الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie de la Matière



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Mécanique

Option : Mécatronique

THEME

Etude, conception et Réalisation d'une machine de thermoformage

Proposé et dirigé par,

Pr. *Abdellah El hadj Abdellah*

Dr. Alliche Mounir

Préparé et présenté par,

BENAICHA Mohamed

BOUAICHAOUI Tawfiq

Année Universitaire 2014-2015

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos promoteurs :

Pr. Abdellah elhadj abdellah et Dr. Alliche Mounir pour l'encadrement de ce mémoire pour leur aide, leur patience et la confiance qu'ils nous ont accordée.

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepter de juger notre travail.

Nos remerciements vont également à monsieur et madame Zouaouine.

Nos sincères remerciements vont également à touts les enseignants du département de Génie Mécanique de l'université de Médéa, et à tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Benaicha et Bouaichaoui



Dédicaces

Avant tout, nous remercions DIEU pour nous avoir donné la force et la patience pour mener à terme ce travail.

Je dédie ce travail :

***A** mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.*

***A** mes chères sœurs ET **A** mon cher frères ET **A** toute Ma famille*
Sans exception

***A** mon binôme bouaichaoui Tawfiq qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail*

***A** toutes les personne qui nous ont aidés et soutenue de prés ou de loin*

***A** tous ceux qui me connaissent.*

A** toute mes collègues de la promotion **2015.



Benaicha Mohamed



Dédicaces

Avant tout, nous remercions DIEU pour nous avoir donné la force et la patience pour mener à terme ce travail.

Je dédie ce travail :

***A** mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.*

***A** mes chères sœurs ET **A** mon cher frères ET **A** toute Ma famille*

Sans exception

***A** mon binôme Benaicha Mohamed qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail*

***A** toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de prés ou de loin*

***A** tous ceux qui me connaissent.*

A** toute mes collègues de la promotion **2015.



Bouaichaoui Tawfiq

Table des matières

Introduction générale……...……2

Chapitre I : Présentation générale du thermoformage……...……4

I .1. Introduction……..…..…....……..5

I.2. Historique ……..…….……...5

I.3. Le thermoformage dans le marché de l'emballage …….....6

I.4. Machine de thermoformage …….....6

I.4.1.Fabrication d'un moule qui servira de base au thermoformage de la future pièce ……..…..…….....7

I.5.Étapes du procédé de thermoformage …… 8

I.5.1.Chauffage de la feuille de plastique…….. 8

I.5.2.Thermoformage de la pièce…….. 9

I.5.3. Refroidissement et démoulage……..……... 9

I.6.Les matériaux thermoformés ……...…….10

I.7.Conclusion…….……11

Chapitre II : Etude et conception d'une machine de thermoformage……..... 12

II.1. Introduction ……..… 13

II.2. Les types de moules …….13

II.2.1 Moule positif ……....……13

II.2.2 Moule négatif ……..... 15

II.3. Calcul du nombre et du diamètre des évents ..…..……..……...16

II.3.1. Calcul de la vitesse du son C……..……..……. 17

II.4. Présentation du matériau de l'étude……..…….....20

II.4.1. Polymères thermoplastiques……...……...……20

II.4.2. La structure chimique et les propriétés des PVC……...…..……20

II.5.Système de chauffage ……...…24

II.5.1 Préchauffage ……...…....25

II.5.2. Chauffage du semi-produit…….…….……...…25

II.5.3. Chauffage par contact……...….26

II.5.4. Chauffage par convection……....…..26

II.5.5. Chauffage par rayonnement……...……26

II.6.Formage……....…..27

II.7. Le refroidissement 28

II.8. Le découpage…..……..…….29

II.9. Etude et conception des pièces ……..…….....30

II.9.1. Conception du moule ……..…….....30

II.9.2. Conception de la chambre d'aspiration …….....31

II.9.3. Conception de la chambre de la résistance chauffante…….……..32

II.9.4. Conception de la position de la plaque plastique……...…..…… 33

II.9.5. Conception de l'assemblage du prototype de thermoformage……..…33

II.9.6.Conclusion…..……...…35

Chapitre III : Système de chauffage……...…….…….……..….. 36

III.1. Introduction …….... 37

III. 2. Les microcontrôleurs …….. 37

III.2.1 : Généralités …….…….…..…..... 37

III.2.2 : Les Pic de Microchip …….……..…..…...……...…….…….. 38

III.2.3. Les avantage du microcontrôleur……..…….... 49

III.2.4. Architecture interne d'un microcontrôleur ……... 49

III.2.5. Les éléments de base du PIC 16F876 …….. 43

III.2.6. Les ports entrée/sortie ……..…….….. 45

III.2.7. Brochage du PIC 16F876 ……...…..... 46

III.3. Le BUS I2C ……...…..... 48

III.3.1. Caractéristiques du bus I2C ……..……..…….49

III.4 : Capteur thermique DS162……..…….……...…..... 52

III.4.1 : Définition …….…….……..... 52

III.4.2 : Brochage de capteur DS1621 …….…….53

III.4.3 : Mot de contrôle …….…….…….... 53

III.4.4 : Commande …….……...…….…..... 54

III.4.5 : Format des octets température…….……...…….…... 54

III.5. Conclusion ……...……. 55

Chapitre IV : Réalisation de la machine de thermoformage…….…….56

IV.1. Introduction ……...……...57

IV.2 : Les différentes étapes de la réalisation ……...… 57

IV.2.1 : La chambre d'aspiration …….... 57

IV.2.2 : Le four de plastique ……...…….……..... 58

IV.2.3 : Le moule …… …… 58

IV.2.4 : Le système de contrôle ……..... 60

IV.3. Les différentes étapes de réalisation de la carte électronique..... 61

IV.3.1. Le montage électronique ……...…..... 61

IV.3.2. Le Brochage du quartz ……...…….…….. 61

IV.3.3.L'afficheur LCD …….……..……. 62

IV.3.3. 1.Principe de fonctionnement …….....… 62

IV.3.4. Interconnexions PIC ET DS1621 ……..... 64

IV.3.5.Interface commande puissance ……...….. 64

IV.4. Conclusion ……...….65

Conclusion générale …….……..…...67

Annexe ……..……...70

LISTE DES FIGURES :

Figure I. 1. Schéma d'ensemble d'une machine de thermoformage classique ……..…7

Figure I.2. Moule positif et pièce formée ……..……..…….7

Figure I.3. Moule négatif et pièce formée…….……....8

Figure I.4. Chauffage du feule de plastique…….....8

Figure I.5. Drapage sur le moule……..…….9

Figure I.6. Aspiration……..…….……..9

Figure I.7. Démoulage……..…….9

Figure II.1. Schéma d'une machine de thermoformage à moule positif…….....14

Figure II.2. Formage sur un moule positif……...……...…14

Figure II.3. Thermoformage positif inverse avec prégonflage pour régulariser les épaisseurs…….……....15

Figure II.4. Moulage positif double moule…….……15

Figure II.5. Moulage négatif à empreintes multiples…….....…….16

Figure II.6. Les éléments chauffants…….…..24

Figure II.7. Moule positive de thermoformage…….……...31

Figure II.8. Chambre d'aspiration…….…..32

Figure II.9. Chambre de résistance chauffant……...…...…32

Figure II.10.position de plaque de plastique…….…….…..…33

Figure III.1. Schéma synoptique (bloc)……...…….37

Figure III.2. Architecture interne du 16F876……..…….…...41

Figure III.3. Schéma interne d'une horloge interne avec l'oscillateur à Quartz……...43

Figure III.4. Schéma interne d'une horloge interne avec un oscillateur RC……...43

Figure III.5. Schéma interne d'une horloge externe……...…44

Figure III.6. Pic 16F876……..46

Figure III.7.prise de contrôle du bus……...……49

Figure III.8 : transmission d'une adresse…….50

Figure III.9. Ecriture d'une donnée…….....51

Figure III.10. Lecture d'une donnée……....52

Figure III.11. Le capteur de température DS1621 est sous forme de circuit intégré…….…...53

Figure III.12. Brochage de capteur DS1621……...53

Figure IV.1. Chambre d'aspiration…….....… 57

Figure IV.2. Système de chauffage……..….... 58

Figure IV.3.un moule pour la 1ere essai. …….**.....** 59

Figure IV.4. La 1ere essai de formage plastique PVC…….…... 59

Figure IV.5.la boité de commande de température……..60

Figure IV.6. Schéma électronique global sur ISIS……..**.....** 61

Figure IV.7. Brochage du quartz ……... ……..……..…..... 62

Figure IV.8. Interconnexions pic et LCD…….….... 63

Figuré IV.9. Interconnexions PIC ET DS1621……..…… 64

Figure IV.10. Interface commande puissance……..…...……..65

LISTE DES tableaux :

Tableau .I.1. Plages de formabilité des principaux polymères utilisés en thermoformage (A : amorphe, SC : semi-cristallin) ……..……...…. 10

Tableau II.2. Les vitesses de propagation dans différents milieux…….……18

Tableau. II.3. Techniques de découpage aux différents de polymères.....30

Tableau III.4.différents circuit de la famille 16F87X……...…..38

Tableau III.5. : description des codes…….……....48

ملخص

هذا العمل هو دراسة وتصميم جهاز التشكيل الحراري الذي يعتبر من طرق التشكيل الرئيسية لصنع أجسام من مختلف الأحجام والسماكات. حيث يعتمد هذا العمل أساسا على تسخين البلاستيك في درج حرارة مناسبة والتحكم فيها بواسطة نظام تحكم آلي يعتمد على Microcontrôleur pic 16F876 المرتبط بزرين وشاشة كريستال وميزان الحرارة الرقمي DS1621 لقراءة درجة الحرارة ومن ثم تشكيلها داخل أو على القالب بواسطة شفط الهواء باستعمال أداة شفط كهربائية ونحصل على الشكل المراد بعد تبريد البلاستيك.

الكلمات المفتاحية : التشكيل الحراري - قالب - البلاستيك - DS1621- pic 16F876 .

Résumé

Ce travail est une étude de conception d'un dispositif de thermoformage qui est l'une des méthodes principales pour fabriquer des objets de différentes tailles et épaisseurs. Ce travail est basé sur l'échauffement de la matière avec un contrôle approprié de la température par un système de contrôle automatique basée sur le microcontrôleur 16F876 associé à deux bouton poussoir et un afficheur LCD, et un thermomètre numérique DS1621 pour lire la température. La forme de la pièce est réalisée par aspiration d'air et refroidissement, en utilisant un aspirateur électrique.

Mots clés : Thermoformage, Moule, plastique, Pic 16F876, DS1621

Abstract

This work is the design of a thermoforming device that is one of the main methods to make objects of different sizes and thicknesses. This work is based on plastic heating with an appropriate control of the temperature by the automatic control system based on microcontroller 16F876 associated with two push button and LCD display, and a digital thermometer DS1621 to read the temperature. The shape of the part is made by air aspiration and cooling by an electric vacuum cleaner.

Keywords: Thermoforming, Mold, plastic, Pic 16F876, DS1621

Introduction générale

Introduction générale

Les techniques de formage sont très largement utilisées dans l'industrie. Elles vont de l'estampage, forgeage des métaux au thermoformage des matières plastiques dont il sera question ici dans ce mémoire.

Le thermoformage permet la production industrielle d'objets les plus divers tels que les carters de ventilateur, les barquettes d'emballage, les pots de yaourt, une baignoire, etc. L'objet thermoformé s'obtient en deux étapes de transformation du matériau initial. La matière plastique, produite par l'industrie chimique à partir de monomères, se trouve dans la plupart des cas, sous forme de granulés. La première étape de mise en forme, consiste en la fabrication d'une feuille ou d'une plaque par la technique de l'extrusion. La seconde étape, qui nous intéresse ici, c'est l'opération proprement dite du thermoformage, qui va conduire à l'objet final.

Matière plastique en granulés $\xrightarrow[+ \text{ Calandrage}]{\text{Extrusion Coextrusion}}$ Feuille sous plaques

Aujourd'hui, le thermoformage est un des grands procédés de transformation des polymères thermoplastiques. Plusieurs marchés sont intéressés par ce procédé et en particulier ceux de l'emballage alimentaire, l'électroménager, le sanitaire, l'automobile, etc.

Les avantages du thermoformage est :

- ✓ Coûts d'outillage peu élevés
- ✓ Capacité de mouler sous pression sans investissement majeur en outillage
- ✓ Produit fini ayant de meilleures propriétés physiques (plus résistant)
- ✓ Capacité d'utiliser des feuilles multicouches permettant des avantages techniques uniques.
- ✓ Capacité de thermoformer des grandes composantes.
- ✓ rapidité à lancer une production par rapport à d'autres procédés tels que l'injection. En effet la conception et la réalisation des outillages étant plus simples.

Le thermoformage se compose de ces étapes :

1. chauffage de la feuille plastique.
2. Mise de la feuille plastique sur le moule.
3. aspiration du plastique chauffé sur le moule.
4. Refroidissement.
5. Démoulage et découpage.

L'objectif de ce travail est l'étude de conception et la réalisation d'une machine de thermoformage. Nous allons réaliser la partie mécanique de la machine et le moule nécessaire. D'autre part, nous allons implémenter le système de chauffage réalisé par Mr. Bouchou Sofiane dans un autre projet de Master en Mécatronique de l'université de Médéa, promotion 2013/2014. Finalement, on testera le système sur un exemple pratique.

Ce travail est divisé en quatre chapitres :

- Le chapitre1 : présentation générale.
- Le chapitre2 : étude et conception d'une machine de thermoformage.
- Le chapitre3 : système de chauffage.
- Le chapitre4 : réalisation de la machine de thermoformage.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Présentation générale

I .1. Introduction

Le thermoformage est l'un des grands procédés de mise en forme des polymères permettant de réaliser, à partir de feuilles ou plaques généralement extrudées ou calandrées, des objets concaves d'épaisseurs et de dimensions diverses. Il consiste à chauffer une feuille de polymère jusqu'à une température permettant sa déformation, puis à la mettre en forme dans (ou sur) un moule. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré.

En pratique, le terme générique de thermoformage regroupe un large panel de technologies différentes, plus ou moins complexes et automatisées selon l'application. Il peut s'agir du simple drapage manuel d'une feuille sur une forme (fabrication de baignoires par exemple) jusqu'aux lignes de thermoformage continues à hautes cadences intégrant éventuellement l'extrusion des plaques (pots de yaourts par exemple).

I.2.Historique :

Kératine, comme composant dans l'écaille de tortue, fut probablement le premier matériau à thermoformé [1,2]. Le Kératine se retrouve également dans la corne de l'animal et du sabot. Il peut être ramolli en le plongeant dans de l'eau ou de l'huile bouillante. La feuille est ensuite drapée manuellement sur un formulaire et tenue jusqu'à refroidissement. Cellulose naturelle, élément primaire dans l'écorce de l'arbre, étaient formés de façon similaire par les Amérindiens.

Bien que d'autres ont expérimenté les cellulosiques naturelles et extraites dans les années 1800, JWHayat est crédité de la première reconnaissance de la pleine commercial potentiel de camphor-solvaté nitrate de cellulose, qu'il a appelé "celluloïd». La plupart des produits en plastique du XIXe siècle semi-synthétiques ont été en celluloïd ou de produits similaires réalisés tout simplement par drapage des feuilles ramollies. Un autre exemple de réalisation par thermoformage est les touches de piano.

Le thermoformage moderne a commencé il ya environ 60 ans, peu de temps avant la seconde guerre mondiale. La recherche dans la chimie de résine thermoplastique a conduit à la commercialisation d'extrusion PVC de qualité souple ou FPVC, CA et PS et le développement de PMMA de coulée cellulaire. La réalisation des plaques en continu a été obtenue avec l'invention de l'extrudeuse à vis et le thermoformage en rouleau. Ces

développements ont permis la fabrication de grande variété de produits domestiques. L'industrie de l'emballage a adopté le thermoformage comme un procédé de base dans les années 1940 [3]. Dans les années 1970, la demande de produits d'emballage alimentaires utilisés dans les fours, tels que des tasses de boissons jetables produits par mousse de PS, CPET et PP. Les cabines de douche, baignoires, et doublures de réfrigérateurs étaient thermoformées à partir de feuille épaisses.

Finalement, on peut dire que le thermoformage est utilisé dans plusieurs d'autres domaines.

I.3. Le thermoformage dans le marché de l'emballage :

Le principal secteur d'application du thermoformage est l'emballage, qui représente près des trois quart du marché [4]. Ses autres grands débouchés sont l'électroménager, le sanitaire et l'automobile.

Dans le secteur de l'emballage, le « plastique » s'impose comme un matériau de choix au Détriment des matériaux traditionnels que sont le verre et le papier (30 % du marché en chiffre D'affaire en 2000 [5]). Cela est particulièrement vrai dans les applications alimentaires qui Restent le principal débouché des emballages plastiques (63 % en 2000 d'après [5]).

I.4. Machine de thermoformage :

Comme indiqué, il ya deux catégories générales de thermoformage. Typiquement, lourd-Gage feuille est traitée comme sections coupées discrets et les équipements qui sont appelées thermoformeuses feuille à feuille. Mince feuille-Gage est géré en rouleaux continus et l'équipement de formation est généralement appelé thermoformeuses alimentées par rouleau. L'équipement à la fois catégories comprennent :

• Une certaine forme de dispositif de manipulation de feuilles
• Un mode de déplacement de la feuille d'une station à une autre
• Un moyen de contrôler les différents éléments qui permettent à la feuille d'être chauffée
• un four de chauffage de feuille
• Un système de vide.

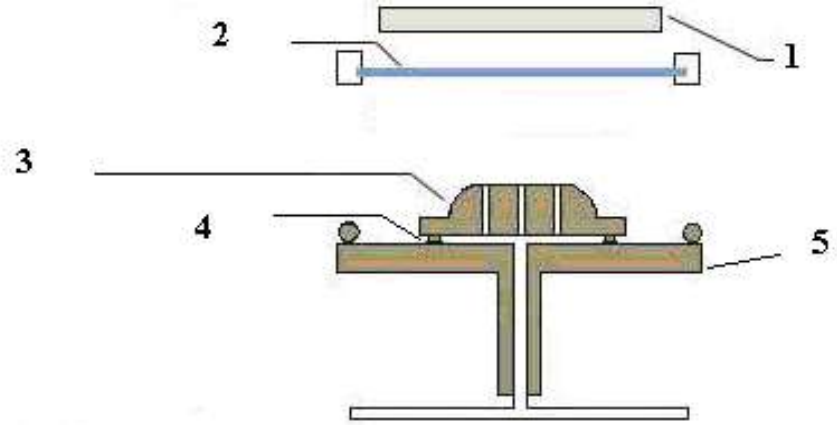


Figure I.1 : Schéma d'ensemble d'une machine de thermoformage classique [6].

1. Résistance chauffante ; 2. plaque de plastique ; 3. le moule ; 4. fixation de moule ; 5. chambre d'aspiration.

Voici une brève description des étapes qui permettent la réalisation d'une pièce en plastiques par la méthode du thermoformage :

I.4.1.Fabrication d'un moule qui servira de base au thermoformage de la future pièce :

On a le choix de faire un moule positif ou bien négatif, les critères aidant au choix sont la forme de la pièce finale, la surface sur laquelle on désire le meilleur fini (surface extérieure au moule) et bien sûr les capacités de la machine de thermoformage.

- **Moule positif :**

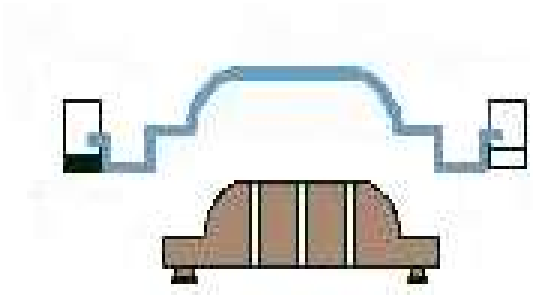


Figure I. 2 : Moule positif et pièce formée.

- **Moule négatif :**

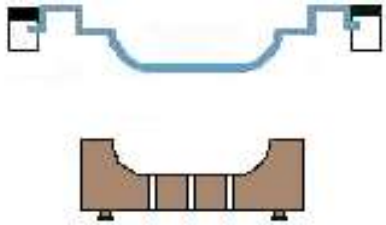


Figure I.3 : Moule négatif et pièce formée.

Il faut savoir que ce moule est plus délicat à thermoformer en raison de la grande quantité d'air à évacuer entre la feuille de plastique et le moule, il est cependant possible de s'aider d'outils d'appoint pour les zones négatives ou bien les moules négatifs.

