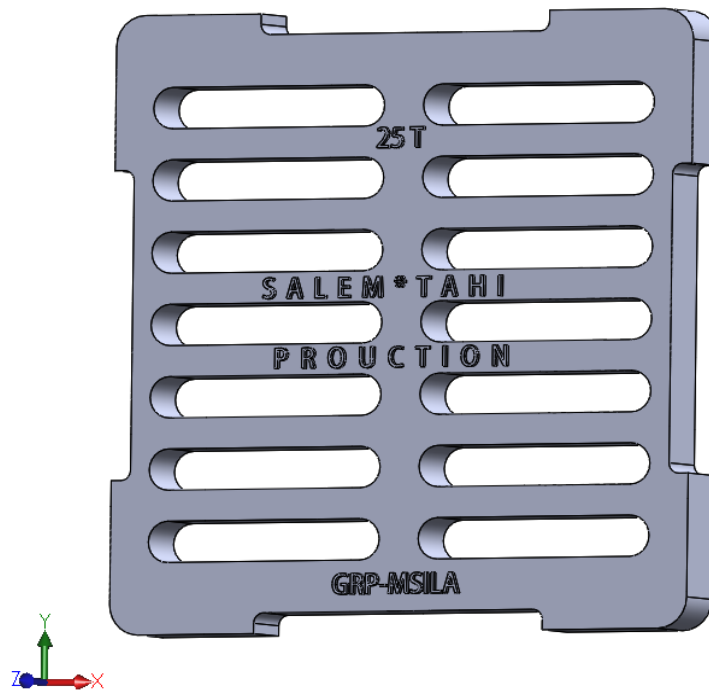


Figure II-1 : Conception 3D de grille d'avaloire

Tableau II-5 : des dimensions de conception de grille d'avaloire

Les dimensions	La longueur	La largeur	L'épaisseur
Unite en (mm)	600	600	50

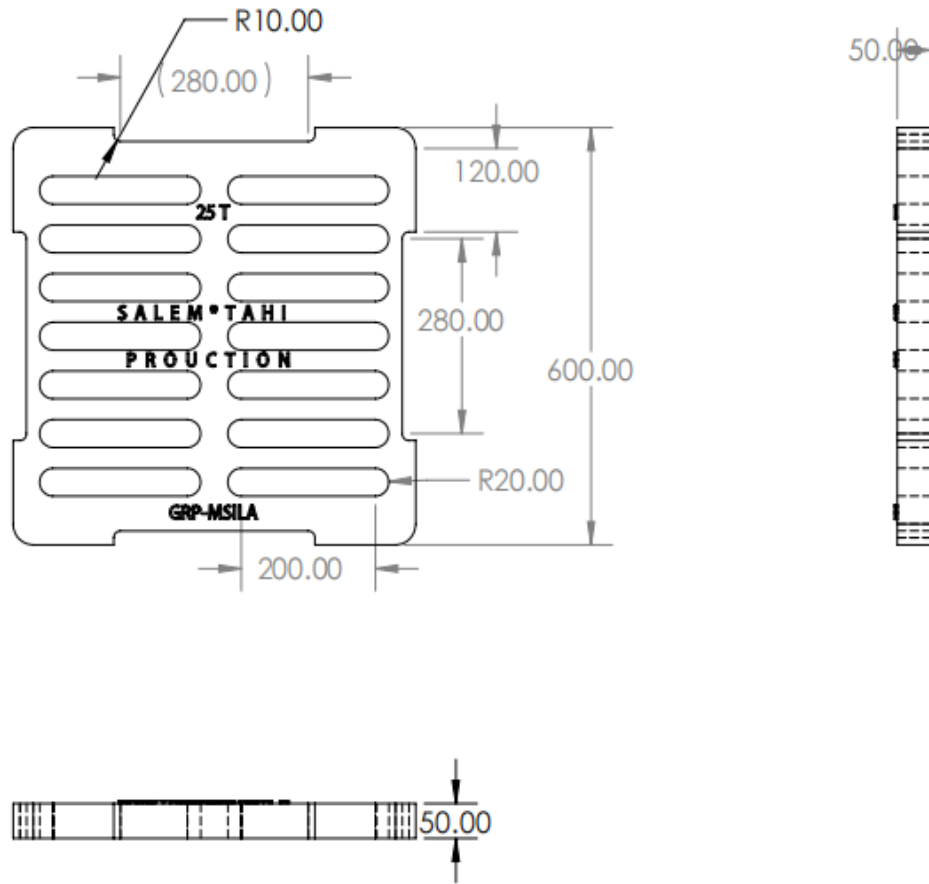


Figure II -2 : dessin de définition de grille d’avaoire

Tableau II -6 : des dimensions de conception de tampon de regard

Les dimensions	Le diametre	L’epaisseur
Unite en (mm)	600	100

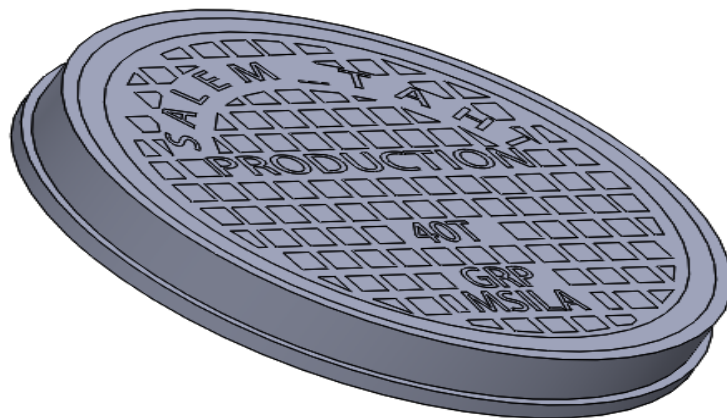


Figure II-3 : Conception 3D de tampon de regard

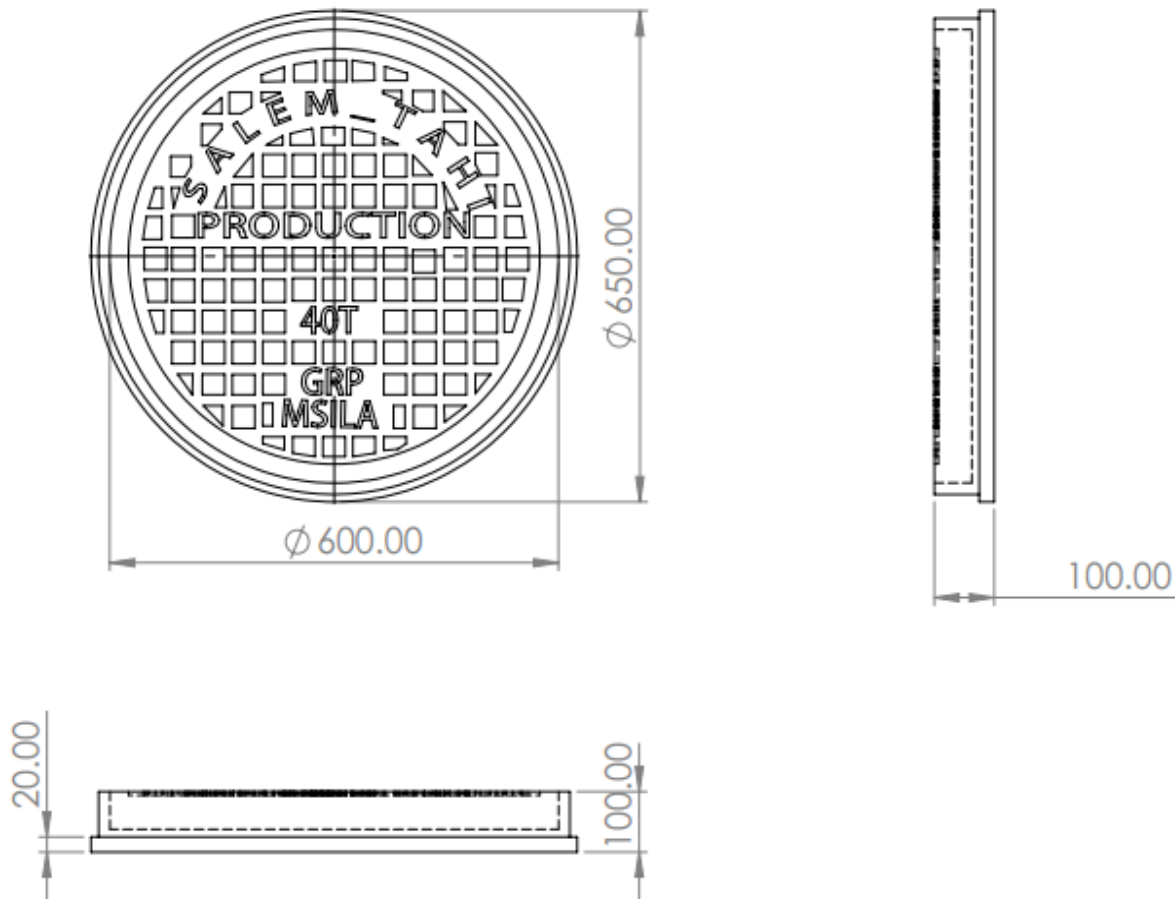


Figure II-4 : dessin de définition du tampon de regard

II.2 Partie théorie des plaques épaisses

II.2.1 Hypothèses pour l'étude des plaques épaisses :

Les éléments basés sur la théorie Mindlin- Reissner sont les mieux adaptés dans le cas des plaques d'épaisseur modérée. Leur formulation est basée sur une approximation des trois variables indépendantes (w , θ_x , θ_y) Cependant, on note que dans l'expression de l'énergie de déformation n'interviennent que des dérivées premières de (w , θ_x , θ_y), La condition de la compatibilité inter-éléments ne nécessite qu'une continuité. [25]

II.2.2 Champs de déplacement

Dans la théorie des plaques épaisses, ou théorie de Reissner et Mindlin, une fibre normale à la plaque initiale (c'est-à-dire perpendiculaire au plan moyen) reste rectiligne mais n'est plus nécessairement perpendiculaire au plan moyen après la déformation. Les angles (θ_x , θ_y), qui représentent l'inclinaison de cette fibre normale déformée par rapport à l'axe Z, ne correspondent donc plus simplement aux inclinaisons du plan moyen.

Dans cette théorie, les déplacements de points dans la plaque sont décrits par un déplacement transversal.

