

**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 : Fabrication mécanique et productique

Par :

Tabta Abderrahim

Nait Eldjoudi Yacine

Thème

Etude de conception et analyse de fabrication d'un moule

Soutenu le 15/09/2024 devant le jury composé de:

Melle. BOUZIDI Safia	Présidente
M.METHIA Mounir	Rapporteur
M. BELLAMRI Abde latif	Examinateur

Remerciements

D'abord, nous tenons remercier DIEU le tout puissant, qui nous Tout a donné la force et la patience de réaliser ce travail.

En second lieu, c'est avec beaucoup de respect et d'appréciation qu'on remercie notre encadrant M. Methia Mounir, qui a toujours été présent pour nous accueillir et nous aider, et de nous avoir fait profiter de ses connaissances, ses précieux conseils, son encouragement durant toute la période de travail. Merci d'avoir accepté de nous encadrer.

On souhaite également remercier l'ensemble des membres du jury. Nos sincères remerciements à tous les enseignants de l'Université de Bejaia qui ont contribué à notre formation durant ces deux cycles universitaires.

Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profondes reconnaissances à l'égard de nos parents pour leurs soutiens durant nos études. Et Nous exprimons chaleureusement nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Un grand merci.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

A mes chers parents Djamel et Saliha pour leurs accompagnements, leurs soutient, et leurs patiences tout au long de mes études.

A mes deux chers frères Hani et Yanis, et à ma chers sœur Zahra Et a toute ma famille.

A mes chers amis Aksel, Abdelhak, Madani, Nabil, et à tous ce que je n'ai pas citer.

A tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Abderrahim

Je dédie ce mémoire à :

A mes chers parents Md AMEZIANE et NEDDAR FADHILA pour leurs accompagnements, leurs soutien, et leurs patience tout au long de mes études.

A mes deux chers frères MAMO, AMINE et ANIS, et à ma chers sœur NAWAL Et a toute ma famille.

A mes chers amis ZYAD, SALIM, AZDINE, RAHIM et TOUFIK et ma belle SISSI et à tous ce que je n'ai pas citer de près ou de loin.

A tous ce qui ont contribué à la réalisation de ce travail surtout M. METHIA.

M. NAIT ELDJOUDI

<i>Chapitre I : Généralités sur la fonderie et la fabrication sur machine</i>	3
I.1 Introduction	4
I.1.1 La fonderie.....	4
I.1.1.1 Quelques notions de base.....	4
I.1.1.2 Domaines d'applications	5
I.1.2 Le moulage en coquille par gravité.....	6
I.1.2.1 Définition.....	6
I.1.2.2 Origines des règles de tracé	6
I.1.2.3 Règles de conception d'une pièce moulée pour assurer sa géométrie finale	7
I.1.2.4 Principes de conception pour assurer le démoulage d'une pièce moulée	9
I.1.2.5 Principes de fabrication d'une pièce moulée afin de simplifier le remplissage et prolonger sa durée de vie	10
I.1.2.6 Principes de conception d'une pièce moulée afin de diminuer les dépenses et simplifier la réalisation	11
I.1.2.7 Règles de conception de l'outillage pour le placement du système de remplissage	
12	
I.1.3 Le moulage en sable.....	13
I.1.3.1 Généralité.....	13
I.1.3.2 Moulage en sable manuel	15
I.1.3.3 Le modèle	16
I.1.3.4 Sable utilisé.....	17
I.1.4 La fabrication sur machines (commande numériques).....	17
I.1.4.1 Les machines commandent numériques	17
I.1.4.2 Les types des (CNC).....	18
I.1.4.3 Les processus utilisés pour fabriquer des moules à partir de ces machines (CNC)	
21	
<i>Chapitre II : Étude et conception du moule pour le modèle Presse ail</i>	23
II.1 Introduction	24
II.2 Conception des pièces	24
II.2.1 Cahier des charges	24
II.2.2 Conception 3D des pièces moulées.....	25
II.3 Conception des moules.....	26

II.3.1	Analyse des dépouilles est contre dépouille	26
II.3.1.1	Analyse des dépouilles	26
II.3.1.2	Analyse de contre dépouille.....	29
II.3.2	Choix du plan de joint	29
II.3.2.1	Ligne de joint	29
II.3.2.2	Surface d'arrêt.....	30
II.3.2.3	Plan de joint	30
II.3.2.4	Conception noyau/empreinte	31
II.3.2.5	Noyaux	32
Chapitre III : Simulation numérique et optimisation du Processus de remplissage de moule avec le logiciel ProCAST.....		33
III.1	Introduction	34
III.2	Principales fonctionnalités de ProCAST	34
III.2.1	Modélisation géométrique	34
III.2.1.1	Importation et intégration des modèles	34
III.2.2	Création et édition de la géométrie	35
III.2.3	Paramétrage des conditions de simulation.....	36
III.2.4	Meshing et discréétisation	37
III.2.5	Visualisation et vérification	39
III.2.6	Importation/exportation	39
III.2.7	Simulation Thermique et Fluide sur ProCAST.....	40
III.2.8	Simulation Thermique	40
III.2.8.1	Transfert de Chaleur	40
III.2.8.2	Solidification	40
III.2.8.3	Chocs Thermiques	40
III.2.9	Simulation des Fluides	40
III.2.9.1	Écoulement du Métal.....	40
III.2.9.2	Interactions avec le Moule.....	40
III.2.9.3	Défauts d'Écoulement	41
III.2.10	Intégration des Données	41
III.2.10.1	Couplage Thermique et Fluide.....	41
III.2.10.2	Validation.....	41

III.2.11 Optimisation des Processus avec ProCAST	41
III.2.11.1 Outils d'Optimisation dans ProCAST.....	41
III.2.11.2 Avantages.....	41
III.2.11.3 Défis et Limites	42
III.3 Applications pratiques de ProCAST.....	42
III.3.1 Études de cas.....	42
III.3.2 Avantages pour l'industrie.....	43
III.3.2.1 Réduction des Cycles de Développement.....	43
III.3.2.2 Amélioration de la Qualité des Produits.....	44
III.3.3 Avantages de ProCAST	44
III.3.4 Limites de ProCAST	44

Liste des figures

Fig. I-1 : Exemple du secteur automobile	4
Fig. I-2 : Petite et grande pièces	5
Fig. I-3 : Exemple de coquille en deux parties et un noyau	6
Fig. I-4 : Epaisseurs uniformes et non uniformes	8
16Fig. I-5 : Changement de section progressive.....	8
Fig. I-6 : Accumulation de matière et solution.....	8
Fig. I-7 : Accumulation de matière et solution.....	9
Fig. I-8 : Eviter les contre dépouilles	9
Fig. I-9 : Eviter les croisements	10
Fig. I-10 : Eviter les croisements.....	10
Fig. I-11 : Placer les difficultés vers l'extérieur de la pièce	11
Fig. I-12 : Illustrations de coulées en chute.....	12
Fig. I-13 : La coulée en source à tous les points bas.....	13
Fig. I-14 : Réduction progressive de la section des canaux	13
Fig. I-15 : Ensemble d'opérations de moulage en sable	14
Fig. I-16 : Parties essentiel d'un moule en sable	15
Fig. I-17 : Matériel nécessaire pour le moulage en sable.....	16
Fig. I-18: Fraiseuses CNC 3 axe.....	18
Fig. I-19: Fraiseuses CNC 5 axe.....	19
Fig. I-20: tour CNC.....	19
Fig. I-21: Perceuses CNC.....	20
Fig. I-22 : Rectifieuses CNC	20
Fig. I-23 : Découpeuses laser CNC.....	21
Fig. I-24 : moule usigner par une machine CNC.....	22
Fig. II-1 : Conception pièce 01	25
Fig. II-2 : Conception pièce 02.....	25
Fig. II-3 : Assemblage et rendu final	26
Fig. II-4: Analyse des dépouilles	27
Fig. II-5 : Analyse de la dépouille pièce 01.....	27

Fig. II-6 : Analyse de la dépouille pièce 02.....	28
Fig. II-7 : Pièce 01 et pièce 02 après dépouille	29
Fig. II-8 : Ligne de joint des pièces	30
Fig. II-9 : Surfaces d'arrêt de la pièce 02.....	30
Fig. II-10 : Plan de joint pièce 01....	31
Fig. II-11 : Insertion noyau/empreinte des pièces 01 et 02.....	31
Fig. II-12 : Moule pièce 01 avec noyau.....	32
Fig. II-13 : Moule pièce 02 avec deux noyaux.....	32
Fig. III-1 : Formats de fichiers compatibles.....	35
Fig. III-2 : créer la géométrie de la pièce	36
Fig. III-3 : Paramétrage des conditions de simulation	36
Fig. III-4 : Génération du maillage.....	37
Fig. III-5 : Qualité du maillage.....	38
Fig. III-6 : Visualisation et vérification de la pièce.....	39
Fig. III-7 : Études de cas pièce 1....	42
Fig. III-8 : Études de cas pièce 2....	43

Introduction Générale

Le développement de la technologie est terriblement rapide dans plusieurs domaines y compris l'industrie du moulage, pour réduire le temps, le coût et possibilité de changer le cas échéant en utilisant le logiciel SolidWorks pour concevoir les moules avec les spécifications requises. L'objectif du mémoire est de concevoir un ustensile (presse ail) qui répond aux critères des usagers et la conception de son moule à l'aide du logiciel de CAO SolidWorks. Cet outil nous permet de développer des moules plus précis et aussi de visualiser notre produit avant de lancer la fabrication, ce qui améliorent la rentabilité, et avec l'avancement de la technologie dans le monde de l'industrie, la réalisation des études se fait sur logicielles CAO et la fabrication de pièces de haute précision se fait sur les machines à commandes numériques. Tels que les moules et leur fabrication avec le moulage en sable passant par la conception avec CAO ou avec des machine CNC. L'association de ces derniers nous permet d'avoir des pièces avec une précision très élevée pour un cout moindre. Notre objectif est d'analyser et de choisir la meilleure option pour notre modèle ou notre presse-ail afin de garantir son aspect pratique. Ensuite, nous passerons à la conception de la pièce sur le logiciel SolidWorks, suivie de la fabrication du moule. Enfin, pour obtenir un résultat optimal, nous réaliserons une simulation numérique du processus de remplissage du moule à l'aide du logiciel ProCAST.

Structure du manuscrit

Le présent manuscrit s'articule de la manière suivante :

- Dans le premier chapitre nous abordons les généralités de la fonderie et ces domaines d'application, le principe du moulage en coquille par gravité et du moulage en sable, ainsi que la théorie qui les entoure. Ensuite, on abordera quelques définitions à propos de la fabrication additive et les domaines d'utilisation de l'impression 3D.
- Le second chapitre est consacré à l'étude de conception des différentes pièces composants l'assemblage à mouler et de leurs moules.
- Le dernier chapitre englobe le logiciel de simulation ProCAST et ces différentes caractéristiques

I. Chapitre I : Généralités sur la fonderie et la fabrication sur machine

I.1 Introduction

Ce chapitre traite des principes généraux et des notions fondamentales associés aux procédés de fabrication des pièces. Une attention particulière sera portée aux technologies de la fonderie, au procédé de moulage en sable, ainsi qu'aux méthodes de fabrication mécanisée.

I.1.1 La fonderie

La fonderie est une méthode de formage des métaux qui implique de couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour reproduire une pièce dans ses formes intérieures et extérieures, en réduisant les travaux de finition après refroidissement. Les techniques sont utilisées dans différents domaines (aéronautique, automobile, robinetterie, appareils ménagers, ...) et sont influencées par le matériau, les dimensions et les caractéristiques géométriques de la pièce à obtenir, ainsi que par les quantités à production. [1]



Fig. I-1 : Exemple du secteur automobile.

I.1.1.1 Quelques notions de base

Le principe de la fonderie est de couler un alliage dans un moule. La température de coulée dépend du type d'alliage utilisé ; à titre d'exemple, les alliages de zinc sont chauffés à 400°C, les alliages d'aluminium à 700°C, les alliages cuivreux à 1250°C et les alliages ferreux à 1550°C.

Le refroidissement génère la solidification et l'obtention de la pièce brute ou finie. Dans un procédé de fonderie, trois classes de problèmes se posent :

- Fabriquer le moule.
- Couler la pièce.
- Extraire la pièce.

Un procédé de fonderie correspond à la résolution de ces trois problèmes. [2]

I.1.1.2 Domaines d'applications

Les pièces creuses, les pièces complexes avec des cavités peuvent être fabriquées dans la fonderie. Grâce à la précision des côtes, il est possible d'éliminer les reprises de finition, ce qui permet de diminuer les coûts d'usinage et de matières.

Ce procédé permet aussi de fabriquer des pièces avec des matériaux difficiles à usiner, qui ne sont pas adaptés au laminage, au forgeage ou au matriçage, tels que des pièces contenant une grande quantité de silicium ou de fonte.

De l'unité à la grande série, les pièces obtenues varient de quelques grammes à plusieurs centaines de tonnes, et sont destinées à de nombreux domaines :

- Équipements ménagers.
- Matériel de travaux publics, équipements de travail.
- La sécurité, la quincaillerie, les robinets, les raccords, les pompes.
- Constructions mécaniques divers.
- Véhicules, vélos, motos, équipements agricoles.
- Chemin de fer, la construction navale, l'aérospatiale, la construction électrique.



Fig. I-2 : Petite et grande pièces.

I.1.2 Le moulage en coquille par gravité

I.1.2.1 Définition

Le moulage en coquille est une technique de fabrication d'une pièce constituée d'un moule métallique composé de plusieurs parties, dans lequel un alliage en fusion est coulé. Les formes internes de la coquille sont celles de la pièce, éventuellement enrichies de noyaux et de broches. La coquille est remplie uniquement par le poids de l'alliage, soit par gravité ou coulée directe, soit en source, de bas en haut, au principe des vases communicants.

