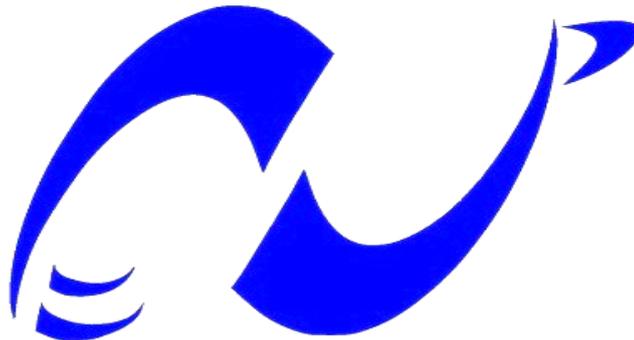


*Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique*

*Ecole Nationale Polytechnique*

*Département de Génie Mécanique*



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

**Mémoire de  
Master en Génie Mécanique.**

**CONCEPTION SOUS SOLIDWORKS ET  
COMMANDE DE LA MACHINE  
D'ENROULEMENT FILAMENTAIRE  
REALISEE**

**Encadré par :**

✚ Prof. M. BOUAZIZ, ENP.  
✚ Dr. Dj. KARI.

**Réalisé par :**

✚ OUAKLI Hanane.

Année 2015

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents sous le  
Regard de Dieu en souhaitant intérieurement qu'il me  
Les garde.*

*A mes frères Aïssa, Abd allah, Brahim et en particulier  
Abd Essamed.*

*A mes chères amies Sarah, Amina, Somia.*

*A mes chers amis Ferradj Aymen, Elouneg Aflah.*

*A tous ceux qui m'ont nourri de Leur amour et de leur  
tendresse*

*Pareillement ne sont pas oubliés ceux qui ont de près ou  
de loin contribué à notre formation*

*Ouakli Hanane*

## Remerciements

*En premier lieu, louange à Dieu, notre Créateur, pour m'avoir appris à lire et écrire et donné force, courage et santé pour avoir accompli ce travail.*

*Le présent rapport n'aurait pas vu le jour sans la contribution de nombreuses personnes à qui j'aimerais adresser mes vifs remerciements.*

*Que mon encadreur, le Professeur Mohamed Bouaziz de l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP), trouve ici ma profonde gratitude pour ses précieux conseils, aide, orientation et disponibilité.*

*J'exprime aussi ma profonde gratitude à mon co-promoteur, le doctorant Djamel Kari de l'université de Boumerdès, pour sa disponibilité et son aimable aide à la réalisation de l'équipement expérimental.*

*Mes vifs remerciements s'adressent également à toute personne qui a contribué à ma formation ou participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

---

## ملخص

هذا العمل المنجز هو تكملة لمشروع نهاية الدراسة والمتمثل في إنجاز آلة لف الخيوط والتي تلبي مختلف الطلبات في المجال الصناعي. بواسطة هذه الآلة يمكن تصنيع قطع وشرائح ذات قطر يصل إلى 400 مم وطول يصل إلى 1500 مم. الهدف من العمل المنجز في هذا الجزء من مذكرة التخرج "ماستر" هو تصميم آلة لف الخيوط بواسطة برنامج سوليدوركس وتنشيط كل ملحقات الرقابة لتعمل بطريقة أوتوماتيكية

الكلمات المفتاحية : آلة لف الخيوط- تصميم آلة - برنامج سوليدوركس - ملحقات الرقابة – أوتوماتيكية

---

## Résumé

Ce travail est une continuation de mon projet de fin études, ce dernier porte sur la réalisation d'une machine d'enroulement filamenteuse de capacité pouvant répondre à un besoin industriel. Avec cette machine, il est possible de réaliser des pièces de révolution en matériau composite de diamètre allant jusqu'à 400 mm et de longueur pouvant atteindre 1500 mm. Le travail de master a pour objet de concevoir sous Solidworks la machine réalisée et d'installer les accessoires de commande pour automatiser les opérations d'enroulement filamenteuse.

Mots clés : machine d'enroulement filamenteuse, matériau composite, concevoir sous Solidworks, Installer les accessoires, commande.

---

## Abstract

My final project studies, it is about achieving a filament winding machine capacity of up to an industrial need, with this machine, it is possible to achieve in diameter rotating parts up to 400 mm and length up to 1500 mm. The task is to design the machine made with Solidworks and install the control accessories for automated filament winding operations.

Keywords : filament winding machine, design the machine, Solidworks , control accessories.

# *Sommaire*

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **Chapitre I : LES ELEMENTS CONSTITUANTS D'UN MATERIAU COMPOSITE**

I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. Divers types de résines .....	3
I.2.1. Résines thermodurcissables.....	3
I.2.2. Résines thermoplastiques .....	6
I.2.3. Résines thermostables .....	7
I.3. Charges et les additifs .....	7
I.3.1. Charges.....	7
I.3.2. Additifs .....	7
I.4. Fibres et tissus .....	8
I.4.1. Formes linéiques .....	9
I.4.2. Formes surfaciques.....	9
I.5. Principales fibres .....	10
I.5.1. Fibres de verre.....	10
I.5.2 : Fibres de carbone.....	10
I.5.3. Fibres aramides .....	11
I.6. CONCLUSION .....	11

## **Chapitre II : DIFFERENTES APPLICATIONS DE L'ENROULEMENT FILAMENTAIRE**

III.1. INTRODUCTION .....	12
III.2 Différentes Applications De L'enroulement Filamentaire .....	12
III.2.1 Génie chimique .....	12
III.2.1.1. Tuyauteries.....	12
III.2.1.2. Cuves, réservoirs.....	19
III.2.1.3. Réacteurs et mélangeurs.....	20
III.2.1.4. Autres appareils chimiques et industriels.....	21
III.2.1.5. Unités d'électrolyse de chlorures alcalins.....	21
III.2.2 Travaux publics.....	22
III.2. 3 Construction automobile.....	22
III.3. CONCLUSION .....	22

### **Chapitre III : CONCEPTION SOUS SOLIDWORKS DE LA MACHINE D'ENROULEMENT FILAMENTAIRE REALISEE**

IV.1. INTRODUCTION.....	23
IV.2. Conception de la machine d'enroulement filamenteire .....	23
IV.2.1. SolidWorks .....	23
IV.2.2. À quoi sert SolidWorks .....	23
IV.2.3. Conception par SolidWorks.....	24
IV.2.3.1. Carcasse .....	24
IV.2.3.2. Système de rotation de la barre.....	25
IV.2.3.3. Système de translation du dispositif d'enroulement .....	27
IV.2.3.4. Bain de résine.....	29
IV.2.3.5. Magasin de renfort.....	29
IV.2.3.6. Guidage en translation .....	30
IV.2.3.7. Poulie de jumelage du stratifil .....	30
IV.2.3.8. Système élévateur.....	31
IV.2.3.9. Machine réalisée .....	31
IV.3. CONCLUSION .....	32

### **Chapitre IV : AUTOMATISATION DE LA MACHINE**

V.1. INTRODUCTION .....	33
V.2. Fonctionnement de la machine.....	33
V.3. Réalisation de la partie électrique.....	34
V.3.1. Montage global (synoptique).....	34
V.3.2. Schémas électriques.....	35
V.3.2.1. Schéma de puissance.....	35
V.3.2.2. Schéma de commande .....	36
V.4. Moteur asynchrone.....	37
V.4.1. Généralité.....	37
V.4.2. Branchement étoile ou triangle.....	37
V.4.3. Puissance et rendement .....	38
V.5. Capteurs inductifs et capacitifs .....	38
V.5.1. Inductifs.....	38
V.5.2. Capacitifs.....	39
V.6. Consommation électrique.....	39
V.7. Armoire électrique.....	40
V.8. Automate programmable.....	41
V.8.1. Définition .....	41
V.8.2. Rôles de l'API dans un système de production.....	41
V.8.3. Automate LOGO ! Siemens.....	41
V.8.3.1. Description .....	41
V.8.3.2. Type de LOGO utilisé .....	42
V.9. CONCLUSION .....	42
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>43</b>

Bibliographie

# *Liste des figures*

## **INTRODUCTION GENERALE**

<b>Fig.1:</b> principaux procédés.....	1
--	---

## **Chapitre I : LES ELEMENTS CONSTITUANTS D'UN MATERIAU COMPOSITE**

<b>Fig.1 :</b> chaîne et trame d'un tissu.....	9
--	---

## **Chapitre II : DIFFERENTES APPLICATIONS DE L'ENROULEMENT FILAMENTAIRE**

<b>Fig.1:</b> Constitution des parois de tubes résistant aux produits chimiques.....	13
<b>Fig.2:</b> Enroulement filamentaire d'un tube renforcé de fibres de verre.....	13
<b>Fig.3 :</b> Fabrication d'un tuyau ou d'un tube par enroulement continu et passage dans un four de polymérisation.....	13
<b>Fig.4 :</b> Comportement d'un tube en matériau composite mis sous pression interne croissante.....	15
<b>Fig.5 :</b> Fabrication d'une capacité bobinée par enroulement filamentaire.....	19
<b>Fig.6 :</b> Montage d'un échangeur thermique pour la concentration d'acide phosphorique (exemple d'application typique des tubes en DIABON HF1 renforcé fibres de carbone).....	21

### **Chapitre III : CONCEPTION SOUS SOLIDWORKS DE LA MACHINE D'ENROULEMENT FILAMENTAIRE REALISEE**

<b>Fig.1</b> : Tubes de liaison des faces latérales.....	24
<b>Fig.2</b> : Ensemble des pièces vues du côté face latérale du bâti.....	24
<b>Fig.3</b> : variateur de fréquence.....	25
<b>Fig.4</b> : Motoréducteur pour la rotation de la barre d'enroulement.....	25
<b>Fig.5</b> : Chaîne d'entraînement de la barre d'enroulement.....	26
<b>Fig.6</b> : deux roues d'engrenage.....	26
<b>Fig.7</b> : Barre liée au cylindre d'enroulement.....	26
<b>Fig.8</b> : Variateur de fréquence du système de translation.....	27
<b>Fig.9</b> : Moteur pour la rotation de la vis.....	27
<b>Fig.10</b> : Chaîne d'entraînement du dispositif de translation.....	28
<b>Fig.11</b> : Système vis- écrou.....	28
<b>Fig.12</b> : Bain de résine.....	29
<b>Fig.13</b> : Magasin de renfort.....	29
<b>Fig.14</b> : Barre de guidage.....	30
<b>Fig.15</b> : Roulement à douilles.....	30
<b>Fig.16</b> : poulie de guidage.....	30
<b>Fig.17</b> : Système élévateur.....	31
<b>Fig.18</b> : Conception par SolidWorks de la machine.....	31

### **Chapitre IV : AUTOMATISATION DE LA MACHINE**

<b>Fig.1</b> :Montage global du système.....	34
<b>Fig. 2</b> : Schéma de puissance.....	35
<b>Fig.3</b> :Schéma de commande.....	36
<b>Fig.4</b> : Schéma descriptif d'un moteur asynchrone triphasé.....	37
<b>Fig.5</b> : Montage du moteur.....	37
<b>Fig.6</b> : Plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé.....	38
<b>Fig.7</b> :Schéma de fonctionnement d'un capteur inductif.....	38
<b>Fig.8</b> :Quelque exemple de capteurs inductifs.....	39
<b>Fig.9</b> :Schéma de fonctionnement capteur capacitif.....	39
<b>Fig.10</b> :Quelque exemple sur les capteurs capacitifs.....	39
<b>Fig.11</b> : Différents éléments de l'armoire.....	40
<b>Fig.12</b> :Principe de fonctionnement de L'API.....	41

# *Liste des Tableaux*

## **Chapitre I : LES ELEMENTS CONSTITUANTS D'UN MATERIAU COMPOSITE**

<b>Tableau.1</b> : Caractéristique des résines thermoplastiques.....	6
<b>Tableau.2</b> : Différents types de verres filables.....	10
<b>Tableau.3</b> : Caractéristiques des fibres de carbone, comparées à celles des fibres de verre E.....	11

## **Chapitre II : DIFFERENTES APPLICATIONS DE L'ENROULEMENT FILAMENTAIRE**

<b>Tableau.1</b> : Caractéristiques mécaniques exigées pour les tuyauteries destinées au transport d'hydrocarbures liquides.....	14
<b>Tableau.2</b> : Principales caractéristiques de tuyaux en plastique renforcé de fibres de verre.....	16
<b>Tableau.3</b> : Comparaison tubes composites/ tubes acier.....	17

## **Chapitre IV : AUTOMATISATION DE LA MACHINE**

<b>Tableau.1</b> : Versions de l'automate LOGO.....	42
---	----

# *INTRODUCTION GENERALE*

De nos jours, les matériaux composites ont connu une évolution très remarquable. Ils ne cessent d'évoluer et gagner en importance, d'ailleurs, ils s'imposent dans beaucoup de domaines, par exemple, l'industrie automobile, l'aéronautique, l'industrie militaire, etc. ...

Vu les exigences toujours croissantes du consommateur, le domaine des matériaux composites se trouve immédiatement concerné, d'où la nécessité de développer des machines qui répondent à ces exigences.

L'objectif d'un matériau composite est de combiner deux ou plusieurs matériaux tout en créant une synergie entre ces différents matériaux afin qu'il en résulte un composite plus performant que chacune des composantes prises individuellement.

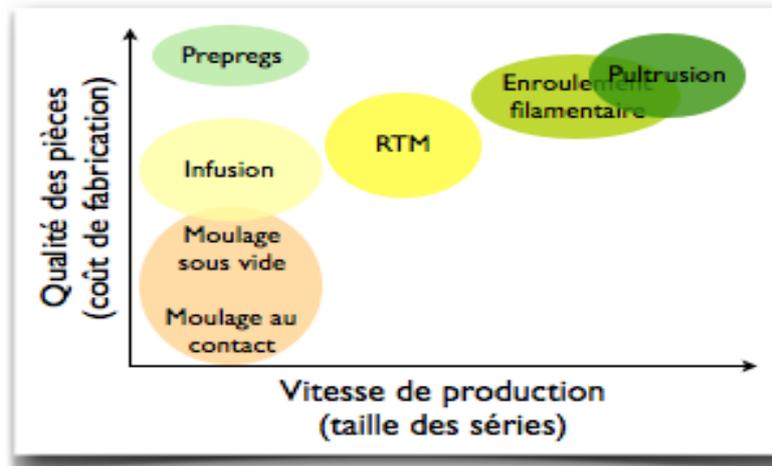
Le choix du procédé de transformation est guidé à la fois par la nature du matériau (thermoplastique ou thermodurcissable), la forme de la pièce à réaliser, les performances visées, et les impératifs de production en termes de quantité et de qualité.