Dans cette théorie, les déplacements de points dans la plaque sont décrits par un déplacement transversal) w (du plan moyen et des rotations (θ_x, θ_y) de la fibre normale autour des axes X et Y, respectivement. Cela introduit des degrés de liberté supplémentaires pour mieux capturer les effets de cisaillement transversal, contrairement à la théorie classique de Kirchhoff-Love qui suppose que les sections normales restent perpendiculaires au plan moyen on a donc.

$$U_\alpha(x_1, x_2, x_3 = z) = U_\alpha^0(x_1, x_2) + z\theta_\alpha(x_1, x_2) \quad (\text{II-1})$$

$$U_3(x_1, x_2, x_3 = z) = w(x_1, x_2) \quad (\text{II-2})$$

D'autre part, par la relation sont données par :

$$\theta_x \neq \frac{\partial w}{\partial y}, \quad \theta_y \neq \frac{\partial w}{\partial x} \quad (\text{II-3})$$

Donc, les variables cinématiques indépendantes sont :

U, v : Les déplacements de la membrane

W : Le déplacement transversal

$\beta_x (\theta_y)$: La rotation du plan xy autour de y

$\beta_y (-\theta_x)$: La rotation du plan xy autour de x

Avec ce choix de la forme des champs de déplacements, les déformations transversales sont constantes en z . Les contraintes de cisaillement sont donc uniformes dans chaque couche et discontinues entre les couches. Cette mauvaise description oblige à introduire des coefficients correcteurs pour mieux prendre en compte, dans l'écriture de l'énergie, les effets de cisaillement transversal. Donc, le champ des déplacements s'exprime alors en fonction des trois variables par la relation suivante :

$$\begin{pmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \\ w(x, y) \end{pmatrix} + Z \begin{pmatrix} \beta_x(x, y) \\ \beta_y(x, y) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (\text{II-4})$$

II.2.3 Champs de déformation

Concernant le champ de déformation, les termes gardent leur forme Générale [26] :

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_x = z \frac{\partial \beta_x}{\partial x} \\ \epsilon_y = z \frac{\partial \beta_y}{\partial y} \\ \epsilon_z = 0 \\ 2\epsilon_{xy} = \gamma_{xy} = z \left(\frac{\partial \beta_x}{\partial y} + \frac{\partial \beta_y}{\partial x} \right) \end{array} \right. \quad (II-5)$$

Et par ailleurs ϵ_{xz} et ϵ_{yz} ne sont plus nuls

$$2\epsilon_{xz} = \gamma_{xz} = \beta_x + \frac{dw}{dx}, \quad 2\epsilon_{yz} = \gamma_{yz} = \beta_y + \frac{dw}{dy} \quad (II-6)$$

II.2.4 Efforts résultants de membrane :

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dz, N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y dz, \quad N_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xy} dz \quad (II-7)$$

Moments de flexions:

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz, M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz, \quad M_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xy} z dz \quad (II-8)$$

Efforts tranchants :

$$T_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz, T_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz \quad (II-9)$$

II.3.1 Introduction

L'essai de flexion est une méthode couramment utilisée pour évaluer les propriétés mécaniques des matériaux, en particulier leur comportement sous charge de flexion. La simulation numérique de l'essai de flexion offre une approche puissante pour prédire le comportement des matériaux lorsqu'ils sont soumis à des contraintes de flexion, en utilisant des modèles par éléments finis.

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur la simulation numérique de l'essai de flexion en utilisant ANSYS Workbench avec l'extension ACP (Advanced Composite PrepPost). ANSYS Workbench est un environnement de simulation complet qui offre des fonctionnalités avancées pour l'analyse par éléments finis. L'extension ACP est spécifiquement conçue pour la modélisation et l'analyse des composites, il fournit toutes les fonctionnalités nécessaires à l'analyse des structures

composites en couches, ce qui en fait un outil puissant pour étudier le comportement des matériaux composites dans des conditions de flexion.

II.3 Présentation de logiciels ANSYS Workbench

ANSYS Workbench est une plateforme de simulation intégrée développée par ANSYS, Inc. Elle offre un environnement convivial et puissant pour la modélisation, la simulation et l'analyse de divers problèmes d'ingénierie. Workbench permet aux utilisateurs de travailler de manière intuitive, en combinant différentes applications et outils spécialisés pour répondre aux besoins spécifiques de chaque projet.

Lorsqu'il s'agit de la simulation numérique de l'essai de flexion, ANSYS Workbench offre une gamme d'outils et de fonctionnalités pour faciliter le processus de modélisation, d'analyse et d'interprétation des résultats. Voici quelques points importants à connaître sur ANSYS Workbench

- Interface utilisateur conviviale : ANSYS Workbench propose une interface utilisateur graphique qui permet aux utilisateurs de naviguer facilement entre les différentes étapes de la simulation. Les différentes applications et modules complémentaires d'ANSYS peuvent être intégrés dans Workbench, offrant une expérience de travail harmonieuse et rationalisée.
- Géométrie et maillage : Workbench permet l'importation de géométries à partir de différents formats de fichiers, tels que des fichiers CAD, et offre des outils de modélisation pour créer et modifier des géométries. Il propose également des fonctionnalités avancées pour générer et contrôler le maillage, en permettant un maillage structuré ou non structuré, adaptatif et de haute qualité.
- Bibliothèque de matériaux étendue : ANSYS Workbench dispose d'une bibliothèque de matériaux étendue qui comprend une large gamme de propriétés matérielles pour différents types de matériaux, y compris les composites. Les utilisateurs peuvent sélectionner les matériaux appropriés pour leur modèle et spécifier les propriétés élastiques, thermiques, de rupture, etc.
- Conditions aux limites : Workbench permet de définir facilement les conditions aux limites pour l'essai de flexion, telles que les contraintes ou les déplacements imposés, les supports et les charges appliquées. Les utilisateurs peuvent également définir des conditions de contact entre différentes parties du modèle, si nécessaire.
- Outils d'analyse avancés : ANSYS Workbench offre une large gamme d'options d'analyse pour l'essai de flexion, y compris des analyses statiques et dynamiques, des analyses de non-linéarité matérielle ou géométrique, des analyses de contact, etc. Les utilisateurs peuvent choisir les types d'analyse appropriés en fonction des caractéristiques de leur modèle.
- Visualisation et interprétation des résultats : Workbench propose des outils de visualisation avancés pour afficher et interpréter les résultats de la simulation. Les utilisateurs peuvent générer des graphiques, des tableaux, des animations, des contours de contrainte et de

déformation, et d'autres visualisations pour analyser le comportement du matériau pendant l'essai de flexion.

En utilisant les fonctionnalités d'ANSYS Workbench, les ingénieurs peuvent modéliser et analyser de manière efficace l'essai de flexion pour prédire le comportement des matériaux composites et optimiser la conception de structures et de produits.[27]

La géométrie des surfaces d'outillage d'une structure composite constitue la base de l'analyse et de la production. À partir de cette géométrie et d'un maillage par éléments finis (MEF), les conditions aux limites et les définitions des composites sont appliquées à la structure lors de.

II.3.2 Simulation d'essai de flexion pour les couvercles

II.3.2.1 Géométrie :

Conception des géométries en utilisant le logiciel SolidWorks

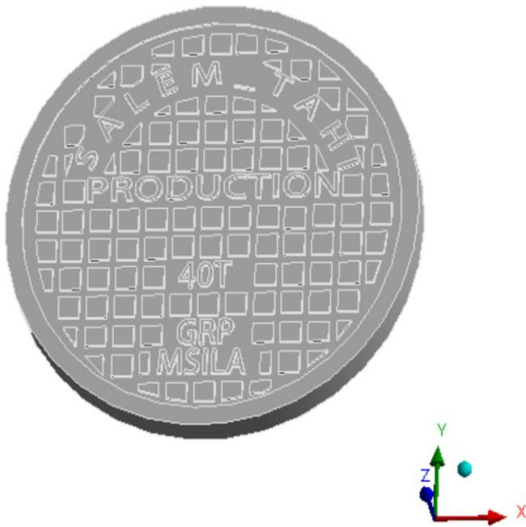


Figure II -5 : Géométries de tampon

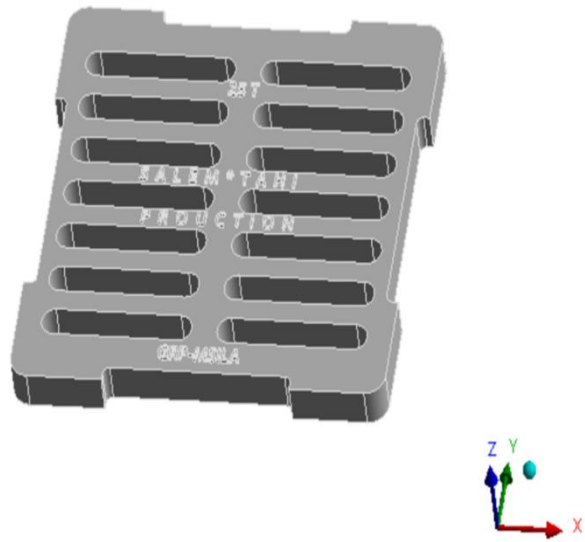


Figure II-6 : Géométries de grille d'avaloire

II.3.2.2 Maillage :

Le processus de maillage est une étape essentielle dans ANSYS, visant à réaliser une simulation précise en utilisant la méthode des éléments finis (MEF). Le maillage est composé d'éléments contenant des nœuds représentant la forme de la géométrie et peut varier en fonction du type d'élément. En utilisant le principe de calcul sur un nombre fini d'éléments et en interpolant les résultats sur toute la structure, la méthode des éléments finis permet de réduire le nombre infini de degrés de liberté d'un objet continu à un nombre limité, ce qui facilite la résolution numérique.

Dans ANSYS Workbench, différentes méthodes de maillage sont disponibles, notamment la méthode mécanique, tétraédrique et de dominance hexaédrique. [28-29]

Dans ce travail, a été utilisé. L'élément SOLID187 est un élément tridimensionnel d'ordre supérieur à 10 nœuds. L'élément SOLID187 présente un comportement de déplacement quadratique et est bien adapté à la modélisation de maillages irréguliers (tels que ceux produits par divers systèmes CAD/CAM).

L'élément est défini par 10 nœuds, chacun ayant trois degrés de liberté : les translations dans les directions nodales x, y et z. L'élément possède des capacités de plasticité, d'hyperélasticité, de fluage, de raidissement par contrainte, de grande déflexion et de grande déformation. Il dispose également de la capacité de formulation mixte pour simuler les déformations des matériaux élastoplastiques presque incompressibles et des matériaux hyperélastiques entièrement incompressibles.

