

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : FMP

Par :

YOUSFI Koussaila

AIT TALEB Mounir

Thème

**Conception et fabrication d'un moule pour moulage aluminium à compression
à l'aide d'une presse hydraulique.**

Soutenu le 24 juin 2025 devant le jury composé de :

M. YAYA KAMEL	Président
M. METHIA Mounir	Rapporteur
Mme. BOUZIDI Safia	Examinateur

Année Universitaire 2024-2025

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 ()
Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat*

Je soussigné,

Nom : AIT TALEB

Prénom : Mounir

Matricule : 201933009471

Spécialité et/ou Option : FMP

Département : génie mécanique

Faculté : Faculté technologie

Année universitaire : 2024/2025

Et chargé de préparer un mémoire de: MASTER

Intitulé : **Conception et fabrication d'un moule pour moulage aluminium à compression
à l'aide d'une presse hydraulique.**

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
17/07/2025

Signature de l'intéressé

(*) *Lu et approuvé*

(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bejaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 ()*
Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : YOUSFI

Prénom : Koussaila

Matricule : 201833005227

Spécialité et/ou Option : FMP

Département : génie mécanique

Faculté : Faculté technologie

Année universitaire : 2024/2025

Et chargé de préparer un mémoire de: MASTER

Intitulé : **Conception et fabrication d'un moule pour moulage aluminium à compression
à l'aide d'une presse hydraulique.**

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
17/07/2025

Signature de l'intéressé

(*) *Lu et approuvé*

(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bejaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions Dieu Tout-Puissant pour nous avoir donné la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à ma famille pour son soutien moral inestimable, ses encouragements constants et sa présence bienveillante tout au long de mon parcours.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant, Monsieur **METHIA Mounir**, pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa disponibilité et son implication tout au long de ce mémoire. Son encadrement a été précieux à chaque étape de ce projet.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants qui nous ont soutenus et guidés durant notre formation, en particulier **M. BELAMRI** et **M. HADJOU**, pour leur écoute, leurs enseignements de qualité et leurs encouragements.

Nous sommes profondément reconnaissants envers toute l'équipe du Hall Technologie, notamment **M. YOUSFI** et **M. ATTOUB**, pour leur accueil, leur disponibilité et l'aide technique qu'ils nous ont apportée durant notre travail pratique.

Un remerciement tout particulier à ma fiancée **Amel**, pour sa patience, sa compréhension, et son soutien indéfectible à chaque moment de cette aventure. Elle a toujours été à mes côtés, dans les moments de doute comme dans les réussites.

Nous n'oubliions pas nos camarades et amis, **Nadjib, Aissa, Rayan, Syphax, Lounis, Massine, Ramzi, Yazid, Mounir et Hamou** pour leur aide précieuse, leur bonne humeur et leur solidarité tout au long de notre projet.

Enfin, un grand merci à mon ami **Ahmed**, installé au Canada, qui a toujours été là pour me soutenir à distance, m'encourager et me conseiller.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail, recevez ici l'expression de notre gratitude la plus sincère.

Dédicaces

De la part de Koussaila.

À mon cher père **Boualem** et à ma chère mère **Farida**, pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien inconditionnel.

À mon grand-père **Malek**, pour sa sagesse et sa présence rassurante.

À mes sœurs **Lydia, Kahina** et **Nawel**, qui m'ont toujours soutenu avec tendresse et fierté.

À mon beau-frère **Faouzi**, pour sa bienveillance et son encouragement discret mais constant.

À mes oncles **Rachid** et **Razik, Fouzia, Nassima** qui ont toujours cru en moi.

À mes cousins **Youba, Amazigh, Jugurtha, Loucif** et **Bilal**, pour leur présence, leur énergie et leurs encouragements.

Et enfin, à ma fiancée **Thiziri**, pour sa patience, son amour et son soutien sans faille tout au long de ce parcours.

Et à **tous mes amis et camarades**, pour leur bonne humeur, leur aide, et les moments partagés durant cette belle aventure.

De la part de Mounir.

Je dédie ce travail à **mon père Nadir** et **ma mère Soraya**, pour leur amour infini, leur patience et leur confiance sans faille.

À **ma grand-mère Atika**, pour sa tendresse et ses prières.

À mes oncles **Omar, Zoubir** et **Mourad**, pour leur soutien constant.

À mes sœurs **Tinhinane, Nihad** et **Zaineb**, avec une pensée très spéciale pour **Nihad**, que Dieu ait son âme.

À ma tante **Akila** et à mon beau-frère **Nourdine**, pour leur générosité et leur bienveillance.

À mes cousins **Karim, Walid, Massi, Hani, Fayssal** et **Ahmed**, pour leur amitié et leurs encouragements.

À ma fiancée **Amel**, pour sa présence rassurante, son amour et son soutien précieux tout au long de ce parcours.

À mes amis **Ahmed, Jugurtha, Faycel, Nabil, Moho, Massille** et **Aimad**, pour leur présence, leurs conseils et leur amitié sincère.

Et enfin, à **tous les amis et camarades**, qui ont été là, de près ou de loin, durant cette belle aventure universitaire.

Table des matières

Remerciements	4
Dédicaces	5
NOMENCLATURE	1
Introduction générale.....	1
Chapitre I.....	2
 Introduction	2
 I.1 Historique du moulage de l'aluminium	2
I.1.1 Evolution depuis la découverte de l'aluminium	2
I.1.2 Applications industrielles majeures	2
 I.2 Généralités sur le moulage.....	3
I.2.1 Définition du moulage	3
I.2.2 Importance du moulage dans l'industrie de l'aluminium	3
 I.3 Classification des procédés de moulage	3
I.3.1 Procédés non permanents.....	3
I.3.1.1 Définition du moulage non permanent	3
I.3.1.2 Type de moulage non-permanent.....	4
I.3.1.3 Avantages du moulage non permanent	6
I.3.1.4 Inconvénients du moulage non permanent.....	6

I.3.1.4 Exemple de pièces fabriquées par moulage non permanent	7
I.3.2 Procédés permanents.....	7
I.3.2.1 Définition du moulage permanent	7
I.3.2.2 Types de moulage permanent	7
I.3.2.3 Avantages du moulage permanent	10
I.3.2.4 Inconvénients du moulage permanent.....	11
I.3.2.5 Exemples types de pièces fabriquées par moulage permanent	11
I.4 Comparaison technique des procédés	11
I.4.1 Analyse comparative.....	11
I.4.2 Tableau des critères.....	13
I.5 Justification du choix du procédé retenu.....	13
I.5.1 Intérêt technique et économique du projet.....	13
I.5.2 Avantages du projet	14
I.5.3 En résumé.....	Erreur ! Signet non défini.
I.6 Conclusion	14
Chapitre II	3
Introduction	16
II.1 Présentation des pièces à fabriquer	17
II.1.1 Fonction	17
II.1.1.1 La partie supérieure du moule (poinçon).....	17

II.1.1.1 La partie inférieure du moule (empreinte).....	17
II.1.1.2 Les guide et table de la presse hydraulique	17
II.1.2 Fonctionnement global	17
II.1.3 Avantages de ce montage	17
II.1.4 Spécifications techniques du système de moulage par compression.....	19
II.2 Conception du moule à l'aide de la CAO.....	19
II.2.1 La CAO.....	19
II.2.1.1 Avantages de la CAO	20
II.2.1.2 Logiciel utilisé (CAO – SolidWorks)	20
II.3 Étapes de modélisation de la pièce.....	21
II.3.1 Esquisse de la base carrée avec coins arrondis	21
II.3.2 Extrusion avec inclinaison (dépouille)	21
II.3.3 Ajustement de l'épaisseur.....	22
II.3.4 Ajout du fond arrondi	22
II.3.5 Contrôle et visualisation	23
II.4 Conception des deux parties du moule.....	24
II.4.1 Étapes principales de l'outil de moulage	24
II.4.1.1 Création de la ligne de joint.....	25
II.4.1.2 Définition des surfaces d'arrêt.....	25
II.4.1.3 Création du plan de joint	25

II.4.1.4	Création du bloc de moule brut	26
II.4.1.5	Création des surfaces de séparation.....	26
II.4.1.6	Génération de la cavité (Partie inférieure).....	27
II.4.1.7	Génération du poinçon (Partie supérieure)	27
II.4.1.8	Finalisation et séparation des deux blocs.....	28
II.4.2	Canalisation et colonnes de guidage.....	28
II.4.3	Fonctions principales des canalisations	29
II.5	Fabrication assistée par ordinateur (FAO).....	30
II.5.1	Machine-outil utilisée	30
II.5.2	Transfert CAO vers FAO vers G-CODE.....	30
II.5.2.1	Étapes du transfert	30
II.6	Paramètres d’usinage utilisés.....	31
II.7	Étapes et stratégies d’usinage	32
II.7.1	Définition de l’origine et surfaçage du brut.....	32
II.7.2	Stratégies d’usinage de la partie inferieur	33
II.7.3	Stratégies d’usinage de la partie supérieure.....	38
II.8	Essai de validation du moule par moulage à la cire	40
II.8.1	Observation.....	41
II.9	Ébavurage manuel	41
Conclusion	42

Chapitre III	43
Introduction	43
III.1 Objectifs des essais expérimentaux	43
III.2 Méthodologie des essais	43
III.2.1 Préparation du moule	43
III.2.2 Préparation du métal.....	44
III.2.3 Coulée et compression	45
III.2.4 Refroidissement et démoulage	45
III.2.5 Inspection initiale	46
III.3 Analyse de la pièce après essais en aluminium	46
III.3.1 Inspection visuelle (essais à l'état liquide).....	46
III.3.2 Inspection visuelle (essais à l'état semi-solide)	47
III.4 Ajustements effectués	48
III.4.1 Modification de la conception du moule.....	48
III.5 Résultats finaux après ajustement	49
Conclusion.....	50
Conclusion Générale	51
Références Bibliographiques	150
Résumé	Erreur ! Signet non défini.
abstract.....	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure I. 1:Moulage en sable	4
Figure I. 2:Moulage à la cire perdue.	5
Figure I. 3:Moulage au plâtre	6
Figure I. 4:Moulage en coquille gravitationnelle	7
Figure I. 5: machine moulage sous pression.	8
Figure I. 6: Moulage par centrifugation.	9
Figure I. 7:Moulage par compression à l'aide de presse hydraulique.....	10
Figure I. 8: Schéma les différents types de moussages	12
Figure II. 1: Vue d'ensemble du moule -modèle 3D réalisé sous SolidWorks.....	18
Figure II. 2: Esquisse de la base carrée coins arrondis.....	21
Figure II. 3:Extrusion avec inclinaison (dépouille).....	22
Figure II. 4: Ajustement de l'épaisseur (Coque).	22
Figure II. 5: Rayon de congé à l'intérieur de la base.	23
Figure II. 6:Rayon de congé à extérieure de la base.	23
Figure II. 7: visualisation de la pièce	23
Figure II. 8: Contrôle et visualisation 3D.....	24
Figure II. 9:Conception des deux parties du moule.	24
Figure II. 10: Création de la ligne de joint	25
Figure II. 11: Définition des surfaces d'arrêt	25
Figure II. 12: Création du plan de joint.....	26
Figure II. 13: Création des surfaces de séparation	27
Figure II. 14: séparation de la partie inférieure de moule	27
Figure II. 15: séparation de la partie supérieure de moule	28
Figure II. 16: séparation des deux blocs.....	28
Figure II. 17:Canalisation et colonnes de guidage (partie inférieure).....	29
Figure II. 18: Fraiseuse numérique Hyundai FANUC I.	30
Figure II. 19: Définition d'origine et dimensions de brut.	33
Figure II. 20: usinage de la surface (ébauche).....	34
Figure II. 21:Usinage de la cavité (ébauche).....	34
Figure II. 22: Finition de la surface du plan de joint.....	35

Figure II. 23: Finition la surface des parois dans la cavité.....	35
Figure II. 24: finition de la base de la cavité	36
Figure II. 25: Perçages des avant trou.....	36
Figure II. 26: Contournage des perçages.....	37
Figure II. 27: Usinage des canalisations (ébauche).....	37
Figure II.28: Finition des canalisations	38
Figure II. 29: usinage de la surface (ébauche).....	38
Figure II. 30: Usinage de poinçon (ébauche)	39
Figure II. 31: Finition de poinçon.	39
Figure II. 32: Finition de la surface plane de joint.	40
Figure II. 33: Préparation de moule.....	40
Figure II. 34: Démoulage de moule.....	41
Figure II. 35: la pièce réalisée à la cire	41
Figure II. 36: La conception 3D et la fabrication de moule	42
 Figure III. 1:Application de poteyage.	44
Figure III. 2: Préparation d'aluminium liquide	45
Figure III. 3: Coulée et compression de moule	45
Figure III. 4: Retrait pièce final.....	46
Figure III. 5: Pièce d'essai état liquide.....	46
Figure III. 6:Fissure et retassure de la pièce.....	47
Figure III. 7: Piece d'essaie état pâteux	48
Figure III. 8: Suppression des Canaux d'évacuation.....	49
Figure III. 9: Suppression de plan de joint.	49
Figure III. 10: Nouvelle conception de moule.	50

Liste des tableaux

Tableau I. 1:Comparaison entre moulage permanent et non permanent.	13
Tableau II. 1: Spécifications techniques de moule.	19
Tableau II. 2:Paramètres d'usinage utilisé	32

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
Vc	: Vitesse de coupe	m/min
N	: Vitesse de rotation de la broche	tr/min
ap	: Profondeur de passe	mm
Vf	: Vitesse d'avance	mm/min

Symboles grecs

ϕ	: Diamètre	mm
--------	------------	----

Abréviations

CAO : Conception assisté par ordinateur

FAO : Fabrication assisté par ordinateurs

Introduction générale

Introduction générale

L'aluminium occupe une place prépondérante dans de nombreux secteurs industriels en raison de ses propriétés mécaniques et physico-chimiques intéressantes : faible densité, bonne résistance à la corrosion, conductivité thermique et électrique élevée, ainsi qu'une aptitude importante à la mise en forme.

Les techniques classiques de moulage de l'aluminium, telles que le moulage en sable, le moulage sous pression ou encore la coulée en coquille, sont bien établies et largement utilisées à l'échelle industrielle. Toutefois, ces procédés nécessitent des équipements spécialisés souvent coûteux et des paramètres de production strictement contrôlés. À l'inverse, le moulage par compression représente une technique plus simple et plus accessible, mais encore peu documentée lorsqu'il est appliqué aux alliages d'aluminium.

Dans ce contexte, le présent travail expérimental a pour objectif d'évaluer la faisabilité du moulage par compression de l'aluminium à l'aide d'une presse hydraulique. Il s'agit d'étudier le comportement du métal sous différentes conditions thermiques, à l'état liquide et à l'état semi-solide, et d'analyser la qualité des pièces obtenues en termes de remplissage, d'intégrité dimensionnelle et de qualité de surface.

Les essais expérimentaux menés ont mis en évidence plusieurs défauts caractéristiques du procédé : retassures, fissures de retrait, porosités et bavures. Ces observations ont conduit à proposer des modifications de la conception du moule initial, notamment à travers la suppression des canaux d'alimentation et du plan de joint, afin d'améliorer la compaction et la qualité des pièces moulées. Bien que ces modifications n'aient pas encore fait l'objet de nouveaux essais, elles constituent des pistes prometteuses pour l'optimisation du procédé. Ce mémoire s'articule ainsi autour de trois axes principaux :

- Une étude théorique des différents procédés de moulage de l'aluminium ;
- La description de la conception du moule et de sa fabrication par modélisation CAO et usinage FAO.
- Et enfin, la présentation des essais expérimentaux réalisés, l'analyse des défauts rencontrés, et les propositions d'améliorations envisagées.

Chapitre I

Généralité sur le moulage

aluminium

Généralité sur le moulage aluminium

Introduction

Avant de présenter la démarche expérimentale réalisée dans le cadre de ce travail, il est essentiel de rappeler les notions fondamentales liées au moulage des alliages d'aluminium. Ce premier chapitre présente les différentes techniques de moulage existantes, leurs principes de fonctionnement, ainsi que les avantages et les limites propres à chaque procédé. Cette revue théorique permettra de situer le procédé de moulage par compression, objet de cette étude, par rapport aux autres méthodes utilisées dans l'industrie de transformation de l'aluminium.

I.1 Historique du moulage de l'aluminium

I.1.1 Evolution depuis la découverte de l'aluminium

L'aluminium a été isolé pour la première fois en 1825 par le chimiste danois Hans Christian Ørsted, mais sa production industrielle n'a réellement débuté qu'après l'invention du procédé Hall-Héroult en 1886, qui permettait une électrolyse économique de l'alumine. Dès lors, son utilisation s'est rapidement développée, notamment dans l'aéronautique où la légèreté est cruciale. Parallèlement, les procédés de moulage ont évolué, passant du moulage en sable traditionnel aux techniques avancées comme le moulage sous pression et le moulage semi-solide, permettant d'optimiser la qualité et la production en série.

