RÉPUBLIQUE ALGÉRIE POPULAIRE
DÉMOCRATIQUE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ YAHIA FARES
FACULTÉ DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DE GENIE
MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude de master

Préparé et présenté par :

MOUSSAOUI MOHAMED

HALILALI ABDELDJALIL

Spécialité : Construction mécanique

CONCEPTION D'UN MOULE D'INJECTION COMPORTANT DES TERROIRS

Devant le jury composé de :

Pr. ABDELLAH EL-HADJ Abdellah	**Université de Médéa**	**Président**
Dr. ZMERLINE Adel	**Université de Médéa**	**Examinateur**
Mr. TAKDENTI Mourad	**Université de Médéa**	**Promoteur**
Mr. GHERNAOUTI Marouane	**Université de Médéa**	**Co-promoteur**

PROMO 2024

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS PREMIÈREMENT, NOUS REMERCIONS DIEU, LE TOUT PUISSANT, DE NOUS AVOIR DONNER LA SANTÉ ET LA VOLONTÉ POUR FAIRE CET HUMBLE TRAVAIL. JE TIENS À REMERCIER ET GLORIFIER LE TOUT PUISSANT ET MISÉRICORDIEUX D'AVOIR GUIDÉ NOS PAS AVEC CLAIRVOYANCE POUR ACCOMPLIR CE TRAVAIL ET DE LE MENER À TERME.

ON TIENT À EXPRIMER MA PLUS PROFONDE RECONNAISSANCE À :

NOS PARENTS QUI M'ONT TOUJOURS ENTOURÉ ET MOTIVÉ À SANS CESSE DEVENIR MEILLEUR.

NOS FRÈRES ET SŒURS QUI M'ONT ASSISTÉ DANS CES MOMENTS ET M'ONT SERVI D'EXEMPLE.

NOS PROMOTEURS **MR M.TAKDENTI** ET **MR M.GHERNAOUTI** POUR LEUR AIDE ET LEUR PRÉCIEUSE ATTENTION.

NOS COLLÈGUES QUI N'ONT CESSÉ DE M'ENCOURAGER.

NOS PROFESSEURS QUI DOIVENT VOIR DANS CE TRAVAIL LA FIERTÉ D'UN SAVOIR BIEN ACQUIS.

DÉDICACES

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À

MES TRÈS CHERS PARENTS QUI ONT FAIT DE MOI CE QUE JE SUIS AUJOURD'HUI ET QUI ONT VEILLÉ À GUIDER MES PAS DURANT TOUTE MA VIE PAR LEURS AIDES, LEURS GRANDES ÉMOTIONS, LEURS SACRIFICES, ET LEUR SOUTIEN ET ENCOURAGEMENT PENDANT LA RÉALISATION DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE.

MES AMIS DE LA PROMOTION : W.DEBIEB ; A.BENTOUATI ; S.ZERROUKI ; H.SALAOUATCHI ; L.KALACHE ; A.HASSNAOUI ; Y.DAHBINE .

MES PROFS : H.BENRAMDANE ; M.TAKDENTI ; N.AMOURA ; T.KHELILI ; A.ABDELLAH EL-HADJ ; A.ZEMIRLINE ; M.BOUMAHDI.

MES AMIS : M.MAZOUN ; D.MEDJADJI ; S.BENDAMERDJI ; T.GHANEMI ; K.MEKHTICHE ; Y.RAMOUL ; M.OUELDBABAALI ; B.GHERIBI ; F.TOUMI .

F.DIFALLAH ; M.BENSALLEM ; A.ATTAB ; T.LAIDI ;

TOUTE LA PROMOTION MÉCANIQUE 2024

الملخص :

الهدف من هذا المشروع هو تصميم قالب لحقن البلاستيك باستخدام برنامج **SOLIDWORKS** .تشمل الدراسة النظرية التي قمنا بها التركيز على أنواع القولبة البلاستيكية المختلفة و أنواع المواد البلاستيكية و خصائها، و أهمية حقن البلاستيك. و بعد ذلك، قمنا بالجانب العملي لهذا المشروع الذي يتضمن تصميم االقالب.

الكلمات المفتاحية : القالب, الحقن, البلاستيك.

Résumé :

L'objectif de ce projet est la conception d'un moule avec terroirs d'injection plastique à l'aide de logiciel **SOLIDWORKS**. Notre étude théorique a porté sur les différents types de moulage plastique, les types de matériaux plastiques et leurs propriétés, ainsi que sur l'importance du moulage par injection plastique. Nous sommes ensuite passés à la partie pratique du projet, à savoir la conception du moule.

Les mots clés : Moule, Injection, Plastique.

Abstract:

The objective of this project is to design plastic injection mold with splits using **SOLIDWORKS** software. Our theoretical study covered the different types of plastic molding, the types of plastic materials and their properties, and the importance of plastic injection molding. We then moved on to the practical part of the project, namely the design of the mold.

Keywords: Molding, Injection, Plastic.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : Généralités Sur Le Moulage 2
I.1 Introduction 3
I.2 Le moule 4
I.2.1 Différents types de moules 4
I.3 Les types de moulages 5
I.3.1 Moulage en sable 5
I.3.1.1 Moulage en sable manuel 7
I.3.1.2 Moulage en sable mécanique 7
I.3.2 Moulage en carapace 8
I.3.2.1 Principe 8
I.3.2.2 Les avantages 9
I.3.2.3 Les inconvénients 10
I.3.3 Moulage à la cire perdue 10
I.3.3.1 Principe 11
I.3.3.2 Les avantages du procédé 13
I.3.3.3 Les inconvénients du procédé 13
I.3.4 Moulage par centrifugation 13
I.3.4.1 Principe 13
I.3.4.2 Les types de machines de coulée centrifuge 15
I.3.4.2 Les avantages du processus de coulée centrifuge 16
I.3.4.2 Les inconvénients du processus de coulée centrifuge 16
I.3.4 Moulage en coquille 16
I.3.4.1 Moulage par gravité 16
I.3.4.1.1 Les avantages du moulage par gravité 17
I.3.4.1.2 Les inconvénients du moulage par gravité 17
I.3.4.2 Moulage sous pression 18
I.3.4.2.1 Les avantages moulage sous pression 18
I.3.4.2.2 Les inconvénients du moulage sous pression 18
I.4 Conclusion 18

CHAPITRE II : Généralités Sur Les Polymères Et Injection Plastique 19
II.1 Les polymères 20
II.1.1 Introduction 20
II.1.2 Définition 20
II.1.3 Les Thermoplastiques 20
II.1.3.1. Polymères amorphes 21
II.1.3.2 Polymères cristallins 21
II.1.3.3 Polymères semi-cristallins 21
II.1.3.4 Les avantages des thermoplastiques 22
II.1.3.5 Les inconvénients des thermoplastiques 22
II.1.4 Les Thermodurcissables 22
II.1.4.1 Les avantages des Thermodurcissables 23
II.1.4.2 Les inconvénients des Thermodurcissables 23
II.1.5 Appellation et Symboles 23
II.1.6 Les propriétés du polymère 24
II.1.7 Coloration des matières plastiques 25
II.1.7.1. Colorant à sec 25
II.1.7.2 Colorants dans la masse 26
II.1.8 Recyclage 26
II.1.9 Le Polychlorure de vinyle (PVC) 26
II.1.9.1 Définition 26
II.1.9.2 L'utilisation 26
II.1.9.3 Les propriétés du PVC 27
II.1.9.4 Les avantages et les inconvénients du PVC 27
II.2 L'injection plastique 27
II.2.1 Introduction 27
II.2.2 Définition du procédé 28
II.2.3 Principe de l'injection plastique 28
II.2.4 Les étapes du procédé 28
II.2.5 Les Presses d'injection 29
II.2.5.1 Fonctionnement d'une presse à injection et ses équipements périphériques 30
II.2.5.2 Les différentes parties d'une presse à injection 31
II.2.5.2.1 Unité d'injection 31
II.2.5.2.2 Unité de verrouillage 32
II.2.5.2.3 Le moule 34

II.2.6 La vis de plastification 34
II.2.7 Différents types des presses d'injection plastique 35
II.2.7.1 Presse à injection plastique horizontal 35
II.2.7.2 Presse à injection plastique vertical 35
II.3 Conclusion 35

CHAPITRE III : Technologie Des Moules 36
III.1 Introduction 37
III.2 Architecture des moules 37
II.2.1 Éléments de moule 37
II.2.2 Classification des moules 38
III.3 Les fonctions d'un moule 40
III.3.1 Fonction alimentation 40
III.3.1.1 La carotte 40
III.3.1.2 Les canaux d'alimentation 40
III.3.2 Les seuils 42
III.3.2.1 Les seuils circulaires coniques 42
III.3.2.2 Sous-marin 43
III.3.2.3 Sous-marin courbé 43
III.3.2.4 Seuils rectangulaires 43
III.3.3 Fonction régulation 44
III.3.3.1 Types des circuits de refroidissement 44
III.3.3.1.1 Circuits parallèles 45
III.3.3.1.2 Circuits en série 46
III.3.3.2 temps de refroidissement 47
III.3.3.3 Liquide de refroidissement 47
III.3.4 La fonction éjection 47
III.3.4.1 Les différents types d'éjecteur 47
III.3.4.2 Caractéristiques d'un système d'éjection 48
III.3.4.3 La sécurité d'éjection 49
III.3.5 Fonction évacuation d'aire 49
III.3.6 Fonction mise en forme 50
III.3.6.1 Démoulage des contres dépouille 51
III.4 Fonctions auxiliaires 52
III.4.1 Le maintien 52
III.4.2 Le positionnement 53

III.4.3 Le guidage 53
III.4.4 La manutention 55
III.5 Matériaux des moules 55
III.6 Conclusion 56

CHAPITRE IV : Conception D'un Moule Avec Terroirs 57
IV.1 Présentation du projet 58
IV.1.1 Ressources informatique 58
IV.1.1.1 Logiciel de conception et simulation mécanique 58
IV.1.1.2 : Logiciel de simulation 58
IV.1.2 Présentation de pièce 59
IV.1.3 Model CAO de pièce 60
IV.2 Vérification de conception 60
IV.2.1 Analyse de dépouille 60
IV.2.2 Analyse de contre dépouille 61
IV.2.3 Validation de la conception 62
IV.3 Conception du moule 62
IV.3.1 Introduction 62
IV.3.2 Création du plan de joint 62
IV.3.3 Création des blocs noyau - empreinte et coulisseau 63
IV.3.4 Conception des tiroirs 64
IV.3.4.1 Mécanisme des terroirs 65
IV.3.5 Conception de l'alimentation 66
IV.3.6 Conception de la régulation 67
IV.3.7 Conception du système d'éjection 68
IV.3.8 Conception de la carcasse 69
IV.3.9 Les composants standards 70
IV.4 Simulation rhéologique 72
IV.4.1 Données de la simulation 72
IV.4.1.1 Modèle 72
IV.4.1.2 Matériau 72
IV.4.1.3 Conditions du processus 72
IV.4.1.4 Conditions de Refroidissement 72
IV.4.2 Résultats de simulation 72

CONCLUSION GENERALE 80

Liste Des Figures

CHAPITRE I :

Fig (I. 1) : Schéma d'un moule 3
Fig (I. 2) : Les parties essentielles d'un moule en sable 6
Fig (I. 3) : Les opérations de moulage en sable 6
Fig (I. 4) : Les le matériel nécessaire pour le moulage en sable manuel 7
Fig (I. 5) : Moulage en sable mécanique 8
Fig (I. 6) : Principe de moulage en carapace 9
Fig (I. 7) : 8 Etapes de processus de moulage à cire perdus 10
Fig (I. 8) : Le principe de fonctionnement de la coulée centrifuge 14
Fig (I. 9) : machine de coulée centrifuge verticale 15
Fig (I. 10) : machine de coulée centrifuge horizontale 16
Fig (I. 11) : Moulage en coquille par gravité 17
Fig (I. 12) : Moulage en coquille sous pression 18

CHAPITRE II :

Fig (II. 1) : Structure moléculaire d'un polymère thermoplastique 21
Fig (II. 2) : Morphologie des thermoplastiques 22
Fig (II. 3) : Structure moléculaire d'un polymère Thermodurcissables 23
Fig (II. 4) : Les étapes du procédé d'injection-moulage 29
Fig (II. 5) : Principe de la presse d'injection 30
Fig (II. 6) : Schéma d'une presse à injection de plastique 30
Fig (II. 7) : Les unités d'une presse 31
Fig (II. 8) : L'unité d'injection 32
Fig (II. 9) : Fermeture Mécanique 33
Fig (II. 10) : Fermeture hydraulique 33
Fig (II. 11) : Fermeture mixte 33
Fig (II. 12) : Architecture d'une vis Injection plastique 34
Fig (II. 13) : vis pour matière amorphe 35
Fig (II. 14) : vis pour matière semi-cristalline 35

CHAPITRE III :

Fig (III. 1) : Un moule standard 38
Fig (III. 2) : Moule à deux plaques 38
Fig (III. 3) : Moule à trois plaques 39
Fig (III. 4) : Représentation du system d'alimentation 40
Fig (III. 5) : Représentation de la carotte (en rouge) 40
Fig (III. 6) : Représente les canaux d'alimentation 41
Fig (III. 7) : Les différents types de canaux d'alimentation et leurs usinages associés 41
Fig (III. 8) : Seuils d'injection (en rouge) 43
Fig (III. 9) : Seuil sous-marin 43
Fig (III. 10) : Seuil sous-marin courbé 43
Fig (III. 11) : Représentation des différents types des seuils rectangulaire 44
Fig (III. 12) : différents types de circuits de refroidissement 45
Fig (III. 13) : Deux types de cycles de refroidissement pour le terroir 45
Fig (III. 14) : Circuit parallèle 46

Fig (III. 15) : Circuit en série 47
Fig (III. 16) : Ejecteur cylindrique 48
Fig (III. 17) : Ejecteur tubulaire et lame 48
Fig (III. 18) : Forme d'une pièce sans dépouille 50
Fig (III. 19) : Forme d'une pièce avec dépouille 50
Fig (III. 20) : Forme ayant de contre dépouille 51
Fig (III. 21) : Rondelle de centrage 53
Fig (III. 22) : Représentation du système de guidage des moules 54
Fig (III. 23) : Tolérances applicable au guidage 54

CHAPITRE IV :

Fig (IV. 1) : Représentation de la pièce 59
Fig (IV. 2) : Le catalogue API PLASTIQUES. 60
Fig (IV. 3) : Model CAO de la pièce 60
Fig (IV. 4) : Résultat d'analyse de dépouille. 61
Fig (IV. 5) : Représentation du résultat d'analyse de contre dépouille. 61
Fig (IV. 6) : Représente du plan de joint. 62
Fig (IV. 7) : Model de l'empreinte et du noyau. 63
Fig (IV. 8) : Représentation des quatre nez de coulisseau. 63
Fig (IV. 9) : Emplacement des coulisseaux sur le block noyau. 64
Fig (IV. 10) : Choix des tiroirs. 64
Fig (IV. 11) : vérin hydraulique à double effet 65
Fig (IV. 12) : Mécanisme des terroirs. 66
Fig (IV. 13) : Conception de l'alimentation. 67
Fig (IV. 14) : Les canaux de refroidissement de l'empreinte 67
Fig (IV. 15) : Les canaux de refroidissement des terroirs 68
Fig (IV. 16) : Lame déviation filetage conique 68
Fig (IV. 17) : Système d'éjection 69
Fig (IV. 18) : Carcasse du moule. 70
Fig (IV. 19) : Bague de centrage. 71
Fig (IV. 20) : La buse d'injection 71
Fig (IV. 21) : Validité de l'analyse 72
Fig (IV. 22) : Temps de remplissage. 73
Fig (IV. 23) : Pression à la fin de remplissage. 74
Fig (IV. 24) : Température à la fin du remplissage. 75
Fig (IV. 25) : Retrait Volumique à l'injection. 76
Fig (IV. 26) : Facilité de remplissage 77
Fig (IV. 27) : Bulles D'air Events 78
Fig (IV. 28) : Points choisis dans les pièces 79
Fig (IV. 29) : la courbe de changement de température en fonction du temps 79

Liste Des Tableaux

CHAPITRE I :

Tab (I. 1) : Les types de moulage 5

CHAPITRE II :

Tab (II. 1) : Tableau d'appellation et symboles des Polymères 24
Tab (II. 2) : les caractéristiques physiques de quelques polymères usuels 25
Tab (II. 3) : Propriétés mécaniques et thermiques du PVC 27
Tab (II. 4) : Les avantages et les inconvénients du PVC 27

CHAPITRE III :

Tab (III. 1) : Critères de choix des différents types de canaux 42
Tab (III. 2) : Représente Démoulage des contres dépouille (terroirs) 51
Tab (III. 3) : Matériaux des moules 55

CHAPITRE IV :

Tab (IV. 1) : Dimension et cotes nominales de la pièce. 59

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la révolution industrielle, le secteur du plastique a connu une croissance significative. La transformation des thermoplastiques, en tant que processus de production, n'a cessé de progresser et de devenir de plus en plus précise, automatique et rapide. Ce développement a profondément modifié la notion de "moule" en passant du concept primitif au concept virtuel avec l'émergence de la 3D.

La technique du moulage, qui permet la réalisation en série d'une forme préalablement élaborée, est devenue essentielle pour la production de masse. Le moulage, dans sa forme la plus primitive, était réalisé à partir de sable, de cire perdue ou de moules rigides. De nos jours, grâce à l'évolution technologique majeure que l'humanité a connue, le moulage par "injection" est largement utilisé par les industriels. L'injection plastique est la méthode la plus couramment utilisée en raison de son coût réduit et des caractéristiques du matériau utilisé qui permettent d'obtenir un produit fini très flexible en termes de forme et de dimensions. Grâce à ces caractéristiques, les matériaux tels que l'acier et le bois ont été remplacés par le plastique dans les secteurs de l'emballage, de la construction et de l'industrie automobile, en particulier.

On s'intéresse dans ce mémoire par l'étude, la conception d'un moule avec terroirs. La conception de moule sera réalisée à l'aide de logiciel **SOLIDWORKS**.

Le présent mémoire se compose de 4 chapitres principaux :

- ***Le premier chapitre*** **:** contient les Généralités Sur Le Moulage.
- ***Le second chapitre*** **:** consiste à Généralités Sur Les Polymères et Injection Plastique.
- ***Le troisième chapitre*** **:** Technologie Des Moules
- ***Le dernier chapitre*** **:** contient la Conception D'un Moule Avec Terroirs.

CHAPITRE I :

Généralités Sur Le Moulage

I.1 Introduction :

Les organes et composants des machines et appareils sont fabriqués à partir de diverses méthodes de fabrication, notamment le forgeage, l'usinage, l'estampage, la fonderie, etc.

La fonderie ou le moulage est un ensemble de procédés utilisé pour fabriquer des pièces métalliques brutes. Le processus de moulage implique la coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal, qui représente l'empreinte de la pièce à obtenir. Lorsque le métal se solidifie, il reproduit les contours et les dimensions de l'empreinte du moule.

La réussite d'un moulage nécessite une réflexion approfondie et un sens développé de l'esthétique. Avant de commencer toute opération, il est essentiel d'étudier attentivement les formes et de saisir les moindres détails. Avec de l'expérience, cette observation minutieuse du modèle permet de déterminer le choix de la technique et des produits à utiliser.

La technique du moulage vise le plus souvent la fabrication d'objets en série plus ou moins importante. Dans la coulée sous-pression, l'objet une fois solidifié peut être libéré (démoulage) sans détérioration du moule, et dans le moulage sable, on fabrique autant de moules que de pièces (cas de la fonderie au sable). [1]

La technique de fonderie est le plus souvent utilisée, car elle est non seulement économique, mais :

- Elle permet de produire des pièces de formes complexes (difficilement réalisables par usinage ou par d'autres procédés).
- La série des pièces est identique.
- L'obtention de pièces massives telles que bâtis, volants, etc... [2]

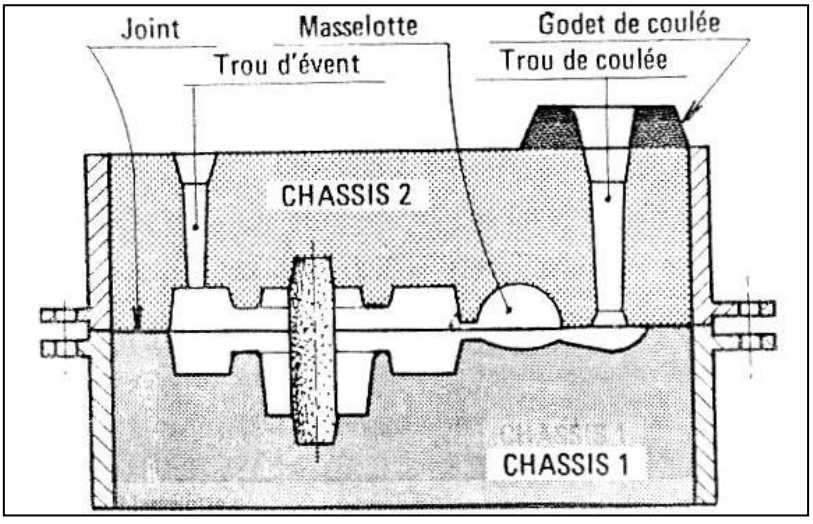


Fig (I. 1) : Schéma d'un moule [2]

Dans la spécialisation de la fonderie, on distingue pratiquement les fonderies suivantes :

- **La nature des métaux et alliages :**

- Fonte
- Acier.
- Aluminium et ses alliages.
- Cuivre. Bronzes, laitons, etc.

- **Selon l'utilisation :**

- Fonderie d'art.
- Fonderie d'ornement (bijoux).
- Fonderie de mécanique industrielle.

- **Selon le procédé de moulage :**

- Moulage en sable (manuel ou mécanique).
- Moulage en carapaces.
- Moulage à la cire perdue.
- Moulage en coquilles (moule permanent).

Dans ces procédés, le moule peut être permanent ou non permanent (destructible). [2]

I.2 Le moule :

Un moule est l'ensemble des éléments appropriés, délimitant l'empreinte, et recevant le métal liquide qui après solidification donnera la pièce. Un moule comprend une ou plusieurs parties qui peuvent être séparées l'une de l'autre (châssis, chapes, coquilles). La surface commune aux deux demi moules porte le nom de plan de joint même si cette surface ne forme pas un plan. On distingue deux types de moules, à savoir les moules non permanents et les moules permanents. [3]

I.2.1 Différents types de moules :

Le moule non permanent ou "moules perdus", généralement en sable**,** est utilisé qu'une seule fois, pour extraire la pièce. Il faut le détruire, l'empreinte est obtenue par moulage du matériau constitutif autour d'un modèle réalisé en bois ou en métal. [3]

Le moule permanent qu'on appelle aussi « coquilles », peut servir un grand nombre de fois, il est réalisé en plusieurs parties pour faciliter l'extraction de la pièce. Il est utilisé surtout lorsque la quantité de pièces à couler est importante. On distingue les procédés suivants : [3]

- Moulage en coquille par gravité.
- Moulage sous pression.
- Moulage par centrifugation.

I.3 Les types de moulages :

Le choix des procédés de moulage en dépend du métal à couler. En général la température de fusion du métal coulé doit être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule.

Comme il est mentionné ci-dessous, le moulage est généralement très économique, mais les caractéristiques d'un alliage coulé sont plus faibles que celles du même alliage forgé Les défauts de fonderie, fréquents dans les pièces moulées, diminuent encore leur résistance globale, certains de ces défauts, dus aux gaz occlus ou à la contraction du métal au refroidissement, mais peuvent-être évités par un tracé judicieux des formes. [3]

Métaux Et températures de fusion	Moulage En sable	Moulage En coquille
Fontes : 1100 à 1250°C Aciers : 1200 à 1500°C	- Moulage en sable avec ou sans noyau. - Moulage en carapace : procédé Croning. - Moulage à la cire perdue	Moulage impossible sans détériorer les coquilles.
Cuivre et ses alliages : Laiton : 940°C Aluminium et ses alliages : Alpax et Zamack : Environ 610°C	Moulage en sable : - Pour les grosses pièces. Exemples : - Cloches en bronze. - Hélices de bateaux. - Pour les petites séries.	Moulage en coquille : - Pour les grandes séries. - Avec ou sans pièce (prisonnier) insérée au moulage - Par gravitation ou sous pression. Exemples : - Carter de boîte de vitesses (alpax) - Corps de carburateur (zamack).

Tab (I. 1) : Les types de moulage [2]

I.3.1 Moulage en sable :

Le procédé de moulage en sable implique la coulée de métal en fusion dans un moule en sable créé sur la base d'un modèle ayant la forme de la pièce désirée. Cette méthode, la plus ancienne, convient à la plupart des métaux et alliages, s'avérant particulièrement adaptée aux petites séries de production et aux pièces de grandes dimensions.

Un moule simple est constitué de deux parties : la partie supérieure et la partie inférieure. La figure (I.2) représente un moule en sable avec les différentes parties essentielles. Le métal en fusion est coulé à travers le trou du système de coulée, en traversant les canaux jusqu'au remplissage de l'empreinte. Après refroidissement et solidification, la pièce est sortie pour subir les différentes opérations de finition. [2]

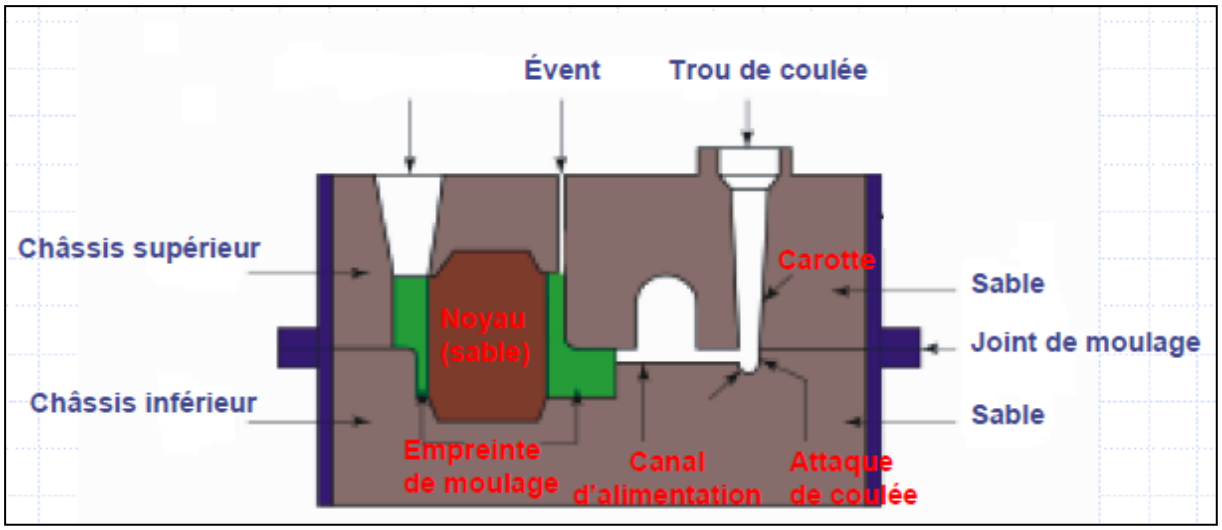


Fig (I. 2) : Les parties essentielles d'un moule en sable [4]

L'ensemble des opérations de moulage en sable est donné par le schéma ci-dessous :

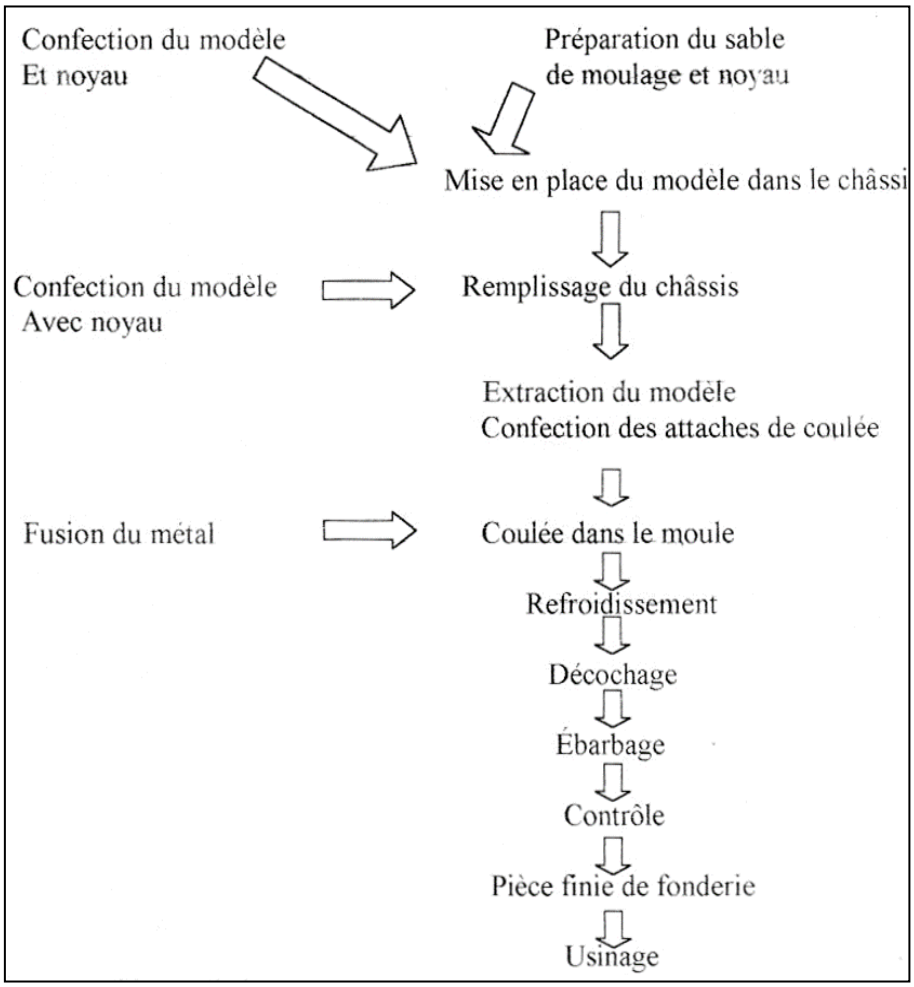


Fig (I. 3) : Les opérations de moulage en sable [3]

Dans le moulage en sable on distingue deux types de moulages :

- Le moulage manuel.
- Le moulage mécanique.

I.3.1.1 Moulage en sable manuel :

Le moulage en sable manuel est principalement employé pour la production de pièces uniques et de grandes dimensions, qui ne sont pas réalisables à l'aide de machines de moulage. [3]

La Figure (I.4) représente le matériel nécessaire pour le moulage en sable manuel.

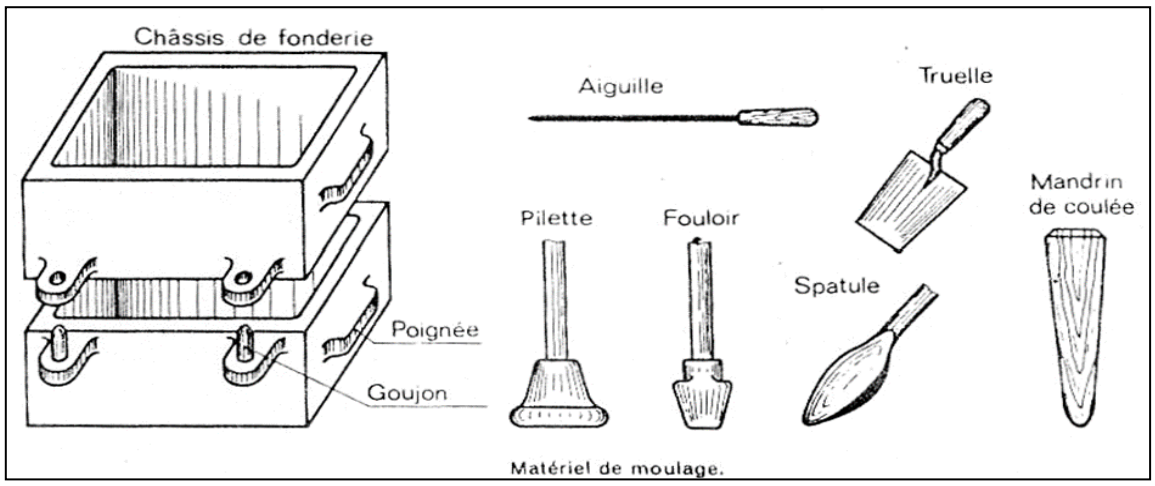


Fig (I. 4) : Les le matériel nécessaire pour le moulage en sable manuel [3]

La productivité du moulage en sable manuel est limitée, ce qui le rend adapté principalement à la production unitaire. En général, le moulage mécanique ou d'autres procédés spéciaux tels que le moulage en coquille sous pression, centrifuge, en carapace ou en cire perdue sont plus couramment utilisés.

I.3.1.2 Moulage en sable mécanique :

Le moulage en sable à la main ne se pratique que pour un nombre réduit de pièces ou pour des pièces volumineuses. Le serrage du sable à la main prend du temps, il est fatiguant et peu régulier. [4]

De plus le démoulage est délicat car s'il n'est pas fait verticalement, les arrachements du sable imposent des retouches et peuvent rendre le moule inutilisable. Tous ces inconvénients peuvent être supprimés par le moulage mécanique. Donc dans le moulage mécanique, le sable est serré mécaniquement soit pression et/ou par secousses.

L'empreinte de la pièce n'est plus donnée par un modèle ordinaire, mais par un modèle fixe sur un support dont l'ensemble est appelé plaque modèle, d'où les pièces obtenues par moulage mécanique sont limitées en dimension par la grandeur des châssis. [3]

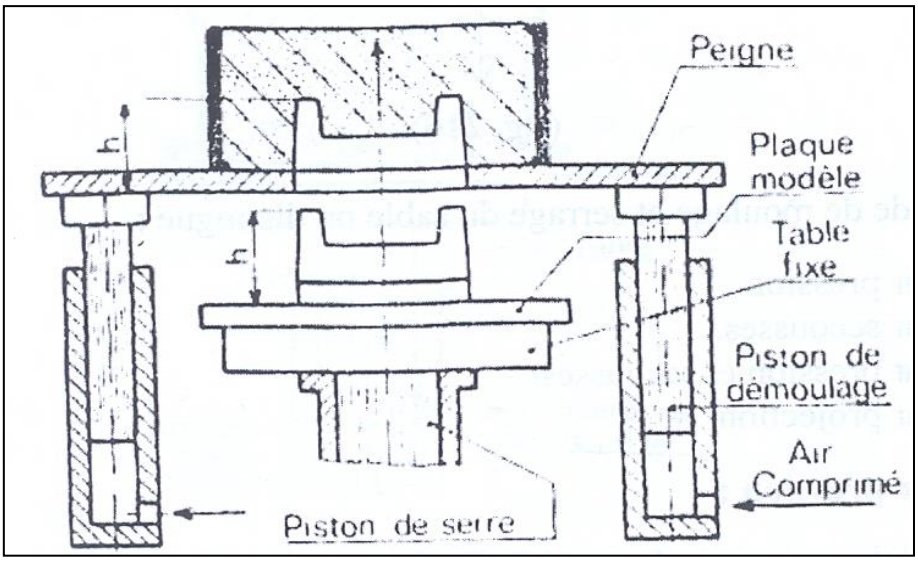


Fig (I. 5) : Moulage en sable mécanique [4]

I.3.2 Moulage en carapace :

Ces moules sont très précis, ils conviennent pour la réalisation de prototypes coulés sans investir dans des équipements lourds d'outillages. Presque tous les matériaux usuels pour la coulée en sable (alliages de magnésium, d'aluminium, acier) peuvent être utilisés. L'utilisation de ce matériau standard qu'est le sable Croning permet l'obtention de pièces coulées très proches de la série, et évite les problèmes de fonderie liés à la matière du moule.

I.3.2.1 Principe :

Le mélange sable - résine - catalyseur est mis au contact d'un outillage métallique chauffé à une température voisine de 300 °C. En quelques dizaines de secondes, il se forme une carapace de sable durcie par polymérisation autour du modèle. L'excédent de sable non polymérisé est éliminé par renversement de l'outillage. Les noyaux pleins ou évidés sont réalisés de façon analogue. Ce procédé permet de faire des pièces d'une grande précision dimensionnelle, d'un bel état de surface mais d'un poids limité à 30 kg environ. On utilise pour ce procédé, un sable spécial à base de résines thermodurcissables qui, mis au contact d'une plaque modèle chauffée à une température d'environ 200°c, durcit sur une couche de quelques millimètres => Carapace.

A chaque carapace correspond un demi-moule, qui sera polymérisé puis collé sous presse (deux à deux). [5]

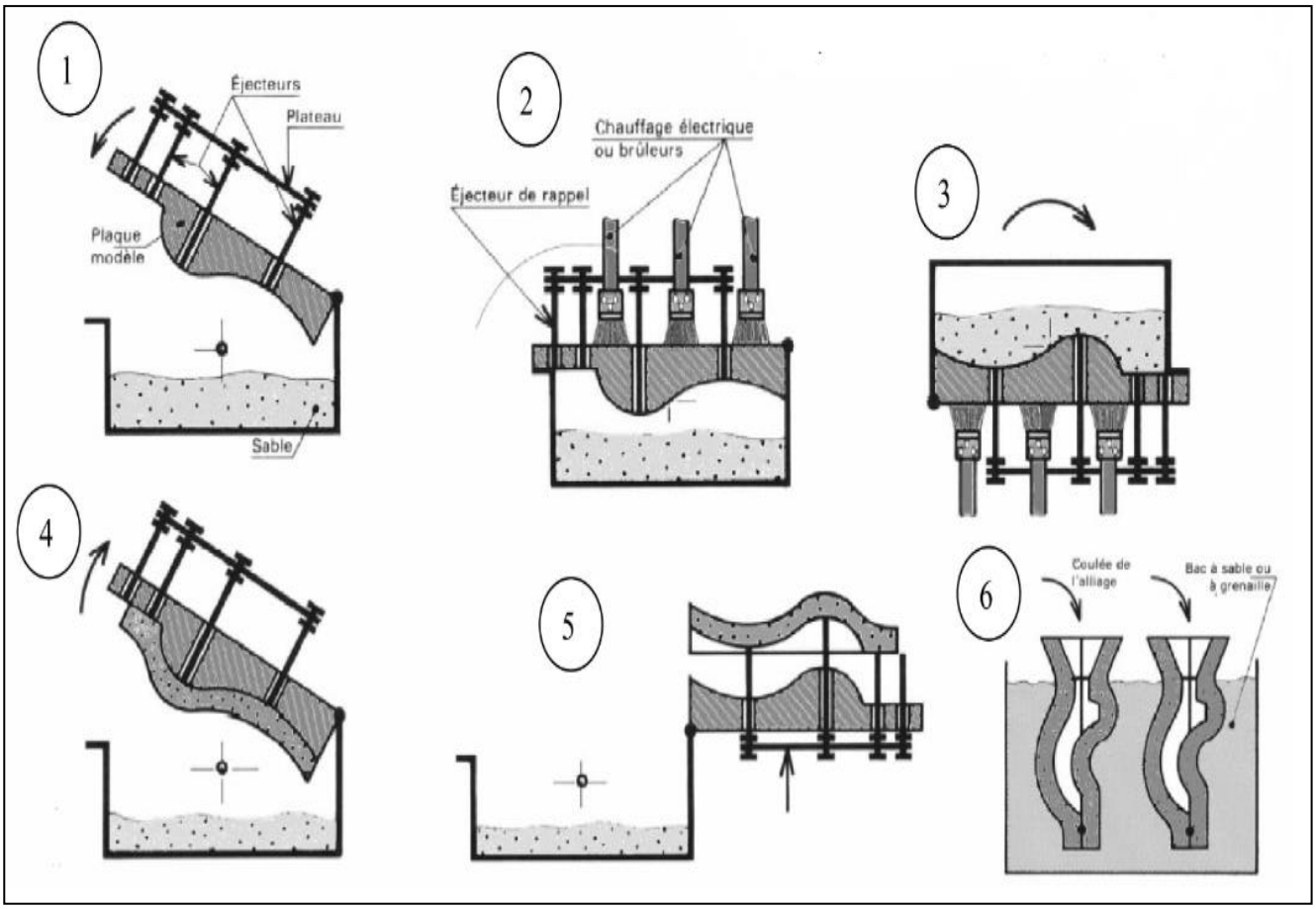


Fig (I. 6) : Principe de moulage en carapace [5]

1 : On met la plaque modèle sur le bac.