Le moulage en coquille par gravité présente de nombreux bénéfices, tels qu'une production rapide et stable dans le temps, la possibilité de produire de grandes séries à des cadences élevées, et la mise en forme de pièces aux formes complexes, au plus près de la pièce finale. Le moulage en coquille, en suivant des règles de tracé, offre une précision et une stabilité dans les dimensions des pièces, simplifie et réduit l'usinage, et permet la création de pièces aux formes internes complexes. [3]

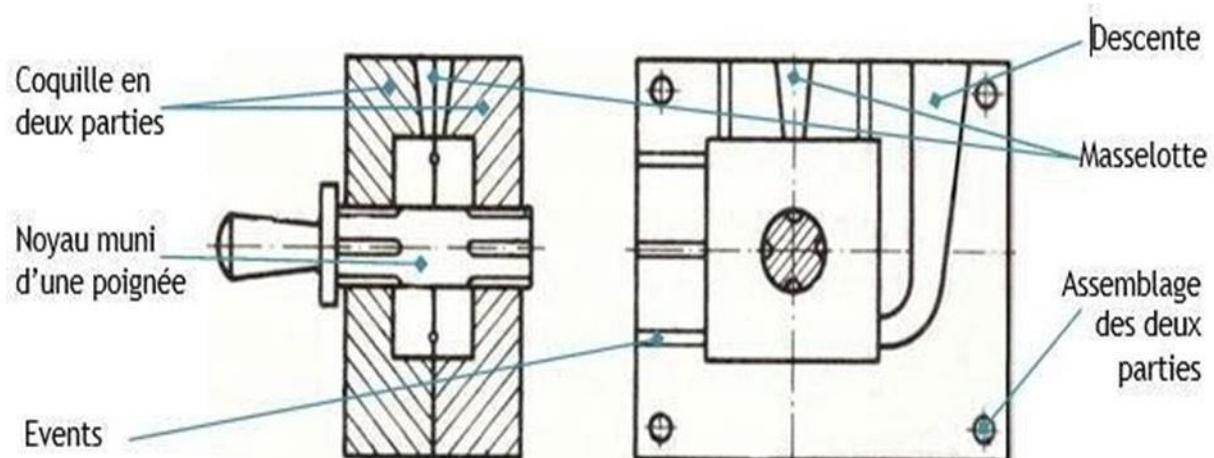


Fig. I-3 : Exemple de coquille en deux parties et un noyau.

I.1.2.2 Origines des règles de tracé

Toutes les règles qui sont présentées ont toujours pour objectif triple : Laisser l'empreinte être complètement recouverte.

- Vérifier la conformité géométrique de la pièce après démoulage.
- Vérifier la santé du matériau et éviter tout défaut.

I.1.2.3 Règles de conception d'une pièce moulée pour assurer sa géométrie finale :

Lors de la conception du brut de fonderie, un certain nombre d'éléments sont à prendre en compte afin de s'assurer l'obtention d'une pièce aux côtes :

- Le bon remplissage de l'empreinte.
- La dilatation thermique du matériau.
- Les déformations possibles après ouverture du moule

I.1.2.3.1 Dilatation thermique

Étant donné que le métal est résistant à des températures élevées, il est essentiel de prendre en considération la dilatation thermique de la pièce lors de la conception du matériau brut, sous peine d'avoir des écarts géométriques. Il est donc nécessaire d'augmenter toutes les dimensions du matériau brut en fonction du matériau et de la température de coulée :

- 3 à 6 % pour les fontes
- 5 à 7 % pour les aciers
- 4 à 7 % pour les alliages légers
- 5 à 6 % pour les bronzes

I.1.2.3.2 Déformations :

Les déformations de la pièce peuvent être causées par la solidification différentielle entre les parties de la pièce et la dilatation après l'ouverture du moule. Il est donc essentiel de se conformer à certains tracés. [4]

Maintenir des épaisseurs homogènes : exemple (Fig. I-4).



Fig. I-4 : Épaisseurs uniformes et non uniformes.

Dans le cas où la destination de la pièce nécessite des variations d'épaisseur, il est nécessaire de prévoir des modifications de sections graduées : exemple (Fig. I-5).

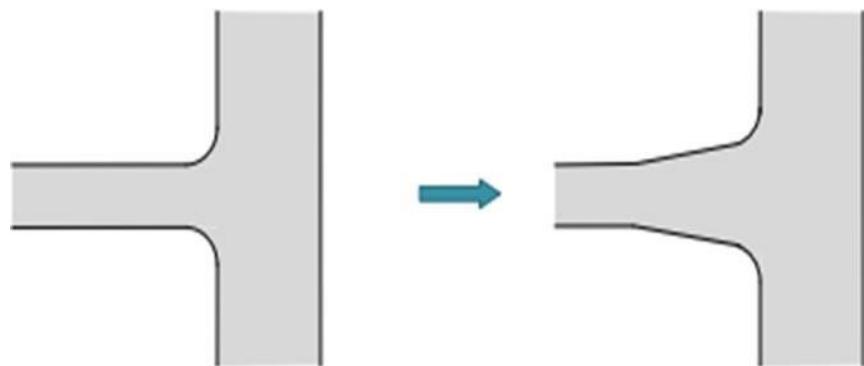


Fig. I-5 : Changement de section progressive.

Éviter les accumulations de matière : exemple (Fig. I-6).



Fig. I-6 : Accumulation de matière et solution.

I.1.2.4 Principes de conception pour assurer le démoulage d'une pièce moulée :

Il est nécessaire de disposer d'un plan de joint et d'une cinématique d'ouverture du moule par rapport à ce dernier pour la technologie du moulage par coquille. Pour que la pièce puisse être démoulée, il est essentiel d'ajouter des dépouilles à toutes les surfaces perpendiculaires au plan de joint, c'est-à-dire d'ajouter de la matière pour une distance minimale de 3 % entre la surface et la normale au plan de joint.



Fig. I-7 : Accumulation de matière et solution.

Effectivement, toutes ces surfaces ne sont pas seulement responsables des frottements entre le moule et la pièce, mais elles peuvent également être soumises à des efforts liés à la dilatation (par exemple, la matière se contracte autour d'une excroissance de la coquille).

De la même manière, il est primordial de minimiser les contre-dépouilles. Cela signifie que le plan de joint est en angle négatif (entrant). Effectivement, cela entrave le processus d'ouverture du moule et nécessite l'ajout de noyaux ou de tiroirs, ce qui entraîne une augmentation du coût de fabrication de la pièce. [5]



Fig. I-8 : Éviter les contre-dépouilles.

I.1.2.5 Principes de fabrication d'une pièce moulée afin de simplifier le remplissage et prolonger sa durée de vie.

L'état de santé de la pièce (oxydation, bulles, micro-retassures) est fortement influencé par le déplacement de la matière lors du remplissage de l'empreinte et son refroidissement une fois remplie.

Pour prévenir les micro-retassures, il est préférable de rendre le temps de solidification homogène sur toute la pièce. De cette manière, nous nous efforçons de minimiser les croisements ou autres bossages.[6]



Fig. I-9 : Éviter les croisements.

Il est recommandé d'éviter au maximum les angles vifs afin de prévenir les bulles d'air et les inclusions d'oxydes dans la pièce. Cela permet de garantir un écoulement laminaire dans l'empreinte. Ces angles auront tendance à altérer la santé de la pièce en provoquant des criques lors du refroidissement, en plus de créer un écoulement turbulent. Fig. I-10



Fig. I-10 : Éviter les croisements.

I.1.2.6 Principes de conception d'une pièce moulée afin de diminuer les dépenses et simplifier la réalisation.

Les difficultés (écart de géométries, formes complexes) sont très intéressantes lorsqu'on réalise une pièce par moulage en coquille (Fig. I-11). Il faudra procéder à l'usinage de la coquille plutôt qu'à l'assemblage du noyau, car les noyaux sont soumis à des contraintes lors du refroidissement du matériel. De manière logique, la durée de vie de l'outillage augmente lorsque les contraintes subies diminuent. [7]

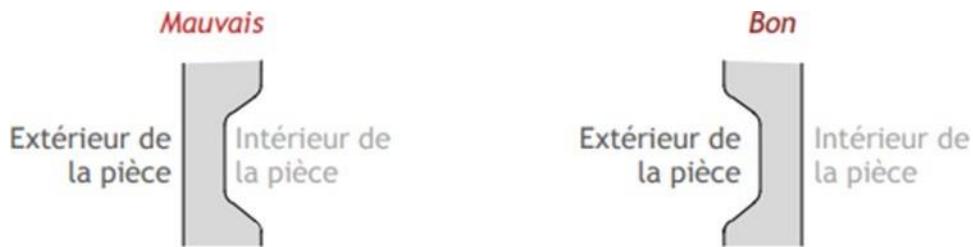


Fig. I-11 : Placer les difficultés vers l'extérieur de la pièce

Comme mentionné ci-dessus, le premier élément à identifier est le(s) plan(s) de joint de l'os. Il n'est pas forcément unique dans le même plan, mais sa simplification aura des conséquences très bénéfiques sur les dépenses, la gestion et la productivité de la production.

Le plan de joint est normalement choisi comme :

- S'il y a un plan de symétrie de la pièce.
- Il convient de prendre en compte les dimensions les plus importantes de la pièce afin de diminuer la profondeur et donc la taille des coquilles.
- Il est préférable de choisir un plan brisé au lieu de plusieurs plans ou d'ajouter des noyaux (lorsque cela est envisageable)

I.1.2.7 Règles de conception de l'outillage pour le placement du système de remplissage

Le rôle du système de remplissage consiste à apporter la matière jusqu'aux empreintes afin de les remplir. Il se compose généralement d'un trou de coulée et d'une succession de canaux.

Tout d'abord, les diverses stratégies de remplissage, la taille des canaux et les attaques sont examinées, puis les différents éléments pour améliorer la coulée sont discutés. [8]

I.1.2.7.1 Stratégies de remplissage

Il y a deux méthodes principales de remplissage : en chute ou en source. L'avantage de la coulée en chute (Fig. I-12) est de diminuer la mise au mille (volume hors pièce) tout en générant de fortes turbulences.

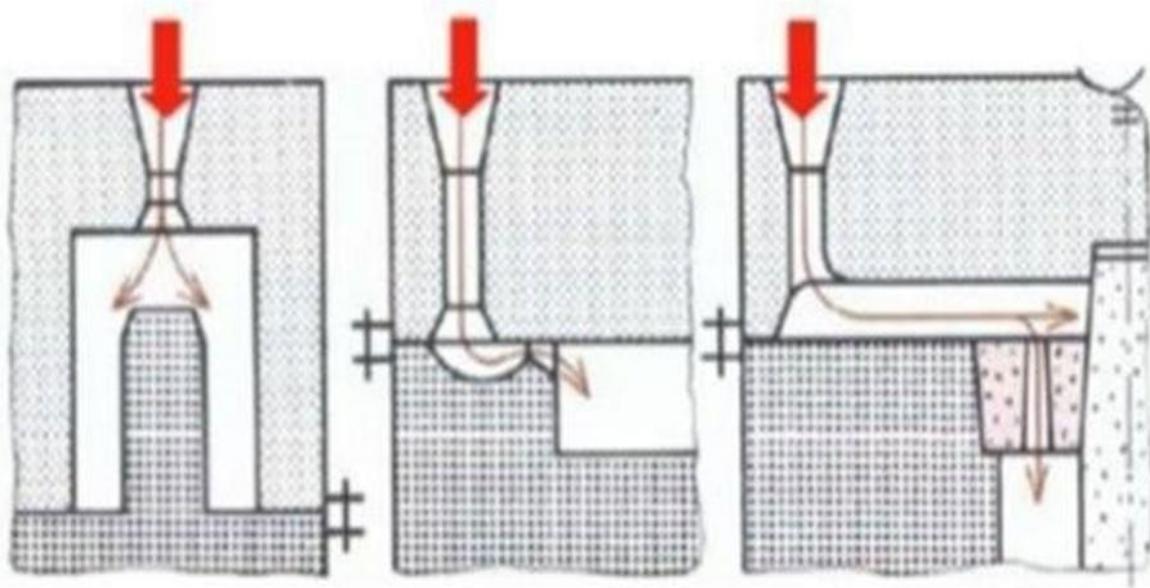


Fig. I-12 : Illustrations de coulées en chute.

L'utilisation de la coulée en source (Fig. I-13) favorise un approvisionnement doux, mais accroît la quantité de canaux nécessaires. Pour éviter les chutes dans l'empreinte, il est néanmoins important de vérifier la source à tous les points bas. C'est la méthode la plus fréquemment utilisée.

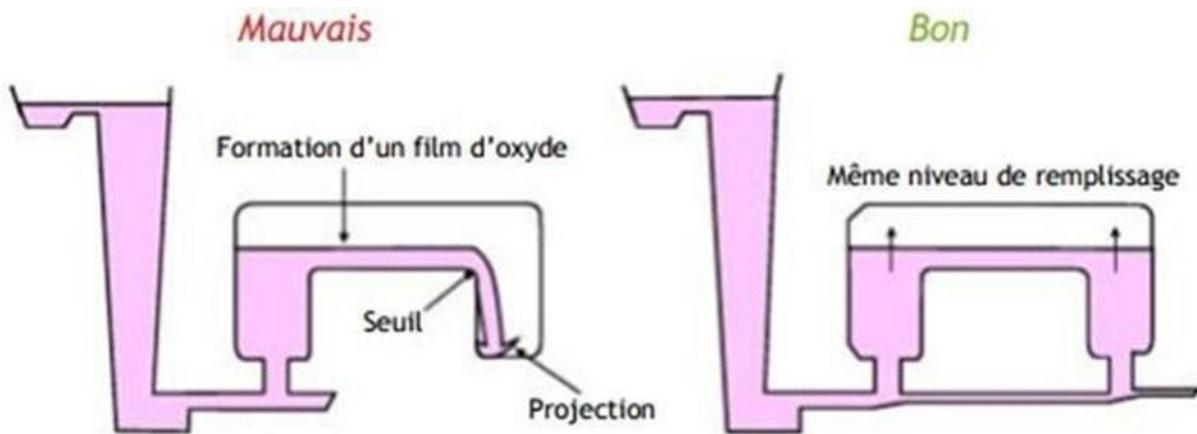


Fig. I-13 : La coulée en source à tous les points bas.