Après l'usinage du moule positif (ou négatif) la surface sur laquelle le moulage sera effectué, doit être sablé pour éliminer les irrégularités. Par la suite, on applique un produit de finition, par exemple un vernis. Ce dernier permet l'obtention d'un fini complètement lisse par polissage et par sablage. Afin de faire le vide entre la feuille et le moule, on doit réaliser des petits trous dans ce moule.

I.5.Étapes du procédé de thermoformage

I.5.1.Chauffage de la feuille de plastique

Après une vérification de la machine, on fixe la feuille de plastique sur un cadre de serrage, durant ce temps, on fixe le moule et on l'inspecte afin de chasser d'éventuelles poussières, puis on commence à faire le vide dans le réservoir.

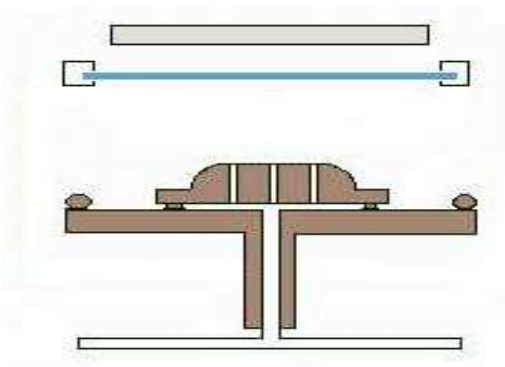


Figure I.4 : chauffage du feule de plastique.

I.5.2.Thermoformage de la pièce

Une fois que la feuille de plastique est entrée en phase de transition vitreuse, on observe une forte flèche, la retirer rapidement, l'abaisser contre le moule et ouvrir le vacuum. Cette étape est importante et elle doit être réalisée rapidement.

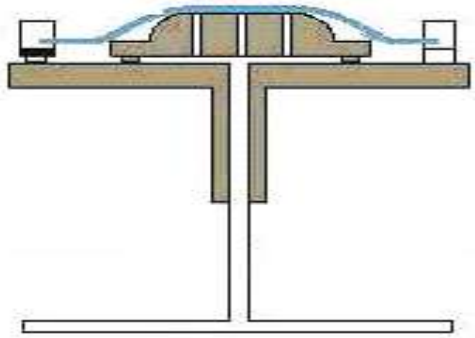


Figure I.5 : Drapage sur le moule.

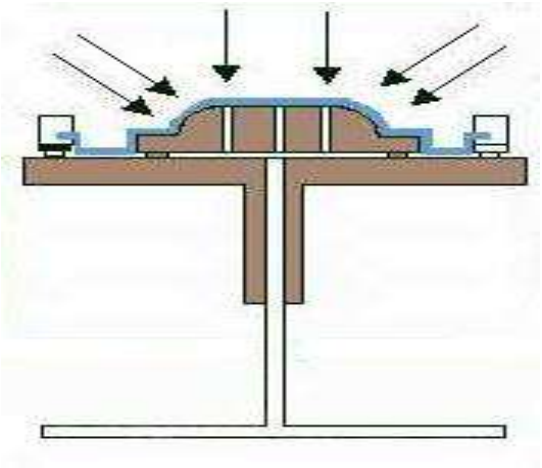


Figure I. 6: Aspiration.

I.5.3.Refroidissement et démoulage:

Après le refroidissement la pièce peut être démoulée. Ensuite elle peut être taillée, polie ou peinte.

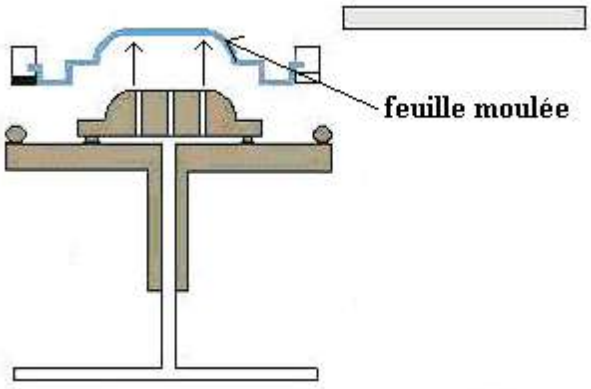


Figure I.7 : démoulage

I.6.Les matériaux thermoformés :

Le tableau I-1regroupe les caractéristiques de «thermoformabilité » des principales classes de Polymères utilisées en thermoformage, leur plage de mise en forme (plage de formage) et leurs températures caractéristiques (température de transition vitreuse, T_g, ou de fusion,T_f).

Tableau .I.1: Plages de formabilité des principaux polymères utilisés en thermoformage (A : amorphe, SC : semi-cristallin) d'après [7].

Polymère	Abréviation	Type	Tg(°C)	Tf(°C)	Plage de formage (°C)
Polystyrène	PS	A	90	-	130 -182
Polychlorure de vinyle	PVC	A	90	-	100 -155
Acrylonitrile butadiène styrène	ABS	A	90-120	-	130 -180
Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	A	100	-	150 -190
Polycarbonate	PC	A	150	-	170 -200
Polypropylène	PP	SC	5	165	150 -165
Polyéthylène téréphtalate	PET	SC	70	255	120 -180
Polyéthylène haute densité	PEHD	SC	-110	134	130 -185

De par leur facilité de mise en œuvre, les polymères amorphes se situent en tête des applications thermoformage (PS, PVC, ABS, etc.). Parmi eux, le polystyrène reste le plus utilisé [3, 4].

Les avancées technologiques des outils de production et des formulations de ces dernières décennies ont permis l'utilisation croissante des polymères semi-cristallins en thermoformage, Et en particulier le polypropylène (PP) et le polyéthylène téréphtalate (PET). Leur percée est très sensible dans le secteur de l'emballage. En particulier, le polypropylène se trouve directement en concurrence avec le polystyrène pour le thermoformage de pots profonds (gobelets, pots de yaourts). Son avantage principal est son excellente tenue mécanique en température, qui lui permet d'accéder au marché des emballages stérilisables.

Il est également fortement utilisé pour les emballages destinés à contenir des aliments ou boissons pouvant être chauffés (gobelets pour distributeurs de boissons chaude sou barquettes destinées à être réchauffées (microonde).Cependant, sa mise en forme reste délicate, ce qui fait que le polystyrène lui est encore largement préféré.

Enfin, notons que l'utilisation de feuilles multicouches Co-extrudées est croissante en thermoformage. Elles permettent, en effet, d'allier les propriétés des différentes couches qui les composent et sont très fréquemment utilisées dans les applications alimentaires pour leurs propriétés barrières. Dans la plupart des cas, elles sont constituées d'un produit majoritaire, représentant environ 70 % de la structure (par exemple le polystyrène ou le polypropylène), et D'une ou plusieurs couches de produits barrières et de liants. On peut, par exemple, citer l'alcool polyvinylique (EVOH) qui est utilisé comme couche barrière à l'oxygène. Un thermoformage de ces produits dans de bonnes conditions doit conduire à une déformation homogène dans l'épaisseur du « sandwich ».

I.7.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté :

- les machines de thermoformage en général,
- les étapes de thermoformage avec les matériaux thermoformés,
- le temps de formage de ces matériaux, et
- les domaines d'application de cette technique

Chapitre II

Etude et conception d'une machine de thermoformage

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les étapes de thermoformage. Nous allons examiner le nombre de trous d'aspiration et le choix du matériau utilisé. Ensuite, nous allons concevoir les différentes parties de la machine de thermoformage (chauffage, moulage, aspiration) avec le logiciel de conception **SolidWorks.**

II.2. Les types de moule

La géométrie de la pièce à réaliser va imposer le type de moule et par conséquent le type de formage **[**9] [10] [11]. On distingue le formage négatif et le formage positif. Dans certains cas, le même moule peut présenter une partie positive et une partie négative.

Exemple : le formage négatif est le plus courant pour les applications barquette, pot, gobelet, film d'emballage. Pour les applications nécessitant de fortes épaisseurs de feuille, on trouve du formage positif; c'est le cas des baignoires, des cuves et des portes de réfrigérateur.

II.2.1 Moule positif

Il est encore appelé moule mâle (figure (II.1)). La fabrication et l'usinage de ce type de moule sont simples et peu onéreux. Le thermoformage avec ces moules est encore appelé « drapage» car la feuille préchauffée est drapée sur le moule par la pression atmosphérique externe. L'air entre moule et feuille est aspiré par une pompe à vide. La distribution d'épaisseur dans l'objet fini est pratiquement l'inverse de celle obtenue avec un moule négatif. Par exemple, pour le moule de la figure (II.2), l'épaisseur du haut de l'objet est légèrement inférieure à l'épaisseur initiale de la feuille, les flancs par contre sont très étirés et très fins. La forte épaisseur au sommet est accentuée par le refroidissement de la feuille par contact avec le moule. Les propriétés mécaniques à cet endroit augmentent et la déformation est localisée aux endroits encore chauds, le flanc. Le frottement de la feuille sur le moule empêche également la déformation du sommet. Le chauffage du moule permet une meilleure répartition des épaisseurs, mais réduit les cadences de production, le refroidissement étant plus long. L'augmentation des rayons de raccordement des différentes faces du moule réduit aussi les écarts d'épaisseur sans nuire aux cadences.

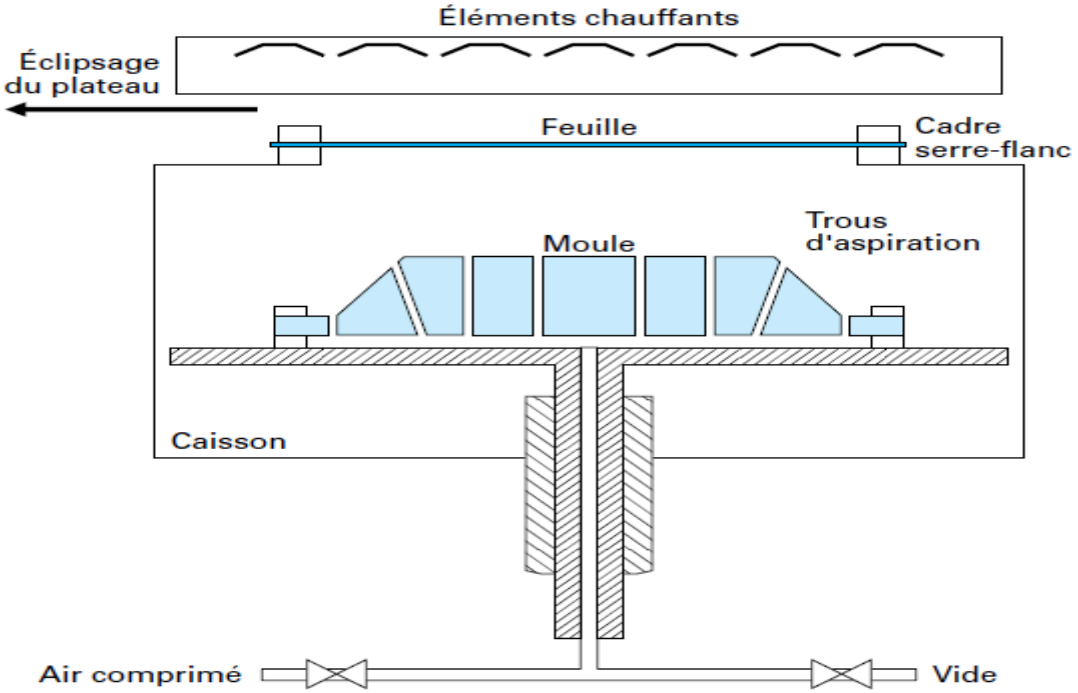


Figure II.1. Schéma d'une machine de thermoformage à moule positif.

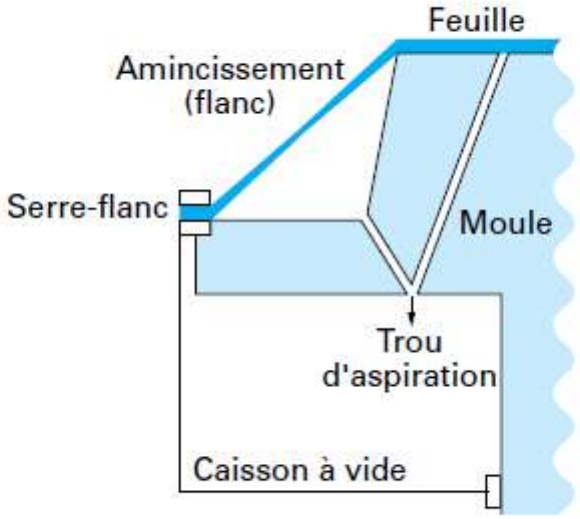


Figure II.2. Formage sur un moule positif.

Les moules positifs sont très utilisés pour la fabrication de blister. Pour obtenir des épaisseurs régulières, la façon la plus efficace est de pratiquer un prégonflage, hors moule. La

feuille subit un préétirage dans sa partie centrale, réduisant ainsi son épaisseur figure (II.3).

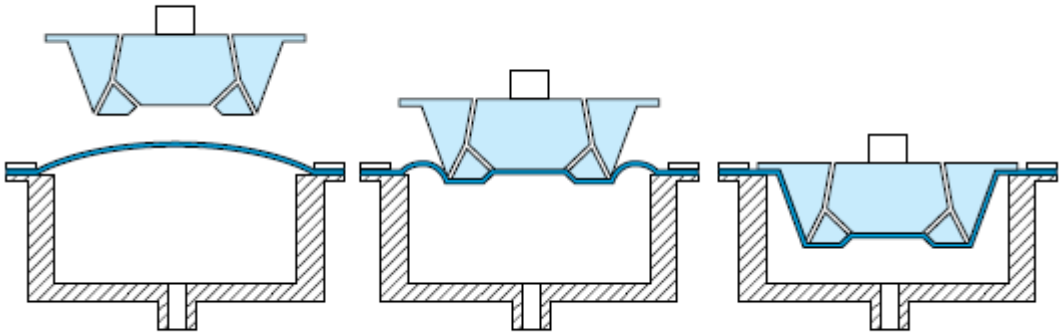


Figure II.3 : Thermoformage positif inverse avec prégonflage pour régulariser les épaisseurs.

Leur utilisation en thermoformage multi-empreintes est limitée car un grand espace est nécessaire entre chaque moule figure (II.4) Si cet espace n'est pas suffisant, on observera des plis, une réduction d'épaisseur très importante des flancs et du bord de l'objet.

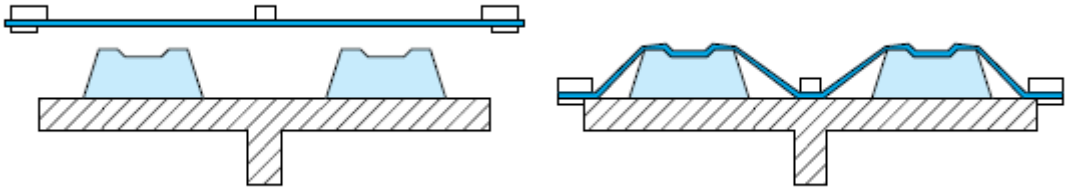


Figure II.4. Moulage positif double moule.

Un autre inconvénient des moules positifs est la difficulté de démoulage engendrée par le retrait des matériaux lors du refroidissement. Les angles de dépouille doivent être importants, limitant les formes possibles. Généralement, un angle de 10° est suffisant. Pour aider au démoulage, on peut employer soit des systèmes mécaniques, soit une pression d'air. On se servira souvent des mêmes orifices que ceux employés pour le vide. Des agents de démoulage sont souvent utilisés, il faudra vérifier qu'ils ne présentent pas d'inconvénients pour l'application finale.

II.2.2 Moule négatif

Le moule est conçu comme une cavité percée de petits orifices pour l'évacuation de l'air emprisonné entre la feuille et lui-même. Pour déformer la feuille, on emploie généralement une pression d'air. Les poinçons mécaniques, en plus d'une pression d'air sont

très utilisés dans le cas des thermoformages profonds (H/D supérieur à 1). Ils facilitent à la fois la déformation et régularisent les épaisseurs. Contrairement au moule positif, les épaisseurs sont plus fines au fond de l'objet et plus épaisses en paroi si l'on n'utilise pas de poinçon. Les variations d'épaisseur sont directement liées au rapport H/D du moule. Plus celui-ci sera grand, plus l'épaisseur moyenne sera faible. Le coût de fabrication est plus élevé que pour un moule positif, car il faut, en général, enlever plus de matière dans le cas des moules métalliques (aluminium, en général).

Le démoulage s'effectue sans difficulté, du fait du retrait des produits lors du refroidissement. Les angles de dépouille sont donc faibles, quelques degrés, et les angles de raccordement peuvent être vifs.

Du fait du sens de déformation de la feuille, les moules multi-empreintes figure (II.5) sont très fréquents. La distance entre empreintes est faible car la feuille est peu déformée à cet endroit.

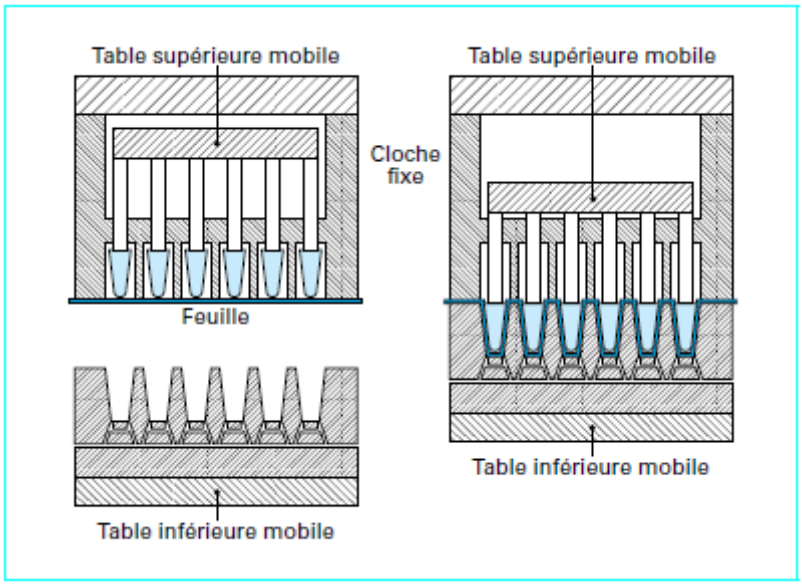


Figure II.5. Moulage négatif à empreintes multiples.

II.3. Calcul du nombre et du diamètre des évents

Comme la feuille plastique à chaud est aspiré dans le moule, l'air emprisonné doit être évacuée. Des petits trous sont percés dans la surface dans les régions où la dernière partie de les contacts de la feuille de dessin du moule. Le nombre et le diamètre de ces évent ou trous d'aspiration est déterminée avant la conception du moule. Si le diamètre du trou d'évent est

trop grande, plastique chaud est aspiré dans, produisant une bosse disgracieuse, la feuille peut se rompre. Si trop peu de trous sont disponibles ou si la zone d'évacuation est trop faible, la vitesse de tirage vers le bas est commandée par le débit d'air s'écoulant de la cavité. Si le taux est très lent, la feuille peut refroidir de façon beaucoup au cours de rabattement qui ne peut plus être étirée dans les coins et complet réplication de forme du moule n'est pas atteinte.

Le diamètre des évents est défini par l'épaisseur, les propriétés mécaniques de la feuille au moment du contact avec le moule et la pression exercée. On doit éviter toute pénétration de la feuille dans l'orifice d'évacuation de l'air. [12]

Une règle simple consiste à déterminer le diamètre des évents par rapport à l'épaisseur de la feuille au moment du contact. Le rapport diamètre évent/épaisseur feuille varie entre 0,7 et 8. Aucune règle plus précise ne peut être donnée. Basés sur la rhéologie des produits, peuvent fournir une indication, mais c'est souvent à l'expérience que font appel les industriels.

Le nombre d'évents est plus simple à déterminer car dépendant pratiquement de la vitesse du son (durant la phase de formage, on admet que le rapport de la pression externe (p_{ext}) à la pression interne (p_{int}) est tel que l'air dans l'évent se déplace à la vitesse du son, soit(p_{ext} /p_{int}) inférieure à 0,528. Le nombre d'évents N est donné par la formule :

$$N=4V/ (C \pi T D^2) \qquad (II.1)$$

Avec :

V : volume de la chambre initiale (m^3),

C : vitesse du son (335 m/s),

T : temps de formage(s),

D : diamètre des évents (m)

II.3.1. Calcul de la vitesse du son C :

La vitesse du son dépend uniquement des propriétés du milieu que l'on peut résumer en deux points :

 Si les particules sont très lourdes, elles se déplaceront plus lentement que si elles sont légères, et donc le temps nécessaire à la transmission du mouvement à la particule voisine sera plus grand, et l'onde ira donc moins vite.