2 : On chauffe la plaque modèle à l'aide des brûleurs.

3 : On retourne l'ensemble plaque modèle - bac.

4 : On obtient la polymérisation du sable spécial à base de résines thermodurcissables et on retire la plaque modèle avec la carapace.

5 : On éjecte la carapace à l'aide des éjecteurs.

6 : On introduit la carapace dans un bac de sable et on coule le métal en fusion.

I.3.2.2 Les avantages :

- Précision dimensionnelle élevée.
- Très bel état de surface.
- Usinage réduit (inexistant parfois).
- Décochage et nettoyage des pièces très facile.
- Ebarbage réduit.
- Possibilité de couler de faibles sections.
- Faible mise au mille.
- Conservation illimitée des moules et des noyaux.
- Pas de reprise d'humidité.
- Main d'œuvre non spécialisée.

- Automatisation poussée.
- Légèreté, manutention aisée, moins de fatigue physique.

I.3.2.3 Les inconvénients :

- Résine chère.
- Prix de l'outillage (à amortir sur grandes séries).
- Mises au point délicates.
- Odeurs, fumées.
- Contrôle poussé des temps, des matières, des températures.
- Limite en poids. [5]

I.3.3 Moulage à la cire perdue :

Les différents procédés de moulage étudiés précédemment partent tous du principe suivant : le moule est en deux ou plusieurs parties afin de pouvoir en sortir le modèle ou donner l'empreinte voulue à chacune des parties. L'expérience montre qu'un tel moule, même si les différentes parties sont assemblées avec beaucoup de soins, ne permet pas d'atteindre une grande précision. [3]

Ce procédé de moulage, s'applique à tous types de pièces mécaniques, des petites aux grandes dimensions, de quelques grammes à des pièces allant jusqu'à 25 Kg, de formes simples à déformes compliquées, de tolérances larges à des tolérances plus réduites et de rugosité R a de 1,6 à 0,8µm. Ce procédé s'applique à la fonderie des matériaux à haut point de fusion impossible dans des moules métalliques. Le moule, en matériau réfractaire (céramique), est composé d'une seule pièce.

Habituellement, il y a 8 étapes de processus de moulage de précision dans la fonderie de moulage de précision. [4]

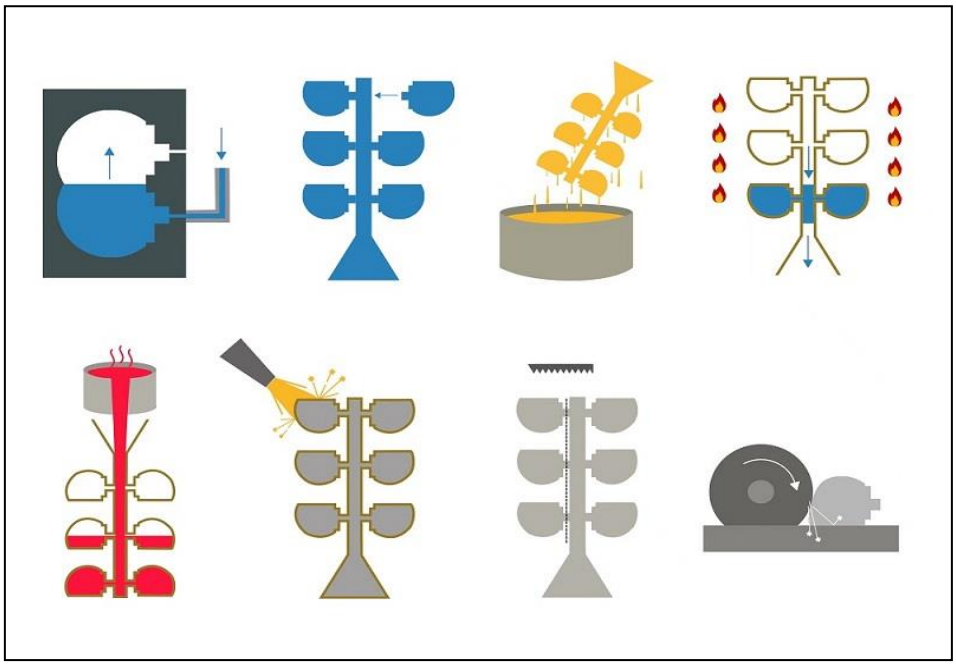


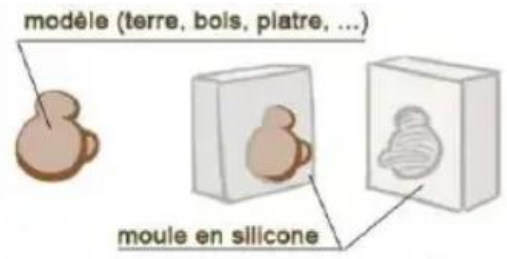
Fig (I. 7) : 8 Etapes de processus de moulage à cire perdus [6]

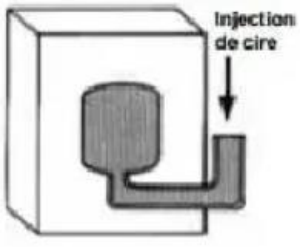
I.3.3.1 Principe :

Soit à produire la pièce suivante par moulage à la cire perdue : [4]

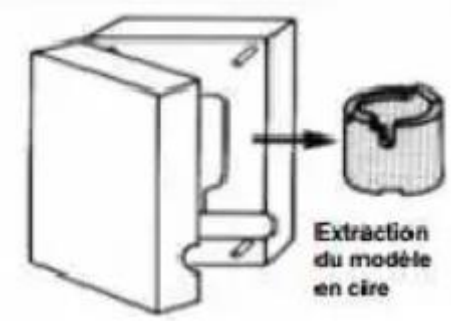


Etape 1 : Elaboration d'un moule (qui peut être métallique : en aluminium, en bronze ou en laiton usiné avec une grande précision et parfaitement polis, ou en silicone où le modèle est en bois, en argile ou autre) comportant l'empreinte de la pièce. Ses dimensions sont déterminées en tenant compte de retraits de la cire, du métal coulé et de la dilatation du revêtement réfractaire du moule.

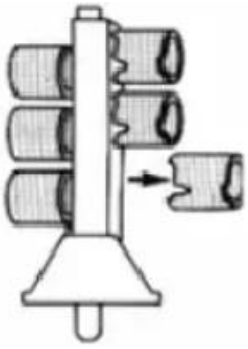




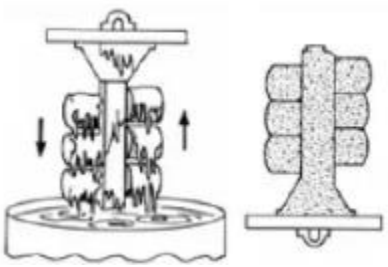
Etape 2 : Elaboration des modèles en cire : injection de la cire sous forte pression.



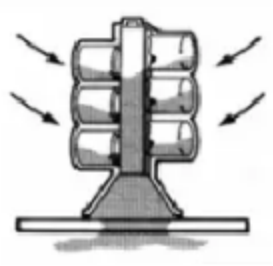
Etape 3 : Elaboration de la grappe : réunion des modèles en cire selon la masse de la pièce.



Etape 4 : Saupoudrage : immersion de la grappe dans un matériau réfractaire afin d'obtenir une épaisseur suffisante pour résister aux différentes manutentions et au poids de l'alliage après coulée.

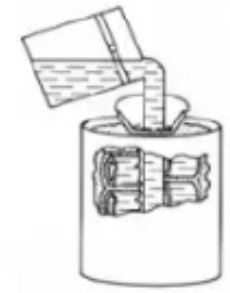


Etape 5 : Chauffage : élimination de la cire.

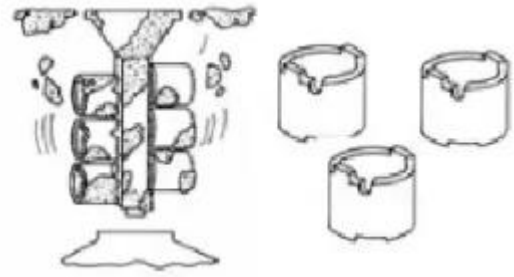


Etape 6 : Séchage puis cuisson à l'autoclave de la barbotine pour durcir le matériau réfractaire.

Etape 7 : Coulée de l'alliage dans le moule en céramique sous lequel on fait le vide.



Etape 8 : Destruction de la carapace pour libérer les pièces par jet d'eau sous pression ou décochage + tronçonnage des pièces de la grappe + ébavurage à la meule + polissage au jet de sable.



Note :

- Dans plusieurs cas, on procède à des tests de radiographie pour s'assurer de l'intégralité des pièces.
- Ce procédé est utilisé pour fabriquer des pièces de grande précision pour l'industrie aérospatiale, de l'équipement médical (les prothèses dentaires), des pompes à gaz, des soupapes, des caméras, des cames, des objets d'art, des bijoux, des porte-outils de coupe, etc.

- Ce procédé est utilisé pour façonner des matériaux difficiles à mouler et difficiles à usiner tel que les aciers inoxydables, les alliages de nickel et les alliages de cuivre. [4]

I.3.3.2 Les avantages du procédé :

- Permet une production en grande série de pièces complexes qui seraient difficiles ou impossibles à obtenir avec d'autres procédés de moulage ou par usinage.
- Permet de reproduire des détails compliqués avec une grande précision et une rugosité faible.
- Est utilisable pour des métaux disposant d'une très haute température de fusion.

I.3.3.3 Les inconvénients du procédé :

- Ne permet pas d'avoir des pièces massives.
- Induit un coût d'outillage élevé pour des pièces de masses supérieures à 12 Kg. [4]

I.3.4 Moulage par centrifugation :

Le terme décrit un ensemble de processus et de techniques de coulée qui reposent sur les forces générées pendant la révolution (forces centrifuges) pour diffuser le métal présent jusqu'à la limite extérieure des formes rondes. Les forces centrifuges maintiennent le métal en fusion sur le bord suffisamment longtemps pour qu'il se solidifie et finisse par devenir un matériau de haute qualité, même dans les conditions les plus difficiles.

Le processus de coulée centrifuge fournirait la plus haute qualité sans faire monter en flèche les coûts ou d'autres exigences de traitement. [7]

I.3.4.1 Principe :

Le processus de coulée centrifuge commence par le remplissage du métal liquide par une matrice à haute température qui tourne. La matrice peut être sur un pivot vertical ou plat en fonction des spécifications détaillées de la conception. [7]

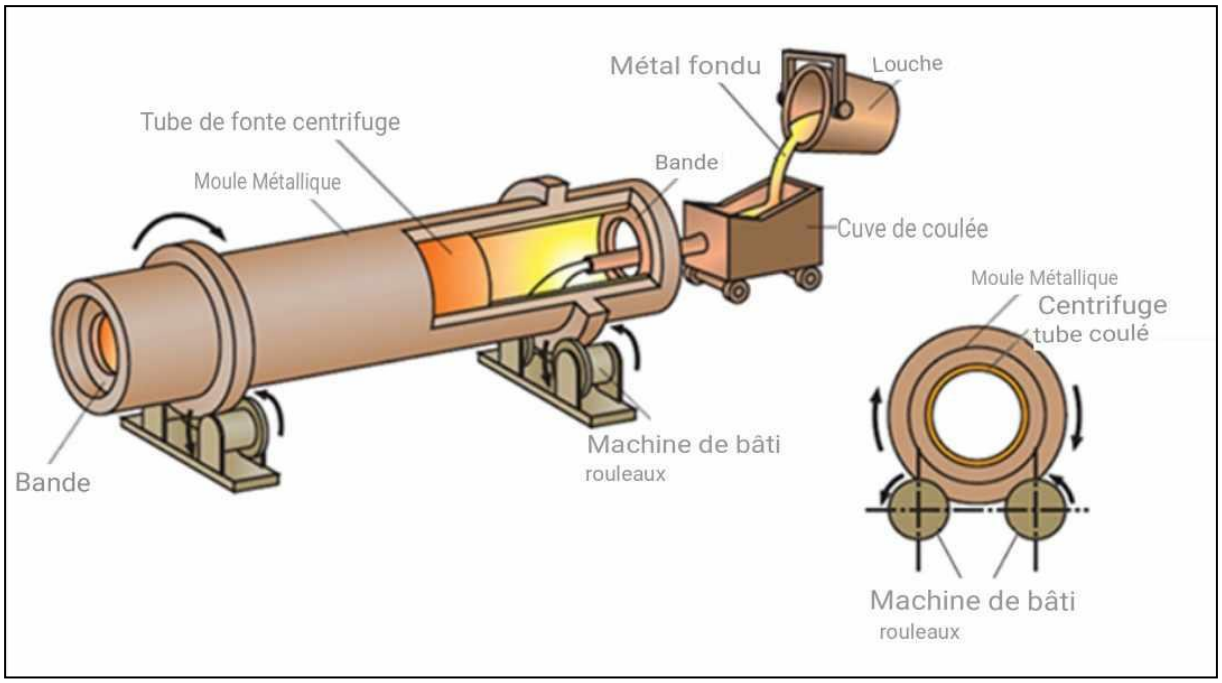


Fig (I. 8) : Le principe de fonctionnement de la coulée centrifuge [7]

Ce passage décrit le processus de moulage centrifuge, où la puissance centrifuge est utilisée pour diffuser le métal liquide sous pression à haute vitesse. Cette pression garantit l'absence de fissures ou de défauts dans le matériau. Le métal liquide plus épais se déplace vers l'extérieur de rotation tandis que le matériau moins épais avec des impuretés est poussé vers le centre.

Une fois que le métal se solidifie dans la matrice, la pièce est retirée et les imperfections restantes sont éliminées par usinage. Ce processus permet d'obtenir un matériau de haute qualité sans cavités internes ni bulles d'air.

Voici les étapes simples du processus de coulée centrifuge de base lorsque votre moule est prêt :

- Le début est comme n'importe quel processus de coulée, où le métal est chauffé au-delà de son point de fusion
- La deuxième étape consiste à faire tourner le moule pour le préparer au coulage. Généralement, le taux de rotation est compris entre 300 et 3000 tr/min. Cependant, le nombre réel dépend des spécificités du projet.
- La prochaine étape commence par le coulage. Il s'agit d'un processus relativement simple car il ne nécessite aucune préparation particulière.
- Cependant, il faut être prudent car le processus se déroulera pendant que le moule tourne.
- Une fois le versement terminé, l'étape suivante démarre automatiquement. La rotation facilite le processus de refroidissement mais crée suffisamment de pression dans le moule pour garantir qu'il n'y a aucun risque de défauts associés au processus de coulée.
- Après refroidissement, l'étape suivante est similaire à la façon dont se déroule tout processus de coulée. Tout ce qui reste à faire, c'est retirer le moule du rouleau et d'extraire le matériau du moulage.

- Enfin, peaufinez le produit final. La rotation centrifuge pousse les impuretés du matériau vers les bords et vous pouvez les usiner pour obtenir la qualité dont vous avez besoin. [7]

I.3.4.2 Les types de machines de coulée centrifuge :

Il est généralement possible de choisir entre une machine de coulée centrifuge verticale ou horizontale. Le principe de base du processus de coulée centrifuge reste le même, et la principale différence réside dans l'axe de rotation. Cependant, les deux types de machines présentent certains avantages et inconvénients. Il est donc essentiel d'obtenir tous les détails nécessaires avant de prendre une décision.

• Machine de coulée verticale :

Comme son nom l'indique, les machines de coulée centrifuge verticale fonctionnent sur l'axe vertical où le moule tourne autour de l'axe y. L'orientation permet l'utilisation de graphite, de céramique ou d'autres matériaux similaires pour le moule, ce qui se traduit par des matériaux de meilleure qualité. En conséquence, l'exigence de post-traitement comme l'usinage et la fabrication diminue car le matériau résultant est déjà exempt d'impuretés en raison de la conception.

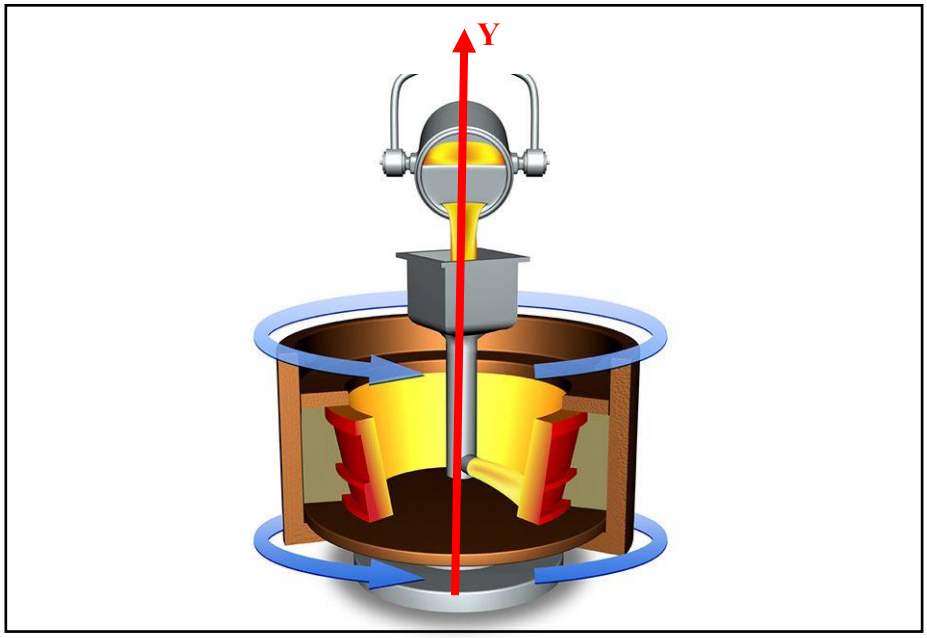


Fig (I. 9) : machine de coulée centrifuge verticale [8]

De plus, le processus vertical ne limite pas non plus la production de matériaux à la symétrie uniquement. Cependant, la largeur de lancer sera le double de sa hauteur, ce qui limite naturellement la taille à laquelle on veut faire face. [7]

• Machine de coulée horizontale :

La méthode horizontale est une méthode efficace et économique qui vous permet de produire rapidement des tuyaux, des tubes et d'autres produits similaires. Comme son nom l'indique, le processus a lieu lorsque le moule tourne autour de l'axe horizontal ou x.

Du point de vue des perspectives, les machines de coulée horizontale sont également très différentes. Vous pouvez les reconnaître à leurs larges perspectifs et à leur grand boîtier en acier qui tourne horizontalement à des vitesses importantes. Généralement, les machines horizontales produisent moins de vibrations malgré leurs longueurs en raison de leur poids supplémentaire qui les aide à compenser les forces de gravitation lors de la rotation. [7]

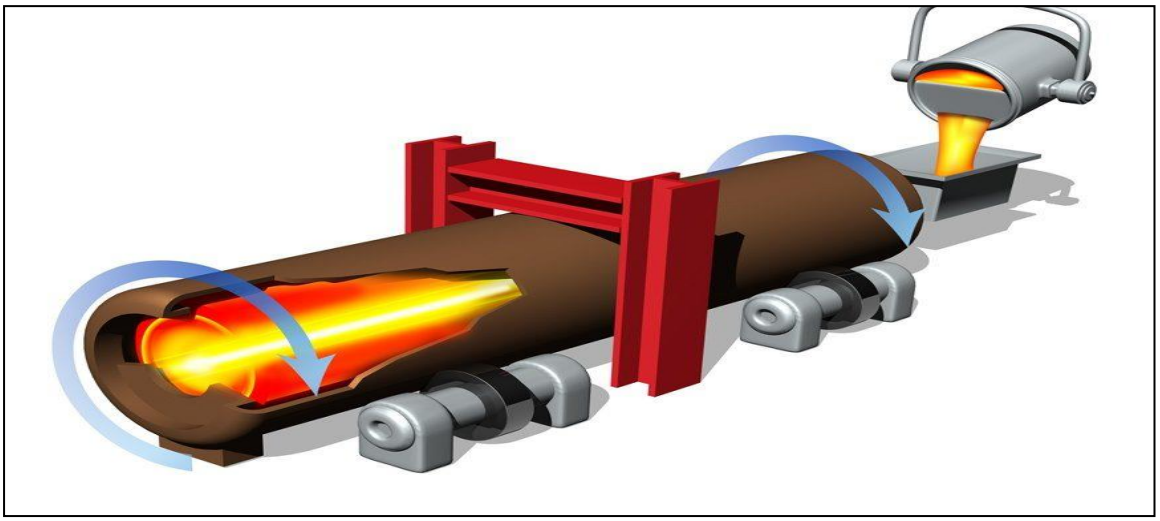


Fig (I. 10) : machine de coulée centrifuge horizontale [8]

I.3.4.2 Les avantages du processus de coulée centrifuge :

- Plus facile à insérer des cylindres à paroi mince qui sont extrêmement gourmands en ressources et difficiles à travers d'autres alternatives.
- De meilleures qualités microscopiques pour fournir des produits plus durables.
- Peut produire des moulages complexes à moindre coût sans compromettre la qualité.
- Les produits peuvent résister à la corrosion atmosphérique en raison d'un nombre inférieur de défauts de ligne et d'une densité élevée.
- Très facile à éliminer les impuretés des produits finaux.

I.3.4.2 Les inconvénients du processus de coulée centrifuge :

- Les produits avec un diamètre intérieur plus petit auront les mêmes impuretés.
- Inefficace pour les formes qui n'ont pas de profil circulaire.
- Limitation de la taille. [7]

I.3.4 Moulage en coquille :

Le métal fondu, est coulé dans un moule métallique nommé "coquille" soit par gravité soit sous pression. La température de fusion du métal coulé doit être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule. Dans le moulage par gravité, le métal fondu est versé directement dans le moule par le canal de coulée et dans le moulage sous pression le métal fondu est injecté dans le moule au moyen d'une pompe qui exerce sur le métal des pressions très élevées. Le moulage sous pression nécessite des presses très puissantes. [4]

I.3.4.1 Moulage par gravité :

Le moule métallique est composé de parties assemblées (en fonte ou en acier mi-dur) positionnées par des goujons, un canal de coulée, des évents, des tirées d'air, des extracteurs pour l'éjection de la pièce et un ou plusieurs noyaux. [4]

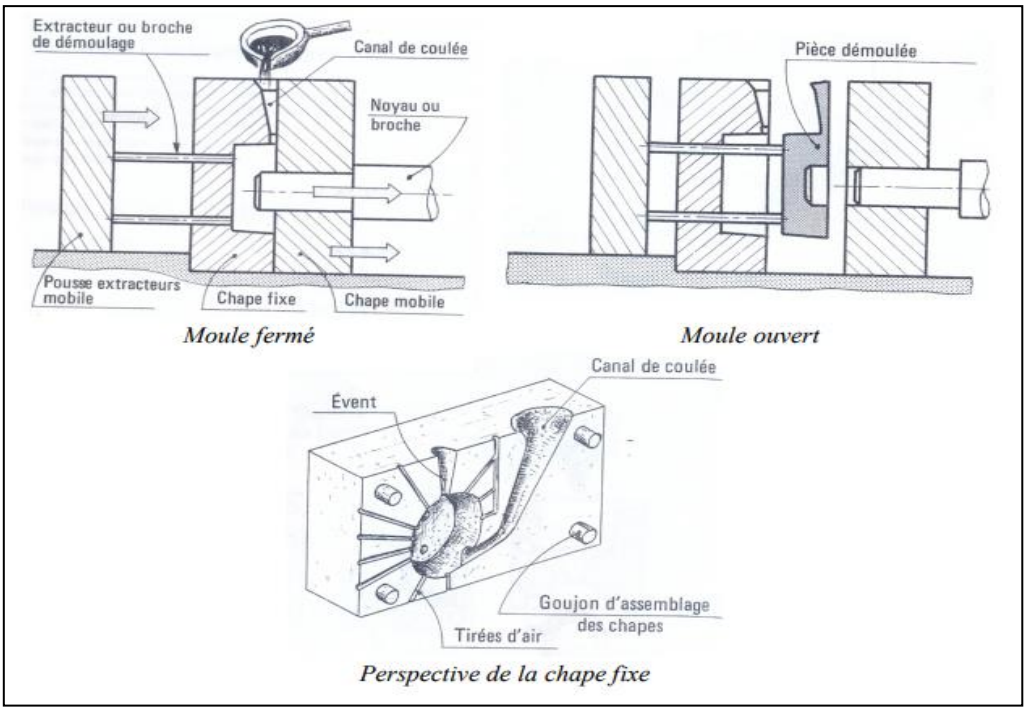


Fig (I. 11) : Moulage en coquille par gravité [4]

- **Les chapes :** blocs usinés qui constituent la partie principale de l'empreinte en donnant les formes extérieures de la pièce. Le positionnement des chapes est assuré par des goujons.
- **Broche :** il s'agit de noyaux cylindriques de faible section et de longueur importante.

Ainsi les opérations à effectuer pour chaque coulée sont :

- Chauffage du moule,
- Poteyage du moule (un produit de poteyage peut être composé d'un mélange de plomb, d'eau et de silicate de soude),
- Fermeture du moule et mise en place de la broche,
- Coulée du métal,
- Extraction de la broche et ouverture du moule après solidification du métal,
- Démoulage de la pièce. [4]

I.3.4.1.1 Les avantages du moulage par gravité :

- Ce type de moulage convient pour une production élevée et pour des petites pièces qui ont des épaisseurs uniformes et des trous simples.
- Par rapport au moulage en sable, ce procédé favorise l'obtention des pièces plus uniformes et des tolérances serrées, un état de surface meilleur et des coûts de fabrication moindres.
- Une coquille supporte de 5 000 coulées pour les métaux lourds jusqu'à 20 000 pour les métaux légers.

I.3.4.1.2 Les inconvénients du moulage par gravité :

- Avec ce procédé, on ne peut pas concevoir des trous de diamètre inférieurs à 6mm.
- Avec ce procédé, on ne peut pas mouler des filets extérieurs ou intérieurs ainsi que des rainures.
- Prix de revient des coquilles chers.

I.3.4.2 Moulage sous pression :

Dans ce procédé, le métal liquide est injecté dans le moule de la machine sous pression (30 à 100 N/mm²). Le moulage sous pression est utilisé pour réaliser des grandes séries de pièces ayant une configuration compliquée et des dimensions précises. Il nécessite une machine comprenant une pompe à injection du métal fondu, des éléments mobiles qui assurent le moulage et le démoulage des pièces et un système de refroidissement des moules. L'état de surface obtenu avec ce type de moulage permet dans de nombreux cas, d'utiliser les pièces moulées sans usinage. [4]

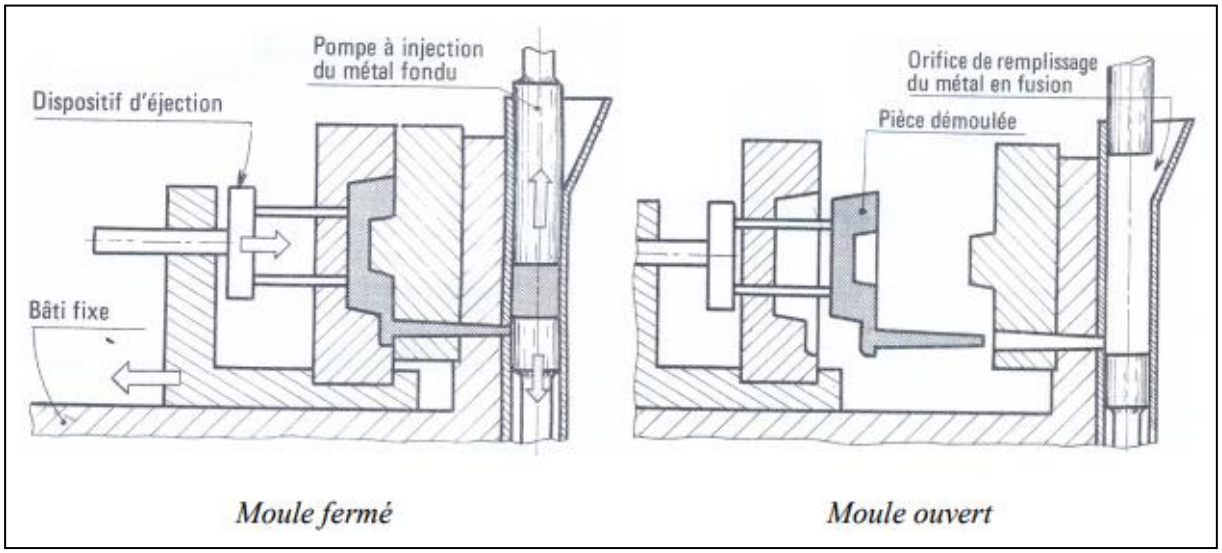


Fig (I. 12) : Moulage en coquille sous pression [4]

I.3.4.2.1 Les avantages moulage sous pression :

- Ce procédé peut se faire sans dépouille.
- Ce procédé permet de couler des filets extérieurs ou intérieurs ainsi que des roues dentées, des cornières, des pièces d'horlogerie, des jouets, d'appareils électroménagers, etc.
- Ce procédé favorise la production d'un grand nombre de pièces moulées avec précision (tolérances serrées).
- Il permet le moulage des pièces minces.
- Il permet de reproduire des détails fins.

I.3.4.2.2 Les inconvénients du moulage sous pression :

- La fabrication des pièces à prix concurrentiels, par ce procédé de moulage, se limite aux métaux non ferreux.
- Les dimensions des pièces moulées sont limitées.

I.4 Conclusion :

En conclusion, il existe de nombreux types de moulage utilisés dans différents secteurs tels que l'industrie automobile, l'aérospatiale, etc. Chaque type de moulage a ses propres avantages et inconvénients, et il est essentiel de choisir la technique de moulage la plus adaptée en fonction des besoins spécifiques du projet. Qu'il s'agisse de moulage par injection, par compression, par soufflage ou par rotation, la qualité et la précision du moulage sont des éléments clés pour obtenir des pièces finies de haute qualité.

CHAPITRE II :

Généralités Sur Les Polymères Et Injection Plastique

II.1 Les polymères :

II.1.1 Introduction :

Le terme "plastique" est communément associé à un large éventail de matériaux, concernant principalement leur modelage et les procédés pour leur donner une forme, souvent en lien avec des considérations esthétiques et de design. Il est généralement associé à la "matière plastique", qui constitue une catégorie de matériaux obtenus initialement à partir de polymères d'origine végétale, puis fabriqués à partir de synthèses de monomères pour former le "plastique" tel qu'on le connaît aujourd'hui.

Ce dernier est défini comme une matière synthétique composée de macromolécules créées par polymérisation et qui peut être façonnée ou modelée. Bien que souvent rigides après leur fabrication, les plastiques se caractérisent par leur rapport entre les propriétés et le poids, ainsi que par leurs avantages en termes de coût. [9]

Les polymères, communément appelés "matières plastiques", sont omniprésents dans notre environnement et notre vie quotidienne. Ils ont trouvé leur place dans tous les domaines de nos activités, des objets les plus courants aux applications techniques les plus sophistiquées, en passant par les produits d'hygiène, d'alimentation et de biomécanique. Majoritairement synthétiques, parfois naturels, les polymères ont connu un succès important grâce à leur large spectre de caractéristiques : durs, souples ou élastiques, transparents ou opaques, isolants ou parfois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur utilisation, toujours légers. C'est la structure particulière de leurs molécules en forme de chaîne, ainsi que la diversité des configurations qu'elles peuvent adopter, qui explique cette variété de propriétés. [10]

II.1.2 Définition :

Les polymères sont des matériaux composés de très longues chaînes (macromolécules), elles-mêmes formées de molécules élémentaires (monomères) assemblées entre elles. Ces chaînes sont principalement constituées d'atomes de carbone, auxquels peuvent être liés d'autres éléments tels que l'hydrogène, l'oxygène, le chlore, l'azote ou le fluor.

Les deux grandes familles de polymères peuvent être distinguées : les thermoplastiques, et les thermodurcissables. Ces deux types de polymères sont largement utilisés dans divers secteurs industriels en raison de leurs propriétés uniques et de leur capacité à être modifiés pour répondre à des besoins spécifiques. [11]

II.1.3 Les Thermoplastiques :

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Il est donc possible de leur donner une nouvelle forme, et ce, à répétition, sans affecter leurs propriétés mécaniques initiales. Cette particularité permet un recyclage plus facile de cette catégorie de plastique, en comparaison avec celui des deux autres types. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes.

Les macromolécules peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermo plastiques gardent leur nouvelle forme.

Avant transformation, ils sont sous forme de granulés ou de poudres dans un état chimique stable et définitif car il n'y a pas de modification chimique lors de la mise en forme. Les granulés sont chauffés puis moulés par injection et le matériau broyées réutilisable. [12]

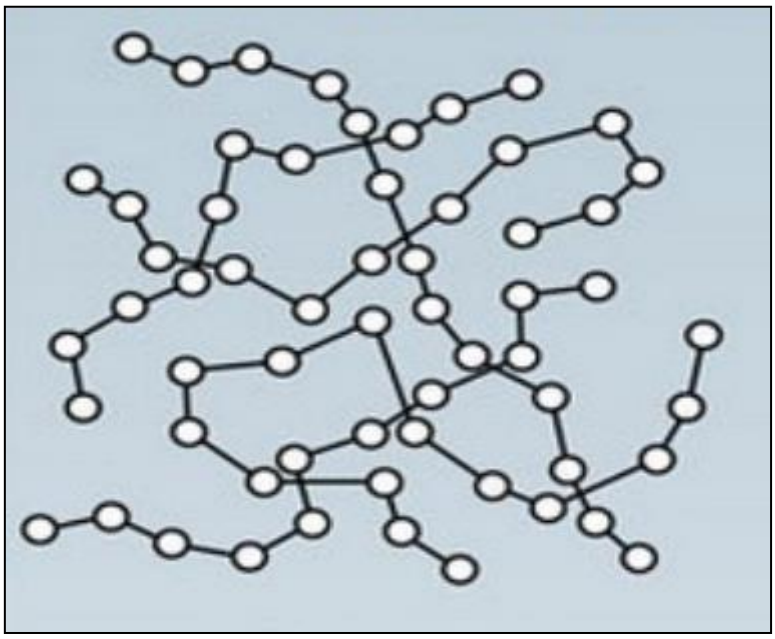


Fig (II. 1) : Structure moléculaire d'un polymère thermoplastique [13]

Ils sont repartis en trois grandes familles : les amorphes, cristallins et les semi-cristallins. Cette morphologie (Fig (II.2)) a une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques.

II.1.3.1. Polymères amorphes :

Dans un polymère amorphe, les chaînes se présentent sous la forme de pelotes statistiques (Fig (II.2)). Les chaînes sont enchevêtrées et on note l'absence de structure ordonnée. Quand on chauffe un polymère amorphe, il subit une transition douce de l'état solide à l'état fluide, il n'y a donc pas de température de fusion. En effet, la structure des chaînes de macromolécule en pelote compacte et désordonnée empêché une transition brutale entre les états solide et liquide. Cependant, une brusque variation de mobilité moléculaire est observée à une température appelée température de transition vitreuse notée Tg. [15]

II.1.3.2 Polymères cristallins :

Un polymère purement cristallin, quant à lui, présente des chaînes qui s'arrangent de façon ordonnée. Contrairement aux amorphes, les cristallins possèdent une température de fusion notée Tm. Cependant, un polymère totalement cristallin n'existe pas en réalité. Il reste toujours des défauts ou bien l'extrémité des chaînes qui ne peuvent adopter une structure cristalline. [15]

II.1.3.3 Polymères semi-cristallins

Les semi-cristallins présentent à la fois une partie amorphe ou les chaînes moléculaires sont désordonnées et une partie cristalline ordonnée (Fig (II.2)). Ils présentent donc à la fois une température de transition vitreuse (correspondant à la mobilité de la phase amorphe) et une température de fusion (pour laquelle la phase cristalline se liquéfie). On a donc toujours $Tg < Tf$.

Les polymères semi-cristallins peuvent être caractérises par leur taux de cristallinité ce qui représente la fraction massique ou molaire d'unités structurales cristallisées par rapport à la totalité des unités présentes. [15]

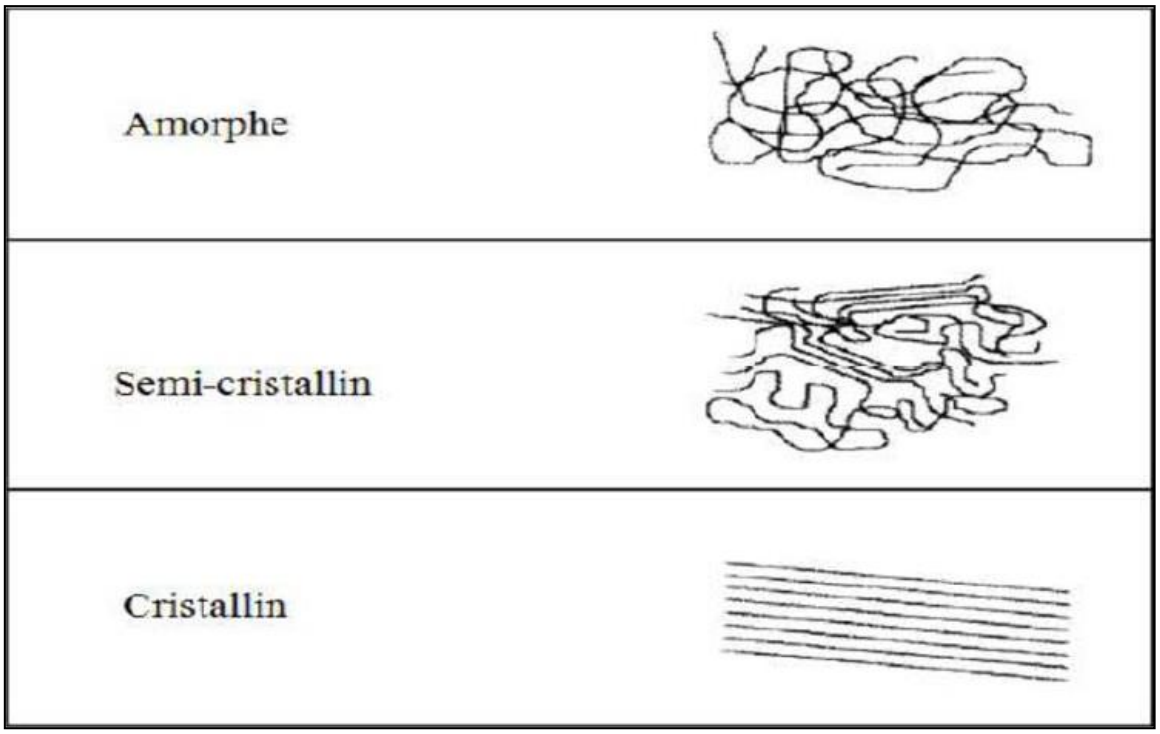


Fig (II. 2) : Morphologie des thermoplastiques [15]

II.1.3.4 Les avantages des thermoplastiques :

- Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps).
- Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau).
- Facile à réparer (par soudure ou collage).
- Post-formable.
- Bonne résistance aux impacts.
- Module plus élevé.
- Moindre retrait au refroidissement.
- Plus grande dureté. [12]

II.1.3.5 Les inconvénients des thermoplastiques :

- Forte viscosité du fondu.
- Fluage. [12]

II.1.4 Les Thermodurcissables :

Contrairement aux thermoplastiques qui ramollissent sous l'effet de la chaleur, les thermodurcissables ont perdu cette propriété lors de leur fabrication. Ainsi, un thermodurcissable conserve la même rigidité sous l'action de la chaleur jusqu'à l'atteinte de sa température de décomposition. Aussi, une fois produit, on ne peut plus modifier la forme d'un thermodurcissable.

Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation).

Au départ, les thermodurcissables se présentent sous forme de poudre soude résines qui subissent une transformation chimique au cours de leur chauffage, de leur refroidissement ou par l'action de durcisseurs. [12]

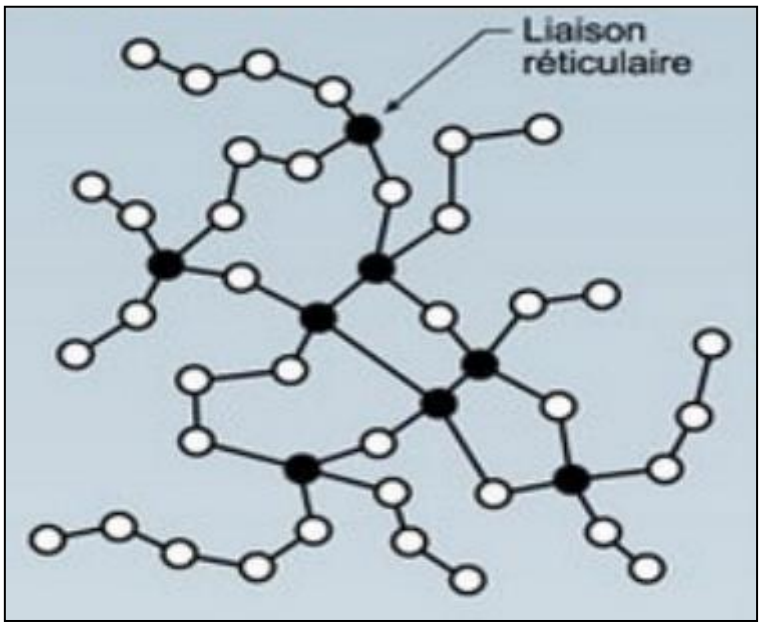


Fig (II. 3) : Structure moléculaire d'un polymère Thermodurcissables [13]

II.1.4.1 Les avantages des Thermodurcissables :

- Faibles viscosités de la résine.
- Bon mouillage des fibres.
- Bonne stabilité thermique après Polymérisation.
- Résistance aux agressions chimiques.
- Peu sensible au fluage. [12]

II.1.4.2 Les inconvénients des Thermodurcissables :

- Cassant.
- Non recyclable par techniques standard.
- Non pas formable. [12]

II.1.5 Appellation et Symboles :

La chimie des matières plastiques et sa technologie ont introduit un grand nombre de termes techniques qui peuvent être difficiles à comprendre pour ceux qui ne sont pas familiers avec ce domaine. Par conséquent, dans l'industrie de la plasturgie, les outilleurs et les plasturgistes utilisent souvent des symboles pour représenter ces termes techniques de manière plus concise et claire. Cela permet une communication plus efficace entre les professionnels de l'industrie et facilite la compréhension des concepts clés liés aux matières plastiques et à leur transformation. [14]

Symboles	Appellation	Symboles	Appellation
PP	Poly Propylène	PA	Polyamide
PPE	Copolymère de polypropylène d'éthylène	PAN	Polyacry lontrille
PPO	Poly oxyde de phényle	PBT	Poly butylène téréphtalate
PPS	Polysulfure de phénlye	PEE	Polyéthylène Exposné
PRC	PE hd réticule	PES	Poly ethersulfone
PE	Polyéthylène	PET	Polyéthylène lènetéréphtate
PS	Polystyrène	PF	Phénol – Formol
PSC	Polystyrène choc	PFE	Poly fluoré éthylène
PSF	Polysulfone	PI	Poly imide
PU	Polyuréthane	SI	Silicone
PVB	Butyral de polyvinyle	TD	Thermodurcissable
PVC	Polychlorure de vinyle	TEP	Textile enduit plastique
RIM	Réaction injection molding	TP	Thermoplastique

Tab (II. 1) : Tableau d'appellation et symboles des Polymères [14]

II.1.6 Les propriétés du polymère :

Les propriétés des matériaux plastiques ne cessent de s'améliorer.

On constate l'emploi grandissant de pièces en matières plastiques à la place de pièces métalliques, souvent plus onéreuses, plus sensibles à la corrosion, ou plus lourdes. Certaines caractéristiques techniques diffèrent notablement de celles des métaux :

- La densité des matières plastiques non expansées est nettement plus faible que celle des métaux (hors magnésium) : de 0,83 (cas du poly-4-méthyle-pantène-1 désigné par PMP) à 2,15 (PTFE), avec 1,2 comme valeur moyenne. La densité d'un polymère est directement fonction du taux de cristallinité. Par ailleurs, la rigidité et la résistance mécanique augmentent avec ce taux.

- Température de transformation plus basse : couramment comprise entre 100 °C (le PS est facile à travailler : extradable dès 85 °C) et 300 °C (le PC est injecté vers 300 °C). Les bioplastiques sont transformés de 160 à 200 °C, contre environ 220 °C pour des compounds ordinaires équivalents.

- Elasticité plus élevée.

- Thermo stabilité des polymères thermoplastiques nettement inférieure à celle des métaux. Rares sont les plastiques résistant à plus de 250 °C pendant de longues périodes dans l'air. Des modifications structurales, particulièrement parmi les matières thermoplastiques, permettent d'élargir le domaine thermique d'utilisation vers les basses ou hautes températures.

- Module d'élasticité plus faible. Une incorporation croissante de fibres augmente le module d'élasticité et la contrainte à la rupture (ténacité) du composite. La dilatation thermique des matériaux est inversement proportionnelle à leur module de traction. Le coefficient de dilatation des polymères thermoplastiques est supérieur à celui des métaux.

- Tenue (ou résistance) aux agents chimiques : en règle générale, les polymères résistent aux acides et aux bases. Ils sont cependant sensibles aux solvants.

- Les polymères ont un comportement viscoélastique. En effet, ils démontrent simultanément des propriétés élastiques et un caractère visqueux. Dans ce dernier cas, la matière s'écoule en réponse à une contrainte. [16]

Code	Densité	Taux de cristallinité (%)	T_v (°C)	T_f ou T_r (°C) [13]	T_{maxi} (°C) [14]	Module E (GPa)
ABS	1,04-1,12	0	85-125	105-120	70-85	2,5
PA-6	1,13	50	52	215	85	1
PA-6,6	1,14	50	57	260	90	1,5
PC	1,20	0	150	220-250	120	2,4
PE-HD	0,95	80-95	-110	124-135	90	0,8-1,2
PE-LD	0,92	50-70	-110	100-125	70	0,15-0,3
PET amorphe	1,30	0	65-80	255	100	2,7
PET cristallin	1,40	40	65-80	260	100	4,1
PMMA	1,18	0	105	130-140	60-90	3
PP	0,91	60-70	-10	165	100	1,3
PS « cristal »	1,05	0	80-100	100	60	3,2
PVC rigide	1,38	0-5	80	100-120	65	2,4

Tab (II. 2) : les caractéristiques physiques de quelques polymères usuels [11]

II.1.7 Coloration des matières plastiques :

Les matières plastiques sont colorées à différents stades de leur élaboration suivant la couleur demandée par le client. Les résines issues des polymères sont teintées en fonction de leur couleur naturelle. Les résines naturelles foncées sont en (noir, rouge, bleu).

Les résines naturelles claires sont colorées claire ou pastel (jaune, Orange). Colorants 11 existe deux types de colorant. [15]

II.1.7.1. Colorant à sec :

Les granulés vierges sont mélangés dans le tambour avec le colorant choisi. Un lubrifiant peut être ajouté pour faciliter l'écoulement de la matière dans le moule. [15]

II.1.7.2 Colorants dans la masse :

Les granulés sont colorés à sec et pour réaliser une bonne dispersion de la couleur, ils sont extrudés en filament, puis broyés par granulation. [15]

II.1.8 Recyclage :

Certaines fabrications de produits dont le recyclage est envisagé ; sont traitées avec des colorants fluorescents pour une identification ultérieure (par-chocs, tableaux de bord). Les déchets de fabrication ainsi que les pièces usées peuvent être rebroyées pour être mélangées avec un pourcentage de 10 à 15%. [15]

II.1.9 Le Polychlorure de vinyle (PVC) :

II.1.9.1 Définition :

Communément nommé PVC, il s'agit en fait de l'abréviation de la terminologie anglaise "Poly Vinyl Chloride", traduit "Polychlorure de Vinyle". Il s'agit donc d'une résine thermoplastique, qui est issue de la polymérisation du Chlorure de vinyle. Le PVC est issu de deux matières premières, qui sont le sel de gemme extrait des mines pour 57 %, qui formera le chlore ; et le carbone à base d'éthylène, dérivé du pétrole, pour les 43 % restants. La synthèse de ces deux procédés forme le Chlorure de vinyle. C'est ensuite la polymérisation qui formera le PVC sous forme de poudre blanche. Détaillons ensemble ce qu'est la polymérisation.

La polymérisation, aussi appelée "polycondensation", est une réaction chimique par laquelle de petites molécules réagissent entre elles pour former des molécules de masse molaire plus élevée. On parle du passage de micromolécule à macromolécule. Le résultat de cette réaction chimique transforme donc un monomère en polymère, ce qu'est le PVC.

Suite à cette étape, cette poudre de PVC devra être mélangée avec des additifs, notamment des stabilisants, des lubrifiants, des plastifiants, et des pigments, pour la transformer en le produit fini que l'on connait, qui répondent à un cahier des charges spécifique. Voici pourquoi on peut trouver le PVC sous d'aussi diverses formes : rigide, souple, transparent, opaque, teinté, incolore, etc. [17]

II.1.9.2 L'utilisation :

A lui seul, le PVC représente plus de 10 % de la consommation européenne de matières plastiques, notamment pour la construction et l'emballage. On le retrouvera généralement sous 4 formes différentes, toutes particulières et prédestinées à un usage spécifique :

- **Le PVC souple** : D'un aspect brillant, on le trouvera souvent comme matériau de revêtements, introduit dans les textiles, utilisé pour les manches d'outils isolants. C'est dire l'usage ultra polyvalent de ce matériau.

- **Le PVC rigide (PVC-U)** : D'aspect lisse, la majorité de sa production, soit plus de 40 %, sera destinée aux tuyaux de canalisation. Il a remplacé la majorité des canalisations en plomb, reconnu largement nocif pour la santé. Le PVC sera également utilisé pour la fabrication de tubes extrudés, ainsi que de profilés d'ouvertures, notamment pour les fenêtres, les portes, les baies vitrées, etc., souvent comme alternative au bois ou à l'aluminium.

- **Le PVC plastifié** : L'exemple premier et parlant pour justifier son usage polyvalent, est celui du film alimentaire étirable ou d'emballage. On le retrouvera généralement commercialisé sous forme de bobines à dérouler.

- **Le PVC expansé** : Principalement utilisé pour l'édification d'enseignes commerciales, ou encore de PLV (publicité sur le lieu de vente). [17]

II.1.9.3 Les propriétés du PVC :

Conserver à l'avance des informations sur les propriétés d'un thermoplastique est toujours bénéfique. Cela aide à choisir le bon thermoplastique pour une application. Il aide également à évaluer si l'exigence relative à l'utilisation finale serait satisfaite ou non. Voici quelques propriétés du Polychlorure de vinyle :

Le Polychlorure de vinyle PVC	**Origine :** Chloropolymères. **Structure :** Amorphe. **Retrait :** 2 à 4% **Densité :** 1.25 à 1.45. **Mis en œuvre :** Injection, Extrusion, Soudage, Trempage, Enduction, Thermoformage. **Températures :** -d'injection : 75 à 90 °C -du moule : 30 à 60 °C -de fusion : 180 °C -transition : 80 °C

Tab (II. 3) : Propriétés mécaniques et thermiques du PVC

II.1.9.4 Les avantages et les inconvénients du PVC :

Les avantages	Les inconvénients
➢ Une matière inépuisable. ➢ Une matière recyclable pour les menuiseries extérieures. ➢ Le PVC est un excellent isolant thermique et acoustique. ➢ Un coût raisonnable. ➢ Un entretien facilité. ➢ Une parfaite durabilité.	➢ Toxique en cas d'incendie ou de combustion (contient de l'acide chlorhydrique). ➢ Non biodégradable ➢ Peu résistant à l'usure ➢ Légère odeur lorsqu'il est exposé à de très forte chaleur

Tab (II. 4) : Les avantages et les inconvénients du PVC

II.2 L'injection plastique :

II.2.1 Introduction :

Il existe différentes technologies qui permettent de transformer les plastiques et le choix des procédés de fabrication dépend essentiellement des polymères, les procédés utilisés le plus fréquemment sont :

- L'extrusion.
- L'extrusion soufflage.

- Extrusion gonflage.
- Le thermoformage.
- L'injection soufflage.
- L'injection plastique.
- Le roto moulage.
- Moulage par compression.
- Le procédé calandrage.

Le procédé d'injection plastique occupe une place particulière par rapport aux autres procédés de mise en forme des matières plastique, il transforme le quart des produits en plastique et exploite la totalité des ressources.

Pour obtenir une pièce par injection plusieurs ressources sont utilisées, outre le personnel qualifié pour des opérations de réglages, contrôle et suivi, on trouve les presses d'injection plastique, qui peuvent être horizontale, verticale, bi-vis ou des presses spéciales, enfin le moule qui constitue le composant de base puisqu'il offre à la matière la forme de la pièce voulue.

Dans ce qui suit on tente de développer le procédé de l'injection plastique et les matériaux à injecter ainsi que les matériaux utilisés pour l'outillage (moule) et leurs éléments constitutifs.

II.2.2 Définition du procédé :

Le procédé d'injection est un procédé de mise en forme des thermoplastiques par moulage permettant la production de pièces minces jusqu'à quelques millimètres d'épaisseur. Ce procédé est très répandu pour les productions de grandes séries comme l'automobile, l'électroménager ou l'électricité. [3]

II.2.3 Principe de l'injection plastique :

La matière, en granulés, ramollie par la chaleur est injectée dans un moule sous forte pression. Après refroidissement ces moules permettent la réalisation d'objets de dimensions et formes variables, ainsi que de pièces techniques très complexes et de grandes précisions. [18]

II.2.4 Les étapes du procédé :

Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

- **Étape 1 (a) :** la phase de dosage. Les granulés de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Ils sont ensuite fondus progressivement par actions conjuguées des colliers chauffant le fourreau, du cisaillement de la matière, provoqué par la rotation de la vis et la friction des granulés (entre eux et contre les parois du fourreau et de la vis). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti-retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation.

- **Étape 2 (b)** : la phase d'injection. Grâce à un mouvement de translation de la vis, le polymère fondu est transféré du réservoir à un moule via des canaux. Ce mouvement de translation est généré par un vérin, à travers le clapet anti-retour qui, dans cette phase, empêche la matière de rebrousser chemin.

- **Étape 3 (c)** : la phase de compactage. Le moule est composé de deux parties, un fixe et un mobile. Durant le compactage, le moule est maintenu sous pression pour rester fermé, pendant que la matière est compactée par la vis. Pendant cette phase, le polymère fondu continue à être injecté pour compenser le rétrécissement, ou retrait, de la matière qui refroidit.

- **Étape 4 (d)** : la phase de refroidissement. Lorsque le polymère est entièrement figé au niveau du ou des seuils d'injection, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien, et la pièce continue de se refroidir jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée. La vis reprend son cycle de rotation à l'étape 1.

- **Étape 5 (d)** : la phase d'éjection. Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule. [18]

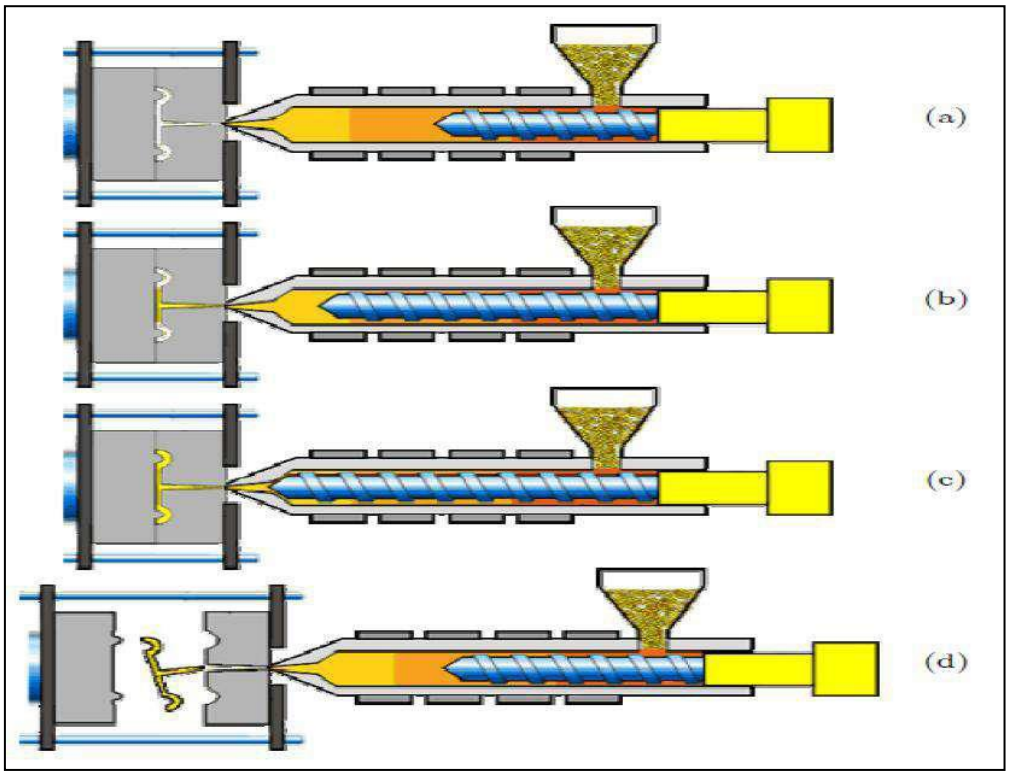


Fig (II. 4) : Les étapes du procédé d'injection-moulage [18]

II.2.5 Les Presses d'injection :

Les machines employées en injection plastique sont des presses à injecter. Elles sont utilisées pour des productions de grandes et très grandes séries allant jusqu'à plusieurs milliers de pièces. Les matériaux principalement employés sont les plastiques et les élastomères. [18]

La presse à injecter se compose de plusieurs parties. Voici les principales : buse, plateau mobile, plateau fixe, collier chauffant, trémie d'alimentation, vis sans fin (ou vis de plastification), système d'évacuation, mécanisme de fermeture et console. En outre, il est possible de catégoriser les éléments d'une presse à injecter en deux ensembles principaux.

D'une façon générale, un moule est un outil de transformation comportant une cavité destinée à recevoir un matériau liquide, plus au moins fluide, et à la mettre en forme en vue d'obtenir un objet dont le dessin a été déterminer au préalable.

Le moulage par injection sur une presse est le principal procédé de transformation de thermoplastique, Il consiste à ramollir (état visqueux) la résine, généralement en granulés introduite dans la presse et à l'injecter, Sous forme de pression à travers une buse dans l'empreinte d'un moule. [19]

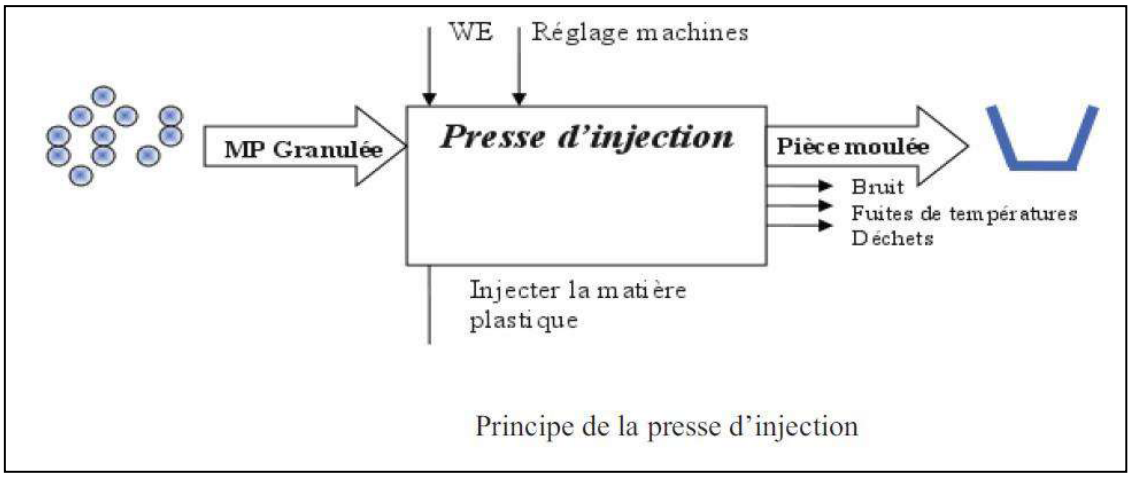


Fig (II. 5) : Principe de la presse d'injection [18]

II.2.5.1 Fonctionnement d'une presse à injection et de ses équipements périphériques :

La figure suivante illustre une presse à injection de plastique et ses principaux composants :

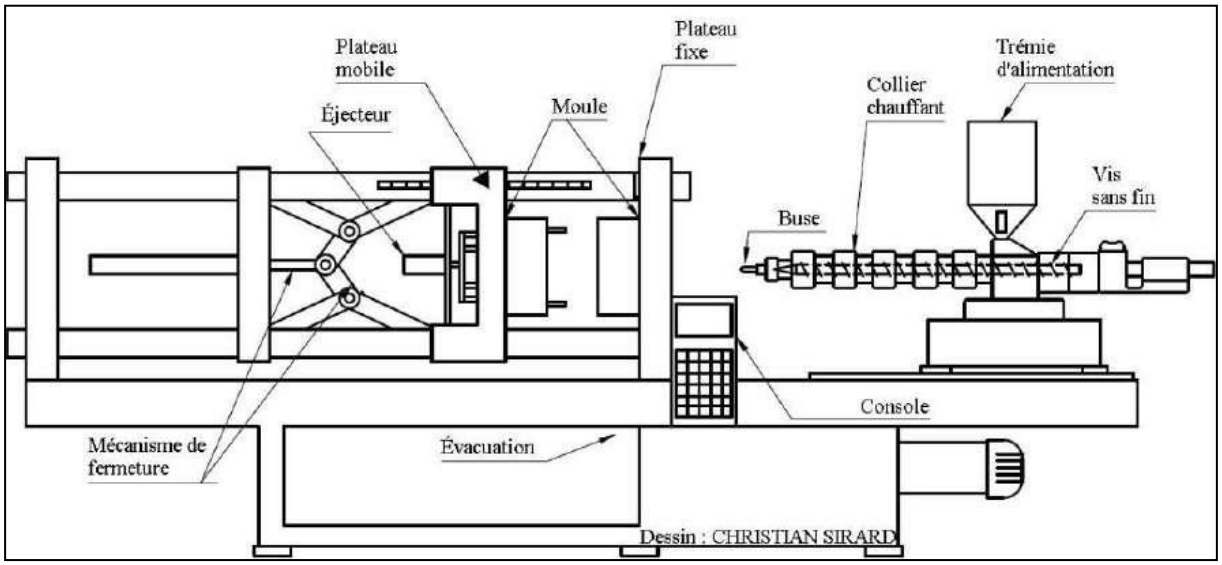


Fig (II. 6) : Schéma d'une presse à injection de plastique [18]

Une presse à injection de plastique fonctionne généralement de la manière suivante :

La trémie est alimentée en granules de plastique, manuellement ou par un système automatisé. Les granules sont acheminés par gravité, via une goulotte d'alimentation, dans le baril d'injection contenant la vis sans fin. Le plastique est fondu par apport de chaleur dans l'unité d'injection (température pouvant atteindre 200°C) et la matière se déplace dans le baril d'injection grâce à la vis sans fin. Cette vis, en translatant vers le moule, sert aussi de piston pour injecter le plastique fondu sous pression dans les empreintes du moule fermé, à travers la buse communiquant avec un orifice de la partie fixe du moule installée sur le plateau fixe.

Les empreintes ont une température pour permettre de refroidir le plastique fondu injecté et de le solidifier. Durant le refroidissement des pièces, la vis sans fin translate vers la trémie pour se charger en granules et se préparer pour la prochaine injection. Après un délai prédéterminé laissant aux pièces le temps de se solidifier, le moule s'ouvre. Une fois le moule ouvert, les éjecteurs sortent pour extraire les pièces moulées ou les décoller afin de faciliter leur extraction par un robot (équipement périphérique).

Une fois les pièces extraites, le mécanisme de fermeture génère le mouvement de fermeture du plateau mobile : la partie mobile du moule se rabat sur sa partie fixe, c'est la fermeture du moule. Le moule fermé est donc prêt à recevoir l'injection de plastique fondu et le cycle reprend. [18]

II.2.5.2 Les différentes parties d'une presse à injection :

Une presse est composée principalement de trois parties :

- Unité d'injection (groupe de plastification).
- Le moule.
- Le dispositif du mouvement du moule (unité de fermeture).

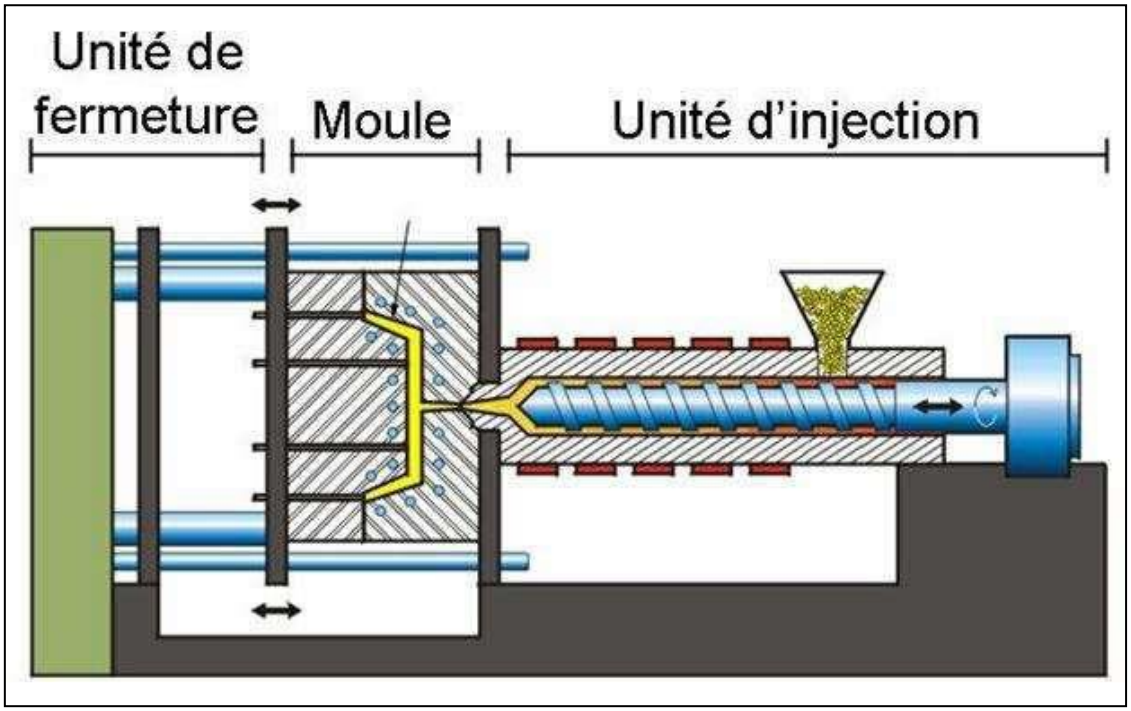


Fig (II. 7) : Les unités d'une presse [20]

II.2.5.2.1 Unité d'injection :

La trémie, qui constitue la première section de l'unité d'injection, joue un rôle clé dans le préchauffage et l'acheminement du polymère vers le moule. Sa conception permet de stocker une quantité substantielle de granulés de polymère. Le processus débute par l'alimentation en matière première, suivie par l'activation du système qui chauffe le polymère jusqu'à sa transformation en liquide. Par la suite, le polymère fondu est injecté dans le moule.

L'acheminement du polymère est facilité par un arbre à vis filtré, doté de gradations de diamètre adaptées à chaque segment significatif. Cette configuration est essentielle pour augmenter la force propulsive du matériau jusqu'au point d'injection. [18]

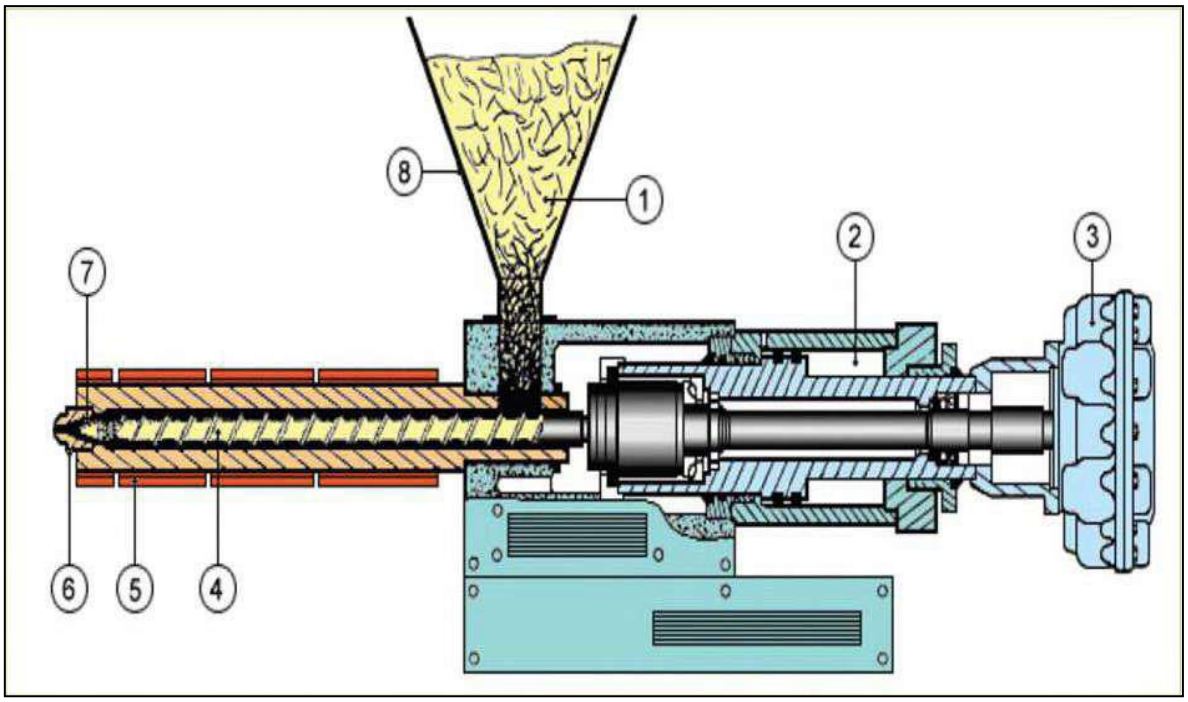


Fig (II. 8) : L'unité d'injection [18]

1- Granulés.
2- Vérin d'injection**.**
3- Moteur de d'alimentation.
4- Vis sans fin.
5- Foureau chauffant.
6- Buse d'injection.
7- Clapet.
8- Trémie.

II.2.5.2.2 Unité de verrouillage :

Ce dispositif de manœuvre des plateaux porte moule doit assurer l'ouverture, la fermeture et le verrouillage du moule avec une force suffisante pour s'opposer à l'ouverture du moule pendant l'injection.

Les fonctions principales de l'unité de fermeture sont :

- Fermeture.
- Verrouillage.
- Déverrouillage.
- Ouverture.
- Ejection. [18]

Généralement Il y a trois types de fermeture d'unité de verrouillage :

- **Fermeture mécanique :**

Bien que les mouvements soient assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères sur certaine presse lorsque le point d'alignement est dépassé, on peut couper la pression dans le vérin et l'ensemble reste stable. [18]

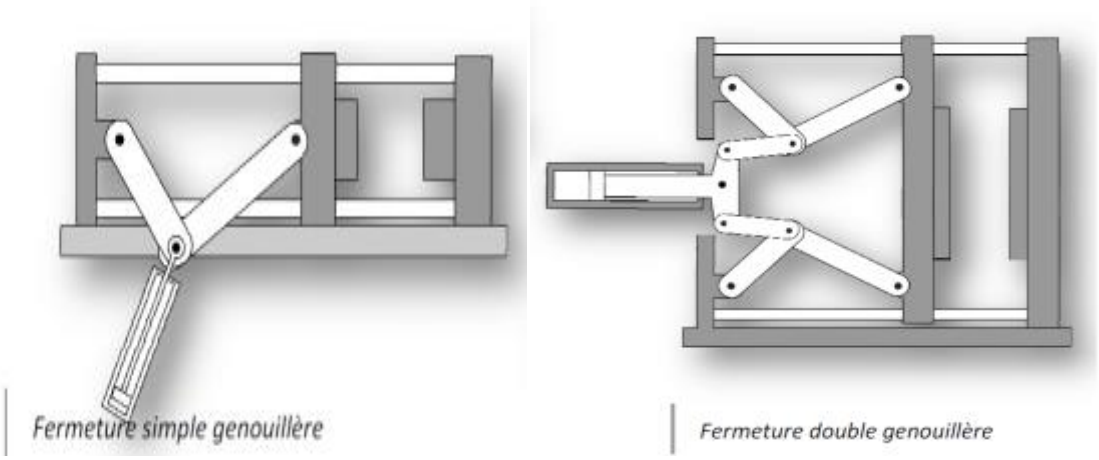


Fig (II. 9) : Fermeture Mécanique [20]

- **Fermeture hydraulique :**

Ce type de fermeture ne fait appel à aucun mouvement mécanique. Ceux- ci sont réalisés par des mouvements hydraulique à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe, et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase final de la fermeture.

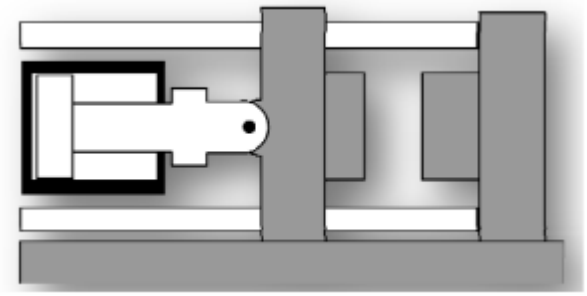


Fig (II. 10) : Fermeture hydraulique [20]

- **Fermeture mixte :**

Est un compromis entre la fermeture hydraulique et la fermeture mécanique, en effet les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydrauliques. [18]

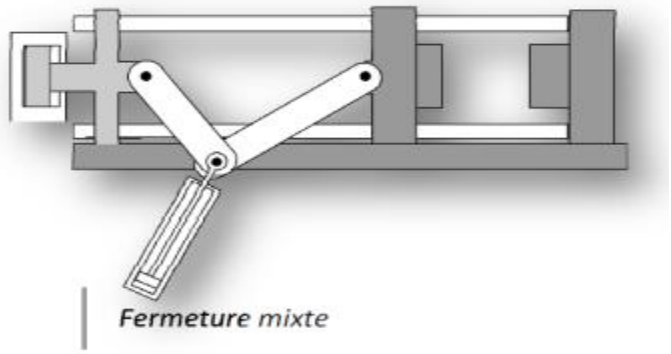


Fig (II. 11) : Fermeture mixte [20]

II.2.5.2.3 Le moule :

Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article. [18]

II.2.6 La vis de plastification :

C'est l'élément le plus important de la presse à injecter. Le but étant de plastifier une matière sans lui faire perdre de ses caractéristiques au moment du passage en fusion. Elle assure deux fonctions essentielles :

- Transport et plastification de la matière.
- Injection sous pression de la masse fondue dans le moule.

Elle est composée de 3 zones :

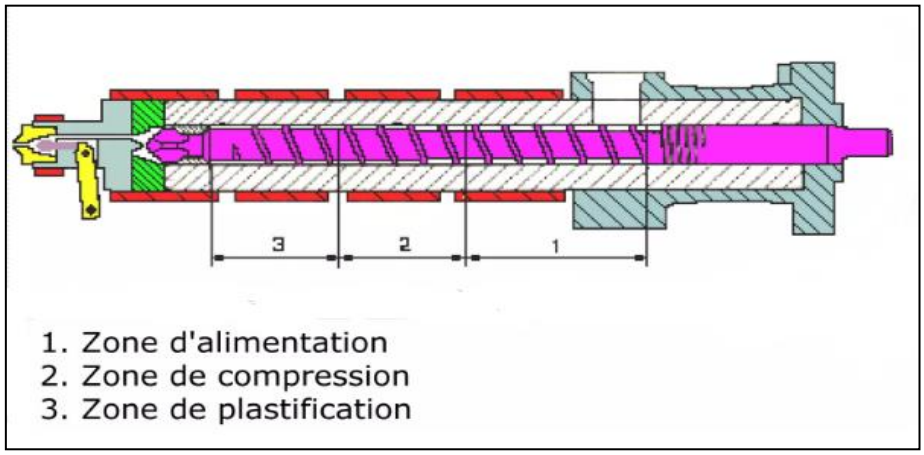


Fig (II. 12) : Architecture d'une vis Injection plastique [21]

- **Zone d'alimentation :**

Alimenter et transporter les granulés à l'intérieur du cylindre.

Dans cette zone, la profondeur des filets de la vis est importante, et reste constante.

- **Zone de compression :**

On diminue progressivement la profondeur des filets. On comprime et on cisaille la matière. La conjugaison friction + apport calorifique des résistances chauffantes provoque la fusion des granulés

- **Zone de plastification :**

Dans cette zone, la profondeur redevient constante, ce qui permet d'homogénéiser la masse de matière fondue et de bien mélanger les additifs.

Les longueurs de ces différentes zones et leur profil peut être différent, On retrouvera :

- Vis à profil pour matières amorphes.
- Vis pour matières semi-cristallines.
- Vis pour matières spécifiques (sans clapet pour PVC rigide). [18]

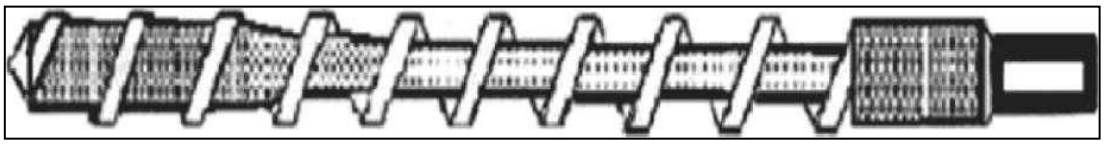


Fig (II. 13) : vis pour matière amorphe [18]



Fig (II. 14) : vis pour matière semi-cristalline [18]

II.2.7 Différents types des presses d'injection plastique :

Il existe plusieurs des presses injections plastiques, permit celle dernières on trouve des presses injections horizontales, verticales, les presses les plus utilisables dans les secteurs productions industrielles sont des presses horizontales.

II.2.7.1 Presse à injection plastique horizontal :

L'axe de la vis est horizontal et le plan d'ouvrage du model vertical. L'ouverture provoque alors la sorte immédiate de la pièce par gravite après éjection, un gain de temps et une automatisation aisée.