I.1.2 Applications industrielles majeures

Aujourd'hui, l'aluminium moulé est omniprésent dans les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile, du bâtiment, et de l'électronique. Dans l'automobile, il permet la fabrication de composants légers réduisant la consommation énergétique. En aéronautique, la précision et la résistance des pièces moulées sont essentielles. Le secteur du bâtiment profite également de ses propriétés pour des structures légères et durables. Ces exigences ont poussé à perfectionner les procédés de moulage pour répondre à la qualité, la répétabilité et la complexité des pièces produites [10].

I.2 Généralités sur le moulage

I.2.1 Définition du moulage

Le moulage est un procédé de fabrication qui consiste à fondre un matériau métallique pour le verser dans un moule, où il se solidifie et prend la forme de la pièce souhaitée. Cette méthode est indispensable pour créer des pièces complexes, qui seraient difficiles à produire avec des procédés comme l'usinage ou la forge [1].

I.2.2 Importance du moulage dans l'industrie de l'aluminium

L'aluminium et ses alliages sont utilisés dans de nombreux secteurs comme l'automobile, l'aérospatiale, et l'électronique, grâce à leur légèreté, leur résistance à la corrosion et leur bonne conductivité thermique. Le moulage permet de maximiser l'utilisation de ces propriétés en produisant des pièces structurales, des carters moteurs, ainsi que des composants complexes à faible épaisseur et intégrés, tout en facilitant la production en série et la création de prototypes. [9].

I.3 Classification des procédés de moulage

Les procédés de moulage sont classés selon la durabilité du moule utilisé. Les procédés non permanents, qui comprennent le moulage en sable, à la cire perdue, et au plâtre, sont adaptés pour produire des pièces complexes et à petites séries, mais impliquent la destruction du moule après chaque utilisation. [1]

I.3.1 Procédés non permanents

I.3.1.1 Définition du moulage non permanent

Le moulage non permanent utilise des moules temporaires faits de matériaux comme le sable ou la cire, détruits après chaque coulée. Bien que permettant des conceptions géométriques variées et adaptées aux petites séries, il reste plus lent que d'autres procédés industriels. [1][3]

I.3.1.2 Type de moulage non-permanent

I.3.1.2.1 Moulage en sable

Le moulage en sable implique de compacter un mélange de sable et de liants autour d'un modèle, créant un moule poreux. Ce procédé, économique et adaptable, est utilisé pour des pièces volumineuses et complexes, bien que la finition de surface soit parfois imparfaite. [1][3][4]

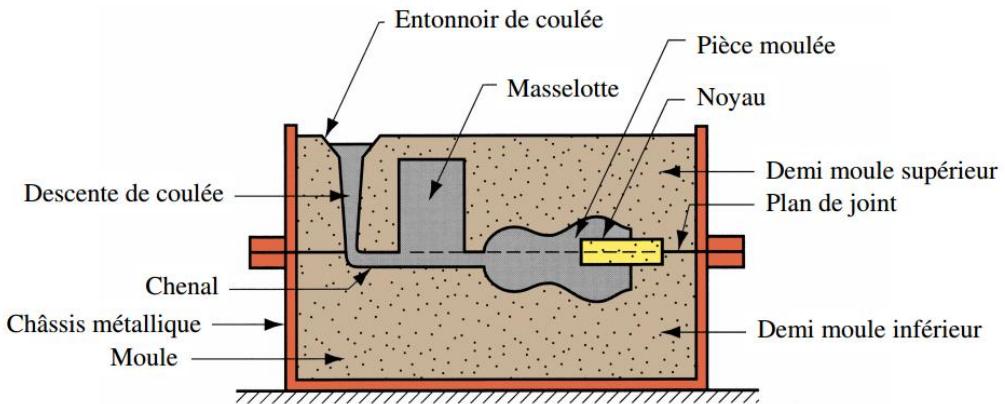


Figure I. 1:Moulage en sable

a. Avantages

- Grande flexibilité géométrique
- Coût faible du moule.
- Recyclabilité des matériaux.
- Adaptabilité à différents alliages.

b. Inconvénients

- Finition de surface médiocre.
- Tolérances dimensionnelles larges.
- Temps de production plus long.
- Risques de défauts.

I.3.1.2.3 Moulage à la cire perdue :

Dans le moulage à la cire perdue, un modèle en cire est recouvert d'un matériau réfractaire, puis la cire est éliminée. Ce procédé est parfait pour les pièces de haute précision, mais reste coûteux et lent, et est limité aux petites séries. [1][3]

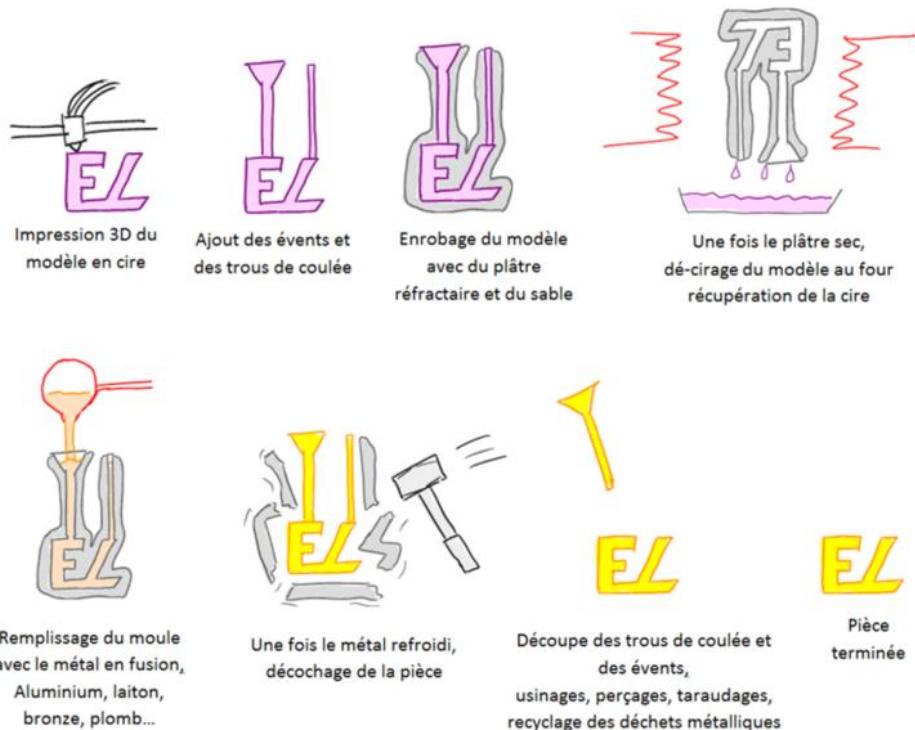


Figure I. 2:Moulage à la cire perdue.

a. Avantages

- Grande précision dimensionnelle.
- Complexité géométrique élevée.
- Finition de surface excellente
- Réduction des assemblages

b. Inconvénients

- Coût élevé lié à la fabrication du modèle en cire et au processus de fabrication du moule.
- Temps de production long.
- Fragilité du moule céramique.

I.3.1.2.4 Moulage au plâtre

Le moulage au plâtre utilise un moule fabriqué à partir d'un plâtre réfractaire, idéal pour des pièces complexes avec une finition soignée et d'autres additifs pour créer une cavité de polyester ou cire dans laquelle le métal en fusion est coulé. Le plâtre utilisé est spécialement formulé pour résister aux températures élevées de l'aluminium fondu et offrir une bonne résistance mécanique pendant la coulée. Le procédé est coûteux et fragile. Les pièces en aluminium moulées dans des moules en plâtre sont généralement utilisées pour les prototypes et les petites séries. [6-7,11]

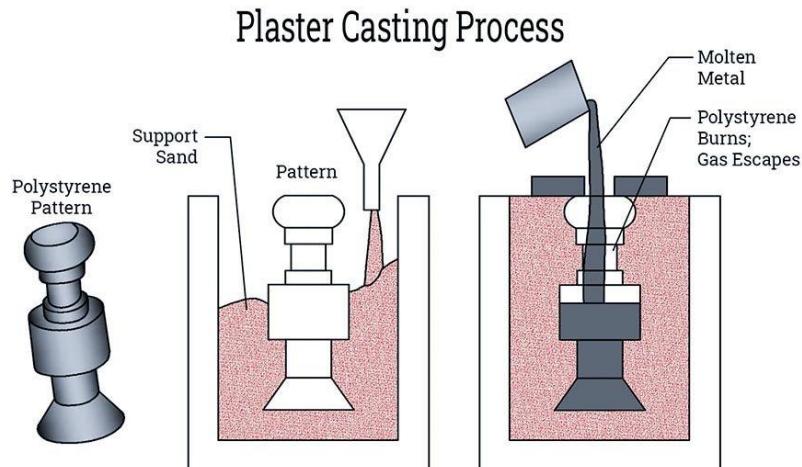


Figure I. 3:Moulage au plâtre

a. Avantages

- Excellente finition de surface, réduisant le besoin d'usinage.
- Précision dimensionnelle élevée avec des tolérances serrées.
- Adapté pour des formes complexes avec des détails fins.

b. Inconvénients

- Fragilité du moule.
- Temps de séchage et de cuisson.
- Coût supérieur au moulage sable.
- Le plâtre utilisé n'est généralement pas recyclable, ce qui génère des déchets.

I.3.1.3 Avantages du moulage non permanent

- Grande flexibilité géométrique
- Coût initial faible du moule
- Adapté aux grandes pièces et faibles volumes
- Recyclabilité des matériaux
- Possibilité de modifications rapides.

I.3.1.4 Inconvénients du moulage non permanent

- Durée de fabrication du moule élevée
- Précision dimensionnelle limitée
- Finition de surface médiocre
- Rejets et défauts plus fréquents

- Coûts de main-d'œuvre élevés
- Moins adapté aux grandes séries

I.3.1.4 Exemple de pièces fabriquées par moulage non permanent

- Composants de chaudières et équipements thermiques.
- Brides et raccords de tuyauterie.
- Corps de pompe en acier ou en fonte
- Carter de moteur automobile (fonte, aluminium).
- Châssis de machines.

I.3.2 Procédés permanents

I.3.2.1 Définition du moulage permanent

Le moulage permanent est un procédé où le métal fondu est versé dans un moule métallique rigide, généralement en fonte ou en acier, qui peut être réutilisé plusieurs fois sans se déformer. Ce procédé est adapté aux productions en moyennes et grandes séries, offrant une haute précision dimensionnelle, une meilleure finition de surface, et des propriétés mécaniques optimisées. [4]

I.3.2.2 Types de moulage permanent

I.3.2.2.1 Moulage en coquille gravitationnelle

Le moulage en coquille gravitationnelle est un procédé où le métal fondu est versé dans une coquille métallique, généralement en acier, sans pression supplémentaire. Ce procédé, souvent utilisé pour les pièces en aluminium ou alliages légers, permet une solidification contrôlée grâce à un moule préchauffé, offrant une bonne précision dimensionnelle et une surface lisse. Il est particulièrement adapté pour des productions modérées en termes de volume et de qualité. [1]

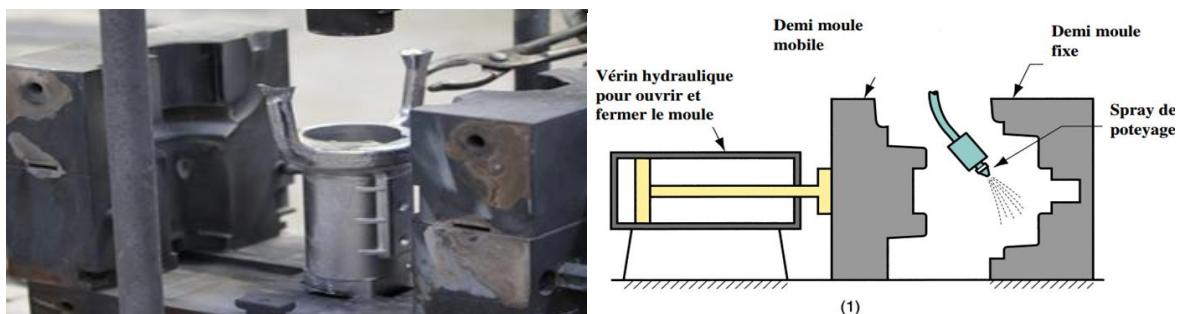


Figure I. 4:Moulage en coquille gravitationnelle

a. Avantages

- Surface et précision optimisées
- Réduction des défauts liés au moulage sable.
- Reproductibilité élevée.
- Cycle de production rapide.

b. Inconvénients

- Investissement initial élevé.
- Complexité limitée des formes.
- Risque de colmatage du moule.
- Manque de flexibilité.

I.3.2.2.2 Moulage sous pression

Le moulage sous pression consiste à injecter le métal en fusion dans un moule métallique fermé sous haute pression. Ce procédé permet de fabriquer des pièces fines, précises et complexes, particulièrement avec des alliages légers comme l'aluminium, le zinc et le magnésium. Il est largement utilisé dans la production en série en raison de sa rapidité et de la qualité des pièces produites. [4][1]



Figure I. 5: machine moulage sous pression.

a. Avantages

- Précision dimensionnelle élevée et répétabilité
- Capacité à produire des formes complexes et parois fines
- Excellente qualité de surface
- Cycles de production courts

b. Inconvénients

- Coût élevé des équipements et moules
- Limitation aux alliages légers
- Maintenance régulière des moules
- Risques de défauts de moulage

I.3.2.2.3 Moulage centrifuge

Le moulage centrifuge est un procédé où le métal en fusion est versé dans un moule en rotation rapide autour d'un axe. La force centrifuge pousse le métal contre les parois du moule, formant ainsi une pièce creuse, souvent tubulaire ou cylindrique. Ce procédé est adapté à la fabrication de pièces cylindriques telles que tuyaux, chemises ou manchons, en alliages ferreux ou non ferreux.

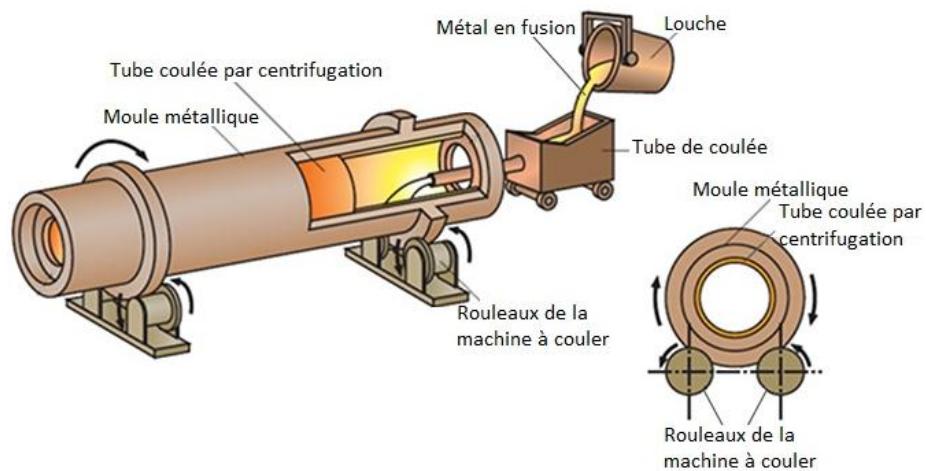


Figure I. 6: Moulage par centrifugation.

a. Avantages

- Répartition homogène et densité élevée
- Absence de noyaux internes sans aucune perte de métal
- Flexibilité dimensionnelle
- Coût réduit des moules

b. Inconvénients

- Limitation géométrique
- Contrôle rigoureux de la vitesse
- Coût élevé des équipements et installations
- Inadapté aux formes complexes

I.3.2.2.5 Moulage par compression avec presse hydraulique

Le moulage par compression est un procédé de fabrication consistant à placer une charge de matériau dans une cavité de moule chauffée, le matériau souvent sous forme de pâte, poudre ou de liquide, est placé dans un moule, puis compressé sous haute pression à l'aide d'une presse hydraulique. Cette technique est principalement utilisée pour le moulage de matériaux thermorétractables, de composites renforcés et d'élastomères, bien qu'elle puisse aussi s'appliquer à certains métaux ou alliages spécifiques. La matière est simplement comprimée

jusqu'à ce qu'elle prenne la forme du moule. Cela en fait un procédé adapté aux pièces épaisses, rigides et structurellement complexes.