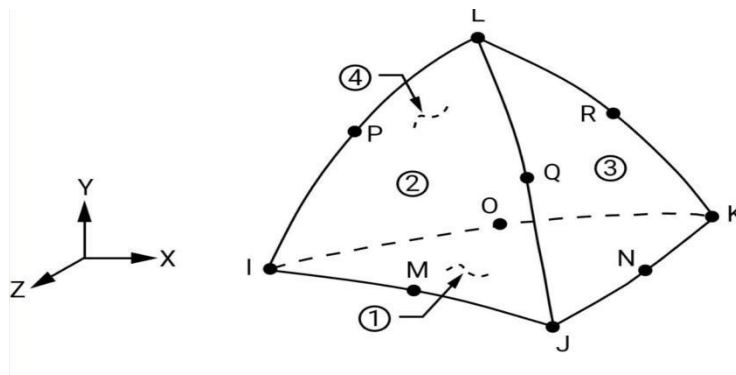


Figure II-7 : Géométrie SOLID 187

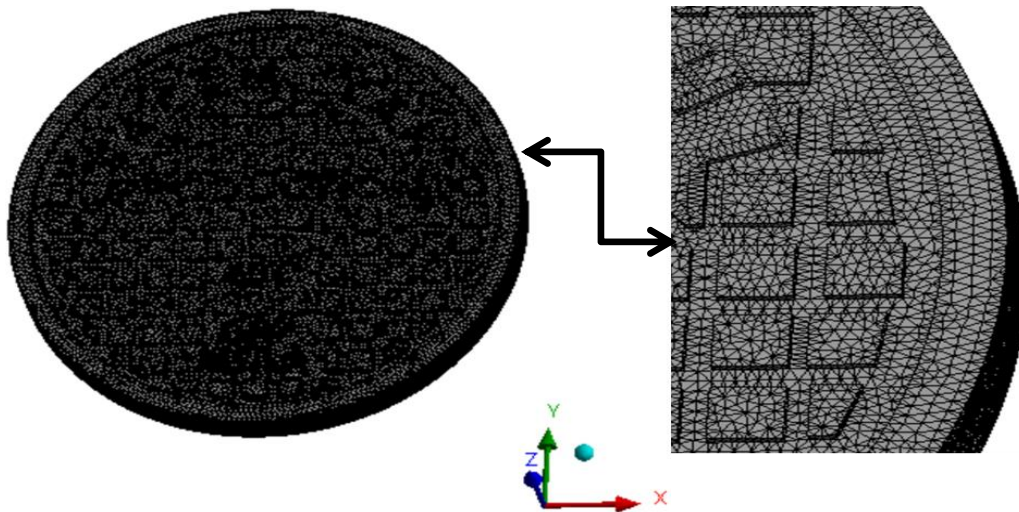


Figure II-8 : Modèle Maillage de tampon de regard

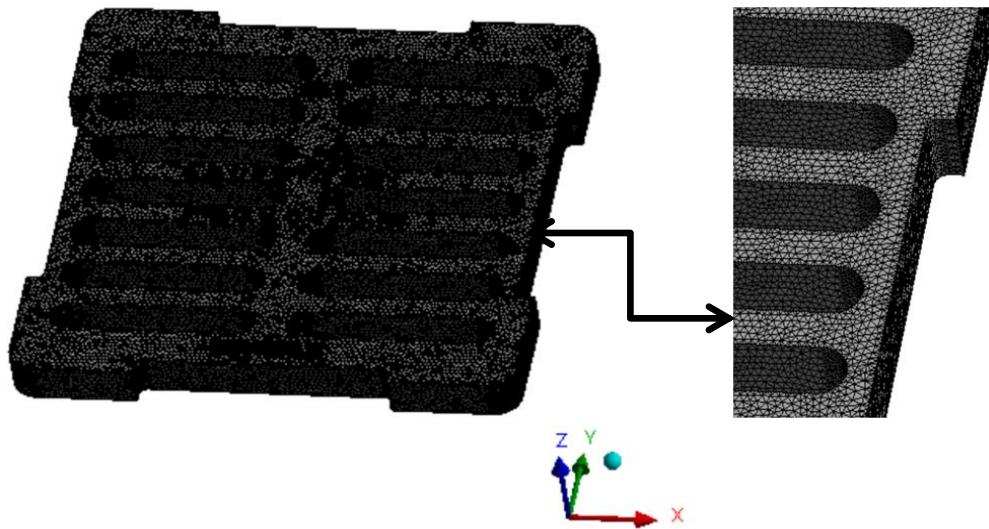


Figure II-9 : Modèle Maillage de grille d'avaloire

II.3.2.3 Propriétés des matériaux :

Les caractéristiques mécaniques dans matériaux constituant les couvracles utilisés dans cette étude sont présentées dans le tableau

Tableau II-7 : Caractéristiques mécaniques des matériaux (GRP).

Matériaux	Masse volumique (Kg/m³)	Young's Modules (N/mm²)	Poisson's Ratio
Fibre de verre renforcées de polyester (GRP)	1850	8.9E+04	0.1

II.3.2.4 Conditions aux limites :

Les conditions aux limites utilisées dans cette étude ont été appliquées de la même manière dans les deux cas, comme suit :

Fixation des degrés de liberté (DDL) : Les déplacements dans les directions X, Y et Z (UX, UY, UZ) ont été fixés au niveau des nœuds situés le long des deux bords de Les covercles. Cela signifie que les nœuds de ces bords sont contraints de ne pas se déplacer ou se déformer dans ces directions

Application des forces de la chargée d : les chargées de flexion a été appliquée au La surface supérieure de les couvercles. Cela signifie qu'une force externe a été appliquée sur les couvercles au niveau de son centre, pour simuler les conditions de flexion réelles.

Ces conditions aux limites sont utilisées pour représenter des situations réalistes dans lesquelles les couvercles est fixée à ses extrémités et soumise à une charge de flexion au centre. Elles permettent de simuler les contraintes et les déformations subies par les couvercles dans ces conditions, ce qui permet d'évaluer sa performance et d'optimiser sa conception.

En utilisant ces conditions aux limites et en appliquant la force de flexion appropriée, la simulation numérique peut fournir des résultats précis sur les déformations, les contraintes et les réactions des couvercles.

A: Static Structural
 Pressure
 Time: 1. s
A Fixed Support
B Pressure: 0.392 MPa



Figure II-10 : Condition aux limites et appliquées la force



Figure II-11 : Condition aux limites et appliquées la force

II.3.2.5 Résultats et discussion :

Dans cette étude, une analyse structurale statique a été réalisée. Le système Static Structural détermine les déplacements, les contraintes, les déformations dans les structures ou les composants causés par des charges qui n'induisent pas d'effets d'inertie et d'amortissement importants. On suppose des conditions de chargement et de réponse constantes. On suppose que les charges et la réponse de la structure varient lentement par rapport au temps. Cette analyse est configurée dans l'application Mécanique, qui utilise le solveur ANSYS, ABAQUS pour calculer la solution, en fonction du système que vous avez sélectionné.

Dans cette étude, la simulation importantes a été réalisées pour analyser les performances et le comportement structurel de les couvercles.

II.3.2.6 Application I : sur tampon de regard

Une étude de simulation utilisant ANSYS pour évaluer l'impact de la charge sur les performances et la réponse d'une structure de tampon de regard

- **Contrainte équivalente :**

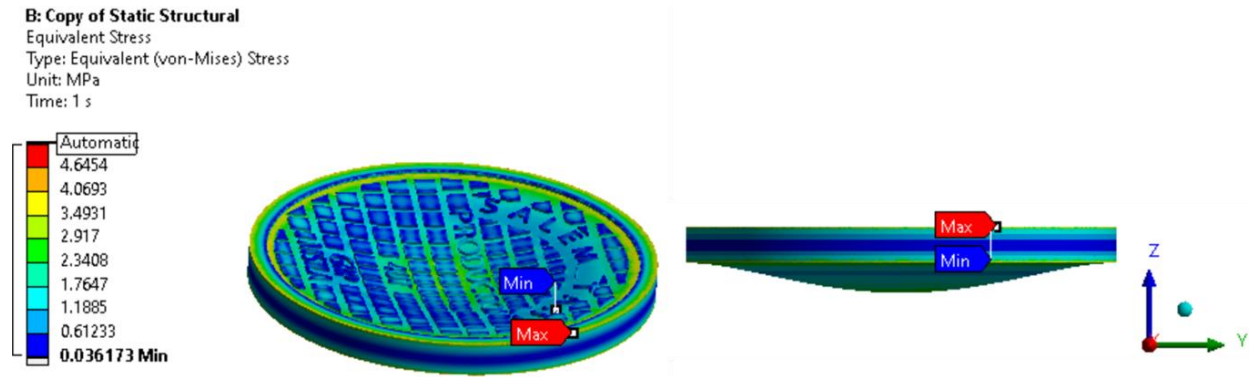


Figure II -13 :la charge 10 tonnes

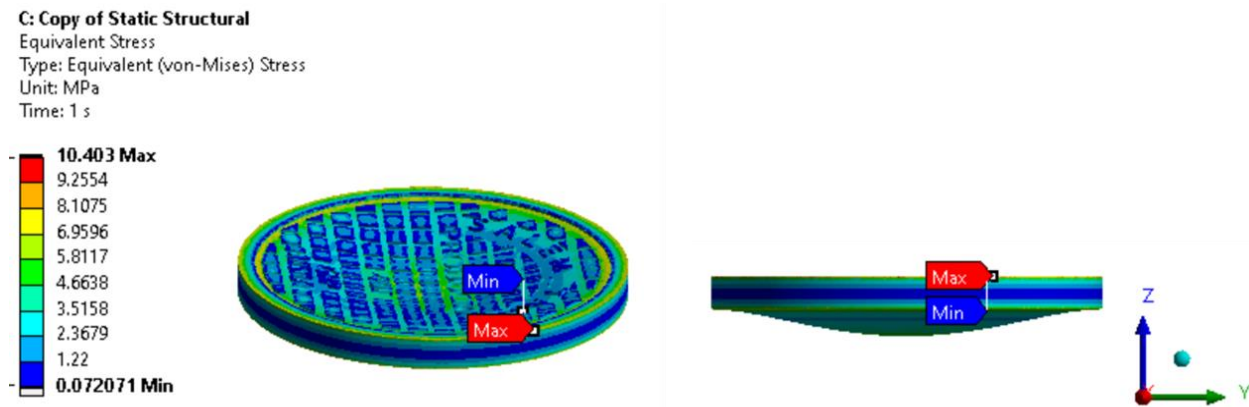


Figure II-14 :la charge 20 tonnes

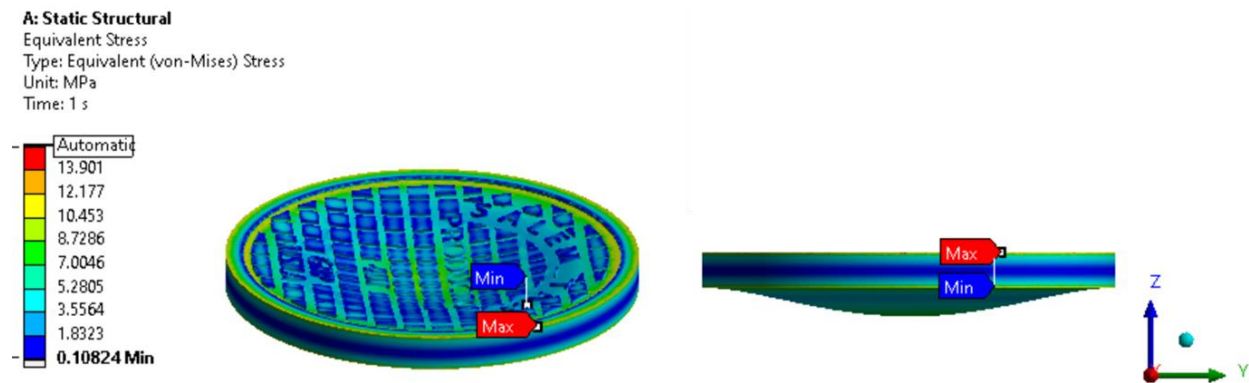


Figure II-15 :la charge 30 tonnes

- Déplacement totale :

