



UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



Faculté de génie de la construction

Département de génie mécanique

Mémoire de Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique en Génie Mécanique.

Option : Fabrication Mécanique et Productique.

Thème

ETUDE ET CONCEPTION D'UNE SOUDEUSE
DE PROFILES EN PVC

Réalisé par :

M^r GHEMMOUR ACHOUR

M^r OUAMROUCHE SOFIANE

Encadré par :

M^r SLIMANI MOHAND

ANNEE UNIVERSITAIRE 2018/2019

Remerciements

Dieu merci pour la santé, la volonté et le courage qui nous ont accompagnés durant le cursus universitaire afin de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre sincère gratitude :

A notre promoteur **M^r SLIMANI MOHAND** de nous avoir encadré, de son suivi, ses conseils, sa disponibilité, et sa patience. Nous vous témoignons ici toute notre reconnaissance.

Nous remercions nos parents qui ont toujours été là pour nous. Vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous vous sommes redevable pour l'éducation dont nous sommes fiers.

Nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers nos chers amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche. Un grand merci particulier à Moali yazid, Amrouche Ali et Hammami Kousseila, yacine bougheda et mechouet tahar pour leur soutien inestimable.

Enfin, nous remercions sincèrement toutes les personnes ayant contribué de près ou du loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Je dédie ce travail a :

Mes chères parent Fatima et hamou

A mes frère houcin, brahim, rachide, sliman

*A ma sœur soussa et son mari chabane et
leures filles laysa, milissa et ciline*

A tous mes proches

*Chères amis :yazid, ali ,kousseila, mouloud,
ahmed, lynda ,nassim,Hdoudou,yacine,tahar*

Bouhadj ,samira,idir,brahim

Et toute la promotion 2019 FMP

Ghemour Achour



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes chères parents Abbes et Zohra

A mes frère kousseila et ghiles.

A mon chère cousin, mon père spirituelle

M^{er} OuamroucheAbdenbi et à sa femme salima et ses deux

petits enfants Axel et Alice

Chères amis : yazid,ali,kosseila,mouloud,yacine

Ahmed,rafik,hafid,hilel,chabane

Et toute la promotion 2019 FMP

Ouamrouche sofiane

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des symboles

Introduction générale

Chapitre I

I.	Introduction	1
I.1	Historique des polymères	1
I.1.1	Les grandes dates de l'histoire des polymères	2
I.2	Les polymères.....	3
I.2.1	Définition.....	3
I.2.2	Différents polymères et leurs classification	4
I.3	Architecture atomique des polymères	7
I.3.1	Polymères Amorphes.....	7
I.3.2	Polymères réticulés.....	8
I.4	Caractéristiques et propriétés	9
I.4.1	Propriétés physiques des polymères	9
I.4.2	Propriétés mécaniques	10
I.4.3	Propriétés thermiques	11
I.5	Domaines d'utilisation	14
I.5.1	Élaboration des quatre plus importants polymères industriels.....	14
I.5.2	Les trois grandes familles de polymères	15
I.6	Liste des principaux polymères industriels	15
I.6.1	Polymères thermoplastiques	15
I.6.2	Polymères thermodurcissables	16
I.7	Mise en forme.....	18
I.7.1	Définition.....	18
I.7.2	Le procédé d'injection des matières plastiques	18
I.7.3	Le procédé d'extrusion	19

I.7.4	Le procédé du thermoformage.....	20
I.8	Le roto moulage.....	21
I.8.1	Définition.....	21
I.8.2	Principe	21
I.9	Le calandrage	22
I.9.1	Définition.....	22
I.9.2	Principe du procédé	22
I.10	Autres procédés de mise en forme des matières plastiques	23
I.10.1	L'injection soufflage.....	23
I.10.2	L'extrusion soufflage.....	24
I.10.3	La compression.....	25
I.10.4	Le polystyrène expansé	25
I.11	Conclusion.....	25

Chapitre II

II.	Introduction	26
II.1	Types de soudage	26
II.1.1	Soudure par lame chauffante ou miroir chauffant.....	26
II.1.2	Soudage par ultrason	26
II.1.3	Soudage par rotation.....	27
II.1.4	Soudage laser	28
II.1.5	Soudage par haute fréquence.....	28
II.2	Soudage des PVC	29
II.2.1	Soudage à gaz chaud.....	29
II.2.2	Soudage à impulsion.....	31
II.2.3	Soudage par dissolution.....	31
II.2.4	Soudage par friction.....	32
II.3	Application aux portes et fenêtres	33
II.4	Machines de soudage.....	34
II.4.1	Machines manuelles	34
II.4.2	Semi automatique	36

II.4.3	Automatique	37
II.5	Conclusion :	38
Chapitre III		
III.1	Définition de la conception	39
III.2	Le processus de conception	39
III.3	Les différents types de conception	40
III.3.1	Conception originale.....	40
III.3.2	Adaptation	40
III.3.3	Conception dérivée	40
III.4	Les matériaux en conception.....	40
III.5	La conception assistée par ordinateur (CAO)	40
III.5.1	Définition de la CAO.....	40
III.5.2	Historique sur le Solide Works.....	41
III.5.3	Fonctionnement du Solide Works	41
III.5.4	Domaines de la CAO	42
III.5.5	Avantages de la CAO	42
III.6	Conclusion.....	43
Chapitre IV		
IV.1	Introduction.....	44
IV.2.	Analyse fonctionnelle :	44
IV.3	Types d'analyses fonctionnelles et enjeu.....	44
IV.3.1	Analyse fonctionnelle externe	44
IV.3.2	Analyse fonctionnelle interne.....	44
IV.3.3	Enjeux	45
IV.4	Fonctions.....	45
IV.4.1	Caractéristiques des fonctions	45
IV.4.2	Les différentes fonctions	45
IV.5	Outils d'analyse fonctionnelle.....	46
IV.5.1	Méthode APTE.....	46
IV.5.2	Cahier des charges fonctionnel	46

IV.6 Généralités sur les notions des machines et des mécanismes	50
IV.6.1 Classification des éléments de machines	51
IV.6.2 Les éléments à destination générales	51
IV.7 La présentation de la machine, soudeuse de profilé pvc conçue :.....	51
IV.8 L'objectif de la machine	51
IV.9 Chaîne cinématique	52
IV.9.1 Définition	52
IV.9.2 Schéma cinématique	53
IV.10 Présentation des éléments de la machine... ..	55
IV.11 Partie calcule	65
IV.11.1 Calcule de diamètre de la colonne de guidage de la table mobile.....	65
IV.11.2 Essais de compression	67
IV.11.3 Etude expérimentale des propriétés thermiques d'un échantillon de profilé en PVC :	69
IV.12 Conclusion.....	72

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 : Polymère linéaire.....	5
Figure I-2 : Polymères tridimensionnels.....	5
Figure I-3 : Molécule 3d.	6
Figure I-4 : Polymère amorphe.....	8
Figure I-5 : Polymère ramifié.	8
Figure I-6 : Polymère réticulé.....	9
Figure I-7 : Résistance et contrainte des polymères.	10
Figure I-8 : Comportement mécanique des polymères.....	13
Figure I-9 : Domaines d'application des polymères.	14
Figure I-10 : Transition de la molécule aux matériaux.....	17
Figure I-11 : Exemple des pièces obtenues par injection plastique.....	18
Figure I-12 : Presse à injection.	19
Figure I-13 : Extrudeuse monovis.....	19
Figure I-14 : Articles obtenus par extrusion(profilés).	20
Figure I-15 : Machine de thermoformage.....	20
Figure I-16 : Roto de moulage.....	21
Figure I-17 : Differentes phases d'obtention d'une pièce par rotomoutlage.....	21
Figure I-18 : Article de calandrage	22
Figure I-19 : Schéma de principe d'une chaine de calandre.....	23
Figure I-20 : Injection soufflage	24
Figure I-21 : Extrusion soufflage.....	24

Chapitre II

Figure II-1 : Soudage par ultrason.	27
Figure II-2 : Soudure à gaz chaud.....	30
Figure II-3 : Soudeuse à impulsion.....	31
Figure II-4 : Machine à souder pour pvc.	32
Figure II-5 : Machine manuelle.	35
Figure II-6 : Soudeuse Semi automatique.....	36
Figure II-7 : Soudeuse Automatique.....	37

Chapitre III

Figure III-1 : Le processus de conception	39
Figure III-2 : Fenêtre principale de Solide Works (vue de face).....	41
Figure III-3 : Fenêtre principale de Solide Works(vue de dessous).....	42

Chapitre IV

Figure IV-1 : Diagramme bête à corne..	47
Figure IV-2 : Diagramme « pieuvre » pour le besoin.....	48
Figure IV-3 : Diagramme FAST.....	49
Figure IV-4 : Diagramme A-0..	50
Figure IV-5 : Shéma cinématique de la machine.....	53
Figure IV-6 : chéne cinématique de la machine..	54
Figure IV-7 : Chassis.	55
Figure IV-8 : Support chassis..	55
Figure IV-9 : Domaines d'application des polymères.....	56
Figure IV-10 : Cale du profilé..	56
Figure IV-11 : Porte vérin.....	57
Figure IV-12 : Porte vérin de la table mobile..	57
Figure IV-13 : Porte vérin de la plaque chauffante.	58
Figure IV-14 : Plaque de serrage.	58
Figure IV-15 : Accessoire du porte vérin..	59
Figure IV-16 : Plaque de guidage.	59
Figure IV-17 : Baguette de table et des plaques de serrage.....	60
Figure IV-18 : Accessoire du dispositif porte vérin de la plaque chauffante.	60
Figure IV-19 : Emmanchement du vérin.	61
Figure IV-20 : Cale de vérin.	61
Figure IV-21 : Cale de table immobile.	62
Figure IV-22 : Colonne de guidage du vérin..	62
Figure IV-23 : Porte plaque chauffante..	63
Figure IV-24 : Pallié fixe.	63
Figure IV-25 : Pallié mobile..	64
Figure IV-26 : Plaque chauffante.....	64
Figure IV-27 : Colonne de guidage de table mobile.....	65
Figure IV-28 : Des Essais de compression..	68
Figure IV-29 : Echantillons des profilés PVC..	69
Figure IV-30 : Etire à température max 220°.	70
Figure IV-31 : Etire à température max 240°.	70
Figure IV-32 : Assemblage des échantillons..	71
Figure IV-33 : Echantillons soudés..	71

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Exemple des polymères.....04

Tableaux IV.1 : Contraintes et fonctions principales.....48

Liste des symboles

PP : Polypropylène

PE : Polyéthylène

PS : Polystyrène

PVC : Poly chlorure de vinyle

n : Nombre de molécules

M : Masse moléculaire

T_g : Température de transition vitreuse

T_f : Température de fusion

PET : Polyesters thermoplastique

ABS : Acrylonitrile-Butadiène-Styrène

Pc : Poly carbonate

PEEK: Polyether Ether Ketone

PTEF: Polyfluorocarbones

N : Unite de mesure de la force

CAO : Conception assistée par ordinateur

IAO : Ingénierie assistée par ordinateur

FAO : Fabrication assistée par ordinateur

DAO : Dessin assisté par ordinateur

M_f : Moment fléchissant

I_{Gz} : Moment quadratique axial

V : Valeur de $Y_{max} \frac{K}{2}$

R_p : Résistance pratique

σ_M : Contrainte maxi

Introduction générale

L'industrie plastique occupe une place centrale dans le quotidien. Aucun secteur de l'activité industrielle, même économique, ne peut se passer des produits synthétiques de plastiques allant d'un produit jetable jusqu'aux applications dans les usines de fabrication automobile, alimentaire,...etc.

Les pvc, dérivés des produits plastiques, de leurs caractéristiques et qualités chimiques, physiques et thermiques sont les plus recommandés pour mieux s'adapter aux exigences de qualités et maniabilité, ainsi que leurs prix les rends plus accessibles à la demande des industries et de l'innovation.

Une maîtrise et une compréhension théorique et expérimentale plus avancée des propriétés du profilés, s'avère plus qu'impératif pour une adaptation optimale à la demande des industrielles et des concepteurs, ainsi que de conquérir d'autres domaines d'applications jusqu'ici non encore explorés (médicale, immobilier, aéronautique...).

Notre étude consiste donc à étudier et à concevoir une machine pour le soudage des profilés en PVC qui a pour tâche d'assembler les différents types de profilés en pvc utilisés dans la menuiserie de PVC pour la fabrication des portes et fenêtres.

Pour cela, nous avons scindé notre étude en deux parties :

La première partie, c'est la conception avec le logiciel SolidWorks (sw). Avec ce célèbre logiciel, nous avons mis au point toutes les pièces de la machine, simuler son fonctionnement, tout en offrant les données numériques des caractéristiques géométriques, physiques, mécaniques et thermiques.

La deuxième partie, c'est la conception expérimentale. Nous avons étudié et vérifié les propriétés de la matière PVC dans le laboratoire, ainsi que les essais de comportement de la pièce PVC aux différentes sollicitations classiques (compression, flexion, thermique) qui nous permettent de déterminer les caractéristiques et les valeurs critiques (limites) et conditions pour d'éventuelles utilisations.

Notre travail est réparti en quatre chapitres :

Le Premier chapitre est une recherche bibliographique sur les polymères.

Le Deuxième chapitre comporte la mise en forme des profilés en PVC, cela suggère l'étude des différentes techniques de soudage et les machines disponibles pour la réalisation des pièces.

Dans le troisième chapitre, nous avons parlé, d'une manière générale, sur le monde de la conception logique de la mécanique en citant les différents types ainsi que les logiciels existants

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté les essais pratiques. Nous appliquons des contraintes mécaniques, et les essais thermiques des pièces en PVC.

INTRODUCTION GENERALE

Nous avons cerné les données numériques de différentes propriétés du profilé (diamètre, la flexion, température de fusion). Des valeurs qui seront utiles pour la réalisation et la fabrication.

Chapitre I

Généralités sur les polymères

I. Introduction

Dans tous les domaines de la vie quotidienne, nous trouvons l'utilisation des produits dérivés des polymères dans toutes utilisations usuelles (bâtiments, transport, vêtement....etc).

Nous allons développer dans ce chapitre les différents types de polymères existants et les diverses façons de les extraire. Comme nous allons citer les grandes dates historiques des découvertes sur les polymères qui sont devenus plus tard des matériaux de grandes utilités dans les fabrications industrielles.

I.1 Historique des polymères

Les débuts de la production industrielle des pièces en matière plastique remontent au milieu du XIXe siècle avec la fabrication d'articles de mode à base de cellulose et de caséine.

Jusqu'au milieu des années 1920, d'importantes découvertes ont contribué au développement des matières plastiques. Avec l'invention de la première résine synthétique, la bakélite, Baekeland posa la première pierre dans le domaine de la production en grandes séries de pièces en matière thermodurcissable.

A cette époque, ces matières étaient essentiellement connues pour leurs intérêts en électrotechnique. Un développement remarquable, surtout pour les thermoplastiques, a été observé à partir de 1926 avec les travaux du chimiste Allemand Staudinger.

Celui-ci met en évidence, lors de ses investigations, que les matières plastiques sont effectivement formées de longues chaînes moléculaires, appelées macromolécules. Ce concept constitue encore aujourd'hui la base scientifique de l'étude systématique des matières plastiques. Une nouvelle impulsion importante pour le développement des matières plastiques survient à partir du milieu des années 1950 avec la conversion d'une matière première, le charbon, en dérivés pétrochimiques. On obtient, à partir des sous produits, des fractions légères, dont l'éthylène. Les principaux thermoplastiques dérivés sont le polypropylène (PP), le polyéthylène (PE), le polystyrène (PS) et le poly chlorure de vinyle (PVC). Ces matières ont pu être produites plus économiquement à partir de cette découverte. Dans le tableau 1 sont sélectionnées quelques dates importantes qui ont jalonné la progression d'un domaine en pleine expansion beaucoup parmi elles correspondant à la découverte de nouveaux matériaux suivie de leur développement.

I.1.1 Les grandes dates de l'histoire des polymères

1838: A.PAYEN réussit à extraire du bois un composé de formule ($C_6H_{10}O_5$) auquel donne le nom de cellulose.

1844: C.GOODYEAR met au point la vulcanisation du caoutchouc naturel.

1846: C.SCHONBEIN obtient la nitrocellulose, premier polymère « artificiel » par action d'un mélange sulfo-nitrique sur la cellulose.

1866: M.BERTHLOT découvre que le « styrolène », chauffé à 200°C pendant quelques heures, se transforme en un polymère résineux.

1883: H. de CHARDONNET obtient « une soie artificielle » par felling d'un collodion à base de nitrocellulose.

1907: A.HAFMANN réalise les premiers caoutchoucs synthétiques par polymérisation de diènes conjugués.

1910: L.BAEKELAND met au point le premier procédé industriel de production polymérisation de nombreux monomères éthyléniques. Il peut être considéré comme le père de la science macromoléculaire.

1925: T.SVEDBERG apporte la preuve de l'existence des macromolécules en mesurant leur masse molaire par ultracentrifugation.

1928: K.MEYER et H.MARK relie la structure chimique à la structure cristallographique des polymères.

1933: E.FAWCETT et R.GIBSON ingénieurs de ICI (Royaume-Uni) réalisent la polymérisation radicalaire de l'éthylène sous haute pression.

1938: W.CAROTHERS (du pont de Nemours) et son équipe préparent les premiers polyamides synthétiques connus sous le nom de « nylon ».

1942: P.FLORY et M.HUGGINS proposent une théorie des solutions macromoléculaires.

1943: O.BAYER synthétise les premiers polyuréthanes.

1947: T.ALFREY et C.PRICE proposent la théorie de la copolymérisation en chaîne.

1953: K.ZEIGLER découvre la polymérisation de l'éthylène sous basse pression.

1954: G.NATTA obtient et identifie le polypropène iso tactique.

1955: M.WILLIAMS, R.LANDEL et J.FERRY proposent une relation entre le temps de relaxation des chaînes et la température de transition vitreuse.

1956: M.SZWARC établit les principes des polymérisations « vivantes » à partir de travaux sur la polymérisation anionique du styrène.

1957: A.KELLER obtient et caractérise les premiers monocristaux macromoléculaires.

1959: J.MOORE met au point la chromatographie d'exclusion stérique.

1960: Découverte des élastomères thermoplastiques et mises en évidence des morphologies correspondantes.

1974: Développement des polyamides aromatiques par la ferme du pont de Nemours.

1980: W.KAMINSKY et H.SINN découvrent l'effet des aluminoxanes, la polymérisation des oléfines amorcée par les métallocènes.

1982: Une équipe de Du pont de Nemours dirigée par O.WEBSTER découvre la polymérisation par transfert de groupe des monomères acrylique et donne le temps à une multitude de travaux de recherche sur le contrôle de la polymérisation de ces monomères.

1982: T.OTSU introduit la notion de contrôle des polymérisations radicalaires, cette notion sera appliquée par ERJZZARDO et D.SOLOMON (1985) puis par M.GEORGE (1992) à la polymérisation contrôlée du styrène.

1986: D.TOMALLIA réalise la synthèse des premiers dendrimères.

1992: D.TIRREL synthétise le premier polymère parfaitement iso moléculaire par ingénierie génétique.

1994:M.SAWAMOTO et K.MATYJA SZEWESKJ mettent au pont la polymérisation radicalaire contrôlée par transfert d'atome.

2000: Après plus de vingt années de travaux sur les polymères conducteurs intrinsèques, H.SHIRASKAWA. AJ. HEEGER A.G.MCDIARMID sont récompensés par prix Nobel de chimie.

I.2 Les polymères

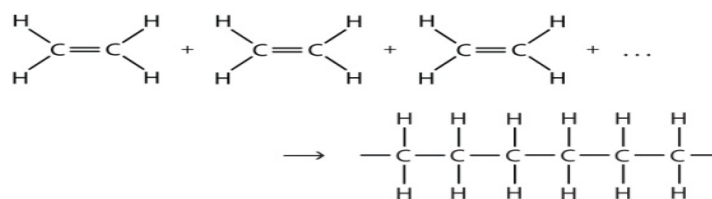
I.2.1 Définition

Le mot polymère est composé de : **poly + mères : Plusieurs Parties.**

Les polymères sont des macromolécules constitués par l'enchaînement d'un grand nombre de molécules de taille beaucoup plus petite. Les petites molécules qui se combinent les unes aux autres pour former les molécules de polymères sont appelées monomères et les réactions par lesquelles elles se combinent sont appelées polymérisations. Ce processus peut être schématisé comme suit:



Où M est la molécule de monomère, Mn est la molécule de polymère, n le nombre de motifs monomères de la macromolécule (le degré de polymérisation) comme le montre l'exemple dans la figure ci-dessous .



Le terme polymère est plutôt réservé pour définir le matériau obtenu de manière naturelle ou par synthèse organique.

Le terme plastique souligne plus fortement le caractère de matériau de synthèse fini (à partir duquel des pièces sont produites selon des technologies spécifiques), il définit moins la structure du matériau et les réactions requises pour son élaboration. L'appellation matériau polymère est une combinaison des définitions d'un plastique et d'un polymère.

Ce tableau montre quelques exemples des polymères et leurs utilisations :

Tableaux. I.1 Exemple des polymères

Monomère	Polymère	Utilisation principale
CH₂=CH₂ (éthylène)	-[CH ₂ -CH ₂] _n - (polyéthylène ou polythène)	(feuilles et films, sachets, articles de ménage, jouets,..)
CH₂=CH-CH₃ (propène ou propylène)	-[CH ₂ -CH(CH ₃)] _n - (polypropylène)	(fibres pour tapis, emballage, jouets, articles de ménage, articles moulés pour voitures)
CH₂=C(CH₃)₂ (isobutène)	-[CH ₂ -C(CH ₃) ₂] _n - (polyisobutylène)	(adhésifs)
CH₂=C(CH₃)-CH=CH₂ (méthyl-butadiène ou isoprène)	-[CH ₂ -C(CH ₃)=CH-CH ₂] _n - (polyisoprène ou caoutchouc)	(pneus, chambres à air, ...)
CH₂=CHCl (chlorure de vinyle)	-[CH ₂ -CHCl] _n - (chlorure de polyvinyle ou PVC)	(tuyaux de plastique, sanitaire, carrelages, disques, revêtements)

I.2.2 Différents polymères et leurs classification

Il existe plusieurs manières de classer les polymères selon les propriétés retenues pour les caractériser. Nous indiquons ci-après les classifications les plus courantes.

I.2.2.1 Selon la nature chimique

Polymères minéraux : Sont constitués par des chaînes renfermant un seul corps simple comme le diamant, le graphite, le phosphore et le soufre ou par des chaînes renfermant plusieurs hétéronomes comme les silicates, les acides poly phosphoriques et les chlorures de poly phosphonitriles.

Polymères organiques: C'est la classe la plus riche, ils constituent presque la totalité des polymères d'utilisation courante. Les principaux polymères organiques des synthèses sont : polyoléfines, les polyvinylyles, les poly diènes, les polyamides, les polyesters et les polyacryliques.

Polymères mixtes : Sont doués de propriétés intéressantes dont une bonne résistance thermique (300-350 C°). L'hétéroatome peut être soit dans la chaîne principale soit dans les motifs latéraux.

I.2.2.2 Selon la structure des chaînes

Polymères linéaires et monodimensionnels : enchaînement dans une seule direction de l'espace.