 Si les particules sont très proches, la distance qu'elles doivent parcourir pour aller heurter leurs voisines est plus faible et l'onde ira plus vite.

Ce deuxième effet est plus important que le premier, et il explique que les sons se déplacent plus vite dans les liquides et les solides (où les particules se touchent) que dans les gaz (où les particules peuvent être éloignées les unes des autres).

En résumé : [13]

$$V_{gaz} < V_{liquide} < V_{solide} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(II.2)}$$

Le tableau suivant indique les vitesses de propagation dans différents milieux. Bien évidemment, ces valeurs sont indicatives car des modifications de température du milieu entraînent également des modifications dans la structure du milieu (distance entre les particules, par exemple). Dans l'air, à pression atmosphérique normale, on peut approximer la vitesse du son par la formule :

$$c = 331 + 0{,}6\ .Te \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(II.3)}$$

Où c est la vitesse du son exprimée en mètres par seconde, et Te est la température, exprimée en degrés Celsius.

Tableau II.2. Les vitesses de propagation dans différents milieux [14].

Phase du milieu	Nature du milieu	Vitesse du son (m/s)
Gazeux	Dioxyde de Carbone (CO_2)	260
Gazeux	Oxygène	320
Gazeux	Air	330
Gazeux	Hélium	930
Gazeux	Hydrogène	1270
Liquide	Mercure	1450
Liquide	Eau douce	1460

Liquide	Eau de mer	1520
Solide	Bois de pin	3320
Solide	Acier	5000
Solide	Verre	5500
Solide	Granite	5950

II.3.2. Calcul du volume de la chambre initiale :

Le volume de la chambre V=W.L.H.

Avec :

V : le volume de la chambre initiale

L : longueur

W : largeur

H : hauteur

L=350 mm

W=310 mm

H=230 mm

Donc :

V=350*310*230=2,5.$10^7 mm^3$

Donc : N=4.v/(c.D^2.T.π) = 4(2,5).10^7/ ((335.10^3).3, 14. 2^2.0.5)

N= 48 trous.

II.4. Présentation du matériau de l'étude

II.4.1. Polymères thermoplastiques

Les polymères thermoplastiques sont des polymères généralement amorphes (non cristallin). Leur structure est composée de liaisons à faibles énergie (liaisons de Vander Walls).Ils présentent l'avantage de se ramollir (destruction de leurs liaisons chimique) à partir d'une certaine température nommé température de transition vitreuse T_V ; cette température variant suivant la nature du polymère. Une fois ramollis, ils peuvent être façonnés en une forme donnée. En refroidissant, ils deviennent durs (reformation de leurs liaisons chimique) et gardent leur forme. Cette manipulation peut être répétée un grand nombre de fois. Ils sont également solubles et fusibles.

Par ces caractéristiques, les polymères thermoplastiques sont potentiellement recyclables.

II.4.2. La structure chimique et les propriétés des PVC

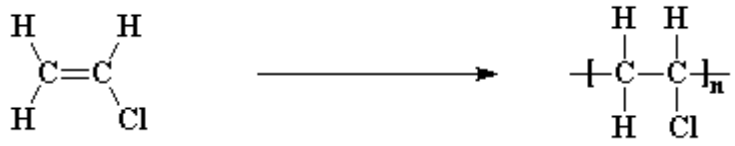
Le PVC (Chlorure de vinyle) est également connu sous le nom Polychlorure de vinyle et a été découvert au début du 20ème siècle. Il appartient à la famille des polymères thermoplastiques. Il est dérivé du sel (57%) et du pétrole (43%). Il est fabriqué à partir de chlore.

Sa production industrielle a commencé au début des années 1930 et son utilisation n'a pas cessé de croître tout au long des années notamment grâce à ses propriétés qui en font un matériau à multiples usages. Le PVC est devenu la troisième matière plastique employée dans le monde et un matériau indispensable dans notre quotidien. C'est l'un des polymères les moins chères et les plus polyvalents.

- **Structure chimique**

Le PVC possède une structure essentiellement amorphe mais peut parfois être syndiotactique (cristallin) localement sur de courts segments. Son taux de cristallinité ne dépasse cependant jamais 10% à 15%.

Le PVC est un composé de carbone, d'hydrogène et de chlore. Le chlore est extrait du sel alors que le carbone et l'hydrogène sont issus du pétrole ou du gaz. Le PVC est synthétisé par polymérisation radicalaire du monomère chlorure de vinyle :



Comme la montre la formule ci-dessus, le PVC est un polymère monodimensionnel linéaire.

- **Propriétés**

❖ Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du PVC appartiennent à celles courantes des polymères. Ces propriétés se situent entre celles des céramiques (matériaux les plus fragiles) et celles des métaux connus pour leurs bonnes performances mécaniques.

Les propriétés mécaniques sont différentes suivant le type de PVC, celui-ci est soit rigide ou flexible.

Sous sa forme pure, le PVC est un matériau rigide. En effet, son module de Young, caractérisant sa rigidité, est l'un des meilleurs dans la famille des polymères (2,14 – 4,14 GPa). Cependant, il devient fragile à faible température. Le PVC rigide n'est pas très résistant au choc. Il présente une résistance moyenne en traction, à la compression et à la fatigue. Toutefois, sa résistance à l'abrasion est excellente et de plus c'est un matériau très ductile comme tous les plastiques. Cette ductilité est équivalente à celle des métaux et montre que le PVC s'allonge fortement au cours de la déformation plastique par traction avant finalement rompre. Le PVC est ainsi très difficile à rompre en traction cependant c'est un matériau cassant et sensible à la flexion.

Les chiffres

- Résistance en traction : 40,7 – 65,1 MPa

- Résistance à la compression : 42,5 – 89,6 MPa

- Limite à la fatigue : 16,2 – 26,1 MPa

- Allongement : 11,8 – 80 %

L'incorporation de plastifiants dans le mélange réactionnel aboutit à un PVC flexible. Son module de Young en est alors diminué. Il devient moins cassant du fait de son caractère élastique. Ses propriétés mécaniques sont semblables à celles du cuir et du caoutchouc.

Le PVC peut être renforcé avec des fibres de verres. Il devient un matériau rigide, résistant et robuste utilisable dans la construction.

❖ Propriétés thermiques

Sa température de transition vitreuse T_V est comprise entre 75°C et 80°C. A température ambiante, il est donc rigide. A partir de la température de transition vitreuse, il devient caoutchouteux et donc souple.
Ses températures d'utilisation découlent de la sa température de transition vitreuse et de sa sensibilité au froid. Elles sont comprises entre -73°C et 75°C.

Sous l'action de la chaleur, le PVC se décompose parfois avec dégagement de gaz chlorhydrique, de gaz carbonique, d'oxyde de carbone et de vapeur d'eau.

❖ Propriétés physiques

Le PVC est un bon isolant électrique. Sa résistivité électrique est celle des plastiques courant c'est-à-dire environ 10^{20} µohm.cm. Ce qui est très élevé. A titre de comparaison, les métaux qui sont très bon conducteur possèdent une résistivité électrique proche de 10^{-1} µohm.cm.

C'est un également un bon isolant thermique du fait de sa conductivité thermique basse : 0,147 – 0,293 $W.m^{-1}.K^{-1}$

❖ Propriétés chimiques

- Excellente Résistance aux acides, bases, huiles, alcools ainsi qu'aux hydrocarbures aliphatiques jusqu'à une température de 60°C.
- Sensible aux hydrocarbures aromatiques et halogénés, aux esters, aldéhydes cétones. Ces espèces chimiques provoquent des gonflements du PVC.

- Résistant au feu du fait de la présence de chlore qui est un retardateur de flamme. Le PVC est incombustible et auto-extinguible c'est-à-dire lorsqu'il est enflammé, il s'éteint seul.
- Faible perméabilité : l'absorption en eau est basse (0,04 à 0,4).
- Résistance satisfaisante aux UV : si le PVC est soumis à un trop fort rayonnement UV, il finit par brunir.
- Propriété anti-moisissures : Le PVC est le lieu d'aucun développement. [15]

II.5.Système de chauffage

La machine est équipée d'un four contenant trois (3) résistances en céramiques qui permettent de chauffer uniformément la feuille de thermoplastique. Les résistances céramiques ont des thermocouples qui, à l'aide d'une partie électronique et commande permettant l'acquisition des données de températures à l'intérieur du four. Ces éléments sont contrôlés à l'aide d'une interface de commande LCD.

.

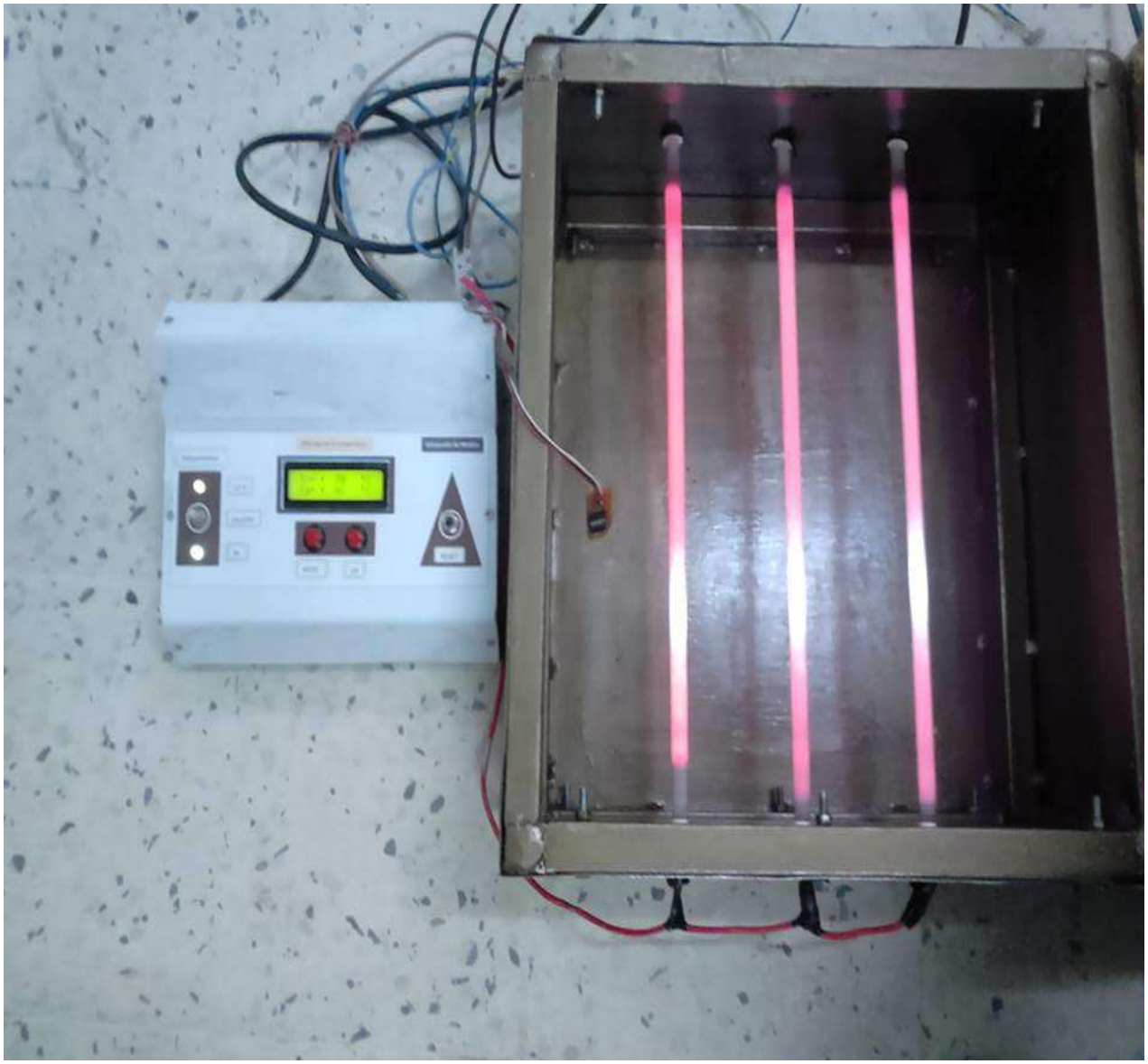


Figure II.6. Les éléments chauffants.

II.5.1 Préchauffage

Afin de réduire l'occupation des machines, nous conseillons de préchauffer les plaques dans un four à air pulsé jusqu'à une température juste inférieure au point de ramollissement (PE-HD 110 °C, PP 125 °C, PVC 50 à 55 °C, PVC-C 70 à 80 °C, PET-G 60 à 70 °C, PVDF 140 °C, E-CTFE 140 °C), à faible puissance de chauffage afin de préserver au maximum la surface des plaques. Cette méthode se traduit par une plus grande durabilité des pièces finies. Il est impératif que la plastification atteigne les lisières si l'on veut éviter un gauchissement trop important. Nous recommandons fortement de protéger la machine de thermoformage contre les courants d'air sur tous ses côtés.

II.5.2. Chauffage du semi-produit

Le chauffage du semi-produit est l'une des étapes les plus importantes du procédé de thermoformage. Le semi-produit à thermoformer doit pouvoir être chauffé de manière économique, c'est-à-dire atteindre sa température de formage rapidement et moyennant peu d'énergie. D'une manière générale, on veillera à le chauffer uniformément. Des différences de température dans le semi-produit ne sont avantageuses pour le thermoformage que dans certains cas particuliers.

La fenêtre de mise en œuvre constituée par la température de formage inférieure et la température de formage supérieure est à considérer. Le chauffage doit être piloté de manière à maintenir la température dans cette fenêtre de mise en œuvre. Pratiquement, il est impossible d'éviter l'apparition d'un gradient de température dans l'épaisseur de paroi. Il convient cependant de veiller avec soin que le cœur du semi-produit dépasse le seuil de température bas si l'on veut éviter des contraintes dans la pièce. Par exemple, des éléments chauffants très chauds, chaufferont la surface du semi-produit trop fortement et trop vite et une décomposition ou des modifications de propriétés pourront intervenir dès ce stade. Du fait d'une faible conductibilité thermique, la température au cœur du semi-produit ne pourra pas suivre celle de la surface et le cœur sera trop froid pour permettre un formage satisfaisant. Ces conditions se traduiront par la formation de contraintes résiduelle qui, sous une sollicitation excessive de la surface de la pièce, nuiront à sa durabilité.

II.5.3. Chauffage par contact

En chauffage par contact, la plaque à thermoformer est placée sur une plaque chauffante moyennant l'utilisation d'un film de séparation (film téflon) et d'un support pour améliorer le contact – ou entre deux plaques chauffantes chacune avec un film de séparation – et laissée ainsi jusqu'à ce que la plaque à thermoformer ait atteint la température de sur face des plaques chauffantes. L'échauffement se produit par simple conduction de la chaleur dans la plaque. En pratique, il convient de veiller à l'homogénéité de la température des plaques chauffantes pour éviter des pointes qui risqueraient de trop solliciter le semi-produit.

II.5.4. Chauffage par convection

Le chauffage par convection consiste ici à chauffer le semi-produit dans un four à air pulsé réglé à la température de formage. On utilise cette méthode notamment pour chauffer les plaques de PETG épaisses avant de les emboutir.

II.5.5. Chauffage par rayonnement

Le chauffage par rayonnement consiste à créer une interaction entre une source de rayonnement électromagnétique et une surface qui absorbe le rayonnement sous forme de chaleur. Le rayonnement est caractérisé par sa longueur d'onde. Les plastiques absorbent les rayonnements surtout dans les infrarouges (plage IR) de 0,8 à 10 µm de longueur d'onde.

L'absorption dépend de l'épaisseur et de la couleur du plastique, ainsi que de la longueur d'onde de la source de rayonnement. Lorsque la surface a presque absorbé la totalité de l'énergie de rayonnement, aucun échauffement du cœur de la plaque ne se produit plus pour la plage de longueur d'onde considérée. Si la longueur d'onde est comprise entre 1 et 1,4 µm, le rayonnement pénètre sur plusieurs mm. Au-delà de 2,5 µm, c'est surtout la surface qui s'échauffe et l'échauffement d'une plaque épaisse peut nécessiter un très long délai du fait de la mauvaise conductibilité thermique.

Lorsque la température du rayonnement augmente, le rayonnement maximal se déplace vers les longueurs d'onde plus courtes. L'énergie à apporter au semi-produit dépend également de la température de la source, laquelle peut permettre une réduction importante des temps de cycle.

Les sources de rayonnement récentes, avec un rayonnement maximal de l'ordre de 1 µm (sources halogènes), devraient permettre d'échauffer encore lus vite [16]. Le transfert thermique est toutefois physiquement limité par la caractéristique d'absorption du plastique. Les sources à incandescence ne peuvent donc pas toujours être utilisées car elles échauffent trop fortement la surface et la température du cœur de la plaque ne peut pas suivre. La surface du semi-produit risque donc être endommagée, nuisant à la durabilité et à la stabilité de la couleur, en particulier en exposition aux intempéries.

II.6.Formage

Le formage constitue l'étape de traitement au cours de laquelle la feuille est ramollie afin d'emprunter la forme de la coquille du moule. II existe trois grandes techniques de base pour obtenir ce résultat :

- L'évacuation d'air pour que la feuille adhère au moule.
- L'utilisation d'air pressurisé pour pousser la feuille contre le moule
- L'utilisation d'une force mécanique (assistée par tampon notamment)

Ces techniques peuvent être employées ensemble dans tout équipement de formage standard selon le modèle de la pièce à former.

Selon la méthode de formage sous vide, la feuille ramollie est rapportée sur le moule et scellée étanchement contre le moule. Une pompe à vide est alors employée pour évacuer l'air entre la feuille et le moule, cette technique étire et maintient la feuille contre le moule. Seul agent de formage, la pression atmosphérique limitée à I bar, représente l'inconvénient principal du formage sous vide II arrive que la pression atmosphérique ne soit pas suffisante au formage dans les cas où la plasticité du matériau est médiocre et où il est nécessaire d'obtenir une haute définition de la pièce moulée.[17]

Le formage sous pression consiste à pousser et maintenir la feuille contre le moule par application d'air pressurisé. II est alors généralement nécessaire d'employer une pompe à vide pour évacuer l'air résiduel entre le moule et la feuille.

L'application d'une force mécanique comprend l'emploi de moules assortis, de tampons de renfort et de calibres d'écartement. Les tampons de renfort sont des pièces

mécaniques utilisées pour aider la feuille à pénétrer au fond du moule ou dans les secteurs difficiles d'accès. Les tampons peuvent être thermo-réglés en fonction de la technique de formage et du modèle adoptés. II s'agit généralement de tampons en aluminium qui sont chauffés au maximum de tolérance avant adhésion ou amincissement excessif de la pièce. Si la température est trop basse, la partie inférieure de la pièce s'épaissit et risque alors de durcir ou d'adhérer au tampon. Le volume occupé par le tampon par rapport à l'espace de la cavité, le modèle et la vitesse d'insertion constituent d'autres facteurs importants en ce qui concerne l'utilisation de tampons.

II.7. Le refroidissement

Suite au formage, la pièce doit être suffisamment refroidie pour pouvoir être retirée du moule sans déformation, adhésion ou autre défaut de formage, à une température dite de durcissage.

L'échelle des températures de ramollissement Vicot de la plupart des styrènes se situe entre 90 et 100 °C. La température de la feuille doit donc être rabaissée à environ 10°C au dessous du point Vicat de ramollissement, afin que la pièce formée soit assez rigide pour être démoulée. La durée de ce processus est tributaire du système de refroidissement, si tel il y a, ainsi que de l'épaisseur de la feuille.

Le refroidissement constitue l'étape de thermoréglage en ce qui concerne le thermoformage des polymères cristallins tels que le polypropylène, le polyéthylène à haute et basse densités, etc. Le refroidissement des pièces s'effectue par suppression d'apport de chaleur au moule ainsi que par exposition à l'air libre. II est essentiel de contrôler le taux de retrait de la pièce, notamment en ce qui concerne les matériaux cristallins. Cette étape passe généralement par un réglage de la température du moule.

Le taux de retrait calorifque peut être accru par application d'air pressurisé sur la surface exposée de la pièce. On utilise parfois une brumisation en conjonction avec l'application d'air pressurisé afin d'intensifier les propriétés réfrigérantes de l'air (la pulvérisation peut cependant provoquer des taches). On peut également refroidir les pièces en utilisant des ventilateurs à haut débit. Les moules utilisés pour les hauts taux de rendement, sont généralement fabriqués en un matériau qui conduit bien la chaleur comme l'aluminium

lourd ou léger. Des spirales de refroidissement sont en général incorporées dans les moules en aluminium lourd employés dans les grandes chaînes de production.

