

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### **Injection plastique et métallisation dans le domaine automobile**

#### Présenté par :

◆ KHIYATI Kenza

#### Encadré par :

◆ Mr ELOUAER Hamdi (Société)

◆ Pr FARAH Abdellah (FST)

**Soutenu Le 04 Juillet 2022 devant le jury composé de :**

- Pr FARAH Abdellah

- Pr SKALLI Khalid Mohamed

- Pr CHAOUQI Mohamed

**Stage effectué à STE ONE TECH MOLDING AND ASSEMBLING SARL**

**Année Universitaire 2021 / 2022**

# Dédicace

Ce projet fin d'étude est délié à ma famille, particulièrement à mes chers parents, qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études.

Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet fin d'étude représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigué tout au long de ma scolarité.

Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace. Ainsi qu'à mon cher frère et ma belle-sœur qui m'avaient toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

# Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à présenter mes sincères remerciements à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce stage, et à ceux qui ont eu la gentillesse de m'aider par leurs présences et leurs conseils.

Mes remerciements destinés au premier lieu, à DIEU le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce projet.

J'adresse mes vifs remerciements à mes deux encadrants, Mr. FARAH Abdellah et Mr. ELAOUER Hamdi pour leur aide et encadrement durant toute la période de travail sur ce projet de fin d'étude, pour leurs écoutes et leurs disponibilités. Leurs suivis et leurs précieuses consignes m'ont été d'une grande utilité afin d'aboutir aux résultats escomptés. Je veux également rendre un hommage particulier au corps professoral de la faculté des sciences et techniques de Fès, et les intervenants professionnels responsables de la formation Licence Génie chimique.

Finalement, je remercie les membres du jury pour m'avoir honorée en acceptant d'évaluer et de juger ce travail.

## **Liste d'abréviations :**

**OTMA** : ONE TECH MOLDING AND ASSEMBLING SARL.

**PVC** : Polychlorure de vinyle

**PE** : polyéthylène

**PP** : le polypropylène

**EVA** : L'éthylène acétate de vinyle

**EVOH** : Ethylène alcool vinylique

**ABS** : L'acrylonitrile butadiène styrène

**PEBD** : Polyéthylène basse densité

**PEBDL** : Polyéthylène basse densité linéaire

**Zn** : Zinc

**Zr** : Zirconium

**PA66** : Polyamide 66

## **Les figures :**

**Figure 1 : La composition chimique de la matière plastique et ses caractéristiques\_**

**Figure 2 : différentes structure de différentes matières plastiques**

**Figure 3 : exemple de répartitions aléatoires des substituants méthyle**

**Figure 4 : Exemples d'absorption d'eau des thermoplastiques d'ingénierie**

**Figure 5 : Processus de séchage et d'alimentation centralisé.**

**Figure 6 : les étapes du moulage**

**Figure 7 : Capacité de plastification (g/s) en fonction de la capacité d'injection (cm<sup>3</sup>).**

**Figure 8 : Vitesse d'injection (g/s) en fonction de la capacité d'injection**

**Figure 9 : Ratio capacité de plastification (g/s) / volume injectable (cm<sup>3</sup>) en fonction du volume injectable (cm<sup>3</sup>)**

**Figure 10 : Ratio vitesse d'injection (cm/s) / volume injectable (cm<sup>3</sup>) en fonction du volume injectable (cm<sup>3</sup>).**

**Figure 11 : Schéma du Modèle de contrôle visuel**

**Figure 12 : Schéma de la machine de métallisation.**

**Figure 13 : La machine la plus utilisée pour le contrôle de qualité dimensionnelle.**

## **Les tableaux :**

**Tableau 1 : Etude de capacité du système matériel centralisé**

**Tableau 2 : Les caractéristiques physicochimiques de la matière plastique**

**Tableau 3 : Exemples de conditions de séchage.**

**Tableau 4 : caractéristiques de sécheur a air chaud**

**Tableau 5 : caractéristiques de Sécheur à air chaud déshydratant**

**Tableau 6 : Exemples de températures de moulage et démoulage**

**Tableau 7 : les normes à respecter pour éviter les défauts (dégâts) et la perte des pièces.**

# Sommaire

Pages

**Introduction générale .....**

**Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil.**

- 1- Présentation de la STE ONE TECH MOLDING AND ASSEMBLING  
SARL (OTMA).....**
- 2- Présentation de la STE ONE TECH MOLDING AND ASSEMBLING  
SARL au Maroc .....**
- 3- Situation géographique de l'usine.....**
- 4- Statut juridique.....**
- 5- Organigramme de l'OTMA.....**

**Chapitre 2: Généralités sur la matière première.**

- 1) C'est quoi la matière plastique .....**
- 2) la matière plastique dans l'histoire .....**
- 3) La composition chimique de la matière plastique et ses  
caractéristiques.....**

**Chapitre 3: Processus du moulage.**

- 1) Le moulage.....**
- 2) Les moules et système de fermeture.....**
- 3) Contrôle de qualité visuelle primaire.....**

**Chapitre 4 : Processus de métallisation.**

- 1) C'est quoi la métallisation .....**
- 2) La machine de métallisation .....**
- 3) Contrôle de qualité visuelle secondaire et le test de contrôle .....**
- 4) Contrôle de qualité dimensionnelle.....**

**Conclusion générale.....**

## Introduction général :

L'industrie automobile marocaine s'est hissée à des niveaux de croissance soutenus au cours des dix dernières années. Sa performance est particulièrement remarquable à l'export et en termes de création d'emplois, indicateurs à l'égard desquels le secteur dégage une croissance annuelle à deux chiffres.

Le positionnement du Maroc en tant que plateforme de production et d'exportation d'équipements et de véhicules automobiles est conforté par les implantations de groupes étrangers de renom tels que RENAULT, SNOP, GMD, BAMESA, DELPHI, YAZAKI, SEWS, SAINT-GOBAIN et plus récemment PSA Peugeot Citroën.

Secteur stratégique dans la politique industrielle nationale, depuis les années 2000 l'automobile dégage une croissance annuelle à deux chiffres à l'égard de la création d'emploi et de l'exportation.

Le secteur automobile au Maroc : Premier secteur industriel exportateur durant 7 années consécutives.

Malgré le contexte lié à la pandémie en 2020, l'export automobile a pu générer un chiffre d'affaires de 72 milliards de dirhams durant l'année, soit une valeur ajoutée de 31,7 milliards de dirhams. Et au cours de l'année 2021, le Maroc s'est positionné comme étant le deuxième exportateur de voitures vers l'Union européenne. À noter que pour la 7<sup>e</sup> année consécutive, l'industrie de l'automobile au Maroc demeure à ce jour le premier secteur industriel exportateur du pays. (Du site du centre marocain de conjoncture). (1)

Le travail a été fait sur tout le processus de fabrication des pièces automobiles à base de plastique, où on va mettre en évidence l'injection plastique et ses différentes étapes qui est suivie par une métallisation des pièces résultantes.

**Chapitre 1 :**  
**Présentation de l'organisme d'accueil :**

## **I. Présentation de l'entreprise :**

ONE TECH : l'ingéniosité pour une meilleure industrie. Un partenaire mondial dans les services d'ingénierie et de fabrication, avec une stratégie visant à faire progresser le développement en Tunisie et Outremer et être un partenaire régional. Avec 7 sites de production en Tunisie et au Maroc et 2 bureaux d'études en Tunisie et en France, One Tech serait à la porte pour les projets de recherche et développement et de production en série.

## **II. Présentation de l'entreprise au Maroc :**

Localisation : Tanger free zone.

Mission : Accompagner les clients en fournissant une large gamme de solutions de sous-systèmes à haute valeur ajoutée à l'industrie automobile.

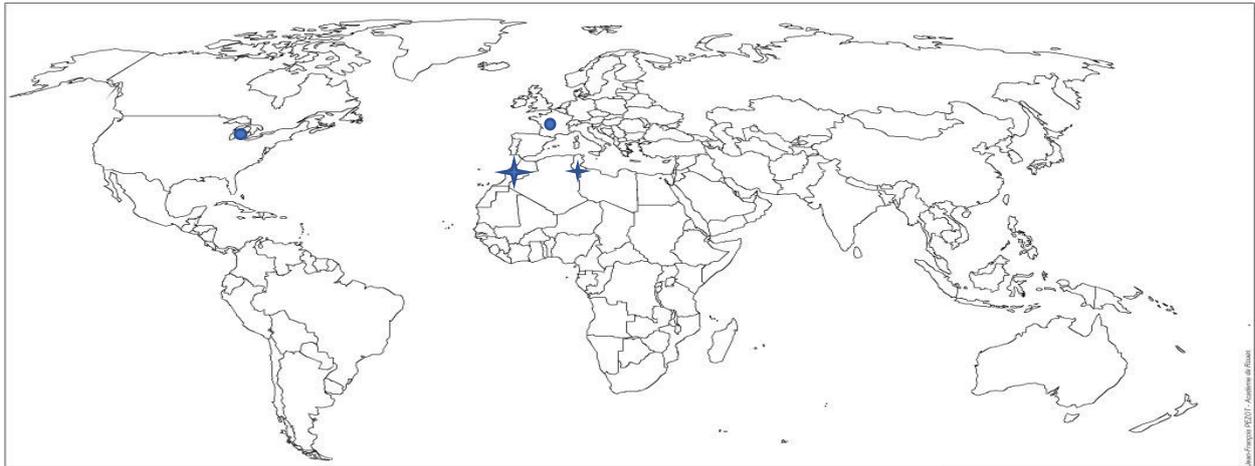
Stratégie au Maroc : Pour suivre les clients existant et aligner la stratégie sur les attentes et le développement de nos clients.

Nombre d'employés est 170, et le site de production est de 5500 m<sup>2</sup> (étendre à 10 000 m<sup>2</sup> courant 2022)

Les activités en cours au Maroc : Injection plastique et moulage, assemblage électromécanique, fils et faisceaux, développement de moules.

