

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Faculté de Génie de la Construction.

Département De Génie Mécanique.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme Master Académique

Département : Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

THÈME

***ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE
D'INJECTION ALUMINIUM POUR LA PRODUCTION
D'UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163***

Présenté par :

M^{elle} HADDADI Hanane

M^r GANA Ahmed

Encadré par :

M^r BEHTANI Amar

Proposé par :

M^r LARBI Arezki

Promotion 2022



REMERCIEMENT

REMERCIEMENT

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout Puissant et le Miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail. Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document.

D'abord, on tient à remercier nos familles pour leurs inconditionnel, indéfectible soutien durant toutes ces années, nous voudrions vous associer à cette réussite car c'est avant tout la vôtre.

Ensuite, nous voudrions présenter nos remerciements à nos encadreurs, MR BEHTANI Amar et MR LARBI Arezki. On les témoigner notre gratitude pour leur patience et leur soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.

Aussi, on tient à remercier le personnel de l'ELECTRO-INDUSTRIE qui nous a chaleureusement accueillis dans leur groupe et pour leurs précieux conseils et leurs coordinations tout au long de la réalisation de ce travail et le développement de ce projet de façon relativement autonome.

Enfin, nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on top. The scroll is outlined in black, and the top and left ends are rolled up, showing a grey interior. The word "DÉDICACES" is centered within the scroll.

DÉDICACES

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mon parcours étudiant, pour leurs sacrifices, bienveillance je n'en serais jamais arrivée là où je suis sans eux, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance et gratitude.

A mes frères **BOUDJEMA** et **YANIS** pour leurs soutien permanent.

A tous mes amis spécialement **YACINE**, **ABDESLAM**, **AMAR**, **MOURAD** et **LITICIA** qui m'ont toujours encouragé et tiré vers le haut.

A ma binôme **HANANE**

A tous les camarades de la promotion avec qui j'ai passé des moments inoubliables

A toutes les personnes qui m'ont aidé et encouragé.

Merci à tous.

AHMED

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The scroll is outlined in black, and the top and bottom edges are slightly curved. The text is centered within the scroll.

TABLES DES MATIÈRES

Tables des matières

LISTES DES FIGURES	I
LISTE DES TABLEAUX	III
INTRODUCTION GENERALE :	1
PRESENTATION DE L'ENTREPRISE :	2

CHAPITRE 01 : GENERALITE SUR LES MATERIAUX ET LA FONDERIE

1. INTRODUCTION ET DEFINITION DES MATERIAUX METALLIQUES :	6
2. DESIGNATIONS, PROPRIETES ET APPLICATIONS DES MATERIAUX :	7
2.1 METAUX FERREUX (ACIERS ET FONTE) :	7
2.1.1 Aciers non alliés (aciers au carbone).....	8
2.1.2 Aciers faiblement alliés :	11
2.1.3 Aciers fortement alliés :	12
2.1.4 Influence des éléments d'addition :	14
2.1.5 Fontes :	15
2.2 METAUX NON FERREUX :	17
2.2.1 Alliage d'aluminium :	17
2.2.2 Alliage de cuivre :	20
3. ELABORATION DES METAUX :	21
3.1 ELEMENTS CHIMIQUES DES ALLIAGES :	22
3.2 CLASSIFICATION DES ALLIAGES :	22
3.2.1 Alliages ferreux :	22
3.2.2 Alliages non ferreux :	23
3.2.3 Le Fer et les alliages de fer :	23
3.2.4 Les aciers :	25
3.3 ELABORATION DES ALLIAGES DE FER :	25
3.3.1 Elaboration de la fonte brute :	26
3.4 ELABORATION DE L'ACIER :	27
3.4.1 Principe de l'affinage :	27
3.4.2 Le convertisseur Thomas :	29
3.4.3 Le four Martin :	30
3.4.4 Acier affiné à l'oxygène pur :	30
3.4.5 Procédé Kaldo :	30
3.4.6 Procédé OLP :	31
3.4.7 Le four électrique :	32
3.4.8 Le four à l'arc :	32
3.4.9 Le four à induction :	32
3.5 LES METAUX NON FERREUX :	33
3.5.1 Les métaux non ferreux lourds :	33
3.5.2 Les métaux non ferreux légers :	34

CHAPITRE 02 : PROCEDES DE MISE EN FORME

1. INTRODUCTION :	35
2. PROCEDES DE MISE EN FORME :	35
2.1 DEFINITION ET CLASSIFICATION :	35
2.2 LES PROCEDES DE MISE EN FORME DES MATERIAUX METALLIQUES :	35
3. PROCEDES DE MISE EN FORME PAR MOULAGE :	37
3.1 GENERALITE ET DEFINITION SUR LE MOULAGE :	37

Tables des matières

3.1.1 Généralité :	37
3.1.2 Définition :	38
3.2 LES DIFFERENTS TYPES DE MOULAGES :	38
3.2.1 Le moule non permanent :	38
3.2.2 Le moule permanent :	39
3.3 MOULAGE EN MOULE PERMANANT (OU EN COQUILLE) :	40
3.3.1 Éléments d'un moule permanent :	40
3.3.2 Thermique du moulage permanent :	42
3.3.3 Avantages et capacités du moulage en moule permanent :	43
3.3.4 Marchés du moulage en moule permanent :	43
4. MOULAGE SOUS-PRESSION :	44
4.1 ÉLÉMENTS D'UN MOULE ET DE LA CELLULE DE PRODUCTION :	44
4.2 DESCRIPTION DU MOULE DE MOULAGE SOUS PRESSION :	44
4.3 DESCRIPTION DE LA PRESSE DE MOULAGE SOUS PRESSION :	46
4.4 CONCEPTION DE L'OUTILLAGE :	49
4.5 AVANTAGES ET CAPACITES DU MOULAGE SOUS PRESSION :	50
4.6 MARCHES DU MOULAGE SOUS PRESSION :	50
5. CONCLUSION :	51

Chapitre 03 : Le moule d'injection

1. INTRODUCTION :	52
2. TYPE DE MOULE :	52
3. LES MOULE D'INJECTION :	53
3.1 DEFINITION :	53
3.2 COMPOSITION D'UN MOULE D'INJECTION :	53
3.3 LES FONCTIONS D'UN MOULE :	55
3.3.1 La fonction Alimentation :	56
3.3.2 Fonction Mise en Forme :	61
3.3.3 Fonction Ejection :	65
3.4 LA MACHINE :	69
3.5 DEGAZAGE DU MOULE :	69
3.6 FIXATION DU MOULE :	70
Le maintien en position du moule sur les plaques fixe et mobile est assuré par vis ou brides.	70
3.6.1 Fixation par vis :	70
3.6.2 Bridage :	70
3.7 CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT :	71
4. CONCLUSION.....	71

Chapitre 04 : PARTIE ETUDE ET CONCEPTION

1. INTRODUCTION :	72
2. LECTURE DU CAHIER DE CHARGE :	74
2.1 TYPE DE LA PIECE :	74
2.2 TYPE DE MATERIAU UTILISE :	74
2.2.1 Désignation normalisée :	75
2.2.2 Caractéristiques : (voir annexe).....	75
2.2.3 Composition chimique : (voir annexe).....	75
2.2.4 Mode de livraisons :	76
2.3 PRINCIPE :	76
3. LECTURE DU DESSIN DE DEFINITION :	76
3.1 DESCRIPTION DE L'OUTIL CFAO :	76

Tables des matières

3.2 CONCEPTION DE LA PIECE SUR SOLI WORKS :	76
3.3 PROPRIETE DE LA PIECE :	77
3.4 CHOIX DE PLAN DE JOINT :	78
3.5 LE NOYAUX ET L'EMPREINTE :	78
3.5.1 L'empreinte (l'empreinte fixe) :	78
3.5.2 Le noyau (l'empreinte mobile) :	79
4. CHOIX DE LA PRESSE :	79
4.1 CAPACITE D'INJECTION :	80
4.2 FORCE DE FERMETURE DE LA MACHINE :	81
4.3 DISTANCE ENTRE COLONNES :	82
4.4 EPAISSEUR MINI DU MOULE :	82
5. CHOIX DU DIAMETRE DU PISTON :	83
6. TAUX DE REMPLISSAGE :	84
7. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'ALIMENTATION :	85
7.1 CALCUL DE LA VITESSE D'ATTAQUE DE COULEE : (RD, GATING MANUAL, 2006)	85
7.2 CALCUL DU DEBIT DE L'ATTAQUE :	85
7.3 CALCUL LA SURFACE D'ATTAQUE :	86
7.4 CALCUL DE LA LONGUEUR DE L'ATTAQUE :	86
8. DIMENSIONNEMENT DU CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT :	87
9. CALCUL DU TEMPS DE REFROIDISSEMENT :	88
10. CALCUL DU TEMPS DE CYCLE :	88
10.1 DIMENSIONNEMENT DES TALONS DE LAVAGE ET DES TIRAGES D'AIR	88
11. CALCUL DE RESISTANCE :	89
11.1 LE POIDS DES PIECES QUI CONSTITUENT NOTRE MOULE :	89
11.2 RESISTANCE DES ELEMENTS CONSTITUANTS LE MOULE AU MATAGE DU A LA FORCE DE FERMETURE DU MOULE :	89
11.3 RESISTANCE DES COLONNES DE GUIDAGE ET DES VIS CHC AU CISAILLEMENT :	92
12. CONCLUSION :	94
CONCLUSION GENERALE :	95
BIBLIOGRAPHIE.....	97
ANNEXE.....	100



LISTE DES FIGURES

LISTES DES FIGURES

<i>Figure 1 : Schéma de L'Organigramme de L'entreprise</i>	5
<i>Figure 2: Schéma Principales Familles de Matériaux</i>	7
<i>Figure 3 : Principaux aciers faiblement alliés</i>	12
<i>Figure 4 : Désignation des produits laminés- NF EN 573</i>	18
<i>Figure 5 : Désignation des produits de fonderie- NF EN 1780</i>	19
<i>Figure 6 : Désignation des alliages de cuivre</i>	20
<i>Figure 7: Principaux alliages de cuivre.</i>	20
<i>Figure 8: Schéma général d'élaboration des alliages de fer</i>	28
<i>Figure 9: Le haut fourneau et ses installations annexes.</i>	28
<i>Figure 10: Opération dans le haut fourneau</i>	29
<i>Figure 11 : Coupe d'un convertisseur thomas (l'air est amené par l'axe de rotation creux)</i>	30
<i>Figure 12: Principe de l'affinage à l'oxygène pur</i>	31
<i>Figure 13 : Fonctionnement du four électrique à l'arc</i>	32
<i>Figure 14: Les différents procédés de mise en forme et de fabrications des matériaux</i>	37
<i>Figure 15 :Schéma les différents types de moulages</i>	38
<i>Figure 16: moulage en couquille d'une pièce en aluminium</i>	40
<i>Figure 17 : Éléments d'un moule permanent pour bloc à gradin (procédé basse pression)</i>	41
<i>Figure 18: Remplissage manuel du conteneur et début de l'injection</i>	44
<i>Figure 19 : Éléments d'un moule sous pression</i>	45
<i>Figure 20: Moulage produit avec le moule de la figure 16</i>	46
<i>Figure 21 : Éléments d'une presse sous pression</i>	46
<i>Figure 22 : Moteur et réservoir hydraulique à arrière de la presse</i>	46
<i>Figure 23: Chauffe moule et système de pilotage en temps réel (à droite)</i>	48
<i>Figure 24 : Pompe et réservoir de vide</i>	49
<i>Figure 25 : Les composants de moule</i>	53
<i>Figure 26 : exemple d'un moule injection</i>	54
<i>Figure 27 : Les fonctions d'un moule</i>	56
<i>Figure 28 : La fonction alimentation</i>	57
<i>Figure 29 : Seuil en masse ou direct</i>	57
<i>Figure 30 : Seuil annulaire</i>	58
<i>Figure 31: Seuil conique ou en éventail</i>	58
<i>Figure 32 : Seuil capillaire</i>	59
<i>Figure 33 : Seuil en nappe</i>	59
<i>Figure 34 : Seuil sous-marin</i>	59
<i>Figure 35 : Seuil à tunnel</i>	60
<i>Figure 36 : Forme non dépouillée</i>	61
<i>Figure 37 : Forme dépouillée Mettre</i>	62
<i>Figure 38: Forme en contre-dépouille</i>	62
<i>Figure 39: Position du plan de joint</i>	63
<i>Figure 40 : La ligne de joint extérieure ou externe</i>	63
<i>Figure 41: La ligne de joint intérieure ou interne</i>	64
<i>Figure 42 : La ligne de joint auxiliaire</i>	64
<i>Figure 43: 2 types d'éventassions les plus couramment utilisés</i>	65
<i>Figure 44 : Moule à éjecteurs cylindriques</i>	67
<i>Figure 45 : Moule à soupapes d'éjection</i>	68
<i>Figure 46: Moule à éjecteurs tubulaires</i>	68
<i>Figure 47 : Moule à éjecteurs annulaire</i>	68
<i>Figure 48: Moule à éjection combinée</i>	69
<i>Figure 49 : Event</i>	70
<i>Figure 50: Procédé de Bridage (bride plate à serrage)</i>	71
<i>Figure 51 : patte de carcasse</i>	74

Liste des Figures

<i>Figure 52 : Patte à carcasse type 163 avec différentes vues</i>	<i>77</i>
<i>Figure 53 : le plan de joint de la patte à carcasse</i>	<i>78</i>
<i>Figure 54 : l'empreinte fixe</i>	<i>79</i>
<i>Figure 55 : Empreinte mobile.....</i>	<i>79</i>
<i>Figure 56: Schéma représentant le plateau d'une presse.....</i>	<i>82</i>

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners at the top and bottom. The text is centered within this frame.

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Symboles chimiques et métallurgiques, densité des métaux usuels(HIDOURI, 2016).....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 2 : Désignation des aciers non alliés d'usage général NF EN 10027-1.(HIDOURI, 2016).....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3 : Principaux aciers non alliés (1 MPa = 1 N/mm2).(HIDOURI, 2016)</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 4 : Désignation des aciers faiblement alliés NF EN 10027-1.(HIDOURI, 2016).....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 5 : Désignation des aciers fortement alliés NF EN 10027-1.</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 6 : Aciers inoxydables.(HIDOURI, 2016).....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 7 : Influence des principaux éléments d'addition sur les caractéristiques des aciers.(HIDOURI,).....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 8 : Désignation des fontes NF 1560.(HIDOURI, 2016)</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 9: Principales fontes.(HIDOURI, 2016).....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 10 : Alliage d'aluminium.(Michel, 2005)</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 11: Alliage de cuivre : produits corroyés.(Michel, 2005).....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 12 : Alliage de cuivre : nuances pour la fonderie.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 13 : Caractéristiques fondamentales du fer.(J. BARRALIS, G. MAEDER, n.d.)</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 14: les types de moulage.(Dr.S.BENSAADA, n.d.)</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 15 : les principaux éléments</i>	<i>52</i>
<i>Tableau 16 : Terminologie des éléments constituant l'outillage</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 17 : Caractéristique de la machine 380.....</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 18 : Temps de remplissage en fonction de l'épaisseur de la pièce.(Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, 1993).....</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 19 : Epaisseur de l'attaque de coulée en fonction de l'alliage coulé</i>	<i>86</i>
<i>Tableau 20 : le poids des pièces de moule.....</i>	<i>89</i>

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top. The scroll is outlined in black, and the top-left and top-right corners are rolled up, showing a grey interior. The text is centered within the scroll.

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE :

L'industrie mécanique représente un secteur très important dans l'économie d'un pays. La fabrication mécanique porte une grande partie dans le développement industriel, pour cela le marché algérien participe à l'amélioration des moyens de production locaux.

De nos jours, les procédés de mise en forme occupent une grande place dans l'industrie des pièces, très utilisée dans l'automobile, l'ameublement ou l'électroménager...

En effet, la production des pièces par moulage est aujourd'hui l'un des procédés les plus optés. Elle permet de produire en très grandes série avec un faible coût,

Ceci, à amener l'entreprise, dans laquelle nous avons effectué notre stage pratique, ELCTRO INDUSTRIE nous confie l'importance tâche qui consiste à réaliser l'étude et la conception d'un moule d'injection aluminium pour une patte de carcasse type 163 ; Cette patte de carcasse est initialement réalisée en Fonte.

L'objectif de notre travail est de faire l'étude et la conception d'un moule pour une patte de carcasse avec un alliage d'aluminium dans le but d'optimiser le coût de production.

Pour cela on a reparti ce travail en Quatre chapitres :

- ❖ Le premier chapitre porte des généralités sur les Matériaux Métalliques et la Fonderie
- ❖ Le deuxième chapitre est axé sur les Procéder de Mise en Forme
- ❖ Le troisième chapitre sera consacré au Moule d'injection
- ❖ Le quatrième chapitre consiste pour la partie calcul de ce mémoire.il comporte le dimensionnement du moule ainsi que la résistance de ses éléments lors des sollicitations auxquelles ils sont soumis ainsi la conception des pièces par logiciel Solid Works
- ❖ On termine ce travail par une conclusion générale.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top. The scroll is outlined in black, and the top-left and top-right corners are rolled up, showing a grey interior. The text is centered within the scroll.

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE :

Electro-Industries Azazga est une entreprise publique de production de matériels électriques industriels.

HISTORIQUE DE L'ENTREPRISE :

Electro-industries est issue de la réorganisation du secteur industriel opérée en Algérie entre 1980 et 2000 qui a conduit en 1999 à la restructuration de l'ancienne ENEL (entreprise Nationale des Industries Électrotechniques) en un certain nombre d'EPE/SPA, parmi lesquelles figure ELECTRO-INDUSTRIES.

L'usine a été réalisée dans le cadre d'un contrat produit en main avec des partenaires allemands, en l'occurrence, SIEMENS pour le produit et FRITZ WERNER pour l'engineering et la construction, l'infrastructure est réalisée par les entreprises algériennes ECOTEC, COSIDER et BATIMETAL.

La production prévue initialement porte sur

- 5000 Transformateurs de 50 à 2000 KVA.
- 50.000 Moteurs asynchrones triphasés de 0,18 à 400 kW.

Entrée en production

Secteur transformateur 1985.

Secteur moteur / alternateur 1986

Ces produits sont fabriqués sous licence SIEMENS jusqu'en 1992.

Evolution à 1998

Extension des capacités de production de transformateurs de 1500 à 5000 unités / an (1991)

Développement de la gamme de moteurs monophasés

Développement de moteurs destinés à la climatisation

Extension verticale de la gamme de transformateurs (2000Kva)

Extension horizontale de la gamme du moteur en types et variantes.

CONJONCTURE :

L'impact de la conjoncture nationale et internationale sur le fonctionnement d'ELECTRO-INDUSTRIES



Au plan national, la signature depuis Septembre 2005 de l'accord d'association avec l'union européenne et la suppression ou l'allégement des droits de douane ont mis ELECTRO-INDUSTRIES dans un environnement fortement concurrentiel.

Les produits fabriqués par ELECTRO-INDUSTRIES sont concurrencés par des produits importés bénéficiant de droits de douane favorables.

Au plan international, l'importante augmentation des prix des matières premières notamment le cuivre et les huiles diélectriques contribuent à la compression des marges.

Malgré ces contraintes, ELECTRO-INDUSTRIES a continué de connaître une croissance soutenue de son chiffre d'affaire de sa valeur ajoutée et de son résultat net.

COORDONNEE :

Raison sociale

ELECTRO-INDUSTRIES

Forme juridique

ENTREPRISE PUBLIQUE ECONOMIQUE Société par actions SPA

Capital social

4 753 000 000 DA détenus à 100% par le GROUPE ELEC EL DJAZAIR pour le compte de l'ETAT

Président Directeur Général

Mr. BELKACEMI Djamel

Activité principale

Production et commercialisation de transformateurs, moteurs électriques et groupes électrogènes.

Siège social

Route Nationale N°12 DZ-15300 AZAZGA (W TIZI OUZOU)

Nos coordonnées

Tél : 213 26 14 99 71

Fax : 213 26 14 98 00

Patrimoine

Produit	Localisation	Capacité de production installée
Moteurs Électriques	AZAZGA (ALGERIE)	50 000
Transformateurs	AZAZGA (ALGERIE)	5 000

Organisation :

L'organisation d'ELECTRO-INDUSTRIES comprend des structures fonctionnelles et opérationnelles

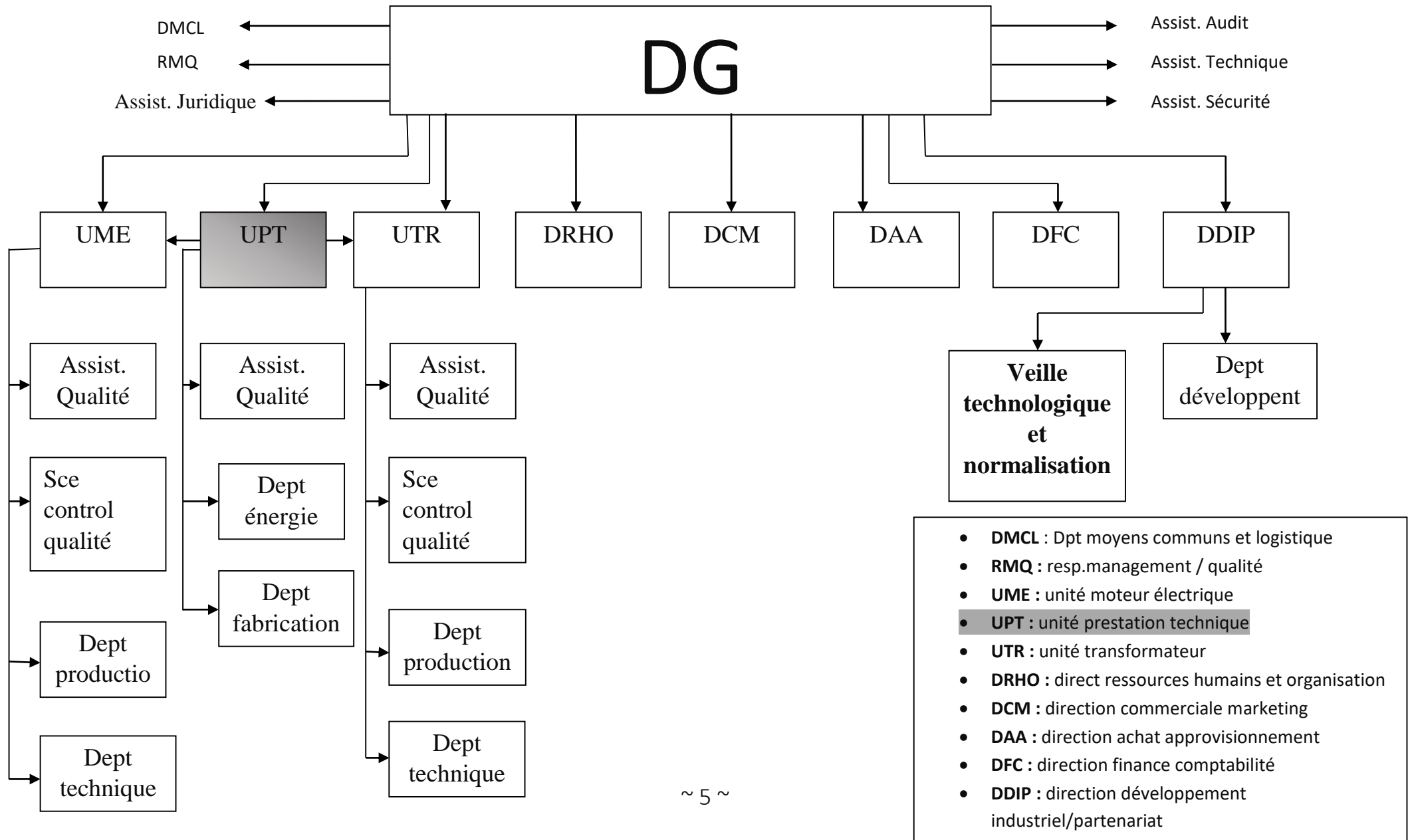
Les ressources humaines d'ELECTRO-INDUSTRIES constituent un facteur de réussite déterminant.

L'entreprise organisée en structures fonctionnelles et opérationnelles garde une flexibilité importante pour répondre au mieux à la fluctuation de l'environnement.

Les effectifs au nombre de 805 (juillet 2017) ont un taux d'encadrement de 15%

Présentation de L'Entreprise

Figure 1 : Schéma de L'Organigramme de L'entreprise



A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The scroll is outlined in black and has a light gray fill. The text is centered within the scroll.

CHAPITRE 01 :
GÉNÉRALITÉS SUR LES
MATÉRIAUX MÉTALLIQUES
ET LA FONDERIE

1. Introduction et Définition des Matériaux Métalliques :

Un matériau désigne toute matière utilisée pour réaliser un objet au sens large. Ce dernier est souvent une pièce d'un sous-ensemble. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface des différentes matières premières, qui sont à la base des matériaux, leur confèrent des propriétés particulières. On distingue ainsi quatre grandes familles de matériaux. En science des matériaux, par exemple, « matériau » est un terme générique employé dans le sens de matière, substance, produit, solide, corps, structure, liquide, fluide, échantillon, éprouvette, etc., et désignant notamment l'eau, l'air, et le sable (dans des tableaux de caractéristiques) ; un matériau viscoélastique est souvent qualifié de « fluide à mémoire »

Parmi ces matériaux, on trouve une classe très importante qui est celle des matériaux métalliques ou simplement les métaux.

Les métaux sont donc, des matériaux dont les atomes sont unis par des liaisons métalliques. Il s'agit de corps simples ou d'alliages le plus souvent durs, opaques, brillants, bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité. Ils sont généralement malléables, c'est-à-dire qu'ils peuvent être martelés ou pressés pour leur faire changer de forme sans les fissurer ni les briser. De nombreuses substances qui ne sont pas classées comme métalliques à pression atmosphérique peuvent acquérir des propriétés métalliques lorsqu'elles sont soumises à des pressions élevées. Les métaux possèdent de nombreuses applications courantes, et leur consommation s'est très fortement accrue depuis les années 1980, au point que certains d'entre eux sont devenus des matières premières minérales critiques.

Les métaux sont classés en deux grandes classes les métaux ferreux et les métaux non ferreux.

Les métaux ferreux : Le Fer, métal tenace et malléable, utilisé pour les grilles de jardin, portails, clôtures. La Fonte, alliage de fer et de carbone, qui utilisée pour les radiateurs, les garde-corps et certaines canalisations. L'Acier doux, mélange de fer et de carbone, utilisé dans la construction sous forme de poutrelles ou de tôles, que l'on retrouve dans des grilles, portes, volets...Tous ces matériaux doivent protégés de l'oxygène et de l'humidité.

Les métaux non ferreux : Le Zinc, qui s'altère peu, est utilisé pour les gouttières, les couvertures de maison. L'Aluminium, qui se retrouve sur fenêtres, portes et portails grâce à sa résistance aux intempéries. Le Cuivre, inaltérable à l'eau et à la vapeur d'eau. L'Acier galvanisé,

acier enrobé, qui est utilisé pour des portes de garages, des rambardes. Sur ces métaux, on est appelé à appliquer une sous-couche appropriée avant la finition. (Meziane, 2017)

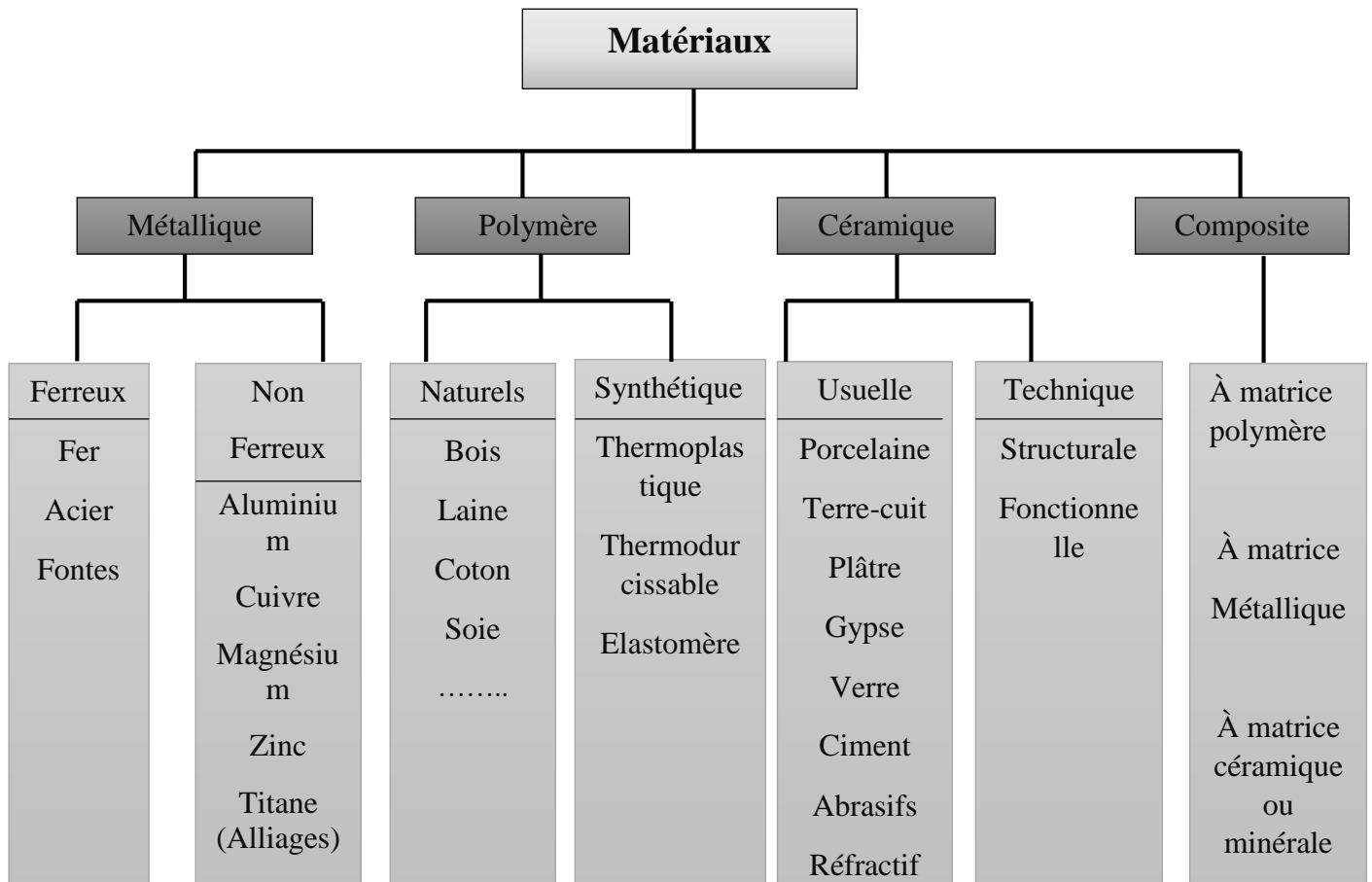


Figure 2: Schéma Principales Familles de Matériaux

2. Désignations, Propriétés et Applications des Matériaux :

2.1 Métaux ferreux (aciers et fonte) :

Un acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone (dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse pour le carbone).

C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers, comme les fontes et les ferroalliages.

Les aciers sont des matériaux contenant en masse plus de fer que tout autre élément et dont la teneur en carbone est inférieure à 1,7%, limite courante qui distingue les fontes. La normalisation (NF EN 10020) retient trois familles principales d'aciers : les aciers non alliés (aucun élément d'alliage ne dépasse 0,6% ; sauf 1,65% pour Mn (Manganèse)), les aciers faiblement alliés et les aciers fortement alliés (aciers inoxydables). De prix compétitif, mieux adaptées au moulage que les fontes, du fait d'une plus grande fluidité à chaud et de température

de fusion inférieures (1200°C contre 1500°C), les fontes sont régulièrement utilisées. Le tableau 1 résume les symboles chimiques et les symboles métallurgiques ainsi que la densité des métaux. (HIDOURI, 2016).

Tableau 1 : Symboles chimiques et métallurgiques, densité des métaux usuels (HIDOURI, 2016)

Corps	Symbole chimique	Symbole métalogique	Densité	Corps	Symbole chimique	Symbole métalogique	Densité
Aluminium	Al	A	2.7	Manganèse	Mn	M	7.2
Béryllium	Be	Be	1.85	Molybdène	Mo	D	10.2
Bore	B	B	2.35	Nickel	Ni	N	8.9
Cadmium	Cd	Cd	2	Phosphore	P	P	1.88
Carbone	C	-	2.24	Platine	Pt	-	21.5
graphite	C	-	3.5	Plomb	Pb	Pb	11.34
Carbone	Cr	C	7.1	Silicium	Si	S	2.4
diamant	Cd	k	8.9	Soufre	S	F	2.1
Chrome							
cobalt							
Cuivre	Cu	U	9	Titane	Ti	T	4.5
Etain	Sn	E	6 à 7.5	Tungstène	W	W	19.3
Fer	Fe	Fe	7.8	Vanadium	V	V	5.9
Lithium	Li	L	0.534	Zinc	Zn	Zn	7.15
Magnésium	Mg	G	1.75	Zirconium	Zr	Z	6.5

2.1.1 Aciers non alliés (aciers au carbone).

2.1.1.1 Aciers non alliés d'usage général (S, E ...)

Ils sont caractérisés par une faible teneur en carbone, ce sont les plus utilisés. Ils existent dans des qualités diverses et des variantes réservées à des usages particulières (moulage, soudage...). La plupart sont disponibles sous forme de laminés marchands (profilés, poutrelles, barres, tôles...) aux dimensions normalisées. Certains sont proposés en semi-fini : pré-laqués, galvanisés, nervurés, ondulés, etc.

Applications : (construction soudée, formage à froid ou à chaud, emboutissage, étirage, laminage, pliage...) : carrosseries, fers et profilés pour le bâtiment, construction navale, plateforme pétrolière, trains, chaudronnerie, ameublement, électroménager, biens de construction...

a. Désignation normalisée

Lettre (S, E ...) suivie de la limite élastique à la traction R_e en MPA ou N/mm^2 . S'il s'agit d'un acier moulé, la désignation est précédée de la lettre G (figure 1.1). Exemple : GE335, GS235.

b. Principales nuances normalisées

Le tableau ci-dessous résume les principales nuances normalisées des aciers non alliés. Les valeurs de R_m , R_e , A% et K_v indiquées varient d'une qualité à l'autre, dépendant des procédés de fabrication, des traitements, des épaisseurs d'un produit à un autre. Le tableau 1.2 donne quelques nuances normalisées. (Guy, 2010).

Exemple : GS 35 NL : Acier de construction, moulé de limite d'élasticité 355 MPA normalisé basse température

Tableau 2 : Désignation des aciers non alliés d'usage général NF EN 10027-1.(HIDOURI, 2016)

Aciers non alliés		GS 355 NL
G	Acier moulé (si nécessaire)	NL
S	S : aciers de construction E : aciers de construction mécanique P : aciers pour appareils à pression B : aciers à béton H : produits plats pour formage L : aciers pour tube M : aciers électriques...	Indication complémentaire : F : formage N : normalisé M : laminage Q : trempé et revenu L : basse température...
355	Limite élastique R_e en MPA	

2.1.1.2 Aciers spéciaux non alliés, de type C :

Ils sont destinés aux traitements thermique (trempe, cémentation) des pièces petites et moyennes, ils sont caractérisés par un ajustement précis de leur composition, une plus grande pureté et des éléments d'addition en très faible quantité ($Mn < 1\%$; $Cr + Ni + Mo < 0,63\%$).

a. Désignation (fonction de la composition chimique) Lettre C suivie du pourcentage de

carbone multiplié par 100 plus au besoin des indications complémentaires : E et R = teneur en soufre, C = formage à froid, S = ressort, D = Tréfilage...

Exemple : GC35E : Acier au carbone, moulé, de 0.35% en carbone, de teneur maximale en soufre

c. Principales nuances normalisées Les caractéristiques mécaniques varient selon les traitements. Le tableau 3 donne quelques nuances normalisées.

- ✓ Aciers à faible teneur en carbone (< 0,3%) : ils sont réservés à la cémentation et aux traitements de surface (catégorie des aciers doux).
- ✓ Aciers à faible teneur en carbone (< 0,3%) : ils sont utilisés pour les trempes et les revenus, dans le cas d'applications, dans le cas d'applications exigeant une plus grande résistance et une certaine tenue à l'usure (catégorie des aciers mi-durs).

Applications : pièces moulées et forgées, arbres, axes, engrenages, visserie...

- ✓ Aciers à haute teneur en carbone (> 0,5%) : ils sont employés pour des applications exigeant : grandes duretés, hautes résistances, tenue à l'usure. Ils ont tendance aux gauchissements et aux déformations après trempe. Ils perdent leurs propriétés aux hautes températures. Ne durcissant pas en profondeur, ils sont surtout utilisés pour des pièces « petites » en volume, ou mince.

Exemples : C55 (XC55), C60, C70 ...

Applications : pièces forgées, ressorts, lames, rasoirs, matrice...

Tableau 3 : Principaux aciers non alliés (1 MPa = 1 N/mm²). (HIDOURI, 2016)

Nuances normalisées	Rm (MPa)	Re (MPa)	A (%)	Kv (J)
Aciers de construction				
S185 (A33)	290-540	175-185	8-18	-
S235 (E24)	320-510	175-235	15-26	23-27
S275 (E28)	380-580	205-275	12-22	23-27
S355 (E36)	450-680	275-355	12-22	23-40
S420	520-680	390-420	17-19	27-40
S460	540-720	430-460	17-19	27-40
Aciers de construction mécanique				
E295 (A50)	440-660	225-295	10-20	27-39
E335 (A60)	540-770	255-335	6-16	27-39
E360 (A70)	640-900	285-360	3-11	27-39
E420	540-900	380-420	3-10	27-39
Pour cémentation				
C22 (XC18)	470-650	290-340	20-22	50
Pour trempé+Revenu et pour forgeage (caractéristique après trempe)				
C35 (XC38)	550-780	320-430	17-19	35
C40 (XC42)	600-800	350-460	16-18	30
C45 (XC48)	630-850	370-490	14-16	25
C50 (XC50)	650-900	400-520	13-15	-
C55 (XC55)	700-950	420-550	12-14	-
C60 (XC60)	750-990	450-580	11-13	-
Pour trempé superficielle				
C40 (XC42TS)	Dureté de la couche superficielle \cong 55HRc			

2.1.2 Aciers faiblement alliés :

Pour ces aciers, aucun élément d'addition ne dépasse 5% en masse (Mn 1%). Ils sont choisis chaque fois qu'une haute résistance est exigée. Ils sont utilisés en l'état ou avec traitement. Le tableau 4 présente une synthèse des principales nuances d'aciers faiblement alliés, leurs caractéristiques mécaniques et les applications qui y sont associées.

2.1.2.1 Désignation normalisée :

Elle est fonction de la composition : pourcentage de carbone multiplié par 100, suivi des symboles chimiques des principaux éléments d'addition classés en ordre décroissant. Puis, dans le même ordre, les pourcentages de ces mêmes éléments multipliés par 4, 10, 100 ou 1000 (voir détails, figure 1).

Exemple : G35NiCrMo16 : Acier faiblement allié, moulé contenant 0,35% de carbone, 4% de nickel et des traces (< 1%) de chrome et de molybdène.

Tableau 4 : Désignation des aciers faiblement alliés NF EN 10027-1. (HIDOURI, 2016)

Aciers faiblement alliés		G 35 NiCrMo 16	
<i>G : Acier moulé (si nécessaire)</i>			
<i>35 : Pourcentage de carbone multiplié par 100</i>			
<i>NiCrMo : Principaux éléments d'addition (dans l'ordre)</i>			
<i>16 : teneur en % des éléments d'addition (même ordre)</i>			
× 4	× 10	× 100	× 1000
<i>Cr, Co, Mn, Ni, Si, W</i>	<i>Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr</i>	<i>Ce, N, P, S</i>	<i>B</i>

2.1.2.2 Aciers de cémentation (%C < 0,2 %)

En plus de la cémentation, ces aciers peuvent recevoir une trempe dans la masse : trempabilité fonction de la composition (voir cours traitements thermiques).

Classement par résistance sous couche croissante : 10NiCr6, (20NiCrMo2-13NiCr14), (20NiCrMo7- 20NiCrMo2), (16NiCrMo13-25MnCr5-20NiCr6).

10NiCr6 est un acier doux comparable à la nuance C22 mais en plus résilient.

nuances			Caractéristiques mécaniques				Pour cémentation	Trempeabilité	Taille des pièces	Exemple d'utilisation propriétés
Famille	désignation	Ancienne désignation	Rm (daN/mm ²)	Re (daN/mm ²)	A%	Kv (daJ/cm ²)				
chrome	38Cr2	38C2	60-95	35-55	14-17	3,5		+	P-M	②
	46Cr2	46C2	65-110	40-65	12-15	3,5		+	P-M	②
	34Cr4	34C4	70-110	46-70	12-15	4		++	P-M	②
	41Cr4	41C4	80-120	56-80	11-14	3,5		++	P-M	①②③④
	100Cr4	100C4	85-125	55-85	10-13	3,5		++	P-M	④⑤
Nickel-chrome	10NiCr5-4	10NC6	60-115	42-62	10-12	8-10	●	++	P	①②③④
	20NiCr6	20NC6	70-110	70-95	8-10	6-8	●	++	P	①②③④
	13NiCr14	14NC11	80-145	65-90	8-10	7-8		+	M	①②③④
	30NiCr11	30NC11	70-110	45-70	12-16	7		++	M	①②③④
Ni-Cr-Mo	20NiCrMo6-4	18NCD6-4	80-150	70-90	8-10	5-6	●	+++	G	①②③④
	20NiCrMo2-2	20NCD2	75-155	60-95	8-11	5-7	●	++	M	①②
	16NiCrMo13	16NCD13	85-155	65-95	8-11	5-7	●	++	M	①④
	34NiCrMo6	35NCD6	80-140	60-100	9-13	4,5		+++	G	①②③
	36NiCrMo16	35NCD16	100-145	80-105	9-11	3-4,5		++++	G	①②③
Chrome-molybdène	30CrNiMo8	30CND8	90-145	70-105	9-12	3-4,5		++++	G	
	31CrMo12	30CD12	90-130	70-90	10-12	4,5	●	+++	G	Pour nitruration
	25CrMo4	25CD4	65-100	40-70	10-16	4,5		++	M	Soudabilité
	34CrMo4	35CD4	70-120	45-80	11-15	4,5		++	G	②③
	42CrMo4	42CD4	75-130	50-90	10-14	3,5		+++	G	①②③④
Nuances diverses	50CrMo4	50CD4	80-130	55-90	9-13	3		+++	G	①②③
	51CrV4	50CV4	80-130	60-90	9-13	3		+++	G	①⑤
	41CrAlMo7-12	40CAD6-12	80-120	60-80	10-14	3		++	M	Nitruration
	28Mn6	28Mn6	50-75	35-45	19-21	4	●	+	P	Soudabilité
	20MnCr5-5	20MC5	90-150	75-95	8-9	4,5		+	M	②⑦
	55Si7	55S7	70-170	50-130	6-13	4		++	P	②⑦
	45SiCrMo6	45SCD6	85-185	60-140	6-13	5		+++	P-M	②⑦
13MnF4	13MF4	78-118	54	9	4					
35MnS6	35MF6	88-108	74	9	3,5					

++++ : très forte
+++ : forte
++ : moyenne
+ : limitée

P : petite : (∅ ≅ 50)
M : moyenne : (∅ ≅ 100)
G : grosse : (∅ ≅ 200)

① : engrenage
② : arbres, axes, tiges, leviers, fusées
③ : boulonnerie haute résistance
④ : roulements
⑤ : ressorts

⑥ : pièces de frottement
⑦ : pièces d'usures
⑧ : pièces de sécurité
⑨ : basses températures
⑩ : pour trempes superficielles

Figure 3 : Principaux aciers faiblement alliés

2.1.2.3 Aciers de cémentation (%C < 0,2 %)

Ces aciers permettent la trempe en profondeur des pièces massives, et sont beaucoup plus performants que les aciers C

Classement par résistance croissantes possibles : 28Mn6, (20MnCr5-38Cr2-46Cr2-20NiCr6-20CrMo4), (41Cr4-30NiCr11-34CrMo4-41CrAlMo7)-(55Si7-45SiCrMo6), (42CrMo4-51CrV4-50CrMo4), (34CrNiMo6-31CrMo12-30CrNiMo8-36NiCrMo16).

2.1.3 Aciers fortement alliés :

Ce type d'aciers est destiné à des usages particuliers (inoxydable...). Ils ont au moins un élément d'addition qui dépasse la teneur de 5% en masse.

2.1.3.1 Désignation normalisée :

Lettre X, symbolisant la famille, suivie des mêmes indications que pour les aciers faiblement alliés. Seule différence : pas de coefficient multiplicateur pour le pourcentage des éléments d'addition (ni10, ni4...) (Figure3)

Exemples: GX6CrNiTi18-11 : Acier fortement allié, moulé, contenant 0,06 % de carbone, 18% de chrome, 11% de Nickel et des traces de titane (< 1%).

Tableau 5 : Désignation des aciers fortement alliés NF EN 10027-1.

<i>Aciers fortement alliés</i>		<i>G X 6 CrNiTi 18-11</i>
<i>G</i>	<i>Acier moulé (si nécessaire)</i>	
<i>X</i>	<i>lettre symbolisant la catégorie</i>	
<i>6</i>	<i>Pourcentage de carbone multiplié par 100</i>	
<i>CrNiTi</i>		<i>Principaux éléments d'addition (dans l'ordre)</i>
<i>18-11</i>		<i>teneur en % des éléments d'addition (même ordre)</i>

2.1.3.2 Aciers inoxydables :

C'est une famille très importante, caractérisée par une grande résistance à la corrosion, à l'oxydation à chaud, au fluage, et subdivisée suivant la teneur en nickel (2,5%). Le tableau 4 donne quelques nuances d'aciers inoxydables et leurs caractéristiques mécaniques.

a. Aciers inoxydables austénitiques (Cr+Ni)

Ces aciers, les plus utilisés, sont les plus résistants à la corrosion (Ni 7%). Leurs caractéristiques sont :

- Tenue aux températures élevées, ductilité élevée, résilience élevée, facile à forger et à souder, usinabilité médiocre.
- Ils peuvent être durcis par corroyage (écrouissage) mais pas par trempe. Leur degré de dilatation élevé et leur conductivité thermique est assez bas.

Applications : (chimie, alimentaire, transport, nucléaire...) : pièces embouties, chaudronnées, cuves, réservoirs, armatures, conduites, vannes, visserie...

b. Aciers inoxydables Ferritiques (au Cr)

Ils sont toujours ductiles, ne durcissent ni par trempe ($C < 0,08\%$) ni par écrouissage ; ils sont faciles à étirer, former, plier, forger, rouler ($Ni < 1\%$) ; les moins résistants à la corrosion.

Propriétés : les plus économiques, usinabilité médiocre, soudabilité moyenne, peu résilients et faible résistance à la traction (R_m) sous températures élevées.

Applications : équipements ménagers, décoration interne, automobiles, mobiliers...

c. Aciers inoxydables martensitiques (0,08 C 1%)

Ils sont résistants aux chocs, durcissent par trempe, sont soudables à chaud, facile à forger, ont une bonne usinabilité et de bonnes caractéristiques mécaniques à température élevée (Ni 7%), et résistent moins à la corrosion que les précédents.

Applications : composants divers (toutes industries), couteaux, ressorts...

d. Aciers inoxydables à durcissement par précipitation

Comme les martensitiques en plus résistants à la corrosion et mécaniquement (après trempe). (Michel, 2005).

2.1.3.3 Autres familles :

- ✓ **Aciers réfractaires (pour températures $650^{\circ} < T (^{\circ}C) < T (^{\circ}C) < 1150^{\circ}C$)** : X12CrNi23-13, X8CrNi25-21, X8CrNiTi18-10, X15CrNiSi20-12 (austénitiques), X10CrAlSi13, X16Cr17 (Ferri tiques).
- ✓ **Aciers à outils** : alliés pour travail à froid ou à chaud (usure, chocs, températures) ; aciers rapides (au Cr+W+Mo+V) : HS6-5-3

Tableau 6 : Aciers inoxydables.(HIDOURI, 2016)

Nuances	Re0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	Kv (J)
(état adouci)	ferritiques			
X2CrNi12	250-280	450-650	18-20	-
X6Cr13	220-240	400-630	18-20	-
X6Cr17	240-260	430-630	18-20	-
X6CrMo17-1	260-280	450-660	18	-
(état adouci)	Austénitiques			
X2CrNi19-11	180-220	460-680	45	60-90
X5CrNi18-10	210-260	500-750	45	60-100
X6CrNiTi18-10	200-250	500-720	40	60-100
X5CrNiMo17-12-2	220-270	500-700	40	60-100
X6CrNiMoTi17-12-2	220-270	500-730	40	60-100
X1CrNiMoN25-22-2	250-290	540-740	40	60-100
(état traité)	martensitique			
X12Cr13	400-450	550-850	12-20	25
X30Cr13	600-650	800-1000	10-15	20
X3CrNiMo13-4	650-800	780-1100	12-15	70
X4CrNiMo16-5-1	550-700	750-1000	14-15	60-100

2.1.4 Influence des éléments d’addition :

Ces éléments sont ajoutés en quantité suffisante, ils augmentent plus ou moins fortement la trempabilité et ont également une influence sur les caractéristiques mécaniques : (Rm , H, A%, K), la résistance à la corrosion, la soudabilité, la coulabilité, la forgeabilité, l’usinabilité...

Le tableau 7 résume les effets des principaux éléments d’addition sur les caractéristiques des matériaux.