I.1.2.7.2 Dimensionnement des canaux

Pour minimiser la présence d'air dans l'empreinte, les canaux ont généralement une configuration convergente, c'est-à-dire que la section cumulée diminue au fur et à mesure de l'avancement vers les empreintes (Fig. I-14). Dans la plupart des cas, la surface des canaux est la moitié de la surface de la chute.

Quand la vitesse du fluide est trop élevée, une structure divergente peut être utilisée, mais il y a alors un risque de décollement de la veine fluide. [9]



Fig. I-14 : Réduction progressive de la section des canaux

Le calcul de la surface de descente, c'est-à-dire la surface horizontale du trou de coulée, est le point de dimensionnement de tous les canaux. Pour effectuer le calcul, il est nécessaire d'abord d'évaluer le temps de remplissage T_r . D'une part, il est restreint par le risque de malchance s'il est trop élevé, ou par le risque de turbulence s'il est trop faible.

I.1.3 Le moulage en sable

I.1.3.1 Généralité

Le moulage en sable est une technique de coulage du métal en fusion dans l'empreinte du moule en sable, selon un modèle qui correspond à la forme de la pièce à fabriquer. Le moulage en

sable est la méthode la plus ancienne et est adaptée à pratiquement tous les métaux et alliages utilisés pour le moulage. Il convient parfaitement aux séries de production de petite taille et en particulier aux pièces de grande taille. La structure d'un moule simple est composée de deux parties : la partie supérieure et la partie inférieure. Les différentes parties essentielles d'un moule en sable sont illustrées dans la Fig. I-16. Les canaux sont traversés par le métal en fusion qui est coulé à travers le trou du système de coulée jusqu'à ce qu'il remplisse l'empreinte. Une fois que la pièce a refroidi et se solidifié, elle est sortie. [10]

Le schéma ci-dessous présente toutes les opérations de moulage en sable :

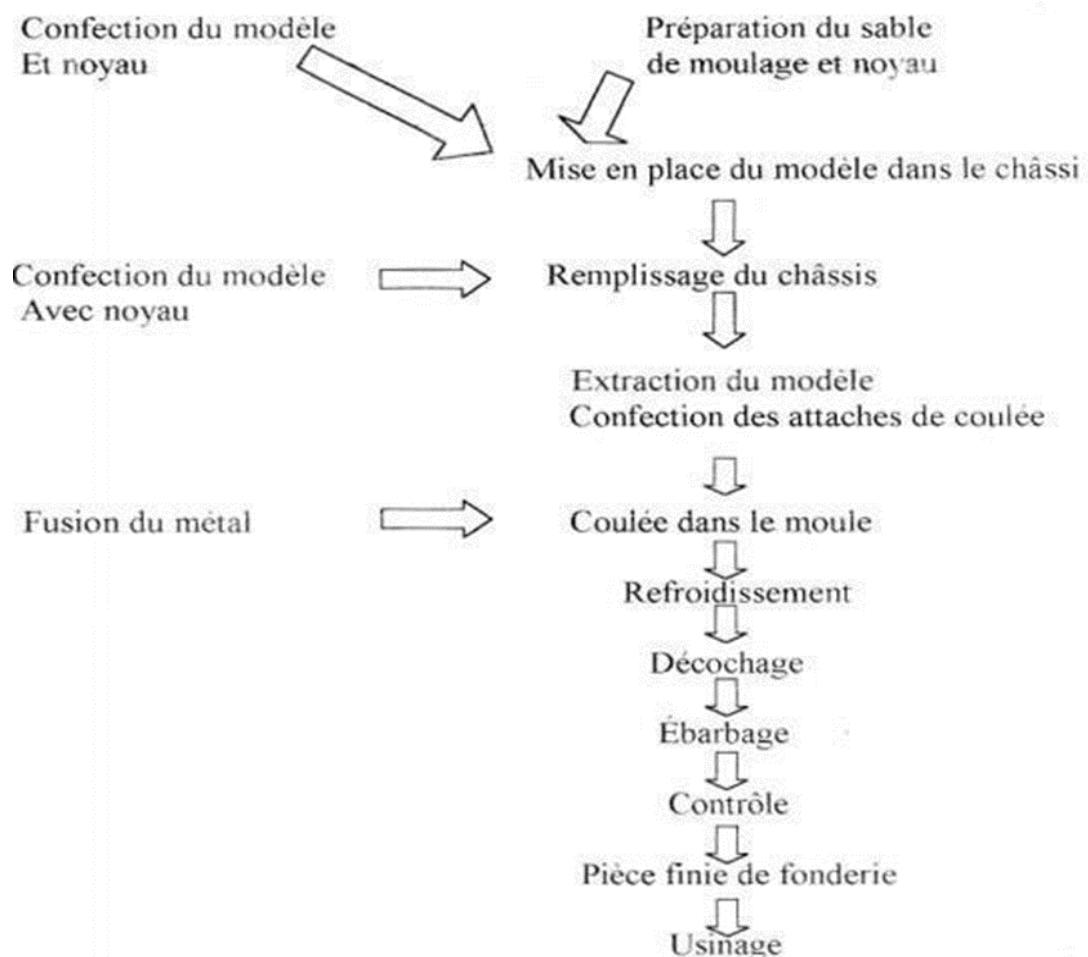


Fig. I-15 : Ensemble d'opérations de moulage en sable.

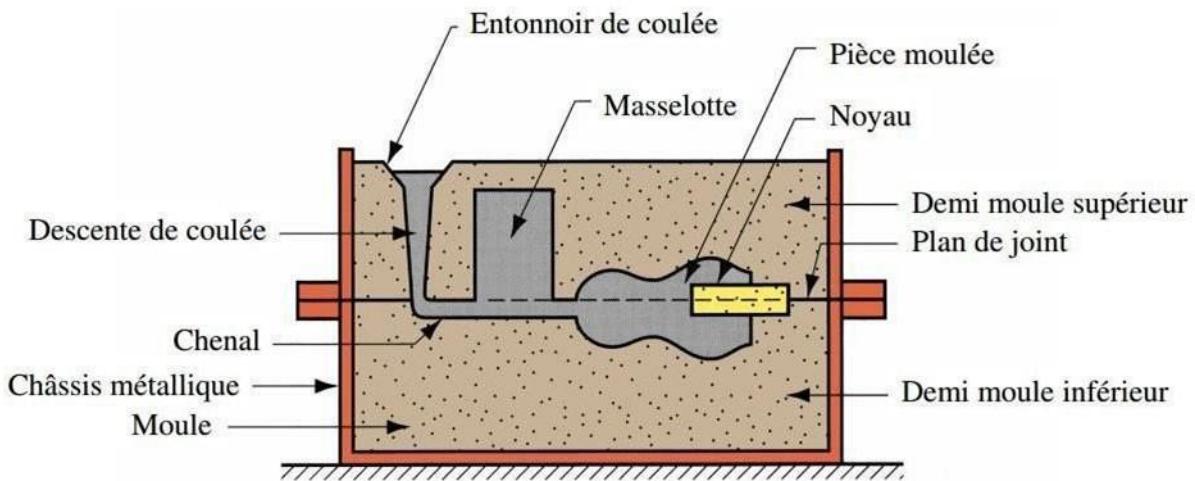


Fig. I-16 : Parties essentiel d'un moule en sable

I.1.3.2 Moulage en sable manuel

On utilise principalement le moulage en sable manuel pour la production de pièces unitaires et de grandes dimensions, qui ne peuvent pas être fabriquées à l'aide de machines de moulage.

- Modèle et noyau.
- Châssis.
- Sable de moulage.
- Métal liquide.
- Aiguille (pour la confection de trous d'air).
- Truelle (pour rendre lisse la face de joint du moule).
- Pilette et fouloir (pour le compactage du sable).
- Spatule (pour rendre lisse les différentes surfaces du moule après démolage).
- Mandrin de coulée (pour la confection du trou de coulée).
- Marbre (sur lequel s'effectue la préparation du moule).

Le matériel requis pour le moulage en sable manuel est illustré dans la Figure I-17 :

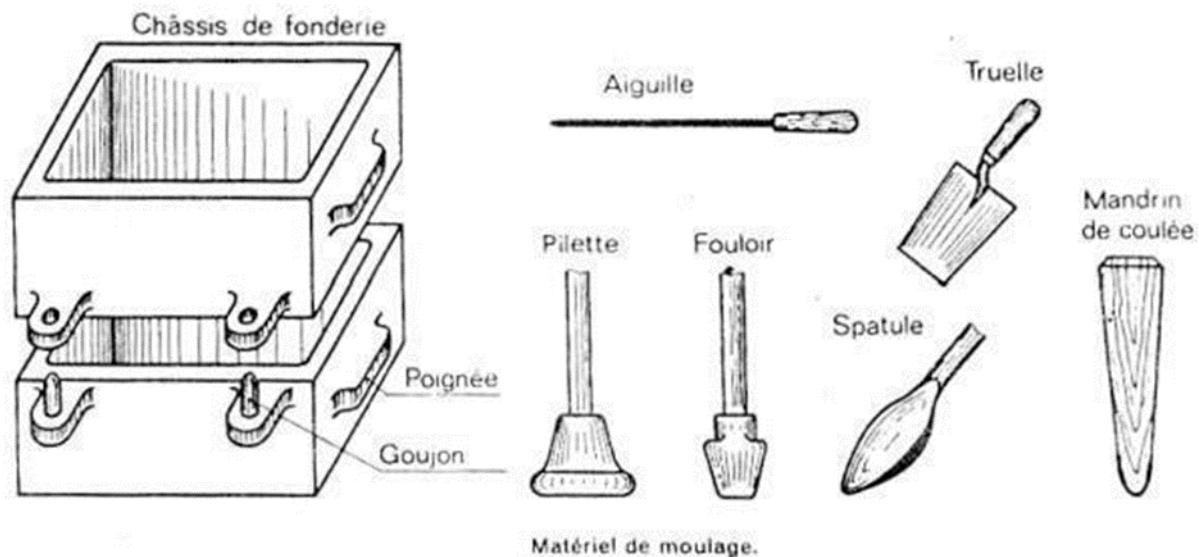


Fig. I-17 : Matériel nécessaire pour le moulage en sable.

I.1.3.3 Le modèle

Le moulage en sable à la main nécessite la création d'un modèle, qui représente la pièce à fabriquer, mais dont les dimensions sont prises en compte :

- Du retrait : Peu importe le métal, on observe une réduction du volume de la pièce, connue sous le nom de retrait, lors du passage de l'état liquide à l'état solide ou lors du refroidissement. Cette contraction ou variation de volume (donc de dimensions) contraint le modeleur à prévoir des dimensions supérieures à celles de la pièce sur le modèle.
- Des surépaisseurs d'usinages : Si cela se produit. Dans cette situation, il est nécessaire que la pièce brute présente des surépaisseurs qui seront retirées lors de l'opération d'usinage. Il est donc nécessaire d'augmenter les dimensions du modèle de 2 à 3 mm En général, la taille de la surépaisseur d'usinage est sélectionnée en fonction d'un tableau spécifique. Elle dépend essentiellement de la nature du métal à couler, des dimensions de la pièce et de la position de ses surfaces pendant la coulée.
- Une dépouille : Le modèle doit être conçu de manière à permettre l'extraction du sable sans causer de détérioration du moule. À cet effet, les parois du modèle sont inclinées dans la position du moulage et dans le sens du démoulage (cette inclinaison est appelée dépouille).

On appelle contre dépouille les surfaces et formes qui empêchent le démoulage et l'extraction.

- Des congés : Les contours arrondis de rayon variables évitent les tensions internes et facilitent le démoulage.
- Des portées de noyau : Parties positives ajoutées aux modèles avec noyau afin de les maintenir, les soutenir et les positionner.

I.1.3.4 Sable utilisé

Le sable de fonderie est transformé en une pâte malléable constituée de grains très fins de silice humidifiés. Il répond aux impératifs suivants :

- La surface doit être aussi fine que possible,
- Reproduire fidèlement la pièce modèle
- Résister à une température de coulée élevée du métal (présenter une
- Température de ramollissement supérieure à la température de fusion de l'alliage).
- Résister à l'érosion du métal liquide,
- Ne pas s'opposer au passage des gaz produits lors de la coulée,
- Faire des économies de matériaux en recyclant les sables après avoir régénéré et contrôlé leurs caractéristiques.

I.1.4 La fabrication sur machines (commande numériques)

I.1.4.1 Les machines commandent numériques

Les machines-commandes numériques (CNC) sont des outils utilisés pour fabriquer des pièces avec une grande précision. Elles sont contrôlées par des ordinateurs qui suivent des instructions précises pour découper, percer ou façonner des matériaux comme le métal ou le plastique. [11]

Ces machines permettent de produire des pièces très détaillées et complexes, souvent plus rapidement et avec moins d'erreurs que si c'était fait à la main. Elles sont utilisées dans de nombreux domaines, de l'automobile à l'électronique, pour créer des produits de haute qualité.

I.1.4.2 Les types des (CNC)

Il y plusieurs types de ces machines :

- **Fraiseuses CNC** : Utilisées pour usiner des pièces en coupant des matériaux à l'aide de fraises rotatives. Elles peuvent réaliser des formes complexes et sont souvent utilisées pour des pièces de précision dans des matériaux comme le métal, le plastique ou le bois.



Fig. I-18 : Fraiseuses CNC 3 axe.



Fig. I-19 : Fraiseuses CNC 5 axe.

- **Tours CNC** : Utilisés pour usiner des pièces cylindriques en tournant le matériau contre une lame coupante. Les tours CNC sont idéaux pour créer des pièces comme des arbres, des axes ou des bagues.