C: Copy of Static Structural

Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s

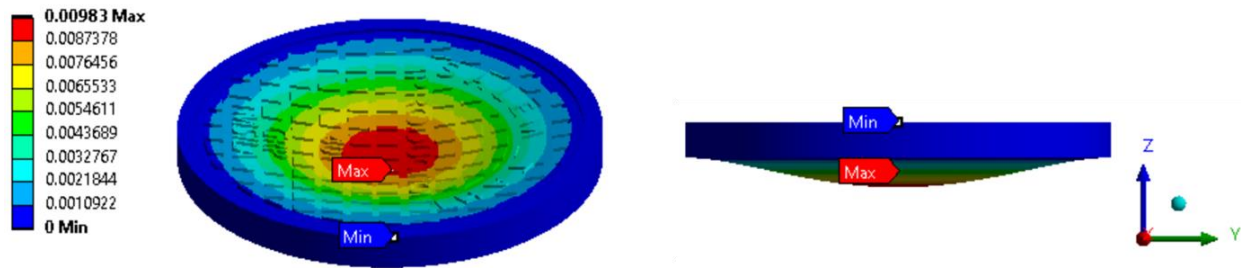


Figure II-16 : la charge 10 tonnes

C: Copy of Static Structural

Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s

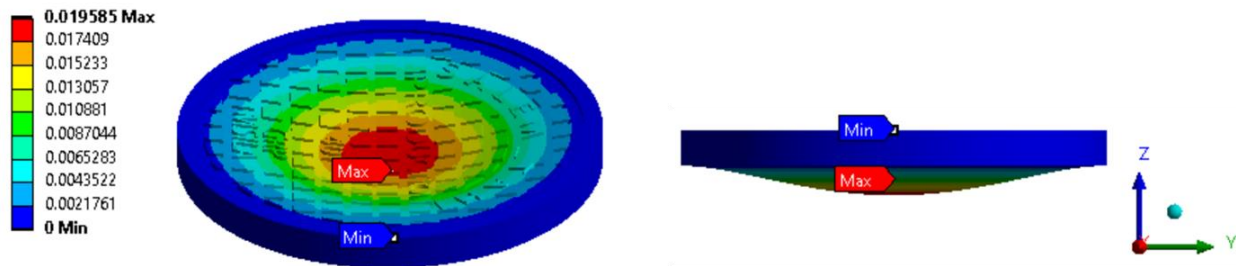


Figure II-17 : la charge 20 tonnes

C: Copy of Static Structural

Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s

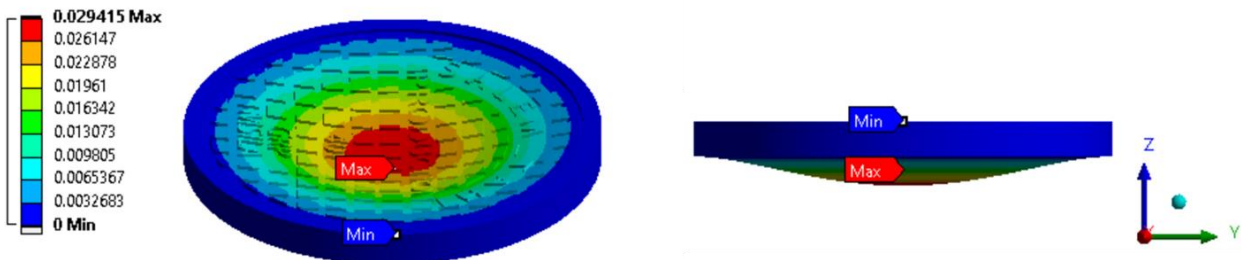


Figure II-18 : la charge 30 tonnes

Les valeurs totales de déformation obtenues après l'essai de flexion. Selon ces valeurs, une déformation totale maximale de tampon de regard 0,00983 mm s'est produit sous une charge de 10 tonnes, tandis qu'une déformation totale maximale de tampon de regard 0,019585 mm s'est produit sous une charge de 20 tonnes, et une déformation totale maximale de tampon de regard 0,029415 mm s'est produits sous une charge de 30 tonnes.

La figure montre les valeurs équivalentes de contrainte après l'essai de flexion. À la lumière de ces valeurs, une contrainte équivalente maximale de tampon de regard 5,2216 MPa s'est produit sous une charge de 10 tonnes, tandis qu'une contrainte équivalente maximale de tampon de regard 10,403 MPa s'est produit sous une charge de 20 tonnes, et une contrainte équivalente maximale de tampon de regard 15,625 MPa s'est produit sous une charge de 30 tonnes.

Courbes de contrainte et de déformation :

❖ **Courbes de contrainte:**

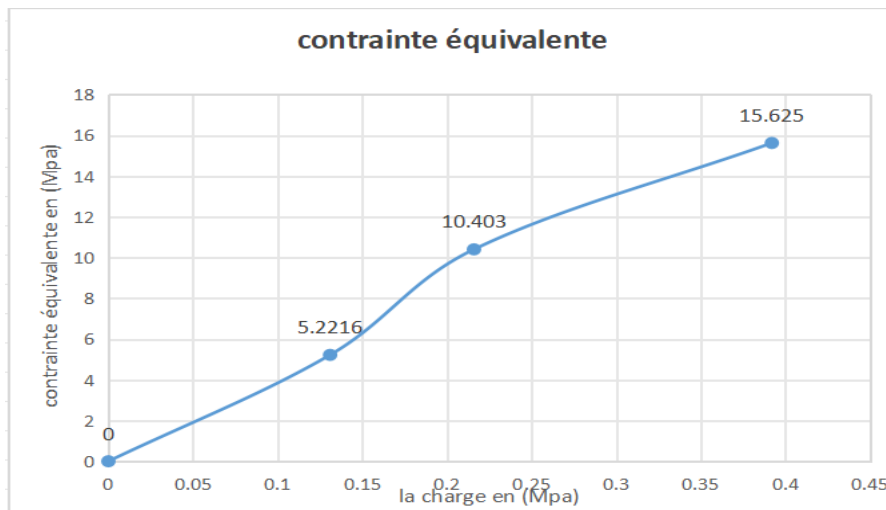


Figure II-19 : La courbe représente les contraintes sur une tampon de regard avec différentes charges.

En comparant les résultats obtenus après l'application de charges différentes, nous pouvons évaluer l'impact de ces variations sur les performances et la réponse de la structure. Les résultats incluent les déformations, les contraintes, les déplacements, les réactions aux forces appliquées, etc. En analysant les résultats, nous pouvons déterminer la faisabilité de la fabrication de ces couvertures.

❖ **Courbes de déformation:**

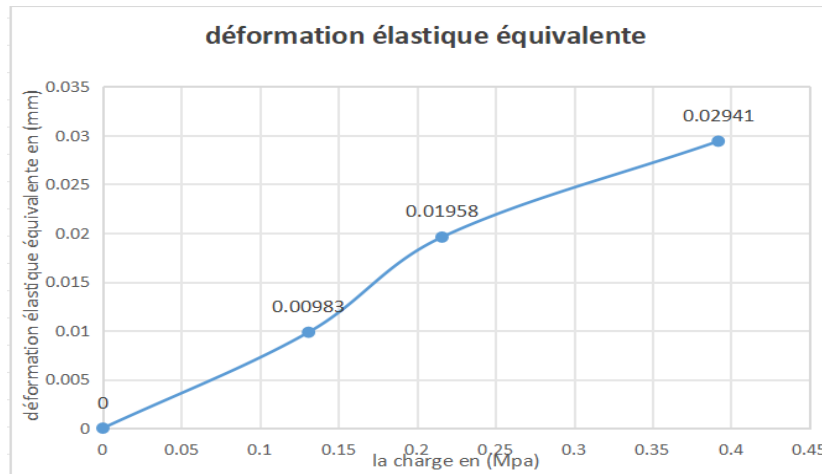


Figure II-20 : La courbe représente les déformations élastiques équivalentes sur un tampon de regard avec différentes charges.

II.3.2.7 Application II : sur grille d'avaloire

Une étude de simulation utilisant ANSYS pour évaluer l'impact de la charge sur les performances et la réponse d'une structure de grille d'avaloire.

- **Contrainte équivalente :**

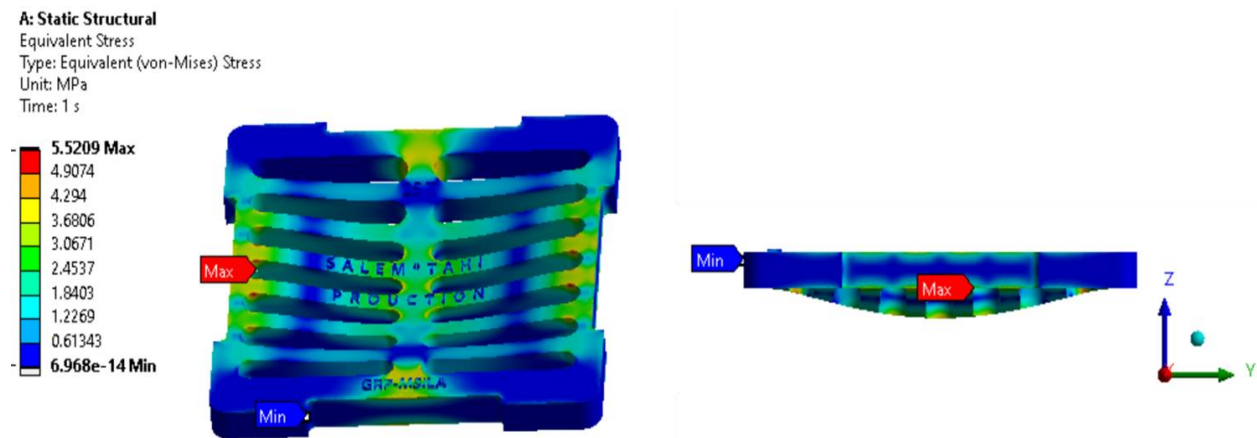


Figure II-21 : la charge 10 tonnes

A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1 s

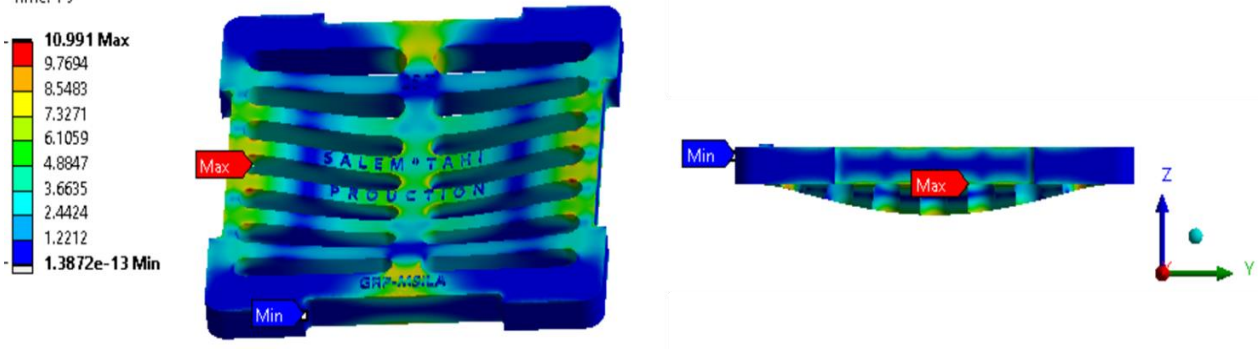


Figure II-22 : la charge 20 tonnes

- Déplacement total :