La réalisation de pièces en composites destinées aux marchés de grande diffusion (automobile, aéronautique, électricité, bâtiment) nécessite la mise en œuvre de procédés de transformation fortement automatisés, à productivité élevée.

D'où une réflexion sur la conception et la réalisation d'un équipement ou machine pouvant répondre au besoin du consommateur en terme de matériaux composites. La machine d'enroulement filamenteuse apporte une solution. En effet, elle permet de réaliser des pièces en composite à partir de fibres enroulées sur un cylindre. Cette machine n'est pas encore fabriquée dans notre pays.

Pour projeter l'importance de cette réflexion étant donné qu'aucune université algérienne ne dispose de cet équipement pour la pédagogie ou la recherche scientifique, nous nous sommes fixés comme objectif dans le cadre du Projet de Fin d'Etudes la réalisation d'un modèle industriel dont le cylindre d'enroulement est de dimensions 400×1500 mm (diamètre × longueur). Ce travail est une continuation du projet de fin étude, il porte sur la conception sous Solidworks et la commande de la machine d'enroulement filamenteuse réalisée.

L'importance du procédé d'enroulement filamenteux par rapport aux autres procédés de mise en œuvre des matériaux composite est mentionnée dans la figure ci-dessous. Cette figure propose un comparatif entre les différents procédés où deux critères sont étudiés: la qualité des pièces (qui va de pair avec les coûts de fabrication) et la vitesse de production (que l'on adapte à la taille des séries). Donc l'enroulement filamenteux est un bon procédé en termes de vitesse de production et qualité des pièces par rapport à d'autres procédés.



**Fig.1:** principaux procédés.

Ce master est une continuation de mon projet de Fin d'Etude. Pour rappeler, ce dernier peut être résumé brièvement comme suit :

- Généralité sur l'enroulement filamentaire.
- Etude sur la machine d'enroulement filamentaire à réaliser.
- Dimensionnement des organes de transmission de puissance pour le système de translation et le système de rotation.
- Dimensionnement de la barre liée de cylindre d'enroulement.
- Description de la machine réalisée.

Dans le présent travail, L'étude présentée est subdivisée en quatre chapitres :

Le premier chapitre est réservé au détail sur les éléments constituant d'un matériau composite, les différents types de résines, des renforts et des additifs.

Le deuxième chapitre est consacré à tous les l'application de l'enroulement filamentaire dans les différents domaines.

Le troisième chapitre porte sur la conception de la machine par solidworks et une animation de la machine pour montrer le principe de fonctionnement.

Le dernier chapitre est réservé à l'automatisation de la machine.

# Chapitre I

## LES ELEMENTS CONSTITUANTS D'UN MATERIAU COMPOSITE

# I. INTRODUCTION

Un matériau composite est constitué d'une matrice et d'un renfort, constitué de fibres.

La matrice est elle-même composée d'une résine (polyester, époxyde, etc.) et de charges dont le but est d'améliorer les caractéristiques de la résine tout en diminuant le coût de production. D'un point de vue mécanique, l'ensemble résine-charges se comporte comme un matériau homogène, et le composite est considéré comme constitué d'une matrice et d'un renfort.

## I.2. Divers types de résines

Les résines utilisées dans les matériaux composites ont pour rôle de transférer les sollicitations mécaniques aux fibres et de protéger les fibres vis-à-vis des agressions extérieures. Les résines doivent donc être assez déformables et présenter une bonne compatibilité avec les fibres. En outre, elles doivent avoir une masse volumique faible de manière à conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécaniques spécifiques élevées.

### I.2.1. Résines thermodurcissables

Les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont par ordre décroissant en tonnage:

- ✓ Les résines polyesters insaturées : polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques, etc...
- ✓ Les résines de condensation : phénoliques, aminoplastes, furaniques, etc...
- ✓ Les résines époxydes.

#### • Résines polyesters

Les résines polyesters insaturées viennent de très loin en tête dans la mise en œuvre des matériaux composites. Leur développement est le résultat :

- D'un faible coût de production ;
- D'une adaptation à des procédés de fabrication faciles à mettre en œuvre et à automatiser ;

Suivant leur module d'élasticité, les résines polyesters sont classées en : résines souples, résines semi-rigides et résine rigides. Les résines habituellement utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites sont du type rigide, et nous retiendrons pour ces résines durcies les caractéristiques suivantes :

Masse volumique	1200 Kg/m <sup>3</sup>
Module d'élasticité en traction	2,8 à 3,5 GPa
Module d'élasticité en flexion	3 à 4,5 GPa
Contrainte à la rupture en traction	50 à 80 MPa
Contrainte à la rupture en flexion	90 à 130 MPa
Allongement à la rupture en traction	2 à 5 %
Allongement à la rupture en flexion	7 à 9 %

Résistance en compression	90 à 200 MPa
Résistance au cisaillement	10 à 20 MPa
Température de fléchissement sous charge	60 à 100 °C

Parmi les avantages des polyesters insaturés, nous retiendrons :

- ✓ Une bonne rigidité résultant d'un module d'élasticité assez élevé ;
- ✓ Une bonne stabilité dimensionnelle ;
- ✓ Une bonne mouillabilité des fibres et des tissus ;
- ✓ La facilité de mise en œuvre ;
- ✓ Une bonne tenue chimique ;
- ✓ Un faible coût de production ;
- ✓ Une bonne résistance chimique aux hydrocarbures(essence, fuel, etc.) à température ambiante, etc.

Parmi les inconvénients, nous noterons :

- ✓ Une tenue médiocre en température : inférieure à 120 °C ;
- ✓ Une sensibilité à la fissuration, essentiellement dans le cas de chocs ;
- ✓ Une dégradation à la lumière par les rayons ultraviolets ;

### • Résines de condensation

Les résines de condensation comportent les résines phénoliques, les aminoplastes et les résines furaniques.

1. Les résines phénoliques sont les plus anciennes des résines thermodurcissables. Les caractéristiques de ces résines sont les suivantes :

Masse volumique	1200 Kg/m <sup>3</sup>
Module d'élasticité en flexion	3 GPa
Contrainte à la rupture en traction	40 MPa
Contrainte à la rupture en flexion	90 MPa
Allongement à la rupture en traction	2,5 %
Résistance à la compression	250 MPa
Température de fléchissement sous charge	120°C

Parmi les avantages, nous citerons :

- ✓ Une excellente stabilité dimensionnelle ;
- ✓ Une bonne tenue à la chaleur ;
- ✓ Une bonne résistance aux agents chimiques ;
- ✓ De bonnes caractéristiques mécaniques ;
- ✓ Un faible coût ;

Parmi les inconvénients, nous noterons :

- ✓ Une mise en œuvre sous pression, donc à faibles cadences,
- ✓ Les couleurs foncées des résines,
- ✓ Une non adaptation à des utilisations alimentaires

Les résines phénoliques seront donc utilisées dans le cas de pièces nécessitant une tenue élevée en température ou une bonne résistance aux agents chimiques

2. Les caractéristiques des résines aminoplastes sont voisines de celles des résines phénoliques. Aux avantages de ces résines, il faut ajouter :

- ✓ La possibilité d'utilisations alimentaires
- ✓ La possibilité de colorer les résines

3. Les résines furaniques sont assez peu utilisées à cause de leur coût, trois fois plus élevé que les résines polyesters. Parmi leurs avantages :

- ✓ Un durcissement plus rapide que les résines phénoliques
- ✓ Une grande inertie vis-à-vis des agents chimiques corrosifs.

Cette dernière caractéristique conduit à utiliser les résines furaniques dans le cas de matériaux devant résister aux produits chimiques : citernes, tuyaux, bacs, etc.

### • Les résines époxydes

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent cependant que de l'ordre de 5% du marché composite, à cause de leur prix élevé (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters).

Du fait de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les résines époxydes, généralement utilisées sans charges, sont les matrices des composites à hautes performances (constructions aéronautiques, espace, missiles, etc.).

Les caractéristiques mécaniques générales des résines époxydes sont les suivantes :

- Masse volumique 1100 à 1500 Kg/m<sup>3</sup>
- Module d'élasticité en traction 3 à 5 GPa
- Contraintes à la rupture en traction 60 à 80 MPa
- Contraintes à la rupture en flexion 100 à 150 Mpa
- Allongement à la rupture 2 à 5 %
- Résistance au cisaillement 30 à 50 MPa
- Température de fléchissement sous charge 290 °C

Les résines époxydes conduisent donc à un ensemble de performances élevées. Parmi les avantages des résines époxydes, nous retiendrons :

- ✓ De bonnes propriétés mécaniques (en traction, flexion, compression, choc, fluage, etc) supérieures à celles des polyesters,
- ✓ Une bonne tenue aux températures élevées : jusqu'à 150 °C à 190 °C en continu,
- ✓ Une excellente résistance chimique
- ✓ Une très bonne mouillabilité des renforts,
- ✓ Une excellente adhérence aux matériaux métalliques

Parmi les inconvénients, nous citerons :

- ✓ Un temps de polymérisation long
- ✓ Un coût élevé
- ✓ La nécessité de prendre des précautions lors de la mise en œuvre
- ✓ Une sensibilité à la fissuration

## I.2.2.Résines thermoplastiques

La famille des résines thermoplastiques (on parle de " plastiques ") est très vaste, et peut être séparée en plastiques de grande diffusion et plastiques techniques(ou technopolymères).

Les plastiques de grande diffusion sont mise en œuvre soit par injection pour obtenir des objets moulés, soit par extrusion pour obtenir des films, des plaques, des tubes, des profilés, etc. Les plastiques techniques sont généralement mise en œuvre par injection.

Parmi les résines thermoplastiques, nous citerons : le polychlorure de vinyle, le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le polyamide, le polycarbonate, etc. L'intérêt des thermoplastiques réside dans leur faible coût, résultant à la fois de matières premières disponibles et des procédés de fabrication. Toutefois, ce faible coût est lié à des propriétés mécaniques et thermomécaniques faibles. Nous donnons ci-après quelques caractéristiques pour le polypropylène et polyamide.

	Polypropylène	Polyamide
Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	900	1140
Contrainte à la rupture (MPa)	20-35	60-85
Module d'élasticité (GPa)	1,1-1,4	1,2-2,5
Température de fléchissement sous charge (°C)	50-60	65-100

**Tableau.1** : Caractéristique des résines thermoplastiques.

Les divers thermoplastiques peuvent être renforcés par des fibres et font partie alors des matériaux composites. Cependant, dans le domaine des composites, les résines thermoplastiques ont un développement limité, du fait de la nécessité de faire appel à des transformations à hautes températures de produits solides.

### I.2.3. Résines thermostables

Les résines thermostables se distinguent des autres résines, précédemment considérées, essentiellement par leurs performances thermiques qui conservent leurs propriétés mécaniques pour des températures plus élevées que 200 °C. Dans la pratique nous retrouvons pour ces résines les deux grandes familles des résines thermoplastiques et thermodurcissables.

Les résines thermostables sont développées surtout dans les domaines de l'aviation et de l'espace, où les laboratoires cherchent à mettre au point de nouvelles résines. Parmi les résines thermostables, les résines bismaléimides et polyimides sont les plus utilisées.

Les résines bismaléimides sont des résines dont le réseau est élaboré à des températures de 180 à 200 °C.

Les procédés de moulage sont identiques à ceux des composites à matrice thermodurcissable de type polyester ou époxyde.

Les résines polyimides sont apparues sur le marché vers 1970. Ce sont des résines à hautes résistance thermique, mais de prix très élevé. Ces résines permettent d'obtenir des composites de résistances supérieure, à 250 °C, à la résistance de l'aluminium.

### I.3. Charges et les additifs

Différents produits peuvent être incorporés à la résine pour lui conférer des caractéristiques particulières ou en réduire le coût. La quantité des produits ajoutés peut varier de :

- ✓ Quelques dizaines de % dans le cas de charges
- ✓ à quelques % et moins dans le cas d'additif

L'addition de ces produits a pour fonction soit d'améliorer les caractéristiques mécaniques et physiques du produit fini, soit d'en faciliter la mise en œuvre. Nous donnons dans ce paragraphe des exemples de charges et d'additifs.

#### I.3.1. Charges

- **Charges renforçantes** : l'objet de l'incorporation de charges renforçantes est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine.
- **Charges non renforçantes** : les charges non renforçantes ont pour rôle soit de diminuer le coût des résines en conservant les performances des résines, soit d'améliorer certaines propriétés des résines

#### I.3.2. Additifs

Les additifs se trouvent en faible quantité (quelque % et moins) et interviennent comme :

- ✓ Lubrification et agents de démoulage
- ✓ Pigments et colorants
- ✓ Agents anti-retrait

✓ Agents anti-ultraviolets

- **Lubrification et agents de démoulage** : ces additifs ont pour objet de faciliter le façonnage de la résine et réduire la tendance de la résine à adhérer aux moules, aux mandrins, etc.
- **Pigments et colorants** : les pigments sont des produits insolubles se présentant sous forme de poudres ou de paillettes. Ils sont obtenus à partir d'oxydes ou de sels métalliques. À partir de ces pigments, il est possible d'obtenir des pâtes colorantes constituées de dispersions de pigments dans une pâte, pour une utilisation aisée.

Les colorants sont des composés organiques solubles dans un solvant adapté.

- **agents anti-retrait et agents de fluage** : la polymérisation des résines conduit à une diminution des distances interatomiques du monomère initial. Il s'ensuit un retrait de la résine polymérisée, qui peut aboutir à un mauvais état de surface, à un gauchissement ou à des microfissures des pièces moulées. Bien que l'incorporation des charges à la résine limite le retrait, il est souvent nécessaire d'ajouter des produits spécifiques anti-retrait, qui diminuent ou annulent le phénomène de retrait. Ces produits améliorent également l'écoulement de la matière dans certaines techniques de moulage. Ces agents anti-retrait sont généralement des produits à base thermoplastiques ou d'élastomères, se présentant sous forme de poudre ou en solution dans du styrène.
- **Agents anti-ultraviolets**  
Les agents anti-ultraviolets ont pour fonction de protéger les résines de l'action des rayons ultraviolets contenus dans le rayonnement solaire. Le principe de ces agents est d'absorber le rayonnement ultraviolet et d'éviter ainsi une détérioration prématurée de la résine par rupture de liaisons atomiques ou par passage à un état excité qui favorise l'oxydation.

## I.4. Fibres et tissus

Les matériaux de renfort confèrent aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc. Ces renforts permettent également d'améliorer certaines des propriétés physiques : comportement thermique, tenue en température, tenue de feu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques, etc. Les caractéristiques recherchées pour les renforts sont : des caractéristiques mécaniques élevées, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec les résines, une bonne facilité de mise en œuvre, un faible coût, etc.