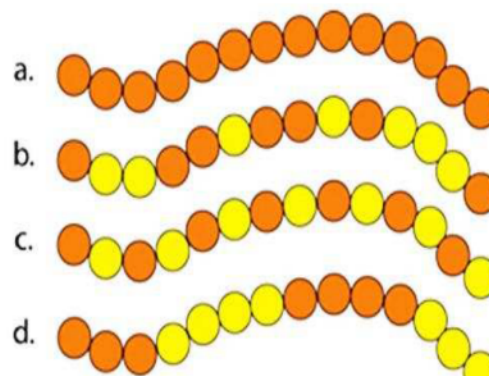


Figure I-1 : Polymère linéaire.

Polymères bidimensionnels : Enchaînement s'étendant dans deux directions de l'espace

Ex : Le Graphite

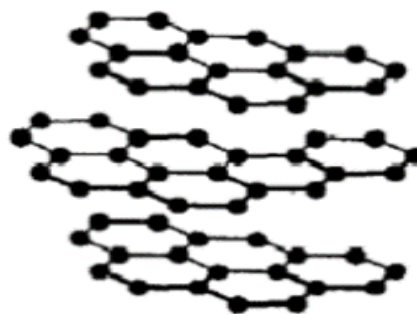


Figure I-2 : Polymères tridimensionnels.

Il est possible de transformer des molécules linéaires en molécules 3D par pontage. Se sont des réseaux à trois dimensions, ils représentent environ 30% des polymères industriels. Il est possible de transformer des molécules linéaires en molécules 3D par pontage.

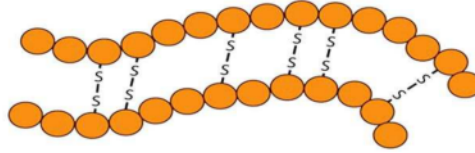


Figure I-3 : molécule 3d.

I.2.2.3 Selon leur origine

Polymères naturel : Existents en l'état dans la nature comme ils sont très nombreux, il est courant de les subdiviser suivant leur provenance végétale, animale ou minérale.

Polymères artificiels (ou régénérés) : Bien que le constituant de base soit d'origine naturelle, ils résultent d'une transformation chimique des fonctions portées par les unités monomères, par exemple : les dérivés cellulosiques dont la molécule de base est la cellulose.

Polymères synthétiques : Les molécules monomères qui permettent de les obtenir n'existent pas dans la nature, cependant on peut remarquer que les structures réalisées par synthèse sont souvent proche de celles des polymères naturels.

Thermoplastique : Soumis à une élévation de température modérée, les polymères deviennent mous mais sans modification des liaisons chimiques.

Thermodurcissable : Les températures élevées provoquent des réactions de pontage et réticulation irréversible qui conduisent à des réseaux rigides tridimensionnels.

Thermo élastiques : l'objectif recherché actuellement est la mise au point des polymères capables de conserver l'élasticité à des températures modérément élevées afin de palier à la limitation thermique qui est le point faible des élastiques actuels.

I.2.2.4 Selon les usages technologiques

Fibres synthétiques : On peut citer le nylon, le tergal, le coton et la soie.

Plastomères : Ce sont les plastiques au sens large regroupant les thermodurcissables et les thermoplastiques.

Elastomères : Sont par définition des polymères ayant des propriétés élastiques réversibles (allongement réversible important).

Exemple : Caoutchouc naturel, polybutadiène et poly isoprène.

I.2.2.5 Selon l'importance économique

Pour les polymères comme tout produit industriel, il existe une corrélation entre le tonnage et le prix. Ceci permet de distinguer trois grandes catégories de polymères commerciaux.

Les polymères de grande diffusion : Dont le volume des ventes et de productions est élevé et dont le prix est faible, par exemple : Le Polyéthylène (PE), polypropylène (PP), Polystyrène (PS), Polychlorure de vinyle (PVC).

Les polymères à haute performance : Dont le volume des ventes est le plus faible et les prix les plus élevés.

Les polymères techniques: Dont le volume et le prix sont intermédiaires entre les deux catégories précédentes, par exemple: polyamide.

I.2.2.6 Selon l'utilisation

Colles et adhésifs, peintures, vernis, mastics, matière plastique, caoutchoucs fibre textiles et mousses etc.

I.2.2.7 Selon le cycle de vie

Matériaux jetables (durée de vie inférieure à un an) durable (1 à 20 ans) pour infrastructure (durée de vie supérieure à 20 ans).

I.3 Architecture atomique des polymères

Les polymères qui sont constitués de macromolécules de masse moléculaire très élevée présentent un agencement plus au moins régulier de ces molécules plus difficile à décrire que celui des atomes d'un métal donc nous nous attacherons surtout à décrire l'influence de l'architecture atomique des polymères sur les propriétés des matériaux.

I.3.1 Polymères Amorphes

Les polymères linéaires sont constitués de longues chaînes dont la cohésion est assurée par des liaisons faible à chaud. Ces chaînes peuvent glisser assez facilement les unes par rapport aux autres, les polymères prennent alors la forme d'un liquide plus au moins visqueux.

Au cours du refroidissement l'agitation thermique décroît, les chaînes ne peuvent pas glisser facilement, les unes par rapport aux autres, le polymère passe alors par une transition (liquide-solide-amorphe).

Dans le cas du polyéthylène, on remarque que la liaison simple C-C qui existe dans le squelette de la chaîne permet à celle-ci d'effectuer assez facilement une rotation sur elle-même par contre en ce qui concerne le polychlorure de vinyle la présence d'un atome de chlore lié au squelette C-C (atome qui présente une plus grande taille que les

atomes d'hydrogène rend la chaîne moins flexible que celle du PE. Il existe trois configurations stéréochimiques :

La disposition à tactique : où les groupes latéraux apparaissent au hasard le long de la chaîne.

La disposition isostatique : ou les groupes latéraux sont situés du même côté de la chaîne.

La disposition syndio tactique : ou les groupes apparaissent en alternance régulière le long de la chaîne.

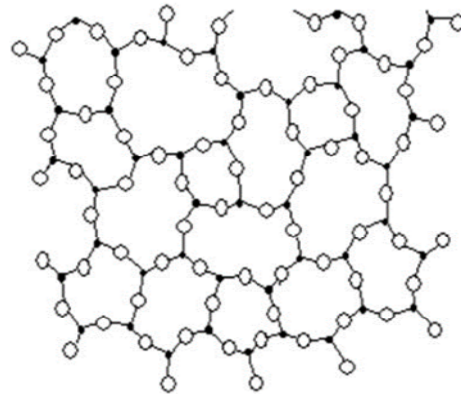


Figure I-4 : Polymère amorphe.

Les copolymères peuvent être greffés autrement dit que des greffons (ou brins de chaînes) peuvent être reliés à la chaîne principale (des chaînes secondaires). Une telle ramification de la chaîne principale ne se produit pas uniquement pour les copolymères mais également pour plusieurs homopolymères.

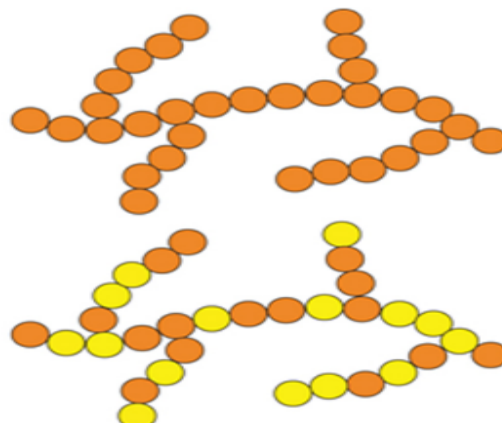


Figure I-5 : Polymère ramifié.

I.3.2 Polymères réticulés

A partir de monomères trifonctionnels ou multifonctionnels, on peut obtenir des polymères dont les chaînes forment un réseau tridimensionnel, de tels polymères sont dits réticulés. On peut également obtenir cette réticulation dans les polymères à

chaînes linéaires, si on y arrive à créer des liens transversaux entre les chaînes linéaires principales, par liens transversaux, on sous-entend des liaisons de forte intensité (liaisons covalentes) et non des liaisons de faible intensité (liaisons de Van-Der-Waals ou ponts d'hydrogène), le caoutchouc vulcanisé est un polymère réticulé typique, ce caoutchouc fut découvert en 1839 par **Charles Goodyear**.

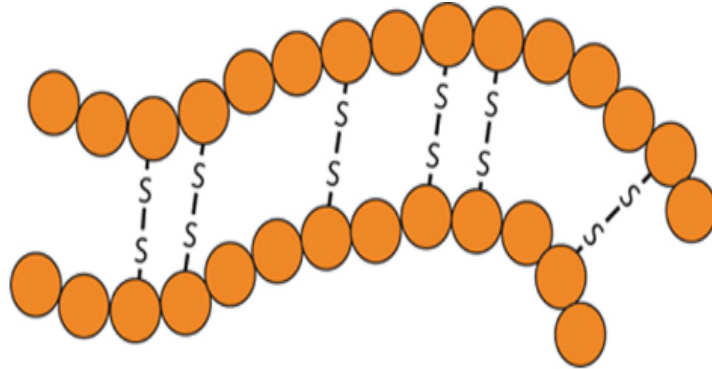


Figure I-6 : Polymère réticulé.

I.4 Caractéristiques et propriétés

Les propriétés physico-chimiques d'un polymère vont dépendre de :

- Sa structure chimique.
- Sa masse molaire M_n ou M_w .
- Sa morphologie.

I.4.1 Propriétés physiques des polymères

Avant tout, rappelons qu'il existe une grande variété de matières plastiques, tout comme il existe un grand nombre d'alliages métalliques, une des caractéristiques physiques générales des polymères est :

La masse volumique : La masse volumique des matières plastiques est peu élevée.

La légèreté des polymères est sans aucun doute une des qualités qui a le plus largement contribué à leur diffusion. En ce qui concerne le rapport (résistance à la traction / masse volumique), certains polymères sont en fait supérieurs bien à des matériaux métalliques.

La faible masse volumique des plastiques est due au faible poids atomique des principaux atomes de leurs chaînes (principalement l'hydrogène et le carbone)

I.4.2 Propriétés mécaniques

La résistance et la contrainte

Les grandeurs caractéristiques permettant de comparer le comportement mécanique des différents matériaux sont définies ci-dessous et illustrées sur cette figure :

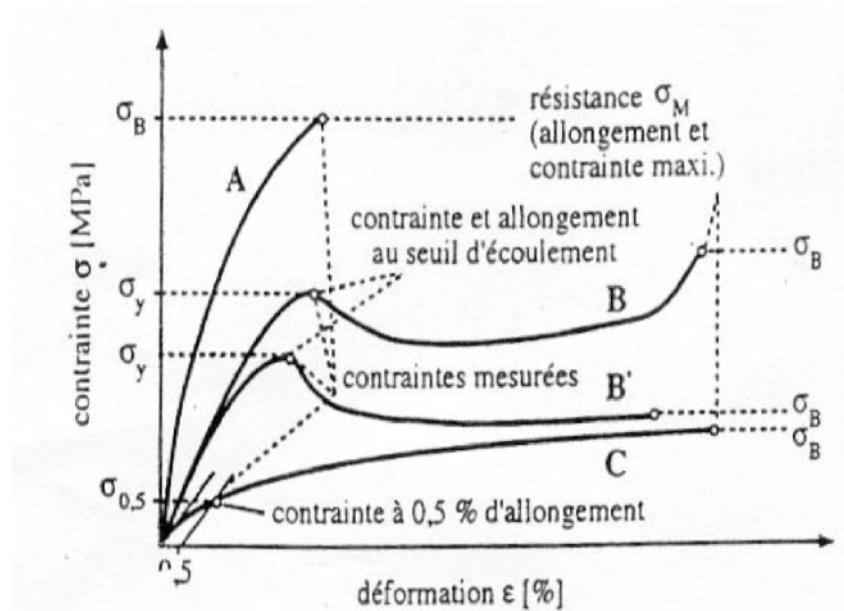


Figure I-7 : Résistance et contrainte des polymères.

Interprétation de la figure suggère

Contrainte au seuil d'écoulement " σ_y " : Définie comme la contrainte en traction pour laquelle la pente de la courbe (σ - ϵ) s'annule pour la première fois.

Résistance en traction σ_M (ou contrainte maximale en traction) :

Elle caractérise, comme son nom l'indique la contrainte maximale supportée par l'éprouvette pendant l'essai de traction.

Contrainte à x% d'allongement σ_x :

Définie comme la contrainte en traction pour laquelle la courbe (σ - ϵ) est décalée, par rapport à la courbe initialement linéaire, d'une distance correspondante à un allongement de x %.

Contrainte à la rupture σ_B :

Elle est déterminée à la rupture de l'éprouvette (quand il n'y a pas de seuil d'écoulement et donc de contrainte correspondante ou qu'il n'est pas possible de déterminer la contrainte à x % d'allongement).

La résistance en flexion :

Elle est calculée selon des normes et pour les thermoplastiques ductiles.

La résistance en compression σ_{cm} :

Elle est mesurée sur des petites éprouvettes d'essai, pour limiter le risque de flambage. Il est important de noter que la présence d'entailles et de petites fissures est moins importantes dans ce type d'essai que dans l'essai de traction, puisque ces défauts morphologiques peuvent se fermer sous l'effet de pression. Pour cette raison, la résistance en compression des matériaux polymères est généralement plus élevée que la résistance en traction.

La résistance en cisaillement " τ_m " :

Elle peut être déterminée à partir des éprouvettes cylindriques, soumis à une sollicitation de torsion. Les déformations non homogènes des éprouvettes sont à éviter pendant l'essai. La résistance en cisaillement " τ_m " est généralement mieux définie à partir de la résistance en traction, en utilisant le critère de déformation de "Haber Von Mises Henky".

$$\tau_m = 0.58 \sigma_M$$

On peut en général appliquer le classement suivant :

Résistance en cisaillement < Résistance en traction < Résistance en compression < Résistance en flexion.

I.4.3 Propriétés thermiques

La température : La température de transition vitreuse " T_g " et la température de fusion " T_f " sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères. La température de transition vitreuse est partiellement importante pour les polymères amorphes, notamment les thermoplastiques amorphes, pour lesquels, il n'existe aucune force de cohésion importante autre que l'enchevêtrement. Les zones cristallines ne fondent que bien au delà de la température de transition vitreuse.

Les températures caractéristiques d'un seul et même matériau peuvent alors être classées de la façon suivante :

Température de transition vitreuse < Température de cristallisation < Température de fusion < Température de décomposition thermique.

Selon la température à laquelle il est soumis, un matériau polymère peut présenter des comportements mécaniques différents. Ceci peut se produire pour les thermoplastiques semi cristallins dans un domaine même étroit de la température

quand les propriétés mécaniques et thermiques se mêlent (essais de tractions a température variables...etc). Le schéma si dessous résume cela :

Comportement mécanique des polymères

Généralités

Effet de la température

- a) Présentation
- b) Faibles déformation – Notion de transitions
- c) Autres caractéristiques

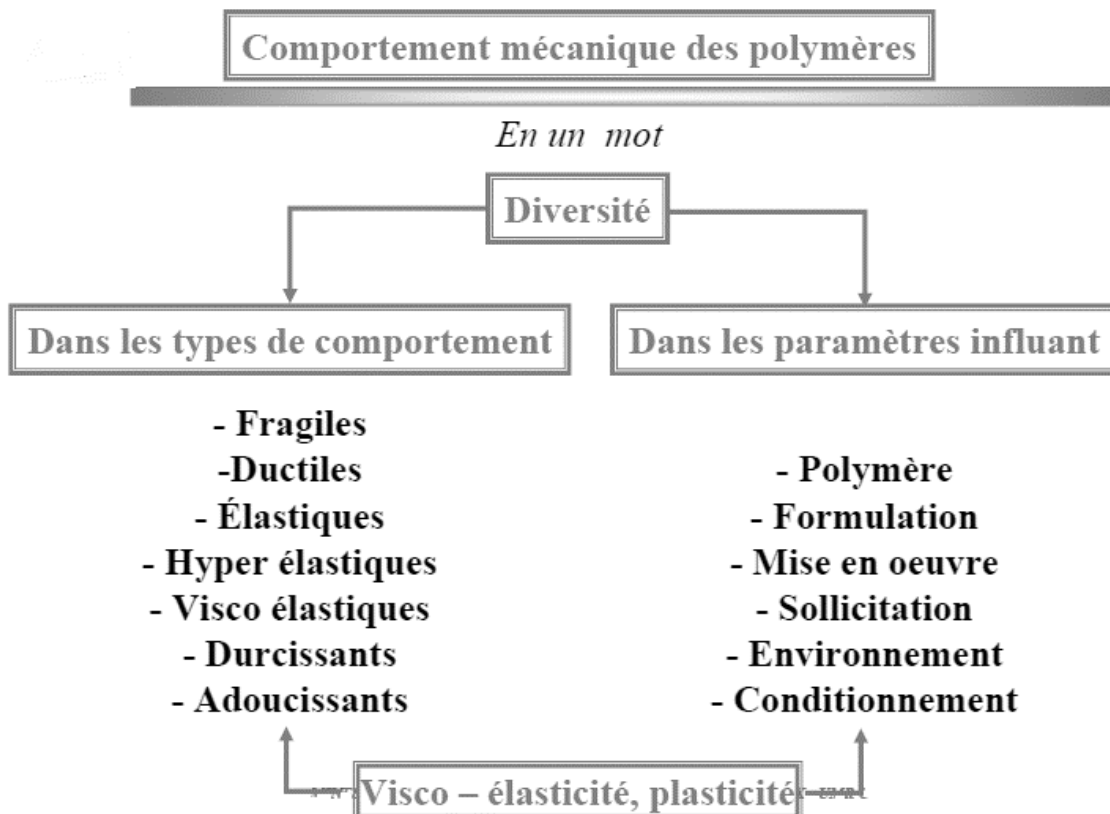
La viscoélasticité

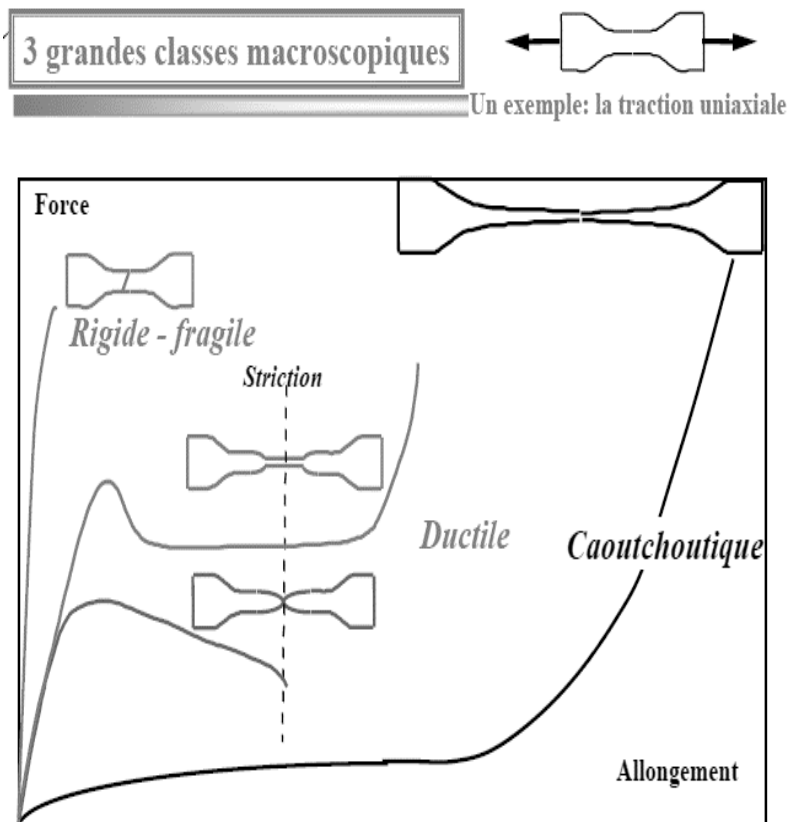
Effet de vitesse et équivalence temps-température

Origine moléculaire

Effet de l'architecture des chaînes

Grande déformation – Plasticité





Pour une condition donnée
on trouve "toujours"
un polymère de chaque classe

Pour un polymère
on trouve "toujours" (ou presque)
une condition qui le fait rentrer dans une classe ou une autre

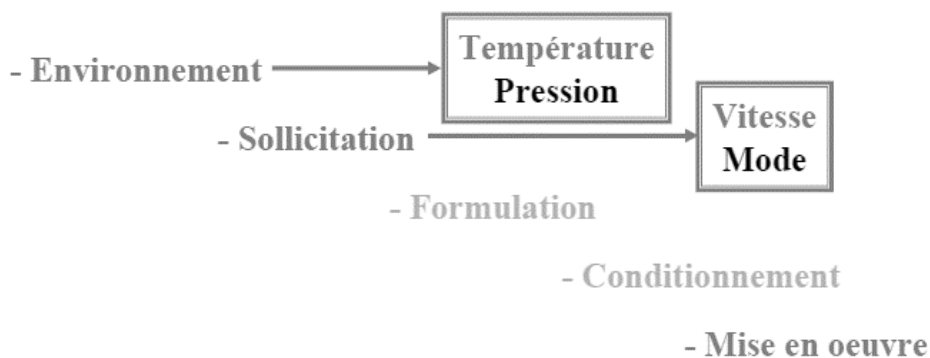


Figure I-8 : Comportement mécanique des polymères.

I.5 Domaines d'utilisation

I.5.1 Élaboration des quatre plus importants polymères industriels

A partir du pétrole brut, après son raffinage et l'extraction des coupes légères fournissant les carburants, on récupère le naphta et les bitumes.

Le naphta est transformé essentiellement en éthylène, en propylène et en benzène par vapocraquage, et ce sont ces gaz qui sont à l'origine de la polymérisation des quatre grandes familles de polymères suivants :

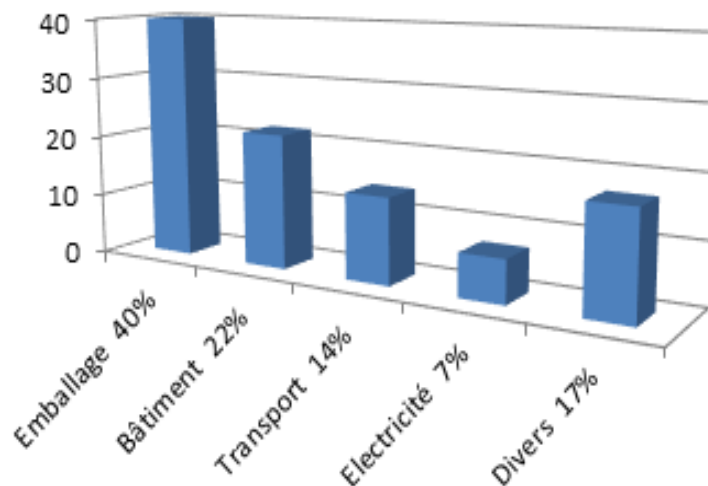
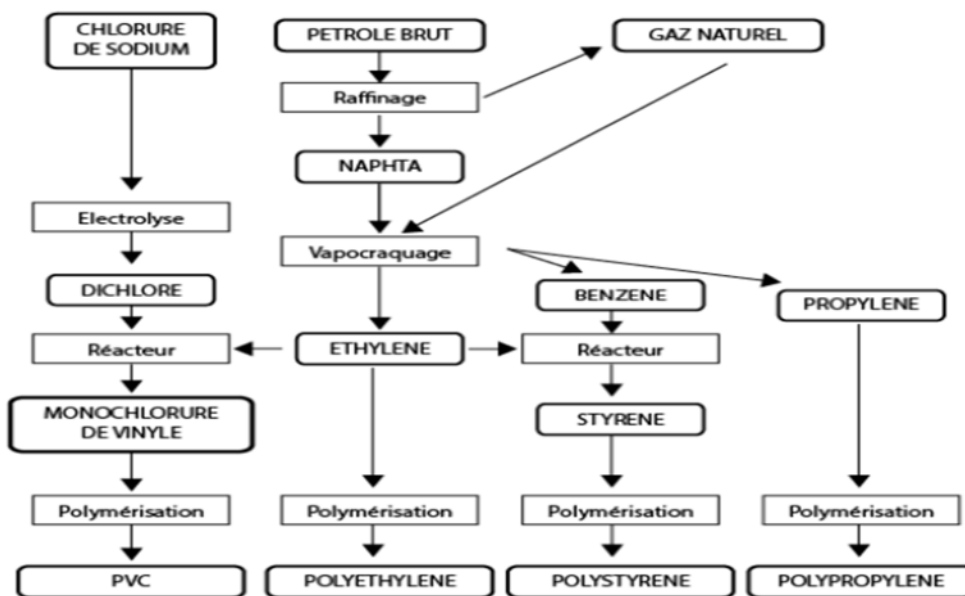


Figure I-9 : Domaines d'application des polymères.