Fig. I-20 : Tour CNC

- **Perceuses CNC** : Spécialisées dans le perçage de trous dans des matériaux. Elles sont souvent utilisées pour des applications où une grande précision et une répétabilité sont nécessaires.



Fig. I-21 : Perceuses CNC

- **Rectifieuses CNC :** Utilisées pour réaliser des finitions de surface très lisses sur des pièces métalliques. Elles sont idéales pour des applications nécessitant une précision de surface extrême.



Fig. I-22 : Rectifieuses CNC

- **Découpeuses laser CNC** : Utilisent un faisceau laser pour découper ou graver des matériaux tels que le métal, le plastique ou le bois. Elles sont particulièrement précises et permettent de réaliser des découpes complexes et détaillées.



Fig. I-23 : Découpeuses laser CNC

I.1.4.3 Les processus utilisés pour fabriquer des moules à partir de ces machines (CNC)

I.1.4.3.1 Conception du Moule :

- **Modélisation 3D** : Créez un modèle numérique du moule en utilisant un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Ce modèle représente la forme finale du moule, y compris toutes les cavités et les détails nécessaires.

I.1.4.3.2 Préparation du Fichier :

- **Conversion** : Convertissez le modèle 3D en un fichier de programme compatible avec la machine CNC, généralement un fichier de type G-code ou un autre format spécifique. Cela se fait généralement en utilisant un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO).

I.1.4.3.3 Sélection du Matériaux :

- **Choix du Matériaux** : Choisissez le matériau approprié pour le moule, tel que l'acier, l'aluminium, ou un matériau composite, en fonction des exigences de durabilité et des propriétés du moule.

I.1.4.3.4 Préparation de la Machine :

- **Installation** : Fixez le matériau brut sur la table de la machine CNC. Assurez-vous qu'il est bien positionné et sécurisé.
- **Configuration** : Chargez le programme de fabrication dans la machine CNC et configuez les paramètres tels que les vitesses de coupe et les profondeurs de passe.

I.1.4.3.5 Usinage :

- **Fraisage ou Découpe** : Utilisez une fraiseuse CNC ou une autre machine appropriée pour usiner le moule à partir du matériau brut. Pour les formes complexes, cela peut inclure plusieurs opérations, comme le fraisage de cavités et la découpe de contours.
- **Contrôle** : Surveillez le processus d'usinage pour vous assurer que tout se déroule correctement et que les tolérances sont respectées.



Fig. I-24 : moule usiner par une machine CNC.

Chapitre II :

II. Étude et conception du moule pour le modèle Presse ail.

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous abordons la modélisation d'un produit spécifique : un presse-ail composé de deux pièces distinctes, ainsi que la conception de son moule. Ce choix de produit découle d'une lacune sur le marché national, où aucun produit similaire n'est actuellement fabriqué localement. Les presse-ail disponibles dans les commerces sont principalement importés et sont souvent de qualité moyenne, se cassant facilement. [12]

En nous inspirant de divers modèles existants disponibles dans le commerce, nous proposons un produit doté d'un design moderne.

II.2 Conception des pièces

Pour gagner du temps et améliorer la rentabilité, la conception a été réalisée à l'aide du logiciel de CAO SOLIDWORKS. Cette décision a été prise pour faciliter le dessin et la définition de la géométrie des moules. Ça large gamme d'outils de conception de moules automatisés de SOLIDWORKS, ainsi que son outil de simulation, permettent la visualisation 3D des différentes parties du moule et évaluent leur comportement face aux charges réelles.

II.2.1 Cahier des charges

➤ Contexte et définition du problème

Il est assez facile d'importer ce produit, mais il faut payer la taxe d'importation et le transport, car il est fragile et peut se casser, ce qui entraîne un prix de vente supérieur à la qualité proposée.

➤ Objectif du projet

Proposer un produit de haute qualité en matière de durabilité de design, tout en favorisant la relocalisation de la production au niveau local.

➤ Description fonctionnelle des besoins

- Utilisation simple et fluide du moule.
- Résistance à une force appliquée (5 à 7 kg).

II.2.2 Conception 3D des pièces moulées

Après avoir examiné le marché des différents modèles disponibles, que ce soit en termes de design, de matériaux utilisés, de dimensions et de prix de vente, l'inspiration a été trouvée pour choisir un design avec des manches courbés qui épouse la forme de la poignée, ce qui facilite grandement la prise en main. Cette décision a été prise pour assurer non seulement un confort à l'usage quotidien, mais aussi pour résister à l'effort subi par les multiples utilisations. Ensuite, nous avons réalisé le dessin des différentes pièces qui composent l'assemblage. [13]

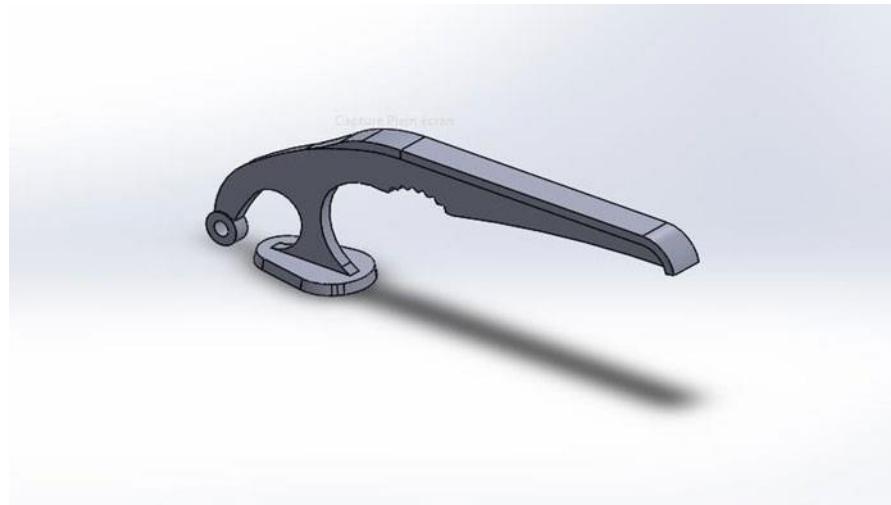


Fig. II-1 : Conception pièce haut.

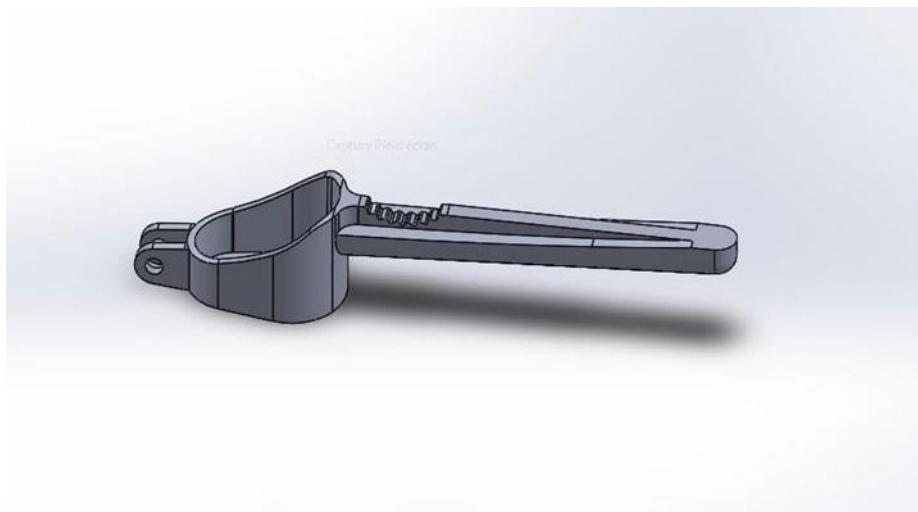


Fig. II-2 : Conception pièce bas.

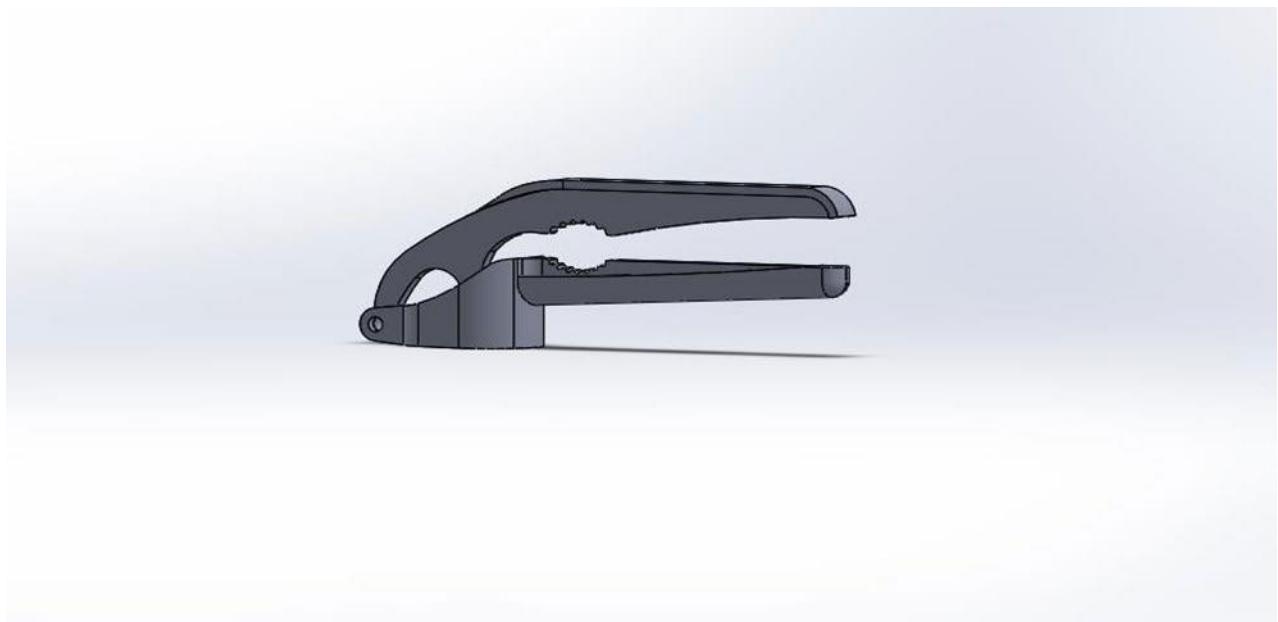


Fig. II-3 : Assemblage et rendu final.

II.3 Conception des moules

II.3.1 Analyse des dépouilles est contre dépouille

La première étape dans la conception du moule est l'analyse des dépouilles est des contre dépouilles. Pour ce faire, le logiciel SOLIDWORKS met à disposition les outils nécessaires dans l'ongle outils de moulage, ou il permet de prendre d'une manière automatique l'ongle de dépouilles.

II.3.1.1 Analyse des dépouilles

La mise en place d'une dépouille (angle) est essentielle pour améliorer la mouillabilité d'une pièce à mouler. Les modèles doivent avoir des formes qui permettent leur extrait sans causer de dommages aux moules. Dans cette optique, on applique des variations aux parois des modèles en fonction du sens d'ouverture des moules. [14]

L'outil appelé "analyse de la dépouille" permet d'identifier et de visualiser les zones où la dépouille est insuffisante sur les pièces moulées en utilisant l'analyse et les réglages des couleurs. Après avoir sélectionné la direction d'ouverture du moule et un angle d'inclinaison.

L'outil affiche les trois différentes dépouilles grâce à un jeu de couleurs :

- **Dépouille positive (vert)** : Affiche les faces pour lesquelles l'angle de la face par rapport à la direction de l'ouverture est supérieur à l'angle de référence.
- **Dépouille requise (jaune)** : Affiche les faces pour lesquelles l'angle de la face est inférieur à l'angle de référence positif ou supérieur à l'angle de référence négatif
- **Dépouille négative (rouge)** : Affiche les faces pour lesquelles l'angle de face par rapport à la direction de l'ouverture est inférieur à l'angle de référence négatif.

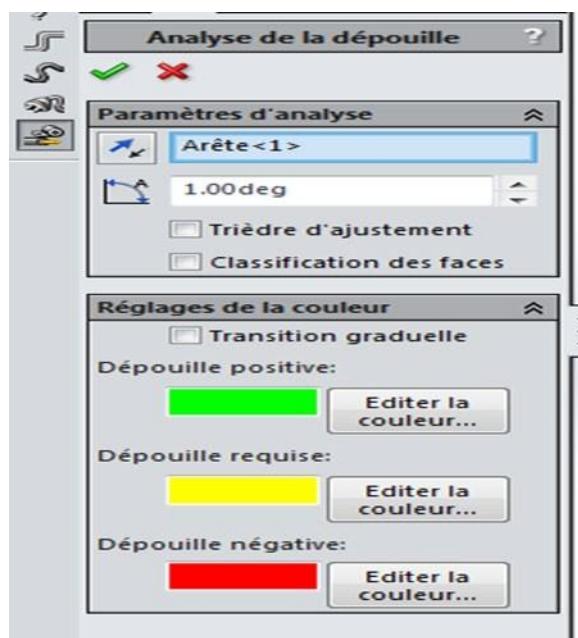


Fig. II-4 : Analyse des dépouilles.