En fonction des utilisations, les renforts peuvent être d'origines diverses : végétale, minérale, artificielle, synthétique, etc. Toutefois, les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées, et constituent une fraction volumique du matériau composite généralement comprise entre 0,3 et 0,7. Les renforts fibres se présentent sous diverses formes commerciales :

- ✓ Sous forme linéique (fils, mèches, etc.)
- ✓ Sous forme de tissus surfaciques (tissus simples, mats, etc.)
- ✓ Sous forme multidirectionnelle (tresses, tissus complexes, etc.)

### I.4.1. Formes linéiques

Les fibres sont élaborées suivant un diamètre de quelques micromètres (une dizaine), et ne peuvent par conséquent pas être utilisées sous forme unitaire. Pour leur utilisation pratique, ces fibres sont réunies en fils ou en mèches de différentes formes. La nomenclature générale des diverses formes linéiques est encore mal déterminée, et généralement dérivée de celle utilisée pour les fibres de verre.

La fibre unitaire est généralement appelée filament élémentaire ou monofilament. Les monofilaments sont ensuite réunis en fils ou mèches. Les fils continus ou discontinus sont caractérisés par leur masse linéique. Cette masse linéique dépend du diamètre et du nombre de monofilaments.

### I.4.2. Formes surfaciques

Les fils peuvent être utilisés pour réaliser des formes surfaciques de divers types : mats, tissus ou rubans, essentiellement développés dans le cas de fibres de verre.

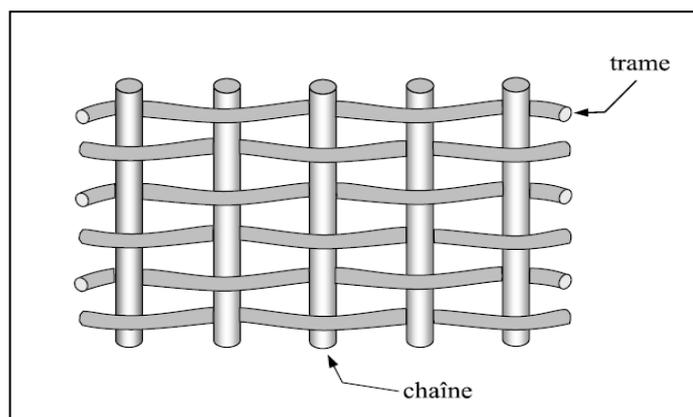
- **Mats**

Les mats sont des nappes de fils continus ou discontinus, disposés dans un plan sans aucune orientation préférentielle. Ils sont maintenus ensemble par un liant soluble ou non dans les résines, suivant la mise en œuvre. L'absence d'orientation préférentielle des fibres conduit à une isotropie des propriétés mécaniques du mat dans son plan.

- **Tissus et rubans**

Un tissu (ou ruban) est un ensemble surfacique de fils, de mèche, etc., réalisé sur un métier à tisser. Il est constitué ( Figure1)

- ✓ D'une chaîne, ensemble de fils parallèles répartis dans un plan suivant la longueur du tissu.
- ✓ D'une trame, ensemble de fils s'entrecroisant avec les fils de chaîne.



**Fig.1** : chaîne et trame d'un tissu.

## I.5. Principales fibres

### I.5.1. Fibres de verre

Le verre sous forme massive est caractérisé par une très grande fragilité, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration. Par contre, élaboré sous forme de fibres de faibles diamètres (quelques dizaines de micromètre), le verre perd ce caractère et possède alors de bonnes caractéristiques mécaniques. Les fibres de verre sont élaborées à partir d'un verre filable, appelé verre textile, composé de silice ; alumine, chaux, magnésie, etc. Ces produits peu coûteux, associés à des procédés assez simples d'élaboration, confèrent aux fibres de verre un excellent rapport performances/prix, qui les place de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans les matériaux composites.

Suivant leurs compositions, différents types de verres filables peuvent être obtenus (tableau 1). Dans la pratique, les verres de type E constituent la presque totalité du tonnage de verre textile produit actuellement. Les autres verres, représentant globalement une faible quantité (environ 1%) sont réservés à des applications spécifiques :

- ✓ Le verre D, à hautes propriétés diélectriques, pour la construction de matériel électronique de télécommunications.
- ✓ Le verre C, résistant aux agents chimiques pour les couches superficielles des structures particulièrement exposées sur le plan chimique.
- ✓ Les verres R et S, à caractéristiques mécaniques élevées pour la réalisation de structures à hautes performances mécaniques.

type	Caractéristiques générales
E	A usage général ; bonnes propriétés électriques
D	Hautes propriétés diélectriques
A	Haute teneur en alcali
C	Bonne résistance chimique
R, S	Haute résistance mécanique

**Tableau.2** : Différents types de verres filables.

### I.5.2 : Fibres de carbone

Les fibres de carbone possèdent de très bonnes caractéristiques mécaniques d'autant plus que leur masse volumique est faible (généralement inférieure à  $2000 \text{ Kg/m}^3$ ). Le tableau 2 compare les caractéristiques des fibres de carbone à celles des fibres de verre E. on outre, il faut noter que les fibres de carbone ont une excellente tenue en température, en atmosphère non oxydante. En effet, leurs caractéristiques mécaniques sont maintenues jusqu'à  $1500^\circ\text{C}$  environ.

Cette propriété a conduit à développer des composites fibres de carbone/matrice de carbone, à hautes tenue thermique, utilisés dans les tuyères de fusée, les plaquettes de freins (camion, avions), les éléments de fours, etc. ces matériaux, revêtus d'une couche protectrice anti-oxydante,

trouvent également des applications en atmosphère oxydante dans le domaine spatial : bords, tuiles, etc.

Le produit de base est le fil contenu ou stratifil carbone, constitué de monofilaments de carbone (par exemple : 500, 1000, 3000, 6000, 10000, etc. filaments) assemblés sans torsion. Ces stratifils peuvent être utilisés directement pour les procédés de fabrication de composites par pultrusion ou par enroulement filamentaire. Les stratifils peuvent être également tissés pour obtenir des rubans, des tresses, des tissus unidirectionnels ou multidirectionnels, des tissus hybrides (verre-carbone, Kevlar- carbone) etc. Ces diverses formes peuvent éventuellement être préimprégnées

Caractéristiques	Verre	Carbone(Type1 : HR )	Carbone( Type 2)	Carbone( Type 3)	Carbone( Type 4)
Masse volumique $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	2600	1750	1810	1950	2000
Diamètre( $\mu\text{m}$ )	10 à 20	5 à 7	5 à 7	5 à 7	12
Module d'Young( GPa)	73	230	400	600	280
Contrainte à la rupture	3400	3000-4000	2800	2000	2000-2400
Prix de revient	1	10-15	30-50	200-400	50-100

**Tableau.3:** caractéristiques des fibres de carbone, comparées à celles des fibres de verre E.

### I.5.3. Fibres aramides

Les caractéristiques mécaniques des fibres aramides sont reportées dans le tableau 3 pour des monofilaments. Sur fils multifilaments, les caractéristiques sont généralement plus faibles. Le tableau montre une contrainte spécifique à la rupture élevée, du même ordre de grandeur que les fibres de carbone haute résistance HR (tableau2), toutefois avec un prix de revient 4 à 6 fois moindre. Néanmoins, leur utilisation est limitée par diverses faiblesses des matériaux composites à fibres aramides :

- Résistances faibles à la compression, à la flexion.
- Sensibilité au cisaillement

Ces faiblesses sont généralement attribuées à une mauvaise adhérence fibre-matrice.

## I.6. CONCLUSION

Le renfort apporte au matériau composite des performances mécaniques élevées, alors que la matrice a pour rôle de transmettre aux fibres les sollicitations mécaniques extérieures et de les protéger vis-à-vis des agressions extérieures.

# CHAPITRE II

## DIFFERENTES APPLICATIONS DE L'ENROULEMENT FILAMENTAIRE

## II.1. INTRODUCTION

Les stratifiés à base de polyesters insaturés, de vinylesters, d'époxydes, de polymères thermoplastiques divers, grâce à leurs excellentes performances (physiques, mécaniques...) et à leur résistance chimique et à la corrosion sont utilisés dans toutes les industries où l'on a besoin de résister à l'eau, à la corrosion ainsi qu'aux nombreux produits chimiques utilisés.

Leur application est non seulement dans les domaines du génie chimique, de la construction et de l'anticorrosion, mais aussi dans d'autres industries où l'on a besoin de matériaux résistant à des produits plus ou moins agressifs ou corrosifs, par exemple :

- l'industrie automobile où les carrosseries doivent résister aux intempéries et à la corrosion ;
- l'industrie mécanique où les matériaux doivent résister aux huiles et aux graisses,
- l'industrie agroalimentaire où les matériaux doivent résister à certains produits agressifs, vinaigre, sauces, produits acides. Et nous avons aussi inclut la construction navale, où les matériaux doivent résister à l'eau de mer pendant de très longues durées.

## II.2 Différentes Applications De L'enroulement Filamentaire

### II.2.1 Génie chimique

#### II.2.1.1. Tuyauteries

Les tuyaux en plastiques renforcés constituent un marché très important, car ils sont utilisés dans de nombreuses industries pour véhiculer aussi bien des produits chimiques, des carburants, du pétrole, des fluides et gaz divers, de l'eau... ainsi que dans le bâtiment et les travaux publics pour le transport d'eau potable, d'eaux usées, etc. Ce transport s'effectue sans pression ou sous des pressions variables de 1 à 100 bar voire davantage. Ces tuyaux reviennent nettement moins cher que ceux en acier inox.

#### a. Fabrication :

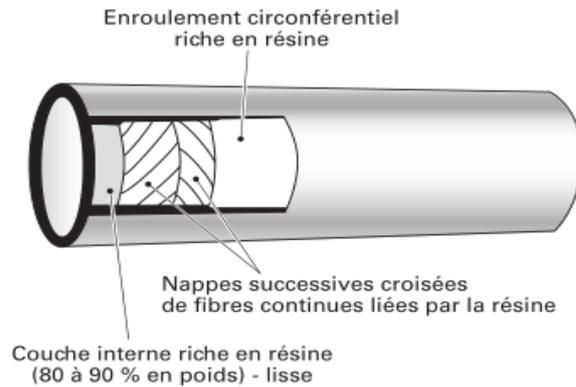
Ces tuyaux peuvent être fabriqués avec diverses résines :

- polyesters insaturés pour de nombreuses applications ;
- vinylesters pour une meilleure résistance aux produits chimiques ;
- époxydes pour des applications exigeantes telles que le transport de produits chimiques mais avec en plus l'avantage d'avoir une grande résistance mécanique et à la pression.

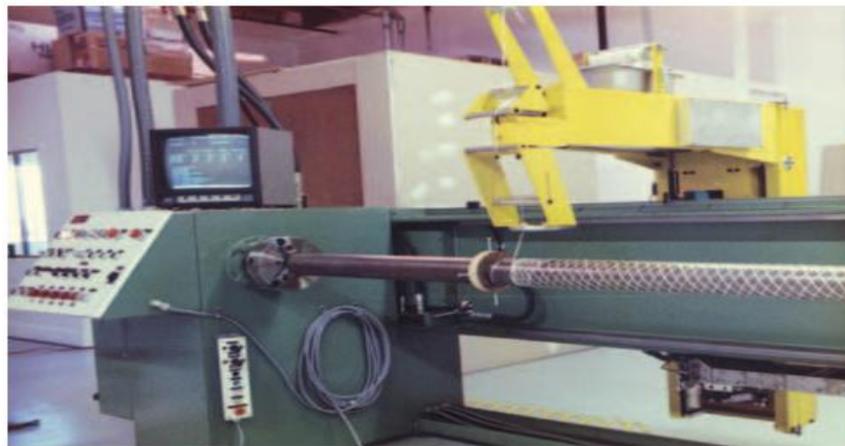
Les tuyaux sont en général fabriqués par enroulement filamentaire de fibres de verre sous forme de rovings continus. Le moulage peut être effectué sur mandrins en acier préchauffés.

En partant de la surface en contact avec les produits agressifs, on applique d'abord la couche anticorrosion comportant une haute teneur en résine : 80 à 90 %, puis on réalise l'enroulement hélicoïdal du roving imprégné de résine, selon des angles qui peuvent être très variables, de 45 à 60° par rapport à l'axe du mandrin, jusqu'à l'obtention de l'épaisseur désirée, avec un taux de renfort de 60 à 70 % (voir figure 1).

La figure 2 montre la fabrication d'un de ces tuyaux. La résine d'imprégnation ne contient ici pas de charges afin d'être relativement transparente pour permettre un contrôle de qualité visuel (pas de bullage ni de vides).



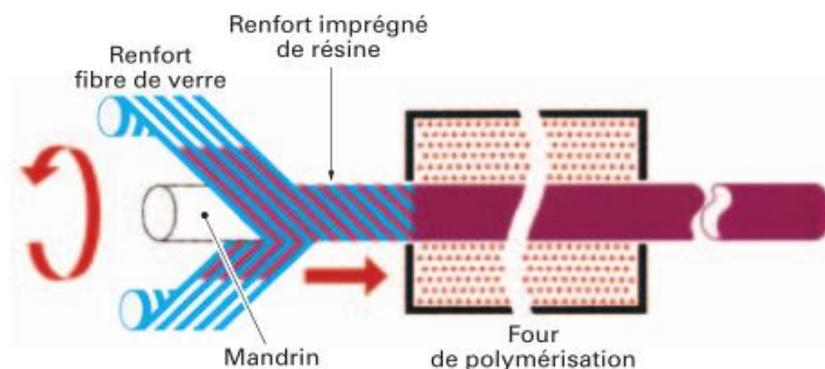
**Fig.1:** Constitution des parois de tubes résistant aux produits chimiques [article 1].



**Fig 2:** Enroulement filamentaire d'un tube renforcé de fibres de verre [article 1].

La polymérisation est effectuée en étuve le plus souvent, pour satisfaire aux cadences de production, sauf pour des pièces de très grandes dimensions (tuyaux de plusieurs mètres de diamètre) qui peuvent être simplement chauffées par des panneaux radiants, afin d'accélérer la polymérisation et le durcissement.

La figure 3 montre la fabrication d'un tuyau ou d'un tube par enroulement continu et passage dans un four de polymérisation.



**Fig.3 :** Fabrication d'un tuyau ou d'un tube par enroulement continu et passage dans un four de polymérisation [article 1].

## b. Contrôle

On contrôle la régularité de l'épaisseur par pesée ou par jauges d'épaisseur. D'autres contrôles sont effectués : dureté Barcol pour vérifier que la polymérisation a bien été complète, test de mise en pression, teneur en fibres de renfort selon la norme ASTM 2587.67 T, résistance en traction circonférentielle selon la norme BS 5480, résistance en compression diamétrale selon la norme ASTM D 2412, etc.