I.5.2 Les trois grandes familles des polymères

Les polymères linéaires thermoplastiques : 85% des polymères sont linéaires.

Ils possèdent 3 états physiques suivant la température : Solide, caoutchoutière et liquide.

Les polymères thermodurcissables :

Polymères réticulés (résines). Ils ne possèdent pas d'état liquide. Non recyclables.

- Ils sont mis en forme par polymérisation définitive.
- Performances thermomécaniques plus élevées que celles des thermoplastiques.
- Grandes possibilité de mélanges permettant l'élaboration de matériaux composites.

Les élastomères :

- Polymères spéciaux utilisés pour leur comportement élastique particulier.
- Les élastomères peuvent être des thermoplastiques ou des thermodurcissables.
- Ils sont constitués de très longues chaînes faiblement réticulées (1 pontage / 1000 atomes)

I.6 Liste des principaux polymères industriels

I.6.1 Polymères thermoplastiques

Polymères linéaires très nombreux. Ils possèdent 3 états physiques suivant la température : solide, caoutchoutière et liquide.

Ils sont mis en forme par de nombreux procédés d'injection ou d'extrusion à chaud.

Possibilités de variation des propriétés par cristallisation partielle ou formation de copolymères. Il existe quelques rares alliages de polymères thermoplastiques (ABS).

Polyoléfines : Polyéthylène /Polypropylène. (PE PP)

Très répandus et plus abondants peu chers, faible résistance mécanique, Très déformables, grande inertie chimique et non collamboles. Récipients, films, pièces antichocs, automobile.

Polystyréniques PS

Excellentes performances de moulage, résistance mécanique moyenne. Cassants. Sensibilité à de nombreux produits chimiques, transparence possible. Petits objets de formes complexes.

Polychlorure de vinyle. (PVC)

L'un des plus anciens. Très grande variété de performances mécaniques, très bon marché, mise en forme très facile. Contenu en chlore gênant pour l'environnement. Câbles électriques, flacons et récipients, tuyauteries, bâtiment.

Polyamides PA

L'une des familles les plus universelles, performances mécaniques et thermiques élevées. Textiles, cordages, pièces automobiles travaillant à températures moyennes, électroménager.

Acrylonitrile-Butadiène-Styrène (ABS)

Famille de copolymères formant des alliages biphasés, allient ténacité et résistance, très grande qualité des surfaces. Électroménager, appareils portables, boîtiers.

Polyesters thermoplastiques : PET

Grande facilité de mise en forme, transparence, résistance élevée, bouteilles.

Polyméthyle métacrylate (PMMA)

Produits transparents faciles à former (Plexiglass), rigides et cassants.

Polycarbonates (PC)

Produits transparents de haute qualité, rigides mais résistants aux chocs, visières, boîtiers.

Polyéthers (PEEK)

Polymères avancés de hautes performances mécaniques et thermiques.

Polyfluorocarbonés (PTFE)

Polymères d'inertie chimique et thermique exceptionnelles, faible résistance mécanique. Revêtements d'appareils culinaires, chimie, isolants électriques, tuyauteries.

I.6.2 Polymères thermodurcissables

Polymères réticulés (résines). Ils ne possèdent pas d'état liquide. Ils sont mis en forme par polymérisation définitive. Grandes possibilités de mélanges permettant l'élaboration de matériaux composites.

Phénoliques (Aminoplastes)

Anciens, grande résistance chimique et surtout thermique, peu chers, rigides et cassants.

Placage de meubles en stratifiés, carrosseries de poids lourds, matériel électrique.

Polyesters insaturés.

Très vaste famille de produits aux performances moyennes à élevées. Très utilisés. Dans la construction navale de plaisance, coques, composites de gamme moyenne.

Epoxydes :

Produits de hautes performances mécaniques et thermiques, chers, circuits imprimés, pièces composites de hautes performances, Colles structurales.

Polyuréthannes :

Rigides, bonne résistance thermique, spécialisés dans les produits cellulaires (mousses), Silicones. Très grande inertie chimique et thermique, faibles résistance mécanique.

Pièces souples en chimie, en chirurgie, moules de fonderie à basse température, radômes.

Polyamides :

Polymères de haute résistance spécialisés pour le travail à chaud (300°C), difficiles à mettre en œuvre, chers. Aéronautique, structures de moteurs et de missiles

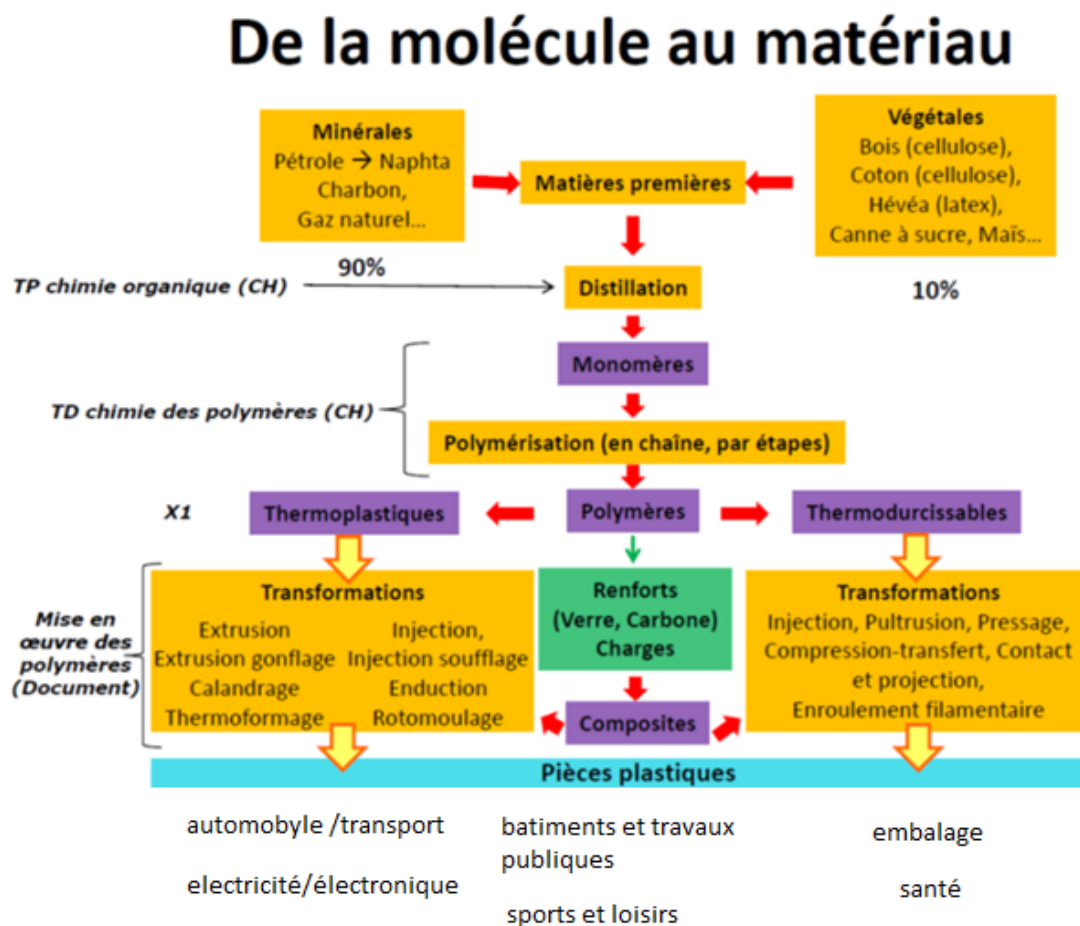


Figure I-10 : Transition de la molécule aux matériaux.

I.7 Mise en forme

I.7.1 Définition

Comme pour les métaux, les produits en matières plastiques peuvent être fabriqués par enlèvement de matière, par pliage et par soudage. Ces techniques de transformation restent cependant marginales.

Généralement l'obtention des pièces de formes données est faite par des procédés de mise en forme permettant de réaliser des séries importantes ou de produit en continu. Pour les matières thermoplastiques, on emploiera principalement les procédés suivants :

- L'injection
- L'extrusion
- L'extrusion soufflage
- L'injection soufflage
- Le roto moulage
- Le thermoformage

Ces procédés sont aussi utilisés pour les matières thermodurcissables, mais qui nécessitent une attention particulière pour la température, d'autres procédés prennent place comme la compression.

I.7.2 Le procédé d'injection des matières plastiques

I.7.2.1 Définition

Le procédé injection est destiné à produire très rapidement des objets en très grandes quantités. Cette technique permet d'obtenir en une seule opération des pièces finies en matière plastique, de formes complexes, dans une gamme de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

I.7.2.2 Principe de l'injection plastique

La matière, en granulé, ramollie par la chaleur est injectée dans un moule sous forte pression. Après refroidissement ces moules permettent la réalisation d'objets de dimensions et formes variables, ainsi que de pièces techniques très complexes et de grandes précisions.



Figure I-11 : Exemple de pièces obtenues par injection plastique.

Sur la figure ci dessous un exemple de machine à injection plastique avec ces différents éléments constitutifs

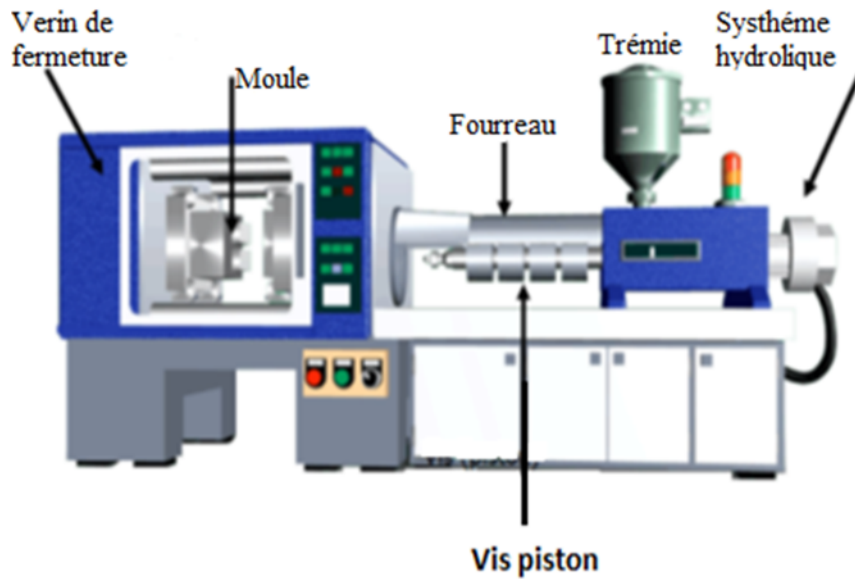


Figure I-12 : Presse à injection.

I.7.3 Le procédé d'extrusion

I.7.3.1 Définition

L'extrusion est un procédé très utilisé en plasturgie puisque la majorité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, néanmoins d'autres sortent sous forme d'objets finis.

L'extrusion est largement utilisée pour la fabrication des produits semi-ouvrés tels que plaques, feuilles, tubes.



Figure I-13 : Extrudeuse monovis.

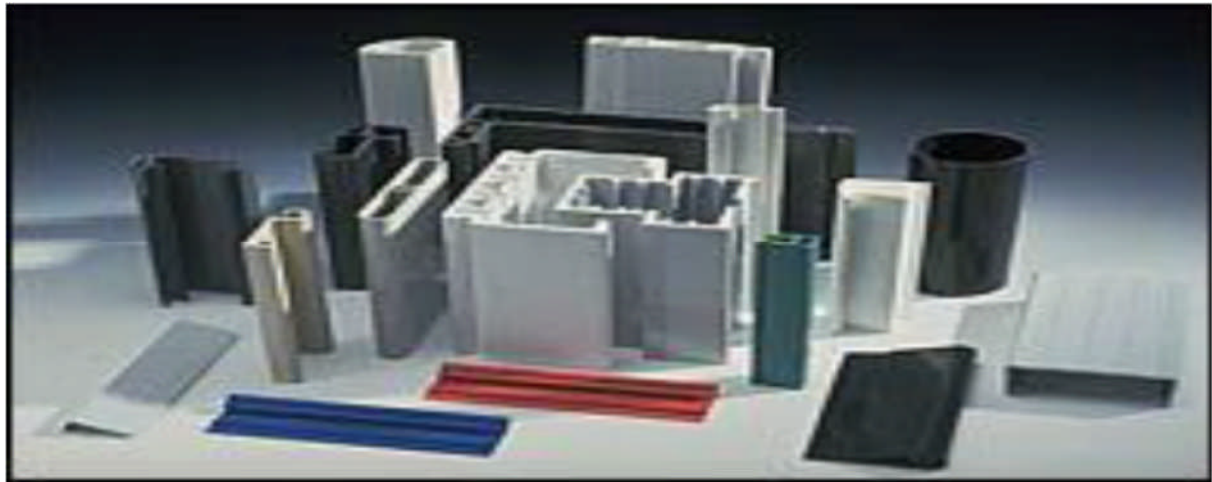


Figure I-14 : Articles obtenus par extrusion(profilés).

I.7.4 Le procédé du thermoformage

I.7.4.1 Définition

Le thermoformage est un procédé de transformation qui utilise des produits semi-finis tels que des feuilles et des plaques et les transforme en objets finis à large domaine d'applications comme les carrosseries, planches à voile, bateaux, vasques de luminaires, vitres blindées, panneaux publicitaires, emballages de produits alimentaires et d'articles de consommation.

I.7.4.2 Principe

Le thermoformage est la technique consistant à former à l'aide d'un moule, une feuille de plastique ramollie par chauffage. La feuille ainsi déformée épouse la forme du moule et en refroidissant conserve sa forme.

La technique de thermoformage utilise des produits semi-ouvrés (plaques et feuilles rigides en thermoplastiques) pour les transformer en objets tridimensionnels.



Figure I-15 : Machine de thermoformage.

I.8 Le roto moulage

I.8.1 Définition

Le moulage par rotation est une méthode de transformation des polymères permettant la production d'articles creux avec des contenances très diversifiées (de quelques dixièmes du litre à des milliers de litres). Le moulage par rotation permet de produire des petites et des grandes séries de pièces.

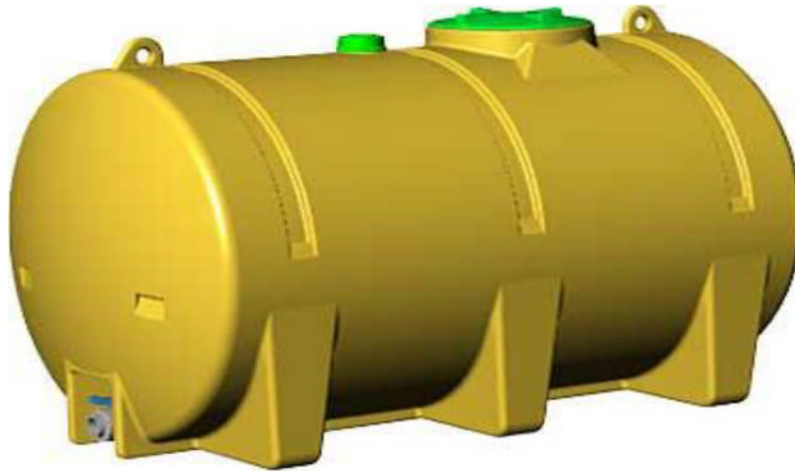


Figure I-16 : Roto de moulage.

I.8.2 Principe

Le principe de cette méthode de transformation consiste à introduire de la matière (sous forme de poudre) dans un moule qu'on chauffe et qu'on introduit en double rotation. La matière fondue parvient ainsi à couvrir toutes les parois du moule et épouse alors sa forme.

Le polymère le plus utilisé en Roto moulage est le PE (90% des applications) ; PP, PC, PA, PVC sont également utilisés. Pour être rotomoulé le PE doit être sous forme poudre avec une taille des particules entre 100 à 500 μm .

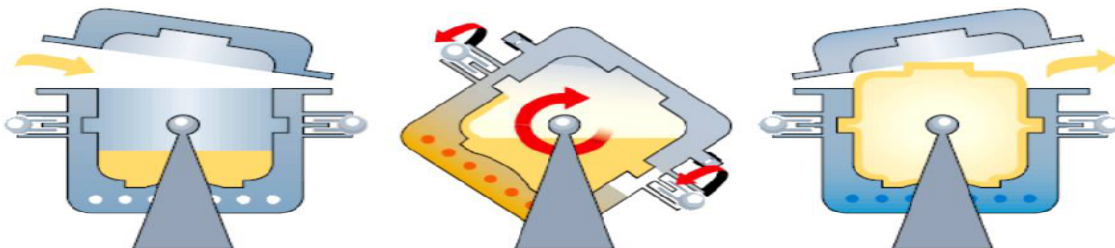


Figure I-17 : Differentes phase d'obtention d'une pièce par rotomoulage.

I.9 Le calandrage

I.9.1 Définition

Le calandrage est un procédé de fabrication en continu de films de thermoplastiques par laminage de la matière entre plusieurs cylindres parallèles.

Ces cylindres sont chauffés et entraînés mécaniquement et forment la machine de calandrage qu'on appelle : Calandre. Leur nombre se situe généralement entre 3 et 6 cylindres. La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée.



Figure I-18 : Article de calandrage

I.9.2 Principe du procédé

La matière à calandrer préalablement malaxée et chauffée passe dans la calandre pour être laminée par les cylindres chauffés et tournants. Toutes les bulles d'air sont alors chassées de la matière laminée. Un détecteur de particules métalliques qui agit par séparation magnétique est prévu à l'entrée de la matière.

Une graineuse et rouleaux décolleurs peuvent être prévus à la sortie de la matière afin de modifier l'aspect de la surface de la feuille.

Un convoyeur de stabilisation sert à transporter et étier le film laminé à la sortie de la calandre. Des tambours refroidissent ce film par action de contact. Une jauge d'épaisseur est également présente sur la chaîne pour mesurer l'épaisseur du film calandré.

A la sortie de la chaîne, des coupe-lisières sont prévues pour la finition par découpage des bords de la feuille à enrouler et enfin, une enrouleuse sert à bobiner le film à stocker.

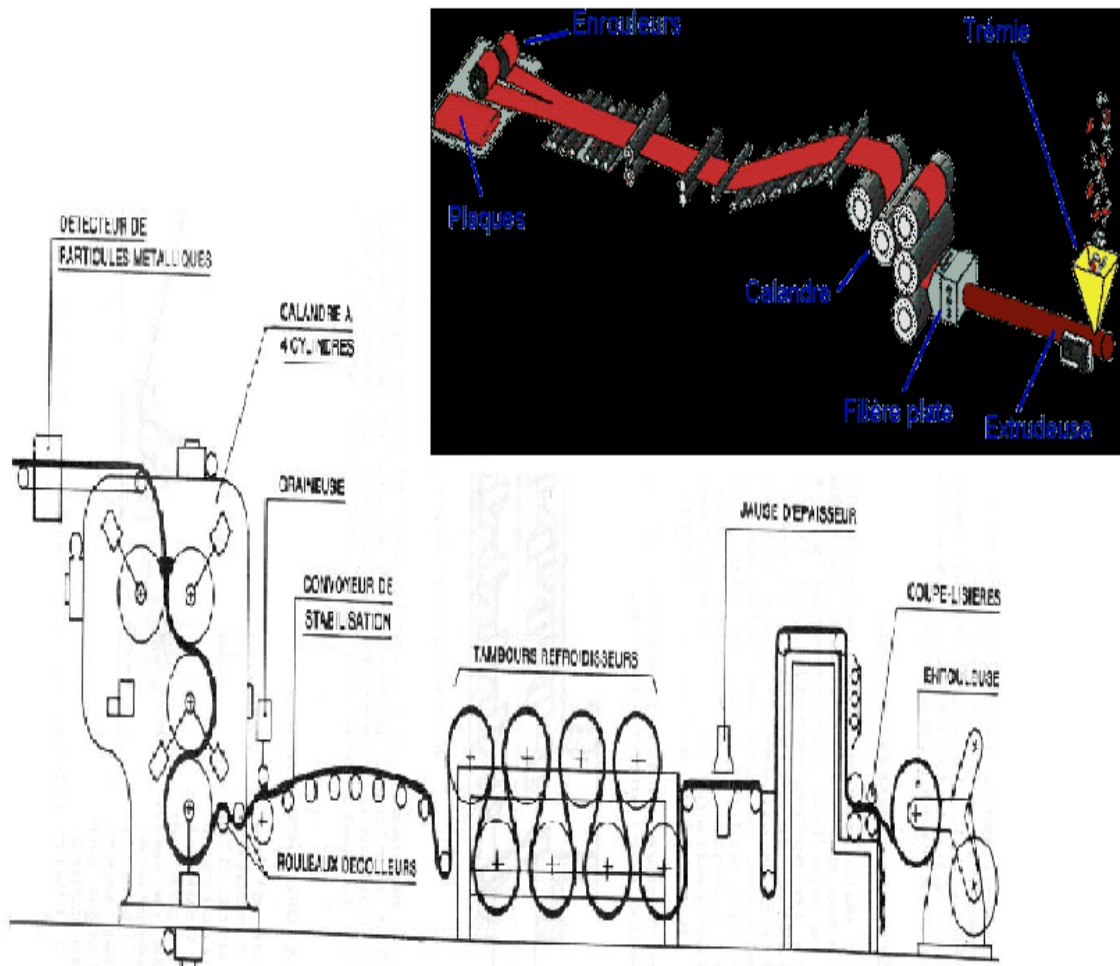


Figure I-19 : Schéma de principe d'une chaîne de calandre.

I.10 Autres procédés de mise en forme des matières plastiques

I.10.1 L'injection soufflage

I.10.1.1 Définition

L'injection-soufflage est un procédé de mise en forme de matériaux polymères thermoplastiques qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels que des flacons et bouteilles.

Ce procédé consiste à combiner la technique d'injection avec celle du soufflage. La matière est injectée pour former une « éprouvette » (préforme) qui peut intégrer le vissage final de la pièce. La préforme peut être stockée, transportée ou directement réchauffée pour être ensuite soufflée à la forme voulue. L'éprouvette est alors enfermée dans un moule de soufflage en deux demi-coquilles ayant la forme désirée.

Une extrémité de la préforme est pincée. De l'air comprimé (le plus souvent) est ensuite injecté dans la cavité par l'orifice de la préforme afin de plaquer la matière contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale.