II.2.7.2 Presse à injection plastique vertical :

Ici l'axe de la vis est dans une position verticale et l'ouverture du moule dans un plan horizontal. On utilise ce type de presse pour mouler des petites pièces comportant de nombreux inserts métalliques (surmoulage). [18]

II.3 Conclusion :

Aujourd'hui, le plastique est devenu essentiel dans le domaine de la plasturgie et dans de nombreux autres domaines en raison de ses propriétés physiques et mécaniques exceptionnelles.

Le procédé de l'injection plastique est une technique efficace et largement utilisée dans l'industrie pour produire des pièces en plastique de haute qualité à grande échelle. Il permet une grande précision, une variété de formes et dimensions. Malgré quelques contraintes, telles que le coût initial élevé de l'équipement et le temps nécessaire pour mettre en place le moule, l'injection plastique reste une méthode essentielle pour la fabrication de plusieurs produits du quotidien.

CHAPITRE III :

Technologie Des Moules

III.1 Introduction :

La réalisation de pièces en thermoplastique nécessite l'utilisation d'une presse à injection qui sera équipée d'un moule.

III.2 Architecture des moules :

Un moule standard est constitué de deux parties :

- Une partie s'adaptant sur le plateau fixe des presses : c'est le côté injection ; partie fixe.
- Une partie s'adaptant sur le plateau mobile des presses : c'est le côté éjection ; partie mobile.

Le moule doit assurer les fonctions suivantes :

- L'alimentation en matière plastique, jusqu' à la cavité.
- La mise en forme du plastique.
- Le refroidissement de la moulée.
- L'ouverture et la fermeture.
- L'éjection de la pièce.
- L'évacuation de l'air.
- Démoulage des contre dépouilles et orifices latéraux.

Pour assurer ces dernières, des fonctions auxiliaires sont nécessaires :

- Le maintien.
- Le positionnement.
- Le guidage.
- La fixation.
- La manutention. [22]

II.2.1 Éléments de moule :

Dans la figure qui suit (Fig (III.1)) représente un moule standard : un moule mono empreinte à deux plaques, un canal froid et sans tiroir.

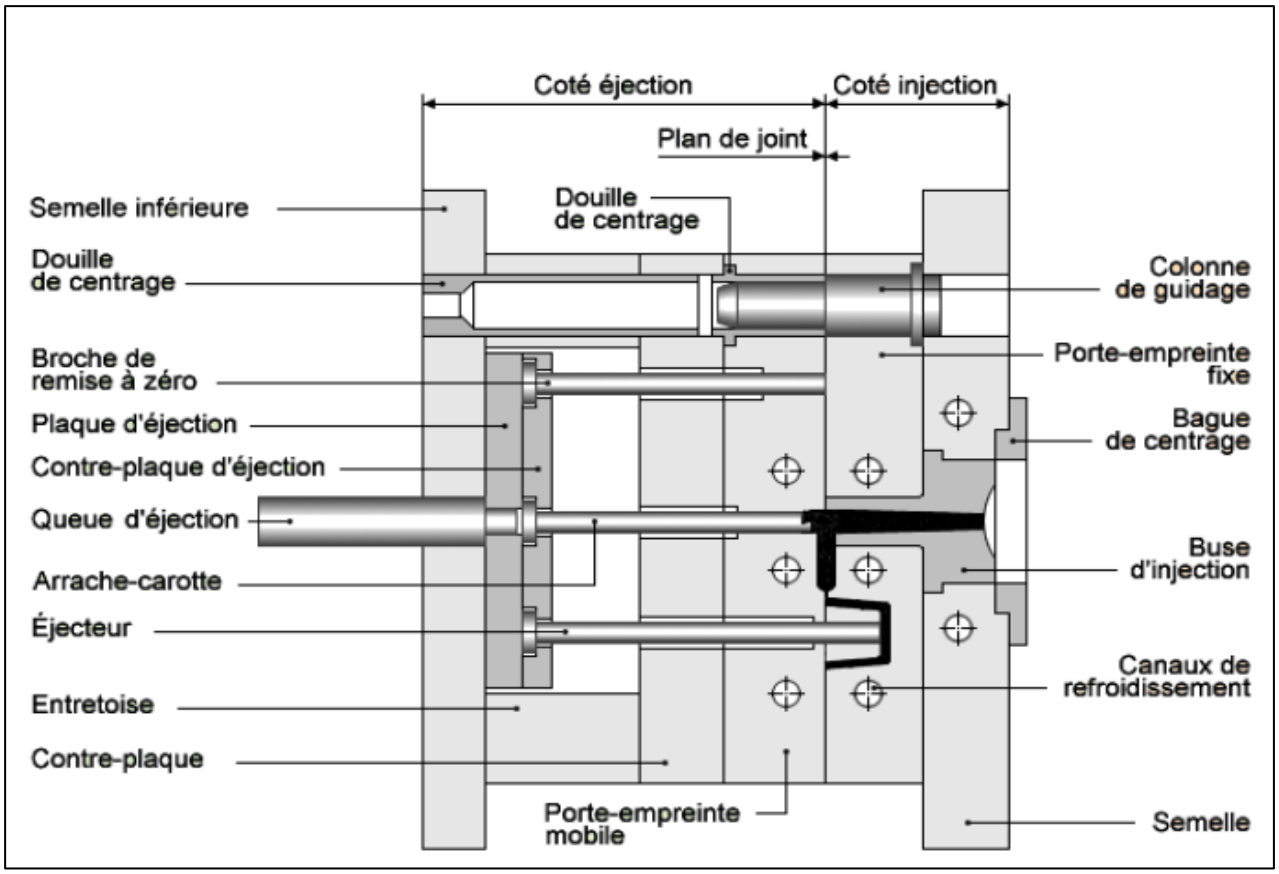


Fig (III. 1) : Un moule standard [22]

II.2.2 Classification des moules :

Les moules sont classifiés selon plusieurs critères :

- **Le nombre d'empreintes :**
  - Mono empreinte.
  - Multi empreintes.
- **Le nombre de plaques moulantes :**
  - Moule à deux plaques.

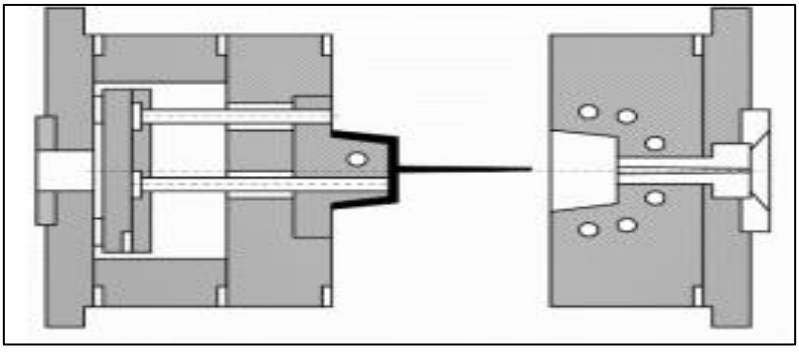


Fig (III. 2) : Moule à deux plaques [23]

- Moule à trois plaques.

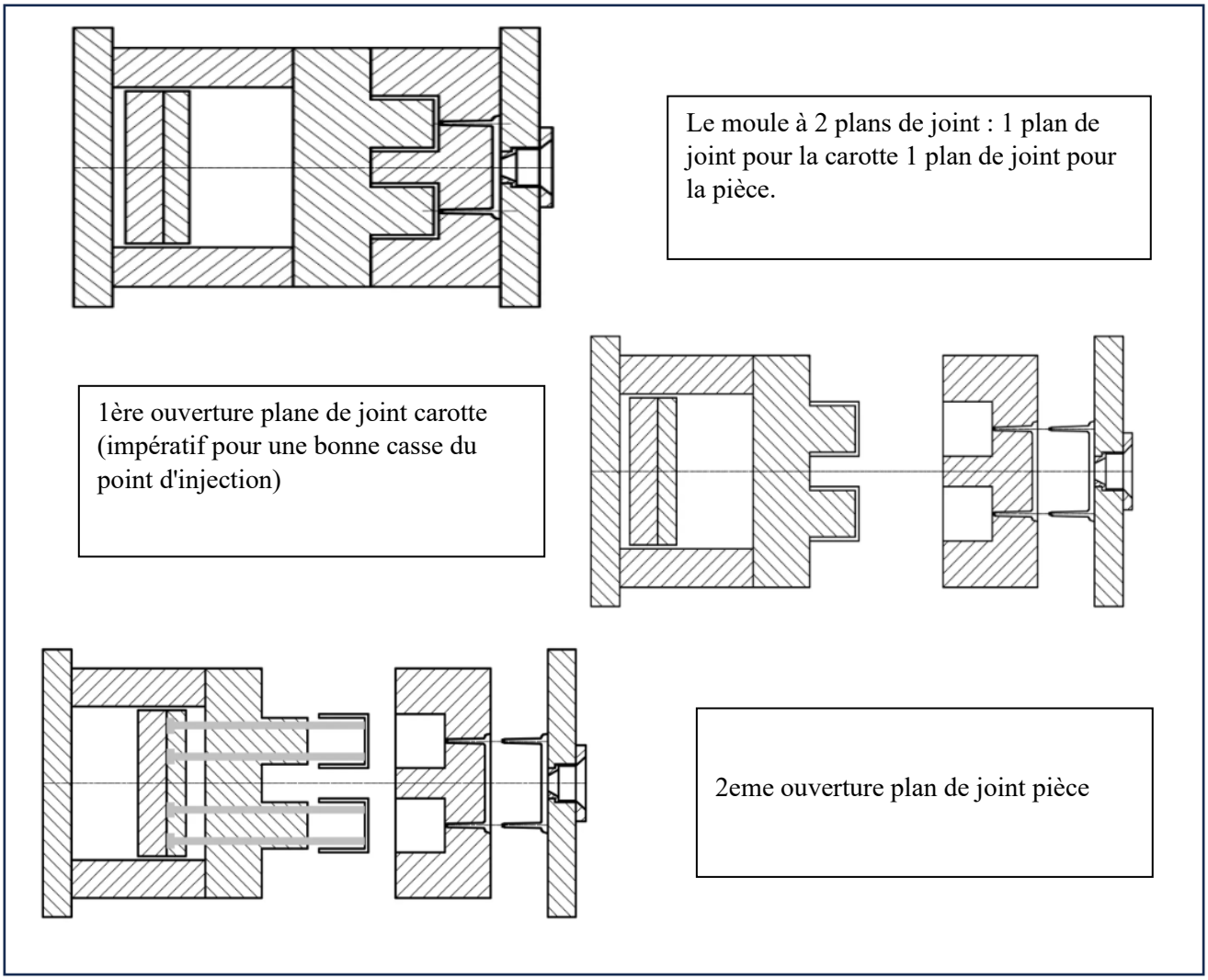


Fig (III. 3) : Moule à trois plaques [24]

- **La possession de tiroir :**
  - Avec tiroir.
  - Sans tiroir.

- **Le dispositif d'alimentation :**
  - Canal froid.
  - Canal chaud.
  - Sans canal. [22]

III.3 Les fonctions d'un moule :

III.3.1 Fonction alimentation :

La fonction d'alimentation assure le transfert rapide et uniforme de la matière plastique du cylindre de plastification vers l'empreinte de l'outil de production. Il est essentiel que l'empreinte soit remplie de manière efficace. [22]

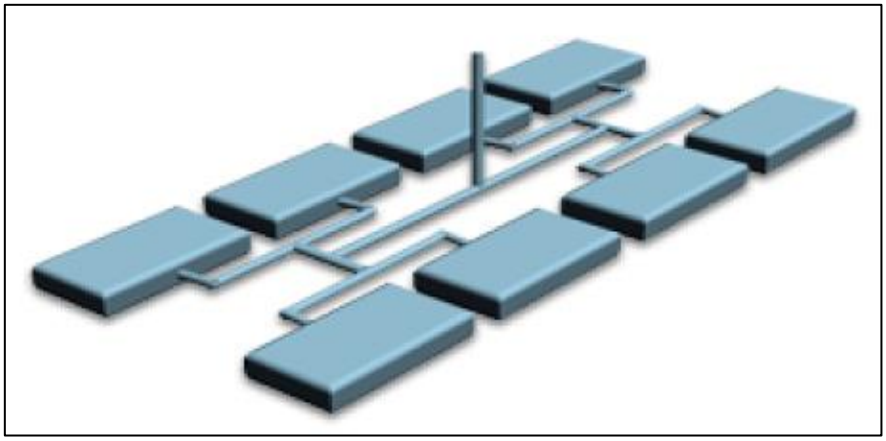


Fig (III. 4) : Représentation du system d'alimentation [22]

Le system d'alimentation est composé principalement de :

- La carotte.
- Les canaux d'alimentation.
- Les seuils.

III.3.1.1 La carotte :

La carotte correspond à l'extension du nez d'injection dans le moule. Son rôle est d'alimenter la (les) pièce(s) en matière. Elle permet de traverser la partie fixe (supérieure) du moule jusqu'au plan de joint grâce à un élément standard c'est-à-dire la « buse d'injection ». [22]

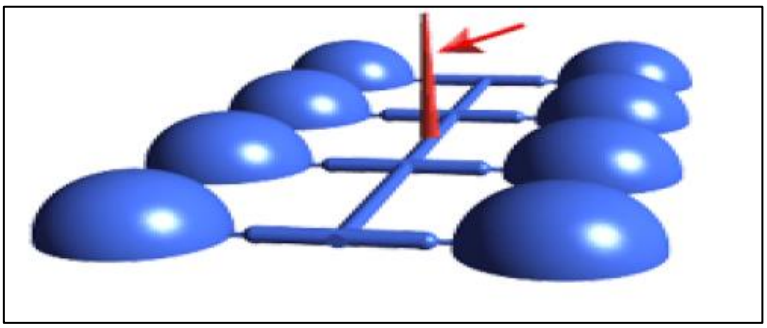


Fig (III. 5) : Représentation de la carotte (en rouge) [22]

III.3.1.2 Les canaux d'alimentation :

Les canaux d'alimentation sont des canaux qui relient la carotte aux seuils. La conception des canaux d'alimentation est importante pour garantir le remplissage régulier des cavités. [22]

Le canal d'alimentation est composé principalement de :

- Canal principal.
- Canaux secondaires.
- Les seuils. [25]

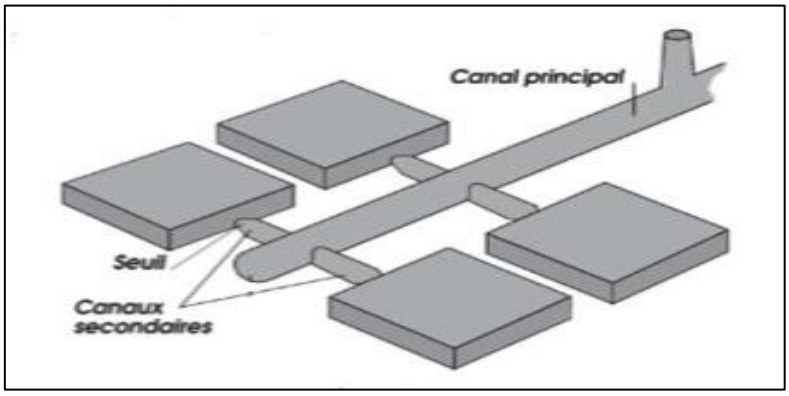


Fig (III. 6) : Représente les canaux d'alimentation [25]

Il existe plusieurs types de canaux d'alimentation :

1) Canal cylindrique.
2) Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint.
3) Canal trapézoïdal.
4) Canal demi-cylindrique.
5) Canal rectangulaire.

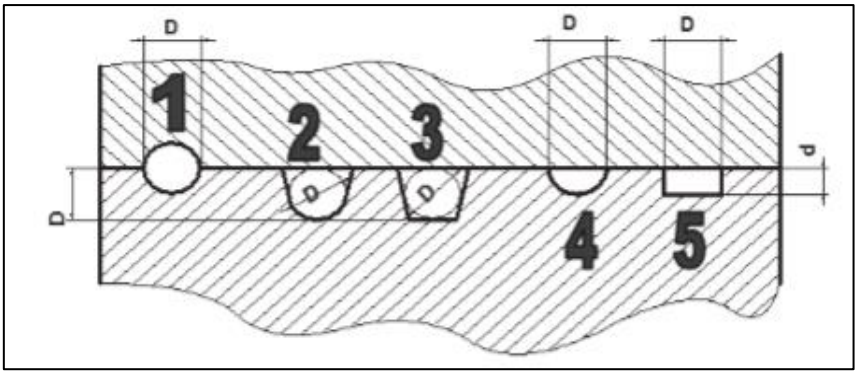


Fig (III. 7) : Les différents types de canaux d'alimentation et leurs usinages associés [25]

Il y a plusieurs critères pour choisir le type de canal d'alimentation :

	Les Avantages	Les inconvénients
Canal cylindrique	• C'est le canal le plus performant. • Il offre une section d'écoulement maximale pour un périmètre minimal.	• Usinage sur 2 plaques du moule. Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient disparaît. • Utilisation difficile avec les moules 3 plaques. • Impossibilité dans le cas de canaux sous chariot.
Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint	• Usinage sur une seule plaque • Utilisation avec les moules 3 plaques. • Idéal pour le choix de canaux sous chariot.	• Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat. • Obligation d'utilisation d'outil non-standard.
Canal trapézoïdal	• Usinage sur une seule plaque. • Utilisation avec les moules 3 plaques. • Outil spécial plus facile à affuter.	• Obligation d'utilisation d'outil non-standard.
Canal demi-cylindrique	• Simplicité d'usinage.	• Mauvais écoulement.
Canal rectangulaire	• Facilité d'exécution.	• Mauvais démoulage. • Mauvais écoulement.

Tab (III. 1) : Critères de choix des différents types de canaux [25]

III.3.2 Les seuils :

Les seuils relient le système d'alimentation à l'empreinte et sont les orifices à travers lesquels la matière à l'état fondu pénètre dans le moule.

Les seuils sont de plusieurs types :

III.3.2.1 Les seuils circulaires coniques :

Les seuils circulaires coniques sont des seuils automatiquement décrottés. Ils se cisailleront quand l'outil de montage est ouvert pour éjecter la pièce. [22]

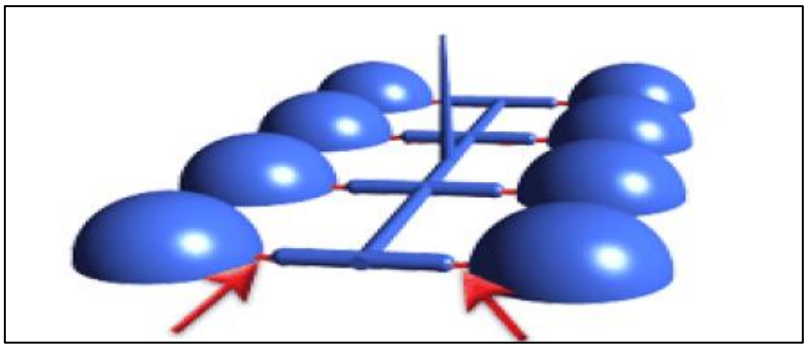


Fig (III. 8) : Seuils d'injection (en rouge) [22]

III.3.2.2 Sous-marin :

Utilisé pour les petites pièces dans le but d'avoir un décarottage automatique. Mais leur utilisation engendre beaucoup de pertes de pression. [22]

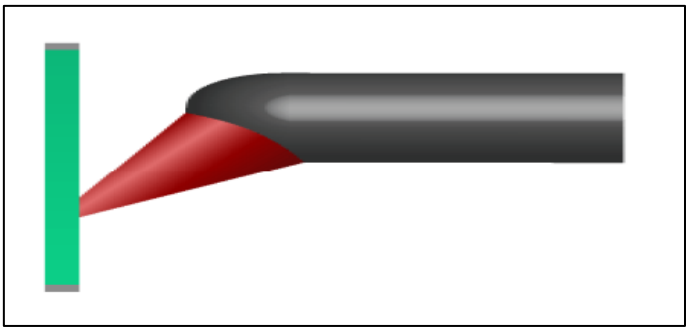


Fig (III. 9) : Seuil sous-marin [22]

III.3.2.3 Sous-marin courbé :

Utilisé quand un système à canaux froid a été choisi.

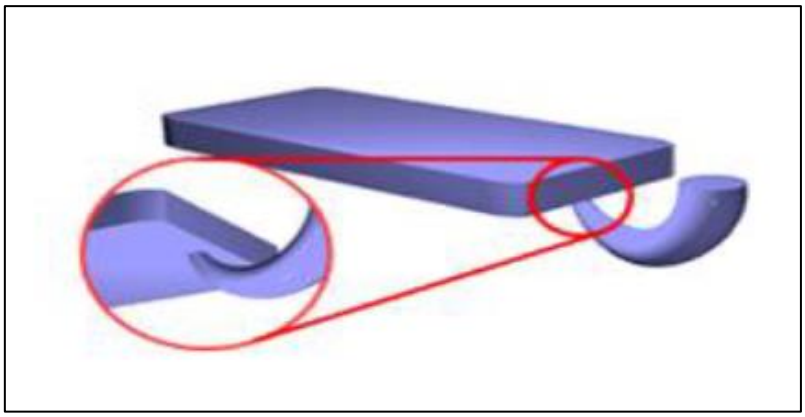


Fig (III. 10) : Seuil sous-marin courbé [22]

III.3.2.4 Seuils rectangulaires :

Les seuils rectangulaires sont des seuils ajustés manuellement et nécessitent l'intervention d'un opérateur pour séparer la pièce des canaux d'alimentation au cours d'une opération secondaire :

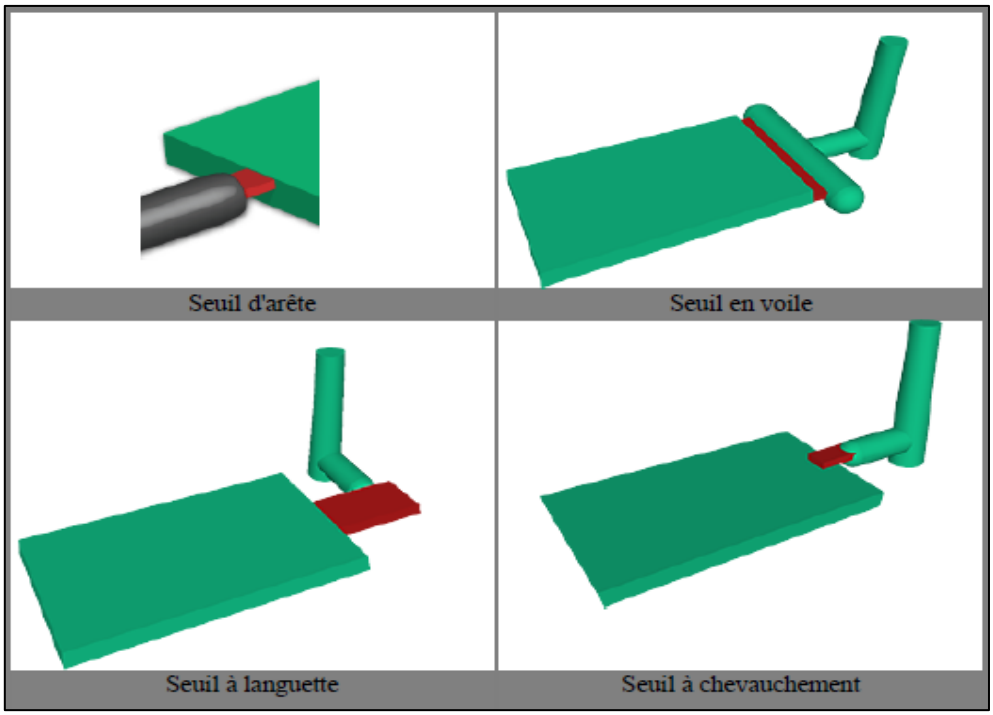


Fig (III. 11) : Représentation des différents types des seuils rectangulaire [22]

III.3.3 Fonction régulation :

Elle doit permettre une solidification uniforme et dirigée de la matière injectée dans l'empreinte et les canaux.

Cette fonction est nécessaire pour l'obtention d'une structure plus ou moins cristalline de la matière et pour la recherche de cadences de production élevées.

Elle sera réalisée par la circulation d'un fluide réfrigérant dans les éléments d'empreintes appelé circuits de refroidissement. [22]

III.3.3.1 Types des circuits de refroidissement :

Les circuits de refroidissement sont généralement classés en circuits série ou parallèle. Dans ces deux types de circuits, la hausse de température finale du liquide de refroidissement est entièrement déterminée par l'énergie provenant du plastique et par le débit volumique du liquide de refroidissement.

Les facteurs les plus importants dans le maintien d'un transfert de chaleur efficace sont le débit et la conception du circuit. [22]

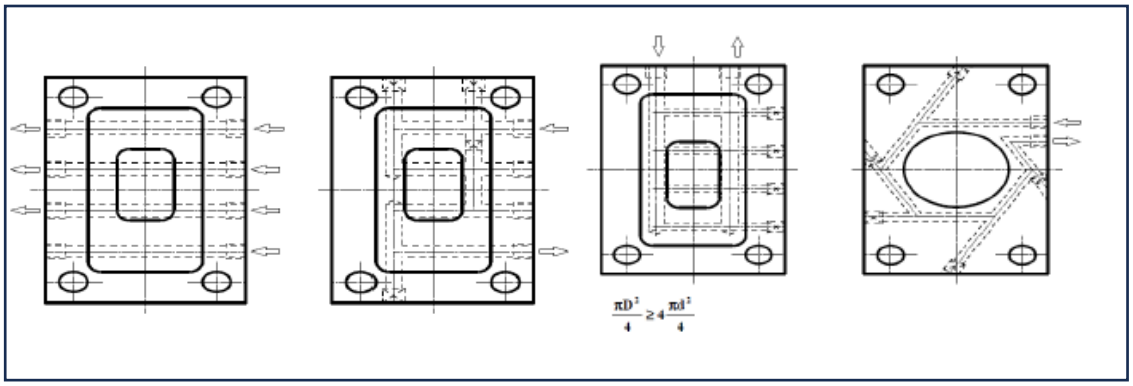


Fig (III. 12) : différents types de circuits de refroidissement [20]

Il existe plusieurs types de cycles de refroidissement pour le terroir .Ils comprennent les deux types suivants :

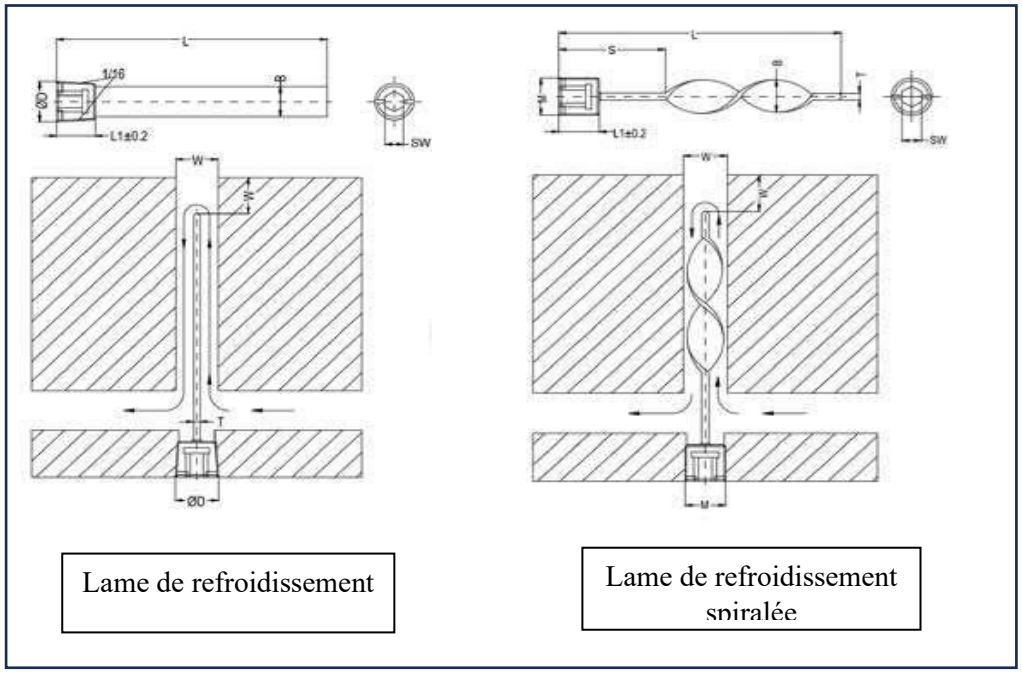


Fig (III. 13) : Deux types de cycles de refroidissement pour le terroir [26]

III.3.3.1.1 Circuits parallèles :

Les canaux de refroidissement parallèles sont forés directement d'un distributeur à un collecteur. Les caractéristiques d'écoulement de la conception parallèle font que le débit diffère dans chacun des canaux de refroidissement selon la résistance à l'écoulement de chaque canal. Ces différents débits entraînent à leur tour une efficacité du transfert de chaleur différente pour chaque canal de refroidissement. Ainsi, le refroidissement peut ne pas être uniforme avec un circuit parallèle.

Généralement, les côtés empreints et noyau du moule ont chacun leur propre circuit parallèle. Le nombre de canaux de refroidissement par circuit varie selon la taille et la complexité du moule.

L'écoulement du liquide de refroidissement doit être régulé en spécifiant le diamètre et la longueur de chaque branche du circuit.

Chaque branche doit présenter un écoulement turbulent pour générer un coefficient de transfert de chaleur efficace. La surface de la branche est déterminée en équilibrant sa longueur et son diamètre par rapport à la charge calorifique locale. [22]

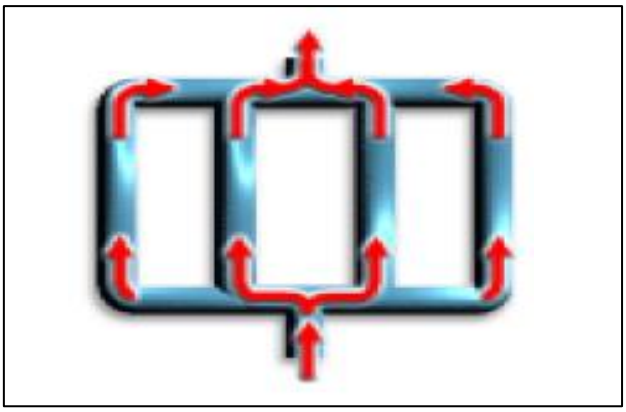


Fig (III. 14) : Circuit parallèle [22]

Un circuit parallèle équilibré fournit une extraction de chaleur uniforme. Toutefois, les circuits parallèles présentent aussi les inconvénients suivants :

- Le débit de chaque branche est réduit lorsque des branches supplémentaires sont incorporées. Cela réduit l'efficacité du refroidissement sauf si le débit total augmente lui aussi.

- Chaque canal de refroidissement peut présenter un débit différent, entraînant un refroidissement non uniforme. Pour pallier ce problème, un ajustage du diamètre des branches s'impose pour équilibrer l'écoulement du liquide de refroidissement.

- Si une branche est partiellement bloquée par des débris, le débit risque de chuter considérablement dans cette branche tout en augmentant légèrement dans d'autres branches. Il en résulte un refroidissement non uniforme. [22]

III.3.3.1.2 Circuits en série :

Les canaux de refroidissement reliés en une seule boucle de l'entrée du liquide de refroidissement à sa sortie, sont appelés circuits en série. Il s'agit du type de canal de refroidissement le plus courant. Si les canaux de refroidissement sont de même taille, le liquide de refroidissement peut conserver un débit turbulent sur tout le circuit.

Le liquide de refroidissement continu à collecter la chaleur dans le circuit de refroidissement, ce qui assure que l'augmentation de la température du liquide de refroidissement de l'entrée à l'orifice de sortie est minimisée. La différence de température du liquide de refroidissement entre l'entrée et la sortie ne doit pas dépasser 5 ºC pour les moules à usage général et 3 ºC pour les moules de précision. Plusieurs circuits en série peuvent être nécessaires pour les grands moules afin d'assurer une température de liquide de refroidissement et un refroidissement uniforme. [22]

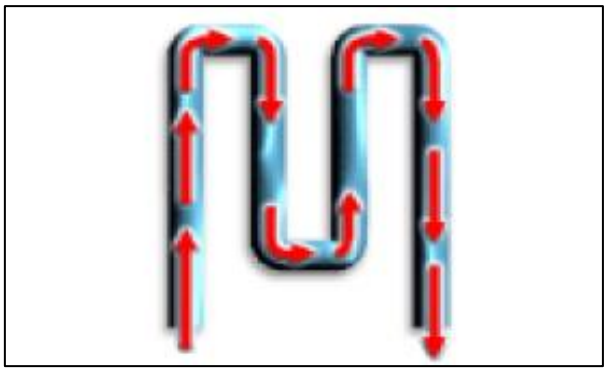


Fig (III. 15) : Circuit en série [22]

En raison des problèmes rencontrés avec les circuits parallèles, les circuits en série sont généralement préférables. Mais ne peuvent pas toujours être utilisés. Les circuits en série ne doivent pas être utilisés dans les situations suivantes :

- Si la longueur des résultats de circuits en série dans une perte de charge est trop importante pour le débit nominal disponible.

- Si les contraintes physiques dans la conception du moule impliquent que le moule ne peut pas être efficacement refroidi avec un circuit en série. [22]

III.3.3.2 temps de refroidissement :

Le Temps de refroidissement est le temps supplémentaire requis à la fin du compactage jusqu'à l'éjection. En général, la matière dans la partie centrale de la paroi de la pièce atteint la température de solidification et se solidifie durant la phase de refroidissement. La durée de refroidissement représente environ 80% de la durée totale du cycle. [22]

III.3.3.3 Liquide de refroidissement :

Un liquide de refroidissement est un fluide qui s'écoule à travers les canaux de refroidissement pour réguler la température du plastique fondu dans le moule. Un liquide de refroidissement idéal possède une capacité thermique élevée, une faible viscosité, est économique et chimiquement inerte. Aussi, il ne provoque pas ou ne favorise pas la corrosion du système de refroidissement.[22]

La régulation de la température de l'outillage se fait à travers un liquide caloporteur qui peut être :

- L'eau traité pour des températures faibles.
- L'huile pour des températures allant à 130 °C. [20]

III.3.4 La fonction éjection :

Après solidification, la pièce et les éléments qui assurent l'alimentation devront être extraite de l'empreinte. Pour remplir cette fonction, plusieurs solutions techniques sont envisageables tels les éjecteurs, plaque dévêtisseuse…etc.

Pour garantir l'éjection, les pièces doivent impérativement se situer dans la partie mobile du moule lors de l'ouverture et la batterie d'éjection doit pouvoir être manœuvrée. [22]

III.3.4.1 Les différents types d'éjecteur :

En fonction de la forme de la pièce, du nombre de pièces et des spécifications du cahier des charges pièce, on choisira un type d'éjecteur différent :

- **Ejecteur cylindrique :**

Permet l'éjection directe. Ils sont sous forme de tige cylindrique.

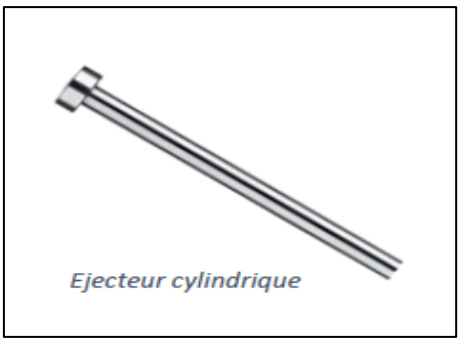


Fig (III. 16) : Ejecteur cylindrique [20]

- **Ejecteur Tubulaire :**

Permet l'éjection autour d'une broche. Ce sont des éléments standards et la dimension ne convient pas toujours à l'application que l'on veut en faire.

Ejecteurs à lames : Ils correspondent à l'éjection tubulaire, mais le risque de traces d'éjection est important.



Fig (III. 17) : Ejecteur tubulaire et lame [20]

- **Plaque dévêtisseuse :**

Correspond à l'éjection par lame, mais limite considérablement les traces d'éjection. La conception du moule est légèrement différente, une plaque d'éjection est insérée entre les plaques porte-empreintes. Cette plaque est manœuvrée grâce à des vis épaulées qui transmettent le mouvement donné par la presse

Des fois on retrouve des Soupape d'éjection, ou des éjecteurs annulaires. [22]

III.3.4.2 Caractéristiques d'un système d'éjection :

En fonction de la forme, le nombre ainsi que des spécifications des cahiers des charges, on choisira un type d'éjection selon :

- **Forme des éjecteurs :**

On favorise la forme circulaire autant que possible (facilité d'usinage). La lame si l'appui se trouve sur un rebord ou à l'extrémité d'une nervure ou bien tubulaire si nous sommes en présence d'une forme circulaire creuse à démouler.

- **Le nombre des éjecteurs :**

Le plus grand nombre possible sera le mieux, afin d'assurer une extraction sans problème, mais tout en essayant de réduire le coût d'outillage.

- **Le positionnement des éjecteurs :**

On essaye de les placer sur des surfaces non visibles et non fonctionnelles à proximité des endroits ou l'empreinte est profonde (nervure, bossage, rebord…). Ou encore, à proximité immédiate des contre-dépouilles ou des surfaces ayant des dépouilles faibles Proche des seuils sous-marins.

- **La longueur des éjecteurs :**

Chaque éjecteur est ajusté individuellement par rapport à la surface de l'empreinte.

- **La course d'éjection :**

Elle sera au minimum égale à la profondeur maxi de l'empreinte à démouler ou de la longueur du noyau.

III.3.4.3 La sécurité d'éjection :

Afin d'éviter toute détérioration de l'outillage, il est impératif qu'à la fermeture du moule le dispositif d'éjection soit rentré. Les systèmes permettant le retour de la batterie d'éjection sont :

- Les ressorts.
- Les vérins.
- Les éjecteurs de remise à zéro (les éjecteurs de rappelle). [22]

III.3.5 Fonction évacuation d'aire :

Lors de l'injection, la matière plastique prend la place de l'air dans l'empreinte. Dans la majorité des cas, cet échange doit se faire dans un temps très court. Des orifices placés correctement permettront une évacuation rapide.

En général, ces évents sont placés sur le plan de joint de l'outillage, autour des broches d'éjection, des noyaux, des éléments rapportés. En fonction de la forme de la pièce, de l'emplacement du point d'injection et de l'écoulement de la matière dans l'empreinte, les évents seront positionnés différemment.

Une éventration mal conçue, lors d'une injection rapide, provoque une compression d'air considérable à l'intérieur de l'empreinte. Cette augmentation de pression conduit à :

- Un retardement du remplissage de l'empreinte.
- Une pression prématurée sur le polymère.
- Des brûlures de polymère (effet diesel), et le non remplissage de l'empreinte. [22]

III.3.6 Fonction mise en forme :

Elle permet d'obtenir une pièce conforme au cahier des charges mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

Cette fonction est assurée par une empreinte cotée fixe, une empreinte cotée mobile et un ou plusieurs noyaux si nécessaire.

Les dimensions de chacun des éléments cités ci-dessus sont corrigées pour compenser le retrait dû au moulage. [22]

Voici quelques notions relatives à la forme de la pièce :

- **Forme non dépouillée :**

Le démoulage est difficile voire impossible car il y a un frottement important entre les formes moulantes de l'empreinte (poinçon) et la matière solidifiée. Ces frottements sont dus essentiellement au retrait de la matière lors de son refroidissement dans l'empreinte.

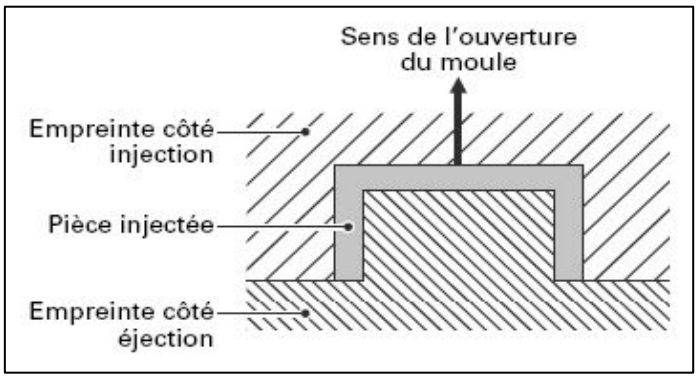


Fig (III. 18) : Forme d'une pièce sans dépouille [22]

- **Forme dépouillée :**

Mettre des angles de dépouilles facilite le démoulage de l'empreinte α : angle de dépouille.