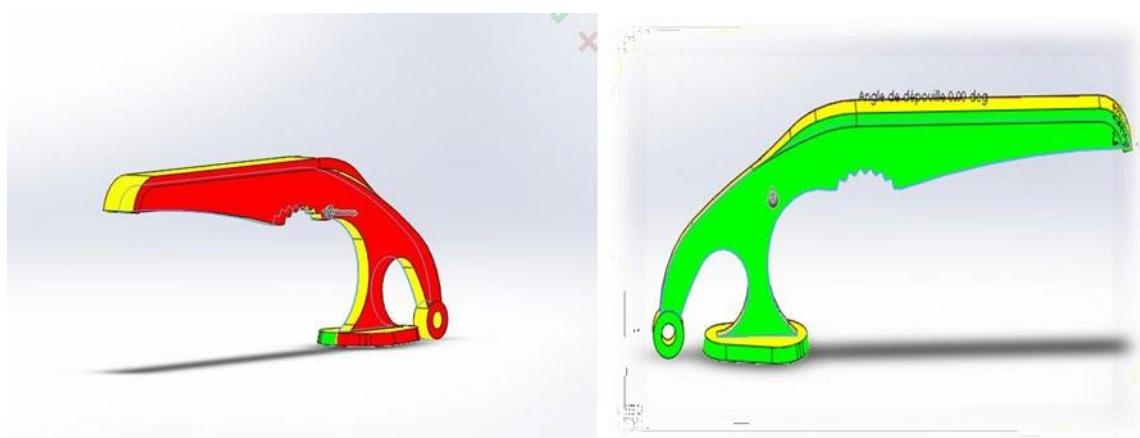


Fig. II-5 : Analyse de la dépouille pièce haut.

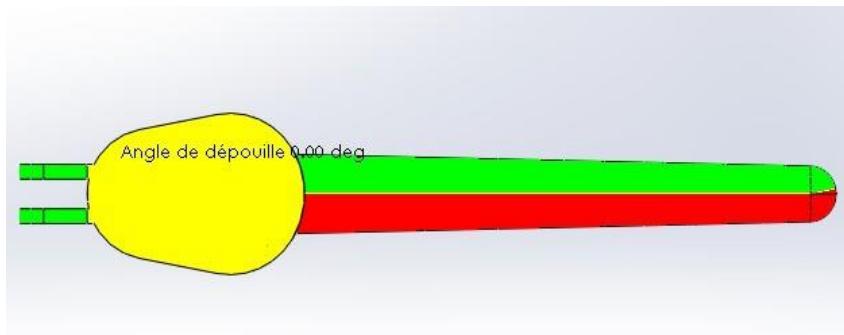
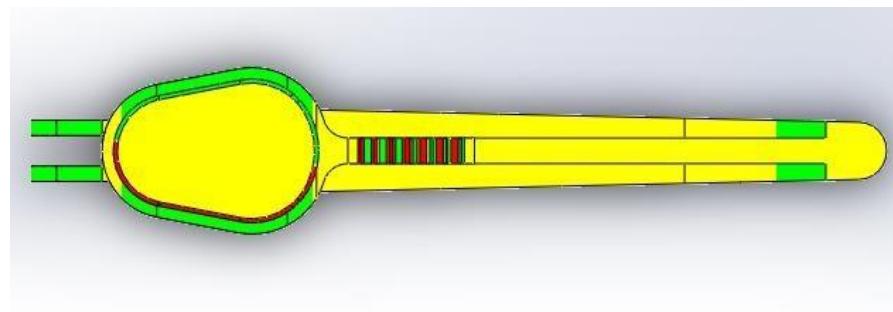
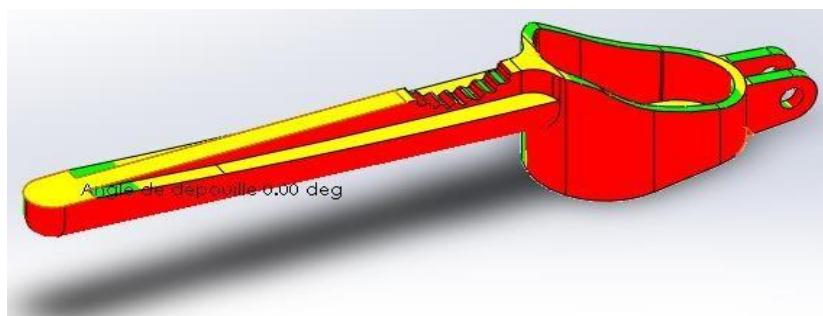
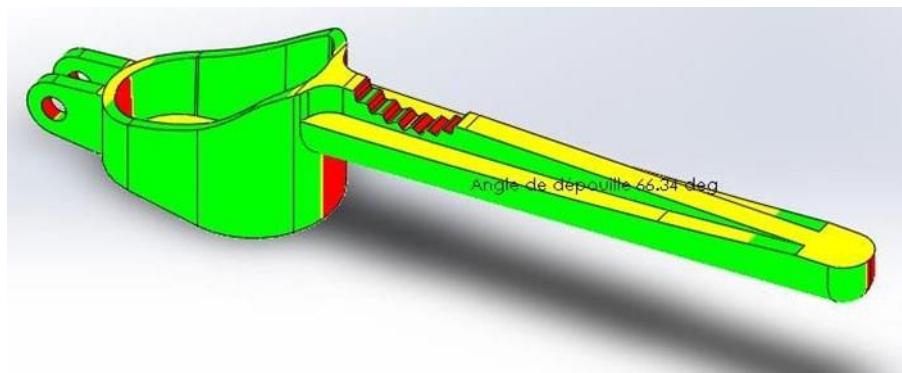


Fig. II-6 : Analyse de la dépouille pièce bas.

Après l'analyse de la dépouille, on utilise la fonction dépouille en sélectionnant les faces du modèle qui requière une dépouille pour les incliner selon un angle spécifié

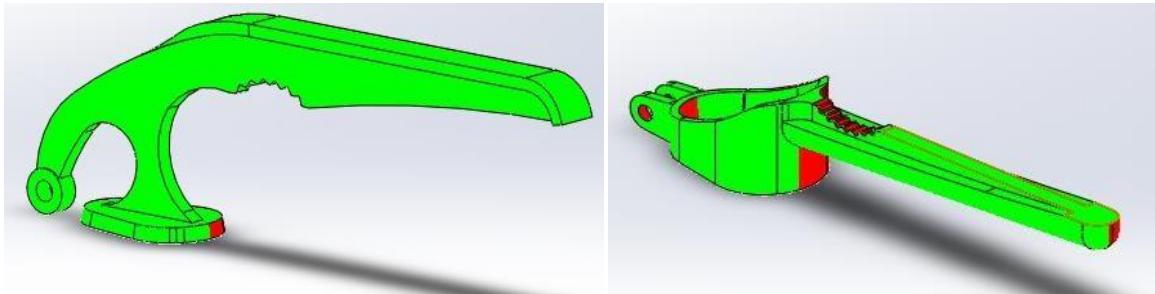


Fig. II-7 : Pièce haut et pièce bas après dépouille.

II.3.1.2 Analyse de contre dépouille

Dans un modèle, cette fonction permet de repérer les zones qui requièrent un noyau latéral.

Effectivement, lors de la séparation du noyau principal et de l'empreinte, le noyau latéral se déplace perpendiculairement au mouvement du noyau principal et de l'empreinte. Ce procédé permet de retirer la pièce.

En utilisant l'outil de moulage appelé "analyses de contre dépouille", nous analysons le modèle et le présentons dans la zone graphique grâce à un jeu de couleurs pour identifier les surfaces qui pourraient causer des problèmes lors de l'éjection du moule, qui sont en rouge.

II.3.2 Choix du plan de joint

II.3.2.1 Ligne de joint

La trace laissée par la pièce après le démolage est appelée les lignes de joint. Elle est située sur l'extrémité de la pièce moulée, entre les surfaces du noyau et de l'imprimé. On les emploie afin de concevoir les plans de joint et de séparer les surfaces

L'outil ligne de joint permet de générer la ligne de joint automatiquement ou manuellement, avec deux fonctions : la première pour le contrôle de la dépouille et l'autre pour la création de plan de joint.

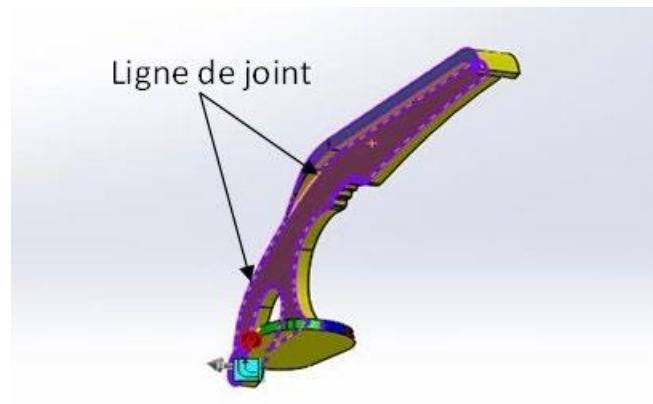


Fig. II-8 : Ligne de joint des pièces.

II.3.2.2 Surface d'arrêt

Les surfaces d'arrêt sont utilisées pour combler les trous présents sur les pièces en formant un raccord surfacique défini par une ligne de joint ou des arêtes formant une boucle continue.

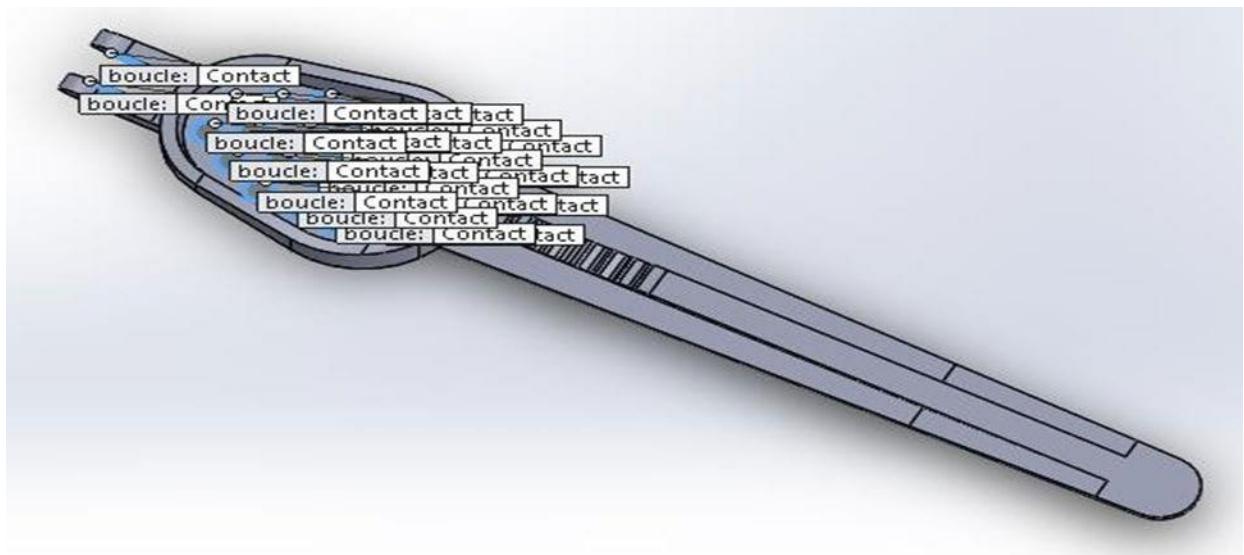


Fig. II-9 : Surfaces d'arrêt de la pièce bas.

II.3.2.3 Plan de joint

Le choix des plans de joint est d'une grande importance. En effet, leurs positionnements, détermine les sens d'ouverture des moules. Par conséquent la direction de la dépouille a appliqué à

la pièce, afin d'obtenir les meilleures pièces possibles et privilégier les meilleures manières de la démoluer. D'autre part, l'emplacement du plan de joint peut avoir des conséquences sur le cout de fabrication du moule, en d'autres termes, il induit le nombre de pièce constituant le moule. Ils sont utilisés pour séparer les empreintes du moule ainsi que le(s) noyau(s), et ils sont extrudés à partir des lignes de joint.

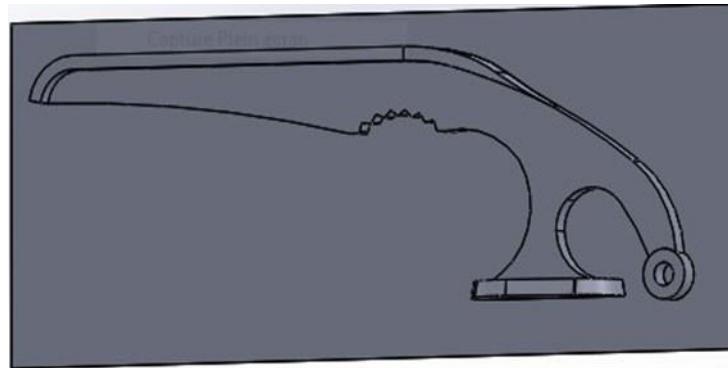


Fig. II-10 : Plan de joint pièce haut.

II.3.2.4 Conception noyau/empreinte

Avec l'utilisation de la fonction noyaux/empreinte sur SolidWorks. Le volume des deux parties principales du moule est produit en même temps que les formes extérieures des pièces sont obtenues en choisissant le noyau de l'empreinte et le plan de joint. Enfin, il est nécessaire de mesurer les deux blocs qui composent le moule, en leur attribuant d'abord une épaisseur approximative.

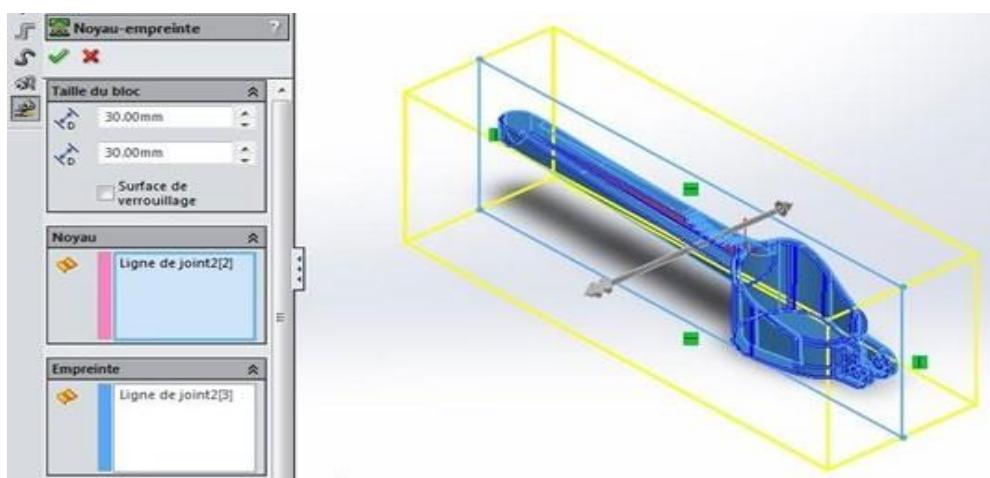


Fig. II-11 : Insertion noyau/empreinte des pièces haut et bas.