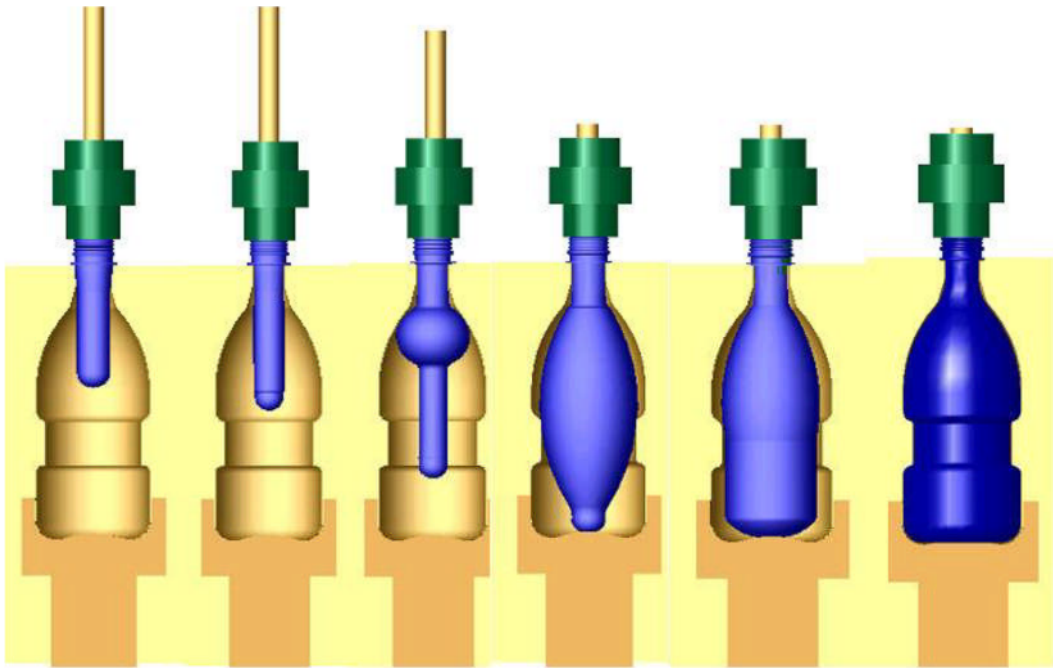


Figure I-20 : Injection soufflage

I.10.2 L'extrusion soufflage

Permet de réaliser des films d'épaisseur inférieure à 0,2 mm. Une filière annulaire (pouvant atteindre 1,80 m de diamètre) produit une gaine dans laquelle on admet de l'air sous pression. Le gonflage permet d'étirer la matière et d'obtenir l'épaisseur désirée.

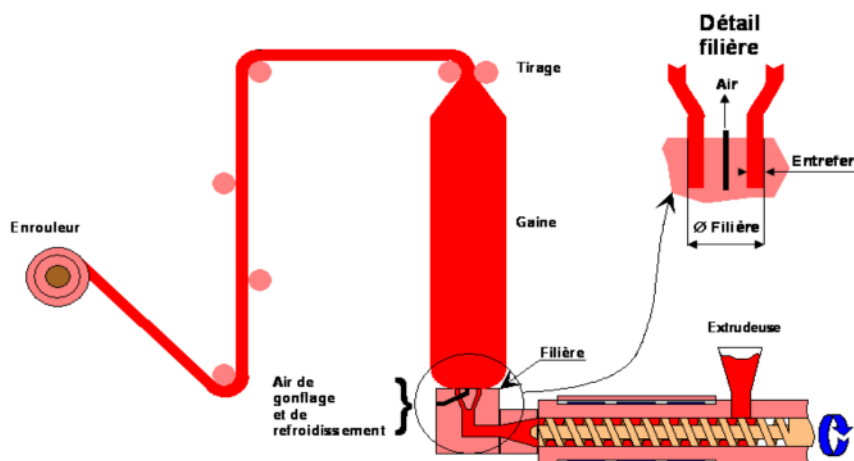


Figure I-20 : Extrusion soufflage.

I.10.3 La compression

Technique surtout très utilisée pour transformer des matières en les comprimant fortement dans un moule. Ces matières (thermodurcissables) pour la plupart auront la particularité de ne plus fondre après moulage (pièces automobiles, électriques, poignées d'ustensiles ménagers, etc...).

I.10.4 Le polystyrène expansé

Un moule est rempli de petites billes de matière qui vont prendre du volume et se coller les unes aux autres sous l'effet de la chaleur et de plusieurs composants chimiques. (Plaques pour l'isolation, emballages,...).

I.11 Conclusion

Nous avons traité dans ce chapitre les différents types des polymères et les façons de les classer en fonction de leurs caractéristiques et propriétés, et leurs comportements mécaniques ainsi leurs domaines d'utilisation, comme nous avons vu les différents procédés de mise en forme des polymères qui existent.

Nous concluons que les matériaux issus des polymères sont de grandes utilités et qu'ils occupent une place très importante dans l'industrie et dans la fabrication mécanique.

Chapitre II

Soudage des polymères

II. Introduction

Comme tous les matériaux, il existe différents types d'assemblages par soudage des polymères. Nous allons invoquer dans ce chapitre quelques types de soudage et se concentrer particulièrement sur le soudage de PVC.

Pour ces polymères que nous allons étudier dans notre mémoire, nous allons leurs procédés et différentes technique ainsi que les machines de soudages utilisé dans le domaine de menuiserie de PVC.

II.1 Types de soudage

II.1.1 Soudure par lame chauffante ou miroirs chauffant

Le soudage par lame chauffante consiste à positionner deux pièces plastiques l'une au-dessus de l'autre en laissant un espace d'environ un centimètre entre celles-ci. Dans cet espace est introduit un miroir qui chauffe des deux côtés. Les deux pièces plastiques viennent ensuite en contact du miroir jusqu'à ce que la température de la matière ait atteint sa température de fusion en surface. Lorsque les températures de fusion sont atteintes, il suffit de retirer les miroirs chauffants et de mettre en contact les deux pièces plastiques l'une avec l'autre pendant quelques secondes. Après quelques secondes de refroidissement la soudure est réalisée.

II.1.2 Soudage par ultrasons

Le soudage par ultrason est une technique d'assemblage rapide et économique pour les matériaux thermo fusibles comme certains plastiques. Ce procédé s'applique facilement aux polymères organiques à point de fusion inférieur à 200 °C , fibres mélangées avec 60 % de synthétiques, etc). Pour les polymères à point de fusion supérieur à 200 °C (acrylique, fibres thermostables, etc), l'assemblage des pièces demande plus de paramètres techniques (temps de soudure plus long, profil et type de sonoro,de, puissance et gamme de fréquence d'utilisation).

II.1.2.1 Procédé

Des vibrations de haute fréquence sont envoyées aux deux pièces par le biais d'un outil vibrant appelé sonoro,de ou tête de soudure. La soudure se fait grâce à la chaleur engendrée à l'interface des deux pièces. L'équipement nécessaire comporte :

- Un dispositif de fixation pour maintenir les pièces à souder ;
- Un transducteur électromagnétique ou convertisseur qui va générer les ondes haute fréquence ;
- Un esono rode pour transmettre les ultrasons aux pièces à souder.

Les fréquences typiquement utilisées sont 20, 30, 35, 40 et 70 kHz et les amplitudes des vibrations varient entre 10 et 120 μm , en fonction du type de matériel et de la forme des pièces à assembler.

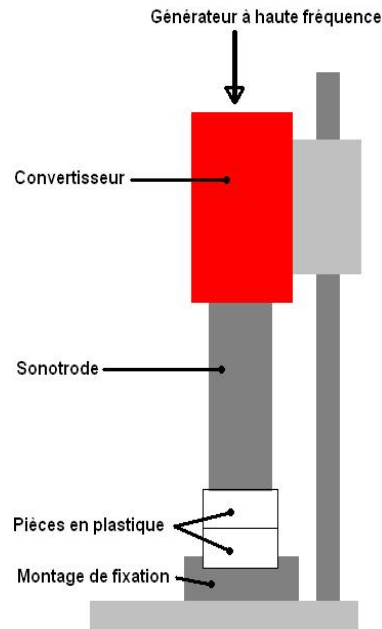


Figure II-1 : Soudage par ultrasons.

II.1.3 Soudage par rotation

Le soudage par rotation est la méthode idéale pour réaliser des soudures solides et étanches entre des pièces de révolution en plastique. Une pièce est maintenue immobile tandis que l'autre est mise en pression avec un mouvement circulaire sur la première. Les avantages par rapport à la soudure ultrason sont :

- Investissement pour une production donnée plus faible car les éléments nécessaires sont issus de machines classiques ;
- Les influences extérieures ont beaucoup moins d'effet sur la solidité et la qualité des soudures ;
- Procédé basé sur des lois physiques connues et maîtrisées ;
- Coûts du matériel de contrôle électrique modérés même dans le cas d'un soudage automatisé.

Si le positionnement relatif des deux pièces doit être dans une position imposée, il faudra prévoir un arrêt en position angulaire.

II.1.3.1 Principe de base

Dans le soudage par rotation, la chaleur est produite par la rotation et la pression appliquée sur les pièces. Si les deux pièces sont de longueur différente, c'est la plus petite pièce qui sera entraînée en rotation de manière à limiter la masse en rotation et donc les effets d'inertie.

Soudage par outil pivot :

Pendant le soudage, la partie entraînant la pièce en rotation s'engrène sur l'axe d'entraînement et les deux pièces sont pressées l'une contre l'autre. À la fin du cycle, l'axe d'entraînement est débrayé mais la pression est maintenue quelques instants (variables suivant les plastiques soudés).

Soudage par outil à inertie :

L'énergie nécessaire au soudage est stockée dans un volant, portant le montage avec une des pièces à souder, accéléré jusqu'à la vitesse voulue. Les deux pièces sont ensuite serrées très fortement l'une contre l'autre jusqu'à ce que le mouvement s'arrête.

II.1.4 Soudage laser

Le soudage laser demande que l'une des pièces soit transparente tandis que l'autre est opaque à la longueur d'onde particulière du laser utilisé. Les deux pièces sont mises en pression tandis que le rayon laser (d'une longueur d'onde comprise entre 800 et 1 100 nm) parcourt la longueur du joint, traversant la première pièce et étant absorbée par la seconde pièce. La chaleur ainsi générée fond le matériel, créant une soudure permanente lors de la phase de refroidissement. Il est également possible d'assembler deux pièces transparentes entre elles en utilisant un vernis absorbant disposé à l'interface.

II.1.5 Soudage par haute fréquence

Principalement utilisée pour le soudage des feuilles de PVC, celles-ci sont placées entre une électrode en laiton et un marbre. Un courant de haute fréquence (généralement 27,12 MHz) fond la matière selon la forme de l'électrode. Des exemples de produits soudés selon ce procédé sont : pare-soleils, porte-cartes, protège-documents (étuis de carnets de chèques...).

Le procédé de la soudure haute fréquence est utilisé pour la soudure instantanée des matériaux thermoplastiques. Il consiste en un champ électrique permettant les vibrations moléculaires nécessaires à un réchauffement interne entraînant le ramollissement des faces à souder.

Autres techniques

Soudure par friction linéaire (dite par vibration), soudure par friction « orbitale », assemblage par air chaud, soudure par points, bouterolle par ultrasons ou par air chaud, soudure par infrarouge, soudure par miroir chauffant, soudure torsion elle, soudure par chloroforme, etc.

II.2 Soudage des PVC

La réalisation du soudage de ces différentes matières s'opère dans la plupart des cas de la même manière ; souvent, d'ailleurs, il sera très difficile de faire la différence entre elles, et plus spécialement lorsqu'on se trouvera en présence de produits réalisés depuis des hydrocarbures qui peuvent être soit des Polyéthylènes, soit des P.V.C. Heureusement à quelques petites différences près, ils se prêtent aux mêmes règles de soudage.

On compte 7 façons principales de soudages pour ces produits :

- Aux **gaz chauds**
- À **impulsion**
- Par **friction**
- À **haute fréquence**
- Par **dissolution**
- Par **ultra-sons**

II.2.1 Soudage à gaz chaud

On aura soin, si les lèvres des pièces à assembler présentent une certaine épaisseur, de chanfreiner à la meule, à la lime ou au couteau à chanfreiner les endroits où le joint doit être réalisé. On évitera cependant de nettoyer les parties à unir avec un produit solvant, même si elles se présentent déjà en angle.

Pour effectuer le soudage proprement dit, spécialement pour les revêtements de sol ou les objets très rigides, on préchauffera les parties à joindre et on y appliquera ensuite, en la chauffant également, la matière d'apport.

Ce réchauffement se fera habituellement au moyen de chalumeau spécial pour les matières plastiques.

Naturellement, il ne s'agit de l'assemblage que de peu de matière, on pourra utiliser en prenant très attention aux points de fusion des matières, les appareils et chalumeaux servant aux autres travaux de soudage, en évitant toujours que la flamme soit en contact direct avec les pièces à unir. Cette façon de procéder est à proscrire lorsqu'il s'agit du soudage de pièces quelque peu importantes.

On devra forcément faire l'acquisition d'un chalumeau spécial. Ce type de chalumeau, alimenté en chaleur par le courant électrique, s'appelle chalumeau à air chaud.

On aura soin, si les lèvres des pièces à assembler présentent une certaine épaisseur, de chanfreiner à la meule, à la lime ou au couteau à chanfreiner les endroits où le joint doit être réalisé.

On évitera cependant de nettoyer les parties à unir avec un produit solvant, même si elles se présentent déjà en angle.

Pour effectuer le soudage proprement dit, spécialement pour les revêtements de sol ou les objets très rigides, on préchauffera les parties à joindre et on y appliquera ensuite, en la chauffant également, la matière d'apport. Ce réchauffement se fera habituellement au moyen de chalumeau spécial pour les matières plastiques.

Naturellement, il ne s'agit de l'assemblage que de peu de matière, on pourra utiliser en prenant très attention aux points de fusion des matières, les appareils et chalumeaux servant aux autres travaux de soudage, en évitant toujours que la flamme soit en contact direct avec les pièces à unir.

Cette façon de procéder est à proscrire lorsqu'il s'agit du soudage de pièces quelque peu importantes. On devra forcément faire l'acquisition d'un chalumeau spécial. Ce type de chalumeau, alimenté en chaleur par le courant électrique, s'appelle **chalumeau à air chaud**.



Figure II-2 : Soudure a gaz chaud.

II.2.2 Soudage à impulsion

Elle innove avec de nouvelles fonctionnalités et avec flexibilité pour plusieurs types d'applications soudées. Il s'agit d'un concept révolutionnaire de soudeuse automatique qui devient la machine la plus avancée technologiquement disponible sur le marché.

Il est maintenant possible de faire des ourlets de 0mm à 85mm entièrement automatiquement avec une seule et même machine. Créera des soudures invisibles, ainsi que la possibilité de faire des ourlets (poches) doubles, chevauchements, soudures simples, fermeture zip, jonction,...sans avoir recours à un opérateur qualifié.

Idéal pour les matériaux tels que : PVC, écrans solaires, acryliques, polyesters et plusieurs autres.



Figure II-3 : Soudeuse à impulsion.

II.2.3 Soudage par dissolution

Pratiquement, on n'aura recours à ce type de soudage que pour les réparations de petits objets, de tuyaux n'ayant qu'une faible pression à supporter, de pots ou de bassins, fabriqués à base de chlorures de polyvinyle. Dans un récipient de verre ou de métal, on mettra à dissoudre des rognures de P.V.C dans de l'acétone.

On aura soin de **malaxer** régulièrement le produit de façon à ce qu'il forme une pâte bien homogène et dépourvue d'impuretés. On nettoiera consciencieusement les lèvres des parties à souder avec un couteau ou une lime ; on les enduira d'une fine couche d'acétone qu'on laissera évaporer ; puis on appliquera la pâte dans le joint en ayant

soin d'y exercer une certaine pression avec la lame d'un couteau ou tout autre objet flexible. Dès que la pâte sera totalement sèche, le soudage sera réalisé.



Figure II-4 : Machine a souder pour pvc.

II.2.4 Soudage par friction

II.2.4.1 Définition

La soudure de vibration est un soudage par friction qui des moyens produisant la chaleur par le frottement mécanique entre un morceau mobile linéaire de travail et un composant stationnaire. Le mouvement arrêté après le suffisamment de matériel fondu. Alors le plastique solidifie et forme un lien permanent. Presque tout thermoplastique peuvent le matériel rempli ou de tissu-renforcé être soudés aussi bien qu'en verre et quelques combinaisons matérielles.

II.2.4.2 Caractéristiques

- Pour souder les pièces irrégulières et compliquées, pourrait également grande cloison de soudure.
- Elle pourrait souder plusieurs objet, aucun besoin l'autre liant, aucune puanteur, aucune pollution.
- Pour l'humidité et une quantité d'additifs en plastique ayez bon en soudant l'effet.
- Avec le système de contrôle de PLC, porte acoustique automatique bonne pour l'opération. Quand elle bouton de frein est pressée, la porte est étroite automatiquement.

II.2.4.3 Avantage

- Track le type soudage par friction, qui peut souder à arrondi le matériel.
- le corps de machine en acier élevé et le legs insonorisé externe en acier de cover.and peuvent effectivement empêcher le traitement du filtre et du bruit élevé de décibel.
- Rail linéaire de glissière de précision traitant le moule qui peut réduire la production fausse.
- N'avez pas besoin du prix élevé mould.so ne font pas s'est inquiété de la qualité de moule.
- Pour ajouter le matériel de fibre de verre tel que pp, le nylon, souder en plastique peut effectivement.

II.2.4.4 Application

La machine de soudure de vibration d'est spéciale pour la soudure de vibration des matériaux thermoplastiques, y compris la résine amorphe telle qu'ABS/PC, PVC, PMMA et SIÈGE POTENTIEL D'EXPLOSION ; résine semi cristalline telle que le HDPE, PA, pp, TPO. La machine de soudure peut engager dans des pièces d'auto, telles que le collecteur d'admission, le tableau de bord et les feux arrière et les pare-chocs ; utilisations d'aviation telles que le tube de la CAHT, les lumières intérieures et la boîte de rangement ; les appareils électroménagers sont jet et pompe de coquille de machine d'aspiration et bras de jet, lave-vaisselle détersif.

Très utilisé dans l'industrie automobile, industrie électronique, industrie médicale, appareils électroménagers, habillement tissé, fournitures de bureau.

II.3 Application portes et fenêtres

Les étapes de la fabrication des fenêtres :

La fabrication de nos fenêtres PVC suit un processus rigoureux, au cours duquel toutes les étapes sont gérées de façon optimale (de la commande au produit fini, en passant par l'approvisionnement et la gestion des matériaux de base jusqu'à la livraison, etc).

➤ Déchargement du profilé

Les profilés PVC, d'une longueur de 6 mètres, sont stockés sur les sites de fabrication. Il existe différents types de profilés suivant le coloris de la menuiserie PVC, le type de pose, souhaité.

➤ Coupe du profilé

Les profilés sont ensuite débités sur mesure avec coupe à onglet. Une surcote de 6mm est appliquée pour laisser de la matière à la soudure.

L'usinage des mortaises et les perçages des évacuations d'eau sont également réalisés.

L'ensemble de ces opérations se faisant sur des centres d'usinage entièrement automatisés avec positionnement laser.

➤ Soudure

Qu'il s'agisse du dormant ou du battant, les angles des menuiseries PVC sont assemblés par soudure.

Les assemblages des menuiseries PVC sont ainsi réalisés en quelques secondes.

➤ Ebavurage

Après la soudure, l'ensemble des menuiseries PVC sont nettoyées de leurs surplus. Un travail de précision, réglé au micron près, surtout pour les fenêtres en PVC chêne d'or.

Après cette opération, la chaîne de production est scindée en deux parties :

- 1. Les dormants.**
- 2. Les ouvrants.**
- 3. Ferrage**

A cette étape, on met en place l'ensemble des accessoires de la menuiserie : les paumelles, les systèmes de condamnation, etc.

Un travail 100% manuel au cours duquel les quincailleries vont varier en fonction notamment du type d'ouverture souhaité de la menuiserie et d'autres étapes pour finir le produit et prêt à utiliser.

II.4 Machines de soudage

Voici les principales machines de soudage avec leurs caractéristiques :

II.4.1 Machines manuelle

- Technique : par coin chauffant.
- Mode de fonctionnement : Manuelle.
- Puissance : 2 000 w.

- Utilisations : Pour pvc ,d'angle, pour profilé ,a une tête.

II.4.1.1 Description :

- Soudure simple de coin des profils entre 30°-180°.
- Soudure sans heurt de longue grâce de profils aux bras tournants de soutien.
- Tous les paramètres de la chaleur et de temps sont placés indépendamment.
- Système pratique de changement de moule.
- Platsinoxydables et durables.
- Arrangement de Digital des valeurs calorifiques.
- La course de piston est ajustée selon la taille de profil par des bouchons.
- Le profil qui économise de moment est maintenu pendant que le bouchon est ajusté 3-5 millimètres plus de haut que le profil.
- Grâce pratique de changement de téflon au système de rouleau.
- La distribution stable de la chaleur et les plats durables d'appareil de chauffage distribue la chaleur homogène.
- Soudure de la norme zéro (0,2mm). Elle peut être ajustée sur la soudure normale.
- Précision continue de grâce de soudure de qualité aux rails linéaires.



Figure II-5 : Machine manuelles.

II.4.2 Semi automatique



Figure II-6 : Soudeuse Semi automatique.

II.4.2.1.1 Description

- Convient également pour le soudage de profilés volumineux (profilés monobloc)
- Lames de limitation de cordon de soudure chauffées, réglables à une limitation pour cordon de soudure de 0,2 à 2,0 mm, pour le soudage de profils recouverts de film et d'acrylique

II.4.2.2 Options

- Cales de soudage
- Cales de soudage pour les profilés à joints montés
- Abaisseur de joints pour les angles intérieurs

Caractéristiques :

Technique : Par coin chauffant

Alimentation : AC

Mode de fonctionnement : Semi-automatique

Puissance : 2 7000 w

Autres caractéristiques : Pour pvc, profilé, à une tête.

II.4.3 Automatique



Figure II-7 : Soudeuse Automatique.

OMRM 102B : Machine de soudure automatique de profilés PVC à angle unique
Soudure de deux extrémités des profilés de fenêtre PVC afin de former un angle du cadre de fenêtre.

II.4.3.1 Caractéristiques

- Commande automatique complète.
- Longévité maximale de la soudure.
- L'angle de soudage peut être de 25 ° à 180 ° degrés.
- Compression en série des cylindres supérieurs.
- Lames spéciales pour la limitation de la ligne de joint de soudure (l'épaisseur du joint de soudure peut varier de 2 mm à 0,2 mm).
- Bras de support réglable selon le profilé.
- Un contrôle facile et pratique de la machine à l'aide de la pédale.
- Système de commande PLC.
- Commande thermostatique unité de chauffage pour le soudage au point de fusion précis des profilés en matière plastique.
- Température précise des unités de chauffage affichées sur l'écran.
- Ajustement de la température de chauffage, le temps de soudage et de la pression pour différents types de profilé.

- Le système détachable rapide de moules permet de gagner du temps lors du remplacement.
- La fonction de réinitialisation permet d'annuler l'étape exécutée de la pression de profilé à sa mauvaise installation, ce qui épargne l'essentiel du temps en comparaison avec un arrêt d'urgence.
- Un soin particulier a été pris à la fois sur les mesures de sécurité mécaniques et électriques.
- Alimentation régulée qui protège le système contre les surtensions.