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s

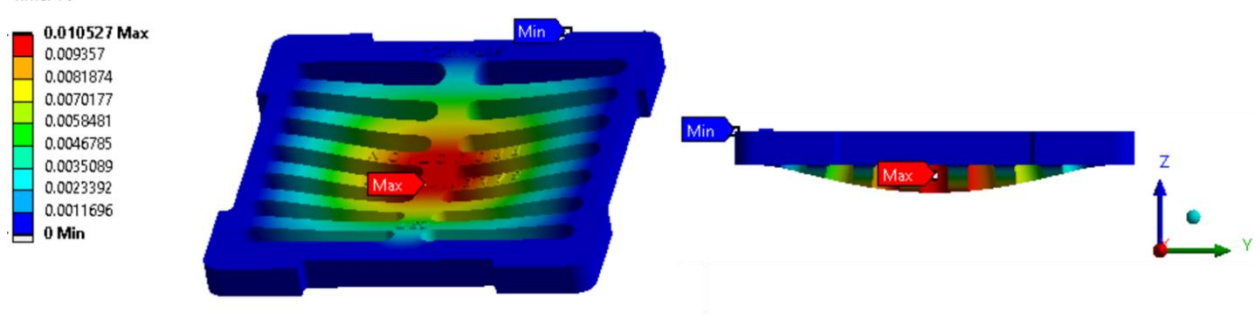


Figure II-23 : la charge 10 tonnes

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s

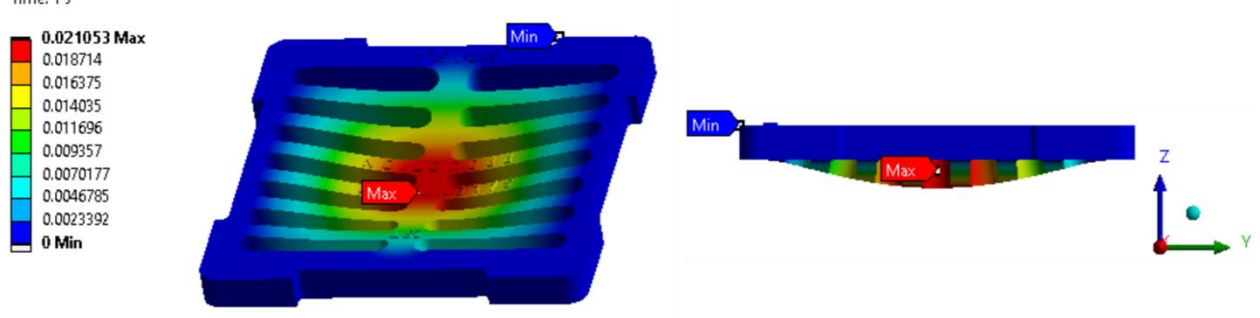


Figure II-24 : la charge 20 tonnes

Les valeurs totales de déformation obtenues après l'essai de flexion. Selon ces valeurs, une déformation totale maximale de grille d'avaloire 0,010527 mm s'est produits sous une charge de 10 tonnes, tandis qu'une déformation totale maximale de grille d'avaloire 0,020956 mm s'est produit sous une charge de 20 tonnes.

La figure montre les valeurs équivalentes de contrainte après l'essai de flexion. À la lumière de ces valeurs, une contrainte équivalente maximale de grille d'avaloire 5,4697 MPa s'est produite sous une charge de 10 tonnes, tandis qu'une contrainte équivalente maximale de tampon de regard 10,991 MPa s'est produite sous une charge de 20 tonnes.

Courbes de contrainte et de déformation :

❖ **Courbes de contrainte:**

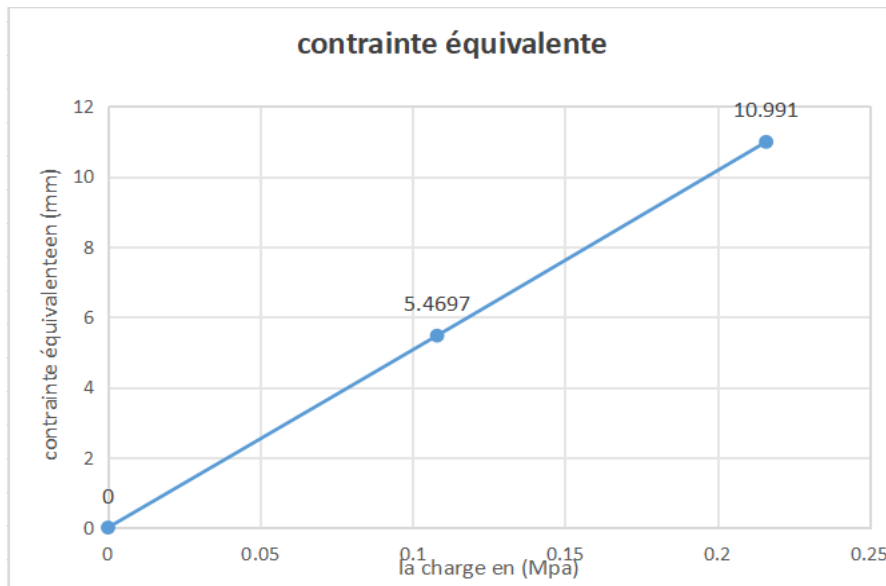


Figure II-25 : La courbe représente les déformations élastiques équivalentes sur une grille d'avaloire avec différentes charges.

❖ Courbes de déformation :

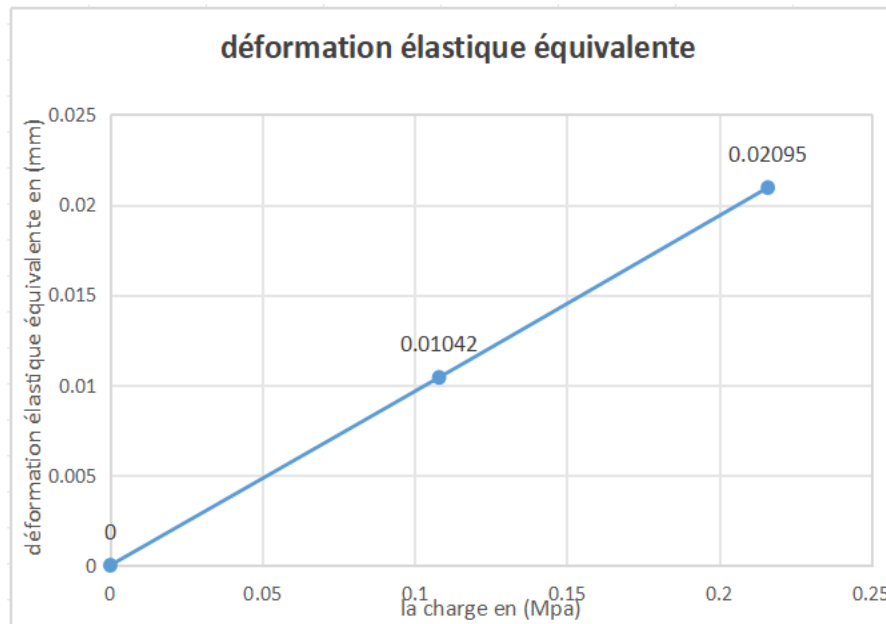


Figure II-26 : La courbe représente les déformations élastiques équivalentes sur une grille d'avaloire avec différentes charges.

II.4 Conclusion :

Après avoir conçu les couvercles à l'aide du logiciel SolidWorks, qui nous a offert une vision tridimensionnelle des couvercles à fabriquer, le design a été importé dans le logiciel ANSYS. Cela a grandement facilité l'étude de la faisabilité de fabrication de ces couvercles en matériaux composites en fournissant des analyses précises de la pression et de la déformation. Grâce à ces analyses, il est possible de prendre des décisions éclairées pour optimiser la conception de la structure selon les exigences du projet.

CHAPITRE III

⋮

Fabrication

des

couvercles

et étude

III.1 Fabrication des couvercles

III.1.1 Introduction :

Les matériaux composites occupent une place croissante dans diverses industries, offrant des propriétés mécaniques exceptionnelles tout en étant légers et durables. Parmi ces matériaux, le composite à base de résine et de fibres de verre, connu sous le nom de GRP (Glass Reinforced Plastic), a gagné en popularité pour sa polyvalence et ses performances remarquables.

Le GRP est un matériau composite constitué de plusieurs couches de fibres de verre imprégnées de résine polymère. Cette combinaison confère au GRP des caractéristiques uniques, telles qu'une grande résistance mécanique, une légèreté remarquable et une excellente résistance à la corrosion et aux agents chimiques.

L'une des principales caractéristiques du GRP est sa malléabilité lors de la fabrication, ce qui permet de produire des pièces complexes et sur mesure pour répondre aux besoins spécifiques de diverses applications industrielles. De plus, sa capacité à être formé dans une grande variété de formes et de tailles en fait un choix idéal pour une gamme étendue de produits, y compris les structures marines, les réservoirs de stockage, les pièces automobiles et, bien sûr, les couvercles de système d'assainissement.

Dans cette introduction, nous explorerons plus en détail les propriétés, les avantages et les applications du GRP dans divers domaines industriels. Nous examinerons également les processus de fabrication et les défis associés à la production de produits en GRP, ainsi que les tendances et les innovations émergentes dans ce domaine dynamique.[30]

III.1.2 Composition Chimique du Matériau GRP :

Le GRP, ou Glass Reinforced Plastic, est un matériau composite largement utilisé dans différentes industries pour ses propriétés mécaniques exceptionnelles et sa résistance à la corrosion. Sa composition chimique repose sur une combinaison de fibres de verre et de résine polymère.

Fibres de Verre (ou Fibres de Verre) : Les fibres de verre utilisées dans la fabrication du GRP sont généralement fabriquées à partir de silice, obtenue par fusion de sable de quartz à des températures élevées. Ces fibres sont extrêmement résistantes et offrent une excellente stabilité dimensionnelle.

Résine Polymère : La résine utilisée dans le GRP est généralement une résine époxy, une résine polyester ou une résine vinylester. Ces résines sont des polymères thermodurcissables qui se solidifient lorsqu'elles sont chauffées, formant une matrice solide autour des fibres de verre.

En combinant ces deux composants, les fibres de verre agissent comme un renfort structurel, offrant une résistance et une rigidité élevées, tandis que la résine polymère agit comme

une matrice qui maintient les fibres ensemble et transfère les charges à travers la structure composite.

Le rapport entre les fibres de verre et la résine polymère peut varier en fonction des exigences de conception et des propriétés souhaitées du matériau final. En général, plus le pourcentage de fibres de verre est élevé, plus la résistance mécanique du GRP est élevée. Le GRP est largement utilisé dans la construction navale, l'industrie automobile, la construction de structures légères, et bien d'autres applications en raison de sa légèreté, de sa durabilité et de sa capacité à être formé dans une grande variété de formes et de tailles.[30]

III.1.3 Les Caractéristiques Distinctives du Matériau GRP et son Importance dans la Fabrication des Couvertures de Systèmes d'Assainissement :

Résistance et Durabilité : Le GRP offre une résistance exceptionnelle aux contraintes mécaniques et aux conditions environnementales adverses. Sa composition en fibres de verre et en résine polymère confère une grande robustesse aux couvertures de systèmes d'assainissement, les rendant capables de supporter des charges lourdes et de résister à la corrosion, à la pourriture et à la dégradation causées par l'exposition à l'eau et aux produits chimiques.