Tableau 7 : Influence des principaux éléments d'addition sur les caractéristiques des aciers.(HIDOURI, 2016)

Elément	Trempeabilité	Rr ou dureté	Ductilité (A%)	Résilience (K)	Soudabilité	Usinabilité	Magnétisme	Résistance à la corrosion et à la chaleur
Chrome	++	++	-	+	-		-	++
Cobalt	-	+		+			+	
Manganèse	+++	++	+	+	+	+		
Molybdène	+++	++	+	+	+	+		+
Nickel	++	+	+	+		+	-	+
Phosphore	+	+	-				+	
Silicium	++	+	-		-		-	-
Titane	++	+	+	+		+		+
Tungstène	+++	+	+	+				+
Vanadium	+++	+	+	+	+	+		
+++ : très favorable ++ : assez favorable + : favorable - : négative -- : très négative								

2.1.5 Fontes :

Ce sont des alliages de fer et de carbone tels que leurs teneurs en carbone est comprise entre 2 et 6.69%. Leur grande coulabilité permet d'obtenir des pièces de fonderie aux formes complexes. A cause du pourcentage élevé de carbone qu'elles contiennent, elles sont en général assez fragiles, peu ductiles (inadaptées aux déformations à froid : forgeage, laminage...) et difficilement soudables. La figure 4 donne la méthode de désignation des fontes.

Exemple : EN-GJS-400-18 : Fonte à graphite sphéroïdale, de résistance maximale par traction 400MPa et d'allongement maximal 18%.

Tableau 8 : Désignation des fontes NF 1560.(HIDOURI, 2016)

fontes		EN-GJS-400-18	
EN	préfixe	400	Résistance maximale par traction (en MPa)
GJ	Fonte		
S	L : lamellaire S : sphéroïdale, MW : malléable à cœur blanc MB : malléable à cœur noir N : blanche...	18	L'allongement A%

2.1.5.1 Fontes à graphite lamellaire EN-GJL :

Elles sont les plus économiques, les plus utilisées. Ce sont les fontes de moulage par excellence. Le carbone se présente sous forme de fines lamelles de graphite qui lui donne une couleur « grise ».

Propriétés : bonne coulabilité, bonne usinabilité, grande résistance en compression et grande capacité d'amortissement des vibrations.

Applications : bâtis de machine, supports, carters, blocs-moteur...

2.1.5.2 Fontes à graphite sphéroïdal EN-GJS :

Ce sont les plus utilisées après les fontes à graphite lamellaire, obtenues par addition de petites quantités de magnésium juste avant moulage ; le graphite s'agglomère pendant le traitement sous forme de nodules ou sphères.

Propriétés : bonne ductilité, résilience et usinabilité.

Applications : vilebrequins, arbres de transmission, tuyauteries...

2.1.5.3 Fontes blanches EN-GJN :

C'est une solution de perlite et de cémentite. Le carbone s'y trouve sous forme de carbure de fer (Fe_3C). Possédant une bonne coulabilité, et un aspect blanc brillant, la fonte blanche est principalement utilisée pour les pièces d'aspect les pièces d'usure et la fonderie d'art. Très résistante à l'usure et à l'abrasion, elle est très difficilement usinable. En fonction de la teneur des éléments d'alliages, il est possible d'obtenir des fontes blanches perlitiques, ou martensitiques.

Propriétés : excellente résistance à l'usure et à l'abrasion, un bel aspect, excellente coulabilité, difficilement usinables.

2.1.5.4. Fontes malléables EN-GJMW et EN-GJMB :

Elles sont obtenues par malléabilisation de la fonte blanche –sorte de recuit- et ont des propriétés voisines de celle de l'acier. Elles peuvent être moulées en faibles épaisseurs et sont facilement usinables.

Applications : carters, boîtiers

Tableau 9: Principales fontes.(HIDOURI, 2016)

Nuances	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	HB
Fontes à graphite lamellaire				
EN-GJL-150	100	150	0,8	160
EN-GJL-200	130	200	↓	190
EN-GJL-250	170	250		210
EN-GJL-300	200	300		230
EN-GJL-350	230	350		260
EN-GJL-400	260	400		0,3
Fontes à graphite sphéroïdale				
EN-GJS-400-15	250	400	15	170
EN-GJS-500-7	320	500	7	210
EN-GJS-600-3	370	600	3	230
EN-GJS-700-2	420	700	2	260
EN-GJS-800-2	480	800	2	300
EN-GJS-900-2	600	900	2	330

2.2 Métaux non ferreux :

Les principales familles, avec leurs alliages sont : l'aluminium, le cuivre, le magnésium, le zinc, le titane et le nickel. La plupart de ces matériaux sont commercialisés sous plusieurs formes ou dans des états métallurgiques différents (brut, recuit, écroui, durci), l'utilisateur choisissant l'état de livraison qui lui convient.

2.2.1 Alliage d'aluminium :

Fabriqués industriellement depuis 1886 à partir des bauxites et de la cryolithe, ces métaux sont les utilisés juste après les fontes et les aciers. Ils sont caractérisés par :

- Bas point de fusion (658°C) ; ductilité élevée (A% 40%) ; assez léger (densité = 2700 Kg/m^3) ; bonne conductivité thermique 1,5 fois celui des aciers, propriétés réfléchissantes.
- Bon rapport résistance/poids, ce qui explique les nombreuses applications dans le domaine des transports, comme l'aéronautique, par exemple.
- Résistance à la corrosion élevée. Le métal se couvre, au contact de l'air, d'une couche d'oxyde protectrice, les éléments d'addition affectent plus ou moins cette résistance.
- Résistance mécanique : elle peut être modifiée par écrouissage ou par recuit (adoucissement).
- **Inconvénients** : faibles résistances à l'usure et à la fatigue. Ces alliages sont assez faciles en mise en œuvre par un grand nombre de procédés : laminage, forgeage, formage, étirage, extrusion, métallurgie des poudres. L'élasticité élevée peut gêner certains usinages. Le coefficient de dilatation important et la grande conductivité

thermique imposent, à cause des dilatations, certaines précautions en soudage et en usinage.(Michel, 2005).

2.2.1.1 Alliage corroyés :

Cette famille, la plus utilisée, comprend tous les produits laminés d’usage courant (barres, profilés, tôles...).

a. Désignation :

Elle est effectuée par un nombre à quatre chiffres, avec EN AW- comme préfixe (A pour l’aluminium, W pour corroyé), éventuellement suivi par le symbole chimique de l’alliage placé entre crochets (figure 5).

a. Exemples :

- ✓ EN AW-5086 [AlMg4] : alliage d’aluminium avec 4 % de magnésium.
- ✓ EN AW-1050A [Al99, 5] : un aluminium pur à 99,5 %.

Alliage d’Al corroyés		EN AW-1050A [Al99,5]	
EN AW	préfixe	0	- aluminium pur : indice de pureté (0 à 9) - alliage : nombre de modifications apportés à l’alliage d’origine (0 à 9), 0 = alliage d’origine
1	Chiffre indiquant la famille de l’alliage 1 : aluminium pur (teneur ≥99%) 2 : Al+cuivre ; 3 : Al+manganèse 4 : Al+silicium; 5 : Al+magnésium 6 : Al+ magnésium + silicium ; 7: Al+zinc; 8 : Al+autres éléments	50	- teneur en aluminium au delà de 99% - numéro d’identification (cas des alliages)
		A	Lettre éventuelle
		[Al99,5]	Symbole chimique éventuel entre crochets

Figure 4 : Désignation des produits laminés- NF EN 573

2.2.1.2 Alliage pour la fonderie :

La plupart des nuances sont faciles à mouler (moule métallique permanent ou moulage en sable) en moyenne ou en grande série et en pièce unitaire.

Inconvénients : grand retrait au moulage (3,5 à 8,5% en volume) qui peut être minimisé par un bon tracé de la pièce.

a. Désignation :

Elle est effectuée par un nombre à quatre chiffres, avec EN AB (C ou M)- comme préfixe, éventuellement suivi par le symbole chimique de l’alliage placé entre crochets (figure 3).

b. Exemple :

EN AC-45400 ou EN AC- $AlSi5Cu3$: Alliage avec 5% de silicium et 3% de cuivre.

Alliage d'Al pour fonderie		EN AC-45400 [$AlSi5Cu3$]
EN	préfixe	45400
A	aluminium	- 21xxx : $AlCu$
C	B : lingot ; C : pièce moulée ; M : alliage mère	- 41xxx : $AlSiMgTi$
1	Chiffre indiquant la famille de l'alliage 1 : aluminium pur (teneur $\geq 99\%$) 2 : $Al+cuivre$; 3 : $Al+manganèse$ 4 : $Al+silicium$; 5 : $Al+magnésium$ 6 : $Al+ magnésium + silicium$; 7 : $Al+zinc$; 8 : $Al+autres éléments$	- 43xxx : $AlSi7Mg$
		- 44xxx : $AlSi10Mg$
		- 45xxx : $AlSi$
		- 46xxx : $AlSi5Cu$
		- 45xxx : $AlSi9Cu$
		- 45xxx : $AlSi (Cu)$
		- 47xxx : $AlSiCuNiMg$
		- 51xxx : $AlMg$
		- 71xxx : $AlZnMg$
$[AlSi5Cu3]$ Symbole chimique de l'alliage		

Figure 5 : Désignation des produits de fonderie- NF EN 1780

Tableau 10 : Alliage d'aluminium.(Michel, 2005)

Nuances	Rm (MPa)	Re (MPa)	observations
Alliage d'aluminium corroyé			
EN AW-1050A[$Al99,5$] (ou 1050A)	65-150	20-130	Chimie, bâtiment, alimentaire, emballage, emboutissage, ménager
EN AW-2014[$AlCu4SiMg$] (ou 2014)	220-460	140-400	Hautes caractéristiques ; aéronautique, pièces épaisses
EN AW-2017[$AlCu4MgSi$] (ou 2017)	225-390	145-260	Mieux à la corrosion que 2014, automobile, rivets, pièces forgées
EN AW-2024[$AlCu4Mg1$] (ou 2024)	220-450	145-400	Plus résistant que 2017 ; tôles épaisses pour usinage ; aéronautique
EN AW-3003[$AlMn1Cu$] (ou 3003)	95-210	35-180	Comme 1050 mais en plus résistant et moins ductile
EN AW-5005[$AlMg1$] (ou 5005)	100-205	35-185	Chimie, bâtiment (façade, couverture), alimentaire, emboutissage
EN AW-5086[$AlMg4$] (ou 5086)	240-345	100-290	Panneau, marine, chemin de fer, citernes routières, cryogénie
EN AW-6061[$AlMg1SiCu$] (ou 6061)	150-290	85-240	Résiste à la corrosion, chimie, alimentaire, pièces assez épaisses
EN AW-7020[$AlZn4,5Mg1$] (ou 7020)	220-350	140-280	Charpentes, structures soudées,, blindage, armement
EN AW-7075[$AlZn5,5MgCu$] (ou 7075)	275-530	145-410	Hautes résistances, boulonnerie, aéronautique
Alliage d'aluminium pour la fonderie			
EN AC- $Al99,5$	80	35	Conductivité électrique, résistance à la corrosion
EN AC- $AlSi5Cu3Mn$	140-280	70-230	Pièces mécaniques, moulage de précision
EN AC- $AlSi5Cu3$	140-230	70-110	Mécanique générale, moulage en coquille
EN AC- $AlSi9Mg$	140-290	210	Souvent utilisés : pièces mécaniques
EN AC- $AlSi12$	150-170	70-80	Souvent utilisés : moulage de précision
EN AC- $AlCu4MgTi$	300-320	200-220	moulage de précision
EN AC- $AlSi7Mg0,6$	250-320	210-240	moulage de précision, aéronautique
EN AC- $AlMg5$	160-180	90-100	moulage de précision, résistant à la corrosion

2.2.2 Alliage de cuivre :

Il existe plus de 200 alliages de cuivre. Les principales familles sont : les laitons (Cu+Zn), les bronzes (Cu+Sn), les cupronickels (Cu+Ni), les cupro-aluminiums (Cu+Al) et les maillechorts (Cu+Ni+Zn). Le tableau 1.7 donne les caractéristiques de ces différentes familles.

a. Désignation

Elle commence par le symbole chimique du cuivre (Cu) suivi des symboles chimiques et teneurs des principaux éléments d'addition, par ordre décroissant (figure 1.7).

b. Exemple :

Cu Zn 27 Ni 18 : Maillechort avec 27% de zinc et 18% de nickel

Alliage de cuivre		Cu Zn 27 Ni 18	
Cu	Symbole chimique de l'élément de base		
Zn, Ni	principaux éléments d'addition (dans l'ordre)	27, 18	teneur en % des éléments d'addition (dans le même ordre)

Figure 6 : Désignation des alliages de cuivre

Laiton = Cuivre+ Zinc	Famille la plus utilisée : l'addition du zinc diminue le prix, augmente la résistance, la malléabilité et la température de fusion. L'addition du plomb augmente l'usinabilité et donne les laitons de décolletage.
Bronze = Cuivre+ Etain	L'étain a un rôle comparable au zinc avec une action plus forte, mais plus couteux, résistant à la corrosion, frottant, apte au moulage.
Cupro-aluminium = Cuivre + Aluminium	Utilisés en fonderie, l'addition d'aluminium améliore les caractéristiques mécaniques et la résistance à la corrosion.
Cupronickel = Cuivre+ Nickel	Très malléables, l'addition du nickel améliore les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la résistivité électrique.
Maillechort = Cuivre +Nickel+ Zinc	On peut les considérer comme des laitons avec addition de nickel, en plus résistants mécaniquement et à la corrosion, mais plus coûteux.

Figure 7: Principaux alliages de cuivre.

2.2.2.1 Principales caractéristiques du cuivre :

Il est plus lourd que l'acier, ($\rho = 8900 \text{ Kg/m}^3$), fond à $1083 \text{ }^\circ\text{C}$; de grande résistance à la corrosion ; de plasticité ou ductilité élevée (A% jusqu' 'à 50%) ; de grande conductivité électrique qui le rend indispensable dans les industries électriques et électroniques ; de grande conductibilité thermique (atout pour le transfert de la chaleur)...

Les cuivres et les alliages ne peuvent pas être traités thermiquement, sauf ceux au béryllium. Cependant, la résistance R_m peut être augmentée par écrouissage à froid et la ductilité restaurée par un revenu. La trempe augmente la plasticité (cas inverse des aciers). Le tableau 8 présente les nuances de cuivre de corroyage, quelques caractéristiques mécaniques et les applications. Le tableau 9 illustre également les mêmes données concernant les nuances pour la fonderie.(Michel, 2005).

2.2.2.2 Laitons :

C'est la famille la plus utilisée. L'addition de zinc (jusqu'à 42%) diminue le prix de base, augmente R_r et $A\%$, ce qui favorise l'emboutissage ($A\% = 60\%$ avec 31% de Zn), et diminue la température de fusion, ce qui facilite le moulage.

Une addition supplémentaire de Plomb, de 2 à 3 %, augmente l'usinabilité. Les laitons ainsi obtenus (laitons de décolletage) servent de référence pour évaluer l'usinabilité des autres matériaux.

Tableau 11: Alliage de cuivre : produits corroyés.(Michel, 2005)

Nuances	Rm (MPa)	observations
CuZn10	270-450	Couleur proche de l'or ; bijouterie fantaisie ; décoration
CuZn20	330-530	Instruments de musique, canalisations
CuZn33	330-540	Jaune, le plus malléable ; musique ; douilles
CuZn40	360-590	Economique, malléable, serrurerie, sanitaire, architecture
CuZn39Pb2	400-600	Matriçage, découpage, horlogerie, roues, vis
CuZn40Pb3	370-500	Grande usinabilité, peu déformable
CuSn6P	330-700	Bronze phosphoreux, ressorts, membrane et joints élastique
CuSn3Zn9	310-660	Moins couteux, ressorts, joints
CuNi18Zn20	580	Architecture, horlogerie
CuBe2	1380	Hautes résistances mécanique

Tableau 12 : Alliage de cuivre : nuances pour la fonderie

Nuances	Rm (MPa)	Re (MPa)	observations
CuZn19Al6	750	500	Laiton haute résistance, hélices, engrenages
CuZn40	340		Robinetterie (eau ou gaz), siphons
CuAl10Fe2	500-650	180-250	Composants mécaniques : vis, papillons
CuAl10Fe5Ni5	630-600	250-300	Marine : pompes, hélices
CuPb5Sn5Zn5	200-250	90-100	Étanchéité, usinabilité, qualités frottantes
CuS12	240-240	130-150	Qualités frottantes, robinetterie industrielle
CuPb20Sn5	150-180	60-80	Antifriction pour coussinets, charges modérées

3. Elaboration des Métaux :

Les métaux sont des éléments naturels. On les trouve dans le sol, le plus souvent sous forme de minerai, parfois sous la forme de métal (pépites d'or). Lorsqu'on les polit, ils prennent un éclat métallique. Ce sont de très bons conducteurs de d'électricité et de chaleur. Une fois triés, ils peuvent facilement être recyclés.

En incorporant à un métal un ou plusieurs autres métaux ou des éléments non métalliques, on forme des alliages.

La plupart des métaux sont spontanément attaqués par l'oxygène de l'air (oxydés) et transformés en oxydes (la rouille est l'oxyde de fer)

Un métal c'est une matière simple, cristalline ayant un éclat particulier appelé métallique et conduisant la chaleur et l'électricité.

Un alliage c'est un produit de la masse métallique constitué au moins par deux ou par plusieurs éléments chimiques, métalliques ou non.

Dans la plupart des cas les alliages sont complexes étant constitués par plusieurs composants. Une formation d'un alliage a pour objet d'améliorer les propriétés des métaux pour leurs exploitations industrielles.(J. BARRALIS, G. MAEDER, n.d.)

3.1 Eléments chimiques des alliages :

- **Eléments de base** : Ce sont les principaux éléments chimiques qui forment un alliage.
- **Eléments d'accompagnement** : Ce sont les éléments chimiques qui accompagnent un alliage à partir de son élaboration. Leurs teneurs sont limitées par une norme technique. En dépassant cette limite, il s'agit d'un alliage spécial, c.à.d. d'un alliage contenant les éléments d'addition. Au-dessous de cette limite, il s'agit d'un alliage ordinaire.
- **Eléments d'addition** : Ce sont les éléments chimiques qui sont additionnés dans un alliage pendant son élaboration pour former un alliage spécial à des propriétés et caractéristiques particulières. Leurs teneurs inférieurs sont définis par la norme technique.

3.2 Classification des alliages :

D'après le critère de la composition chimique, on distingue les alliages ordinaires et les alliages spéciaux. Il y'a deux groupes principaux des alliages ferreux et ceux non ferreux.

3.2.1 Alliages ferreux :

Sont présentés par les aciers et par les fontes. Il s'agit des alliages constitués par le fer et le carbone, éléments de base, et par les principaux éléments d'accompagnement (Mn, Si, P, S,...) et éventuellement, par les éléments d'addition (Mn, Cr, Ni, Mo,...) Pour constituer un alliage ferreux spécial.

Une appellation d'un tel alliage est dérivée d'après l'élément d'addition dont la teneur est préférentielle.

3.2.2 Alliages non ferreux :

Ils sont classifiés d'après la teneur préférentielle d'un élément de base. Ainsi, distingue-t-on les alliages de cuivre: bronzes (Cu–Sn), laitons (Cu–Zn),..., les alliages d'aluminium: Duralumin, Silumin, les alliages de Zinc, les alliages de Plomb, les alliages d'étain, les alliages de Nickel, etc....

3.2.3 Le Fer et les alliages de fer :

3.2.3.1 Le fer :

Le fer est un élément chimique, de symbole Fe et de numéro atomique 26. C'est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, sous forme pure ou d'alliages.

Le fer pur est un métal de transition ductile, mais l'adjonction de très faibles quantités d'éléments d'additions modifie considérablement ses propriétés mécaniques.

Allié au carbone et avec d'autres éléments d'additions il forme soit les aciers ($\% C < 2,1$) soit les fontes ($2,1 < \% C < 6,69$), dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus les propriétés du matériau.

La présence de fer dans la nature est très rare. Au contraire, il y'a des combinaisons de fer, pour élaborer les fontes et les aciers dont l'exploitation industrielle est beaucoup plus importante que celle du fer. Le fer technique n'est jamais chimiquement pur, il contient toujours des teneurs variables de carbone, de silicium et de manganèse.(J. BARRALIS, G. MAEDER, n.d.)

➤ Caractéristiques fondamentales du fer

Elles sont résumées dans le tableau 13 suivant :

Tableau 13 : Caractéristiques fondamentales du fer.(J. BARRALIS, G. MAEDER, n.d.)

Caractéristiques fondamentales du fer		
Température de fusion	Tf (°C)	1537-1539
Température d'ébullition	Te (°C)	3070
Masse volumique	ρ (Kg/m)	7874
Résistance à la traction	Rm (N/mm)	320-380
Limite d'élasticité	Re (N/mm)	220-250
Allongement à la rupture	A (%)	20-39
Module d'YOUNG	E (N/mm)	200-400

3.2.3.2 Les fontes :

Ce sont les alliages Fe-C avec les éléments d'accompagnement de Mn, Si, P, S,.... Les fontes contiennent de plus les éléments d'addition (Si, Cr, Al...) par rapport au diagramme d'équilibre Fe-C métastable, la teneur minimale en carbone est de 2,1 %. Dans des cas la teneur en carbone est comprise entre 2,8 et 4 %. Le soufre dans la fonte est considéré comme un élément néfaste. Le phosphore (jusqu'à 2 % maxi) est considéré favorablement, il agit à une amélioration de la coulabilité (propriété technologique qui facilite le moulage des pièces de fonderie).

- **Classification des fontes :**

On distingue les fontes suivantes: Fonte grise, fonte blanche, fonte à graphite sphéroïdale, fonte malléable (Ferri tique, perlitique).

- a) Fonte grise (à graphite lamellaire)**

La structure de la fonte grise dépend de la composition chimique et de la vitesse de refroidissement. Les éléments d'addition les plus importants sont le silicium et le manganèse. Une structure de la fonte grise est constituée par la matière métallique et par le graphite lamellaire. Les caractéristiques mécaniques dépendent de la structure et de son état de tension.

- b) Fonte grise (à graphite sphéroïdal)**

C'est une fonte grise spécialement traitée pour l'obtention de la forme de graphite sphéroïdale. La différence de la forme de graphite lamellaire et celle de sphéroïdale se manifeste dans une différence importante des caractéristiques mécaniques : la forme de graphite sphéroïdale supprime l'effet d'entaille ayant la forme lamellaire et de ce fait les caractéristiques mécaniques de la fonte à graphite sphéroïdale sont beaucoup plus favorables.

- c) Fonte blanche**

La structure de cette fonte est constituée par la perlite et par la cémentite primaire. De cela provient une dureté importante comprise entre 400 et 500 HB. La fonte blanche est très dure, fragile et son usinage est possible par une rectification seulement.

- d) Fonte malléable**

C'est un alliage résilient dont l'usinabilité est très favorable. Cette fonte est élaborée par le traitement thermique de la fonte blanche. On distingue la fonte malléable perlitique (à cœur blanc) et la fonte malléable Ferri tique (à cœur noir). Leur obtention dépend du mode

opérationnel de traitement thermique de la fonte blanche dont le but consiste, en principe dans une décomposition du carbure de fer.

3.2.4 Les aciers :

Ce sont les alliages Fe-C avec les éléments d'accompagnement de Mn, Si, P, S. Les aciers alliés contiennent aussi les éléments d'addition et leur appellation est ainsi dérivée d'un élément d'addition préférentiel : acier au manganèse, acier au nickel, etc.... La teneur maximale en carbone est de 1,7% ce que résulte du diagramme fer carbone métastable. Une influence de phosphore et de soufre dans les aciers est très néfaste : ces éléments agissent à la formation des criques et des fissures. De ce fait leurs teneurs dans les aciers sont limitées très strictement par une norme technique.

a) Aciers non alliés

Ce sont les aciers au carbone dont la teneur varie entre 0,1 et 2,1%, mais pratiquement jusqu'à 1,7% seulement. Une augmentation de la teneur en carbone se manifeste par une augmentation de la limite d'élasticité, de la résistance à la traction et de la dureté. Au contraire, les caractéristiques de plasticité diminuent. La soudabilité des aciers devient de plus en plus difficile.

b) Aciers faiblement alliés

Ils contiennent les éléments d'addition dont la teneur inférieure est déterminé individuellement pour chaque élément par une norme technique. Les teneurs supérieures sont toujours inférieures à 5% (d'après AFNOR). Il s'agit des aciers de construction au manganèse, au manganèse chrome molybdène, au chrome manganèse, au chrome vanadium, etc.... Ils sont élaborés pour l'obtention des caractéristiques mécaniques ou technologiques spéciales. Leur appellation est dérivée de la teneur de l'élément d'addition préférentiel

c) Aciers fortement alliés

Ils contiennent au moins un élément d'addition qui atteint la teneur de 5% (d'après AFNOR). Il s'agit d'une part des aciers de construction, d'autre part des aciers à outils. Ils sont élaborés pour l'obtention des caractéristiques mécaniques ou technologiques spéciales.

3.3 Elaboration des alliages de fer :

Une élaboration des alliages de fer est effectuée par les procédés métallurgiques dont les opérations ont pour but deux phases: l'extraction du métal à partir d'un minerai et l'affinage du produit brut obtenu.

La première phase concerne l'élaboration de la fonte brute (appelée la fonte de première fusion) et elle s'effectue dans un haut fourneau. La seconde phase concerne d'une part l'élaboration de la fonte de moulage (appelée la fonte de deuxième fusion) qui s'effectue dans un four appelé le cubilot, et qui est destinée pour la coulée des pièces de fonderie, d'autre part pour l'élaboration des aciers à partir de la fonte brute.

L'élaboration des aciers s'effectue dans un convertisseur ou dans un four et un affinage d'un acier peut continuer dans un four électrique à l'arc ou dans un four à creuset pour l'obtention des aciers de plus haute qualité y compris les aciers alliés. (J. BARRALIS, G. MAEDER, n.d.).

3.3.1 Elaboration de la fonte brute :

3.3.1.1 Caractéristiques générales d'un haut fourneau :

Le haut fourneau (Figure 9) est un four à cuve à axe vertical et à sections circulaires. Il comprend les parties suivantes:

Gueulard: ouverture pour l'introduction de la charge et pour l'échappement des gaz.

Cuve: Tronc de cône évasé vers le bas

Ventre: Partie cylindrique portant les tuyères qui amènent l'air, la partie inférieure porte deux trous, l'un pour l'écoulement de la fonte brute, l'autre pour l'écoulement du laitier. D'après une performance des hauts fourneaux leurs paramètres peuvent être les suivantes:

Hauteur: de 25 à 30 m, diamètre: de 6 à 8 m, **température atteinte:** jusqu'à 2000° C, **coulée:** toutes les 3 à 4 heures, **production:** de 300 à 1200 tonnes par 24 heures, **durée de service:** 20 ans environ, **consommation d'air:** de 1 à 3 millions de m³ par 24 heures.

3.3.1.2 Processus chimique principal dans le haut fourneau :

Les réductions des oxydes de fer (Figure 10) sont des réactions assez complexes. En présence de monoxyde de carbone en excès, nous avons:

- a) à partir de 300° C, production d'oxyde magnétique Fe₃O₄:



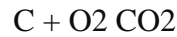
- b) Entre 600 et 700° C, production d'oxyde ferreux FeO et de fer:



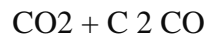
- c) Entre 900 et 1000° C, réduction de l'oxyde ferreux en fer:



Le monoxyde de carbone est produit au niveau des étalages par combustion du coke en présence d'air à une température supérieure à 1000° C:



Et simultanément:



3.3.1.3 Produit du haut fourneau :

La fonte grise et la fonte blanche de première fusion, laitier granulé sous forme de la laine ou de briques, gaz du haut fourneau (utilisé pour chauffer les récupérateurs de chaleur Cowper), une partie de ces gaz peut être dirigée vers les turbines à gaz actionnant des génératrices de courant électrique.

3.4 Elaboration de l'acier :

La majeure partie de la fonte de première fusion produite dans le haut fourneau est destinée à être transformé par les différents procédés d'affinage.

3.4.1 Principe de l'affinage :

Un affinage de la fonte de première fusion pour l'obtention d'un acier consiste d'une part à abaisser la teneur en carbone, en silicium, en manganèse, d'autre part à éliminer les éléments dont on considère comme les impuretés ou les éléments non désirables (soufre, phosphore). Ces procédés d'affinage se font au convertisseur Thomas, au four Martin, au four électrique (à l'arc ou à l'induction)

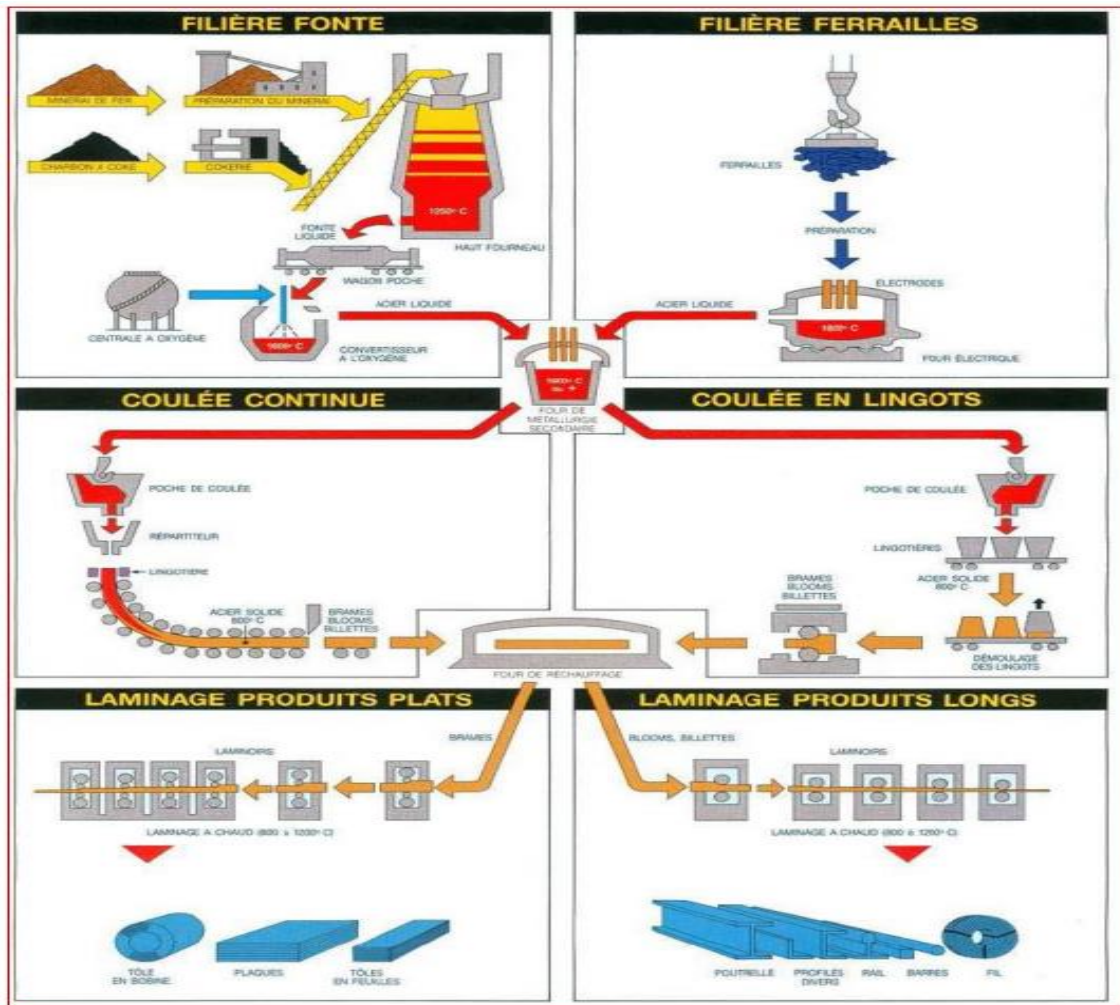


Figure 8: Schéma général d'élaboration des alliages de fer

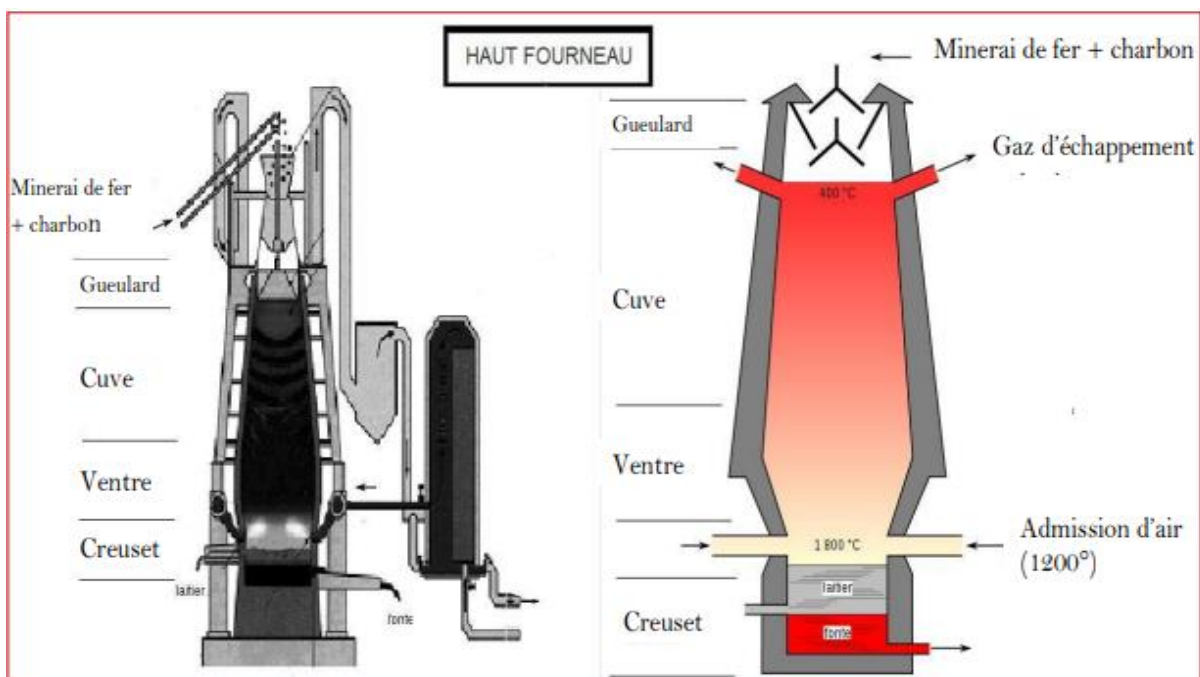


Figure 9: Le haut fourneau et ses installations annexes.

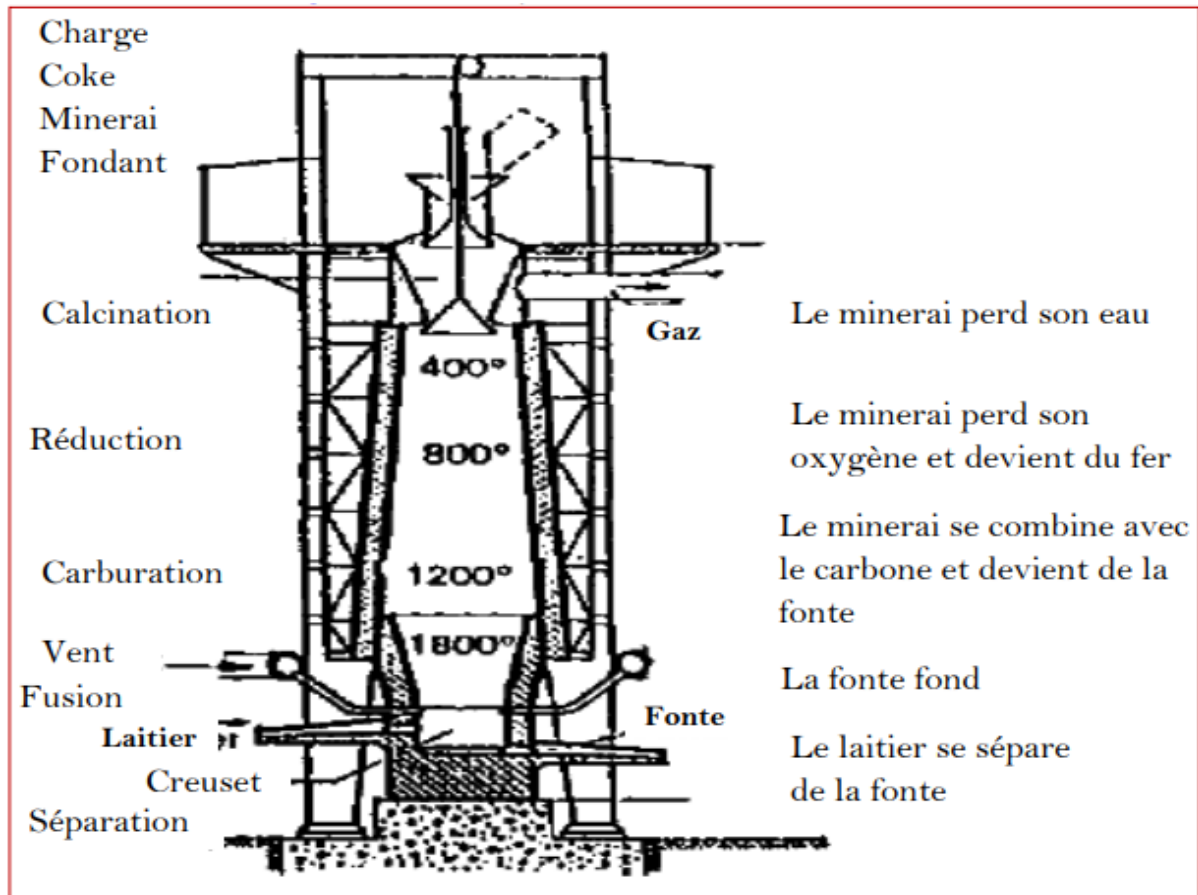


Figure 10: Opération dans le haut fourneau

3.4.2 Le convertisseur Thomas :

C'est une grande cornue en tôle (figure 9) de capacité 20 à 50 tonnes. Elle est revêtue intérieurement de briques réfractaires en dolomie qui est un composé constitué de carbonate de calcium CaCO_3 et de carbonate de magnésium MgCO_3 , et qui convient bien à l'affinage de la fonte phosphoreuse.

De l'air sous pression (1,5 à 2,5 bars) est insufflé au bas du convertisseur par des tuyères. Ce vent est de plus en plus aujourd'hui de l'air enrichi en oxygène. La pression du vent maintient les charges liquides dans le convertisseur.

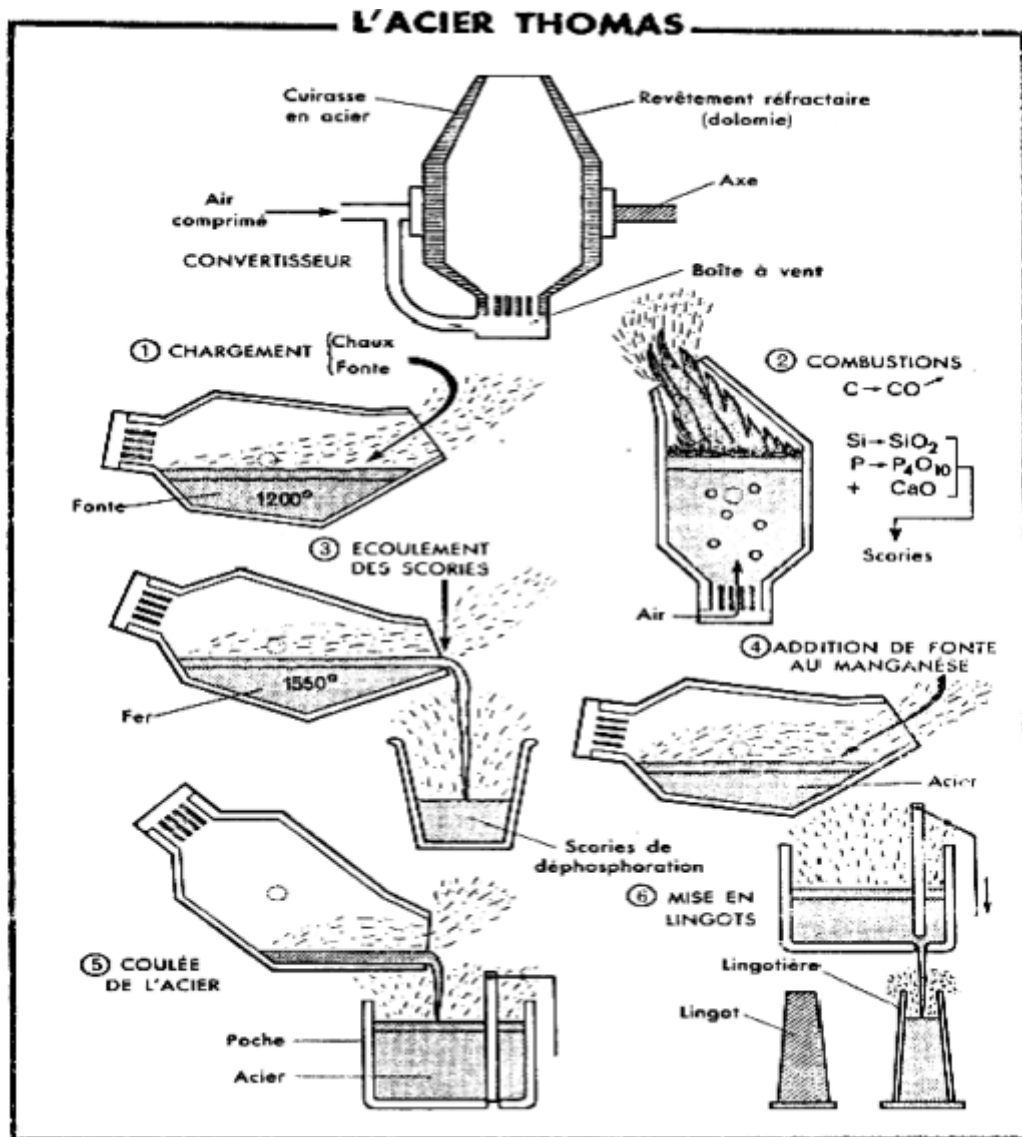


Figure 11 : Coupe d'un convertisseur thomas (l'air est amené par l'axe de rotation creux)

3.4.3 Le four Martin :

C'est un four à fond plat et à voûte, de grande capacité: 50 à 400 tonnes. Il permet d'affiner toutes les fontes, phosphoreuse ou non, et d'utiliser les ferrailles de récupération.

3.4.4 Acier affiné à l'oxygène pur :

L'oxydation des éléments présents dans la fonte est assurée par l'envoi d'oxygène pur dans la fonte liquide

3.4.5 Procédé Kaldo :

Dénoté d'après l'inventeur KALLING en Suède. Il utilise un convertisseur analogue au convertisseur Thomas. Les capacités vont de 30 à 300 tonnes. L'intérieur est garni d'un revêtement réfractaire. Durant la décarburation, le convertisseur est mis en position inclinée de 17°, la cornue est mise rotation à la vitesse de 30 tr/mn (Figure 12). L'oxygène pur est soufflé par la lance refroidie par circulation d'eau, sous une pression de 6 à 12 atmosphères, le soufflage

se fait par-dessus à une distance du bain de 0,3 à 1 mètre. La consommation d'oxygène ($O_2 > 99\%$) est de 60 m³ par tonne d'acier. La lance est constituée de trois tubes concentriques.

Le tube destiné au passage de l'oxygène et les deux autres permettent la circulation de l'eau de refroidissement. La coulée de l'acier s'effectue par le trou de coulée (orifice sur la partie du convertisseur). La réfection du garnissage s'effectue en moyenne après 700 opérations (coulées), les traitements de fumées est une question importante pour tous les procédés d'affinage à l'oxygène, qui nécessitent le dépoussiérage des fumées. Les fumées contiennent environ 10 kg de poussière (fer et oxyde) par tonne de fonte. Elles sont captées à leur sortie du convertisseur dans une hotte qui donne passage à la lance et à une goulotte d'alimentation pour les additions. Les fumées sont refroidies et dépoussiérées dans une tour de lavage, ou filtre électrostatique ou dans un appareil à sacs filtrants,

L'avantage de ce procédé est de permettre d'accélérer les réactions d'affinage par une vitesse relativement élevée qui renouvelle les surfaces d'échange: bain ou laitier avec l'oxygène.(J. BARRALIS, G. MAEDER, n.d.)

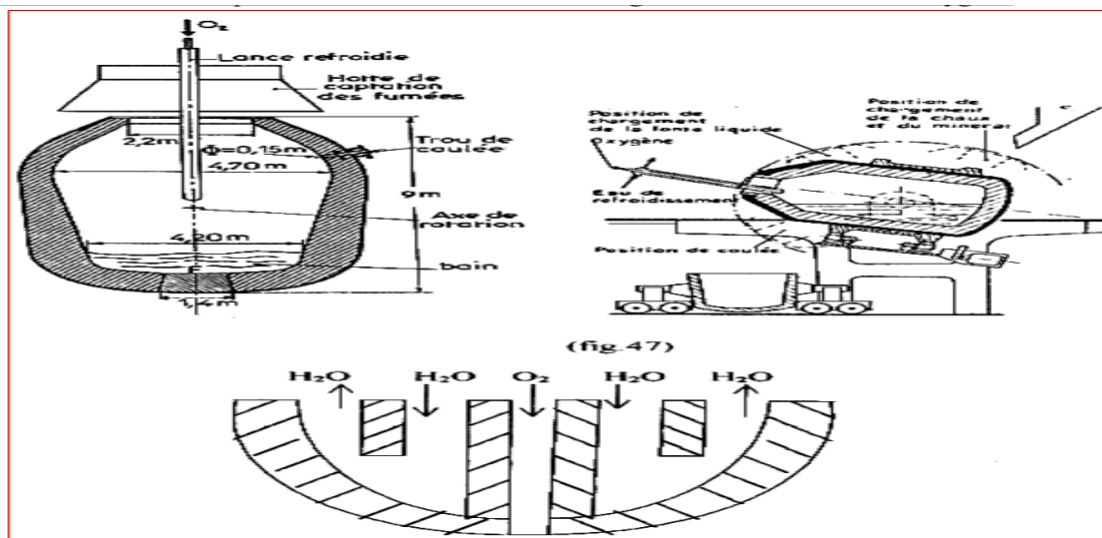


Figure 12: Principe de l'affinage à l'oxygène pur

3.4.6 Procédé OLP :

C'est l'abréviation de : Oxygène – Lance – Poudre. Ce procédé, analogue au convertisseur Thomas, est fait dans un convertisseur qui est une cornue à fond plein. A la surface de la fonte, une lance verticale souffle de l'oxygène et de la poudre de chaux

Ce procédé ayant l'avantage d'avancer la déphosphoration par rapport à la décarburation permet d'obtenir en fin de l'opération des teneurs très basses en phosphore quelle que soit la

teneur en carbone de l'acier. Les teneurs en soufre et en azote sont plus basses que dans n'importe quel autre procédé

3.4.7 Le four électrique :

Le chauffage des ferrailles ou la fonte est assuré par courant électrique. Deux procédés de chauffage électrique sont actuellement utilisés:

- a) L'arc électrique.
- b) Les courants induits.

Dans les fours électriques, l'oxygène nécessaire aux oxydations provient du minerai ajouté aux charges. Les réactions sont alors les mêmes que dans les autres procédés d'élaboration.

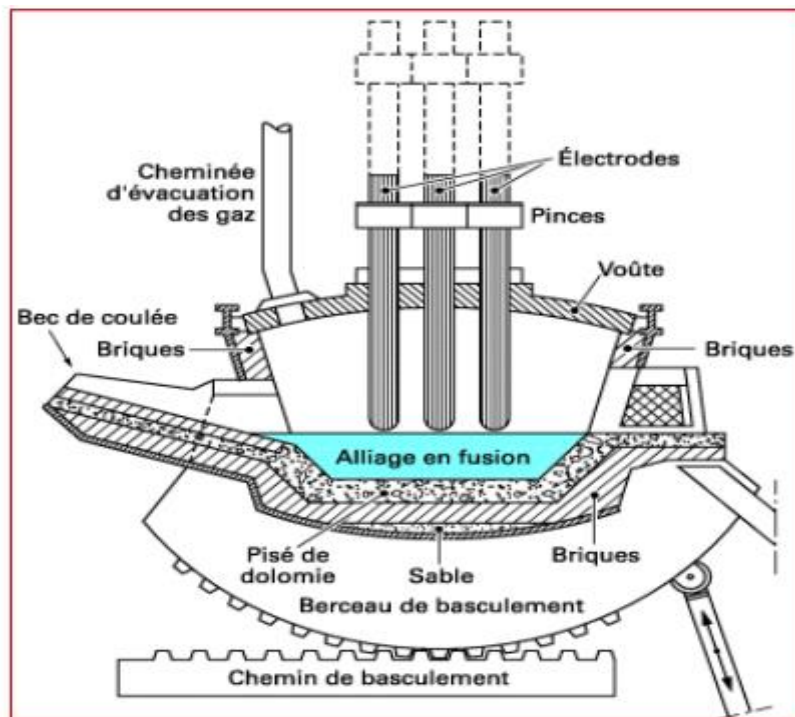


Figure 13 : Fonctionnement du four électrique à l'arc

3.4.8 Le four à l'arc :

C'est une cuve (Figure 11) à revêtement de dolomie dont la capacité peut atteindre 100 tonnes. On utilise industriellement des fours à deux ou trois arcs puissants qui jaillissent entre les électrodes et la charge métallique. Les fours les plus répandus sont du type Héroult. Les électrodes sont élaborées en coke de pétrole ou en graphite.

3.4.9 Le four à induction :

C'est un creuset réfractaire entouré d'un bobinage parcouru par un courant alternatif. La fréquence du courant peut aller de 400 Hz à 20 000 Hz.