II.5 Conclusion

Nous avons constaté que le choix de soudage des polymères revient au plusieurs facteurs, à savoir ses propres caractéristiques (température de fusion, longueur de sa chaîne et ses éléments chimiques constituants) aussi que les domaines d'utilisation et les coûts de chaque procédé de soudage.

Pour le PVC, nous avons vu qu'il existe différents types de soudage mais pratiquement qui se ressemblent entre eux au point d'être difficile de distinguer l'un par rapport à l'autre. Pour le soudage des profilés le critère important qui fait la différence entre les procédés est le genre de la machine utilisée (manuel, semi-automatique, et automatique).

III.1 Définition de la conception

Le mot conception fait partie de ces mots qui expriment différentes choses. Tout objet manufacturé, du plus soigné des chapeaux des femmes à la plus grasseuse des boîtes de vitesses incarne, d'une façon ou d'une autre, la conception. Nous nous intéressons principalement à la conception mécanique, qui concerne les principes physiques, le bon fonctionnement et la fabrication de systèmes mécaniques. Nous n'en n'oublions pas pour autant l'aspect « esthétique industrielle », le design, qui concerne la forme, la couleur, la texture et avant tout, l'attrait de consommateur, mais cela vient après.

III.2 Le processus de conception :

La conception est un processus itératif : au départ, il y a un besoin de marché ou une nouvelle idée ; à l'arrivée, le cahier des charges complet d'un produit qui répond à ce besoin où concrétise cette idée. Il y a un certain nombre d'étapes entre la formulation de besoin et le cahier des charges du produit, qui sont schématisés dans la figure suivante :

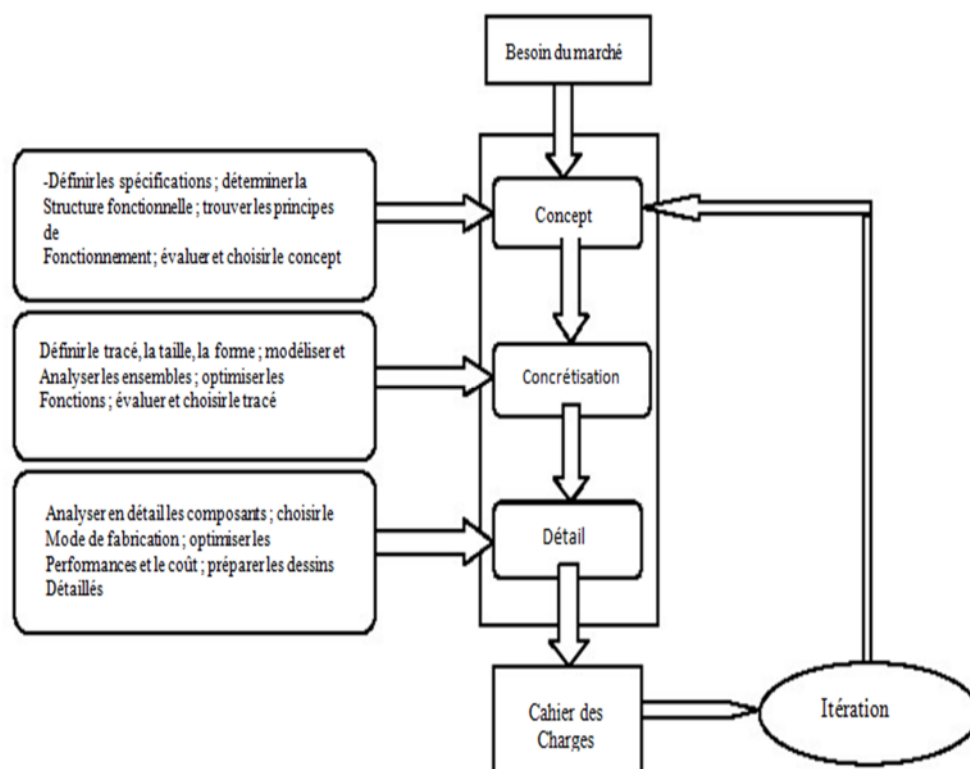


Figure III-1: Le processus de conception.

III.3 Les différents types de conception

III.3.1 Conception originale

Elle implique une nouvelle idée ou un nouveau principe de fonctionnement, comme par exemple le stylo à bille ou le disque compact. Les nouveaux matériaux peuvent offrir de nouvelles et uniques combinaisons de propriétés qui rendent possible une conception originale le silicium à haute pureté a rendu possible le transistor, le verre à haute pureté, des fibres optiques. [1]

III.3.2 Adaptation

Dans ce cas, on prend un concept existant et on cherche à l'améliorer en affinant son principe de fonctionnement.

III.3.3 Conception dérivée

Elle implique un changement d'échelle, de dimension ou de détail sans changement de la fonction ou de la méthode utilisée.

III.4 Les matériaux en conception

La conception est le processus par lequel une nouvelle idée ou un nouveau besoin est traduit en une suite d'informations détaillées à partir desquelles un produit pourra être fabriqué. Chacune des étapes de ce processus nécessite de choisir des matériaux et les procédés avec lesquels ce produit sera fait. Normalement le choix d'un matériau est un impose par la conception, mais parfois c'est l'inverse.

III.5 La conception assistée par ordinateur (CAO)

III.5.1 Définition de la CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, et de tester virtuellement des produits. Lorsqu'un système est affecté d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain, et d'apprécier globalement le comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel. Durant notre conception nous avons utilisé le logiciel de conception appelé « Solide Works ».

III.5.2 Historique sur le Solide Works

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, Solide Works a été acheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes. Parmi les plus grandes organisations

utilisant Solide Works, on peut citer Michelin, AREVA, Patek Philippe, MegaBlocs, Axiome, ME2C, SACMO, Le Bouloche, Robert Renaud et le Ministère de l'Éducation nationale français.

III.5.3 Fonctionnement Solide Works

Solide Works 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 Solide Works. 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.

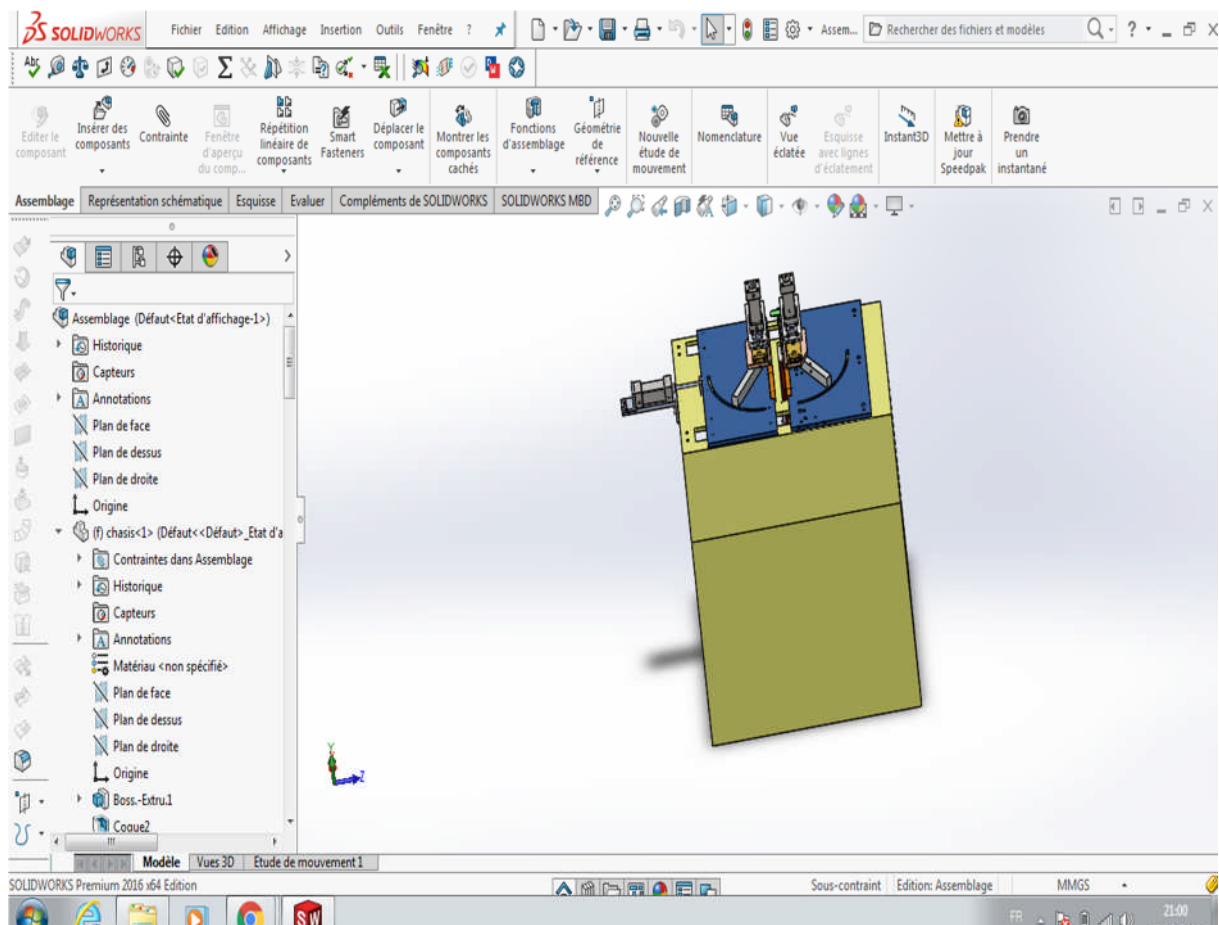


Figure III-2 : Fenêtre principale de Solide Works. (vue de face)

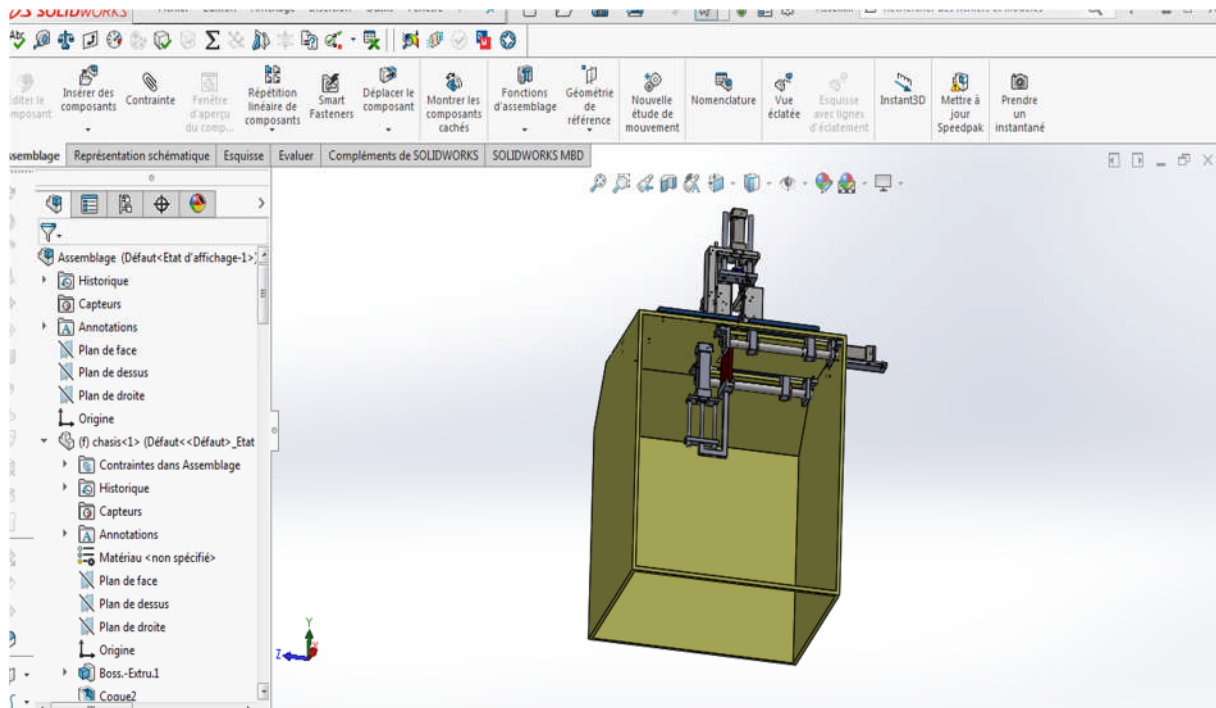


Figure III-3: Fenêtre principale de Solide Works. (Vue de dessous)

III.5.4 Domaines de la CAO

Le développement rapide de la CFAO a permis presque tous les domaines de l'industrie d'en profiter des avantages que présente cette technique, parmi ces domaines on cite :

- fabrication mécanique : conception des moules, usinage des pièces, outillages divers,.....
- Domaine de la mécanique classique : simulation et calculer des matériaux résistance des matériaux, vibration et acoustique.
- Aéronautique : conception des coques d'avions, calculs d'écoulement et aérodynamique.
- Electronique et micro-électronique : assemblage des composant (résistances, capacités, élément de logique....) et leur simulation
- Génie civile : calcul des structures
- Automobiles et transports divers
- La biomécanique : conception des organes artificiels, prothèses

III.5.5 Avantages de la CAO

La CAO possède un nombre important d'avantages qui contribuent énormément à l'amélioration de l'industrie en général, de ce fait elle est devenue un élément essentiel. Parmi ces avantages :

- Gain de temps et productivité pour les équipes de conception avec l'utilisation de la modélisation solide.
- Amélioration considérable de la qualité des produit de fait que la CAO permet de contrôler leur qualité avant même leurs production.
- Diversification de la production, par la possibilité de conception des formes complexes.
- Importance des échanges entre concepteurs et réalisateur, du fait d'une définition beaucoup plus complète en CAO.

III.6 Conclusion

Dans le monde de l'industrie, on considère la conception comme une phase très importante pour réaliser un nouveau dispositif ou même d'améliorer d'autre puisqu'elle consiste à faire des études sur le sujet. Cela aide et facilite sa réalisation surtout avec la conception assistée par ordinateur qui a marqué une avancée importante dans le domaine et a fait gagner le coût et beaucoup de temps.

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la conception de la machine souder des profilés en PVC ainsi que son mode fonctionnement, ses éléments constitutifs et l'étude des solutions sur les sollicitations qui agissent sur les pièces maîtresses de la machine à savoir, des études expérimentales de flambage que subit le profilé du PVC et la recherche de sa température de fusion ainsi que le calcul du diamètre nécessaire des colonnes de guidage sur lesquelles la partie mobile se déplace.

Dans tout produit industriel, le fabricant a pour objectif, en 1^{er} lieu, de présenter son travail par une analyse fonctionnelle sous forme d'un cahier des charges

IV.2 .Analyse fonctionnel

La démarche est généralement conduite en mode projet et peut être utilisée pour créer (conception) ou améliorer un produit.

- L'objet visé par la démarche peut être un objet, un matériel, un processus matériel ou vivant, une organisation, un logiciel, etc.
- Les besoins sont de toute nature et sont exprimés de façon individuelle ou collective, objective ou subjective, avec des degrés de justification disparates.
- La ou les fonctions étudiées sont également diverses : fonctions de service, fonctions d'évaluation, fonctions de traitement.
- Le cadre de l'étude doit être aussi pris en compte : contraintes ou variables déduites de l'environnement, la réglementation, des usages, etc.

IV.3 Types d'analyses fonctionnelles et Enjeux

IV.3.1 Analyse fonctionnelle externe

Elle concerne l'expression fonctionnelle du besoin tel qu'exprimé par le client-utilisateur du produit : Il s'agit de mettre en évidence les fonctions de service ou d'estime du produit étudié. Le produit est considéré comme une « boîte noire » et ne fait pas partie de l'analyse. Par contre les fonctions qui sont produites par cette « boîte noire » doivent être minutieusement étudiées : Il s'agit d'en faire l'inventaire, de les décrire et de les évaluer.

IV.3.2 Analyse fonctionnelle interne

Elle concerne le produit lui-même, car l'objectif est d'améliorer son fonctionnement ou ses propriétés, de réduire son prix d'achat, son coût d'utilisation, son coût d'entretien...etc. Il s'agit de comprendre « l'intérieur de la boîte » pour en comprendre l'architecture, la combinaison des constituants, les fonctions techniques.

IV.3.3 Enjeux

Lors de l'analyse fonctionnelle, chaque fonction doit être recensée, caractérisée, ordonnée, hiérarchisée et valorisée. On détermine aussi, par exemple, les fonctions principales, les fonctions secondaires et les fonctions contraintes d'un produit. Il est important de faire ce recensement afin d'effectuer un dimensionnement correct des caractéristiques du produit.

IV.4 Fonctions

IV.4.1 Caractéristiques des fonctions

L'expression des fonctions est normalisée par l'AFNOR : Une fonction se compose d'un verbe ou d'un groupe verbal caractérisant l'action, et de compléments représentant les éléments du milieu extérieur concernés par la fonction. Le sujet de la phrase n'apparaît pas, mais il renvoie toujours au produit. La définition d'une fonction est donnée par la norme AFNOR X50-151 : « Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité ».

Outre cette définition formelle, certaines règles d'usage sont à respecter :

- la forme passive est à éviter
- la forme négative est à éviter
- la formulation de la fonction doit être indépendante des solutions susceptibles de la réaliser
- la formulation doit être la plus concise et la plus claire possible

IV.4.2 Les différentes fonctions

IV.4.2.1 Fonction principale (ou fonction d'usage)

C'est la fonction qui satisfait le besoin. Elle assure la prestation du service rendu. C'est la raison pour laquelle le produit a été créé. Une fonction principale peut être répartie en plusieurs fonctions élémentaires (action attendue d'un produit pour répondre à un élément du besoin, traduisant la raison d'être d'un sous-système du produit).

IV.4.2.2 Fonction contrainte

D'après la norme AFNOR X50-151 : « Une contrainte c'est une limitation à la liberté de choix du concepteur-réalisateur d'un produit ». Les contraintes participent à définir le besoin en recensant les conditions qui doivent être impérativement vérifiées par le produit, mais qui ne sont pas sa raison d'être. Ces conditions peuvent

être liées au marché, à la stratégie de l'entreprise, aux environnements à considérer, à la technologie ou, bien sûr, à la réglementation.

IV.4.2.3 Fonction complémentaire

Fonction qui facilite, améliore, ou complète le service rendu. Ce type de fonction ne résulte pas de la demande explicite du client, et n'est pas non plus une contrainte. Il s'agit de proposer au client des améliorations pour son produit et la qualité

IV.5 Outils d'analyse fonctionnelle

IV.5.1 Méthode APTE

La méthode APTE (Application aux Techniques d'Entreprise) est une méthode universelle pour la conduite d'un projet. En partant de l'expression d'un besoin ressenti et sans considérer a priori les solutions, elle permet d'évaluer l'ensemble des contraintes (techniques, économiques, culturelles...) qui affectent le projet. Elle constitue la première phase de conception débouchant sur l'édition du cahier des charges fonctionnel.

IV.5.2 Cahier des charges fonctionnel

Un objet technique que ce soit simple ou complexe ; est un objet destiné à satisfaire un besoin. Un besoin est converti à un objet technique à travers un cahier des charges. Ce cahier établit un contrat entre le concepteur et l'utilisateur futur. Composé de l'ensemble de documents définissant le besoin ainsi que les contraintes imposées à sa réalisation.

IV.5.2.1 Diagramme « bête à cornes » ou expression du besoin

La bête à corne est un outil d'analyse fonctionnelle du besoin. En matière d'innovation, il est tout d'abord nécessaire de formuler le besoin sous forme de fonctions simples (de bases) que devra remplir le produit ou le service.

L'expression du besoin permet d'isoler l'objet étudié afin d'identifier le principal destinataire, sa matière d'œuvre, et d'exprimer sa fonction globale.

Pour établir la bête à corne il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

- ✓ À qui, à quoi le produit rend-il service ?
- ✓ Sur qui, sur quoi agit-il ?
- ✓ Dans quel but ?

L'expression du besoin est un outil de représentation de ces questions fondamentales.

A qui..... ?

Sur quoi.....

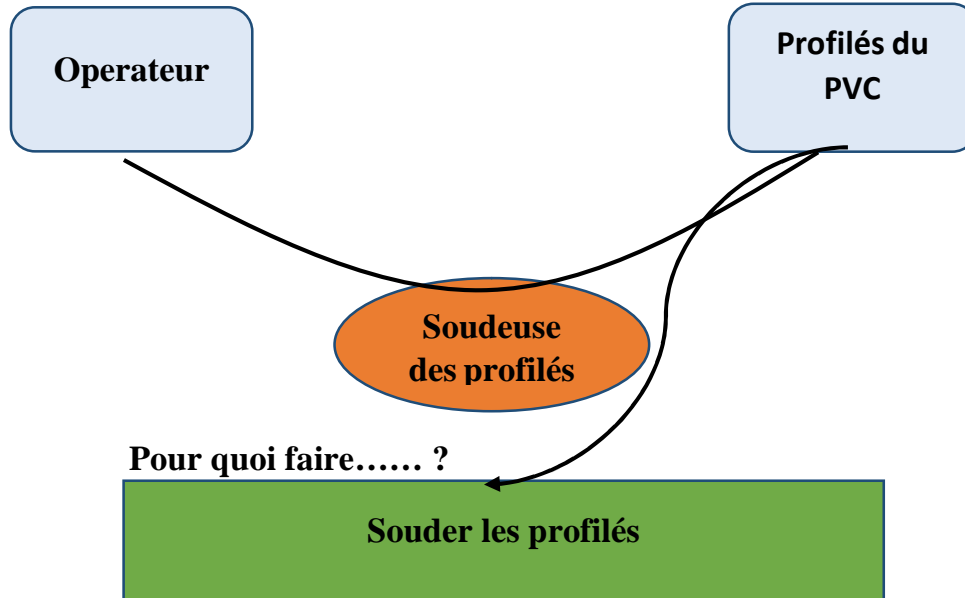


Figure : IV.1 : Diagramme bête à corne.

IV.5.2.2 Diagramme « pieuvre »

-La pieuvre, est un outil de représentation des fonctions d'un objet et de leurs relations, ce diagramme est un diagramme d'association qui est constitué du système et des éléments de son milieu environnant.

-Le diagramme fait apparaître les associations (les fonctions) entre les éléments du milieu environnant et le système.

-Une fonction est une action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimées uniquement en termes de finalité. Elle est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

-Il faut distinguer les fonctions de service des fonctions techniques.