II.3.2.5 Noyaux

Le noyau, également appelé broche, est un élément du moule qui, en général, est de faible section et de grande longueur, ce qui permet de réaliser les évidements intérieurs de la pièce ou des zones en contre-découpe.

Dans notre situation, il est essentiel d'utiliser des noyaux formellement dans la direction d'ouverture du moule et pour analyser les contre-dépouilles. Afin de simplifier l'extraction et la construction des trous dans la pièce 02. La partie inférieure de la pièce 02 a été équipée d'un autre noyau couplé, ce qui permet de changer uniquement le noyau supplémentaire en cas de déformation des dents qui forment les cavités.

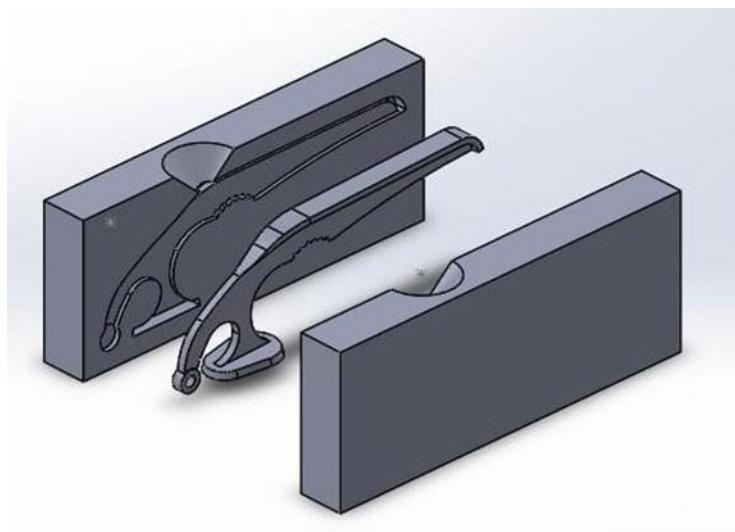


Fig. II-12 : Moule pièce haut avec noyau

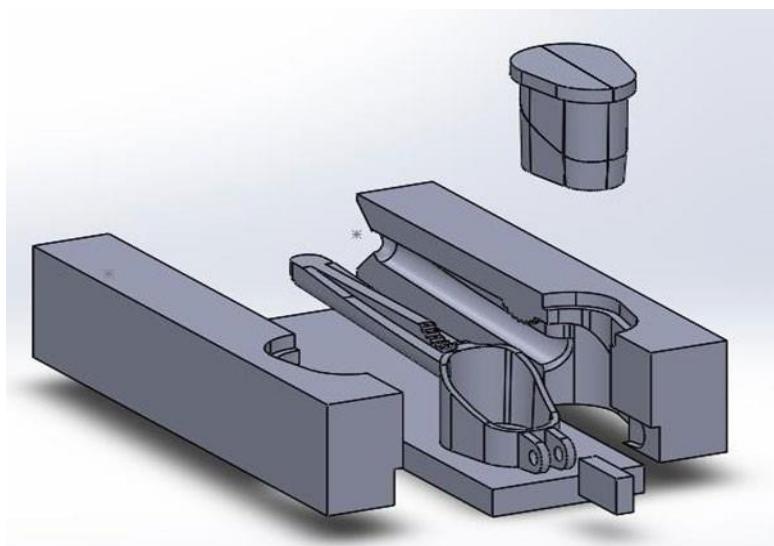


Fig. II-13 : Moule pièce bas avec deux noyaux

Chapitre III :

III. Simulation numérique et optimisation du Processus de remplissage de moule avec le logiciel ProCAST

III.1 Introduction

ProCAST, développé par ESI Group, est un logiciel de simulation utilisé dans l'industrie de la fonderie sous pression. Il aide les ingénieurs à prédire et à prévenir les défauts, à optimiser les processus de fabrication et à réduire les coûts.

Le moulage sous pression est une méthode utilisée pour produire des pièces métalliques complexes et précises. Cependant, ce procédé présente des défis, comme la gestion de la solidification du métal, le contrôle des flux de métal et la prévention des défauts tels que la porosité et les fissures. ProCAST permet de simuler ces processus complexes de manière précise.

ProCAST se distingue par ses nombreuses fonctionnalités, telles que la simulation thermique, l'analyse de la solidification, la modélisation de la microstructure et la prédition des défauts. Grâce à des modèles physiques retenus et des techniques de calcul avancées, ProCAST aide les utilisateurs à optimiser leurs conceptions.

Dans ce chapitre, nous explorons les différentes caractéristiques de ProCAST, son utilisation pratique dans des projets de fonderie, ses avantages et ses limites. [15]

III.2 Principales fonctionnalités de ProCAST

III.2.1 Modélisation géométrique

III.2.1.1 Importation et intégration des modèles

- **Formats de fichiers compatibles :** ProCAST peut importer des modèles à partir de fichiers CAO tels qu'IGES, STEP, et Parasolid. Cela permet d'utiliser des modèles créés dans d'autres logiciels de conception

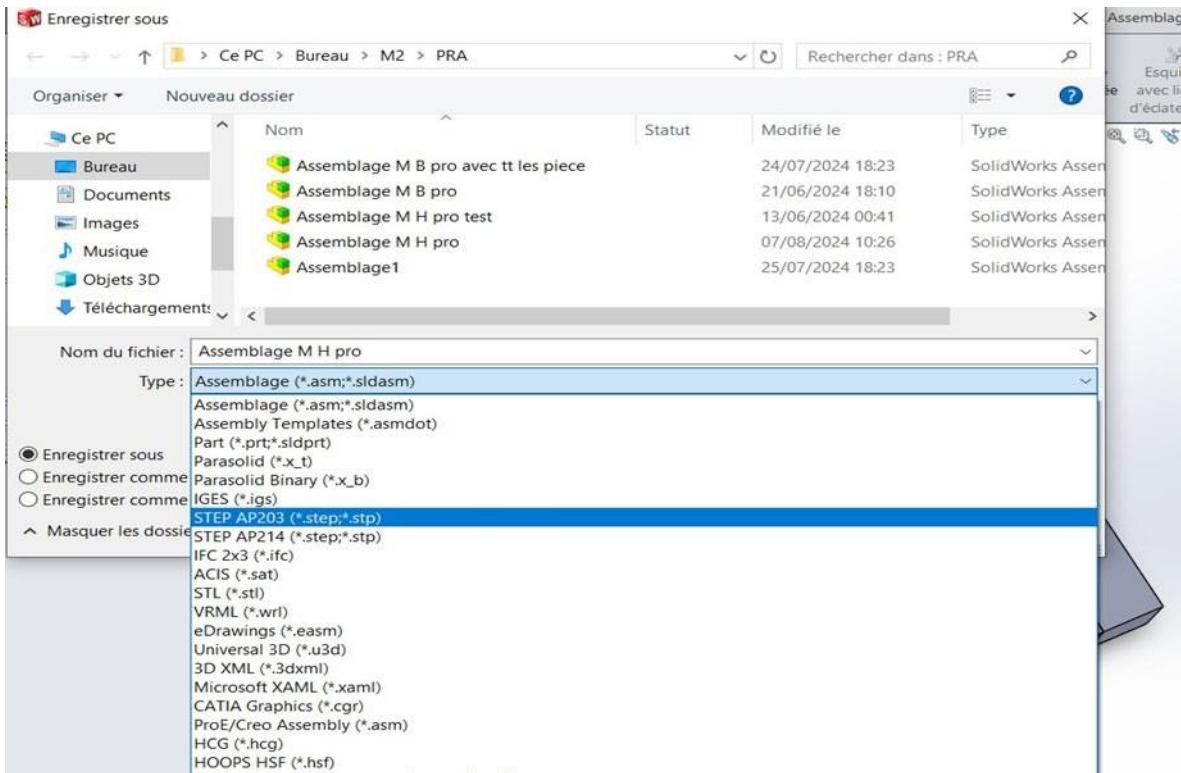


Fig. III-1 : Formats de fichiers compatibles

- **Optimisation des modèles** : Une fois importés, les modèles peuvent être nettoyés et ajustés pour les besoins de la simulation.

III.2.2 Crédit et édition de la géométrie

- **Outils de modélisation** : ProCAST propose des outils pour créer et modifier directement les géométries, y compris les détails des pièces et des moules.
- **Définition des caractéristiques du moule** : Les utilisateurs peuvent modéliser les différentes parties du moule comme les cavités et les canaux de refroidissement.

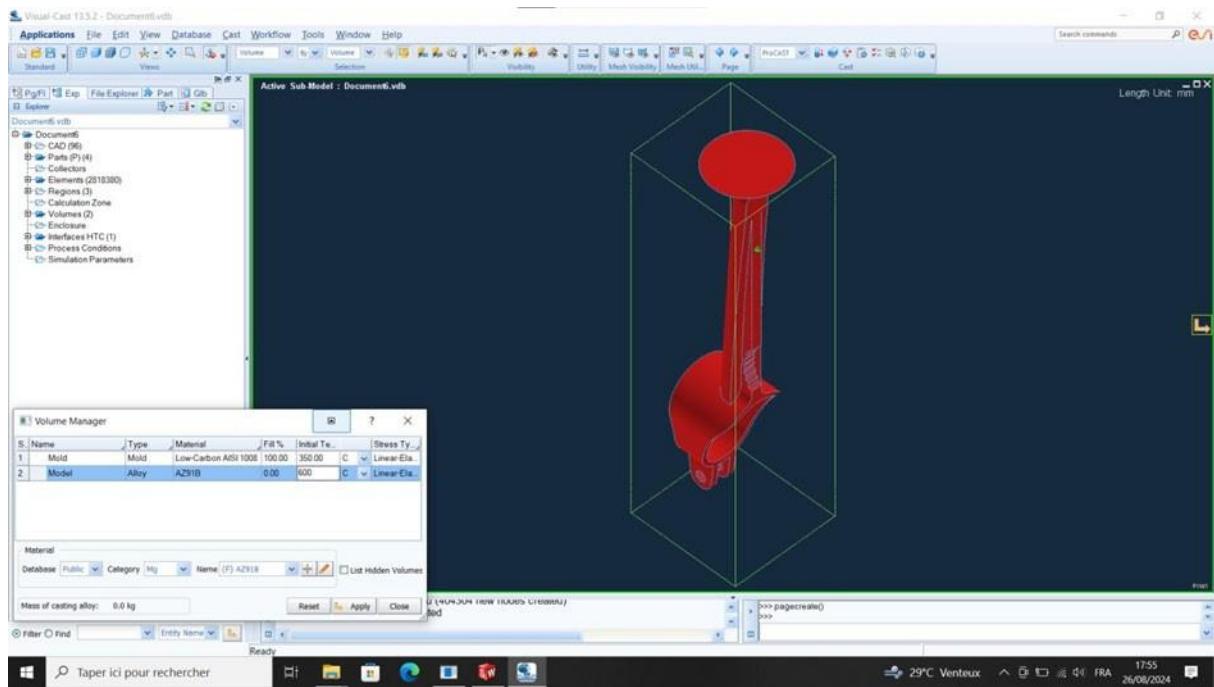


Fig. III-2 : créer la géométrie de la pièce

III.2.3 Paramétrage des conditions de simulation

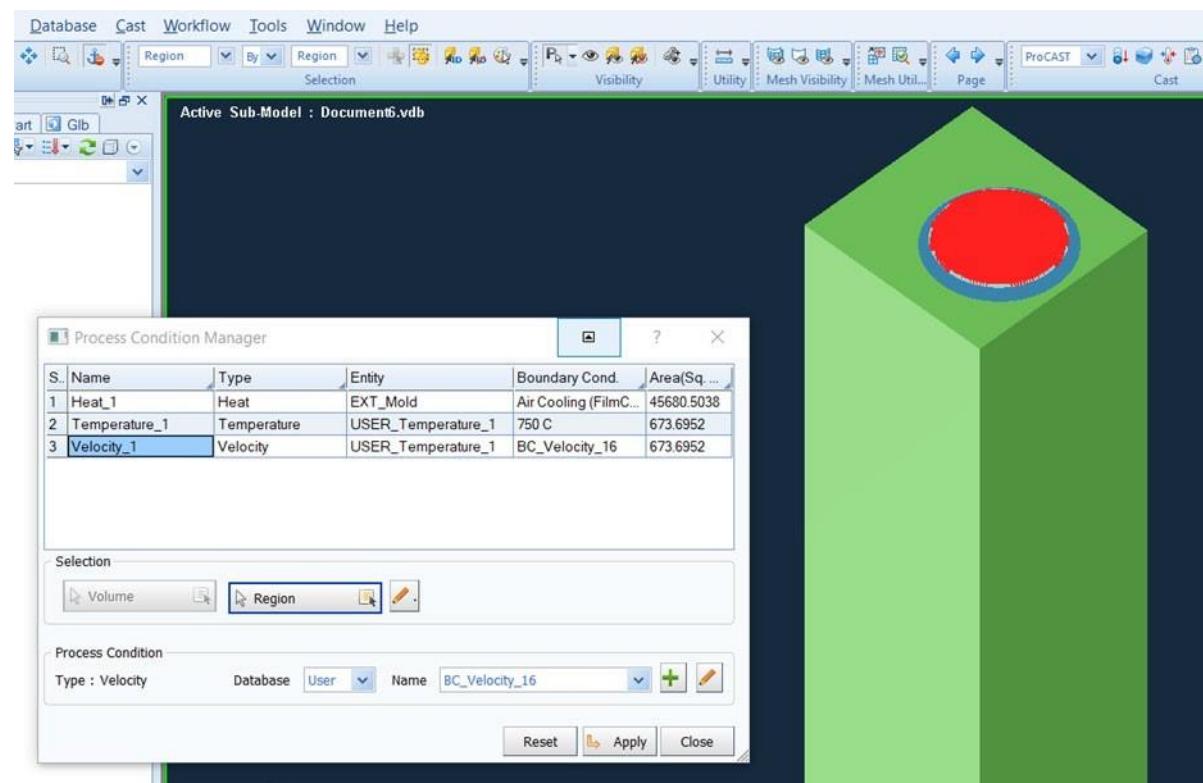


Fig. III-3 : Paramétrage des conditions de simulation

- **Propriétés des matériaux :** Il est possible de spécifier les propriétés des matériaux moulés et des moules, comme la conductivité thermique et la viscosité.
- **Conditions aux limites :** On peut configurer des paramètres tels que les températures et les pressions pour refléter les conditions réelles du processus de moulage.