Les charges introduites dans le creuset sont donc soumises à un champ magnétique variable et son siège de courants de Foucault induits. Par effet joule, ces courants assurent la fusion du bain. Ce procédé est limité à l'élaboration d'aciers alliés de très bonne qualité. Pour certains aciers, l'affinage a lieu sous vide

3.5 Les métaux non ferreux :

3.5.1 Les métaux non ferreux lourds :

a) Le cuivre

Les minerais de cuivre sont les suivants : Chalcopyrite (CuFeS_2) avec la teneur en cuivre de 80 % et Cuprite (Cu_2O). Les gisements de minerai de cuivre se trouvent principalement aux USA, au Congo, en Espagne, en Russie et en Allemagne. Le minerai est grillé, puis fondu pour obtenir une matte dans un four spécial (Water – Jackett). Cette matte de cuivre est traitée dans un convertisseur

b) Le Plomb

Le minerai de plomb est la galène (PbS). L'extraction se fait par grillage et par réaction, puis par électrolyse. Le minerai contient environ 86 % de plomb et provient de Silésie, d'Espagne, d'Australie et des états Unies.

c) Le Nickel

Les principaux minerais de nickel sont les suivants: la garniérite qui contient 2 à 6 % de nickel, les minerais sulfurés et arsenicaux. Ils proviennent du Canada, de la nouvelle Calédonie, de Russie et d'Espagne. On extrait le nickel par grillage, puis on procède à un affinage par la suite

d) Le Zinc

Le minerai de Zinc est la blende qui contient 65 % de zinc et des impuretés comme le plomb, le cuivre, le manganèse, le cobalt, l'argent, etc. On le trouve en Allemagne, en Suède, en Pologne, en Russie, à l'USA, etc. On l'obtient par grillage du minerai, puis par réduction dans les fours à moufle.

e) L'étain

L'étain se rencontre à l'état natif ou en minerais: la cassitérite et la stannite. Les pays producteurs sont la Bolivie, la Malaisie, la Chine, l'Australie, l'Afrique, le Portugal, etc... Le minerai est enrichi par réduction des oxydes et affiné par la suite. La stannite est une espèce

minérale composée de sulfure de cuivre, fer et étain de formule $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$, pouvant contenir des traces d'argent, zinc, germanium, cadmium et indium.

3.5.2 Les métaux non ferreux légers :

a. L'aluminium

L'aluminium est extrait de la bauxite rouge. Les pays gros producteurs sont la France, la Hongrie, les USA, l'Inde, etc... On traite tout d'abord chimiquement le minerai pour obtenir l'alumine (Al_2O_3) puis, par électrolyse d'une solution d'alumine fondue et de cryolite, on obtient de l'aluminium à 99,5 % de pureté. Avec 4 Kg de bauxite, on obtient 1 Kg d'aluminium en utilisant 18 KWh.

b. Le Magnésium

Les minerais de magnésium sont la carnallite ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), magnésite (MgCO_3), dolomite ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Les lieux sont très nombreux puisque l'écorce terrestre en contient 25 %. La métallurgie en est fort complexe. Deux procédés sont utilisés: L'électrolyse et la réduction thermique

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and horizontal lines at the top and bottom. The corners are rounded, and there are grey shaded areas at the top-right and bottom-left corners, suggesting the scroll is unrolled.

CHAPITRE 02 :
PROCÉDÉS DE MISE
EN FORME

1. Introduction :

La mise en forme des matériaux métalliques, est une opération qui assure la fabrication des pièces, en production de grandes séries à faible coût. Rapportés à la qualité des pièces finales obtenues, les procédés de mise en forme restent la forme la plus économique d'obtention des produits.

Ce chapitre présente l'ensemble des procédés de fabrication des pièces métalliques, puis décrit de manière détaillée les opérations de mise en forme par moulage sous pression. Après avoir précisé la géométrie et la cinématique des différents procédés, le chapitre présente les modalités de la mise en œuvre pratique des procédés de moulage, type de moulage, le choix de moule....

2. Procédés de Mise en Forme :

2.1 Définition et classification :

Les procédés de mise en forme ayant une incidence directe sur les caractéristiques morphologiques et mécaniques des pièces, il est nécessaire de connaître les principes physiques et technologiques de ceux-ci afin de concevoir efficacement nos produits.

Le choix d'un procédé de mise en forme est fonction du matériau retenu et des caractéristiques produit. En effet, chaque procédé dépend d'une famille de matériaux et impose ses règles de tracé. De la même manière, les caractéristiques pièces peuvent imposer un procédé.

On peut classer les procédés dans quatre familles suivant la méthode de mise en forme :

- ❖ **Par enlèvement de matière :** On part d'un bloc, et on crée les formes de la pièce en enlevant la matière à l'aide d'un outil Exemple : usinage...
- ❖ **Par ajout de matière :** On part d'un plateau vide, et on ajoute de la matière pour créer la pièce. Exemple : dépôt de fil abs.
- ❖ **Par transformation (moulage) :** On coule la matière à l'état liquide ou pâteux dans un moule, et on obtient la pièce après solidification. Exemple : Injection plastique ...
- ❖ **Par déformation :** On part d'un matériau en feuille que l'on déforme à l'aide d'un outillage spécifique. Exemple : emboutissage... Parmi ces procédés on s'intéresse particulièrement aux procédés de mise en forme par déformation plastique

2.2 Les procédés de mise en forme des matériaux métalliques :

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine géométrie, afin d'obtenir

un objet ayant les propriétés souhaitées. Les techniques de mise en forme diffèrent selon les matériaux. Pour les métaux les principaux procédés sont:

- Le moulage à partir de l'état liquide.
- Le façonnage à partir d'une ou plusieurs pièces à l'état solide. Cette voie peut, elle-même, se scinder en formage, ou mise en forme sans enlèvement de matière par déformation plastique, usinage, ou mise en forme avec enlèvement de matière, et l'assemblage, où l'on solidarise deux ou plusieurs pièces selon les procédés.
- Le frittage à partir de poudres par disparition des vides inters granulaires à haute température et éventuellement sous pression hydrostatique (compaction isostatique) ou un état de contrainte plus général par forgeage, filage... En raison, entre autres causes, de la classification socio-économique des secteurs industriels correspondants, on distingue dans le formage :
 - Le travail des métaux à l'état massif, pratiqué essentiellement dans les industries métallurgiques : laminage, forgeage, filage, étirage, tréfilage.
 - Le travail des métaux en feuilles, pratiqué comme l'usinage dans les industries mécaniques et dont le principal procédé est l'emboutissage des tôles

Bien que le volume de pièces concernées soit nettement plus modeste, il ne faut pas oublier diverses autres voies permettant de modifier la forme d'un solide et très utiles dans diverses situations, notamment pour la réalisation ou la réparation d'outillages de mise en forme :

- Addition d'un matériau métallique solide à une pièce en le transformant temporairement en ions par électrolyse (électroformage), en liquide (rechargement par les techniques de soudage) ou en gaz (pulvérisation et condensation).
- Passage temporaire d'un alliage métallique par l'état semi-solide entre liquidus et solidus et injection dans un moule

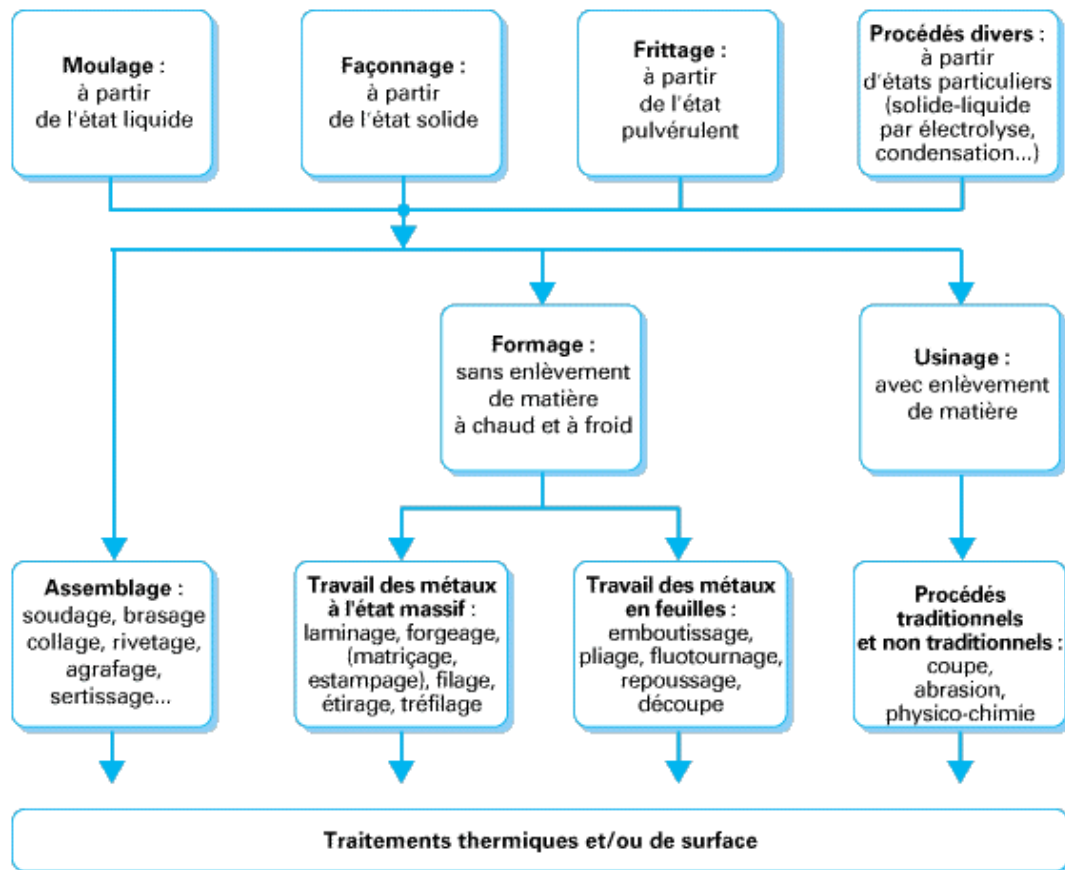


Figure 14: Les différents procédés de mise en forme et de fabrications des matériaux

3. Procédés de mise en forme par moulage :

3.1 Généralité et définition sur le moulage :

3.1.1 Généralité :

La fonderie consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule afin de reproduire une pièce dans ses formes intérieures et extérieures, en limitant autant que faire se peut les travaux de finition après refroidissement. Utilisées dans des secteurs variés (aéronautique, automobile, robinetterie, appareils ménagers, ...) les techniques dépendent du matériau, des dimensions et des caractéristiques géométriques de la pièce à obtenir, mais également, des quantités à produire.

Cette ressource offre une présentation générale de la fonderie, les éléments communs et fondamentaux des différents procédés de moulage sont décrits, les principaux procédés sont expliqués.

Le moulage ou la fonderie : reproduire un objet au moyen d'un moule. Le mot moulage définit aussi l'action de verser dans des moules des métaux en fusion.

3.1.2 Définition :

Le **moulage** est un procédé qui consiste à réaliser des pièces par coulée et solidification d'un matériau dans un moule présentant l'empreinte de la pièce à obtenir. Cette technique est souvent la plus économique pour l'obtention de produits finis ou semi-finis et pour des pièces de formes complexes, des séries de pièces identiques ou pour des pièces massives.

Un **moule** est l'ensemble des éléments appropriés, délimitant l'empreinte, et recevant le métal liquide qui après solidification donnera la pièce. Un moule comprend une ou plusieurs parties qui peuvent être séparées l'une de l'autre (châssis, chapes, coquilles). La surface commune aux deux demi moules porte le nom de plan de joint même si cette surface ne forme pas un plan. On distingue deux types de moules, à savoir les moules non permanents et les moules permanents.(GARA, 2017)

3.2 Les différents types de moulages :

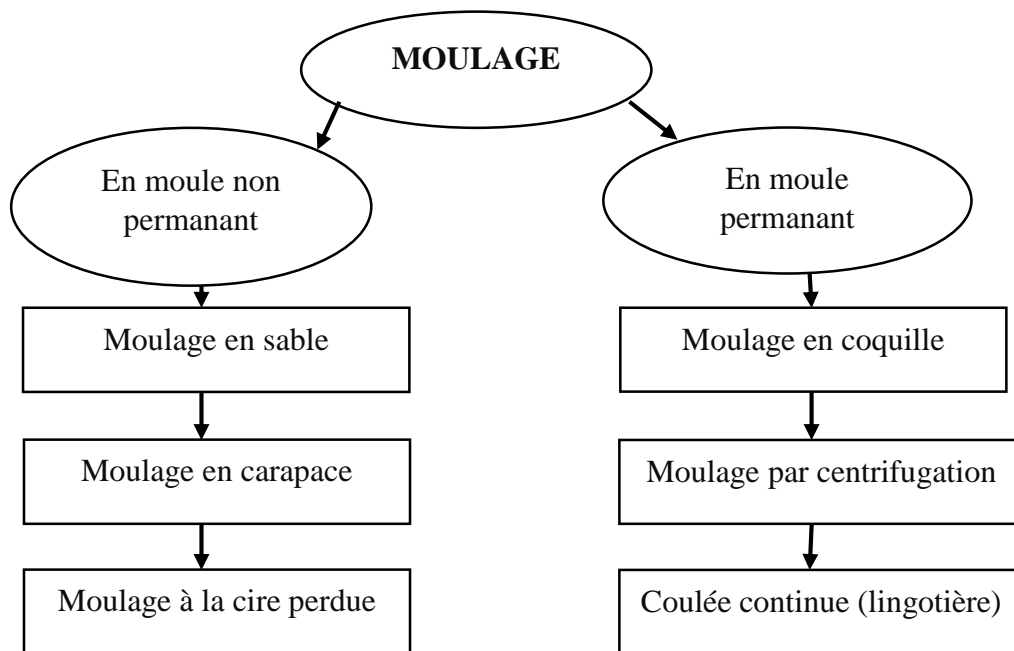


Figure 15 :Schéma les différents types de moulages

3.2.1 Le moule non permanent :

Un moule non permanent est une structure principalement réalisée en matériaux de moulage (généralement en sable), composée d'une ou de plusieurs parties et offrant après assemblage un évidement appelé empreinte finale. Cette empreinte correspond à la pièce brute (en tenant compte du retrait) et aux systèmes de remplissage et d'alimentation. Après coulée de l'alliage, cette structure est désagrégée (décochage) pour extraire la pièce brute. Chaque partie du moule correspondant à une forme de la pièce constitue une empreinte partielle. Une

empreinte donne généralement les formes extérieures de la pièce. Un noyau donne généralement les formes intérieures de la pièce.

3.2.2 Le moule permanent :

Peut servir un grand nombre de fois, il est réalisé en plusieurs parties pour faciliter l'extraction de la pièce. Il est utilisé surtout lorsque la quantité de pièces à couler est importante

Le choix des procédés de moulage dépend du métal à couler. En général la température de fusion du métal coulé doit- être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule.(Dr.S.BENSAADA, n.d.)

Tableau 14: les types de moulage.(Dr.S.BENSAADA, n.d.)

METAUX ET TEMPERATURES DE FUSION	MOULAGE EN SABLE	MOULAGE EN COQUILLE
<p>Fontes : 1100°C a1250°C</p> <p>Aciers : 1200°C a 1500°C</p>	<p>: 1. Moulage en sable avec ou sans noyau. 2. Moulage en cara-pace procédé cro-ning 3. Moulage a la cire perdue.</p>	<p>Moulage impossible sans détériorer les coquilles. Procédé</p>
<p>Cuivre et ses alliages : Laiton : 940C° Aluminium et ses alliages : Alpax : Zamack : Environ 610C°</p>	<p>1. Moulage en sable pour les grosses pièces Exemple : - Cloche en bronze - Hé/ices de bateaux Pour les petites séries</p>	<p>Moulage en coquilles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour les grandes séries - Avec ou sans pièce (prisonnier) insérée au moulage - Par gravitation ou sous pression ex - Carter de boite de vitesses (alpax) - Corps de carburateur (Zmack)

3.3 Moulage en moule permanent (ou en coquille) :

3.3.1 Éléments d'un moule permanent :

Le moule permanent est constitué dans la majorité des cas de deux coquilles métalliques en alliage ferreux. Selon le nombre de pièces prévues, les matériaux utilisés pour la fabrication des coquilles sont :

- La fonte grise (séries de 1000 unités et moins)
- L'acier au carbone de type 1020,1045 ou l'acier allié 4140
- L'acier à outil de type H13.

Le moule contient aussi des tiges d'éjection en acier trempé qui sont montées sur une plaque mobile qui sert au démoulage de la pièce après la solidification et un temps de prise raisonnable pour sortir la pièce sans la déformer. La plaque mobile est reliée à un cylindre hydraulique actionné après le temps de prise. La plaque retourne à sa position initiale à la fermeture du moule soit par le cylindre hydraulique ou par l'intermédiaire d'une contre tige qui repousse la plaque et les tiges lors de la fermeture du moule. Des noyaux mobiles actionnés par des cylindres hydrauliques sont utilisés pour les parties latérales qui ne se démoulent pas dans le sens de l'ouverture ou pour les cavités. Si le moule utilise des inserts pour le surmoulage ou des noyaux en sable, le moule comportera des portées pour placer ces éléments. Le moule et les boîtes à noyaux (si utilisées) appartiennent au client.



Figure 16: moulage en couquille d'une pièce en aluminium

Le dernier élément du moule est l'ajout des poteyages. Ceux-ci sont à base de produits réfractaires isolants (mica, mullite, talc) servant à protéger le moule et ralentir la solidification ou encore lubrifiants et conducteurs de chaleur (graphite, nitrure de bore) servant à accélérer la

solidification et assister au démoulage. Le choix du poteyage isolant ou conducteur permet de définir un profil thermique dans le moule afin de promouvoir la solidification dirigée. Le poteyage est appliqué hors ligne avant le début de la production puis entretenu par application pendant la campagne de coulée. Le poteyage donne un bon fini de surface de 125 micro pouces RMS et plus; une certaine rugosité aide à évacuer l'air à l'interface moule-métal.



Figure 17 : *Éléments d'un moule permanent pour bloc à gradin (procédé basse pression)*

L'extraction de l'air de la cavité est plus difficile en moule permanent qu'en moulage au sable puisque le moule est imperméable. Les moyens de sortie de l'air sont les évents principaux (plus faciles à utiliser en mode gravité), les espaces entre les noyaux ou les tiges éjectrices, l'ajout de fines nervures sur les surfaces de partage du moule. Des trous additionnels peuvent être percés dans le moule, mais ceux-ci doivent être bloqués par des filtres ou des tiges carrées permettant seulement à l'air de passer.

Le fondeur est responsable de la conception du moule qui comprend les caractéristiques suivantes :

- Ajout du retrait de fonderie, car l'aluminium liquide se contracte lors de la solidification et à l'état solide. La contraction du liquide avant la solidification est habituellement compensée par les masselottes
- Ajout des angles de dépouille qui permet de retirer la pièce du moule
- Ajout des surépaisseurs d'usinage

- Conception du système d'alimentation pour remplir avec une vitesse optimisée qui réduit la turbulence et permet de remplir l'empreinte avant le début de la solidification

- Prévion de la solidification dirigée afin de terminer la solidification dans les masselottes, canaux d'alimentation ou encore dans des zones du moulage non- critiques au point de vue mécanique. Celle-ci est obtenue par le placement des canaux d'alimentation, de masselottes et de canaux de refroidissement au besoin

- Ajouts d'évidements pour localiser les noyaux ou les insertions si utilisés

- Conception des boîtes à noyaux s'il y a lieu.

Le fondeur peut s'appuyer sur des logiciels de simulation de remplissage et de solidification pour concevoir le système d'alimentation et masse lottage du moule. Une conception de pièce adaptée à la fonderie dès le départ augmente le degré du succès de la mise en production d'une pièce par moulage en moule permanent. Il est recommandé de :

- Utiliser des sections uniformes

- Éviter les masses de métal isolées loin des canaux d'alimentation

- Utiliser des rayons et limiter les angles vifs

- Tenir compte des axes de démoulage et de la perte de degrés de liberté de conception due au moule métallique

- Tenir compte des tolérances dimensionnelles plus élevées entre points situés de part et d'autre du plan de contact des 2 demi-moules

- Prévoir que le moulage aura des angles de dépouille et des marques faites par les tiges d'éjection.(Guy Morin, ing, 2019)

3.3.2 Thermique du moulage permanent :

Le défi du procédé est d'obtenir un profil thermique de moule assurant la solidification dirigée. On y parvient par :

- Une température de coulée stable établie par une cadence de coulée régulière qui permet de conserver la température du moule stable (autour de 400 °C. Ce cycle est : fermeture du moule, coulée, temps de solidification, temps de prise (assez long pour obtenir un gain de propriétés mécaniques et éviter les déformations au démoulage, mais aussi court pour éviter la

fissuration dans le moule), ouverture du moule et démoulage, opérations d'entre coulée et attente avec moule ouvert si requis

- Un contrôle local de l'extraction de chaleur assuré par le choix des poteyages isolants ou conducteurs
- L'usage de canaux refroidis à l'air comprimé ou par un fluide caloporteur
- Des matériaux plus conducteurs comme un alliage cuivreux (cupro-aluminium afin d'éviter la dissolution du cuivre dans l'aluminium) peuvent être insérés dans le moule à certains endroits.

3.3.3 Avantages et capacités du moulage en moule permanent :

Le moulage en moule permanent offre les meilleures propriétés mécaniques parmi les procédés de moulages à partir du métal liquide surtout les procédés par basculement et basse pression où la turbulence du remplissage est limitée. Ceci est dû à l'absence d'inclusion et au refroidissement rapide du métal. Le procédé permet la coulée de parois minces et épaisses.

Les tolérances dimensionnelles sont meilleures qu'en moulage au sable, car le moule ne change pas de dimension avec le temps. La perte au niveau des tolérances est liée à l'utilisation d'un poteyage neuf en début de campagne et à l'accumulation de poteyage dans l'empreinte du moule pendant la campagne de coulée.

La conception de la pièce doit tenir compte du mouvement des deux coquilles au démoulage. En général le procédé devient plus économique que le procédé au sable à partir de 3000 unités pour les petites pièces. Si la quantité de pièces dépasse les 10 000 pièces, il faut envisager le moulage sous pression si la géométrie est adaptée et que la pièce n'est pas trop épaisse. Un moule permanent peut avoir une durée de vie de 10 000 à 100 000 pièces.

Un autre avantage est l'élimination de défauts dû au sable de fonderie. Finalement le procédé est écologique en ce sens qu'il présente une économie en énergie de préparation du sable et n'émet aucun gaz nocif.(Guy Morin, ing, 2019)

3.3.4 Marchés du moulage en moule permanent :

En résumé le procédé offre les caractéristiques suivantes :

- Économie de la fabrication des moules au sable si la quantité le permet.
- Bonnes tolérances dimensionnelles, bon fini de surface plus rugueux et plan de joint peu visible.

- Optimisé pour les moyennes à fortes séries.
- Usinage requis après le moulage, mais certains détails fonctionnels comme des hauteurs ou longueurs. Tous de détails fonctionnels peuvent être moulés sans usinage.
- Adapté à la production de pièces simples à moyennement complexes avec un degré de liberté de conception plus limité, aussi limité au niveau des alliages.

Le marché du moulage en moule permanent est centré sur les pièces de séries. L'usage structural est possible après traitement thermique. On trouve des pièces commerciales : attaches, boîtiers, pièces d'équipement électrique, attaches structurales, pièces automobiles structurales (piston, tête de moteur, roue en aluminium).

4. Moulage Sous-Pression :

4.1 Éléments d'un moule et de la cellule de production

Le procédé de moulage sous pression se décline en deux principes d'alimentation du métal liquide soit la technologie de chambre chaude et la technologie de chambre froide. Le procédé en chambre chaude utilise un piston directement dans le bain de métal en fusion pour alimenter le moule, tandis que le procédé de chambre froide utilise un conteneur « froid » dans lequel est transféré, à la louche ou par robot doseur, le métal liquide requis pour remplir la pièce (voir Figure 15). L'acier étant dissout par l'aluminium, la production de pièces d'aluminium moulées sous pression ne se fait qu'en chambre froide.

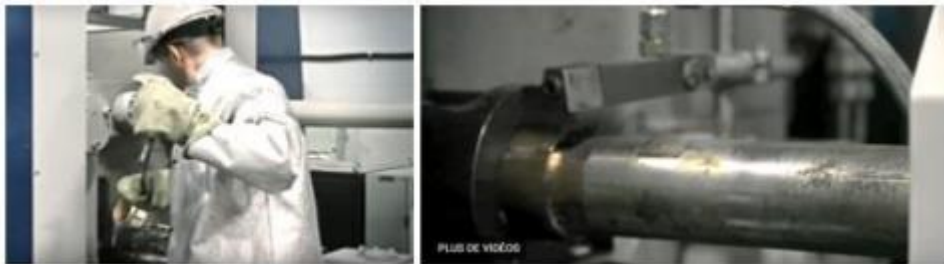


Figure 18: Remplissage manuel du conteneur et début de l'injection

4.2 Description du moule de moulage sous pression :

Le moule sous pression est constitué dans la majorité des cas de deux coquilles métalliques en alliage ferreux. Selon le nombre de pièce prévue les matériaux utilisés pour la fabrication des coquilles sont

- L'acier à outil de type H13 pour les empreintes
- L'acier allié de type 4140 ou acier à outil P20 pour les parties de support

Les tiges d'éjections sont toujours fabriquées avec un matériau plus dur et dans certains cas elles sont traitées superficiellement (par exemple par nitruration) pour limiter le collage de l'aluminium.

Le moule (figure 16) est composé d'une partie fixe du côté de l'alimentation en métal liquide et d'une partie mobile de l'autre. La partie fixe contient le trou d'entrée du métal et une partie de l'empreinte de la pièce. Elle peut aussi avoir des noyaux (fixes ou à tiroir) pour mouler des cavités dans la pièce. La partie mobile contient les tiges d'éjections servant au démoulage en plus des noyaux et de l'empreinte de la pièce. Les moules sont dotés de canaux de refroidissement à l'huile (chauffée) ou à l'eau qui servent aussi à préchauffer le moule au départ dans le cas de l'huile chaude.

Pour la réduction des coûts d'outillage, l'empreinte est souvent constituée d'un insert principal placé dans un cadre plus gros et permanent pouvant produire plus d'un type de pièces. Les inserts ou les moules appartiennent typiquement au client.

Le procédé est bien adapté aux parois minces jusqu'à 1,5 mm. Il est préférable d'utiliser des sections uniformes se solidifiant simultanément. Il n'y a pas de masselottes et les attaques sur les pièces sont petites afin de faciliter la coupe sur des presses d'ébavurage après la coulée. La conception des pièces utilise largement les nervures pour augmenter la rigidité et la résistance mécanique ce qui aide aussi remplir l'empreinte rapidement avant la solidification de l'alliage et à évacuer les gaz. On contrôle la turbulence du métal dans l'empreinte par la vitesse d'injection du métal, la dimension et le positionnement des canaux d'alimentation et des attaques, la forme de l'empreinte (principalement des nervures), et l'utilisation de talons de lavage (petits espace ajoutés au bout du moulage; figure 16) qui servent à équilibrer le mouvement du métal et à capter les inclusions formées au remplissage. Dans le cas du sous vide, les paramètres d'application du vide ont aussi une importance pour le remplissage. (Guy Morin, ing. et David Levasseur, Ph.D, 2019)



Figure 19 : Éléments d'un moule sous pression

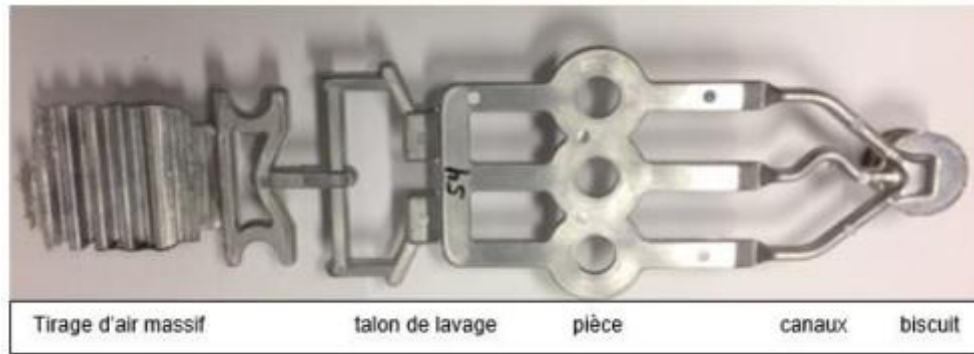


Figure 20: Moulage produit avec le moule de la figure 16

4.3 Description de la presse de moulage sous pression :

La presse de moulage (figures 18 et 19) est constituée de trois unités principales : l'unité d'injection, l'unité de fermeture et les périphériques (robot verseur, bras de lubrification, système de tirage d'air). L'ensemble de la machine est actionnée grâce à un moteur hydraulique.



Figure 21 : Éléments d'une presse sous pression

A - Valves du système de refroidissement du moule et console de programmation

B - Groupe de fermeture, colonnes, plateaux et moule

C - Console d'opération, conteneur, piston, accumulateur et intensification au gaz, four à résistance visible à l'avant.



Figure 22 : Moteur et réservoir hydraulique à l'arrière de la presse

L'unité d'injection est un système hydraulique complexe composée d'un accumulateur d'injection, d'un vérin d'injection, d'un accumulateur multiplicateur, d'un vérin multiplicateur et d'un vérin de positionnement du cylindre d'injection. Ces composantes permettent de moduler la vitesse du piston d'injection en 3 phases afin d'obtenir une vitesse lente pour l'approche (phase 1 du remplissage), une accélération rapide grâce à l'accumulateur d'injection lors du remplissage (phase 2) et la compaction du métal à l'aide de l'accumulateur multiplicateur lors de l'intensification (phase 3). Les systèmes modernes permettent un contrôle précis de la courbe de vitesse, une transition progressive entre la vitesse d'approche et de remplissage; tandis que les systèmes plus anciens sont souvent limités à une vitesse unique pour l'approche et une vitesse de remplissage.

L'unité de fermeture est composée d'un plateau mobile qui contient le système d'éjection et d'un plateau fixe où se trouve l'accouplement avec l'unité d'injection. Un système de fermeture constitué de leviers à genouillères sert à appliquer la force de fermeture sur les plateaux de la machine. Cette force de fermeture doit être supérieure à la force exercée par le métal pendant l'intensification. La force exercée par le métal se calcul selon la formule suivante :

$$F = P_{int} * A$$

Où F est la force exercée par le métal, P_{int} est la pression d'intensification et A est la surface projetée de la pièce incluant le biscuit et les chemins de coulés/talons de lavage.

Typiquement, il est recommandé d'avoir une force de fermeture d'au moins 20 % plus élevée que la force d'ouverture exercée par le métal. La presse est fabriquée avec un bâti solide et l'alignement des plateaux mobile et fixe est assuré par quatre colonnes rigides. Ces colonnes sont placées en traction sous l'effet du système de fermeture et doivent être bien balancées pour favoriser une application uniforme de la force de fermeture.

La presse est munie des connections périphériques pour les systèmes de thermorégulation du moule, du cylindre et du piston d'injection, pour le dosage du métal liquide, la lubrification automatique du moule, le tirage d'air, l'automate programmable, les interfaces d'opération et les éléments de sécurité.

La presse peut aussi contenir ou être reliée à un système d'acquisition de données et de pilotage en temps réel du cycle d'injection (figure 22). Des capteurs avec réponse rapide mesurent la pression et la position du piston d'injection de manières quasi instantanée avec

rétroaction pour le maintien des paramètres à l'intérieur de fourchettes préétablies. L'information peut être enregistrée ou consultée hors ligne ou à distance et/ou utilisée pour le contrôle statistique de la qualité. (Guy Morin, ing. et David Levasseur, Ph.D, 2019)



Figure 23: Chauffage moule et système de pilotage en temps réel (à droite)

Le lubrifiant sert à faciliter le démoulage et refroidir le moule. Cependant cette pratique tend à être minimisée à cause de la plus grande disponibilité de logiciels de simulation permettant de concevoir la thermorégulation du moule de manière plus exacte et par souci d'économie de lubrifiant et d'optimisation de temps de cycle. Le lubrifiant appliqué sur le moule entre les injections est 100 % liquide et ne contient aucune suspension céramique comme en moule permanent; il n'affecte pas les tolérances dimensionnelles. Il est appliqué manuellement ou, le plus souvent, de manière automatique.

Le système de thermorégulation consiste en un chauffe moule avec fluide caloporteur qui sert aussi au refroidissement du moule. Celui-ci peut aussi être relié à un système d'acquisition sophistiqué de température sur le moule pour contrôle en boucle fermée. La cellule peut contenir un bac d'eau pour tremper les pièces après la coulée et une presse d'ébavurage pour couper le système d'alimentation aux attaques. La cellule de production peut être entièrement robotisée allant du chargement du four de maintien, à l'installation d'insert et de l'application du lubrifiant la coupe des attaques.

Dans le cas du procédé sous vide, on retrouve une pompe à vide et un réservoir de vide à proximité (figure 21).



Figure 24 : Pompe et réservoir de vide

4.4 Conception de l'outillage :

Le fondeur est responsable de la conception du moule qui comprend les caractéristiques suivantes :

- Ajout du retrait de fonderie, car l'aluminium liquide se contracte lors de la solidification et à l'état solide. La contraction du liquide avant la solidification est habituellement compensée par la pression d'intensification.
- Ajout des angles de dépouille qui permettent d'éjecter la pièce.
- Conception du système d'alimentation calculé pour remplir l'empreinte avec le minimum de turbulences avant le début de la solidification.
- Conception du système d'éjection.
- Conception de noyaux à tiroirs pour les cavités complexes.

La modélisation du remplissage et de la solidification est largement utilisée pour la conception des moules sous pression dû aux coûts élevés de modification des outillages. Une conception de pièce adaptée à la fonderie dès le départ augmente le degré du succès de la mise en production d'une pièce par moulage sous pression. En général, il faut :

- Utiliser des sections minces uniformes
- Éviter les masses de métal isolées loin des canaux d'alimentation
- Utiliser des rayons et limiter les angles vifs
- Utiliser des nervures au lieu de parois pleines
- Tenir compte de l'axe (quasi unique) de démoulage et la perte de degré de liberté de conception qui y est associée

- Tenir compte des tolérances associées au-dessus et au-dessous du moule qui ne sont pas moulées ensemble
- Prévoir que le moulage aura des angles de dépouille et sera marqué par les tiges d'éjection.

4.5 Avantages et capacités du moulage sous pression :

Le moulage sous pression offre les meilleures tolérances dimensionnelles parmi les procédés de moulage. On peut mouler des détails fins et des petites cavités ainsi que du lettrage d'identification fin. Le moulage sous pression se caractérise par la possibilité de mouler des pièces à parois minces jusqu'à 1,5 mm, entourées de nervures de renforcement. Le fini de surface est excellent et on obtient facilement 60 micro-pouces RMS, mais une valeur de 90 micro-pouces RMS est plus conservatrice. Il est possible de faire des pièces structurales grâce à la structure fine due au refroidissement rapide, à l'usage du sous vide et des alliages primaires à basse teneur en fer. On peut aussi installer des inserts dans le moule et effectuer du surmoulage, par exemple en acier.

Le procédé présente certains avantages écologiques comme l'élimination de moule en sable, la possibilité d'utiliser des alliages recyclés pour fabriquer des pièces commerciales et le minimum de finition après le moulage.

La très forte pression du métal exclut l'utilisation de noyaux en sable et, si on utilise un noyau métallique (tiroir) dans un autre axe, celui-ci doit résister à la poussée du métal; par conséquent être assisté par un système hydraulique plus puissant. On tente donc d'éviter l'usage de noyaux ou encore on utilise un noyau qui est éjecté avec la pièce et enlevé après la coulée. Notons l'usage du noyau de sel pour des cavités complexes, qui est ensuite retiré par nettoyage à l'eau. (Guy Morin, ing. et David Levasseur, Ph.D, 2019)

4.6 Marchés du moulage sous pression

En résumé, le procédé offre les caractéristiques suivantes :

- Prix minimum pour les grandes séries
- Excellente tolérances dimensionnelles et fini de surface
- Usinage minimum requis après le moulage
- Pièces avec un degré de liberté de conception limité dans 2 axes
- Large choix d'alliage possible

Le marché du moulage sous pression traditionnel est centré sur les pièces de série. L'industrie de la petite quincaillerie, attaches, boîtiers (couvercles), pièces automobiles (couvercles de valves, supports de bras d'essuie-glace, carters, petits blocs moteurs).

Les procédés sous vide avec alliages structuraux et le moulage semi solide permettent la fabrication de pièces structurales pour le marché automobile (berceaux moteurs, piliers A et B, structures de portières, pièces de liaison).

5. Conclusion :

Les procédés de mise en forme des métaux cités précédemment, nous permettent l'obtention des produits finis ou semis finis avec une cadence journalière importante.

De plus, pour changer la forme d'un produit, il suffit de changer le moule, ce qui permet aux utilisateurs de cette matière d'obtenir de nouveaux produits avec de nouvelles formes.

Le procédé de moulage sous pression est souvent utilisé dans l'industrie des alliages non ferreux car il permet de réaliser en une opération, à des cadences élevées, des pièces complexes très précises et parfaitement finies.

A decorative border resembling a scroll, with a grey shaded area on the left side and a grey shaded area on the top right corner.

CHAPITRE 03 : CHOIX DE MOULE ET PROCÉDÉ

1. Introduction :

Le procédé de moulage sous-pression consiste à choisir des moules d'injections qui permet de produire des pièces avec volumes importants.

Nous créons un moule dans lequel nous injectons un métal fondu. On obtient des pièces de haute précision qui, le plus souvent, ne requièrent aucune opération de finition.

2. Type de Moule :

En fonction du type de pièce, du nombre d'empreintes, de la position du point d'injection, du type d'injection, des contre-dépouilles, nous aurons des outillages différents :

Tableau 15 : les principaux éléments

Moule	Standard 3 plaques 2 Plaques A dévisage A tiroir
Ejection	Ejecteur Plaque dévêtisseuse Air comprimé
Alimentations	Avec déchets Sans déchets

Le dimensionnement de l'outillage sera fonction de :

- La forme de la pièce
- Les dimensions de la pièce
- La matière de la pièce
- Les tolérances de la pièce
- Des capacités de la machine
- Des cadences de production
- Du budget

3. Les Moule D'injection :

3.1 Définition :

Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièces en grande ou très grande série. Il concerne avant tout les matières plastiques et les élastomères (caoutchoucs) mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas : alliages d'aluminium, de zinc (Zamak) ou encore laitons.

On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés : automobile, électroménager, matériel informatique, mobilier, etc. Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées (les carters de boîtes de vitesses en aluminium sont moulés par injection), mais pour les matières plastiques, les pièces vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (par exemple : éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin,)

3.2 Composition d'un moule d'injection

Un moule est composé de 2 parties bien distinctes :

- Une partie mobile
- Une partie fixe

Ces appellations sont faites en fonctions de leurs utilisations sur une presse à injecter. La partie fixe, où se situe la buse moule, ne se déplace pas. Elle va être en contact avec le ponton lors de chaque cycle. La partie mobile, où se situe l'éjection, va subir un déplacement en translation, d'où leurs nominations.

La zone marquée de rouge est appelé « plan de joint » (pdj). C'est toute la surface où les 2 parties citées précédemment sont en contact. (MPG, (INGERSHEIM), 2008)

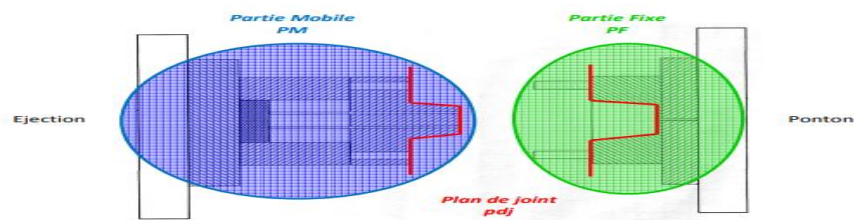


Figure 25 : Les composants de moule

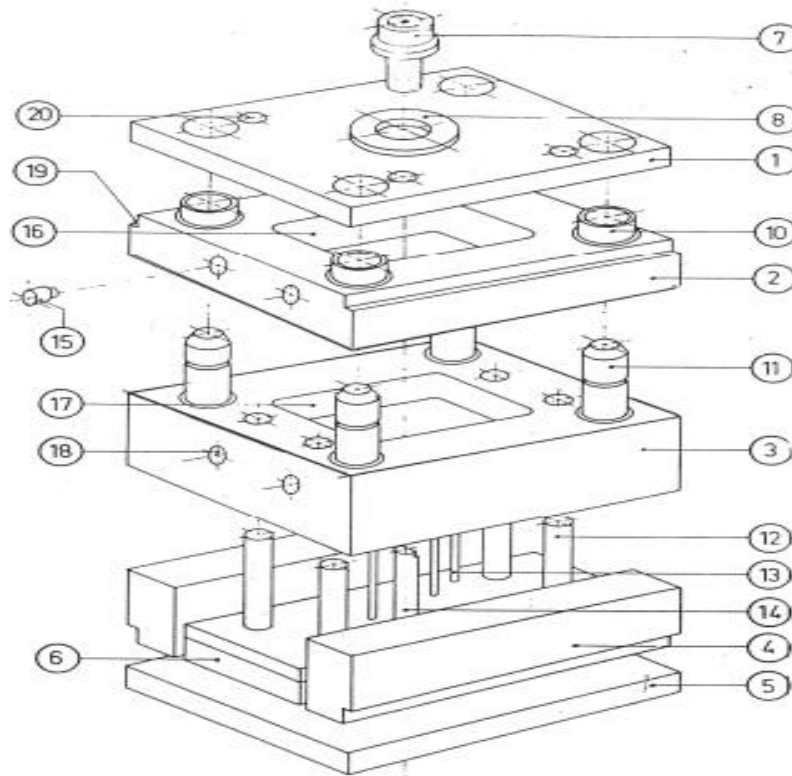


Figure 26 : exemple d'un moule injection

➤ Terminologie des éléments constituant l'outillage

	19	Rainure de bridage
	18	Circuit de régulation thermique
	17	Logement empreinte côté éjection
	16	Logement empreinte côté injection
	15	Raccord rapide de circuit d'eau
→	14	Arrache-carotte
→	13	Ejecteur
→	12	Ejecteur de rappel
→	11	Colonne de guidage
→	10	Bague de guidage
→	9	Plaque porte éjecteurs
	8	Rondelle de centrage
	7	Buse moule
→	6	Contre plaque d'éjection
→	5	Plaque arrière côté éjection
	4	Tasseau
	3	Plaque porte empreinte côté éjection
	2	Plaque porte empreinte côté injection
	1	Plaque arrière côté injection
	Repère	Désignation



Batterie d'éjection

Guidage moule

Tableau 16 : Terminologie des éléments constituant l'outillage

La buse moule : permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte

La rondelle de centrage : Permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine (presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.

Plaque arrière côté injection : Permet de fixer la rondelle de centrage, la buse moule et les bagues de guidage, ainsi que le bridage.

Bague de guidage : Permet le guidage des colonnes de guidages

Plaque porte empreinte côté injection : Permet la fixation de la bague de guidage, contient le circuit de régulation de température.

Colonnes de guidage : Permet de guider la partie mobile PM sur la partie fixe PF pour aligner parfaitement l'empreinte

Plaque porte empreinte côté éjection : Permet la fixation des colonnes de guidage, contient le circuit de régulation

Ejecteur de rappel : Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une éjection non-attelé.

Ejecteurs : Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert

Extracteur de carotte (arrache-carotte) : Permet l'extraction de la carotte, ainsi lors de l'ouverture, la moulée ne reste pas bloqué dans la PF.

Tasseaux d'éjection : Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.

Plaque arrière côté éjection : Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des tasseaux.

Batterie d'éjection : Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et éjecteurs. Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.

Vis de fixations : Permet de fixer la plaque arrière côté injection sur la plaque porte empreinte côté injection

Rainures de bridage : Permet le passage de la bride

Raccord rapide du circuit d'eau : Permet un raccord rapide du circuit d'eau

Circuit de régulation thermique : permet de réguler le moule avec de l'eau.

3.3 Les fonctions d'un moule :

Il existe 4 grandes fonctions pour un moule d'injection :

- **La fonction alimentation** d'un moule doit permettre un acheminement de la matière plastifiée, du cylindre de plastification (fourreau) vers l'empreinte se trouvant dans l'outillage. Le remplissage de l'empreinte doit se faire rapidement et le plus uniformément possible.

- **La fonction mise en forme** doit permettre d'obtenir une pièce conforme au cahier des charges mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

• **La fonction régulation d'un moule** doit permettre une solidification, uniforme et dirigée, de la matière injectée dans l'empreinte et les canaux. La nécessité de cette fonction s'explique pour l'obtention d'une certaine structure plus ou moins cristalline de la matière et pour la recherche de cadences de production élevées.

Elle sera réalisée par la circulation d'un fluide réfrigérant dans les éléments d'empreintes. Nous n'allons pas détailler la fonction régulation à la suite du cours, car c'est un cours à étudier en classe de Brevet Technicien Supérieur.

• **La fonction éjection** doit permettre d'extraire la ou les pièces de l'empreinte, ainsi que les éléments qui assurent l'alimentation de / des pièces (carottes, canaux...)

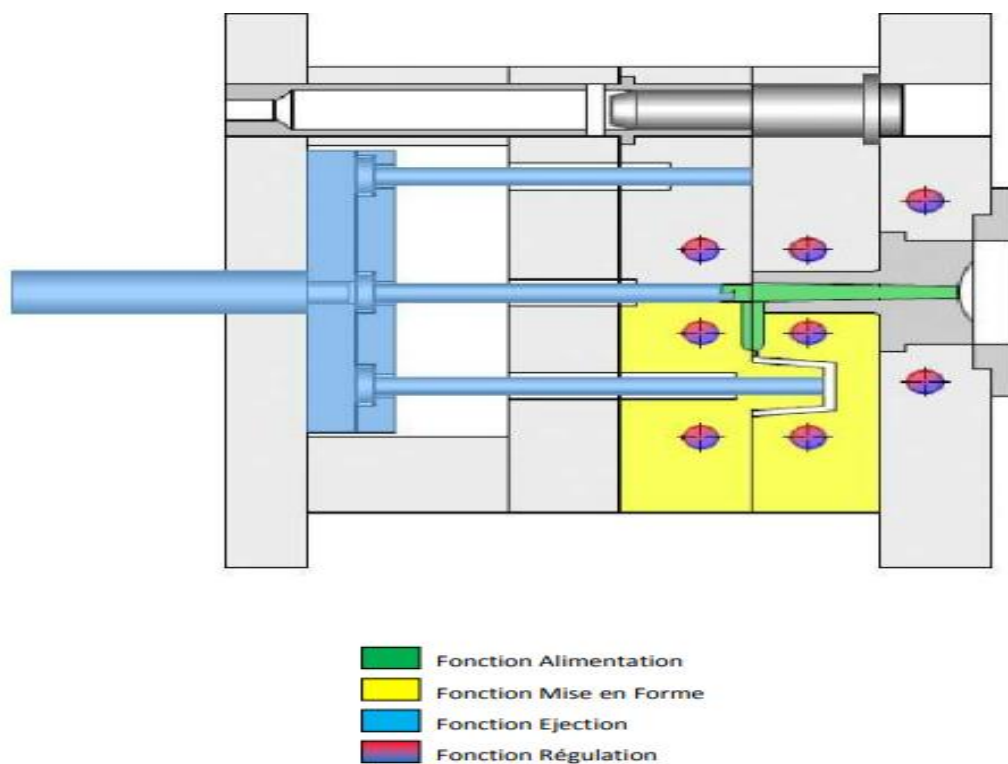


Figure 27 : Les fonctions d'un moule

3.3.1 La fonction Alimentation :

3.3.1.1 Généralité :

Les trois fonctions principales d'un système d'alimentation sont les suivantes :

- ✓ Amener le métal liquide dans l'empreinte ;
- ✓ Faciliter l'évacuation aussi complète que possible de l'air et des gaz contenus dans cette empreinte à fin d'en assurer le remplissage ;
- ✓ Assurer la transmission des pressions nécessaires pour l'obtention d'une bonne compacité.

Le système d'alimentation comprend :

- La pastille (chambre froide) ou la carotte (chambre chaude) (suivent le type de la machine) ;
- Les canaux d'alimentation conduisant le métal jusqu' à l'empreinte dont ils sont séparés par l'attaque ;
- L'attaque qui assure le débit de remplissage ;
- Le talon de lavage (trop plain) destinés à drainer le métal le plus souillé en dehors de la pièce ;
- Le tirage d'air sert à évacue l'air et les gaz en dehors de l'empreinte.
- Seuils : Nombres et emplacement
Forme et section Empreinte : Volume de matière à injecter
Tps de refroidissement
Caractéristiques de la pièce

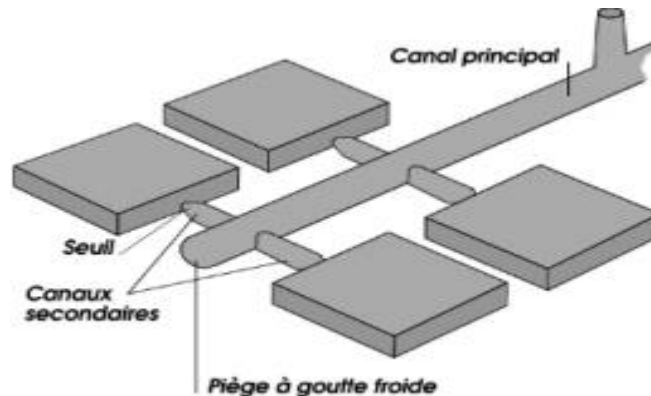


Figure 28 : La fonction alimentation

3.3.1.2 Les types de seuil d'injection :

• **Définition** : Le seuil d'injection est le point où la matière pénètre dans l'empreinte du moule.