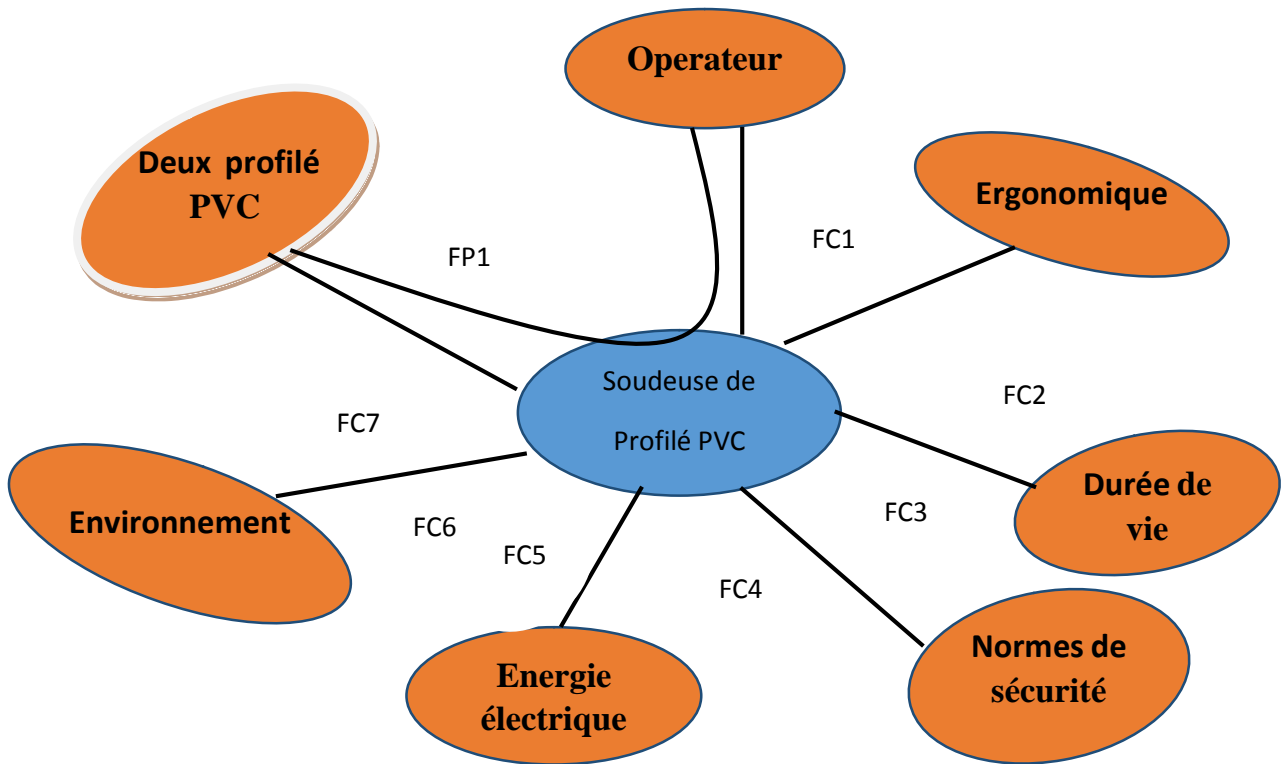


Figure .IV.2: Diagramme « pieuvre » pour le besoin.

Tableau. IV.1 : Contraintes et fonctions principales.

	FONCTIONS
FP1	Permettre à l'utilisateur de souder les profilés
FC1	Mètre la machine en marche et permettre le bon fonctionnement de l'opération en question
FC2	Assuré une durée de vie la plus langue possible à la machine
FC3	Permettre à l'operateur de travaillé dans de conditions pratique et favorable
FC4	Assuré la sécurité de l'operateur
FC5	Alimenté la machine de l'énergie nécessaire pour sa mise en marche
FC6	Utilisé la machine dans un milieu favorable (Assuré sa protection contre la poussière et l'humidité)
FC7	Posé les profilés dans le bon sens bien déterminé sur la machine

IV.5.2.3 La méthode FAST (Fonction Analysais System Technique)

C'est un type de diagramme qui présente une manière de penser, d'agir, ou de parler. Le diagramme FAST se construit de gauche à droite dans la logique suivante: du « pourquoi » au « comment ». Grâce à sa culture technique et scientifique, l'ingénieur développe les fonctions de service du produit en fonction technique. Il choisit des solutions pour construire.

Finalement, Le diagramme FAST constitue alors un ensemble de données essentielles permettant d'avoir une bonne connaissance d'un produit complexe et ainsi de pouvoir amélioré la solution proposée. Il est décrit en étant qu'une méthode usuelle d'analyse fonctionnelle.

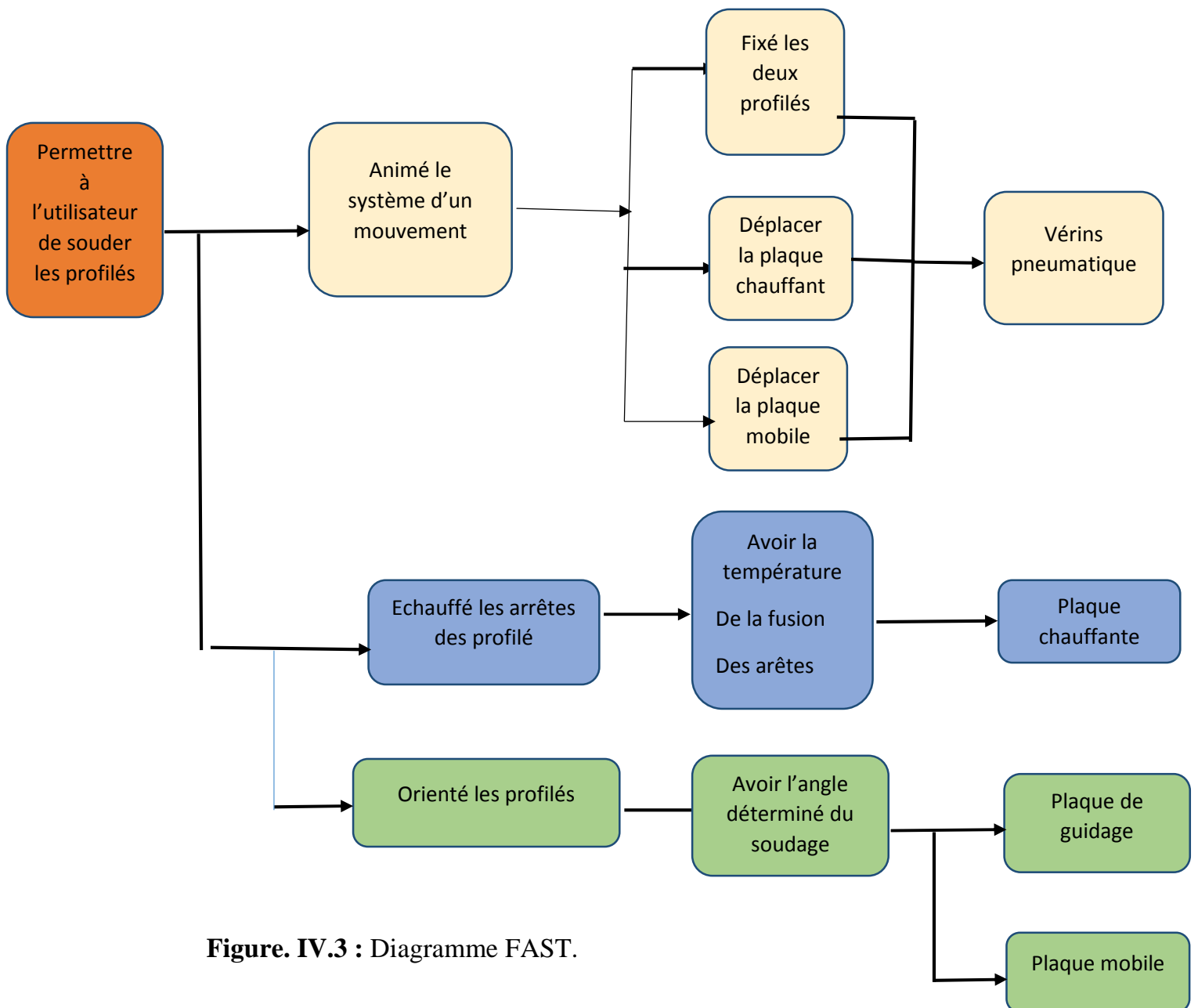


Figure. IV.3 : Diagramme FAST.

IV.5.2.4 Diagramme A-0

Ce type d'analyse permet de modéliser graphiquement un produit. L'élément graphique de base est la boîte rectangulaire dans laquelle est inscrite la fonction. On trouve également les flux de données, matières qui traversent cette fonction et les données de contrôle qui gèrent la fonction. En dessous de la boîte est noté le mécanisme réalisant la fonction.

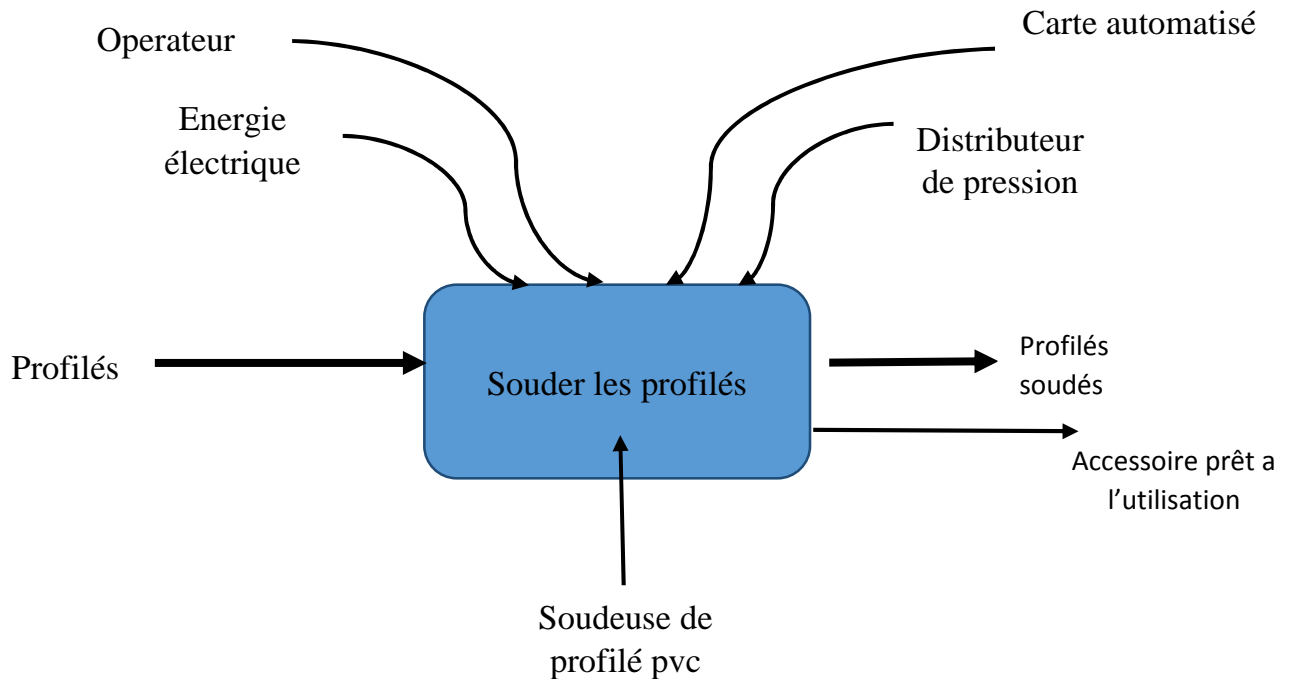


Figure IV.4 : Diagramme SADT

IV.6 Généralités sur les notions des machines et des mécanismes

Le mécanisme est un système de corps destiné à transformer le mouvement d'un ou plusieurs corps en mouvements déterminés. Tout mécanisme composé de pièces en corps isolés. Dans le mécanisme de type stationnaire certaines pièces sont fixes, l'autre se déplace par rapport aux premières.

La machine ou mécanisme qui produit le travail utile (ou produit les mouvements mécaniques) visant à transformer de l'énergie de matière ; de l'information. Les machines les plus perfectionnées et les plus complexes (voiture, motos, bateaux, avions ...etc.) réunissent généralement un grand nombre de dispositifs dont le fonctionnement est fondé sur des principes de mécanique, de physique, de chimie, de chaleur, d'électricité, d'électronique et d'informatique.

IV.6.1 Classification des éléments de machines

Toutes les machines se composent d'éléments : Pièces, nœuds et groupe.

Pièces : Partie élémentaire de la machine, comme réglé, elle est formée en matériaux homogènes (boulons, écrou, clavette, poulie, roue).

Nœud : Unité de montage dont les pièces constituées sont assemblés dans les usines à l'aide des opérations de montages (roulements, accouplement, vérins...etc).

Groupe : Ensemble de nœuds et de pièces réunie par la communauté de fonction à accomplir (boîte de vitesses, freins, moteur électrique...etc).

- Les éléments à destination générale qui se rencontre presque dans des machines sont des boulons, des écrous, des arbres, clavettes, les axes, les cames, les ressorts...etc.
- Les éléments destinations partielles comme les pistons, les vilebrequins, les arbres à cames, les soupapes, les bielles.

IV.6.2 Les éléments à destination générales :

1. Pièces d'assemblages que se soit démontable ou indémontable.
2. Pièces de transmission de mouvement circulaire (rotation).
3. Pièces et nœuds assurant la transmission (arbre, axe, palier...etc).

IV.7 La présentation de la machine.

C'est une soudeuse semi-automatique d'une alimentation électrique qui est constituée de certaines pièces fixes et d'autres qui se déplacent par rapport aux premières à travers les actions des vérins pneumatiques de pression maximale de six (6) bar commandés par une carte automatisée qui gère avec l'intermédiaire d'un distributeur de pression d'air fourni par le compresseur aux vérins de la machine.

Sur le châssis de la machine, on trouve deux tables (chariots) dont l'une est fixe et l'autre mobile d'un mouvement de translation vertical sur lesquelles se fixent les cales des profilés en fonction de l'angle déterminé par l'opérateur relativement au besoin à l'aide d'une graduation angulaire poinçonné sur les tables. Les profilés se joignent entre eux à l'aide d'un Gabarret (une plaque de guidage) mené manuellement.

Les deux arrêtes des profilés à souder s'échauffent jusqu'à la température de fusion du matériau en question, grâce à une plaque chauffante en fonte blanche dont il est intégré une résistance électrique.

IV.8 L'objectif de la machine

Dans le monde de la construction urbaine moderne, la menuiserie de la boiserie connaît une recule continue à cause de la cherté du bois et la rapidité de son usure ainsi que les difficultés de son entretien, par rapport aux autres matériaux. C'est pour

ça que la menuiserie du pvc prend le devant de plus en plus grâce au nombreux avantages, on site parmi eux :

- Résistant aux intempéries, à l'usure du temps, aux flammes et à la plupart des agents agressifs
- Imputrescible
- Insensible aux variations climatiques (contrairement à l'aluminium ou au bois)
- Bon isolant électrique, thermique et phonique
- Etanche aux gaz et aux liquides
- Léger
- Malléable, le PVC se plie à toutes les contraintes
- Choix important de couleurs, motifs et finitions (imitation d'autres matériaux comme le bois, la pierre, le marbre, le béton, etc.)
- Economique (moins cher que l'acier, le bois ou l'aluminium)
- Facile à entretenir
- Difficilement inflammable
- 100% recyclable

IV.9 Chaîne cinématique

IV.9.1 Définition

- En mécanique, c'est un ensemble de pièces destiné, au sein d'une machine, à transmettre ou transformer un mouvement. On peut la modéliser à l'aide d'un schéma cinématique ;
- En robotique, l'utilisation d'un tel schéma comme modèle articulaire.

IV.9.2 Schéma cinématique

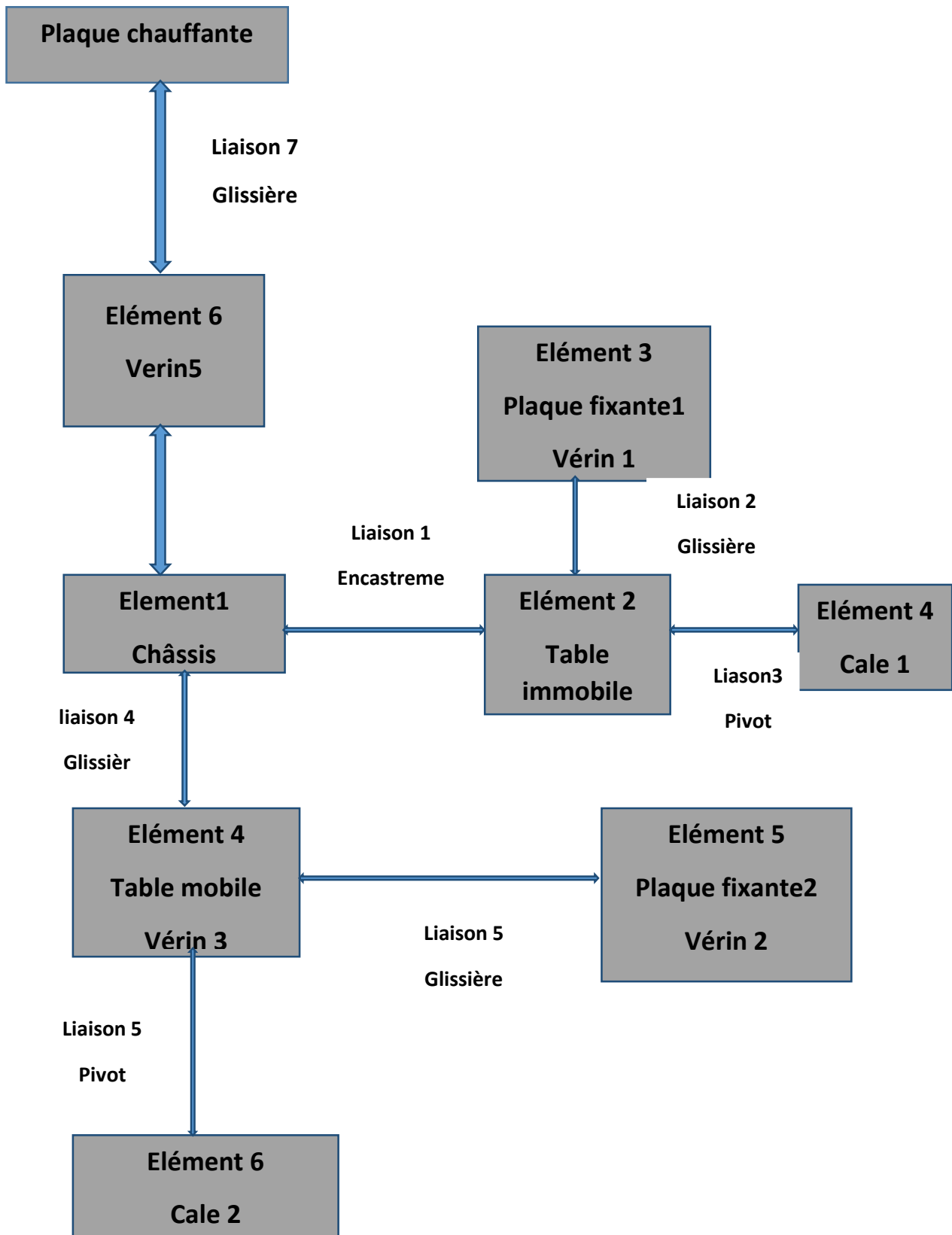


Figure.IV.5 : Shéma cinématique de la machine.

IV.12.2 Chéne cinématique :

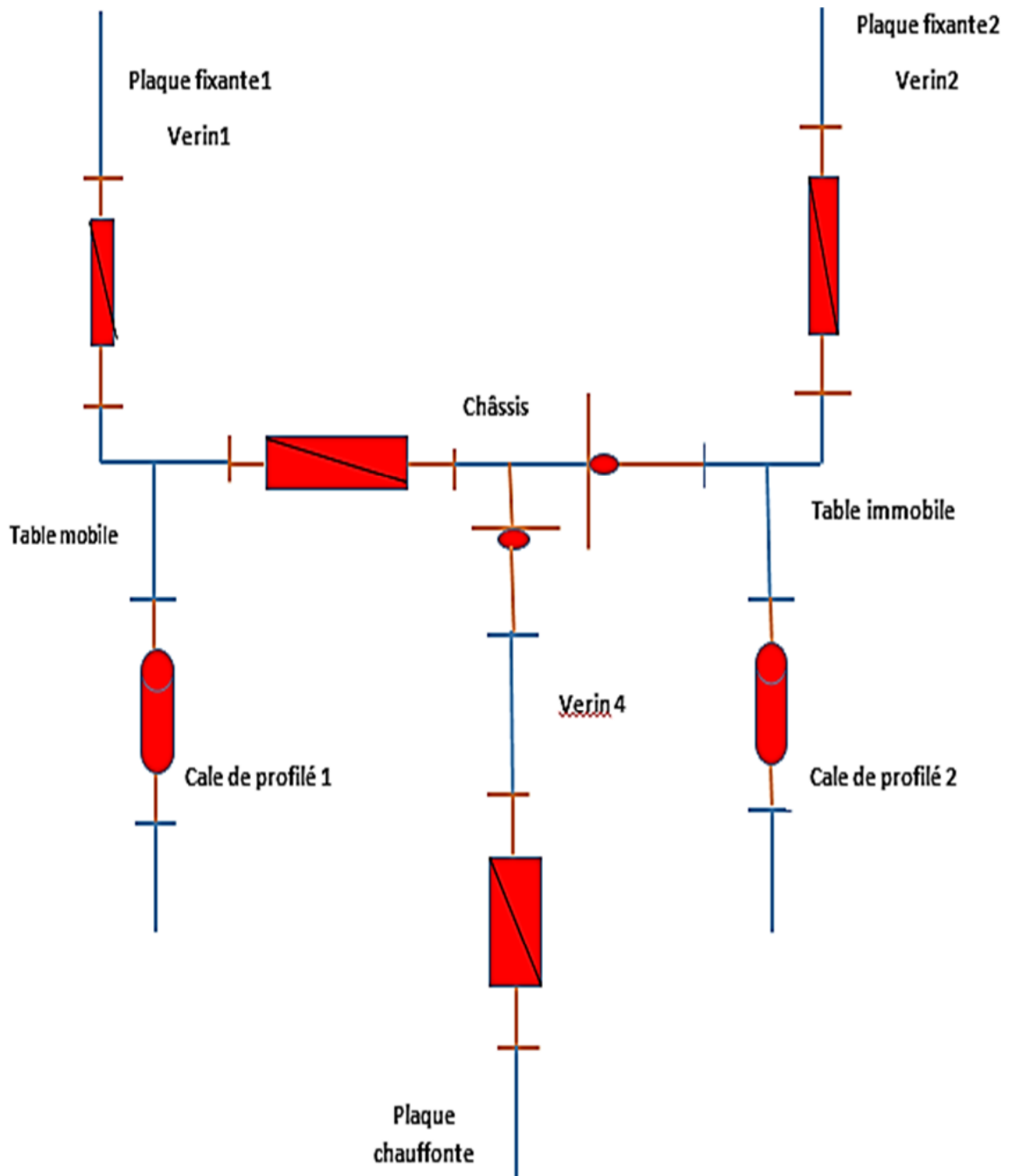


Figure.IV.6 : chéne cinématique de la machine.

IV.10 Présentations des éléments de la machines

Chassis :

Le châssis est un cadre en feuilles de métal en acier non allié (c10) sur lesquelles sont posés tous les composants de la machine et permettant de la faire tenir en équilibre

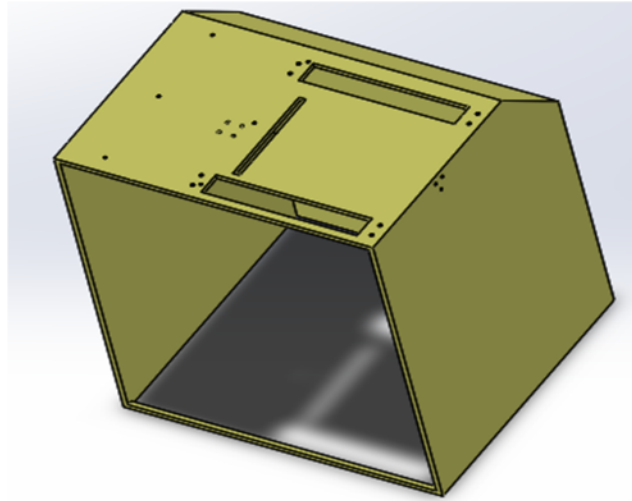


Figure IV.7 : Chassis.