## c. Normes concernant les tuyauteries et les méthodes d'essais

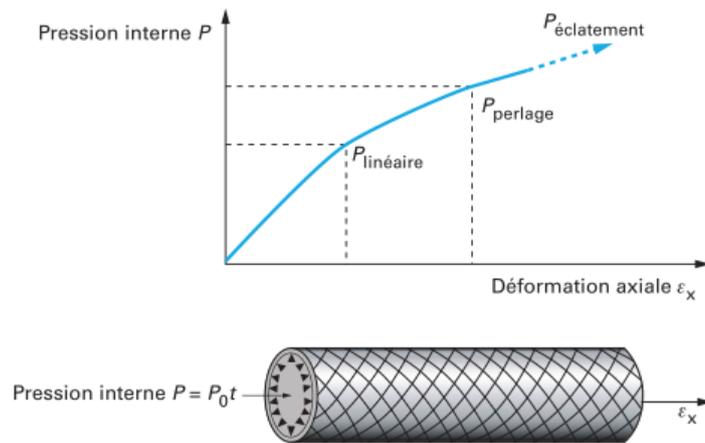
De nombreuses normes européennes, ISO, ASTM, ASME... concernent les tuyauteries. Se reporter au tableau 1

Méthode d'essai	Propriété	Valeur minimale à 20 C°
NF T 57-101	Contrainte à la rupture en traction longitudinale (tube)	50 N/mm <sup>2</sup>
NF T 57-101	Module d'élasticité en traction longitudinale (tube)	7000 N/mm <sup>2</sup>
NF T 57-105	Contrainte à la rupture en flexion longitudinale (tube)	80 N/mm <sup>2</sup>
NF T 57-105	Module apparent d'élasticité en flexion longitudinale (tube)	5000 N/mm <sup>2</sup>
ASTM D 2412	Coefficient de rigidité à 5% de déflexion	DN≤100 : 4,5N.m DN:150 : 22,6 N.m
NF T 57-106	Dureté Barcol	40* B

**Tableau.1** : Caractéristiques mécaniques exigées pour les tuyauteries destinées au transport d'hydrocarbures liquides.

## d. Résistance à la pression, phénomène de perlage

Certains tuyaux, peuvent être conçus pour résister à des pressions élevées, jusqu'à 50 bar, et à des températures jusqu'à 120 °C, selon les formulations. On contrôle cette résistance à la pression par un test dans lequel on ne doit constater aucun perlage (le perlage est l'apparition de gouttelettes ou de jets fins de liquide lorsqu'on met en pression un tube). La courbe de la figure 4 montre ce qui se produit lors de cette mise en pression. Au moment du perlage, un réseau de microfissures cheminant à l'interface entre fibres et matrice ou dans la matrice apparaît. Le perlage apparaît en général bien avant l'éclatement du tube, la pression de perlage n'est souvent que de 30 % de la pression d'éclatement.



**Fig.4 :** Comportement d'un tube en matériau composite mis sous pression interne croissante.

La pression admissible de service d'une tuyauterie est donc égale à la pression de perlage diminuée d'un facteur de sécurité. Par exemple, la norme américaine ASTM D 2992-01 indique comment obtenir, par extrapolation d'essais d'une durée de 10 000 h, la pression hydrostatique admissible pour une durée d'utilisation de plusieurs dizaines d'années.

Des tuyaux très spéciaux à base de résine époxyde peuvent résister à des pressions de 250 bar, leur prix étant sensiblement supérieur à celui des tuyaux en polyester/verre classiques. Ils sont le plus souvent à base de résines époxydes qui offrent des performances mécaniques supérieures.

Pour tous les types de tuyaux, les performances mécaniques, la tenue à la pression, les résistances aux produits chimiques, les prix au kilo, dépendent des résines utilisées, des renforts, de la constitution des stratifiés (nombre de plis ou de couches, épaisseurs, angle d'enroulement...) et la composition des parois est très variable.

À titre d'exemple non limitatif, le tableau 2 indique les performances de quelques types de tuyaux proposés par les sociétés Future Pipes, Wavin et Cord International.

<b>Caractéristiques physiques</b>		
Angle d'enroulement (par rapport à l'axe)	55° environ	
Pourcentage de verre(en masse, en moyenne)	60 à 75 %	
Densité	1,8 à 1,9	
<b>Caractéristiques mécaniques</b>		
	Verre/époxyde	Verre/polyester
Résistance en traction longitudinale (rupture) N/mm <sup>2</sup>	70 à 80	60 à 70
Résistance en traction circon-férentielle (rupture) N/mm <sup>2</sup>	300	250
Résistance en flexion N/mm <sup>2</sup>	90 à 110	65 à 85
Module d'élasticité circonférentiel	20	18
<b>Caractéristiques thermiques</b>		
	Verre/époxyde	verre/polyester
Coefficient de dilatation linéaire (10 <sup>-6</sup> /°c)	20	20
Conductivité thermique ( kcal /m/°c/h)	0,3	0,25 à 0,35
Température de fléchissement sous charge(°c)	130	100
Température minimale admissible (°c)	-200	-30

**Tableau.2 :** Principales caractéristiques de tuyaux en plastique renforcé de fibres de verre.

**e. Utilisations des tuyaux en plastique renforcé** (exigences particulières) : Les utilisations sont très nombreuses, dans toutes les industries.

- **Industries du pétrole et du gaz, pétrochimie**

- Offshore (conduites de refroidissement par eau de mer, de liquides de forage, de ballastage...), tankers, raffineries;
- Réseaux d'eaux de refroidissement, d'eaux usées ;
- Pipelines de transport du pétrole, de gaz, d'hydrocarbures, canalisations de dégazage ;
- Réseaux de lutte contre l'incendie ;
- Etc.

Pour certaines applications, les polyesters renforcés de fibres de verre suffisent, mais pour le transport d'hydrocarbures liquides, la spécification T 57 de mai 1983 exige les caractéristiques suivantes :

- Les tuyauteries doivent être fabriquées en époxyde/verre.
- Le tube aura un renforcement continu de fibres de verre obtenu par enroulement filamentaire biaxial selon des angles définis dans la norme.

- Le renfort en fibres de verre doit représenter au moins 60 % du poids total (et pour les accessoires 40 %).
- Les liaisons entre tubes se font par un système d'emboîtement biconique ou cylindroconique pour les parties assemblées par collage, ou par un système de liaisons mécaniques préfabriquées (filetages, brides) qui doivent assurer une étanchéité totale.
- Les essais de compatibilité chimique (norme NF M 88-550) doivent prouver que :
  - o la surface extérieure de la paroi résiste à l'action des agents corrosifs du sol : pour cela on réalise un essai avec une solution de carbonate de soude à pH 12 et une solution d'acide sulfurique à pH 3 ;
  - o la surface intérieure de la paroi résiste à l'action des produits avec lesquels elle est en contact.
- Les caractéristiques mécaniques minimales sont les suivantes :
  - o la résistance à la traction circonférentielle sous pression interne est déterminée selon le standard ASTM D 2992 ;
  - o les autres caractéristiques mécaniques doivent satisfaire aux valeurs du tableau 1 ;
  - o les tubes et accessoires doivent être garantis pour une pression maximale admissible statique au moins égale à 12 bar et une pression d'éclatement au moins égale à 36 bar.

• **Exploitation pétrolière à grande profondeur et forte pression**

Pour les plates-formes qui doivent exploiter à grande profondeur (ex. : Girassol exploité par TotalFinaElf), les tubages métalliques, qui pèsent très lourd, ne sont plus possibles : on a donc fait appel aux tubes en matériaux composites, et le tableau 3 montre les gains considérables de poids obtenus.

À Girassol, le pétrole arrive par trois tours verticales de 1 250 m de haut, reliées à un ensemble de 70 km de conduites raccordées à 11 puits aériens et 39 puits sous-marins depuis 2003. Les matériaux composites ont été choisis pour résister aux fortes pressions (140 à 270 bar dans le gisement), véhiculer l'huile à 40 °C et résister à la corrosion par l'eau de mer.

Une étude montre que les polyesters et les époxydes résistent à l'absorption d'eau aussi bien sous forte pression qu'à la pression atmosphérique.

	Acier	Verre/ époxyde	Carbone/ époxyde
Diamètre extérieur (mm)	114,3	118	118
Epaisseur totale (mm)	7,4	7,3	7,3
Densité des matériaux	7,8	2,1	1,55
Masse linéaire dans l'air ( kg/m)	19,6	6,6	5,1
Masse linéaire dans l'eau ( kg/m)	17,0	4,7	3,3

**Tableau.3** : Comparaison tubes composites/ tubes acier.

- **Centrales thermiques ou nucléaires**

- Réseaux d'eaux de refroidissement, pouvant éventuellement servir au chauffage urbain des villes.
- Cheminées industrielles.

Pour la tenue aux fluides chauds (jusqu'à 110 °C) ou pour résister à des pressions pouvant atteindre 25 bar, on utilise de préférence des résines époxydes spéciales pour tenue à la chaleur.

- **Distribution d'eau**

- Réseaux d'eau sanitaire froide ou chaude.
- Réseaux d'eau potable, où le polyester renforcé de fibres de verre permet d'enterrer des canalisations sans besoin d'entretien et sans risques de fuite pendant des dizaines d'années, alors que les canalisations en fonte ont une durée de vie limitée et que beaucoup présentent des fuites entraînant des pertes notables.
- Systèmes de dessalement d'eau de mer.

- **Industrie chimique**

- Transport et stockage de produits chimiques nombreux, de pâte à papier, de produits de blanchiment, d'effluents divers pollués... Dans tous les cas, les résines utilisées comme matrices doivent être choisies en fonction des produits chimiques avec lesquels elles seront en contact, et en fonction des températures et pressions prévues.

- **Industrie agroalimentaire**

- Canalisations pour transport de lait, de vinaigre...etc.

Les polyesters et vinylesters peuvent convenir, pour le contact avec des produits alimentaires, à condition de respecter les précautions indiquées en [COR 501, § 2.3] (post-cuisson, utilisation de résines et de catalyseurs adéquats, selon les indications des fabricants de résines, lavage des pièces après polymérisation). Ils ne communiquent pas de goût aux aliments contenus à condition que la résine soit complètement polymérisée.

## **f. Normes**

Des normes spécifiques existent pour chaque application. Les tubes en PRV pour les industries chimiques sont normalisés selon DIN 16965.

Citons également :

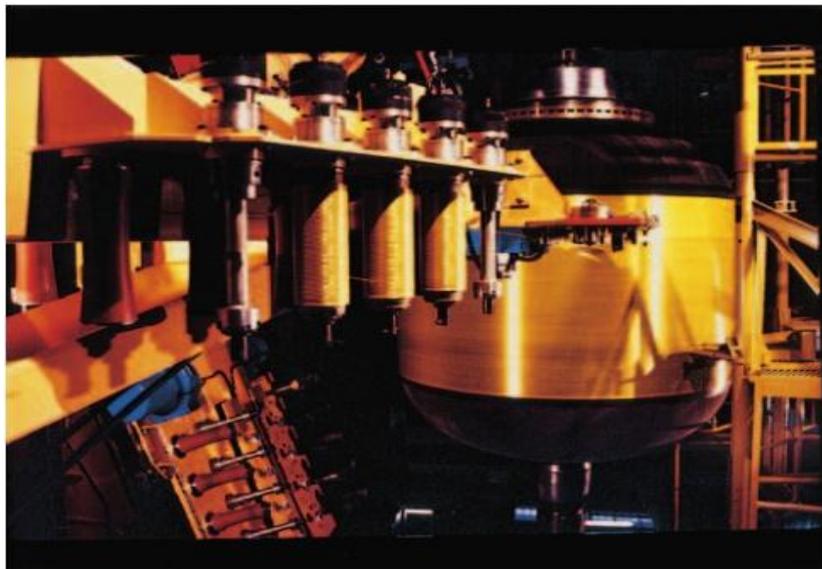
- ASME B 31.3 « Chemical plants and petroleum refineries piping » ;
- BS 6464-1984 « Reinforced plastic pipes, fittings and joints for process plants » ;
- UK 00A-94 « Specifications and recommended practice for the use of GRP pipes offshore, etc. ».

### II.2.1.2. Cuves, réservoirs

Tout ce qui a été dit sur la constitution, les caractéristiques physiques et mécaniques, les résistances aux produits chimiques de tuyauteries pour diverses utilisations reste valable pour les cuves et réservoirs. Les industries utilisatrices sont les mêmes. Nous nous bornerons donc à citer quelques applications.

- L'application la plus importante en volume est le stockage d'hydrocarbures, soit industriel soit ménager (cuves de fuel), où le polyester renforcé verre suffit et est utilisé avec succès depuis 1960. Les cuves peuvent être enterrées sans risque de corrosion comme c'est le cas en revanche avec les cuves métalliques.

- Les capacités bobinées par enroulement filamentaire permettent de stocker des liquides ou des gaz sous pression. Au début, dans les années 1980, il était nécessaire de prévoir un liner intérieur métallique pour garantir l'étanchéité. Maintenant on peut stocker toutes sortes de liquides et de gaz dans des bouteilles avec liner non métallique, ce qui permet d'abaisser considérablement leur poids par rapport aux bouteilles en acier. La figure 5 montre la réalisation d'une cuve en époxyde/aramide par enroulement filamentaire résistant à la pression, pour des fusées.



**Fig.5** : Fabrication d'une capacité bobinée par enroulement filamentaire.

Des capacités bobinées par enroulement filamentaire et dont les parois sont convenablement formulées avec plusieurs plis croisés et une épaisseur suffisante peuvent résister à des pressions pouvant atteindre 200 bar.

- À noter que des réservoirs de fusées (Ariane et autres) contenant des propergols sont réalisés en carbone/époxyde.

– Depuis 1960, la firme belge Didak construit des citernes routières pour le fuel et autres hydrocarbures. Leur poids, sensiblement plus faible que celui d'une citerne acier, permet d'emporter, pour une capacité nominale de 12 000 L, 11 500 L, contre seulement 10 700 L avec une citerne acier, pour satisfaire la réglementation routière. D'autre part, la résistance aux chocs en cas d'accident est meilleure.

– Silos pour produits alimentaires ou autres : le PRV moyennant certaines règles de composition est agréé alimentaire.

- **Normes**

Diverses normes concernent les cuves et réservoirs. Citons par exemple :

– ASTM D 3299-81 « Filament wound glass fiber reinforced thermoset resin, chemical resistant tank » ;

– BS 4994-1987 « Design and construction of vessels and tanks in reinforced plastics ».