Un refroidissement trop rapide de la pièce peut cependant entraîner d'importantes tensions thermiques qui ont pour conséquence de déformer ou de minimiser les propriétés physiques de la pièce formée. C'est la raison pour laquelle on laisse souvent les moules à une température comprise entre 35 et 65°C ou plus, lorsqu'il y a des risques de tensions thermiques.

Après le refroidissement, les pièces sont parfois démoulées en intensifiant la pression de l'air à l'intérieur du moule. Pour ainsi soulever la pièce du moule (formage mâle). Dans d'autres cas, la pièce se rétracte du moule elle-même (formage femelle) avant d'être démoulée. [17].

II.8. Le découpage

Avant de passer au découpage de la pièce, il faut tout d'abord examiner le taux de retrait. Au refroidissement, la pièce se rétracte dans toutes les directions. Le processus de retrait se termine généralement lorsque la pièce est à température ambiante. Cependant, on notera que, selon l'épaisseur de la feuille, le retrait se prolonge sur quelques heures ou plus après le refroidissement.

Le découpage peut être effectué en moule, particulièrement en ce qui concerne les productions à haut rendement en conjonction avec des matériaux à haute tolérance (verres en plastiques, par exemple). Pour ce qui est de la production de pièces de plus grande taille, où le rendement est moindre, et où des tolérances critiques sont requises, il est nécessaire d'employer un outillage à découpage spécifique. Pour le découpage en petite quantité, on utilise généralement des cisailles, des scies circulaires ou à ruban ainsi que des couteaux. Lorsqu'il s'agit de quantité plus volumineuse, on utilise des matrices à découpage plus substantielles : règles en acier, matrices lourdes usinées, matrices à déclic, toutes employées pour le découpage des feuilles épaisses. Le jet à eau et les dispositifs de découpage à laser sont de plus en plus employés pour le découpage automatique de pièces de moyenne ou grande épaisseur. Bien qu'il soit coûteux, l'achat de couteaux CNC représente un investissement justifié, si le volume de la production est suffisamment élevé. Ils offrent

l'avantage de réaliser un découpage et une capacité de reproduction précis tout en réduisant les frais de main d'œuvre.

Tableau. II.3. illustre l'adéquation des techniques de découpage aux différents de polymères.

Polymère	Matrice	cisaille	Rognage	Rainure	Scie Circulaire	ponçage	Scie à ruban	Tranche à chaud	Gaz thermique pressurisé	Eau pressurisé	Laser
PS, PMMA	9 (0)	6 (2)	4 (4)	0 (4)	2 (6)	2 (9)	3 (4)	6 (7)	4 (6)	5 (2)	7 (8)
ABS u-PVC	9 (0)	7 (2)	5 (4)	2 (5)	3 (7)	4 (9)	3 (4)	4 (7)	5 (4)	6 (2)	7 (8)
PE, PP	8 (2)	9 (8)	7 (8)	5 (3)	7 (6)	7 (5)	2 (3)	2 (8)	3(6)	3 (5)	7 (9)

9 = Méthode prioritaire

0 = inappropriée

( ) indique qu'il s'agit d'un calibre haute épaisseur. [17]

II.9. Etude et conception des pièces

II.9.1. Conception du moule

Un moule de thermoformage peut être très simple, en bois ou aussi compliqué qu'un moule d'injection avec des éléments mobiles, un système de découpe intégré.

Le choix du matériau constitutif d'un moule est largement dépendant de la taille de la série de pièce à produire : si la série est faible, le bois où les résines synthétiques pourront suffire ; pour les grandes séries de plusieurs milliers de pièces, on préférera l'aluminium ou l'acier, plus résistant.

La maîtrise du chauffage et du refroidissement du moule est essentielle pour la qualité des objets et leur stabilité dimensionnelle. Le bois et les résines synthétiques étant mauvais conducteur thermique, les temps de cycle sont longs pour éviter les échauffements de la surface. Dans les résines synthétiques, on ajoute souvent des charges conductrices mais,

malgré un circuit de refroidissement, les échauffements restent largement supérieurs à ceux de l'acier ou de l'aluminium.

L'acier et l'aluminium, du fait de leur grande résistance mécanique, autorisent des circuits de refroidissement très performants, permettant d'atteindre les plus hautes cadences de production. On peut citer le thermoformage de gobelet en PP d'1 mm d'épaisseur en moule en aluminium 16 empreintes à environ 30 coups/min, celui de feuilles épaisses en PMMA (environ 1 cm) pour les baignoires où le temps de cycle est de l'ordre de 5 min.[18]

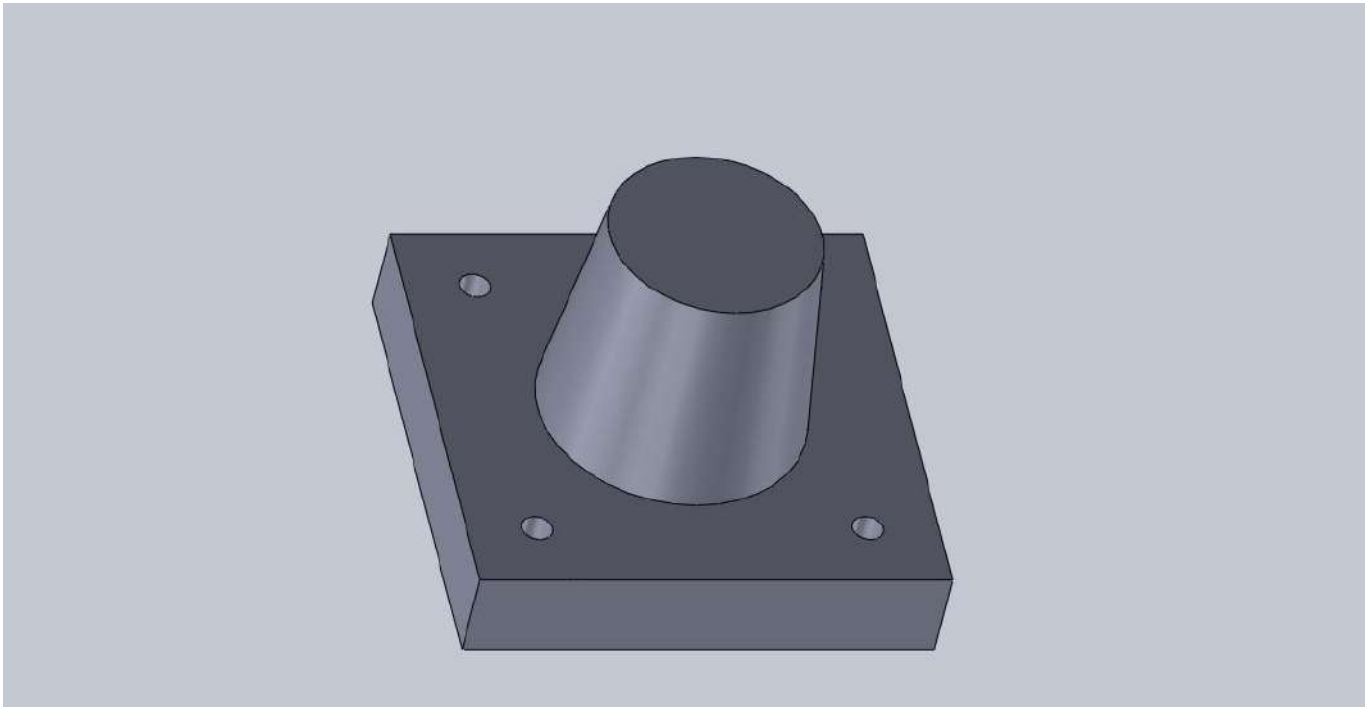


Figure III.7. Moule positive de thermoformage.

II.9.2. Conception de la chambre d'aspiration :

On a utilisé un chambre d'aspiration de volume 360*200*260 (mm) et an fait dans cette chambre un trou pour monter l'aspirateur.

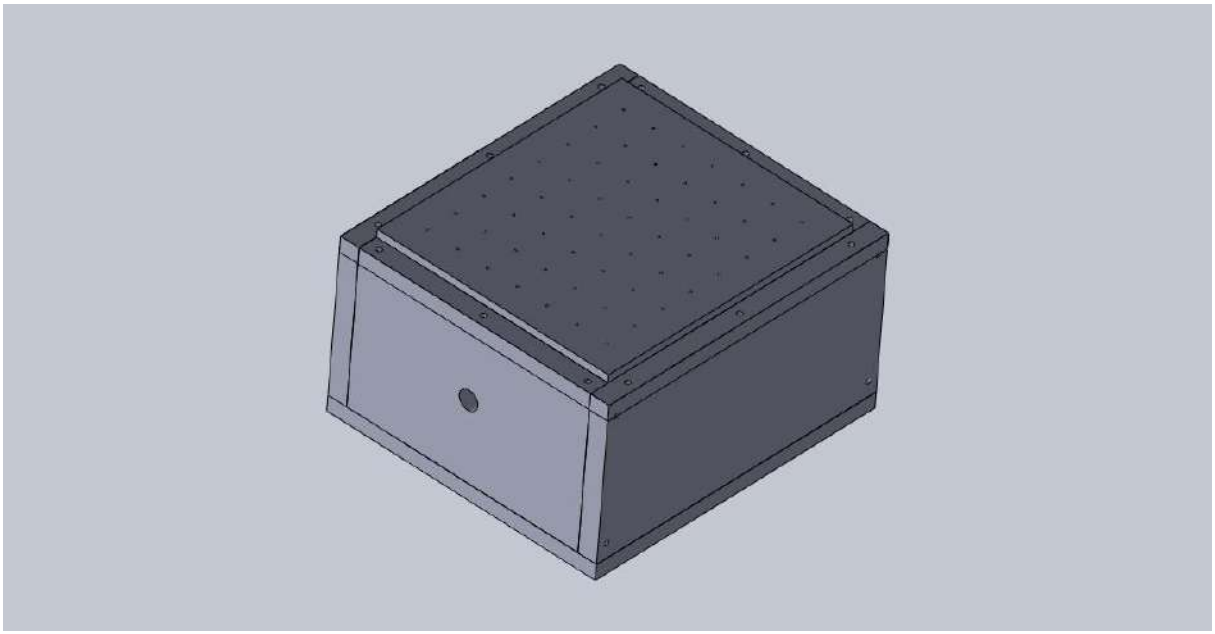


Figure III.8. Chambre d'aspiration.

II.9.3. Conception de la chambre de la résistance chauffante

On fait cette chambre avec un matériau métallique, et placé dans cette chambre une 3 résistance céramique chauffant dans cette chambre.

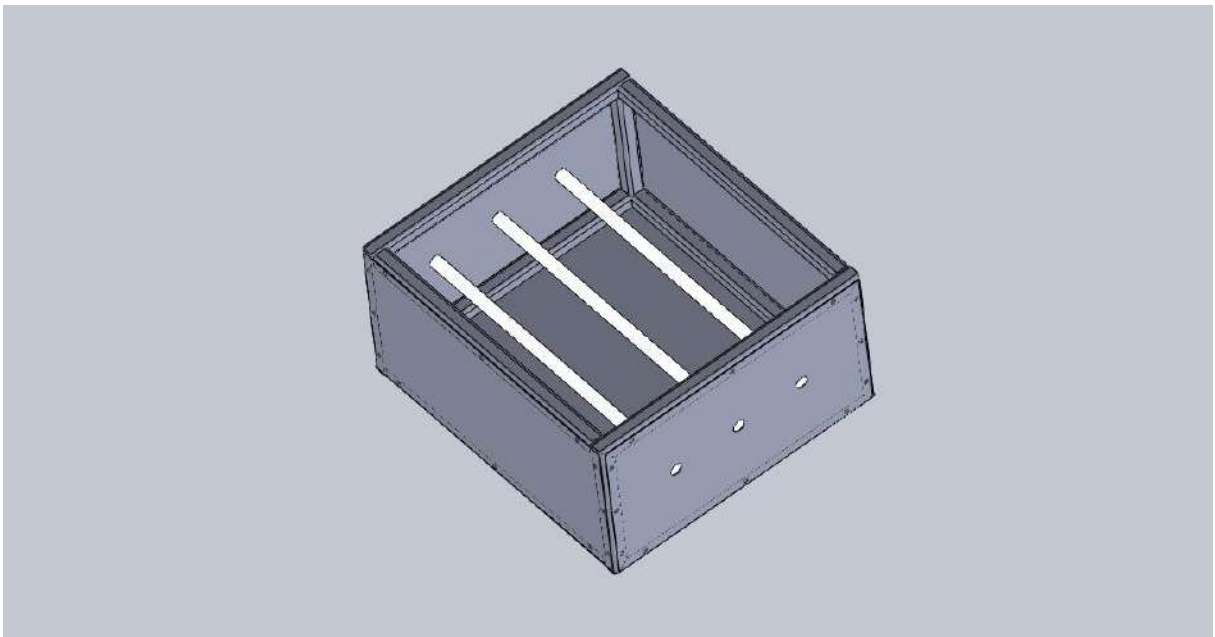


Figure III.9. Chambre de résistance chauffant.

II.9.4. Conception de la position de la plaque plastique

Cette pièce pour placé la plaque de plastique, on a fait 2 cadres avec le matériau de bois et relié avec deux paumelles, Cette pièce nous permettra de fixation cette plaque de plastique.

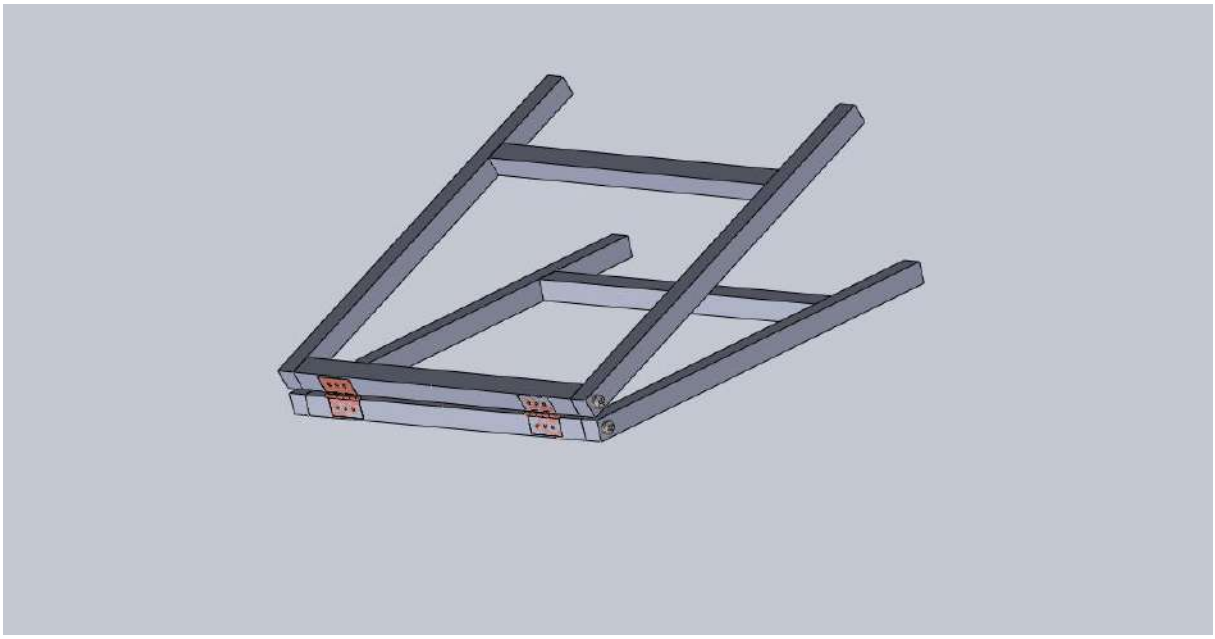


Figure III.10.position de plaque de plastique.

II.9.5. Conception de l'assemblage du prototype de thermoformage

On a utilisé les pièces précédentes pour assemblage un prototype de machine thermoformage.

Voir le dessin d'assemblage dans la figure.

II.9.6.Conclusion

Ce chapitre exposées différents étapes de thermoformage (chauffage ; moulage ; refroidissement et découpage). Ensuite, on a choisi le plastique **PVC** dans ce travail. Finalement, on a terminé le chapitre par la conception des différentes pièces de la machine thermoformage.

Chapitre III

Système de chauffage

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une description détaillée du système de chauffage et nous allons étudier toutes les pièces utilisées dans le système comme indiqué dans le schéma suivant **:[18]**

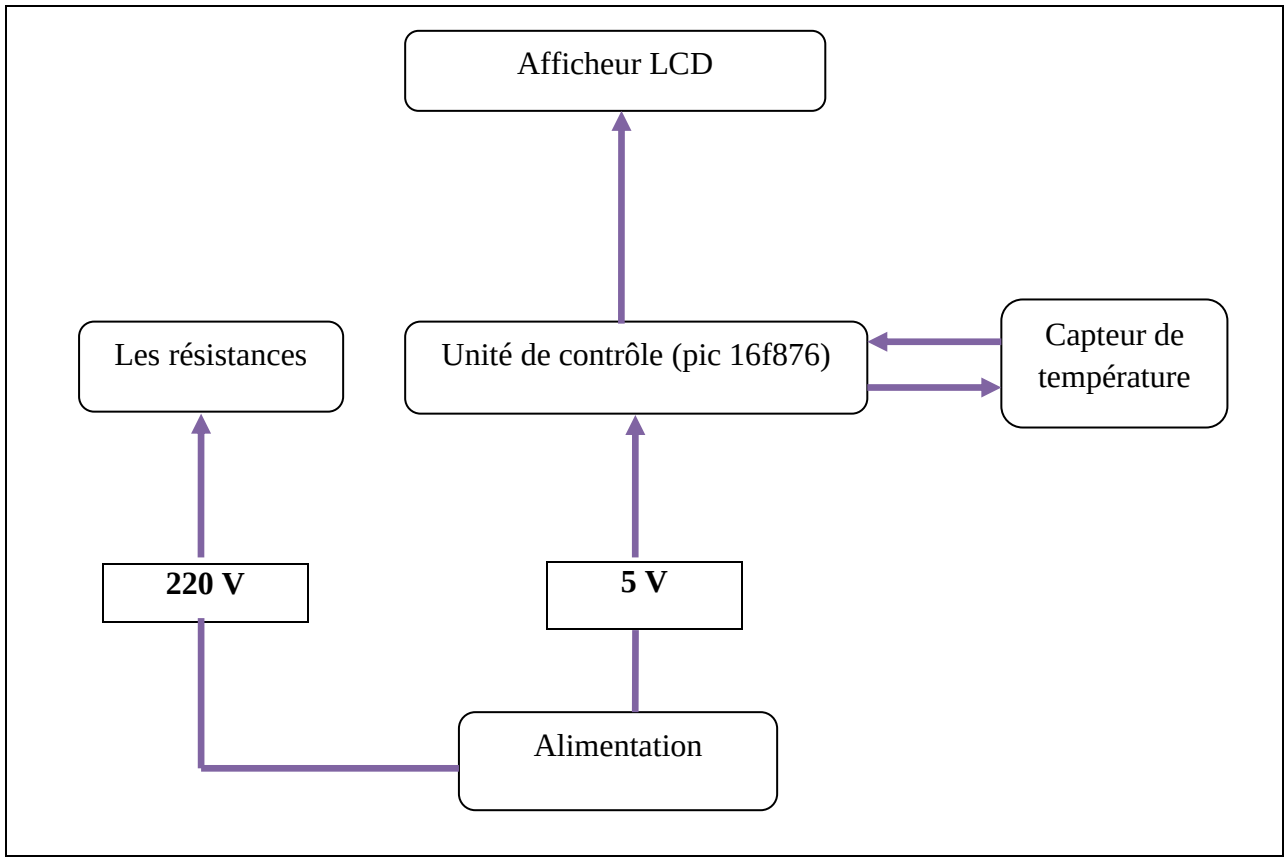


Figure III.1. Schéma synoptique (bloc).

III. 2 : Les microcontrôleurs

III.2.1 : Généralités

Un microcontrôleur se présente comme étant une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, à savoir microprocesseur, des mémoires et des périphériques (ports, timers, convertisseurs…). Chaque fabricant a sa ou ses familles de microcontrôleur. Une famille se caractérise par un noyau

commun (le microprocesseur, le jeu d'instruction…). Ainsi les fabricants peuvent présenter un grand nombre de pins qui s'adaptent plus au moins à certaines tâches. Mais un programmeur connaissant une famille n'a pas besoin d'apprendre à utiliser chaque membre, il lui faut connaître juste ces différences par rapport au père de la famille. Ces différences sont souvent, la taille des mémoires, la présence ou l'absence des périphériques et leurs nombres.