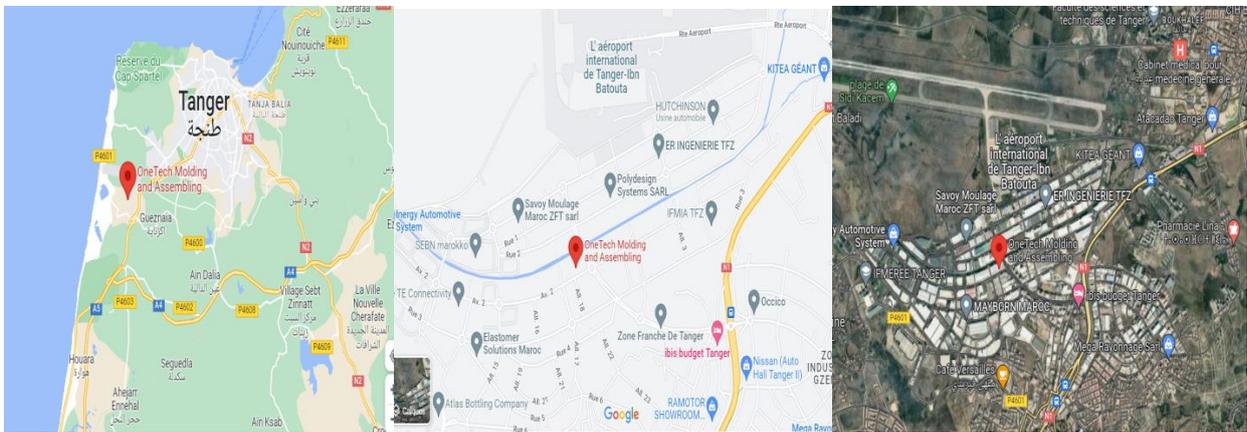


## **III. Situation géographique de l'usine :**



● : Sites de vente  
 ★ : Site de production

- Au Maroc :

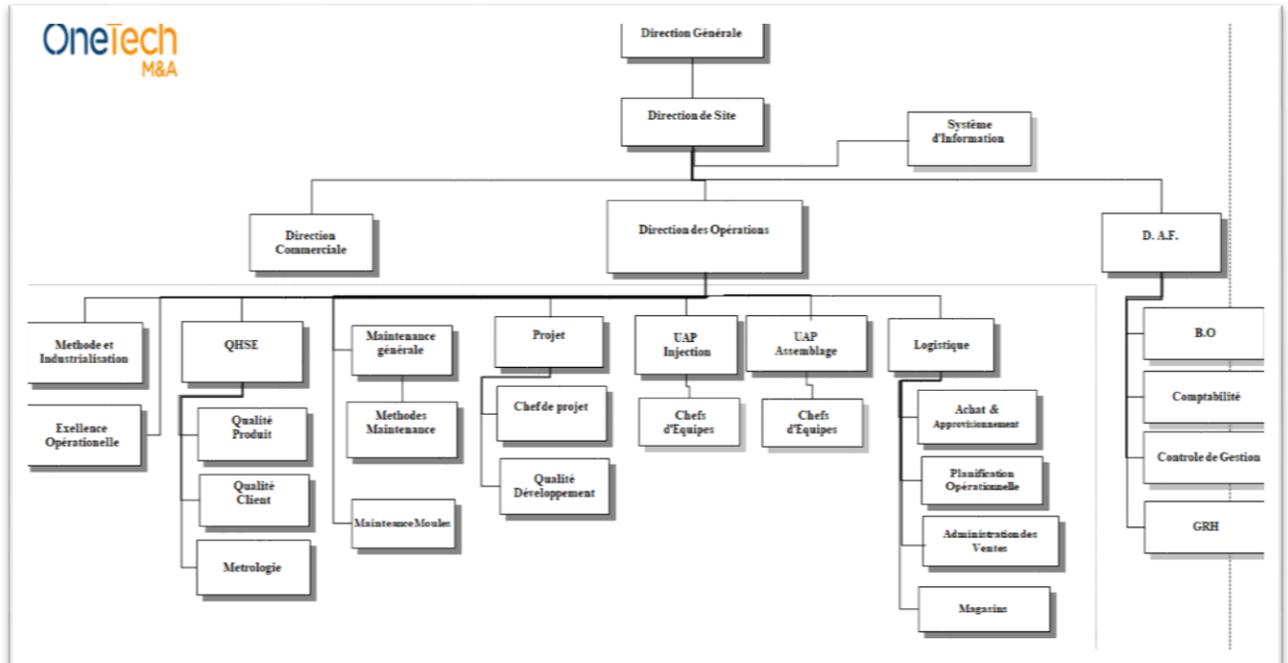


#### IV. Statut juridique :

<b>Nom</b>	OneTech molding and assembling sarl
<b>Siege social</b>	Ilôt 80 B2, Free Zone, 90.100Maroc, Tanger
<b>Capital social</b>	4 600 000 MAD
<b>Date de création</b>	27/03/2014
<b>Forme juridique</b>	Société À Responsabilité Limitée (SARL)
<b>Nombre d'employés</b>	+4,500 EMPLOYEES
<b>Chiffre d'affaire</b>	245 M€
<b>Les produits</b>	Lampe arrière et frontale Rétroviseur extérieur Réservoir de lave-glace Réservoir d'eau et réservoir d'air Support de pare-soleil
<b>Activités actuelles au Maroc</b>	Moulage par injection de plastique Assemblage électromécanique Files et faisceaux Développement des moules

## V. Organigramme de l'entreprise :

Pour la gestion administrative, un organigramme a été adopté :



**Chapitre 2 : Généralités sur la matière**  
**première :**

## **1- la matière première :**

Le plastique est un matériau recyclable et est fréquemment utilisé dans l'industrie en raison de sa résistance, de sa durabilité, de sa légèreté et de son faible coût. Il est largement utilisé aujourd'hui car il peut avoir de nombreuses fonctions, mais quand ? De l'utilisation de matériaux élastiques naturels aux premiers polymères, les plastiques ont des décennies d'histoire. Matière première désigne toutes les matières premières utilisées dans la production du produit fini ou manufacturé. Matière première désigne toutes les matières premières utilisées dans la production du produit fini ou manufacturé.

## **2- La matière plastique dans l'histoire :**

L'utilisation des plastiques est en croissance constante et durable, dépassant l'utilisation industrielle et investissant de nombreux secteurs dans les anciennes localisations des matériaux traditionnels tels que les métaux, le verre et le bois. L'acteur de cette mutation est l'ingénierie des matériaux métalliques, mais est généralement peu habitué aux matériaux organiques polymères.

L'invention des plastiques synthétiques remonte au milieu du XIXe siècle, mais l'utilisation de matériaux naturels aux propriétés élastiques est bien plus ancienne. Par conséquent, le latex était déjà 1600 av. Utilisé en Amérique du Sud. JC ! Cette sève malléable de l'arbre Castille *elastica* était utilisée pour fabriquer des sphères ou des figurines par le processus de séparation et de solidification de l'eau. Particulièrement utilisé par les Aztèques, ce caoutchouc naturel a été découvert par les colons américains au 15ème siècle et a permis de fabriquer des bouteilles, bottes et autres objets du quotidien. Sa résistance et sa durabilité en font une solution évidente pour surmonter les défauts tels que la fragilité et le poids des matériaux traditionnels tels que le bois et le métal. Ensuite, après des décennies d'utilisation du caoutchouc, comme nous le savons aujourd'hui, nous devons sauter des siècles pour voir le début du plastique.

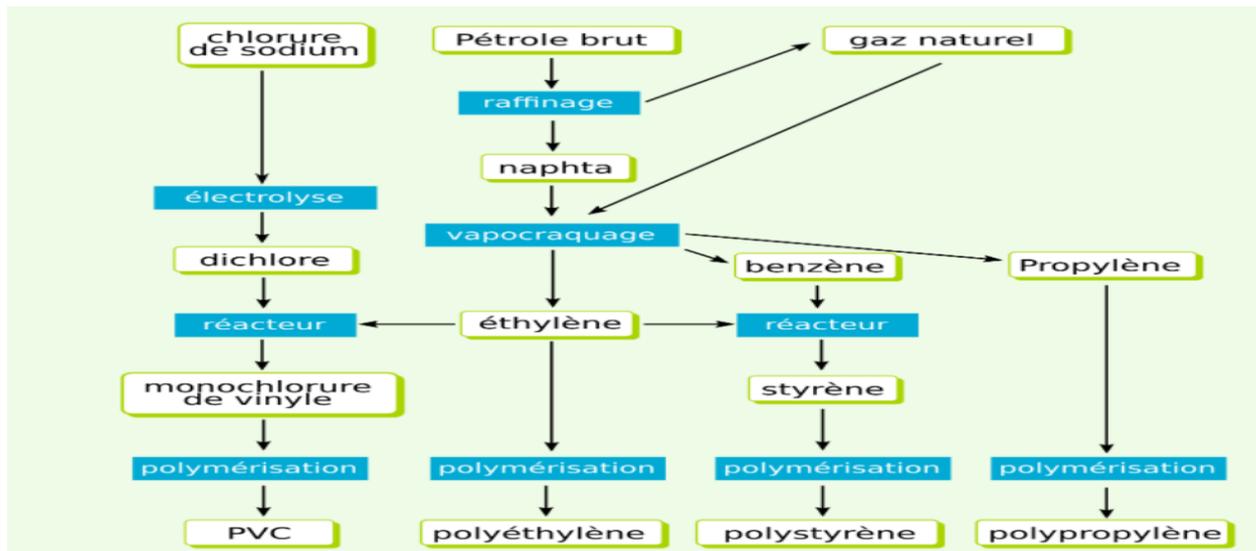
Les propriétés physiques, mécaniques et chimiques uniques des plastiques conduisent à des principes de conception et à des méthodes de montage spécifiques. De plus, les plastiques couvrent une large gamme de matériaux, des films minces, flexibles mais relativement fragiles aux composites en fibre de carbone soigneusement commandés avec une matrice haute performance, ce qui en fait des composites extrêmement résistants et coûteux. Cet aide-mémoire est destiné à informer les profanes, transformateurs, concepteurs et utilisateurs de pièces

plastiques sur l'immense potentiel du moulage plastique. C'est très important pour la qualité et le coût des pièces. (2)

### 3- La composition chimique de la matière plastique et ses caractéristiques :

Le plastique est un matériau composé de trois matières premières : le pétrole, le gaz naturel et le charbon.