III.2.4 Meshing et discréétisation

- **Génération du maillage :** ProCAST divise les modèles en petits éléments pour effectuer les calculs nécessaires. Ce maillage peut être ajusté pour améliorer la précision. [16]

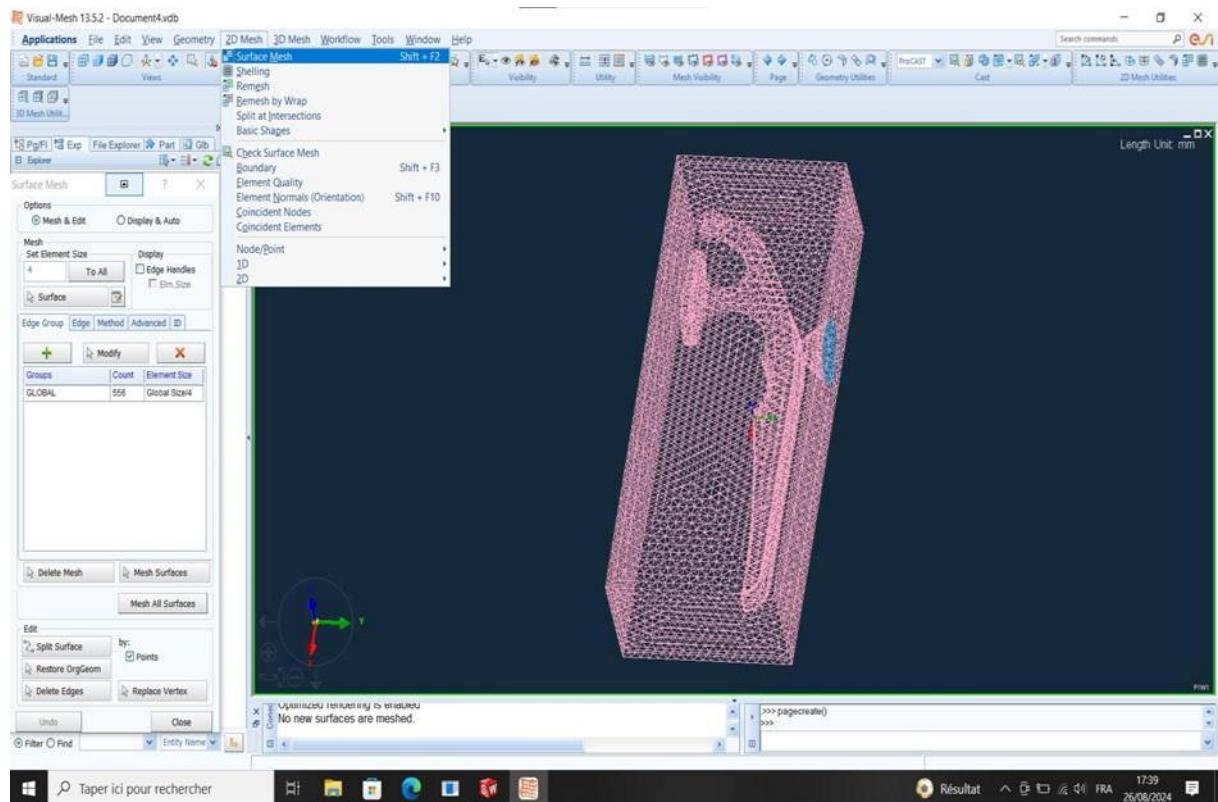


Fig. III-4 : Génération du maillage

- **Qualité du maillage :** Il existe des outils pour vérifier la qualité du maillage et corriger les problèmes éventuels.

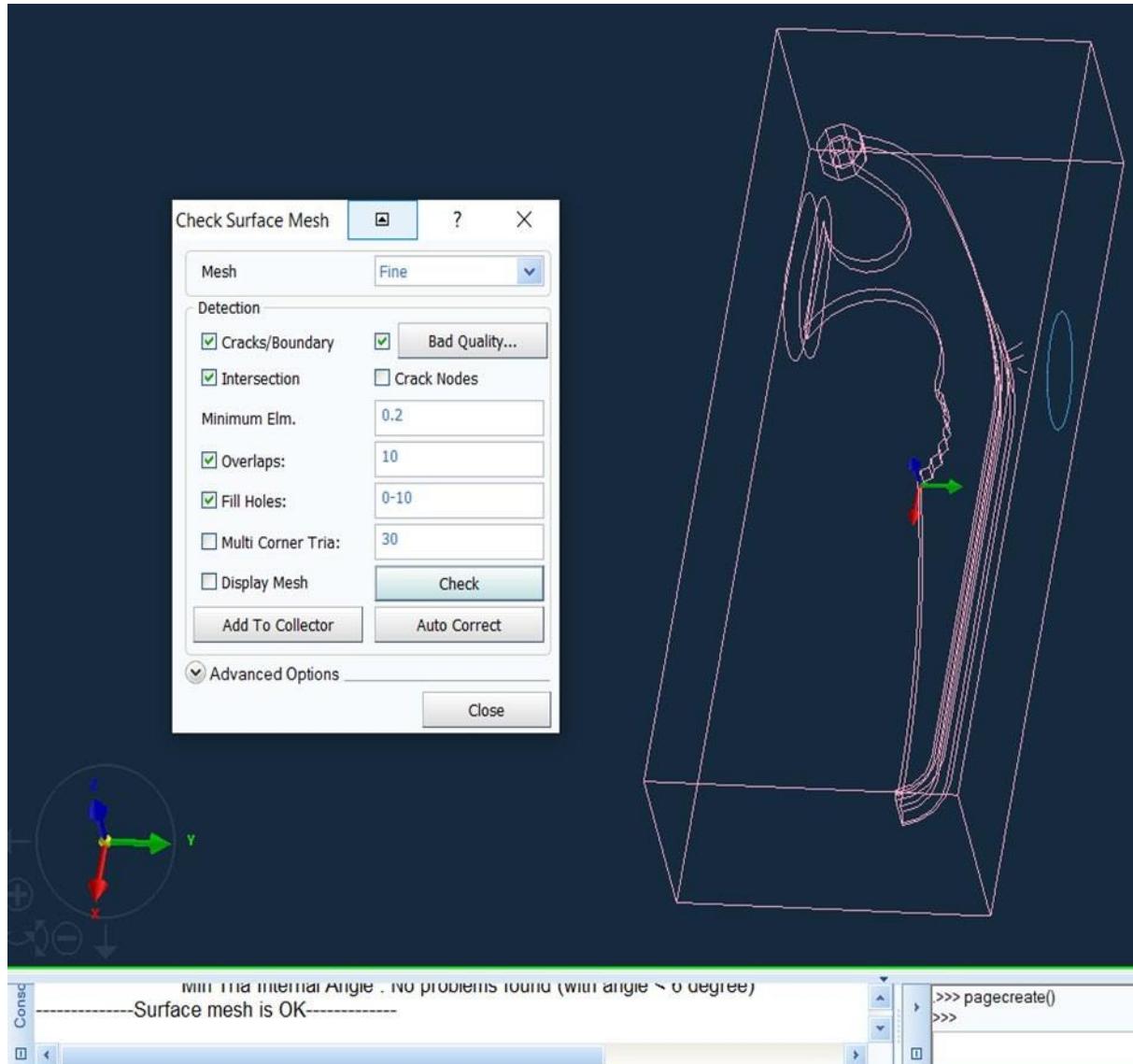


Fig. III-5 : Qualité du maillage

III.2.5 Visualisation et vérification

- **Visualisation en 3D :** Les utilisateurs peuvent voir les modèles et les résultats de simulation en 3D pour mieux comprendre les performances du moule et de la pièce.
- **Vérification des erreurs :** Des outils sont disponibles pour détecter les erreurs géométriques et s'assurer que le modèle est prêt pour la simulation.

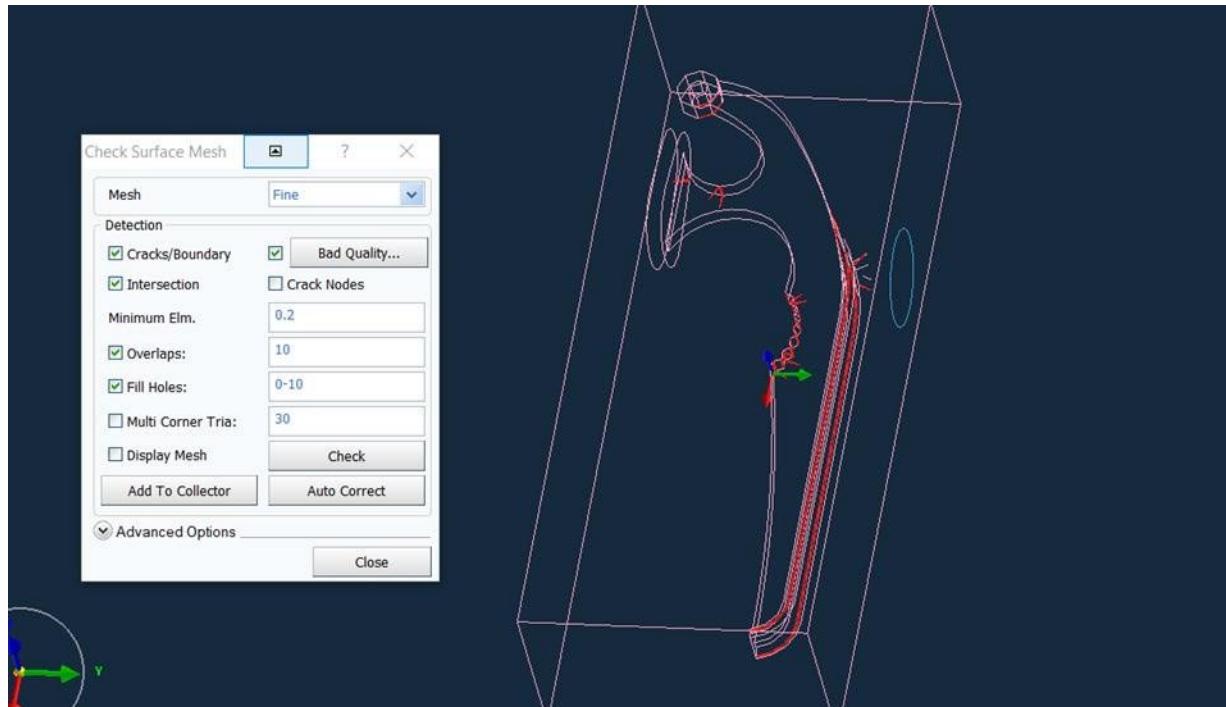


Fig. III-6 : Visualisation et vérification de la pièce

III.2.6 Importation/exportation

- **Interopérabilité :** ProCAST permet d'exporter des résultats ou des modèles vers d'autres logiciels CAO ou de simulation pour des analyses supplémentaires.

III.2.7 Simulation Thermique et Fluide sur ProCAST

III.2.8 Simulation Thermique

III.2.8.1 Transfert de Chaleur

- **Conduction :** Comment la chaleur se déplace à travers le métal et le moule.
- **Convection :** Comment la chaleur est transférée par les fluides autour du moule.
- **Radiation :** Échanges de chaleur par rayonnement à haute température.

III.2.8.2 Solidification

- **Refroidissement :** Suivi de la température pendant que le métal refroidit et se solidifie.
- **Formation des Phases :** Prédiction des changements dans le métal en refroidissant.

III.2.8.3 Chocs Thermiques

- Détection des risques de fissures causées par des variations brusques de température.

III.2.9 Simulation des Fluides

III.2.9.1 Écoulement du Métal

- **Flux :** Comment le métal liquide coule dans le moule.
- **Ventilation :** Gestion des bulles d'air et des zones difficiles à remplir.

III.2.9.2 Interactions avec le Moule

- **Adhérence :** Effet du métal sur les parois du moule et les lubrifiants utilisés.
- **Refroidissement :** Comment le moule se refroidit et affecte le métal.

III.2.9.3 Défauts d'Écoulement

- **Problèmes de Remplissage** : Zones du moule qui ne se remplissent pas correctement.
- **Manque de Métal** : Zones où le métal n'atteint pas tout le volume du moule.

III.2.10 Intégration des Données

III.2.10.1 Couplage Thermique et Fluide

- **Interaction** : Comment la chaleur et l'écoulement du métal influencent l'un et l'autre.

III.2.10.2 Validation

- **Comparaison** : Vérification des résultats de simulation avec des tests réels pour assurer leur précision.

III.2.11 Optimisation des Processus avec ProCAST

III.2.11.1 Outils d'Optimisation dans ProCAST

- **Analyse Paramétrique** : Tester différents paramètres (température, pression) pour voir leur impact.
- **Optimisation Automatisée** : Utiliser des outils qui ajustent automatiquement les paramètres pour trouver les meilleurs réglages.
- **Simulations de Scénarios** : Créer des scénarios différents pour voir comment les changements affectent les résultats.