III.2.2 : Les Pic de Microchip

Les Pics sont des microcontrôleurs à architecture RISC (Redue Instructions Construction Set), ou encore composant à jeu d'instructions réduit. L'avantage est que plus on réduit le nombre d'instructions, plus leur décodage sera rapide ce qui augmente la vitesse de fonctionnement du microcontrôleur.

La famille des Pics est subdivisée en 3 grandes familles : La famille **Base-Line**, qui utilise des mots d'instructions de 12 bits, la famille **Mid-Range**, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie la 16F84 et 16F876), et la famille **High-End**, qui utilise des mots de 16 bits.

Les Pics sont des composants STATIQUES, Ils peuvent fonctionner avec des fréquences d'horloge allant du continu jusqu'à une fréquence max spécifique à chaque circuit. Un PIC16F876- 04 peut fonctionner avec une horloge allant du continu jusqu'à 4 MHz. Nous nous limiterons dans ce document à la famille Mid-Range et particulièrement au PIC 16F876/877, sachant que si on a tout assimilé, on pourra facilement passer à une autre famille, et même à un autre microcontrôleur.

Tableau III.4.différents circuit de la famille 16F87X.

PIC	FLACH	RAM	EEPROM	I/O	A/D	Port //	Port série
16F870	2K	128	64	22	5	NON	USART
16F871	2K	128	64	33	8	PSP	USART
16F872	2K	128	64	22	5	NON	MSSP
16F873	4K	192	128	22	5	NON	USART/ MSSP
16F874	4K	192	128	33	8	PSP	USART/ MSSP
16F876	8K	368	256	22	5	NON	USART/ MSSP
16F877	8K	368	256	33	8	PSP	USART/ MSSP

III.2.3. Les avantage du microcontrôleur

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts et bien réels. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années. Nous allons voir que le nombre d'entre eux découle du simple sent :

- Tout d'abord, un microcontrôleur intègre dans un seul et même boîtier plusieurs périphériques ce qui n'était pas le cas auparavant dans microprocesseur. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé.
- Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresses et de donnée d'un composant à un autre.
- L'augmentation de la fiabilité du système puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimer diminue.
- Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux :

  -Moins cher que les autres composants qu'il remplace.

  -Diminuer les coûts de main d'œuvre.

- Réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.

III.2.4 : Architecture interne d'un microcontrôleur

Les Pics les plus répandus, dits "8 bits", sont bâtis autour d'un processeur 8 bits, c'est-à-dire que les registres et le bus de données internes ont un format de 8 bits. Ils ont une architecture Harvard et possèdent donc un bus "programme" distinct du bus de données ce qui leur permet d'accéder et manipuler une donnée et simultanément aller lire l'instruction suivante. Ce parallélisme est possible grâce à un pipeline à 2 niveaux.

Le processeur est de type RISC (Reduced Instruction Set Computer) et ne possède donc que peu d'instructions (35 pour les 2 Pics que nous utiliserons). Cette caractéristique permet de les coder dans un seul emplacement mémoire pour chaque instruction, ce qui

permet un accès et un décodage plus rapide. Une instruction s'exécute ainsi en 1 cycle d'horloge soit 4 périodes de celle-ci. Les Pics permettent ainsi une cadence de plusieurs MIPS (Million Instructions Per Second), jusqu'à 5 MIPS pour la série PIC16 que nous utiliserons.

La contrepartie de ce gain de rapidité se situe au niveau de la simplicité des instructions qui nécessite d'en associer souvent plusieurs pour réaliser une opération même basique. Un autre inconvénient concerne l'accès aux registres plus complexe puisqu'on ne code qu'une partie de leur adresse dans le champ de l'instruction afin de limiter la taille des emplacements de la mémoire programme, l'autre partie définissant une page mémoire ("banque") sélectionnée au moyen d'un registre spécifique.

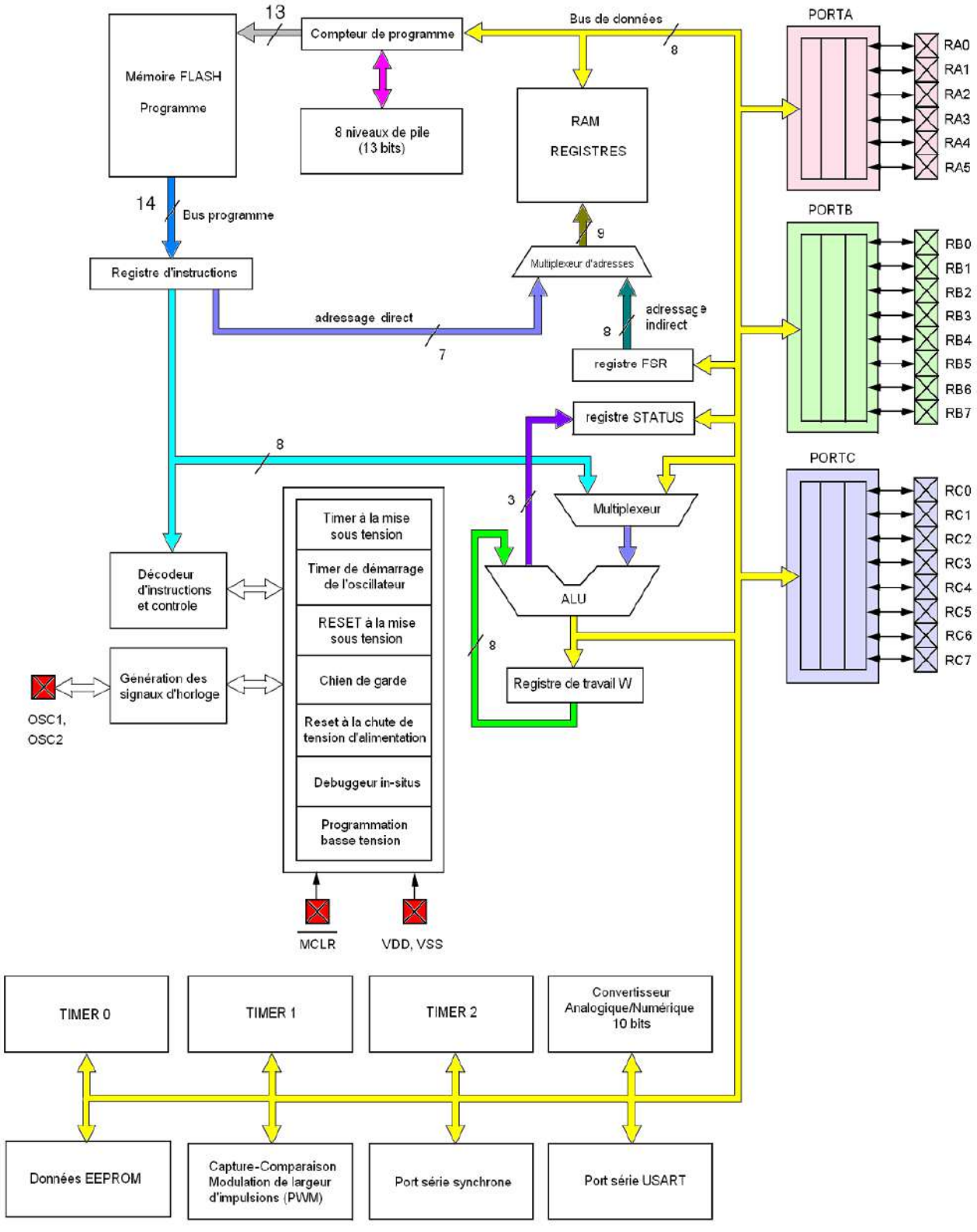


Figure III.2. ARCHITECTURE INTERNE DU 16F876.

• La mémoire programme

La mémoire programme est constituée de 8K mots de 14 bits. C'est dans cette zone que nous allons loger le programme.

• La mémoire EEPROM

La mémoire EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory), est constituée de 256 octets que nous pouvons lire et écrire depuis notre programme. Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi permanents.

• Organisation de la mémoire Ram

La mémoire RAM est celle que nous allons sans cesse utiliser. Toutes les données qui y sont stockées sont perdues lors d'une coupure de courant. La mémoire RAM disponible du 16F876 est de 368 octets. Elle est répartie de la manière suivante: 1) 80 octets en banque 0, adresses 0x20 à 0x6F 2) 80 octets en banque 1, adresses 0xA0 à 0XEF 3) 96 octets en banque 2, adresses 0x110 à 0x16F 4) 96 octets en banque 3, adresses 0x190 à 0x1EF 5) 16 octets communs aux 4 banques, soit 0x70 à 0x7F = 0xF0 à 0xFF ; 0x17F=0x1F0 à 0x1FF.

• Watchdog

Sous ce nom étrange nous allons découvrir une fonction capable de surveiller le bon fonctionnement du programme que le micro contrôleur exécute. Le rôle du Watchdog (ou chien de garde) est de "reseter" le micro contrôleur si 1 'on ne remet pas à zéro périodiquement (à intervalle définissable) un registre interne grâce à 1 'instruction clrwdt (clearwatchdog), si le programme tourne par exemple dans une boucle sans fin (c'est un bug !) il ne peut remettre à 0 le chien de garde et ainsi le micro contrôleur se reset afin de relancer le programme. Cette fonction est bien sûr désactivée au moment de la programmation du micro contrôleur, c'est la directive d'assemblage.

•Le TIMER

Un timer est un registre interne au microcontrôleur, celui-ci s'incrémente au grès d'une horloge, ce registre peut servir par exemple pour réaliser des temporisations, ou Bien encore pour faire du comptage (par l'intermédiaire d'une broche spécifique : RA4/TOKI). Le PIC 16F876 possède trois timers dont 2 sont à 8 bits et un timer sur 16bits configurable par logiciel.

III.2.5 : Les éléments de base du PIC 16F876

•L'horloge

L'horloge peut être soit interne soit externe. L'horloge interne est constituée d'un oscillateur à quartz ou d'un oscillateur RC.

- Avec l'oscillateur à Quartz, on peut avoir des fréquences allant jusqu'à 20 MHz selon le type de µC. Le filtre passe bas (Rs, C1, C2) limite les harmoniques dus à l'écrêtage et Réduit l'amplitude de l'oscillation, il n'est pas obligatoire.

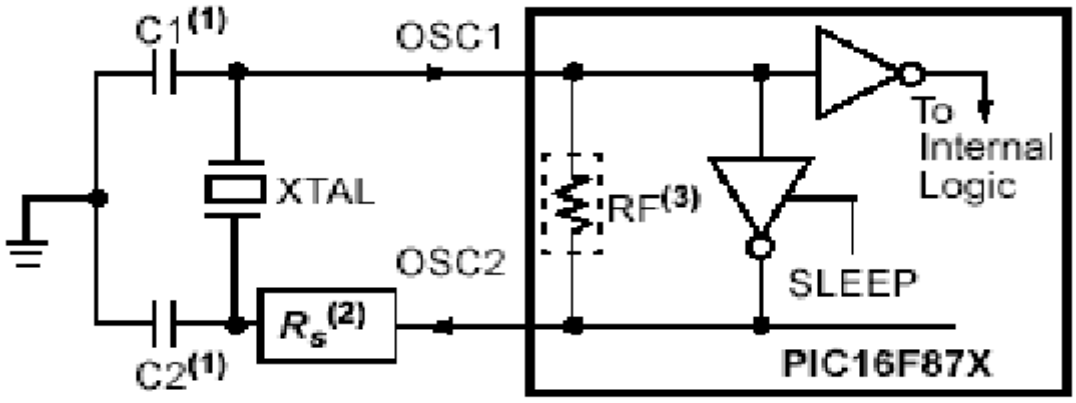


Figure III.3. Schéma interne d'une horloge interne avec l'oscillateur à Quartz.

- Avec un oscillateur RC, la fréquence de l'oscillation est fixée par Vdd, R_{ext} et C_{ext}.
  Elle peut varier légèrement d'un circuit à l'autre.

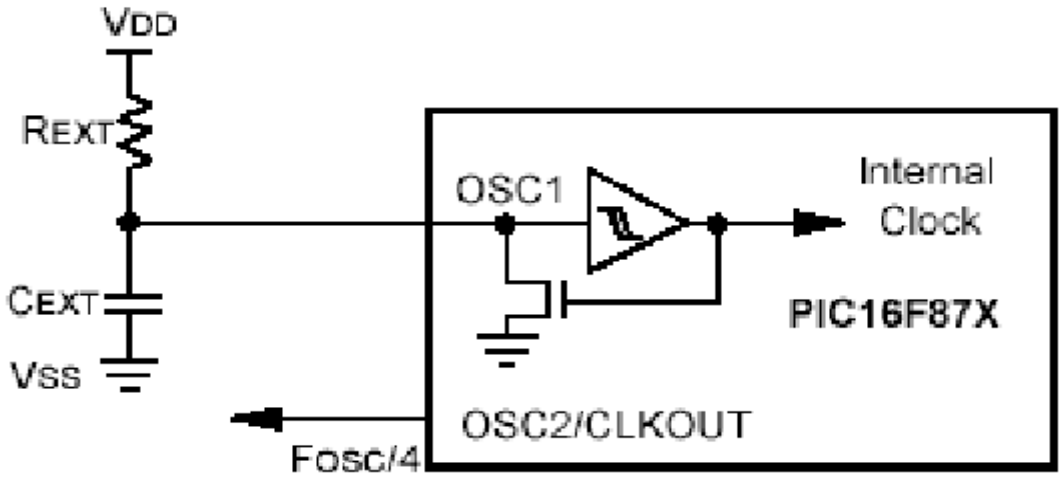


Figure III.4. Schéma interne d'une horloge interne avec un oscillateur RC.

Dans certains cas, une horloge externe au microcontrôleur peut être utilisée pour synchroniser le PIC sur un processus particulier.

Quelque soit l'oscillateur utilisé, l'horloge système dite aussi horloge instruction est obtenue en divisant la fréquence par 4.

Dans la suite de ce document on utilisera le terme $F_{osc}/4$ pour désigner l'horloge système. Avec un quartz de 4 MHz, on obtient une horloge instruction de 1 MHz, soit le temps pour exécuter une instruction de 1µs.

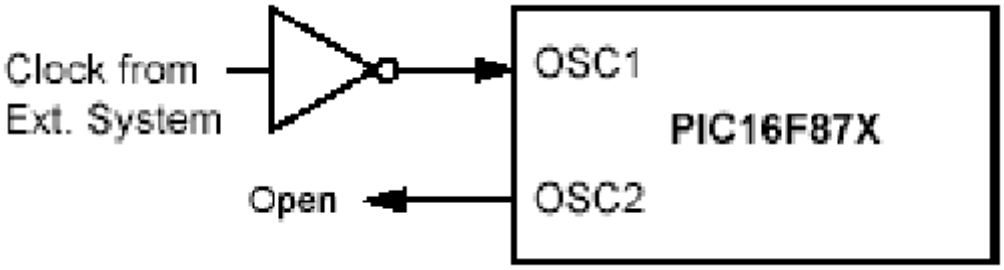


Figure III.5. Schéma interne d'une horloge externe.

•L'ALU et l'accumulateur W

L'ALU est une Unité Arithmétique et logique 8 Bits qui réalise les opérations arithmétiques et logique de base. L'accumulateur W est un registre de travail 8 bits, toutes les opérations à deux opérandes passent par lui. On peut avoir :

- Une instruction sur un seul opérande qui est en général un registre situé dans la RAM
- Une instruction sur 2 opérandes. Dans ce cas, l'un des deux opérandes est toujours l'accumulateur' W', l'autre peut être soit un registre soit une constante.

Pour les instructions dont un des opérandes est un registre, le résultat peut être récupéré soit dans l'accumulateur, soit dans le registre lui-même.

• Organisation de la mémoire RAM

L'espace mémoire RAM adressable est de **512** positions de 1 octet chacune :

- 96 positions sont réservées au SFR (Special Function Registers) qui sont les registres de configuration du PIC.

- Les 416 positions restantes constituent les registres GPR (General Propose Registers) ou RAM utilisateur. Sur le 16F876, 3 blocs de 16 octets chacun ne sont pas implantés physiquement d'où une capacité de RAM utilisateur de 368 GPR.

Pour accéder à la RAM, on dispose de deux modes d'adressage :

- Accès à la RAM par adressage DIRECT.

- Accès à la RAM par adressage INDIRECT.

- **Les instructions du 16F876**

- Tous les Pics Mid-Range ont un jeu de 35 instructions.

- Chaque instruction est codée sur un mot de 14 bits qui contient le code opération (OC) ainsi que l'opérande.
- Toutes les instructions sont exécutées en un cycle d'horloge, à part les instructions de saut qui sont exécutées en 2 cycles d'horloge. Sachant que l'horloge système est égale à fosc/4, si on utilise un quartz de 4MHz, on obtient une horloge fosc/4 = 1000000 cycles/seconde, cela nous donne une puissance de l'ordre de 1MIPS (1 Million d' Instructions Par Seconde). Avec un quartz de 20MHz, on obtient une vitesse de traitement de 5 MIPS.

III.2.6 : Les ports entrée/sortie

On dispose de 22 broches d'entrées/sorties, chacune configurables soit en entrée soit en sortie (PORTA, PORTB, PORTC). Un registre interne au PIC, nommé TRIS, permet de définir le sens de chaque broche d'un port d'entrées/sorties. En règle générale, un bit positionné à « 0 » dans le registre TRIS donnera une configuration en sortie pour la broche concernée ; si ce bit est positionné à «1», ce sera une broche d'entrée.

• Particularité du port A

Le 16F876 dispose de 5 canaux d'entrée analogique. Nous pouvons donc échantillonner successivement jusque 5 signaux différents avec ce composant. Les pins utilisés sont les pins AN0 à AN4 (qui sont en fait les dénominations analogiques des pins RA0 à RA3 + RA5). On peut noter également que les pins ANx sont des pins d'entrée. Il n'est donc pas question d'espérer leur faire sortir une tension analogique. Ceci nécessiterait un convertisseur numérique/analogique dont n'est pas pourvu notre PIC.

• Particularités du port B

Hors de sa fonction principale autant que ports d'entrées /sorties, on note la pin RB0 qui, en configuration d'entrée, est de type « trigger de Schmitt » quand elle est utilisée en mode interruption « INT » ; La lecture simple de RB0 se fait, elle, de façon tout à fait classique, en entrée de type TTL. Encore il y a (RB3-RB6-RB7) qui peut servir dans la programmation (en mode LVP) en cas d'absence de programmateur commercial.

• Particularités du port C

C'est un port tout ce qu'il y a de plus classique, Or qu'il a deux pins qu'on utilisera plus tard dans la communication série avec le PC à travers (TX et RX) (pin17 et 18).

III.2.7. Brochage du PIC 16F876

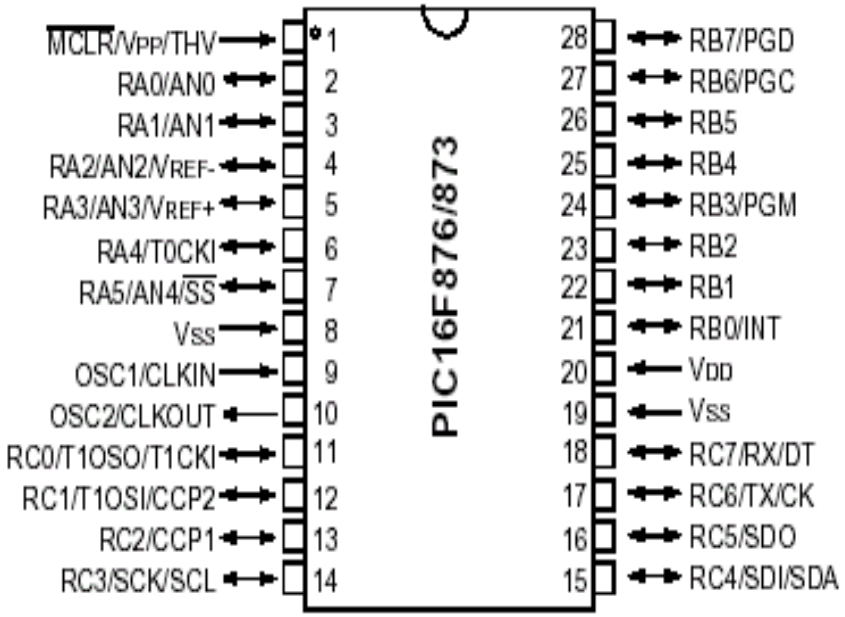


Figure III.6. Pic 16F876.

Tableau III.5.:description des codes.