Figure 1 :



Le plastique est un matériau obtenu par polymérisation de composés (éthylène, propylène, styrène...) principalement par vapocraquage d'hydrocarbures eux-mêmes par distillation du pétrole. Il existe de nombreuses espèces qui se présentent sous différentes formes.

Il existe trois grandes familles de matières plastiques :

**Thermoplastique :** Peut-être thermoformé sans modification chimique. Le polyéthylène, le polypropylène, le chlorure de polyvinyle et le polystyrène sont des thermoplastiques (voir schéma du procédé de fabrication).

Plus de 90 % de la production de plastique est constituée de thermoplastiques, dont 80 % sont constitués de trois thermoplastiques : le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) et le polychlorure de vinyle (PVC). **Résine thermodurcissable :** Peut-être thermoformée par modification chimique. Le phénoplaste, l'aminoplaste et la résine époxy sont des Duro plastiques. **Plastiques industriels :** Comme leur nom l'indique, leurs propriétés en font des applications très spécifiques.

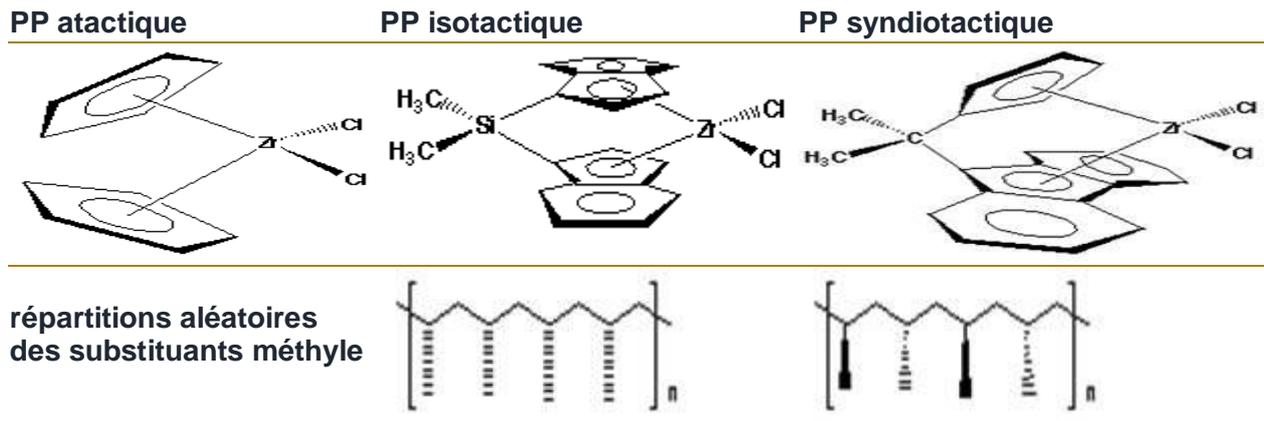
Un thermoplastique qui se déforme en permanence sous l'effet de la chaleur. Les résines thermodurcissables sont généralement des matériaux très durs et sont dimensionnellement stables lorsqu'elles sont exposées à la chaleur après fabrication. Élastomère très malléable et doté d'une excellente élasticité.

La production de plastique consomme entre 4 et 6 % de la production mondiale de pétrole. Un paramètre important pour contrôler la synthèse des polymères est l'utilisation de catalyseurs qui

leur permettent d'affecter la composition des chaînes polymères. Une avancée majeure a été la découverte des catalyseurs de type « Ziegler-Natta » dans les années 1960 (voir la section sur le polyéthylène).

Ces dernières années, une nouvelle classe de catalyseurs, les métallocènes, est née. Ce sont des composés "sandwich" dans lesquels des atomes métalliques (Zn, Zr...) sont liés à deux dérivés de cyclopentadiényle. Cette famille ouvre la porte à la synthèse de plastiques techniques "simples". Bien qu'il soit de type polyoléfine (PE, PP, etc.), il possède certaines propriétés qui permettent des applications dites, grâce à ses propriétés structurales définies et contrôlées. (2)

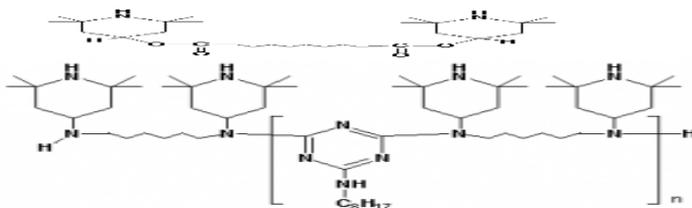
Figure 2 :



Les polymères sous forme brute n'ont généralement pas les propriétés requises pour l'utilisation envisagée. Par conséquent, il est nécessaire d'ajouter des additifs au plastique. Cela touche essentiellement l'esthétique, la stabilité (chimique, UV, chaleur, longévité, etc.), le coût et la plasticité. 80% du marché des additifs est la polyoléfine, le styrène et le PVC. Les polyoléfines contiennent en moyenne 1 à 2 % d'additifs et le PVC en contient en moyenne 10 %. Vous trouverez des informations sur les additifs PVC dans ce chapitre. Parmi les additifs, la charge est un composé inerte, généralement un minéral tel que le carbonate de calcium naturel ou précipité, le talc, le kaolin, qui améliore les propriétés mécaniques et l'état de surface et réduit le coût des retours. L'une des fonctions de l'additif est également de retarder l'oxydation du polymère. Cela provoque un jaunissement, une perte de transparence et l'apparition de fissures de surface, réduisant la flexibilité et la résistance à la traction et affectant les propriétés mécaniques. Cette oxydation est accélérée par la température et la lumière UV.

Par conséquent, les additifs éliminent les radicaux libres formés en réagissant avec eux et/ou en absorbant l'énergie UV. Une importante famille d'additifs, les "Hals" (Hindered Amine Light Stabilizer), empêche l'action des radicaux. (2)

Figure 3 (exemple) :



Exemple des matières plastiques :

- ✓ Polyéthylène basse densité (PE-BD)
- ✓ Polyéthylène basse densité linéaire (PE-BDL)
- ✓ Polyéthylène haute densité (PE-HD)
- ✓ Polypropylène (PP)
- ✓ Polystyrène (PS et PS-E)
- ✓ Polychlorure de vinyle (PVC)
- ✓ Autres thermoplastiques
- ✓ Résines époxydes
- ✓ Autres thermodurcissables

### **Les propriétés les plus importantes du plastique sont :**

**Malléabilité** : capacité à se déformer sous l'action mécanique.

**Plasticité** : C'est lorsque le matériau ne reprend pas sa forme d'origine après déformation.

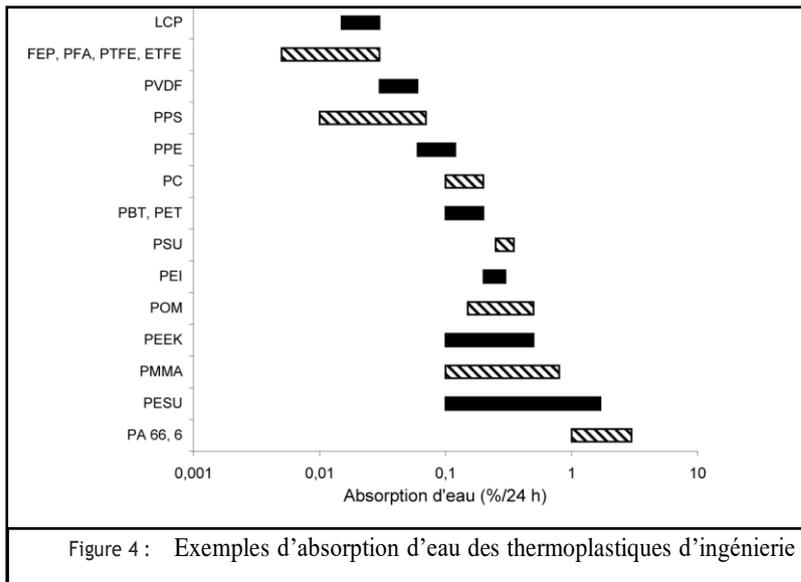
**Élasticité** : La capacité de reprendre sa forme d'origine après déformation. Il existe plusieurs formes de matière plastique.

### **Tableau 1 : Etude de capacité du système matériel centralisé :**

<u>Condition de séchage</u> (temps) : (min)	<u>Condition de séchage</u> (température) : (°C)	<u>Volume de la trémie</u> en L :	<u>Capacité de la trémie</u> en Kg :	<u>Consommation</u> horaire max en Kg :
[2-4]	[80,135]	[180-600]	[117-390]	[39-130]

Et ces caractéristiques sont prises en considération avant le séchage de la matière plastique pour l'utilisation au niveau du moulage par injection.