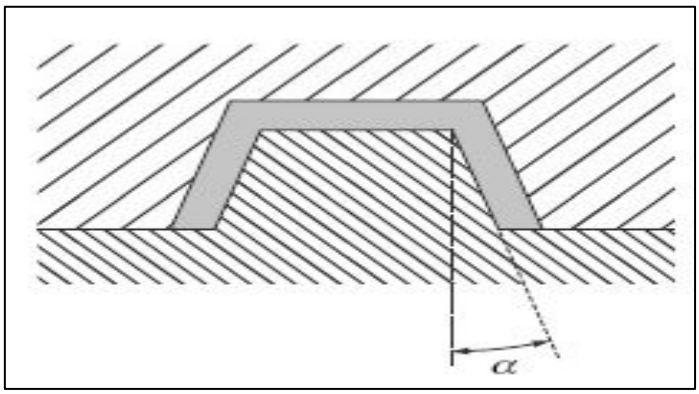


Fig (III. 19) : Forme d'une pièce avec dépouille [22]

- **Forme en contre-dépouille :**

C'est une surface formant un obstacle empêchant un démoulage dans une direction perpendiculaire au plan de joint. Lors de la conception d'une pièce on évitera au maximum les surfaces en contre-dépouille car elles entrainent un moule plus couteux et plus complexe. [22]

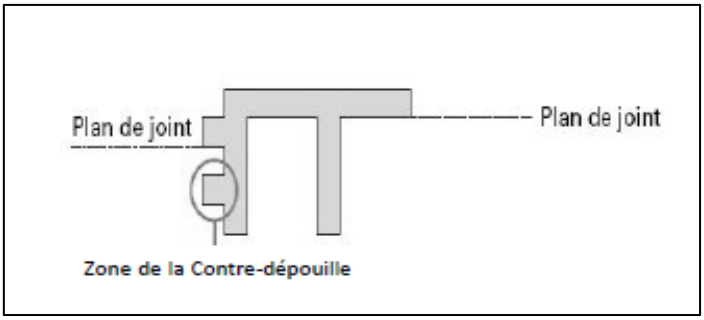


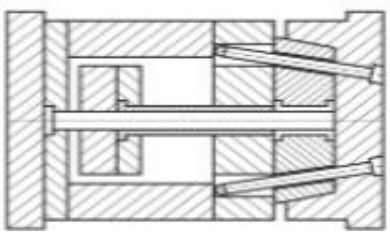
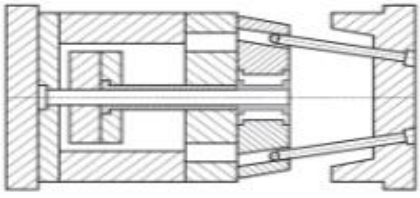
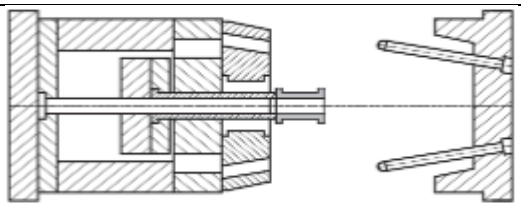
Fig (III. 20) : Forme ayant de contre dépouille [22]

III.3.6.1 Démoulage des contres dépouille :

Lorsqu'une pièce possède une surface qui s'oppose à son démoulage (contre dépouille), ou des orifices latéraux l'immobilisant lors de démoulage, on fait appel à des solutions mécaniques plus compliquées : les tiroirs.

Les tiroirs sont des éléments mobiles de l'empreinte permettant de libérer les formes de la pièce qui s'opposent au démoulage ou à l'éjection.

Un tiroir peut être animé par un vérin hydraulique ou pneumatique ou par transmission du mouvement d'ouverture du moule par le biais d'un doigt de démoulage. [22]

Moule fermé et les deux plaques portes empreintes fermées.	
La partie du moule recule, les doigts de démoulage guident les deux plaques portes empreintes lors de leurs ouvertures par l'intermédiaire des ressorts.	
Les batteries d'éjection avancent sous l'effet du vérin et les éjecteurs tubulaires poussent les articles pour les éjecter.	

Tab (III. 2) : Représente Démoulage des contres dépouille (terroirs) [25]

III.4 Fonctions auxiliaires :

III.4.1 Le maintien :

La fonction « maintenir » est assurée par un ensemble de plaques positionnées et fixées entre elles « la carcasse », d'une façon à permettre l'assemblage de tous les éléments qui composent le moule.

Cette fonction est assurée par :

- **Semelle partie fixe :** Elle assure la liaison entre le moule et la partie fixe de la presse, Elle permet la fixation de :

  - La plaque porte empreinte fixe.
  - La bague de centrage.
  - La Colonne de guidage.
  - La buse d'injection.

- **Plaque porte empreinte partie fixe :** Elle assure la liaison avec la semelle partie fixe et sert d'un support à l'empreinte.

- **Plaque porte empreinte partie mobile :** Elle sert d'un support à l'empreinte partie mobile.

- **Plaque d'appui (PA) :** Elle empêche toute sorte de déformation de l'empreintes et du noyau sous l'effet des contraintes mécaniques exercées par la pression du plastique lors des phases remplissage et maintien (de l'ordre de quelque dizaine de méga pascal). Aussi sous l'effet des contraintes thermique lors de ces deux mêmes phases. Aussi elle permet la fixation de la plaque port empreint mobile.

- **Tasseaux (T) :** Leur rôle est de relier la plaque d'appui à la semelle partie mobile, cela a pour objectif de :

  - Permettre la transmission du mouvement de cette dernière jusque à la plaque port empreinte mobile.
  - Assurer la rigidité de la plaque porte empreinte.
  - Dégager un espace permettant le mouvement de la batterie d'éjection : la course d'éjection.

- **Plaque porte éjecteur (PPE) :** Elle sert de support à l'ensemble des éjecteurs.

- **Plaque d'appui d'éjecteur (PAE) :**

  - Elle assure la rigidité de la plaque porte éjecteurs.
  - Elle assure la transmission du mouvement de la commande d'éjection à la plaque porte éjecteurs.
  - Elle assure la liaison avec la semelle partie mobile à travers le plot de fixation.

- **Semelle partie mobile :**

  - Elle assure la liaison entre le moule et la partie mobile de la presse.
  - Elle assure la fixation des tasseaux.

- Elle assure le passage de la commande d'éjection.
- Elle supporte les éléments de guidage (douilles). [22]

III.4.2 Le positionnement :

La fonction « positionner » a pour rôle d'aligner l'axe de la buse d'injection de la presse et celui de la buse d'injection du moule pour garantir le remplissage.

Les plateaux de la presse comportent des alésages, dont le centre est parfaitement aligné avec l'axe de la buse du groupe d'injection,

Il suffit donc de fixer une rondelle de centrage normalisée, coté bloc fixe du moule pour assurer une mise en position correcte de celui-ci. Cette rondelle comporte un alésage qui permet de la centrer sur la buse d'injection du moule. [22]

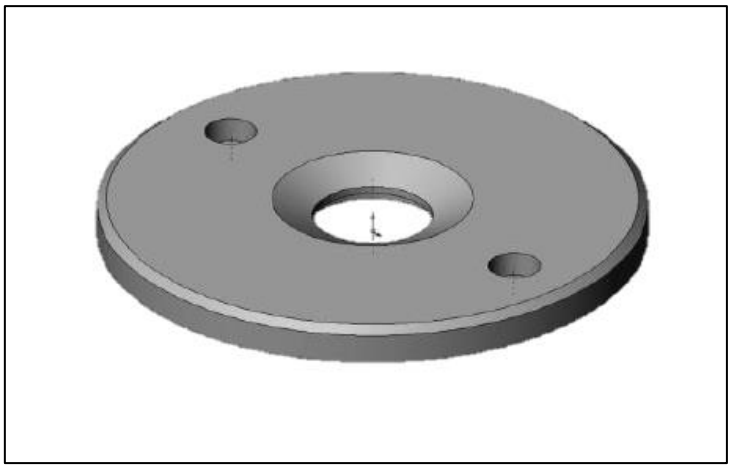


Fig (III. 21) : Rondelle de centrage [22]

Le diamètre extérieur est fonction de la presse à injecter. Le diamètre intérieur est fonction de la buse d'injection choisie.

III.4.3 Le guidage :

La fonction « guider » a pour rôle de positionner les différentes parties de la carcasse les unes par rapport aux autres. Bien que précis le montage se fait avec jeu.

Cette fonction est assurée par :

- **Les quatre (04) colonnes de guidage :** Elle assure le guidage en alignement entre :
-
  - La semelle fixe.
  - La plaque porte empreinte fixe.
  - La plaque porte empreinte mobile.

- **Les quatre (04) douilles de centrage (celles du milieu) :** Elles assurent l'alignement entre :

  - La plaque porte empreinte mobile.
  - La plaque porte empreinte fixe.
  - La plaque d'appui.

- **Les quatre (04) douilles de centrage (celles du coté mobile) :** Elles assurent l'alignement entre :

  - La semelle partie mobile.
  - Les tasseaux.
  - La plaque d'appui. [22]

Le système de guidage est représenté dans la figure ci-dessous :

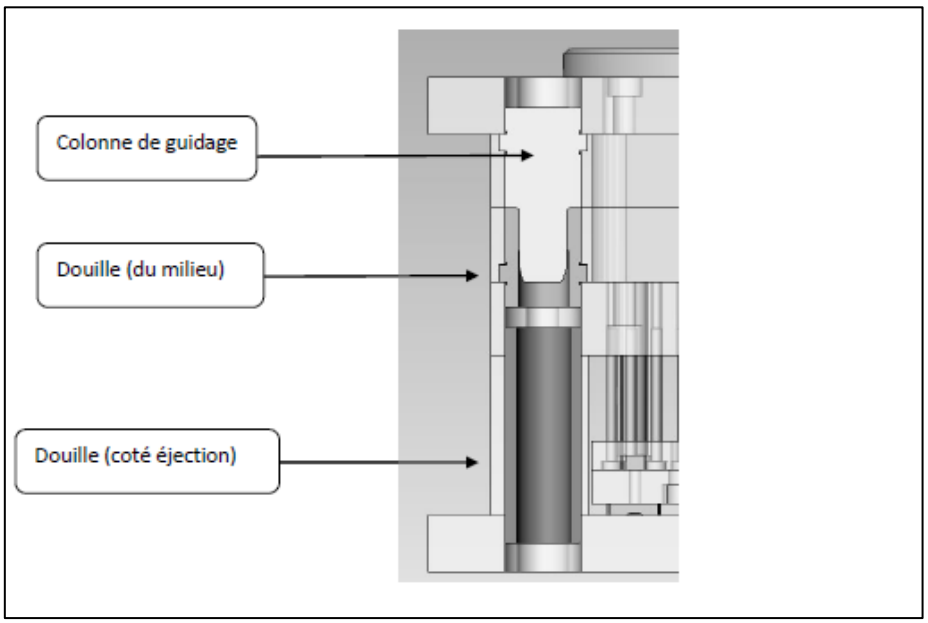


Fig (III. 22) : Représentation du système de guidage des moules [22]

- **Tolérances des guidages :**

La figure (III.23) qui suit représente le système de tolérances applicables pour chaque cote :

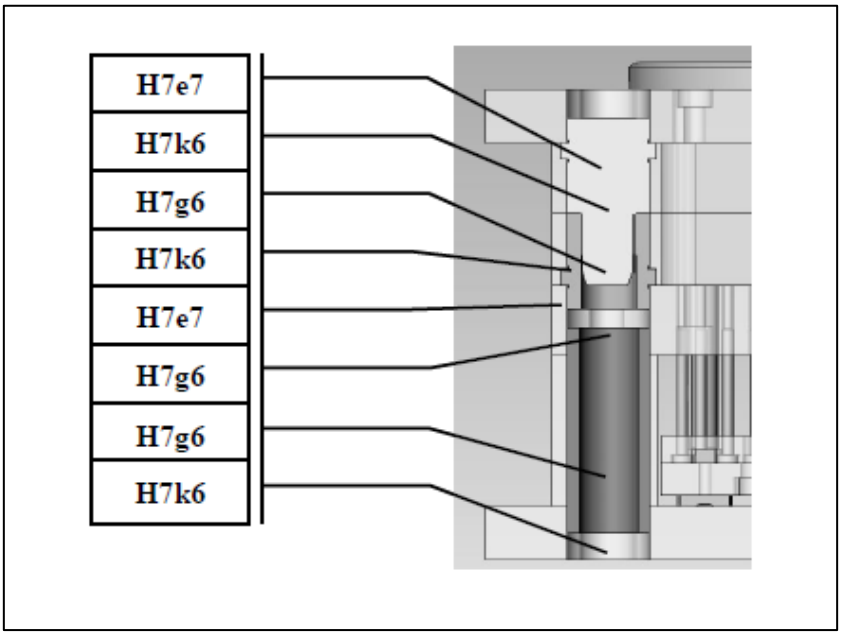


Fig (III. 23) : Tolérances applicable au guidage [22]

III.4.4 La manutention :

Une fois assemblé, le moule peut peser jusqu'à plusieurs centaines de kilogrammes, ce qui rend son déplacement, et sa manipulation impossibles sans intervention d'un engin de levage.

Pour cela il faut prévoir l'emplacement des crochets de manutention selon le poids du moule. Ceci d'une façon à éviter toute sorte de déformation ou de distorsion lors de ces manœuvres qui peuvent s'avérer délicates dans certains cas.

L'emplacement de ces crochets est normalisé. Mais parfois calculé. [22]

III.5 Matériaux des moules

Le tableau qui suit récapitule les matériaux utilisés :

Le composent	Le nombre	Matériaux
Semelle	01	C 38
Plaque porte empreinte	01	C48
Colonne de guidage	04	10NiCr6
Doigt de démoulage	/	10NiCr6
Douilles de centrage (milieu)	04	C10
Buse d'injection	01	35NiCr15
Tiroir	/	C38
Plaque d'appui	01	C48
Tasseaux	02	C38
Plaques d'éjection	01	C38
Contre plaque d'éjection	01	C48
Douille de centrage (éjection)	04	C10
Bague de positionnement	01	C10
Queue d'éjection	01	C48
Ejecteur	/	X40CrMoV5

Tab (III. 3) : Matériaux des moules [22]

III.6 Conclusion :

La technologie des moules joue un rôle essentiel dans le processus de production de pièces en plastique par injection. Une conception et une fabrication précises des moules permettent d'obtenir des pièces finies de haute qualité, tout en optimisant les coûts et les délais de production.

CHAPITRE IV :

Conception D’un Moule
Avec Terroirs

IV.1 Présentation du projet :

Il s'agit de concevoir un moule multi empreintes, qui produira par cycle deux (02) pièces.

IV.1.1 Ressources informatique :

Tout au long du projet, l'utilisation des ressources informatiques ainsi que des techniques spécifiques à la conception des moules d'injection ; est indispensable. C'est afin d'aboutir à un résultat qui satisfera le cahier de charge de chaque pièce moulée.

Nous allons présenter un aperçu sur les différentes ressources utilisées.

IV.1.1.1 Logiciel de conception et simulation mécanique :

Dans ce projet la conception et diviser en deux parties ; la première consiste à concevoir les modèles géométriques des deux pièces en 3D. La conception des éléments du moule fait l'objet de la deuxième partie.

- **Le logiciel SolidWorks 2020 :**

SolidWorks est un logiciel de conception mécanique 3D paramétrique qui tire profit de l'interface graphique Microsoft® Windows®.

Grâce à cet outil, les ingénieurs en mécanique peuvent produire des modèles et des mises en plan précises, les avantages de celui-ci sont :

- Possède une large gamme d'outils de CAO pour la conception mécanique.
- Permet de valider les conceptions.
- Permet de faire la gestion des données techniques.

Nous allons utiliser ce logiciel pour la conception et la vérification des pièces.

- **Le logiciel MOLDWORKS 2021 :**

C'est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique intégré dans SOLIDWORKS, ainsi que des fonctions propres au moulage, qui permet la conception intégrale des moules à injection plastique.

IV.1.1.2 : Logiciel de simulation :

- **Le logiciel SOLIDWORKS PLASTICS :**

Intégré dans SOLIDWORKS. Le logiciel de simulation de moulage par injection des pièces en plastique SOLIDWORKS PLASTICS intègre des outils de validation et d'optimisation des conceptions des moules, à travers plusieurs types d'analyse s'appliquant au processus de moulage par injection de matières plastiques. L'objectif de l'utilisation de ces simulateurs et de réduire le recours au prototypage et les essayes expérimentaux couteux.

SOLIDWORKS PLASTICS permet de :

- Simuler l'écoulement des matières plastiques fondues dans les moules afin d'optimiser les conceptions et de réduire les problèmes de moulage.

- Modéliser et optimiser les systèmes de canaux chauds et froids et les configurations de seuils d'injection
- Améliorer l'efficacité du système de refroidissement des moules
- Simuler les processus de moulage des matières plastiques
- Améliorer la précision de la simulation à l'aide de données de matériaux précises.

- **Le logiciel CAMWORKS 2020 :**

Intégré dans SOLIDWORKS. CAMWORKS est un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO) intégré à SolidWorks, qui permet de programmer et de générer des trajets d'outils pour l'usinage CNC directement à partir de modèles 3D. Cela permet aux fabricants de concevoir et de fabriquer des pièces plus rapidement et plus efficacement.

IV.1.2 Présentation de pièce :

La pièce est un coude Y (MF) en PVC. Cette pièce à coller permet le raccordement d'un tube PVC supplémentaire à 45°. Ce raccord en Té s'utilise pour l'évacuation des eaux usées et des eaux vannes. Facile d'utilisation et de haute qualité, le PVC lisse et non microporeux diminue le risque de retenue d'impuretés et d'obturation.

La figure suivante représente la pièce :

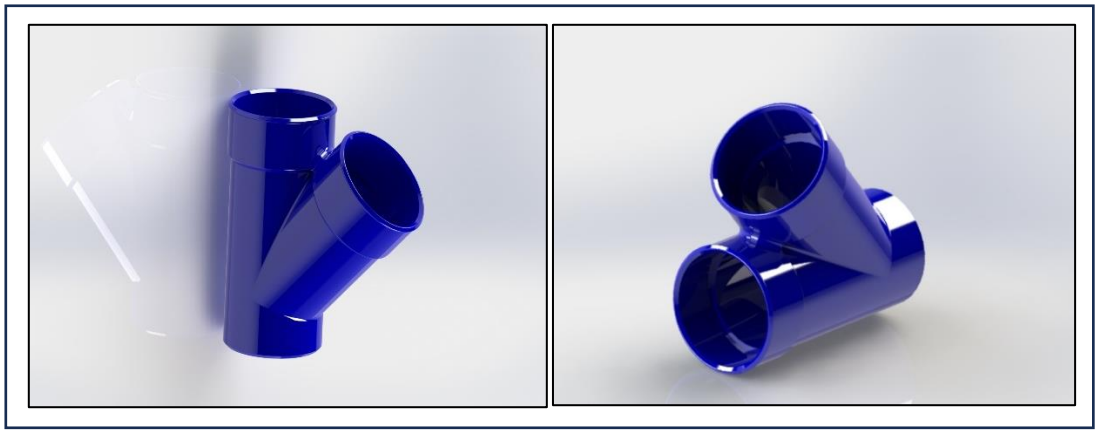


Fig (IV. 1) : Représentation de la pièce

Le tableau suivant récapitule les cotes et dimensions nominales de la pièce :

Dimensions et cotes nominales	
Volume	163963.04 mm3
Masse	213.15 g
Diamètre nominal	63 mm
Epaisseur nominale	5 mm

Tab (IV. 1) : Dimension et cotes nominales de la pièce.

Les dimensions de la pièce ils ont été pris du catalogue API PLASTIQUES (ISO). [26]

EVACUATIONS api PVC

TE PVC évacuation FF à coller

45 Réf CS45F	67°30 Réf CS67F	87°30 Réf TS87F
32	32	32
40	40	40
50	50	50
63	63	63
75	75	75
80	80	80
90	90	90
100	100	100
110	110	110
125	125	125
140	140	140
160	160	160
200	200	200
250	-	250
315	-	315

TE PVC évacuation MF à coller

45 Réf CS45M	67°30 Réf CS67M	87°30 Réf TS87M
32	32	32
40	40	40
50	50	50
63	63	63
75	75	75
80	80	80
90	90	90
100	100	100
110	110	110
125	125	125
140	140	140
160	160	160
200	200	200
250	-	250
315	-	315

Fig (IV. 2) : Le catalogue API PLASTIQUES.

IV.1.3 Model CAO de pièce :

Nous avons modélisé le model géométrique de la pièce.

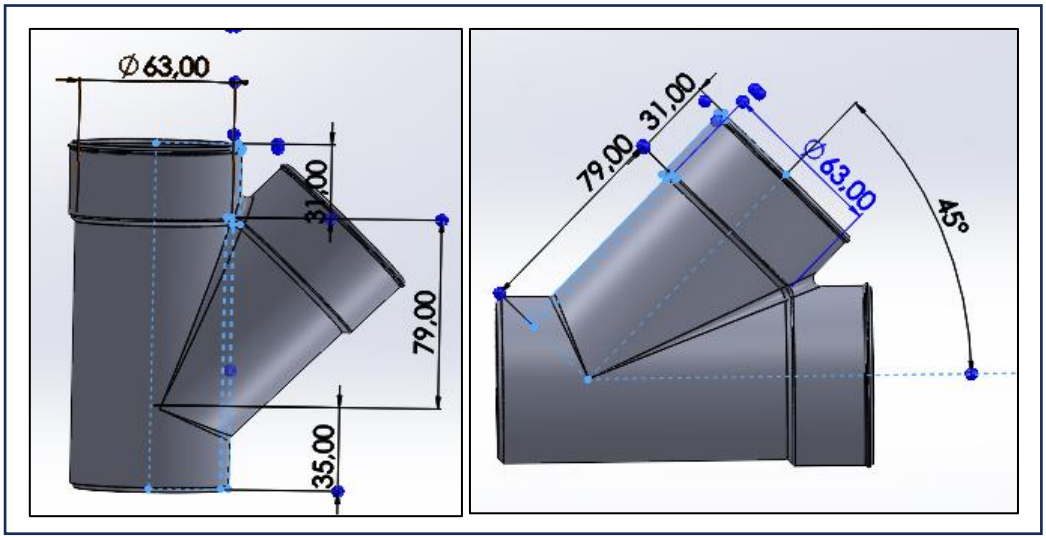


Fig (IV. 3) : Model CAO de la pièce.

IV.2 Vérification de conception :

IV.2.1 Analyse de dépouille :

Pour faciliter le démoulage et l'éjection de la pièce, et éviter ainsi sa déformation, un angle de dépouille de 0.25° à 3° est nécessaire sur toute face.

Dans notre cas nous avons opté pour un angle de 1°.

Les résultats sont représentés ci-dessous :

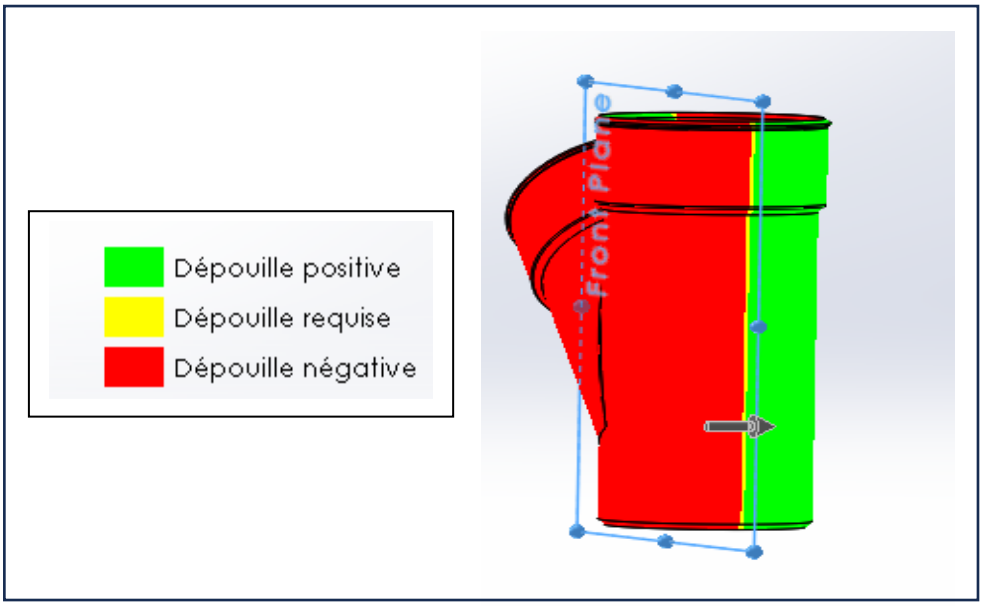


Fig (IV. 4) : Résultat d'analyse de dépouille.

IV.2.2 Analyse de contre dépouille :

Les zones en rouge nécessitent un démoulage transversal, donc des tiroirs sont à envisager.

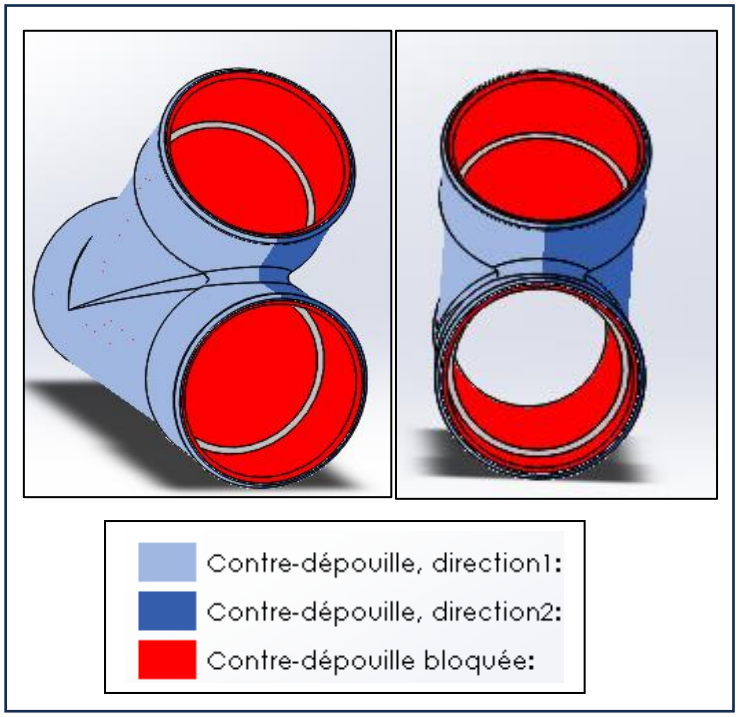


Fig (IV. 5) : Représentation du résultat d'analyse de contre dépouille.

IV.2.3 Validation de la conception :

Après achèvement des vérifications, on constate que :

- La pièce va se démouler facilement, car elle dispose d'un angle de dépouille approprié.
- L'utilisation des tiroirs est inévitable pour le démoulage de contre dépouille de la pièce.

Donc, la géométrie de la pièce est validée.

IV.3 Conception du moule :

IV.3.1 Introduction :

Ce travail va suivre le cheminement suivant :

- Conception des éléments moulants : empreintes, noyaux, nez de coulisseaux.
- Conception des tiroirs.
- Conception de l'alimentation.
- Conception des circuits de régulation.
- Conception des éjecteurs.
- Conception de la carcasse.
- Conception des autres composants.
- Vérification de la conception.

IV.3.2 Création du plan de joint :

Le plan de joint d'un moule représente les faces de contact des blocs empreints et noyau en dehors des zones moulantes. Le choix d'un bon plan de joint permet de faciliter le démoulage et l'éjection.

Le plan choisis pour la pièce est représenté dans la figure ci-dessous :

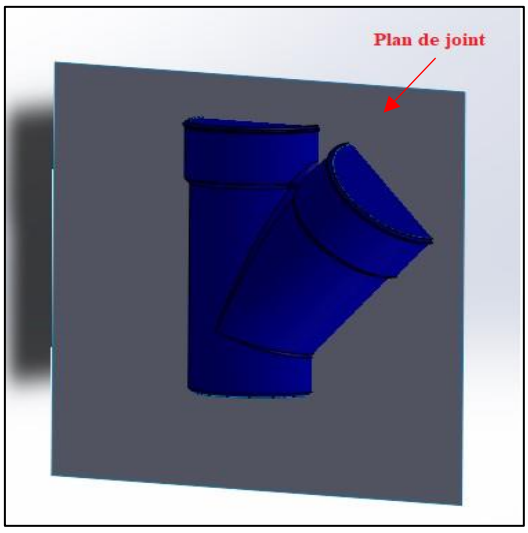


Fig (IV. 6) : Représente du plan de joint.

IV.3.3 Création des blocs noyau - empreinte et coulisseau :

- La figure suivante montre une image des model de l'empreinte et du noyau :

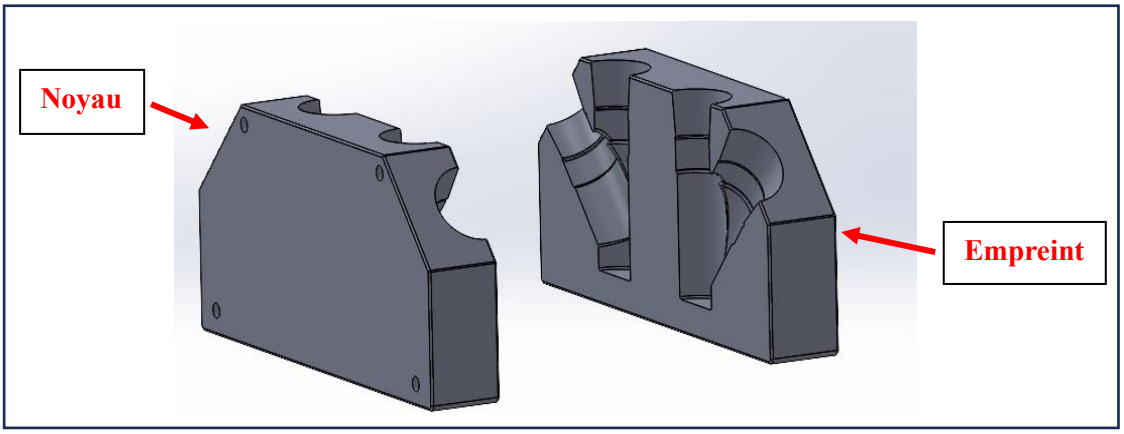


Fig (IV. 7) : Model de l'empreinte et du noyau.

Puisque nous avons une pièce de révolution, donc le bloc noyau et le bloc l'empreinte sont symétries par rapport à plan de joint.

- Les quatre nez de coulisseau sont dans la figure ci-dessous :

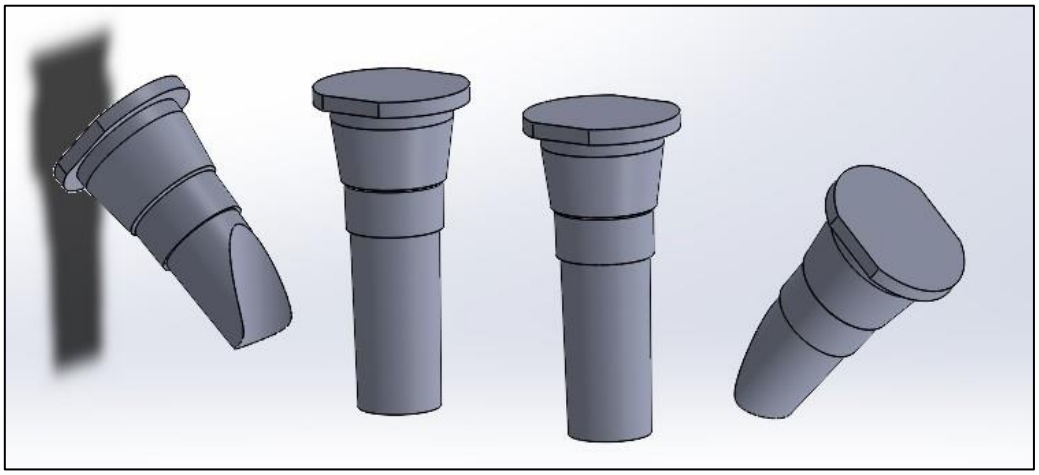


Fig (IV. 8) : Représentation des quatre nez de coulisseau.

- La figure qui suit illustre l'emplacement des coulisseaux sur le block noyau :

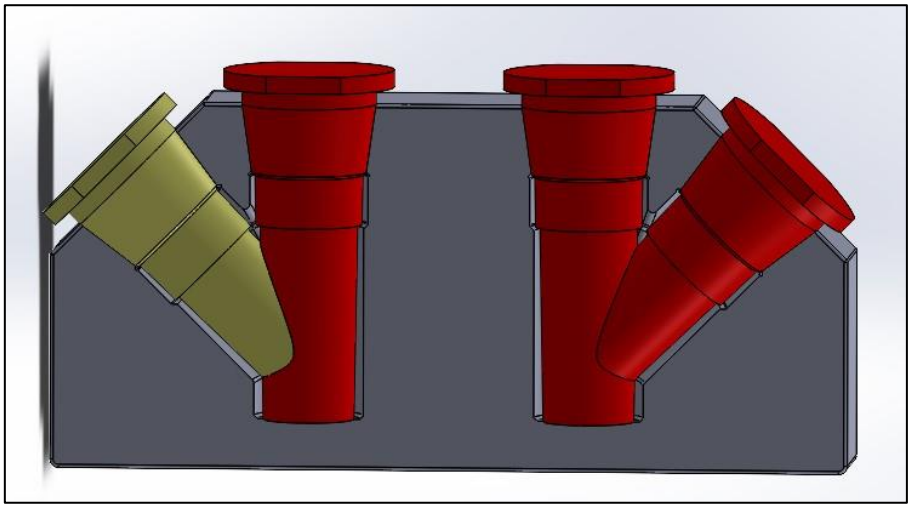


Fig (IV. 9) : Emplacement des coulisseaux sur le block noyau.

IV.3.4 Conception des tiroirs :

Nous avons choisi parmi les diverses propositions, le type de tiroir le plus simple à fabriquer, à mettre en œuvre ainsi qu'à entretenir.

Concernant la taille, nous avons opté pour les plus petites dimensions normalisées qui assure la couverture du nez de coulisseau aussi bien que la course d'ouverture nécessaire pour assurer l'éjection des pièces.

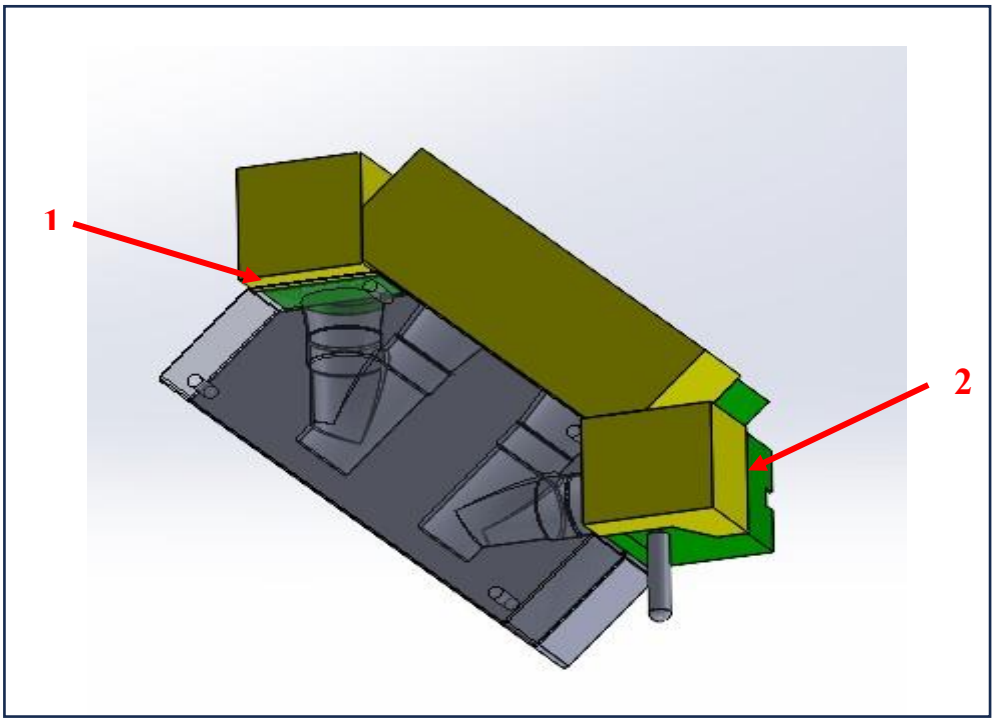


Fig (IV. 10) : Choix des tiroirs.

Le tiroir se compose de trois composants :

- **Le coulisseau (en vert) :** Il supporte le nez de coulisseau et il se déplace le long de la glissière usinée dans la plaque porte noyau.

- **Le doigt :** Il assure le guidage en translation transversale des coulisseaux **1**et **2**.

- **Bloc de verrouillage (en jaune) :** Il empêche l'ouverture du coulisseau sous haute pression.

IV.3.4.1 Mécanisme des terroirs :

Pour tirer le terroir principal, nous avons utilisé un vérin hydraulique à double effet.

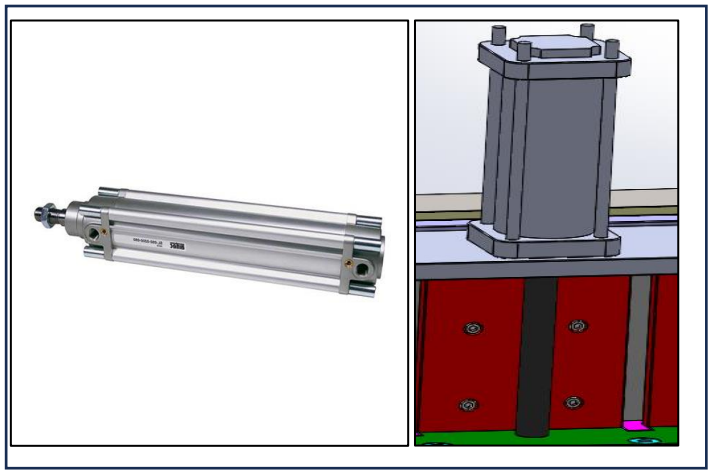
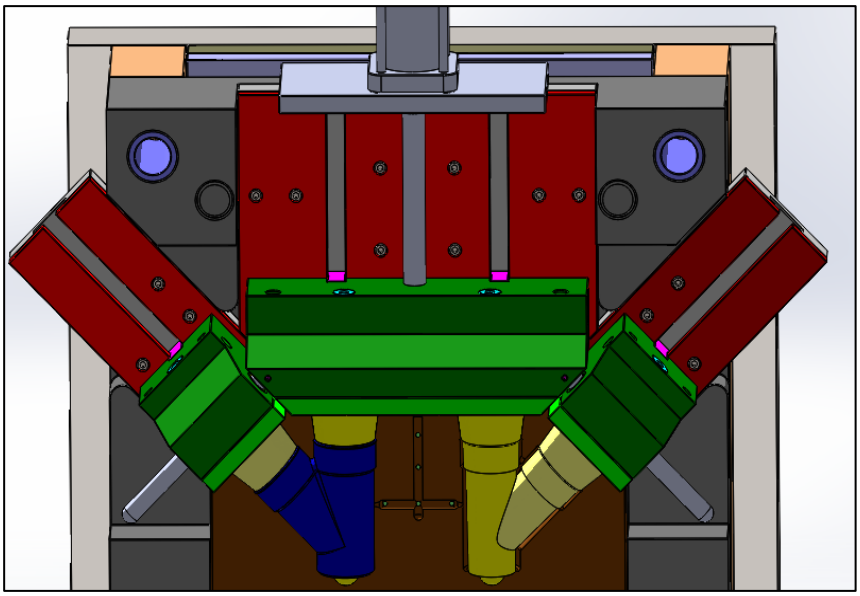


Fig (IV. 11) : vérin hydraulique à double effet

Vérin tire le Terroir central (principal), qui tire à son tour les deux doigts. Et ces derniers tirent les autres Terroirs (secondaires).