Légèreté : Malgré sa grande résistance, le GRP est un matériau léger, ce qui facilite son transport, son installation et sa manipulation sur le chantier. Cette légèreté permet également de réduire les coûts de transport et de main-d'œuvre associés à la manipulation des couvertures de systèmes d'assainissement en GRP.

Résistance à la Corrosion : L'un des avantages les plus importants du GRP dans la fabrication des couvertures de systèmes d'assainissement est sa remarquable résistance à la corrosion. Contrairement aux matériaux métalliques traditionnels, le GRP ne rouille pas et ne se corrode pas, ce qui prolonge considérablement sa durée de vie et réduit les besoins en entretien et en réparation.

Adaptabilité et Personnalisation : Le processus de fabrication du GRP permet de produire des couvertures de systèmes d'assainissement dans une variété de formes, de tailles et de configurations, répondant ainsi aux besoins spécifiques de chaque projet. Cette adaptabilité permet aux ingénieurs et aux concepteurs de concevoir des solutions sur mesure pour différents types de conduites et de structures d'assainissement. [32]

III.1.4 Conception des Couvercles d'Égouts :

La conception des couvercles d'égouts est une étape cruciale dans le processus de fabrication de ces éléments essentiels des réseaux d'assainissement. Voici quelques aspects clés à prendre en compte lors de la conception des couvercles d'égouts :

Fonctionnalité : Les couvercles d'égouts doivent être conçus pour remplir leur fonction principale, qui est de fournir un accès sécurisé aux conduites d'égout tout en empêchant les débris

et les intrus d'entrer. Ils doivent être suffisamment solides pour supporter le poids des véhicules et des piétons, tout en étant facilement accessibles pour l'entretien et les interventions d'urgence.

Matériaux : Le choix des matériaux est un élément crucial de la conception des couvercles d'égouts. Les matériaux les plus couramment utilisés sont le béton, l'acier et le GRP (Glass Reinforced Plastic). Le GRP est de plus en plus populaire en raison de sa légèreté, de sa résistance à la corrosion et de sa durabilité.

Dimensions : Les couvercles d'égouts doivent être dimensionnés correctement pour s'adapter aux ouvertures des regards d'égout. Ils doivent également être conçus pour résister aux charges statiques et dynamiques auxquelles ils seront soumis, en fonction du trafic prévu sur la voie publique.

Esthétique : Bien que la fonctionnalité soit primordiale, l'aspect esthétique des couvercles d'égouts ne doit pas être négligé. Ils font partie intégrante du paysage urbain et contribuent à l'apparence générale de l'environnement urbain. Par conséquent, ils doivent être conçus de manière à être esthétiquement agréables tout en restant fonctionnels.

Accessoires et Caractéristiques Additionnels : Certains couvercles d'égouts peuvent être équipés de fonctionnalités supplémentaires, telles que des dispositifs de verrouillage, des joints d'étanchéité et des dispositifs d'ouverture assistée. Ces accessoires peuvent améliorer la sécurité, la durabilité et la facilité d'utilisation des couvercles d'égouts.

III.1.5 Étapes générales du Processus de Fabrication des Couvercles d'Égouts en GRP :

Conception et Modélisation : en commençant par concevoir les couvercles d'égouts en utilisant des logiciels de modélisation assistée par ordinateur (CAO). Ils créent des modèles 3D détaillés qui prennent en compte les dimensions précises, les formes complexes et les caractéristiques spécifiques nécessaires pour chaque couvercle d'égout.

Fabrication des Moules : Une fois que le design est finalisé, les moules en négatif sont fabriqués à partir des modèles 3D. Ces moules peuvent être construits en utilisant différentes techniques et matériaux, tels que le polyester renforcé de fibre de verre (PRFV), le polyuréthane ou le silicone. Les moules doivent être soigneusement fabriqués pour garantir une reproduction précise des pièces finies.

Préparation des Matériaux : Les matériaux de base, notamment les fibres de verre et la résine polymère, sont préparés pour le processus de stratification. Les fibres de verre sont coupées à la longueur désirée et peuvent être pré-imprégnées de résine pour faciliter le processus d'application. La résine est mélangée avec des catalyseurs appropriés pour démarrer le processus de durcissement.

Stratification : Les moules préparés sont soigneusement enduits d'un agent de démoulage pour éviter que le GRP n'adhère aux surfaces du moule. Ensuite, les couches de fibres de verre sont

stratifiées dans les moules, en alternant avec des couches de résine. Les travailleurs veillent à ce que chaque couche soit correctement imprégnée de résine et éliminent les bulles d'air pour assurer une adhérence maximale entre les couches.

Durcissement : Une fois que toutes les couches de fibres et de résine sont stratifiées dans les moules, ces derniers sont placés dans une enceinte chauffée ou un four pour accélérer le processus de durcissement du GRP. La température et le temps de cuisson sont contrôlés avec précision pour garantir un durcissement uniforme et complet du matériau.

Démoulage et Finition : Après le durcissement complet, les pièces en GRP sont soigneusement démoulées des moules. Les bords et les surfaces des couvercles d'égouts sont ensuite finis à l'aide d'outils de coupe et de ponçage pour éliminer les bavures et les imperfections. Les ouvertures des regards d'égouts sont également vérifiées pour assurer un ajustement parfait avec les structures existantes. [32]

Contrôle Qualité : Enfin, les couvercles d'égouts en GRP sont soumis à une série de tests de contrôle qualité pour garantir leur conformité aux normes et spécifications requises. Cela peut inclure des tests de résistance mécanique, des tests de résistance à la corrosion, des tests d'étanchéité et des inspections visuelles pour détecter tout défaut de fabrication.

III.1.6 Les méthode de fabrication couvercles :

En effet, la fabrication des couvercles d'égouts peut être réalisée de manière artisanale (ou manuelle) ou par des méthodes automatisées (ou mécanisées).

Voici une comparaison des deux méthodes :

III.1.6.1 Fabrication Artisanale (Manuelle) :

Processus : Dans la fabrication artisanale, chaque étape du processus est réalisée manuellement par des artisans qualifiés. Cela implique souvent l'utilisation de moules en bois ou en métal fabriqués sur mesure, dans lesquels les couches de fibres de verre sont stratifiées à la main avec de la résine. Les couvercles sont ensuite démoulés, finis et polis manuellement pour obtenir la forme et la finition souhaitées.

Avantages : La fabrication artisanale permet une grande flexibilité dans la conception et la personnalisation des couvercles d'égouts. Elle est souvent utilisée pour la production de pièces sur mesure ou en petites quantités.

Inconvénients : Ce processus est généralement plus lent et plus intensif en main-d'œuvre, ce qui peut entraîner des coûts plus élevés et des délais de production plus longs. De plus, la qualité et la précision des pièces peuvent varier en fonction des compétences des artisans.

III.1.6.2 Fabrication Automatisée (Mécanisée) :

Processus : Dans la fabrication automatisée, les étapes du processus sont effectuées à l'aide de machines et d'équipements spécialisés. Les fibres de verre sont souvent coupées et stratifiées automatiquement, avec des robots ou des machines de stratification. Les moules peuvent être manipulés par des systèmes de levage et les processus de durcissement peuvent être contrôlés automatiquement.

Avantages : La fabrication automatisée offre une production plus rapide et plus efficace, avec des niveaux de précision et de qualité plus élevés. Elle est particulièrement adaptée à la production en série de pièces standardisées.

Inconvénients : Les coûts initiaux d'investissement dans les équipements automatisés peuvent être élevés. De plus, la flexibilité dans la personnalisation des produits peut être limitée par rapport à la fabrication artisanale.

En résumé, le choix entre la fabrication artisanale et automatisée dépend souvent des besoins spécifiques de production, de la quantité de pièces requises, du niveau de personnalisation nécessaire et des ressources disponibles. Certaines entreprises peuvent opter pour une combinaison des deux méthodes, en utilisant la fabrication artisanale pour des projets sur mesure et la fabrication automatisée pour la production en série. [32]

III.1.7 Couté réalisation :

Dans notre fabrication nous avons procédé à la préparation des tampons de regard et les grille d'avalaires. A cet effet, ces couvercles sont réalisés à partir de résine polyester renforcée de fibres de verre ont été élaborées, selon les normes internationales ASTM et ISO, dans le but de la caractérisation statique du matériau. Après quoi, elles ont été soumises aux essais de traction et de flexion afin de déterminer leurs propriétés mécaniques.

III.1.7.1 Préparation et fabrication

Les tampons de regard et les grille d'avalaires en matériaux composites sont fabriquées par le procédé de moulage au contact à la température ambiante. Le matériau est constitué d'une matrice de polyester renforcée par des fibres de verre. La résine est préparée préalablement par malaxage avec l'Accélérateur.

III.1.7.2 Matériaux :**❖ Fibres de verre.**

Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix. Ce sont les renforts les plus utilisés actuellement dans la construction de structures composites.

Un tissu de fibre de verre E constitué d'un mat à fibres courtes coupées d'une masse volumique de 2540 kg/m³, un module d'élasticité de 72 GPa, et une contrainte à la rupture de 3,5 GPa, la déformation à la rupture est de l'ordre de 4,4%

- ❖ Résine polyester : - La matrice constituant le matériau composite de cette étude est une matrice thermodurcissable.
- ❖ - La résine utilisée est la résine polyester insaturé, elle est constituée d'un monomère (le styrène) et réticulée à température ambiante par addition de catalyseur de type peroxyde organique. Elle passe successivement de l'état liquide visqueux initial à l'état de gel, puis à l'état de solide infusible. Le module de flexion E est de l'environ 2,35 GPa, avec une contrainte à la rupture égale à 0,072 GPa.

III.1.7.3 Étapes pour préparer la pâte GRP :

La préparation de la pâte GRP (Plastique Renforcé de Fibres de Verre) nécessite de la précision pour assurer un bon mélange des ingrédients et obtenir une pâte homogène et efficace pour la fabrication de produits de haute qualité.

Préparation des ingrédients :

Résine polymère : on utilise généralement une résine polyester insaturée ou une résine époxy. La résine est sélectionnée en fonction des propriétés souhaitées du produit final.

Fibre de verre : se présente sous forme de fibres coupées ou de nattes tissées. Le type de fibre est sélectionné en fonction de l'application souhaitée.

Catalyseurs de durcissement : ajoutés à la résine pour accélérer le processus de durcissement. Le type et la quantité de catalyseur dépendent du type de résine utilisé.

Additifs : Des additifs tels que des stabilisants, des inhibiteurs, des agents dispersants et des pigments de couleur peuvent être ajoutés pour améliorer les propriétés de la pâte.

Mélange de la résine avec le catalyseur : Placez une quantité appropriée de résine dans un bol à mélanger propre. Le catalyseur est ajouté à la résine selon un pourcentage spécifié (généralement entre 1 % et 3 % en poids de la résine). Le catalyseur doit être bien mélangé à la résine pour assurer une répartition uniforme.