Les résines sont souvent livrées dans des conditions d'humidité acceptables, mais peuvent devoir être séchées ou déshydratées avant d'être livrées à la ligne de moulage. Les polymères absorbent plus ou moins d'eau et sont plus ou moins sensibles à des températures de transition plus ou moins élevées. L'absorption d'eau se produit très rapidement. Par exemple, certains grades de polycarbonate absorbent 0,05 % d'eau après 1 heure dans l'air à 65 % d'humidité relative. La figure 2.2 montre que les résines produites en série, le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène et le PVC dur ont une faible absorption d'eau à 24 heures. Pour ces dérivés, EVA, EVOH pour le polyéthylène, ABS pour le polystyrène et PVC plastifié pour le PVC, la situation est beaucoup plus contrastée, notamment en raison de la forte capacité d'absorption d'eau de l'EVOH due au groupement hydroxyle. Les chiffres donnés sont loin du pourcentage de saturation que l'on peut atteindre avec une poche ouverte plusieurs jours dans un climat chaud et humide ou dans un lieu de travail humide. (2)



Les fabricants recommandent souvent une humidité relative inférieure à 0,02 % lors de l'injection d'une souche particulière. À des températures de moulage élevées, l'humidité absorbée peut provoquer deux types de défauts. – Phénomène physique dû à l'évaporation de l'eau. Les défauts visuels qui en résultent peuvent apparaître sous forme de bulles, de mousse ou de lignes rayonnantes à partir du point d'injection. – Phénomène chimique : Hydrolyse qui dégrade un polymère, affecte ses propriétés mécaniques et, dans certains cas, le jaunit. Pour certains grades de polyester thermoplastique, la perte d'impact peut atteindre 30% lors de l'utilisation de granulés ayant absorbé une teneur en humidité non spécifiée. (3)

L'humidité peut également affecter la stabilité dimensionnelle, les propriétés électriques et la capacité de métallisation. Les propriétés mécaniques des thermoplastiques sensibles à l'humidité ne sont pas affectées de la même manière. Alors que le module reste constant, la résistance aux chocs perd près de 50 % de sa valeur :

Tableau 2 : Les caractéristiques de la matière

<b>Teneur en humidité à l'alimentation (%)</b>	0,03	0,07	0,14	0,26	0,40
<b>Résistance à la traction (MPa)</b>	139	116	112	107	105
<b>Module de traction (GPa)</b>	10	10	10	10	10
<b>Choc Izod avec barreau entaillé (J/m)</b>	101	69	64	53	53
<b>Choc traction (J/mm<sup>2</sup>)</b>	0,12	0,10	0,09	0,09	0,08

De précautions habituelles :

- ✓ Veuillez ouvrir le sac le plus tard possible.
- ✓ Recuire les granulés stockés à l'air ambiant pendant au moins 2 heures.
- ✓ Séchage du rebroyé.

- ✓ Remplir la trémie avec une quantité limitée (par exemple 2 heures de production), Il est souvent nécessaire d'utiliser un dispositif de séchage continu automatique qui garantit une sécurité maximale en termes de qualité optique et de propriétés mécaniques du produit injecté.

Tableau 3 Exemples de conditions de séchage.

Polymère	Plage de températures (°C)	Durée de séchage (h)
PVC	60-80	1,5
PPO	80-95	maximum 2
	95-120	maximum 2
PMMA	75	2
ABS chaleur	90-95	2,5
CA	65-80	2-3
PC	120-140	2-4
PET - PBT	90-120	2-4
PEI	120-150	2-4
POM	90	4
PSU	110	4
PUR	80	4
PA	80-90	3-6

### **Sécheur à air chaud :**

L'air chauffé est soufflé par un ventilateur au fond de la trémie, traverse le matériau à sécher, absorbe l'humidité et s'échappe du couvercle de la trémie. Le séchage sera le suivant. – Attacher individuellement directement à la machine de traitement. – Centralisé pour traiter les matériaux qui desservent plusieurs lignes de traitement. Le sécheur doit être équipé d'un distributeur automatique de matière pour alimenter correctement les différentes lignes de traitement en fonction du débit. (Tableau 4) :

Tableau 4 caractéristiques de sécheur a air chaud

Capacité utile (l)	Débit d'air sec (m³/h)	Pression d'air soufflerie (bar)	Puissance du chauffage (kW)	Puissance du ventilateur (kW)	Consommation moyenne à 80 °C (kW/h)
50	40	0,04	2,7	0,55	1,6
100	70	0,07	3,9	0,55	2,3
200	170	0,10	5,4	0,55	3
400	270	0,15	8,4	0,55	4,5
800	470	0,20	20	0,55	10
1 200	680	0,25	25	0,75	12,8

### **Sécheur à air chaud déshydratant :**

L'air est séché en passant à travers un produit hautement hygroscopique ou tamis moléculaire, puis chauffé puis à travers une masse de matière à sécher, où il absorbe l'humidité. L'air est recyclé et le déshydratant est régénéré automatiquement ou après le taux d'humidité maximal pour maintenir son effet. Les séchoirs à air chaud sec dépendent moins des hygromètres de l'air ambiant. Leurs effets sont quasiment inchangés selon la saison et la région. En revanche, ils sont plus chers et sont particulièrement recommandés pour les matériaux fortement hygroscopiques. En plus de la capacité, il est nécessaire d'étudier les appareils avec la puissance d'installation, la consommation d'énergie, l'uniformité de la répartition de l'air dans les masses de granulés, le débit d'air, l'isolation, la température maximale, la sécurité thermique spécifique.

L'air est séché en passant à travers un produit hautement hygroscopique ou tamis moléculaire, puis chauffé puis à travers une masse de matière à sécher, où il absorbe l'humidité. L'air est recyclé et le déshydratant est régénéré automatiquement ou après le taux d'humidité maximal pour maintenir son effet. Les séchoirs à air chaud sec dépendent moins des hygromètres de l'air ambiant. Leurs effets sont quasiment inchangés selon la saison et la région. En revanche, ils sont plus chers et sont particulièrement recommandés pour les matériaux fortement hygroscopiques. En plus de la capacité, il est nécessaire d'étudier les appareils avec la puissance d'installation, la consommation d'énergie, l'uniformité de la répartition de l'air dans les masses de granulés, le débit d'air, l'isolation, la température maximale, la sécurité thermique spécifique. Pour être précis, les types de déshydratants, leurs conditions de régénération et de renouvellement. (2) (Tableau 5) :

Température maximale (°C)	Débit d'air (m <sup>3</sup> )	Consommation à 80 °C (kW)	Débit de résine séchée (kg/h)
180	30	3-20	3-25
130-180	100	4	30-70
130-180	200	12	70-200
130-180	400-500	16-20	140-480
130-180	800-1 000	30-50	300-800

**Photo réelle :**



Figure 5 : Processus de séchage et d'alimentation centralisé.

## **Chapitre 3 : Processus du moulage :**

## 1) Définition du moulage :

Procédé de moulage de matières plastiques : Procédé de mise en forme d'une matière plastique, consistant à la solidifier dans une empreinte après qu'elle ait été préalablement fluidifiée. Autrement dit, il permet la production en série d'objets en polymère. Chauffer ou faire fondre le plastique avant de le verser dans le moule. Le moulage par injection plastique présente deux avantages majeurs : taux de production élevé et une grande variété de matières plastiques utilisables. (V)

## 5) Histoire du moulage :

➤ Le celluloïd : premier matériau plastique :

La première matière plastique artificielle a été fabriquée en 1870 par les frères Hyatt, un imprimeur new-yorkais. C'était du nitrate de cellulose synthétisé à partir de camphre et de cellulose. Cette invention n'était pas le fruit du hasard, mais elle répondait au besoin de trouver un matériau susceptible de remplacer l'ivoire utilisé dans la fabrication des boules de billard.

Jusqu'en 1929, l'industrie du plastique se limitait à la fabrication de petits articles tels que des aiguilles à tricoter, des broches et des montures de lunettes. L'histoire de l'injection plastique commence dans les années 1930 avec la construction de la première machine de moulage par injection à Oyonnax, en France. Parallèlement, de grands laboratoires de chimie en Allemagne et aux États-Unis inventent les polymères les plus célèbres. Chlorure de polyvinyle (PVC) Polyamide 66 (PA66, fameux nylon) Polyéthylène (PE) Polystyrène (PS). (V)

## Principe

Une presse à injecter les thermoplastiques, dite également presse d'injection haute pression, comporte essentiellement trois parties principales assurant trois fonctions fondamentales : une extrudeuse à vis avec un dispositif de chauffage assurant la plastification ou la fusion du thermoplastique et son transport de la trémie d'alimentation jusqu'au moule. Le dessin de vis et les températures sont fonctions du matériau à injecter ; un système faisant piston permettant d'introduire la quantité voulue de matière sous haute pression dans le moule. Dans le cas le plus fréquent où la vis elle-même joue ce rôle, elle peut s'arrêter de tourner et reculer dans le fourreau pour stocker la quantité de matière nécessaire à l'injection d'une moulée (une ou plusieurs pièces pour un moule multi empreintes).

L'ensemble injecte sous haute pression la matière dosée dans le moule. La pression varie avec le matériau, le volume et la forme de l'objet, le dessin du moule ; un système de fermeture et son moule avec dispositif de refroidissement dans lequel le thermoplastique se refroidit et reprend tout ou partie de sa rigidité. Le moule peut être mono-empreinte ou multi-empreinte. Chaque empreinte a la forme d'un objet qui est façonné avec des dimensions corrigées par le retrait.

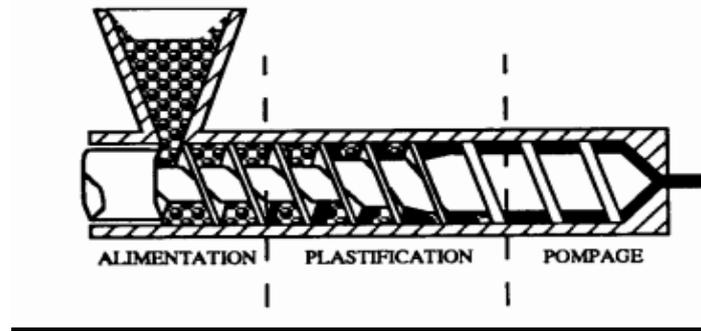
Actuellement, La plupart des extrudeuses industrielles ont une ou deux vis. Quel que soit le type d'extrudeuse utilisé, trois fonctions importantes sont exécutées :

Transport du matériau le long du cylindre du point de chargement à la matrice.