### **II.2.1.3. Réacteurs et mélangeurs**

Bien que cela se fasse encore peu, il paraît logique de réaliser des cuves de réacteurs et de mélangeurs en composites avec enroulement filamentaire. En effet, cette technique permet d'obtenir en une seule opération des cuves de révolution avec des fonds bombés, résistant à la pression éventuellement, et qui comportent une ouverture en haut, par exemple pour charger les produits et introduire les systèmes de mélange, et une ouverture en bas pour dépoter les produits après mélange ou réaction.

Il n'est donc pas nécessaire, comme en chaudronnerie inox, de souder des fonds bombés aux viroles ni de découper des trous d'accès ou regards. Il faut simplement prévoir une épaisseur suffisante des parois car le frottement éventuel des pales et racleurs peut user progressivement ces parois en PRV.

Dans tous les cas, les résines utilisées comme matrices doivent être choisies en fonction des produits chimiques avec lesquels elles seront en contact, et en fonction des températures et pressions prévues

- **Citons les applications suivantes**

– Des réacteurs chimiques ont été construits en verre/vinylester pour des usines de pâte à papier et des usines chimiques.

– Les fosses septiques sont maintenant le plus souvent en plastique renforcé, ce qui facilite leur mise en place grâce à un poids beaucoup plus faible, et garantit, à un coût moindre, une longue durée de vie.

– Le traitement des eaux de source peut se faire avec de l'hypochlorite de calcium ou du sulfate d'alumine : ces produits corrodent le béton et l'acier mais le PRV est insensible.

- **Normes** : Parmi les normes, citons :

– ASME section X « Boilers and pressure vessel code, Fiberglass reinforced plastic pressure vessels ».

#### II.2.1.4. Autres appareils chimiques et industriels

Ici aussi les appareils en inox peuvent être remplacés par des PRV. Citons quelques applications.

- Des filtres industriels sont fabriqués par la société Vaslin à Angers.
- Échangeurs thermiques : la figure 6 montre la photo d'un échangeur thermique multitubulaire réalisé en DIABON HF1 graphite renforcé de fibres de carbone. Les caractéristiques mécaniques et la résistance chimique de ce matériau; elles sont élevées et sa résistance chimique est excellente, y compris aux acides phosphorique et fluorhydrique pourtant extrêmement agressifs.



**Fig.6 :** Montage d'un échangeur thermique pour la concentration d'acide phosphorique (exemple d'application typique des tubes en DIABON HF1 renforcé fibres de carbone).

- Cette même société produit aussi des appareils chimiques en graphite imprégné de résines époxydes à très haute résistance chimique.
- Des goulottes qui véhiculent les eaux de refroidissement et des pales de ventilateurs en PRV sont utilisées dans les centrales thermiques françaises de Chinon et Belleville.

#### II.2.1.5. Unités d'électrolyse de chlorures alcalins

Des installations bien étudiées en PRV ont atteint à ce jour une durée de vie de 25 ans alors que, lorsque l'on utilise des matériaux classiques (par exemple, l'acier caoutchouté), les durées de vie ne dépassent pas 4 ans.

Actuellement, plus de 100 installations complètes d'électrolyse de chlorures alcalins en PRV sont en service en Europe.

## II.2.2 Travaux publics

Il s'agit ici de remplacer des ouvrages en métal ou en béton, afin de réduire l'entretien (peinture régulière des métaux), de réaliser des structures plus légères mais néanmoins rigides et durables, offrant une longue résistance aux intempéries ou à des produits agressifs.

- **Poteaux et pylônes électriques** : on peut fabriquer par enroulement filamentaire des pylônes électriques même de grande hauteur, grâce à leur importante rigidité, et à leur isolation électrique.

Diverses sociétés vendent des poteaux électriques ou téléphoniques en PRV qui peuvent remplacer les poteaux de béton, lourds et difficiles à installer.

Les bonnes propriétés diélectriques de ces poteaux suppriment la nécessité de leur mise à la terre.

- **Égouts** : il est plus simple, donc plus économique, de réaliser des tuyauteries d'égouts en PRV par enroulement, plutôt qu'en béton.

## II.2.3 Construction automobile

- **Pièces de carrosseries**

Le remplacement des pièces de carrosserie en métal peint par des pièces en composites a permis de s'affranchir complètement des risques de corrosion, rouille, etc. On utilise plusieurs résines pour les matrices : polyester renforcé verre pour des voitures de sport, alliages de thermoplastiques, pour des ailes, pour des pare-chocs, fabriqués par moulage par compression et par injection. Les camions ont été les premiers, depuis plusieurs décennies, à adopter des ailes, capots, panneaux de toiture, en polyester renforcé verre. On peut aussi mentionner les arbres de transmission en verre/époxyde ou en carbone/époxy réalisés par enroulement filamentaire.

## II.3. CONCLUSION

L'application de l'enroulement filamentaire est non limitée, on la trouve dans différents domaines, soit dans les domaines du génie chimique, soit dans l'industrie automobile, mécanique et agroalimentaire, soit dans les domaines de travaux publics.

Les tubes métalliques, qui pèsent très lourd, ne sont plus possibles, on a donc fait appel aux tubes en matériaux composites pour l'exploitation pétrolière à grande profondeur et forte pression puisque une étude montre que les polyesters et les époxydes résistent à l'absorption d'eau aussi bien sous forte pression.

Pour tous les types : tuyaux, cuves, réservoirs ... etc., les performances mécaniques, la tenue à la pression, les résistances aux produits chimiques, les prix au kilo, dépendent des résines utilisées, des renforts, de la constitution des stratifiés (nombre de plis ou de couches, épaisseurs, angle d'enroulement...).

# CHAPITRE III

CONCEPTION SOUS SOLIDWORKS

DE LA MACHINE D'ENROULEMENT

FILAMENTAIRE REALISEE

### **III.1. INTRODUCTION**

Dans ce chapitre, on va présenter les différentes pièces, l'assemblage complet de la machine sous solidworks, et une animation qui montre le principe de fonctionnement.

### **III.2. Conception de la machine d'enroulement filamenteire**

#### **III.2.1. Solidworks**

SolidWorks est un modelleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

La pièce est l'objet 3D monobloc. La modélisation d'une telle entité dépendra de la culture de l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels conviviaux, SolidWorks permet d'aboutir à un même résultat apparent par des voies souvent différentes. C'est lors de la retouche de ces fichiers ou de leur exploitation qu'on appréciera la bonne méthode.

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométriques, des relations booléennes (ajout retrait)... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction qu'on peut renommer à sa guise.

#### **III.2.2. À quoi sert SolidWorks**

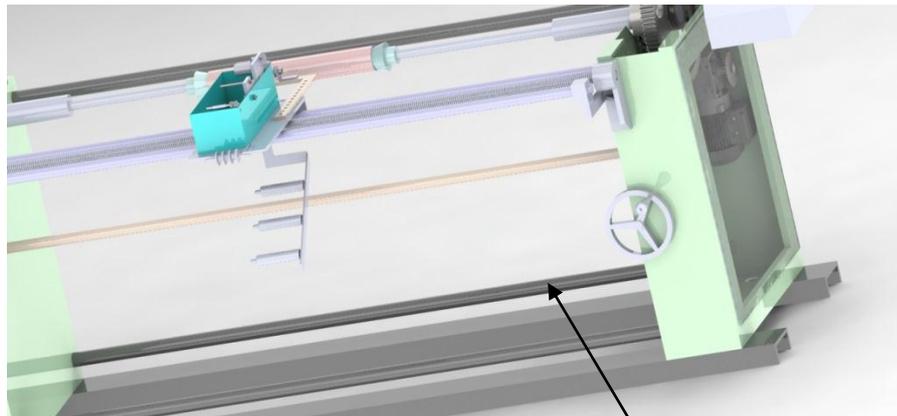
- Sert à concevoir en 3D des pièces mécaniques voir des objets montés (ex : boulons, moteurs, véhicules, ...), mais également des meubles et charpentes grâce au module menuiserie ;  
Il permet de générer la gamme d'usinage avec des outils dispo en bibliothèque ;
- Une fois la gamme d'usinage créée, il peut générer le fichier de commande numérique.

### III.2.3. Conception par solidworks

#### III.2.3.1. Carcasse

La carcasse constituant le bâti est composée de tôles mécano-soudées d'épaisseur 5 mm. Les faces latérales sont distantes de 2 m et reposent sur 2 profilées en U. Pour leur maintien, elles sont reliées entre elles par 4 tubes suffisamment rigides.

Les organes de transmission de puissance situés au niveau de ces faces latérales sont protégés par des couvercles.



**Tube**

**Fig.1** : Tubes de liaison des faces latérales.

**Couvercle**



**Face latérale  
du bâti**

**Profilées  
en U**

**Fig.2** : Ensemble des pièces vues du côté face latérale du bâti.

### III.2.3.2. Système de rotation de la barre

Le système de rotation de la barre est composé de :

#### a) Variateur de fréquence relié au moteur

Son rôle est la variation de la vitesse de rotation du moteur, ce qui implique la variation de la vitesse de rotation du mandrin.



**Fig.3** : variateur de fréquence.

#### b) Moteur d'entraînement

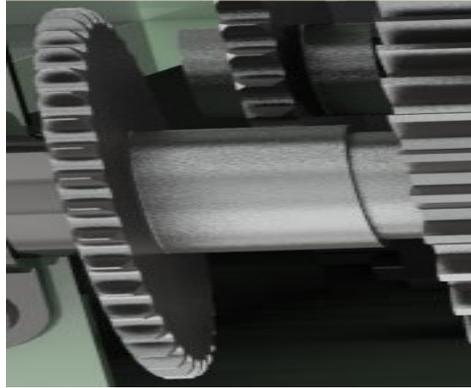
Le moteur d'entraînement utilisé pour la rotation de la barre est de type moteur Asynchrone triphasé. Il est équipé d'un réducteur (d'où le nom de motoréducteur). Il est caractérisé par une puissance de 0,18 kW, de vitesse de rotation de 1400tr/mn et de rapport de réduction 1/15.



**Fig.4** : Motoréducteur pour la rotation de la barre d'enroulement.

### c) Chaîne de transmission de puissance

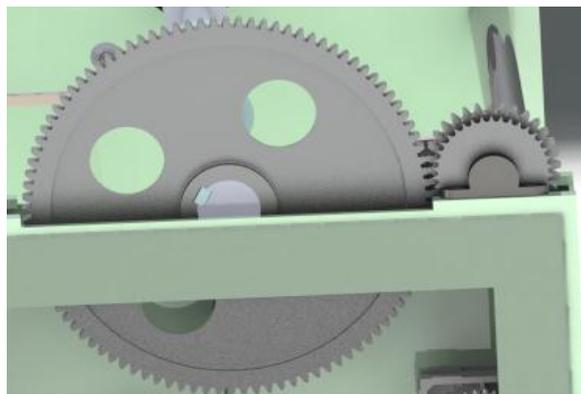
La chaîne permet de transmettre la puissance entre le motoréducteur et l'engrenage. Elle est de type chaîne à rouleau de la série européenne 06B (le pas est de 9,525 mm).



**Fig.5 :** Chaîne d'entraînement de la barre d'enroulement.

### d) Engrenage

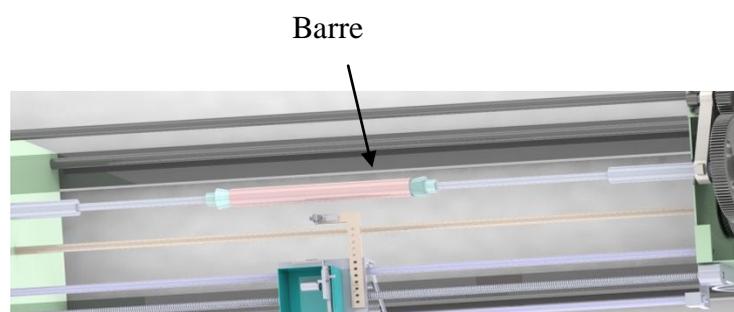
L'engrenage permet de transmettre la puissance entre la chaîne et la barre d'enroulement. L'engrenage utilisé dans la machine est de type : engrenage cylindrique à denture droit de module 4 mm. La roue motrice est en bronze et la roue réceptrice (couronne) est en l'acier.



**Fig.6 :** deux roues d'engrenage.

### e) Barre d'enroulement

La barre est en acier de diamètre de 28 mm et de longueur de 2160 mm. Elle a pour fonction l'entraînement du cylindre d'enroulement auquel est liée par des cônes.



**Fig.7 :** Barre liée au.

### III.2.3.3. Système de translation du dispositif d'enroulement

Le système de translation du dispositif d'enroulement est composé de :

#### a) Variateur de fréquence relié au moteur

Son rôle est la variation de la vitesse de rotation du moteur, ce qui implique la variation de la vitesse de la translation de l'écrou.



**Fig.8** : Variateur de fréquence du système de translation.

#### b) Moteur d'entraînement

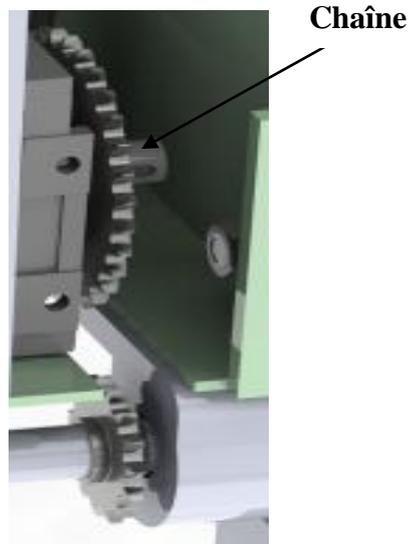
Le moteur d'entraînement utilisé pour la translation du dispositif d'enroulement est de type moteur Asynchrone triphasé équipé d'un réducteur. Il est caractérisé par une puissance de 0,18 kW, de vitesse de rotation de 1400tr/mn et de rapport de réduction 1/10.



**Fig.9** : Moteur pour la rotation de la vis.

### c) Chaîne de transmission de puissance

La chaîne permet de transmettre la puissance entre le moteur et le système vis-écrou. Elle est de type chaîne à rouleau de la série européenne 08B (pas de 12,7 mm).



**Fig.10** : Chaîne d'entraînement du dispositif de translation.

### d) Système vis-écrou

Le système vis-écrou permet de transformer le mouvement de rotation de la vis en un mouvement de translation de l'écrou, c'est-à-dire la translation du dispositif d'enroulement (bain de résine). Cette translation permet de parcourir toute la longueur du mandrin. La vis est à filet trapézoïdale.