Support chassis :

Le support chassis de renforcement du chassis, c'est un assemblage en tube caré d'un metal en acié non alié (c10) sur lequel les feuilles du chassis sont soudées. Il servent à donner a la structure une meilleur resistance

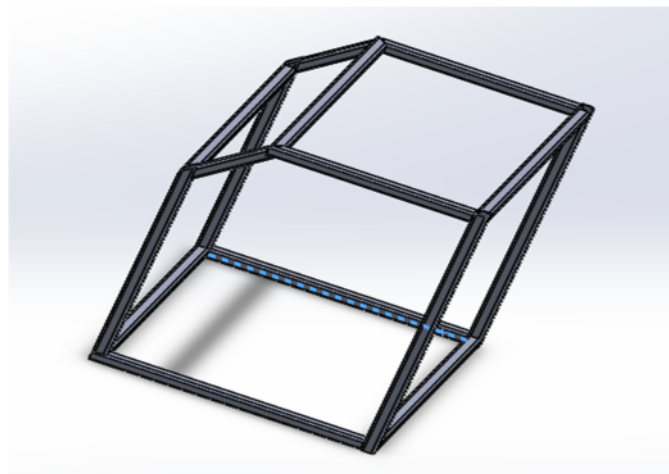


Figure IV.8 : Support chassis.

Tables de la machine :(fixe et mobile)

C'est des tables symétriques, c'est l'une des pièces maitresses de la machine. Elles sont d'une forme prismatique. C'est des plaques en alliage d'aluminium (1060) à usiner sur une fraiseuse verticale conventionnelle. Elles portent une graduation angulaire qui permis de préciser l'angle entre les profilés à souder. Sur ces tables se repose les autres organes de la machine (cales de profilé, porte vérin,)

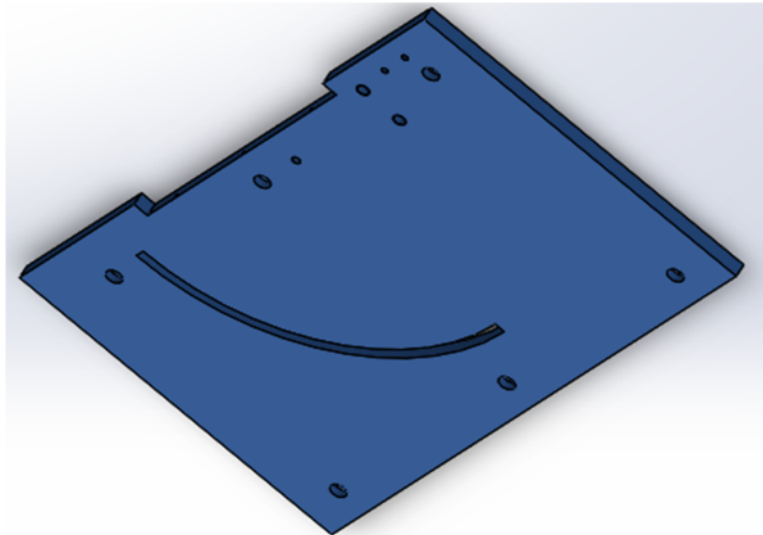


Figure IV.9 : Table de machine.

Cales de profilé :

C'est des pièces prismatiques en alliage d'aluminium (1060) elle se monte sur les tables fixes et mobiles de la machine par deux vis à ses extrémités. Leur rôle, est de caler les profilés sous un angle déterminé par l'opérateur.

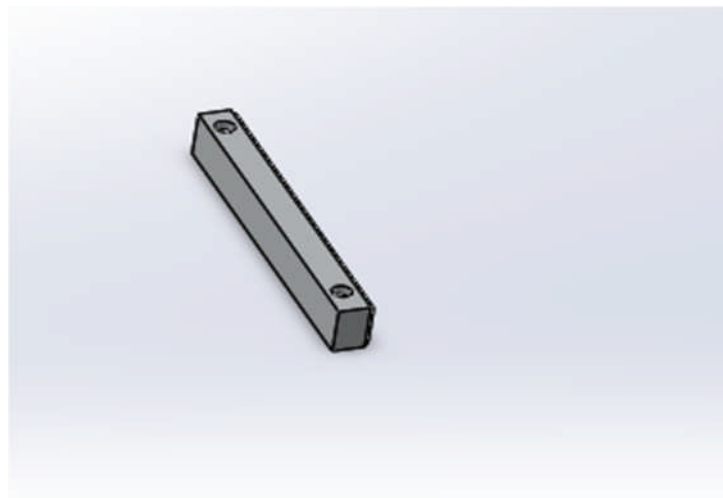


Figure IV.10 : Cale du profilé.

Porte vérin :

C'est un accessoire de forme (L) en alliage d'aluminium (1060) qui sert à porter le vérin et les colonnes de guidage et qui pousse les plaques de serrage des profilés.

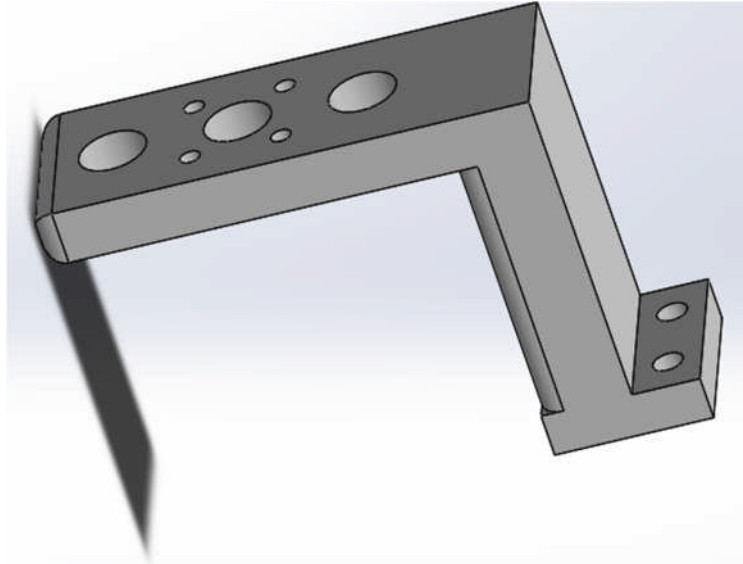


Figure IV.11 : Porte vérin.

Porte vérin de la table mobile :

Il sert à porter le vérin qui pousse la table mobile. Il à une forme en (L) en alliage d'aluminium et se monte sur le sommet gauche du châssis.

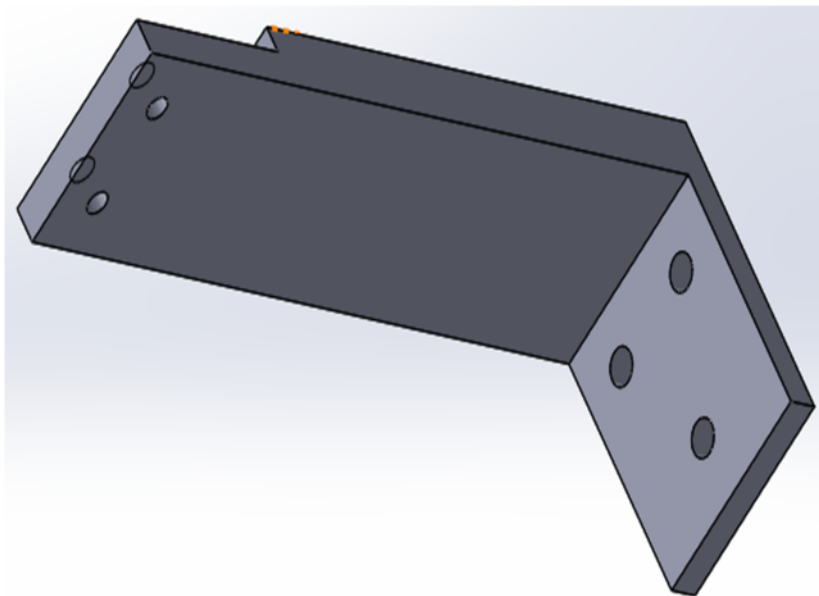


Figure IV.12 : Porte vérin de la table mobile.

Porte vérin de la plaque chauffante :

C'est un dispositif en alliage d'aluminium (1060) qui se fixe au-dessous du châssis. Il sert du porte vérin qui gère l'alternance de la plaque chauffante.

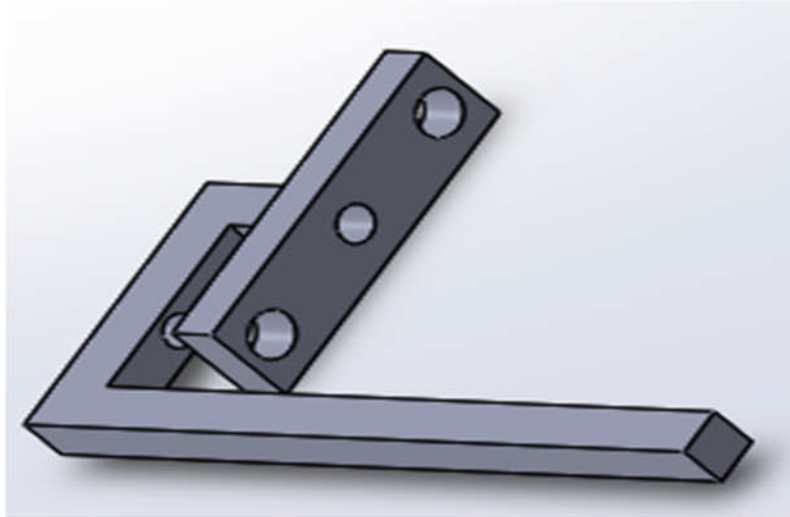


Figure IV.13 : Porte vérin de la plaque chauffante.

Plaque de serrage :

C'est une pièce prismatique en alliage d'aluminium (1060) qui sert à fixer les profilés par la pression fourni par le vérin.

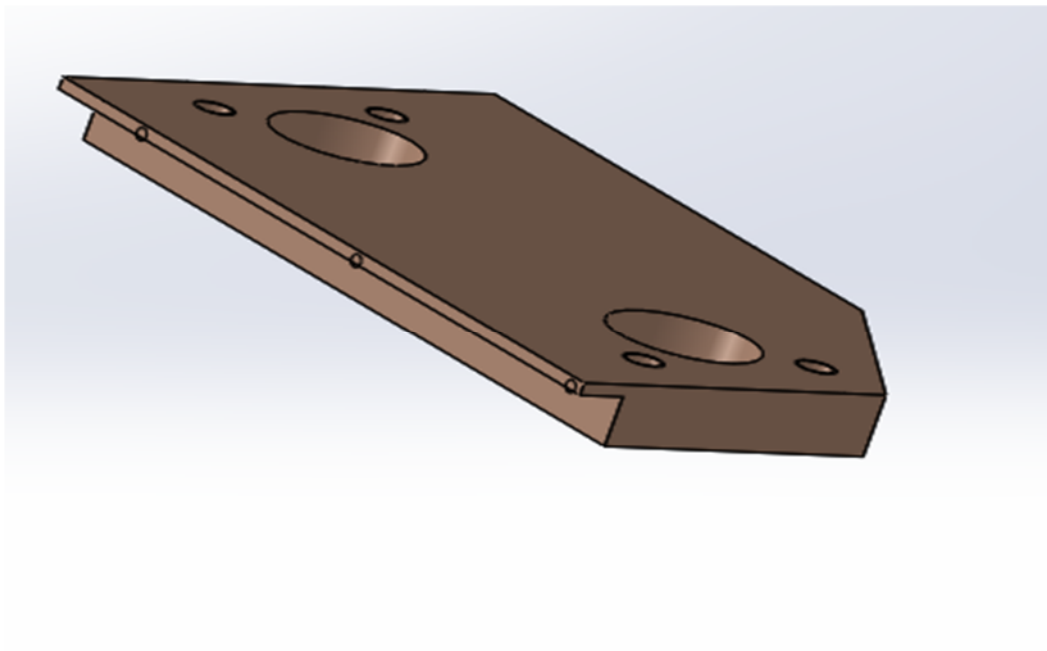


Figure IV.14 : Plaque de serrage.

Accessoire du porte vérin :

C'est une plaque d'une forme prismatique en alliage d'aluminium (1060) sur laquelle se fixe la tige du vérin et les colonnes de guidage qui vont avec.

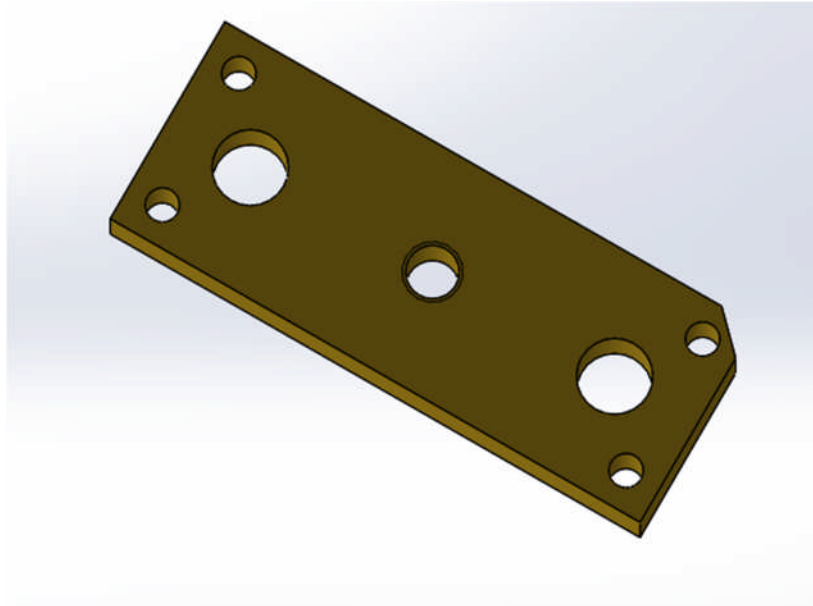


Figure IV.15 : Accessoire du porte vérin.

Gabarret (plaque de guidage) :

La plaque de guidage est une pièce d'un rôle important qui sert à joindre les deux arrêtes des profilés à souder en toute précision. C'est une plaque en alliage d'aluminium (1060), elle est montée entre les deux tables de la machine, et a un mouvement alternatif guidé manuellement par l'opérateur.

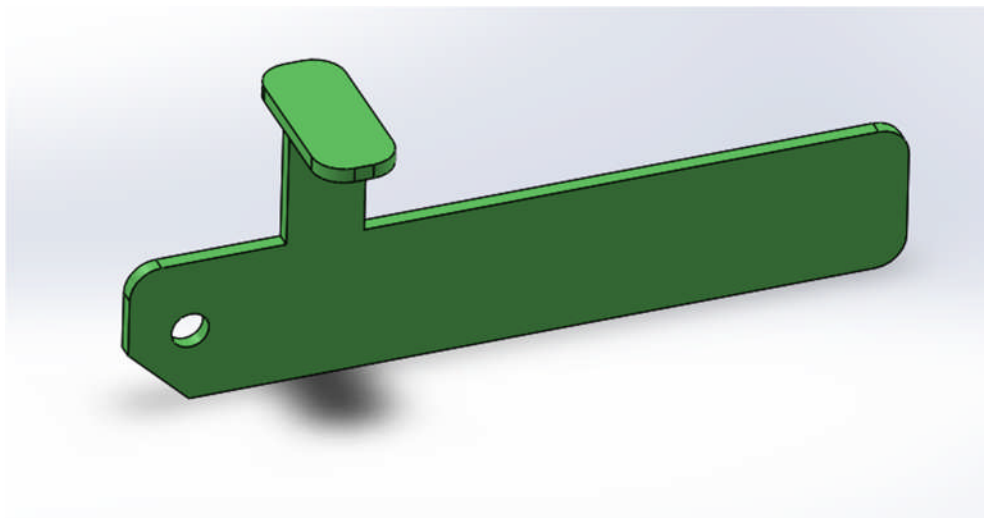


Figure IV.16 : Plaque de guidage.

Baguette des tables et des plaques :

C'est des baguettes en acier dur fortement allié (cd4) qui se montent sur les parties des tables et des plaques de serrage qui aurons un contacte directe avec la plaque chauffante. Le choix du matériau et relatif à sa grande durée de vie vue sa résistance importante à l'usure et à la chaleur. C'est des baguettes démontables ; ce qui facilite leur changement dans le cas de nécessité.

Son arrête externe est usinée de sorte qu'elle soit tranchante pour éliminer les bavures du joint de soudage.

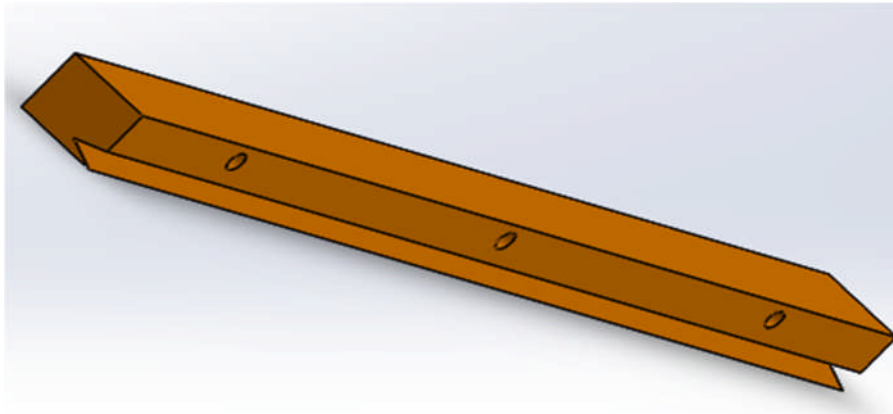


Figure IV.17 : Baguette de table et des plaques de serrage.

Accessoire du dispositif porte vérin de la plaque chauffante :

C'est des plaques en alliage d'aluminium complémentaires du dispositif porte vérin de la plaque chauffante sur lesquels sont placées les colonnes de guidage du vérin.

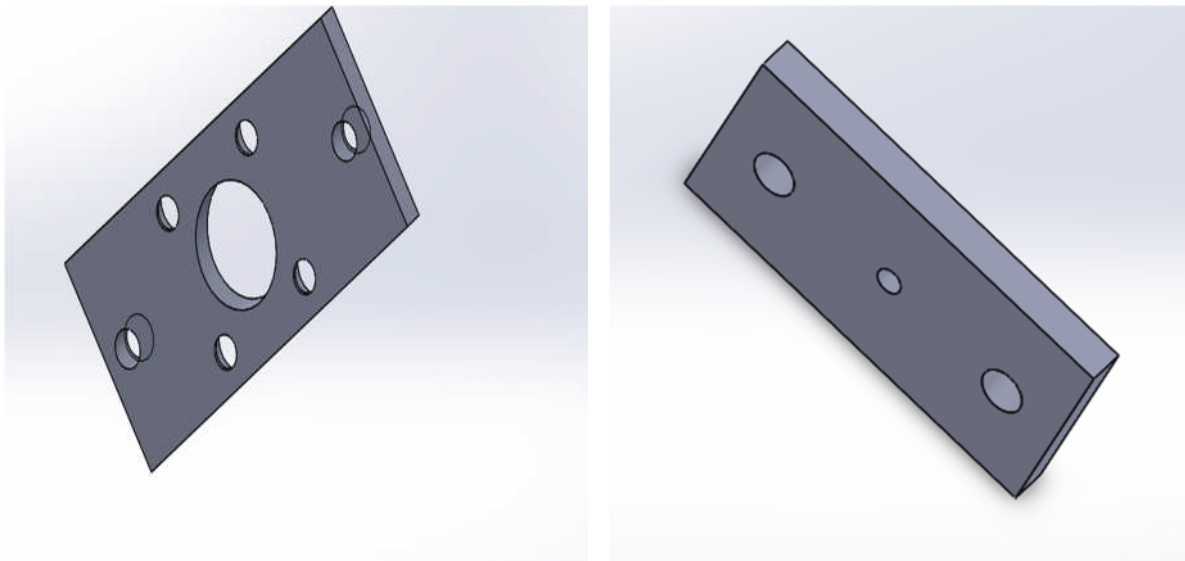


Figure IV.18 : Accessoire du dispositif porte vérin de la plaque chauffante.

Emmanchement du vérin de la table mobile :

C'est une petite pièce en alliage d'aluminium (1060), elle se fixe sur l'extrémité gauche de la table mobile. La tige du vérin est vissée à son centre, pour qu'elle soit poussée par la pression, menant avec la table mobile.

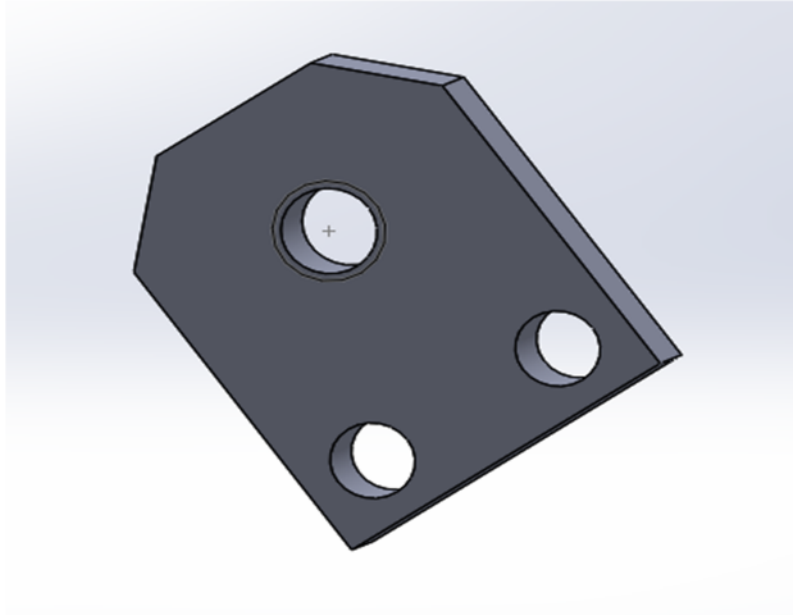


Figure IV.19 : Emmanchement du vérin.

Cale du vérin de table mobile :

C'est une pièce en alliage d'aluminium (1060) en forme de (L) qui se fixe sur l'extrémité arrière du porte vérin de la table mobile servant de cale pour le vérin.

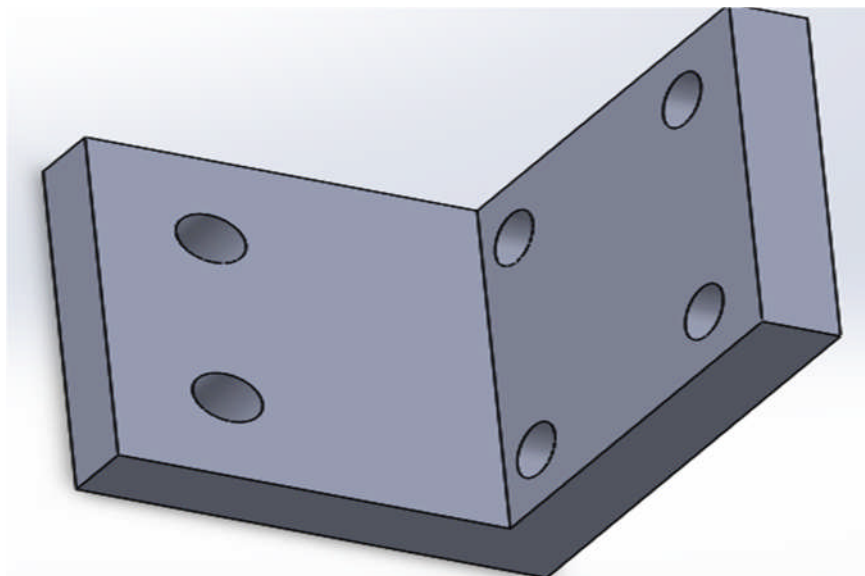


Figure IV.20 : Cale de vérin.