- **Seuil en masse ou direct** Utilisé pour les matières visqueuses

A : Très bon remplissage Bonne stabilité dimensionnelle de la pièce

I : Opération de reprise pour enlever la carotte Trace non esthétique sur la pièce

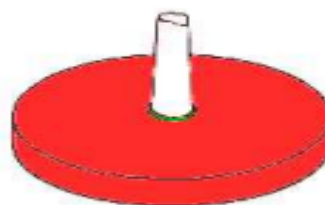


Figure 29 : Seuil en masse ou direct

- **Seuil annulaire** Utilisé pour la réalisation de pièce cylindrique ayant des noyaux

A : Remplissage uniforme de l'empreinte

I : Opération de reprise pour enlever la carotte Déchets importants

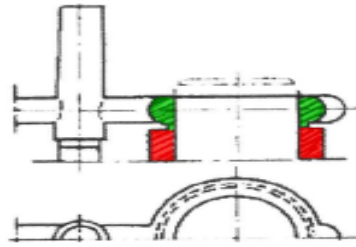


Figure 30 : Seuil annulaire

• **Seuil conique ou en éventail** Utilisé pour les pièces de révolution symétrique avec noyau

A : Permet un écoulement équilibré de la matière autour du noyau Peut permettre un dégrappage automatique

I : Déchets Opération de reprise

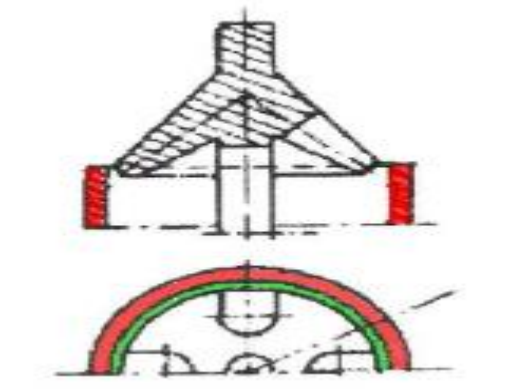


Figure 31: Seuil conique ou en éventail

• **Seuil capillaire** Utilisé avec un moule canaux chauds (sans carotte) ou un moule 3 plaques

A : Démoulage automatique et faible trace sur la pièce

I : Uniquement pour les matières fluide Coût du moule élevé

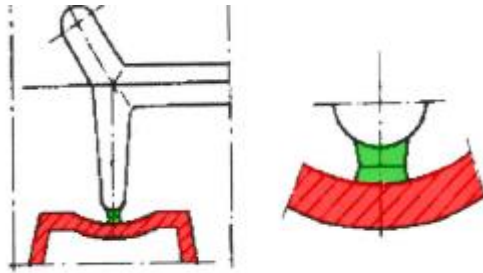


Figure 32 : Seuil capillaire

• **Seuil en nappe** Utilisé pour des pièces plates de grande dimension devant présenter un faible voilage

A : Bonne qualité dimensionnelle

I : Opération de reprise Esthétisme

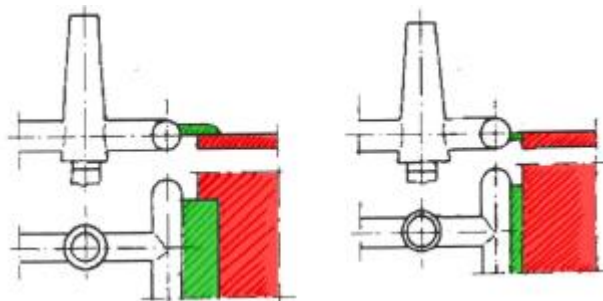


Figure 33 : Seuil en nappe

• **Seuil sous-marin** Utilisé pour les petites pièces et dans un but de dégrappage automatique

A : Dégrappage automatique

I : Uniquement pour les pièces simples car grosse perte de pression

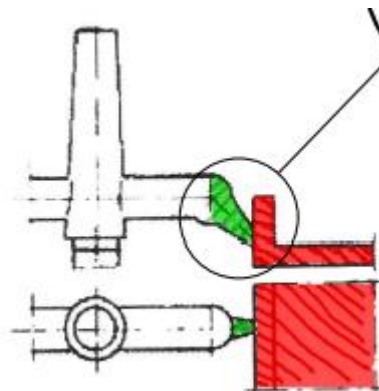


Figure 34 : Seuil sous-marin

• **Seuil à tunnel courbe** Utilisé pour les pièces minces d'aspect

A : D'égrappage automatique

I : Usinage coûteux Ne convient pas à toutes les matières

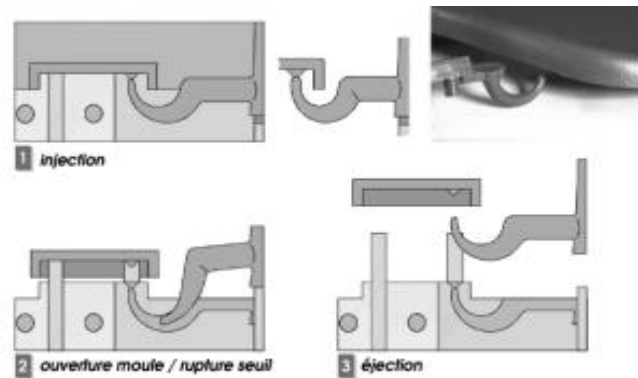


Figure 35 : Seuil à tunnel

➤ **Recommandations pour un positionnement optimum du seuil**

- Toujours chercher à positionner le point d'injection dans la zone présentant la plus grande épaisseur de paroi.
- Ne jamais positionner le seuil près de zones soumises à de fortes contraintes.
- Pour les pièces longues, le seuil sera si possible positionné longitudinalement, de préférence à une position transversale ou centrale, notamment dans le cas de résines renforcées.
- Si le moule possède deux cavités ou plus, les pièces et leurs points d'injection seront disposés de façon symétrique par rapport à la carotte.
- Pour les pièces comportant des charnières intégrées, le seuil sera positionné de telle sorte que la ligne de soudure soit éloignée de la charnière. Les interruptions d'écoulement près des charnières doivent être évitées à tout prix.
- Pour des pièces tubulaires, le fondu devra d'abord remplir la circonférence annulaire à une extrémité, puis la longueur du tube proprement dit. Cette procédure permettra d'éviter l'asymétrie du profil de l'écoulement frontal.
- Les surfaces apparentes ne devant présenter aucun défaut visuel (comme par exemple des marques de référence) pourront être moulées à partir d'un point d'injection situé sur leur face inférieure, en utilisant une alimentation par seuil sous-marins.
- Positionner le point d'injection de façon à éviter autant que possible les interruptions de l'écoulement frontal (pièces complexes, moules à empreintes multiples de formes différentes, etc.), même brèves, durant le remplissage

3.3.1.3 Disposition des empreintes dans un moule d'injection :

C'est un des aspects les plus importants de la conception des moules à empreintes multiples, les règles élémentaires à respecter sont (MPG,(INGERSHEIM), 2008):

- Grouper les empreintes dans un cercle ayant pour centre la carotte
- Le remplissage des empreintes doit être simultanées et à températures identiques
- Les canaux d'alimentation seront toujours les plus courts possibles
- Prévoir suffisamment de place entre les empreintes pour la régulation ainsi que l'éjection
- L'épaisseur des parois entre les différentes empreintes doit être suffisante pour éviter les déformations dues à la pression dans l'empreinte

Un système d'alimentation équilibré permet d'éviter :

- Des contraintes internes excessives
- Un retrait irrégulier
- Des écarts de tolérance importants
- Un démoulage difficile
- Une déformation du produit

3.3.2 Fonction Mise en Forme :

Cette fonction définit les formes de l'empreinte pour obtenir une pièce conforme au cahier de charges fonctionnelles mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

3.3.2.1 Notion de dépouilles et contre-dépouille

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

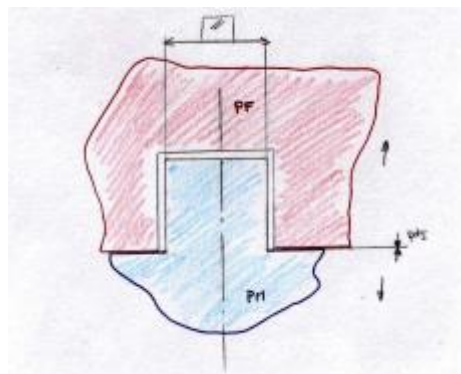


Figure 36 : Forme non dépouillée

• **Forme dépouillée Mettre** des angles de dépouilles facilite le démoulage de l'empreinte. En général les angles de dépouille intérieure sont plus importants que les angles de dépouilles extérieure (retrait) α : angle de dépouille extérieure β : angle de dépouille intérieure

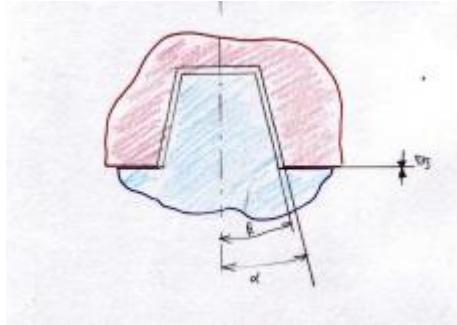


Figure 37 : Forme dépouillée Mettre

• **Forme en contre-dépouille** C'est une surface formante empêchant un démoulage dans une direction perpendiculaire au plan de joint. Lors de la conception d'une pièce on évitera au maximum les surfaces en contre-dépouille car elles entraînent un moule plus couteux et plus complexes.

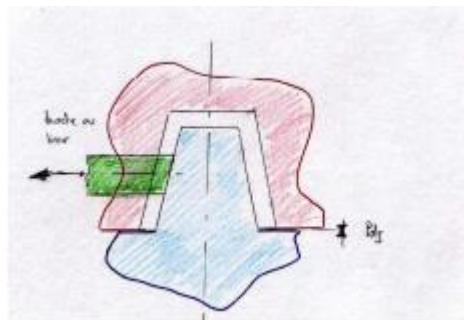


Figure 38: Forme en contre-dépouille

3.3.2.2 Le plan de joint :

Il est matérialisé par un plan tangent commun à la partie fixe et à la partie mobile de l'outillage. Il peut être décalé en fonction de l'outillage (tiroirs, poinçon...). Dans certains outillages on peut en avoir plusieurs (moules 3 plaques)

• Position du plan de joint

Le plan de joint est tributaire de la géométrie de la pièce, parfois imposé par un petit détail de forme (arrondi, chanfrein...)

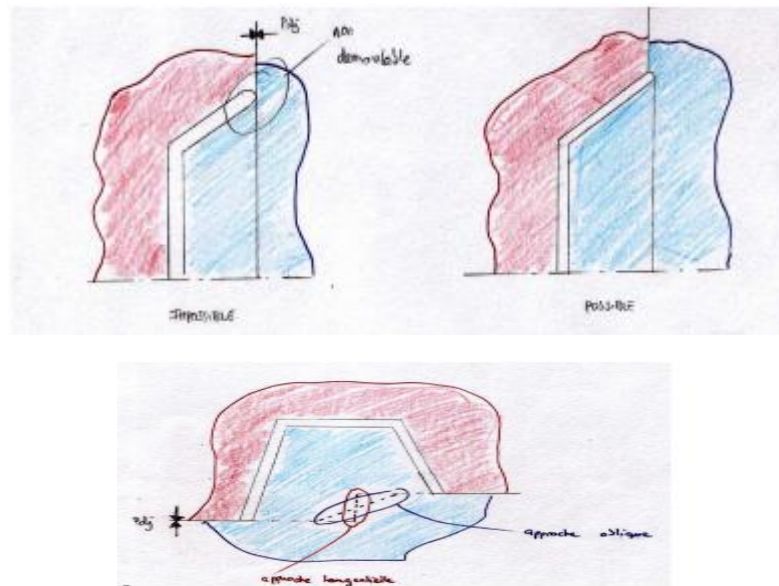


Figure 39: Position du plan de joint

Remarque : pour un plan de joint décalé, il faut faire attention aux approches tangentielles lors de la fermeture de l'outillage. Elles engendrent des frottements, des usures, des fuites de matières plastiques, des bavures. Il est préférable si possible les approches obliques.

3.3.2.3 Les lignes de joint :

Les lignes de joints sont des « marques » sur la pièce démoulée qui résultent du contact de différents éléments de l'outillage participant au morcellage de l'empreinte. Il existe 3 types de lignes de joints :

- Les extérieures
- Les intérieures
- Les auxiliaires

• La ligne de joint extérieure ou externe :

On appelle ligne de joint extérieure la trace que le plan de joint de l'outillage laisse sur les pièces. Elle résulte du contact entre la partie mobile et la partie fixe de l'outillage. Elle sera toujours une ligne dite « fermée ». Plus l'outillage sera soigné et de qualité, moins la ligne de joint sera visible.

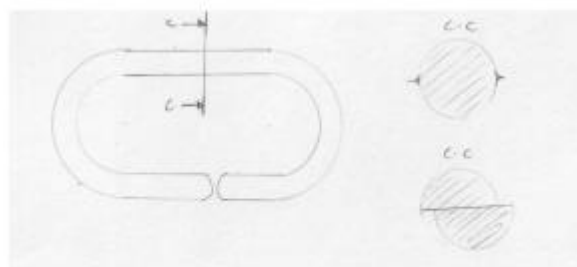


Figure 40 : La ligne de joint extérieure ou externe

- **La ligne de joint intérieure ou interne :**

On appelle ligne de joint interne la trace que laissent les éléments de formes moulantes tels que les broches, les poinçons et les noyaux.

Lorsque ces derniers viennent en contact avec la partie opposée du moule (fermeture)

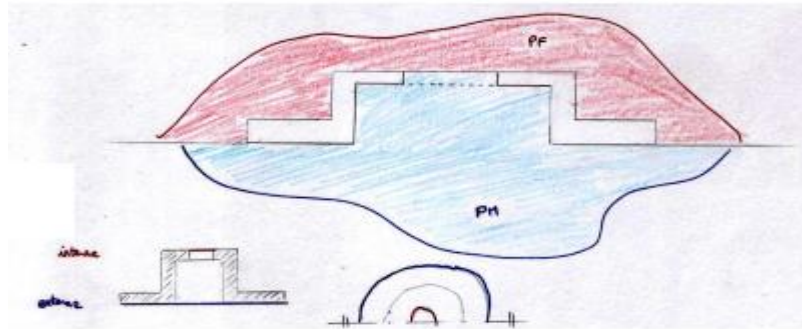


Figure 41: La ligne de joint intérieure ou interne

- **La ligne de joint auxiliaire :**

On appelle ligne de joint auxiliaire la trace laissée par les éléments moulants tels que les tiroirs et les cales pentées.

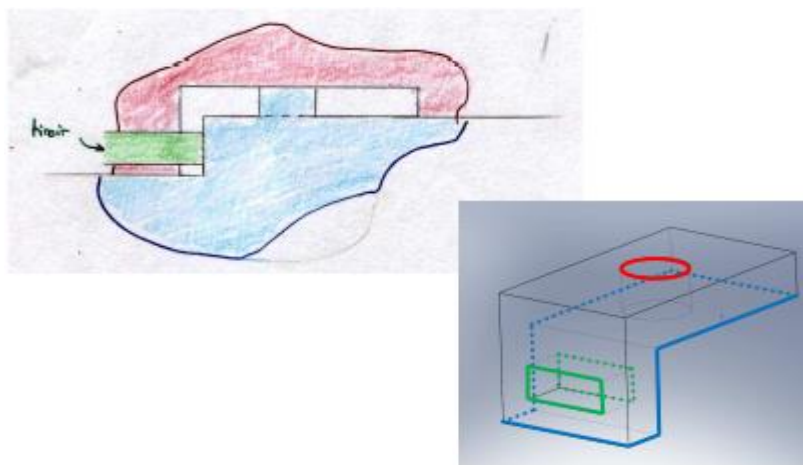


Figure 42 : La ligne de joint auxiliaire

3.3.2.4 Eventation des empreintes :

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

En général, ces événements sont placés sur le plan de joint de l'outillage, autour des broches d'éjection, des noyaux, des éléments rapportés. En fonction de la forme de la pièce, de

l'emplacement du point d'injection et de l'écoulement de la matière dans l'empreinte, les événements seront positionnés différemment. (MPG, (INGERSHEIM), 2008)

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

- Un retardement du remplissage de l'empreinte
- Une pression prématurée sur le polymère
- Des brûlures de polymère (effet diesel)

L'effet diesel : c'est une auto-inflammation de l'air ou de gaz monomère n'ayant pas réussi à s'échapper du moule, provoquant sur les pièces des traces noires (matière carbonisée). Elles se trouvent en général :

- Proche des lignes de soudures
- Dans les alvéoles borgnes
- Sur les bords des pièces

Voici les 2 types d'éventassions les plus couramment utilisés :

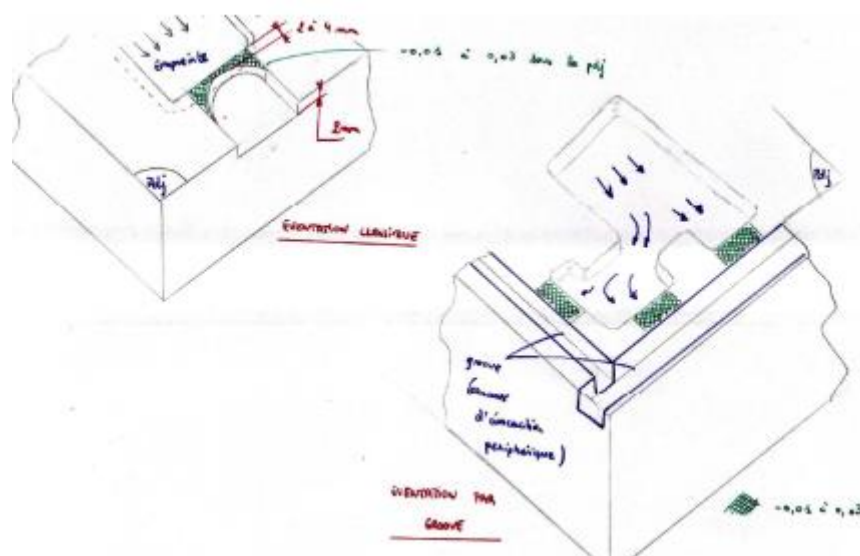


Figure 43: 2 types d'éventassions les plus couramment utilisés

3.3.3 Fonction Ejection

Fait partie du dispositif d'éjection, tous éléments de l'outillage qui permettent d'extraire la ou les pièces en matière plastique de l'empreinte, ainsi que les éléments qui assurent l'extraction des déchets (carottes, canaux...).

3.3.3.1 Les éjecteurs

• Leurs formes : Circulaire autant que possible (facilité d'usinage) A lame si l'appui se trouve sur un rebord ou à l'extrémité d'une nervure

Tubulaire si nous sommes en présence d'une forme circulaire creuse à démouler

• **Le nombre** : Le plus grands nombres possibles afin d'assurer une extraction sans problème

Le minimum afin de réduire les coûts de l'outillage

• **Le positionnement** : Sur des surfaces non visibles et non fonctionnelles

A proximité des endroits où l'empreinte est profonde (nervure, bossage, rebord...)

A proximité immédiate des contre-dépouilles ou des surfaces ayant des dépouilles faibles
Proche des seuils sous-marins

• **Le guidage** Un guidage long est préconisé, soit environ 3 à 4 fois le diamètre de l'éjecteur

• **La longueur** : Chaque éjecteur est ajusté individuellement par rapport à la surface de l'empreinte

• **La course** : Elle sera au minimum égale à la profondeur maxi de l'empreinte à démouler ou de la longueur du noyau

• **Sécurité** : Afin d'éviter toute détérioration de l'outillage, il est impératif qu'à la fermeture du moule le dispositif d'éjection soit rentré.

Les systèmes permettant le retour de la batterie d'éjection sont :

- Les ressorts
- Les vérins
- Les éjecteurs de remise à zéro
- Les capteurs

• **Choix du dispositif d'éjection** : En fonction de la forme de la pièce, du nombre de pièces, des spécifications du cahier des charges pièce, on choisira un type d'éjection différent :

- Ejecteur cylindrique ou tubulaire
- Ejecteurs à lames
- Plaque dévêtisseuse

- Soupape d'éjection
- Ejection combiné (associé 2 ou 3 systèmes)
- Ejecteur annulaire

➤ Exemples sous forme de dessin technique (colorier le système d'éjection ainsi que la moulée)

• Moule à éjecteurs cylindriques

Types de pièces obtenues :

- Simples avec bonne dépouille
- Non esthétique

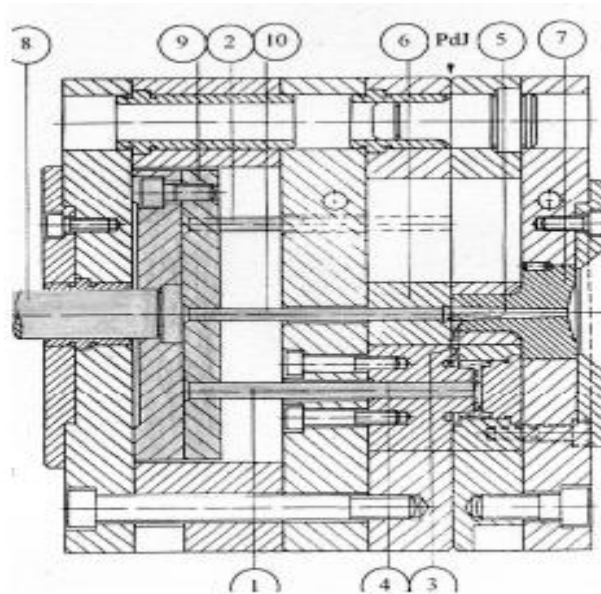


Figure 44 : Moule à éjecteurs cylindriques

• Moule à soupapes d'éjection

Types de pièces obtenues :

- Pièce d'aspect
- Dépouilles faibles
- Pièces profondes à parois fines

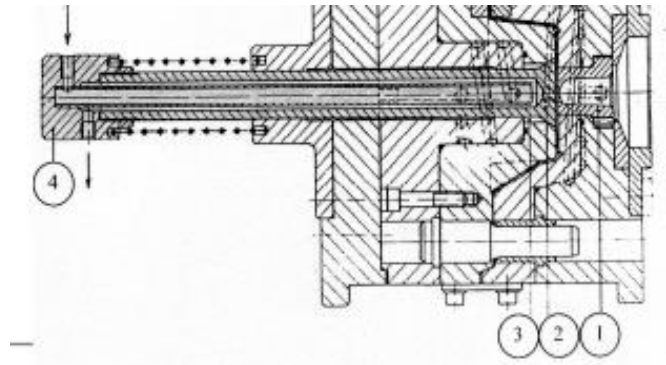


Figure 45 : Moule à soupapes d'éjection

• **Moule à éjecteurs tubulaires**

Types de pièces obtenues :

- Alésage intérieur pour faible diamètre

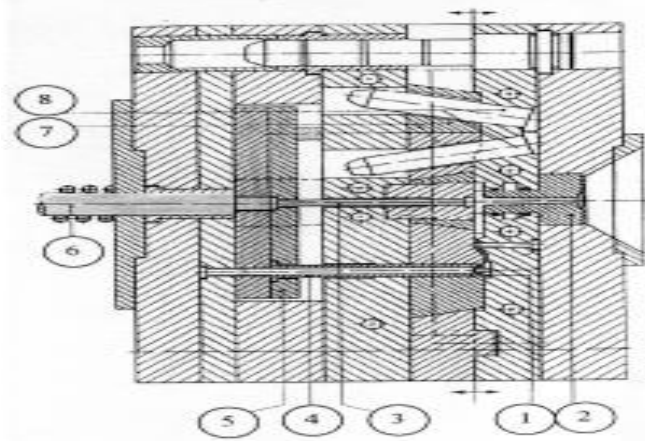


Figure 46: Moule à éjecteurs tubulaires

• **Moule à éjecteurs annulaire**

Types de pièces obtenues :

- Pas de trace sur les pièces
- Pièces de révolution
- Mise en forme du fond de la pièce

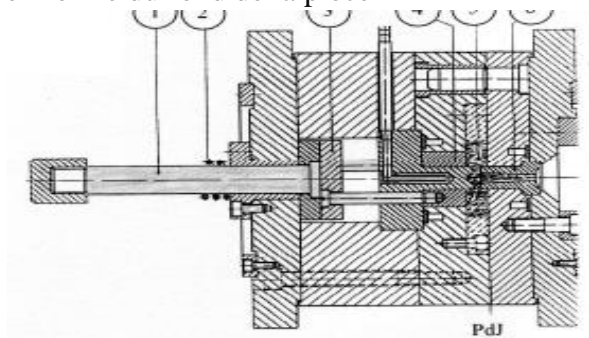


Figure 47 : Moule à éjecteurs annulaire

• Moule à éjection combinée

Types de pièces obtenues :

- Pièce de clipsage
- Légère contre-dépouille

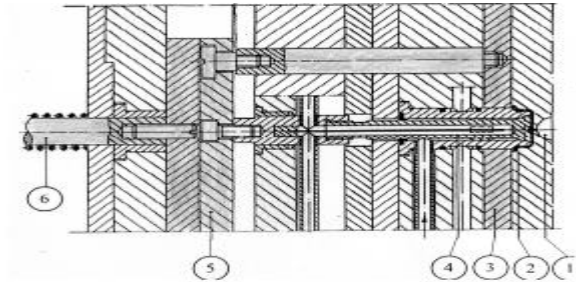


Figure 48: Moule à éjection combinée

3.4 La machine :

Lors de la conception d'un moule on doit choisir la machine en fonction :

- Du volume et de la forme de la pièce.
- Du nombre d'empreintes.
- Du calcul de rentabilité.
- De la précision de la pièce.

3.5 Dégazage du moule :

L'alimentation n'est possible que si l'air de l'empreinte peut être évacué. Une partie de l'air contenu dans l'empreinte est évacuée par les jeux autour des éjecteurs ; ces jeux sont faibles, mais le mouvement des éjecteurs les maintient toujours libres, leur évitant d'être obturés par le poteyage et les infiltrations de métal. L'air peut également sortir par les jeux autour des broches et noyaux mobiles.

Les noyaux fixes laissent également, sur leur pourtour, des tirages d'air moins efficaces que les précédents, mais souvent bien utiles.

Des tirages d'air sont réalisés dans le plan de joint du moule. Leur emplacement exact est souvent défini par les premières coulées.

On en place également en bout des culs-de-sac des canaux d'alimentation (attaque en retour) et sur les talons de lavage les débouchent à l'extérieur. Si ce n'est pas possible, on peut

les relier à l'extérieur par un trou traversant le moule. (AMMOUR Redouane, IKERROUIENE Djaffar, 2017)

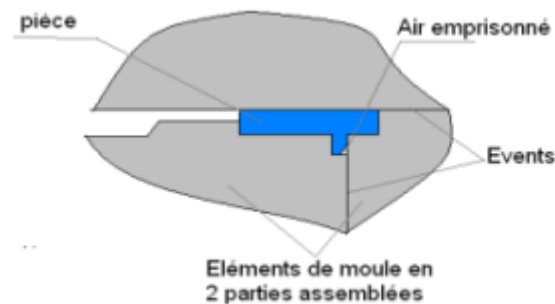


Figure 49 : Event

3.6 Fixation du moule :

Le maintien en position du moule sur les plaques fixe et mobile est assuré par vis ou brides.

3.6.1 Fixation par vis

➤ **Avantage :**

Fixation très simple et fiable, il n'y a pas de besoin de cales (la plaque du moule faisant office de cales. Bonne accessibilité pour le serrage.

➤ **Inconvénients :**

Les trous taraudés doivent avoir des entraxes identiques sur tous les plateaux de presses pour permettre l'interchangeabilité des moules.

3.6.2 Bridage :

C'est aussi le procédé qui demande le plus de soin et d'attention lors du montage. En effet, il faut que la cale qui sert d'appui pour la bride soit de hauteur équivalente à la plaque du moule ou très légèrement supérieure. Sinon le bridage n'est pas solide et les vis risquent de se tordre. Il faut que la vis qui sert à bloquer la bride soit le plus près possible de l'objet à brider.

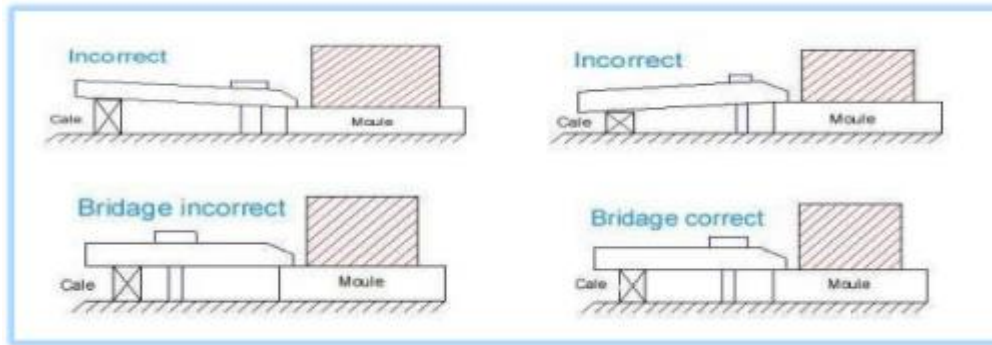


Figure 50: Procédé de Bridage (bride plate à serrage)

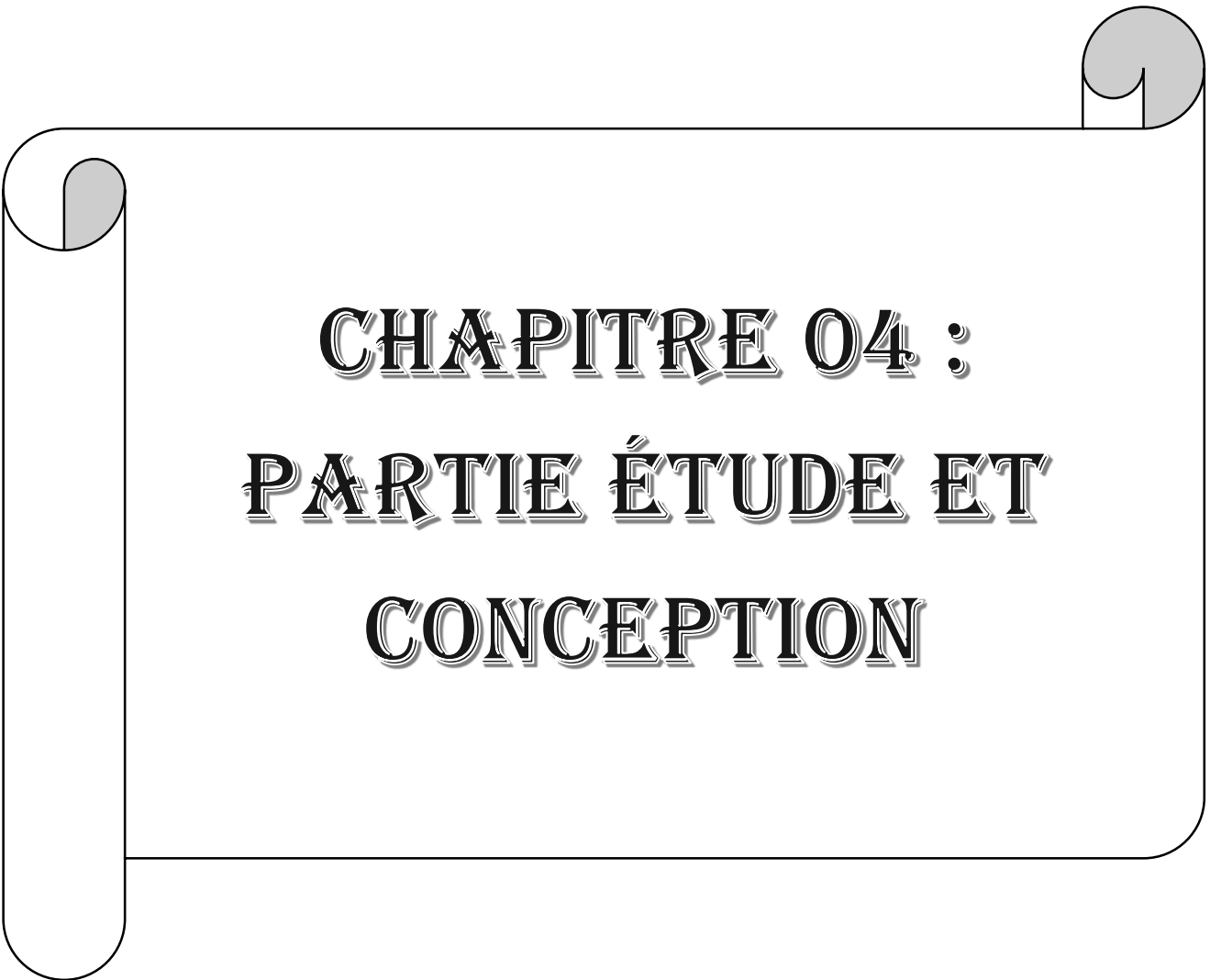
3.7 Circuits de refroidissement :

L'échange thermique entre l'aluminium injecté et le moule est un facteur décisif dans les performances économiques d'un moule d'injection. La chaleur doit être extraite du matériau jusqu'à ce qu'il ait atteint l'état stable recherché pour pouvoir être démoulé. Le temps total de refroidissement intègre la séquence de maintien en pression, même si celle-ci est décomptée séparément, puisque le matériau injecté échange de l'énergie avec le moule dès qu'il est en contact avec la surface moulante. L'énergie calorifique qu'il faut extraire dépend :

- ✓ Du l'alliage (température, masse, chaleur spécifique).
- ✓ De la température de démoulage.

4. Conclusion

Pour une bonne conception d'un moule d'injection aluminium, on doit suivre toutes les étapes nécessaires car le meilleur choix des paramètres de conception nous garantit un produit fini et de qualité.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top. The scroll is outlined in black and has grey shaded areas at the top corners where it appears to be rolled up.

CHAPITRE 04 :
PARTIE ÉTUDE ET
CONCEPTION

1. Introduction :

Notre travail consiste à étudier et concevoir un moule d'injection pour une patte à carcasse type 163 (N° 860-220-0006-0100 P.C 163) en alliage d'aluminium-silicium ALSi12Cu1(Fe).

L'aluminium et ses alliages sont classés dans la catégorie des alliages légers. Leurs principales applications sont :

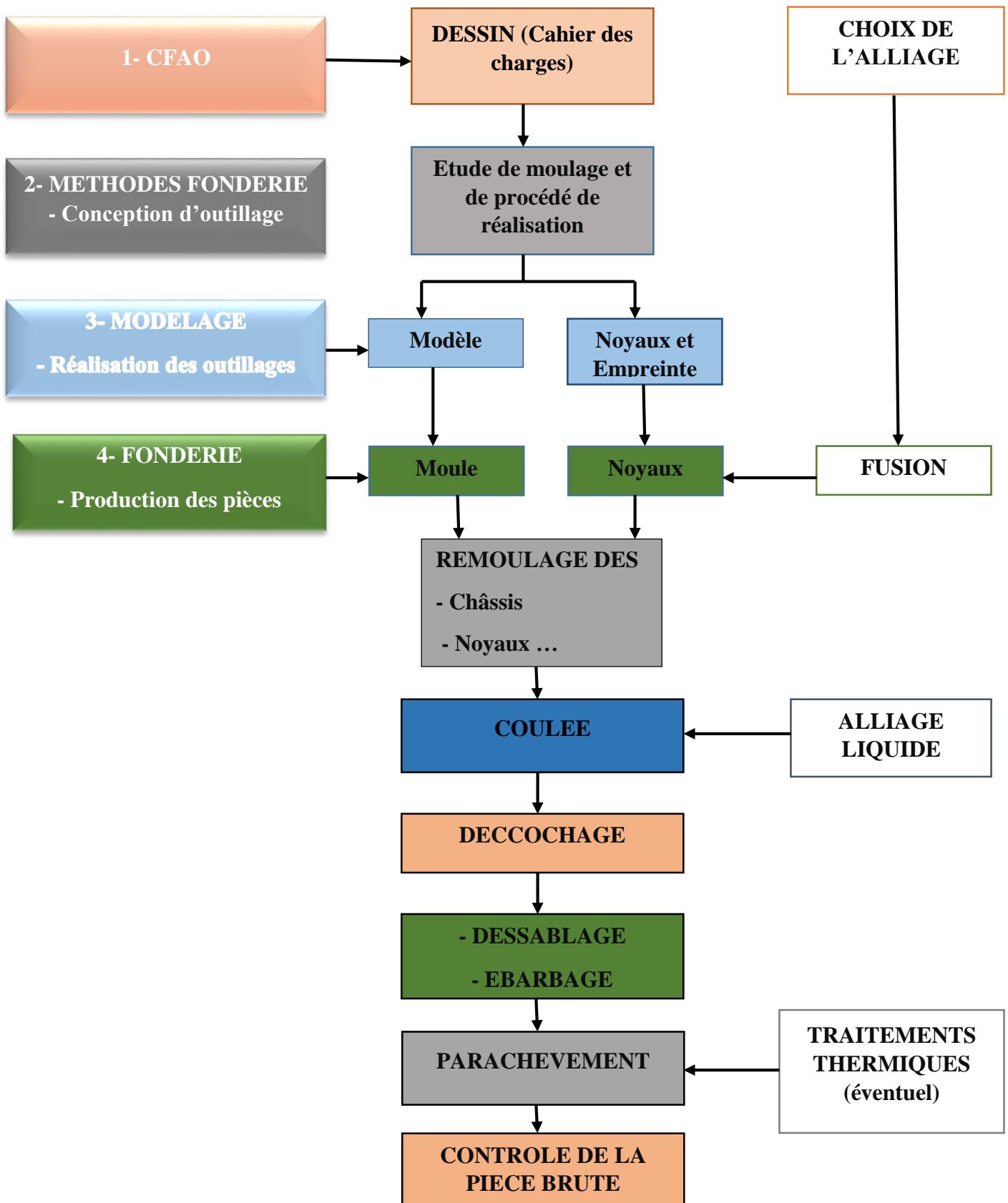
- Le transport aéronautique et automobile.
- Le bâtiment et le génie électrique.

Dans ce chapitre en va étudier toutes les étapes à prendre en considération pour la réalisation d'un moule d'injection aluminium.

Les étapes à suivre pour la réalisation d'une pièce d'injection aluminium

- Lecture du cahier de charge
- Lecture du dessin de définition
- Choix du procédé de moulage
- Choix de la machine
- Etude et calcul de vérification

Schéma 1 : Schéma général de fabrication d'une pièce moulée



2. Lecture du cahier de charge :

C'est une commande pour la réalisation d'une série des pièces (patte de carcasse type 163) avec l'alliage de l'aluminium $AlSi12(Cu)$. N° de matière EN AB-4700.

2.1 Type de la pièce :

La pièce est nommée une patte de carcasse type 163 pour la fixation d'un moteur électrique

La désignation complète de la pièce :

N° 860-220-0006-0100 P.C 163

- **860** : la pièce brute
- **220** : patte de carcasse
- **0006** : type de pièce
- **P.C 163** : hauteur d'axe (type de moteur)

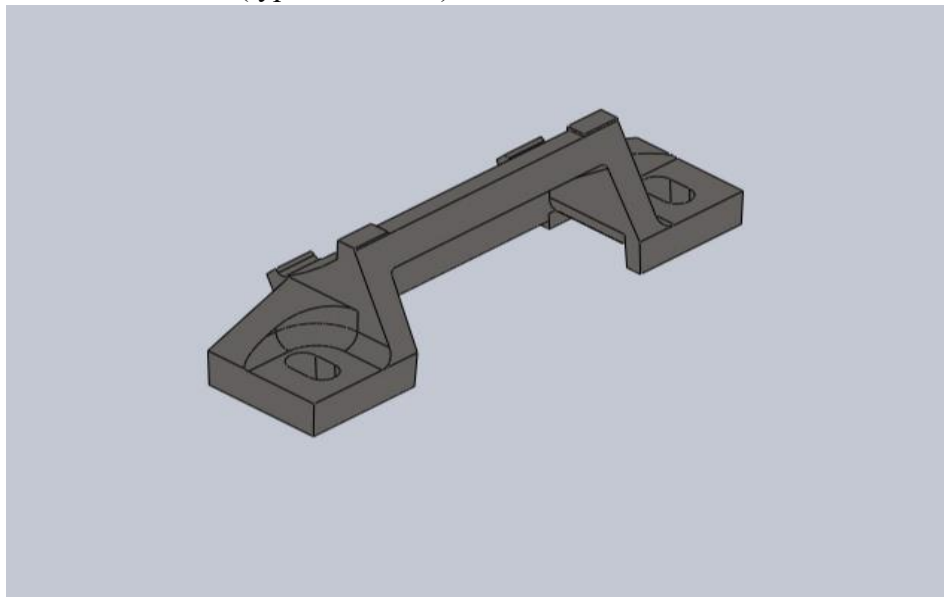


Figure 51 : patte de carcasse

2.2 Type de matériau utilisé :

Les alliages d'aluminium pour fonderie sont des alliages dont le constituant principal est l'aluminium, destinés à être transformés par des techniques de fonderie. On les appelle souvent : alliages légers du fait de leur masse volumique nettement inférieure à celle d'autres métaux utilisés dans l'industrie.

A l'ENEL, l'alliage qui sera utilisé pour la fabrication de la patte à carcasse est le $AlSi12Cu$. C'est un alliage eutectique, qui présente tous les critères pour être choisi pour le moulage sous pression.

Le silicium est présent dans cet alliage pour lui procurer sa principale caractéristique qui est d'améliorer la fluidité du métal, par conséquent de limiter les risques de criques. Les alliages à fort pourcentage de Silicium étaient les préférés de fondeurs.

En revanche il diminue l'usinabilité de la pièce. Le cuivre contribue fortement à l'amélioration des caractéristiques mécaniques des alliages et améliore considérablement les aptitudes à l'usinage des pièces réalisées y compris dans le cas où elles ne sont pas traitées thermiquement.

Les alliages aluminium cuivre, dans lesquels la teneur en silicium est très faible sont assez facilement sujets aux critiques (amorce de rupture) si le refroidissement est mal contrôlé, ou bien lors du traitement thermique si certaines précautions ne sont pas prises.

Les alliages d'aluminium sont des alliages délicats en fonderie, mais très appréciés des usineurs. Lorsque les fonderies sont bien réalisées, les pièces réalisées dans cette série d'alliage sont très souvent des pièces soumises à des contraintes mécaniques importantes et de ce fait, font presque toujours l'objet d'un traitement thermique.

2.2.1 Désignation normalisée :

Alliage d'aluminium EN AB- ALSi12Cu1(Fe)- NF EN 1676

2.2.2 Caractéristiques : (voir annexe)

Tableau N° 1 : caractéristique d'aluminium

Identification	Densité \approx [kg/dm ³]	Caractéristiques mécaniques			
		Résistance à la traction RM [N/mm ²]	Limite élastique R _{P0,2} [N/mm ²]	Allongement de rupture %	Dureté Brinell HB
050-112-025	2.65	150-210	80-100	1-4	50-60

La conductibilité thermique de l'aluminium est cinq fois plus élevée que celle de l'acier.

- Un bas point de fusion (658 c°).
- Une ductilité élevée (A% \approx 40 %).
- Faible densité (2.7 g/cm³).
- Bonne propriété électrique.

Sa structure cristalline est cubique à face centrée. Il présente un bon rapport résistance/poids.

2.2.3 Composition chimique : (voir annexe)

Tableau N° 2 : composition chimique

Eléments	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mgb	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
% min ^{max}	Reste	10.5-13.5	0.6-1.1 (1.3)	0.7- 1.2	0.55	0.352	0.10	0.30	0.55	0.20	0.10	0.15 (0.20)

NB : l'ensemble des autres éléments d'addition ne doit dépasser les 0.25%.

Les chiffres entre parenthèse sont relatifs à la composition des pièces moulées

2.2.4 Mode de livraisons :

Livrée en lingots doubles, par 4kg sur palettes en bois (transportables)

Poids brut maximal : 500kg

2.3 Principe :

Le métal liquide est injecté sous forte pression [ALSi12Cu1(Fe)] peut aller jusqu'à 1200 bar et à grande vitesse d'injection dans un moule (jusqu'à 50 m/s) fixé sur les plateaux de la machine

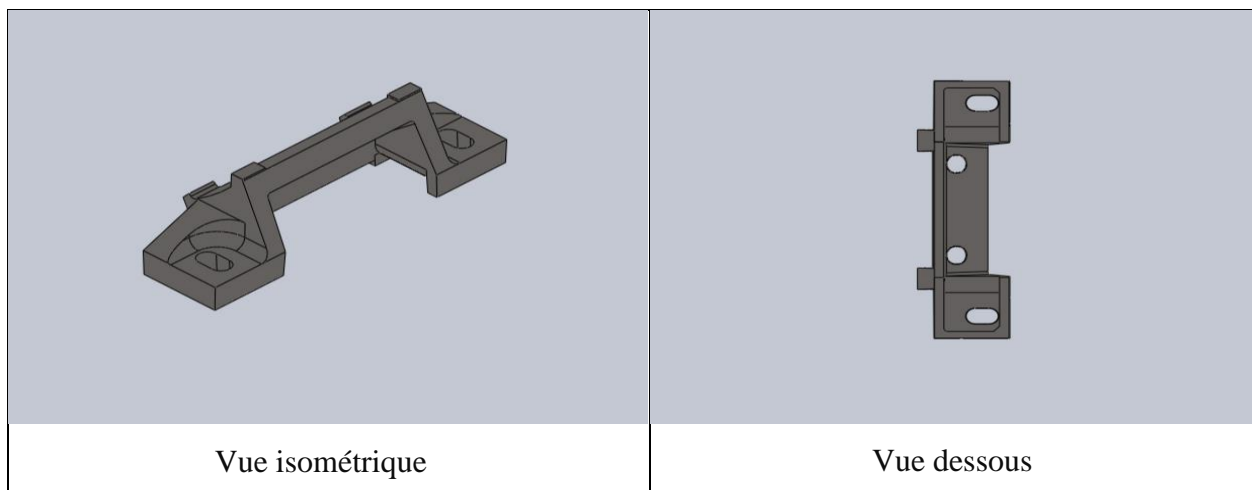
3. Lecture du dessin de définition :

3.1 Description de l'outil CFAO :

Soli Works est un logiciel de conception mécanique 3D paramétrique. Grâce à cet outil facile à utiliser, les constructeurs peuvent esquisser rapidement une idée, l'expérimenter avec des fonctions et des côtes et produire des modèles et des mises en plan précis. On peut créer des esquisses : Une esquisse est un profil ou une coupe transversale en 2D.

3.2 Conception de la pièce sur Soli Works :

En va effectuer le dessin de la pièce dans le logiciel Soli Works après une lecture générale pour le dessin de définition de la pièce (patte à carcasse type 163)



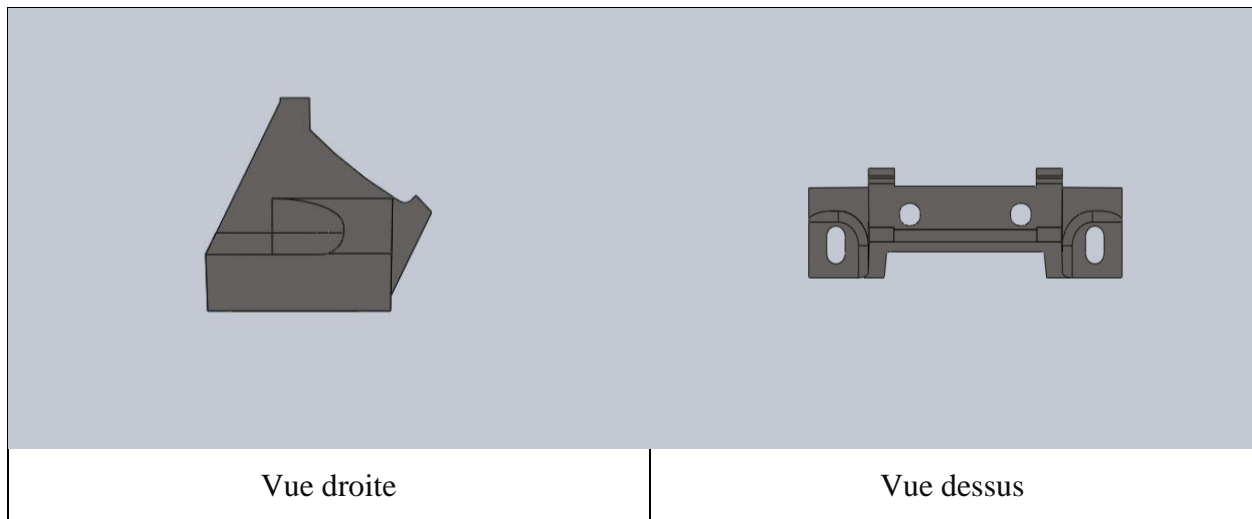


Figure 52 : Patte à carcasse type 163 avec différentes vues

3.3 Propriété de la pièce :

Une fois le dessin de définition de la pièce est effectué en peut prendre les caractéristiques de la pièce de logiciel SolidWorks en appliquant le matériau Alliage d'aluminium EN AB- ALSi12Cu1(Fe)- NF EN 1676

➤ Propriétés de masse de PATTE de CARCASSE

Masse = 955.04 grammes

Volume = 341086.98 millimètres cube

Superficie = 64470.17 millimètres carré

Centre de gravité : (millimètres)

X = -8.20

Y = -25.27

Z = 0.00

Principaux axes et moments d'inertie : (grammes * millimètres carrés)

Pris au centre de gravité.

I_x = (0.00, 0.00, 1.00)

P_x = 673632.87

I_y = (-0.35, -0.94, 0.00)

P_y = 5866945.10

I_z = (0.94, -0.35, 0.00)

P_z = 5941053.64

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)

Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.