En cas de fermeture



En cas d'ouverture

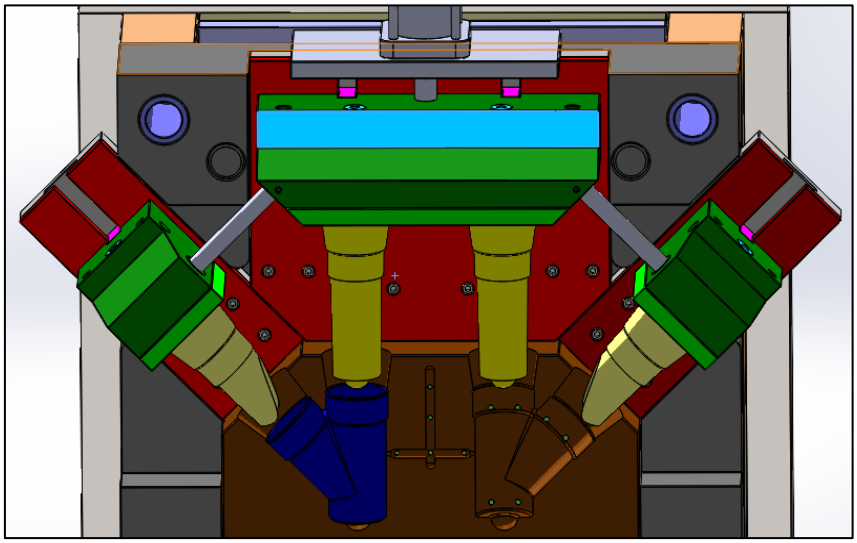


Fig (IV. 12) : Mécanisme des terroirs.

IV.3.5 Conception de l'alimentation :

Nous l'avons conçu comme suit :

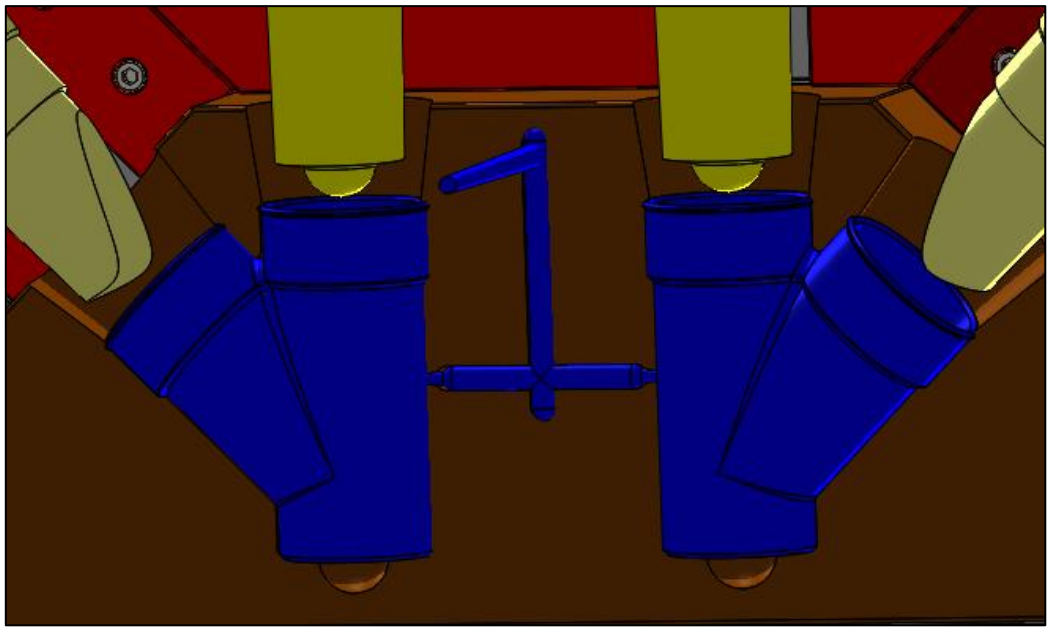


Fig (IV. 13) : Conception de l'alimentation.

IV.3.6 Conception de la régulation :

Comme le refroidissement est la fonction qui détermine la qualité des pièces, nous avons donné toute l'importance à ce circuit.

Nous avons choisi des canaux de refroidissement spéciaux pour la pièce, le premier dans les noyaux et l'empreinte et le second dans les Terroirs, et l'objectif de ce cycle de refroidissement spécial est de minimiser le temps de cycle, ce qui est étudié du côté du refroidissement et de la fabrication.

- Les canaux de refroidissement de l'empreinte ont un diamètre de 10 mm et sont répartis sur les pièces.
- Pour les Terroirs, nous avons utilisé un diamètre de 25 mm

Comme le montrent les figures suivantes :

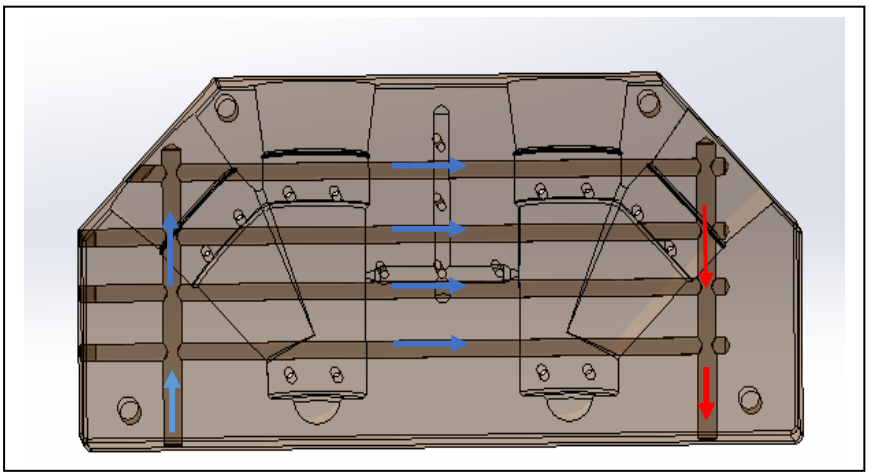


Fig (IV. 14) : Les canaux de refroidissement de l'empreinte

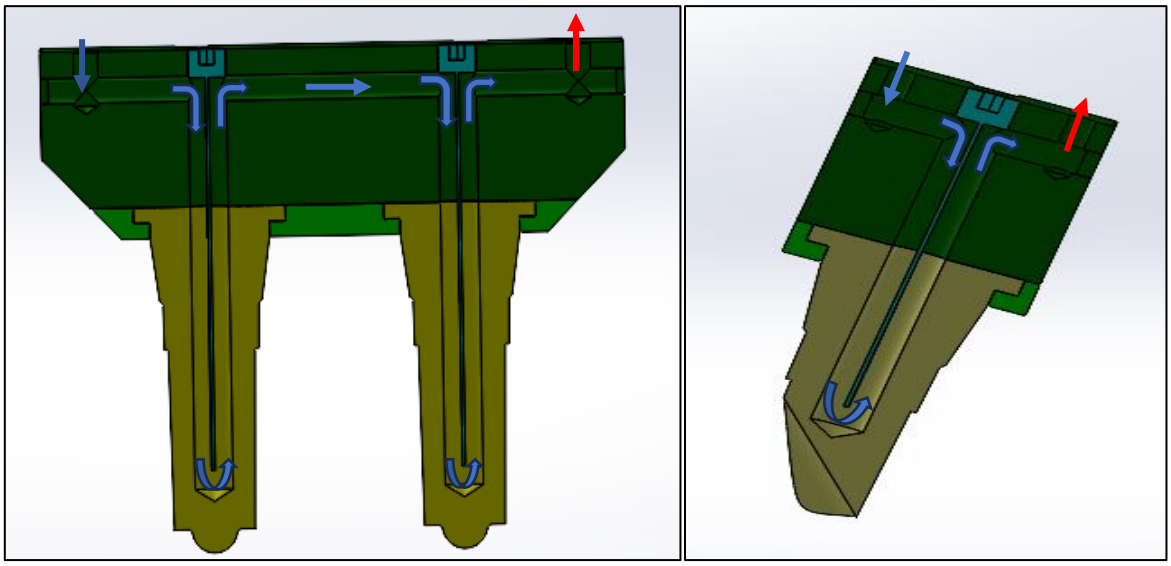


Fig (IV. 15) : Les canaux de refroidissement des terroirs

Nous avons utilisé **Lames déviations** pour séparer l'écoulement à l'intérieur du canal de refroidissement de terroir.

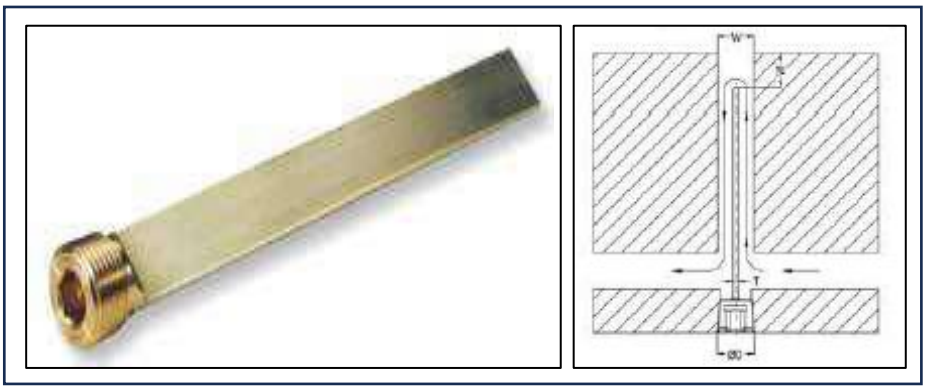


Fig (IV. 16) : Lame déviation filetage conique

IV.3.7 Conception du système d'éjection :

Les éjecteurs sont sensés dégager les pièces de leurs logement (coté noyau), d'une façon à minimiser les déformations et cacher les marques d'éjecteur.

Pour cela il faut :

- Placer le maximum possible d'éjecteur
- Repartir les éjecteurs d'une façon symétrique.

Dans notre cas, nous avons utilisé six éjecteurs pour chaque pièce. Il s'agit d'éjecteurs cylindriques de 6mm de diamètre.

Les éjecteurs se limitent au plan de joint.

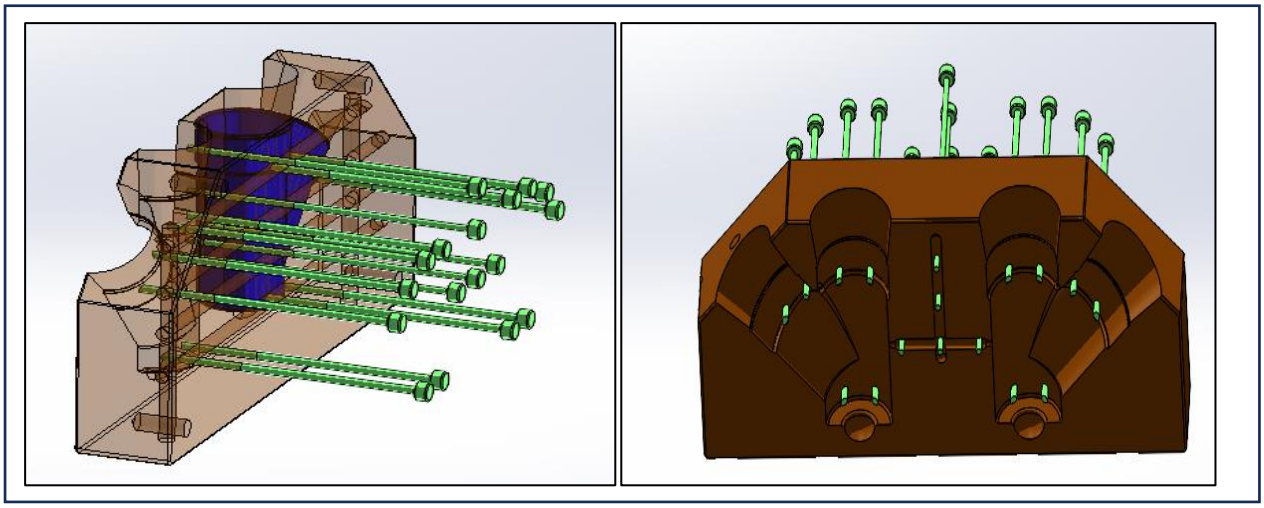


Fig (IV. 17) : Système d'éjection

IV.3.8 Conception de la carcasse :

Nous avons inséré une carcasse standard du fabricant **HASCO** qui couvre toute la géométrie des éléments déjà conçus : 696 x 696 mm. [27]

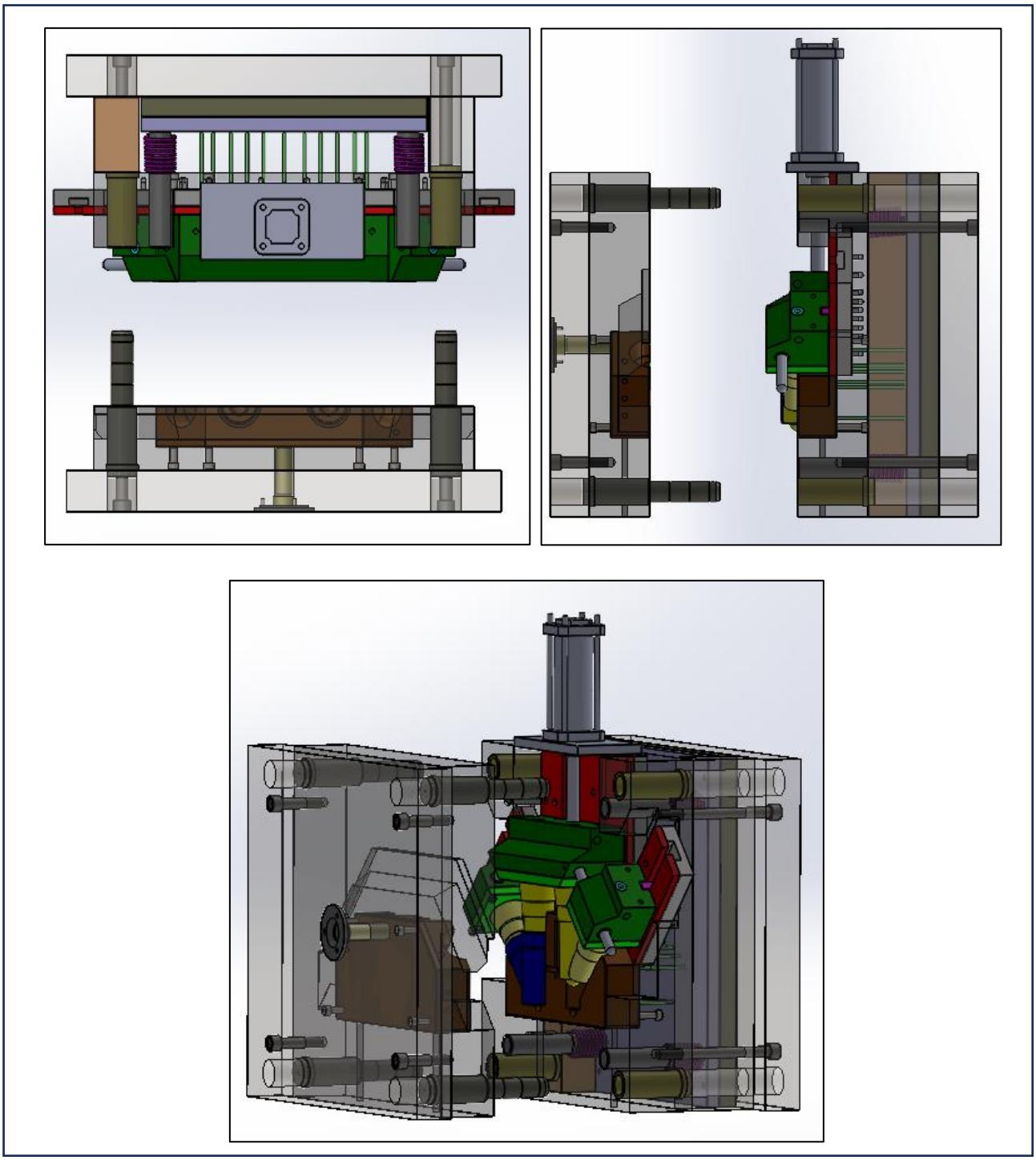


Fig (IV. 18) : Carcasse du moule.

IV.3.9 Les composants standards :

Il s'agit de la bague de centrage et la buse d'injection.

- **La bague de centrage :** Nous avons inséré la bague de centrage standard du fabricant **HASCO**, de référence Z7516_ 110×36×12 Type 3.

Le composant est représenté dans la figure suivante :

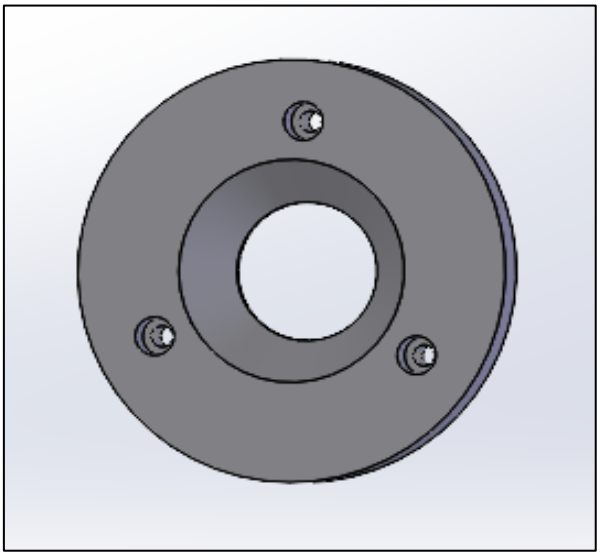


Fig (IV. 19) : Bague de centrage.

- **La buse d'injection** : La buse est choisie de tel sorte que son diamètre intérieur correspond au diamètre voulus de la carotte. Le rayon de la buse doit être supérieur à celui de la buse d'injection de la presse. Le rayon extérieur de la buse doit être égal au diamètre intérieur de la bague de centrage.

Nous avons inséré la buse d'injection standard du fabricant **HASCO**, de référence Z51_18×27_3.1_15.5.

La buse est représentée dans cette figure :

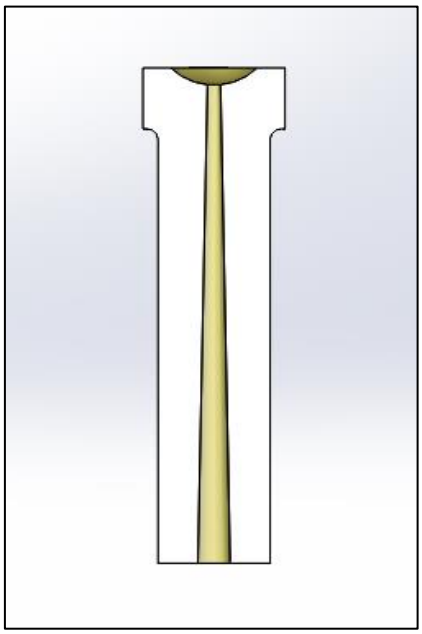


Fig (IV. 20) : La buse d'injection

IV.4 Simulation rhéologique :

IV.4.1 Données de la simulation :

IV.4.1.1 Modèle :

- Nom du produit : Coude d'eau (Y45°).
- Type : Solide
- Volume : 343.62 (cm3)
- Poids : 482.84 (g)

IV.4.1.2 Matériau :

- Nom du produit : "Polychlorure de vinyle PVC"
- Température de fusion : 190 °C
- Température du moule : 40°C
- Température d'injection : 210 °C
- Température d'éjection : 75 °C

IV.4.1.3 Conditions du processus :

- Le temps de remplissage : 5.25 sec
- Température Principal de matériaux de fusion : 210 °C
- Pression d'Injecter (Machine) Max : 200 MPa
- Débit d'Injecter (Machine) Max : 400 cc/s
- Temps de pression de maintien : 8.56 sec

IV.4.1.4 Conditions de Refroidissement

- Température de l'air : 30 °C
- Temps d'ouverture du Moule : 5 sec
- Débit moyen du liquide de refroidissement : 150 cc/s
- Température d'injection : 210 °C
- Temps de refroidissement : 57.74 sec
- Température de l'eau d'entrée : 25 °C

IV.4.2 Résultats de simulation :

Après l'analyse, le logiciel nous a donné **un feu vert** indiquant que l'analyse était réussie.

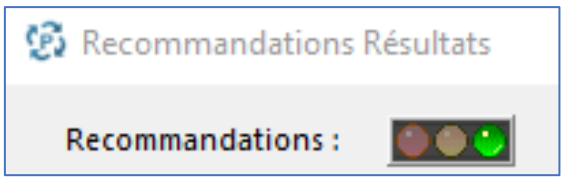
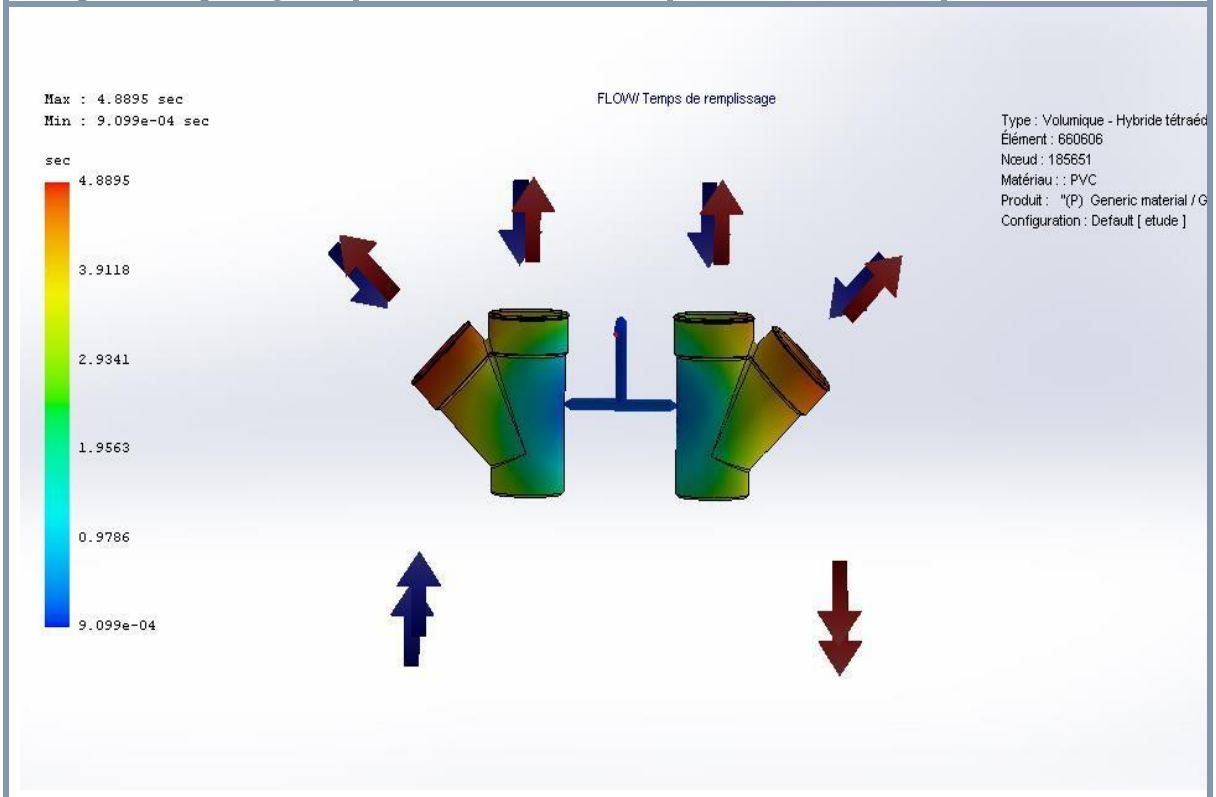


Fig (IV. 21) : Validité de l'analyse.

- **Temps de remplissage :**

Nom	Type	Min	Max
Temps de remplissage	Résultats Débit	0.000910	4.889504

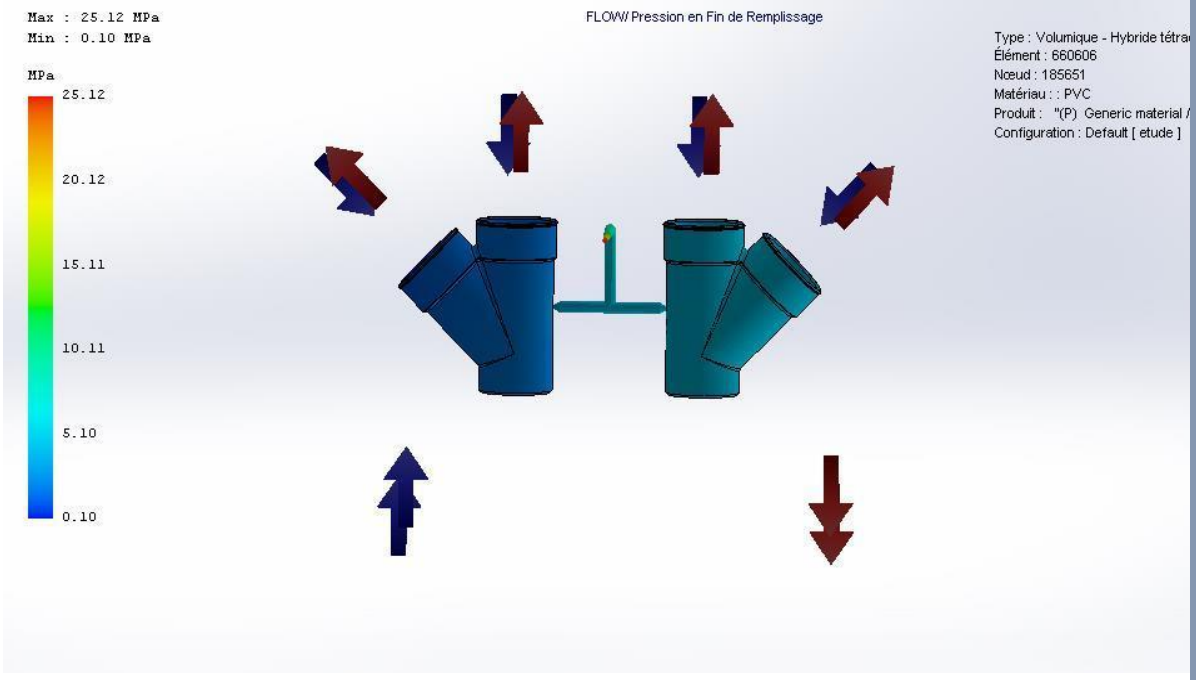


La figure montre la position du fond de la matière pendant l'écoulement du fluide à des intervalles réguliers. Les mêmes régions front d'écoulement sont de la même couleur. Les régions bleues indiquent le début de l'injection et les régions rouges signifient la fin de l'injection.

Fig (IV. 22) : Temps de remplissage.

- **Pression à la fin de remplissage :**

Nom	Type	Min	Max
Pression en Fin de Remplissage	**Résultats Débit**	**0.100000**	**25.121330**

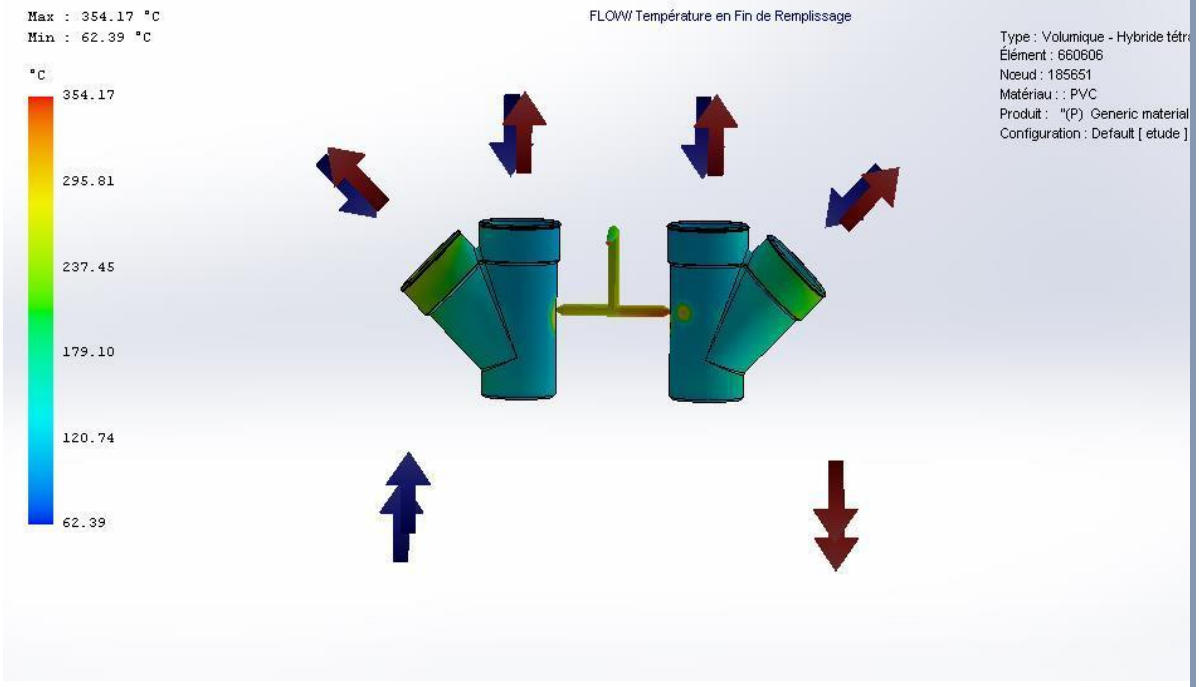


Pendant la phase de remplissage, la force d'injection appliquée par une vis est utilisée pour pousser le matériau fluide dans la cavité. La force se propage par l'intermédiaire du fluide et se traduit par une répartition de la pression dans la cavité. Le profil de pression, présentant la diminution de la pression de la porte d'entrée à la position en aval depuis la longueur d'écoulement augmente dans la direction d'écoulement.

Fig (IV. 23) : Pression à la fin de remplissage.

- **Température à la fin du remplissage :**

Nom	Type	Min	Max
Température en Fin de Remplissage	**Résultats Débit**	**53.658089**	**354.166687**

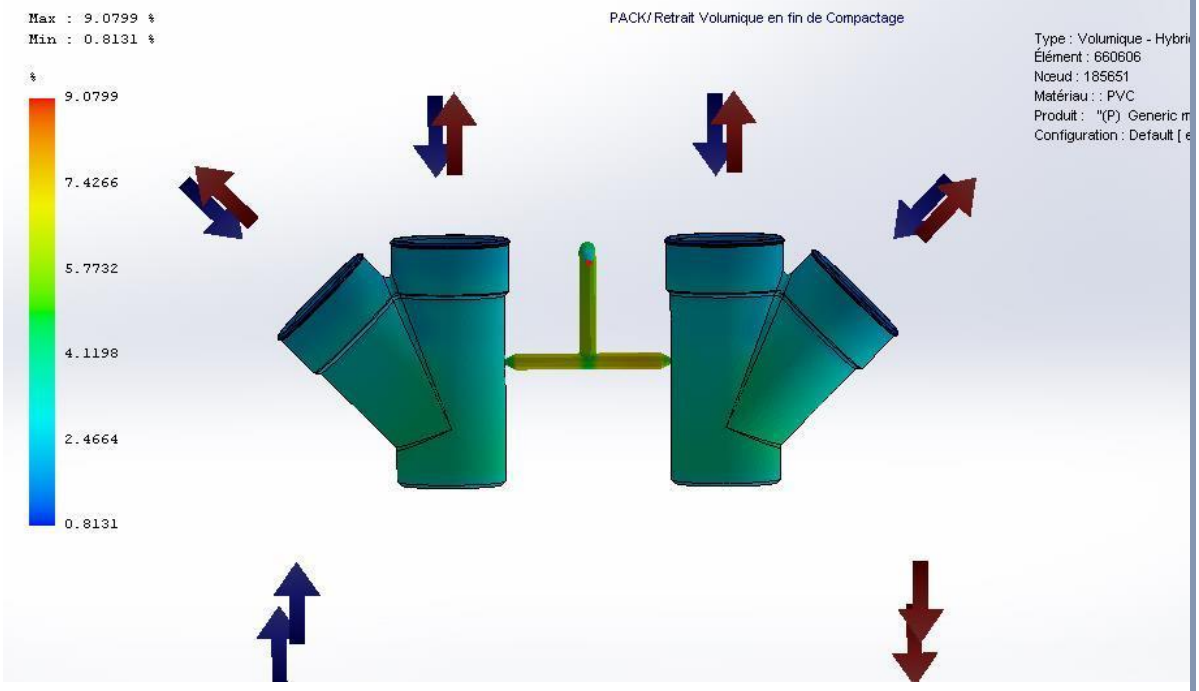


La température est une propriété physique de la matière qui exprime quantitativement les notions communes de chaud et de froid. En règle générale, pour la région de faible épaisseur, les résultats montrent qu'un effet de refroidissement ou une baisse de température est présent de cette région. D'autre part, la région de forte épaisseur est à une température plus élevée.

Fig (IV. 24) : Température à la fin du remplissage.

- **Retrait volumique à l'éjection :**

Nom	Type	Min	Max
Retrait Volumique à l'injection	**Résultats de compactage**	**0.813052**	**9.079940**

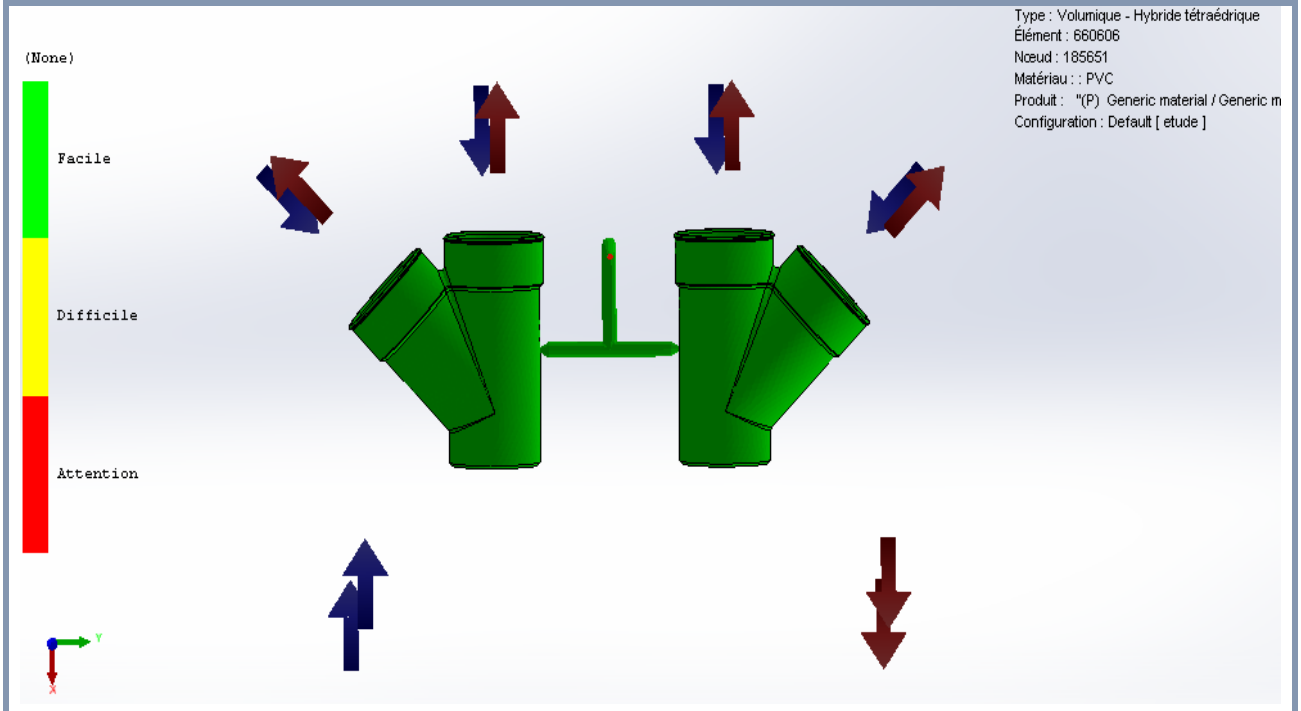


Le matériau polymère est compressible et le volume spécifique du matériau est fonction de la pression et de la température. La température de la pièce se réduit à la température ambiante après l'éjection, de sorte que la répartition de la densité de la pièce est modifiée.

Fig (IV. 25) : Retrait Volumique à l'injection.

- **Facilité de remplissage :**

Nom	Type
Facilité de remplissage	**Résultats Débit**

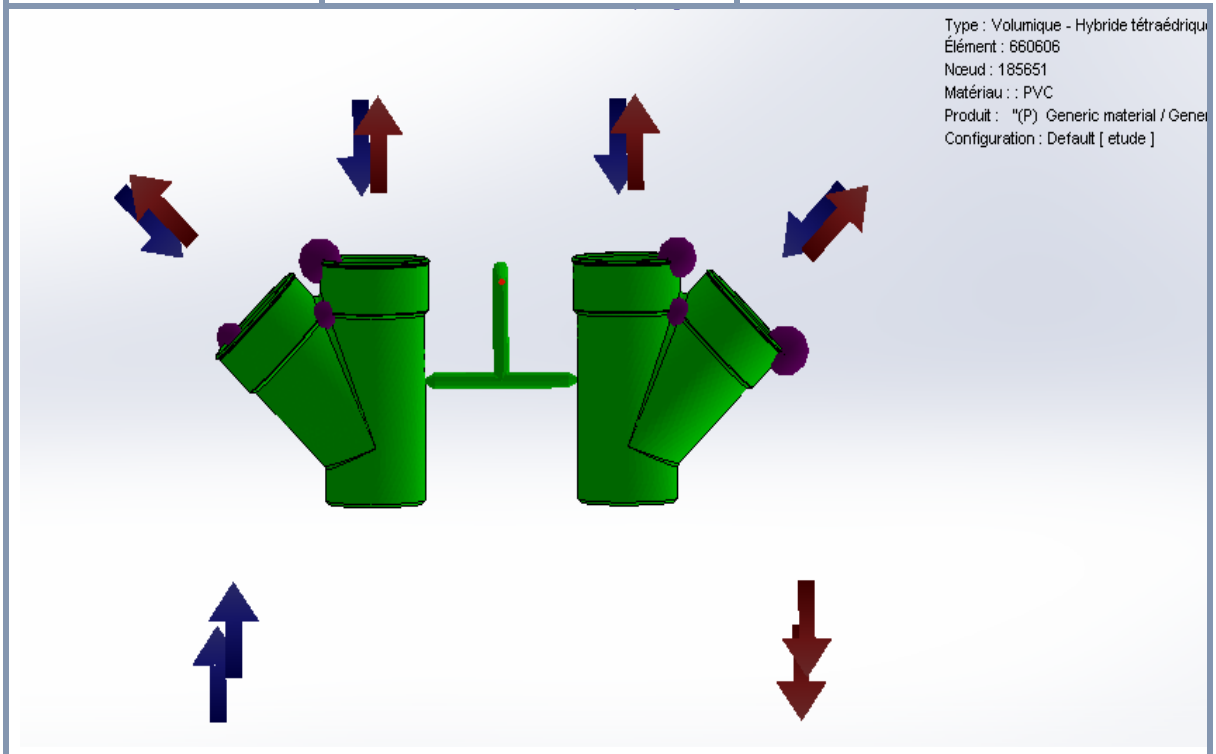


La figure peut nous aider à savoir si la pièce à été remplie avec succès ou non. La région verte indique que la zone pourrait être remplie sous pression d'injection normale. La région jaune indique que la zone de chute de tels excès est de 70% de la pression d'injection maximale. La région rouge indique que la zone de chute de tells excès est de 85% de la pression d'injection maximale, et il faut noter à propos que la pression d'injection est suffisante ou non.