Figure I. 7:Moulage par compression à l'aide de presse hydraulique.

a. Avantages

- Parfait pour les pièces à paroi épaisses et solides.
- Coût d'équipement bas
- Pas d'exigence de matériau spéciaux
- Facile à automatiser

b. Inconvénients

- Un peu lent
- Pas adapté aux formes trop complexes
- Risque de défaut si le matériau est mal placé
- Maintenance régulière des équipements

I.3.2.3 Avantages du moulage permanent

- Durabilité et réutilisation des moules
- Amélioration de la qualité de surface et de la précision dimensionnelle
- Excellentes propriétés mécaniques
- Faibles pertes de matériau et taux de rebut réduit
- Automatisation et rendement industriel

I.3.2.4 Inconvénients du moulage permanent

- Investissement initial important
- Contraintes géométriques limitation aux formes simples
- Usure et maintenance des moules
- Inflexibilité en cas de changement de conception

I.3.2.5 Exemples types de pièces fabriquées par moulage permanent

- Secteur automobile (carter, culasses, jantes, piston, support...).
- Pièces d'aéronautique (les aubes de turbine, élément de fixation ...)
- Composants électroniques et boîtiers.
- Industrie de l'énergie (les turbines hydrauliques, les corps de pompe...)

I.4 Comparaison technique des procédés

I.4.1 Analyse comparative

1. Nature du moule

Le moulage permanent utilise un moule métallique réutilisable (en acier ou fonte), tandis que le moulage non permanent repose sur un moule à usage unique, souvent en sable, plâtre ou céramique.

2. Durée de vie du moule

Les moules permanents peuvent être utilisés pour plusieurs centaines voire milliers de cycles, alors que les moules non permanents doivent être refaits pour chaque pièce.

3. Précision dimensionnelle et qualité de surface

Le moulage permanent offre une meilleure précision et une finition de surface supérieure, réduisant les opérations d'usinage. Le moulage sable, en revanche, permet plus de liberté dans la forme, mais avec une tolérance plus large.

4. Complexité des formes

Le moulage non permanent est plus adapté aux pièces complexes avec contre-dépouilles grâce à l'utilisation de noyaux destructibles. Le moulage permanent est limité à des formes plus simples à cause des contraintes de démolage

5. Investissement initial

Le moulage permanent nécessite un investissement initial plus important pour la fabrication du moule, mais devient rentable à partir de moyennes et grandes séries. Le moulage non permanent est économique pour les petites séries ou les prototypes

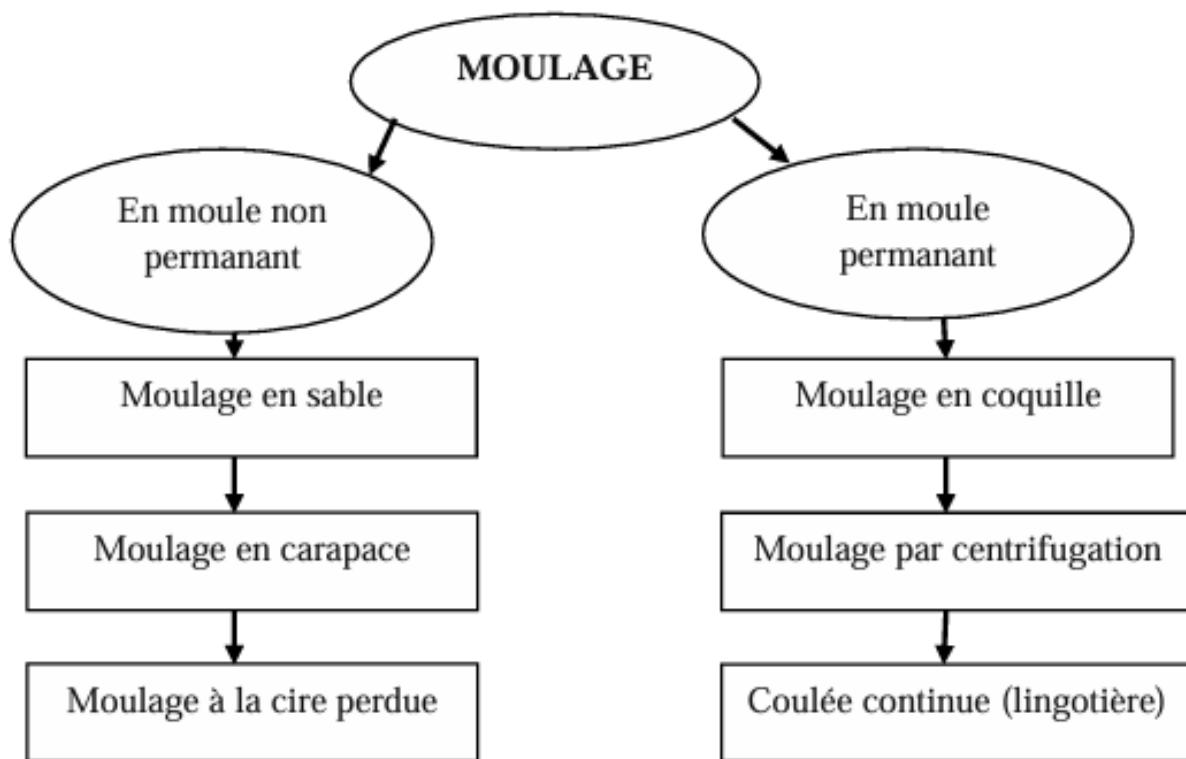


Figure I. 8: Schéma les différents types de moulages

I.4.2 Tableau des critères

Tableau I. 1:Comparaison entre moulage permanent et non permanent.

Critère	Moulage permanent	Moulage non-permanent
Type de moule	Métallique (acier, fonte)	À usage unique (Sable, plâtre, etc.)
Durée de vie du moule	Longue (réutilisable)	Très courte (à refaire à chaque cycle)
Coût du moule	Élevé	Faible
Coût unitaire	Faible	Élevé
Complexité géométrique	Limitée (formes simples)	Très bonne (formes complexes possibles)
Qualité de surface	Bonne à excellente	Moyenne à faible
Précision dimensionnelle	Haute	Moyenne
Propriétés mécaniques	Supérieures (grains fins)	Moindres (solidification lente)

I.5 Justification du choix du procédé retenu

I.5.1 Intérêt technique et économique du projet

Le projet consiste à concevoir, fabriquer et tester un moule permettant de réaliser une pièce en aluminium de 1,5 mm d'épaisseur, en utilisant une presse hydraulique et en étudiant deux régimes thermiques :

- À l'état pâteux
- À l'état liquide, pour maximiser le remplissage de la cavité.

Ce choix est motivé par les objectifs suivants :

- Éviter l'achat d'aluminium hautement allié ou recuit, en exploitant un aluminium brut peu coûteux,
- Limiter les contraintes mécaniques appliquées à la pièce, et donc les risques de rupture,
- Évaluer la viabilité d'un procédé simple et localisable, sans infrastructure lourde ni outillage complexe.

I.5.2 Avantages du projet

Le présent projet présente plusieurs avantages majeurs à la fois sur les plans technique, économique, pédagogique et industriel :

1. Dépasser les contraintes de l'emboutissage à froid

Le projet permet de fabriquer une pièce mince en aluminium 1,5 mm d'épaisseur sans passer par l'emboutissage à froid, qui est inadapté pour l'aluminium brut. Cela représente une solution concrète pour éviter l'usage d'alliages coûteux et réduire les étapes de transformation.

2. Réduction des coûts de production

Le projet utilise un aluminium ordinaire, un moule en acier non allié fabriqué localement, et un équipement simple (presse hydraulique). Cela permet de réduire significativement les frais de matière, d'équipement et de traitement, ce qui est un levier économique important pour les structures à budget limité. [1], [8]

3. Appartement expérimental concret

Le projet ne se limite pas à une démonstration théorique : il intègre une démarche expérimentale originale, visant à comparer les effets de la température (état pâteux vs liquide) sur la qualité de surface et la formation des pièces minces, apportant des résultats applicables à d'autres projets industriels.

4. Développement de compétences techniques complètes

L'étudiant développe des compétences variées et directement applicables :

- ✓ Conception CAO de moule
- ✓ Usinage et fabrication mécanique
- ✓ Réglage et utilisation de presse hydraulique

I.6 Conclusion

À travers ce premier chapitre, nous avons exploré les fondements théoriques du moulage ainsi que les principaux procédés utilisés dans l'industrie, qu'ils soient permanents ou non permanents. Cette analyse a permis de mettre en lumière les avantages, les limitations et les domaines d'application spécifiques à chaque technique. Parmi ces procédés, le moulage par compression à l'aide d'une presse hydraulique s'est distingué comme une solution particulièrement adaptée aux exigences du projet, notamment en raison de sa simplicité de mise en œuvre, de son coût réduit et de sa capacité à produire des pièces minces en aluminium ordinaire.

Chapitre II

Conception et fabrication du moule par compression

Introduction

Dans le monde d'aujourd'hui, la Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO) est devenue incontournable. Ce processus permet de passer de l'idée à la réalité, de manière rapide et avec une précision que l'on ne pourrait pas obtenir manuellement. Grâce à des logiciels comme SolidWorks, mais aussi Rhinocam, nous avons pu concevoir et fabriquer le moule pour notre projet de moulage par compression, tout en optimisant chaque étape.

Dans ce chapitre, on va explorer comment ces outils ont été utilisés pour concevoir un moule adapté à notre procédé de moulage à compression. D'abord, grâce à SolidWorks pour la modélisation 3D du moule, puis avec Rhinocam pour préparer le programme d'usinage. Ces logiciels permettent non seulement de visualiser le moule en trois dimensions, mais aussi de préparer les parcours d'outils pour la machine-outil, en garantissant la précision de chaque mouvement et de chaque coupe. Grâce à cette méthode de conception assistée par ordinateur, nous avons pu éviter de nombreuses erreurs et améliorer la qualité de notre travail.

II.1 Présentation des pièces à fabriquer

II.1.1 Fonction

Dans le cadre de ce projet, un dispositif de moulage par compression a été conçu et fabriqué à l'aide d'outils de CFAO. L'objectif était de produire une pièce mince (type tartelette) en aluminium brut à l'aide d'un moule métallique spécialement usiné, associé à une presse hydraulique. Le système est composé de trois éléments principaux

II.1.1.1 La partie supérieure du moule (poinçon)

Elle agit comme un élément de compression, venant s'emboîter parfaitement dans la partie inférieure pour presser l'aluminium. Elle épouse la forme inverse de la pièce finale et permet une répartition homogène de la pression.

II.1.1.1 La partie inférieure du moule (empreinte)

Elle constitue la cavité principale où est versé l'aluminium à l'état pâteux ou liquide. Sa géométrie respecte les dimensions finales de la pièce, avec une dépouille de 20°, un fond arrondi, et des coins à rayon constant, avec des canalisations d'évacuation.

II.1.1.2 Les guide et table de la presse hydraulique

La base du moule repose sur la table fixe de la presse, tandis que le poinçon est aligné avec le vérin mobile qui applique la force de compression.

II.1.2 Fonctionnement global

- Le métal en fusion ou à l'état pâteux est versé dans l'empreinte inférieure du moule.
- La presse hydraulique est ensuite activée, ce qui abaisse la partie supérieure (poinçon).
- Le métal est comprimé à l'intérieur du moule pendant un temps donné, assurant le remplissage complet et la prise de forme
- Après refroidissement ou solidification, le moule s'ouvre, et la pièce sera démoulée.

II.1.3 Avantages de ce montage

1. **Simplicité mécanique et robustesse** : Le système repose sur une structure simple avec deux plaques guidées par colonnes, ce qui garantit une grande stabilité, une faible maintenance et une bonne répétabilité du mouvement.
2. **Alignment précis du moule** : Grâce aux colonnes de guidage, la partie mobile (poinçon) s'aligne parfaitement avec la partie fixe (empreinte), réduisant ainsi le risque de décentrage ou d'usure irrégulière.

3. **Compression uniforme** : La presse hydraulique permet une application contrôlée et homogène de la force sur toute la surface de la pièce, ce qui est essentiel pour assurer une bonne répartition du matériau et éviter les défauts.
4. **Facilité du démoulage** : L'ajout d'un angle de dépouille (20°) dans la conception du moule permet un retrait facile de la pièce après moulage, sans forcer ni détériorer la forme finale.
5. **Coût réduit pour les essais** : En comparaison avec d'autres procédés de moulage plus complexes (comme l'injection sous pression), ce montage est plus économique, plus rapide à mettre en œuvre et plus facile à modifier pour effectuer des tests.

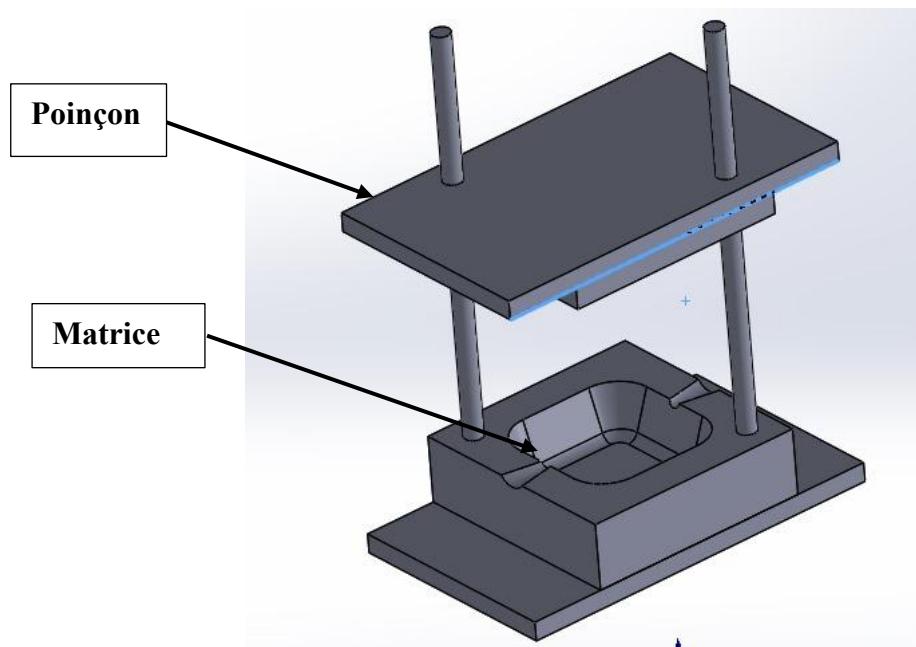


Figure II. 1: Vue d'ensemble du moule -modèle 3D réalisé sous SolidWorks

II.1.4 Spécifications techniques du système de moulage par compression

Tableau II. 1: Spécifications techniques de moule.

Élément	Spécification technique
Type de procédé	Moulage par compression avec presse hydraulique
Pièce à fabriquer	Tartelette mince en aluminium
Moule utilisé	Moule usiné en acier (deux demi-coquilles : empreinte + poinçon)
Forme de la cavité	Rectangulaire à coins arrondis (forme non circulaire)
Dimensions internes	Base : 60 mm×60 mm, Hauteur paroi : 25mm
Epaisseur de la pièce	1.5 mm
Rayon des coins (bas)	10 mm
Rayon de congés Int/Ext	6 mm
Angle de dépouille	20° vers l'extérieur (facilite le démoulage)
Matériau du moule	Acier usiné (brut d'usinage)
Matériau moulé	Aluminium (alliage standard, ordinaire)
Guidage	2 colonnes latérales assurant l'alignement vertical
Logiciels utilisés	Conception : SolidWorks ; FAO : RhinoCAM,

II.2 Conception du moule à l'aide de la CAO

II.2.1 La CAO

La **Conception Assistée par Ordinateur (CAO)** regroupe des outils et méthodes informatiques permettant de créer et modifier un produit virtuellement avant sa fabrication.

Grâce à des logiciels spécialisés, l'utilisateur peut modéliser des pièces en 3D avec une grande précision.

Dans ce projet, la CAO a permis de :

- Représenter la géométrie précise de la pièce à mouler (forme carrée, coins arrondis, dépouille de 25°, fond courbé).
- Garantir l'ajustement exact des deux parties du moule (empreinte et poinçon).
- Préparer les données d'usinage (rayons de fraisage, plans de joint, dépouilles).
- Générer les fichiers nécessaires pour la FAO (formats STEP, STL), facilitant ainsi le passage à l'usinage

II.2.1.1 Avantages de la CAO

- **Visualisation détaillée** : Permet d'identifier les erreurs de conception et de préparer l'usinage.
- **Préparation des parcours d'usinage** : La CAO alimente directement la FAO pour créer les trajectoires d'outils.
- **Facilité de modifications** : Une simple modification du modèle CAO permet de réadapter rapidement l'usinage en cas de changement.

II.2.1.2 Logiciel utilisé (CAO – SolidWorks)

Dans le cadre de la conception du moule destiné au moulage par compression, le logiciel SolidWorks a été employé comme principal outil de modélisation tridimensionnelle. SolidWorks, largement utilisé dans l'industrie, est reconnu pour sa robustesse et sa précision géométrique, qui en font un standard dans le domaine de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO).