L_{xx} = 5932225.12 L_{xy} = 24006.79 L_{xz} = -1.45

L_{yx} = 24006.79 L_{yy} = 5875773.63 L_{yz} = 5.27

L_{zx} = -1.45 L_{zy} = 5.27 L_{zz} = 673632.87

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)

Pris au système de coordonnées de sortie.

I_{xx} = 6542060.39 I_{xy} = 221818.78 I_{xz} = -3.63

$$\begin{array}{lll}
 I_{yx} = 221818.78 & I_{yy} = 5939937.81 & I_{yz} = -1.44 \\
 I_{zx} = -3.63 & I_{zy} = -1.44 & I_{zz} = 1347632.34
 \end{array}$$

3.4 Choix de plan de joint :

Le plan de joint est le plan de séparation des deux châssis : c'est une surface qui contient la plus grande section ou le plan de symétrie de la pièce. On emploie des chapes s'il y a plus d'une surface de joint. Il faut choisir un nombre minimal de joints, de préférence plans et perpendiculaires au sens de démoulage.

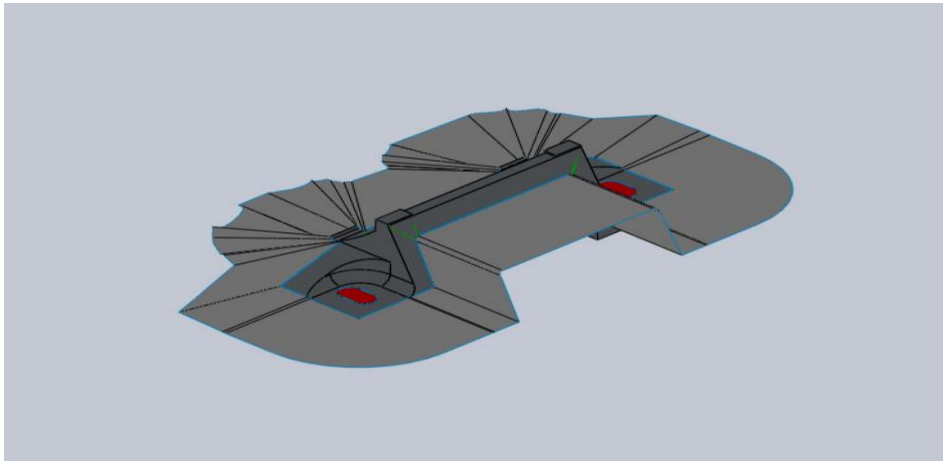


Figure 53 : le plan de joint de la patte à carcasse

Ce choix dépend aussi des contre dépouilles, des dimensions des châssis, des positions des usinages, etc. Il doit limiter le nombre de noyaux.

3.5 Le noyaux et l'empreinte :

Pour obtenir le contour intérieur de la pièce, on emploie le noyau et l'empreinte, qui vont ce placé dans le moule.

- Le noyau (empreinte mobile) se place dans la partie mobile de moule
- L'empreinte (empreinte fixe) se place dans la partie fixe de moule

3.5.1 L'empreinte (l'empreinte fixe) :

L'empreinte fixe ou souvent rapportée, ce qui facilite le remplacement et la remise à l'état.

Pour cette empreinte fixe en utilisé le matériau l'acier X37CrMoV5-1

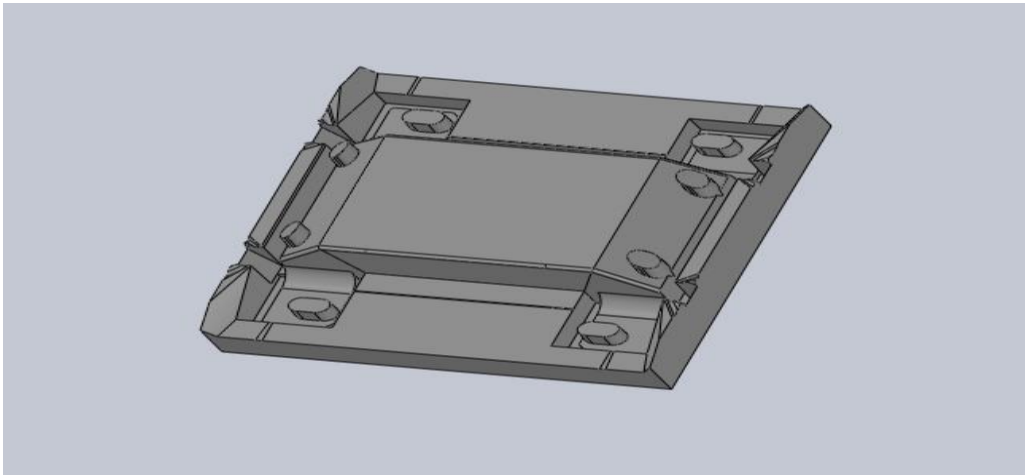


Figure 54 : l'empreinte fixe

3.5.2 Le noyau (l'empreinte mobile) :

Le noyau ou l'empreinte mobile sont métalliques et les broches permettent d'obtenir des formes intérieures.

Pour cette empreinte mobile en utilisé le matériau l'acier X37CrMoV5-1

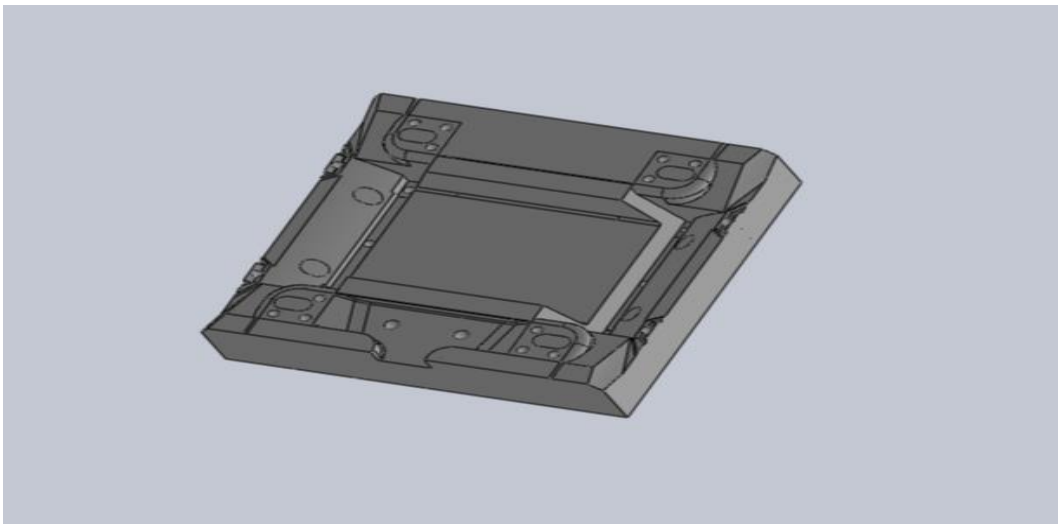


Figure 55 : Empreinte mobile

4. Choix de la presse :

Les critères du choix de la machine sont les suivants :

- La force de fermeture du moule.
- L'épaisseur mini du moule.
- La capacité d'injection.
- La distance entre colonnes.

4.1 Capacité d'injection :

Chaque type de machine à sa propre capacité d'injection, on pourra donc choisir la machine d'après le poids de la grappe.

Masse de la grappe (masse de la pièce + la masse du dispositif de coulée) = La masse de la pièce est donnée par le logiciel SolidWorks qui est égale à 955.04 g.

La masse de la grappe :

La masse de la pièce = 955.04 g. (obtenue par le logiciel SolidWorks). Pour notre étude en va réaliser deux pièces dans notre moule.

$$955.04 \times 02 = 1910.08 \text{ g.}$$

$$\boxed{Mp = 1910.08 \text{ g.}}$$

La masse du dispositif de coulée est calculée d'après le tableau suivant :

Tableau N° 3 : La masse du dispositif de coulée. (Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, 1993)

Poids de la pièce (Kg)	Pourcentage du dispositif de coulée (%)
0.05 à 0.3	70 à 100
0.5 à 1.99	50 à 70
2 à 5	30 à 50

Le poids du dispositif de coulée qui sera égale à 70% du poids de deux pièce ce qui revient à dire que le poids est de : 1910.08 g.

Après addition, la masse totale est de :

$$1910.08 + 1337.056 = 3247,136 \text{ g.}$$

$$\boxed{Mt = 3247.136 \text{ g}}$$

Tableau N° 4 : Capacité d'injection des machines disponible à l'entreprise (voir annexe)

Les machines	Pression moyenne d'injection (tonnes/ cm ²)	Capacité d'injection (g)
380T	0.15	5054
700T	0.28	17013
900T	0.33	17092

D'après le tableau, toutes les machines peuvent injecter cette quantité.

4.2 Force de fermeture de la machine :

La pression à l'intérieure du moule engendre une force dite force de verrouillage Qui tend à ouvrir le moule. De ce fait, la force de fermeture du moule doit être supérieure à cette force de verrouillage. (J.BOUCHET, 1997)

- **Force de fermeture :**

$$F = Fv \times K$$

Fv : Force de verrouillage

K : Coefficient de sécurité (entre 1.5 à 2)

F : Force de fermeture du moule. (T)

On a :

$$Fv = P \times St$$

P : Pression moyenne d'injection (0.15 t/cm²).

St : Surface projetée de la pièce + dispositif de coulée.

La surface projetée de la pièce est donnée par le logiciel SolidWorks 1289.40 Cm²

La surface du dispositif est de 10% de la surface projetée de la pièce.

Ce qui fait donc :

$$St = 1289.40 + 128.94$$

$$\boxed{St = 1418.34 \text{ Cm}^2}$$

$$Fv = 1418.34 \times 0.15 = 212.751 \text{ T}$$

$$F = 212.751 \times 1.5 = 425.502 \text{ T}$$

$$\boxed{F = 319.12 \text{ Tonnes}}$$

On aura alors besoin de 3 247,136 g d'aluminium et une force de fermeture de 426 tonne. De ce fait, on prendra alors la machine 380 T.

4.3 Distance entre colonnes :

Notre moule sera fixé sur des plaques de la presse à l'aide de 4 colonnes de guidage, il est donc primordial que l'une des dimensions du moule (hauteur ou largeur) soit inférieure à la distance entre ces mêmes colonnes.

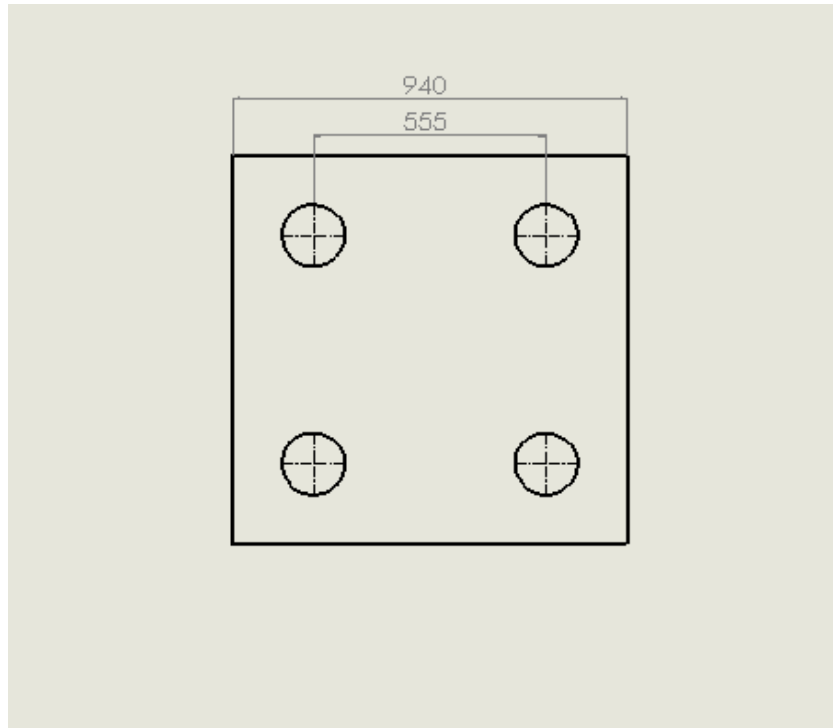


Figure 56: Schéma représentant le plateau d'une presse.

4.4 Epaisseur mini du moule :

L'épaisseur minimale du moule est imposée par la machine ; c'est l'une de ses caractéristiques (voir le tableau suivant).

➤ Caractéristiques de la Machine 380T :(voir annexe)

Tableau 17 : Caractéristique de la machine 380

Commande	Oléo dynamique
diamètre du piston	De 50 à 90
Exécution	A chambre froide
épaisseur mini du moule	250 mm
Force de serrage	380 Tonnes
Force d'ouverture	75 Tonnes
Moteur destiné à la pompe (puissance)	30KW
Moteur destiné à la pompe (tours)	960 tr/min
Pression d'injection	2298 Kg/cm ²
Position	Horizontale
Puissance d'injection	14.1 Mpa
Puissance d'injection avec multiplicateur	De 14.1 à 45.1 Mpa
Quantité d'injection	5054 g
Volume de remplissage de conteneur	1907 cm

5. Choix du diamètre du piston :

$$V = P / \rho$$

V : Volume nécessaire pour 1.91008 kg d'aluminium (volume de la grappe).

P : Poids de la grappe (pièce + dispositif de coulée).

ρ : La masse volumique de l'alliage. (2650kg /m³).

A.N:

$$V = 1.91008/2650$$

$$V = 0.000720 \text{ m}^3$$

$$V = 720 \text{ Cm}^3$$

On a :

$$V = \pi \times \frac{d^2}{4} \times h$$

d : Diamètre du piston d'injection.

h : Course du piston d'injection (h=400mm).

Donc :

$$d^2 = \frac{4 \times V}{\pi \times h}$$

A.N :

$$d^2 = \frac{4 \times 720000}{3.14 \times 400} = 2292.99 \text{ mm}^2$$

$$\boxed{d = 47.8 \text{ mm}}$$

Les diamètres disponibles sur la machine 380T sont :

55 mm 65 mm 75 mm 85 mm et 95 mm

Par mesure de sécurité, on prend donc le diamètre : 65 mm.

6. Taux de Remplissage :

Le grand problème du moulage sous pression réside dans l'évacuation de l'air, dans un temps aussi court que celui du remplissage élevé soit 60 à 80% selon la chambre de compression. (Tabti Aicha ; Moula Madjid, 2004)

$$T = \frac{V_i}{V \text{ chambre}}$$

T : Taux de remplissage.

V_i : Volume d'injection.

$V \text{ chambre}$: Volume de la chambre de compression.

On a :

La longueur de la chambre de compression est de : 400 mm.

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = 65 \text{ mm}$$

$$\text{De ce fait } S = 33.16 \text{ cm}^2$$

$$V_i = 720 \text{ cm}^3$$

$$V \text{ chambre} = 33.16 \times 40 = 1326.40 \text{ cm}^3$$

$$\boxed{V \text{ chambre} = 1326.40 \text{ cm}^3}$$

Donc :

$$T = \frac{720}{1326.40} = 0.54 = 54\%$$

$$\boxed{T = 0.54 = 54\%}$$

7. Dimensionnement du système d'alimentation :

7.1 Calcul de la vitesse d'attaque de coulée : (RD, Gating Manual, 2006)

$$(V_a)^2 = \frac{pm \times cd^2 \times 2g}{\rho}$$

V_a : vitesse à l'attaque

Cd : Coefficient de décharge (0.45 – 0.50)

ρ : La masse volumique de l'alliage (2650 kg/m^3).

Pm : Pression sur le métal $Pm = 750 \times 10^3 \text{ kg/m}^2$ (Annexes)

On prend :

$$Cd = 0.45$$

$$A.N \quad (V_a)^2 = \frac{750 \times 10^3 \times 0.2025 \times 20}{2650} = 1146.22 \text{ (m/s)}^2$$

$$V_a = 33.85 \text{ m/S}$$

7.2 Calcul du débit de l'attaque :

Pour calculer le débit de l'attaque en a la relation suivante :(Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, 1993)

$$\text{On a :} \quad Q = V/T$$

Q : Le débit.

V : Volume de la grappe.

T : Temps de remplissage de l'empreinte.

Tableau 18 : Temps de remplissage en fonction de l'épaisseur de la pièce. (Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, 1993)

Epaisseur (mm)	Temps de remplissage
1.5	0.01-0.03
1.8	0.02-0.04
2.0	0.02-0.06
2.3	0.03-0.07
2.5	0.04-0.09
3.0	0.05-0.10
3.8	0.05-0.12
5.0	0.06-0.20
6.4	0.08-0.30
7.0	0.08-0.35
8.4	0.09-0.40

L'épaisseur minimale de la pièce est donnée par le logiciel SolidWorks ($e = 8.2 \text{ mm}$).
On prendra alors : $T = 0.20 \text{ s}$

Volume de la grappe :

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = 7.20 \times 10^{-4} = 0.72 \text{ dm}^3$$

$$Q = \frac{0.72}{0.20} = 3.6 \text{ dm}^3 / \text{s}$$

$$\boxed{Q = 3.6 \text{ dm}^3 / \text{s}}$$

7.3 Calcul la surface d'attaque :

Où : A_a : Surface de l'attaque.

$$A_a = \frac{Q}{A_a}$$

AN:
$$A_a = \frac{3.5}{33.85} \times 103 = 104.62 \text{ mm}^2$$

$$\boxed{A_a = 104.62 \text{ mm}^2}$$

7.4 Calcul de la longueur de l'attaque :

$$L_a = \frac{A}{E_a}$$

On choisira l'épaisseur de l'attaque de coulée en fonction de l'alliage utilisé :

Tableau 19 : Epaisseur de l'attaque de coulée en fonction de l'alliage coulé

Alliage	Epaisseur de l'attaque
Al Si	1 à 1.4
Al Si Cu	1.2 à 2.5
Al Zn4	0.35 à 0.38
Al Zn4 Cu	0.5 à 0.12
Mg Al2	0.6 à 2

L'alliage qu'utilise l'entreprise est Al Si Cu. (Voir annexe)

On prendra alors l'épaisseur de l'attaque de coulée :

$$E_a = 2 \text{ mm.}$$

A.N :
$$L_a = \frac{104.62}{2} = 52.43 \text{ mm}$$

$$\boxed{La = 52.43 \text{ mm}}$$

8. Dimensionnement du circuit de refroidissement :

Il existe plusieurs types de refroidissement (à l'air, à l'huile, à l'eau ...). Pour des raisons techniques, l'entreprise l'ENEL utilise un refroidissement à l'huile.

-
-
-
- **Le dimensionnement du circuit de refroidissement :**(Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, 1993)

$$S_{con} = Sp \times 2$$

$$S_{con} = \pi \times D \times L$$

Sp : Surface projetée de la pièce (1289.40 mm²).

D : Diamètre du conduit de refroidissement.

L : Longueur du conduit de refroidissement.

S_{con} : Surface du conduit de refroidissement.

Il y a 3 facteurs à voir pour bien choisir de diamètre du conduit de refroidissement qui sont :

- Le fluide de refroidissement utilisé (qui est l'huile thermique dans notre cas).
- Le volume et le poids du moule.
- Le raccordement avec le système de refroidissement central.

Pour des raisons techniques, l'entreprise ENEL est contrainte de prendre pour diamètre de circuit de refroidissement le diamètre 15 mm

A.N:

$$L = \frac{sp \times 2}{\pi \times D} = \frac{128940.34 \times 2}{3.14 \times 15} = 5475.17 \text{ mm}$$

$$\boxed{L = 5475.17 \text{ mm}}$$

$L = 5475.17 \text{ mm}$ Soit une longueur de $L/2$ qui est de 2737.58 mm pour chaque partie du moule (empreinte fixe et empreinte mobile).

9. Calcul du Temps de Refroidissement :

Pour calculer le temps de refroidissement en utilise la formule suivante :(Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, 1993)

$$tr = \frac{e^2}{\pi^2 \times D} \text{Ln} \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{Ti - Tm}{Te - Tm} \right) \right]$$

e : Epaisseur moyenne de la pièce $e = 8 \text{ mm}$.

D : La diffusivité thermique de l'aluminium $D = 0.02 \text{ m}^2/\text{s}$

Te : Température d'éjection $Te = 300^\circ\text{C}$

Ti : Température d'injection $Ti = 680^\circ\text{C}$

Tm : Température du moule $Tm = 120^\circ\text{C}$

$$\text{A.N: } tr = \frac{8^2}{3.14^2 \times 0.02} \text{Ln} \left[\frac{8}{3.14^2} \left(\frac{680-120}{300-120} \right) \right] = 32.45 \times \ln(2.52) = 29.99 \text{ S}$$

$$\boxed{tr = 30 \text{ S}}$$

10. Calcul du Temps de Cycle :

On additionne tous les temps du procédé de l'injection pour obtenir le temps de cycle.

$$tc = tf + ti + tm + tr + te + té$$

tc : Temps de cycle

tf : Temps de fermeture 3s

ti : Temps d'injection 0.06s

tm : Temps de maintien 3s

tr : Temps de refroidissement 30 s .

te : Temps d'ouverture 3 s

$té$: Temps éjection 5s

$$\text{A.N: } tc = 3 + 0.06 + 3 + 30 + 3 + 5 = 44.06 \text{ s}$$

$$\boxed{tc = 44.06 \text{ s}}$$

10.1 Dimensionnement des talons de lavage et des tirages d'air

Le dimensionnement et la position des talons de lavage et des tirages d'air s'effectuent après quelques injections.(J.BOUCHET, 1997)

11. Calcul de Résistance :

Dans cette partie, nous allons étudier la résistance de pièces qui sont sollicitées mécaniquement.

11.1 Le poids des pièces qui constituent notre moule :

On obtient le poids grâce à la relation suivante :

$$P = \delta * V$$

P : Poids de la pièce.

δ : Masse volumique de la pièce.

V : Volume de la pièce dm³.

Tableau 20 : le poids des pièces de moule

Les pièces	Les matières	Volume (dm ³)	Les poids (daN)	Δ (daN / dm ³)
Plaque de serrage mobile	40CrMnMoS8-6	15.66	120.61	7.70
Porte empreinte mobile	40CrMnMoS8-6	33.06	254.51	7.69
Empreinte mobile	X38CrMoV5-1	4.47	34.23	7.65
Baguette support	40CrMnMoS 8-6	10.36	79.82	7.70
Centre mobile	X38CrMoV5-1	20.12	156.93	7.79
Plaque de serrage fixe	40CrMnMoS 8-6	26.075	200.73	7.69
Porte empreinte fixe	40CrMnMoS 8-6	34.41	264.95	7.69
Empreinte fixe	X38CrMoV5-1	3.76	28.8	7.65
Centre fixe	X38CrMoV5-1	19.37	148.21	7.65

11.2 Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule :

La force de fermeture de la machine presse 380T est de : 380 000 Kg = 3 800 000 N. Cette force engendre un matage sur les composants du moule.

La Condition de résistance au matage :

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq Rpe \quad \text{Tel que} \quad Rpe = \frac{Re}{S'}$$

- **Résistance du plan de joint :**

$Re = 820 \text{ N} / \text{mm}^2$ (Pour la porte empreinte).

S' : Coefficient de sécurité. Par précautions, nous prenons : $S' = 2.5$.

A.N :

$$Rpe = \frac{820}{2.5} = 328 \text{ N/mm}^2$$

$$Rpe = 328 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Surface du plan de joint : $Spj \geq \frac{F}{0.2 \times Re}$

A.N :

$$Spj \geq \frac{3800000}{0.2 \times 328} = 57\,926.82 \text{ mm}^2.$$

La surface de contact entre le porte outil mobile et le porte outil fixe est de : $Spj = 134\,704.85 \text{ mm}^2$, qui est largement supérieure à la valeur calculée précédemment.

➤ **La condition au matage est vérifiée.**

- **Concernant la partie mobile :**

- Plaque de serrage mobile :

$$Rpe = 328 \text{ N/mm}^2.$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq Rpe$$

$$S = l \times e$$

S = Surface mate. (Donnée par le logiciel SolidWorks)

$$S = 31\,280 \text{ mm}^2$$

A.N : $S = 46 \times 550 = 25\,300 \text{ mm}^2$

$$\sigma = \frac{3800000}{31\,280} \leq Rpe$$

$$\sigma = 121 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 328 \text{ N/mm}^2$$

➤ **La condition au matage est vérifiée**

- Centre mobile :

$$Rpe = 764 \text{ N} / \text{mm}^2.$$

$$S = 93\,500 \text{ mm}^2$$

AN :

$$\sigma = \frac{3800000}{93500} \leq Rpe$$

$$\sigma = 41 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 764 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au matage est vérifiée

- Porte empreinte mobile :

$$Rpe = 328 \text{ N/mm}^2.$$

$$S = 93\,500 \text{ mm}^2$$

AN :

$$\sigma = \frac{3800000}{93500} \leq Rpe$$

$$\sigma = 41 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 328 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au matage est vérifiée

- Baguette support 01 :

$$Rpe = 328 \text{ N/mm}^2.$$

$$S = 61\,200 \text{ mm}^2$$

AN :

$$\sigma = \frac{3800000}{61200} \leq Rpe$$

$$\sigma = 62 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 328 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au matage est vérifiée

- Baguette support 02 :

$$Rpe = 328 \text{ N/mm}^2.$$

$$S = 61\,200 \text{ mm}^2$$

AN :

$$\sigma = \frac{3800000}{61200} \leq Rpe$$

$$\sigma = 62 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 328 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au matage est vérifiée

• Concernant la partie fixe :

- Plaque de serrage fixe :

$$Rpe = 328 \text{ N/mm}^2.$$

$$S = 54\,400 \text{ mm}^2$$

$$\text{AN : } \sigma = \frac{3800000}{54400} \leq Rpe$$

$$\sigma = 70 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 328 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au matage est vérifiée

- Centre Fixe :

$$Rpe = 764 \text{ N/mm}^2.$$

$$S = 93\,500 \text{ mm}^2$$

AN :

$$\sigma = \frac{3800000}{93500} \leq Rpe$$

$$\sigma = 41 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 764 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au matage est vérifiée

- Porte empreinte fixe :

$$Rpe = 328 \text{ N/mm}^2.$$

$$S = 93\,500 \text{ mm}^2$$

AN :

$$\sigma = \frac{3800000}{93500} \leq Rpe$$

$$\sigma = 41 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe = 328 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au matage est vérifiée

- **Conclusion :**

D'après les résultats précédents, les éléments composant notre moule résistent au matage qui est causé par la force de fermeture.

11.3 Résistance des colonnes de guidage et des vis CHC au cisaillement :

Condition de résistance :

$$\tau = \frac{F}{N \times n \times S} \leq [\tau]_{cis}$$

$$[\tau]_{cis} = \frac{\sigma_e}{S'} \times 0.8$$

$$S = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

S : Section cisailée.

N : Nombre de plans cisailés.

n : Nombre de vis.

$S' = S \times s$ (S : coefficient de sécurité =2.5 ; $s=2.2$ coefficient des pièces en acier)

D : Diamètre de la vis.

$[\tau]_{cis}$: Résistance pratique au cisaillement.

σ : Résistance élastique.

- **Résistance des 30 vis CHC au cisaillement du au poids de la partie mobile :**

Notre étude a été réalisée en prenant des vis CHC M10 XC35

Dont : $Re = 335 \text{ N/mm}^2$.

Poids de la partie mobile :

Le Centre mobile : 156.97 kg = 1539.35N

L'empreinte mobile : 34.39 kg =337.25N

Le porte empreinte mobile : 259.53 kg = 2545.12 N

La baguette support 1 : 82.66kg = 810.62 N

La baguette support 2 : 81.39kg = 798.16N

$N=1$.

A.N :
$$[\tau]_{cis} = \frac{335}{2.5 \times 2.2} \times 0.8 = 48.72 \text{ N/mm}^2$$

$$S = 3.14 \times \frac{10^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{6030.5}{1 \times 30 \times 78.5} = 2.5 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis} = 48.72 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 2.5 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis} = 48.72 \text{ N/mm}^2$$

- **Résistance des 08 vis CHC au cisaillement du au poids de la partie fixe :**

Poids de la partie fixe :

Le Centre fixe : 151.13Kg = 1482.07N

L'empreinte fixe : 29.36kg = 287.92 N

Le port empreint fixe : 270.17kg =2649.46 N

$N=1$.

A.N :
$$[\tau]_{cis} = \frac{335}{2.5 \times 2.2} \times 0.8 = 48.72 \text{ N/mm}^2$$

$$S = 3.14 \times \frac{10^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{4419.45}{1 \times 8 \times 78.5} = 7.03 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis} = 48.72 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 7.03 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis} = 48.72 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au cisaillement est vérifiée

- **Résistance des 4 colonnes de guidage de $\varnothing 55$:**

On a uniquement le poids de la partie mobile qui exerce une force sur les vis lors de la manutention

$$\text{AN : } [\tau]_{cis} = \frac{630}{2.5 \times 2.2} \times 0.8 = 91.63 \text{ N/mm}^2$$

$$S = 3.14 \times \frac{55^2}{4} = 2374.62 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{6030.5}{1 \times 4 \times 2374.62} = 0.63 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis} = 91.63 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 0.63 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis} = 91.63 \text{ N/mm}^2$$

➤ La condition au cisaillement est vérifiée

12. Conclusion :

A terme de ce chapitre, nous avons pu choisir la presse qui nous convient, compléter le calcul dimensionnel des composants du moule, du système d'alimentation de l'empreinte et du temps de refroidissement.

Nous avons aussi vérifié la résistance des différents éléments, assurant ainsi la conformité des pièces conçues.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the top and right. The scroll is outlined in black, and the top and right corners have a grey shaded area representing the scroll's edge.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE :

Le procédé de fabrication des pièces en fonderie dans l'industrie est connu depuis longtemps et ne cesse de s'agrandir au fil des dernières années ; Il permet d'obtenir un produit en grande série et à des prix de revient abordables.

La présente étude effectuée dans ce projet, nous a donné l'opportunité d'élargir et d'acquérir des connaissances dans le domaine de la fonderie, cette étude nous a aussi permis de nous initier aux logiciels de CAO et de nous faire une idée du monde du travail. Nous considérons que c'est une bonne transition entre le monde des études et celui du travail.

La présente étude, nous a permis de comprendre l'étendue des avantages que peut effectivement présenter la fabrication de pièces mécaniques par fonderie, car au sein de l'entreprise ELECTRO-INDUSTRIE, nous avons pu concevoir un moule à injection d'aluminium concluant, destiné à la fabrication des pièces patte de carcasse en utilisant le logiciel Solid Works, dans le respect du cahier des charges imposées par l'entreprise.

Le calcul de résistance des éléments constituant le moule a été vérifié et le résultat trouvé est convainquant. Dans le cas de certains composants, nous pouvons constater un surdimensionnement vis-à-vis de la comparaison entre la contrainte appliquée et la contrainte admissible. Ce dernier pourra être résolu en choisissant un autre matériau dont la limite élastique est plus petite ou bien diminuer la section.

Le temps de refroidissement calculé peut être optimisé en tenant compte du circuit de refroidissement du moule permettant ainsi de réduire considérablement la durée du cycle de production.

En conclu que ce travail de recherche et d'optimisation dans le domaine de la fonderie, restera nécessaire. Nous espérons que ce mémoire trouvera son utilité pour les travaux actuels et à venir.




BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- AMMOUR Redouane, IKERROUIENE Djaffar, 2017. Mémoire fin d'étude, option fabrication mécanique et productique, thème (Etude et Conception d'un moule d'injection d'alliage d'aluminium pour un flasque-bride d'un moteur électrique B5-A106/107-2). UMMTO, Tizi-Ouzou.
- Dr. S.BENSAADA, n.d. F O N D E R I E E T S O U D A G E.
- GARA, S., 2017. Procédés de mise en forme par moulage.
- Guy Morin, ing, 2019. Moulage en moule permanent (ou en coquille). Centre de Métallurgie du Québec, canada.
- Guy Morin, ing. et David Levasseur, Ph.D, 2019. Moulage sous pression (die casting). Centre de Métallurgie du Québec, canada.
- Guy, Murry., 2010. Aide- mémoire Métallurgie : Métaux. Alliages. Propriétés, 2 eme édition. ed. Paris.
- HIDOURI, A., 2016. COURS DE MATERIAUX METALLIQUES. Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Gafsa, tunisie.
- J. BARRALIS, G. MAEDER, n.d. Précis de métallurgie : élaboration, structures-propriétés et normalisation, 6ème AFNOR, NATHAN. ed.
- J.BOUCHET, 1997. Technologie de la fonderie en moules métalliques, « Fonderie sous pression », 2eme ETIF. ed.
- Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, 1993. le moulage sous pression des alliages d'aluminium, (1 à 7), ETIF. ed.
- Meziane, E.H., 2017. Technologie de base. Hassiba Benbouali de Chlef, Chelef.
- Michel, D., 2005. Aide-mémoire Sciences des Matériaux, DUNOD. ed.
- MPG,(INGERSHEIM), 2008. LES MOULE D'INJECTION.
- RD, Gating Manual, 2006. NACADA. USA Wa.
- Tabti Aicha ; Moula Madjid, 2004. Étude et conception d'un moule d'injection aluminium pour la réalisation d'une poignée d'un réfrigérateur ; mémoire D.E.U.A ; département mécanique. UMMTO, Tizi Ouzou.



ANNEXES

 ELECTRO-INDUSTRIES UNITE MOTEURS & ALTERNATEURS BP 17 AZAZGA TIZI-OUZOU ALGERIE	DOCUMENT SYSTÈME QUALITÉ		Édition du 29.05.2005								
	FICHE TECHNIQUE		Référence : FT 080								
	ALLIAGE D'ALUMINIUM		Page : 99/99 - 99 - - 99 -1/4								
<p>Extrait de la norme : DIN 1725 Edition Février 1986.</p> <p style="text-align: center;">Désignation normalisée: Alliage d'aluminium 231 - GD-AL Si 12 (Cu) - DIN 1725 .</p> <p style="text-align: center;">Exemple de commande : Alliage d'aluminium</p> <p style="text-align: center;">Matériau : ALSi12(Cu). N° de matière 3.2982.05</p>											
CARACRTERISTIQUES											
Identi- ficati- on	Densité ≈ [kg/dm ³]	Caractéristique mécanique									
		Résistance à la rupture Rm [N/mm ²]	Limite élastique Rp0,2	Allongement de rupture A ₅ %	Dureté Brinell HB 5/250						
050- 112- 025	2,65	220 – 300	140 – 200	1 – 3	60 - 100						
COMPOSITION CHIMIQUE											
Elem- ent	Al	Si	Mn	Cu	Fe	Mg	Ni	Pb	Sn	Ti	Zn
% ^{max} min	Reste	13,5 10,5	0,5 0,1	1,2 -	1,2 -	0,4 -	0,2 -	0,2 -	0,1 -	0,15 -	0,5 -
L'ensemble des autres element d'addition ne doit dépasser les 0,15 %.											
N.B : Les essais mécaniques sont réalisés sur des éprouvettes coulées dans les mêmes conditions d'utilisation											

Annexes

MODE DE LIVRAISONS :

- . Livrée en lingots doubles, par 4 Kg sur palettes en bois (transportables).
- . Poids brut max. 500 Kg.

Elaborée par : L. AMEUR	Visa : 	Vérifiée par : Dj. BENTAHA	Visa : 
-------------------------	--	----------------------------	--

Annexe

Rand zum Ankleben von Ergänzungskarten oder Lochstreifen
 (Anleitung für den Gebrauch der AWF-Maschinenkarten: Gestalt-Nr. AWF 300 b)

Flächenbedarf		m		Höhe		m		Gewicht		kg		Ausgestellt: Tag		Name	
Antriebsart	Spannung	V	Stromart	YΔ	Hz	Geometrischer Bedarf	kW	Bauart, Kenn- (s. a. Zubehör)		Stck.					
Motor für	Hersteller	Motor-Typ und Nr.	Ausführungsform nach DIN 42950	Leistung in kW	Drehzahl min ⁻¹	Motor-lv.-Nr.									
Gruppen-, Einzelantrieb	Flach-/Kell-Riemen	mm	Werkstoff	Scheiben-φ	/	mm	Breite	mm							
Pumpe fuer Hydraulische Bewegung Typ: Bucher-6N1-250-6H2-125 Betriebsdruck: Atm 125 Foerdermenge - Niederdruck: L/min 170+84 Hochdruck: L/min 84 Drehzahl : U/min 960 Tankinhalt : l; 780 Formaufspannplatten: Nr. 0.0308.00905.00.38 Platten-Abmessungen: mm 940x940 Lichte Weite zwischen den Saeulen : mm 555x555 Min. Saeulencuerschnitt : mm2 8987,5 Anzahl der Saeulen: Nr. 4 Min. Form-Abmessungen: mm 310 ø mm 350 Zentralauswerfer: Ausfuehrung: Hydraulisch Auswerferkraft: Kg 18.000 Reuckkraft : Kg 9.000 Hub : mm 150 Abmessungen der Maschine : Fundamentplan: Nr. 0.0308.00601.04.06 Hydr. Schema : Nr. 0.0308.00600.00.12 Elektronik-Schema: Nr. OL/752/K393 Zyklusablauf : Nr. 4.0308.00701.01.04															

Für Abschreibungen dienen die Maschinen-Kostenkarten AWF 3001, 3001b, 3001c; für weitere Änderungen Ergänzungskarte AWF 3044 und Instandhaltungskarte 3094

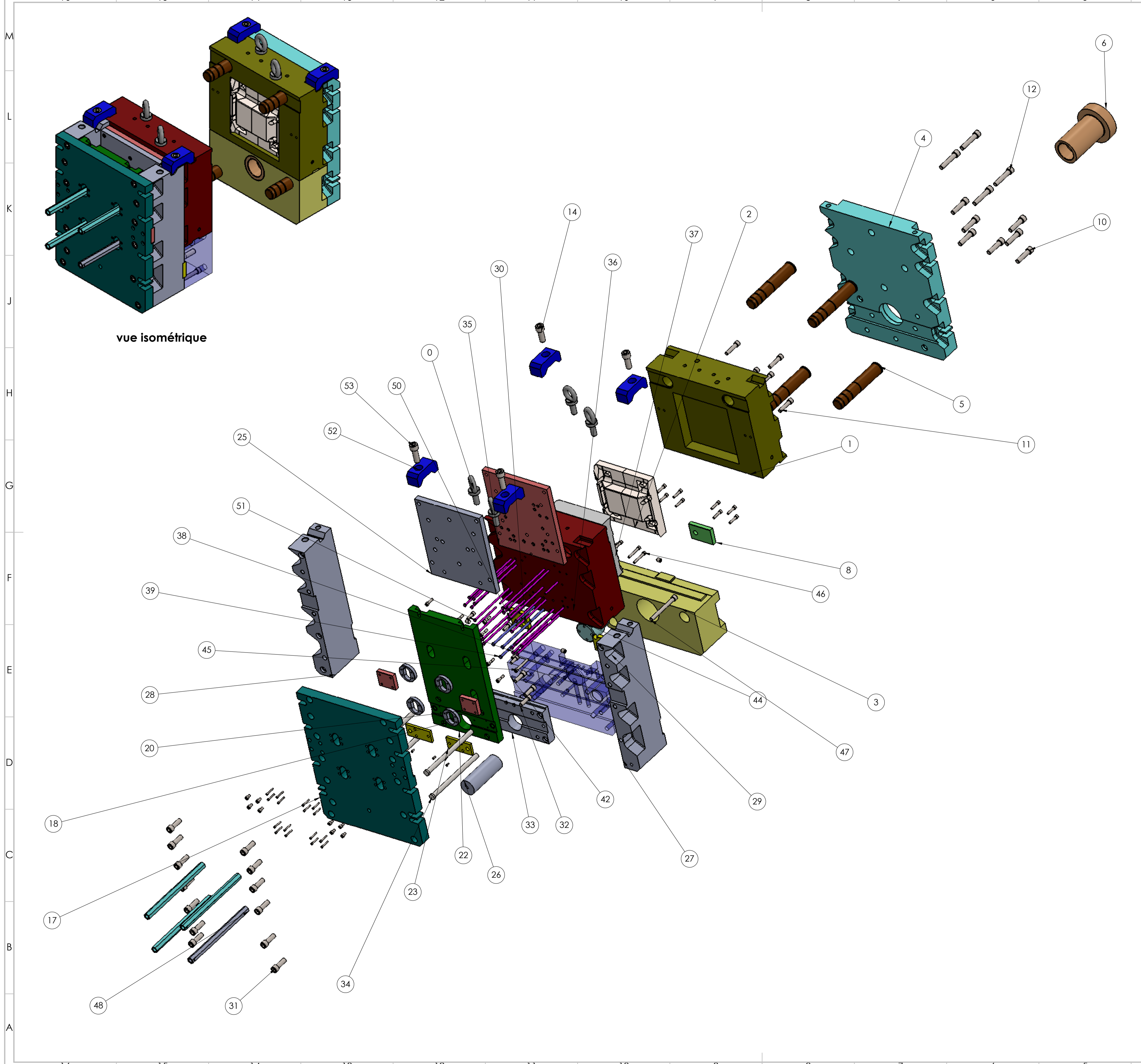
Activer Windows
 Accédez aux paramètres pour

Abdruck für Druck- und Kopierzwecke ist zulässig. © VAWB, Gießen 1977. VAWB, Gießen 1977. VAWB, Gießen 1977. Tel. 0631/7965, 740

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
AWF Carte de machine / appareil:																														
Designation MACHINE A' COULER SOUS PRESSION															Modèle OL/380 S DG					N° Inv. 810-017-002										
Fabricant IDRA - Brescia															N° de fabrication 5713					commande _____										
Fournisseur IDAR - Brescia															Année: fabrication 81 acquisition _____					livraison _____ Date: N° de _____										
Caractéristiques de machine/appareil															Accessoires					Section de coûts 852										
Puissance de fermeture: t. 380																				Emplacement 2A/04										
Puissance d'ouverture: t. 75																				appartient au groupe _____										
Course plateau mobile: mm. 475																				Classe de frais _____										
Genre de la fermeture du mouler: à double genouillon																				Degré de qualité _____										
Exécution: à chambre froide																				Particulièrement appropriée pour _____										
Position: horizontale																														
Réglage vis-à-vis de l'axe machine mm 30-130-230																														
Commande: Oléodynamique																														
Puissance d'injection normale: MP 14,1 à 14,1															Photographie et espace nécessaire															
Puissance d'injection avec le multiplicateur																														
MP 14,1 à 45,1																														
Course piston d'injection: mm 400																														
Diamètre des pistons de-à: mm 50 à 90																														
Volume remplissage du conteneur: cm ³ 589 à 1907,5																														
Pression spécifique sur le métal: Kg.cm ² 2298																														
à 709,2																														
Surface moulable maxi cm ² 536,7																														
Cycles de travail à vide: n 1' 8																														
Tension d'exercice: Volt. 380-Hz 50																														
" de commande Volt. 24-Hz 50																														
Puissance installée Kw. 50																														
Moteur-pompe Modèle: Siemens 1LA4-223-B																														
Puissance Kw. 30																														
Tours: U min. 960																														
N° commande AWF 3002 M/F . Reproduction interdite (1.78/4) © 1942 by Ausschluß für wirtschaftliche Fertigung e. V. (AWF), Berlin Beuth-Verlag GmbH, Berlin 30 und Köln																														

Utiliser les travaux de l'AWF (Catalogue gratuit sur demande)

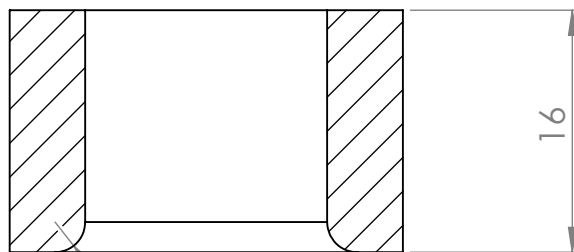
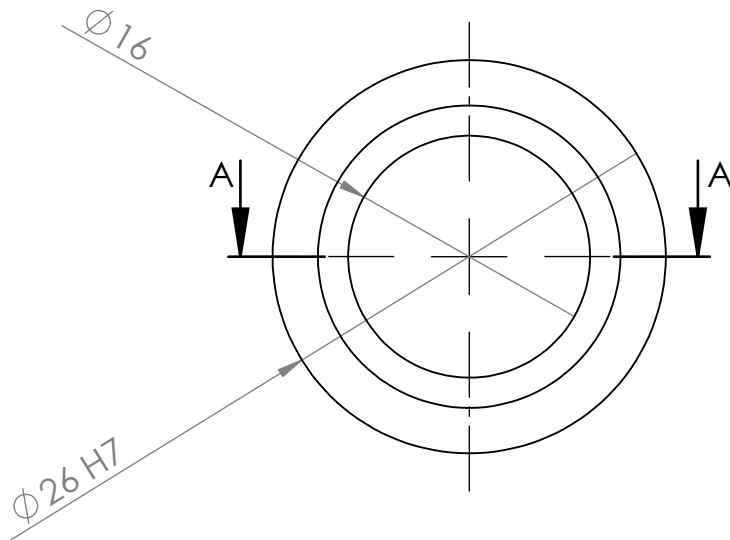
Active Wir
Accéder aux p



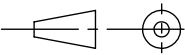
vue isométrique

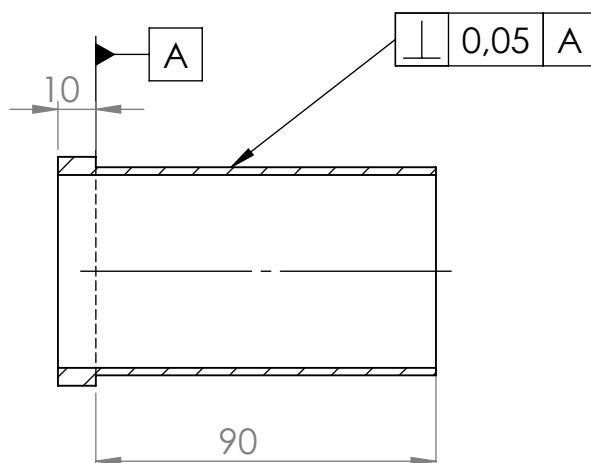
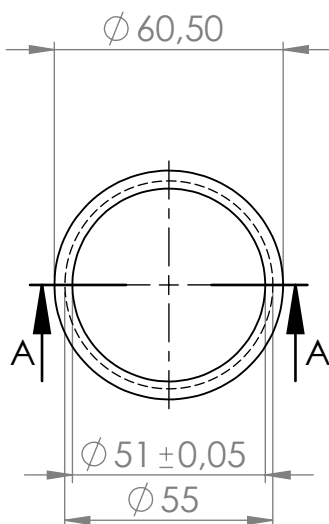
No. ARTICLE	Désignation	Matière	QTE
1	Porte empreinte fixe	X38CrMoV5-1	1
2	empreinte fixe	X38CrMoV5-1	2
3	pièce de centre fixe	X38CrMoV5-1	1
4	PLAQUE DE SERRAGE FIXE	X38CrMoV5-1	1
5	colone de guidage	X38CrMoV5-1	4
6	douille de coulee	X38CrMoV5-1	1
7	plaque de guidage 3	21MnCr5	1
8	plaque de guidage 1	21MnCr5	1
9	ISO 4762 M10 x 45 - 32N		8
10	ISO 4762 M20 x 80 - 52N		7
11	ISO 4762 M16 x 70 - 44N		6
12	ISO 4762 M20 x 100 - 52N		4
13	PINCE DE SERRAGE2	40CrMnMoS8-6	2
14	ISO 4762 M24 x 60 - 60N		2
15	ISO 4027 - M16 x 25-N		2
16	anneau de levage		2
17	PLAQUE DE SERRAGE MOBILE	X38CrMoV5-1	1
18	Pièce D'ARRÊT	40CrMnMoS8-6	4
19	ISO 4762 M6 x 40 - 24N		16
20	plaque de guidage 4	21MnCr5	2
21	ISO 4762 M10 x 16 - 16N		8
22	plaque d ejecteur	40CrMnMoS8-6	1
23	PLAQUE DE GUIDAGE 5	21MnCr5	2
24	ISO 4762 M6 x 10 - 10N		6
25	plaque d'ejecteur2	E335	1
26	boulon support	E335	1
27	baguette support 1	40CrMnMoS8-6	1
28	baguette support	40CrMnMoS8-6	1
29	plaque de guidage 2	21MnCr5	1
30	plaque de guidage 6	21MnCr5	1
31	ISO 4762 M20 x 60 - 60N		13
32	ISO 4762 M16 x 50 - 50N		6
33	plaque de couverture	40CrMnMoS8-6	1
34	colone de guidage de chassi	C60E	4
35	plaque d'ejection tete	E335	1
36	porte empreinte mobile	X38CrMoV5-1	1
37	empreinte mobile	X38CrMoV5-1	1
38	ejecteurD8	X38CrMoV5-1	16
39	ejecteurD10	X38CrMoV5-1	3
40	ISO 4762 M10 x 35 - 35N		12
41	ISO 4762 M10 x 30 - 30N		6
42	pièce de centre MOBILE	X38CrMoV5-1	1
43	plaque d'entree	40CrMnMoS8-6	1
44	enclume	X38CrMoV5-1	1
45	ISO 4762 M10 x 80 - 32N		2
46	ISO 4762 M10 x 70 - 32N		4
47	ISO 4762 M16 x 160 - 44N		2
48	tige deguidage presse		4
49	ISO 4762 M12 x 35 - 35N		4
50	ejecteurD8x248.79	X38CrMoV5-1	4
51	ejecteurD8x250	X38CrMoV5-1	2
52	PINCE DE SERRAGE2	40CrMnMoS8-6	2
53	ISO 4762 M24 x 70 - 70N		2
54	ISO 4027 - M16 x 25-N		2

Echelle : 1:8	ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GANNA-HADDADI-H
		2021/2022
A 1	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