Thermo plastification par malaxage et chauffage. (V)

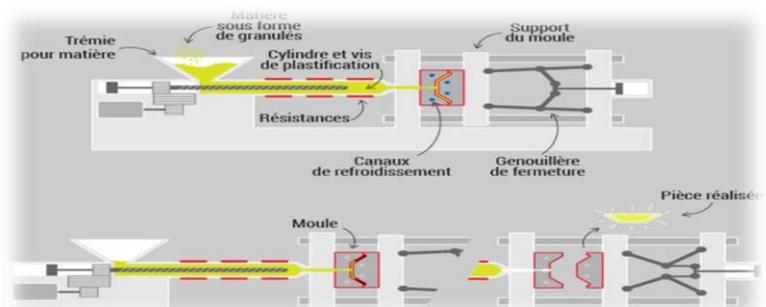
La pression de la matière, le long de la vis augmente progressivement, l'obligeant à traverser la filière, ce qui entraîne la forme et les dimensions du profilé qui se solidifie par refroidissement.

Figure 6 :

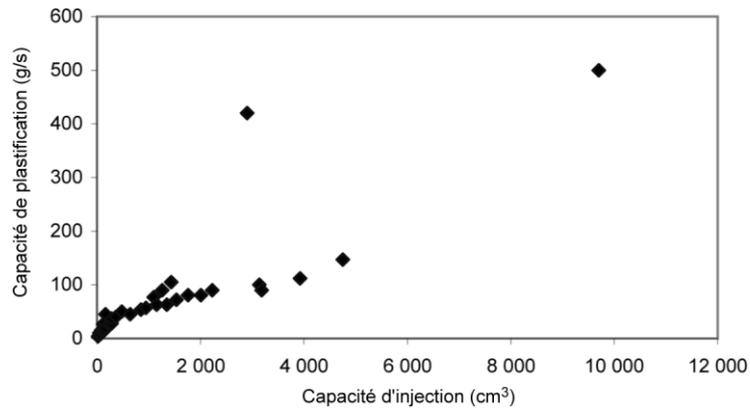


**Le cycle d'injection d'un produit moulé se déroule dans les cinq phases suivantes :**

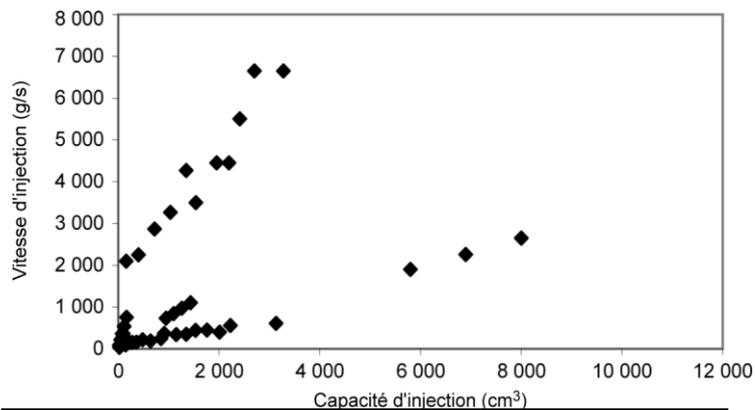
1. Thermo plastification : Dans cette première phase, l'extrémité de la coque est fermée par une buse et la vis tourne en sens inverse pour recueillir le polymère chaud plastifié dans la tête de la vis.
2. Remplissage : Lorsque la quantité de résine nécessaire à l'injection du moule est plastifiée, la buse s'ouvre et la vis agit comme un piston pour injecter le polymère dans le moule à haute pression et à grande vitesse. Le moule est refroidi à une température beaucoup plus basse que la résine infusé. (introduction des granulés de plastiques).
3. Compression : Le polymère rétrécit en refroidissant dans le moule. Ceci est partiellement compensé en maintenant la pression pendant que le polymère fondu continue d'être infusé. Le processus s'arrête lorsque la matière contenue dans le canal d'alimentation qui relie la buse de la machine de moulage par injection au moule se solidifie.(chauffer et mélanger les ingrédients)
4. Refroidissement et rétention : En raison de sa faible conductivité thermique, le refroidissement lent du polymère se poursuivra jusqu'à ce qu'une solidification physique suffisante de la pièce soit atteinte. (injection de la matière plastique)
5. Ejection : Le processus de démoulage est manuel ou souvent automatisé. Pour des raisons économiques, lorsque le produit moulé peut être manipulé sans déformation, le démoulage sera le plus rapide possible et le refroidissement complet ne sera atteint qu'après sa sortie du moule. (refroidissement et décharge des pièces en plastique).



**Figure 7 : Capacité de plastification (g/s) en fonction de la capacité d'injection (cm<sup>3</sup>).**

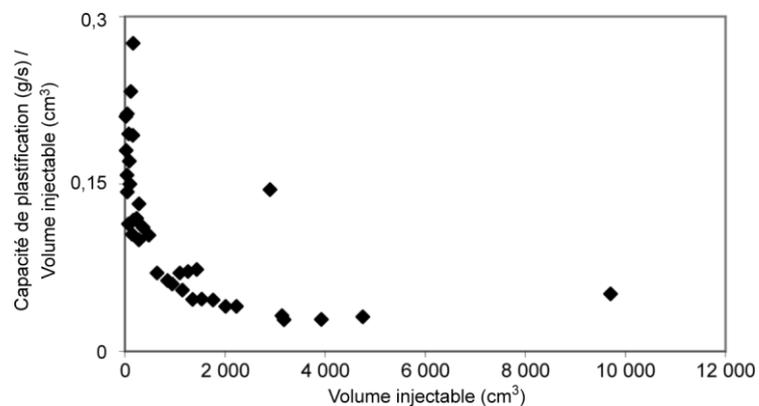


6) Cette figure 7 montre une augmentation générale de la capacité plastifiante en fonction du volume d'injection, mais il n'y a pas de différence significative pour une capacité d'injection particulière, sauf sur un point bien précis.



**Figure 8 : Vitesse d'injection (g/s) en fonction de la capacité d'injection.**

- La figure 8 d'autre part, met en évidence les différences significatives dans les vitesses d'injection et met en évidence diverses directives de conception.



**Figure 9 : Ratio capacité de plastification (g/s) / volume injectable (cm<sup>3</sup>) en fonction du volume injectable (cm<sup>3</sup>)**

- La figure 9 examine l'évolution du rapport récupération théorique / capacité théorique d'infusion et montre des évolutions régulières avec un seul point précis.

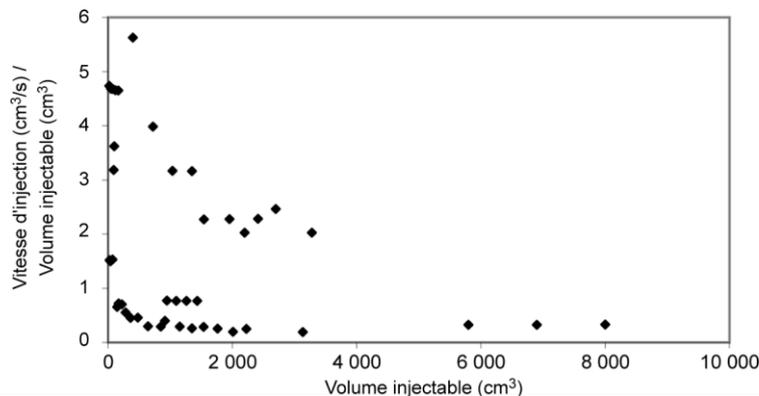


Figure 10 : Ratio vitesse d'injection (cm/s) / volume injectable (cm<sup>3</sup>) en fonction du volume injectable (cm<sup>3</sup>).

La figure 10 montre l'évolution généralisée des rapports débit d'injection maximum/capacité d'injection théorique, confirmant l'existence de différentes conceptions.

La puissance de chauffage augmente régulièrement avec le volume maximal injectable. Elle doit être adaptée, ainsi que la conception de la presse aux températures d'injection des polymères, qui peuvent varier de 150 à 400 °C ou plus, entraînant des problèmes de dilatation et de comportement thermique très différents. À titre purement indicatif, le tableau 3.4 donne quelques exemples de ces températures classées par ordre croissant. Ces chiffres ne peuvent absolument pas se substituer à ceux des producteurs et fournisseurs de polymères et compounds. (V)

## 2) Les moules et systèmes de fermeture :

- Le moule est constitué de deux parties fixées au plateau de la presse : le poinçon sur le plateau supérieur et la matrice sur le plateau inférieur. La plupart des réactions de réticulation sont des polycondensations qui entraînent un dégazage, qui est principalement de la vapeur d'eau, de sorte que le moule nécessite des événements pour expulser le gaz. La presse, qui peut effectuer diverses étapes de formage, est caractérisée par sa force de fermeture, la surface utile des plateaux, la hauteur maximale entre les plateaux et la course du plateau mobile.
- Le moule est suffisamment rigide avec une ou plusieurs cavités (ou gaufrage) qui reproduisent la forme d'une ou plusieurs pièces obtenues par correction dimensionnelle due à des phénomènes tels que la dilatation thermique, la contraction, la relaxation, etc. Fabriqué à partir de blocs de métal de haute qualité. Les assemblages qui reçoivent de la résine sous haute pression doivent être soigneusement inspectés pour éviter le colmatage et le gauchissement, ainsi que les fuites et autres bavures. Bien entendu, le moule doit pouvoir libérer la pièce sans endommager la pièce ou le moule. (V)

Les fonctions principales à assurer (dans un ordre chronologique) sont :

- L'alimentation en résine des empreintes dans un état rhéologique et thermique convenable.