III.2.11.2 Avantages

- **Réduction des Défauts** : Moins de pièces défectueuses.
- **Réduction des Coûts** : Moins de gaspillage et plus d'efficacité.
- **Meilleure Qualité** : Pièces plus précises et durables.

III.2.11.3 Défis et Limites

- **Problèmes Possibles :** Complexité des modèles ou limitations des outils d'optimisation.

III.3 Applications pratiques de ProCAST

III.3.1 Études de cas

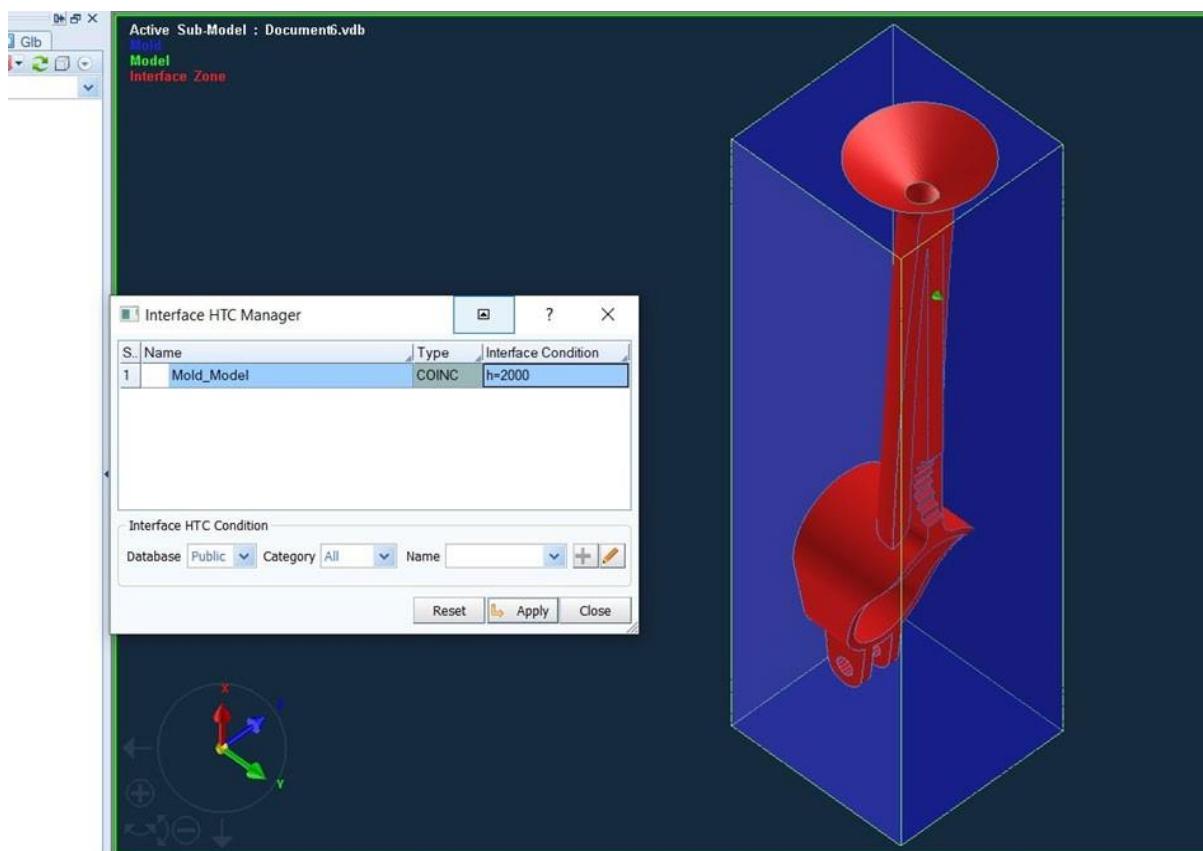


Fig. III-7 : Études de cas pièce 1

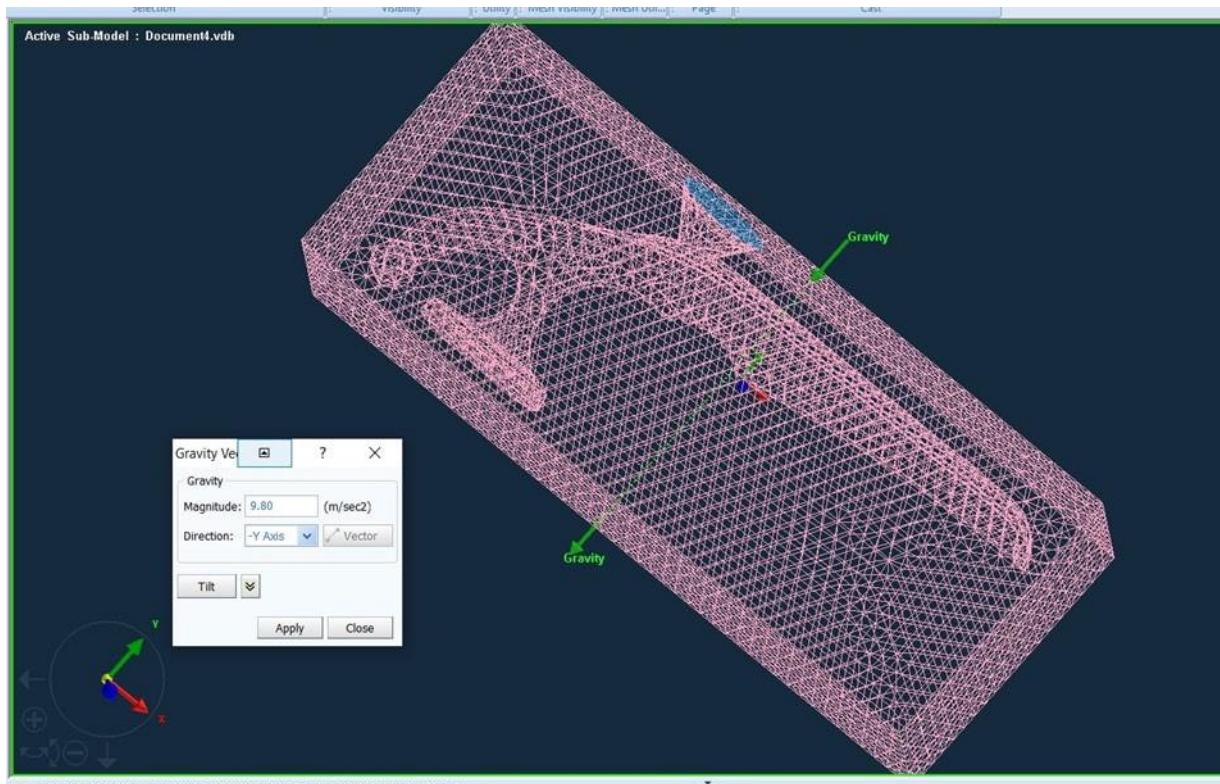


Fig. III-8 : Études de cas pièce 2

III.3.2 Avantages pour l'industrie

III.3.2.1 Réduction des Cycles de Développement

- **Simulation Avant Production :** ProCAST permet de tester le moulage virtuellement, ce qui évite les prototypes physiques coûteux et les essais multiples.
- **Ajustement Rapide des Paramètres :** Le logiciel aide à essayer différentes configurations (comme la température et la pression) rapidement et sans coût supplémentaire.
- **Détection Précoce des Problèmes :** Il identifie les défauts potentiels avant la production, permettant des ajustements avant de fabriquer les pièces.
- **Optimisation Automatisée :** ProCAST ajuste automatiquement les paramètres pour trouver les meilleures réglages, accélérant ainsi le développement.

III.3.2.2 Amélioration de la Qualité des Produits

- **Précision des Modèles :** Les simulations précises aident à fabriquer des pièces qui respectent les spécifications exactes.
- **Réduction des Défauts :** Le logiciel détecte et corrige les problèmes comme les vides ou les fissures avant la production réelle.
- **Meilleure Cohérence :** En optimisant le processus, ProCAST assure une meilleure qualité et moins de pièces défectueuses.
- **Amélioration Continue :** Les tests répétés permettent de perfectionner le processus et de garantir des produits de meilleure qualité.

III.3.3 Avantages de ProCAST

- **Précision Élevée :** ProCAST simule très bien les processus de moulage, aidant à éviter les problèmes avant la production.
- **Fonctionnalités Complètes :** Le logiciel offre de nombreux outils pour différents aspects du moulage, comme la gestion de la chaleur et la détection des défauts.
- **Optimisation Automatique :** ProCAST ajuste automatiquement les paramètres pour améliorer la qualité des pièces.
- **Bonne Intégration :** Il fonctionne bien avec d'autres logiciels de conception et de simulation.
- **Fiabilité pour les Projets Complexes :** Idéal pour les projets complexes où la précision est cruciale.

III.3.4 Limites de ProCAST

- **Difficile à Utiliser :** Le logiciel est complexe et peut être difficile à maîtriser sans formation.
- **Besoin de Puissance Informatique :** Les simulations peuvent nécessiter un ordinateur puissant, ce qui peut ralentir le travail.

- **Coût Élevé** : ProCAST est généralement cher, ce qui peut être un obstacle pour les petites entreprises.
- **Temps de Calcul Long** : Les simulations peuvent prendre du temps, ce qui peut ralentir le processus.
- **Formation Nécessaire** : Pour bien utiliser ProCAST, il faut souvent suivre une formation spécialisée.

Conclusion générale

La fonderie est un procédé de fabrication qui consiste à fondre un matériau, généralement un métal, pour le couler dans un moule afin de lui donner une forme précise. Ce procédé, utilisé depuis des millénaires, reste essentiel dans la production industrielle moderne pour créer des pièces aux formes complexes. Le choix des matériaux pour la fonderie, ainsi que la conception et la fabrication des moules, sont des étapes cruciales pour obtenir des pièces de haute qualité. Ces moules doivent être conçus avec précision pour garantir un bon remplissage de la cavité et une solidification correcte, tout en minimisant les défauts comme la porosité ou les retraits.

Dans le cadre de la conception d'un moule pour un modèle de presse-ail, il est nécessaire de bien comprendre les contraintes mécaniques et esthétiques du produit fini. Les moules doivent être conçus non seulement pour assurer la durabilité de la pièce, mais aussi pour respecter les tolérances dimensionnelles, garantir un aspect esthétique et optimiser les coûts de production. L'ingénierie des moules pour la fonderie requiert une analyse approfondie des matériaux, de la géométrie et des conditions de refroidissement, afin de produire un objet fonctionnel et fiable.

Enfin, l'utilisation de logiciels de simulation, comme ProCAST, permet de simuler avec précision les étapes du processus de fonderie. Ce type d'outil aide à prédire et à corriger les défauts potentiels dans la conception des moules et le processus de fabrication. Grâce à ProCAST, il est possible d'analyser la dynamique de remplissage, la solidification, ainsi que les contraintes thermiques et mécaniques qui peuvent affecter la qualité des pièces produites. Cela permet une optimisation en amont du processus, réduisant ainsi le temps et les coûts de production tout en améliorant la qualité finale des pièces.

Références bibliographiques

- [1] <http://www.secodir.fr/>
- [2] <http://www.fonderie-aluminium-sesam.fr/>
- [3] <http://www.fonderie-roux-gallois.com/>
- [4] <http://www.fonderies-de-nangis.com>
- [5] <http://www.ctif.com>
- [6] <http://www.forgefonderie.org>
- [7] <http://www/esff.fr>
- [8] <https://www.forgefonderie.org/fr/forge-fonderie>
- [9] <http://www.sulka.fr/fcp/>
- [10] <http://www.ferrycapitain.fr/>
- [11] ©Tous droits réservés, Johanne Gauthier, 2017 mémoires présenter à l'école de technologie supérieur en comme exigence partielle a l'obtention de la maitrise avec mémoire, concentration personnalisée M.Sc.A. Montréal, le 21 décembre 2017 école de technologie supérieur université de Québec.
- [12] Dassault Systèmes. (2024). SolidWorks 2024 – A Complete Guide to 3D CAD Design. Version 2024. Disponible sur : <https://www.solidworks.com>
- [13] <https://www.solidworks.com>
- [14] [https://help.solidworks.com/2018/french/solidworks/sldworks/c_Mold_Tools_Parting_Li nes.htm# : ~ :text=Les%20lignes%20de%20joint%20se, application%20d'une%20d%C3%A9po uille%20appropri%C3%A9e.](https://help.solidworks.com/2018/french/solidworks/sldworks/c_Mold_Tools_Parting_Lines.htm# : ~ :text=Les%20lignes%20de%20joint%20se, application%20d'une%20d%C3%A9po uille%20appropri%C3%A9e.)
- [15] ESI Group. (2024). ProCAST 2024 – Manuel de Référence. Version 2024. Disponible sur : <https://myesi.esi-group.com/downloads/software-documentation/procast-2024.0-reference-manuel-online>.
- [16] ESI Group. (2025). ProCAST 2025.0 – Reference Manual. Disponible sur : <https://myesi.esi-group.com/downloads/software-documentation/procast-2025.0-reference-manuel-online>

Résumé :

La combinaison de la fonderie, de l'usinage CNC, de la conception minutieuse des moules, et de l'utilisation de logiciels de simulation comme ProCAST forme un ensemble cohérent et puissant pour la production moderne. Chacune de ces étapes contribue à la réalisation de pièces de haute qualité, optimisant les processus de fabrication et répondant aux exigences de précision et de performance des applications industrielles.

Mots clés : fonderie, conception, simulation, moulage, CNC.

Abstract :

The combination of foundry, CNC machining, careful mold design, and the use of simulation software like ProCAST forms a cohesive and powerful package for modern production. Each of these steps contributes to the production of high-quality parts, optimizing manufacturing processes and meeting the precision and performance requirements of industrial applications.

Keywords : foundry, design, simulation, molding,CNC.