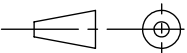
Ra=3.2
Tolérance de fabrication:0,1
Sauf indication

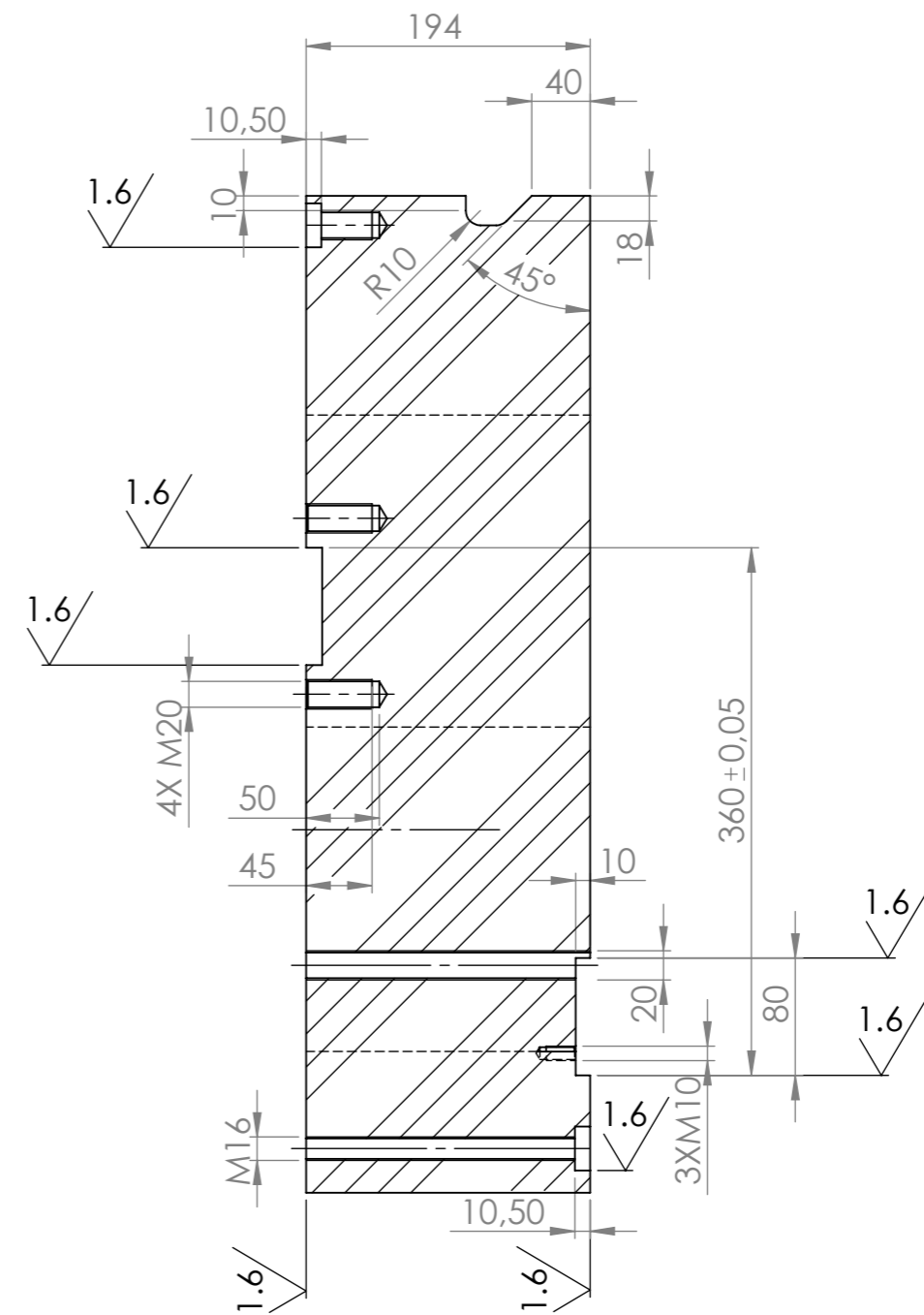
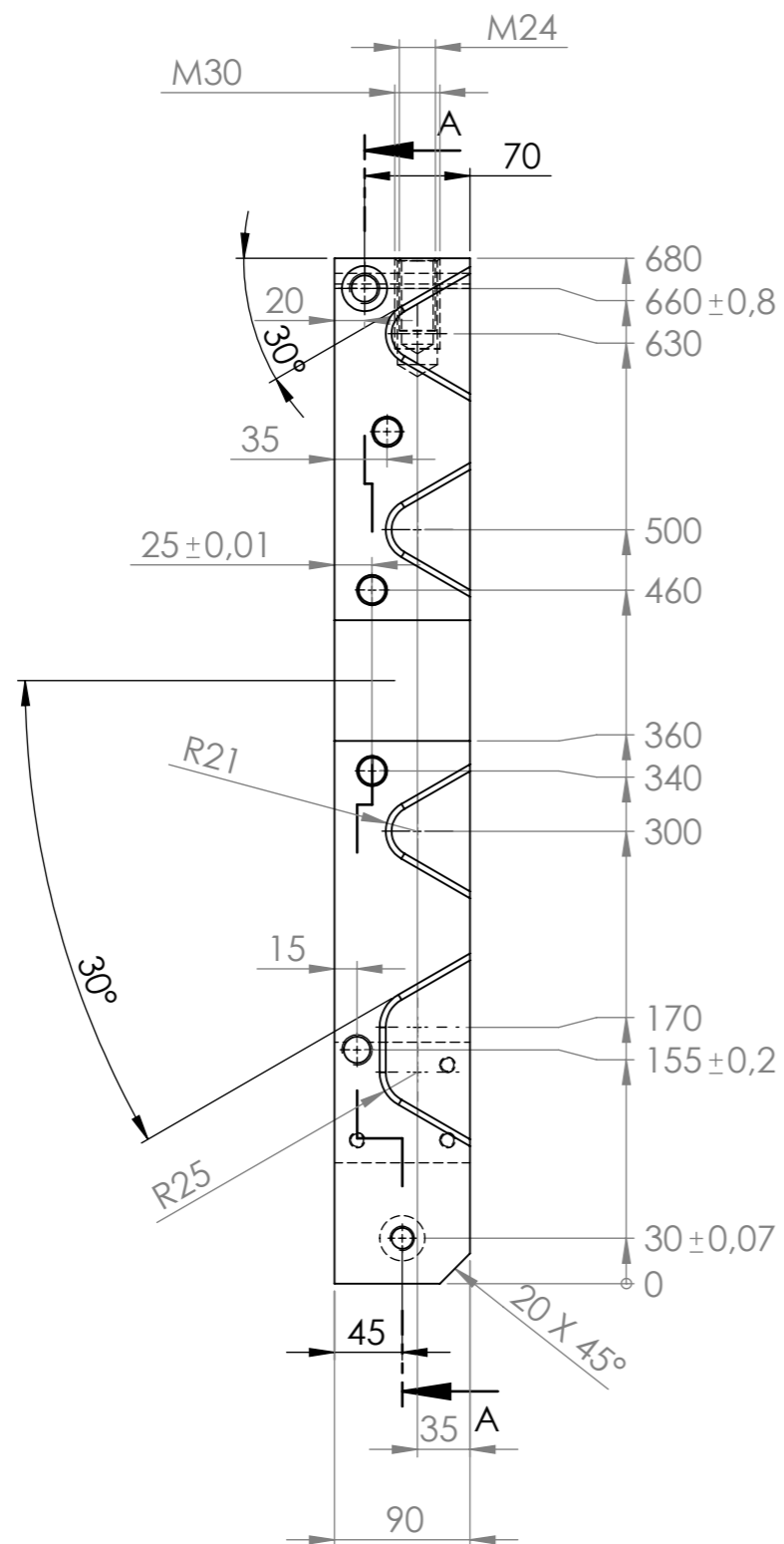
9	2	BAGUE	CuN8	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GAN A HADDADI-H	
			Planche N° : 9/23	
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	



COUPE A-A

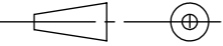
Ra=1.6
Tolérance de fabrication: $\pm 0,1$
Sauf indication

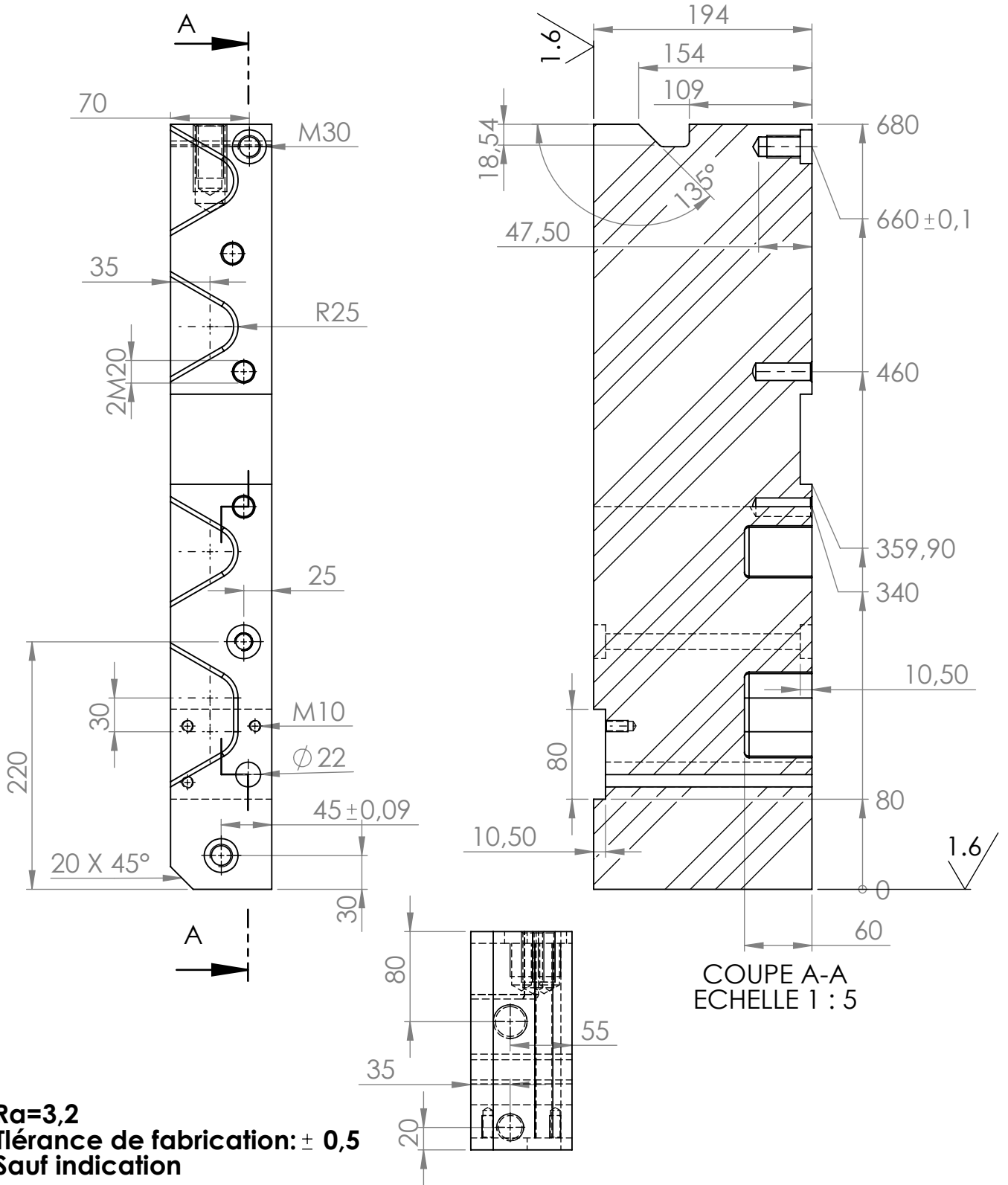
9	1	bague de guidage	CuNn8	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echel: 2:1		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GAN A-A HADDADI-H	
			Planche N° : 9/23	
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	

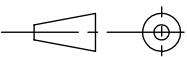


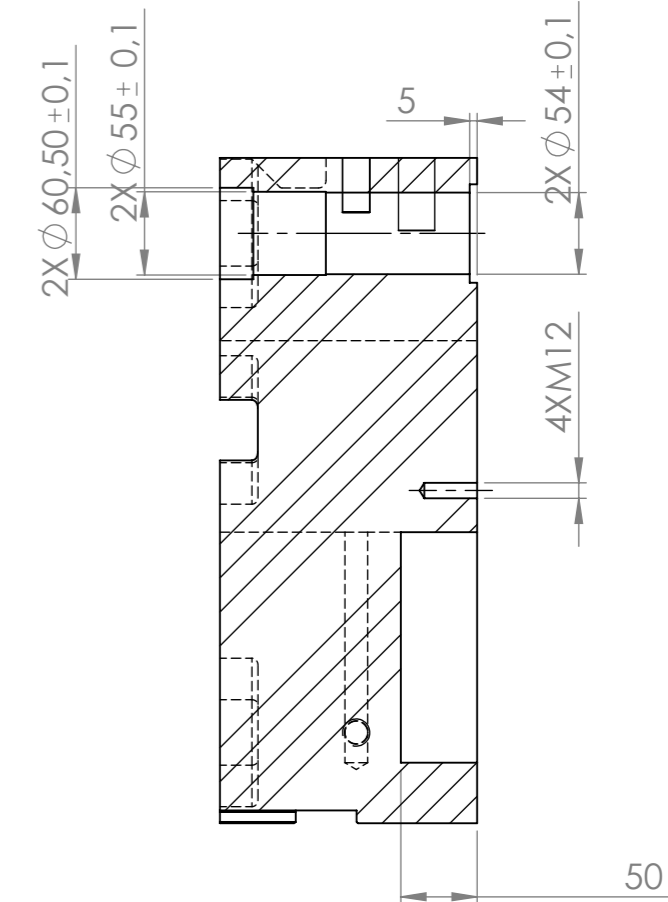
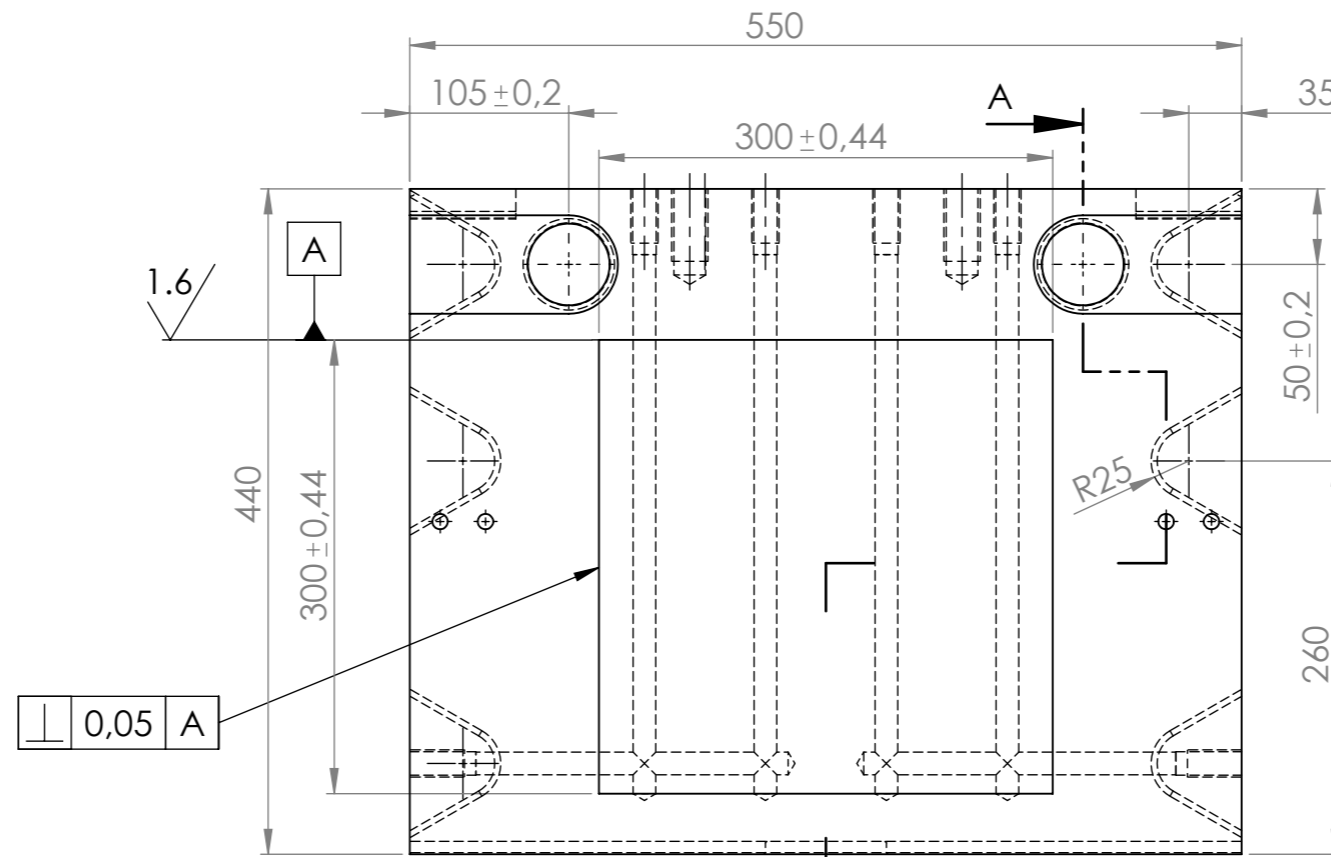
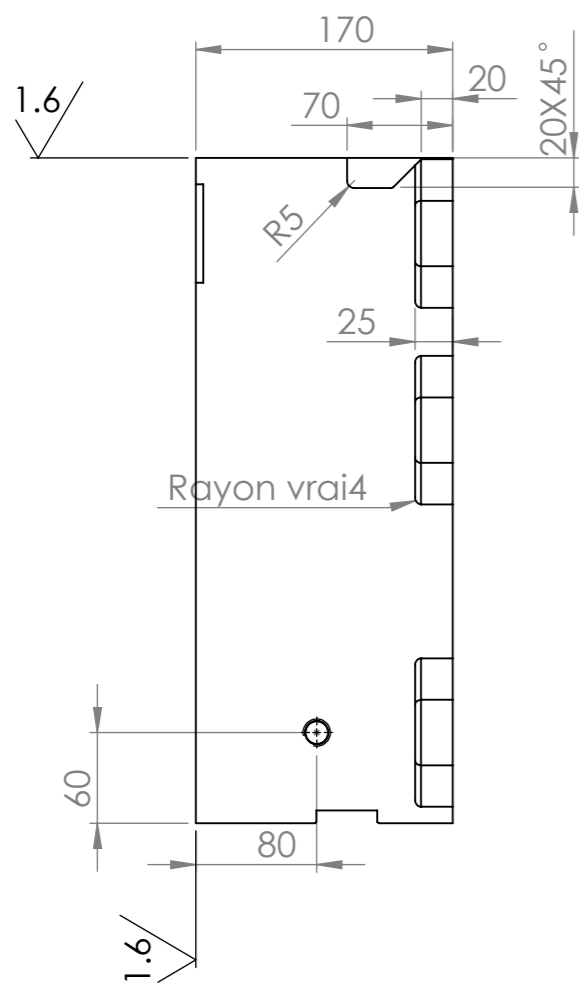
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5

Ra=3,2
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication

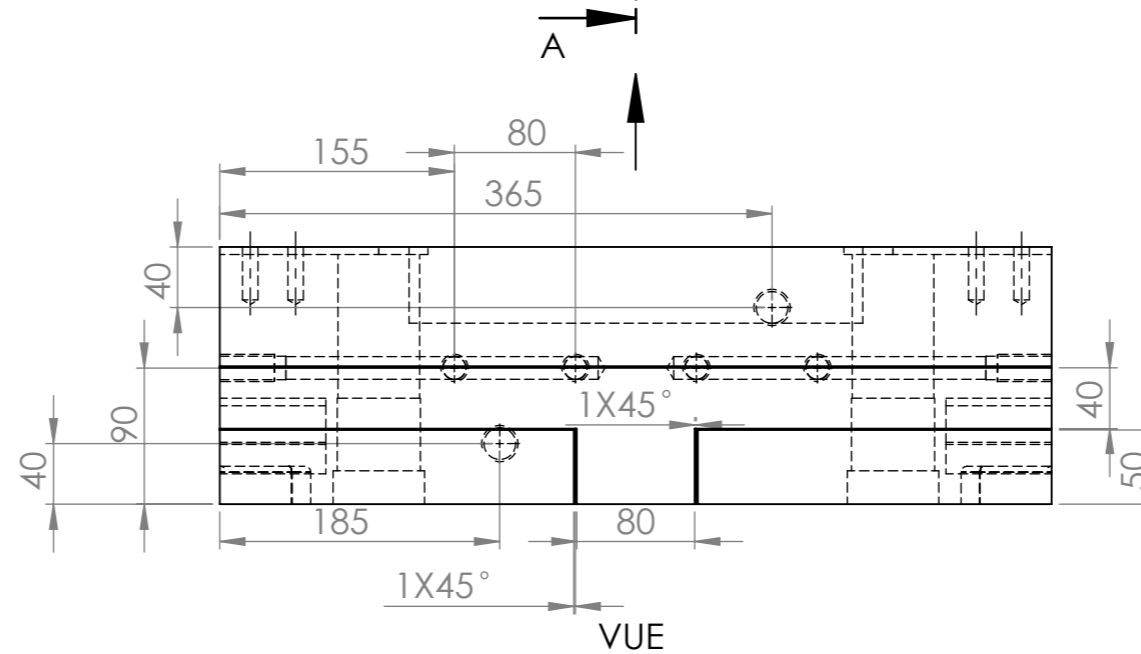
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
28	1	baguette support 1	40Cr MnMoS8-6	
Echelle : 1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GANA-A HADDADI-H	
			Planche N° : 28/23	
A 3			M2 FMP	



27	4	baguette support	X37CrMoV5-1	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A HADADI H
				Planche N° : 27/54
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP

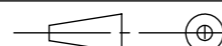


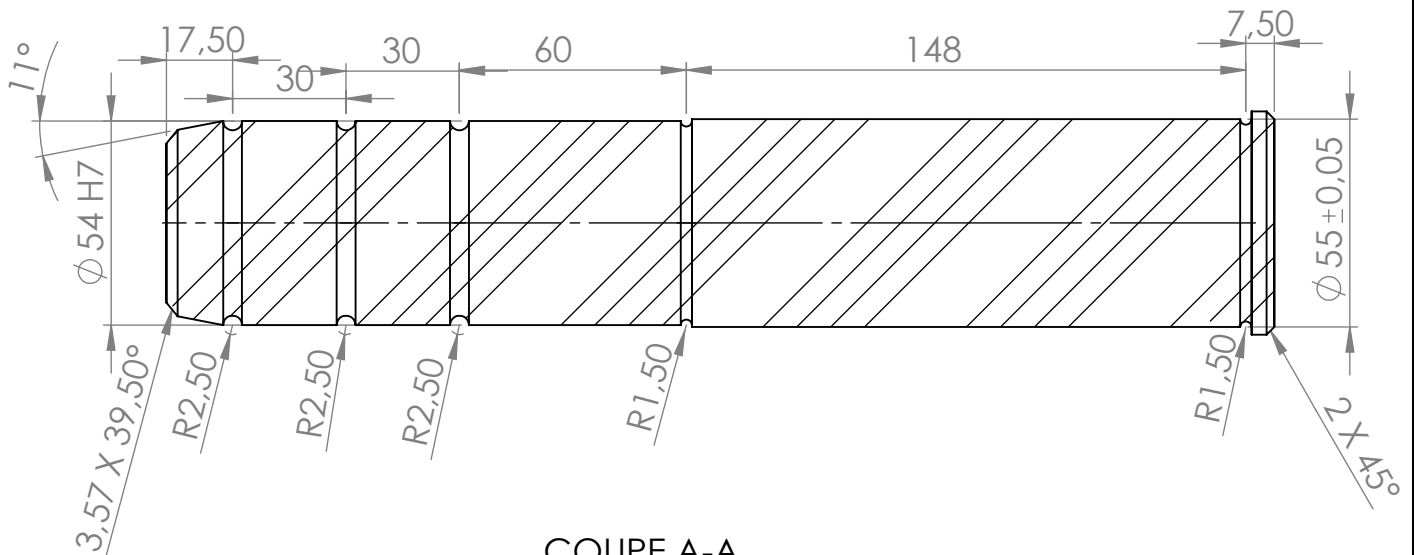
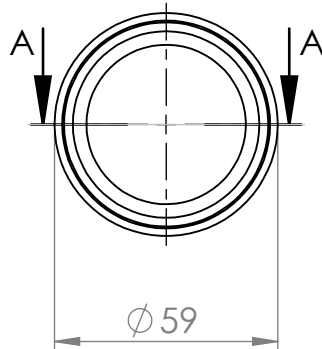
COUPE A-A



VUE

Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0.5
Sauf indication

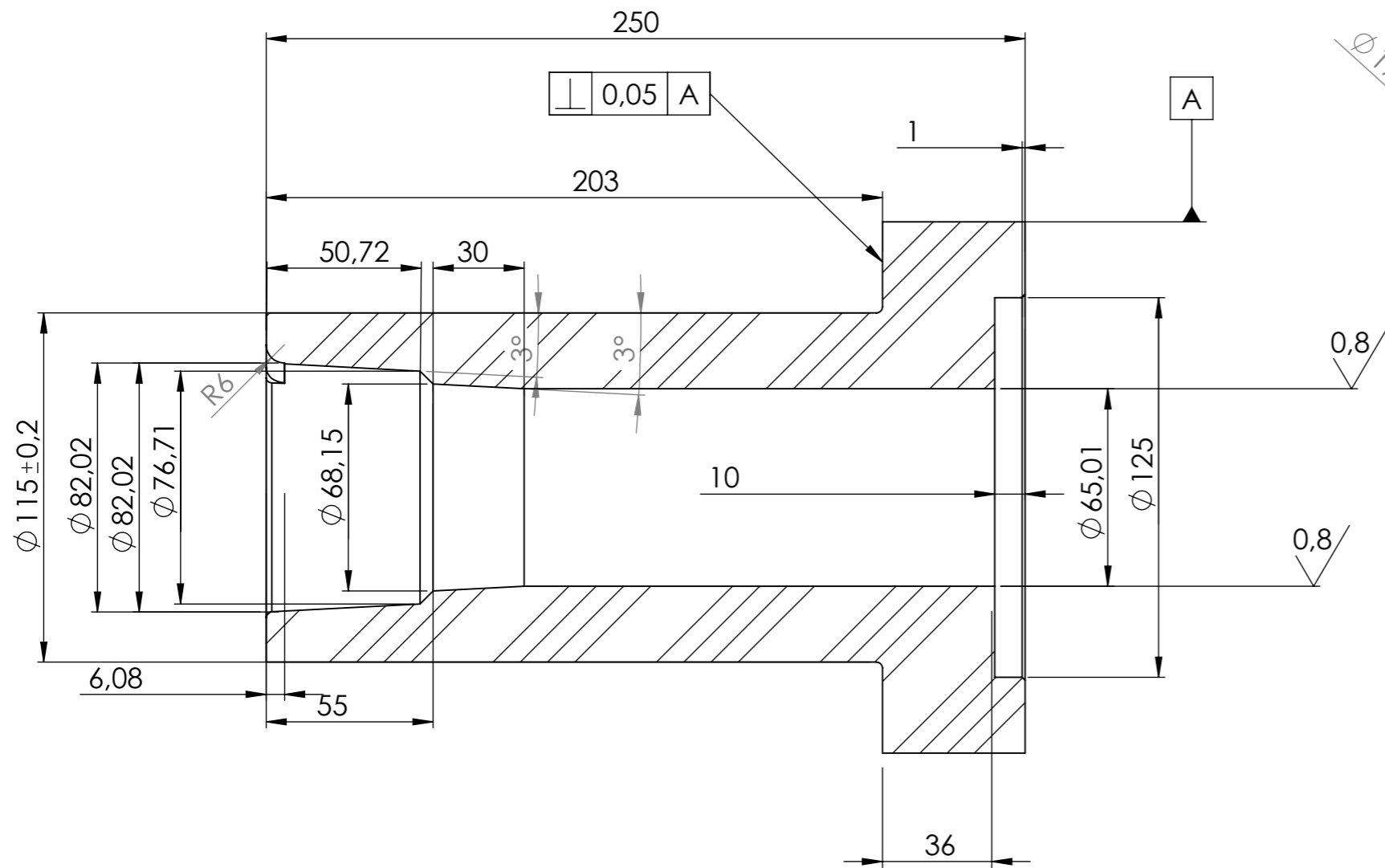
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
1	1	carcasse fixe	X37 Cr Mo V 5-1	Trempé
Echelle : 1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	FGC - GM - UMMTO	GANA-A HADDADI-H
				Planche N° : 1/54
A 3				M2 FMP



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

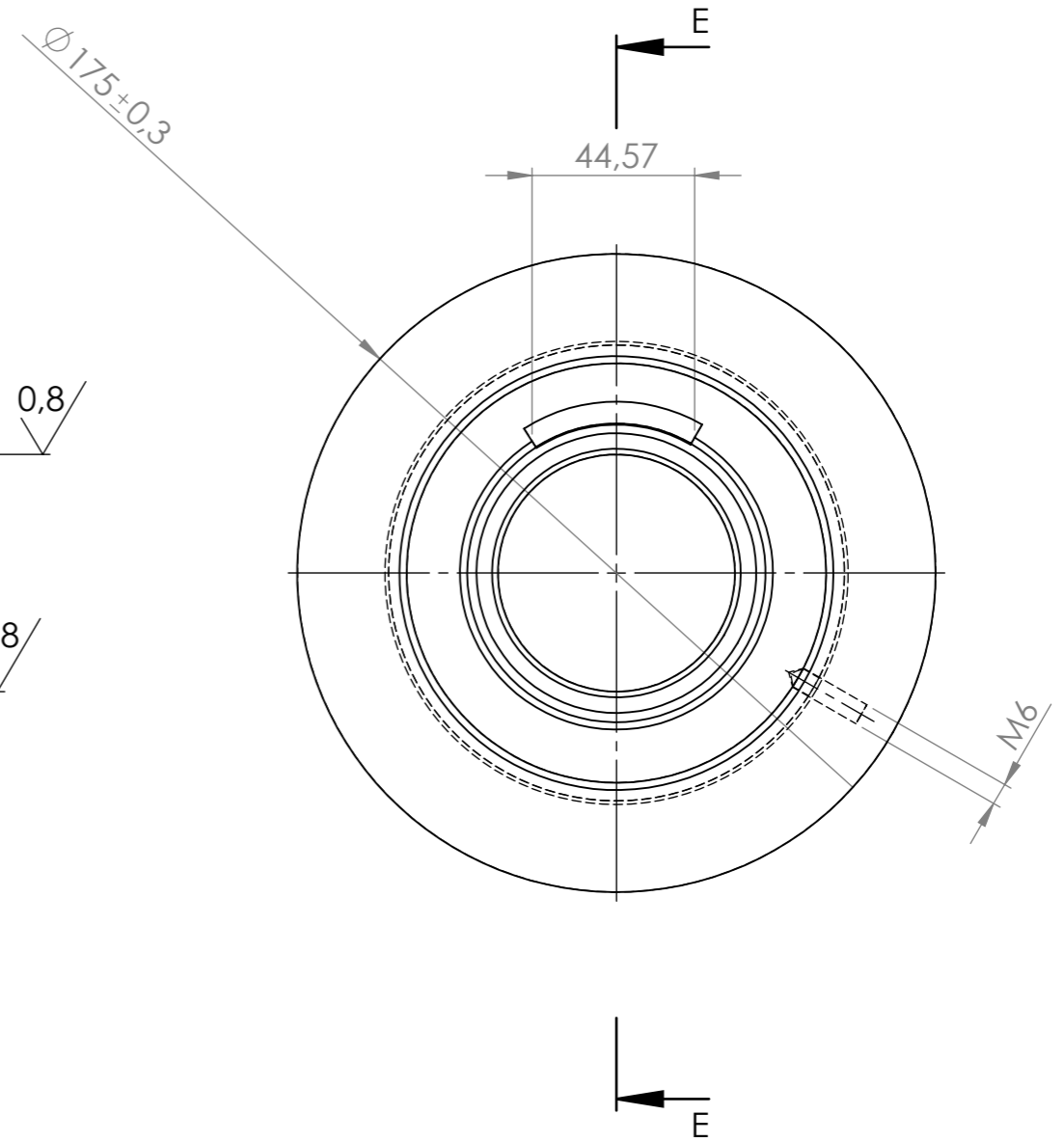
Ra=1.6
Tolérance de fabrication: ±0,05
Sauf indication

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
34	4	colone de guidage	C60E	
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 63	GAN A HADDADI-H Planche N° : 34/54	
A4				

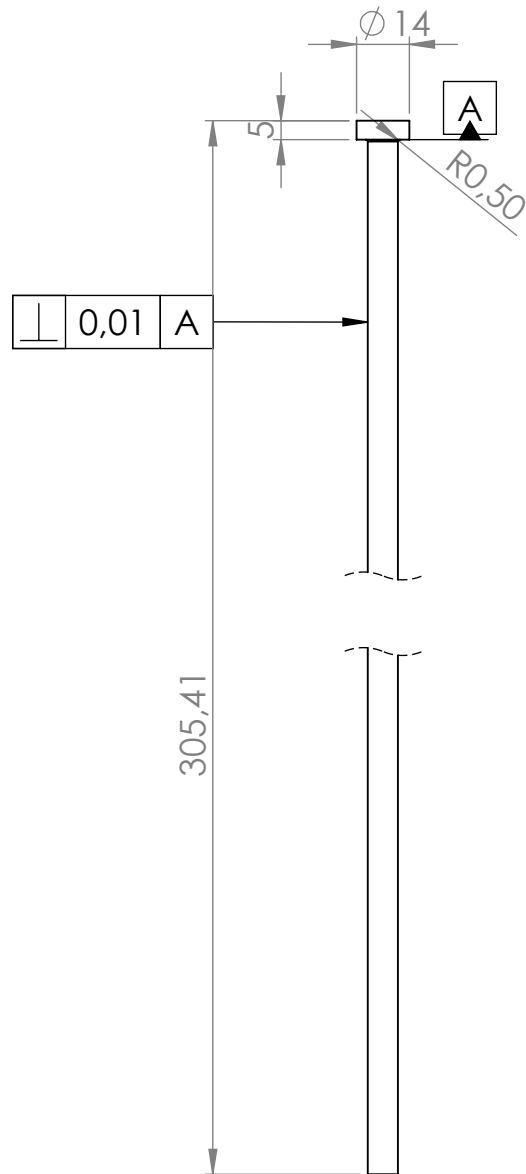


COUPE E-E
ECHELLE 1 : 2

Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ± 0,5
Sauf indication

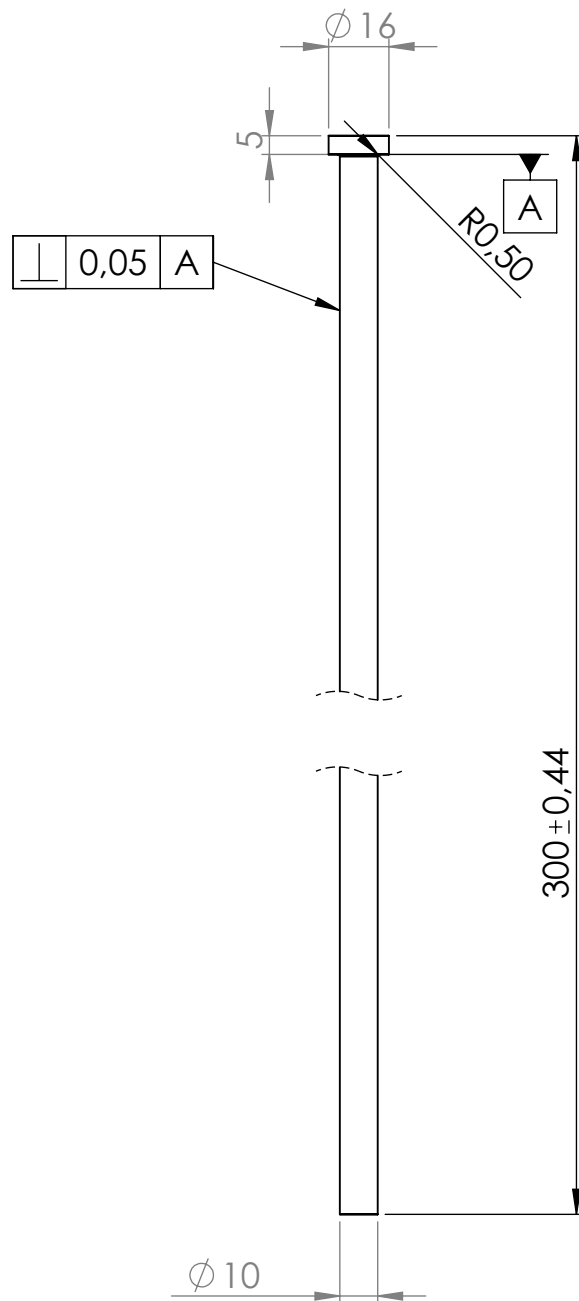


Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
6	1	Douille de Coullée	X38 Cr Mo V 5-1	Trempé
Echelle : 1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	FGC - GM - UMMTO	HADDADI-H GANA-A
				Planche N° :6 /54
A 3				M2 FMP



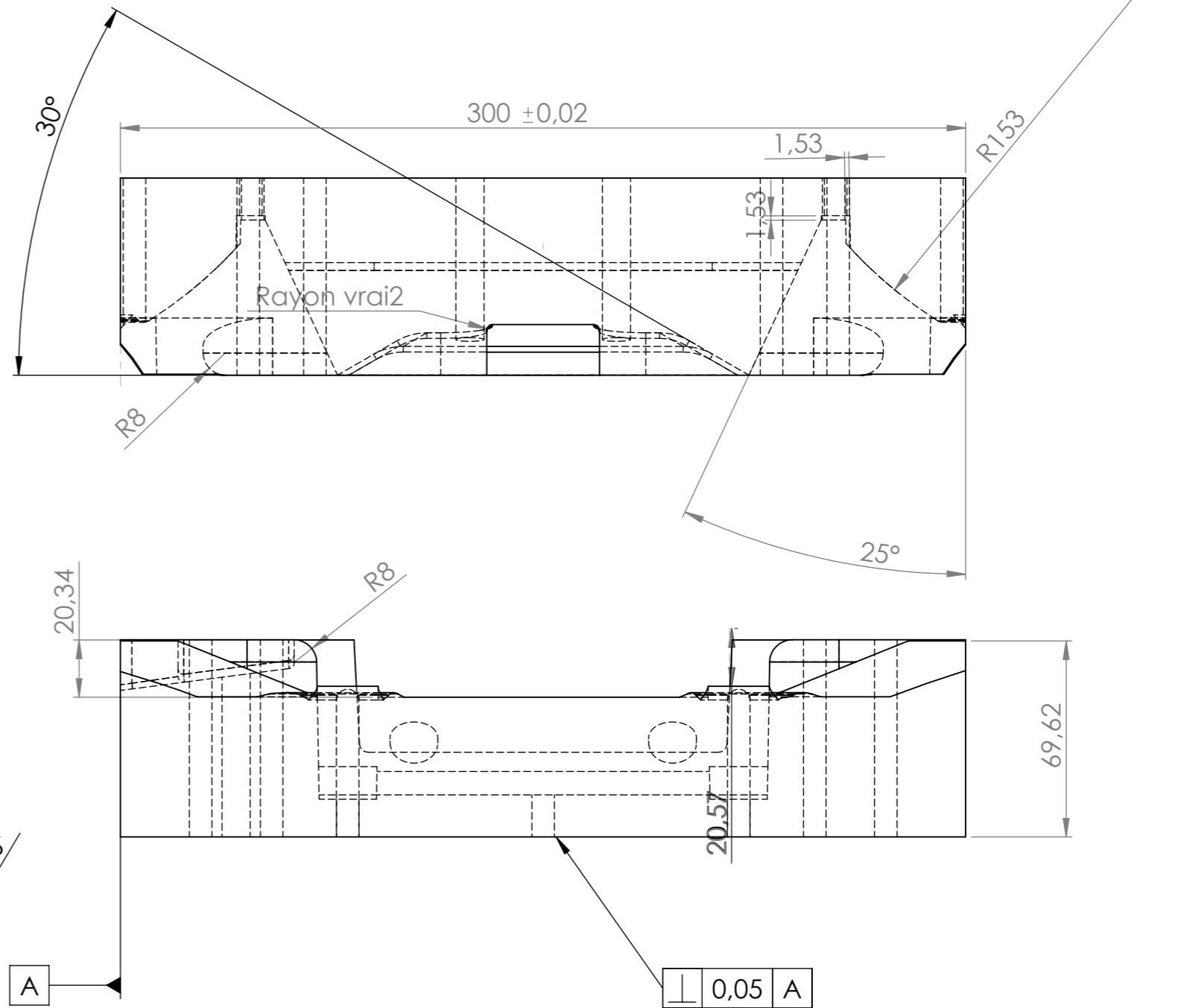
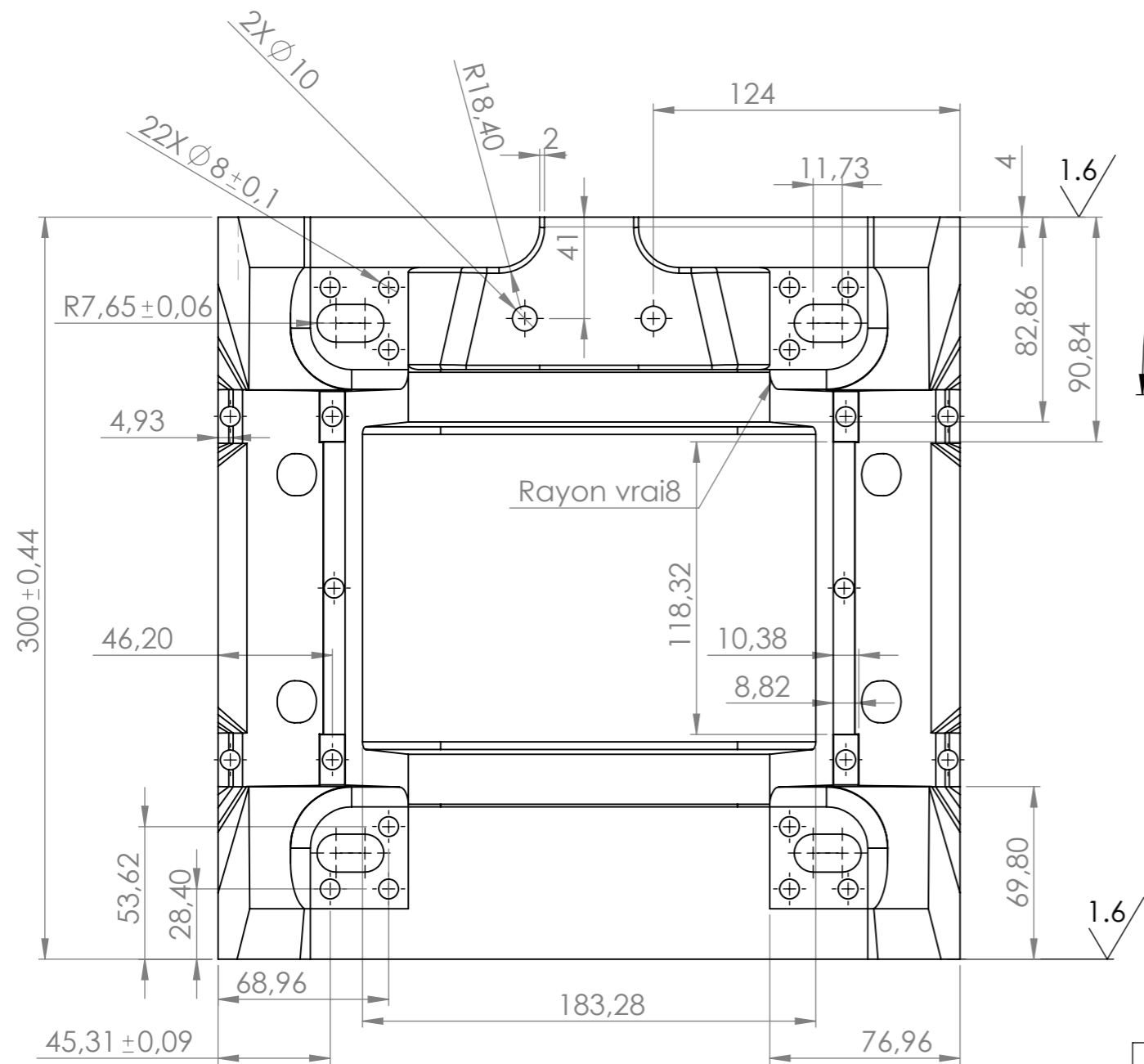
Ra=1.6
 Tolérance de fabrication: ±0,05
 Sauf indication

38	16	ejecteurD8	X37CrMoV5-1	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GAN A HADDADI-H	
			Planche N° : 38/54	
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	



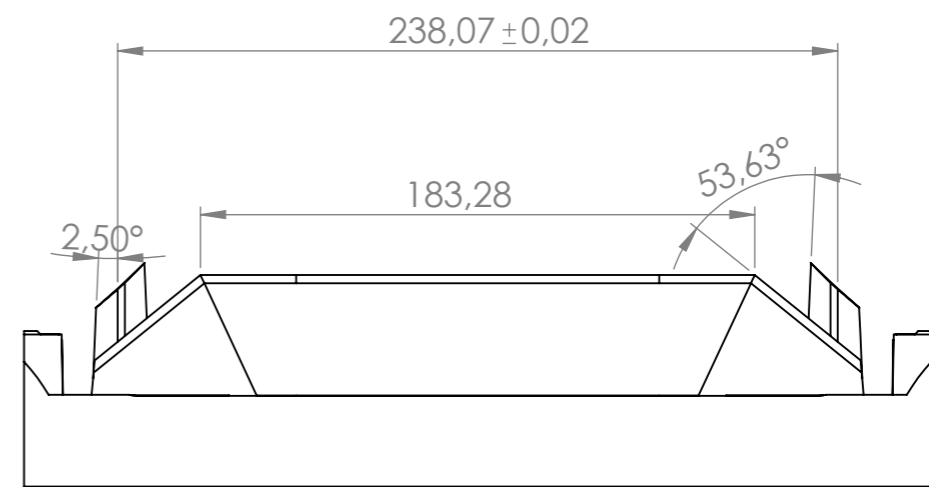
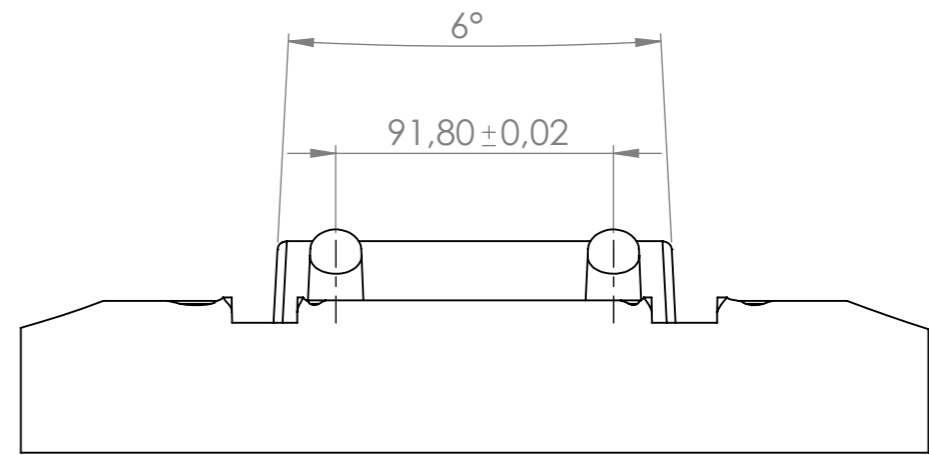
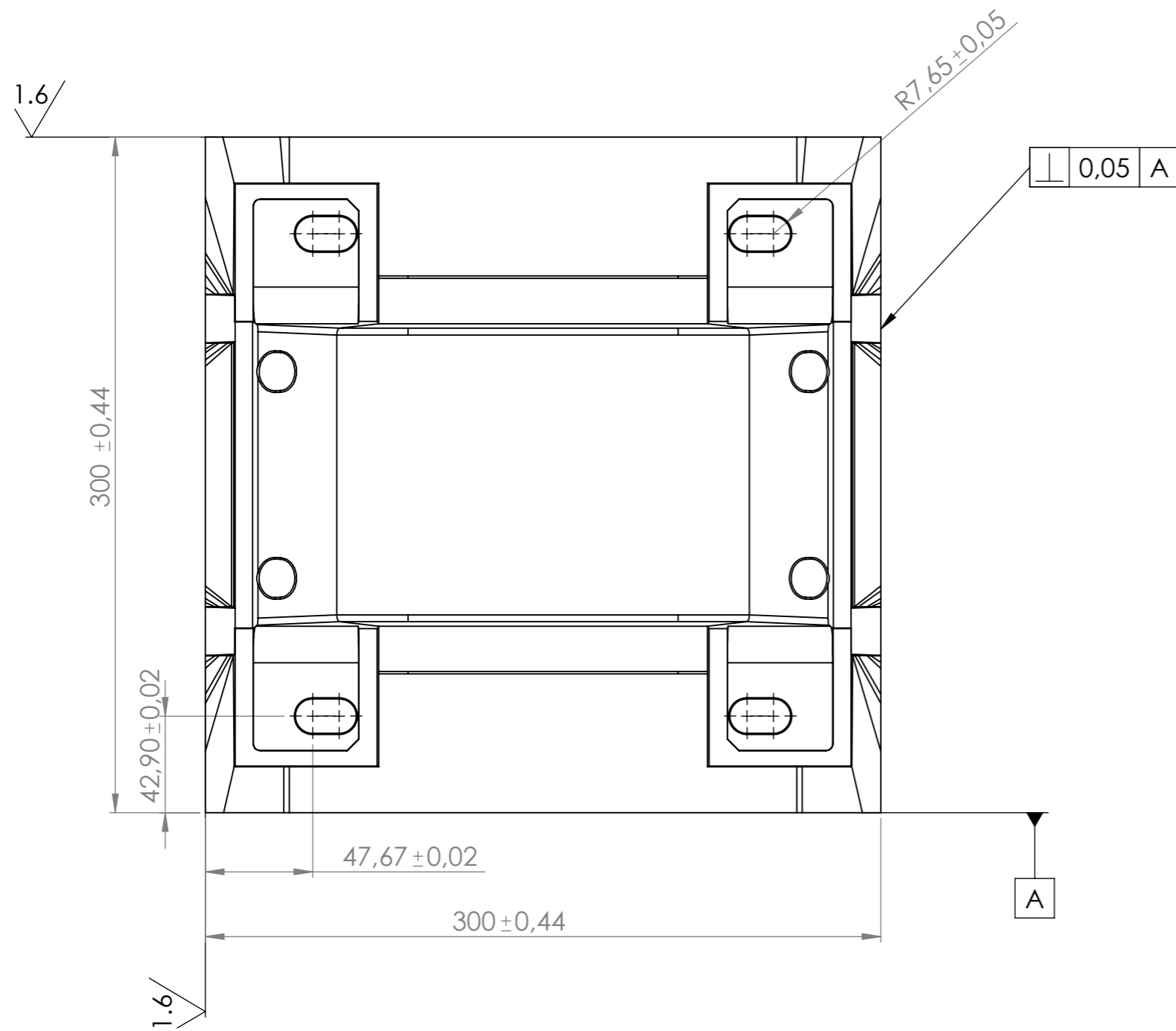
Ra=1.6
 Tolérance de fabrication: ±0,1
 Sauf indication