Numéro de code	description
1	MCLR - Master clear input (bas actif)
2	RA0/AN0 - Port A
3	RA1/AN1 - Port A
4	RA2/AN2/Vref/CVref - Port A
5	RA3/AN3/Vref - Port A
6	RA4/TOCK1/C1OUT - Port A
7	RA5/AN4/SS/C2OUT - Port A
8	Vss – la masse
9	OSC1/CLKIN - Oscillateur
10	OSC2/CLKOUT - Oscillateur
11	RC0/T1OSO/T1CKI - Port C
12	RC1/T1OSI/CCP2 - Port C
13	RC2/CCP1 - Port C
14	RC3/SCK/SCL - Port C
15	RC4/SDI/SDO - Port C
16	RC5/SDO - Port C
17	RC6/TX/CK - Port C
18	RC7/RX/DT - Port C
19	Vss – la masse
20	Vdd - Alimentation positive
21	RB0/INT - Port B
22	RB1 - Port B

23	RB2 - Port B
24	RB3/PGM - Port B
25	RB4 - Port B
26	RB5 - Port B
27	RB6/PGC - Port B
28	RB7/PGD - Port B

III.3. Le BUS I2C

Le bus I2c est caractérisé par une liaison en mode série réalisée à l'aide de 2 Fils. C'est la société Philips qui en à créer le concept au début des années 80. Son succès est lié à sa simplicité.

Voici l'architecture type d'un bus I2C, on remarque que plusieurs composants viennent se "greffer" sur le même bus.

Les données transitent par les lignes :

- SDA : signal de donnée, généré par le Maitre ou l'Esclave.

- SCL : signal d'horloge généré par le Maitre.

La communication sur le bus est orchestrée de manière suivante :

• Le Maître envoie sur le bus l'adresse du composant avec qui il souhaite communiquer, chacun des esclaves ayant une adresse fixe.

• L'esclave qui reconnaît son adresse répond à son tour par un signal de confirmation, puis le Maître continue la procédure de communication... .(écriture/lecture).

• Dans tous les cas, les transactions seront confirmées par un ACK.

III.3.1. Caractéristiques du bus I2C

Le protocole du bus I²C définit la succession des états possibles sur les lignes SDA et SCL, et comment doivent réagir les circuits en cas de conflit.

- **La prise de contrôle du bus**

Pour transmettre des données sur le bus I²C, il faut surveiller deux conditions particulières : la condition de départ et la condition d'arrêt.

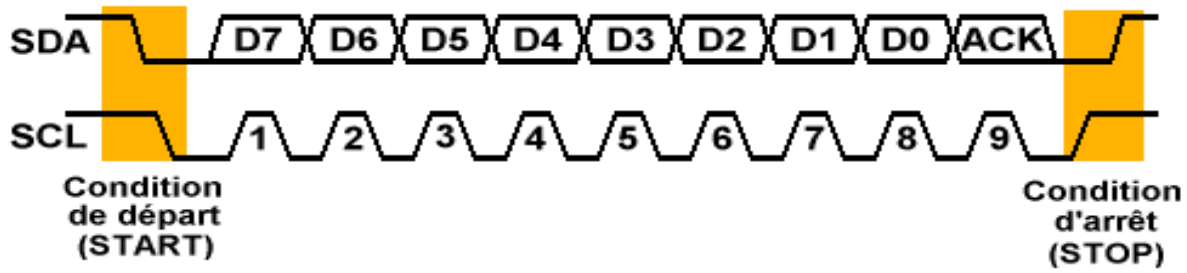


Figure III.7.prise de contrôle du bus.

Avant de tenter de prendre le contrôle du bus, un circuit doit vérifier que les lignes SDA et SCL sont au repos, c'est-à-dire à l'état haut. Si c'est le cas, le circuit indique qu'il prend le contrôle du bus en mettant la ligne SDA à 0. A partir de ce moment là, les autres circuits savent que le bus est occupé et ils ne devraient pas tenter d'en prendre contrôle. Le circuit qui vient de prendre le contrôle du bus en devient le **maître** (en anglais « master »). C'est lui qui génère le signal d'horloge, quel que soit le sens du transfert.

- **La transmission d'un octet**

Avant de placer les bits qui forment l'octet à transmettre sur le bus, le maître doit placer la ligne d'horloge SCL à 0. Tant que la ligne SCL est au niveau haut, la ligne SDA ne doit pas changer d'état, sinon cette condition sera interprétée comme la condition d'arrêt. La condition arrêt peut survenir même au milieu de la transmission d'un octet, pour abandonner la transmission et libérer le bus pour les autres circuits. Pour transmettre correctement les bits sur la ligne SDA, le maître doit donc tout d'abord placer la ligne SCL à 0. Ensuite, le maître peut placer la ligne SDA au niveau correspondant au bit à transmettre et replacer la ligne SCL au niveau 1 pour indiquer que le bit est présent sur la ligne SDA. La même opération va se

répéter autant de fois que nécessaire pour transmettre les 8 bits de données. Notez que c'est le bit de poids fort qui est transmis en premier.

Une fois les 8 bits transmis, le circuit qui vient de recevoir les données doit imposer un bit d'acquittement ACK sur la ligne SDA. Pour cela, pendant que la ligne SCL est au niveau bas, le maître place sa propre sortie au niveau haut, tandis que le récepteur (aussi appelé l'esclave) place sa sortie au niveau bas. Puisque les sorties sont à collecteur ouvert, la ligne SDA restera au niveau bas à cause de l'esclave. Le maître relit ensuite la ligne SDA une fois qu'il a passé la ligne SCL au niveau haut. Si la valeur lue pour le bit ACK est 0, c'est que l'esclave s'est bien acquitté de l'octet reçu, sinon c'est qu'il y a une erreur et le maître doit générer la condition arrêt.

- **La transmission d'une adresse**

Le nombre de composants qu'il est possible de connecter sur un bus I²C étant largement supérieur à deux, le maître doit pouvoir choisir quel esclave est censé recevoir les données. Dans ce but, le premier octet que transmet le maître n'est pas une donnée mais une adresse. Le format de l'octet d'adresse est un peu particulier puisque le bit D0 est réservé pour indiquer si le maître demande une lecture â l'esclave ou bien au contraire si le maître impose une écriture à l'esclave.

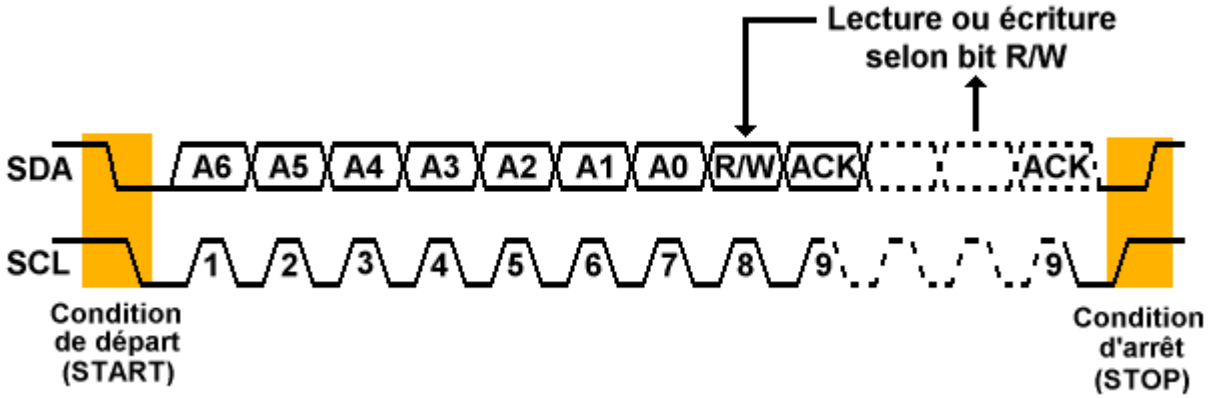


Figure III.8. Transmission d'une adresse.

Chaque circuit connecté au bus I²C possède une adresse, qui doit être unique. L'adresse associée à un composant est définie en partie par l'état de broches de sélections et d'autre part par sa fonction. Par exemple, le circuit PCF8574, qui est un port d'entrées/sorties bidirectionnel 8 bits, décompose son adresse de la façon suivante :

[0] [1] [0] [0] [A2] [A1] [A0] [R/W]. Les bits A2, A1 et A0 reflètent l'état des broches 1, 2 et 3 du circuit. Cela permet de placer 8 circuits PCF8574 sur le bus I²C. Lors de la conception d'un système, il faut donc veiller à l'unicité des adresses attribuées aux différents composants.

Une fois l'adresse envoyée sur le bus, l'esclave concerné doit répondre en plaçant le bit ACK à 0. Si le but ACK vaut 1, le maître comprend qu'il y a une erreur de sélection et il génère la condition arrêt. En revanche, si le bit ACK vaut 0, le maître peut continuer les opérations.

Note : Les adresses 0000 0xxx et 1111 11xx sont réservées à des modes de fonctionnement particuliers.

- **Écriture d'une donnée**

Si le bit R/W précédemment envoyé était à 0, cela signifie que le maître doit transmettre un ou plusieurs octets de données. Après chaque bit ACK valide, le maître peut continuer d'envoyer des octets à l'esclave ou bien il peut décider de terminer le dialogue par une condition d'arrêt.

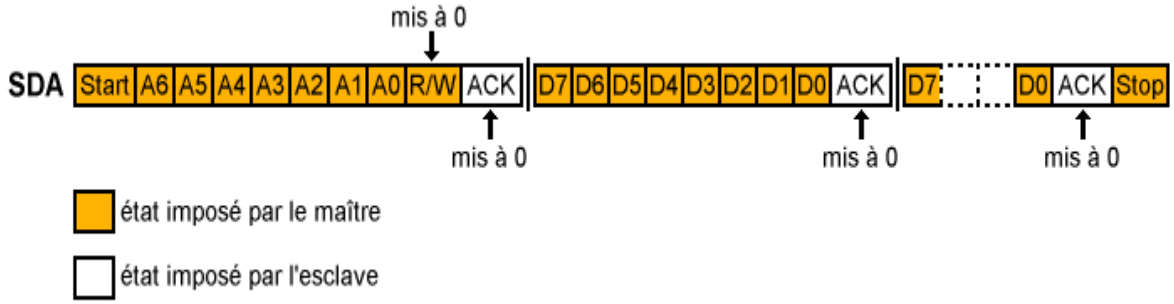


Figure III.9. Ecriture d'une donnée

- **Lecture d'une donnée**

Si le bit R/W transmis en même temps que l'adresse est à 1, cela signifie que le maître veut lire des données issues de l'esclave. C'est toujours le maître qui va générer le signal d'horloge SCL. En revanche, après le bit ACK de l'adresse, c'est l'esclave qui va garder le

contrôle de la ligne SDA. Pour cela, le maître va placer sa propre sortie SDA au niveau haut pour permettre à l'esclave de prendre le contrôle de la ligne SDA. L'esclave doit alors scruter la ligne SCL et attendre le niveau bas pour changer l'état de la ligne SDA, faute de quoi le maître détectera une condition arrêt et abandonnera le transfert (l'électronique intégrée dans l'esclave se doit de détecter aussi qu'il y a eu une condition arrêt, bien entendu).

Après que l'esclave a transmis les 8 bits de données, c'est le maître, cette fois-ci, qui va générer un bit d'acquittement. Si le maître désire lire des octets supplémentaires, il placera le bit d'acquittement à 0. En revanche, si le maître décide que la lecture est terminée, il placera le bit ACK au niveau 1. L'esclave comprendra alors que le transfert est terminé. Cette fois-ci, bien que le bit ACK soit au niveau 1, cela ne correspond pas à une condition d'erreur mais à une fin de transfert.

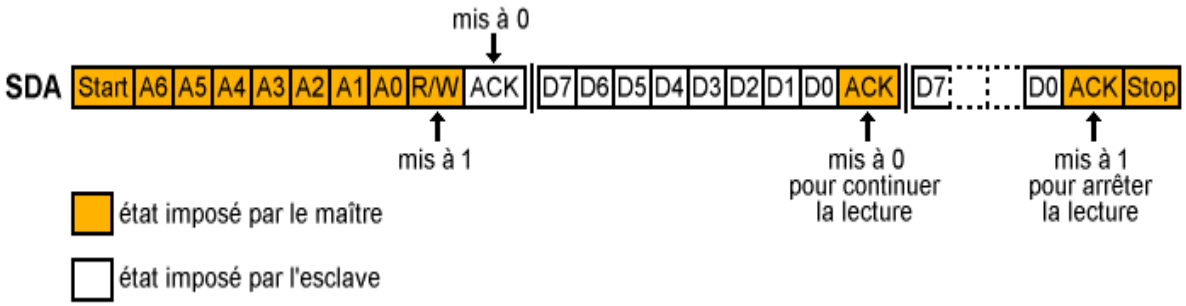


Figure III.10. Lecture d'une donnée.

III.4 : Capteur thermique DS1621

III.4.1 : définition

Le capteur de température DS1621 permet de mesurer des températures comprises entre -55°C et +125°C, avec une résolution de 0.5°C. La donnée mesurée est transmise en I2C sur 9 bits (un octet contenant les 8 MSB et un octet contenant le LSB).

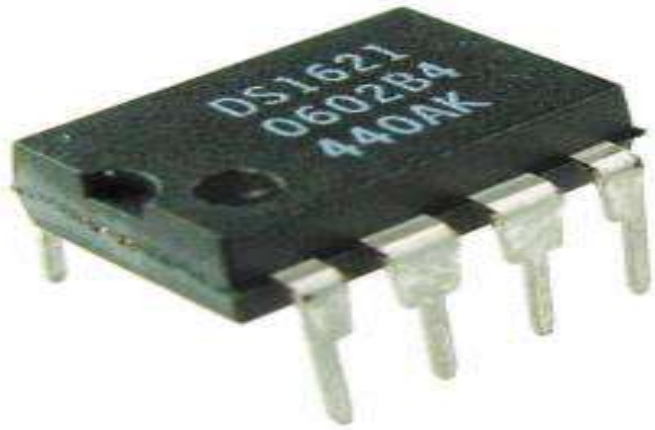


Figure III.11. Le capteur de température DS1621 est sous forme de circuit intégré.

III.4.2 : Brochage de capteur DS1621

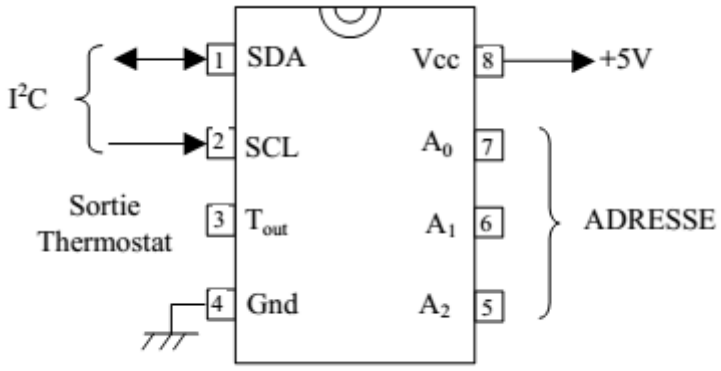
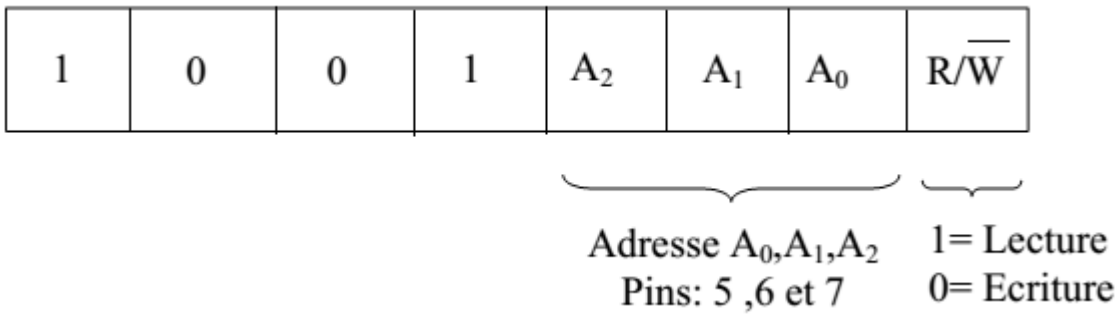


Figure III.12. Brochage de capteur DS1621.

Tout dialogue du Maître avec un DS1621 esclave doit débuter par l'envoi d'un mot de contrôle.

III.4.3 : Mot de contrôle



III.4.4 : Commande

Le maître envoi ensuite une commande, suivie ou non de données.

COMMANDE(en hexa)	DESCRIPTION
AC	Accès au registre de configuration (lecture ou écriture).
EE	Début de conversion.
22	Arrêt conversion.
AA	Lecture de la température. DS1621 renvoi 2 octets.
A1	Lecture ou écriture du seuil haut du thermostat : TH.
A2	Lecture ou écriture du seuil bas du thermostat : TL.

Les commandes AC, EE et 22 ne sont pas suivie de l'envoi de données.

Par contre la commande AA est suivie de l'envoi par le DS1621 de 2 octets représentant la température. Les commandes A1 et A2 sont suivies elles aussi de 2 octets envoyés par le maître dans le cas d'une écriture des seuils du thermostat ou bien retournés par le DS1621 dans le cas d'une lecture.

III.4.5 : Format des octets température

MSB : Nombre signé donnant la température entre +125° et -55°C.

LSB : Seul le bit 7 de cet octet est significatif. Si "1" température MSB +0,5°C

Rappel nombre signé:

Un nombre positif est codé normalement en BCD avec les 7 premiers bits. Le MSB est toujours à "0". On peut donc coder de 0 à + 127.

Un nombre négatif aura toujours le MSB à "1". Pour le coder on prend le complément à 2 du nombre sans signe et on ajoute "1".

Exemple *:* codage de -25

25 = 00011001

Complément à 2 de 25 = 11100110

Ajout de +1 = 00000001

- 25 = 11100111

Codage des valeurs :

h'3F' = 0111 1111 = +127

h'01' = 0000 0001 = +1

h'00' = 0000 0000 = 0

h'FF' = 1111 1111 = -1

h'81' = 1000 0001 = -127

III.5. Conclusion

Ce chapitre a exposé la méthodologie d'analyse hiérarchique et les différentes étapes pour la réalisation de la commande. La mise en marche et les tests effectués par l'utilisation de la carte électronique de commande ont montré qu'il est possible de varier la température de la résistance chauffante dans l'intervalle [de 0 c° à 130 C°].Cet intervalle est suffisant pour l'opération d'emboutissage des matières plastiques.

Chapitre IV
Réalisation de la machine de thermoformage

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons une description détaillée pour la réalisation de la machine de thermoformage, nous offrons également les différentes étapes de l'installation de cette machine.