- La mise en forme de l'objet moulé dans le respect des spécifications dimensionnelles voulues ;
- Le refroidissement suffisant du thermoplastique pour pouvoir être démoulé et manipulé sans nuire à sa forme ni à ses cotes ;
- L'extraction des pièces moulées sans déformation ni dégradation. Le moule est schématiquement constitué d'une carcasse et d'un ensemble structural assurant la résistance mécanique : plaques de fixation avant et arrière, plaques porte empreintes, plaques intermédiaires... ;
- D'une ou plusieurs empreintes. Leur nombre doit être soigneusement étudié en fonction de la pièce, du polymère et de la presse qui sera réellement utilisée. Il faut, en général, prévoir le nombre maximal d'empreintes qui peuvent être alimentées par l'unité d'injection tout en assurant la fermeture correcte du moule et en vérifiant que les séries à fabriquer justifient l'augmentation du coût du moule provenant de la multiplication du nombre d'empreintes.
- Pour les objets creux ou comportant des ouvertures, le moule peut inclure un ou plusieurs noyaux pour les parties creuses de la pièce et des poinçons créant des ouvertures dans ses parois ;
- D'un ensemble d'alimentation : contre buse, canaux, seuils... Les objectifs de réduction des déchets ont amené à l'utilisation de canaux chauds en blocs chauds portés à la température de transformation, ce qui empêche la solidification du polymère. Cela évite la formation de carottes, coûteuses à recycler. Par contre, parce que la forme est plus compliquée Prix plus élevé;
- Système de guidage qui garantit le placement correct des différentes pièces tout au long du cycle de fonctionnement : colonnes de guidage, bagues de centrage, etc.
- Des systèmes de refroidissement qui assurent l'intégration physique des composants en incorporant une rigidité suffisante (canaux de circulation, régulateurs de circulation du liquide de refroidissement, etc.).
- Système de détachement : éjecteur, plaque d'éjection, rappel d'éjection, fin d'éjection, arrache-carotte, etc. (V)

Sigle	Température du moule (°C)	Température de démoulage (°C)
PBT	40-120	170
PBT 30 % fibres de verre	80-120	170
PC	70-120	130
PC + PBT	80-100	140
PITP	180-230	250
PE-HD	4-60	80-110
PE-BD	4-60	60-95
PE-LLD	4-60	60-95
PEEK	160-190	300
PEI	140-160	180
PES	100-160	200
PET	20-140	170
PET 30 % fibres de verre	80-100	170
PET + PBT 30 % fibres de verre	40-80	170
PET + PC	40-85	90-110
PMMA	40-80	70-90
PMMA + PC	60-100	130
PMP	40-90	150
POM-Co	60-120	100-140

POM-Ho	60-130	100-150
POM 30 % fibres de verre	60-130	100-150
PP-Co	4-80	90-110
PP-Ho	4-90	110-130
PP 30 % fibres de verre	4-80	110-130
PP + PA6	20-60	80

**Tableau 6 : Exemples de températures de moulage et démoulage**

- Les serrures hydrauliques utilisent un cylindre central de grand diamètre pour assurer la convergence des parties mobiles et fixes, puis un cylindre plus petit assure la serrure finale. La dernière technologie, le verrou électrique, utilise un système électrique pour éliminer complètement la pression hydraulique dans la conception de la presse. Les avantages cités par les partisans de ce procédé sont liés à des coûts de fabrication réduits, une plus grande précision, une reproductibilité améliorée, des temps de cycle optimisés et des économies de consommation d'énergie.
- La porte de mélange est une combinaison de deux méthodes, mécanique et hydraulique, la manœuvre d'ouverture et de fermeture est effectuée par une genouillère et le verrouillage est garanti par un ou plusieurs vérins hydrauliques. Une caractéristique importante du système de serrage du moule est la force de serrage du moule. Celle-ci doit être supérieure à la force exercée sur le moule par la résine injectée sous haute pression. Sinon, le moule s'ouvrira pendant la phase de remplissage. Cela rend les propriétés dimensionnelles hors spécifications, les bavures, la perte de matériau, la séparation du moule difficiles et entraîne souvent des rebuts de composants. D'autres caractéristiques importantes d'un point de vue pratique sont les plus importantes : - Course d'ouverture / fermeture qui détermine la profondeur maximale des pièces formables. – Un passage entre colonnes qui détermine les dimensions maximales du moule, sauf si des colonnes amovibles sont prévues. – Les dimensions de la coque qui déterminent les dimensions maximales du moule. – Épaisseur minimale et maximale autorisée du moule.

### **Conclusion :**

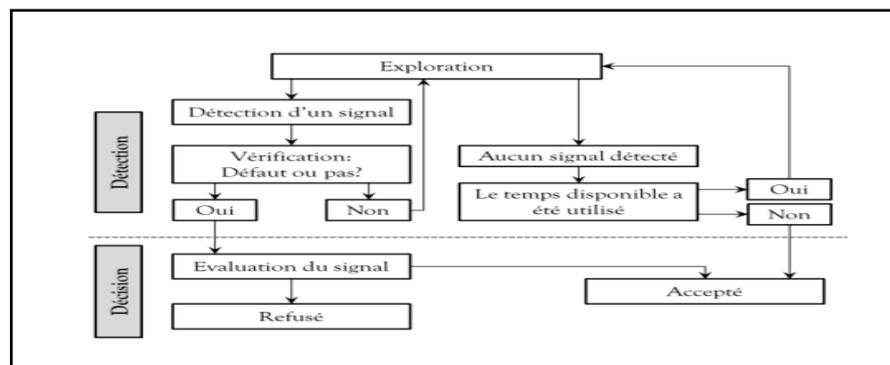
- ✓ La matière plastique après être séchée, est ramollie par l'action combinée de la chaleur et de la pression, où la bande chauffante électrique agit comme système de dosage et de chauffage de la matière, à partir de laquelle la matière passe d'un état solide granulaire à un état liquide.
- ✓ Ce matériau liquide moulé est pesé et collecté au bord du four et injecté dans le moule par un mouvement de piston à l'aide d'un plateau hydraulique ou électrique pour maintenir la pression du moule pendant l'injection. Le moule est équipé d'un conduit de refroidissement pour solidifier les pièces et d'un conduit de détente (air) pour séparer les pièces mobiles et fixes.
- ✓ Une fois la pièce refroidie, le porteur fixe la pièce en plastique moulé en place avec des ventouses et des crochets et la met en stock pour évaluation.

### **3) Contrôle de qualité visuelle primaire :**

Le contrôle qualité permet de déterminer si un produit fabriqué est conforme ou non conforme, mais il peut être retravaillé, non conforme et détruit. L'apparence du produit joue un rôle important dans la perception de la qualité par le client. En plus des fonctionnalités qu'il doit remplir, les produits d'aujourd'hui doivent avoir un look irréprochable. Cependant, il n'y a pas de surface parfaite car il y a toujours un écart par rapport à la surface idéale à un niveau de grossissement particulier. Pour détecter cet écart et évaluer son impact sur la qualité perçue du produit, les entreprises mettent généralement en place une inspection visuelle de l'état de surface du produit.

Plus précisément, ce contrôle est peut être utilisé pour atteindre deux objectifs différents :

- Objectif technique (garantir le produit) et un objectif esthétique (s'assurer que le produit ne présente pas d'écart d'aspect par rapport à un produit référent ou qu'il présente un écart acceptable). Il est possible de caractériser une anomalie à l'origine d'un écart perçu sur la surface d'un produit.. Cependant, l'inspection visuelle ne se limite pas à caractériser l'anomalie. Le contrôleur doit d'abord être capable de détecter cette anomalie. Après avoir caractérisé cette anomalie, il doit pouvoir décider d'accepter ou de refuser le produit géré. C'est l'ensemble de ces étapes, et leur maîtrise, qui conditionnent l'efficacité d'un contrôle visuel. (3)



**Figure 11 : Schéma du Modèle de contrôle visuel**

Ce modèle est très approprié pour l'inspection visuelle à des fins techniques. En revanche, c'est beaucoup moins pour les inspections visuelles avec des exigences esthétiques.

- L'exploration est la première étape du contrôle visuel. Dans cette étape, le contrôleur examine la surface du produit pour voir si des écarts sont présents, et si oui, le type d'écart (écart par rapport à la référence, écart par rapport à l'intention du concepteur ou écart local). Pour les anomalies locales, cette identification est plus détaillée, et chaque type d'anomalie peut être caractérisé par un attribut particulier. La prochaine étape est l'évaluation. Si l'inspecteur détecte un écart par rapport aux critères ou à l'intention du concepteur à cette étape, l'inspecteur utilisera la méthode d'évaluation analytique descriptive proposée dans l'analyse sensorielle pour l'anomalie. Lorsqu'il détecte une anomalie locale, il utilise un profil sensoriel en évaluant chaque attribut défini pour le

type d'anomalie détectée. Enfin, il convient de noter que cette étape d'évaluation n'est effectuée que si une anomalie non évolutive est détectée. Dans ce cas, l'anomalie évolutive oblige l'inspecteur à rejeter directement le produit. La décision est la dernière étape. Le contrôleur calcule l'intensité globale de l'anomalie selon une méthode qui établit une corrélation entre la valeur de l'attribut et la décision de l'expert (OK si le produit est accepté, OK si le produit est rejeté. KO). Cette décision est prise en fonction des limites fixées. Les limites peuvent varier selon l'étendue du produit ou le client.

# **Chapitre 4 : Processus** **de la métallisation.**

## **1) La métallisation :**

### **Définition :**

- La métallisation est un terme couramment utilisé pour décrire le revêtement métallique appliqué par projection thermique. Pour éviter la corrosion de l'élément en acier, cela signifie pulvériser du zinc ou de l'aluminium fondu sur la surface de l'acier. Dans ce procédé, le métal sous forme de fil ou de poudre est transporté jusqu'au pistolet applicateur, où il est fondu et projeté sur la surface à protéger. Au contact de la surface, les dépôts de zinc refroidissent instantanément, formant une barrière protectrice solide qui isole le substrat en acier de l'environnement.