39	3	EjecteurD10	C60E	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GAN A HADDADI-H	
			Planche N° : 39/54	
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	



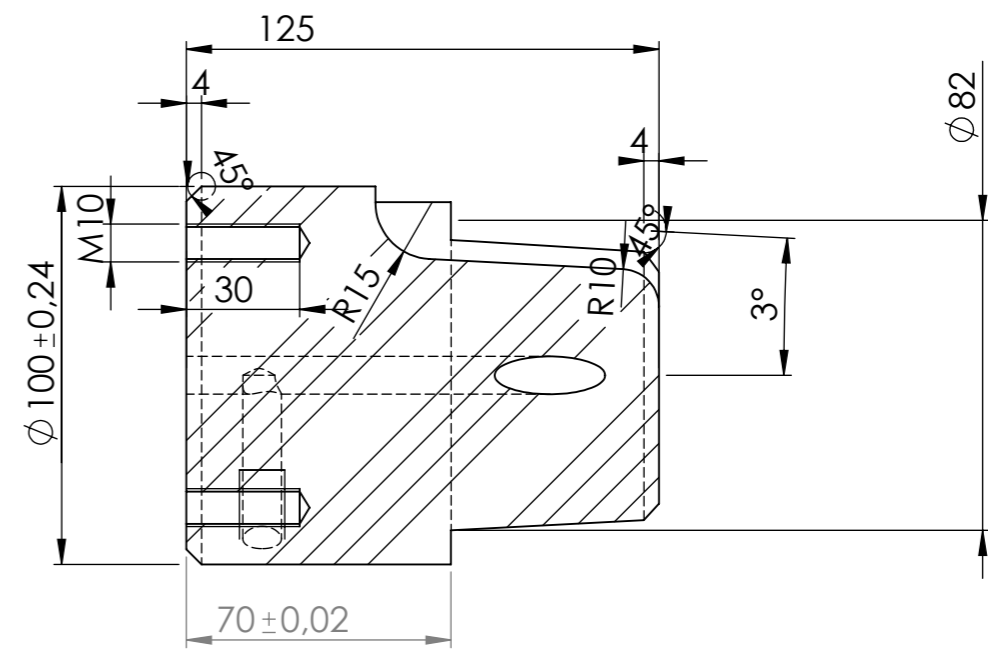
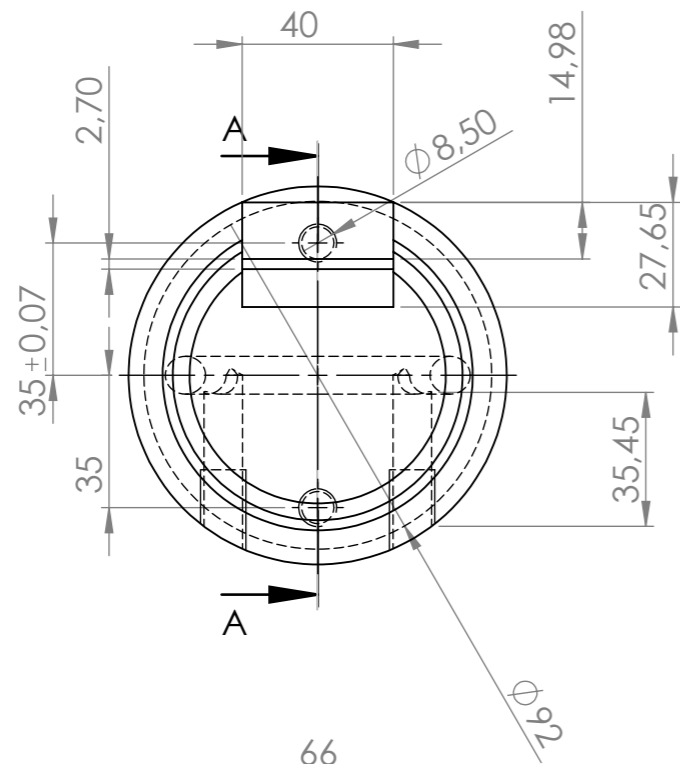
Ra=0.8
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication
Dépouille: 1 à 3

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
37	1	empreinte mobile	X38 Cr Mo V 5-1	Trempé
Echelle : 1:2.5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GAN A HADDADI-H Planche N° : 37/54	
A 3				

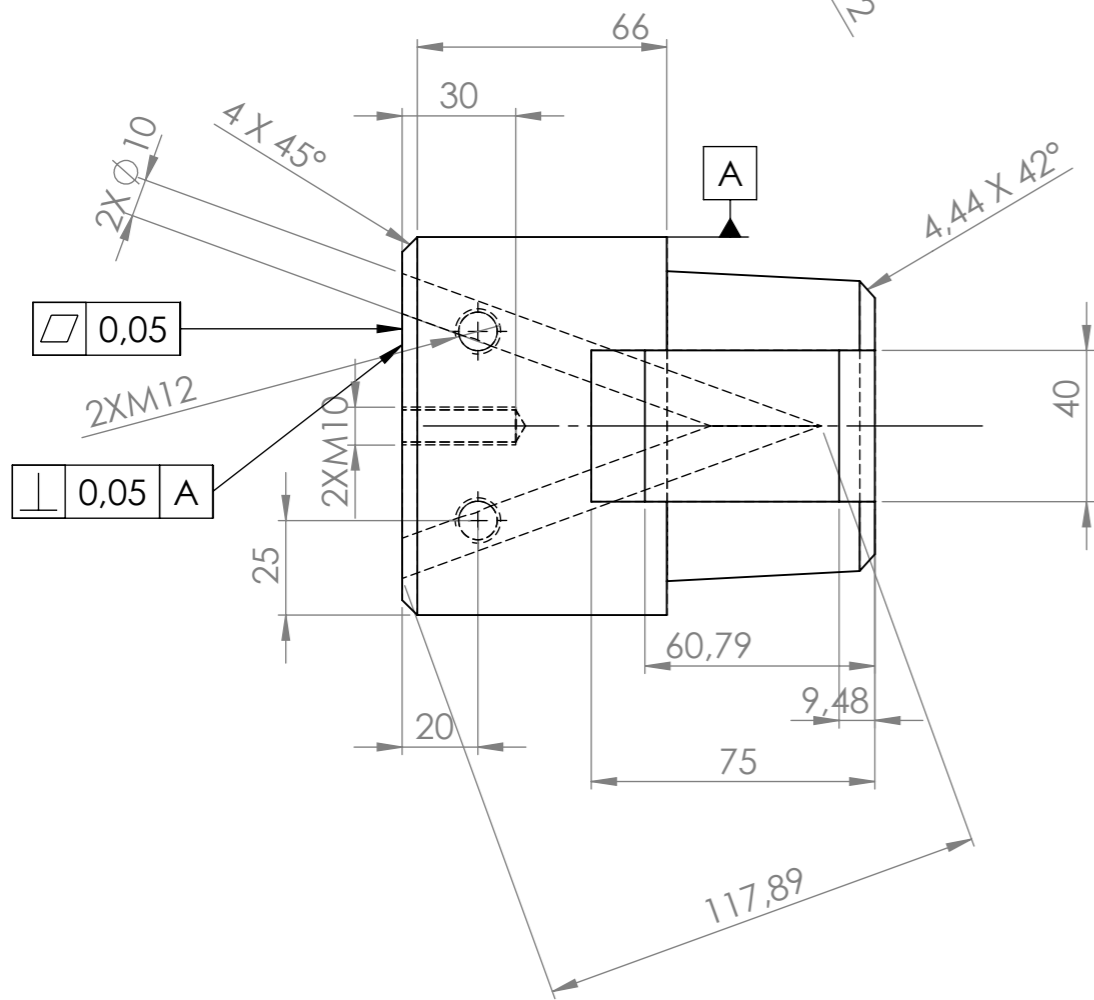


Ra=0.8
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication
Dépouille : 1 à 3

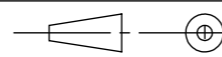
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
2	1	Empreinte Fixe	X37 Cr Mo V 5-1	Trempé
Echelle : 1:2.5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GAN-A HADDADI-H Planche N° : 2/54	
A 3				

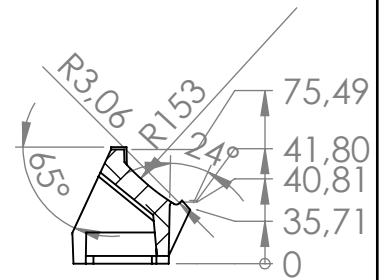
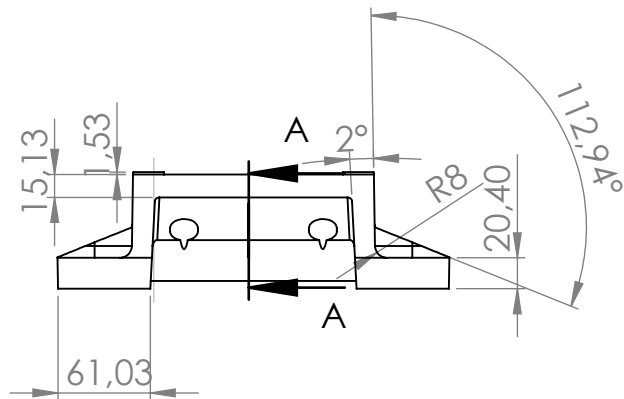


COUPE A-A

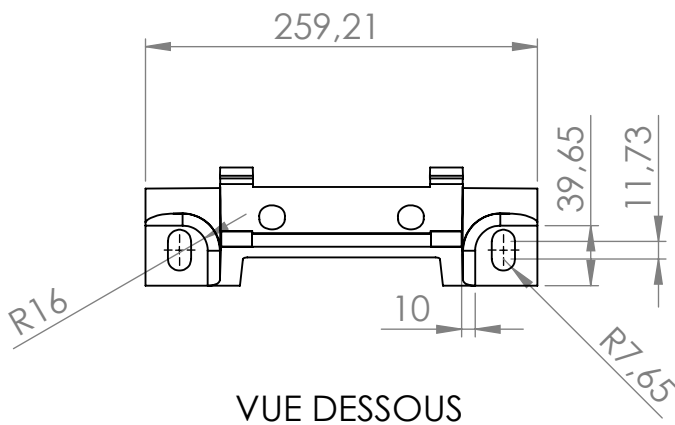


Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication

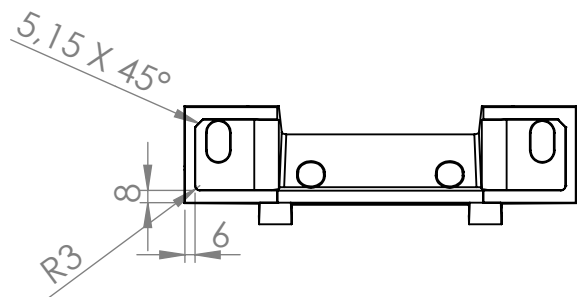
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
15	1	enclume	X38 Cr MoV5-1	
Echelle : 1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE INJECTION ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	FGC - GM - UMMTO	GANA-A HADDADI-H
				Planche N° : 10/23
A 3				M2 FMP



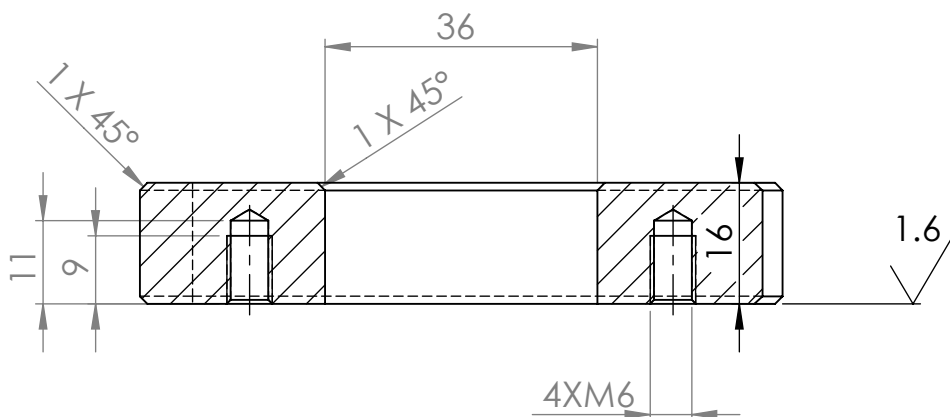
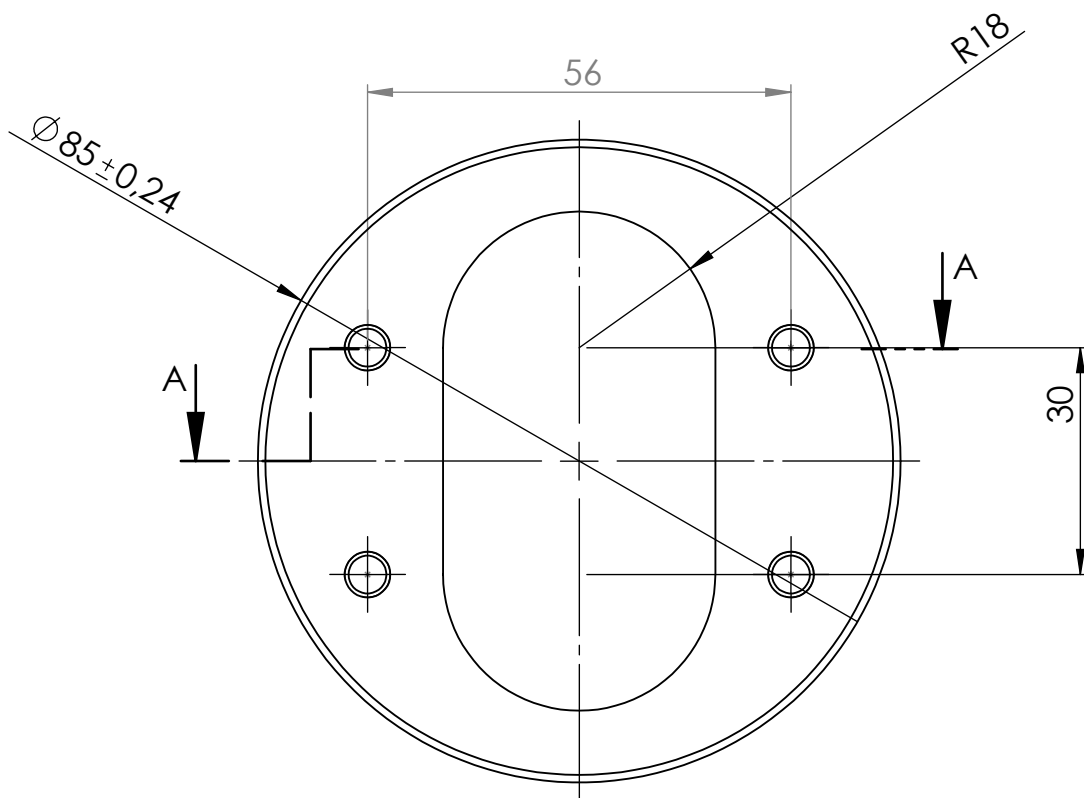
COUPE A-A



VUE DESSOUS



	1	PATTE DE CARCASSE	ALSi12Cu (Fe)	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POU REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A HADDADI-H
				2021/2020
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP



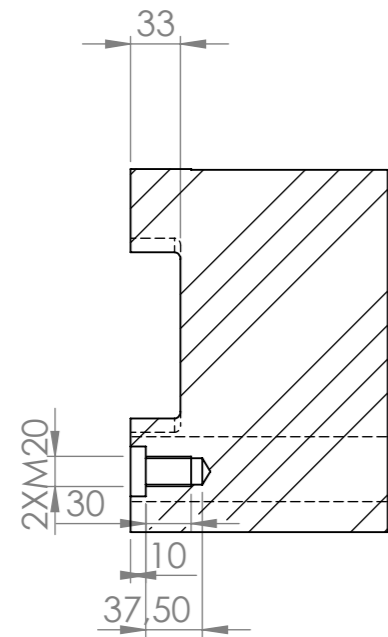
COUPE A-A

Ra=3.2

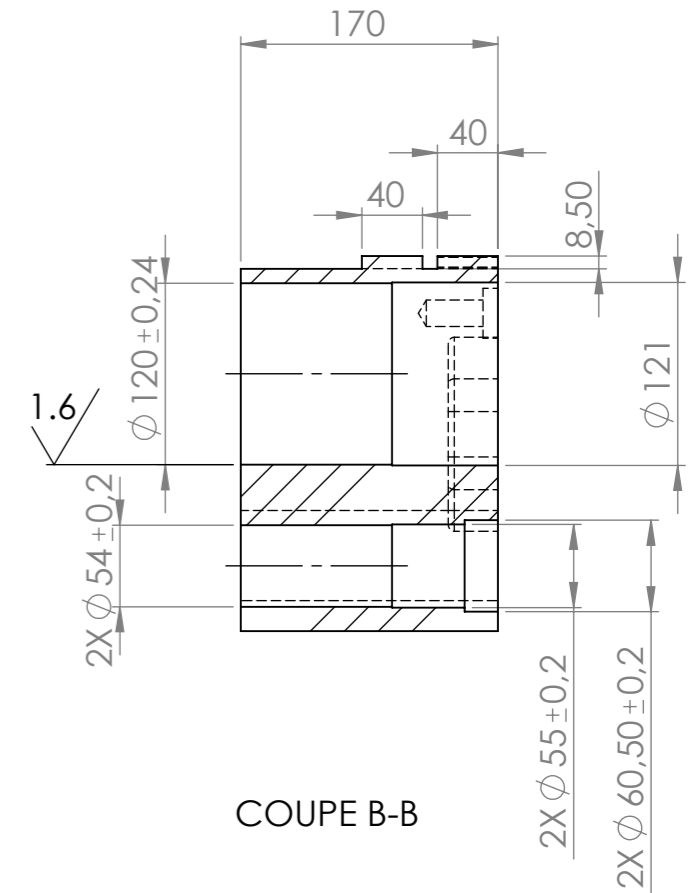
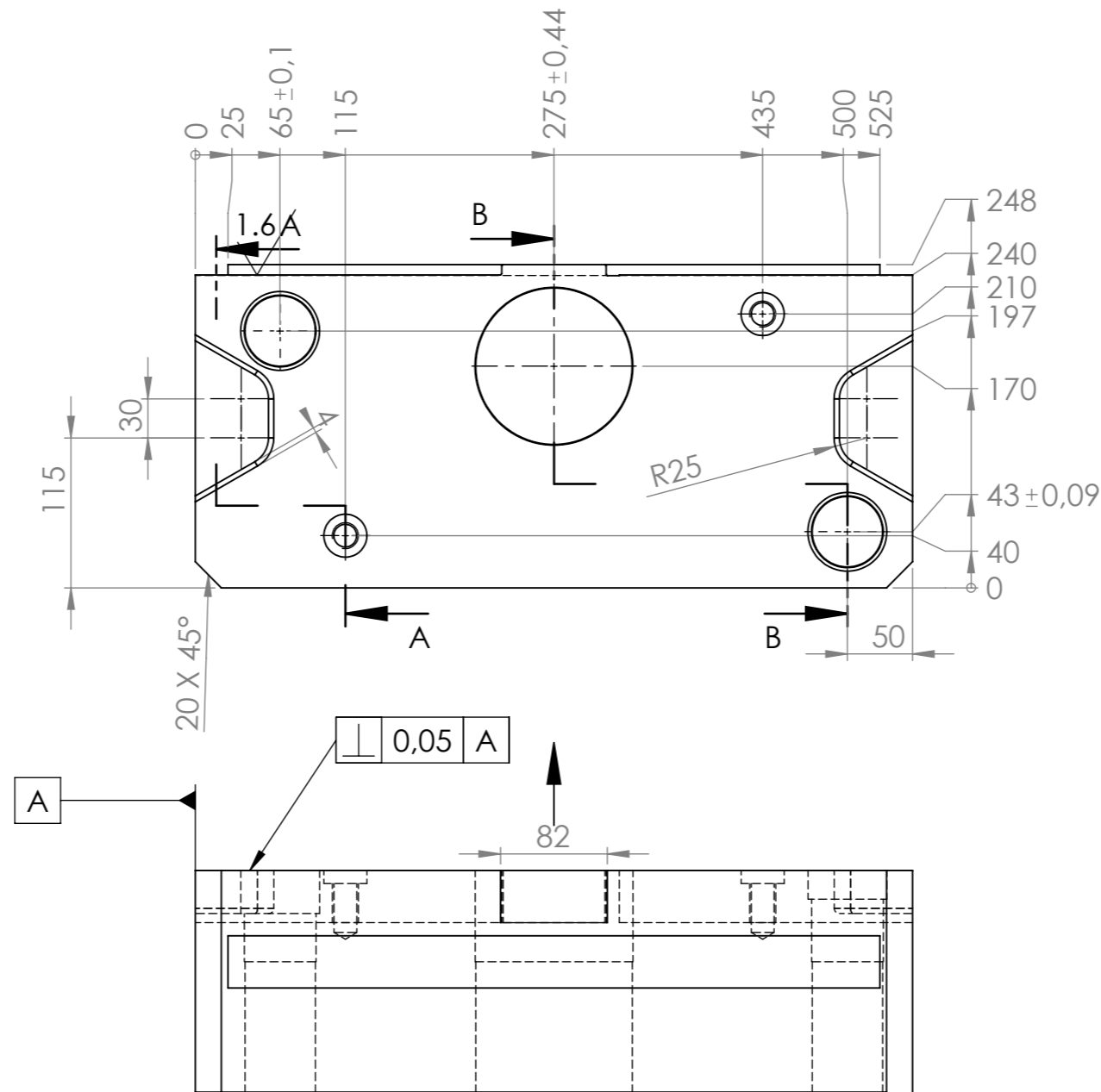
Tolérance de fabrication: $\pm 0,5$

Sauf indication

18	4	piece d'arret	40CrMnMoS8-6	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:1		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE INJECTION ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATE DE CARCASSE TYPE 163		GAN-A HADDADI-H
				Planche N°: 18/54
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP



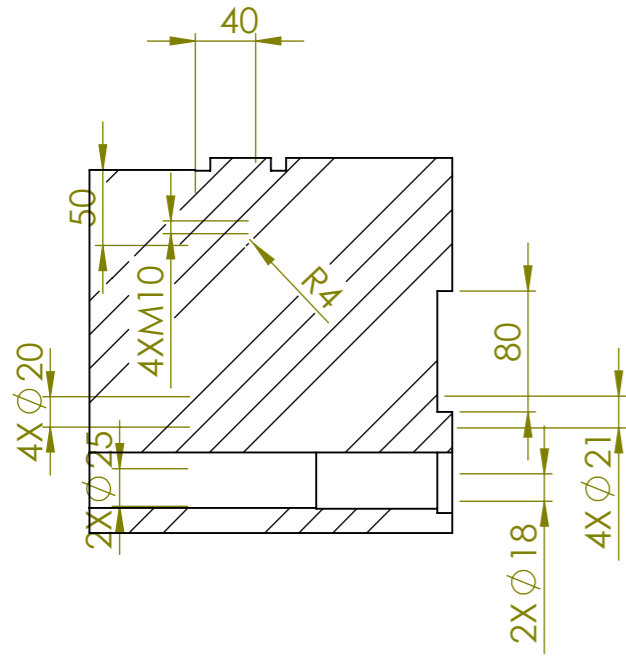
COUPE A-A



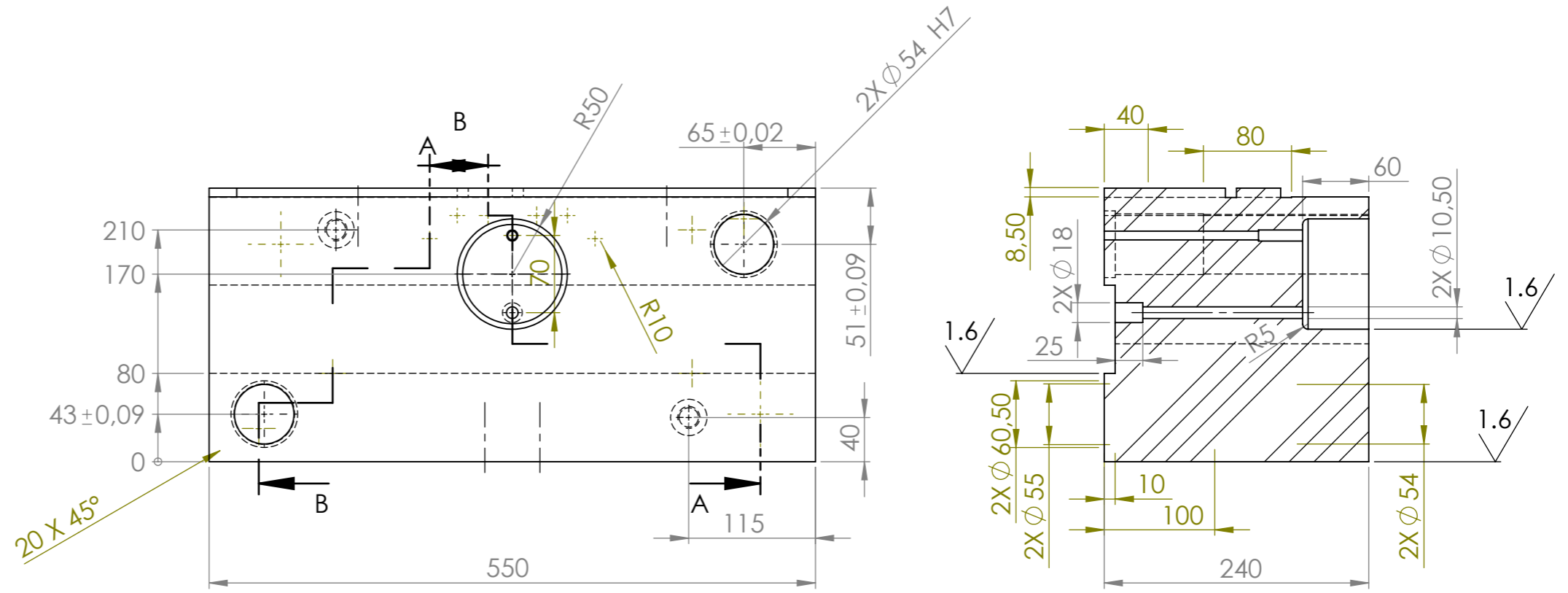
COUPE B-B

Ra=3.2
 Tolérance de fabrication: ±0,5
 Sauf indication

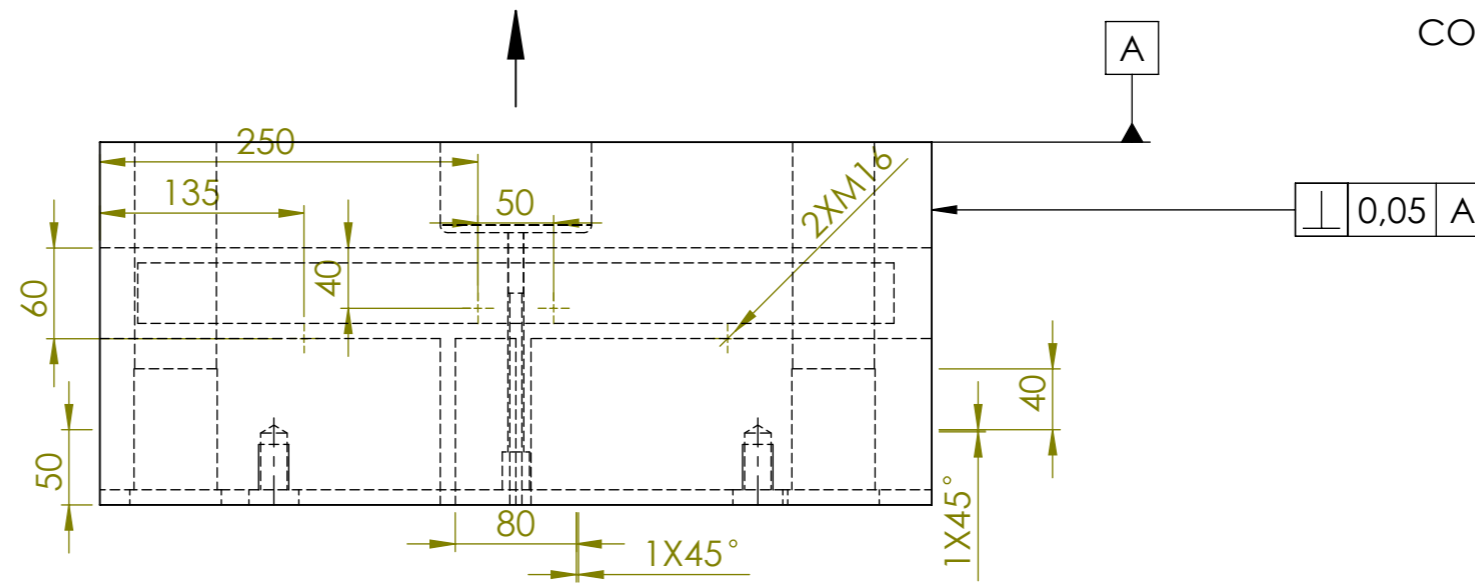
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
3	1	piece de centre fixe	X38 Cr Mo V 5-1	
Echelle : 1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GANA-A HADDADI-H
				Planche N° : 3/54
A 3				M2 FMP



COUPE B-B

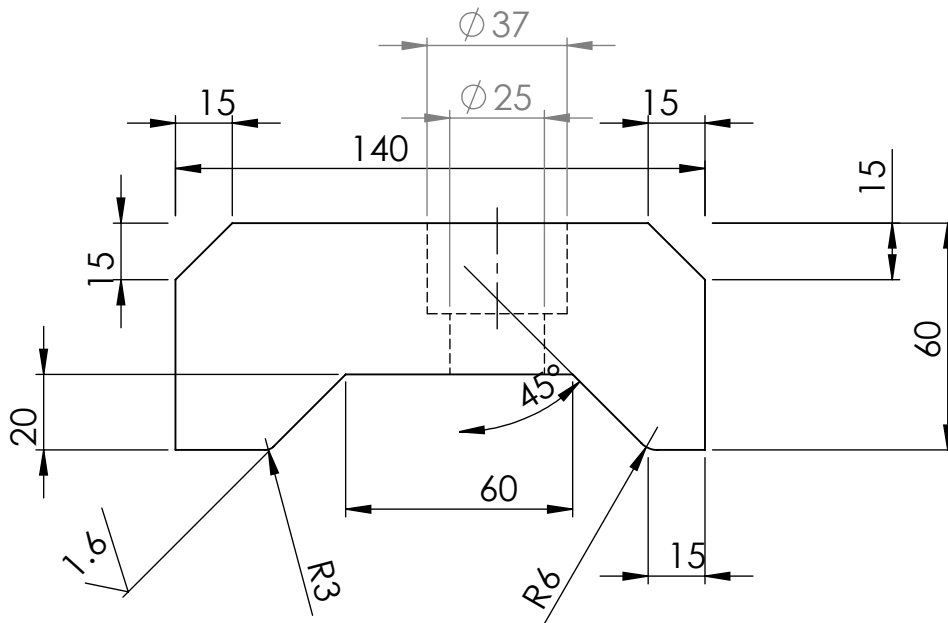


COUPE A-A

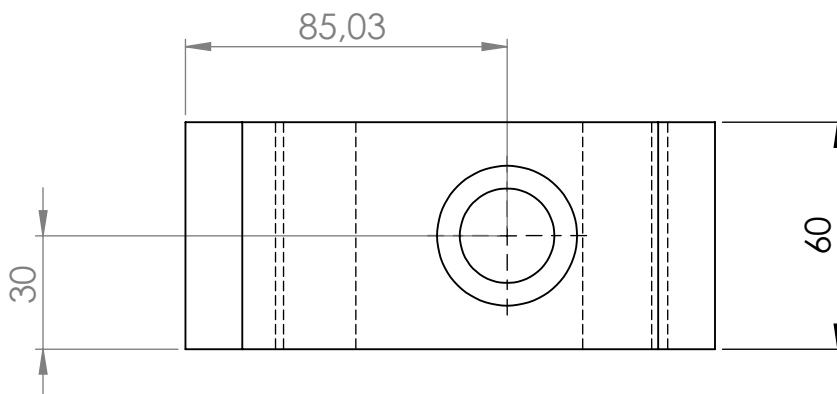


Ra=3.2
Tolérance de fabrication:0,5
Sauf indication

42	1	PIÈCE DE CENTRE MOBILE	X38 Cr Mo V 5-1	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GANA-A HADDADI-H
A 3				FGC - GM - UMMTO
				M2 FMP

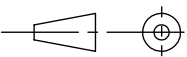


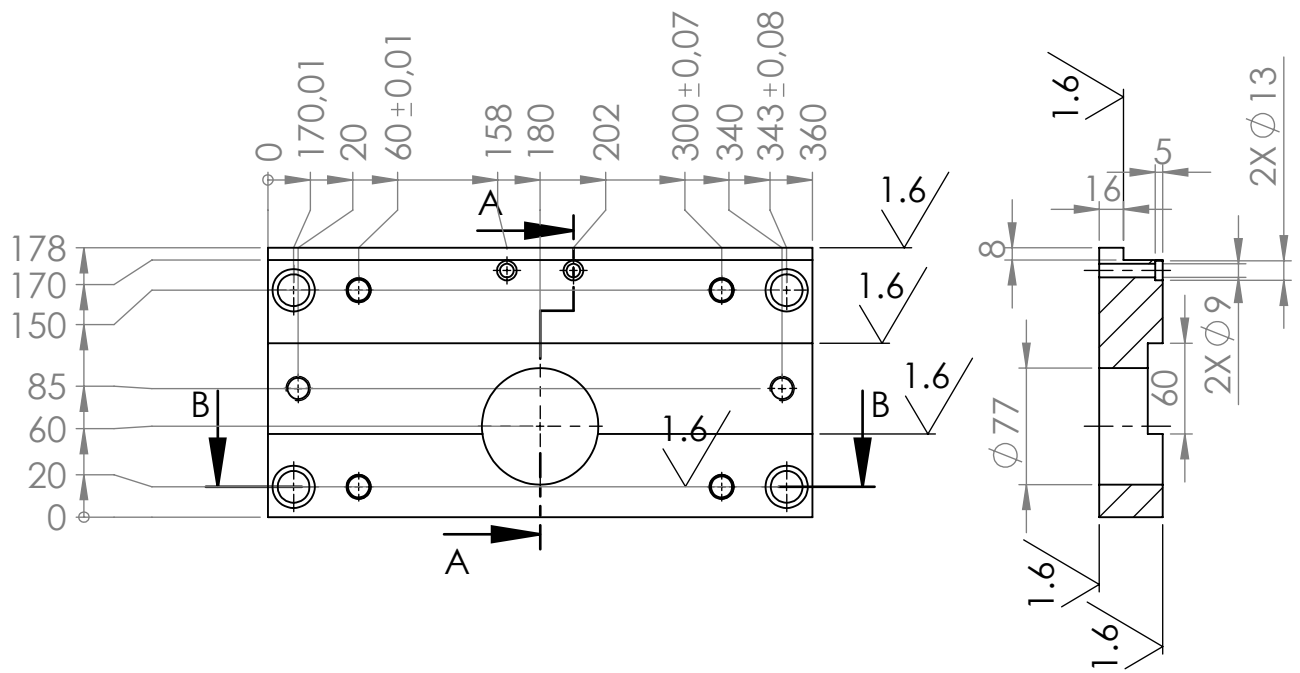
VUE DE FACE



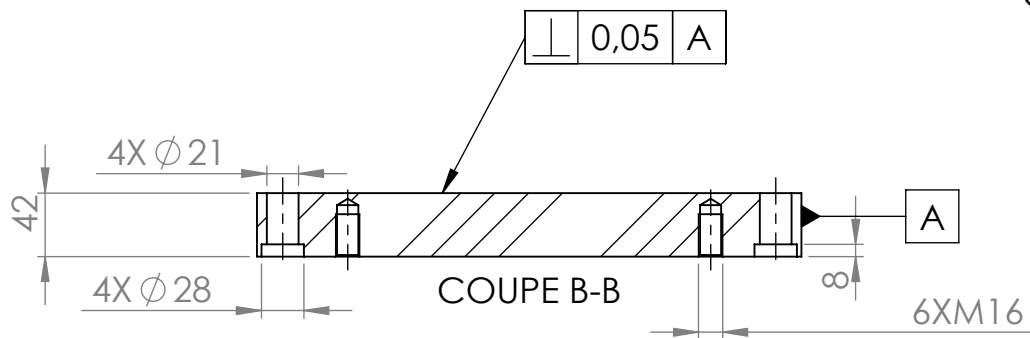
VUE DE DESSUS

Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication

52	4	PINCE DE SERRAGE2	40CMnMOS8-6	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE INJECTION ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A HADDADI-H
				Planche N°: 52/54
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP



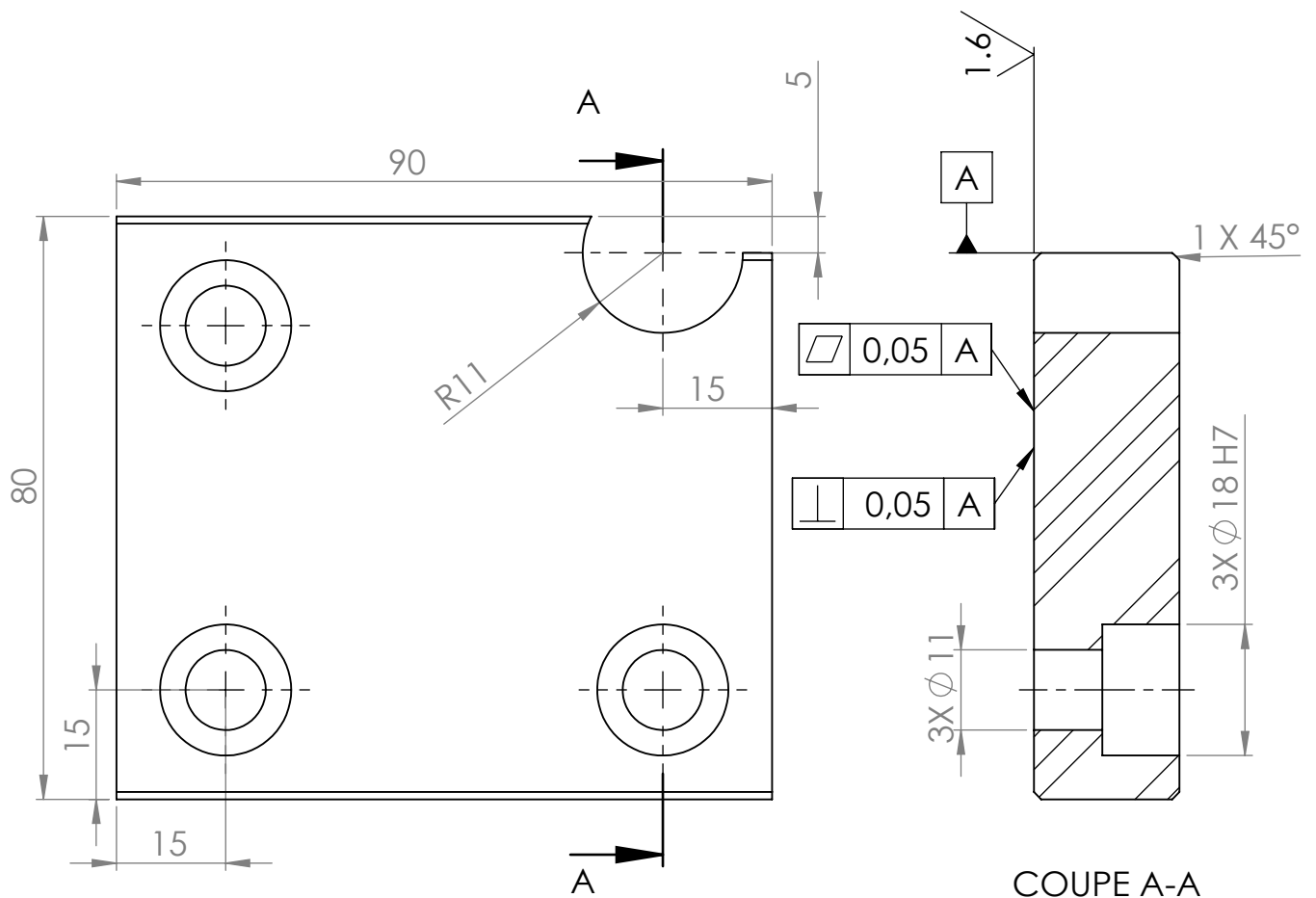
COUPE A-A



COUPE B-B

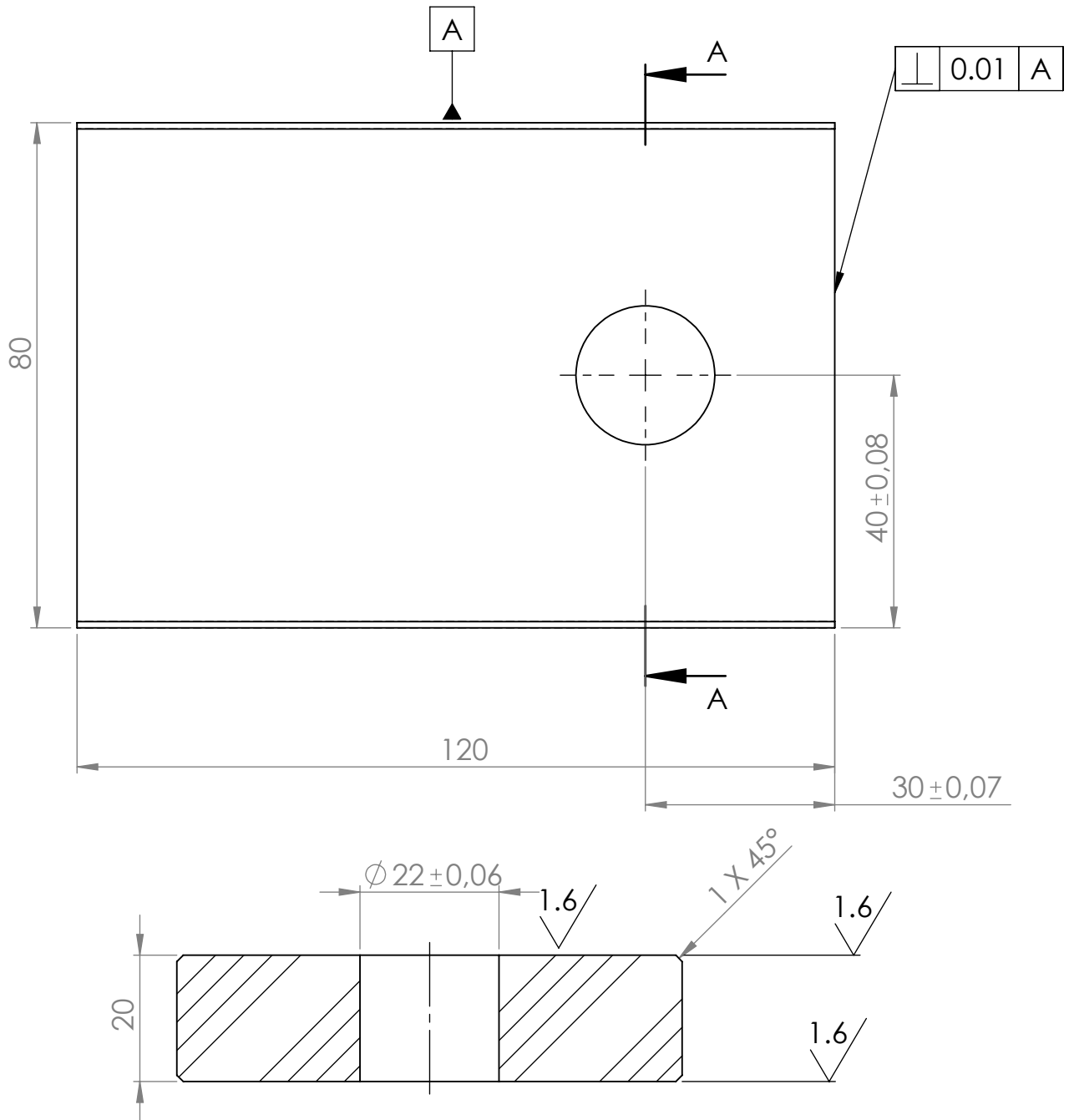
Ra=3.2
 Tolérance de fabrication: ±0,1
 sauf indication

33	1	plaquette de couverture	40CrMnMoS8-6	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE163		GAN-A HADDADI-H
				Planche N°: 33/54
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	



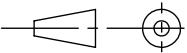
Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,2
Sauf indication

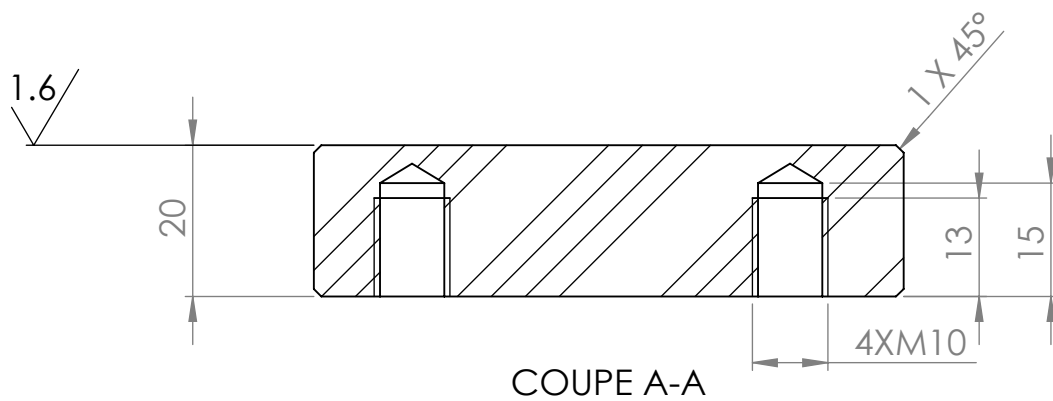
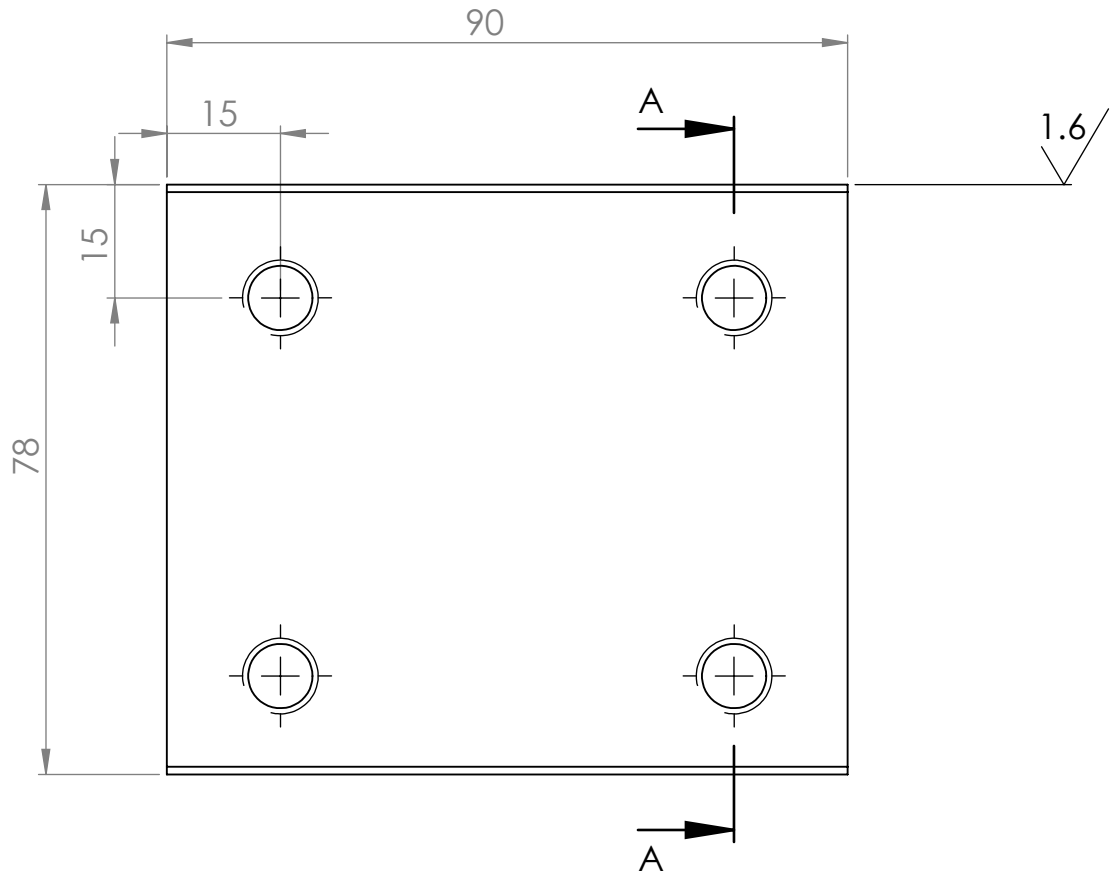
29	1	plaque de guidage 2	21MnCr5	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:1		ETDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A HADDADI-H
				Planche N°: 29/54
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