Le logiciel offre également un ensemble complet de fonctionnalités adaptées à la conception de moules :

- **Gestion des dépouilles**, indispensable pour garantir le démoulage des pièces ;
- **Création des congés et chanfreins**, assurant la résistance mécanique et la qualité des surfaces ;
- **Outils de symétrie et d'assemblage**, facilitant la modélisation des pièces complexes ;
- **Définition précise des plans de joint**, assurant l'étanchéité et le bon alignement des deux parties du moule.

II.3 Étapes de modélisation de la pièce

Lancer SolidWorks et choisir l'option “Nouvelle pièce”. Le plan de référence utilisé est généralement le plan supérieur car la tartelette est vue de dessus.

II.3.1 Esquisse de la base carrée

1. Utiliser l'outil Esquisse 2D sur le plan supérieur.
2. Dessiner un rectangle de 60 mm × 60 mm
3. Appliquer un rayon de congé de **10 mm** sur chacun des quatre coins à l'aide de l'outil Congé d'esquisse. Ce qui fais une base carrée avec coins arrondis.

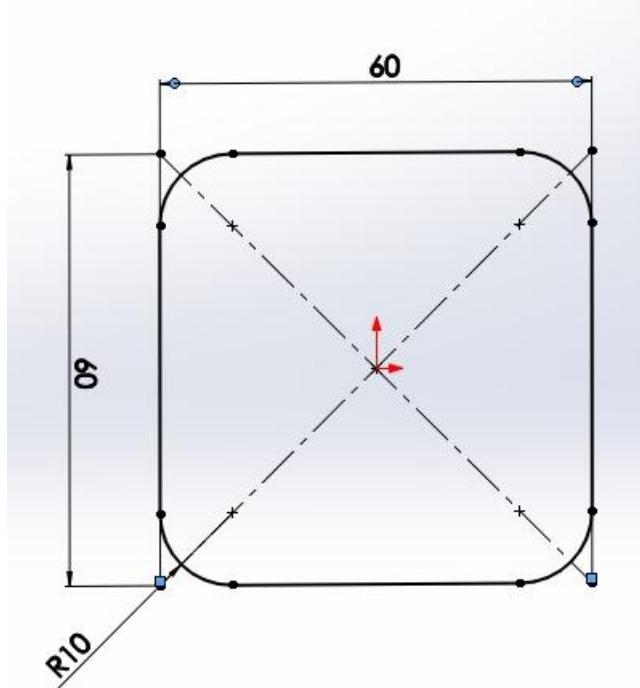


Figure II. 2: Esquisse de la base carrée coins arrondis

II.3.2 Extrusion avec inclinaison (dépouille)

1. Sélectionner l'esquisse et utiliser Fonction > Bossage/Base extrudé.
2. Régler la **hauteur à 25 mm**
3. Ajouter une **dépouille** de **20°** vers l'extérieur pour faciliter le démoulage, via l'option “Dépouille” dans la fenêtre d'extrusion.

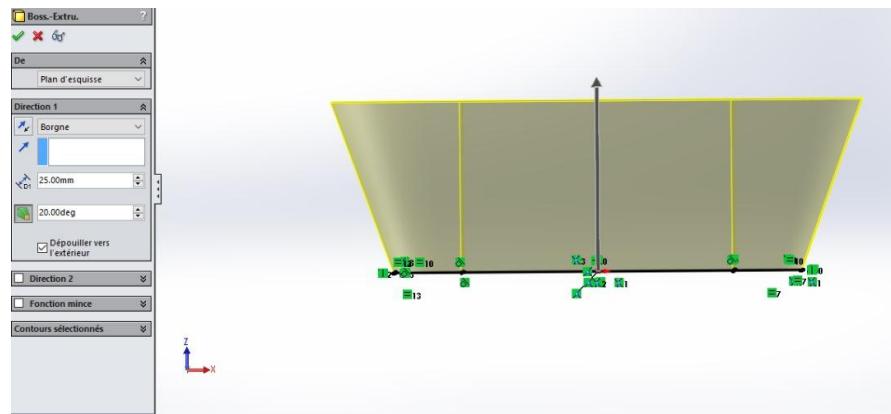


Figure II. 3: Extrusion avec inclinaison (dépouille).

II.3.3 Ajustement de l'épaisseur

On peut vider l'intérieur pour simuler une vraie tartelette mince à l'aide de l'outil Coque avec une épaisseur de paroi de 1.5 mm

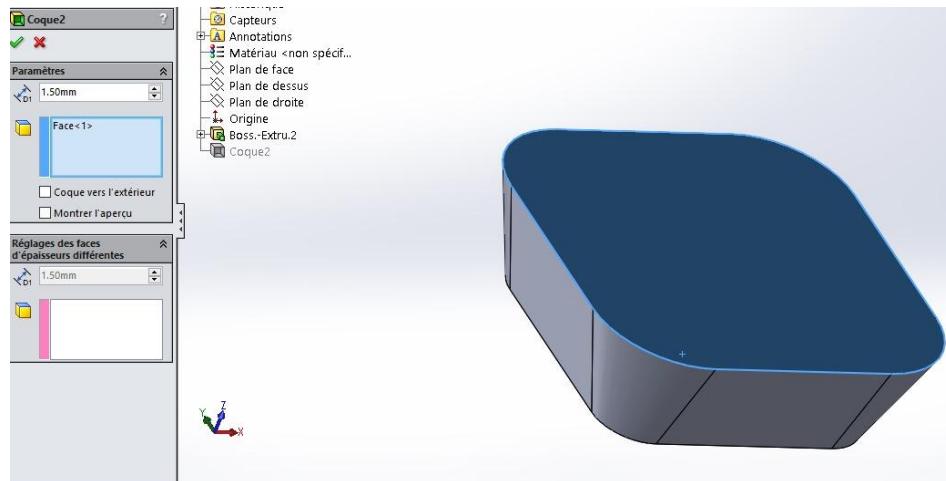


Figure II. 4: Ajustement de l'épaisseur (Coque).

II.3.4 Ajout des congés

1. Le fond de la tartelette étant légèrement arrondi, appliquer un rayon de congé de 6 mm à l'intérieur de la base (intersection entre le fond et les parois).

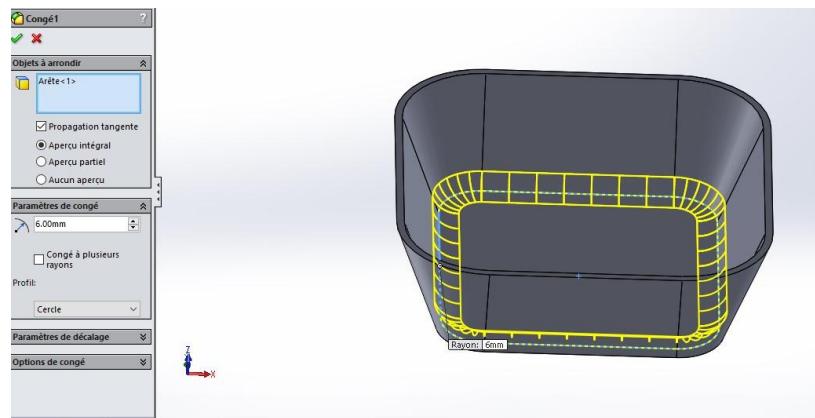


Figure II. 5: Rayon de congé à l'intérieur de la base.

2. Les arêtes extérieures de la base étant adoucies pour faciliter l'extraction du moule, un congé de 6 mm a été appliqué à l'extérieur, à l'intersection entre la base et les parois.

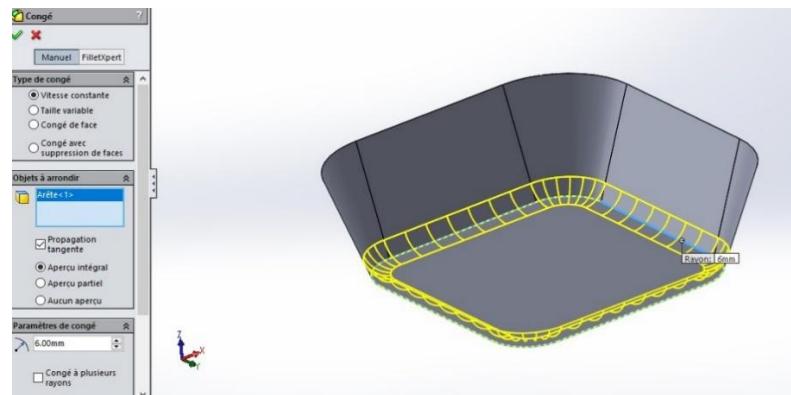


Figure II. 6:Rayon de congé à extérieure de la base.

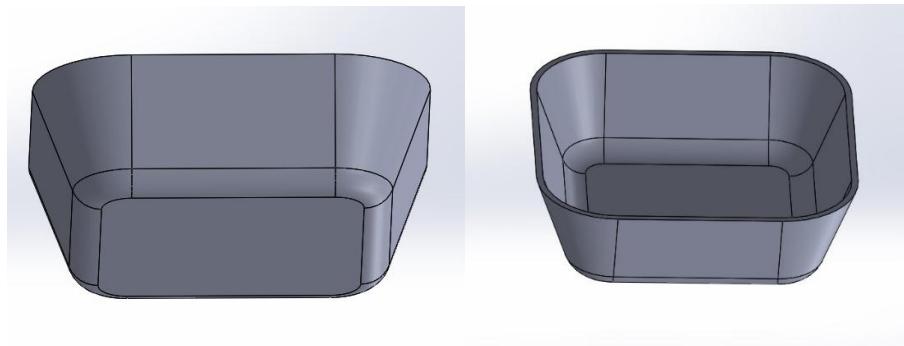


Figure II. 7: visualisation de la pièce

II.3.5 Contrôle et visualisation

Vérifier la géométrie avec Outils > Évaluer > Vérification de l'épaisseur, Mesure, et Visualisation 3D pour s'assurer que toutes les dimensions sont conformes.

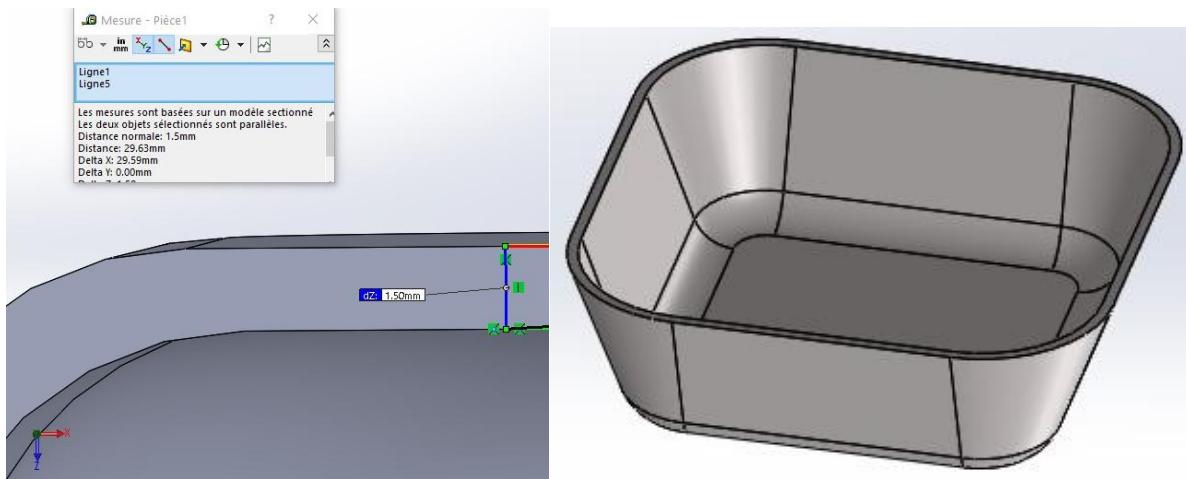


Figure II. 8: Contrôle et visualisation 3D.

II.4 Conception des deux parties du moule

La conception et réalisation des deux parties de moule est faite par SolidWorks et Rhinocam puis la réalisation dans une fraiseuse Hyundai a commande numérique Fanuc I

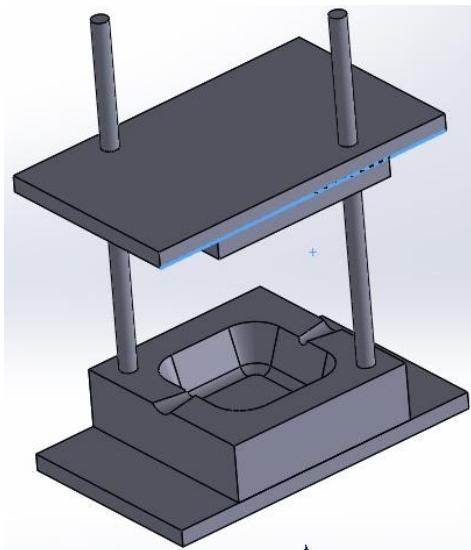


Figure II. 9:Conception des deux parties du moule.

II.4.1 Étapes principales de l'outil de moulage

Une fois la modélisation 3D de la pièce terminée, la génération des deux parties du moule a été réalisée automatiquement dans SolidWorks à l'aide de l'outil intégré de création de moule. Cet outil permet de produire, à partir d'une pièce existante, les deux moitiés (empreinte) et (poinçon).

II.4.1.1 Crédation de la ligne de joint

La ligne de joint a été tracée manuellement autour du périmètre de la pièce au niveau du sommet, là où la séparation des deux demi-coquilles du moule est prévue. Cette ligne doit être continue et suit les bords supérieurs de la pièce, y compris les congés externes arrondis.

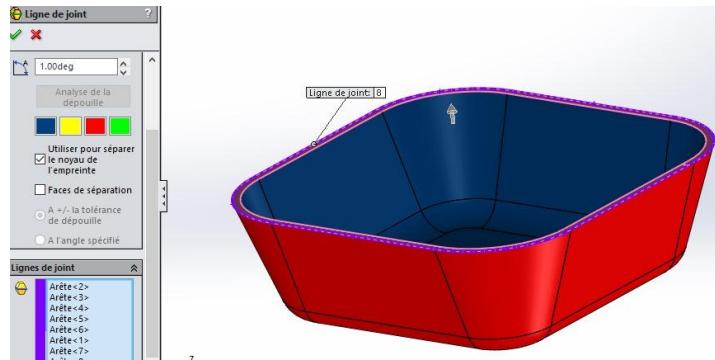


Figure II. 10: Crédation de la ligne de joint

II.4.1.2 Définition des surfaces d'arrêt

On génère ensuite automatiquement des surfaces qui ferment les trous ou espaces de séparation entre les parties de la pièce. SolidWorks les comble autour de la ligne de joint pour éviter les fuites de matière pendant le moulage.

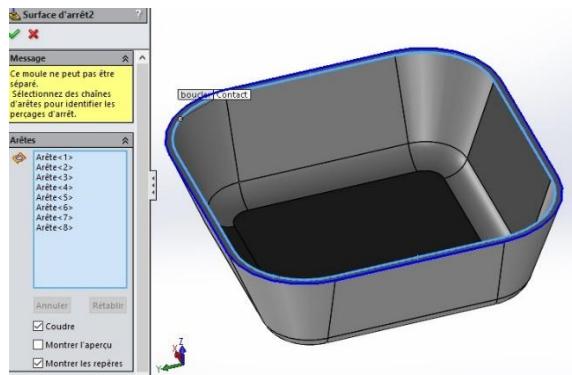


Figure II. 11: Définition des surfaces d'arrêt

II.4.1.3 Crédation du plan de joint

Un plan de joint est ensuite généré à partir d'une esquisse en suivant la ligne de joint. Ce plan sert à définir la frontière entre les deux moitiés du moule. Dans notre cas, il est placé en bout de pièce, horizontalement.