**Fig.11** : Système vis-écrou.

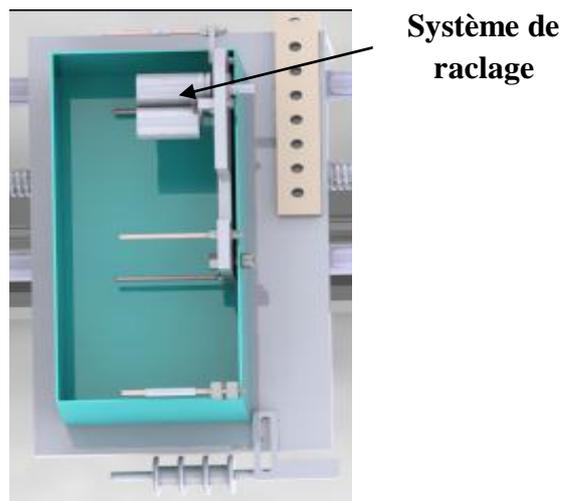
### III.2.3.4. Bain de résine

Le bain de résine est sous forme d'un réservoir. Il est réalisé par soudage d'un ensemble de tôles d'épaisseur de 1,5 mm, fabriqué en aluminium.

Il contient de la résine en époxyde, polyester ...etc. Le stratifil est imprégné dans le bain de résine avant son enroulement sur le mandrin. Cette résine permet de donner la forme du moule souhaité, d'augmenter les performances mécaniques, thermique, etc..., du produit.

Le passage du stratifil dans le bain de résine est réalisé par un système de guidage. Celui-ci est composé d'un ensemble de poulies qui permettent au bon guidage du stratifil et aussi d'assurer la tension convenable de ces derniers.

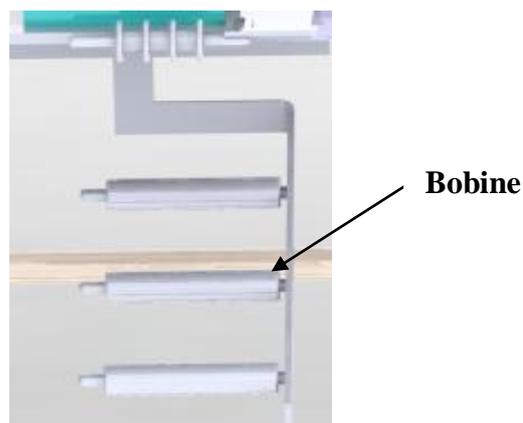
Un système de raclage du stratifil est utilisé pour réduire la quantité de résine imprégnée sur les fils de façon à ce que la teneur du renfort reste élevée (généralement supérieur à 60 %).



**Fig.12** : Bain de résine.

### III.2.3.5. Magasin de renfort

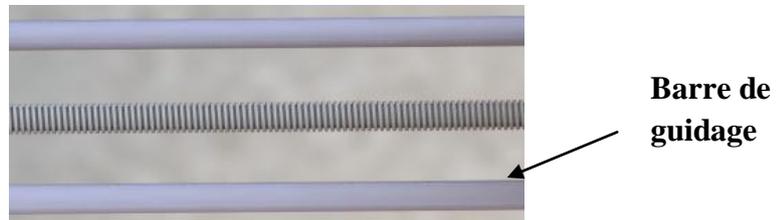
On a installé un dispositif lié au bain de résine. La translation de ce bain engendre la translation du magasin de renfort. Le magasin contient trois bobines de renfort, ces bobines sont en fibre de verre, carbone, aramide ...etc.



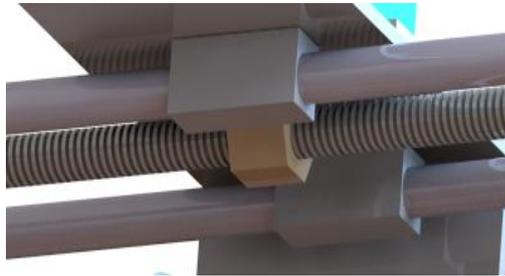
**Fig.13** : Magasin de renfort.

### III.2.3.6. Guidage en translation

Le guidage en translation du dispositif d'enroulement est assuré par des roulements de type roulements à douilles montés sur les barres de guidage pour garantir une précision de translation et un maintien en équilibre du dispositif d'enroulement et pour éviter les vibrations de ce dispositif (bain de la résine + magasin de renfort).



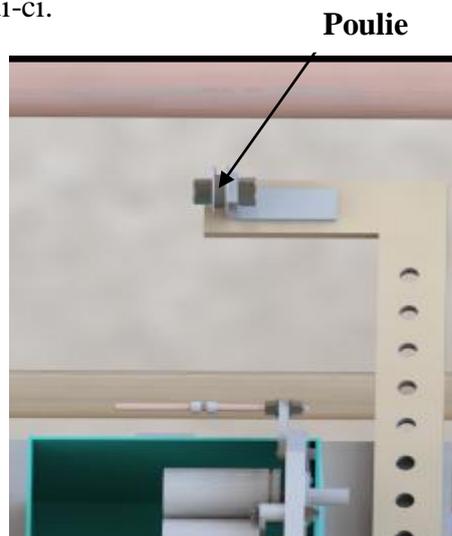
**Fig.14 :** Barre de guidage.



**Fig.15 :** Roulement à douilles.

### III.2.3. 7. Poulie de jumelage du stratifil

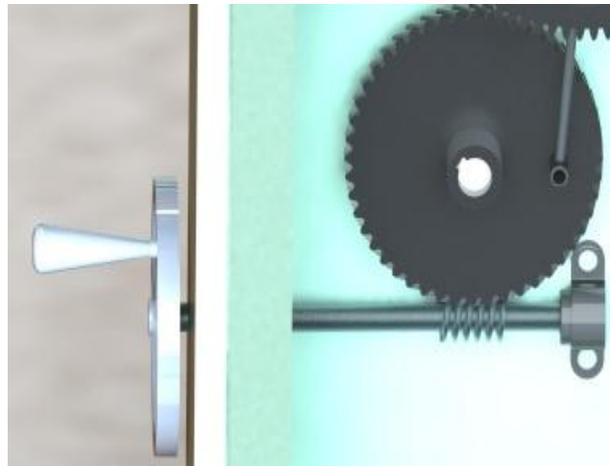
Cette poulie permet le guidage et le jumelage des fils, et d'avoir une meilleure précision de l'angle d'enroulement en assurant des tensions convenables de ces fils . Elle est située à proximité du mandrin. Un système est conçu pour éloigner ou de rapprocher cette poulie du mandrin en fonction des dimensions de celui-ci.



**Fig.16 :** poulie de guidage.

### III.2. 3.8. Système élévateur

Le système élévateur permet le maintien du mécanisme de rotation (roue d'engrenages), le montage et le démontage du mandrin. C'est un système manuel composé d'une roue, d'une vis sans fin et d'une manivelle permettant d'élever ou de descendre le mandrin.



**Fig.17** : Système élévateur.

### III.2.3.9. Conception de la machine réalisée

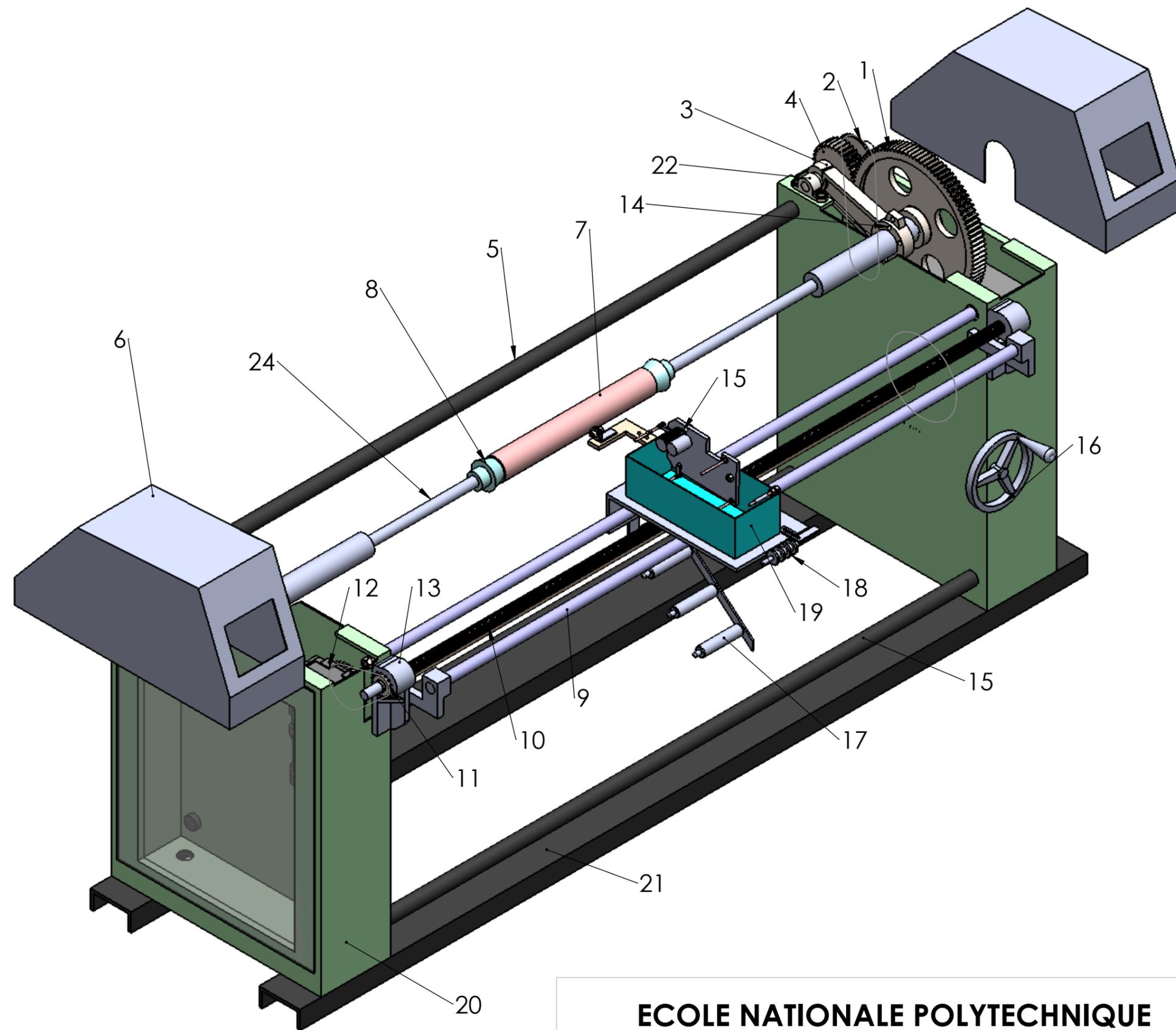
La figure 18 illustre la conception de la machine réalisée sous Solidworks

Une vidéo est réalisée montrant l'animation de la machine conçue sous Solidworks. Le fichier est appelé « Animation de la machine réalisée », il est dans le CD ci-joint.

### **IV.3.CONCLUSION**

SolidWorks a permis de visualiser la machine d'enroulement filamentaire en 3D et de comprendre le principe de fonctionnement (animation).

1	Roue réceptrice d'engrenage
2	Chaîne réceptrice
3	Entraxe
4	Roue motrice d'engrenage
5	Arbre plein
6	Couvert
7	Cylindre d'enroulement
8	Outil de fixation
9	Arbre de guidage
10	Vis
11	2ème chaîne réceptrice
12	Moteur
13	Roulement pour la vis
14	Roulement pour la barre
15	Système de raclage
16	Manuelle
17	Bobine de renfort
18	Poulie de guidage
19	Bain de résine
20	Batî
21	profilé en U
22	Palier lisse



## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle: 1:10

Machine  
d'enroulement  
filamentaire

Nom: Ouakli

Prénom: Hanane

Génie  
Mécanique

# CHAPITRE IV

## AUTOMATISATION DE LA MACHINE

## IV.1. INTRODUCTION

La réalisation de la machine d'enroulement filamenteuse est partagée en deux parties :

- ✓ Mécanique
- ✓ Automatique

Dans ce chapitre on s'intéresse à la partie automatique, c'est-à-dire, le principe de fonctionnement de cette dernière et les composants utilisés.

## IV.2. Fonctionnement de la machine

Avant de démarrer la machine il faut :

- ✓ Mettre la machine sous tension.
- ✓ Vérifier l'état des capteurs et leur emplacement.
- ✓ Placer le moule liée à la barre.
- ✓ mettre les bobines de la fibre dans son emplacement.
- ✓ Faire des tests on mode manuel pour vérifier le fonctionnement du système.
- ✓ Rendre le dispositif d'enroulement à sa position initial à l'aide du commutateur réarmement.
- ✓ Vérifier sur l'écran le message d'accueil pour indiquer que la machine est prête.
- ✓ Faire passer les stratifils sur l'ensemble des poulies (guidage du stratifil), pour les imprégner de la résine.
- ✓ Vérifier que le bain de la résine est rempli.

Au début, on doit choisir entre le mode manuel et automatique. L'automate vérifie que les mesures de sécurité sont en mode « off » si non, un message va être affiché sur l'écran de l'automate ce qui va engendrer le blocage du programme.

Quand on met le commutateur en mode automatique, un message est envoyé de l'automate vers l'écran pour indiquer qu'il faut valider ce mode. En appuyant sur le bouton poussoir : marche, à ce moment l'automate commence l'exécution du programme qui permet le fonctionnement de la machine.

Si les boutons de sécurité sont en mode off, alors l'automate commence à exécuter le programme. Deux contacts « Q1 et Q3 » sont fermés, ils permettent d'actionner les variateurs de fréquence en mode démarrage « RUN », les moteurs asynchrone font démarrer les mécanismes de translation et de la rotation en même temps, ce qui donne une rotation de mandrin avec un déplacement du bain de résine.

Dès que le capteur de fin de course placé à droite détecte le bain de résine, il donne un signal +24V à la septième entrée « I7 ». Ce qui permet d'arrêter le déplacement, actionner la deuxième sortie de l'automate « Q2 » et changer le sens de rotation du moteur (à l'aide de variateur en mode reverse « REV »), donc le bain de résine change le sens de déplacement vers l'autre côté jusqu'au capteur gauche « I6 », ce dernier arrête le déplacement et change le sens de déplacement vers l'autre sens. À ce moment le compteur dans le programme incrémente un cycle, jusqu'à la valeur programmé de compteur, l'automate arrête la manipulation et rend la partie opérative à sa position initial.

Si on met le commutateur en mode manuelle, un message est envoyé de l'automate vers l'écran indiquant qu'il faut valider ce mode en appuyant sur le bouton poussoir marche, à ce moment l'automate commence l'exécution du programme qui permet le fonctionnement manuelle de la machine. Une fois le mode manuelle est activé, le mode automatique sera désactivé. On a programmé notre machine pour les deux modes soit automatique, soit manuel.