IV.2 : Les différentes étapes de la réalisation

IV.2.1 : La chambre d'aspiration

Est une pièce de bois bien fermé afin que nous ne permettons pas la perte de l'air, nous faisons des petits trous dans le plafond de la chambre pour permettre à l'air de se retirer de l'intérieur par un aspirateur**.**

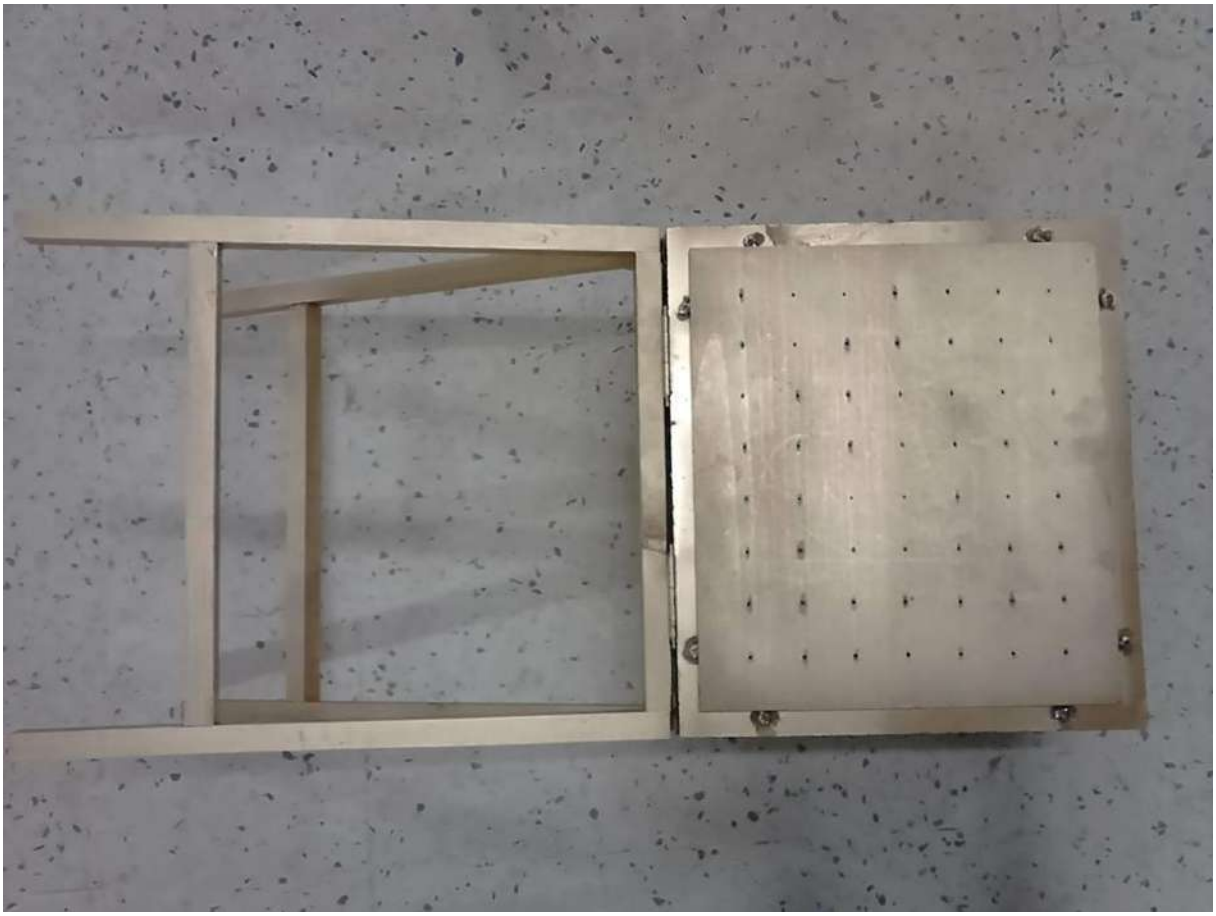


Figure IV.1. Chambre d'aspiration

VI.2.2 : Le four de plastique

Est une chambre contenant trois résistances liées par un système de contrôle de la température. Ce système basé a la capteur température DS1621 Ce dernier est situé à l'intérieur de la chambre pour de nous donner précisément la température dans la chambre. Cela nous permet d'obtenir la température de formage que nous avons besoin.

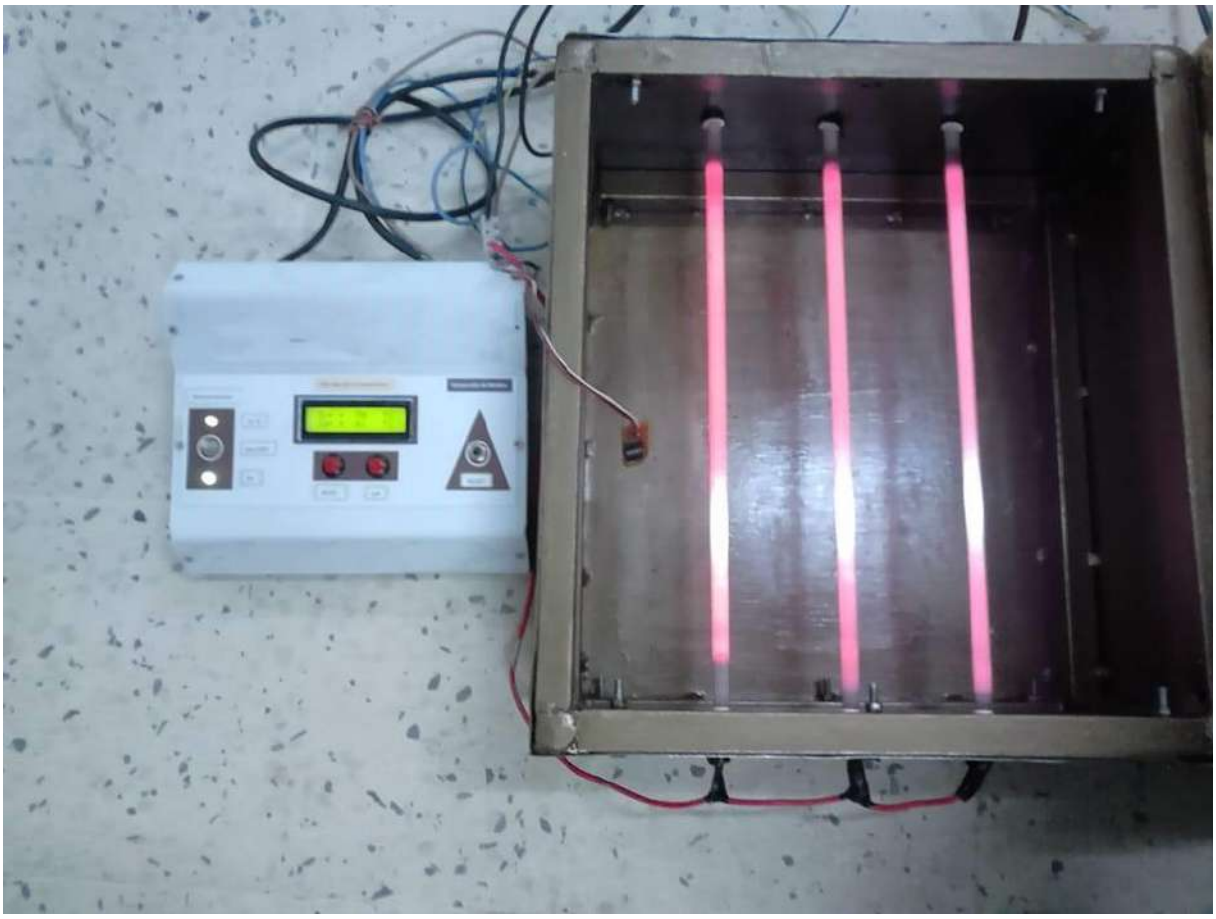


Figure IV.2.système de chauffage.

IV.2.3 : Le moule

Dans la machine que nous avons fabriquée on a utilisé un moule très simple en bois ou avec aluminium, Ce moule peut être de plusieurs formes et dimensions nous avons utilisé un moule positive selon la machine nous avons fabriquée.

Dans la première expérience on a utilisé cette moule :

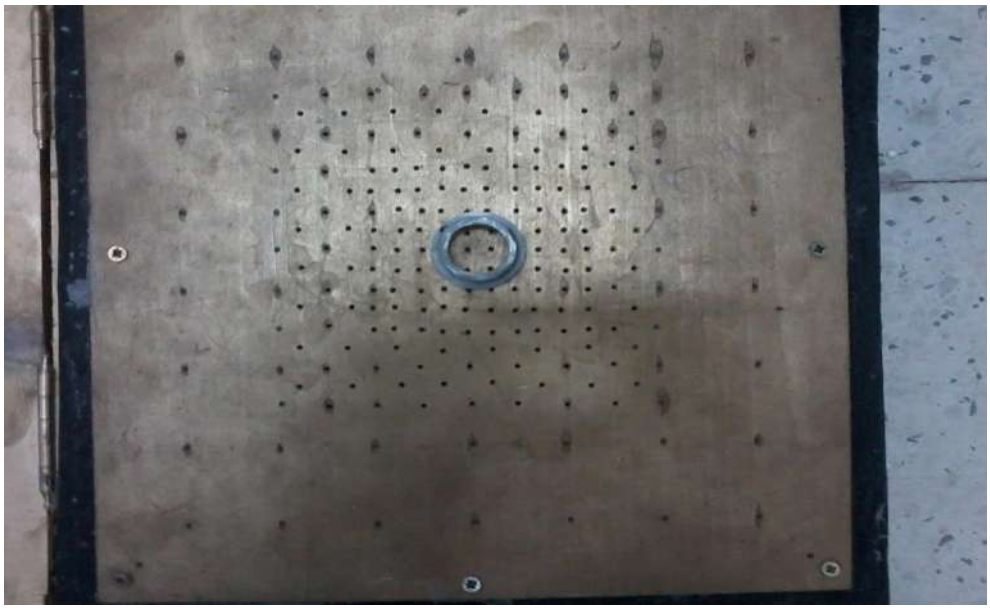


Figure IV.3.un moule pour la 1ere essai.

Après chauffage le plastique pvc nous arrivons au formage acceptable première expérience, Comme montré dans cette figure :



Figure IV.4. La 1ere essai de formage plastique PVC.

IV.2.4 : Le système de contrôle

Ce système consiste :

- Alimentation
- carte mère
- partie de la puissance
- Affichage de la température



Figure IV.5.la boité de commande de température.

IV.3. Les différentes étapes de réalisation de la carte électronique [18]

IV.3.1. Le montage électronique

Le cahier de charge nous impose la réalisation D'un système d'asservissement de la température utilisée pour un système d'emboutissage des matières plastiques.

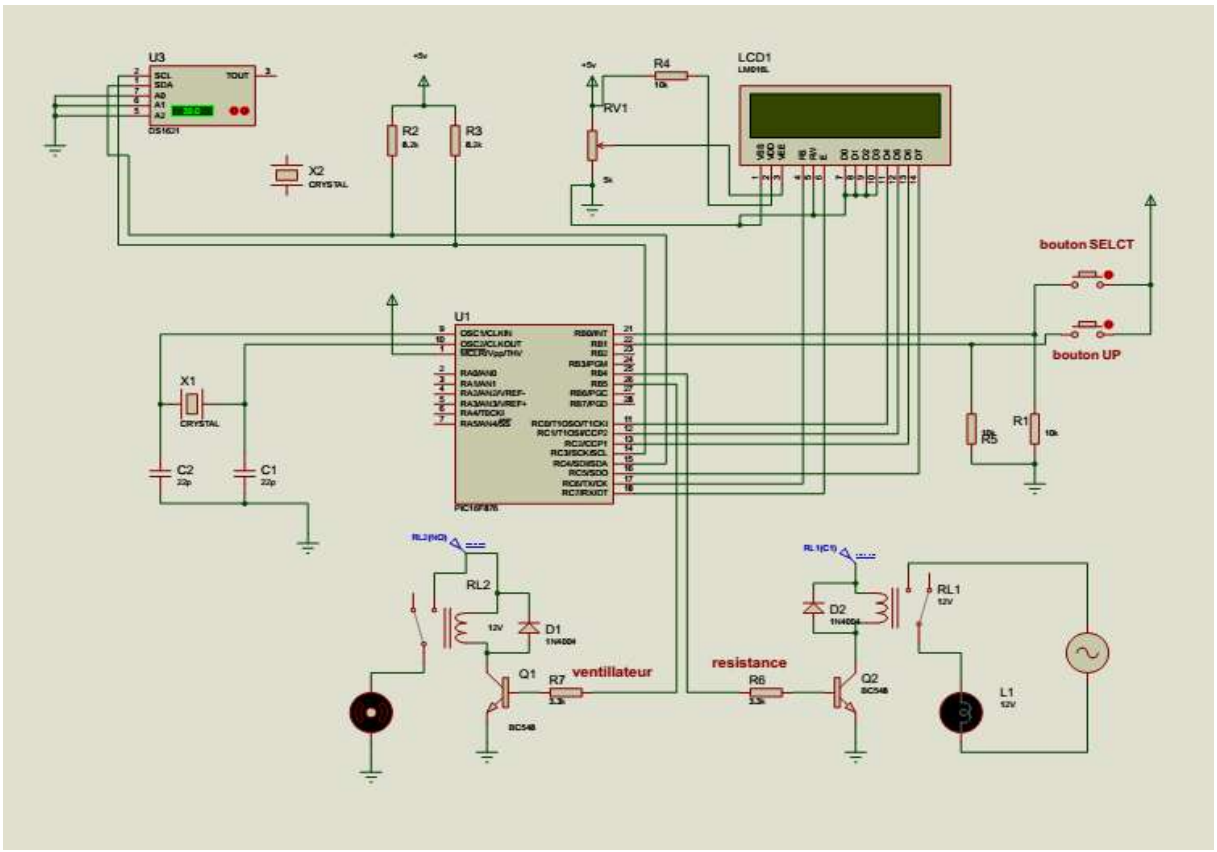


Figure IV.6. Schéma électronique global sur ISIS.

IV.3.2. Le brochage du quartz

On trouve le quartz, qui peut être remplacé par un résonateur ou par un simple réseau RC. Les condensateurs de découplage, du fait de la fréquence plus importante du quartz utilisé, sont de valeur environ 15pF.

La tolérance sur ces composants permet d'utiliser d'autres valeurs.

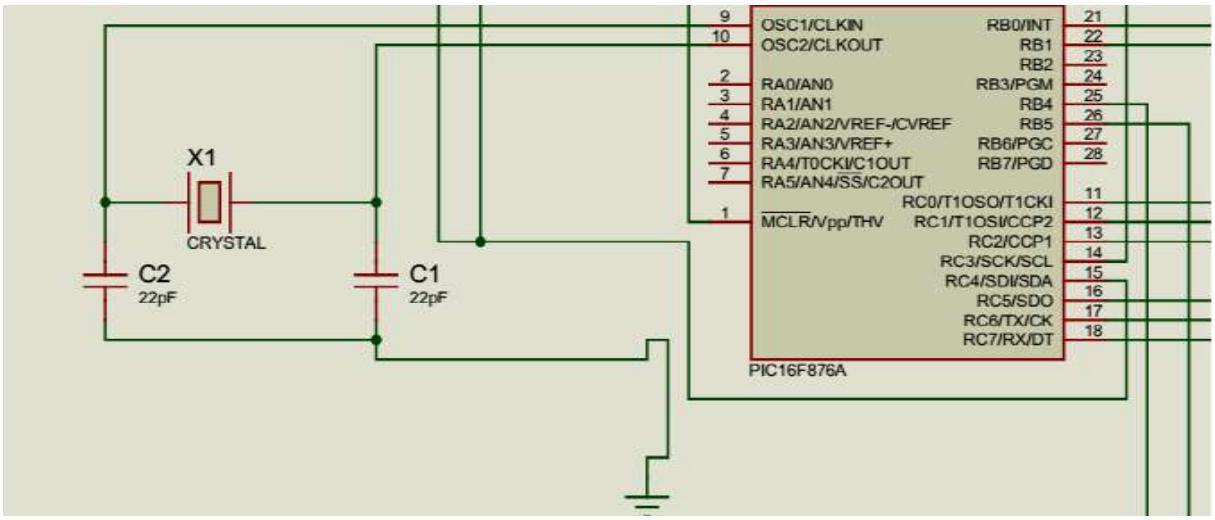


Figure IV.7. Brochage du quartz.

IV.3.3. L'afficheur LCD

Dans notre carte on est a besoin d'un afficheur LCD, 02 lignes et 16 colonnes est utilisé comme interface de sortie pour notre.

Application sur une ligne est affichée la température consigne, alors que sur l'autre c'est la température réelle qui s'affichera.

IV.3.3. 1.Principe de fonctionnement

Dans notre projet on va utiliser le mode 4 bits de l'afficheur LCD. Dans ce mode, seul les 4 bits de poids fort (D4à D7) de l'afficheur sont utilisés pour transmettre les données et les lires.

En connecte les pins RC0, RC1, RC2et RC5 de Pic avec les pins D4, D5, D6, D7 de l'afficheur qui sert pour le transfert de données/contrôles.

Les pins (D0 à D3) de l'afficheur sont reliés à la masse.

La ligne E reliée avec la ligne RC7 de pic qui sert à générer les impulsions du pic vers l'afficheur.

La ligne RS relié avec RC6 du pic qui indique une commande ou une donnée.

La ligne R/W de l'afficheur est reliée à la masse pour ne valider que l'écriture.

La ligne Vee de l'afficheur reliée à une résistance variable RV1=5k ohms qui règle la luminosité du LCD.

La ligne Vdd de l'afficheur est directement reliée au VD.

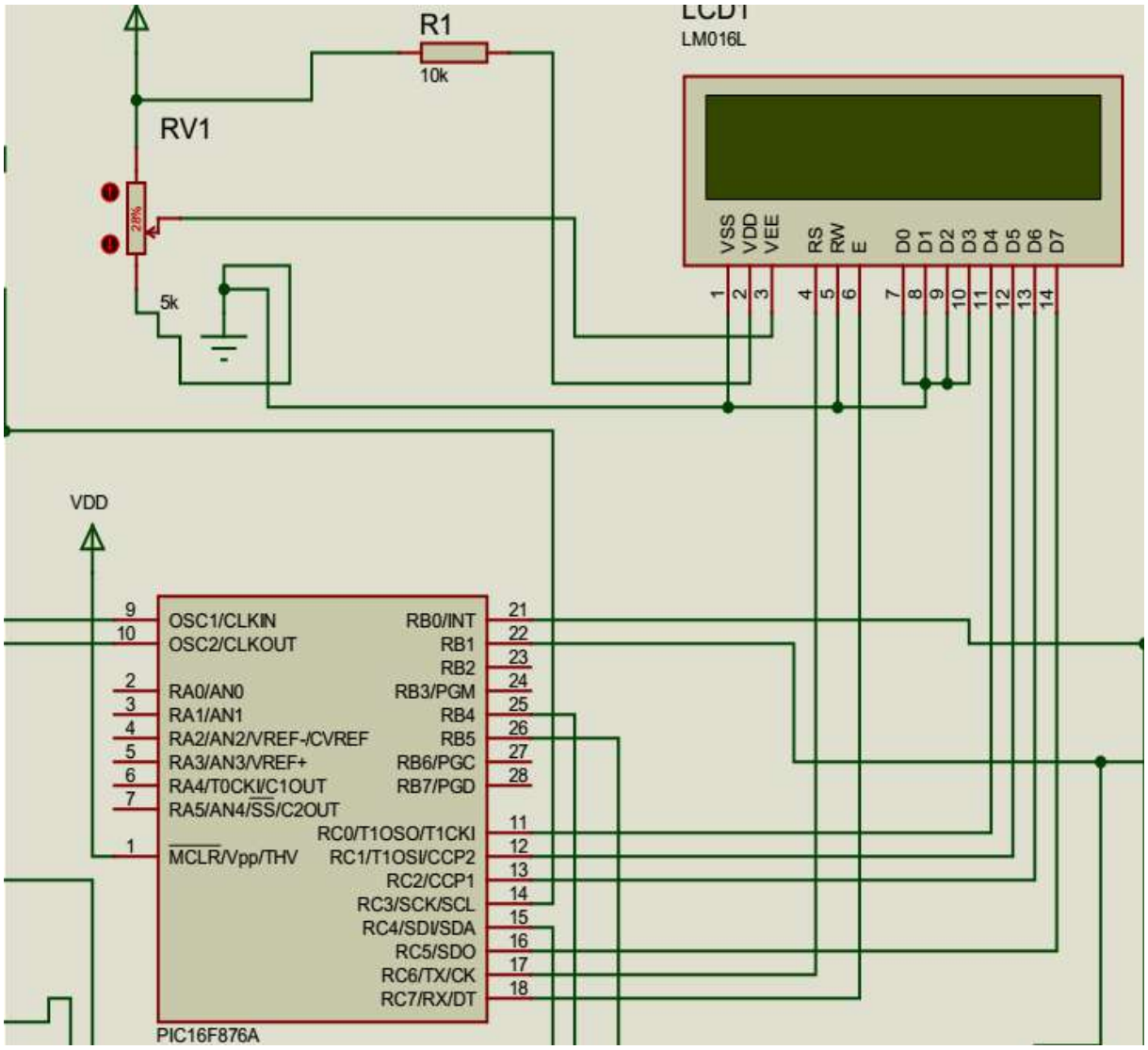


Figure IV.8. Interconnexions pic et LCD.