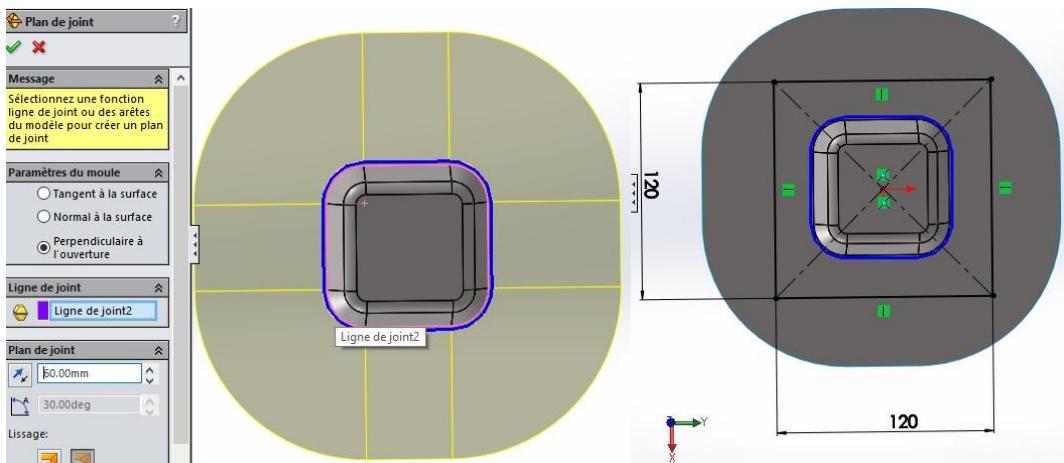


Figure II. 12: Création du plan de joint

II.4.1.4 Création du bloc de moule brut

Un bloc de forme parallélépipédique est défini autour de la pièce à l'aide de l'option ‘volume noyau-empreinte’. Ce bloc représente la matière brute du moule avant usinage. Ses dimensions ont été choisies avec une marge suffisante pour inclure la pièce et les zones d’usinage.

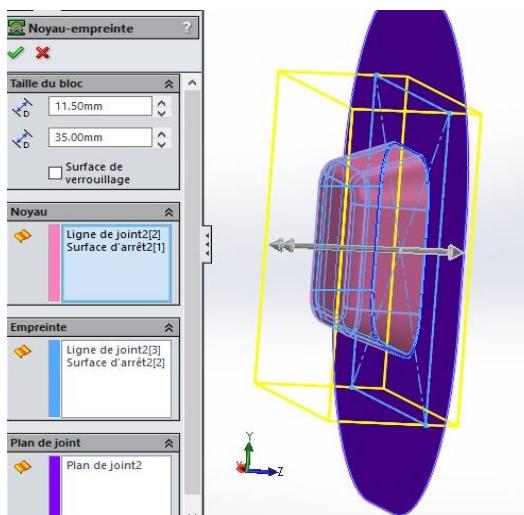


Figure II.13 : Création du bloc de moule brut

II.4.1.5 Création des surfaces de séparation

SolidWorks sépare automatiquement le bloc brut en deux : la cavité (empreinte) qui correspond à la partie inférieure du moule, et le poinçon, qui constitue la partie supérieure. Ces volumes sont extraits de manière symétrique par rapport au plan de joint.

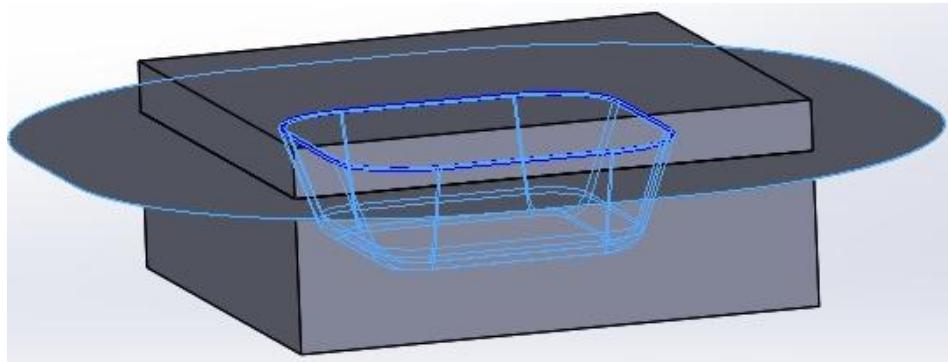


Figure II. 13: Crédit des surfaces de séparation

II.4.1.6 Génération de la cavité (Partie inférieure)

La cavité représente l'empreinte exacte de la pièce, y compris la dépouille de 20°, le fond légèrement arrondi et les coins à rayon constant. Elle accueillera l'aluminium durant le moulage.

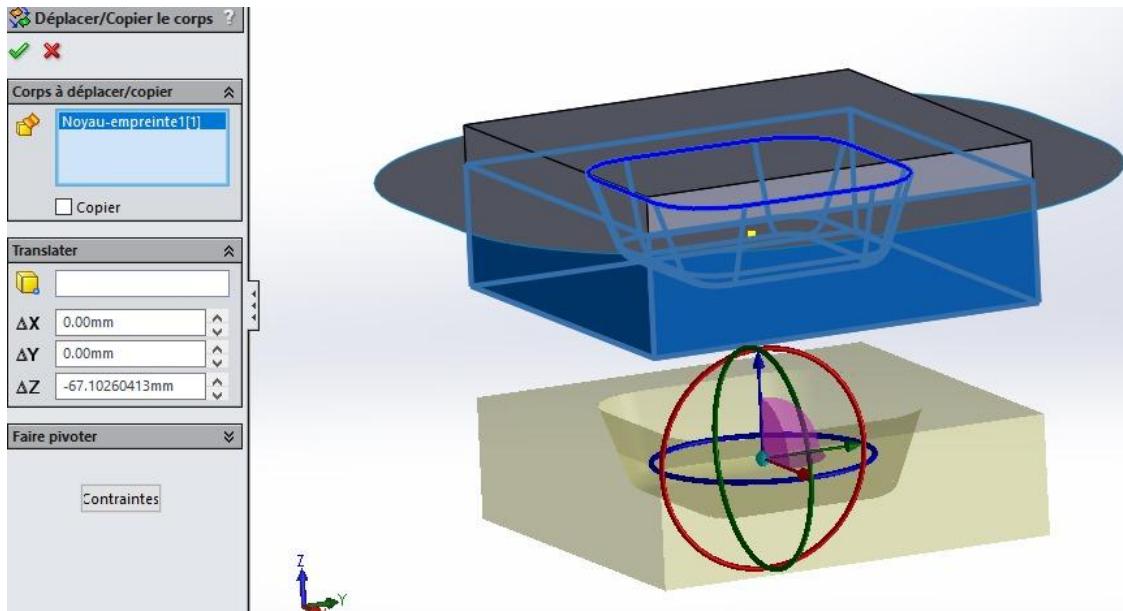


Figure II. 14: séparation de la partie inférieure de moule

II.4.1.7 Génération du poinçon (Partie supérieure)

Le poinçon est la partie opposée, venant s'insérer dans la cavité pour presser la matière. Il est généré automatiquement à partir de la forme interne restante après séparation du bloc.

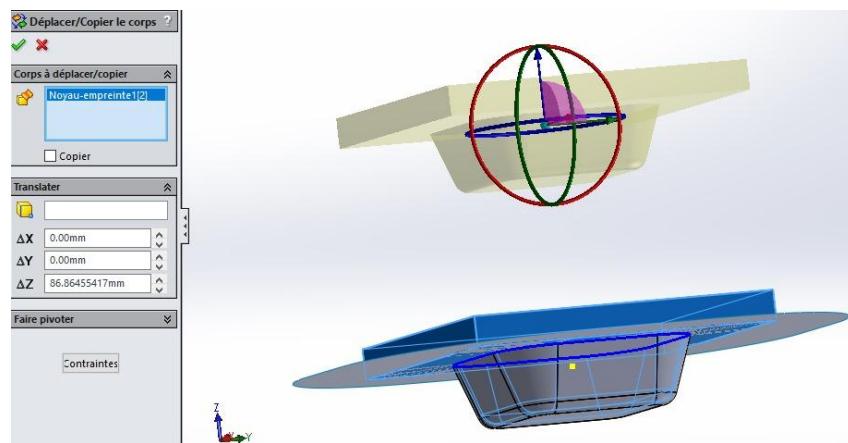


Figure II. 15: séparation de la partie supérieure de moule

II.4.1.8 Finalisation et séparation des deux blocs

Enfin, les deux parties du moule sont exportées séparément et nommées selon leur fonction. Elles peuvent désormais être usinées.

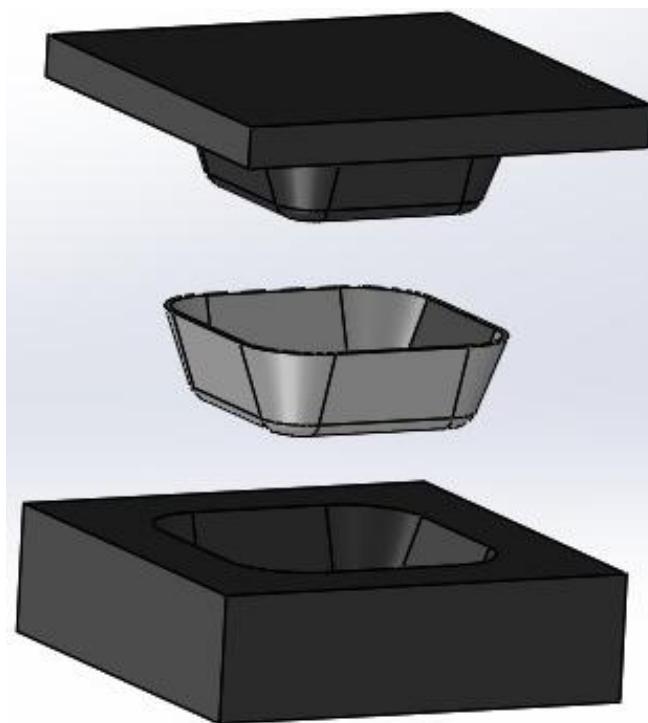


Figure II. 16: séparation des deux blocs.

II.4.2 Canalisation et colonnes de guidage

❖ Axes de guidage

- Deux perçages de 9,95 mm ont été réalisés dans la partie inférieure et deux autres Ø 10 mm dans la partie supérieure. Des axes cylindriques de 10 mm avec un épaulement, ont été montés par serrage dans les perçages de la partie inférieure (montage serré). La partie supérieure, quant à elle, possède des perçages légèrement plus larges,

permettant un guidage avec jeu moyen. Ce jeu autorise la translation de la partie supérieure, tout en assurant un centrage automatique grâce aux axes de guidage.

❖ Canalisation

1. Création des profils de départ et d'arrivée

- Esquisse 1 : représentant le contour de départ de la canalisation sur la surface du moule.
- Esquisse 2 : définissant le profil d'arrivée du canal à proximité de l'empreinte centrale.

Ces deux esquisses permettent de contrôler la géométrie d'entrée et de sortie du canal.

2. Création de la surface de lissage

Grâce à la fonction Lissage, une surface de transition a été générée entre les deux profils précédents. Cette opération permet de créer une forme fluide et régulière pour la canalisation, garantissant un écoulement optimisé du métal liquide pendant le moulage.

- Courbes guides : aucune contrainte de tangence n'a été appliquée dans cette opération afin de simplifier la géométrie de la surface.

3. Enlèvement de matière avec la surface de lissage

Après la création de la surface de lissage, la fonction "Enlèvement de matière avec surface" a été utilisée. Cette opération permet de soustraire la matière selon la surface générée, formant ainsi le canal final dans le moule.

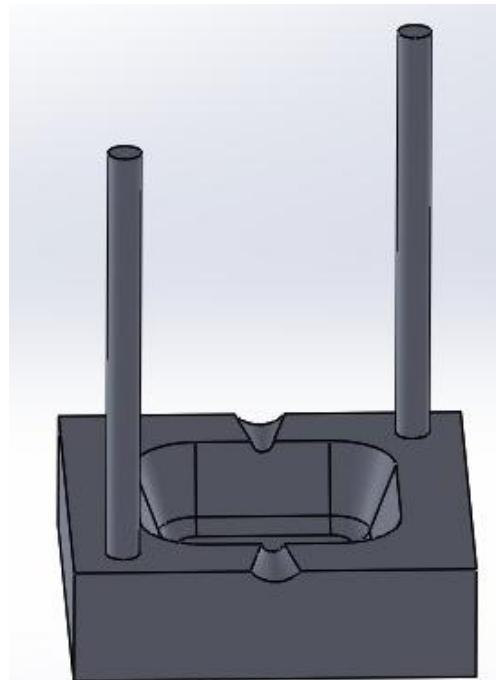


Figure II. 17:Canalisation et colonnes de guidage (partie inférieure)

II.4.3 Fonctions principales des canalisations

- Évacuation de l'air et des gaz lors de la descente du poinçon, ce qui évite les défauts internes [6].

- Élimination de l'excès de métal, surtout en cas de surcharge [6].
- Amélioration de la qualité de remplissage, en réduisant les contre-pressions à l'intérieur de la cavité [6].

II.5 Fabrication assistée par ordinateur (FAO)

II.5.1 Machine-outil utilisée

La machine-outil Hyundai à commande numérique FANUC I est un centre d'usinage CNC utilisé pour réaliser des opérations d'usinage de précision sur des matériaux métalliques tels que l'aluminium, l'acier, et autres alliages. Elle dispose de trois axes de mouvement (X, Y, Z) permettant une grande flexibilité dans l'usinage de pièces complexes avec une haute précision. Le FANUC I, intégré à cette machine, est un système de commande numérique robuste qui permet de contrôler avec une grande précision les déplacements des outils et des axes, d'adapter les vitesses d'avance et de coupe, et de garantir une répétabilité optimale des processus de fabrication. Ce système est largement reconnu pour sa facilité d'utilisation, sa stabilité et ses capacités de programmation avancées, ce qui le rend idéal pour des environnements industriels exigeant des tolérances serrées et des cycles de production rapides.

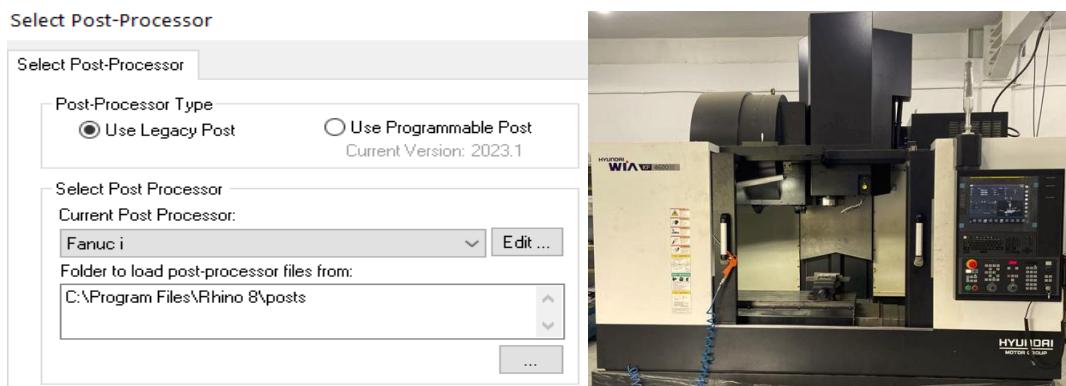


Figure II. 18: Fraiseuse numérique Hyundai FANUC I.

II.5.2 Transfert CAO vers FAO vers G-CODE

Le transfert de la CAO vers la FAO est une étape essentielle dans le processus de conception et de fabrication assistée par ordinateur (CFAO). Cette étape permet de convertir les modèles 3D créés en CAO (Conception Assistée par Ordinateur) en instructions compréhensibles par une machine-outil CNC pour l'usinage physique de la pièce [5].

II.5.2.1 Étapes du transfert

1. **Création du modèle 3D en CAO :** La première étape consiste à concevoir la pièce dans un logiciel CAO comme SolidWorks, où toutes les dimensions, géométries et

spécifications sont définies. Le modèle 3D de la pièce doit être complet, avec toutes les caractéristiques géométriques nécessaires pour assurer un usinage précis.

2. **Exportation du fichier CAO :** Une fois le modèle terminé, le fichier est exporté dans un format compatible avec les logiciels de FAO, tels que STEP, IGES, ou STL, selon les exigences du processus d'usinage.
3. **Importation dans le logiciel FAO :** Le fichier CAO est ensuite importé dans un logiciel de FAO comme RhinoCAM, qui permet de générer les trajectoires d'usinage nécessaires pour la machine CNC. Ces logiciels prennent en charge la création de parcours d'outils et la définition des paramètres d'usinage tels que les vitesses et les outils utilisés.
4. **Génération des trajectoires d'usinage :** Le logiciel FAO génère les trajectoires d'usinage pour la machine CNC en tenant compte des géométries définies dans le modèle CAO. Cela comprend la planification des étapes successives ébauche, finition. Chaque trajectoire est optimisée pour minimiser le temps d'usinage tout en garantissant la précision et la qualité du produit final.
5. **Simulation de l'usinage :** Avant de lancer l'usinage réel, une simulation est réalisée dans le logiciel FAO pour vérifier les trajectoires. Cela permet de détecter des erreurs potentielles, telles que des collisions avec la pièce, et de s'assurer que l'usinage ne présente aucun risque pour la machine ou la pièce.
6. **Génération du code G :** Une fois la simulation validée, le logiciel FAO génère le code G qui est ensuite transféré à la machine CNC. Ce code contient des instructions détaillées pour la machine, telles que :
 - Les mouvements aux axes (X, Y, Z),
 - La vitesse d'usinage,
 - Les changements d'outil nécessaires pour chaque opération.