Cale de la table immobile :

C'est une plaque plate percée en trois points au long de sa surface. Elle sert d'une cale pour la table immobile.

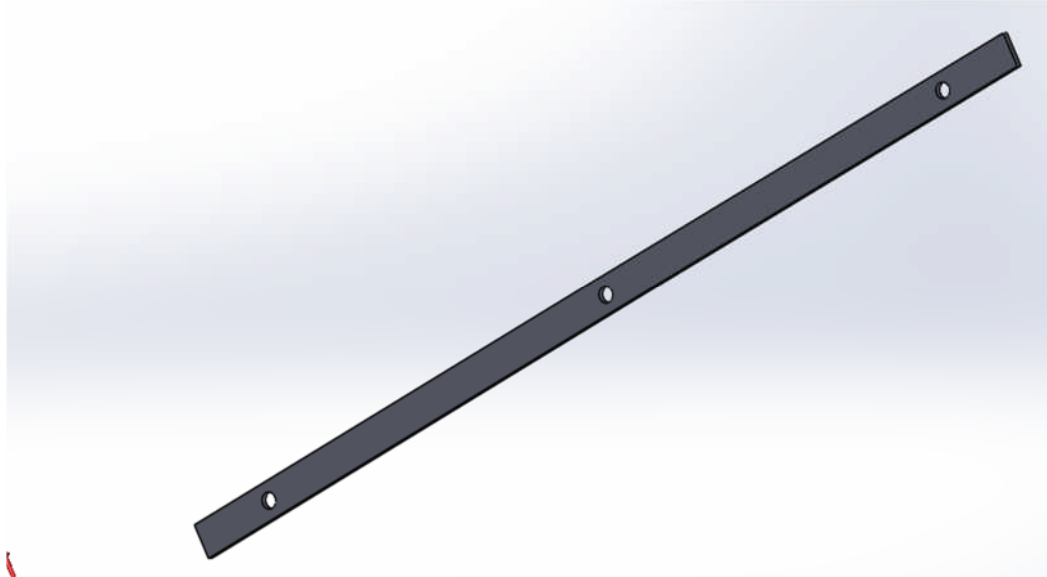


Figure IV.21 : Cale de table immobile

Colonne de guidage des vérins :

C'est des tiges cylindriques en alliage d'aluminium (1060) se montent sur les deux cotés de chaque vérin (de plaque de serrage et de plaque chauffante), leur utilité est d'assurer l'iso-statisme, l'équilibrage et le bon alignement des tiges de vérin pendant leur fonctionnement.

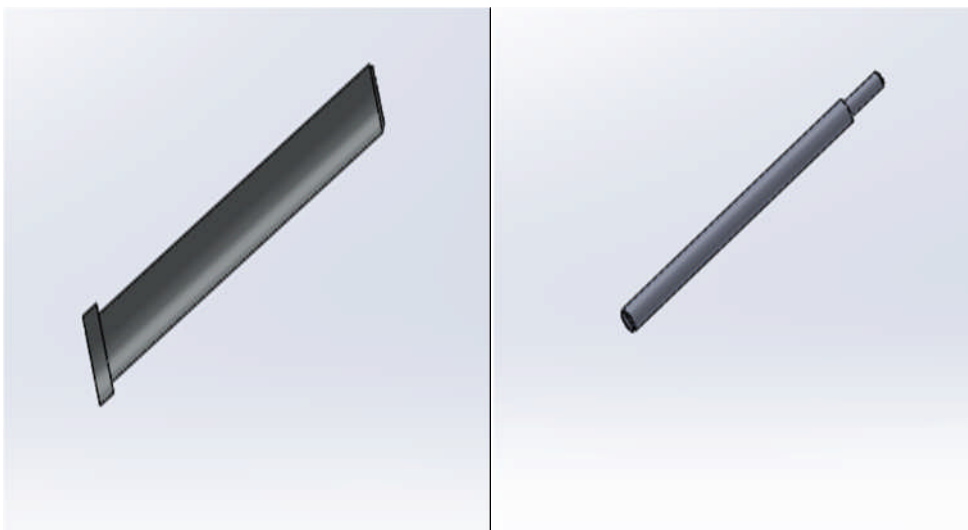


Figure IV.22 : Colonne de guidage du vérin.

Porte plaque chauffante :

C'est une pièce prismatique en alliage d'aluminium (1060) sur laquelle est usinée une rainure à son milieu d'une largeur adaptable à l'épaisseur de la plaque chauffante pour qu'elle puisse être monter sur elle à l'aide de trois vis percées sur sa paroi.

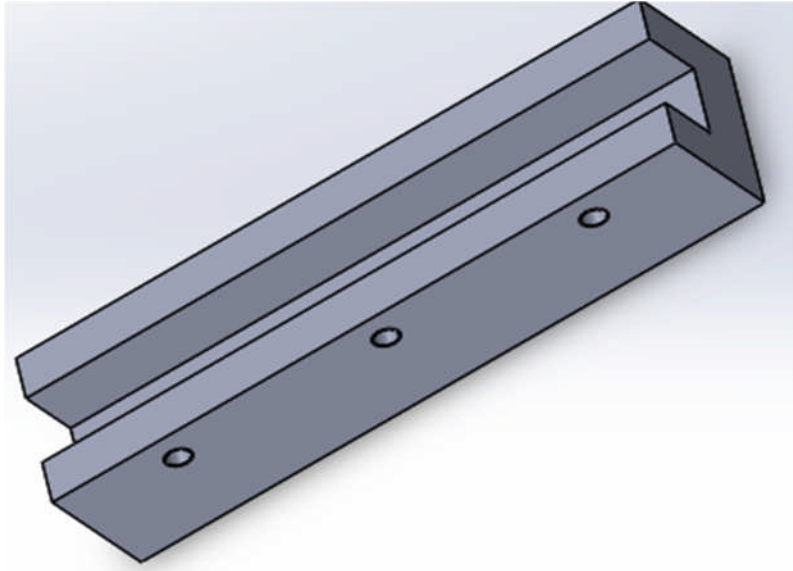


Figure IV.23 : Porte plaque chauffante.

Pallié fixe :

C'est des pièces en forme de (L) en alliage d'aluminium (1060) percées au milieu avec un diamètre relatif a celui des colonne de guidage, elle se fixent au-dessous de châssis à l'aide de deux vis, chaque colonne est portée sur deux d'entre elles à ses extrémités.

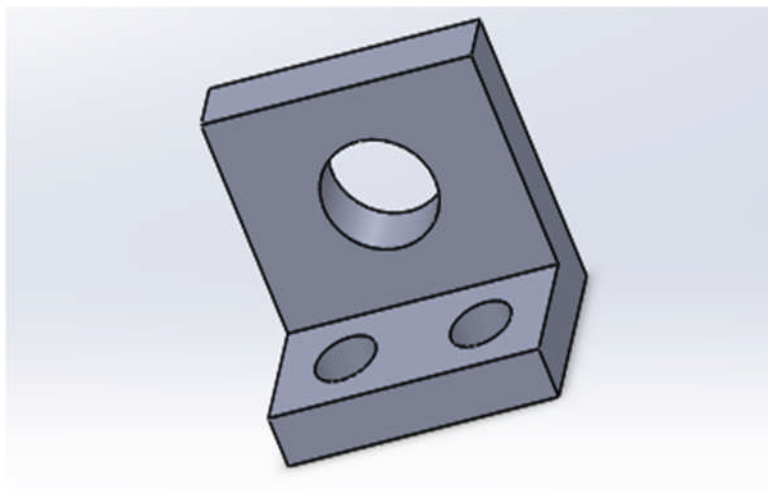


Figure IV.24 : Pallié fixe.

Pallié mobile :

C'est des pièces en alliage d'aluminium (1060) fixées sur la plaque mobile par deux vis, elle a un perçage au milieu dont est intégré un roulement linéaire d'un diamètre adaptable à la colonne de guidage qui vas se déplacer avec elle en fonction du mouvement de la table mobile.

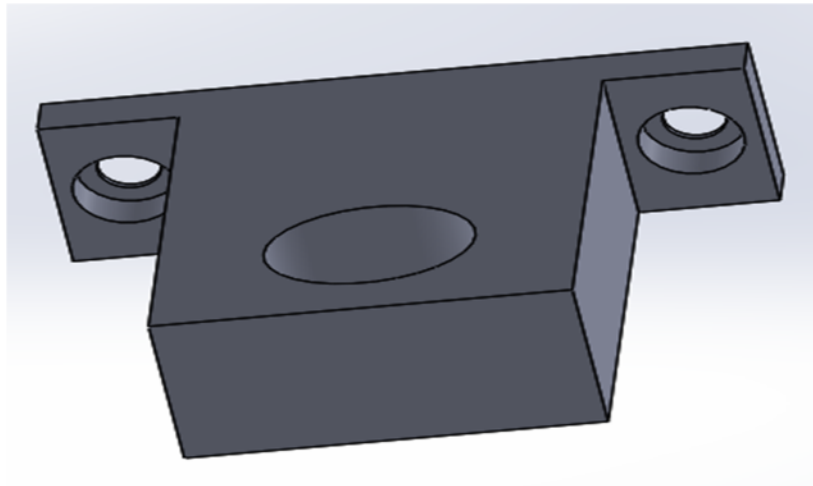


Figure IV.25 : Pallié mobile.

Plaque chauffante :

C'est une plaque parallélépipède en fonte blanche qui résiste à la chaleur sur laquelle est montée une résistance électrique qui lui fournit de la chaleur.

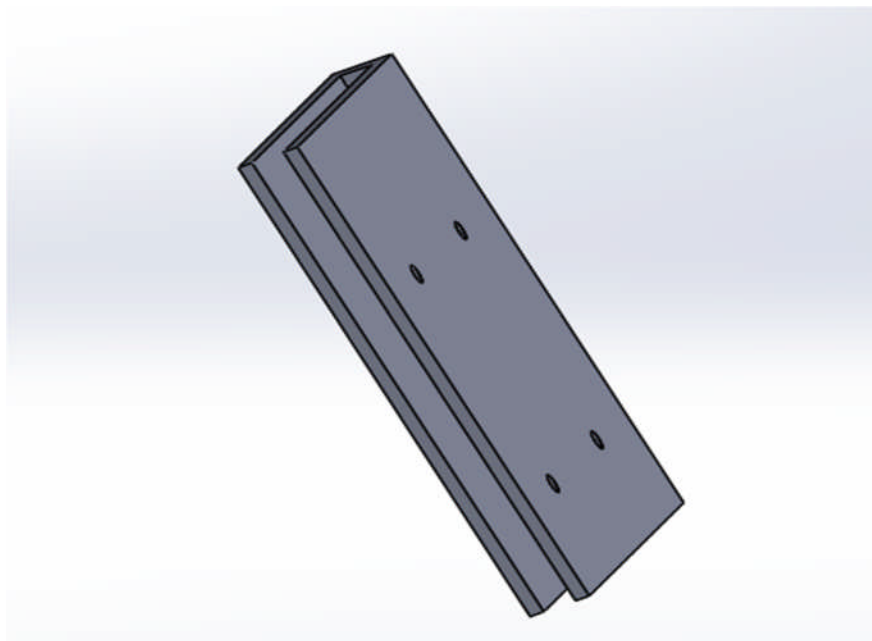


Figure IV.26 : Plaque chauffante.

Colonne de guidage de la table mobile :

C'est des tiges de diamètre 30mm et de longueur de 510mm en acier dur fortement allié (42cd4) filetées sur les deux cotés pour qu'elles soient fixées sur les palliés fixes à l'aide des écrous. Elles portent ainsi la plaque mobile et assure sa translation.

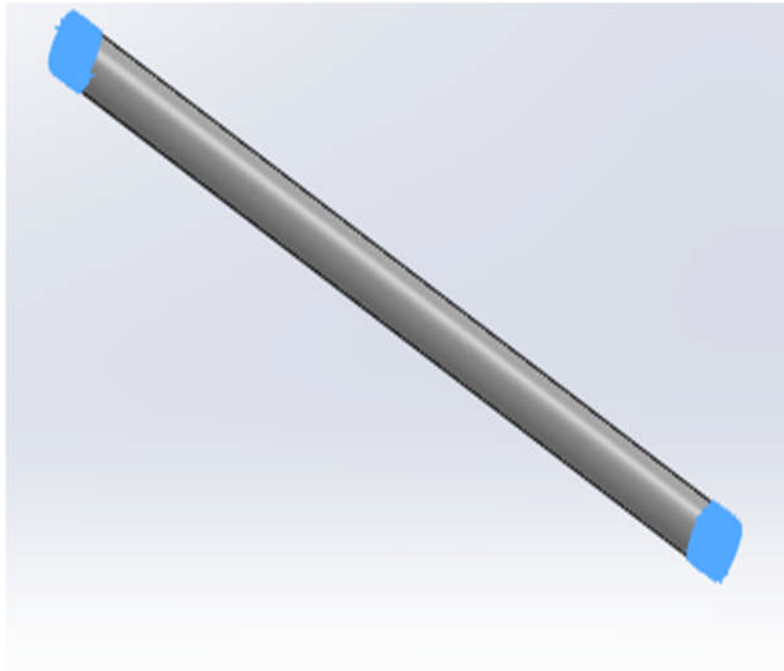


Figure. IV.27 : Colonne de guidage de table mobile.

IV.11 Partie calcul :**IV.11.1 Calcule de diamètre de la colonne de guidage de la table mobile**

Donnés : $L = 510\text{mm}$

$R_p = 880\text{Mpa}$

$Q = 149.91\text{N}$ et $g = 10$

Calcul du moment fléchissant de la déformation quand $0 \leq x \leq L$

$$M_{fz} = AY \cdot x - MA \cdot \frac{qx^2}{2}$$

Utilisation de l'équation des moments

$$E \cdot I_{Gz} \cdot Y'' = AY \cdot x - MA \cdot \frac{qx^2}{2}$$

$$E \cdot I_{Gz} \cdot Y' = AY \cdot \frac{x^2}{2} - MA \cdot x \cdot \frac{qx^3}{6} + C1$$

$$EI_{GZ}Y = AY \cdot \frac{x^3}{6} - MA \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{qx^4}{24} + C_1 \cdot x + C_2$$

$$Y'(0) = 0 \Rightarrow C_1 = 0 \text{ (condition aux limites)}$$

$$E \cdot I_{GZ} \cdot Y = AY \cdot \frac{x^3}{6} - MA \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{qx^4}{24}$$

Compte tenu de la symétrie de la déformation :

$$Y'(\frac{L}{2}) = 0 \text{ donc}$$

$$0 = AY \cdot \frac{(\frac{L}{2})^2}{2} - MA \cdot \frac{L}{2} - \frac{q \frac{L^3}{8}}{6} - \frac{AY}{2} \left(\frac{L}{2}\right)^2 - MA \cdot \frac{L}{2} - \frac{qL^3}{48} \Rightarrow MA = \frac{\frac{AY}{2} \left(\frac{L}{2}\right)^2 - \frac{qL^3}{48}}{\frac{L}{2}} = \frac{AYL}{4} - \frac{qL^2}{24}$$

$$\text{Avec } AY = \frac{qL}{2} \text{ donc } MA = \frac{qL^2}{8} - \frac{qL^2}{24} = \frac{qL^2(3-1)}{24} = \frac{qL^2}{12} \text{ donc } MA = -MB = \frac{qL^2}{12}$$

Moment fléchissant

$$X = \frac{L}{2} : M_{fz} = \frac{qL}{2} \times \frac{L}{2} - \frac{qL^2}{12} - \frac{qL^2}{2 \times 4}$$

$$M_{fz} = qL^2 \frac{(6-2-3)}{24} = \frac{qL^2}{24}$$

$$M_{fz} = \frac{149,91 \cdot (510)^2}{24} = 1624649,625 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Condition de résistance

$$\sigma_f \leq R_p \quad \text{soit} \quad \sigma_M = \sigma_f$$

$$\sigma_M = \frac{M_f}{\frac{I_{GZ}}{V}}$$

M_f : Moment fléchissant.....mm.N

I_{GZ} : moment quadr . axial..... mm^4

V : valeur de

$Y_{max} \frac{k}{2}$ N/mm^2

R_p : Résistance pratique N/mm^2

σ_M : Contrainte maxi..... N/mm^2

$$\frac{\frac{M_{fz}}{\pi d^4}}{\frac{64}{d}} \leq R_p$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M_{fz}}{\pi R_p}} \Leftrightarrow \sqrt[3]{\frac{32.1624649,625}{3,14 \cdot 880}}$$

$$d \geq 26,59\text{mm}$$

On prend : $d = 30 \text{ mm}$

IV.11.2 Essai de compression :

Introduction :

On utilise pour l'expérimentation Une pièce de profilé mince (tige) de sorte à négliger la compression et ne s'intéresser qu'au flambement (le cas le plus pratique) (voir la figure ci-dessous)

Expérimentation de flambement :

Une pièce de profilé encastrée soumise à une pression sur une machine au niveau laboratoire GDM.

Le procédé :

On augmente à chaque fois la pression sur la pièce, et on note les déformations en flambement éventuelles



Figure IV.28 : Des Essais de compression.

A partir d'une certaine limite de la pression limite, la pièce subie un flambement ou une déformation des parois internes.

Chaque graduation sur le manomètre représente 1KN et 120KN représenter 477 bars.

On a mesuré cette limite avec la règle de trois suivantes :

$$477 \text{ Bar (caractéristique de la machine)} \longrightarrow 120\text{Bar}$$

$$x \longrightarrow 1\text{KN (lecture)}$$

On déduit : $x = 477/120 = 3.975 \text{ Bar}$

Cette valeur nous permet de noter la pression limite que peut supporter cette pièce qui servira pour le choix du piston à utiliser.

$$P \geq P_c \rightarrow \text{flambation}$$

Conclusion : la contrainte de pression limite sur le profilé :

$$P_c = 3.9 \text{ Bar}$$

Pour ne pas dépasser la limite élastique, la mesure montre que la pression du vérin ne doit pas dépasser la valeur suivante :

$$P = 2.5 \text{ Bar}$$

IV.11.3 Etude expérimentale des propriétés thermiques d'un échantillon du profilé en PVC :

Introduction

Pour des applications industrielles, l'assemblage ou la soudure des pièces en PVC sous température données est impératif pour la qualité finale du produit. On cherche donc la température de fusion du profilé en PVC.

Expérimentation

On met deux pièces (échantillon) dans une étuve au laboratoire GDM de température maximale 260°C (avec 20°C de sécurité)

Procédés :



Figure IV.29 : Echantillons des profilés PVC.

On introduit les deux échantillons de pvc dans l'eture et on augmente progressivement la température jusqu'à 220° et on maintien pendant trois (3) minutes. on les retire puis les mettre en contact en appliquant une force

On refait la même expérience à la température de 240°c



Figure IV.30 : Etüre à température max 220c.



Figure IV.31 : Etude à température max 240c.

Remarque

A 220°C les deux pièces ne fusionnent pas, contrairement à la température 240°C, les deux morceaux de pvc se fusionnent pour former une seule pièce



Figure IV.32 : Assemblage des échantillons.



Figure IV.33 : Echantillons collés.

Observation

La température de fusion du PVC est de 240°C, qui est donc la température idéale pour de la plaque chauffante

IV.12 Conclusion :

Pour commercialiser un produit mécanique et pour qu'il soit compétitif dans le marché industriel, l'ingénieur doit bien respecter les étapes de la conception, de la modélisation du produit jusqu'à sa commercialisation et designer une étude dont l'objectif principale est de conclure sur les possibilités du fonctionnement du système, et établir les solutions aux contraintes auxquelles le fabricant respectera lors de la réalisation et adopter un cahier des charges en passant par une étude fonctionnelle du produit.

Pour ce qui est de notre cas, dans ce chapitre, on a conçu un modèle d'une soudeuse des profilés en PVC sur le Solid Works en définissant le choix des matériaux en fonction des tâches à accomplir pour chacune des pièces, et on a élaboré une étude fonctionnelle de notre machine pour qu'elle soit compatible avec les besoins du marché.

Chapitre IV

Etude et conception d'une soudeuse de
profilés en pvc

Conclusion générale

La machine a toujours fait progresser, améliorer la production et diminuer le temps et le cout. Notre travail a abouti à la conception et à l'étude de la machine de soudage de profilé en PVC.

Le travail que nous avons entrepris, nous a permis de de découvrir le monde de la fabrication industrielle . Nous avons conçu une machine pour le soudage des profilé en pvc qui servent à la fabrication des portes et fenêtre par la modélisation sur logiciel SolidWorks qui est très utilisé dans l'industrie mécanique.

Ce travail initialement tracé devrait être finalisé par une réalisation d'un prototype de la machine, et comme le temps à loué pour mener à terme notre objectif n'était pas suffisant car nous somme arrêté à la conception de la soudeuse par le logiciel SolidWorks et de prévoir les solutions aux contraintes aux quel le fabriquant aura affaire lors de la réalisation. Ainsi nous avons calculer le diamètre des colonne de guidage de la table mobile en utilisant les lois basique de RDM, comme nous avons fait une partie expérimental dans le laboratoire GDM sur des échantillons PVC pour déterminé la température de fusion du PVC ; celle que doit avoir la plaque chauffante de la machine et la pression nécessaire qui doit être fourni par les vérin pour ne pas endommagé les profilé pendant les opération de soudage

Notre étude ,nous a permis aussi d'acquérir la métrise du logiciel et d'arriver à terme de la formation, fabrication mécanique et productique.

Références bibliographiques

- [01] : Hans-Henning Kausch et al ; Matériaux polymères ; Propriétés mécaniques et physiques ; 2001
- [02] : Patrick Combette ; Isabelle Ernout ; Physique des polymères ; Volume 1. 2005.
- [03] : Christophe Chassanier ; Hervée lefebre ; Sagario Pascual ; L'indispensable en polymères ; 2008.
- [04] : Jacque Beson ; Anne-Francoise ; Gourgues-Lorenzon ; Matériaux pour l'ingénieur ; 2006.
- [05] : MNedjar ; « Influence du vieillissement thermique sur les propriétés du PVC utilisé dans l'isolation des câbles de H.T ; Thèse de magister ; U.T.O.Tizi-Ouzou ; 1991.
- [06] : Y.T. Soheir ; N.A.Jeannette ; W.S.Magdy ; »Thermal and mechanical behavior of flexible Poly (vinyl chloride) mixed with some saturated Polyesters » ; Polymer
- [07] : N.Khaleche ; «Rupture par arborescence électrique du PVC vieilli thermiquement », Thèse de Magister, ENP, Alger 1993.
- [08] : procédés de soudage 10/04/2004 Ref.BB7700
- [09] : Modélisation des procédés de soudage 10/06/2004on numérique
- [10] : Le soudage au laser 27/09/2013 Réf 1265
- [11] : Etat de la normalisation en cordonnerie plastique 17/06/2014 Réf 1353
- [12] : Livre de Robert TASSINARI Titre : Pratique de l'Analyse fonctionnelle, Dunod 1992.
- [13] : Modèle de diagramme pieuvre [archive] facilement réutilisable (au format LucidChart
- [14] : Décrite dans l'ouvrage de Robert Tassinari (auteur de la méthode) Pratique de l'analyse fonctionnelle, Dunod 1992
- [15] : Robert Tassinari, *Pratique de l'analyse fonctionnelle*, Paris, Dunod, 1997