Fig (IV. 26) : Facilité de remplissage.

- **Bulles D'air Events :**

Nom	Type
Bulles D'air Events	Résultats Débit



La présence de bulles d'air dans les évents d'un moule à injection plastique peut être préjudiciable à la qualité de la pièce finale. En effet, ces bulles peuvent causer des défauts esthétiques ou structurels, compromettant ainsi la solidité et la durabilité du produit. Il est donc essentiel de surveiller et de contrôler attentivement ce phénomène afin d'obtenir des pièces de qualité optimale. Des orifices placés correctement permettront une évacuation rapide.

Fig (IV. 27) : Bulles D'air Events

- **Température de refroidissement (°C) en fonction du temps (s) :**

Nous avons choisi **8** points dans les pièces pour observer changement de la température en fonction du temps en ces points, ce qui nous permet de connaître le temps nécessaire au refroidissement complet du matériau pour pouvoir l'éjecter.

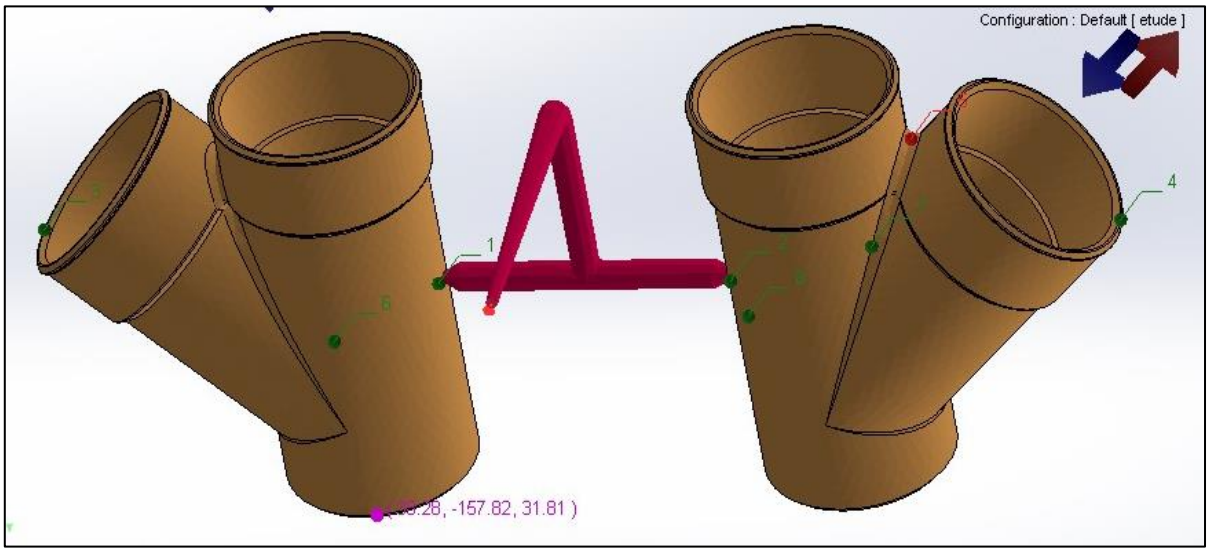


Fig (IV. 28) : Points choisis dans les pièces

Figure suivante (Fig (IV.31)) représente la courbe de changement de température en fonction du temps de les **8** points choisis :

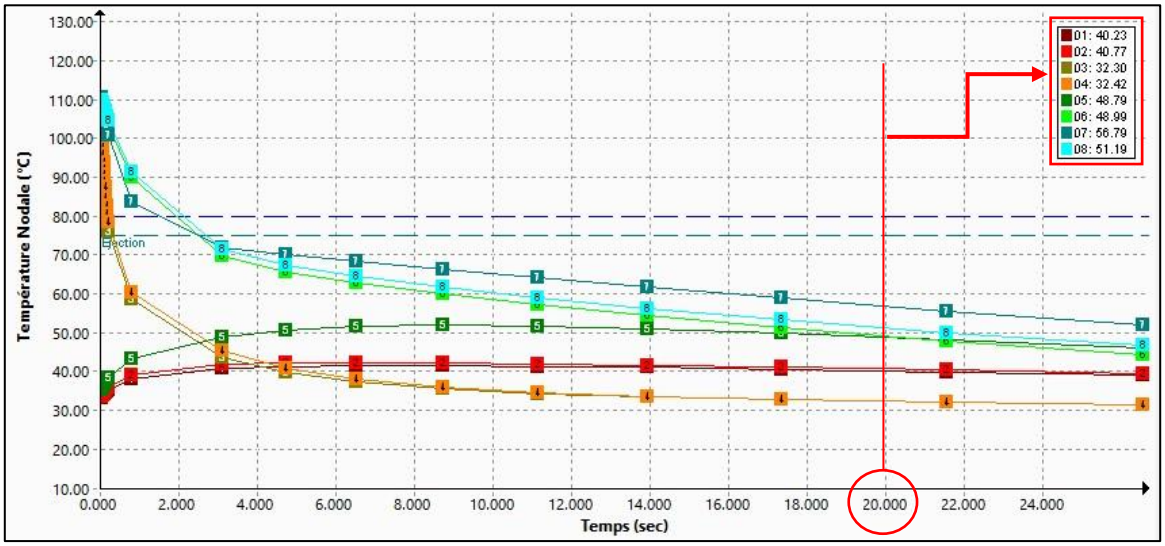


Fig (IV. 29) : la courbe de changement de température en fonction du temps

Nous avons déterminé que la température maximale d'éjection était de 75°.

Depuis La courbe on remarque qu'à 20 secondes, la température est favorable et inférieure à la température maximale d'éjection.

Nous en concluons qu'il s'agit de la température optimale pour l'éjection.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, nous avons exploré les différents types de moulage plastique, tels que l'injection, le soufflage, la compression et l'extrusion. Chaque méthode présente ses avantages et s'adapte à des applications spécifiques, permettant ainsi la production de pièces en plastique de différentes formes, tailles et propriétés. Le choix du type de moulage dépend des exigences de la pièce, du volume de production et des caractéristiques du matériau plastique utilisé.

Dans le secteur industriel, le moulage par injection de pièces en plastique est un procédé bien connu qui permet d'obtenir de grandes quantités de pièces à un prix raisonnable avec une grande précision.

Ce procédé nécessite un élément important appelé « moule », qui se compose de plusieurs pièces, dont des pièces standard telles que les tasseaux, les plaques semelle, etc. et des pièces spécifiques au produit telles que l'empreinte. Lorsqu'une pièce possède une surface qui s'oppose à son démoulage (contre dépouille), ou des orifices latéraux l'immobilisant lors de démoulage, on fait appel à des solutions mécaniques plus compliquées : les tiroirs.

La réalisation du moule avec terroirs qui a fait l'objet de notre étude est basé sur la conception que nous souhaitons la plus simple et la plus adéquate.

Le logicielle **SOLIDWORKS** nous a facilité la conception des pièces, l'obtention des empreintes et la conception de toutes les autres pièces du moule puis de faire le montage complet et une analyse des interfaces. Nous sommes arrivés à élaborer une animation en 3D qui rend notre conception claire malgré sa complexité.

Enfin ce projet nous a permet d'approcher la réalité de monde du travail dans les grandes entreprises, et nous a donné l'occasion de toucher à des domaines assez vastes de la construction mécanique.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] Wikipedia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Moulage (28/03/2024)

[2] cours de moulage. https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/3%20Le%20moulage%2034%20pages.pdf (28/03/2024)

[3] Projet Fin D'étude « Etude et réalisation d'un moule d'injection plastique », Par : AYOUH OUSSAMA, AOUICHA MUSTAPHA, SERAYA ISLEM, Université SAAD DAHLAB DE BLIDA 1, 2020/2021

[4] Cour Procédés de mise en forme par moulage, DR GARA SOUHIL, 2017.

[5] Document sur moulage en carapace.

https://www.yumpu.com/fr/document/read/17469694/le-moulage-en-carapace-croning

[6] Un guide complet du processus de moulage à la cire perdue https://dawangcasting.com/fr/blog/investment-casting-process/ (28/03/2024)

[7] Article « Coulée centrifuge : types, procédés et applications industrielles ».

https://www.rapiddirect.com/fr/blog/centrifugal-casting/ (28/03/2024)

[8] Article « Qu'est-Ce Que La Coulée Centrifuge Et Comment Ça Marche ? ». https://fr.vincibiomass.com/info/what-is-centrifugal-casting-and-how-does-it-wo-73569169.html (29/03/2024)

[9] JULIEN HUMBERT : « Conception, élaboration et production d'agro composite à partir de tourteau de tournesol : étude du procédé d'extrusion-formulation-granulation, Et d'injection-moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, France, 2008

[10] Benoît WATREMETZ : « modèle thermomécanique 3D d'un matériau a gradient de propriétés à l'aide de techniques multi grilles. Application aux moules d'injection de polymères ». DOCTORAT D'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON, France, 2006.

[11] PATRICIA NICAUD : Projet troisième ROB'OK, Les Matières Plastiques, 2009.

[12] Projet Fin D'étude « Contribution à l'étude de la phase post remplissage du moulage par injection », Par : DJABALLAH ABDELMALEK, UNIVERSITE DE BISKRA, 2012.

[13] « Analyse Des Caractéristiques Physicochimiques De Matériaux Thermoplastiques En Composites De Chanvre : Comparable Aux Plastiques Traditionnels Pétrochimiques ? » par : ÉTIENNE BOULERICE, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, Canada, 2019.

[14] Projet Fin D'étude « Conception générale des moules pour injection plastique », Par : AHMED HAMADI, UNIVERSITE DE M'SILA, 2003.

[15] Projet Fin D'étude « Conception d'un moule d'injection des pièces en M.P», Par : OUACHOUACHE ABD EL KRIM, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR DE ANNABA, 2019

[16] Cours « conception de moule », SAADA BECHIR, (page 02).

[17] Article « Qu'est-ce que le PVC : utilisation, avantage, inconvénient ». https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-124-qu-est-pvc-utilisation-avantage-inconvenient.html (04/04/2024)

[18] Projet Fin D'étude « Fabrication D'un Moule Pour Injection Plastique Par CNC », Par : BOUTAYEB SALAH ; BENLAMOUDI TALEB MOHAMMED, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2021.

[19] C. CORBET : MATÉRIAUX OUTILLAGE DE MISE EN FORME, Edition CASTEILLA.

[20] Cours « CONCEPTION DE MOULE D'INJECTION PLASTIQUE », SAADA BECHIR. https://www.technologuepro.com/cours-conception-moules-sb/chapitre-3-conception-moule-injection-plastique.pdf (04/04/2024)

[21] Article « Injection plastique », Par : OUSSAMA ZAKARI, 25 oct. 2013. https://fr.slideshare.net/zakarioussama/injection-plastique (08/04/2024)

[22] Projet Fin D'étude « Démarche de Conception d'un Moule à Injection Plastique », Par : OURKHOU EL- HACHEMI ; SEBAIHI SOFIANE, Université De BEJAIA, 2014.

[23] Article « Moule prototype ou moule série ? » https://prototechasia.com/moule-prototype-ou-moule-serie (06/05/2024)

[24] Article « Concevoir un produit injecté », Par : SALAH FERCHICHI, https://fr.slideshare.net/salahferchichi127/2029-mod-4 (08/05/2024)

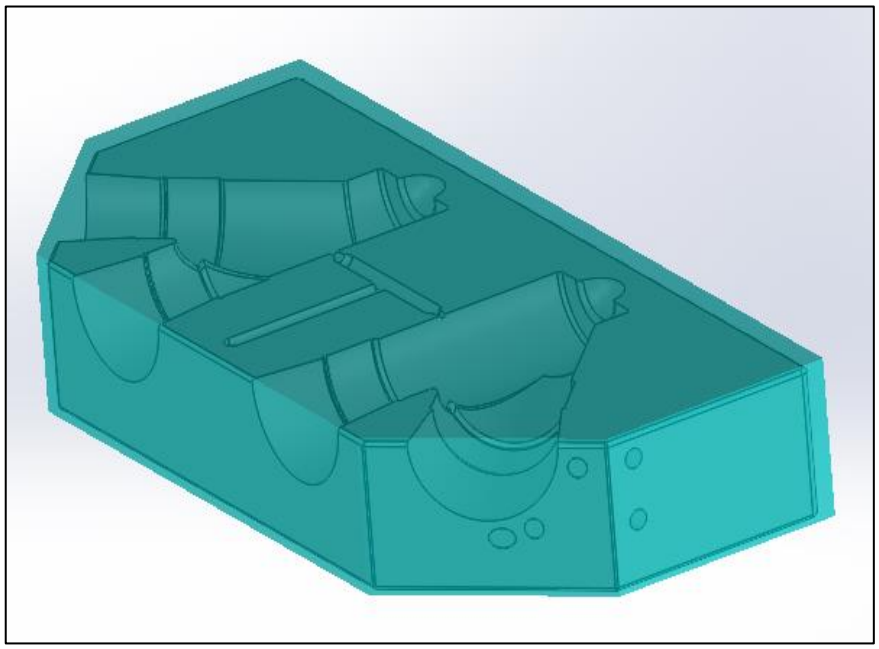
[25] Cours « CONCEPTION DES MOULES D'INJECTION DES MATIERES PLASTIQUE », Par : HAMMAMI.T et LOUATI.H, https://docplayer.fr/19633141-.html (15/05/2024)

[26] Catalogue API PLASTIQUE édition 2020, www.mouldshop.fr

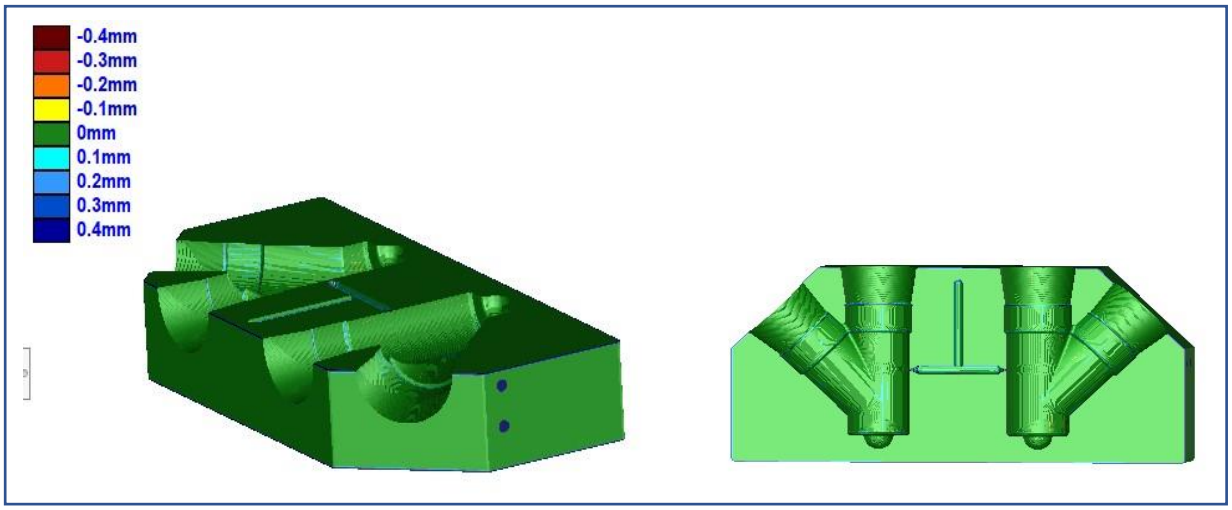
[27] Catalogue HASCO édition 2021, www.hasco.com

ANNEXE

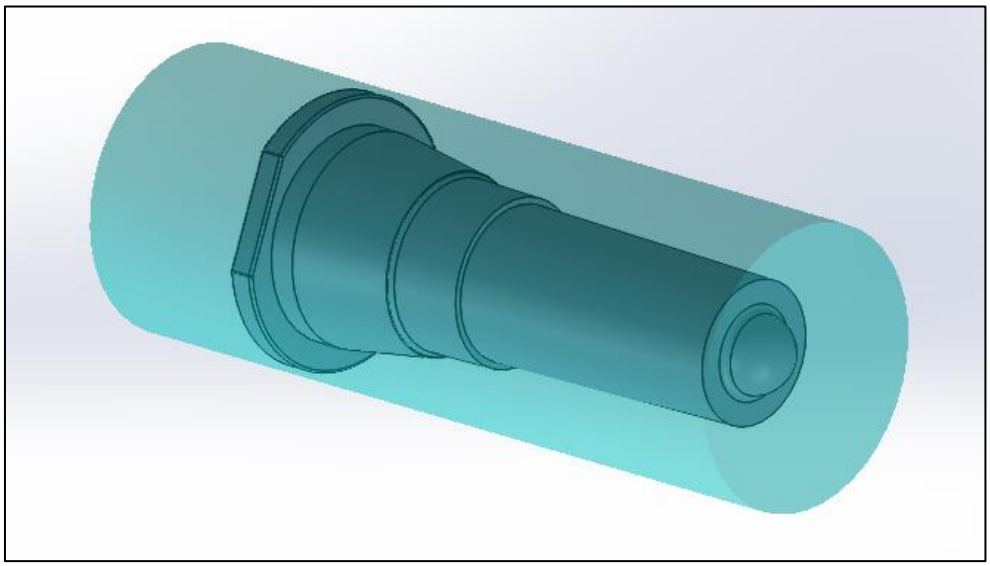
- **La gamme d'usinage numérique d'empreinte :**



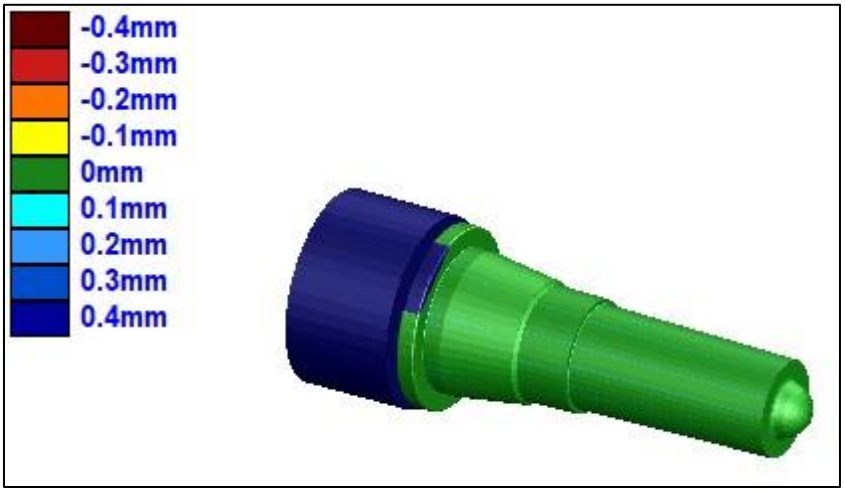
La pièce	Opération	Profondeur de passe (mm)	Ø outil (mm)	Vitesse d'avance (mm/min)	Vitesse de broche Tr/min	Temps d'usinage (min)
Plaque d'Empreinte	Surfaçage	0.5	60	400	5000	38.05
	Contour	2	16	400	5000	24.42
	Zone d'approche	0.5	12	400	5000	1346.61
	Pas constant (finition)	0.25	6	350	5000	394.13
	Bitangence	0.1	3	184.47	6000	4.12
	Zone d'approche 2 (carotte)	0.5	8	400	3000	11.08
	Pas constant 2 (finition)	0.25	6	400	6000	19.28
	Bitangence2	0.1	3	350	6000	0.77
						1838.4


-0.4mm
-0.3mm
-0.2mm
-0.1mm
0mm
0.1mm
0.2mm
0.3mm
0.4mm

- **La gamme d'usinage numérique de noyau :**

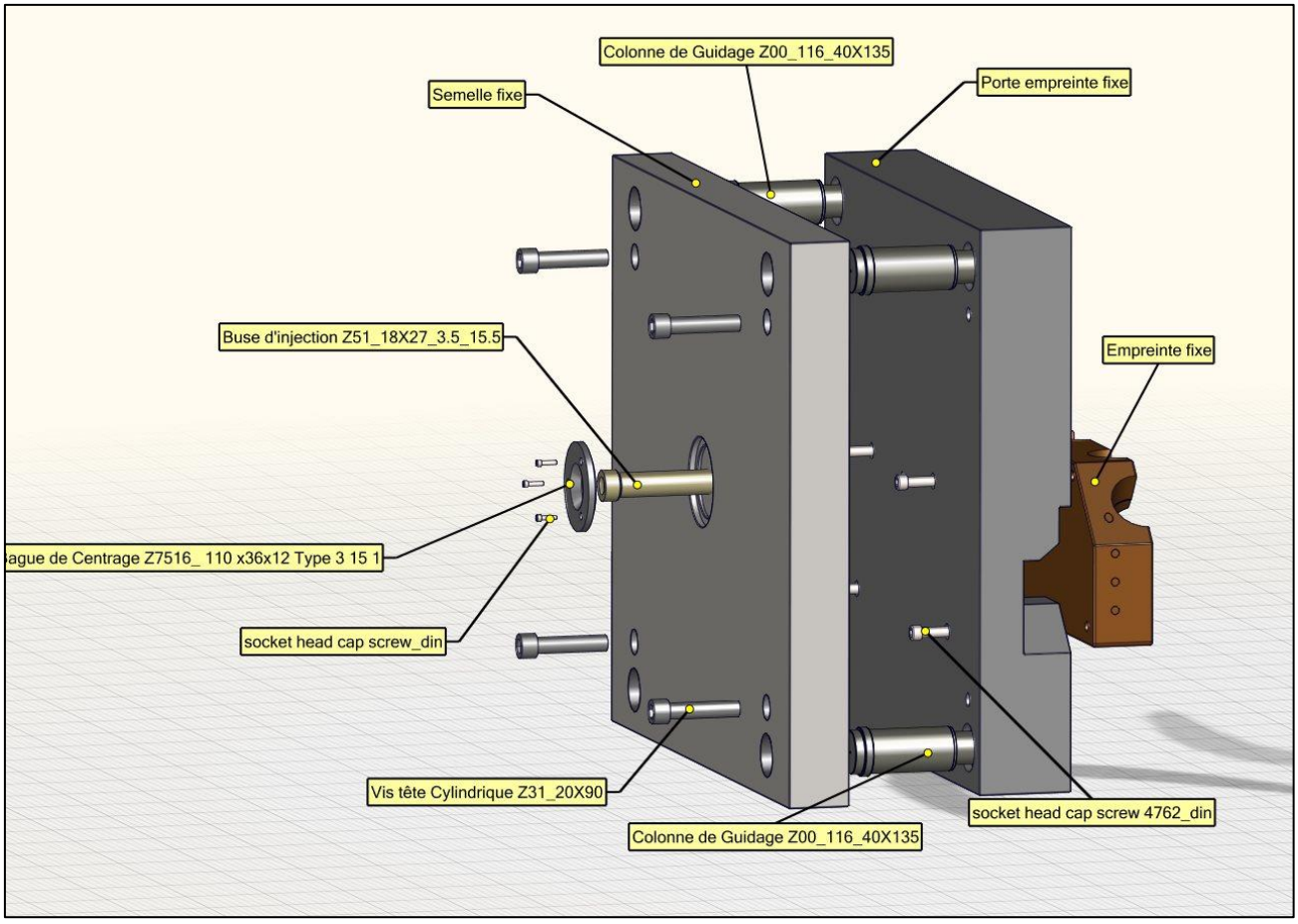


La pièce	Opération	Profondeur de passe (mm)	Outil (mm)	Vitesse d'avance (mm/min)	Vitesse de broche Tr/min	Temps d'usinage (min)
Noyau	Ébauche tournage1	0.5	Plaquette rhombique 0.4×55°	280	700	20.54
	Finition tournage	0.1	Plaquette rhombique 0.4×55°	175	700	1.56
	Tronçonnage	8	Rainure 5	80	258.39	5.39
						27.49

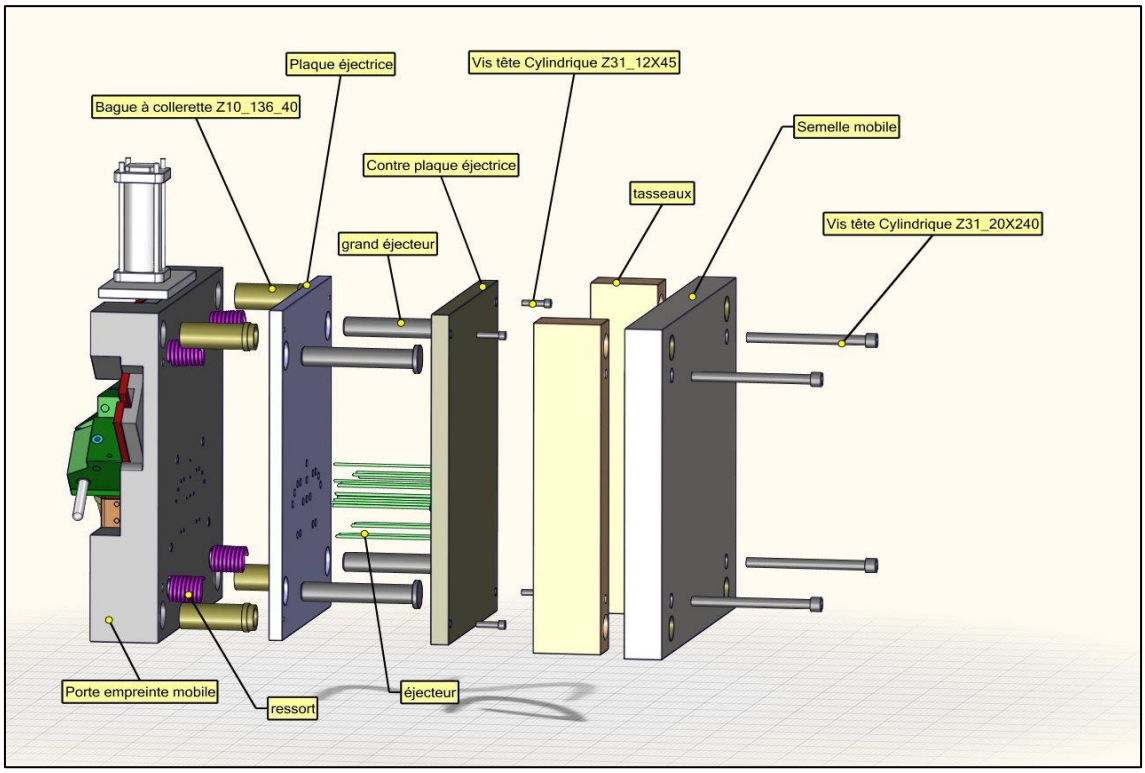


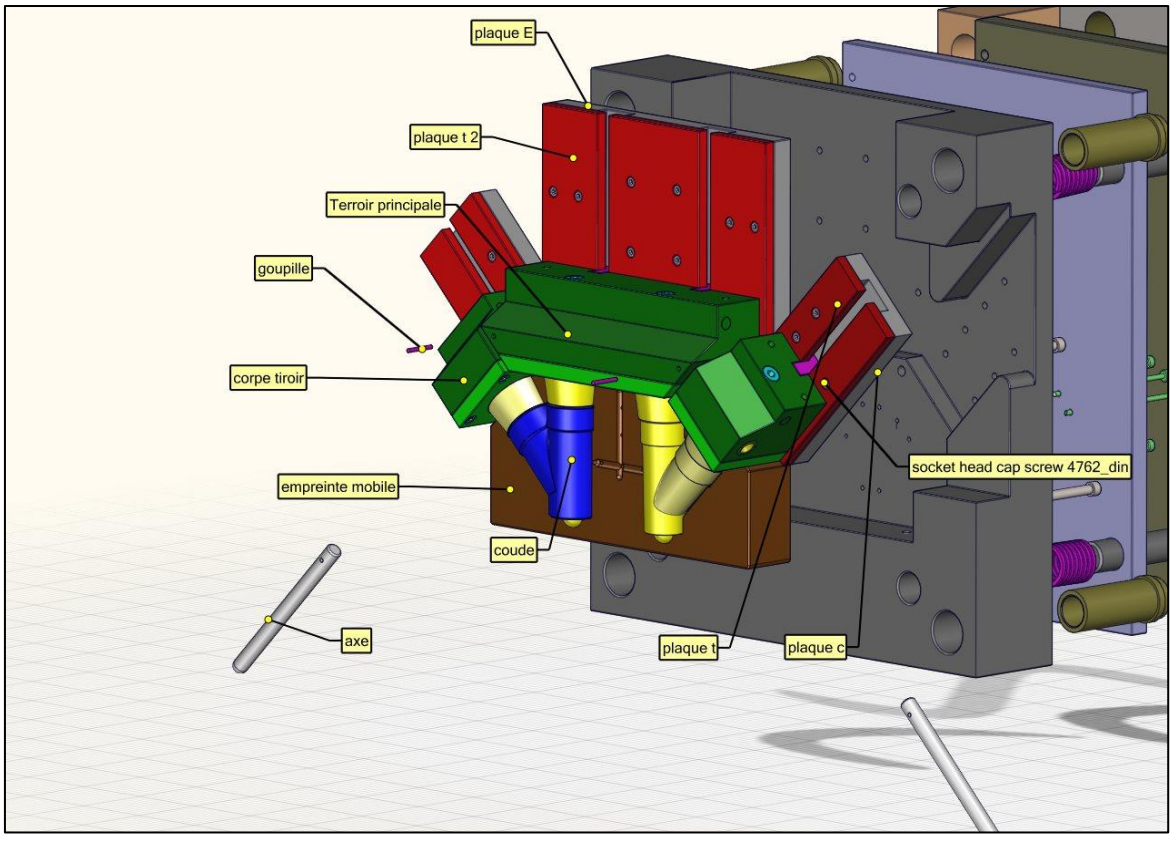
Dessins éclatés

Partie fixe :



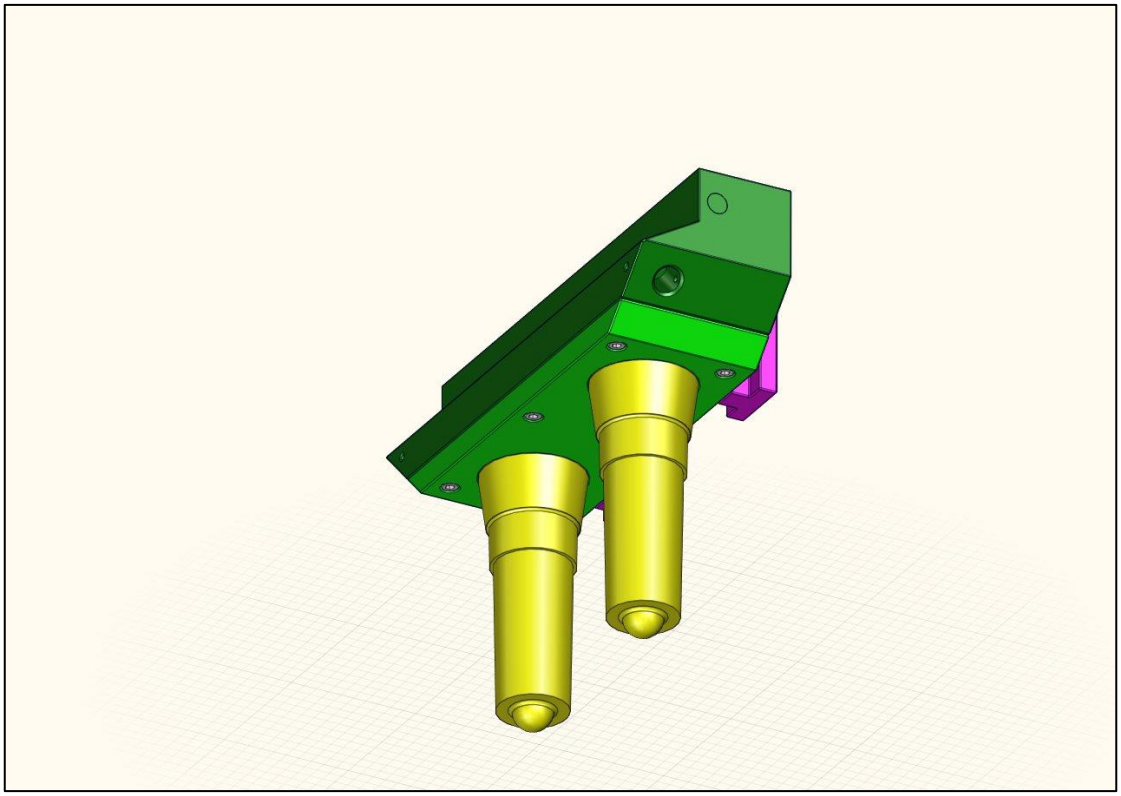
Partie mobile :

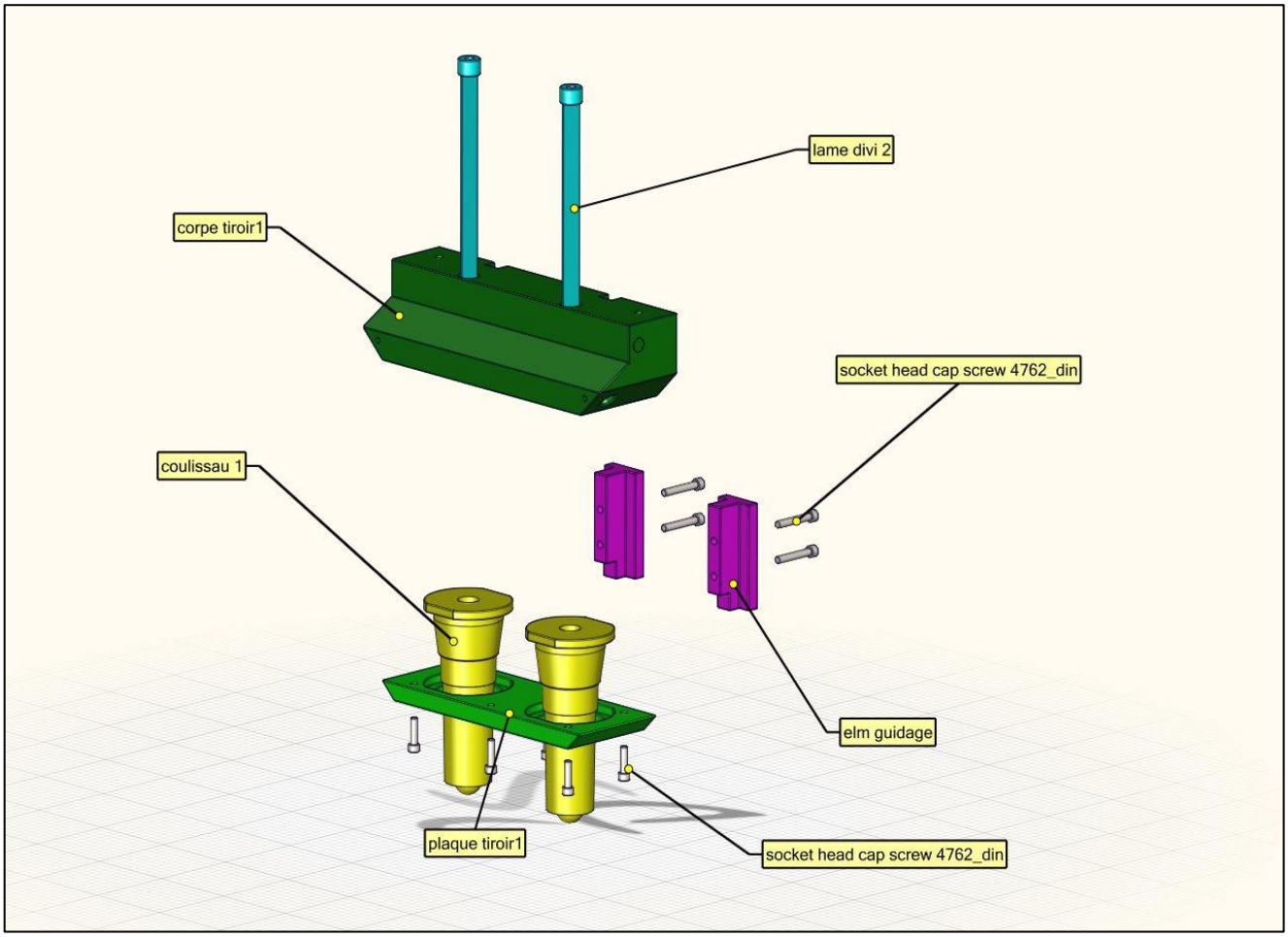




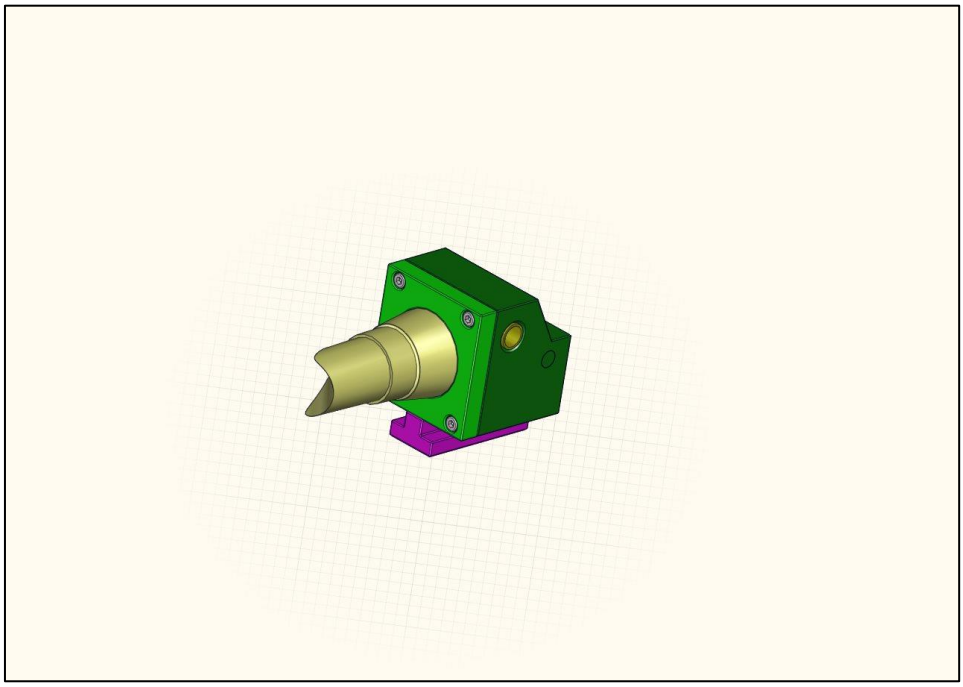
Les Terroirs :