Ajoutez de la fibre de verre : Des fibres de verre sont progressivement ajoutées à la résine mélangée. De la fibre de verre déchiquetée ou des nattes peuvent être utilisées, selon le type de pâte requis. Les fibres sont mélangées à la résine à l'aide d'outils mécaniques ou manuels pour garantir que les fibres sont complètement saturées de résine.

Ajout d'additifs : Si des additifs sont nécessaires (tels que des colorants ou des stabilisants), ils sont ajoutés au mélange et bien mélangés jusqu'à ce qu'ils soient uniformément répartis.

Vérifier la cohérence : La consistance de la pâte est vérifiée. La pâte doit être homogène et exempte de bulles d'air. Un outil à vide peut être utilisé pour éliminer les bulles d'air présentes.

Utilisation de la pâte : La pâte GRP préparée est utilisée immédiatement dans le processus de fabrication. Il peut être coulé dans des moules ou appliqué sur les surfaces souhaitées selon l'application. Il faut travailler vite car la pâte va commencer à durcir sous l'action du catalyseur.

Nettoyage : Après avoir utilisé la pâte, tous les outils et équipements utilisés doivent être nettoyés avant que la résine ne durcisse dessus. Des solvants appropriés peuvent être utilisés pour nettoyer les outils.

La préparation de la pâte GRP nécessite une grande attention aux proportions et un bon mélange pour garantir une pâte aux propriétés mécaniques et physiques adaptées à l'application finale.

III.1.7.4 Les quantités nécessaires pour réaliser une couverture circulaire de 60 cm et une épaisseur de 10 cm :

Pour calculer les quantités nécessaires pour réaliser une couverture d'égout circulaire d'un diamètre de 60 cm et d'une épaisseur de 10 cm en PRV (plastique renforcé de fibres de verre), il faut d'abord calculer le volume de la couverture, puis déterminer les quantités de résine et fibre de verre requis en fonction des ratios de mélange typiques.

Calculez la taille de la couverture :

Calcul du volume du cylindre :

Diamètre du couvercle (D) = 60 cm

Rayon (R) = D/2 = 30 cm

Épaisseur (h) = 10 cm

Volume du cylindre (V) = $\pi \times R^2 \times h = \pi \times (30 \text{ cm})^2 \times 10 \text{ cm} = \pi \times 900 \text{ cm}^2 \times 10 \text{ cm} = 9000\pi \text{ cm}^3$ Environ : $V \approx 9\,000 \times 3,1416 \approx 28\,274 \text{ cm}^3$

Ainsi, le volume du couvercle $\approx 28274 \text{ cm}^3$.

Déterminez les quantités nécessaires :

Nous utilisons des ratios de mélange courants pour la résine et la fibre de verre. Le rapport résine/fibre de verre soit de 60 :40 en poids.

Calculez la densité approximative du GRP :

La densité des résines polymères est d'environ 1,1 à 1,2 g/cm³.

La densité de la fibre de verre est d'environ 2,5 g/cm³.

La densité approximative des matériaux composites peut être estimée entre 1,5 et 1,8 g/cm³, la densité du composite GRP = 1,6 g/cm³.

Calcul du poids total de la couverture : Poids total \approx Volume de la couverture x Densité du composite $\approx 28274 \text{ cm}^3 \times 1,6 \text{ g/cm}^3 \approx 45238,4 \text{ g} \approx 45,24 \text{ kg}$

Détermination des quantités de résine et de fibre de verre :

$$\text{Poids de la résine (60\%)} = 0,60 \times 45,24 \text{ kg} \approx 27,14 \text{ kg}$$

$$\text{Poids de la fibre de verre (40\%)} = 0,40 \times 45,24 \text{ kg} \approx 18,10 \text{ kg}$$

Pour réaliser un couvercle d'égout circulaire d'un diamètre de 60 cm et d'une épaisseur de 10 cm, il vous faudra environ les quantités suivantes :

Résine polymère : 27,14 kg

Fibre de verre : 18,10 kg

Ces quantités sont approximatives et supposent des rapports de mélange et de distribution idéaux. Vous devrez peut-être ajuster les quantités en fonction des spécifications exactes des matériaux utilisés et des conditions de fabrication spécifiques.

III.1.7.5 Matériels

Résine polyester :

Utilisée comme matrice principale, la résine polyester est un polymère thermodurcissable qui forme la base du composite. Elle offre une bonne résistance mécanique et chimique, assurant la durabilité du produit final.

- Catalyseur (wax) :

Le catalyseur, souvent en forme de cire, est essentiel pour le durcissement de la résine polyester. Il accélère le processus de polymérisation, permettant à la résine de passer de l'état liquide à l'état solide.

- Fibre de verre :

Renforçant le composite, la fibre de verre est intégrée à la résine polyester pour améliorer la résistance mécanique et la rigidité. Elle contribue à la robustesse et à la longévité des tampons de regard.

- Carbonate de sodium :

Ajouté au mélange, le carbonate de sodium agit comme un agent de remplissage et peut également aider à contrôler la viscosité de la résine. Il améliore les propriétés mécaniques et réduit les coûts de production.

- Granox c5hq :

Un agent additif spécifique utilisé pour améliorer certaines propriétés du composite, tel que la résistance à l'abrasion et aux UV. Il assure la stabilité et la performance du produit final dans des conditions environnementales variées.

- Sable :

Utilisé comme charge, le sable augmente la masse et la densité du composite. Il contribue également à la rigidité et à la durabilité du produit final, tout en réduisant le coût global des matériaux.

- Cobolt :

Cet additif est utilisé comme accélérateur dans le processus de durcissement de la résine. Il permet de contrôler et d'optimiser le temps de prise, assurant un durcissement uniforme et complet de la résine.

- Oxyde :

Utilisé comme pigment, l'oxyde permet de donner une couleur spécifique au produit final. Il assure également une protection supplémentaire contre les rayons UV et les conditions environnementales difficiles.

Ces matériels sont essentiels pour la fabrication des tampons de regard en fibre de verre renforcée de polyester, garantissant un produit final de haute qualité, durable et adapté aux applications variées des infrastructures.



polyester resin



fiber de verre



mold release



Granox



Cobolt



Carbonate de sodium



sable

Figure III -1 : Matériels de fabrication [31]

III.1.8 Les étapes du travail :**❖ Conception des moules tampons et des grilles d'avalaires avec SOLIDWORKS :**

La première étape du processus consiste à utiliser le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) SOLIDWORKS pour créer des modèles détaillés des moules tampons et des grilles d'avalaires. Ce logiciel permet de concevoir des pièces précises et personnalisées selon les spécifications requises. La modélisation 3D assure que tous les détails techniques et les dimensions sont correctement définis avant la fabrication.

❖ Impression des moules en bois à l'aide d'une imprimante 3D (MJ1625):

Après la conception numérique, les fichiers CAO sont envoyés à une imprimante 3D spécialisée dans l'impression de moules en bois. Cette étape permet de créer des prototypes physiques exacts des moules conçus, facilitant la production en série et garantissant la conformité aux spécifications de conception. L'utilisation de l'impression 3D réduit également le temps et les coûts de fabrication des moules.

❖ Mélange soigneux de la résine polyester et du durcisseur :

Une fois les moules prêts, la résine polyester est mélangée avec un durcisseur liquide. Ce mélange doit être effectué avec précision pour assurer une consistance homogène. Un malaxeur est utilisé pour garantir que tous les composants sont bien intégrés, évitant ainsi les bulles d'air ou les inconsistances dans la matière finale. Ce mélange comprend également d'autres matériaux renforçants selon les besoins du produit final.

❖ Coulée du mélange dans le moule en bois :

Le mélange préparé est ensuite coulé dans le moule en bois préalablement imprimé. Cette étape doit être réalisée avec soin pour éviter tout débordement ou formation de poches d'air. La coulée doit être uniforme pour garantir que le moule en bois obtienne une réplique exacte du produit final souhaité.

❖ Séchage du moule pendant deux jours :

Une fois la coulée terminée, le moule doit être laissé à sécher pendant une période de deux jours. Cette étape de séchage est cruciale pour permettre à la résine de durcir complètement et d'atteindre sa pleine résistance mécanique. Le séchage doit être effectué dans des conditions contrôlées pour éviter toute contamination ou déformation du moule.

❖ Retrait du moule en bois à l'aide de cire :

Après le séchage, le moule en bois est retiré. Pour faciliter cette étape, une couche de cire (wax) est appliquée sur la surface du moule en bois avant la coulée. La cire agit comme un agent de

démoulage, permettant de retirer facilement le moule sans endommager la pièce en cours de fabrication.

❖ **Formation de la pâte et pressage à chaud :**

Les matériaux sont de nouveau mélangés pour former une pâte prête à être placée dans le moule obtenu. Cette pâte est ensuite pressée à l'aide d'une presse à chaud, telle que la presse ZHENGXI -YzS -400T, pour fabriquer les tampons de regard. Le pressage à chaud assure une densité et une résistance optimale du produit final. Le processus de pressage est contrôlé pour garantir que les tampons de regard sont conformes aux normes de qualité et de durabilité requises.

Ces étapes (a.b.c.d.e.f.g.h.i) ces dessus permettent de produire des tampons de regard en fibre de verre renforcée de polyester :



a- ajout de sable



b- ajout de carbonate de sodium



c- mesure 5% de sable et 5% c.sodium





d- ajout de polyster



e- ajout de fiber de verre



f- melanger avec un malaxeur



g- Obtenez la pâte



h- Presser la pâte avec un Presse a chaud



i- Réalisation de couvercle

Figure III-2 : Les étapes de fabrication de tampon



Figure III-3 : la presse ZHENGXI -YzS -400T



Figure III-4 : le produite final « tampon de regard »

III.2 Etude économique :

Analyse Comparative des Coûts entre les Couvercles de Regard en GRP et en Fonte :

III.2.1 Introduction :

Les couvercles de regard sont des éléments essentiels des systèmes de drainage et d'assainissement, offrant une couverture aux ouvertures des regards pour assurer la sécurité des piétons et des véhicules tout en permettant l'accès aux infrastructures souterraines. Deux matériaux couramment utilisés dans la fabrication de ces couvercles sont la fonte ductile et le GRP (Glass Reinforced Plastic).

III.2.2 Objectif de l'Analyse :

L'objectif de cette analyse est de comparer les coûts associés à l'utilisation de couvercles de regard en GRP par rapport à ceux en fonte, en se concentrant principalement sur les coûts initiaux d'achat des matériaux.

III.2.2.1 Analyse des Coûts :**❖ Coûts d'Achat :**

Couvercles en Fonte : Les couvercles en fonte ductile sont généralement fabriqués à partir de matériaux métalliques comme la fonte ductile. Le coût moyen d'un couvercle de regard en fonte ductile de taille standard (600 mm de diamètre) est d'environ 20000 DZD.

Couvercles en GRP : Les couvercles en GRP sont fabriqués à partir de fibres de verre renforcées de plastique. Le coût moyen d'un couvercle de regard en GRP de taille standard est d'environ 16000 DZD. Cela inclut le coût des matériaux de base (fibres de verre et résine) ainsi que les coûts de fabrication.