II.6 Paramètres d'usinage utilisés

On utilise l'outil HSS pour l'ébauche pour préserver le matériel du magasin et carbure pour une bonne finition

Tableau II. 2:Paramètres d'usinage utilisé

Opération	Outil utilisé	Outil	ϕ d'outil (mm)	N [tr/min]	Vf [Mm/min]	Profondeur de passe (ap) [mm]
Surfaçage	Fraise plate 2 dents	HSS Ébauche	16	500	150	0.2
Surfaçage Finition	Fraise plate 2 dents	Carbure Finition	12	1200	220	0.1
Ébauche Cavité	Fraise plate 2 dents	HSS	16	500	150	0.3
Finition Cavité	Fraise plate 2 dents	Carbure	12	1200	220	0.1
Perçage trou	Foret hélicoïdal	HSS	6	1200	220	0.1

II.7 Étapes et stratégies d'usinage

II.7.1 Définition de l'origine et surfaçage du brut

L'usinage a été réalisé à partir d'un brut en acier ordinaire de forme carrée, ayant des dimensions de 120 mm 35 mm de hauteur. Avant toute opération, il a été nécessaire de définir l'origine de la pièce dans le logiciel FAO : celle-ci a été positionnée au centre de la face supérieure du brut, avec des coordonnées X = 0, Y = 0 et Z = 0. Cette origine permet de garantir la cohérence entre le modèle CAO et la pièce réelle, facilitant le positionnement dans l'eau de la machine-outil. Une première opération de surfaçage a ensuite été programmée sur cette même face, avec une profondeur de passe de 0,2 mm, afin d'éliminer toute irrégularité de surface. Ce surfaçage permet d'obtenir une base plane et propre pour assurer une bonne précision des usinages suivants.

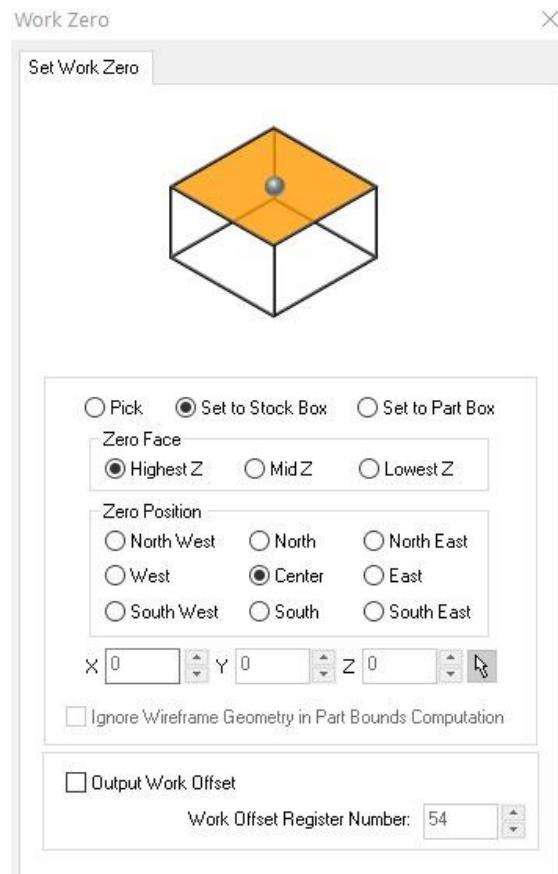


Figure II. 19: Définition d'origine pièce.

II.7.2 Stratégies d'usinage de la partie inférieur

1. Axis Facing (ébauche de la surface complète)

Cette stratégie est utilisée pour surfacer la totalité de la surface supérieure du brut afin d'obtenir une base plane et régulière avant d'entamer les opérations d'ébauche de cavité. Le mouvement de l'outil suit des passes parallèles, généralement en aller-retour, avec une faible profondeur de coupe. Elle permet d'enlever une fine couche de matière pour garantir une bonne planéité et éviter les imprécisions lors des opérations suivantes.

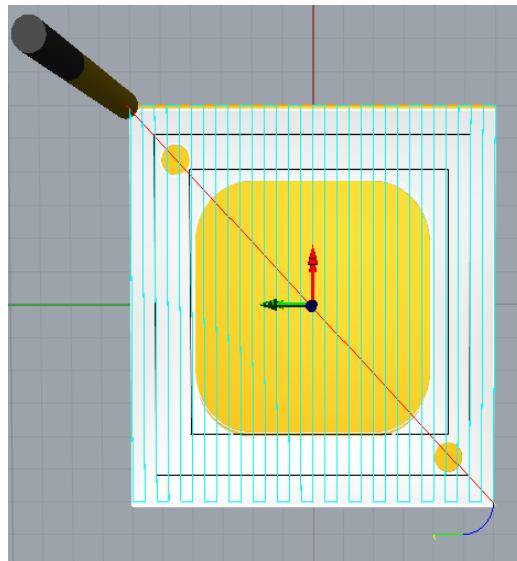


Figure II. 20: usinage de la surface (ébauche).

2. Horizontal Roughing (ébauche de la cavité)

L'ébauche horizontale consiste à retirer la majeure partie du matériau à l'intérieur de la cavité à l'aide de passes successives en profondeur. L'outil suit une trajectoire parallèle au fond de la cavité (usinage par couches horizontales). Cette méthode est rapide et efficace pour dégager le volume principal de matière tout en conservant une marge d'usinage pour les étapes de finition.

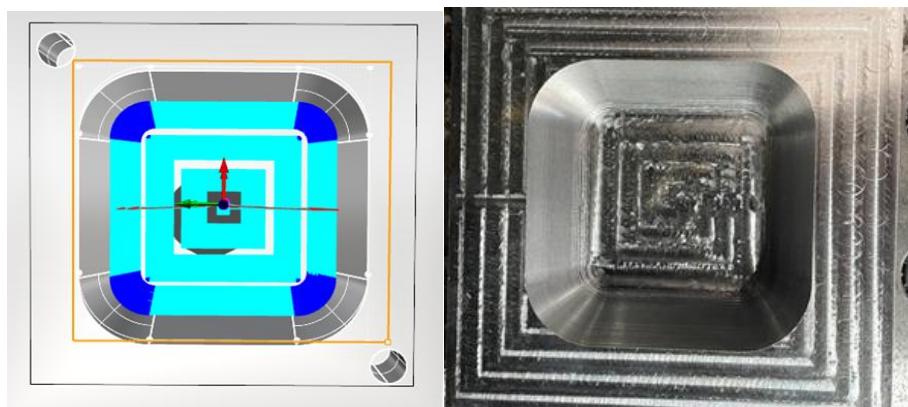


Figure II. 21:Usinage de la cavité (ébauche)

3. Axis Facing (finition de la surface du plan de joint)

Une seconde opération de facing est appliquée spécifiquement à la zone du plan de joint (la surface plane sur laquelle repose la partie supérieure du moule). Contrairement à l'ébauche initiale, cette finition est réalisée avec des paramètres plus fins (faible profondeur de passe, vitesse adaptée) pour obtenir une surface lisse, précise et plane, indispensable à une bonne étanchéité et un bon alignement du moule.

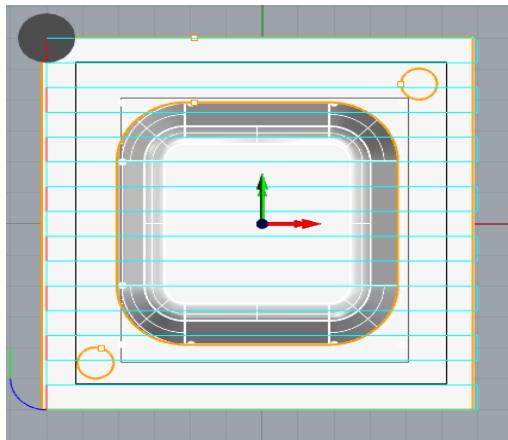


Figure II. 22: Finition de la surface du plan de joint

4. Horizontal Finishing (pour la surface des parois dans la cavité)

Cette stratégie de finition permet d'obtenir des parois lisses et précises à l'intérieur de la cavité. L'outil suit les contours verticaux du modèle 3D selon des trajectoires optimisées, avec une profondeur de passe très faible et une vitesse plus élevée. Cela améliore la qualité de surface, respecte les tolérances dimensionnelles et prépare la cavité pour le démoulage sans accrochage.



Figure II. 23: Finition la surface des parois dans la cavité

5. Horizontal Roughing (finition de la base de la cavité)

Dans certains cas, une dernière passe d'ébauche est appliquée spécifiquement à la base de la cavité pour assurer une régularité parfaite. Elle vise à aplaniir le fond de la cavité, enlever les restes de matière non atteints lors des passes précédentes, et affiner le volume avant la finition. Cette opération permet d'atteindre la profondeur exacte de la cavité prévue dans la conception.

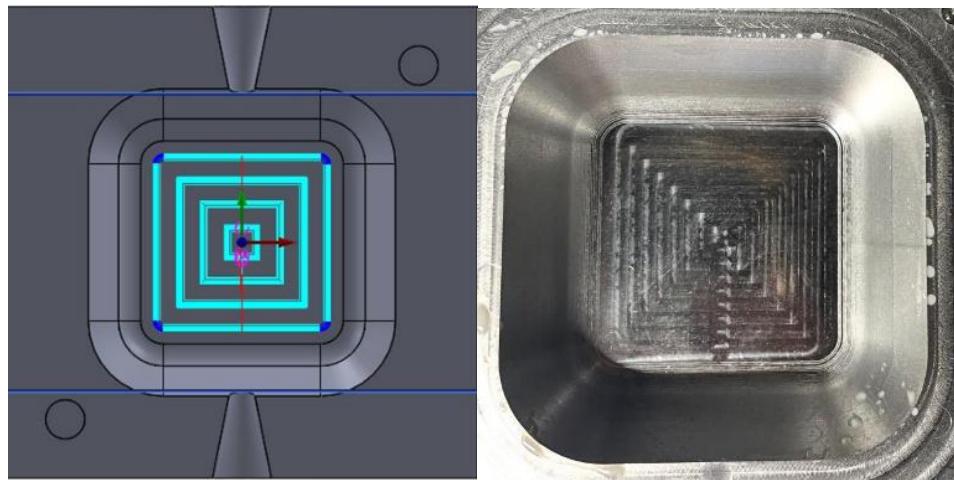


Figure II. 24: finition de la base de la cavité

6. Perçages pour axes de guidage

a) Standard Drill (avant trou)

Avant de réaliser les perçages finaux pour les axes de guidage, une opération de pré-perçage a été effectuée à l'aide d'un foret à centrer. Cette étape a permis de réaliser un trou pilote de petite taille, afin de faciliter l'insertion des outils de perçage ultérieurs et garantir un alignement correct.

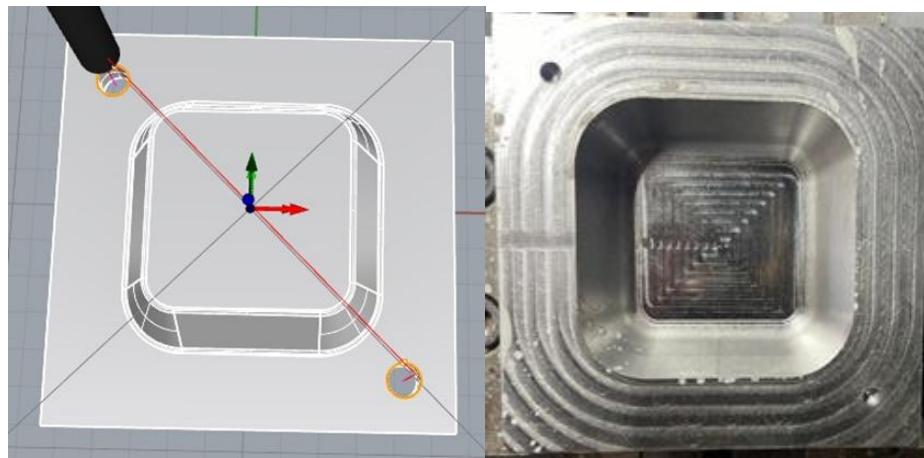


Figure II. 25: Perçages des avant trou.

b) Horizontal Roughing (contournage)

Une fois les avant-trous réalisés, l'opération de contournage horizontal a été effectuée. Cette stratégie a permis d'élargir progressivement les perçages à la dimension finale des axes de guidage. En utilisant une fraise à surfacer sur les surfaces horizontales, le matériau a été enlevé efficacement, en suivant les contours externes des perçages. Cette approche a réduit la quantité de matière à enlever et optimisé le temps de cycle, tout en garantissant une finition correcte pour accueillir les axes sans jeu excessif.

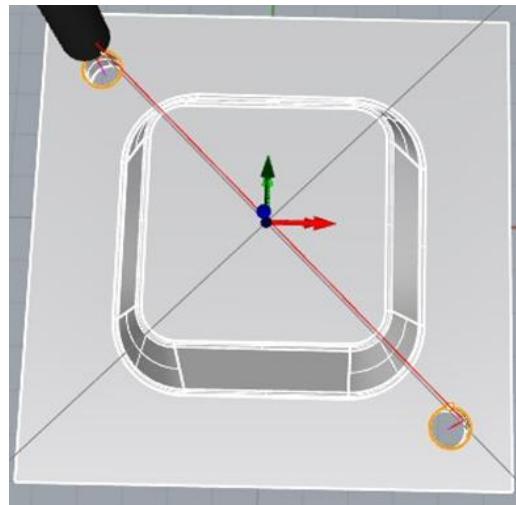


Figure II. 26: Contournage des perçages

7. Usinage des canalisations radiales

1) Horizontal Roughing (ébauche)

L'opération de fraisage horizontal d'ébauche a été utilisée pour enlever la majeure partie du matériau dans la zone des canalisations radiales. Cette stratégie consiste à retirer une grande quantité de matière à chaque passe, en maintenant une profondeur de coupe modérée et en avançant par passes successives. L'outil de coupe suit une trajectoire horizontale, enlevant une couche de matériau tout en préservant les contours des canaux. Cette étape permet de préparer le terrain pour les étapes suivantes en réduisant le volume de matériau à usiner sans compromettre la précision.

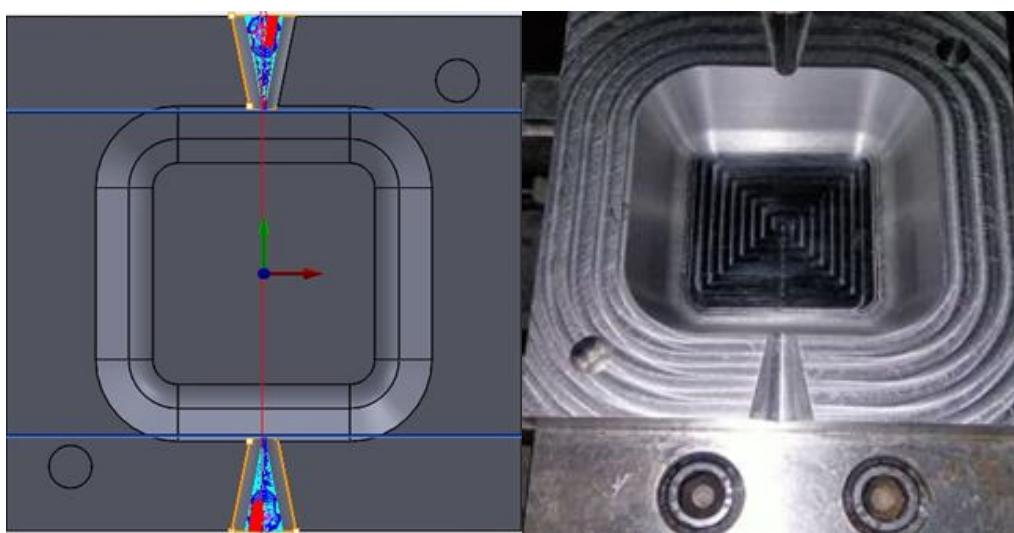


Figure II. 27: Usinage des canalisations (ébauche)

2) Parallel Finishing (finition)

Une fois l'ébauche réalisée, la **stratégie de finition parallèle** a été utilisée pour affiner les contours des canalisations et garantir une finition de haute qualité. L'outil de coupe suit une trajectoire parallèle aux surfaces des canalisations radiales, permettant d'atteindre la dimension exacte des canaux. Cette étape est cruciale pour obtenir des canalisations nettes, sans bavures, et adaptées à l'écoulement du métal fondu. Grâce à une profondeur de coupe minimale, cette stratégie assure une finition précise sans déformation du matériau.