### **Procédé de revêtement et de métallisation sous vide :**

- Le revêtement et la métallisation sous vide désignent un procédé qui consiste à déposer un film mince d'aluminium ou d'un autre matériau sur un support. En règle générale, le matériau de revêtement est vaporisé dans la chambre à vide puis condensé sur la bande de support en mouvement.
- Autrement dit, La métallisation sous vide consiste à évaporer de l'aluminium (pur à 99,5%) pour donner un effet métallique au support souple (film plastique et textile).
- Au contact d'un creuset chauffé à très haute température (1500°C), l'aluminium passe d'un état solide à un état gazeux. Ensuite, il se condense avec du papier d'aluminium se déplaçant sur deux tambours refroidis (afin que la chaleur ne les fasse pas fondre).
- La métallisation se fait sous vide car la température peut être abaissée à 1500°C au lieu de 3000°C à pression atmosphérique normale. Par conséquent, il s'agit d'une augmentation significative de l'énergie. D'autre part, il empêche l'oxydation de l'aluminium et donne au produit un aspect brillant. (5)

### **Le processus de la métallisation :**

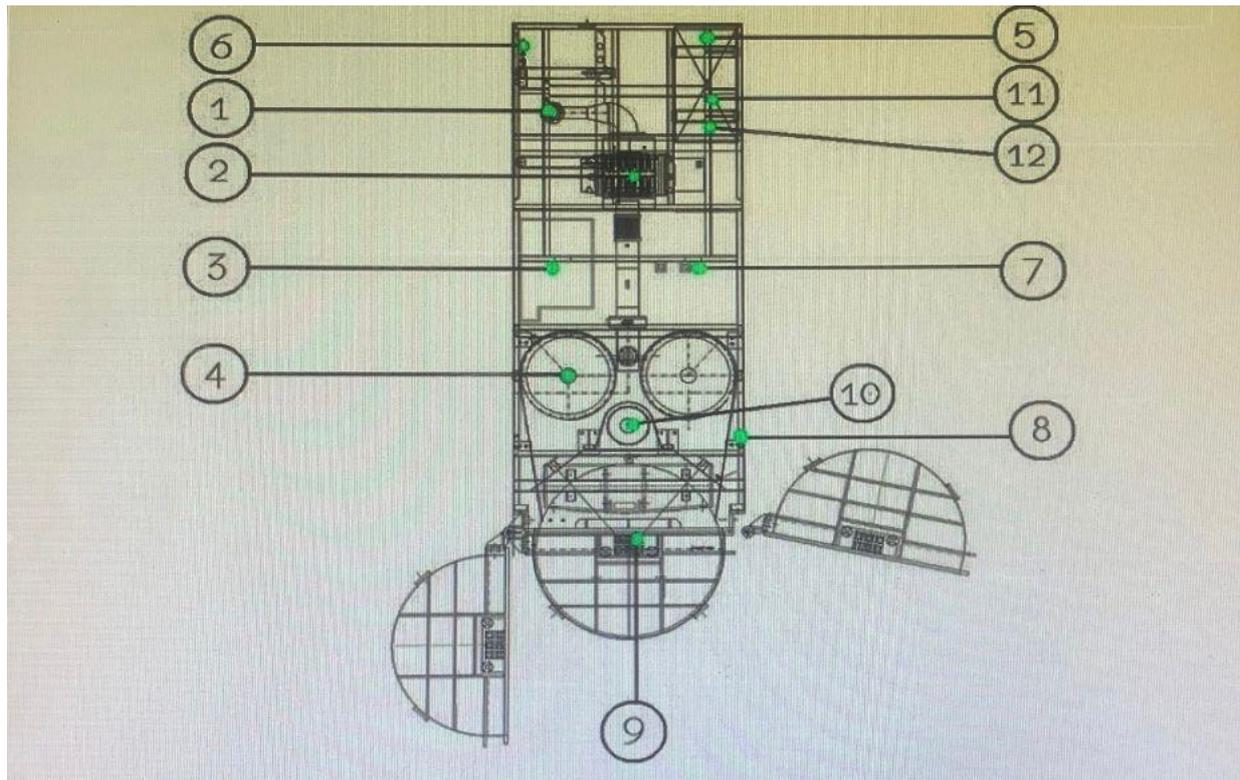
- Après l'injection plastique et le contrôle de qualité visuelle, les pièces obtenues sont divisées par deux :
  - o Le premier est le type de pièce considéré comme produit final.
  - o Le deuxième va passer par une métallisation c'est-à-dire par un procédé de traitement de surface ayant pour objet le dépôt d'une couche métallique. Autrement dit rendre ces pièces plastiques à base métalliques d'où à base Aluminium par la machine de métallisation.

## **2) La machine de métallisation :**

Les machines de revêtement sous vide : également appelées métalliseurs sous vide ou machines de revêtement barrière, sont généralement constituées d'une chambre à vide avec une pression de 0,0005 mbar. Le fil d'aluminium est introduit dans la chambre sur un creuset en céramique chauffé par résistance électrique, où il fond et se vaporise.

La machine est allumée quand il y a une demande de pièces qui nécessitent une métallisation.

Figure 12 : Schéma de la machine de métallisation.



- 1 : pompe rotative (pompe mécanique)
- 2 : pompe à racines (pompe mécanique)
- 3 : max cool poly cold 4000H
- 4 : pompes à diffusion (pompes à vide poussé)
- 5 : armoire électrique
- 6 : groupe pneumatique

- 7 : groupe de refroidissement
- 8 : Réservoir de stockage du réservoir principal
- 9 : chambre de procès
- 10 : piège poly froid (poly cold)
- 11 : Alimentation MF
- 12 : panneau de commande

### 1) Pompe rotative :

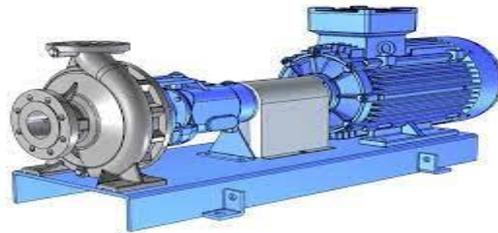
Une pompe rotative est une pompe composée d'un corps et d'une (ou plusieurs) pièces rotatives qui déplacent le fluide de la région basse pression vers la région haute pression. Ces pompes déplacent le liquide à l'aide d'un mécanisme rotatif qui crée un vide qui emprisonne et aspire le liquide.



Une pompe à piston rotatif est une machine qui augmente ou diminue l'énergie potentielle d'un fluide (pression de gaz ou de liquide) en ajoutant ou en retirant de l'énergie mécanique à l'aide d'éléments de déplacement (pistons).

## 2) Pompe à racines :

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant à travers une roue ou une hélice appelée roue (souvent appelée à tort turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus courant. En raison de la rotation de la roue, le fluide pompé est aspiré dans la pompe axialement, puis accéléré radialement et finalement refoulé tangentiellement.



## 3) Max cool poly cold :

Le refroidisseur cryogénique Edwards Polycold MaxCool est un système de refroidissement cryogénique en boucle fermée qui capture efficacement la vapeur d'eau, qui représente 65 à 95 % des gaz d'échappement des systèmes à vide poussé. Ces réfrigérateurs peuvent être utilisés pour capturer la vapeur d'eau et d'autres condensables en les plaçant sur une surface froide telle qu'un bureau. Les refroidisseurs cryogéniques MaxCool sont également utilisés pour refroidir et chauffer des objets tels que les mandrins électrostatiques utilisés dans le traitement des plaquettes de semi-conducteurs. Différents modèles de notre gamme offrent 2000, 2500 ou 4000 watts de refroidissement.



#### 4) pompes à diffusion :

Les pompes à diffusion sont des pompes de transfert à fluide dynamique. Il est constitué d'un corps de pompe refroidi par le cycle de l'eau, au-dessus duquel est placé un cône formant tuyère. Le liquide moteur (généralement de l'huile de silicone) se trouve au bas de l'appareil. La résistance chauffante permet au liquide de s'évaporer.

Les pompes à diffusion ne peuvent être pompées que dans une enceinte avec une pression inférieure à ce que l'on appelle la pression amont. Il ne peut évacuer le gaz que dans des tuyaux où la pression est inférieure à la pression connue sous le nom de pression d'évent maximale.



#### 5) Armoire électrique :

Un tableau de distribution, qui fait partie d'un équipement électrique domestique ou industriel, est un boîtier tolérant conçu pour protéger l'équipement électrique et distribuer l'alimentation à une variété d'appareils et de systèmes connectés au réseau. Autrement dit, ce sont des boîtiers robustes utilisés pour protéger les composants électriques ou électroniques et les appareillages de commutation. Par conséquent, l'armoire de commande protège non seulement l'alimentation électrique de l'eau, de la poussière et de la chaleur, mais également du vandalisme par des personnes non autorisées. Selon l'application (dans le cadre d'un événement extérieur, d'un chantier de construction, etc.), la taille, le matériau et l'indice de protection IP de l'armoire de commande varient.



#### 6) Group pneumatique :

La performance d'un système de production automatisé (APS) a beaucoup à voir avec les transmissions pneumatiques. Les systèmes pneumatiques sont utilisés dans des domaines variés : automobile, aéronautique, moyens de transport divers (trains et métros), industrie agroalimentaire, industrie pétrolière et chimique, industrie pharmaceutique, bâtiment et secteur public, industrie mécanique, machines-outils, manutention, etc.

Le composant principal est l'entraînement pneumatique. Ils convertissent l'énergie pneumatique en énergie pneumatique de translation, de rotation ou d'aspiration.

Les principales caractéristiques sont le punch, la puissance et la vitesse. Les actionneurs pneumatiques comprennent principalement des vérins, des moteurs et des distributeurs. Les cylindres peuvent être soulevés, poussés, tirés, serrés, tournés, bloqués... pour une variété d'utilisations et sont largement utilisés dans l'industrie. Les moteurs, d'autre part, génèrent un mouvement de rotation continu à travers le flux d'air comprimé. Les plus courants sont les moteurs à palettes, qui sont principalement utilisés pour les outils pneumatiques (visseuses, meuleuses, perceuses, clés à chocs, etc.). Enfin, le collecteur est utilisé pour commuter et contrôler le débit de fluide sous pression. Ils permettent de choisir le sens de circulation du liquide et de démarrer ou d'arrêter cette circulation. Les systèmes pneumatiques remplissent également des fonctions de sécurité visant principalement à protéger efficacement les personnes et les machines. Les normes et directives garantissent un système pneumatique fiable.