❖ Coûts de Transport et d'Installation :

Couvercles en Fonte : En raison de leur poids élevé (72kg pour couvercle de 600mm), les couvercles en fonte entraînent des coûts supplémentaires de transport et d'installation. Ils nécessitent souvent des équipements spéciaux tels que des grues pour les déplacer et les installer correctement.

Couvercles en GRP : Les couvercles en GRP sont beaucoup plus légers (43kg pour couvercle de 600mm) que leurs homologues en fonte. Cela réduit les coûts de transport et d'installation, car ils peuvent être manipulés plus facilement sans nécessiter d'équipement lourd.

❖ Coûts de Maintenance :

Couvercles en Fonte : Bien que les couvercles en fonte soient durables, ils peuvent nécessiter une maintenance régulière pour prévenir la corrosion et les dommages. Cela peut entraîner des coûts supplémentaires à long terme, notamment en termes de travail et de matériaux.

Couvercles en GRP : Les couvercles en GRP sont résistants à la corrosion et aux dommages, ce qui réduit considérablement les coûts de maintenance à long terme. Ils peuvent nécessiter un nettoyage périodique pour maintenir leur apparence, mais ils ne nécessitent généralement pas de réparations ou de remplacements fréquents.

III.3 Conclusion :

En conclusion, bien que les coûts initiaux d'achat des couvercles en GRP soient légèrement supérieurs à ceux en fonte ductile, les économies réalisées grâce à des coûts de maintenance et de transport inférieurs en font une option plus économique à long terme pour de nombreux projets d'infrastructure. Il convient de noter que les coûts exacts peuvent varier en fonction de divers facteurs tels que la taille des couvercles, les conditions du site et les tarifs de transport locaux.

Conclusio

COUCTA2TO

n

U

générale

dεNεI9Jε

U

U

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, les couvercles d'égouts en fibre de verre renforcée de polyester (GRP) représentent une solution technique moderne et efficace pour les réseaux d'assainissement. Le GRP offre une combinaison unique de légèreté, de résistance mécanique et de durabilité, ce qui en fait un matériau idéal pour les applications d'infrastructure critiques telles que les systèmes d'assainissement.

La fabrication des couvercles d'égouts en GRP implique des processus avancés de conception, de modélisation, de fabrication et de contrôle qualité. Les ingénieurs et les fabricants doivent tenir compte de nombreux facteurs, tels que les charges prévues, les conditions environnementales et les normes de sécurité, pour garantir que les couvercles d'égouts répondent aux exigences de performance et de durabilité.

En plus de leurs avantages techniques, les couvercles d'égouts en GRP offrent également des avantages économiques et environnementaux. Leur légèreté réduit les coûts de transport et d'installation, tandis que leur durabilité et leur résistance à la corrosion contribuent à réduire les besoins en entretien et en remplacement à long terme. De plus, le GRP est un matériau non recyclable, ce qui en fait une option écologique pour les infrastructures urbaines.

Enfin, il convient de noter que le développement continu des techniques de fabrication et des matériaux composites ouvre de nouvelles perspectives pour l'optimisation des couvercles d'égouts en termes de performance, de durabilité et d'efficacité. En investissant dans la recherche et le développement de nouveaux matériaux et technologies, il est possible de continuer à améliorer les normes de qualité et de durabilité des infrastructures d'assainissement.



Référence

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ

S

Σ

Bibliogra

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

S

Σ

Références Bibliographique

Références Bibliographiques :

[1] J.M. BERTHELOT, (2002). Matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures, TEC et DOC 4eme édition.

[2] Lionel,G,(2011),Matériaux composites et structures composites. CACHAN Ecole normale supérieure. Université Paris-SACLAY.

[3] HERMES.D.G. (2005).matériaux composites, 5eme édition.

[4] C.BATHIAS, matériaux composites, édition DUNOD, année 2005.

[5] RAHMANE, A. (2018).Étude du comportement dynamique des composites stratifiés et sandwichs. Thèse de doctorat, Université Des Freres Mantouri-Constantine 1.

[6] Vasconcellos, D, Touchard S, F. Chocinski-Arnault,L.(2014).Tension–tension fatigue behaviour of woven hemp fibre reinforced epoxy composite: A multiinstrumented damage analysis, Int. J. Fatigue.

[7] Goret,L. (6 Apr 2010).Généralités sur les matériaux composites. cel-00470296, version1.

[8] El Hadji B, LY. (2008)Nouveaux matériaux composites thermo-formables à base de fibres de cellulose, thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble.

[9] BOUDJEMA, H. (2016).Elaboration de matériaux composites biodégradables issus de ressources renouvelables, thèse de doctorat, Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle-Université d'Oran 2.

[10] Berthelot, J.M. (2005).Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures Livre, éditions : Lavoisier.

[11] MIDOUN, A. (2019).Étude comparative du comportement mécanique des matériaux composites à matrice polymère : cas d'un matériau composite élastique unidirectionnel à fibres de verre et d'un matériau composite élastique unidirectionnel à fibres de carbone, mémoire de master, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN.

[12] DJELBOUN, Y. (2018).généralités sur les matériaux composites, université de Biskra.

[13] Saidani, k. (2014).Analyse de composites sandwich et qualification de leur intégrité vis à vis a la ruine. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri-Tizi-Ouzou. 56 Références bibliographiques.

[14] Ghorab,S. (2005).Comportement viscoélastique des matériaux orthotropes, mémoire de magister, université Mentouri-Constantine.

Références Bibliographique

- [15] Glossaire des matériaux composites, carma, Actualisation octobre 2006.
- [16] Berthelot, J M. (2010). Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures. 4^{ème} édition. TEC &DOC. Le Mans.
- [17] Laurent gormet. (2008). Généralités sur les matériaux composites. ECN, Centre Nantes.
- [18] B. Fairouz. (2016). Étude du comportement mécanique de structure sandwiches à différents matériaux de revêtements. Mémoire de magister. Université Mentouri-Constantine.
- [19] Irisarri,F,X.(2009).Stratégies de calcul pour l'optimisation multi objectif des structures composites Université de Toulouse III-Paul Sabatier.
- [20] TOUMI, W. (2019). Optimisation de la configuration des tubes en matériaux composites sous pression. Mémoire de master, Université Mohamed Khider -Biskra.
- [21] METTOUCHI, L. (2018) Influence de la charge particule de cuivre et du renfort couches de fibres de verre sur le comportement mécanique d'un composite. Mémoire Master. Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou.
- [22] CEDRIC, T. (2011). Etude des mécanismes d'endommagement des composites fibres de carbone / matrice polyamide : application à la réalisation de réservoirs de stockage de gaz sous haute pression de type IV. L'École nationale supérieure des mines de Paris.
- [23] HAMI, B. (2010). Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de verre et de résine polyester et étude de son comportement au choc. Mémoire de Magistère. Université M'Hamed Bougara-Boumerdes.
- [24] www.emploisdessinateur.ca a été indexé pour la première fois par Google en décembre 2016.
- [25] Florence Zara Modèle mécanique d'une plaque mince, Version du 10 mai 2017.
Université Lyon 1, Faculté des Sciences et Technologie.
- [26] CHAOUICHE Abdellah Analyse vibratoire des plaques minces sous différente condition aux limites: université kasdi merbah Ouargla 2013.
- [27] Workbench User's Guide, Release 2022 R2 - ANSYS, Inc.
- [28] Grunwald B. 2018. Vibration analysis of shaft in SolidWorks and ANSYS.
- [29] Mansoor HI, Al-Shammari M, Al-Hamood A, editors. Theoretical Analysis of the Vibrations in Gas Turbine Rotor. IOP Conf Ser Mater Sci Eng ; 2020 : IOP Publishing.

Références Bibliographique

[30] Asokan, P., Osmani, M., & Price, A. D. (2009). Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites. *Journal of Cleaner Production*, 17(9), 821-829.

[31] Epoch Master. (S. d.). Epoch Master Global Business (Jiangsu) Inc. www.epochmasterglobal.com

[32] Peters, S. T. (Ed.). (2013). *Handbook of composites*. Springer Science & Business Media.

Résumé:

Ce mémoire de fin d'études porte sur le développement et la fabrication de couvertures d'égouts utilisant du polyester renforcé de fibres de verre comme matériau composite. L'intérêt pour les matériaux composites découle du besoin croissant de matériaux dotés de propriétés mécaniques avancées, et le polyester renforcé de fibres de verre est un choix idéal en raison de sa haute résistance et de sa légèreté. La recherche comprend plusieurs étapes, commençant par l'étude des propriétés des matériaux composites et la conception de couvertures à l'aide de programmes de simulation tels que SOLIDWORKS et ANSYS, puis passant au processus de fabrication des couvertures et aux tests de leur qualité.

La recherche vise à analyser la manière dont les matériaux composites sont utilisés et à développer des produits de haute qualité et à double efficacité, en mettant l'accent sur l'amélioration des performances et de la durabilité des couvertures d'égouts. La recherche reflète également l'intérêt croissant pour les technologies avancées dans la fabrication de matériaux et de produits et apporte une contribution efficace au développement de processus industriels et à la promotion de la durabilité et de l'efficacité des ressources.

Abstract:

The graduation thesis focuses on the development and manufacture of sewer covers using glass fiber reinforced polyester as a composite material. Interest in composite materials stems from the growing need for materials with advanced mechanical properties, and glass fiber reinforced polyester is an ideal choice due to its high strength and light weight. The research includes several stages, starting with studying the properties of composite materials and designing covers using simulation programs such as SOLIDWORKS and ANSYS, then moving on to the process of manufacturing covers and testing their quality.

The research aims to analyze how composite materials are used, and develop products with high quality and double efficiency, with a focus on improving the performance and durability of sewer covers. The research also reflects the growing interest in advanced technologies in the manufacture of materials and products, and makes an effective contribution to the development of industrial processes and the promotion of sustainability and resource efficiency.

ملخص

الغرض من هذه المذكرة هو تطوير وتصنيع أغطية الصرف الصحي باستخدام ألياف الزجاج المقوى بالبوليستر كمادة مركبة. يعتبر الاهتمام بالمواد المركبة نابعًا من الحاجة المتزايدة لمواد تتميز بخصائص ميكانيكية متقدمة، وتعتبر ألياف الزجاج المقوى بالبوليستر خيارًا مثاليًا بسبب متانتها العالية وخفة وزنها. يتضمن البحث عدة مراحل تبدأ بدراسة خصائص المواد المركبة، وتصميم الأغطية باستخدام برامج محاكاة، ثم ينتقل إلى عملية تصنيع الأغطية واختبار جودتها.

يهدف البحث إلى تحليل كيفية استخدام المواد المركبة، وتطوير منتجات ذات جودة عالية وكفاءة مضاعفة، مع التركيز على تحسين الأداء والمتانة لأغطية الصرف الصحي. يعكس البحث أيضًا الاهتمام المتزايد بالتقنيات المتقدمة في صناعة المواد والمنتجات، ويقدم مساهمة فعالة في تطوير العمليات الصناعية وتعزيز الاستدامة والكفاءة في استخدام الموارد.