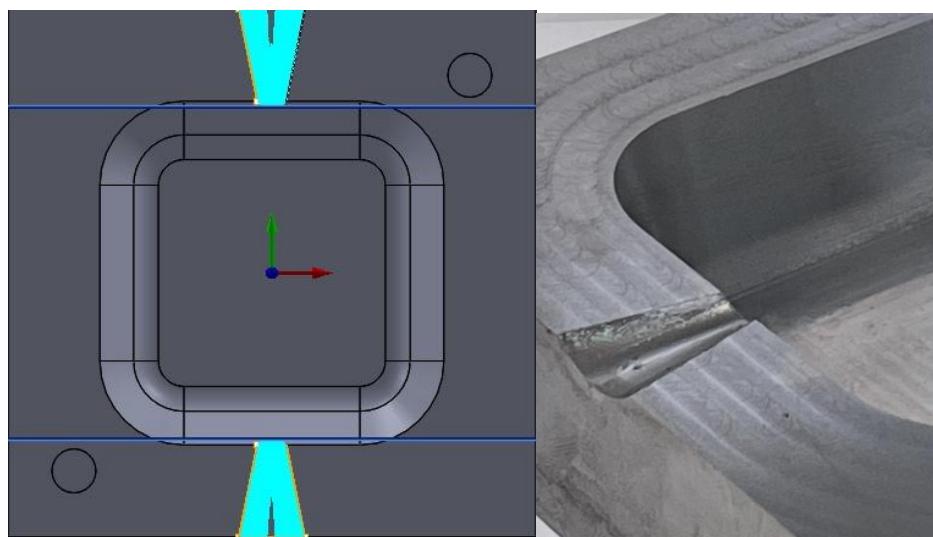


Figure II.28: Finition des canalisations.

II.7.3 Stratégies d'usinage de la partie supérieure

1. Axis facing (ébauche de la surface)

Cette opération permet de surfacer l'ensemble de la face supérieure du brut, en retirant une fine couche de matière 0.2 mm, afin d'obtenir une surface de référence plane avant les usinages plus profonds.

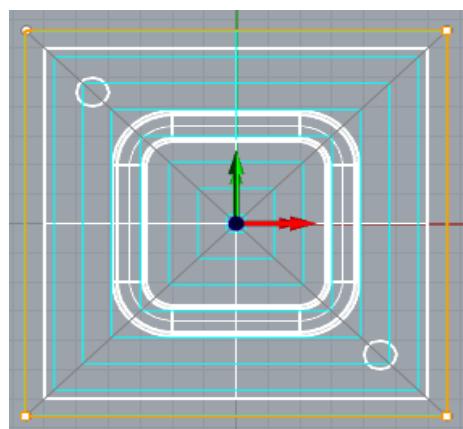


Figure II. 29: usinage de la surface (ébauche)

2. Horizontal Roughing (ébauche poinçon/plan de joint)

L'ébauche horizontale permet de retirer rapidement le volume principal de matière au niveau du poinçon et du plan de joint, en créant des passes successives en couches horizontales.

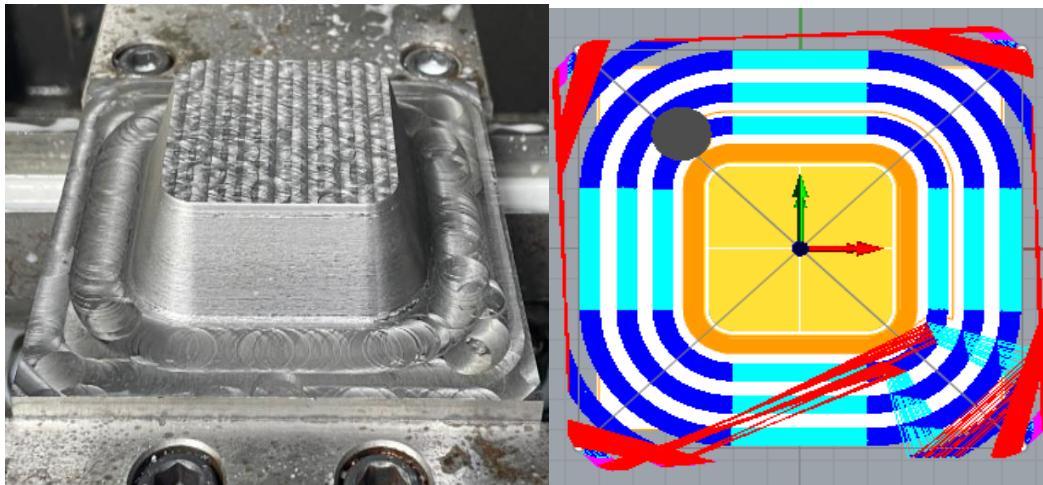


Figure II. 30: Usinage de poinçon (ébauche)

3. Horizontal Finishing (finition pour le poinçon)

Cette opération réalise la finition précise des surfaces du poinçon avec de faibles passes d'usinage, garantissant la qualité de surface et la géométrie finale du poinçon supérieure.

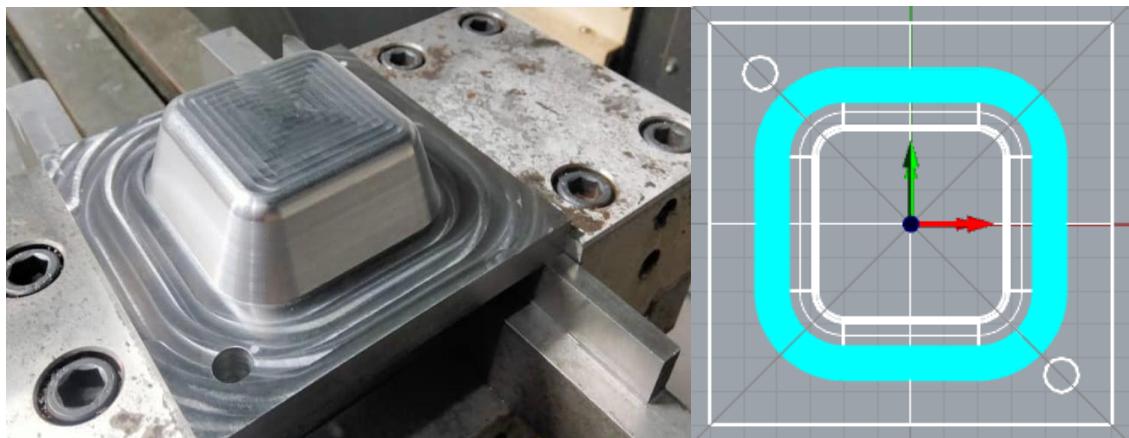


Figure II. 31: Finition de poinçon.

4. Horizontal Roughing (finition plane de joint)

Une dernière passe de finition horizontale légère est réalisée pour finaliser le plan de joint, en assurant un ajustement précis et une bonne étanchéité entre les deux parties du moule.

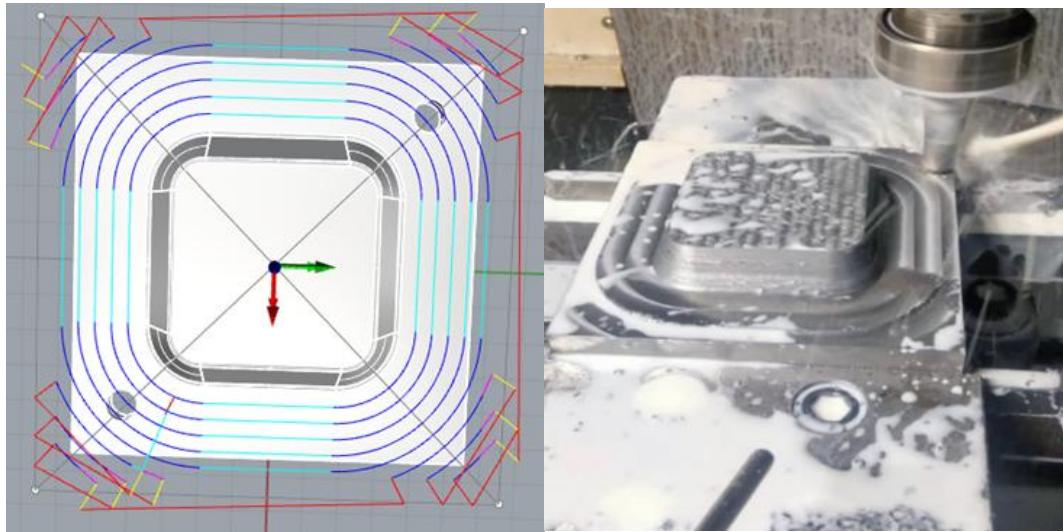


Figure II. 32: Finition de la surface plane de joint.

II.8 Essai de validation du moule par moulage à la cire

Suite à la fabrication des 2 partie du moule, un essai de validation a été réalisé par moulage à la cire. Cette opération préliminaire a pour objectif de vérifier le bon fonctionnement du moule avant son exploitation définitive en production. La cire a été préalablement fondue et injectée dans la cavité du moule, permettant ainsi de :

- Contrôler les dimension et l'épaisseur de la pièce,
- Évaluer l'état de surface et les coins arrondi de la pièce,
- Valider la qualité du démoulage et l'intégrité de la pièce obtenue.

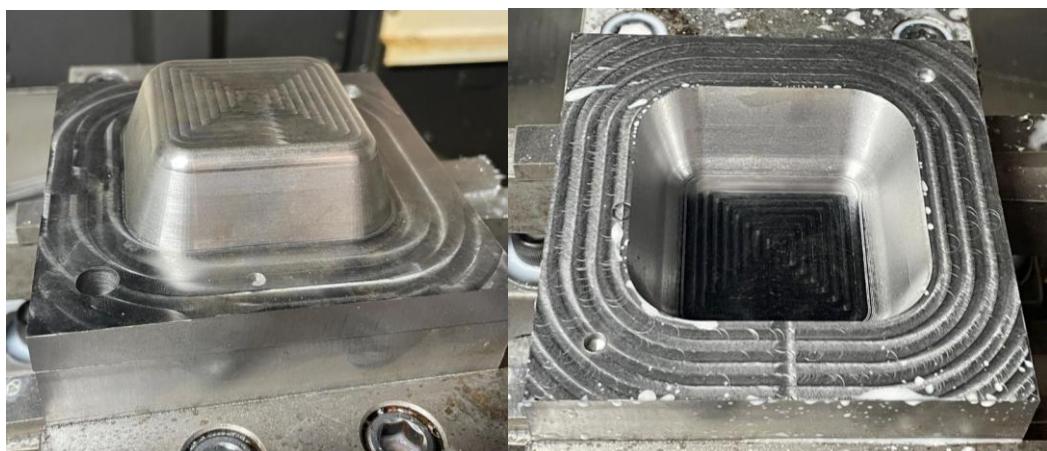


Figure II. 33: Préparation de moule.



Figure II. 34: Démoulage de moule.



Figure II. 35: la pièce réalisée à la cire

II.8.1 Observation

L'essai de moulage à la cire a donné des résultats très satisfaisants. La pièce obtenue présentait une géométrie conforme au modèle conçu, sans défaut visible ni déformation. Les dimensions, les surfaces et les détails de la cavité ont été parfaitement reproduits, confirmant ainsi la qualité de conception et de fabrication du moule. Cet essai a validé la bonne fonctionnalité du moule et sa capacité à produire des pièces de haute qualité.

II.9 Ébavurage manuel

Après usinage, les arêtes vives ont été ébavurées manuellement pour éviter les risques de blessure et garantir une manipulation sécurisée du moule.

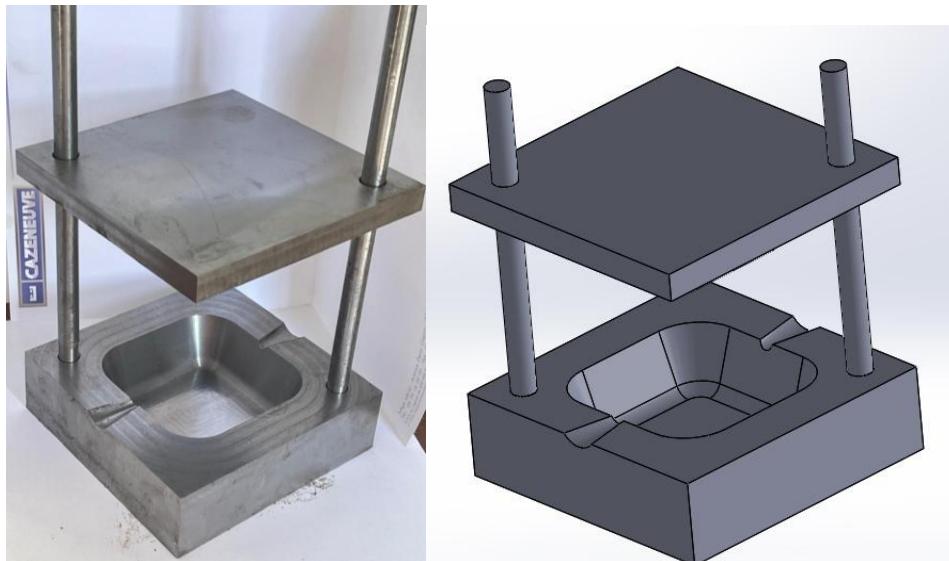


Figure II. 36: La conception 3D et la fabrication de moule

Conclusion

La modélisation du moule à l'aide de SolidWorks a permis de concevoir avec précision les deux parties du moule en respectant la géométrie complexe de la pièce. L'intégration des systèmes de guidage et des canaux d'évacuation a été réalisée de manière optimale. Les opérations de fabrication assistée par ordinateur, programmées sous Rhinocam, ont permis de générer des parcours d'usinage efficaces et adaptés aux différentes phases de fabrication. L'ensemble du processus de conception et de fabrication a permis d'obtenir un moule précis, prêt à être validé lors des essais expérimentaux.

Chapitre III

Évaluation expérimentale du procédé de moulage par compression

Introduction

Après la phase de conception et de fabrication du moule, des essais expérimentaux ont été réalisés afin de valider ensemble du procédé développé. Ces essais ont permis de vérifier le bon fonctionnement du moule et d'évaluer la qualité des pièces obtenues. L'analyse des résultats a ensuite permis d'identifier les éventuels défauts, de proposer des ajustements et d'optimiser les paramètres de moulage pour améliorer la stabilité et la reproductibilité du processus.

III.1 Objectifs des essais expérimentaux

L'objectif principal des essais expérimentaux est de valider l'ensemble du procédé de conception et de fabrication mis en œuvre. En réalisant des tests de moulage, il s'agit de vérifier si le moule fabriqué et le processus de moulage par compression permettent d'obtenir des pièces conformes aux exigences de géométrie et de qualité de surface attendues.

Si les pièces obtenues respectent les dimensions, la forme, et présentent un bon état de surface sans défauts majeurs, cela confirme que le procédé global incluant la conception CAO, l'usinage FAO et les paramètres de moulage est maîtrisé et opérationnel. À l'inverse, l'apparition de défauts permet d'identifier les points à améliorer pour optimiser le procédé.

III.2 Méthodologie des essais

Afin de valider le bon fonctionnement du moule et d'évaluer la qualité des pièces obtenues, une méthodologie expérimentale rigoureuse a été mise en place. L'objectif est de garantir des conditions de moulage reproductibles et fiables permettant une analyse objective des résultats. La méthodologie suivie comprend les étapes suivantes :

III.2.1 Préparation du moule

Avant chaque essai, le moule a été soigneusement nettoyé afin d'éliminer toute impureté ou résidu susceptible d'affecter la qualité du moulage. Une fois propre, le moule a été préchauffé à une température comprise entre 180°C et 220°C. Ce préchauffage permet de réduire les chocs thermiques au contact du métal fondu et d'améliorer l'écoulement de l'aluminium. Après préchauffage, une couche uniforme de poteyage a été appliquée sur les surfaces de contact du moule. Le poteyage agit comme agent de démoulage, empêchant l'adhérence de l'aluminium aux parois et favorisant la qualité de surface de la pièce moulée.



Figure III. 1:Application de poteyage.

III.2.2 Préparation du métal

L'aluminium a été chauffé à deux plages de températures distinctes afin de tester le comportement du procédé de moulage sous différentes conditions de fusion :

- **En état liquide complet** : le métal a été porté à une température comprise entre 700°C et 750°C, assurant une fluidité maximale au moment de la coulée. Cette condition favorise le remplissage complet de la cavité, particulièrement pour les zones fines et complexes de la pièce.
- **En état pâteux (semi-solide)** : des essais complémentaires ont été réalisés avec une température de fusion comprise entre 600°C et 650°C, où l'aluminium présente un comportement partiellement solide et partiellement liquide. Cette approche vise à observer les effets sur la qualité de surface, la réduction des retassures et la densification de la pièce grâce à une meilleure compaction pendant la compression.