IV.3.4. Interconnexions PIC ET DS1621

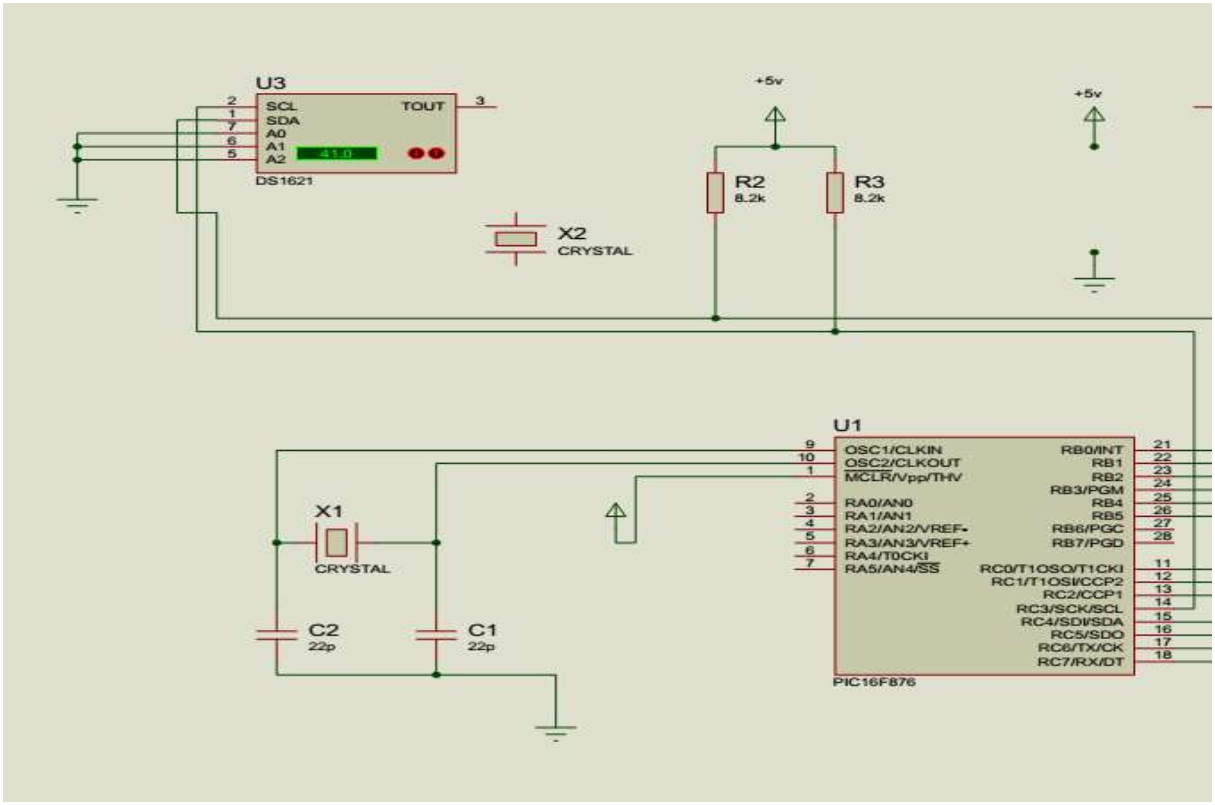


Figure IV.9. Interconnexions PIC ET DS1621.

IV.3.5.Interface commande puissance

Dans notre application nous avons utilisé un relais piloté via des transistors de commande, des diodes de roue libre sont montées aux bornes des relais pour la protection de ces derniers. Des résistances liés à la base des transistors pour les protéger contre le sur intensité comme il est indiqué sur la figure ci-dessous.

Le DS 1621 et un circuit basé sur la communication I2C, ce qui nous oblige à connecter les lignes SDA et SCL de ce circuit avec celle du PIC.

La ligne SDA de DS1621 bronché à la RC3(SCL) de PIC.

La ligne SCL de DS1621 bronché à la RC3(SDA) de PIC.

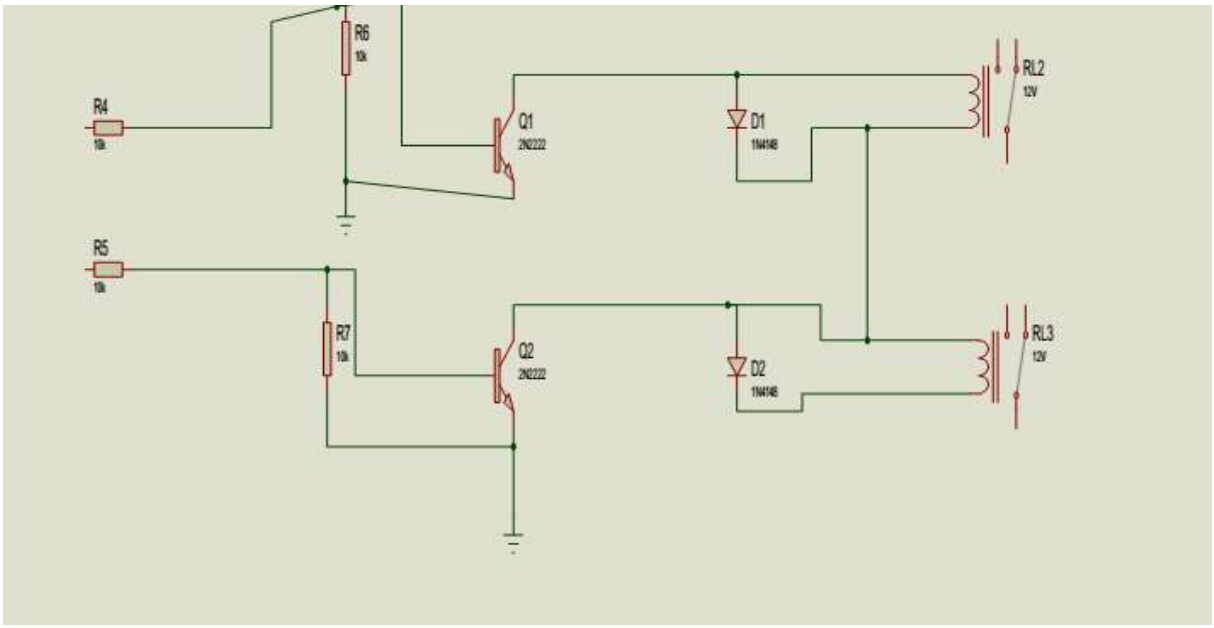


Figure IV.10. Interface commande puissance.

IV.4. Conclusion

Ce chapitre a exposé les différentes étapes pour la réalisation d'un prototype d'une machine de thermoformage.

Nous avons aussi présenté la réalisation de la carte électronique pour varier la température de la résistance chauffante dans l'intervalle [de 0 c° à 100 C°]. Cet intervalle varie par apport à la plage de formage de chaque matière.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est la conception et la réalisation de la partie mécanique d'une machine de thermoformage. On a adapté aussi cette conception à une commande par PIC 16F876.

L'application pratique qui nous intéresse est la formation de pots profonds en **PVC** destinés à l'emballage de produis laitiers frais par exemple.

Malgré l'apparente simplicité de l'application finale, le thermoformage est en fait un procédé technique, difficile à maitriser et même améliorer la qualité du produit et donner une bonne forme, puisque le matériau subit de très grandes déformations.

Ce travail constitue un des multiples aspects de la richesse des applications couplées de l'électronique et de la mécanique.

L'étude consiste à réaliser une machine de thermoformage qui est basée sur deux étapes principales :

- Le chauffage de la matière plastique par trois résistances chauffantes commandé par une carte électronique de commande, par laquelle on peut varier la température dans un intervalle de [0 ℃-100℃].

- L'aspiration de la plastique chaude sur un moule dans la chambre d'aspiration.

- Après le refroidissement, on obtient l'objet désiré

On note que malheureusement des défauts de formation ont eu lieu à cause de la faible puissance de l'aspirateur.

Toutefois, cette étude nous a permis de mieux comprendre ce procédé de thermoformage. Ainsi, nous proposons, comme perspective, pour la suite de ce travail, la simulation numérique du procédé de thermoformage afin d'optimiser les différentes aspects de la machine.

Références bibliographiques

[1]. R.C. Progelhof and J.L. Throne, *Polymer Engineering Principles: Properties, Processes, and Tests for Design*, Hanser Publishers, Munich, 1993, Section 1.2 "Introduction to Polymer History".

[2]. W. McConnell, "The Oldest Infant", in P.F. Bruins, Ed., *Basic Principles of Thermo orming*, Gordon and Breach, New York, 1971, p. 3.

[3]. S. E. Farnham, *A Guide to Thermoformed Plastic Packaging*, Cahners Books, Boston, 1972, p.8.

[4] PAJANI, D., Thermographie, Principe et Mesure, *Techniques de l'ingénieur,* 2001, RAB, R2740.

[5] ERNER A., HENRY J.F. and BILLON N., *Mechanical dissipation during plug assisted thermoforming of polystyrene as mesured by infrared thermography* In: ESAFORM'2004 Conf. Proc., Trondheim, Norway (2004).

[6].Machine ASTUS – Guide de l'utilisateur p.6-8.

[7]. A.H. Steinberg, "Stamped Reinforced Thermoplastic Sheet", Design. Engineering Seminar, 33 SPI RP/C Conference, Washington DC, Feb 1978.

[8] THRONE (J.L.). – Thermoforming : Hanser.

[9] GRUENWALD (G.). – Thermoforming : Technomic.

[10] Jean-Claude JAMMET, Service des technologies de transformation des thermoplastiques, thèse , École d'application des hauts polymères (EAHP), Ingénieur de recherches Elf-Atochem.

[11] fr.wikipedia.org/wiki/Nombre_de_Mach

[12] SOURCES EN PLUS DE CELLES ECRITES SUR WIKISPACES , http://www.metaux.ulg.ac.be/Fichierpourtelech/polym/ch%201.pdf, CES Eduspack 2010.

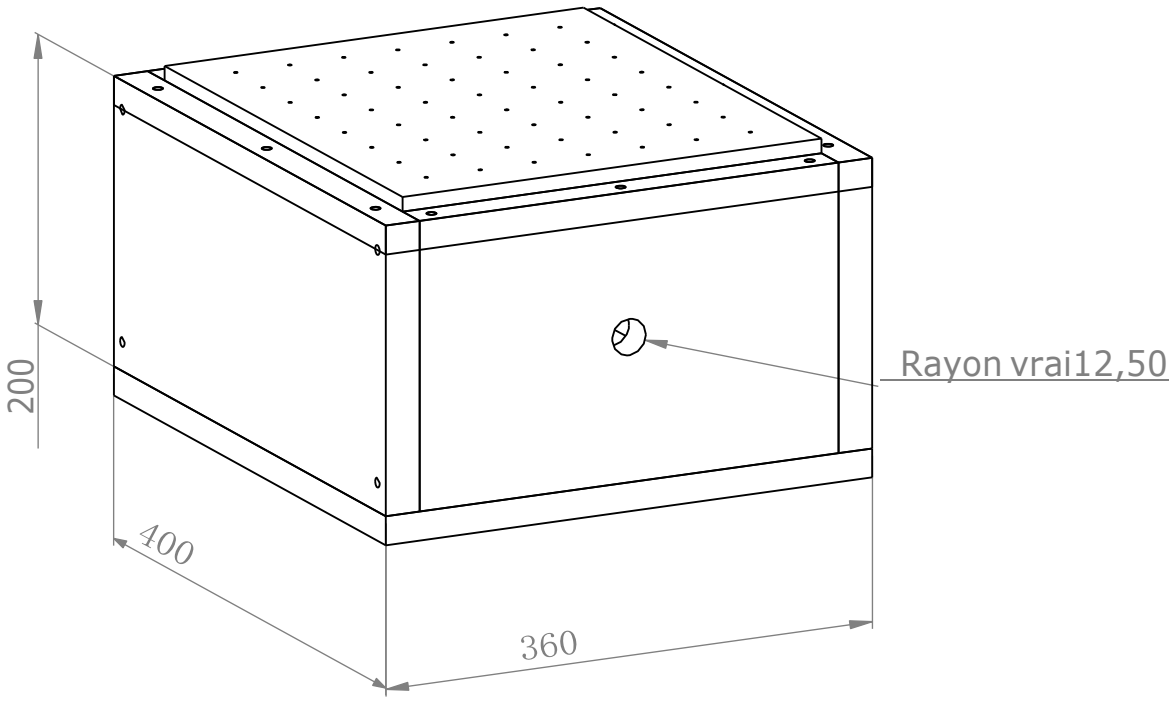
[13] W. Daum: « Halogenstrahler verbessern das Warmformen », Kunststoffe 84 (1994), Vol. 10, P. 1433 – 1436.

[14] http://www.thermoformage.com/

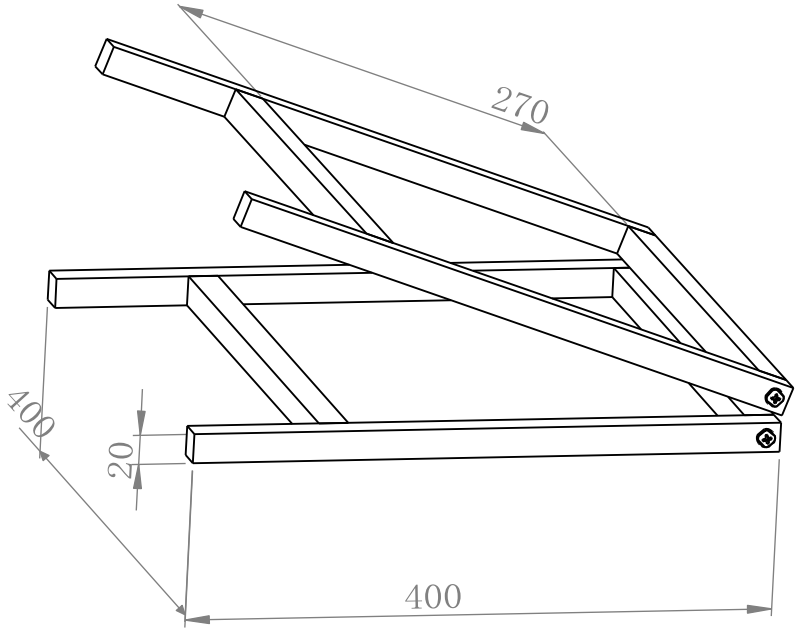
[15] WAYNE (K.) SHIH, Thermoforming Heavy Gauge Sheet. Plastics Engineering, Juil. 1996.

[16] Bouchou Soufiene, **commande d'une résistance chauffante pour emboutissage des matières plastiques ,**mémoire de master mécatronique Université Dr. Yahia FARES de MEDEA, juin 2014

Annexe

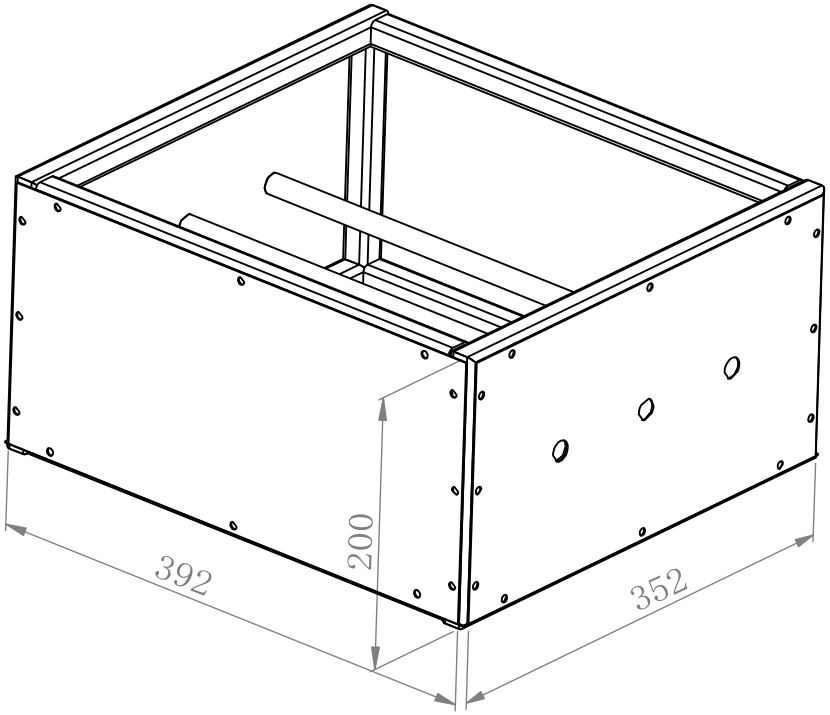


SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:	FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION	
				UNIVERSITE DR YAHIA FARES Medea		
	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE:		
AUTEU	**B.T et B.M**			CHAMBRE D'ASPIRATION		
VERIF.	**ABDELAH ELHAJ**					
APPR.						
FAB.						
QUAL.				MATERIAU:	No. DE PLAN	A4
				MASSE:	ECHELLE:1:5	FEUILLE 1 SUR 1



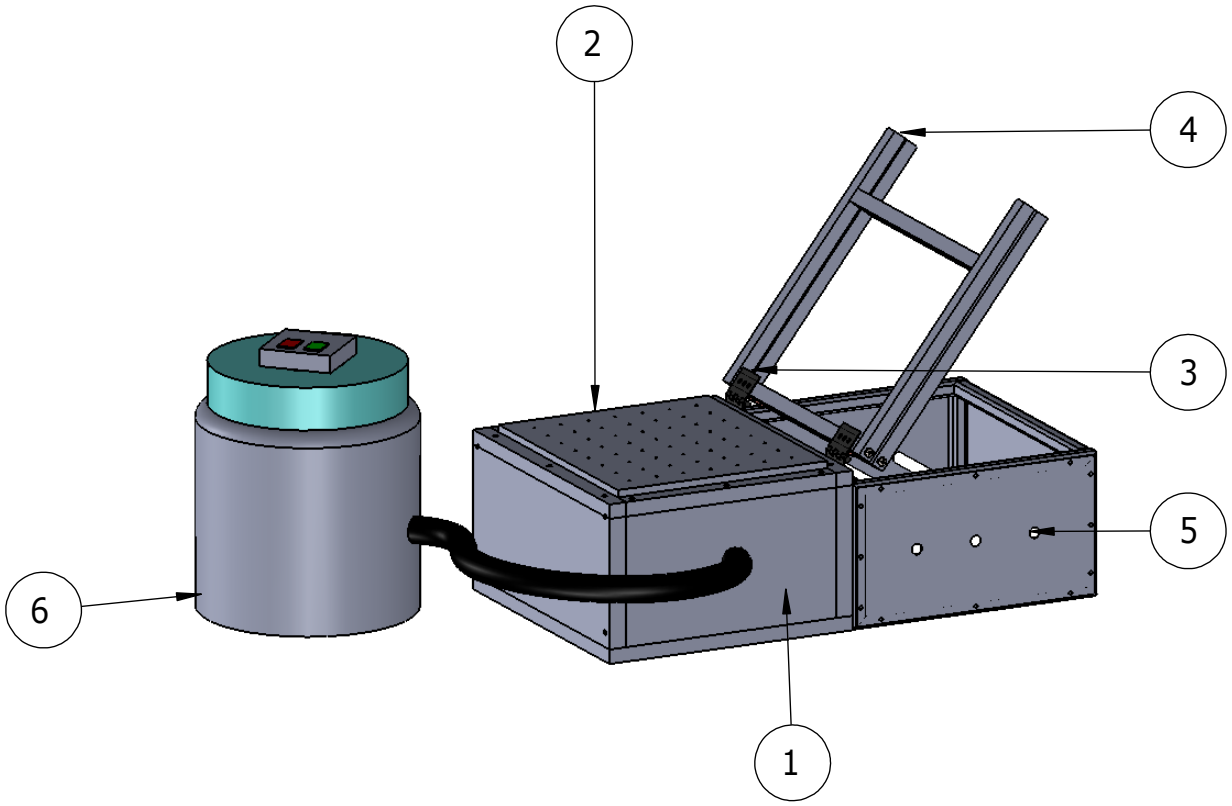
ECHELLE 1 : 5

SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:		FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
					UNIVERSSITE DR YAHIA FARES Medea	
	NOM	SIGNATURE	DATE		TITRE:	
AUTEU	**B.T B.M**				**POSITIONNEMENT DE LA PLAQUE PLASTIQE**	
VERIF.	**ABELAH E HAJ**					
APPR.						
FAB.						
QUAL.				MATERIAU:	No. DE PLAN	A4
				MASSE:	ECHELLE:1:5	FEUILLE 1 SUR 1



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:	FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION	
				UNIVERESSITE Dr YAHIA FARES Medea		

	NOM	SIGNATURE	DATE				
AUTEU	**B.T B.M**						TITRE:
VERIF.	**BDELAH ELHAJ**						**CHAMBRE DE RESISTANCE CHAUFFANTE**
APPR.							
FAB.							
QUAL.				MATERIAU:		No. DE PLAN	A4
				MASSE:		ECHELLE:1:5	FEUILLE 1 SUR 1



No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE
1	chambre d'aspiration		1
2	position des trous		1
3	paumelle		2
4	posision de plaque de plastique		1
5	chambre des resistance chauffant		1
6	aspirateur		1

SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:		FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
					UNIVERSSITE DE DR YAHIA FARES DE MEDEA	
	NOM	SIGNAT	DATE		TITRE:	
AUTEU	**B.toufik.B.Moh**				**PROTOTYPE DE MACHINE THERMOFORMAGE**	
VERIF.	***Abdellah elhadj***					
APPR.						
FAB.						
QUAL.				MATERIAU:	No. DE PLAN	A4
				MASSE:	ECHELLE: 1:10	FEUILLE 1 SUR 1