Quand on appuie sur les boutons poussoirs manuels, des signaux de +24 VDC seront envoyés aux entrées de l'extension de l'automate à partir de I1 jusqu'à I4

- Le bouton poussoir qui est relié à l'entré I1 fait tourner le mondain à droite.
- Le bouton poussoir qui est relié à l'entré I2 fait tourner le mondain à gauche.
- Le bouton poussoir qui est relié à l'entré I3 déplace le dispositif d'enroulement à droite.
- Le bouton poussoir qui est relié à l'entré I4 déplace le dispositif d'enroulement à gauche

### IV.3. Réalisation de la partie électrique

#### IV.3.1.Montage global (synoptique)

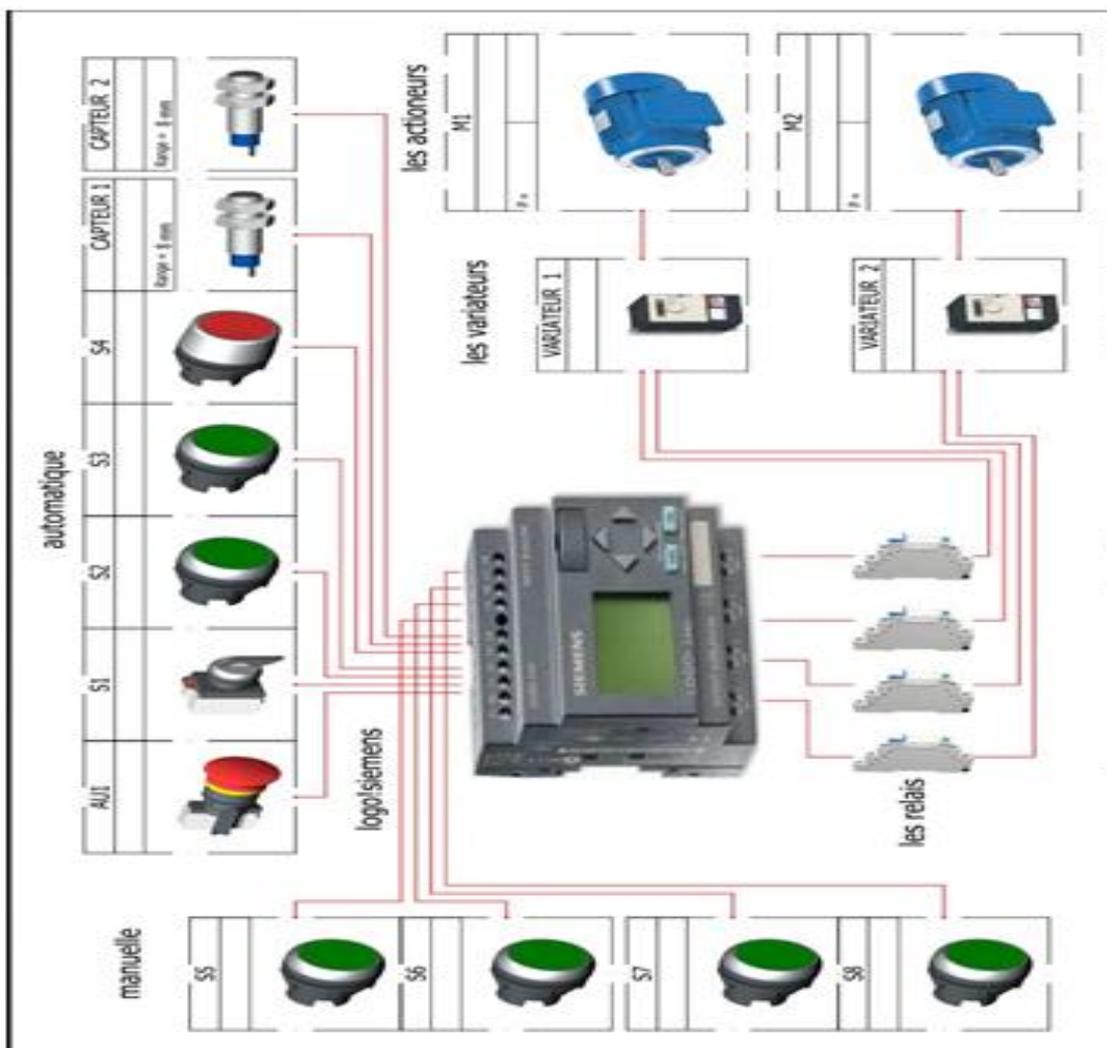


Fig.1 : Montage global du système.

## IV.3.2 Schémas électriques

### IV.3.2.1 Schéma de puissance

La figure suivante illustre le schéma de puissance de la machine d'enroulement filamenteire

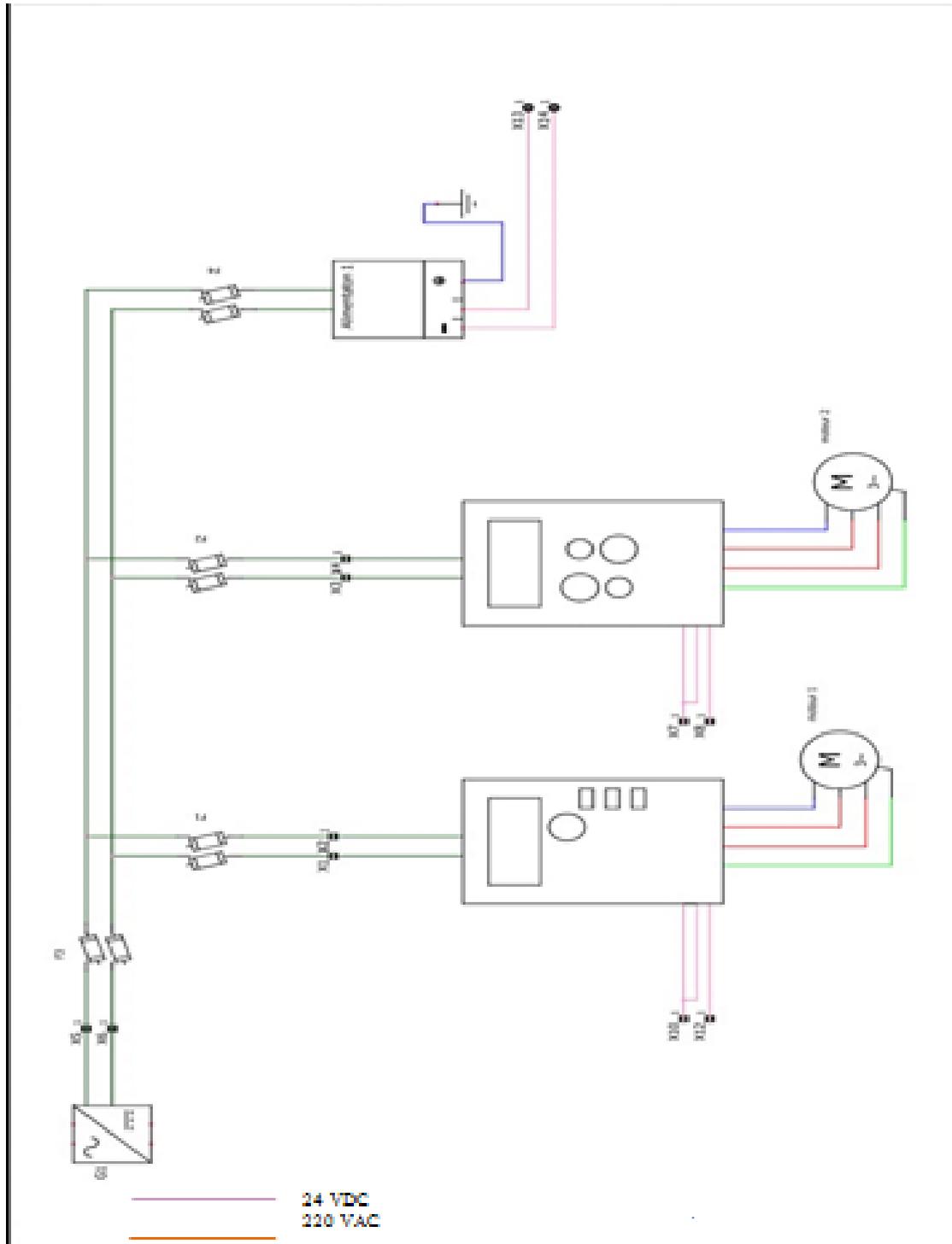
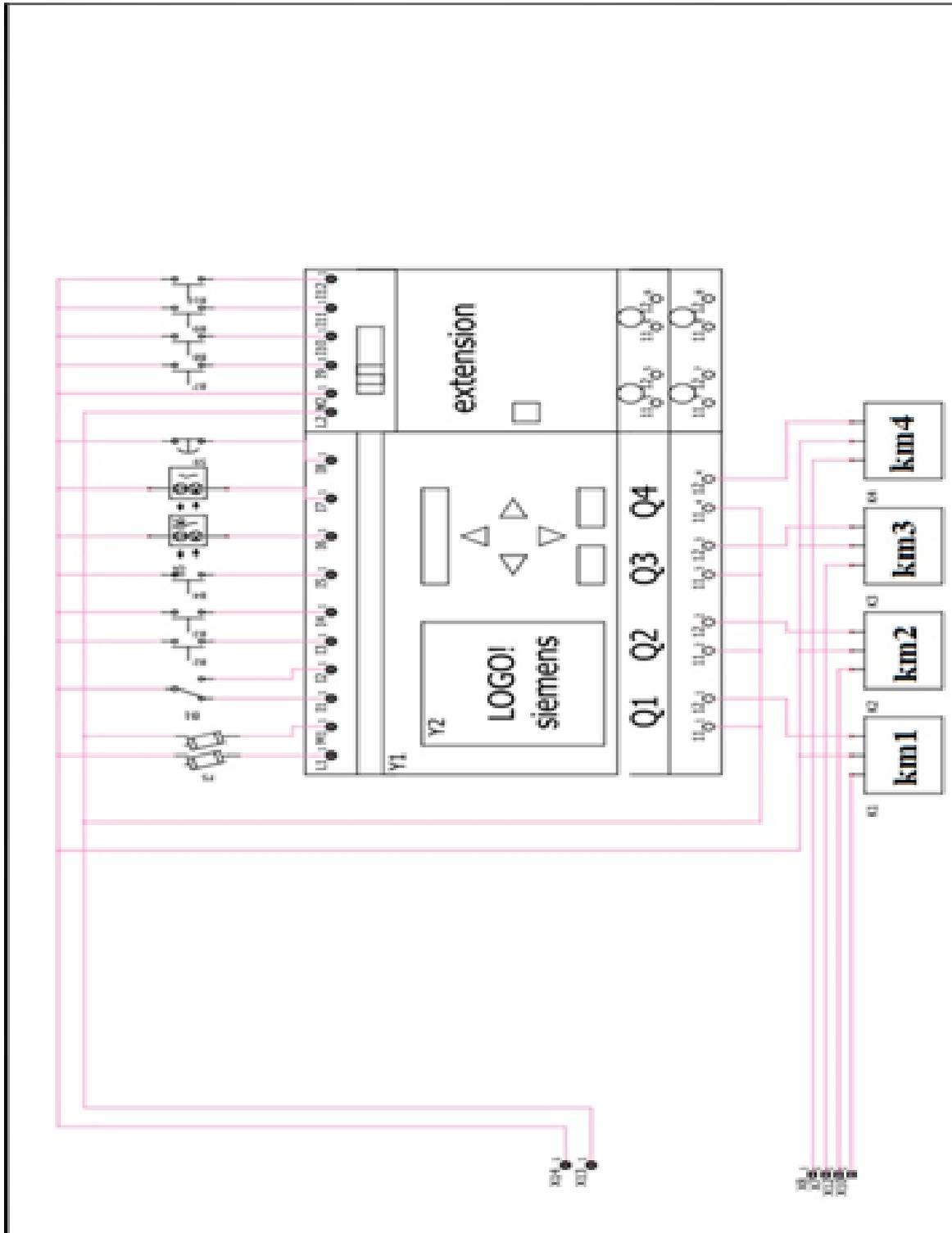


Fig. 2 : Schéma de puissance.

### IV.3.2.2 Schéma de commande

La figure ci-dessous présente le schéma de commande de la machine



**Fig.3** : Schéma de commande.

## IV.4. Moteur asynchrone

### IV.4.1 Généralité

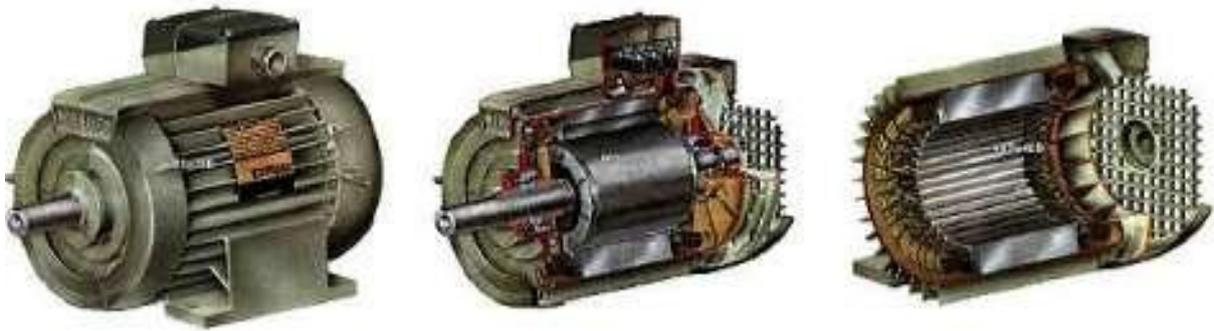


Fig.4 : Schéma descriptif d'un moteur asynchrone triphasé.

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, il est caractérisé par leur simplicité de construction, Il est très fiable et demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques.

### IV.4.2. Branchement étoile ou triangle

Il y a deux possibilités de branchement du moteur au réseau électrique triphasé. Le montage en étoile et le montage en triangle. Avec un branchement en étoile, la tension aux bornes de chacune des bobines est d'environ 230V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée avec la tension nominale du réseau (400V). On utilise le montage étoile si un moteur de 230V doit être relié à un réseau de 400V ou pour démarrer un moteur à puissance réduite dans le cas d'une charge avec une forte inertie mécanique.