#### 7) Groupe de refroidissement :

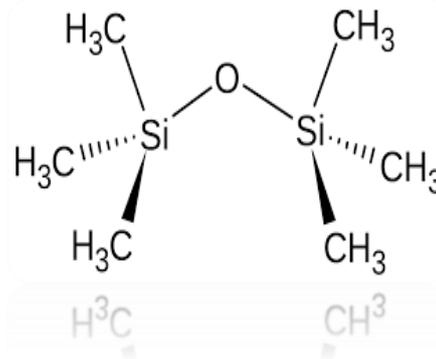
Le groupe frigorifique est constitué de quatre éléments à travers lesquels circule le fluide frigorigène. Détendeurs, compresseurs, condenseurs (qui libèrent de l'énergie thermique vers un autre liquide de refroidissement) et évaporateurs (qui extraient la chaleur de l'eau de refroidissement). C'est l'encrassement de ces éléments du groupe froid qui fait baisser le coefficient de performance (COP) du groupe froid. Les tours de refroidissement consomment beaucoup d'électricité, mais elles consomment également de l'eau. Le fonctionnement d'un tel système est d'autant plus coûteux que l'eau est traitée pour éviter le risque de légionellose. Par conséquent, il est conseillé de surveiller attentivement la consommation d'eau de la tour de refroidissement. L'utilisation d'outils de télé relève est avantageuse, surtout si elle permet de déclencher une alarme en cas de consommation anormale.



#### 8) Réservoir de stockage du réservoir principal :

Un réservoir de stockage industriel est un conteneur conçu selon une structure hautement sécurisée basée sur des normes très strictes. Utilisation de ces installations pour toutes les activités à grande échelle pour faciliter le stockage et l'accès de grandes quantités de produits tels que l'essence, le diesel, le mazout, le pétrole, le chlorure ferrique, la soude, l'acide sulfurique, les lotions cosmétiques, le GPL, etc.

Ce réservoir contient le HMDSO ( $C_6H_{18}OSi_2$ ), c'est-à-dire l'hexaméthylidisiloxane d'où ; c'est un composé organique dans lequel la formule structurale  $O[Si(CH_3)_3]_2$  est condensée. Liquide incolore et volatil utilisé comme solvant et réactif. Ceci est dû à l'hydrolyse du chlorure de triméthylsilyle. (4)



#### 9) chambre de procès :

Une chambre à vide (également appelée enceinte ou cloche) est une enceinte solide dans laquelle l'air et les autres gaz sont en grande partie éliminés par une pompe à vide. L'environnement résultant est communément appelé "vide" car la pression est très faible, même s'il ne s'agit pas vraiment d'un vide. Les applications possibles sont nombreuses, comme la recherche expérimentale, les tests de dispositifs destinés à aller dans l'espace, ou les procédés de production industrielle.

- Cette chambre contient :
  - 2 portes, chacune contient un plasma, des supports des pièces, des électrodes avec des filaments portants des capsules d'aluminium (de 1 jusqu'à 4 capsules autour d'un filament).
  - Ouvertures verticales pour faire entrer ou sortir l'air dans la chambre.



#### 10) piège poly froid (poly cold) :

Dans la technologie du vide, un piège à froid est un appareil qui condense toutes les vapeurs, à l'exception des gaz permanents, en un liquide ou un solide <sup>2</sup>. L'objectif est généralement d'empêcher la fumée des expériences en cours de pénétrer dans la pompe à vide où elle se condense et se contamine. Si vous devez éliminer de grandes quantités de liquide, en particulier lors de la lyophilisation, vous avez besoin d'un grand piège à froid. Les pièges à froid peuvent également faire référence à l'utilisation d'une surface refroidie pour empêcher les vapeurs d'huile de la pompe de pénétrer dans la pièce. Dans ce cas, une section de tuyau avec des ailettes est fixée à l'entrée de la pompe.



#### 11) Alimentation MF :

Pour alimenter la machine de métallisation.



## 12) Panneau de commande :

Le panneau de commande ou de contrôle est la première interface avec le système. Cela permet de déterminer l'activité, de lire les codes d'erreur, d'analyser les erreurs, d'allumer et d'éteindre le système et de modifier les propriétés IPL. Vous pouvez exécuter les fonctions système suivantes dans le panneau de commande :

- Détermination de l'activité du processeur
- Afficher et extraire les attributs ou les codes d'erreur pour l'analyse des problèmes
- Début de l'IPL
- Allumer ou éteindre le système.



### Interprétation :

**La machine de métallisation contient une chambre à 2 portes qui contiennent des pièces plastiques, l'une s'utilise et l'autre doit être vidée et nettoyée pour la prochaine utilisation.**

**La chambre contient des ouvertures verticales ou passe l'air (pour la compression et le vidage d'air) et les portes contiennent des supports de pièces non métallisées qui doivent être remplis.**

**Les employés font un soufflage sur les pièces à l'aide d'un pistolet de soufflage à air comprimé du haut vers le bas pour toutes les pièces. Il se réalise de 5 à 10 secondes pour chaque support avec une distance de 5 à 8 cm entre le pistolet et la pièce afin d'éviter l'endommagement des pièces.**

**Ainsi qu'elles contiennent deux plasmas qui permettent le passage d'un courant électrique au niveau d'un support portant des filaments avec des capsules en Aluminium (doivent être changés après 12 cycles). Cette énergie électrique se transforme en énergie thermique d'où l'Aluminium s'évapore et puisque cette métallisation se réalise sous vide alors qu'à l'intérieur de la chambre, la gravité diminue et l'Aluminium évaporé nage puis se fixe sur la surface des pièces plastiques.**

**Ceci passe par 4 étapes :**

- **GD Pré (vidage de la chambre avec une rotation lente des supports) : les pompes élimine l'humidité du milieu ainsi que le poly cold élimine l'oxygène afin de ne pas brûler l'Al.**
- **HD Pré (préparation du polymère HMDSO sur les pièces ; stabilité du milieu) : utiliser le polymère pour une première couche avec l'ajout d'argon pour protéger les pièces.**
- **Evap (évaporation d'Al (sous forme de poudre dans l'air) et se fixe sur les pièces)**

- **HD Post (injection du polymère liquide sur les pièces pour bien fixer l'Al) : il y a des normes à respecter au niveau de la pression, température, temps et quantité du polymère utilisée pour éviter les défauts (dégâts) et la perte des pièces. (Tableau 7)**

Température (en °C)	Pression (en mbar)	Temps (en min)	Quantité du polymère (en sccm)	Quantité d'argon (en sccm)	Les défauts
150 - 300	2.10 <sup>-2</sup> Jusqu'à 3.10 <sup>-4</sup>	12 Jusqu'à 23	100 Jusqu'à 170	100 Jusqu'à 150	Brulure, point noir, humidité, manque de métallisation, couleur jaunâtre, bavure, clip déformé, bouchage.



L'argon utilisé



le polymère utilisé

### L'argon utilisé :

L'argon est le gaz noble le plus répandu dans l'atmosphère terrestre, avec un volume de 0,94 %. C'est un gaz inerte sans couleur, goût ou odeur. Les liquides ont les mêmes propriétés. La solubilité dans l'eau est d'environ 2,5 fois celle de l'azote. On sait peu de choses sur les composés contenant de l'argon.

L'image reflète l'utilisation de l'élément dans l'industrie du soudage. L'argon fournit une atmosphère inerte dans laquelle les métaux soudés ne s'oxyderont pas.

### **3) Contrôle de qualité visuelle secondaire et le test de contrôle :**

Le contrôle de qualité secondaire se fait de la même méthode que le primaire.

Il existe 2 test de contrôle de qualité après la métallisation :

- Test de NAOH : il faut mettre une goutte de NAOH (5%) sur la partie métallisée et voir si la couleur change ; si elle change en couleur noir avec présence de bulles, la métallisation n'était pas bien faite. Si la couleur ne change pas, c'est une bonne métallisation.

- Test d'abrasion : c'est un test pour vérifier l'application du polymère sur les pièces.



#### **4) Contrôle de qualité dimensionnelle :**

Contrôle des dimensions : commencer par planifier, évaluer les dimensions de la pièce et vérifier son ajustement géométrique avec le contrôle de la caméra. L'inspection automatique est effectuée à l'aide de la technologie des caméras.



Figure 13 : La machine la plus utilisée pour le contrôle de qualité dimensionnelle.

## **Conclusion générale :**

Pour moi, ce stage représente une merveilleuse transition entre le monde étudiant et le monde de l'entreprise. Dans ce stage, j'ai eu l'opportunité d'appliquer les connaissances que j'avais déjà acquises et d'en développer de nouvelles.

En résumé, ce stage a été très enrichissant tant sur le plan professionnel que personnel. Techniquement, c'était l'occasion d'utiliser les méthodes et outils professionnels indispensables à la réussite du projet.

En termes de relations et de contacts, ce stage nous offre l'opportunité de vivre une partie de la réalité du monde professionnel, tant au niveau des relations qu'au niveau de l'exécution des tâches dont nous avons la charge. Mettre en œuvre de tels projets de graduation, de l'analyse des lacunes et des limites à l'étude de marché, à la conception du développement et à l'amélioration du projet.

## **Bibliographie :**

- Chapitre 1 : Documents internes de l'entreprise.
- (V) Michel Biron (2010) : Aide-mémoire Transformation des matières plastiques (Dunod Edition)

## **Webographie :**

- (1) <https://www.mcinet.gov.ma/fr/content/automobile>
- (2) <https://www.maxicours.com/>
- (3) <https://www.flexico.com/fr/>
- (4) <https://lelementarium.fr/>
- (5) <https://blog.anviplasturgie.fr/>