Ces deux régimes thermiques ont permis de comparer l'influence de l'état du métal sur le remplissage, la qualité de surface et la stabilité dimensionnelle des pièces obtenue



Figure III. 2: Préparation d'aluminium liquide

III.2.3 Coulée et compression

Dès que l'aluminium atteint la température de fusion cible, il est rapidement transféré et versé manuellement dans la cavité du moule préchauffé. Immédiatement après la coulée, la presse hydraulique est actionnée manuellement pour appliquer la pression de moulage. Cette pression est maintenue pendant une durée de 15 à 30 secondes, permettant un compactage uniforme du métal fondu et favorisant une bonne solidification sous contrainte.



Figure III. 3: Coulée et compression de moule

III.2.4 Refroidissement et démoulage

Après le maintien sous pression, le moule est ouvert avec prudence une fois la pièce suffisamment solidifiée. Le refroidissement de la pièce s'effectue naturellement à température

ambiante. Cette étape de refroidissement contrôlé permet de limiter les contraintes internes et d'éviter l'apparition de fissures ou de déformations résiduelles.



Figure III. 4: Retrait pièce final

III.2.5 Inspection initiale

Chaque pièce démoulée a fait l'objet d'une inspection visuelle immédiate. Cette observation préliminaire permet de relever rapidement les défauts visibles tels que les manques de matière, les bavures, les défauts de surface, les retassures ou les éventuelles déformations. Ces premières constatations ont servi de base aux ajustements ultérieurs du moule et des paramètres de moulage.

III.3 Analyse de la pièce après essais en aluminium

III.3.1 Inspection visuelle : essais à l'état liquide

Après les essais réalisés à l'état liquide (température de fusion entre 700°C et 750°C), les pièces obtenues ont été soigneusement observées afin d'identifier les éventuels défauts de moulage. L'analyse visuelle a permis de relever plusieurs types de défauts caractéristiques du moulage par compression à l'état liquide :



Figure III. 5: Pièce d'essai état liquide.

- **Retassures** : Des cavités internes de solidification sont visibles sur plusieurs zones épaisses de la pièce. Ces défauts traduisent une solidification rapide sans apport suffisant de métal durant le refroidissement final.
- **Fissures de retrait** : Des fissures longitudinales sont observées le long des arêtes et dans certaines zones de paroi. Elles sont dues aux contraintes internes générées lors du retrait thermique différentiel pendant la solidification.
- **Porosités gazeuses** : De nombreuses porosités de surface, sous forme de petits trous et inclusions, apparaissent dans plusieurs zones. Ces défauts traduisent une évacuation insuffisante des gaz piégés pendant le remplissage du moule.
- **Plan de joint écrasé** : Des bavures nettes sont visibles tout autour du plan de joint de la pièce. Cela résulte d'un léger jeu d'ajustement entre les deux parties du moule.
- **Mauvaise homogénéité de surface** : L'intérieur de la cavité montre des lignes marquées, typiques de fronts de métal liquide qui se rejoignent sans fusion complète. Ce phénomène est amplifié lorsque le remplissage est trop rapide ou lorsque la température du moule est insuffisante.



Figure III. 6:Fissure et retassure de la pièce

III.3.2 Inspection visuelle : essais à l'état semi-solide

Des essais complémentaires ont été réalisés avec l'aluminium à l'état semi-solide, en maintenant la température du métal entre **600°C et 650°C**. Cette plage de température permet au métal de se présenter sous forme d'un mélange pâteux, composé de grains solides en suspension dans une phase liquide.



Figure III. 7: Piece d'essaie état pâteux

L’inspection visuelle des pièces obtenues dans ces conditions a montré plusieurs différences par rapport aux pièces moulées à l’état liquide :

- **Meilleure compaction du métal** : Les pièces présentent globalement moins de retassures et de cavités internes, grâce à la densification progressive du mélange semi-solide sous l’action de la pression de compression.
- **Réduction des fissures** : La présence de grains solides pendant la compression réduit les contraintes de retrait lors du refroidissement, limitant ainsi l’apparition de fissures de retrait.
- **Surface interne plus rugueuse** : En revanche, la rugosité de surface est généralement plus importante qu’en moulage liquide, avec l’apparition de marques granuleuses dues à la répartition non homogène des grains solides pendant l’écoulement.
- **Moins de porosités gazeuses** : L’écoulement plus lent et contrôlé du semi-solide réduit les risques de piégeage de gaz, ce qui améliore la compacité globale des pièces.
- **Plan de joint écrasé** : Quelques bavures au niveau du plan de joint sont toujours observées, liées au jeu résiduel dans le moule sous l’effet de la pression. Globalement, le moulage en semi-solide a permis d’améliorer la qualité interne des pièces, même si la qualité de surface reste à optimiser.

III.4 Ajustements effectués

III.4.1 Modification de la conception du moule

Suite aux premières observations et aux défauts rencontrés lors des essais initiaux (notamment les retassures, les fissures et les défauts de remplissage), une révision complète de la conception du moule a été entreprise.

Les principales modifications apportées sont les suivantes :

- **Suppression des canaux d'évacuation** : Les canalisations initialement prévues dans la partie supérieure du moule ont été supprimées. Le métal fondu est désormais directement versé dans la cavité principale du moule sans passer par des canaux intermédiaires. Cette simplification vise à limiter les pertes de charge, améliorer le remplissage rapide et homogène de la cavité, et réduire la formation de lignes de soudure internes.

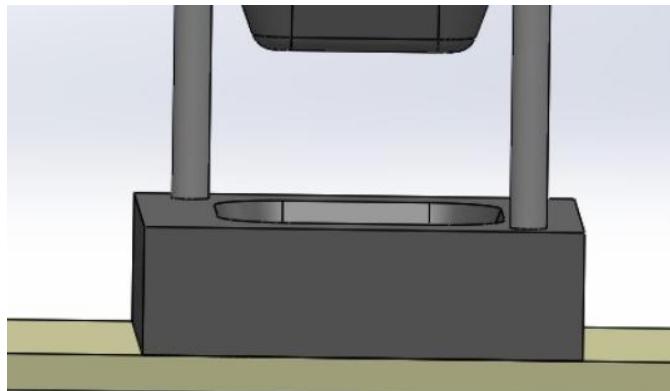


Figure III. 8: Suppression des Canaux d'évacuation

- **Suppression du plan de joint dans la partie supérieure** : La nouvelle conception de la partie supérieure du moule a été réalisée en supprimant les plans de joint qui gagnaient des bavures importantes au niveau du contour des pièces. Cette modification a permis d'améliorer significativement la qualité de surface et de réduire les défauts de bavure.

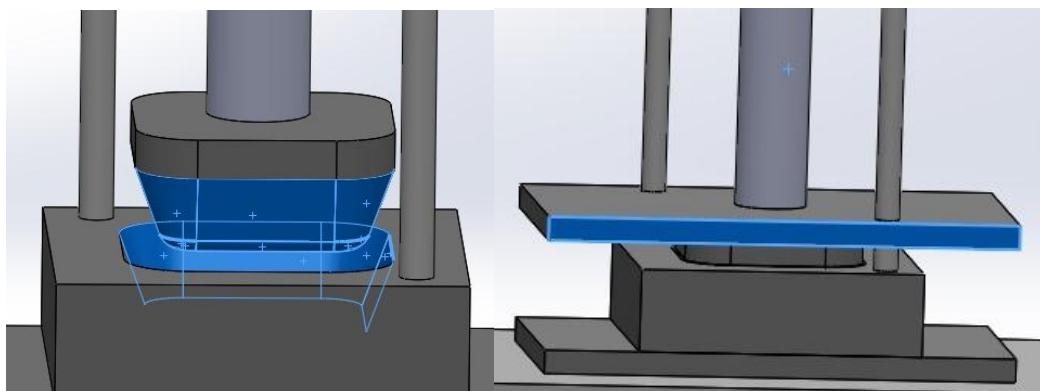


Figure III. 9: Suppression de plan de joint.

III.5 Résultats finaux après ajustement

- Les premiers essais réalisés avec la conception initiale du moule ont permis de mettre en évidence plusieurs défauts de remplissage, de retassure, de fissures et de bavures. Ces constats ont conduit à une modification complète de la conception de la partie supérieure du moule.
- Bien que ces modifications aient été réalisées dans le but d'améliorer la qualité des pièces obtenues, aucune nouvelle série d'essais n'a été effectuée après ces ajustements. Les

résultats finaux présentés dans cette étude concernent donc exclusivement les pièces produites lors des essais initiaux avant modification.

- Les modifications apportées à la conception du moule constituent toutefois une base solide pour de futurs essais expérimentaux, dans l'objectif d'optimiser davantage le procédé de moulage par compression et d'éliminer les défauts observés lors de la première phase d'expérimentation.

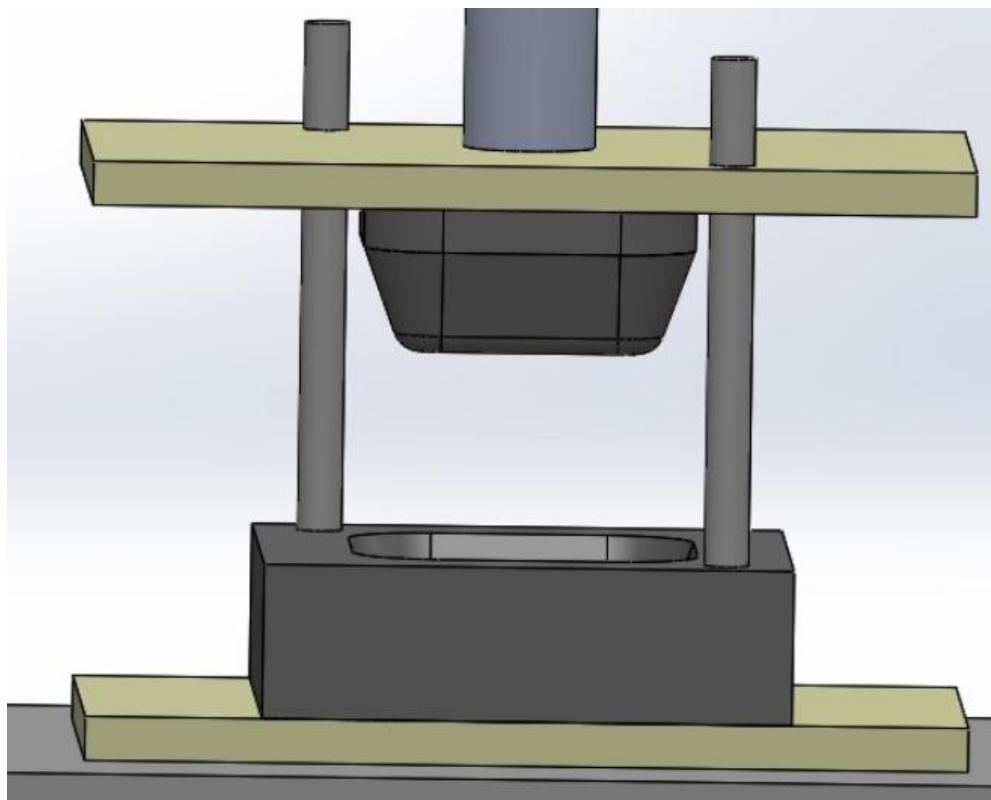


Figure III. 10: Nouvelle conception de moule.

Conclusion

Les essais expérimentaux réalisés ont permis d'identifier plusieurs défauts liés à la conception initiale du moule et aux paramètres de moulage. L'analyse des pièces obtenues a mis en évidence des problèmes de retassures, de fissures, de porosités et de bavures. Ces observations ont conduit à une réflexion approfondie et à la proposition d'une nouvelle conception du moule, modifiée sous SolidWorks, visant à corriger les défauts constatés. Bien que ces modifications n'aient pas encore été validées expérimentalement, elles constituent une base pertinente pour de futurs essais d'optimisation du procédé de moulage par compression de l'aluminium.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif de ce travail était d'étudier la faisabilité du moulage par compression des alliages d'aluminium à l'aide d'une presse hydraulique simple. Après une étude bibliographique des différentes techniques de moulage de l'aluminium, un moule a été conçu à l'aide des outils de conception assistée par ordinateur (CAO) et fabriqué via des opérations d'usinage par fabrication assistée par ordinateur (FAO).

Les essais expérimentaux réalisés sous différentes conditions thermiques, à l'état liquide et semi-solide, ont permis d'analyser le comportement du métal pendant le remplissage et la solidification. L'observation des pièces produites a mis en évidence plusieurs défauts caractéristiques du procédé initial, tels que les retassures, les fissures de retrait, les porosités gazeuses et les bavures. Ces défauts ont conduit à une réflexion approfondie sur les limitations de la conception initiale du moule et sur les conditions de moulage employées.

Sur la base de ces observations, une nouvelle conception du moule a été proposée sous SolidWorks, intégrant des modifications significatives telles que la suppression des canaux d'alimentation et du plan de joint dans la partie supérieure, ainsi qu'une refonte de la géométrie du poinçon. Ces propositions théoriques visent à améliorer la qualité de remplissage, la compaction du métal et la qualité de surface des pièces moulées.

Bien que ces modifications n'aient pas encore été validées expérimentalement, elles constituent des perspectives prometteuses pour de futurs travaux. Des essais complémentaires seront nécessaires pour confirmer l'efficacité de ces ajustements et pour optimiser les paramètres de moulage dans le but d'industrialiser éventuellement ce procédé simple, économique et accessible.

Références Bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] A. LE NÉZET, Michel GARAT -2013- Moulage des alliages d'aluminium-article.
- [2] Callister, W.D -2014- Materials Science and Engineering-livre.
- [3] Dr. BATACHE D - Conception et Fabrication - NIV BATNA
- [4] Campbell, J., Complete Casting Handbook-2015- Butterworth-Heinemann-ARTICLE.
- [5] William DERIGENT-2005-, Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO- thèses.
- [6] MARTIN FORTE-2006-, MODELISATION DE L'ECOULEMENT DE L'ALUMINIUM SEMI-SOLIDE DANS LE MOULAGE SOUS PRESSION-Mémoire-univ.
- [7] Flemings, M.C -1997- Behavior of Metal Alloys in the Semisolid State-livre.
- [8] CLAUDIA SHEEHY -2008- , CARACTERISATION DES COEFFICIENTS D'INTERFACE EN MOULAGE SOUS PRESSION DE L'ALUMINIUM SEMI-SOLIDE- Mémoire-univ.
- [9] HADDADI Hanane -2022- CARACTERISATION DES COEFFICIENTS D'INTERFACE EN MOULAGE SOUS PRESSION DE L'ALUMINIUM SEMI-SOLIDE-Mémoire –univ.
- [10] AMMOUR.R, IKERROUIENE.D - Étude et Conception d'un moule d'injection d'alliage d'aluminium pour un flasque-bride-Mémoire de Master – univ.
- [11] <https://precisecast.com/plaster-mold-casting>.

Résumé

Ce mémoire présente une étude expérimentale sur le moulage de l'aluminium par compression à l'aide d'une presse hydraulique. Ce procédé, encore peu utilisé pour les alliages d'aluminium, s'avère simple, économique et accessible. Le travail se divise en trois parties : une étude théorique des procédés de moulage, la conception et fabrication du moule à l'aide de la CAO/FAO, et une série d'essais expérimentaux. Les tests réalisés ont permis d'identifier certains défauts (fissures, retassures, porosités) et de proposer des améliorations du moule. Ce projet démontre la faisabilité de produire des pièces minces en aluminium par compression, avec un équipement limité et à faible coût.

Abstract

This thesis presents an experimental study on aluminum compression molding using a hydraulic press. Although still uncommon for aluminum alloys, this method is simple, cost-effective, and accessible. The work is divided into three parts: a theoretical review of molding processes, the design and fabrication of the mold using CAD/CAM, and a series of experimental tests. The results revealed some defects (cracks, shrinkage, porosities), leading to suggested improvements in the mold design. This project demonstrates the feasibility of producing thin aluminum parts by compression molding with limited equipment and low production cost.

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة تجريبية حول قوالب الألمنيوم بالضغط باستخدام مكبس هيدروليكي. رغم أن هذه التقنية لا تزال غير شائعة في تشكيل سبائك الألمنيوم، إلا أنها تعد وسيلة بسيطة وفعالة من حيث التكلفة. تم تقسيم العمل إلى ثلاث مراحل: مراجعة نظرية لأساليب القوالب، تصميم وتصنيع قالب باستخدام برامج التصميم والتصنيع بالحاسوب، ثم إجراء اختبارات عملية. كشفت النتائج عن بعض العيوب، مما أدى إلى اقتراح تحسينات على تصميم قالب. يظهر هذا المشروع إمكانية إنتاج قطع رقيقة من الألمنيوم بكفاءة وبأدوات محدودة التكلفة.