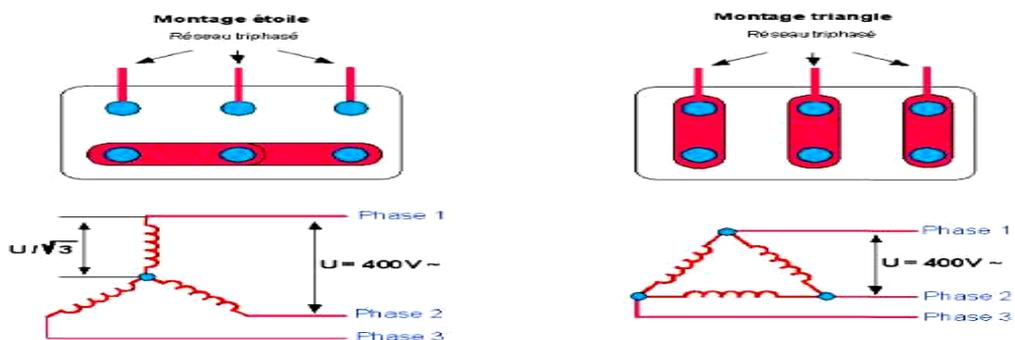


Fig.5 : Montage du moteur.

### IV.4.3. Puissance et rendement

La puissance consommée sur le réseau en triphasé est de  $P = U \sqrt{3} \cos \varphi$ , tel que  $\cos \varphi$  est une caractéristique indiquée sur la plaque signalétique.

La figure suivante illustre la plaque signalétique



BONFIGLIOLI RIDOTTORI S.P.A.						
TEL. 72.65.41						
MOTORE ASINCRONO TRIFASE						
Tipo MT 63B4 / I		Nr. 92 D 4258		Prot. IP 55		
Serv. S1		Cos. $\varphi$ 0,7		Is. Cl. F		
V $\Delta$ /Y	Hz.	HP	KW	min-1	A $\Delta$ /Y	
220/380	50	0,25	0,18	1370	1,09 / 0,63	
240/415	50	0,25	0,18	1370	1,1 / 0,64	
260/440	60	0,25	0,18	1660	0,98 / 0,57	

Fig.6 : Plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé.

## IV.5. Capteurs inductifs et capacitifs

### IV.5.1. Inductifs

Les capteurs inductifs produisent à l'extrémité de leur tête de détection un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par une inductance et un condensateur montés en parallèle. Lorsqu'un corps conducteur métallique est placé dans ce champ, des courants de Foucault prennent naissance dans la masse du métal, il y a perturbation de ce champ qui entraîne une réduction de l'amplitude des oscillations au fur et à mesure de l'approche de l'objet métallique, jusqu'à blocage complet. Cette variation est exploitée par un amplificateur qui délivre un signal de sortie, le capteur commute.

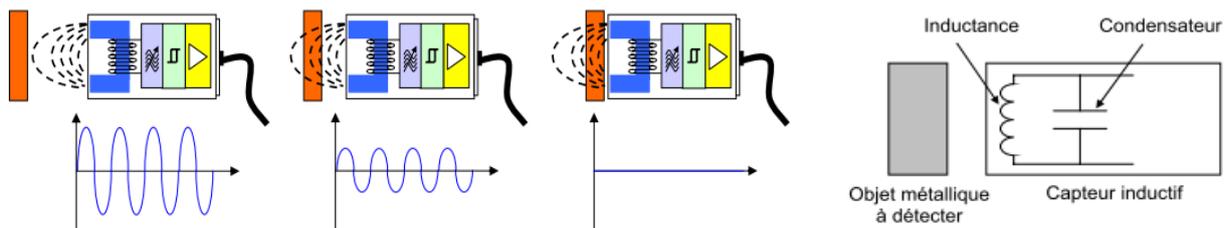


Fig.7 : Schéma de fonctionnement d'un capteur inductif.



Fig.8 : Quelque exemple de capteurs inductifs.

### IV.5.2. Capacitifs

La détection se fait sans contact. Un circuit électronique à effet capacitif transforme une perturbation électrique due à la présence de l'objet en commande d'ouverture ou de fermeture statique du circuit d'information. La face sensible crée un champ électrique local. Lorsque l'objet pénètre dans le champ électrique, l'oscillateur se met en mouvement et la sortie est activée.

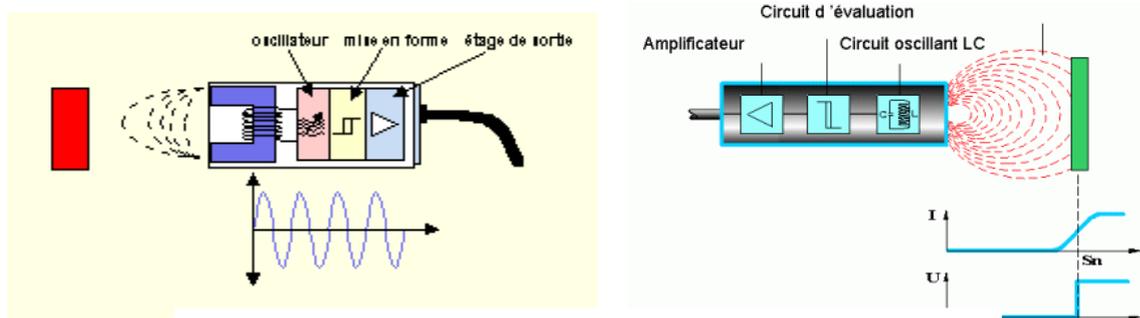


Fig.9 : Schéma de fonctionnement capteur capacitif.



Fig.10 : Quelque exemple sur les capteurs capacitifs.

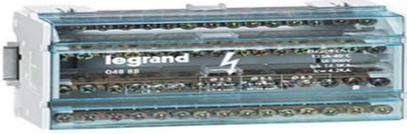
### IV.6. Consommation électrique

La machine consomme :

- Variateurs : 1500 w.
- Alimentation 24VDC : 100 w
- Moteurs : 180 W.
- Tension : 220 V.
- Fréquence : 50 Hz.

## IV.7 Armoire électrique

Notre armoire électrique est constituée de plusieurs composants :

<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un automate programmable.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ deux variateurs de fréquence.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ quatre relais 24 v DC.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Une alimentation de 24v DC.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Un répartiteur.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ des disjoncteurs.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Des boutons poussoirs et des Switch.</li> </ul>	

**Fig.11** : Différents éléments de l'armoire.

- Automate permet de contrôler le fonctionnement de la machine
- Ecran pour la visualisation de l'état de la machine. C'est un interface graphique entre la machine et l'opérateur il est utilisé aussi pour faire le changement des valeurs de fonctionnement.
- Variateurs de fréquence pour contrôler les moteurs asynchrone.
- Alimentation 24v DC pour alimenter les distributeurs (la partie commande).
- Relais pour la commande des variateurs de fréquence

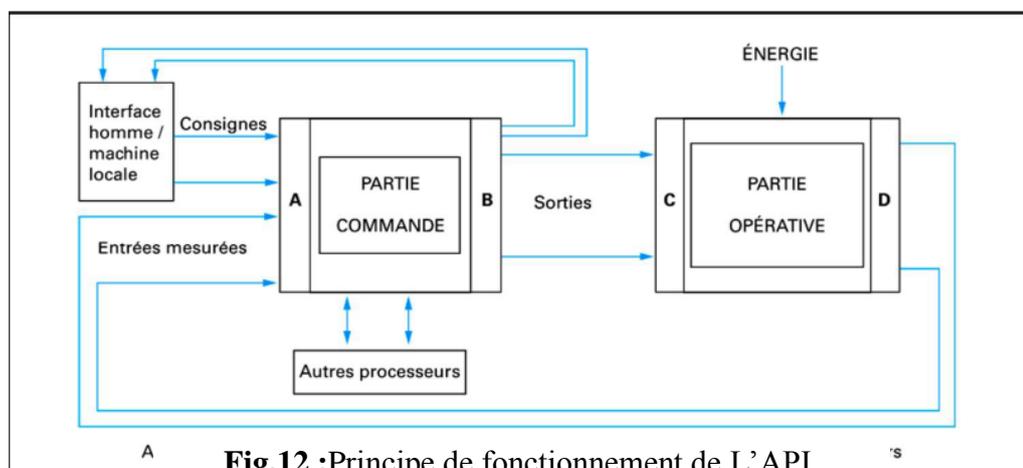
## IV.8. Automate programmable

### IV.8.1 Définition

L'automate programmable, souvent appelé automate programmable industriel (API, en anglais PLC ( Programmable logic Controller) , son domaine privilégié d'utilisation, est apparu voici 40 ans et s'est rapidement répandu dans la production, la logistique, le conditionnement, la gestion technique de bâtiments, etc. Son développement a accompagné celui de l'automatisation de la production, la faisant passer du stade de la machine automatisée à celui du système automatisé de production (SAP).

### IV.8.2 Rôles de l'API dans un système de production

L'API est un composant de commande, il envoie des signaux vers les actionneurs en fonction des informations reçues de l'instrumentation du système matériel. La partie opérative et les ordres reçus (consignes) seront transformés selon un algorithme appropriée définie par le programme.



**Fig.12** :Principe de fonctionnement de L' API.

### IV.8.3Automate LOGO ! Siemens

#### IV.8.3.1 Description

LOGO c'est un API (Automate Programmable Industriel) qui nous permet d'exécuter des tâches dans la technique domestique et d'installation (notamment l'éclairage des cages d'escalier, l'éclairage extérieur, les stores, et bien d'autres choses), On les trouve aussi dans la construction des armoires de commande, des machines et des appareils (par exemple, les commandes des portes, les installations de ventilation, les pompes d'eau industrielle et bien d'autres choses).

### IV.8.3.2 Type de LOGO utilisé

L'Automate Programmable LOGO est un produit de l'entreprise Siemens, il est prévu pour des petites applications. Il possède 8 entrées et 4 sorties, nous trouvons actuellement des LOGO qui ont plus d'entrées et sorties (par exemple 12 entrées et 8 sorties). Le tableau suivant compare les différentes versions de l'API.

Type de LOGO	Alimentation et Contacts	Sorties	Version de l'automate LOGO
LOGO 24	alimentation et contacts 24 V	sorties transistorisées	version 6 entrées et 4 sorties
LOGO 24R	Alimentation et contacts 24V	sorties à relais	version 6 entrées et 4 sorties
LOGO 24 L	alimentation et contacts 24V	sorties transistorisées	version 12 entrées et 8 sorties
LOGO 24RC	alimentation et contacts 24V	Sortie à relais+ horloge	version 8 entrées et 4 sorties
LOGO 24RL	alimentation et contacts 24V	sorties transistorisées	version 12 entrées et 8 sorties

**Tableau.1** : Versions de l'automate LOGO.

## IV.9. CONCLUSION

On a vu dans ce chapitre les composants électriques, les étapes à suivre pour la réalisation de l'armoire et une présentation de l'automate utilisé dans notre système.

On a expliqué aussi les détails de fonctionnement de la machine, c'est-à-dire, démarrage, arrêt, système automatique, manuel...etc.

# *CONCLUSION GENERALE*

Ce projet de master porte sur la conception sous Solidworks de la machine d'enroulement filamenteuse réalisée dans le cadre de projet de Fin d'Etudes, et sur l'installation des accessoires de commande pour automatiser les opérations d'enroulement filamenteuse.

On a vu dans le cadre de ce projet de master :

- Une description des éléments constitutifs d'un matériau composite, les différents types de résines, les fibres et les additifs ;
- Les différentes applications en détail de la machine d'enroulement filamenteuse ;
- La Conception et l'animation de la machine d'enroulement filamenteuse sous solidworks ;
- l'installation des accessoires de commande pour automatiser les opérations d'enroulement filamenteuse ;

Le travail de Master et de Fin d'Etude n'est qu'une ébauche et constitue une introduction dans le domaine de la mise en œuvre des matériaux composites. Nous souhaitons que d'autres initiatives continuent à développer les machines d'enroulement filamenteuse par la réalisation d'un prototype, l'amélioration des produits réalisés et des tests de résistance mécanique et autres.

# *Bibliographie*

[article 1] : Philippe COGNARD, « cor502 Applications des composites anticorrosion dans l'industrie ». Techniques de l'ingénieur, 10/06/2005, France.

[article 2] : Patricia KRAWCZAK, « p2645 Spectrométrie de masse – Principe et appareil ». Techniques de l'ingénieur, 10/04/2002, France.

[Fiche 1] : Fiche Pratiques ABC Plastique, « 0985 Préimprégnés phénoliques (PSMC, PBMC) : transformation, façonnage, recyclage ». Techniques de l'ingénieur, France.

[1] : Jean-Marie Berthelot, « Mécanique des matériaux et structure composites ». Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés, le Mans, France.

[2] : « Quelques procédés de mise en forme des composites », science de l'ingénieur.

[3]: thesis: « Design and optimization of filament wound composite pressure vessels». Master of Science in Engineering Mechanics Xi'an University of Technology, 2012, china.

[DAN1999] : Daniel Gay, jacques GAMBELIN, « dimensionnement des structures », édition Hermès, 1999.

[Tech 1] : Un guide pour le calcul et la conception des transmissions par chaînes, compte tenu de critères spécifiques aux applications « La conception de la transmission par chaîne ». technique d'ingénieur.

[Méc 2013]: Bouaziz, « transmission de puissance par chaînes ». Cours de construction mécanique, ENP, 2013.

[Méc 1] : Bouaziz, « transmission de puissance par engrenages ». Cours de construction mécanique, ENP, 2013.

[Méc 2] : Bouaziz, « dimensionnement des éléments technologique, roulements ». Cours de construction mécanique, ENP, 2013.

[Méc 3] : Bouaziz, « dimensionnement des éléments technologique, clavettes ». Cours de construction mécanique, ENP, 2013.

[cours 1 et cours 2] : Bouaziz, « vis- écrou, cours de construction mécanique » ; Riach, « conception de machine », ENP, 2013/2014

[Catal 1] : SKF, « catalogue général » SKF, 1992.

[précis] : R. Quatremer, j. Trotignon, « dessin conception et normalisation ». précis de construction mécanique, 1978.

[journal1]: Saad MUTASHER; Nazim MIR-NASIRI; Lee CHAILIN, « small- scale filament winding machine for producing fiber composite products». Journal of Engineering Science and Technology

## Sites internet

[Net 1] : Renold\_chaineARouleau -3.pfd

[Net 2] : la conception de la transmission par chaine. Rexnord

[Net 3] : engrenage032

[Net 4] : effort engrenage-doc : cherchez. Me

[Net 5] : XC38. PDF

[Net 6] : 453-pdf-[écrou type ETR.pdf]

[Net 7] : cours-Guidage translation.doc

[Wiki 1]: Wikipédia, « pignon crémaillère système ».

[Wiki 2]: Wikipédia, « système vis-écrou ».

[Wiki 3]: Wikipédia, « fibres caractéristiques »

[Wiki 4]: Wikipédia, « matériaux »

[Wiki 4]: Wikipédia, « clavetage »