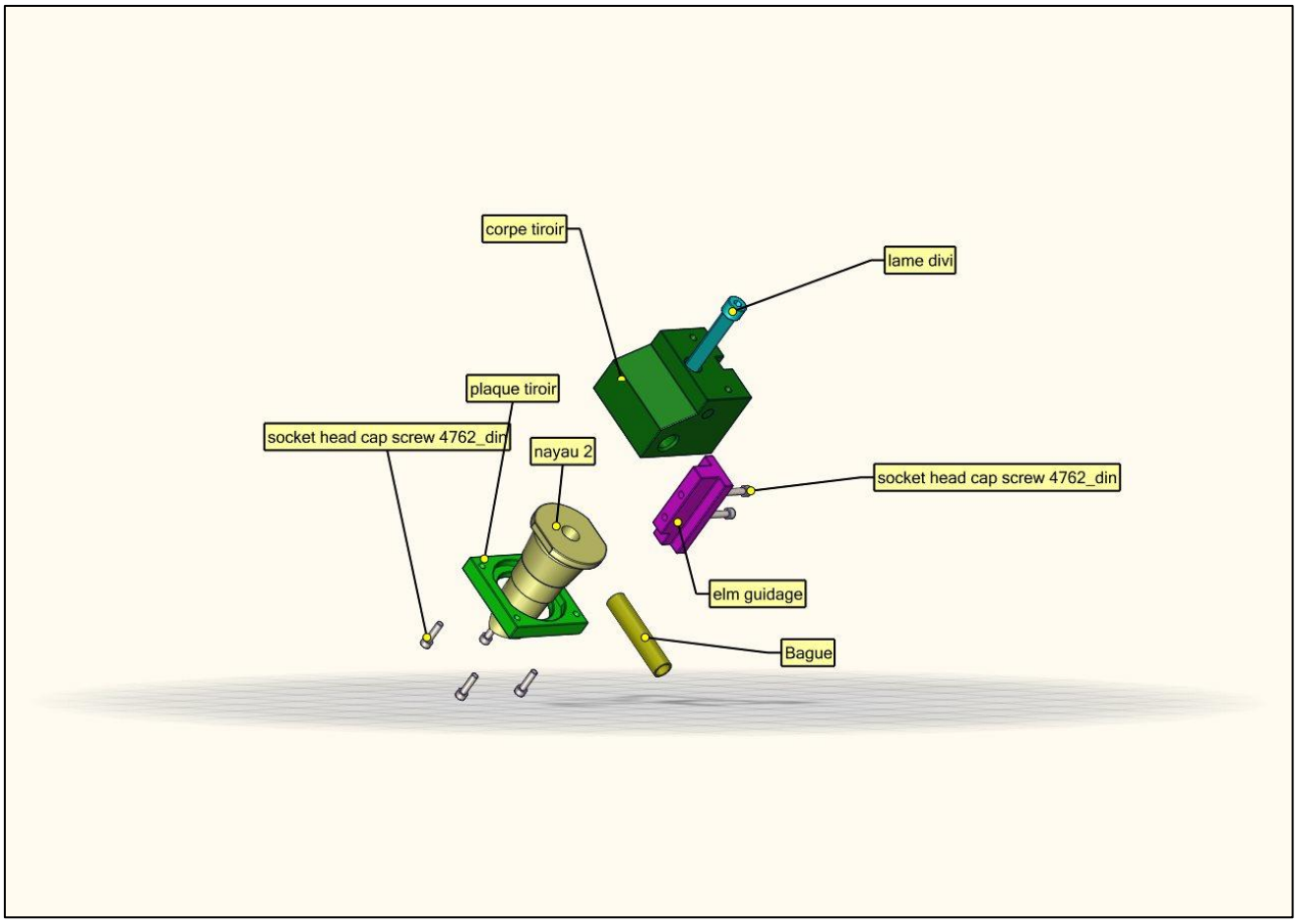
Terroir Principale :

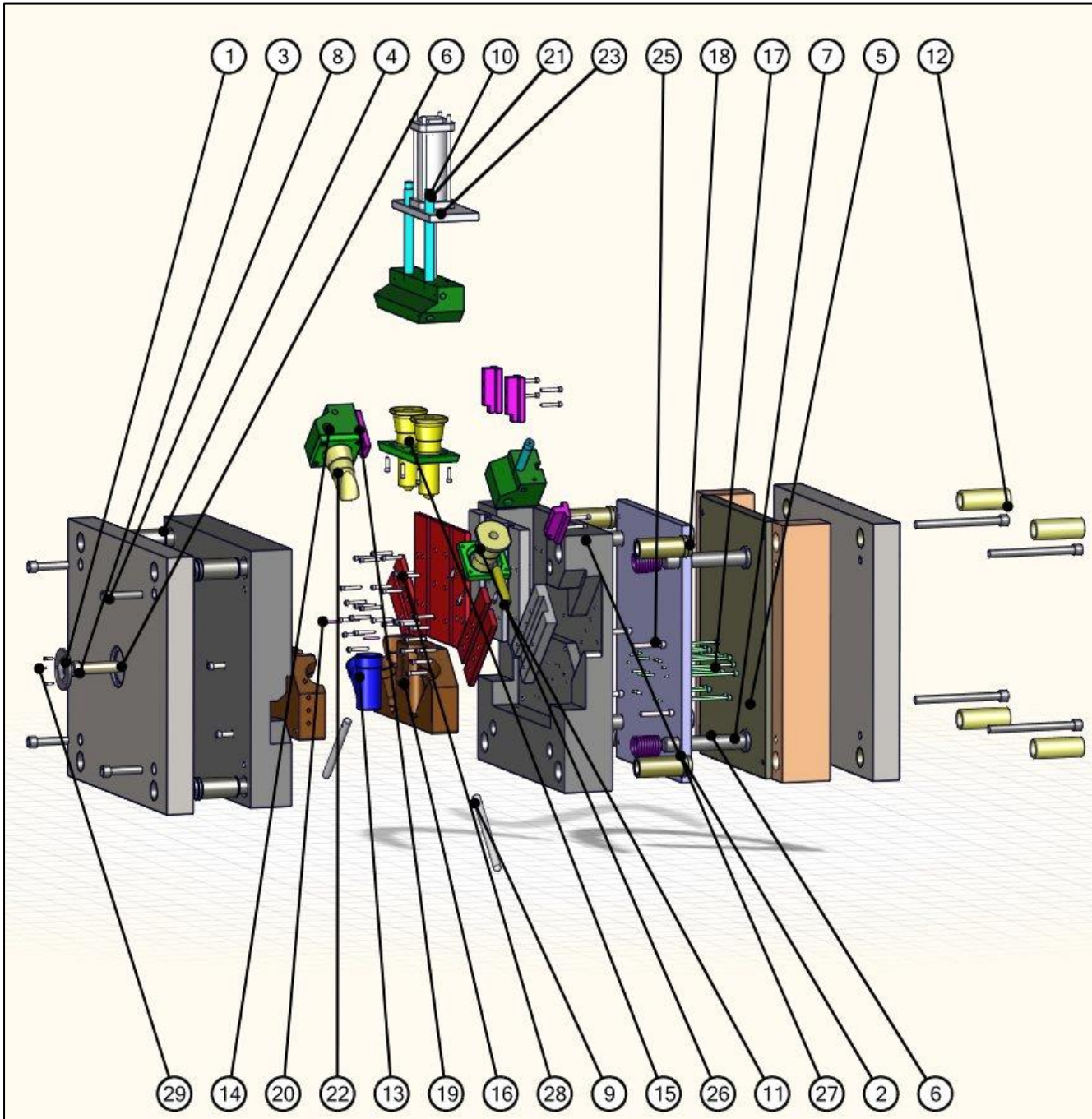




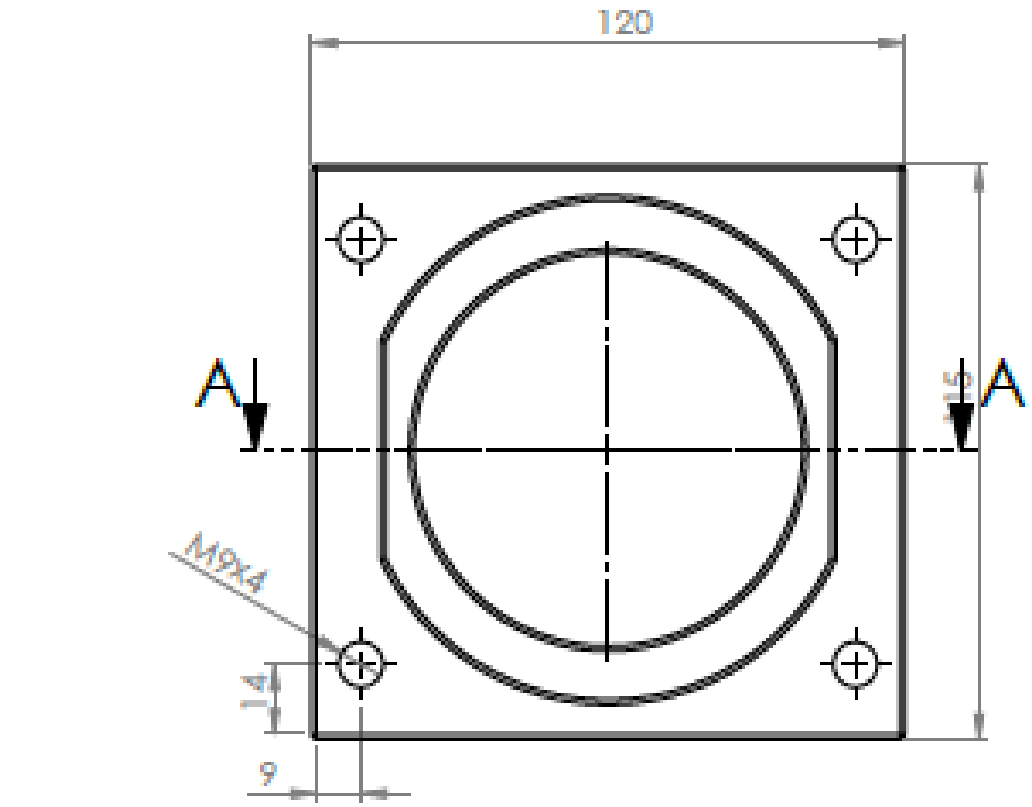
Terroir secondaire :

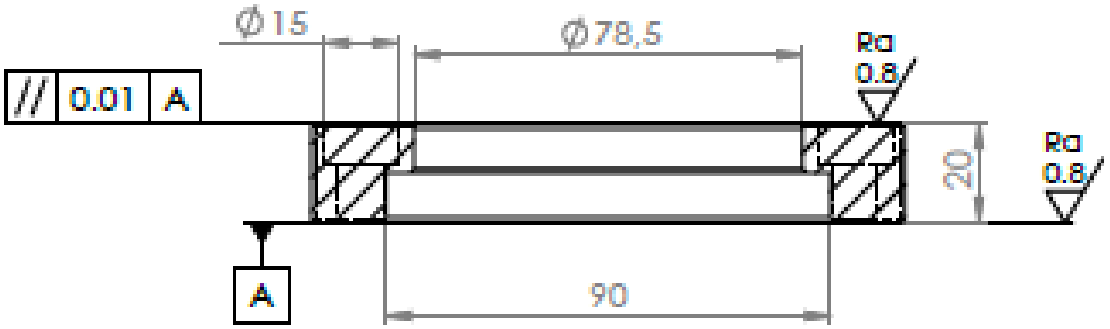




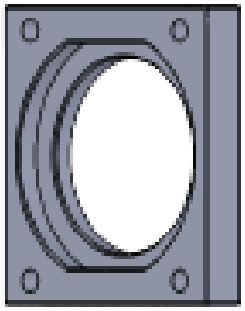


Description	BOM ID	Qté
axe	9	2
axe virin	10	1
bage	11	2
bague centrage	12	4
Bague de Centrage Z7516_ 110 x36x12 Type 3 15 1	1	1
Bague à collerette Z10_136_40	2	4
Buse d'injection Z51_18X27_3.5_15.5	3	1
Colonne de Guidage Z00_116_40X135	4	4
corpe tiroir	14	3
coude	13	1
coulissau 1	15	2
ejctur	17	1
ejctur rppl	18	1
elm guidage	19	4
emp	16	2
gp	20	2
lame divi	21	4
nayau 2	22	2
Pièce1	5	2
Plaque	6	3
plaque ejctr	25	1
plaque tiroir	26	3
pp	23	1
rssr	27	4
socket head cap screw 4762_din	28	58
socket head cap screw_din	29	3
Vis tête Cylindrique Z31_12X45	7	4
Vis tête Cylindrique Z31_20X	8	8



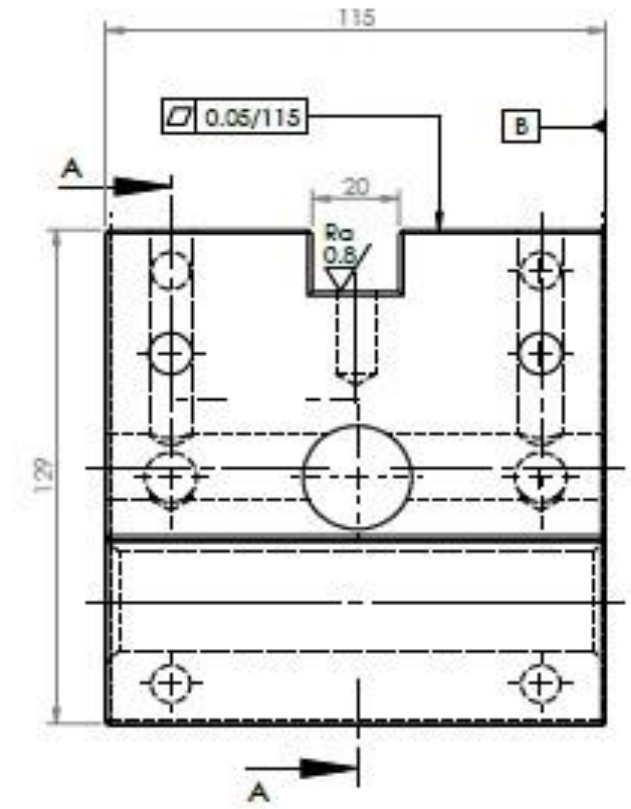


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1.5

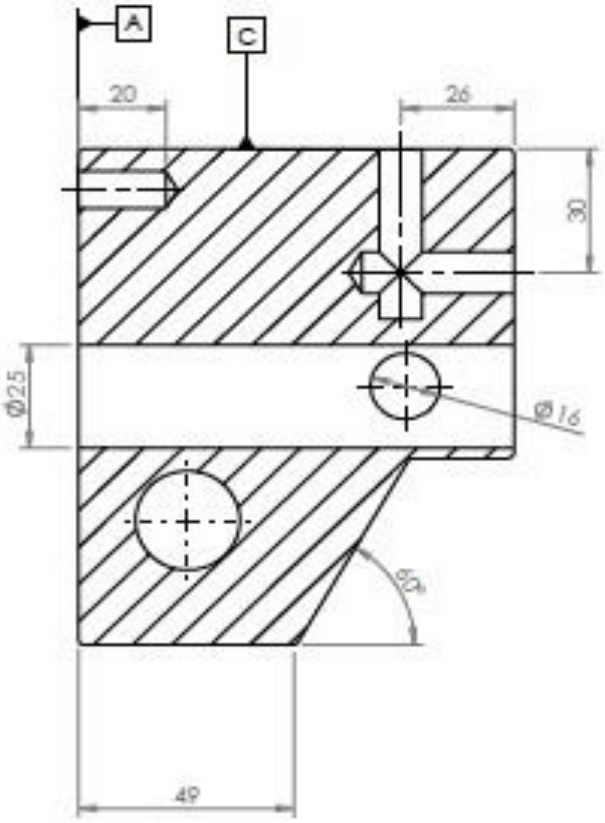


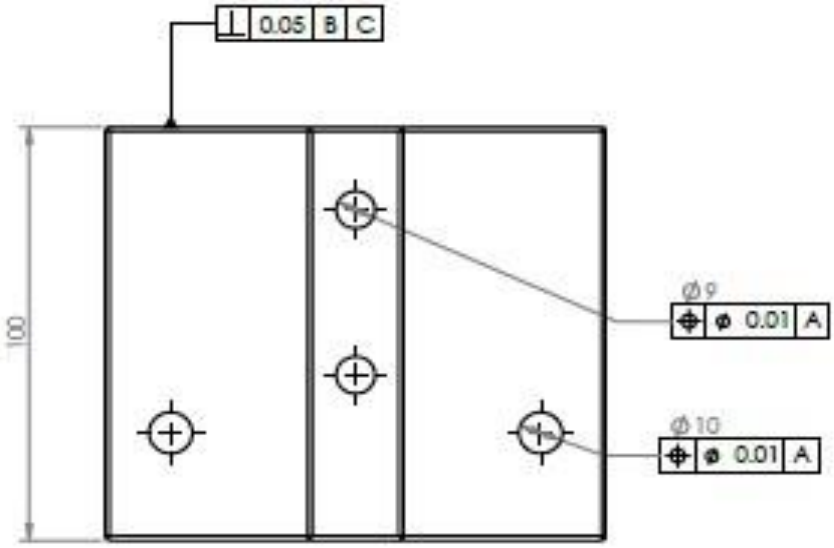
Ra 3.6
tout les chanfrein 1

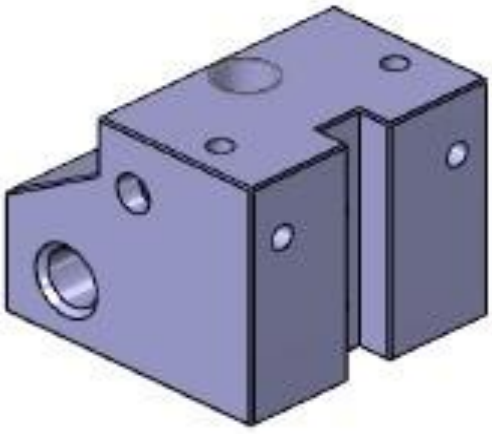
Echèlle: 1:1.5	plaque tiroir	Matiere: A38
		05/06/2024
A4	Université yahia farès médéa	par:moussaoui &hallali

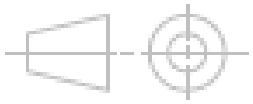


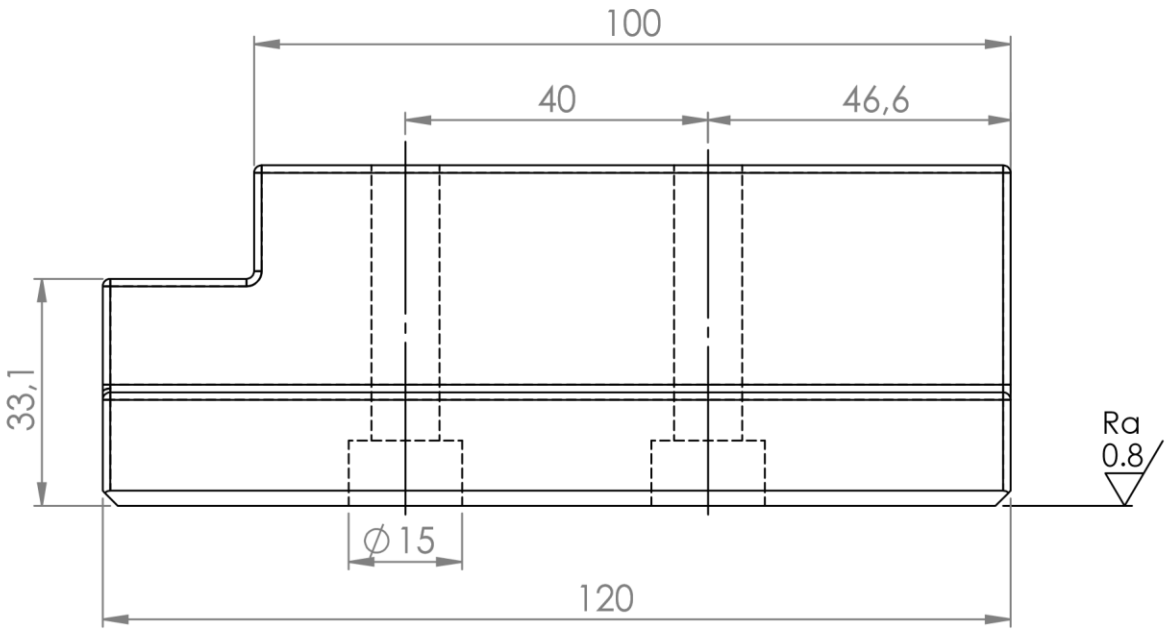
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

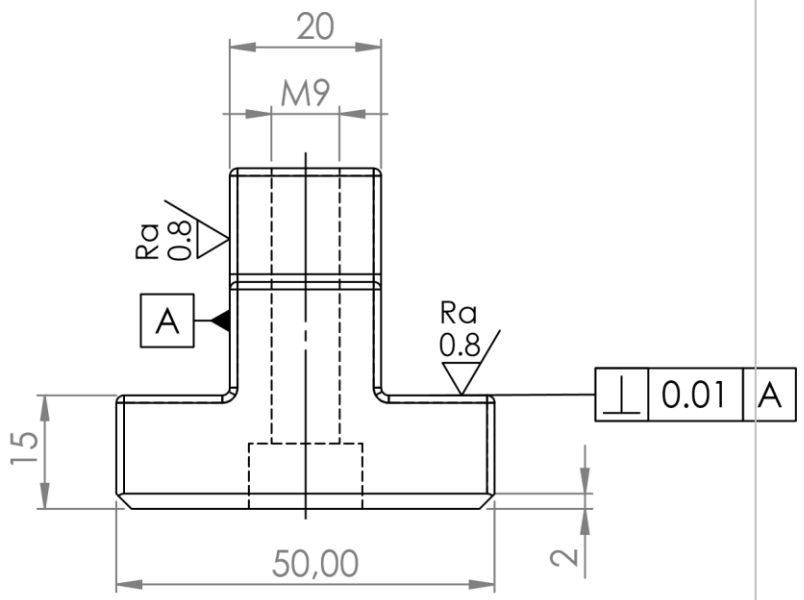




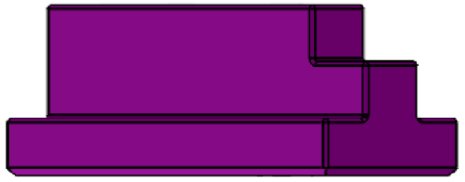


Echèlle 1:1.5	corpe tiroir	Matiere: A38
		05/06/2024
A4	Université yahia farès médéa	par:moussaoui &hallali

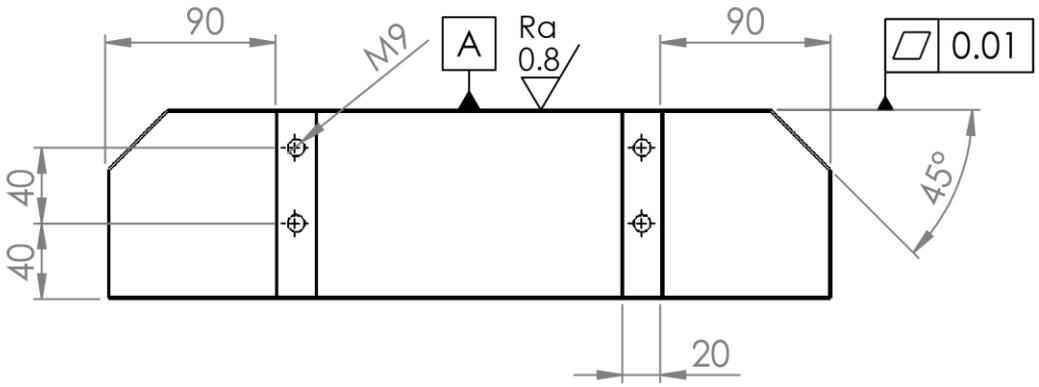




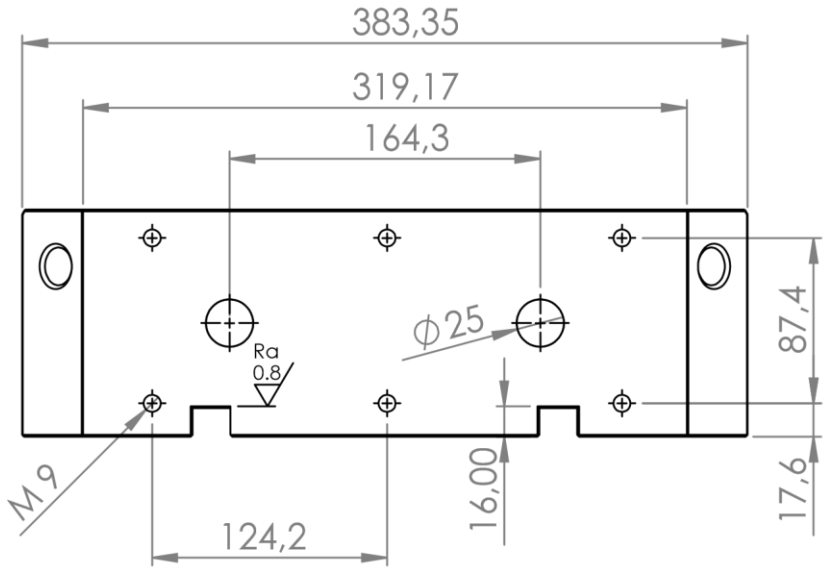
Ra 3.2
tout les chanfrein 1

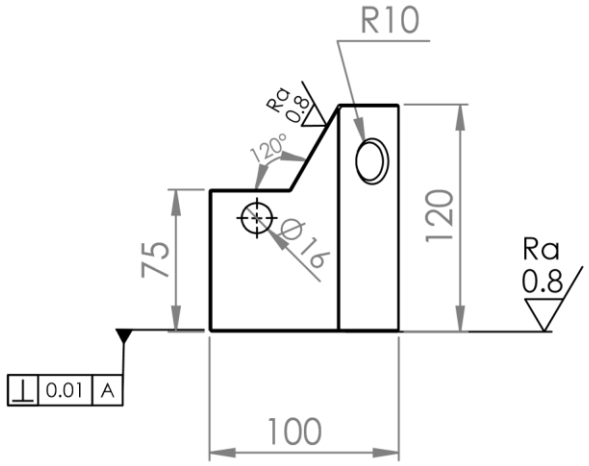


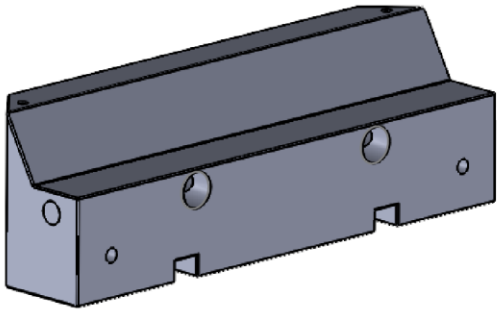
Echèlle: 1:1	élement de guidage des terroirs	matériau: A38
		par: moussaoui&halilali
A4	Université yahia farès médéa	05/06/2024



Ra : 3.2
tout les Chanfrein: 1



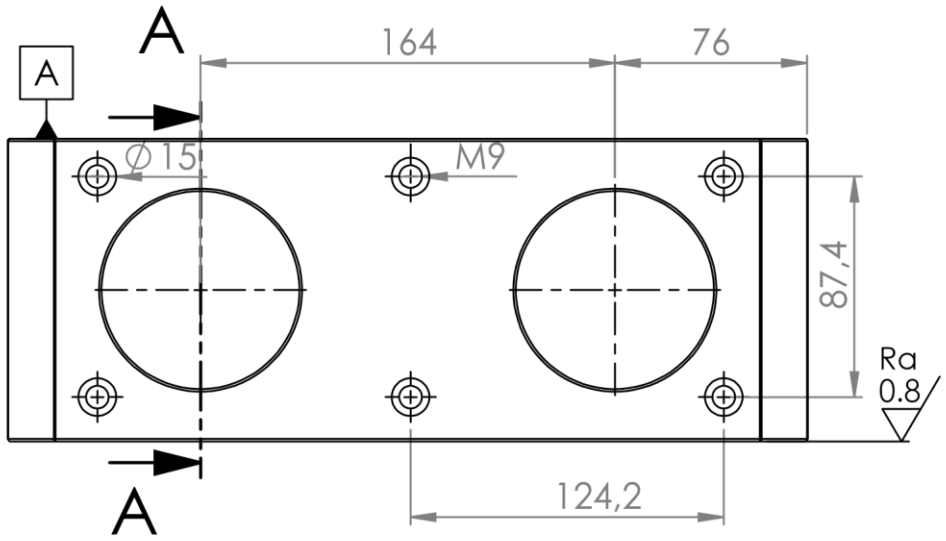


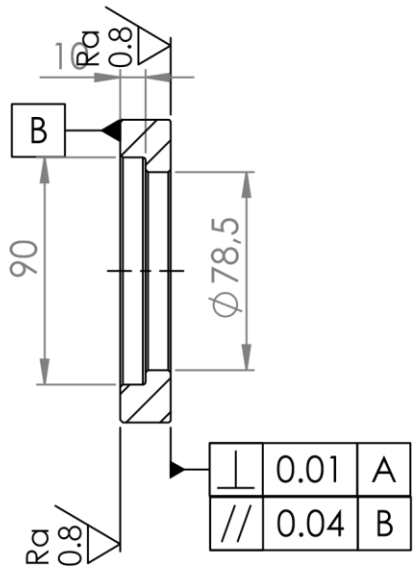


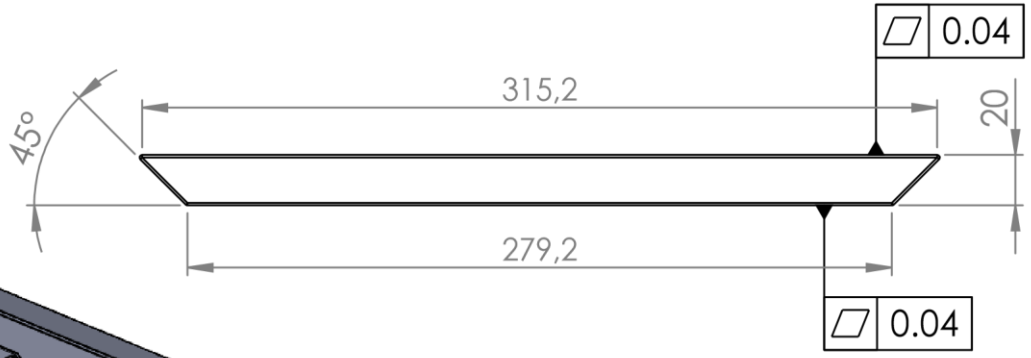
Echèlle: 1:4	corpe tiroir 1	matériau: A38
		par: moussaoui&halilali
A4	Université yahia farès médéa	05/06/2024

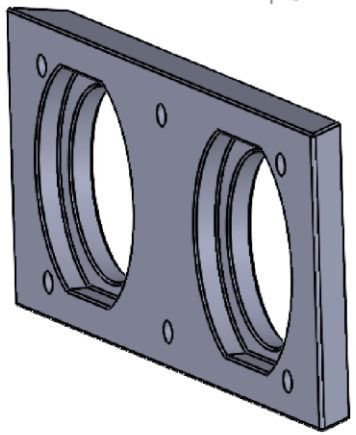
COUPE A-A

ECHELLE 1 : 3



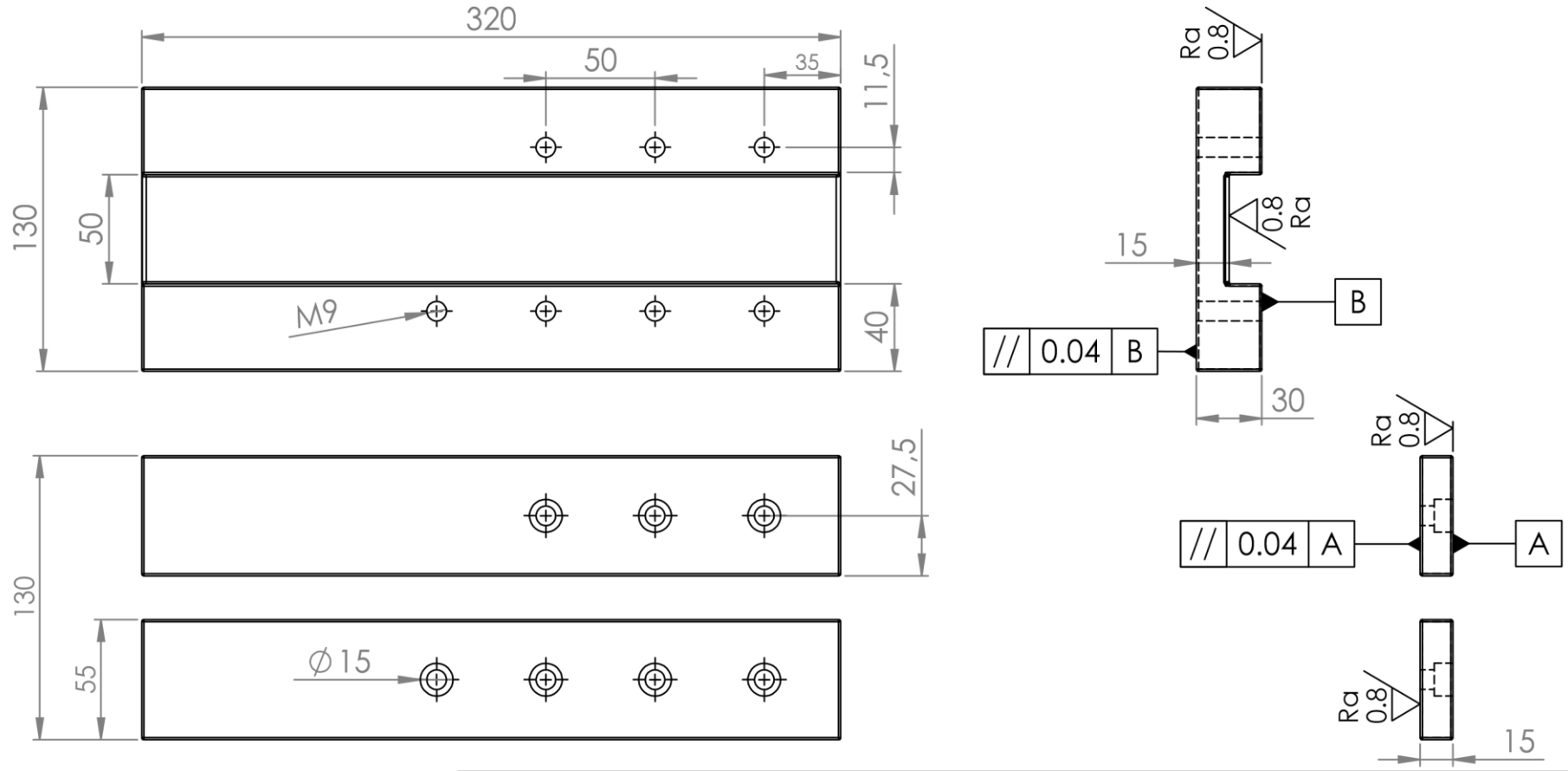


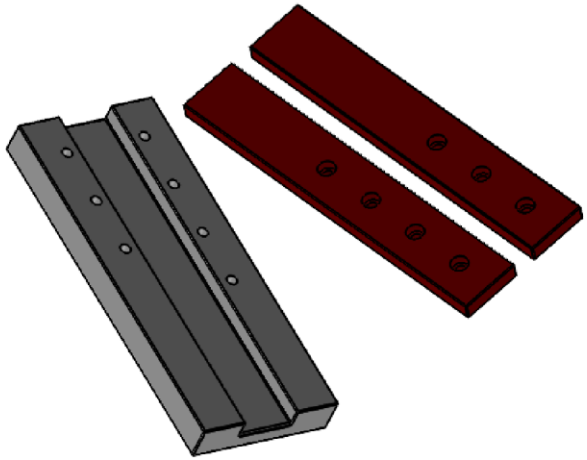




Ra 3.2
tout les chanfrein 1

Echèlle: 1: 3	plaque tiroir1	matériau: A38
		par: moussaoui&halilali
A4	Université yahia farès médéa	05/06/2024





Nbr	rep	Désignation	Matiére	Observation
2	1	plaque c	A38	
1	1	plaque t	A38	

Echèlle: 1:3

MOULE INJECTION PLASTIQUE

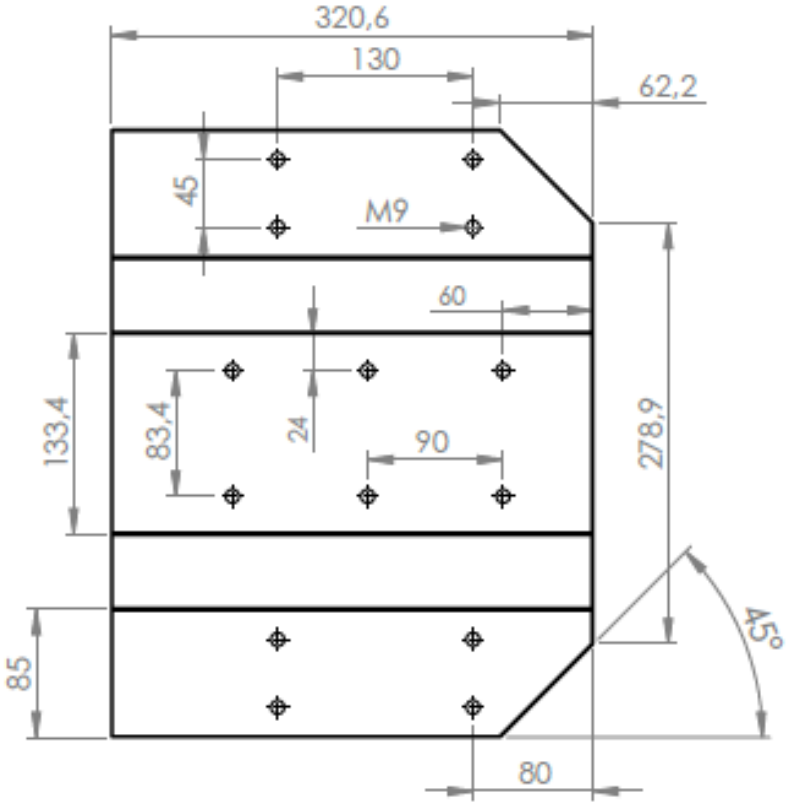
pro:2024

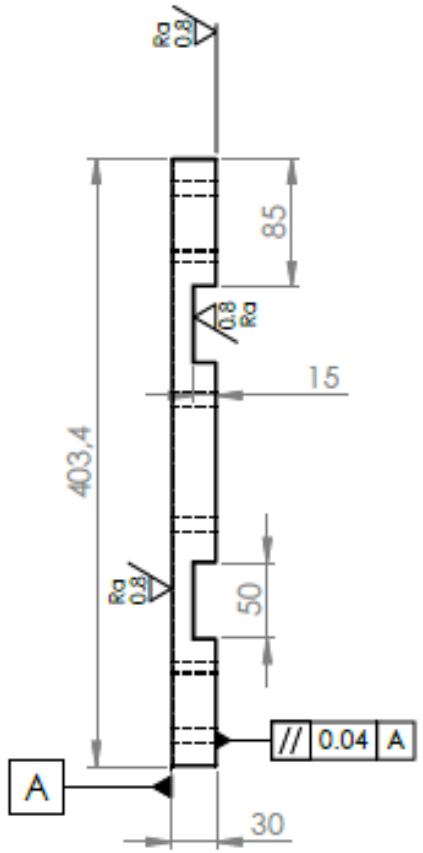
par:
moussaoui&halilali

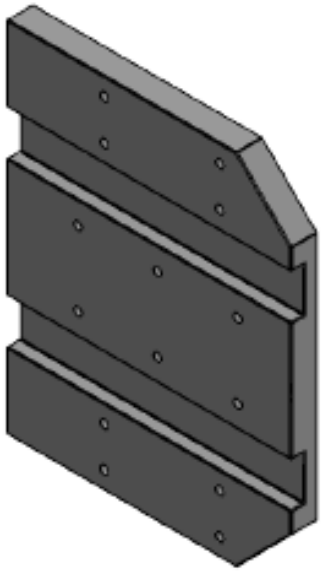
A4

Université yahia farès médéa

05/06/2024







Echèlle: 1:5	plaque E	matériau: A38
		par: moussaoui&halilali
A4	Université yahia farès médéa	05/06/2024