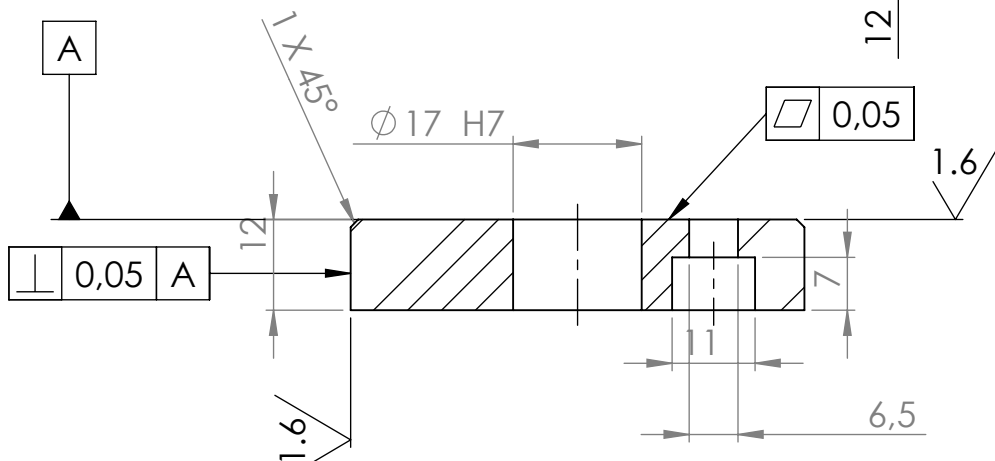
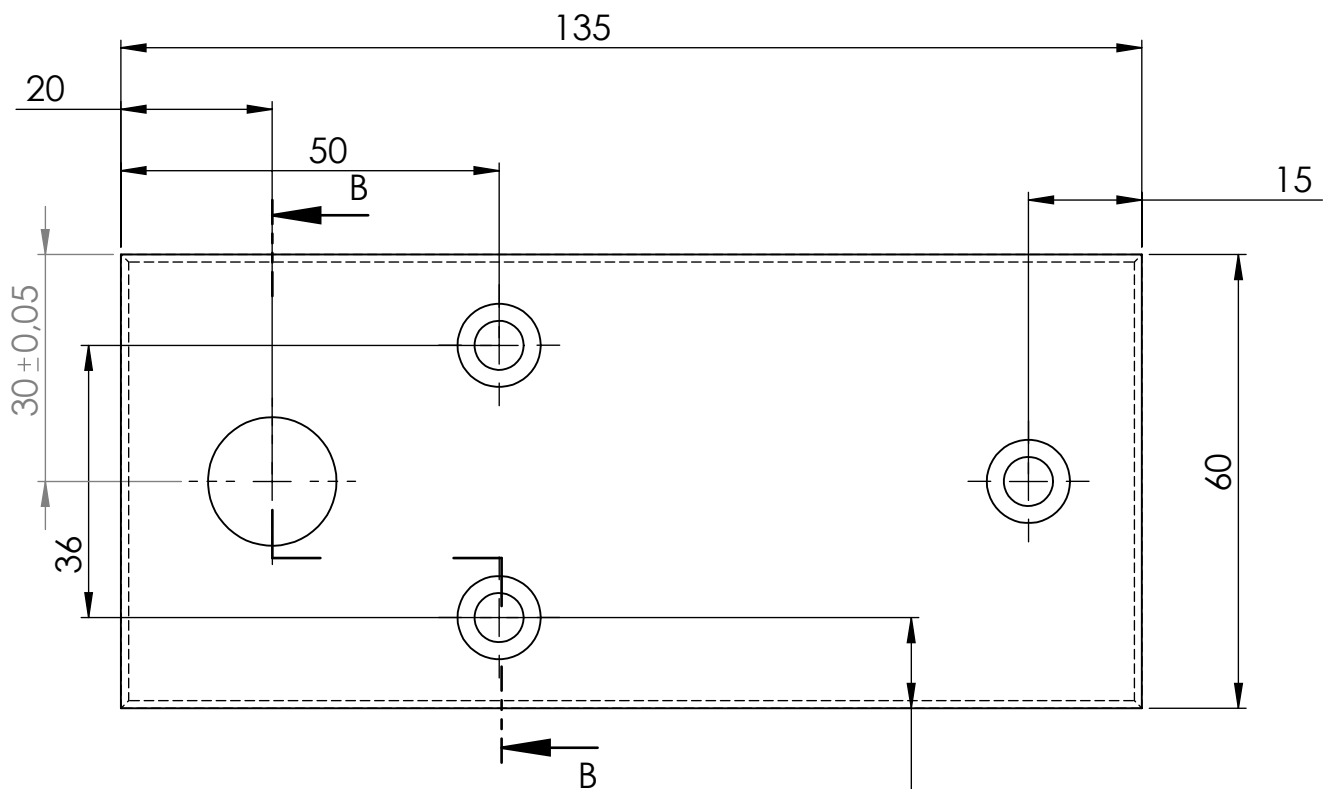
Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication

7	1	plaque de guidage 3	40CrMnMoS8-6	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:1		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE D'INJECTION ALUMINIUM POUR LA REALISATION D'UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GAN-A HADDADI-H	
			Planche N° : 7/54	
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	



Ra=3.2
Tolérance defabrication: ±0,1
Sauf indication

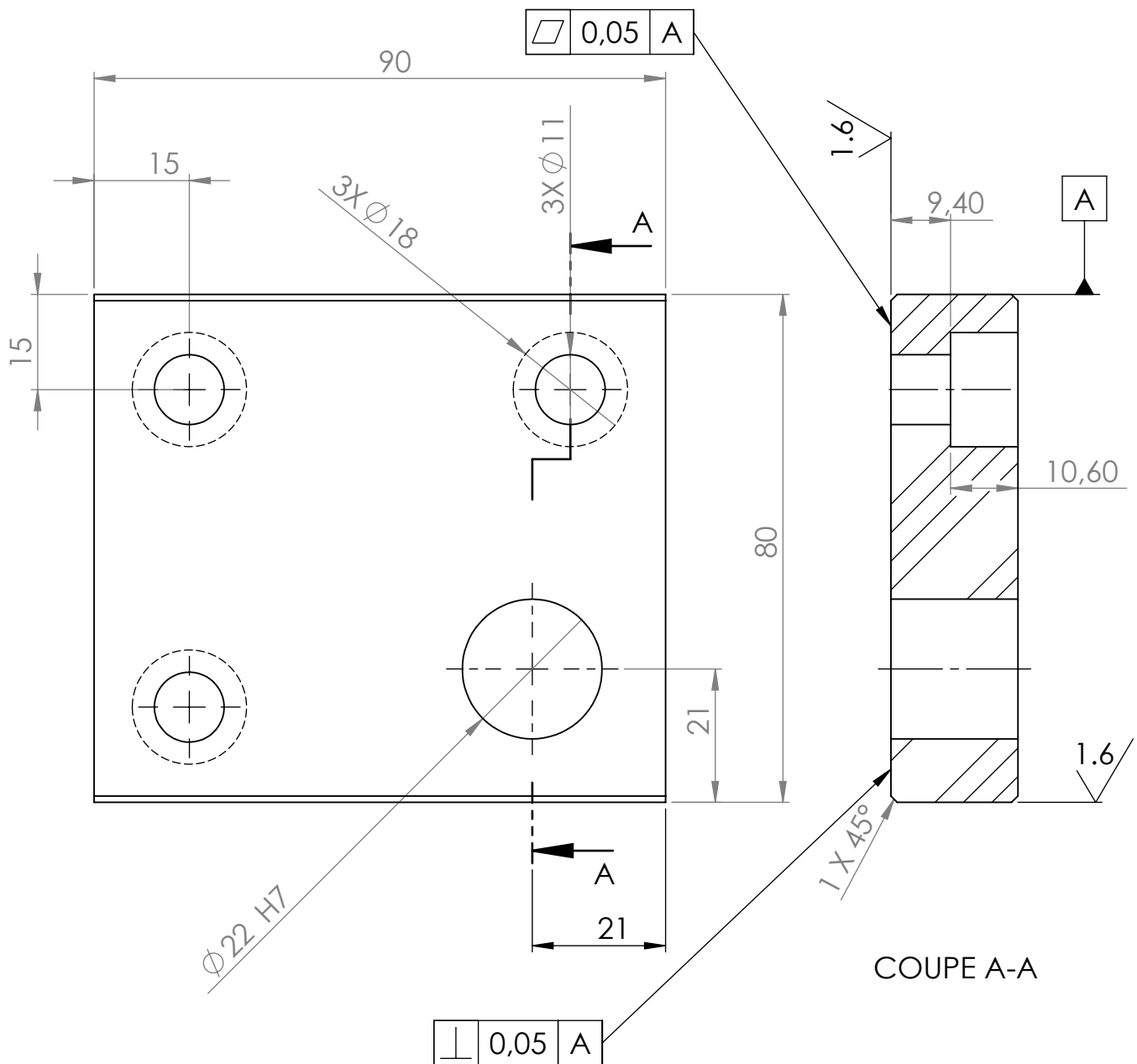
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
20	2	plaque de guidage 4	21MnCr5	Trempé
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	FGC - GM - UMMTO	GAN A HADDADI-H
				Planche N°: 20/54
A4				M2 FMP



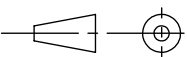
Ra=3.2
 Tolérance de fabrication: $\pm 0,2$
 Sauf indication

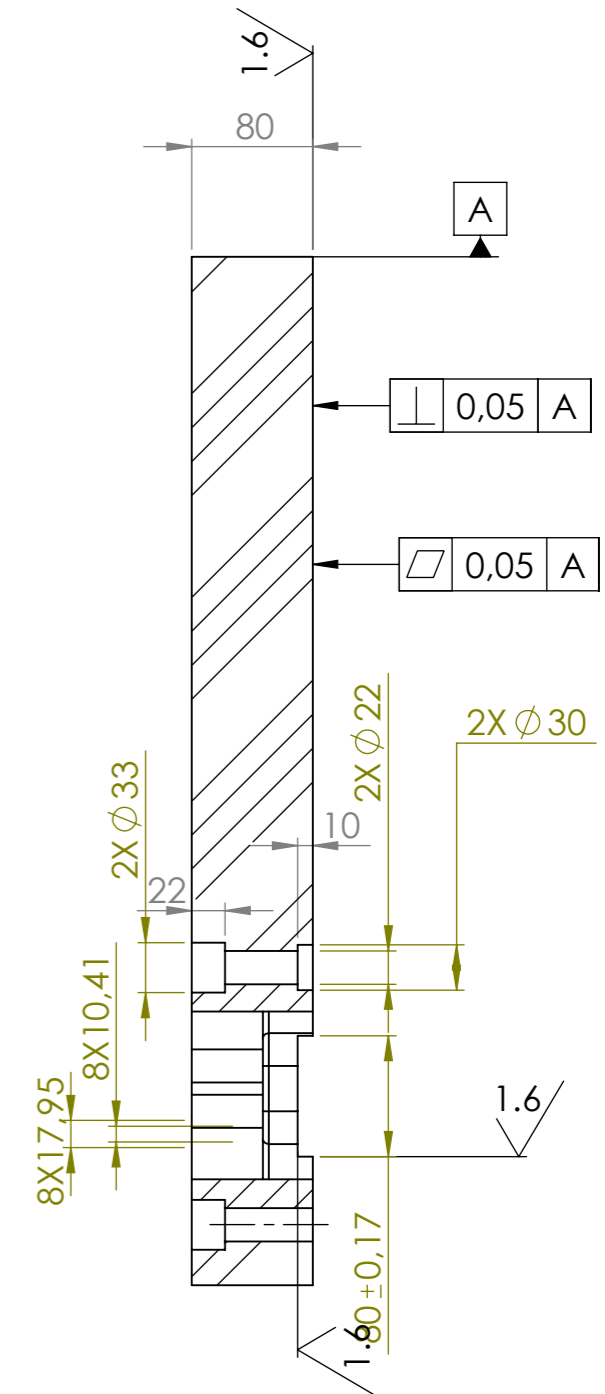
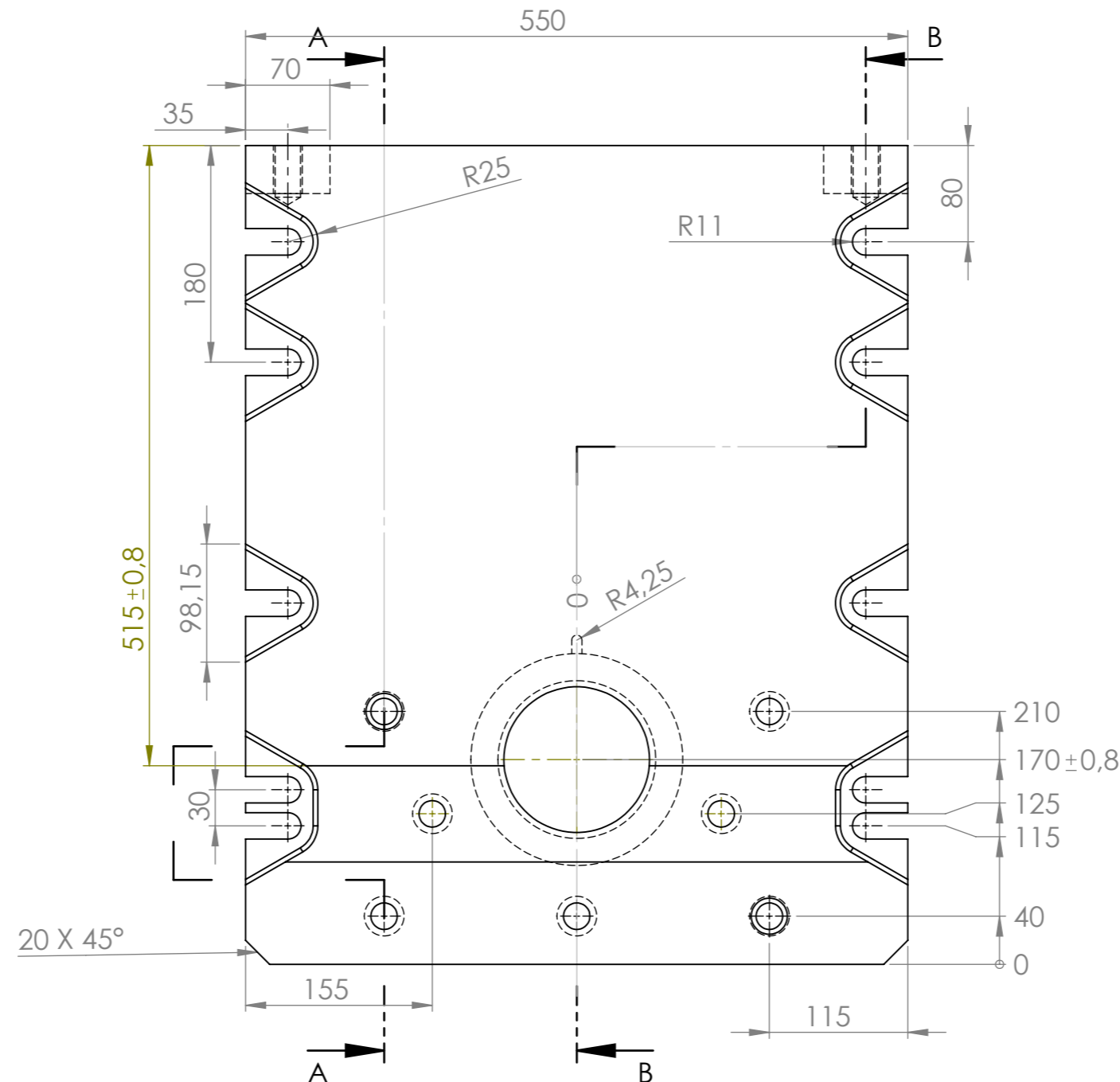
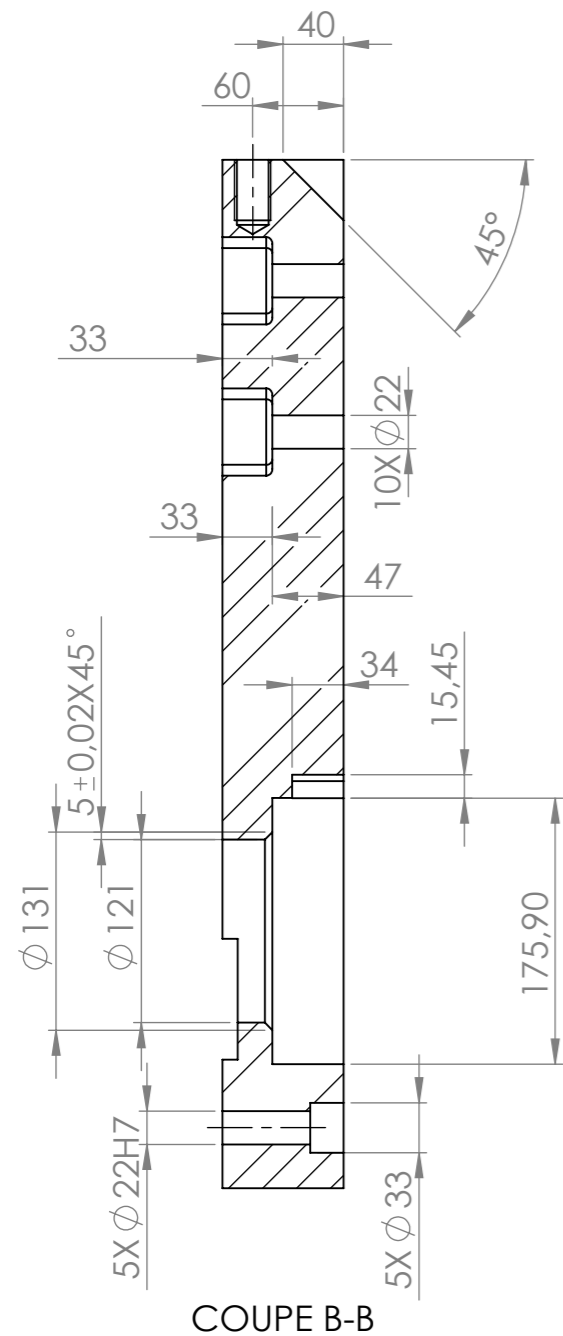
COUPE B-B
 ECHELLE 1 : 1

23	2	PLAQUE DE GUIDAGE 5	20MnCr5	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	GANA-A HADDADI-H	
			Planche N°: 23/54	
A4			M2 FMP	
		FGC - GM - UMMTO		



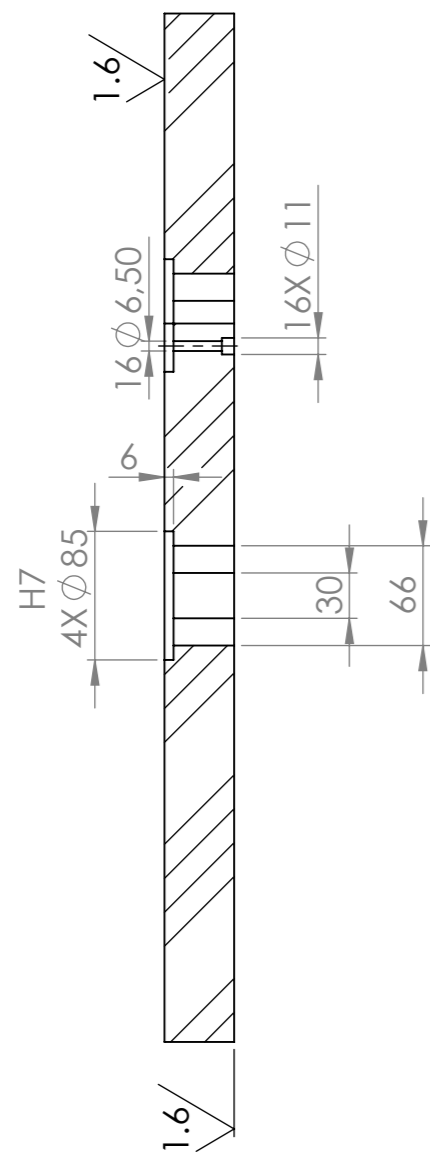
Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,2
Sauf indication

30	1	plaque de guidage 6	X37CrMoV5-1	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:1		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A HADDADI-H
				Planche N° :30/54
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	

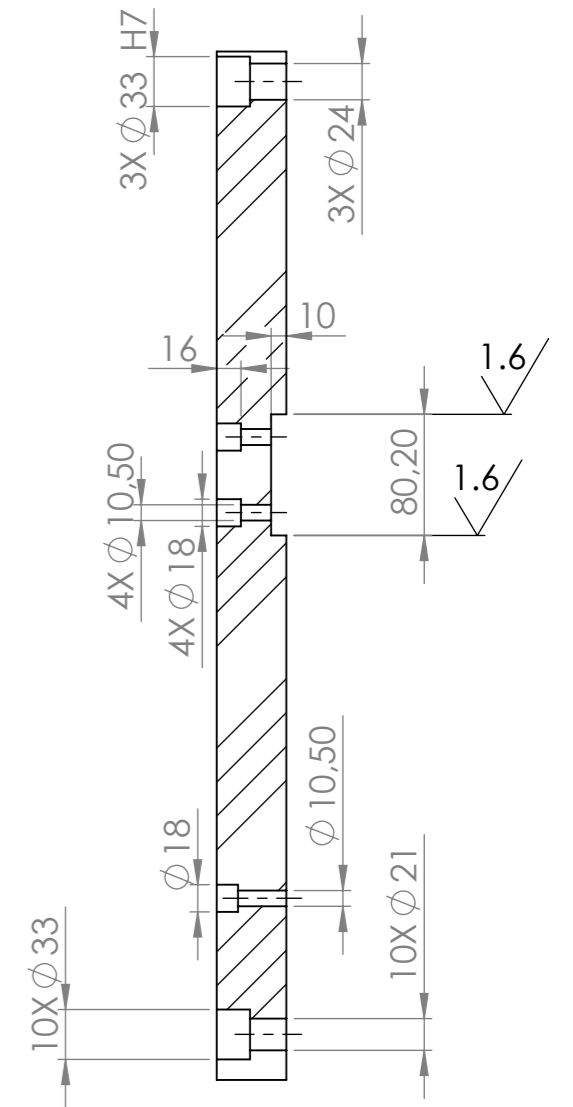
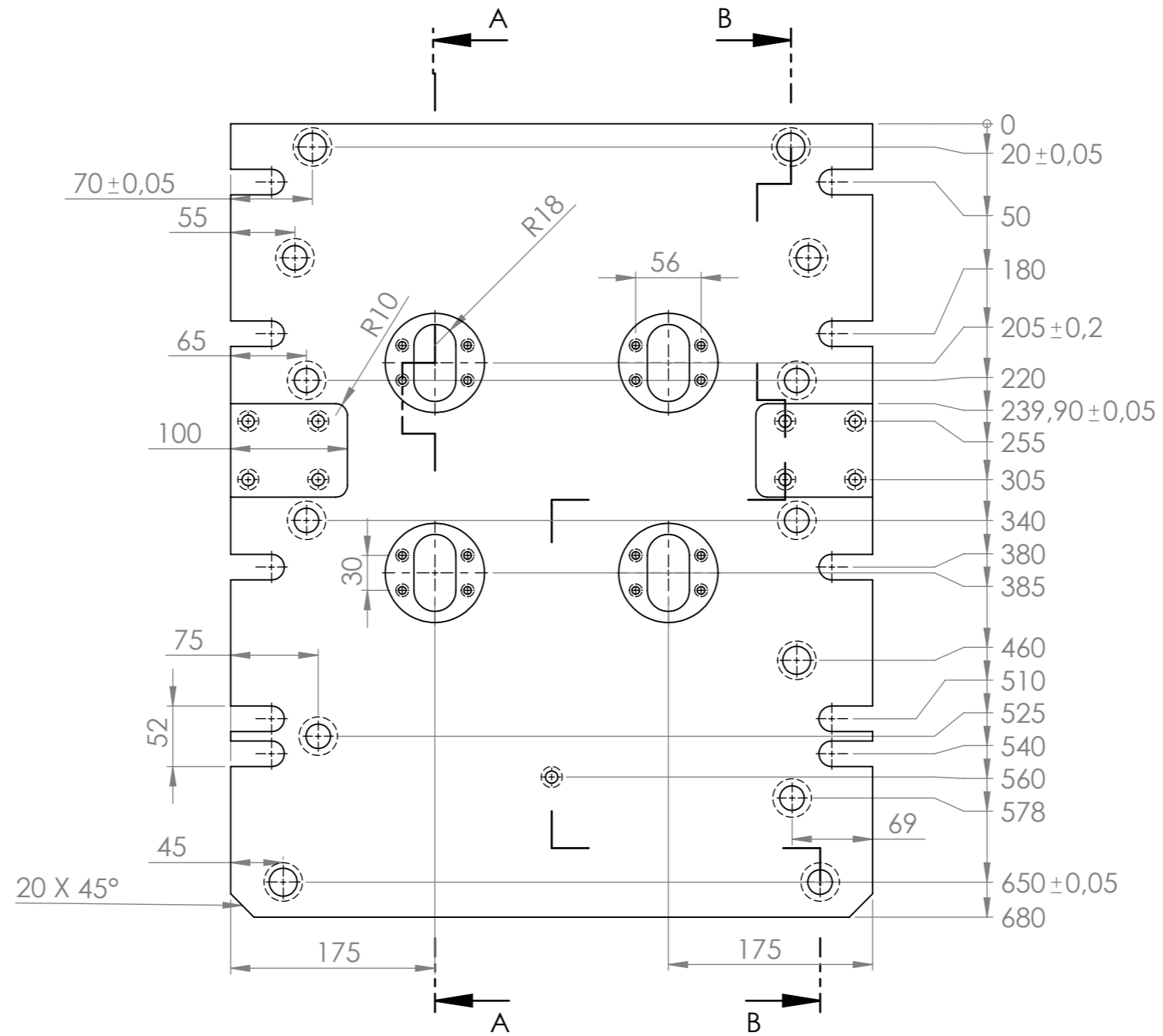


Ra=3.2
Tolérance de fabrication ± 0,2
Sauf indication

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
17	1	PLAQUE DE SERRAGE FIXEE	40MnMoS8-6	Trempé
Echelle : 1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	FGC - GM - UMMTO	GANA-A HADDADI-H
				Planche N° : 17/54
A 3				M2 FMP



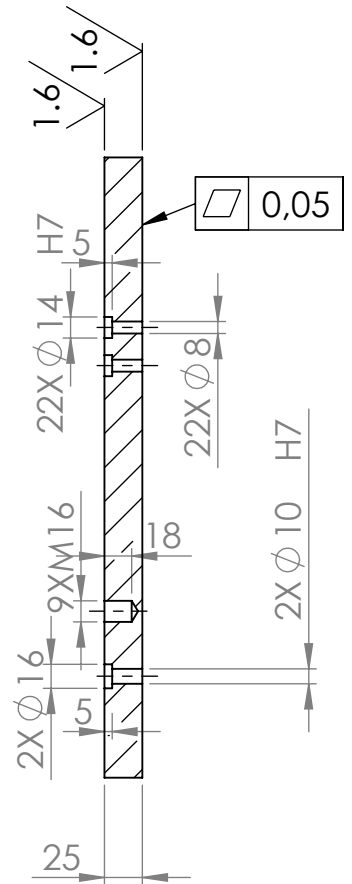
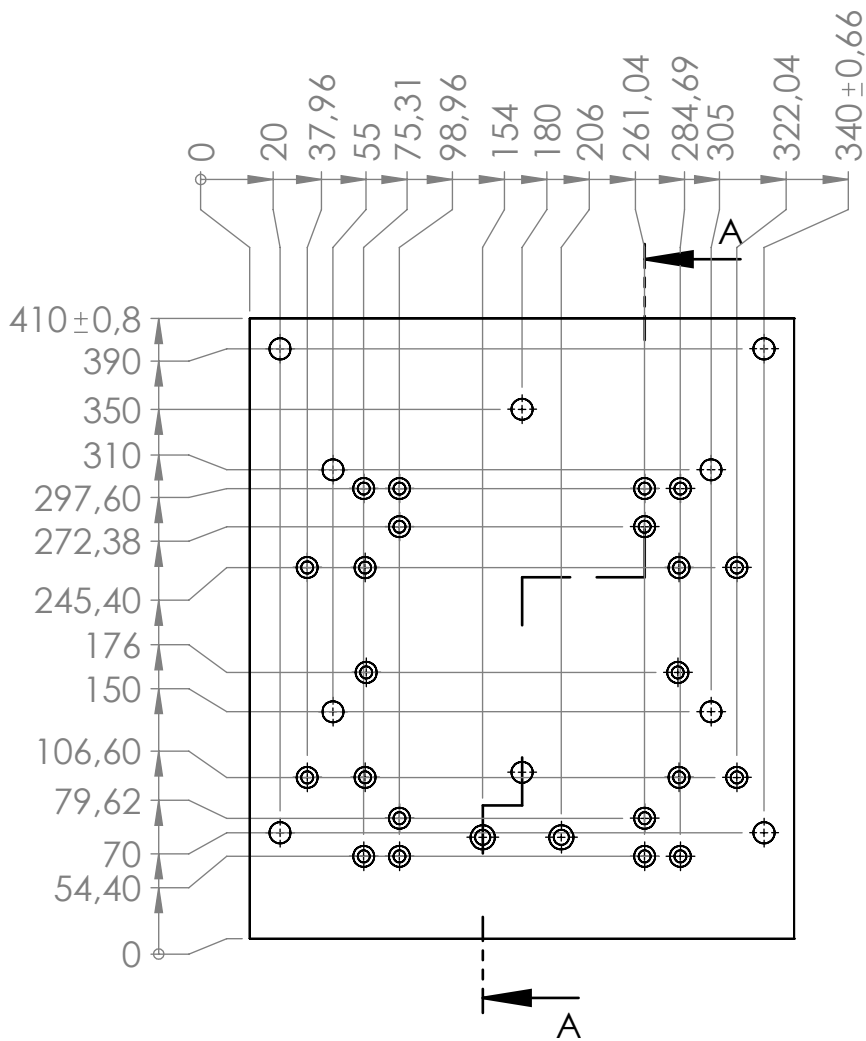
COUPE A-A



COUPE B-B

Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ± 0,2
Sauf indication

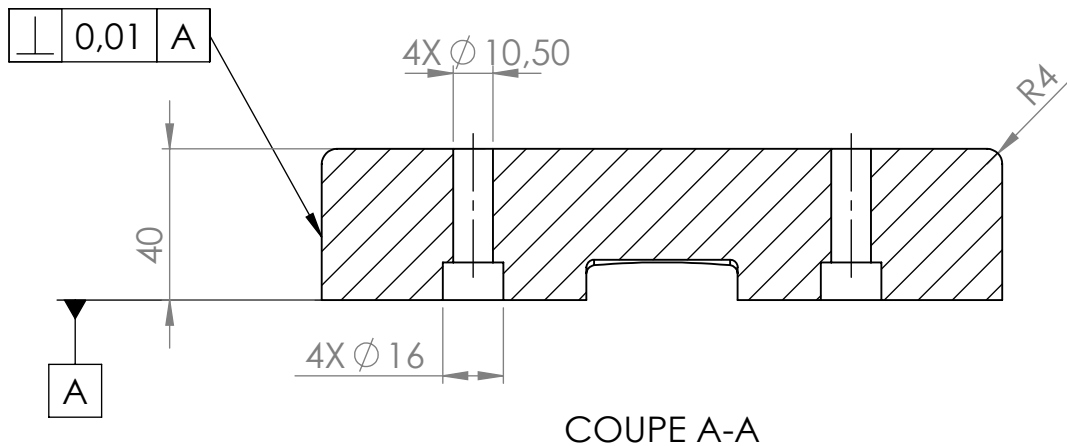
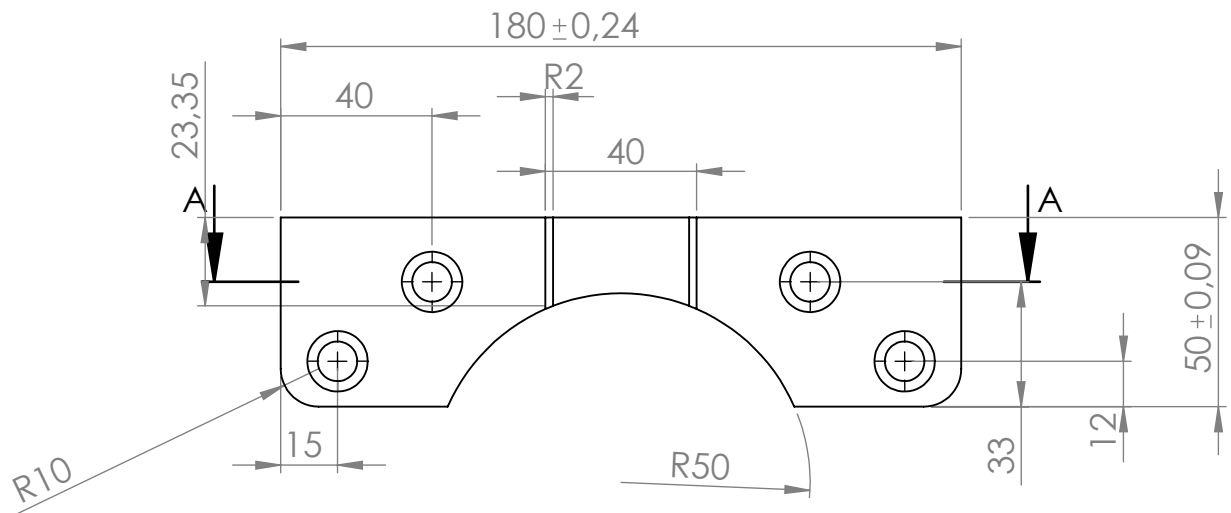
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
4	1	PLAQUE DE SERRAGE MOBILE	40CrMnMoS8-6	
Echelle : 1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GANA-A
				HADDADI-H
A 3				Planche N°: 4/54
		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP



COUPE A-A

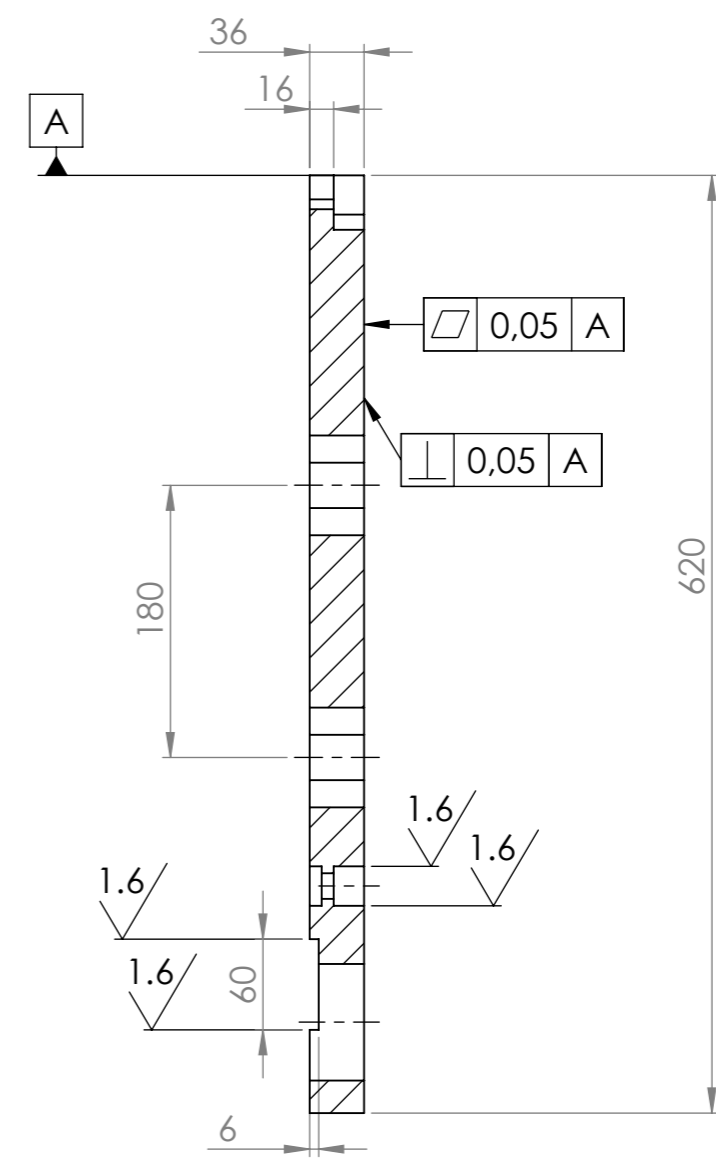
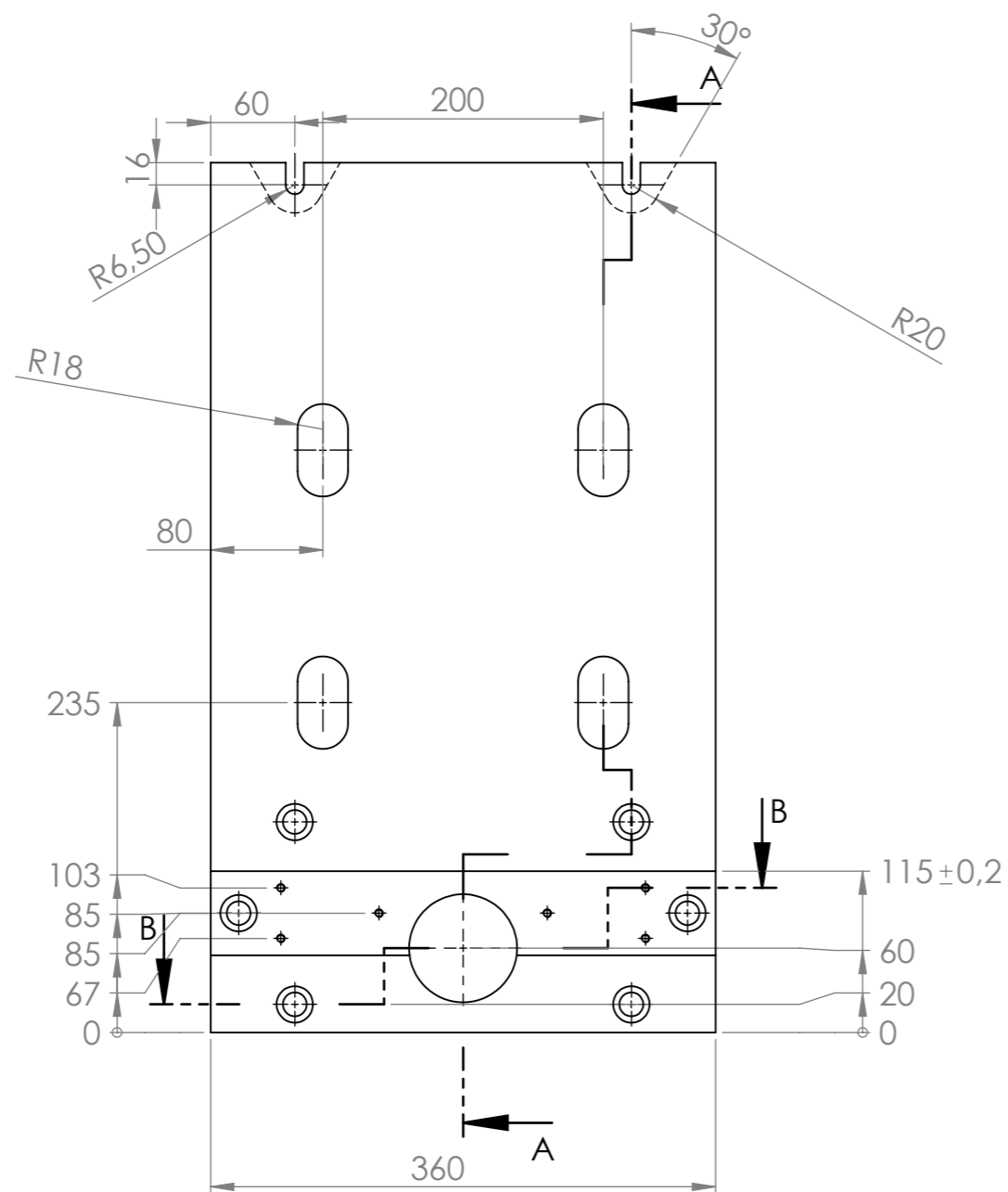
Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication

35	1	plaque d'ejection tete	E335	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A HADDADI-H
				Planche N°: 35/54
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP

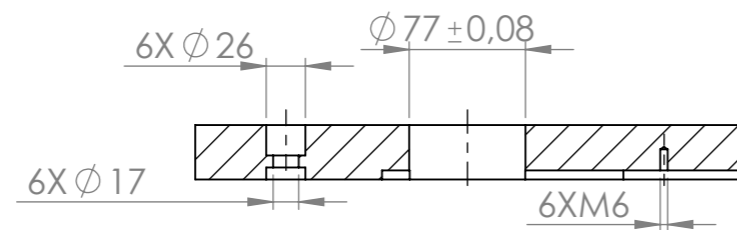


Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication

43	4	plaque d'entree	X3_CrMoV5-1	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GANA6A HADDADI-H
				Planche N° : 43/54
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP



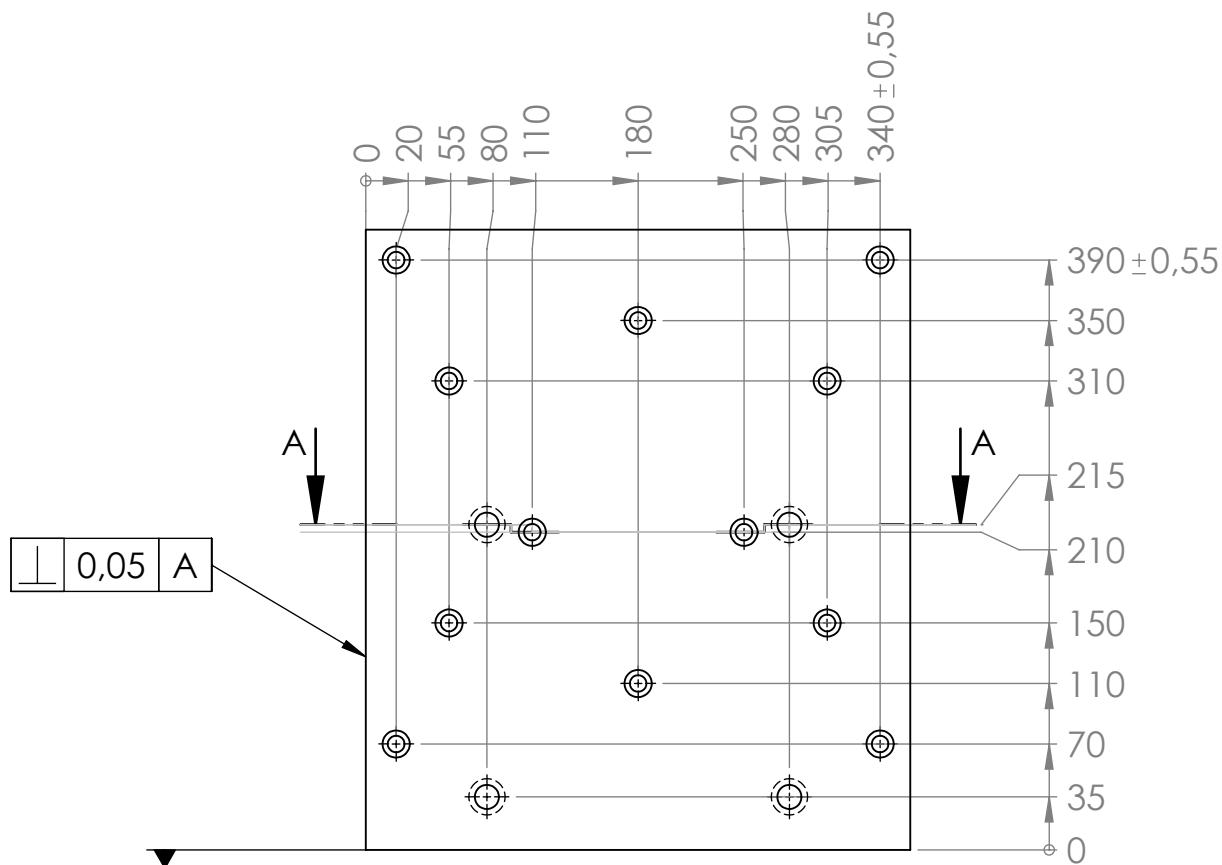
COUPE A-A



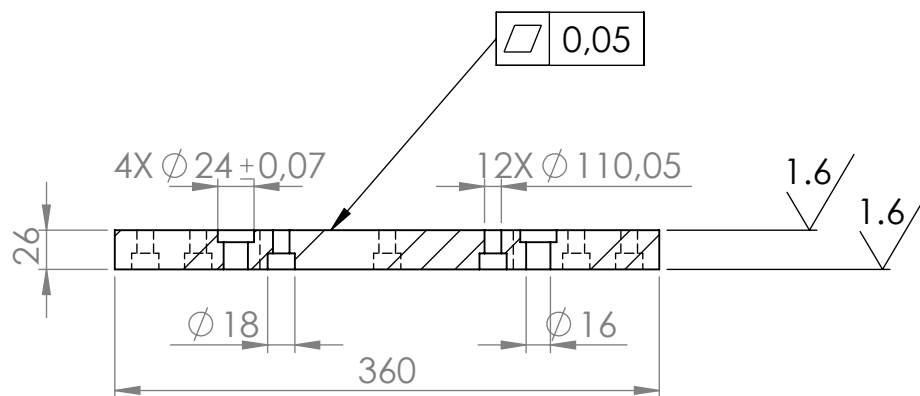
COUPE B-B

Ra=3.2
Tolérance de fabrication: ±0,5
Sauf indication

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
22	1	plaque d ejecteur	40CuMnMoS8-6	
Echelle : 1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163	FGC - GM - UMMTO	GAN A HADDADI-H
				Planche N° : 22/54
A 3				M2 FMP

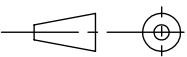


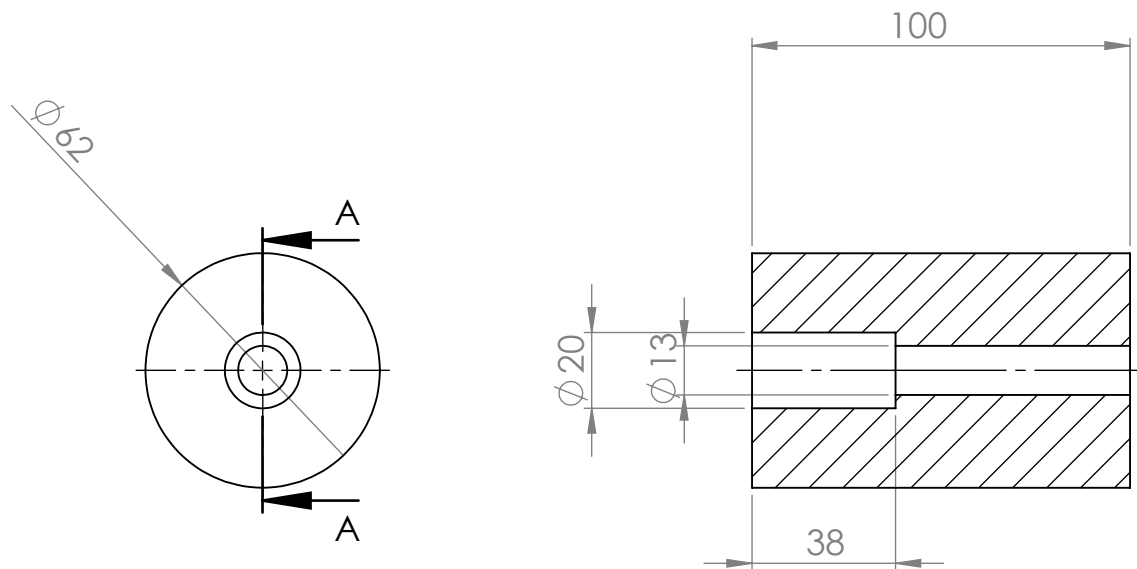
A



COUPE A-A

Ra=3.2
 Tolérance de fabrication: ±0,5
 Sauf indication

25	1	plaque d'ejecteur2	E335	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:5		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A HADDADI-H
				Planche N°: 25/54
A4		FGC - GM - UMMTO	M2 FMP	



COUPE A-A

Ra=3.2
 Tolérance de fabrication: $\pm 0,1$
 Sauf indication

40	1	scale	E335	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle:1:2		ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM POUR REALISER UNE PATTE DE CARCASSE TYPE 163		GAN A-A HADDADI-H
				Planche N°: 40/54
A4		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP