

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou

*Faculté de Génie de la Construction
Département de Génie
Mécanique*

Mémoire de fin d'études

*En vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel en Génie Mécanique
Option : Fabrication Mécanique et productive*

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*

Proposé par :

M^r : IGUER .B

Melle : HAMROUNI .F

Promoteur :

M^r : ZIANI.H

Co promoteur :

M^r : MENOUEA .A

Réalisé par :

M^r : AMMOUR Redouane

M^r : IKERROUIENE Djaffar

Promotion 2016-2017

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 encadreur M^r ZIANI.H et M^r MENOUE.A. 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 ont chaleureusement accueilli 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.

DEDICACES

Ce travail est dédié à nos chers parents

A nos chers frères et sœurs et toute la famille

A nos chers amis et camarades

Sommaire



SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES MOTEURS ELECTRIQUES

I.	INTRODUCTION	1
II.	HISTORIQUE	1
III.	COMPOSITION DE MOTEUR ELECTRIQUE	2
1	SCHEMA ET TERMINOLOGIE POUR UN MOTEUR ELECTRIQUE	2
2	LES PRINCIPAUX ELEMENTS DANS UN MOTEUR ELECTRIQUE	3
2.1	LA CARCASSE	3
2.2	L'ARBRE	4
2.3	LE STATOR	4
2.4	L'ENROULEMENT	5
2.5	LE ROTOR	6
IV.	SCHEMA FONCTIONNEL	7
V.	LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	8
VI.	<i>PROCESSUS DE FABRICATION DE MOTEUR ELECTRIQUE</i>	10
1	LA GAMME DE FABRICATION	10
2	LA MATIERE PREMIERE	10
3	DESCRIPTION ET ORGANISATION DES ATELIERS PAR FONCTION PRINCIPALE	11
3.1	ATELIER DE DECOUPAGE, ENCOCHAGE, EMBOUTISSAGE	11
3.2	ATELIER EMPAQUETAGE	12
3.3	ATELIER DE MOULAGE SOUS PRESSION	12
3.4	ATELIER D'USINAGE	13
3.5	ATELIER DE BOBINAGE	14
3.6	ATELIER MONTAGE	17

CHAPITRE II : PROCEDES DE MISE EN FORME DES METAUX

I.	INTRODUCTION	18
II.	MOULAGE	19
1	MATERIAUX DE MOULAGE	19
1.1	MATERIAUX POUR MOULES NON PERMANENTS	19
1.2	MATERIAUX POUR MOULES PERMANENTS	20
1.3	PRODUITS SPECIAUX	20
2	OUTILLAGES	20
3	MOULAGE EN MOULE NON-PERMANENT	21
3.1	MOULAGE AU SABLE SILICO-ARGILEUX	21
3.2	MOULAGE EN CARAPACE OU PRECEDE CRONING	21
3.3	MOULAGE V-PROCESS	22

SOMMAIRE

3.4	LOST-FOAM OU MOULAGE A MODELE GAZEIFIABLE	22
3.5	MOULAGE A LA CIRE PERDUE	22
4	MOULAGE EN MOULE PERMANENT	22
5	CHOIX D'UN PROCEDE DE MOULAGE	23
III.	MOULAGE EN MOULES METALLIQUES	24
1	GENERALITES	24
2	CARACTERISTIQUES GENERALES	24
3	ALLIAGES COULES	25
4	FORME ET DESSIN DES PIECES	25
5	OUTILLAGES	25
IV.	MOULAGE SOUS PRESSION	26
1	GENERALITE	26
2	DESCRIPTION DU PROCEDE	27
3	CARACTERISTIQUES DES PIECES COULEES SOUS PRESSION	27
3.1	GRANDE PRECISION DIMENSIONNELLE	27
3.2	OBTENTION DE PIECES LEGERES	28
3.3	MISE AU MILLE TRES FAIBLE	28
3.4	BONNES CARACTERISTIQUES MECANIQUES	28
4	SYSTEMES D'INJECTION	28
4.1	SYSTEME A CHAMBRE CHAUDE	28
4.2	SYSTEME A CHAMBRE FROIDE	29
5	LES MACHINES UTILISEE	30
5.1	MACHINE A CHAMBRE CHAUDE	30
5.2	MACHINES A CHAMBRE FROIDE	31
6	LES CYCLES DE COULEE	33
6.1	MACHINES A CHAMBRE FROIDE HORIZONTALE	33
6.2	MACHINES ANCIENNES A TROIS PHASES	33
6.3	MACHINES MODERNES A BOUCLE FERMEE	34
7	MOYENS DE REMPLISSAGE DU CONTENEUR EN COULEE SOUS PRESSION	35
CHAPITRE III : CHOIX DU MOULE ET PROCEDE		
V.	CONCLUSION	36
I.	INTRODUCTION	37
II.	CONCEPTION D'UN MOULE A INJECTION SOUS PRESSION D'ALUMINIUM	37
1	ARCHITECTEURS DE MOULE	37
1.1	SCHEMA ET TERMINOLOGIE	38

SOMMAIRE

1.2	ELEMENTS STANDARDS	39
2	LE NOMBRE ET DISPOSITION D'EMPREINTES	39
2.1	NOMBRE D'EMPREINTES	39
2.2	DISPOSITION DES EMPREINTES	40
3	LE SYSTEME D'ALIMENTATION DU MOULE	41
3.1	GENERALITES	41
3.2	TECHNIQUE D'ALIMENTATION	41
3.3	POINT D'INJECTION	42
3.4	REPLISSAGE DES EMPREINTES	43
3.5	LES CANAUX ET LES ATTAQUES	44
4	LA MATIERE A INJECTER	48
5	L'EJECTION DES PIECES (GRAPPE)	48
5.1	LES EJECTEURS	49
5.1.1	FORME	49
5.1.2	FIXATION	49
5.1.3	POSITION SUR LA PIECE	50
5.2	COMMANDE DE L'EJECTION	50
6	LA MACHINE	51
7	DEGAZAGE DU MOULE	51
8	FIXATION DU MOULE	52
8.1	FIXATION PAR VIS	52
8.2	BRIDAGE	52
9	CIRCUITS DE REFROIDISSEMENT	53
10	CHOIX DES MATERIAUX	53
III.	CONCLUSION	53
CHAPITRE IV : CONCEPTION ET CALCUL		
I.	INTRODUCTION	54
II.	INTRODUCTION A LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (CAO)	54
III.	LE CHOIX DE LA MACHINE	56
IV.	CHOIX DE DIAMETRE DE PISTON D'INJECTION	59
V.	DIMENSIONNEMENT DE SYSTEME D'ALIMENTATION	60
VI.	DIMENSIONNEMENT DE CONDUIT DE REFROIDISSEMENT	63
VII.	CALCUL DE TEMPS DE REFROIDISSEMENT	64
VIII.	CALCUL DE TEMPS DE CYCLE	64
IX.	DIMENSIONNEMENT DES TALONS DE LAVAGE ET DES TIRAGES D'AIR	65

SOMMAIRE

X.	CALCUL DE RESISTANCE	66
1	LES POIDS DES PIECES CONSTITUANTES LE MOULE	66
2	RESISTANCE DES ELEMENTS CONSTITUANTS LE MOULE AU MATAGE	66
2.1	PLAQUE DE SERRAGE FIXE	67
2.2	CENTRE FIXE	68
2.3	PORTE EMPREINTE FIXE	68
2.4	PLAQUE DE SERRAGE MOBILE	69
2.5	BAGUETTE SUPPORT	69
2.6	CENTRE MOBILE	69
2.7	PORTE EMPREINTE MOBILE	70
3	RESISTANCE DES VIS CHC ET LES COLONNES DE GUIDAGE AU CISAILLEMENT	70
3.1	RESISTANCE DES 4 COLONNES DE GUIDAGE DE Ø 50 MM	70
3.2	RESISTANCE DES 8 VIS CHC AU CISAILLEMENT DU AU POIDS DE LA PARTIE MOBILE	71
3.3	RESISTANCE DES 7 VIS CHC AU CISAILLEMENT DU AU POIDS DE L'EMPREINTE FIXE ET DE PORTE EMPREINT FIXE	72
XI.	CONCLUSION	72
CONCLUSION GENERALE		

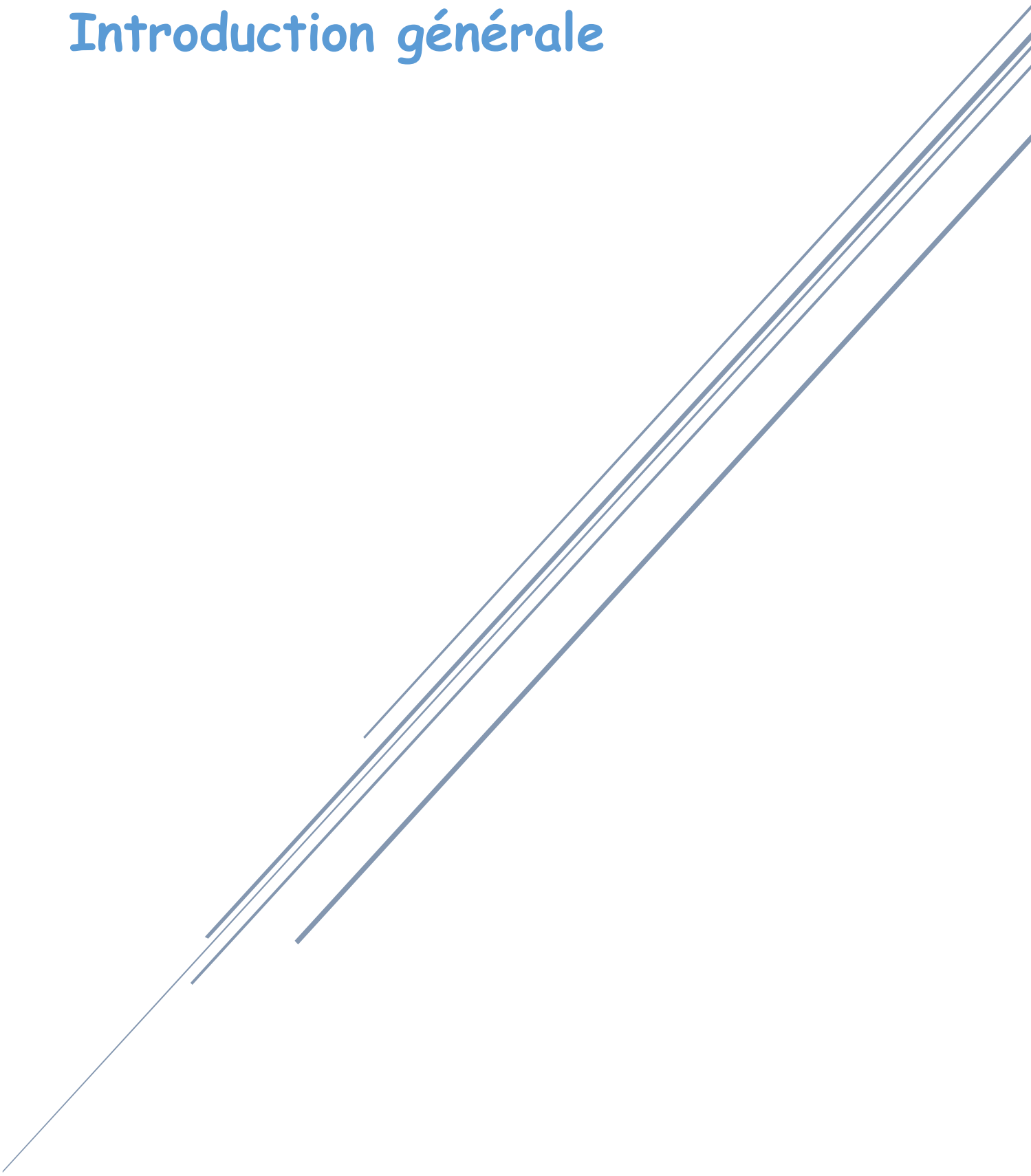
Liste des figures

Figure 1 : Schéma d'un moteur électrique	2
Figure 2:carcasse d'un moteur électrique (métal coulé)	3
Figure 3:Arbre d'un moteur électrique	4
Figure 4:Stator d'un moteur électrique	5
Figure 5:bobinage en un étage	5
Figure 6:bobinage en deux étages	6
Figure 7:Rotor court-circuité par coulée d'aluminium	7
Figure 8:Schéma fonctionnel d'un moteur électrique	7
Figure 9:Création d'un champ magnétique	8
Figure 10: Variation de champ magnétique	8
Figure 11: Résultante des champs magnétique	9
Figure 12: Champs magnétique déphasés	9
Figure 13:Principaux procédés de mise en forme des métaux	18
Figure 14:Differant procédés de moulage	22
Figure 15:Évolution des coûts de fabrication en fonction du nombre de pièces fabriquées	23
Figure 16:Système à chambre chaude	29
Figure 17:Système à chambre froide	30
Figure 18:Machine à chambre chaude	30
Figure 19:Les machines horizontales	31
Figure 20:Les machines verticales	32
Figure 21:Machines anciennes à trois phases	34
Figure 22:Machines modernes à boucle fermée	34
Figure 23:Louches automatique	35
Figure 24:Fours doseurs	35
Figure 25:Remplissage du conteneur par mise en dépression du moule	36
Figure 26:Moule pour moulage en chambre froide	38
Figure 27: Moule pour moulage en chambre chaude	38
Figure 28:Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques.	40
Figure 29:Composition d'un système d'alimentation.	41
Figure 30:Injection dans le plan de joint.	41
Figure 31: Injection perpendiculaire au plan de joint.	42
Figure 32:Équilibrage des efforts	42
Figure 33: Remplissage par jet	43
Figure 34: Remplissage par accumulation	43
Figure 35 : Proportions dimensionnelle de canal	44
Figure 36: Epaisseur et section des attaques par rapport au canal.	44
Figure 37:Attaques directes	45
Figure 38:Attaques en retour	45
Figure 39:Attaques en queue de poisson	46
Figure 40:Attaque autour du noyau	46
Figure 41:Attaques pour moule a plusieurs empreintes	47
Figure 42:Attaques centrale	48
Figure 43:Éjection de la grappe	48
Figure 44:Fixation d'un éjecteur	50
Figure 45:Répartition des éjecteurs sur la pièce	50
Figure 46:Event	52
Figure 47:Procédé de Bridage	52
Figure 48:Schémas d'un plateau d'une presse	58

Liste des tableaux

Tableau 1: terminologie de moteur électrique	3
Tableau 2 : Contrôle de la matière Première	10
Tableau 3:Classification des procédés de moulage	21
Tableau 4:Les différents modes de la disposition des empreintes	40
Tableau 5 :les différents matériaux constitutifs du moule	53
Tableau 6: Capacité d'injection	56
Tableau 7:Incidence pondérale en pourcentage du dispositif de coulée	56
Tableau 8:Caractéristiques techniques de la machine	59
Tableau 9:Temps de remplissage en fonction de l'épaisseur de la pièce	62
Tableau 10:Epaisseur de l'attaque de coulée en fonction de l'alliage utilisé	62
Tableau 11:Les poids des pièces constituant le moule	66

Introduction générale



Introduction générale

Parmi Les procédés de mise en forme ou autrement appelés procédés de façonnage comprennent les procédés de formage, ou mise en forme sans enlèvement de matière, les procédés d'assemblage, ou mise en forme par juxtaposition de matériaux et les procédés de mise en forme par enlèvement de matière ou autrement appelés procédés d'usinage ou techniques d'usinage. L'ingénieur est confronté avec le problème du choix du meilleur procédé à sa disposition. Entre les procédés d'usinage et les procédés de formage, en particulier. Les procédés de formage possèdent des avantages indéniables comme l'économie de matière, la consolidation du métal travaillé et une productivité élevée, mais, en contrepartie, ils exigent l'emploi de machine outils et d'outillage coûteux, ils sont de caractère très spécialisé et ils exigent du matériau à transformer des qualités métallurgiques de premier ordre. Le choix de la technique de moulage à utiliser pour la fabrication d'une pièce est soumis à de nombreux facteurs qui constituent une partie du cahier des charges de cette pièce. Ce sont les caractéristiques mécaniques minimales, l'alliage métallique composant la pièce, la précision dimensionnelle générale et particulière, l'état de surface et l'importance de la série à fabriquer. Ces facteurs sont à prendre en compte dès la conception de la pièce. Ils sont évalués conjointement par le bureau d'études et de méthodes fonderie. Parallèlement, il faut aussi évaluer les facteurs spécifiques à la fabrication d'une pièce moulée : Moyens de production, dimensions de la pièce et complexité des formes, coût de l'outillage, coût d'entretien de l'outillage, dépenses d'énergie, importance relative de l'ébarbage et l'importance relative de la main-d'œuvre à utiliser.

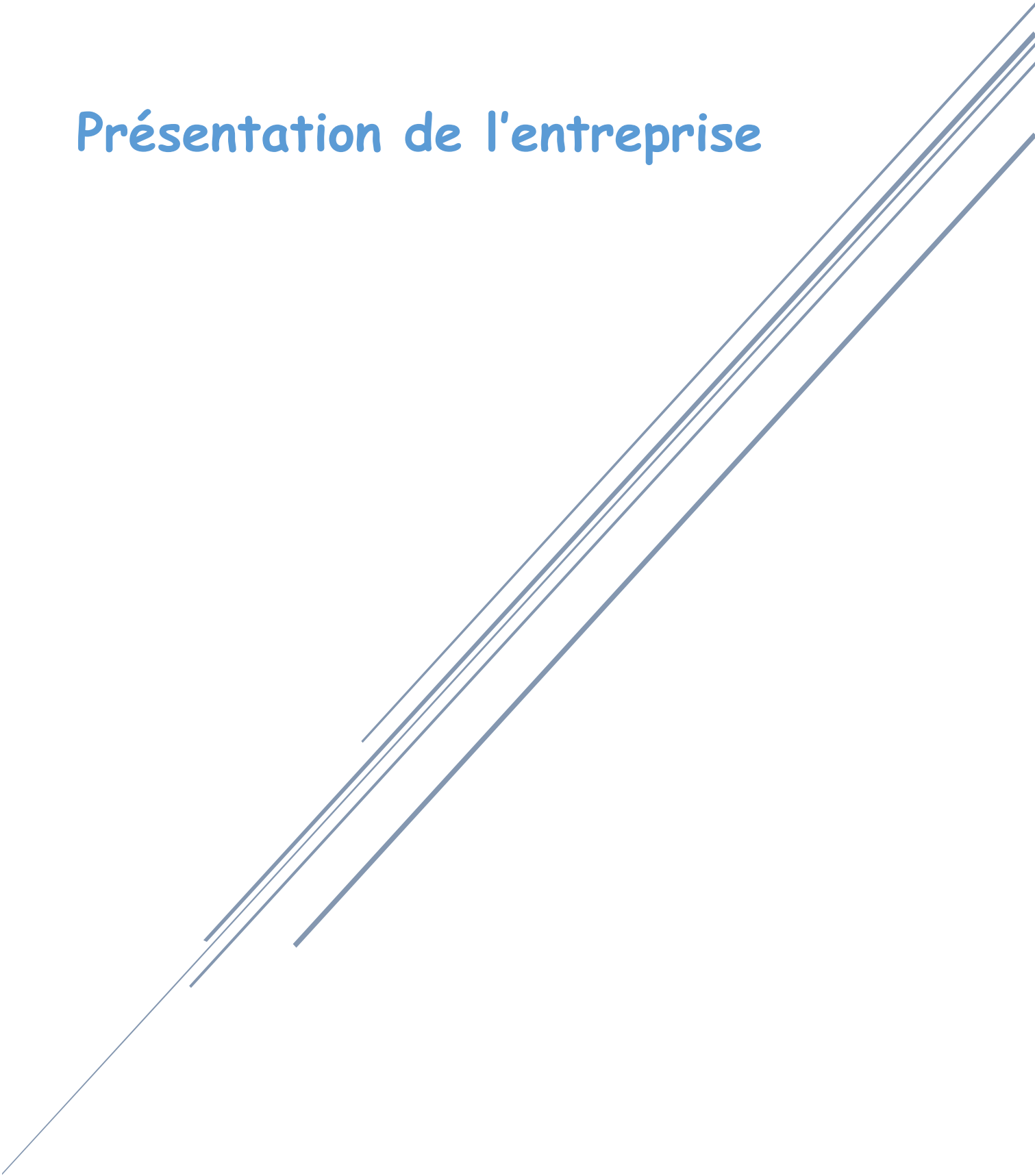
L'entreprise ELECTRO-INDUSTRIE a pris l'initiative de fabriquer certaines pièces dans le but d'éviter leur importation et améliorer sa gamme de produits. L'unité moteur prestation technique a confié la conception d'un moule à injection d'aluminium pour un flasque-bride d'un moteur électrique B5-A106/107 dans le cadre de l'exécution de notre projet de fin d'études.

Ce projet s'articule en quatre chapitres de la manière suivante :

- ✓ Le premier chapitre présente des généralités sur le moteur électrique et sont processus de fabrication.
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré aux différents procédés de mise en forme des métaux ;
- ✓ Le troisième chapitre montre les méthodologies et les procédés de choix de moule ;
- ✓ Ensuite vient le quatrième chapitre qui est le noyau central de notre travail ce dernier est dédié à la conception et dimensionnements de moule et les calculs de vérification.

Enfin, nous terminerons par les dessins de définitions et le dessin d'ensemble qui seront présentés après conclusion générale.

Présentation de l'entreprise



Présentation de l'entreprise

I. Introduction

L'ELECTRO-INDUSTRIES (E.I) a été réalisée dans le cadre d'un contact 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.

Son activité de production est dans les domaines de fabrication de Moteurs Electriques, Alternateurs, transformateurs de distribution.

Le complexe occupe une surface totale de 40 hectares, dans lequel on trouve un effectif de 824 travailleurs dont 16% de cadres, 33% de maitrise et 50% d'exécution.

Sa capacité de production de transformateur couvre les besoins du marché à 70% environ et ses ventes en moteurs représentent 30% de sa capacité de production.

- ✓ S'agissant du système documentaire, ils utilisent 252 normes internes en plus des normes DIN/VDE et CEI.
- ✓ Il est à signaler que l'ELECTRO-INDUSTRIES est le seul fabricant de ces produits en Algérie.

II. Historique

L'entreprise électro-industries, a été créée sous sa forme actuelle en janvier 1999, après la scission de l'entreprise mère ENEL (entreprise nationale des industries Electrotechniques).

Son activité de production remonte à 1986, dans les domaines de fabrication de Moteurs Electriques, Alternateurs et transformateurs de distribution.

III. Composition

L'ELECTRO-INDUSTRIES est composée de deux (02) unités; toutes situées sur un même site :

- ✓ unité de fabrication de transformateurs de distribution MT/BT ;
- ✓ unité de fabrication des moteurs électrique, alternateurs et prestation techniques.

En matière de qualité ELECTRO-INDUSTRIES dispose de laboratoires d'essai et mesure, de ses produits ainsi pour le contrôle des principaux matériaux utilisés dans sa fabrication.

Le complexe occupe une surface totale de 40 hectares, dans lequel on trouve un effectif de 824 travailleurs dont 16% de cadres, 33% de maitrise et 50% d'exécution.

Présentation de l'entreprise

IV. Localisation de l'entreprise et ses coordonnées

Le siège social de l'entreprise est : Route nationale N°12 à AZAZGA à 35 Km à l'est du chef-lieu de la wilaya de TIZI-OUZOU et à 150 Km de la capitale Alger. L'entreprise dispose de deux unités de production situées sur le même site à AZAZGA.

Adresse : BP 17 15300 Azazga Algérie.

Téléphone : (00213) 26.34.16.86 (Standard).

Fax : (00213) 26.34.14.24.

E-mail : contact.ei@electro-industries.com

- Les coordonnées de l'unité moteurs & prestations (U.M.P) :

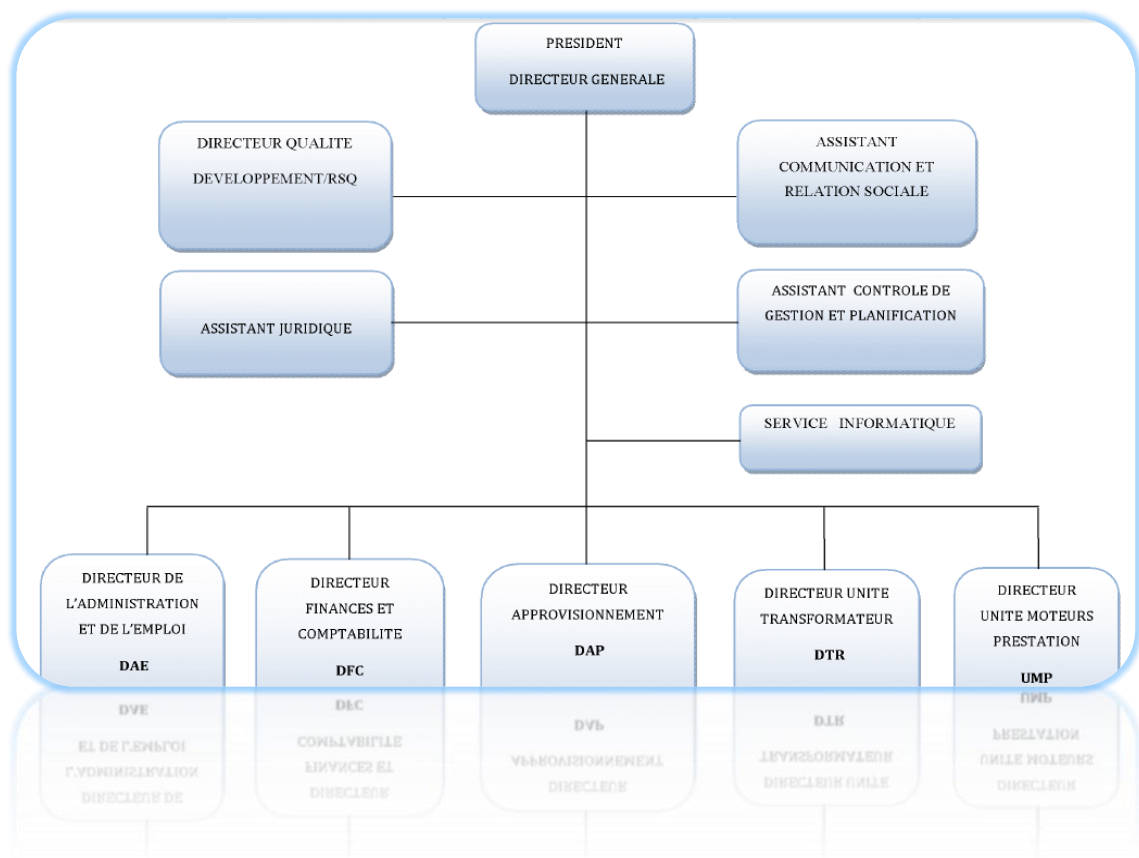
Téléphone : (00213) 26.34.51.31

Tél/Fax : (00213) 26.34.51.29

E-mail : contact.ump@electro-industries.com

Le site web de l'entreprise est : www.electro-industries.com

V. Organigramme de l'entreprise



Chapitre I

Généralités sur les moteurs électriques

I. Introduction

Les moteurs électriques sont aujourd'hui présents dans toutes les branches de l'industrie et des transports. Ces moteurs consomment environ la moitié de l'énergie électrique générée dans le monde. Leur puissance peut aller de quelques fractions de Watts à quelques centaines de mégawatts. Les très petites puissances correspondent à des machines où la transmission d'information prime sur la conversion d'énergie. Les petites puissances se rencontrent principalement dans les applications domestiques.

Les conversions d'énergie dans ces moteurs sont effectuées avec de faibles pertes : le rendement des grosses unités atteint 99 %. Le réseau électrique est partout disponible dans les pays développés et l'énergie électrique est ainsi facilement distribuée. Le réglage est commode grâce à l'électronique de puissance. Enfin, les moteurs électriques ne sont pas polluants, ce qui ne doit toutefois pas faire oublier qu'il n'en est pas toujours de même pour la production d'électricité.

II. Historique

Les historiens des sciences et techniques ont quelques incertitudes sur les premières réalisations et la paternité des inventions des machines électriques. Nous essaierons néanmoins de citer quelques noms et quelques dates de cette aventure industrielle. Michael Faraday réalise un premier moteur électromagnétique en 1821. Il est suivi de peu par Peter Barlow qui invente en 1822 un dispositif qui porte aujourd'hui son nom, la roue de Barlow. Le physicien et chimiste Moritz Hermann von Jacobi réalise un moteur à inducteur bobiné à commutateur mécanique en 1834. Il fait circuler un canot à hélice équipé de son moteur sur la Neva à Saint-Pétersbourg. L'industriel allemand Werner von Siemens construit vers 1856 une magnéto. L'Italien Antonio Pacinotti introduit en 1859 une machine munie d'un rotor en forme d'anneau. Cinq ans plus tard, il publie la description d'une machine pouvant être utilisée en moteur ou en générateur. Ses travaux passent alors inaperçus. L'inventeur belge, installé en France, Zénobe Gramme construit en 1868 sa célèbre dynamo et fonde en 1871 la Société des machines magnéto-électriques Gramme. La réversibilité de la dynamo est découverte en 1873. En 1872, Werner von Siemens prend un brevet pour son induit en tambour. Nikola Tesla, alors étudiant, propose déjà d'utiliser une machine sans commutateur. Devenu employé de la Continental Edison Company en France, il construit le premier moteur asynchrone en 1883 alors qu'il séjourne à Strasbourg et dépose un brevet en 1884. Les moteurs classiques utilisés aujourd'hui sont donc déjà tous connus en cette fin de XIX^e siècle. À la même époque, l'Italien Galileo Ferraris établit la théorie du champ tournant. [1]

III. Composition de moteur électrique

Sur le plan mécanique, un moteur est constitué d'une partie fixe, le stator et d'une partie mobile, le rotor, entre lesquelles se trouve un petit intervalle d'air, l'entrefer. Dans pratiquement tous les moteurs, le rotor est à l'intérieur du stator, bien que la configuration inverse existe pour des applications particulières.

Sur le plan électromagnétique, un moteur comporte un circuit magnétique, constitué d'un matériau ferromagnétique à forte perméabilité, d'enroulements et éventuellement d'aimants permanents. Le matériau ferromagnétique est nécessaire pour que le flux produit soit assez élevé et pour que soit canalisé afin de pouvoir utiliser correctement ses effets. Les parties ferromagnétiques soumises à un flux constant ou lentement variable peuvent être massives, alors que les parties soumises à un flux à variation rapide sont obligatoirement feuilletées pour limiter les pertes par courants de Foucault.

1 Schéma et terminologie pour un moteur électrique [3]

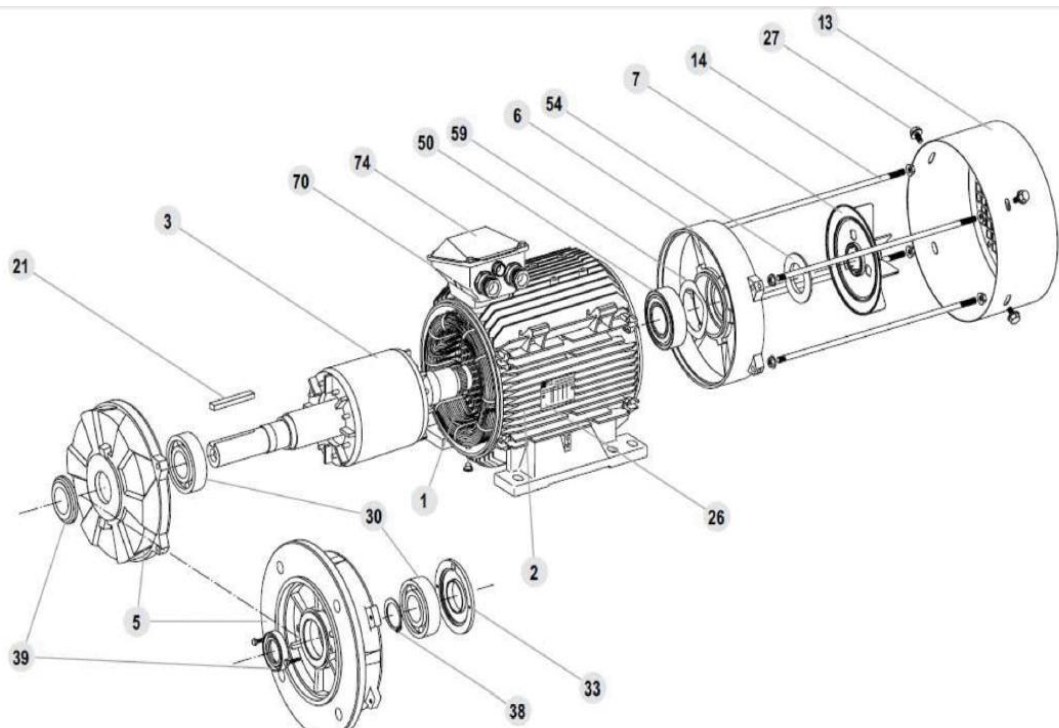


Figure 1 : Schéma d'un moteur électrique

Rep.	Désignation	Rep.	Désignation	Rep.	Désignation
1	Stator bobiné	14	Tiges de montage	39	Joint côté accouplement
2	Carter	21	Clavette	50	Roulement arrière
3	Rotor	26	Plaque signalétique	54	Joint arrière
5	Flasque côté accouplement	27	Vis de fixation du capot	59	Rondelle de précharge
6	Flasque arrière	30	Roulement côté accouplement	70	Corps de boîte à bornes
7	Ventilateur	33	Chapeau intérieur côté accouplement	74	Couvercle de boîte à bornes
13	Capot de ventilation	38	Circlips de roulement côté accouplement		
13	Capot de ventilation	38	Circlips de roulement côté accouplement		
1	Stator bobiné	33	Chapeau intérieur côté accouplement	14	Tiges de montage

Tableau 1: terminologie de moteur électrique

2 Les principaux éléments dans un moteur électrique

2.1 La carcasse

La carcasse sert de support, joue le rôle d'enveloppe, assure la protection contre les agents extérieurs et guide l'air de ventilation ; elle agit aussi parfois comme échangeur thermique ; c'est le cas des carcasses coulées des moteurs à ailettes ou des moteurs fermés à tubes.



Figure 2:carcasse d'un moteur électrique (métal coulé)

Les carcasses peuvent être réalisées en métal coulé (fonte, acier ou aluminium) ; c'est le cas des petites machines, par exemple le moteur asynchrone à ailettes de refroidissement. Pour des puissances plus importantes, supérieures à quelques centaines de kilowatts, la construction mécano-soudée s'impose ; elle est réalisée en tôles d'acier découpées, cintrées et soudées.

2.2 L'Arbre

L'arbre de la machine électrique est un organe de transmission du mouvement de rotation. Il comprend :

Une partie centrale qui sert de support au corps du rotor, au circuit magnétique et aux enroulements tournants.

Dans les paliers flasques, le corps de palier est généralement fixé sur la carcasse. Le rotor est alors centré dans le stator au moment de la construction de la machine. L'arbre est lui-même supporté par un ou plusieurs paliers suivant la configuration de l'ensemble de la ligne d'arbre.



Figure 3:Arbre d'un moteur électrique

Dans certains cas, l'arbre sert de soutien au collecteur, aux ventilateurs, aux bagues, au rotor de la machine d'excitation, ainsi qu'à des accessoires variés.

2.3 Le stator

C'est lui qui comporte les enroulements du moteur, il est constitué d'un empilement de tôles magnétiques isolées (d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude) ; c'est le circuit magnétique du stator.

Dans ces tôles, ont été aménagées des encoches destinées à recevoir l'enroulement statorique. Cette disposition du circuit magnétique statorique est rendue nécessaire

pour éviter les courants de Foucault. L'enroulement, composé de bobines mises en série ou en parallèle est ensuite relié à la source d'alimentation, généralement une source de tension.

Chaque bobine comporte deux parties distinctes. Le conducteur situé dans l'encoche représente la partie active du bobinage. Les têtes de bobines à l'extérieur du circuit magnétique, assurent les liaisons entre les différents conducteurs actifs. L'art du concepteur consiste à rendre maximale la partie active de l'enroulement et à minimiser l'encombrement des têtes de bobines qui sont à l'origine de pertes par effet Joule et de fuites magnétiques.

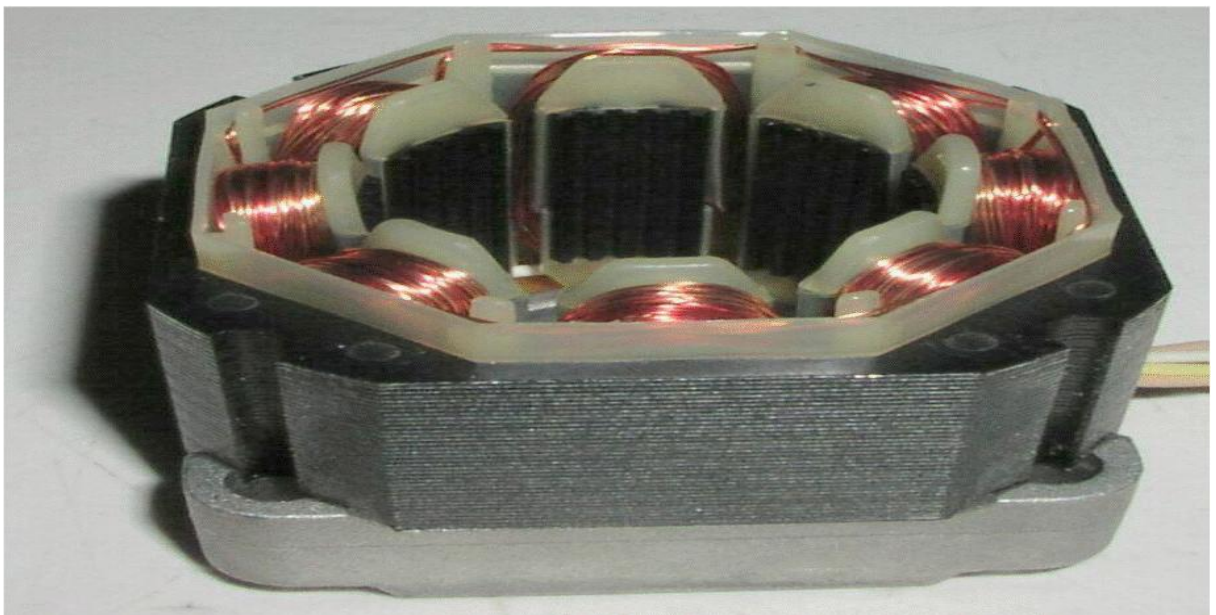


Figure 4: Stator d'un moteur électrique

2.4 L'enroulement

Les enroulements servent à véhiculer les courants électriques à l'intérieur de la machine. On distingue principalement les enroulements inducteurs et les enroulements d'induits.

Les enroulements d'induit sont constitués de conducteurs répartis dans des encoches à la périphérie du stator (machines synchrones et asynchrones) ou à la périphérie du rotor (machines à courant continu et machines asynchrones).

Enroulements parcourus par du courant alternatif : Ces enroulements sont, dans le cas général, du type polyphasé. Chaque encoche ménagée dans la tôle magnétique débouche sur l'entrefer et contient un certain nombre de conducteurs (qui peut varier dans de grandes proportions : de 2 à 20). On réalise :

1. Des bobinages en un étage : où tous les conducteurs d'une encoche appartiennent à une même phase et qui sont utilisés pour les machines de faible puissance.

2. Des bobinages en deux étages : où tous les conducteurs d'un étage situés dans une encoche appartiennent à une même phase et sont reliés électriquement en série ; suivant la valeur du pas de bobinage, il peut arriver que deux phases cohabitent dans la même encoche ; ces bobinages sont du type imbriqué ou ondulé (suivant le type de la machine et le constructeur) et ils sont couramment utilisés dans les machines de moyenne et de forte puissance.



Figure 5: bobinage en un étage



Figure 6: bobinage en deux étages

2.5 Le rotor

On distingue deux types de rotor, celui des moteurs synchrones et celui des moteurs asynchrones.

Le premier comporte des pôles créés par des moyens électromagnétiques : Des aimants, des encoches vides ou des enroulements parcourus par un courant continu. Le nombre de pôles est alors fixé par construction. Ces rotors se rencontrent dans les différents types de machines synchrones. Le second type de rotor comporte un enroulement polyphasé en court-circuit. On distingue les rotors bobinés, dont les enroulements sont accessibles de l'extérieur à travers des contacts mobiles du type bagues balais et les rotors à cage d'écureuil. En ce qui concerne les rotors bobinés, le nombre de pôles du rotor est fixé par construction. Quant aux rotors à cage, le nombre

de pôles dépend du stator qui induit dans les barres de la cage des courants dont le déphasage fixe le nombre de pôles égal à celui du stator.

Les rotors, comme les stators, comportent un circuit magnétique, feuilleté généralement, mais quelquefois massif comme celui des turboalternateurs. Dans ces circuits magnétiques sont aménagées des encoches dans lesquelles sont placés les conducteurs rotoriques. Le mode de réalisation des enroulements rotoriques est spécifique à chaque type de machine. Les enroulements sont constitués de barres court-circuitées par un anneau placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre ou, à l'occasion, en laiton frettés dans les tôles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotorique et les tôles magnétiques.



Figure 7: Rotor court-circuité par coulée d'aluminium

IV. Schéma fonctionnel

Les moteurs électriques assure la fonction convertir de la chaîne d'énergie. Ils convertissent d'énergie électrique en énergie mécanique, à ce titre, un moteur électrique doit être abordé selon deux points de vue énergétiques:

- L'énergie mécanique fournie.
- L'énergie électrique consommée.

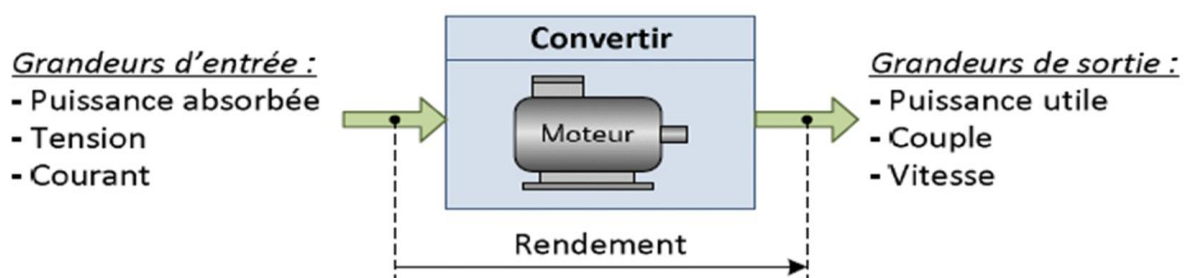


Figure 8: Schéma fonctionnel d'un moteur électrique

V. Le principe de fonctionnement [1]

Le principe des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives. La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique (B). Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant (I). C'est une grandeur vectorielle.

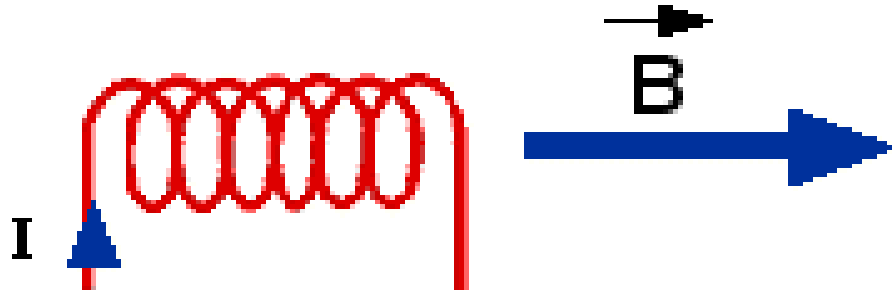


Figure 9:Création d'un champ magnétique

Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.

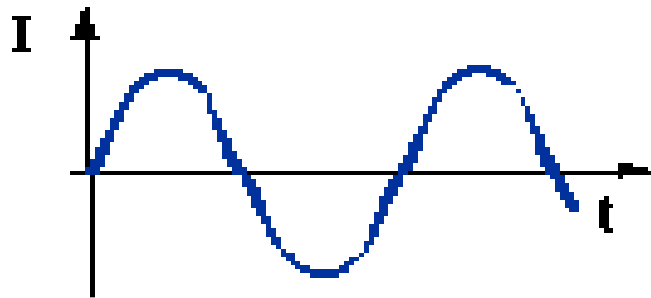


Figure 10: Variation de champ magnétique

Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres. Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés.

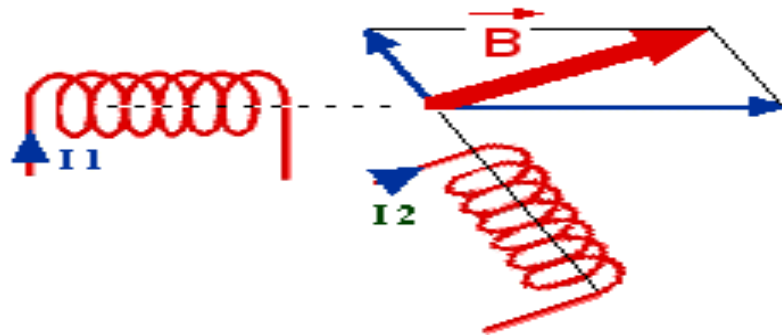


Figure 11: Résultante des champs magnétique

Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum). Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit $50 \text{ tr/s} = 3000 \text{ tr/mn}$.

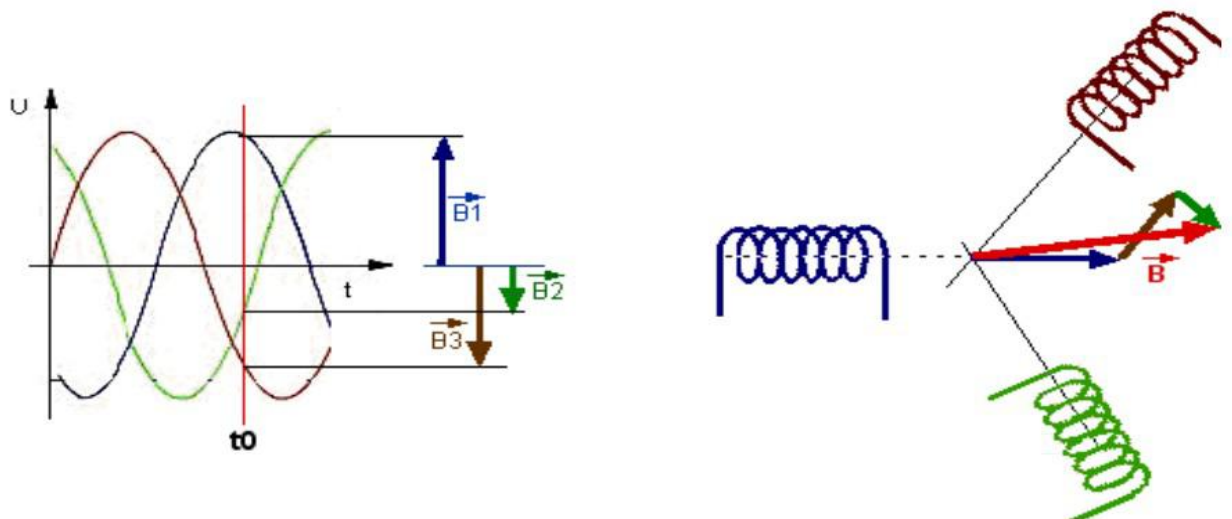


Figure 12: Champs magnétique déphasés

Les 3 enroulements statoriques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Si on place une boussole au centre, elle va tourner à cette vitesse de synchronisme.

VI. Processus de fabrication de moteur électrique

Dans ce qui suit on va présenter les étapes de fabrication de chaque constituant de moteur électrique présenté ci-dessus au sein de L'entreprise ELECTRO-INDUSTRIES.

1 La gamme de fabrication

Les moteurs électriques, basses tensions, fabriqués par l'entreprise ELECTRO-INDUSTRIES, sont de type asynchrones triphasés à une ou deux vitesses, et monophasés à condensateurs permanents.

Ils sont d'une construction fermée, à carasse ventilée, en alliage d'aluminium et en fonte. Les rotors sont en court-circuit, à cage d'écureuil, en aluminium pur (petits et moyens moteurs) et en barre de cuivre (grands moteurs).

2 La matière première

La matière première arrive sous forme de :

- ✓ Lingots d'aluminium pur à 99,5 %
- ✓ Ronds d'acier de diamètres différents
- ✓ Carcasses, flasques, pattes, ventilateurs : en fonte pour les grands moteurs
- ✓ Ventilateurs en plastique pour les petits moteurs
- ✓ Roulements à billes et à rouleaux cylindriques
- ✓ Fils électriques de connexion
- ✓ Rouleaux de fil de bobinage
- ✓ Matériaux d'isolation de bobinage
- ✓ Anneaux élastiques, visserie, rondelles, rondelles ondulées
- ✓ Peinture
- ✓ Bobines de tôle magnétique

Des échantillons de matière première sont fait contrôler dans deux laboratoires physique et chimique toute on mesure :

LABO DE PHYSIQUE	LABO DE CHIMIE
<i>La résistance (Ω)</i>	<i>la viscosité</i>
<i>La résistance à la rupture</i>	<i>la densité</i>
<i>L'allongement</i>	<i>classe de risque</i>
<i>La tension de claquage</i>	

Tableau 2 : Contrôle de la matière Première

Caractéristiques à contrôler

- Dimensions des filetages
- Nombre de défauts de vernis d'un fil de bobinage par mètre
- Dimensions des roulements, et charge radiale
- Raideur des ressorts
- Dimensions de la matière en fonte
- Contrôle de la tôle magnétique

3 Description et organisation des ateliers par fonction principale

- Atelier de découpage, encochage, emboutissage ;
- Atelier emballage ;
- Atelier de moulage sous pression ;
- Atelier d'usinage ;
- Atelier de bobinage ;
- Atelier de montage.

3.1 Atelier de découpage, encochage, emboutissage

Dans cet atelier, sont découpés et encocher les deux types de tôles utilisées pour la conception de deux catégories de moteur de hauteur d'axe : 71 à 160 mm et 180 à 400mm. Le découpage s'effectue sur presse rapide mécanique pour aboutir aux forme voulues après plusieurs opération successives ; La tôle avance et arrive entre l'outil et la matrice de la machine, c'est ainsi que le découpage commence.

L'emboutissage des capots de ventilation et aussi effectue dans cette atelier.

➤ contrôle

Une fois le découpage des tôles statorique et rotorique et fini, un échantillon subi un contrôle des cotes fonctionnelles :

- le diamètre intérieur ;
- le diamètre extérieur ;
- la coaxialités ;
- le contrôle circularité ;
- le contrôle des bavures ;
- le contrôle de l'épaisseur de la tôle.

3.2 Atelier empaquetage

La réalisation des paquets statorique et rotorique, s'effectue sur une presse à empaqueter, en plusieurs étapes :

a) Empaquetage du paquet statoriques :

Après l'emplacement des tôles en nombres définis, dans un outil monté sur une presse à empaqueter, on place les agrafes dans les rainures.

b) Contrôle du paquet :

Après sa réalisation le paquet statorique passe au contrôle visuel et dimensionnel

- Visuel : on contrôle le décalage des tôles, les bavures, ...
- Dimensionnel : les cotes fonctionnelles, cylindricité, diamètres intérieurs et extérieurs.

c) Empaquetage du paquet rotorique :

Ici on empile les tôles sur un calibre triage, pour obtenir la hauteur du paquet rotorique qui est contrôlé à l'aide d'un pied à coulisse.

L'arbre est placé sur la partie supérieure de la presse via un piston, il est emmanché de force dans le paquet rotorique.

3.3 Atelier de moulage sous pression :

Dans cet atelier sont fabriquées toutes les pièces constitutives des moteurs en version aluminium, à savoir :

- Réalisation des pièces en alliage d'aluminium (Silicium, Manganèse, Cuivre) comme : carcasse, flasque (AS, BS), boîte à bornes, couvercle de boîte à bornes
- Injection du rotor en aluminium pur à 99,5%.

➤ Contrôle :

On achemine cinq (05) échantillons du paquet rotorique vers le service contrôle pour subir les vérifications suivantes :

- La conductivité de l'aluminium.
- La longueur du paquet.
- Visuel.

3.4 Atelier d'usinage

Dans cet atelier s'exécute la fabrication des arbres du rotor et aussi l'usinage des pièces comme : flasque, carcasse, etc.

Les principaux types d'usinages :

a) Fabrication de l'arbre :

L'atelier reçoit les ronds d'acier qui subissent le contrôle de diamètre, concentricité,...

- Une fois l'acier contrôlé les arbres sont découpés à l'aide d'une scie mécanique.
- L'arbre est ensuite acheminé au centre d'usinage pour être centré.

Cette opération consiste à percer deux trous qui servent de référence pour pouvoir tourner le rotor dans un axe bien défini.

b) Usinage du rotor :

On effectue les opérations suivantes sur le rotor :

✓ Tournage du paquet :

C'est à l'aide d'un tour parallèle (dressage, chariotage, gorge,...).

✓ Rectification :

A l'aide d'une rectifieuse on modifie l'état de surface où les roulements seront montés et les sorties d'arbre.

✓ Fraisage :

A l'aide d'une fraiseuse on réalise les rainures de clavette.

c) Usinage des différentes pièces (carcasse, flasque, boîte à bornes) :

✓ Carcasse :

Alésage des carcasses à l'aide des tours verticaux ;

Perçage et taraudage des trous de fixation où seront fixés les flasques et la boîte à bornes.

✓ Flasque (As et Bs) :

Tournage des bords de centrage et cage des roulements.

✓ Boîte à bornes :

Perçage et taraudage des trous de fixation recevant le couvercle.

d) Lavage des pièces :

Les pièces usinées sont lavées afin d'éliminer les encrassements.

Rq : les techniciens qui travaillent dans cet atelier doivent suivre ce qu'on appelle *la gamme d'usinage*.

Exemple : gamme de fabrication de l'arbre

1. Scier la longueur ;
2. Centrer à la longueur ;
3. Tournage complet ;
4. Rectification ;
5. Fraisage des rainures ;
6. Huiler ;
7. Stockage au magasin.

3.5 Atelier de bobinage

L'atelier de bobinage est divisé en trois sections principales qui travaillent en parallèle : section de préparation des bobines, section de préparation des éléments d'isolation des bobines, et la section de bobinage.

➤ Section de préparation des bobines

L'ouvrier chargé de préparer les bobines suit une feuille de calcul sur laquelle les caractéristiques suivantes sont notées :

- Type de moteur à bobiner (choix de gabarit)
- Nombre des bobines
- Diamètre de fil

Les bobines sont réalisées à l'aide d'une bobineuse équipée d'un gabarit, et réglable pour un nombre de spires définit.

Une fois le fil est bobiné, le paquet est attaché pour garder sa forme jusqu'à l'étape de bobinage dans le stator.

➤ Section de préparation des éléments d'isolation

A l'aide des opérations de découpage et pliage les éléments suivants sont fabriqués :

- Caniveaux d'encoches
- Cales de fermeture
- Gaines isolantes
- Séparateurs de phases
- Lames intermédiaires
- Câbles de raccordement

➤ Section de bobinage

Dans cette section se déroule le processus final dans la fabrication de stator allant de l'insertion des caniveaux d'encoches jusqu'à l'imprégnation.

1. Insertion des caniveaux d'encoches : Cette opération se fait grâce à une machine qui découpe le papier isolant et le pénètre automatiquement dans les encoches du stator.

2. Insertion des bobines dans le stator :

Le bobineur suit une feuille de calcul qui lui est fourni avec chaque série de stators à bobine, cette feuille comporte :

- Type de moteur
- Diamètre de file
- Nombre de pôles
- nombre de spires par encoche de stator
- Schéma de bobinage
- Type de connexions
- Nombre de bobines en série par phase
- Nombre de bobines en parallèle par phase
- Type d'enroulement
- Nombre de conducteurs par encoche
- Câbles de raccordement (nombre, section)
- Caractéristiques mécaniques du stator : nombre d'encoches, longueur du paquet
- Angle d'inclinaison de paquet rotorique.

L'insertion se fait soit :

- Automatiquement pour les moteurs d'hauteur d'axe $70\text{ mm} \rightarrow 130\text{ mm}$;
- Manuellement pour les moteurs d'hauteur d'axe $132\text{ mm} \rightarrow 400\text{ mm}$.

Remarque :

C'est pendant cette opération que l'on intègre aussi les lames intermédiaires pour le bobinage à double couche ainsi que les cales de fermeture.

Une fois les bobines introduites, on place les séparateurs de phases pour éviter le court-circuit entre phase.

3. Connexion :

Connexion entre les bobines et isolation :

- Les bobines de chaque phase sont liées entre elles de façon précise en conformité avec le schéma de bobinage afin d'obtenir 03 grande bobines ayant chacune d'elles une entrée et une sortie.
- Les points de connexion sont basés et isolés avec des gaines isolantes déjà placées.

Connexion des bobines et câbles de raccordement :

Les entrées et les sorties de chaque phase sont connectées et soudées à des câbles de raccordement qui assurent la liaison électrique avec la boîte à borne. L'entrée et la sortie de chaque phase sont distinguées des autres avec des couleurs.

4. Imprégnation :

Cette opération consiste à mettre de la résine au bobinage du stator pour le rendre plus compact et solide, deux méthodes sont utilisées :

- Imprégnation goutte à goutte ;
- Imprégnation dans un bain de résine.

Le stator est maintenant prêt à être monté, avant cela, il passe au magasin intermédiaire de stockage.

3.6 Atelier montage

On recense trois (03) secteurs essentiels dans cet atelier :

1. Secteur équilibrage :

Cette opération se fait essentiellement avec l'ajout ou l'enlèvement de matière sur le rotor pour assurer son homogénéité et se termine par une couche de peinture (antirouille) puis le rotor est envoyé au magasin intermédiaire.

2. Secteur prés montage : Les opérations réalisées dans ce secteur sont :

- Huiler l'intérieur de la carcasse pour faciliter l'insertion du paquet statorique dans celle-ci ;
- Emmanchement du paquet avec une presse ;
- Mise en longueur et tournage des bords de centrage de la carcasse coté *AS* et *BS* ;
- Fraisage des pattes pour retrouver la hauteur d'axe exacte ;
- Peinture du diamètre intérieur du stator avec un antirouille.

3. Secteur montage final :

Dans ce secteur sont effectuées les opérations suivantes :

- Mise en place du couvercle du palier intérieur côte *BS* pour assurer une bonne étanchéité du moteur ;
- Emmanchent des roulements déjà graissés côte *AS* et *BS* avec une presse verticale et emplacement de clavette coté *AS* ;
- Visser le couvercle de palier sur le flasque, cela permet de cerner le roulement entre ces deux pièces ;
- Emplacement de la clavette coté *BS* et emmanchement du ventilateur avec la même presse puis insertion de la bague d'arrêt (serre clips) pour ventilateur ;
- Intégration du rotor complet dans le stator bobiné et fixation du flasque coté *BS* avec des avis ;
- Emplacement des rondelles (rondelle de compensation et rondelles élastiques) sur le flasque coté *AS* pour éviter le jeu axial du rotor ;
- Fixation du flasque sur la carcasse ainsi que le montage du capot du ventilateur ;
- Préparation de la boîte à bornes et fixation des câbles de raccordement sur la plaque à bornes ;
- Le moteur sera remis à la plate-forme d'essais.

Chapitre II

Procédés de mise en forme des métaux

I. Introduction

L'objectif premier de la mise en forme des métaux est de conférer à une pièce métallique des dimensions situées dans une fourchette de tolérance donnée. Les principaux procédés de mise en forme des métaux sont apparus progressivement, donnant naissance par la suite à diverses variantes, parfois très nombreuses. Les formes modernes des divers procédés sont le plus souvent apparues récemment pour assurer la production en grande série de pièces à faible coût. Il existe trois voies principales de mise en forme selon l'état de départ du matériau métallique (le moulage, le façonnage et le frittage). La Figure suivante récapitule les principaux procédés de mise en forme des métaux utilisés actuellement.

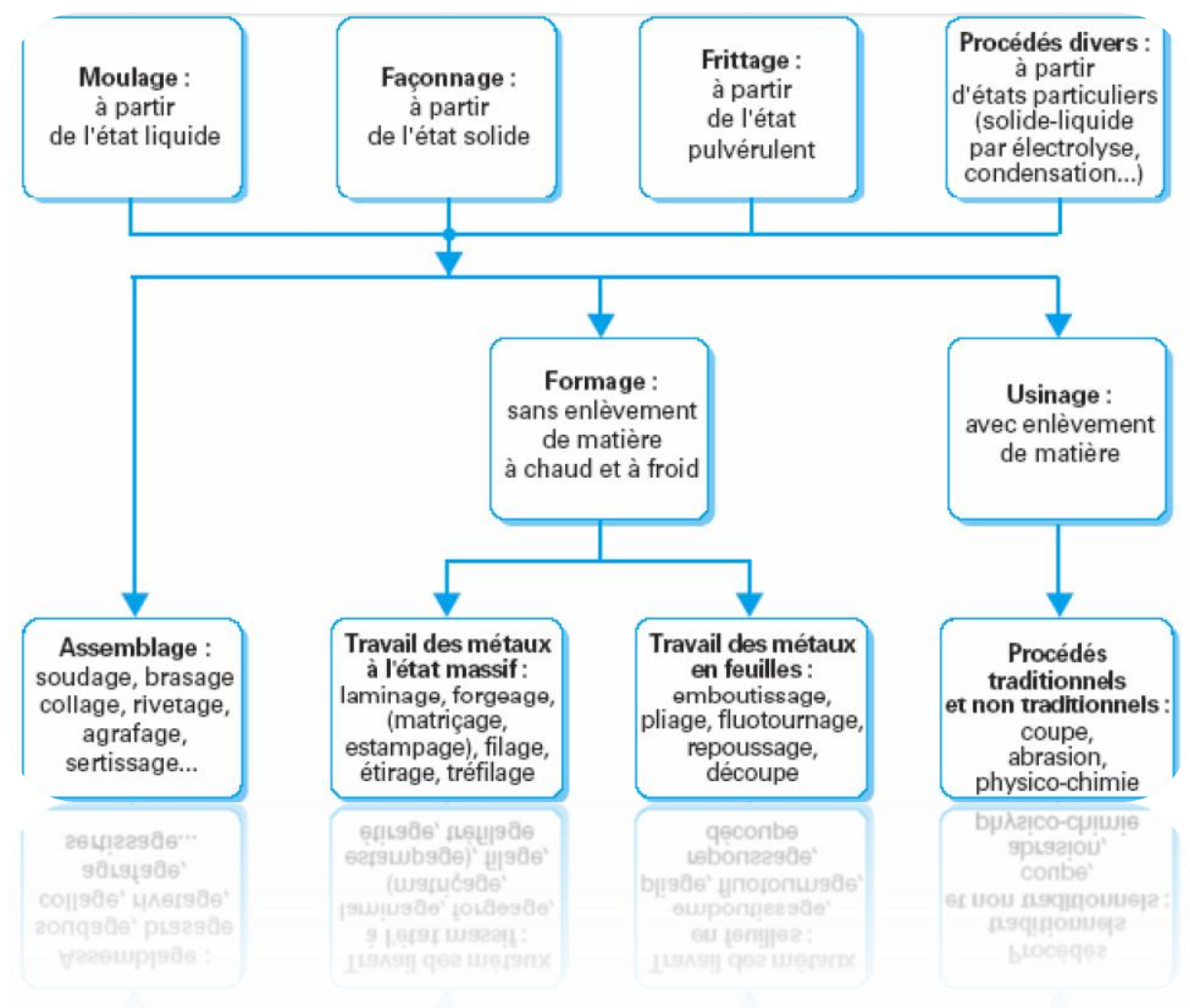


Figure 13: Principaux procédés de mise en forme des métaux

II. Moulage

L'opération de moulage consiste à fabriquer un moule, généralement en matériaux réfractaires, qui porte l'empreinte en négatif de la pièce, cette empreinte étant obtenue à partir d'un modèle reproduisant la pièce à fabriquer.

L'opération de moulage est une des plus importantes du processus industriel de la fonderie. Elle détermine en effet, d'après le modèle, les formes de la pièce à couler, ses dimensions et leur précision, ses états de surface, son refroidissement, et joue un rôle prépondérant sur de très nombreux paramètres influant sur sa qualité.

À titre d'exemple, dans des productions de grandes séries, les opérations de moulage représentent fréquemment 30 % environ des prix de revient hors matière. Il convient donc que le choix d'un procédé de moulage soit fait avec le maximum de précaution pour ne pas pénaliser les productions futures, tant en qualité qu'en prix de revient. [6]

1 Matériaux de moulage

1.1 Matériaux pour moules non permanents :

Pour la fabrication des moules et des noyaux, la fonderie utilise de nombreux matériaux et produits dont les plus importants sont cités ci-après.

a) Sables de base et siliceux :

Ils sont composés essentiellement de grains de silice SiO_2 ; c'est le matériau le plus universellement employé pour la confection des moules et des noyaux. Parmi toutes les variétés on citera :

- les sables silico-argileux naturels, utilisés à l'état brut ;
- les sables blancs extra-siliceux de carrière, très souvent traités par lavage, classement granulométrique et séchage avant livraison.
- Les Sables spéciaux (chromite, olivine, zircon, silico-alumineux)

Tous ces produits doivent présenter des caractéristiques bien définies, comme par exemple:

- ✓ la répartition granulométrique ou la forme des grains ;
- ✓ des propriétés chimiques en accord avec celles des liants ;
- ✓ des propriétés physiques à froid (perméabilité) et à chaud (réfractarité, dilatation, capacité et conductivité thermiques, mouillage par le métal liquide).

b) Liants

Ce sont les deuxièmes constituants les plus importants employés pour la fabrication des moules et noyaux en fonderie. Ils doivent en effet donner :

Chapitre II : Procédés de mise en forme des métaux

- ✓ la plasticité au sable pour épouser les formes du modèle et acquérir ensuite par durcissement une résistance mécanique permettant de conserver la forme jusqu'à la solidification du métal ;
- ✓ le minimum de réactions moule/métal qui sont des risques de défauts sur pièce de types piqûres ou soufflures.

On peut classer les liants en deux grandes familles :

- Les liants minéraux comme les argiles, bentonite, silice colloïdale, silicate soluble, plâtre et ciment ;
- Les liants organiques comme les matières amylacées (dérivées de l'amidon), les huiles siccatives et les résines synthétiques durcissables à chaud ou à froid, avec catalyseurs solide, liquide ou gazeux.

1.2 Matériaux pour moules permanents :

Certains procédés de moulage nécessitent l'exécution de moules permanents pour lesquels on utilise des matériaux métalliques comme les fontes, fonte GS, aciers, aciers spéciaux revêtus d'enduits réfractaires (graphite, lait de silice) destinés à protéger leur surface de l'érosion du métal liquide et des chocs thermiques trop brutaux. C'est le cas principalement :

- en fonderie de fonte, de la centrifugation et de la coulée en coquille ;
- et en fonderie de métaux non ferreux (aluminium, Zamac) des coulées en coquille par gravité, basse pression et sous-pression.

1.3 Produits spéciaux :

Beaucoup de procédés de moulage particuliers font appel à des produits spéciaux, comme par exemple la fonderie de précision (dite aussi en cire perdue) qui utilise des modèles injectés en cire, puis éliminés par chauffage après dépôt et durcissement des couches réfractaires sur les modèles. [4]

2 Outillages

L'Empreinte ou moule: souvent réalisée en matériau réfractaire, parfois destructible ou permanente. Elle est généralement en deux parties (parfois plus) et agrémenté de noyaux (formes intérieures).

La Coulée: C'est le remplissage de l'empreinte avec le matériau de la pièce, elle s'effectue par gravité ou sous pression.

Chapitre II : Procédés de mise en forme des métaux

Types de moulage	Liants	Principaux types de sable	Utilisation		Observation
			Moulage	Noyautage	
I Moulage à modèles permanents					
1. Sables restant plastiques	minéraux	{ silico-argileux sable à vert	x x	x	moulage main moulage machine
2. Sables durcissement thermique	organiques	{ huiles siccatives • Croning • boîtes chaudes	x	x x	noyautage et moulage en mottes ou carapaces
3. Sables durcissement chimique :					
— autodurcissants	minéraux	{ • ciment • plâtre • silicate-argile • silicate d'éthyle	x x x x		moulage main
— par gazage	organiques	• furanique	x	x	
	minéraux	{ • silicate-CO ₂ • Ashland • Hardox-SO ₂ • Isocet • Betacet	x x	x x x x	} moulage – noyautage
	organiques				
4. Sables durcissement physique :					
— V process	sans liant	• siliceux	x		moulage
— congélation	liant	• siliceux	x		moulage
II Moulage à modèles perdus					
1. Polystyrène expansé	sans liant	• siliceux	x		
2. Cire perdue	liant	• barbotine réfractaire	x		
3. Mercure congelé		• barbotine réfractaire	x		
III Moulage en moules métalliques					
1. Coquille gravité 2. Coquille basse pression 3. Moulage sous pression 4. Moulage par forgeage liquide	Alliages coulés				
	Métaux ferreux et non ferreux suivant les procédés				
IV Procédés spéciaux					
1. Moulage avec refroidisseurs 2. Moulage avec inserts 3. Moulage pièces bi-métal 4. Moulage par centrifugation 5. Moulage en coulée continue 6. Moulage à empreintes souples	Alliages coulés				
	Métaux ferreux et non ferreux suivant les procédés				

Tableau 3:Classification des procédés de moulage [6]

3 Moulage en moule non-permanent

3.1 Moulage au sable silico-argileux

A la main: l'empreinte est obtenue à l'aide d'un modèle en plusieurs parties ou par taillage du sable.

Particulièrement adapté pour des pièces unitaires ou de petite série,

Machine: La forme est issue d'une plaque modèle ce procédé est adapté pour une production en petite et grande série.

3.2 Moulage en carapace ou Précédé Croning

Avec modèle d'épaisseur réduite, en sable et résine thermo durcie : production de pièces précises.

3.3 Moulage V-process

Le moule en sable à sec et sans liant est durci sous vide: production de pièces précises (forme, dimensions, état de surface).

3.4 Lost-Foam ou moulage a modèle gazéifiable

Modèle généralement en polystyrène expansé, détruit lors de la coulée: destiné pour une production unitaire (prototypage rapide).

3.5 Moulage a la cire perdue

Avec modèle perdu (généralement en cire) qui est détruit, tout comme le moule: production de pièces complexes, précise et de petites dimensions (prototypage rapide).

4 Moulage en moule permanent

i. Moulage en coquille, par gravité :

Le moule est rempli par la pesanteur. Ce procédé est adapté à la production en série.

ii. Moulage par centrifugation:

Injection de l'alliage dans une empreinte en rotation. Adapte pour la production de pièces de révolution et possibilité de réaliser des pièces bi ou multi métaux, Souvent utilise pour des pièces de grande dimension. (Ex: canalisations)

iii. Moulage sous pression :

La matière est injectée sous pression à l'intérieur de moule. Destiné aux travaux de grande série avec outillage entièrement automatisé (ex: blocs moteurs en fonte ou d'aluminium et pièce plastiques).

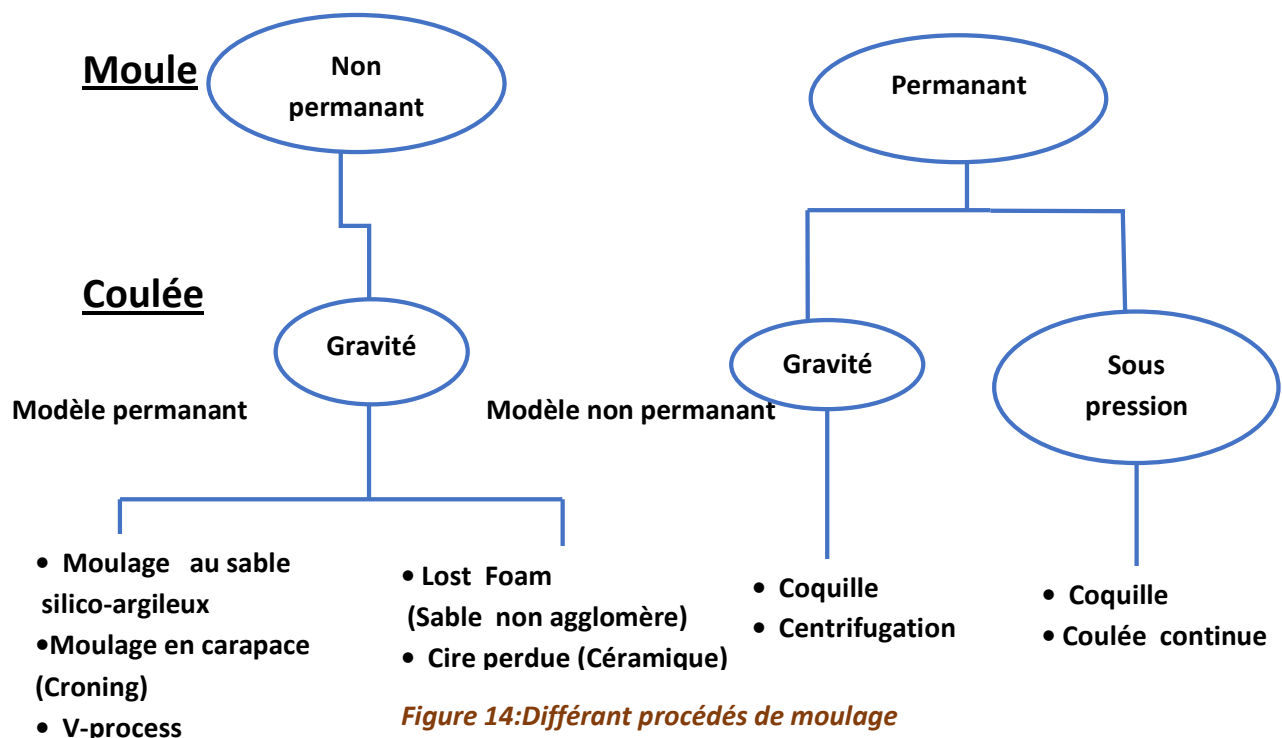


Figure 14: Différents procédés de moulage

5 Choix d'un procédé de moulage

Pour la fabrication d'une série de pièces données, on choisira le procédé de moulage en fonction des caractéristiques recherchées pour les pièces et des possibilités techniques des procédés envisagés.

Cette étude devra être appuyée sur une étude économique, pour calculer, en fonction des investissements de départ (outillages, installations spécifiques et diverses...) et des coûts de fabrication (main-d'œuvre, énergie, matière, entretien et renouvellement des outillages...), le seuil de rentabilité d'un procédé par rapport à un autre.

Le graphique de la figure 15 permet de comparer les coûts du moulage au sable et du moulage en coquille et de déterminer la quantité de pièces à partir de laquelle le moulage en coquille deviendra le plus économique (point Q).

Le choix d'un procédé de moulage devra également intégrer les gains à l'usinage, très sensibles lorsque l'on compare des pièces coulées en sable à des pièces coulées en coquille ou sous pression. [4]

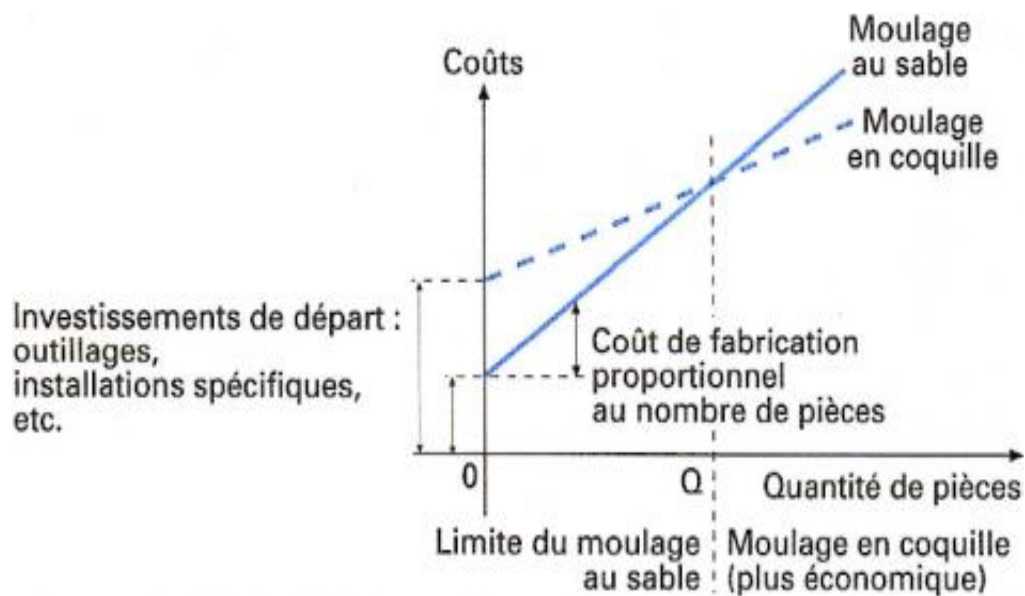


Figure 15:Évolution des coûts de fabrication en fonction du nombre de pièces fabriquées

III. Moulage en moules métalliques

1 Généralités

Dans les procédés de moulage au sable, les moules et les noyaux doivent être refaits après chaque coulée, ce qui pose de nombreux problèmes et nécessite des installations importantes pour la production des moules neufs et de nombreuses manutentions. On peut estimer que la production d'une tonne de pièces bonnes nécessite, en moyenne, la manutention de 20 tonnes, voire 50 et même plus pour des pièces minces. Cette production de moules entraîne de grosses consommations de sable neuf avec des problèmes d'évacuation et de mise en décharge des sables usés lorsque les procédés de récupération des vieux sables ne permettent pas un recyclage à 100 %.

Aussi s'est-on efforcé, de tout temps, de réaliser des moules ou des éléments de moules capables de supporter plusieurs coulées successives (moules en pierre taillée, en bois, en fonte, etc.).

Cette idée est très ancienne mais le procédé ne s'est développé industriellement, qu'à partir du 20^e siècle, avec la mise au point d'alliages dont la température de fusion est inférieure à 1000 °C (l'aluminium, le magnésium et leurs alliages, les alliages de cuivre, de zinc, de plomb et d'étain). Les empreintes furent taillées dans des blocs métalliques pour obtenir des moules durables, solides et constants en dimensions, appelés moules permanents ou coquilles. . [7]

2 Caractéristiques générales

Grâce à l'emploi de moules métalliques, le moulage en coquille présente les caractéristiques suivantes pour les moules :

- Rigidité de l'empreinte ;
- Grande précision dimensionnelle ;
- Excellent état de surface des éléments moulants ;
- Conductivité thermique élevée des empreintes qui donnent aux pièces moulées un meilleur état de surface ;
- Des caractéristiques mécaniques plus élevées de l'alliage coulé, conséquence d'une vitesse de refroidissement et de solidification plus élevée, donnant un grain plus fin et une matière plus compacte ; mais des contraintes résiduelles à l'état brut peuvent nécessiter un traitement thermique de détente des pièces surtout pour les métaux ferreux ;
- Une plus grande précision des dimensions des pièces avec la possibilité de faire venir, bruts de fonderie, des trous de fixation et de permettre une réduction appréciable des surépaisseurs d'usinage.

3 Alliages coulés

Ce sont généralement des alliages non ferreux (aluminium, laiton, bronze, etc.) qui sont utilisés dans ce genre de fabrication. Les métaux ferreux, à cause des températures plus élevées de coulée, sont rarement employés, sauf pour des fabrications très spécifiques comme, par exemple, les tuyaux en fonte, les pièces de grandes séries pour l'automobile (collecteurs, cylindres de freins...). L'usure rapide des outillages dans ce cas pénalise lourdement les prix de revient ; ils ne peuvent donc s'amortir que pour de très grandes séries.

4 Forme et dessin des pièces

Les pièces doivent être de formes assez simples, surtout intérieurement, afin de pouvoir être obtenues par des noyaux métalliques dans toute la mesure du possible. L'emploi des noyaux en sable devra être réservé aux pièces compliquées dont le dessin ne peut être simplifié (culasses par exemple). L'emploi de ces noyaux complique la fabrication et entraîne des difficultés au décochage, la faible température de coulée des pièces en aluminium ne permettant pas de bien calciner le noyau qui s'évacuera assez difficilement au débouillage.

Les formes extérieures qui viennent par les parties moulantes des outillages peuvent être plus compliquées, à condition toutefois de bien respecter les sens de démoulage choisis. On peut ainsi faire venir sur les parois extérieures toutes les nervures nécessaires pour la résistance mécanique des pièces (carters-cylindres, carters de boîtes de vitesses en aluminium coulé sous pression, etc.) En cherchant à simplifier à l'extrême les formes intérieures.

5 Outillages

Leur définition commence par celle des formes de la pièce qui permettra de préciser les sens de moulage, la venue des parties creuses (noyaux métalliques, noyaux en sable, broches, etc.), les dépouilles (généralement de 1 à 3 %), les retraits, les systèmes de refroidissement du moule, la position des éjecteurs, les systèmes de remplissage, de coulée et les masselottes.

Les moules sont constitués d'au moins deux parties métalliques dont l'assemblage reproduit les formes extérieures de la pièce et le système de coulée. Des dégagements d'air du moule et des gaz provenant des noyaux sont à prévoir pour faciliter la coulée et la bonne venue de la pièce. Les outillages de moulage en coquille doivent présenter un certain nombre de qualités : permanence des formes à chaud (250 à 400 °C pour les pièces en aluminium), bonne résistance aux contraintes thermiques, bonne précision dimensionnelle, démoulage facile sans arrachement, etc. qui font choisir pour réaliser ces moules des matériaux métalliques comme les fontes lamellaires, les fontes GS faciles à couler et à usiner. Les parties les plus soumises à usure, comme les talus, les broches et les noyaux, sont souvent réalisées en acier usiné, trempé, revenu pour améliorer leur résistance à l'usure. Ces moules doivent avoir un

certain nombre de parties mobiles dont l'effacement permettra le dégagement de la pièce, l'extraction des noyaux et le démoulage de la pièce. Toutes les parties moulantes sont en général usinées sur des fraiseuses à reproduire ou sur des machines d'électroérosion ; plus rarement, elles sont obtenues brutes de fonderie. Elles sont fixées sur les éléments coulissants de la coquille pour pouvoir être facilement démontées et remplacées.

IV. Moulage sous pression

1 Généralité

La philosophie de remplissage en fonderie sous pression est radicalement différente de procédés ci-dessus évoqués. On cherche à remplir un moule complètement avant même que le liquide ait commencé à se solidifier.

L'objectif est d'atteindre de quelques dizaines de millisecondes à 0,1 s et des vitesses de remplissage de l'ordre de 20 à 80 m/s à l'entrée de l'empreinte. À ces niveaux de vitesse-là, le métal liquide est propulsé dans l'empreinte sous forme pulvérisée. Pour atteindre ces vitesses de remplissage vertigineuses, il faut avoir recours à une technologie hydraulique combinée à la compression de l'azote. Les pressions appliquées pendant le remplissage atteignent 50 à 150 bars en fonction de la vitesse recherchée. Les fondeurs sous pression ont l'habitude de recourir à un diagramme (p, Q) pour déterminer la pression P nécessaire pour assurer un débit matière Q voulu. Le remplissage étant complètement turbulent, beaucoup d'air se trouve entraîné avec le métal dans l'empreinte. Une pression d'intensification très élevée (de 500 à 1 200 bar) est donc appliquée pour comprimer les pores et autres bulles et agir contre le retrait de la pièce. Les avantages de ce saut technologique sont:

- ✓ Des temps de cycles extrêmement courts, de 30 secondes à quelques minutes (pour des pièces de 10 kg);
- ✓ La possibilité de remplir des épaisseurs très fines; jusqu'à 0,8 mm localement et plusieurs millimètres sur des longueurs importantes;
- ✓ Une précision dimensionnelle élevée car l'application d'une forte pression pendant toute la solidification permet de combler partiellement le retrait à la solidification au fur et à mesure qu'il se forme. Il est même possible de réaliser des filetages directement;
- ✓ Une température de coulée très proche de la température de liquidus de l'alliage et des moules beaucoup plus froids qu'en fonderie gravité et basse pression.

Une machine de fonderie sous pression se compose toujours :

Chapitre II : Procédés de mise en forme des métaux

- D'une unité de fermeture avec usuellement un dispositif en genouillère. La capacité (de 5 à 5 000t) conditionne la surface projetée maximale de pièce à couler et les pressions maximales applicables;
- D'une unité d'injection. Deux technologies se partagent le marché, les chambres chaudes et les chambres froides. Leur différence tient essentiellement à la position de l'unité d'injection du métal. [6]

2 Description du procédé

Dans ce procédé, l'alliage liquide est injecté sous forte pression dans l'empreinte d'un moule métallique.

L'alliage, poussé par un piston dans un conteneur en acier spécial au chrome-molybdène, est introduit dans le moule par une buse d'injection. En phase finale, la pression peut atteindre 70 à 80 MPa, voire 100 MPa ou plus. L'injection se fait en un temps très court, 0,1 s en moyenne.

Les moules sont montés sur les plateaux d'une presse hydraulique horizontale, de grande puissance (jusqu'à 30 MN et plus de force de fermeture) pour éviter au moment de l'injection toute ouverture intempestive de l'outillage et toute fuite au plan de joint. Les pressions et les systèmes d'injection, les forces de fermeture des machines, dépendent de nombreux facteurs, notamment du genre d'alliage coulé, de la forme et du volume de la pièce. Les pièces produites sont précises, légères, et les cadences de production très rapides. Par contre, les outillages et les machines représentent des investissements très coûteux qui font réserver ce procédé à des fabrications de moyennes ou grandes séries.

3 Caractéristiques des pièces coulées sous pression

3.1 Grande précision dimensionnelle

Grâce aux moules très rigides, très précis, et aux conditions de remplissage, les tolérances des cotes sont très serrées. D'autre part, il n'y a pas de poteyage permanent sur les parties moulantes comme en coulée en coquille et la pièce est la réplique exacte de l'empreinte, au retrait linéaire près.

Très bon état de surface Il est variable selon le degré de finition du moule, mais il faut noter qu'après un grand nombre d'injections, les surfaces des empreintes sont légèrement craquelées et les micro criques superficielles du moule se retrouvent en relief sur la pièce. Cela n'affecte en rien sa résistance, mais l'état de surface est moins bon avec des empreintes un peu usagées. Suppression de certains usinages Il est possible d'obtenir directement la forme souhaitée dans les tolérances fonctionnelles requises, en particulier les trous de passage d'éléments de fixation (vis, etc.).

Chapitre II : Procédés de mise en forme des métaux

Et les avant-trous qui seront ensuite taraudés directement à l'usinage. On peut aussi insérer au moulage des filetages tout prêts (helicoils).

3.2 Obtention de pièces légères

La pièce doit être dessinée en évitant les masses inutiles qui risquent d'être retassées. Les épaisseurs des parois peuvent être minimales en fonction des caractéristiques mécaniques nécessaires.

3.3 Mise au mille très faible

Elle est de l'ordre de 1,3 au maximum, grâce à l'absence de masselottes. Seuls quelques dégorgeoirs sont nécessaires pour rassembler, à l'opposé des attaques d'injection, le premier métal ayant traversé toute l'empreinte et risquant d'être un peu oxydé.

3.4 Bonnes caractéristiques mécaniques

Il faut toutefois noter que la texture d'une pièce coulée sous pression est très particulière. En effet, le métal injecté à haute pression dans l'empreinte se pulvérise littéralement avant d'être comprimé et solidifié le long des parois et ensuite dans l'épaisseur des toiles.

L'air du moule est emprisonné dans le métal et celui-ci présente des microporosités dans la masse des parois, alors que l'extérieur de celles-ci présente une structure plus fine et plus compacte favorable à la tenue en fatigue.

4 Systèmes d'injection

Il existe deux systèmes d'injection du métal liquide dans l'empreinte, le système à chambre chaude et le système à chambre froide.

4.1 Système à chambre chaude

Ces dispositif, appelé aussi col de cygne (gooseneck), comprend un four à creuset, de maintien ou de fusion du métal liquide, dans lequel est immergé le système d'injection. Celui-ci est constitué d'un cylindre d'injection en col de cygne (en acier réfractaire) qui vient s'appliquer contre le trou d'injection du moule. C'est le système le plus simple, presque idéal. Il réalise la coulée automatique, le métal est toujours à bonne température avec beaucoup moins de risque de présence d'oxydes dans le métal coulé. Malheureusement les alliages d'aluminium, qui dissolvent le fer à haute température, ne peuvent être injectés par ce dispositif. Par contre, les alliages de zinc (température de coulée 420°C) et de magnésium (température de coulée 650°C) sans action sur les alliages de fer sont injectés sur ce type de machines.

Les pressions d'injection sont comprises entre 5 et 30 MPa. Grâce à la simplicité de ce système, les cadences peuvent être très élevées.

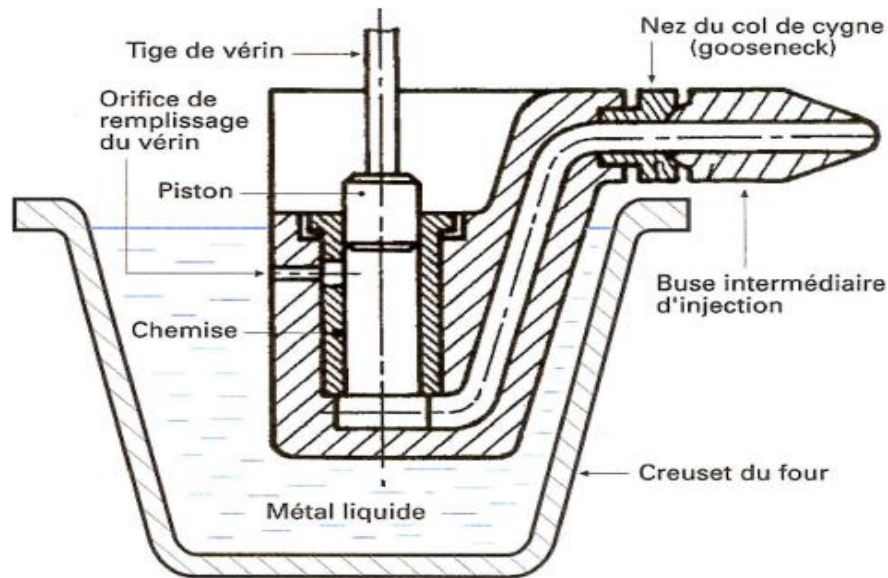


Figure 16: Système à chambre chaude

4.2 Système à chambre froide

Dans ce système, l'injection dans le moule se fait à l'aide d'un vérin horizontal, muni d'un piston en acier au chrome-molybdène coulissant dans un cylindre appelé conteneur et qui s'applique sur l'orifice d'injection du moule. Le conteneur possède un orifice de remplissage par lequel on verse le métal liquide, manuellement à la louche ou, plus fréquemment, à l'aide d'un système de coulée mécanisée et automatique (petite poche verseuse, poche à quenouille, etc.).

Il existe également des machines à axe vertical mais elles sont très peu utilisées. Le système d'injection est plus complexe, et elles ont tendance à disparaître. Les pressions d'injection utilisées dans les dispositifs à chambre froide peuvent atteindre des valeurs élevées, de 25 à 200 MPa, pouvant dans certains cas atteindre 350 MPa. La manutention et la coulée du métal sont plus difficiles et le système impose de le doser soigneusement avant coulée dans le conteneur.

Différents systèmes de programmation existent pour régler la vitesse de déplacement du piston, vitesse rapide d'abord, puis vitesse lente et enfin effort maximal de compactage du métal liquide.

Il existe également des systèmes comprenant un petit piston au centre du piston principal, qui vient parachever l'effort de compactage final. Tous ces systèmes visent à améliorer le remplissage du moule et la pression finale sur le métal liquide pour améliorer les qualités de la pièce.

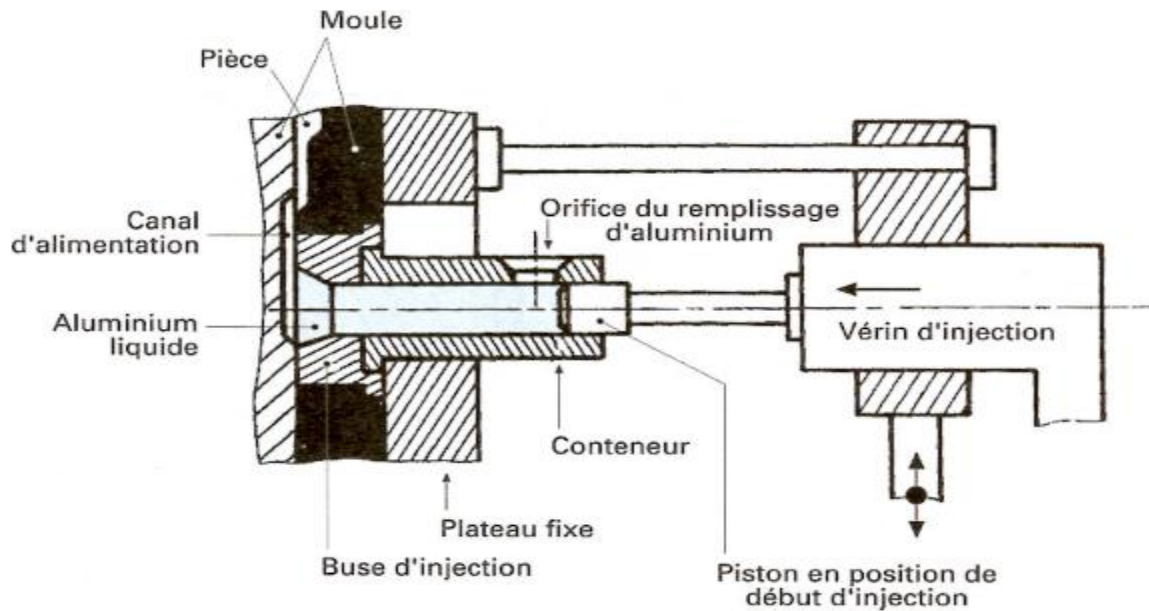


Figure 17: Système à chambre froide

5 Les machines utilisées

5.1 Machine à chambre chaude

Elles sont équipées du système d'injection décrit précédemment, utilisable seulement pour des alliages d'étain, de plomb ou de zinc (Zamaks). Le système d'injection à chambre chaude permet des cadences élevées, 50 à 720 injections/h généralement, mais certaines machines spéciales peuvent atteindre des cadences beaucoup plus élevées, 2 000 à 5 000 injections/h pour certaines petites pièces. Pour ces dernières fabrications, les machines restent de taille moyenne et leurs cycles sont, le plus souvent, entièrement automatisés.

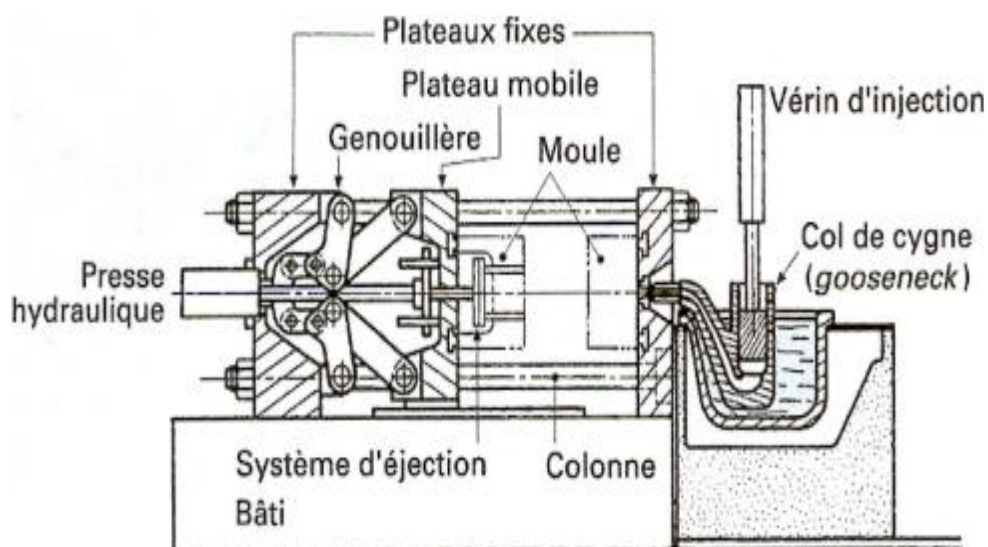


Figure 18: Machine à chambre chaude

5.2 Machines à chambre froide

Elles sont équipées d'un système d'injection comprenant un conteneur dans lequel circule le piston injectant l'alliage liquide dans le moule. Le four de maintien est installé à côté de la machine.

Il existe deux types de machines à chambre froide :

- les machines horizontales ;
- les machines verticales.

Les machines horizontales sont universellement répandues dans toutes les fonderies, leurs forces de fermeture s'échelonnent de 0,5 à 30 MN et plus afin de pouvoir répondre à la demande du marché de pièces en aluminium coulées sous pression de plus en plus importante, comme par exemple des carters-cylindres pour moteurs d'automobile, 4 cylindres (12 kg) ou V 6 (16 kg). Pour cette dernière pièce par exemple, les moules pèsent plus de 25 t, la machine à une force de fermeture de 30 MN ($\approx 3\,000\text{ Tf}$), une cadence 8 à 10 pièces/h. Ces énormes machines ont des plateaux de $3\text{ m} \times 3\text{ m}$, une longueur de plus de

10 m et représentent un investissement important ne pouvant s'amortir que sur des grandes séries. Les cadences de production vont de (10 à 20) pièces/h à 50 pièces/h en moyenne et jusqu'à 200 pièces/h environ pour les machines les plus petites.

Pour faciliter les manutentions, diminuer la pénibilité et améliorer la productivité, les machines moyennes et surtout les plus importantes ont été entièrement automatisées.

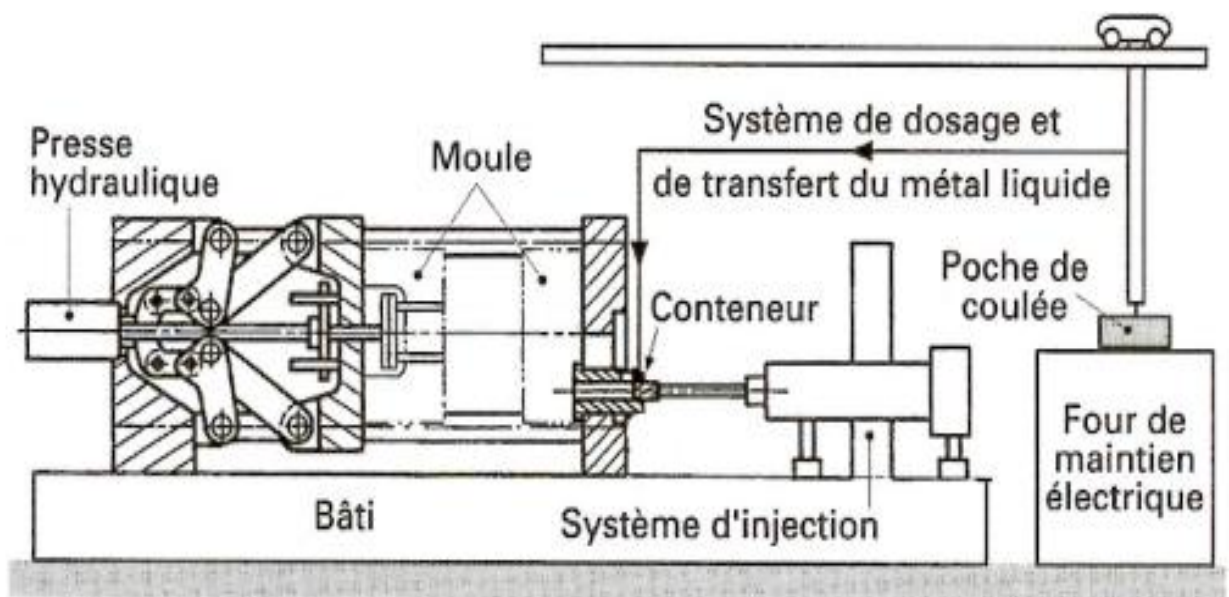


Figure 19: Les machines horizontales

Chapitre II : Procédés de mise en forme des métaux

Les cadences sont exprimées en cadences instantanées, rendement mécanique machine-moule non compris.

Ces machines ont été équipées d'un ou plusieurs robots qui forment avec leur four de maintien de véritables ensembles autonomes entièrement automatiques, depuis la coulée du métal jusqu'aux opérations d'extraction de la pièce, poteyage des empreintes, refroidissement de la pièce dans un bac à eau et pré ébavurage (culot d'injection, grosses bavures). L'opérateur surveille le fonctionnement de l'ensemble de l'installation et contrôle la qualité des pièces à la sortie, avant livraison à l'atelier de parachèvement. Ces ensembles complètement automatisés ont permis d'améliorer très sensiblement les conditions de travail, la productivité et également la qualité des pièces.

Les machines verticales utilisent pour l'injection un conteneur disposé verticalement, alimenté en métal liquide à la louche de coulée, ou par dépression et aspiration par un tube dans le four de maintien. Il est nécessaire que l'injection se fasse au centre du moule, ce qui limite leurs applications. Par ailleurs, l'ensemble d'injection n'est pas très accessible et ce type de machine ne s'est pas développé à cause des inconvénients liés à son principe.

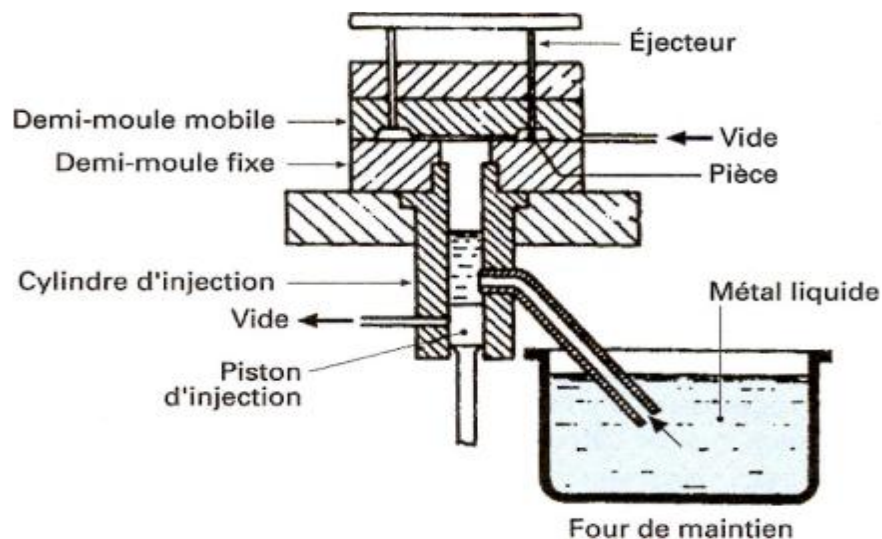


Figure 20: Les machines verticales

6 Les cycles de coulée

6.1 Machines à chambre froide horizontale

Les phases du procédé sont les suivantes :

- verse du métal dans un cylindre horizontal appelé conteneur ;
- 1^{re} phase : le piston d'injection pousse assez lentement le métal jusqu'à l'entrée de l'empreinte, appelé attaque ;
- 2^{eme} phase : remplissage du moule, la vitesse du piston et du métal est élevée et peut varier de 20 m/s à 50 m/s à l'attaque et fortement, notamment avec l'emploi des machines à boucle fermée ;
- 3^{eme} phase : une application rapide d'une surpression sur le métal en cours de solidification permet d'augmenter la compacité de la pièce.

Les pressions exercées sur le métal peuvent varier entre 50 et 100 MPa.

Compte tenu de la grande vitesse d'écoulement du métal lors du remplissage, une partie de l'air contenu dans le conteneur et dans l'empreinte se retrouve dans les pièces sous forme de petites bulles ou soufflures.

On peut remédier en grande partie à cet inconvénient en concevant correctement le système de remplissage et en utilisant des technologies d'assistance par le vide qui consistent à aspirer l'air et les gaz pendant la phase de remplissage. La pression résiduelle varie selon les systèmes entre 60 et 100 MPa.

Les machines sont caractérisées par la force de fermeture des plateaux fixe et mobile sur lesquels est fixé le moule. La gamme des puissances s'échelonne entre 2 500 et 45 000 kN, plus couramment exprimée en tonnes, 250 à 4 500 t.

La technologie des machines a fait de gros progrès au niveau du groupe d'injection. On distingue deux principales catégories de machines.

6.2 Machines anciennes à trois phases

(Plus vendues aujourd'hui mais encore nombreuses dans le parc industriel) :

- 1^{re} phase : le mouvement du piston a lieu à vitesse lente constante (0,30 à 1 m/s) ou accélérée.
- 2^{eme} phase : elle correspond au remplissage de l'empreinte et la vitesse du piston peut varier entre 1,5 et 8 m/s. Les mouvements du piston d'injection sont pilotés du côté primaire du piston moteur. Le freinage du piston en fin de phase évite le coup de bélier et permet, pour des pièces fines injectées avec des vitesses de piston élevées, de ne pas provoquer de bavures au plan de joint.
- 3^{eme} phase : c'est la phase de compaction réalisée par un multiplicateur de pression (majoritairement la pression est régulée par une vanne pointeau). Le déclenchement de la montée en pression peut, si nécessaire, être retardé. En règle générale, on cherche à appliquer une surpression sur la pastille de coulée, le plus vite possible.

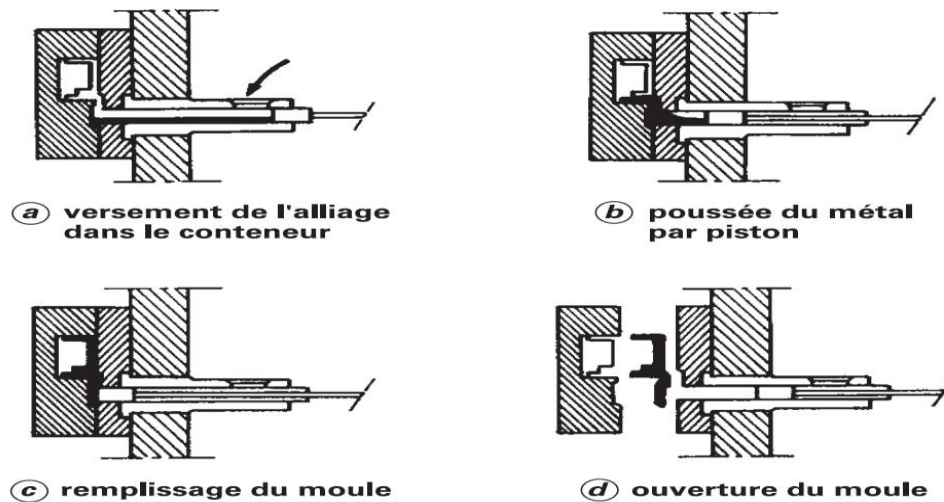


Figure 21: Machines anciennes à trois phases

6.3 Machines modernes à boucle fermée

Elles ne présentent plus que deux phases cadres :

- remplissage qui comporte, si nécessaire, de nombreux changements de vitesse du piston pour conserver en chaque point la vitesse de front de métal voulue, malgré les changements de section de l’empreinte ;
- compaction, pendant laquelle le pilotage du piston ne se fait plus en vitesse mais en pression. Tous les mouvements du piston d’injection sont pilotés au moyen d’une vanne de haute précision, disposée en avant du piston moteur coté injection.

Ce système permet non seulement d’obtenir des vitesses constantes ou variables, mais aussi de ralentir le mouvement du piston pendant sa course et de le freiner très rapidement en fin de remplissage, ce qui élimine le coup de bélier rencontré sur les machines à trois phases non munies de dispositifs spéciaux.

Ces machines sont bien adaptées à la coulée de métal semi-solide (à viscosité élevée et intrinsèquement variable) et également au squeeze casting horizontal. On peut faire varier la vitesse et la pression en plusieurs points du cycle de ces machines (jusqu’à 16 points sur certaines d’entre elles). Il est possible d’appliquer des retards entre chaque commutation et de programmer les rampes de montée en pression.



Figure 22: Machines modernes à boucle fermée

7 Moyens de remplissage du conteneur en coulée sous pression

La coulée manuelle n'est pratiquement plus utilisée sauf pour la coulée de petites pièces. A ce mode, on a substitué divers dispositifs de transfert automatiques de l'alliage qui prélèvent et dosent le métal liquide.

Louche automatique

Il existe de nombreux types de louches, l'objectif étant de prélever le métal au-dessous du niveau du bain pour éviter d'introduire des peaux d'oxydes et de transférer le métal rapidement vers le conteneur. La cinématique de ces dispositifs est programmable selon les besoins et peut être indexée de manière optimale dans le cycle de la machine.

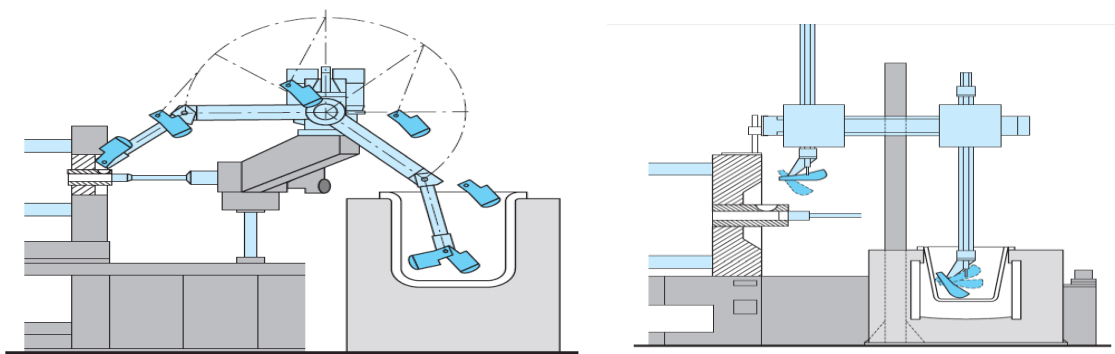


Figure 23: Louches automatique

Fours doseurs

Le transport du métal liquide est réalisé selon le principe de la coulée basse pression. L'alliage est contenu dans un four étanche dans lequel on applique une pression d'air comprimé, de manière à remplir à chaque injection le conteneur de la quantité de métal voulue généralement via une goulotte.

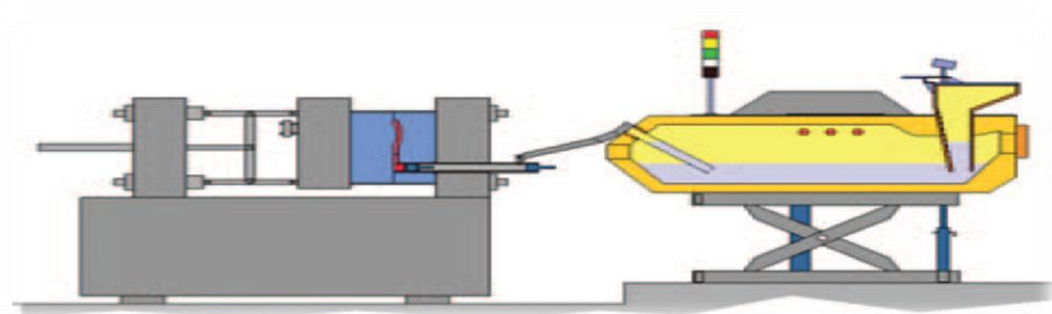


Figure 24: Fours doseurs

✚ Remplissage du conteneur par mise en dépression du moule

Le principe est décrit à la figure 25, avec une machine sous pression équipée du procédé Vacural développé par Muller Weingarten. Il consiste à aspirer le métal liquide en créant une dépression dans l'ensemble empreinte/conteneur. Le conteneur est raccordé au four de maintien par un tube plongeur.

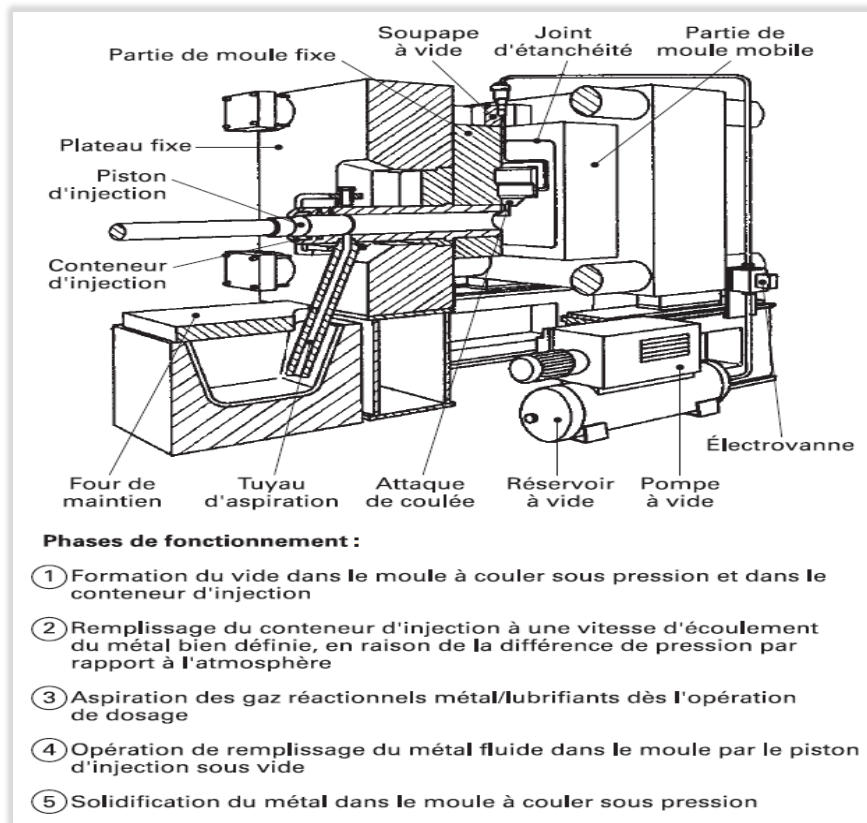


Figure 25: Remplissage du conteneur par mise en dépression du moule

V. 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.

Chapitre III

Choix du moule et procédé

I. Introduction

Un moule en termes de moulage sous pression, est un outil mécanique de très grande précision qui permet de rejouer un produit sans fin, considéré comme des limites de fabrication, parmi le processus de consolidation du même métal fondu.

Le moule est alors le premier acteur dans le domaine de la coulée sous pression.

Sa conception fait appel à des méthodes complexes et bien spécifiques, que nous allons aborder dans ce chapitre.

II. Conception d'un moule à injection sous pression d'aluminium

Un moule peut être défini par les paramètres suivants :

- + Son architecture ;
- + Le nombre et disposition d'empreintes ;
- + Le système d'alimentation ;
- + La matière à injecter ;
- + L'éjection des pièces ;
- + La machine ;
- + Dégazage du moule ;
- + Fixation de moule ;
- + Système de refroidissement ;
- + La durée de vie (le choix des matériaux...).

1 Architecteurs de moule

Dans l'impossibilité de décrire tous les types de moules dont la complexité peut être extrême, il a paru plus utile de montrer sur les figures suivantes les plans schématiques de deux moules théoriques, l'un pour moulage en chambre chaude, l'autre pour moulage en chambre froide, comportant la plupart des éléments constitutifs des moules de fonderie sous pression.

Ces plans établissent la terminologie des divers organes dont la description et le fonctionnement sont détaillés ultérieurement dans ce même chapitre.

1.1 Schéma et terminologie

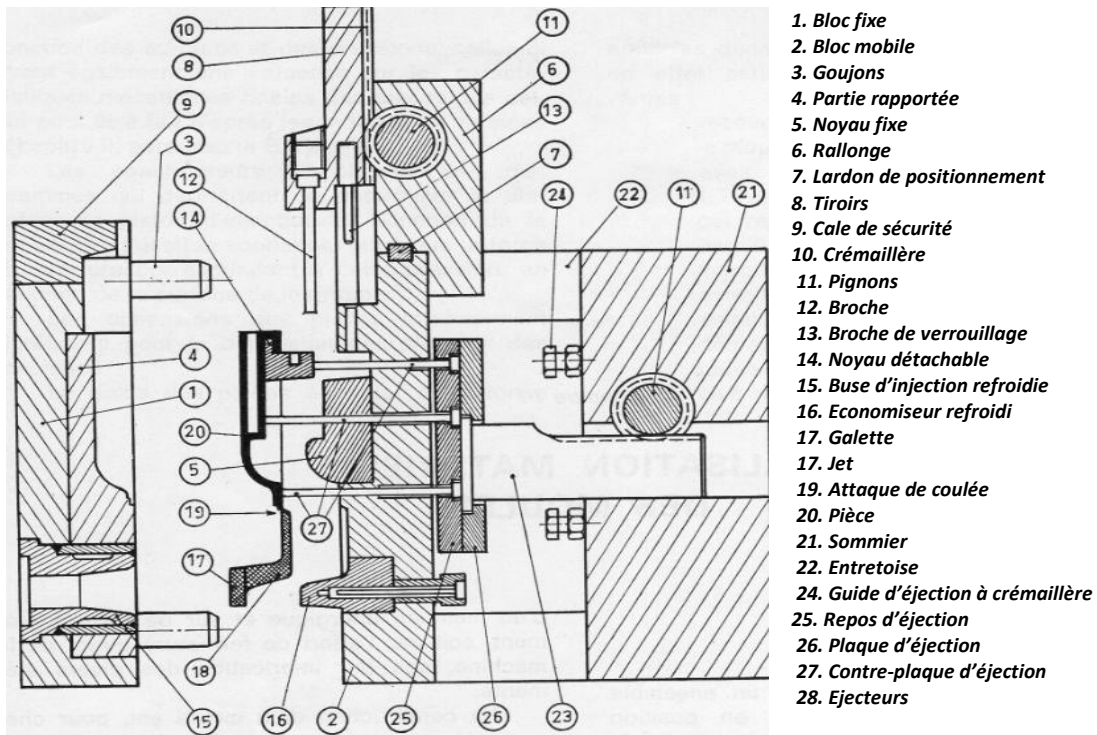


Figure 26: Moule pour moulage en chambre froide

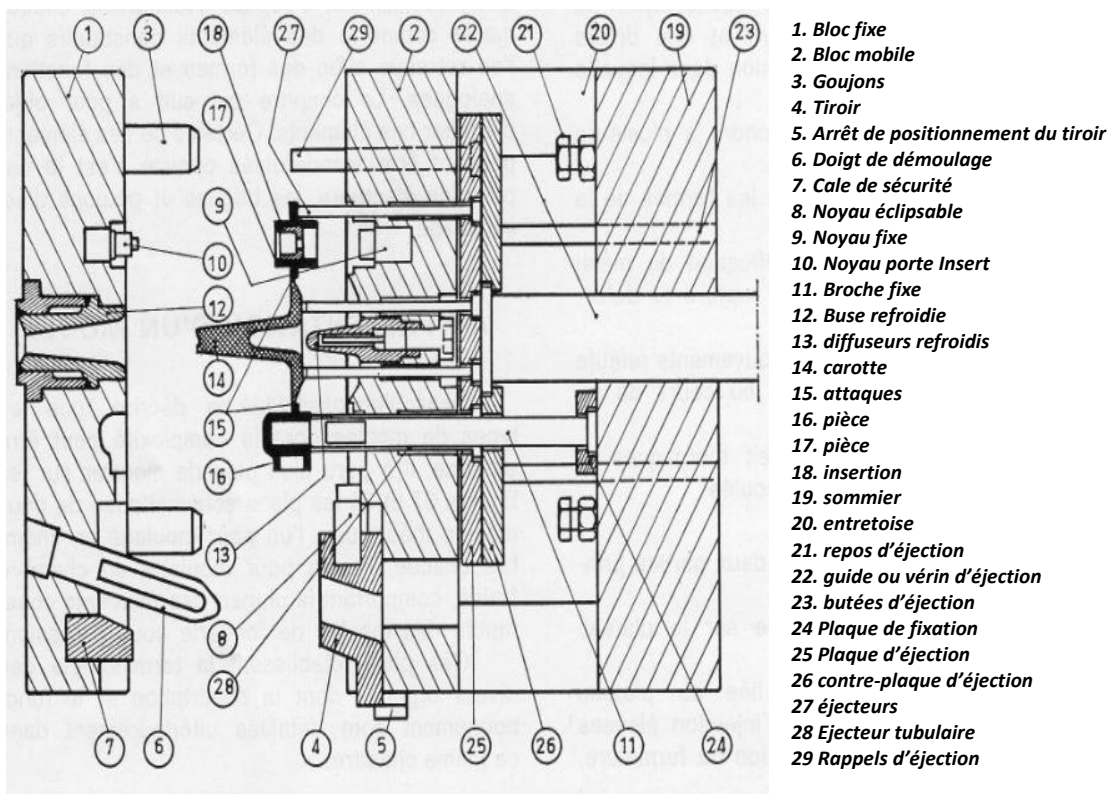


Figure 27: Moule pour moulage en chambre chaude

1.2 Eléments standards

Bloc fixe et bloc mobile (portes empreintes): les blocs fixes et les blocs mobiles constituent avec entretoise et sommier, l'ossature du moule. Ils supportent les efforts à la fermeture de la machine et l'injection de l'alliage.

Colonnes de guidage (goujons) : Permet de guider la partie mobile sur la partie fixe pour aligner parfaitement l'empreinte.

La buse d'injection: permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte.

Bague de guidage: Permet le guidage des colonnes de guidages.

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

Entretoises (baguettes supports ou bien Tasseaux d'éjection) : Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.

Batterie d'éjection: Permet la translation des éjecteurs. Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.

Vis de fixations: Permet la fixation des différentes parties de moule.

Repos d'éjection : limite le recul de la plaque d'éjection lorsque le moule est fermé.

Guide d'éjection : permet le mouvement de la batterie d'éjection à l'aide d'un système à crémaillère ou vérins.

2 Le nombre et disposition d'empreintes

2.1 Nombre d'empreintes

La dimension de l'empreinte doit tenir compte de retrait volumique de la matière à mouler.

Le nombre d'empreinte dépend du volume de la pièce. Si la pièce est volumineuse, on se limite à une seule empreinte et si elle est petite, on réalise plusieurs empreintes, selon les possibilités pour produire des grandes quantités de pièces dans un temps réduit :

Il faut aussi prendre en considération les critères suivants :

Critères économiques :

- ✓ Délais de livraison ;
- ✓ Le coût.

Critère techniques (la machine et la quantité exigée) :

- ✓ Machine à disposition (ex : distance entre colonne ;
- ✓ Quantité exigée du produit ;
- ✓ Le volume de la pièce ;
- ✓ La forme de la pièce.

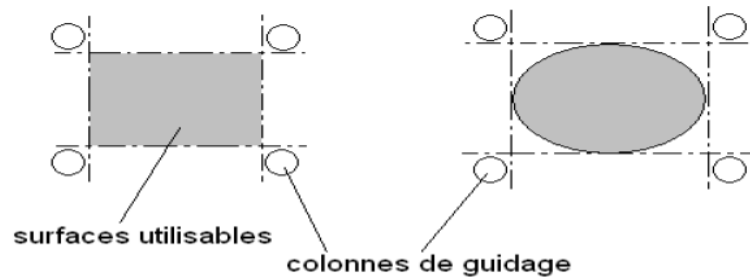


Figure 28: Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques.

On peut calculer le nombre d'empreintes par la forme suivante :

$$N = \frac{\text{Capacité d'injection max i de la machine}}{\text{Poids de la pièce} + \text{Poids de dispositif de coulée}}$$

2.2 Disposition des empreintes

Répartition en étoiles 	Avantage : -Même longueur d'écoulement vers les empreintes. -Disposition favorable pour démoulage Inconvénients : -Le nombre d'empreinte à placer est limité.
Répartition en ligne 	Avantage : -Placement d'un nombre élevé d'empreintes par rapport à la répartition en étoile. Les inconvénients : -Différentes longueur d'écoulement jusqu'aux empreintes.
Répartition symétrique 	Avantage : -Même longueur d'écoulement jusqu'aux empreintes. Les inconvénients : -canal trop long, beaucoup de pertes de matière, refroidissement trop rapide de la pièce.

Tableau 4: Les différents modes de la disposition des empreintes

3 Le système d'alimentation du moule

3.1 Généralités

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 nécessaire 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 plein) destinés à drainer le métal le plus souillé en dehors de la pièce ;
- Le tirage d'air sert à évacuer l'air et les gaz en dehors de l'empreinte.
-

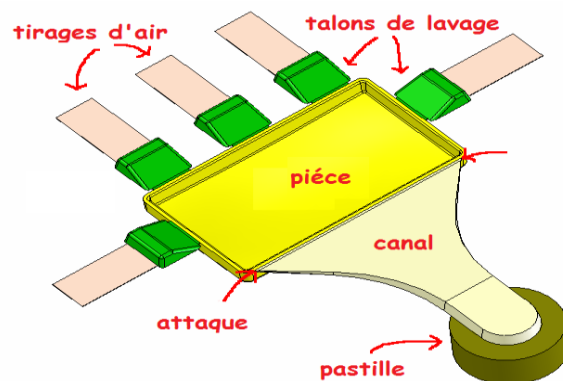


Figure 29: Composition d'un système d'alimentation.

3.2 Technique d'alimentation

L'alimentation du moule en matière à l'état visqueux est assurée de deux façons :

a) Injection dans le plan de joint :

Le plus utilisé dans la machine à chambre froide. [9]

Avantage :

Canaux d'alimentation courte ;

Diminution de perte d'énergie ;

Permet d'avoir des temps de remplissage très courts ;

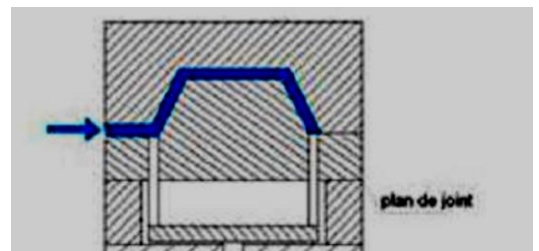


Figure 30: Injection dans le plan de joint.

Inconvénients :

La pression d'injection entraîne des déformations sur les colonnes de la presse.

La fermeture du moule est parfois incomplète.

b) Injection perpendiculaire au plan de joint :

Mode peu très utilisé.

Inconvénients :

Canaux d'alimentation assez longs.

Prévoir une extraction de la pastille.

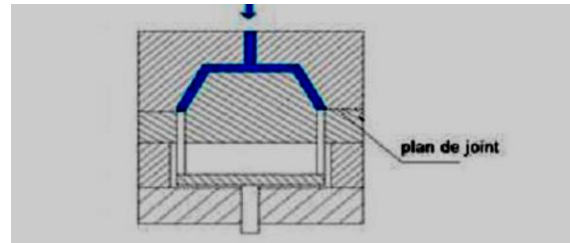


Figure 31: Injection perpendiculaire au plan de joint.

3.3 Point d'injection

La bonne réalisation d'une pièce est conditionnée par un bon écoulement de la matière, ainsi que la bonne fermeture de l'outillage.

L'équilibre des forces dans un outil doit être réalisé avec un soin et l'injection de la matière doit être placée au point d'équilibre. L'idéal est le centre de gravité l'empreinte.

Dans le cas d'un moule dont le point d'injection ne peut pas être placé au centre de gravité, un équilibrage des efforts doit être réalisé.

Pour faire, un effort complémentaire est réalisé à l'aide de cales ou tasseaux. La résultante des deux efforts passe par l'axe du plateau.

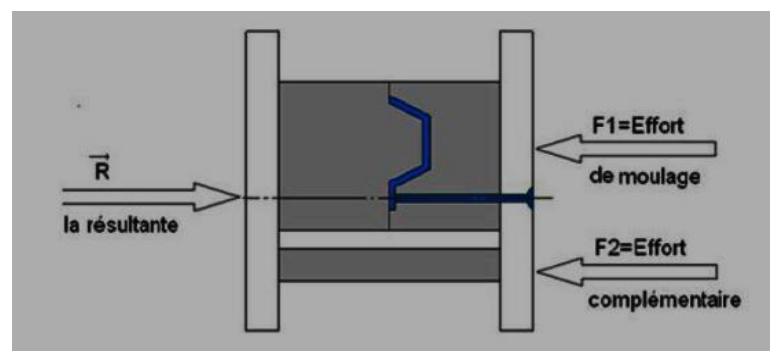


Figure 32:Équilibrage des efforts

3.4 Remplissage des empreintes

Les théories concernant le mode de remplissage de l'empreinte du moule ont été énoncées par Brant et Frommer, ces deux chercheurs ont fait des études et formulé des théories en réalisant des modèles expérimentaux de support à la théorie. [8]

➤ Remplissage par jet

Le remplissage se fait sous l'action d'un jet de métal liquide qui en partant de l'attaque de coulée, traverserait toute l'empreinte et s'accumulerait dans la partie opposée en remplissant progressivement celle-ci, la dernière partie à être remplie serait celle proche de l'attaque de coulée.

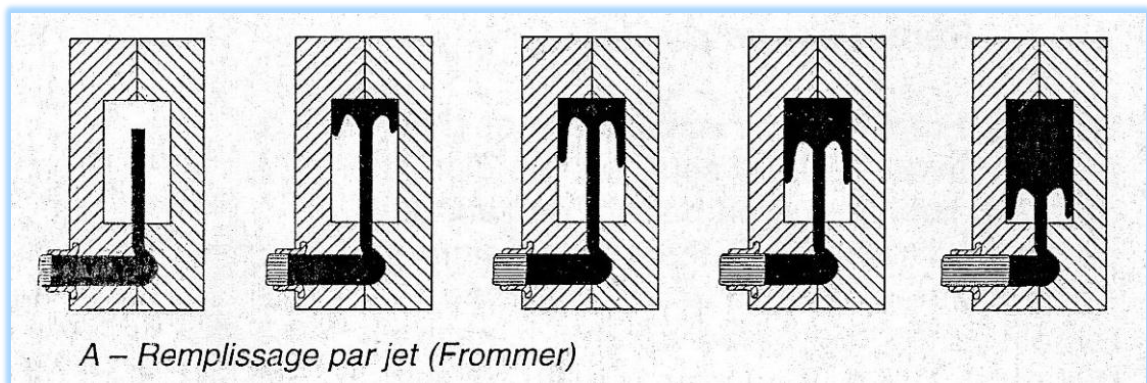


Figure 33: Remplissage par jet

➤ Remplissage par accumulation

Le remplissage se produirait par accumulation, sous l'action du métal liquide qui en entrant par l'attaque de coulée pousserait le métal, jusqu'à rejoindre l'extrémité opposée de celle-ci. La dernière partie à être remplie est la plus éloignée de l'attaque de coulée.

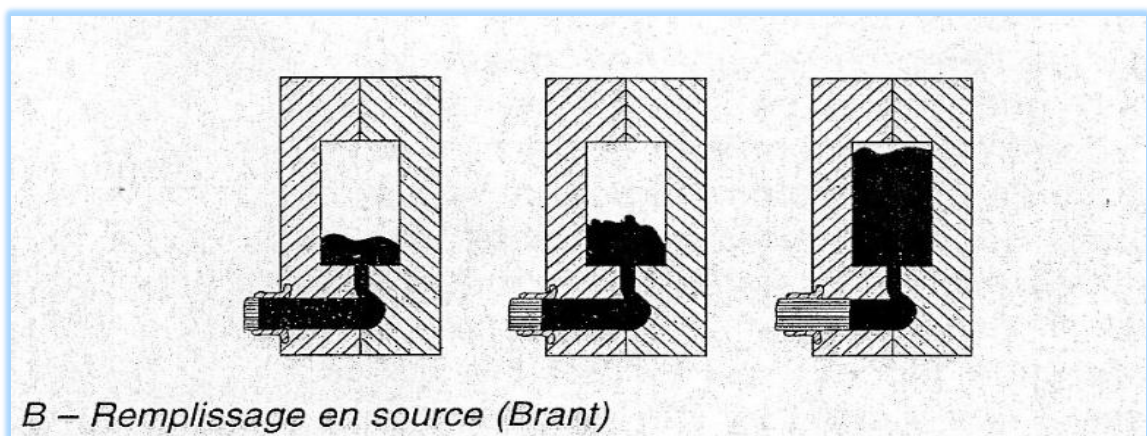


Figure 34: Remplissage par accumulation

3.5 Les canaux et les attaques

i. Le canal :

Le canal d'alimentation est considéré comme une conduite hydraulique et un échangeur de chaleur.

Donc la section circulaire qui répond mieux à ces deux conditions, sa réalisation est difficile car il nécessite une gravure dans les deux parties de moule et ne présente pas de dépouille ou plan de joint.

On lui préfère donc la section trapézoïdale, elle ne doit pas être trop aplatie pour n'offrir qu'une surface minimale à l'échange de chaleur et avoir une dépouille latérale suffisante pour ne causer aucune difficulté ou démoulage, les proportions indiquées sur la figure sont satisfaisantes.[9]

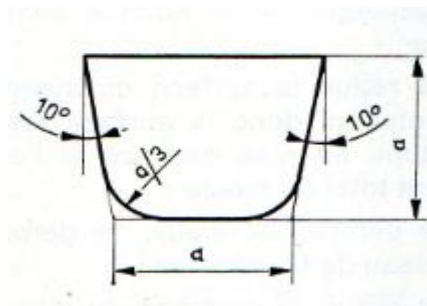


Figure 35 : Proportions dimensionnelles de canal

Cette section doit être maintenue jusqu'aux abords de la pièce ; on doit éviter particulièrement tout croisement de section entraînant une détente dans l'écoulement.

Pour obtenir la longueur et l'épaisseur nécessaires à l'attaque, on doit élargir progressivement le canal en réduisant son épaisseur (fig.36 a).

Dans le cas où le canal est scindé en plusieurs canaux secondaires, leurs sections seront telles qu'elles ne produisent pas de détente (fig.36 c, b). [9]

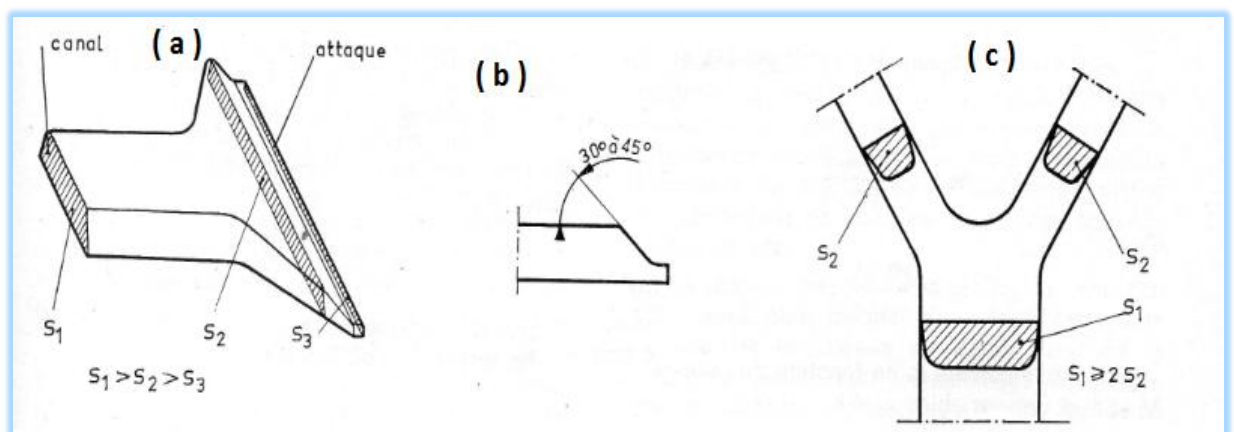


Figure 36: Épaisseur et section des attaques par rapport au canal.

ii. Les attaques de coulée :

a. Attaques directes

C'est le tracé le plus simple, souvent le meilleur en fonderie d'aluminium. De l'axe d'injection, le canal d'alimentation suit un tracé sensiblement rectiligne vers la pièce. Dans ce cas la perte d'énergie est réduite au minimum.

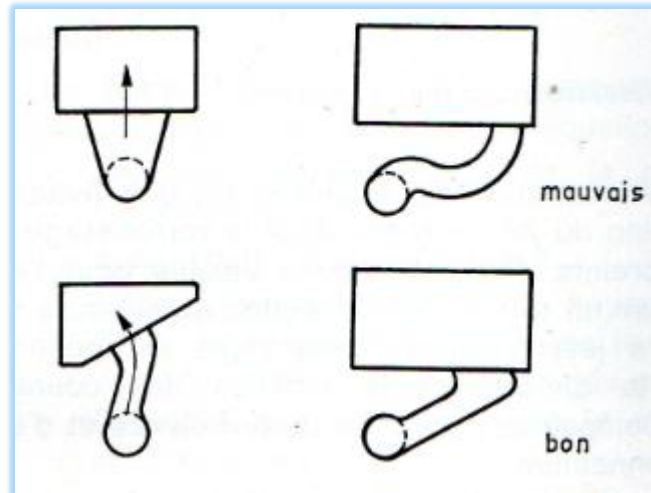


Figure 37:Attaques directes

b. Attaque en retour

Dans cette attaque le canal d'alimentation principal se termine en cul de sac sur une profondeur suffisante pour que le front du métal injecté s'y rassemble et y demeure, et le canal secondaire forme avec lui un angle sensiblement inférieur à 90° .

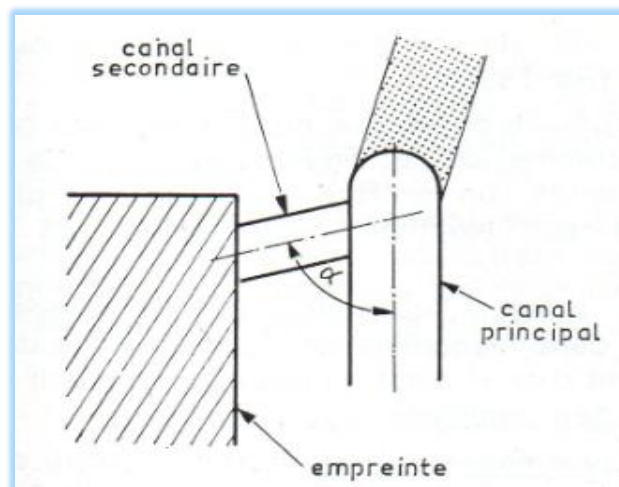


Figure 38:Attaques en retour

Ce système est fréquemment utilisé dans les moules à empreintes multiples, en vue de favoriser le remplissage simultané de toutes les empreintes.

c. Attaques autour d'un noyau

L'alimentation des pièces cylindriques par une attaque située sur la surface latérale est difficile. Presque inévitablement, il y a érosion de la broche ou du noyau central. On a parfois recours à des attaques en queue de poisson ».

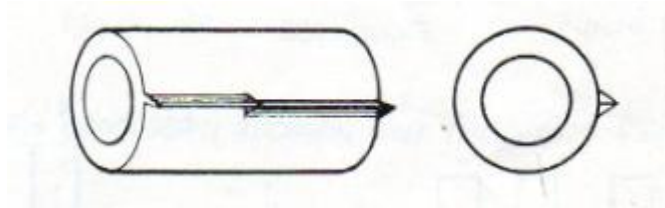


Figure 39:Attaques en queue de poisson

La solution la plus classique et la plus satisfaisante est l'attaque autour du noyau. Cette disposition épargne la broche dans sa partie moulante et assure un remplissage bien dirigé à condition de prévoir une partie conique (5° minimum), au niveau du canal torique, cette disposition n'entraîne pas un supplément excessif de freinage du moulage sur la broche.

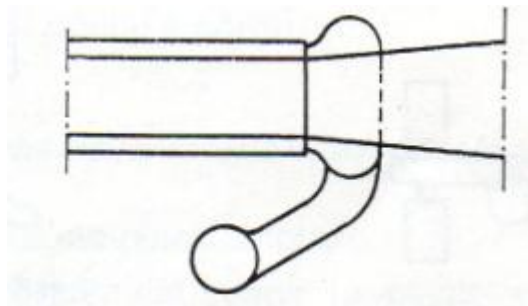


Figure 40:Attaque autour du noyau

d. Attaques multiples

Les inconvénients de ce type d'attaque pour la coulée des alliages oxydables ont été évoqués.

Lorsqu'il est utilisé, il est bon de veiller à ce que toutes les attaques aient la même section, afin que toutes les zones intéressées par chacune d'elles bénéficient simultanément de la pression finale. Pourtant dans le cas de pièces compliquées, on spécule parfois sur la différence de section des attaques pour équilibrer le remplissage des différentes parties à nourrir.

e. Attaques pour moule à plusieurs empreintes :

Des nécessités de matériel (machines surpuissantes) ou économiques (prix d'outillages) peuvent conduire les fondeurs à mettre plusieurs empreintes dans le même moule, l'emploi des attaques précédentes est toujours valable, mais chacune est l'aboutissement d'un canal secondaire.

La répartition des canaux est fonction du type de machine employé.

En chambre chaude, la position de la pièce par rapport à l'axe d'injection est indifférente et, à partir de la carotte, il est possible de prévoir des canaux d'alimentation dans toutes les directions.

On veille dans tous les cas à assurer la symétrie d'alimentation pour toutes les pièces

Les mêmes dispositions restent valables en chambre froide verticale.

En chambre froide horizontale, par contre, il est obligatoire que les canaux issus de la pastille «partent vers le haut, afin que le métal ne s'écoule pas dans les empreintes avant le déclenchement de l'injection.

Il est néanmoins possible de placer des empreintes plus bas que l'axe d'injection ou bien utiliser des moules a trois plaques dans ce cas les bras de coulée sont alimentés par une carotte centrale comme le cas des machine a chambre chaude.

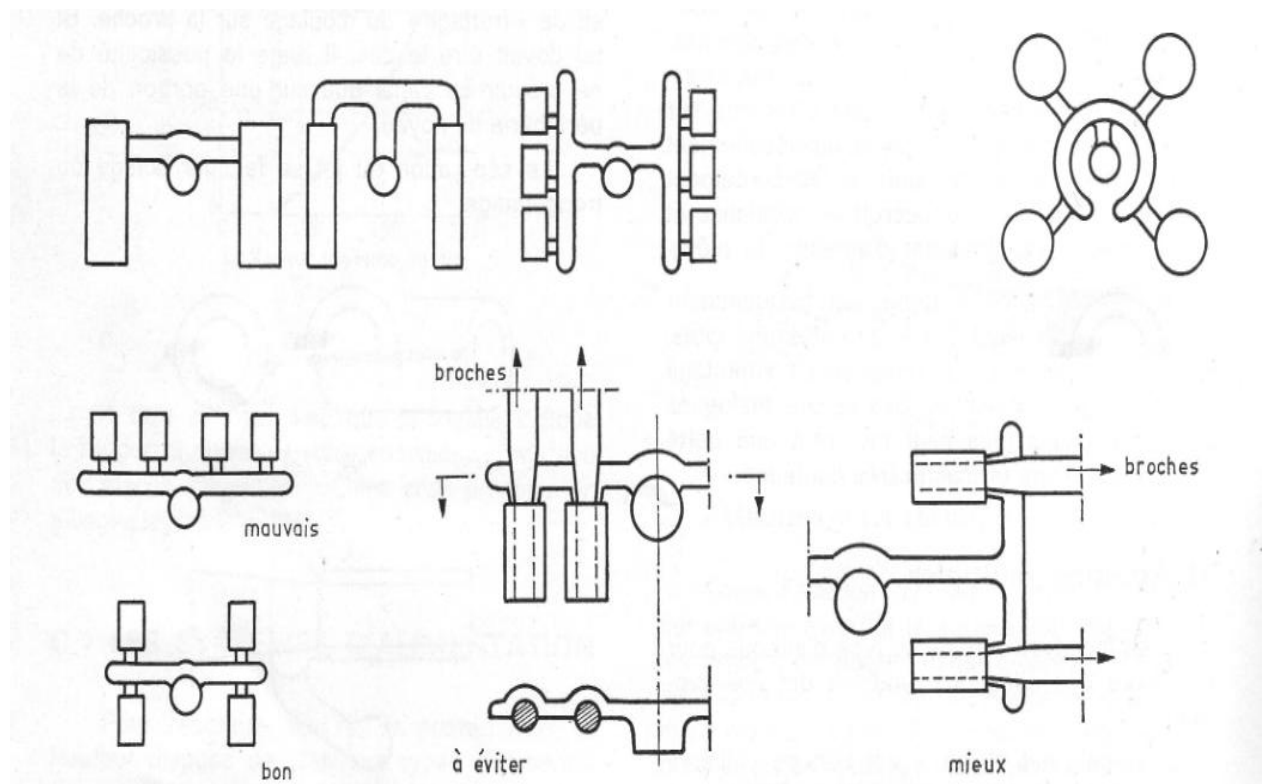


Figure 41:Attaques pour moule a plusieurs empreintes

f. Attaques centrales

Ce type d'attaque mérite une mention particulière, car son utilisation conduit dans certains cas à des dispositions spéciales affectant la machine.

Il concerne particulièrement les pièces qui présentent un évidement permettant de loger l'attaque ; le métal dans ces conditions se propage vers la périphérie de la pièce.

Les avantages d'une attaque centrale sont les suivants:

Elle réduit la surface du système d'alimentation, donc la surface totale de la grappe au plan de joint et l'encombrement total du moule ;

- ✓ elle centre, au mieux, ce dernier sur le plateau de la machine ;
- ✓ elle réduit le parcours du métal dans la pièce;
- ✓ elle assure le plus souvent une répartition satisfaisante du métal dans
- ✓ elle assure, enfin, une évacuation correcte de l'air à la périphérie de la pièce. de moteur, poulie à gorge, etc.).

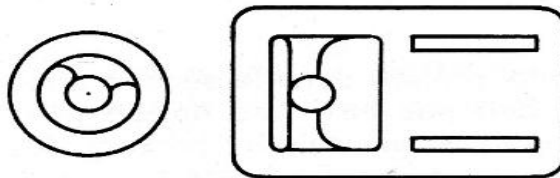


Figure 42:Attaques centrale

4 La matière à injecter

Dans ce point le choix est guidé principalement par les propriétés de la matière dont :

- ✓ Température de transformation.
- ✓ Coefficient de retrait
- ✓ Temps de refroidissement qui impose le temps de cycle donc la cadence du moulage.

5 L'éjection des pièces (grappe)

La pièce étant moulée, le moule est ouvert, la grappe doit être entraînée par le bloc mobile d'où elle est éjectée.

Dans le cas de moulage en chambre froide, le piston d'injection accompagne la grappe dans la première partie du mouvement d'ouverture.

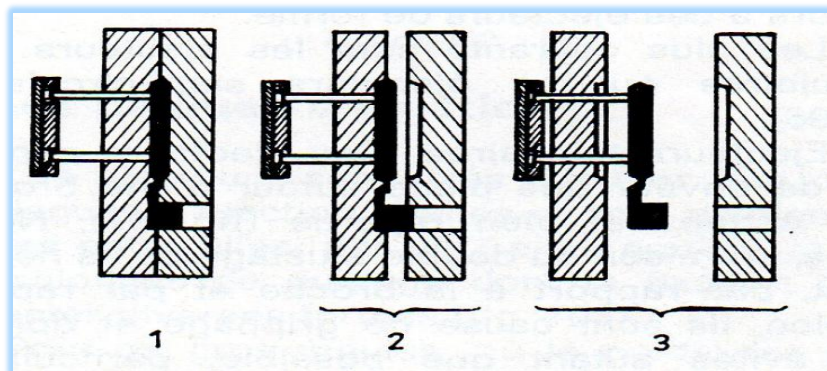


Figure 43:Éjection de la grappe

5.1 Les éjecteurs

5.1.1 Forme

En fonction de la forme de nombre de pièces, des spécifications du cahier des charges, 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 formes) ;
- Ejecteur annulaire.

a. Ejecteurs cylindriques

Les tiges d'éjecteurs cylindriques sont les éléments les plus utilisés pour le démoulage. Ces éjecteurs doivent être situés judicieusement sur la pièce et en nombre suffisant, de façon à éjecter la pièce sans dommage ni déformation.

b. Ejecteurs tubulaires :

Pour certaines pièces à noyau central cylindrique, l'éjection peut se faire avantageusement à l'aide d'un éjecteur tubulaire ou annulaire. Il s'agit d'un tube qui coulisse sur la broche (qui sert de noyau fixe) et vient pousser la pièce sur une surface plane et circulaire.

c. Ejecteur plaque :

Les pièces à parois minces, déformables peuvent être éjectées par une plaque de dévêtissage

d. Ejecteur latéral :

Dans le cas d'une éjection latérale, les dimensions des éjecteurs doivent être déterminées en fonction de l'épaisseur de la paroi et de la résistance de la matière.

e. Ejecteur à lame :

Les lames usinées ou rapportées permettent d'éjecter des pièces peu épaisses. Les éjecteurs à lames doivent être guidés pour éviter les risques de flexion ou de flambage.

5.1.2 Fixation

Les éjecteurs ont une tête ; celle-ci est prise entre deux plaques appelées plaque et contre plaque d'éjection.

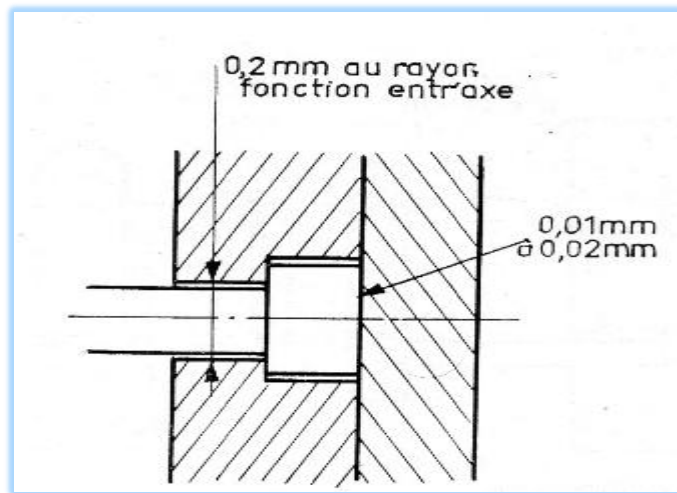


Figure 44: Fixation d'un éjecteur

Le montage est prévu avec un jeu minimal suivant l'axe de l'éjecteur; par contre, un jeu important est prévu latéralement, le guidage de l'éjecteur ne devant être assuré que dans le bloc, à proximité de l'empreinte, en raison des dilatations différentes de la plaque d'éjection et du moule.

5.1.3 Position sur la pièce

Les éjecteurs doivent assurer une éjection équilibrée de la pièce. Ils doivent être bien répartis, placés près des zones de fortes retenues (par exemple autour des broches).

Ils sont prévus pour éjecter la totalité de la grappe avec la pièce et son système d'alimentation, Ils sont en particulier souvent nécessaires sur les talons de lavage faiblement rattachés à la pièce et sur les jets de coulée.

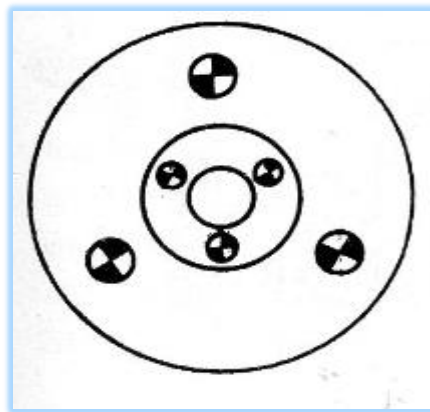


Figure 45: Répartition des éjecteurs sur la pièce

5.2 Commande de l'éjection

Les plaques d'éjection peuvent être actionnées manuellement par l'opérateur de la machine, ou par l'intermédiaire de systèmes mécaniques ou hydrauliques.

a - Crémaillère

Le système à crémaillère, commandé à la main, a l'avantage d'assurer une éjection dosée en force et déclenchée au moment voulu par l'opérateur. On le réserve à des pièces délicates. Par contre, il nécessite un effort humain à répéter fréquemment et entraîne un ralentissement de cadence.

b - Butée

A l'ouverture de la machine, des tiges de butée arrêtent la plaque d'éjection, le bloc mobile continuant à se déplacer. Le mouvement relatif entraîne l'éjection. Le retrait des éjecteurs est obtenu, à la fermeture du moule.

Ce système, simple, est assez brutal, peu favorable à la planitude du joint et se dérègle dans le temps.

c - Vérin d'éjection

Un vérin, placé au centre du plateau mobile, assure l'avance et le retrait des plaques d'éjection. Ces mouvements peuvent être déclenchés au moment désiré par réglage du programme de cycle.

6 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.

7 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.

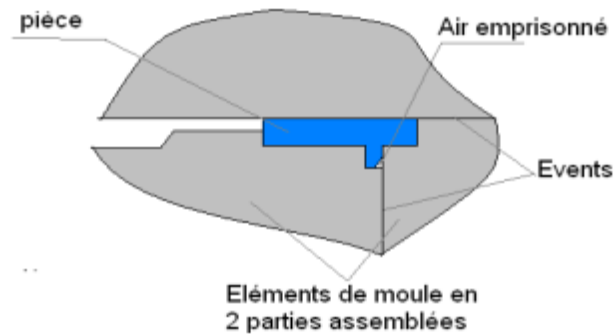


Figure 46:Event

8 Fixation du moule

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

8.1 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.

8.2 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.

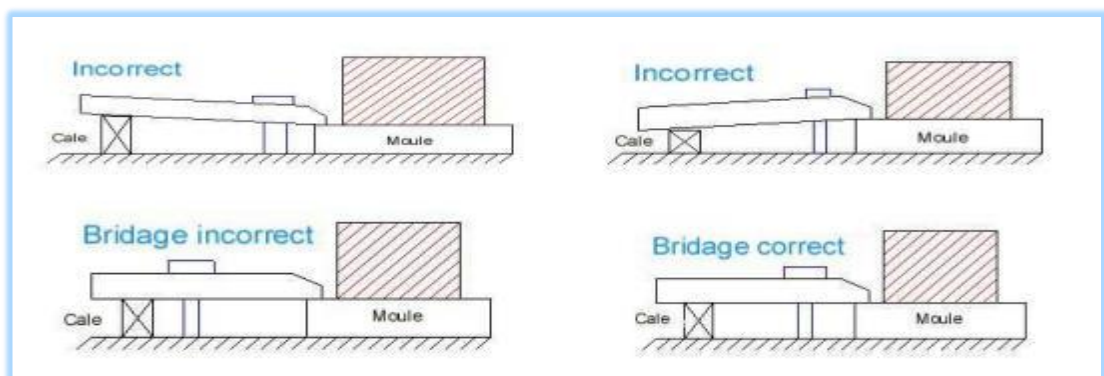


Figure 47:Procédé de Bridage (bride plate à serrage)

9 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.

10 Choix des matériaux

Le tableau suivant regroupe les différents matériaux constitutifs du moule

MATERIAUX	OBSERVATION	EMPLOIS
X37CrMoV5-1	Acier de travail à chaud haute résistance à la chaleur et une bonne ténacité	Empreintes fixe et mobile. Colonne de guidage. Insert. Plaque pour attaque de coulée mobile et fixe.
40CrMnMoS8-6	Acier traité pour travail à froid et le moulage.	Porte empreinte mobile et fixe
C45U	Acier a outils non allié	Plaque et contre plaque éjectrice.
X40CrMoV5-1	Acier de travail à chaud haute résistance à la chaleur	Goupille et éjecteurs

Tableau 5 : différents matériaux constitutifs du moule

III. 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.

Chapitre IV

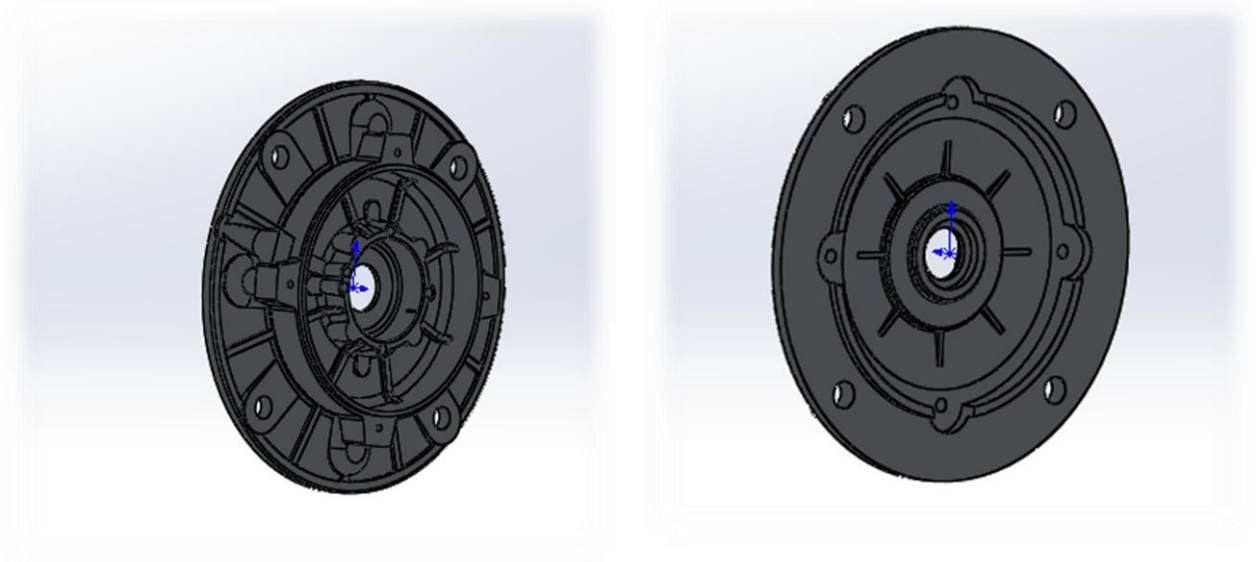
Conception et calcul

Présentation du sujet

- Cahier de charges :

L'entreprise Electro-industrie se voit dans l'obligation de fabriquer certains produits au sein de ses ateliers afin d'éviter leur importation et pour améliorer son produit, ainsi garder sa place sur le marché.

Parmi ces pièces prises, dans l'initiative de la fabrication dans les ateliers de l'entreprise, un flasque-bride d'un moteur électrique B5-A106/107-2.



- Travail demandé :

Le travail consiste en étude et conception d'un moule à injection d'aluminium pour un flasque-bride d'un moteur électrique B5-A106/107-2

1. Conception du moule sur logiciel SolidWorks :

Consiste à concevoir les empreintes de la pièce et toutes les autres pièces constituant le moule.

2. Calcul et vérification dimensionnel :

Ce sont des calculs qui nous permettent de choisir la machine adéquate et de vérifier la résistance des éléments constituant le moule aux différents efforts.

- Dessin de définition : planche 1/1

I. Introduction

L'objet de ce présent chapitre est la conception de la pièce, déduire les deux empreintes (fixe et mobile), et les éléments du moule, par la suite, la détermination des différents facteurs du choix de la machine, le calcul de résistance des différents composants du moule au matage dû à la force de fermeture de la machine et aussi la vérification des colonnes de guidage et les vis CHC au cisaillement.

II. Introduction à la conception assistée par ordinateur (CAO)

L'introduction de l'outil informatique dans les différentes branches de l'industrie est d'une aide très précieuse. En effet, la conception assistée par ordinateur (CAO) permet, grâce à des logiciels spécialisés, la conception des pièces qui ont des formes très complexes. Dans le domaine de moulage, par exemple, l'utilisation de cette technique facilite la conception des empreintes des moules et leurs mise en plan.

La technique utilisée permet à l'homme et à la machine d'être liés pour résoudre un problème en utilisant au mieux les compétences de chacun. L'historique de la CAO nous permet d'affirmer que ses débuts remontent aux années 70. Il a été, dès lors, possible de mettre en place des logiciels spécifiques destinés à résoudre le problème des surfaces complexes pour l'industrie aéronautique et automobile.

2-1. Définition de la CAO :

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, et de tester virtuellement des produits.

Lorsqu'un système est affecté d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain, et d'apprécier globalement le comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel. Le résultat, appelé maquette numérique qui constitue alors un véritable prototype évolutif.

Durant notre conception nous avons utilisé le logiciel de conception appelé «SolidWorks».

2-2. Domaines de la CAO :

Le développement rapide de la CAO a permis à presque tous les domaines de l'industrie d'en profiter des avantages que présente cette technique, parmi ces domaines on cite :

Fabrication mécanique : conception des moules.

Domaine de la mécanique classique : simulation et calcul des matériaux, résistance des matériaux, vibration et acoustique.

Aéronautique : conception des coques d'avions, calculs d'écoulement et aérodynamique.

Electronique et micro-électronique : assemblage des composants (résistances, capacités, éléments de logique...) et leur simulation.

Génie civil : calcul des structures.

Automobiles et transports divers.

La biomécanique : conception d'organes artificiels, prothèses...

2-3. Avantages de la CAO :

La CAO possède un nombre important d'avantages qui contribuent énormément à l'amélioration de l'industrie en général, de ce fait, elle est devenue un élément essentiel. Parmi ces avantages on note :

Gain de temps et productivité pour les équipes de conception avec l'utilisation de la modélisation solide.

Amélioration considérable de la qualité des produits du fait que la CAO permet de contrôler leurs qualités avant même leurs productions.

Diversification de la production, par la possibilité de conception des formes complexes.

Importance des échanges entre concepteurs et réalisateurs, du fait d'une définition beaucoup plus complète en CAO.

2-4. Application :

Durant la conception des pièces, nous avons utilisé les commandes du logiciel SolidWorks tel que : Esquisses, fonctions et surfaces.

Premièrement, nous avons conçu la pièce (flasque-bride), puis en utilisant la commande «surface cousue » on a déduit les empreintes (fixe et mobile).

Deuxièmement, nous avons conçu le reste des pièces constituant le moule en trois dimensions (3D) de manière à assurer les fonctions objectives et les normes de construction.

Ensuite, l'utilisation de la commande assemblages nous a permis d'effectuer le montage de toutes les pièces en formant un moule complet et la détection des interférences qui peuvent exister entre les pièces assemblées.

Finalement, la commande « Solidworksanimator » nous a permis d'élaborer une animation 3D qui rend notre conception très claire malgré sa complexité, et donne aussi une idée sur le fonctionnement et le montage du moule.

III. Le choix de la machine

Le choix de la machine dépend essentiellement des facteurs suivants:

1. La capacité d'injection
2. La force de fermeture
3. La distance entre colonnes
4. Epaisseur minimale du moule

La capacité d'injection:

Chaque machine a une capacité d'injection (voir tableau suivant) ; donc on choisit la machine en fonction du poids de la grappe (pièce et dispositif de coulé).

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

Tableau 6: Capacité d'injection

La masse de la moulée (grappe) (m) :

La masse de la pièce=1600 g (La masse de la pièce est déterminé par le logiciel solidworks)

Calcul de poids du dispositif de coulée:

Poids de la pièce (Kg)	Incidence pondérale en 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

Tableau 7:Incidence pondérale en pourcentage du dispositif de coulée [9]

(Poids de dispositif de coulée = 64% de poids de la pièce)

Poids de dispositif du coulée = 1024g

La machine doit pouvoir injecter une quantité suffisante (m).

$$m = (1600 + 1024) \text{ g} = \mathbf{2624g}$$

Du tableau (1) on constate que les machines qui peuvent injecter cette quantité de matières sont : 900 t ; 700 t ; 380 t

La force de fermeture de la machine : [8]

L'injection de matière à l'intérieur du moule provoque de grandes pressions engendrant des forces qui ont tendance à ouvrir le moule (force de verrouillage), et pour faire face à ces efforts la presse doit appliquer une force de fermeture supérieure.

Force de fermeture:

$$F = F_v \times K$$

F : Force de fermeture du moule (T)

K : Coefficient de sécurité (1,5 à 2)

F_v : force de verrouillage (T)

Dont :

$$F_v = P \times St$$

P: la pression moyenne d'injection ; P= 0.15 (tonnes /cm²) (tableau 6).

St : surface projeté de la +dispositif de coulée.

(La surface projeter de la pièce est déterminé par le logiciel solidworks)=600 cm²
La surface projeté de dispositif de coulée=10% de la surface projeté de la pièce. [10]

AN :

$$St = 600 + 60 = 660 \text{ cm}^2$$

$$F_v = 0.15 \times 660 = 99\text{T}$$

$$F = 99 \times 2 = 198\text{T}$$

On a besoin de 2624 g de l'aluminium et une force de fermeture de 198 tonne, il en résulte que la presse devant être de 380 T.

La distance entre colonnes :

La presse possède quatre colonnes de guidages des plateaux sur lesquels le moule sera fixé.

Pour ce faire, l'une des dimensions transversales du moule doit être inférieure à la distance entre colonnes.

Les dimensions de notre moule sont :

Largeur 395 mm

Hauteur 450 mm

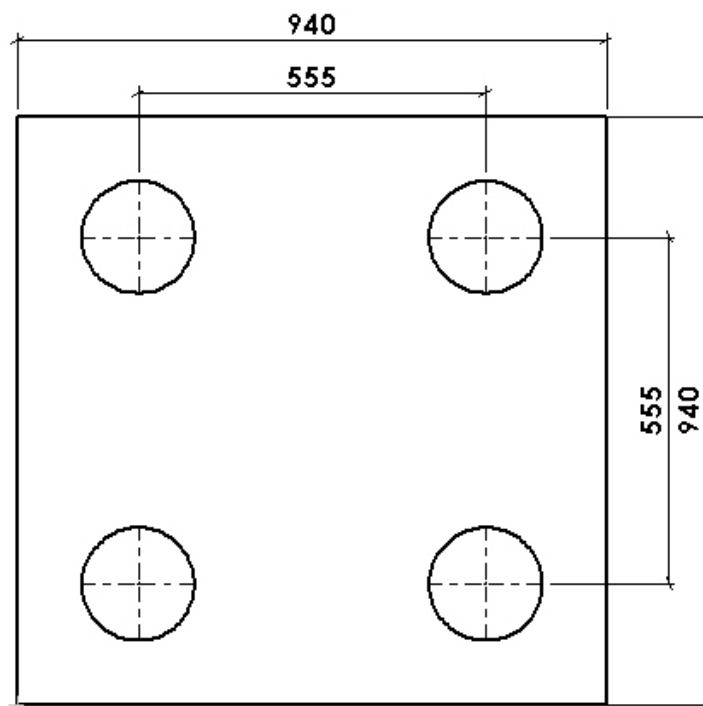


Figure 48:Schémas d'un plateau d'une presse

Epaisseur minimale du moule :

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 380 T sont :

- La distance entre plateaux 1000mm
- La course maximale du piston 800mm

A partir de là, on voit que l'épaisseur minimale du moule doit être supérieure à 200mm (notre moule a une épaisseur de 311mm). (Annexes)

Pression d'injection	2298 Kg/cm ²
Quantité d'injection	5054 g
Force de serrage	380 Tonnes
Force d'ouverture	75 Tonnes
Exécution	a chambre froide
Position	Horizontal
Puissance d'injection	14.1 Mpa
Puissance d'injection avec multiplicateur	14.1 à 45.1 Mpa
Épaisseur mini du moule	240 mm
Commande	Oléodynamique
Diamètre de piston	50 à 90 mm
Volume remplissage de conteneurs	1907 cm ³
Moteur destiné à la pompe (puissance)	30 KW
Moteur destiné à la pompe (Tours)	960 tr/min

Tableau 8:Caractéristiques techniques de la machine

IV. Choix de diamètre de piston d'injection

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

V : volume nécessaire pour 2.624 kg d'aluminium

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

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

AN :

$$V = \frac{2.624}{2650} = 0.00099 m^3$$

$$V = 990 \text{ cm}^3$$

On a

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

d : rayon de piston d'injection

h : course de piston d'injection ($h=400$)

Donc

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

AN :

$$d^2 = \frac{990 \times 4}{125.6} = 31.53 \text{ cm}$$

$$d = 5.62 \text{ cm} = 56 \text{ mm}$$

Les diamètres disponibles sur la presse 380 t sont : 55 65 75 85 95 mm

Donc on prend $d=65 \text{ mm}$.

V. Dimensionnement de système d'alimentation

Calcul de la vitesse à l'attaque de coulée

$$(Va)^2 = \frac{\rho m \times cd^2 \times 2g}{\rho} [10]$$

V_a : vitesse à l'attaque

C_d : coefficient de décharge (0.45-0.50)

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

P_m : pression sur le métal $P_m=750 \times 10^3$ kg/m² (Annexes)

AN:

$$(V_a)^2 = \frac{750 \times 10^3 \times 0.2 \times 20}{2650} = 1132.07 \text{ m/s}$$

$V_a=33.64\text{m/s}$

Calcul de débit à l'attaque :

$$Q = \frac{V}{T}$$

Q: débit

V:volume de la grappe

T : Temps de remplissage de l'empreinte de moule

Epaisseur (mm)	Temps de remplissage(s)
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

Tableau 9: Temps de remplissage en fonction de l'épaisseur de la pièce [9]

Ep : épaisseur minimal de la pièce =2.5 mm (donner par le logiciel solidworks)

Donc t=0.07 s

AN :

$$Q = \frac{1}{0.07} = 14.28 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$Q=14.28 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Calcul de la surface de l'attaque [9]

$$Aa = \frac{Q}{Va}$$

Aa : surface de l'attaque

AN :

$$Aa = \frac{14.28 \times 10^6}{34000} = 420 \text{ mm}^2$$

$$Aa=420 \text{ mm}^2$$

Calcul de longueur de l'attaque :

$$La = \frac{A}{Ea}$$

Alliages	Epaisseur de l'attaque
Al Si	1-1.4
Al Si Cu	1.2-2.5
Zn Al4	0.35-0.8
Zn Al4	0.5-1.2
Mg Al2	0.6-2

Tableau 10: Epaisseur de l'attaque de coulée en fonction de l'alliage utilisé

Notre alliage c'est Al Si Cu selon l'entreprise (voir l'annexe)

Donc

Ea : épaisseur de l'attaque = 2mm

AN :

$$L_a = \frac{420}{2} = 210 \text{ mm}$$

La=210mm

VI. Dimensionnement de conduit de refroidissement

Le refroidissement s'effectue à l'huile thermique (selon l'entreprise EI)

$$S_{con} = S_p \times 2[9]$$

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

$$\Rightarrow L = \frac{S_p \times 2}{\pi \times D}$$

S_p : surface projeté de la pièce (60000 mm² donnée par solidworks)

S_{con} : surface de conduit de refroidissement

D : diamètre de conduit de refroidissement

L : longueur de conduit de refroidissement

Le choix de diamètre de conduit de refroidissement dépend de 3 facteurs :

Le raccordement avec le système de refroidissement central.

Le fluide de refroidissement utilisé est de l'huile thermique.

Le volume et le poids de moule considéré comme important.

⇒ le diamètre 15 mm est le plus adapté

AN :

$$L = \frac{120 \times 10^3}{47.1}$$

$$L=2547.77 \text{ mm}$$

➡ Une longueur de 1273.88 mm pour chaque partie (fixe et mobile)

VII. Calcul de temps de refroidissement

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

e: épaisseur moyenne de la pièce; e = 3 mm

D: la diffusivité thermique de l'aluminium D = 0.02 m²/s

Ti: température d'injection; Ti=680°C

Te: température d'éjection; Te=300°C

Tm: température du moule; Tm=120°C

AN :

$$tr = \frac{3^2}{\pi^2 \times 0.02} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{680 - 120}{300 - 120} \right) \right] = 0.4 \text{ s}$$

$$tr=0.4s$$

VIII. Calcul de temps de cycle

Le temps de cycle est la somme de tous les temps du procédé de l'injection.

$$tc = tf + ti + tm + tr + te + té$$

tc : temps de cycle

tf : temps de fermeture 7s

ti : temps d'injection (temps de remplissage) 0.07s

tm : temps de maintien 4s

tr: temps de refroidissement 0.4s

te : temps d'ouverture 7s

té : temps d'éjection 5s

AN :

$$tc = 7 + 0.07 + 4 + 0.4 + 7 + 5 = 23.47 \text{ s}$$

tc=23.47 s

IX. Dimensionnement des talons de lavage et des tirages d'air

Le dimensionnement et la position destalons de lavage et des tirages d'air s'effectuent après quelques injections. [8]

X. Calcul de résistance

L'objet de cette partie concerne l'étude de la résistance des pièces sollicitées mécaniquement.

1 Les poids des pièces constituant le moule

Le poids est déterminé par la relation suivante

$$P = \delta \times V$$

P : poids de la pièce

δ: masse volumique

V :volume (dm³)

Les pièces	LES matières	Volume (dm ³)	Δ (dan/dm ³)	Les poids (daN)
Plaque de serrage fixe	40CrMnMoS8-6	16.74	7,85	131.40
Porte empreinte fixe	40CrMnMoS8-6	17. 61	7.85	138.24
Empreinte fixe	X37CrMoV5-1	5.95	7,70	47.81
Centre fixe	X37CrMoV5-1	12.70	7,70	97.80
Plaque de serrage mobile	40CrMnMoS8-6	17.89	7.85	140.44
Baguette support	40CrMnMoS8-6	3.97	7,85	31.16
Porte empreinte mobile	40CrMnMoS8-6	17.79	7,85	139.65
Centre mobile	X37CrMoV5-1	13.38	7,70	103.03
Empreinte mobile	X37CRMov5-1	6.55	7,70	50.43

Tableau 11:Les poids des pièces constituant le moule

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

La force de fermeture d'une presse 380 tonnes égales :

$$380\,000\text{ Kg} = 380\,000\text{ N}$$

Condition de résistance au matage

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq R_{pe}$$

Et

$$R_{pe} = \frac{R_e}{S}$$

Résistance du plan de joint**On a :****Re = 1100 N/mm²** (pour les porte empreinte).**S' = 2** (coefficient de sécurité).**AN :**

$$R_{pe} = \frac{750}{2} = 375 \text{ N/mm}^2$$

Rp = 550 N/mm²

$$S_{pj} \geq \frac{F}{0.2 \times R_e}$$

Spj : surface du plan de joint ;**AN :**

$$S_{pj} \geq \frac{3800000}{0.2 \times 750} = 25333.33 \text{ mm}^2$$

La surface de contact entre les deux portes empreintes est de 84553.33 mm² largement supérieure ;

 **Le plan de joint résiste.**

Partie fixe :
2.1 Plaque de serrage fixe
(Rpe=375N/mm²)

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq R_{pe}$$

$$S = e \times l$$

S : surface matée**e** : épaisseur de l'élément **l** : longueur de l'élément

AN :

$$S = 56 \times 650 = 36400$$

$$\sigma = \frac{3800000}{36400} = 104.39 \leq 375$$

 La plaque de serrage résiste ou matage.

2.2 Centre fixe (Rpe= 385N/mm²)

$$e = 146 \text{ mm}$$

$$l=220 \text{ mm}$$

$$S=32120\text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{3800000}{32120} = 118.30 \leq Rpe$$

 Le centre fixe résiste ou matage

2.3 Porte empreinte fixe (Rpe=375N/mm²)

$$e = 66 \text{ mm}$$

$$l=450 \text{ mm}$$

$$S=29700\text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{3800000}{29700} = 127.94 \leq 375$$

 Le Porte empreinte fixerésiste ou matage

Partie mobile

2.4 Plaque de serrage mobile
(Rpe=375N/mm²)

$$e = 46 \text{ mm}$$

$$l=700 \text{ mm}$$

$$S=32200\text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{3800000}{32200} = 118.01 \leq 375$$

⇒ La plaque de serrage mobile résiste au matage.

2.5 Baguette support
(Rpe=375N/mm²)

$$e = 46 \text{ mm}$$

$$l=600 \text{ mm}$$

$$S=27600\text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{3800000}{27600} = 137.68 \leq 375$$

⇒ Les baguettes support résistent au matage

2.6 Centre mobile
(Rpe= 385N/mm²)

$$e = 146 \text{ mm}$$

$$l=220 \text{ mm}$$

$$S=32120\text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{3800000}{32120} = 118.30 \leq Rpe$$

⇒ Le centre mobile résiste au matage

2.7 Porte empreinte mobile ($R_{pe}=375\text{N/mm}^2$)

$$e = 66 \text{ mm}$$

$$l=450 \text{ mm}$$

$$S=29700\text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{3800000}{29700} = 127.94 \leq 375$$



Le Porte empreinte mobile résiste au matage.

Après calcul, on remarque que tous les éléments constituant le moule résistent au matage dû à la force de fermeture du moule.

3 Résistance des vis CHC et les colonnes de guidage au cisaillement Partie fixe

3.1 Résistance des 4 colonnes de guidage de $\varnothing 50 \text{ mm}$ (Poids de la partie mobile lors de la manutention seulement)

Le poids de la partie mobile est de :

Baguettes supports=62.32KG=623.2N

Porte empreinte =139.65 KG =1396.5 N

Empreinte = 50.43 KG =504.3 N

Centre =103.03 KG =1030.3 N

Condition de résistance s'écrit :

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

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

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

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

N =Nombre de sections cisillées ($N=1$).

S : sections cisailées

n : Nombre de colonne (n=4).

σ_e : résistance élastique

S' : coefficient de sécurité

D : diamètre de la colonne

AN :

$$[\tau]_{cis} = \frac{1100}{2} \times 0.8 = 440 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \times 50^2}{4} = 1962.5 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{3554.3}{4 \times 1962.5} \leq [\tau]_{cis}$$

➡ La condition est vérifiée

3.2 Résistance des 8 vis CHC au cisaillement dû au poids de la partie mobile

Dans notre conception, les vis utilisées sont des vis CHC M16 en XC35 de résistance à la traction

Re=335 N /mm²

Condition de résistance :

$$[\tau]_{cis} = \frac{335}{2} \times 0.8 = 134 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \times 16^2}{4} = 200.96 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{3554.3}{8 \times 200.96} = 2.21 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis}$$

➡ La condition est vérifiée

3.3 Résistance des 7 vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et de porte empreint fixe

Le poids de la partie fixe est de :

Porte empreinte = 138.24 KG = 1382.4 N

Empreinte = 47.81 KG = 478.1 N

Centre = 97.80 KG = 978.0 N

Condition de résistance

$$[\tau]_{cis} = \frac{335}{2} \times 0.8 = 134 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \times 16^2}{4} = 200.96 \text{ mm}^2$$

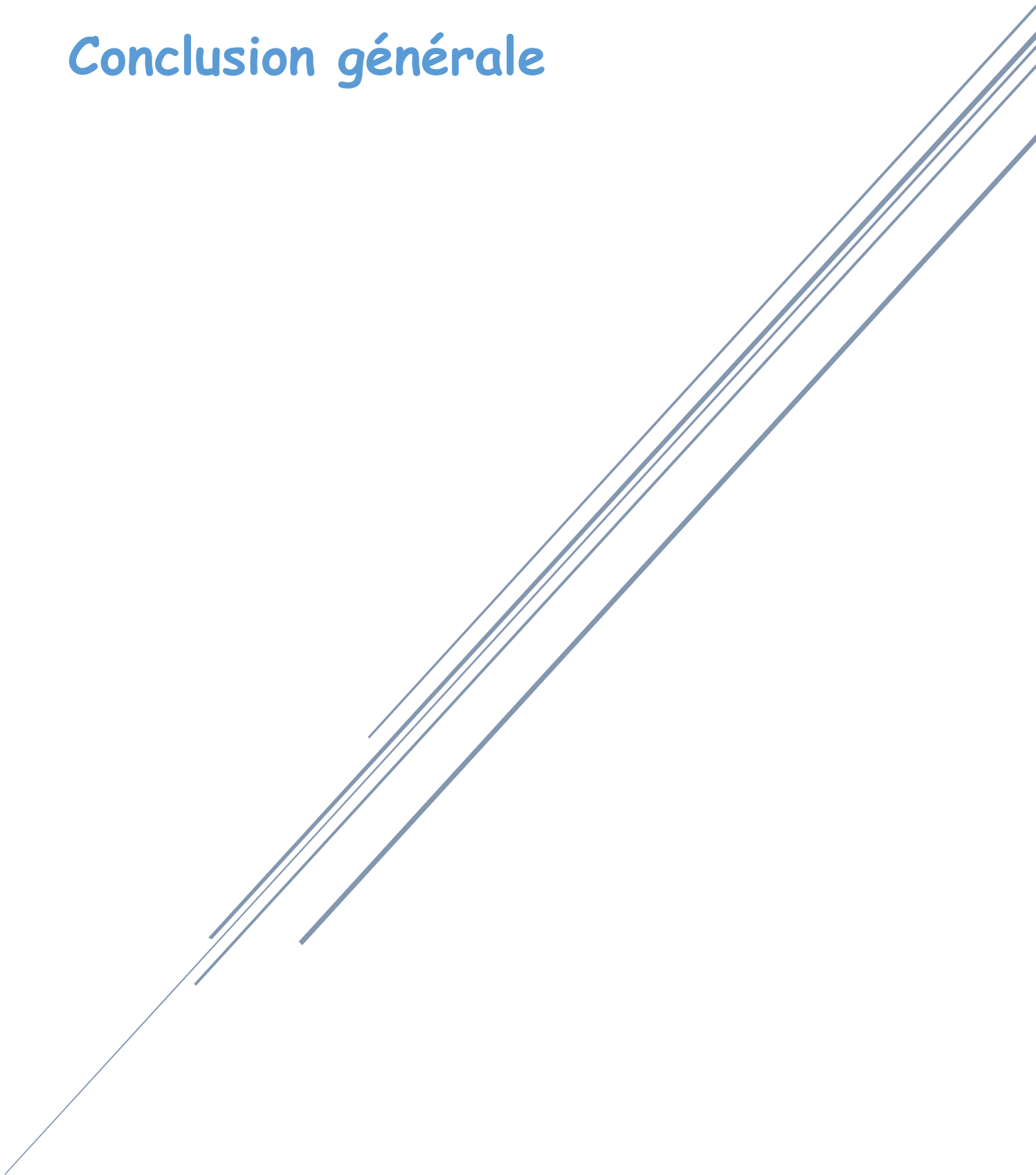
$$\tau = \frac{2838.5}{7 \times 200.96} = 1.76 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{cis}$$

 La condition est vérifiée

XI. Conclusion

Nous avons pu choisir dans ce chapitre la presse qui convient et le calcul dimensionnel du moule et de système d'alimentation de l'empreinte et du circuit de refroidissement. Comme on a aussi vérifié la résistance des différents éléments, ce qui va nous assurer une bonne réalisation.

Conclusion générale



Conclusion générale

Le procédé de fabrication des pièces en fonderie dans l'industrie est connu depuis longtemps et qui 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, Et nous a aussi permis de nous initier aux logiciels de CAO tel que SolidWorks.

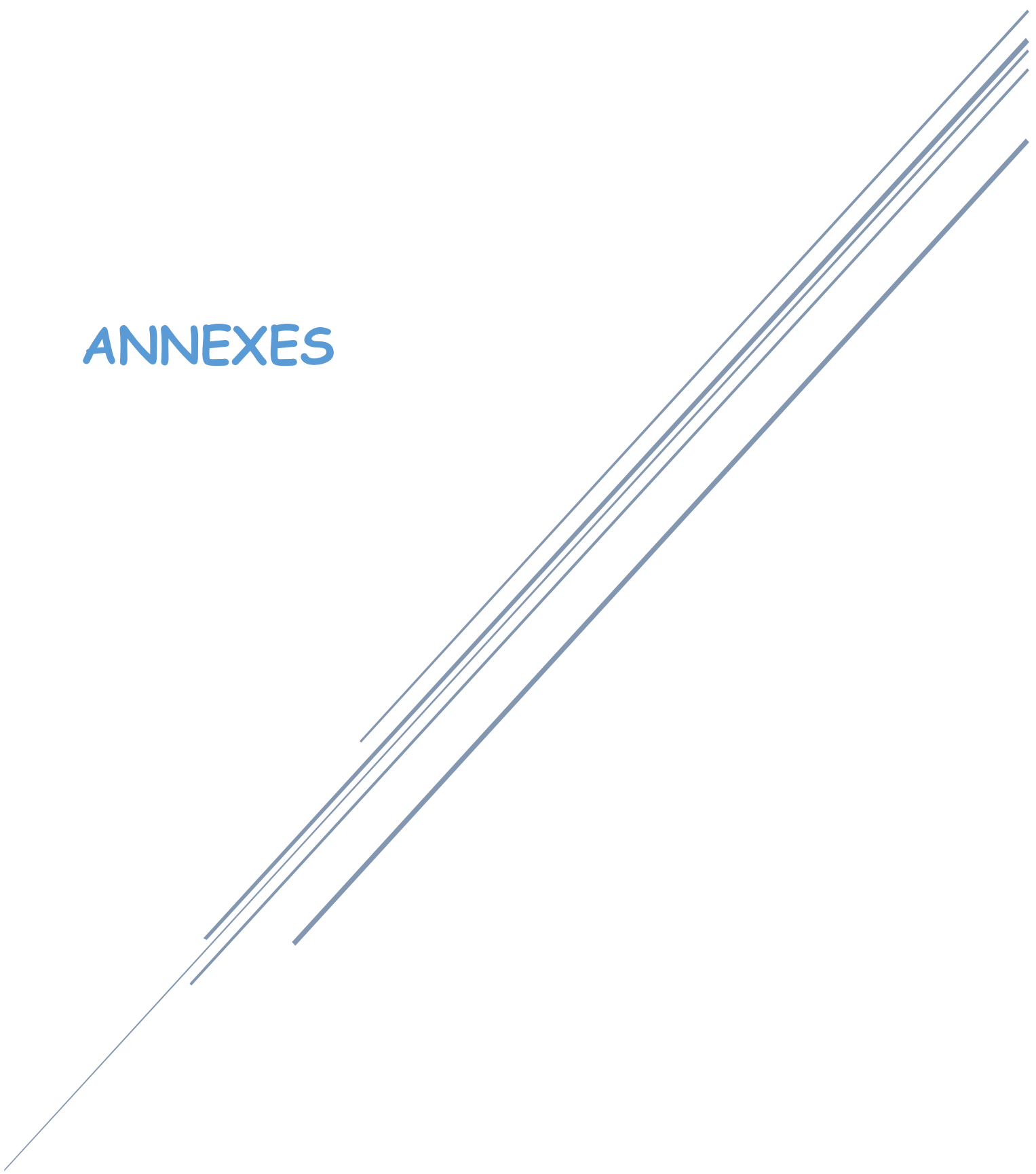
L'élaboration de ce projet nous a donné une perspective sur le monde du travail dans les grandes entreprises tel que l'ELECTRO-INDUSTRIE. Le stage que nous avons effectué au sein de cette entreprise nous a été d'une grande importance.

Nous avons ainsi, répondu au cahier des charges exigés par cette entreprise, par la conception d'un moule à injection d'aluminium, destiné à la fabrication de la pièce flasque-bride ; Cette conception est réalisée par le logiciel SolidWorks.

Le calcul de résistance des éléments constituant le moule a été effectué et le résultat trouvé est concluant.

Nous souhaitons que ce modeste travail serve comme un guide aux étudiants(es) de notre département et servira aussi à d'autres travaux.

ANNEXES



[illegible]

Composants standard pour moule(RABOURDIN)

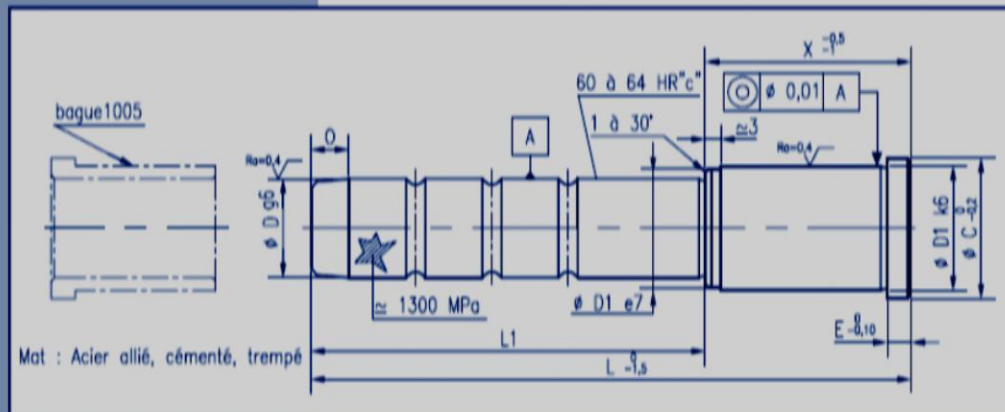
RABOURDIN INDUSTRIE

Parc Gustave Eiffel 4-5, av Gutenberg - BP 50 - BUSSY SAINT GEORGES
77607 MARNE LA VALLEE cedex 3 - FRANCE -

COLONNE DE GUIDAGE EPAULEE

REF. 621

COLONNE DE GUIDAGE EPAULEE
STEPPED GUIDE PILLAR
FÜHRUNGSSÄULE



REF. 621 D=50 X=63 L=250 mm → 621-50-63-250 (Fabrications spéciales sur demande)

GAMME DISPONIBLE				
O			20	25
E			12,5	12,5
C			71	90
D1			63	80
L1	X	L \ D	50	63
117	63	180		
100	80			
137	63			
120	80	200		
100	100			
187	63			
170	80	250		
150	100			
252	63			
235	80	315		
215	100			
190	125			
337	63	400		
320	80			
300	100			
275	125	450		
387	63			
370	80			
350	100	500		
325	125			
420	80			
400	100	630		
375	125			
505	125			

Caractéristiques de l'alliage utilisé

Aluminium alloy EN AB-47100

Chemical designation:

EN AB- AlSi12Cu1(Fe)

Swedish standard:

Type -, [1], [2]

Chemical composition¹:

	Min %	Max %
Si	10,5	13,5
Fe	0,6	1,1
Cu	0,7	1,2
Mn	-	0,55
Mg	-	0,35
Cr	-	0,10
Ni	-	0,30
Zn	-	0,55
Pb	-	0,20
Sn	-	0,10
Ti	-	0,15

Others each max 0,05%

and total max 0,25%

General description of properties:

Eutectic alloy with excellent castability properties, excellent fluidity and high resistance to hot tearing. Good machinability.

Suitable applications:

For complicated thin-wall, pressure-tight casting that are subjected to fatigue loading.

Heat treatment:

Not usually age hardened

Casting characteristics²:

Solidification range, °C, about	Casting temperature °C, about	Fluidity	Resistance to hot tearing	Shrinkage %, about	Pressure tightness
580-530	650-700	Excellent	Excellent	0,5-0,8	Excellent

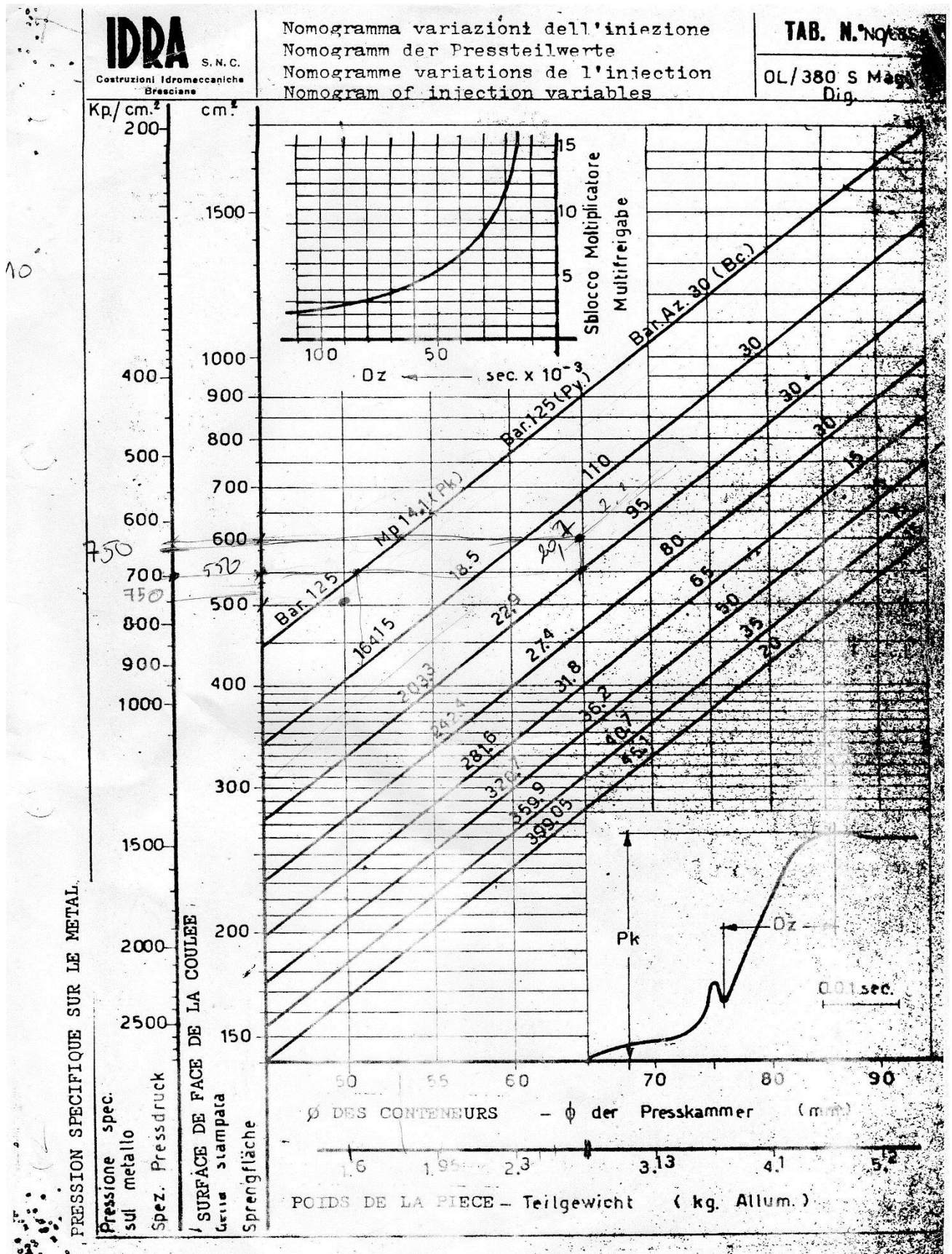
Mechanical properties of separately untreated cast test bars²:

Tensile strength, R_m , MPa, min.	Proof stress $R_{p0,2}$, MPa, min.	Elongation A_{50} , %, min.	Brinell hardness HBS, min.
240	140	1	70

Mechanical and physical properties²:

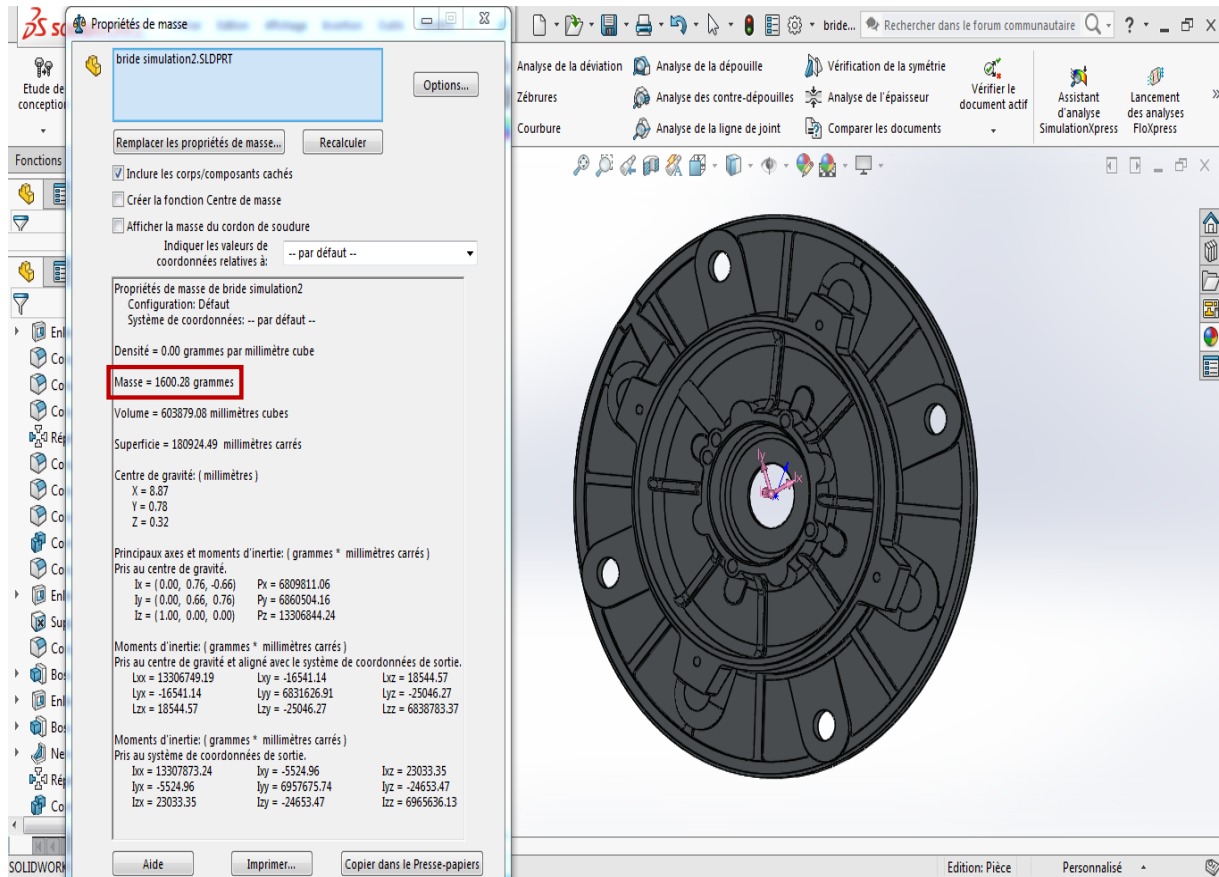
Density kg/dm ³	Strength	Machinability	Weldability	Resistance to corrosion
2,65	Good	Satisfact.	Poor	Satisfact.
Decorative anodizing	Ability to be polished	Linear thermal expansion 293-373°K, °K ⁻¹	Electrical conductivity MS/m	Thermal conductivity W/m ² K
Not recom.	Satisfact.	20×10^{-6}	15 - 20	120 - 150

Pression spécifique sur l'alliage

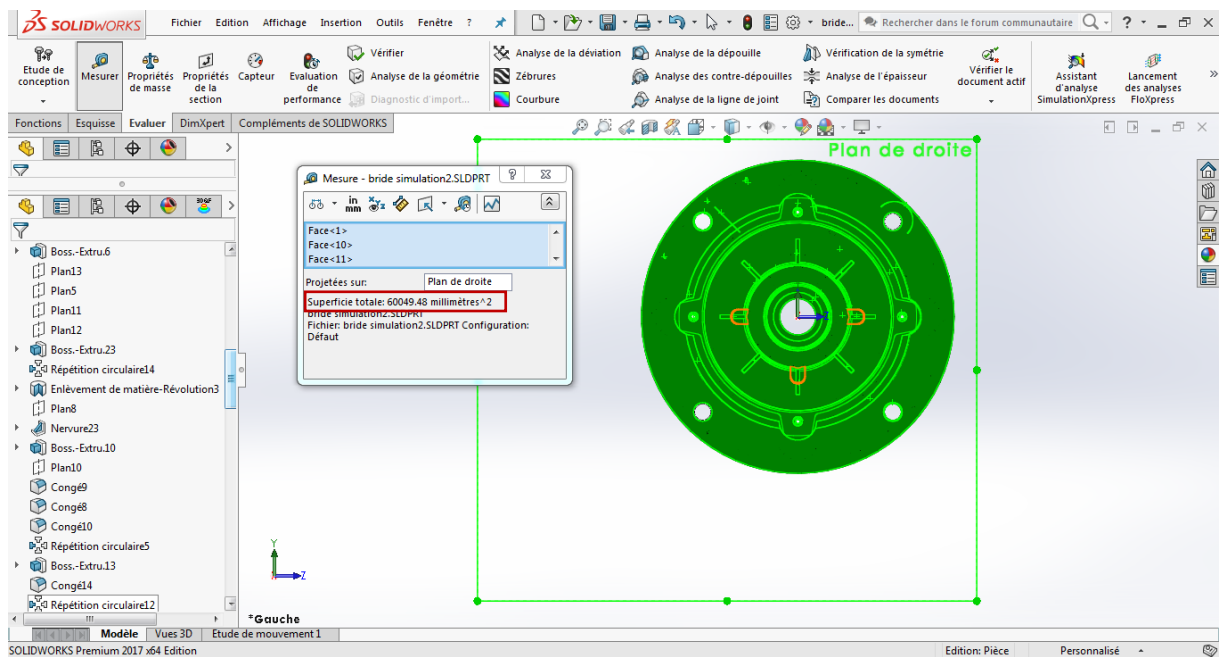


Données logiciel solidWorks

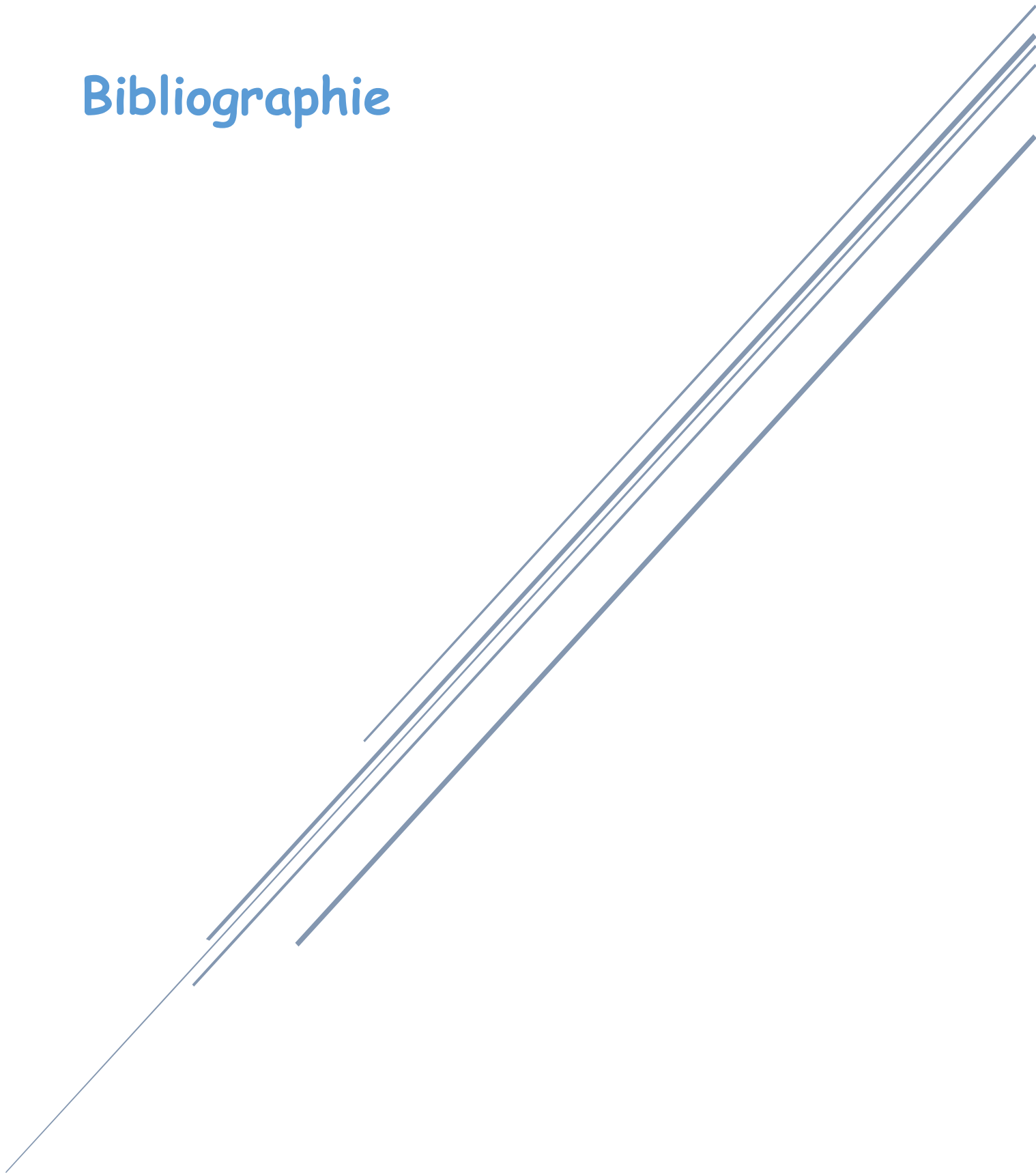
Masse de la pièce



Surface projetée de la pièce



Bibliographie



BIBLIOGRAPHIE

[1] Pierre Mayé Moteurs électriques industrielles, Edition DUNOD 2005.

[2] Robert PERRET, Albert FOGGIA, Elisabeth RULLIERE, Pascal TIXADOR, «Entrainements électriques 2 : machines électriques industrielles », Edition. LOVOISIER, 2007 ;

[3] Archive de l'entreprise ;

[4] Éric FELDER, Procédés de mise en forme, TECHNIQUE DE L'INGENIEUR ;

[6] Pierre CUENIN, Moulage - Noyautage, TECHNIQUE DE L'INGENIEUR ;

[7] Gilles Dour, Aide-mémoire - Fonderie - 2e édition, Edition DUNOD, 2016.

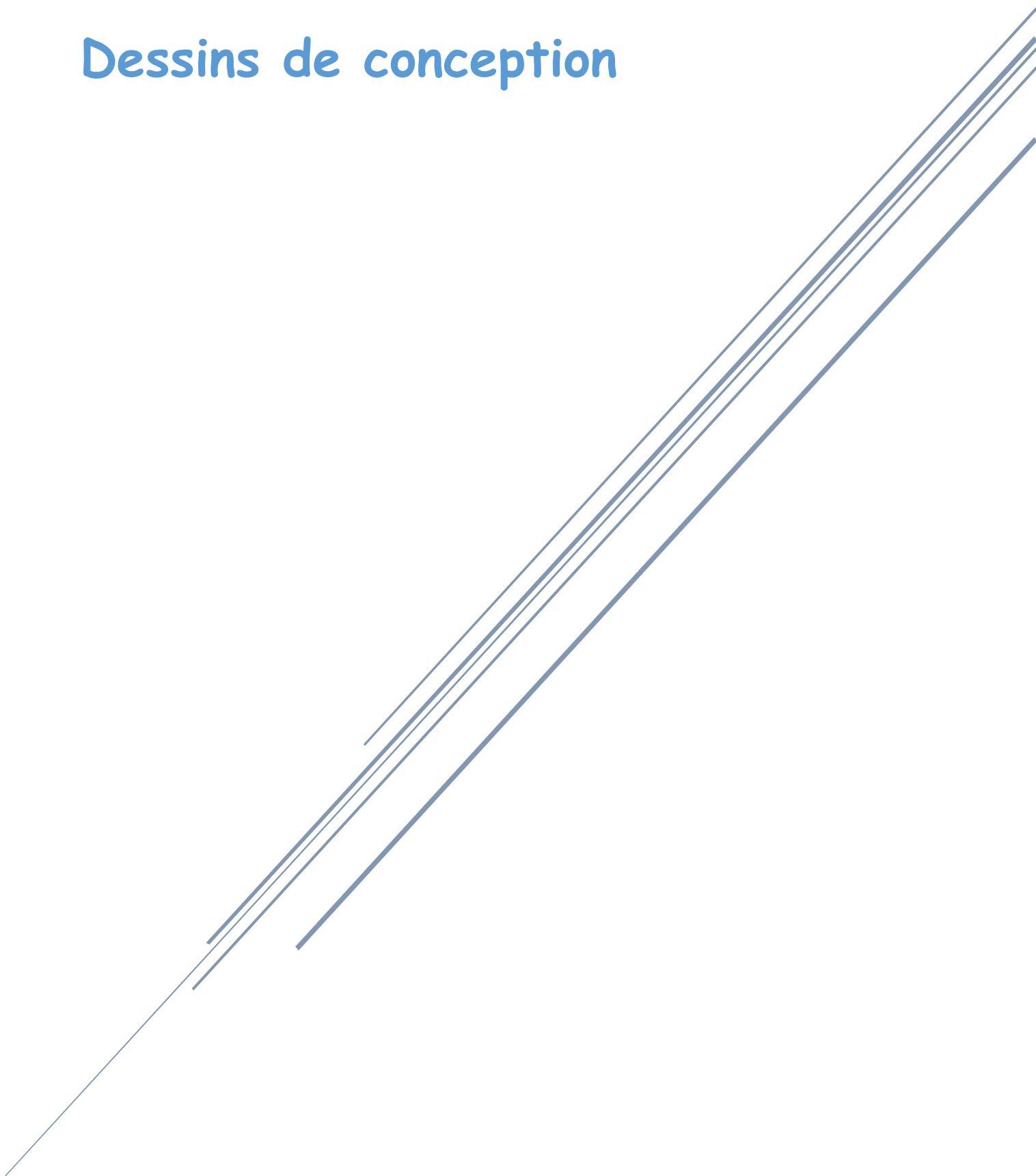
[8] J.BOUCHET, Technologie de la fonderie en moules métalliques, « Fonderie sous pression », 2^édition ETIF 1977.

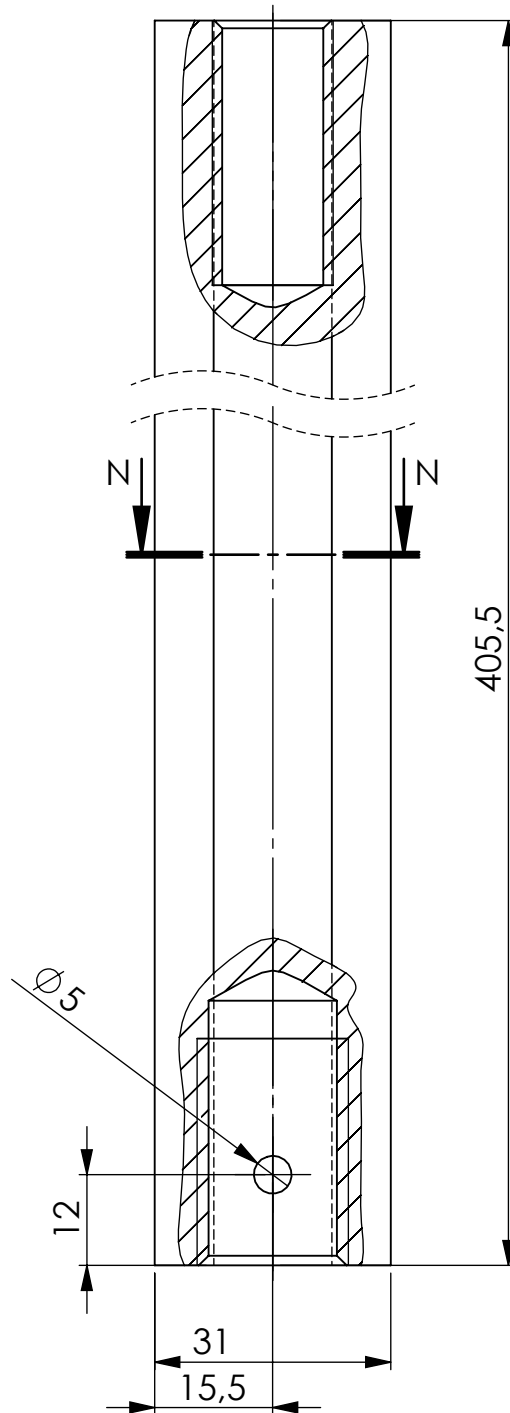
[9] Luigi Andreoni, Mario Casé, Giorgio Pomesano, le moulage sous pression des alliages d'aluminium, (1 à 7), édition ETIF, 1993.

[10] Rd, M: Gating Manual, NADCA, USA Wa, 2006.

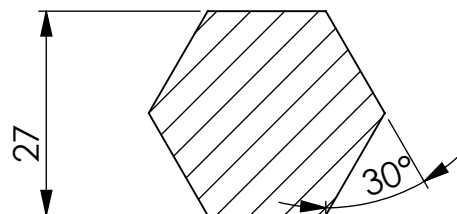
[11] B. Vijaya Ramnatha, C.Elanchezhiana, Vishal Chandrasekharb, A. Arun Kumarb, S.Mohamed Asifb, G. Riyaz Mohamedb, D. Vinodh Rajb ,C .Suresh Kumarc, Analysis and Optimization of Gating System for Commutator End Bracket, Procedia Materials Science, 2014.*

Dessins de conception



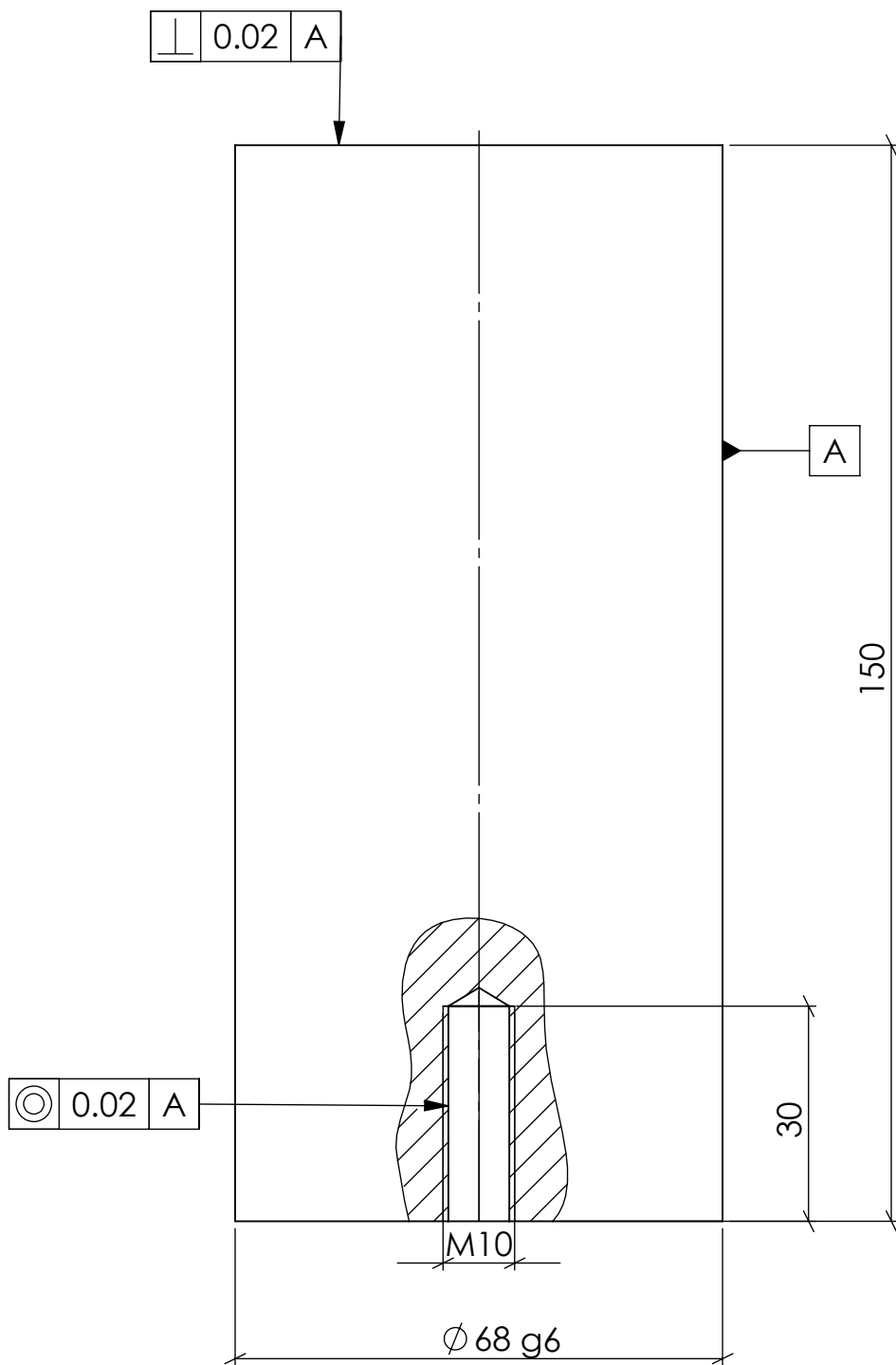


SECTION N-N

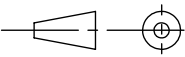


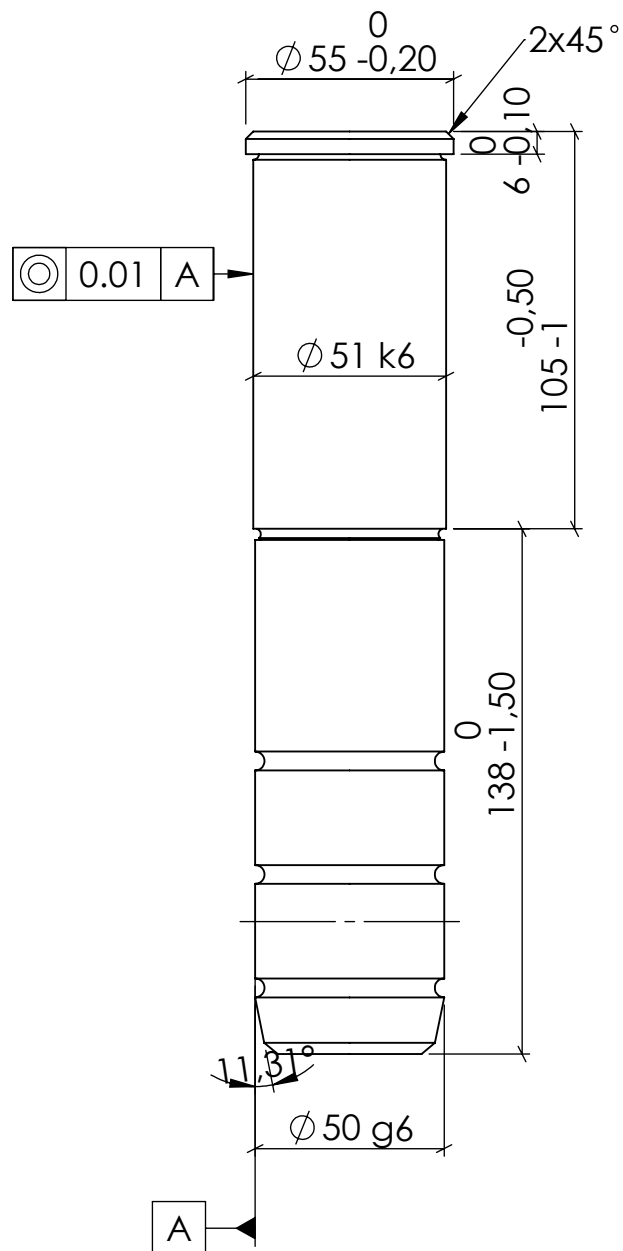
$Ra=1.6$
 $IT=\pm 0.2$
 sauf indication

Echelle:1:1	barre d'ejection	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :1/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



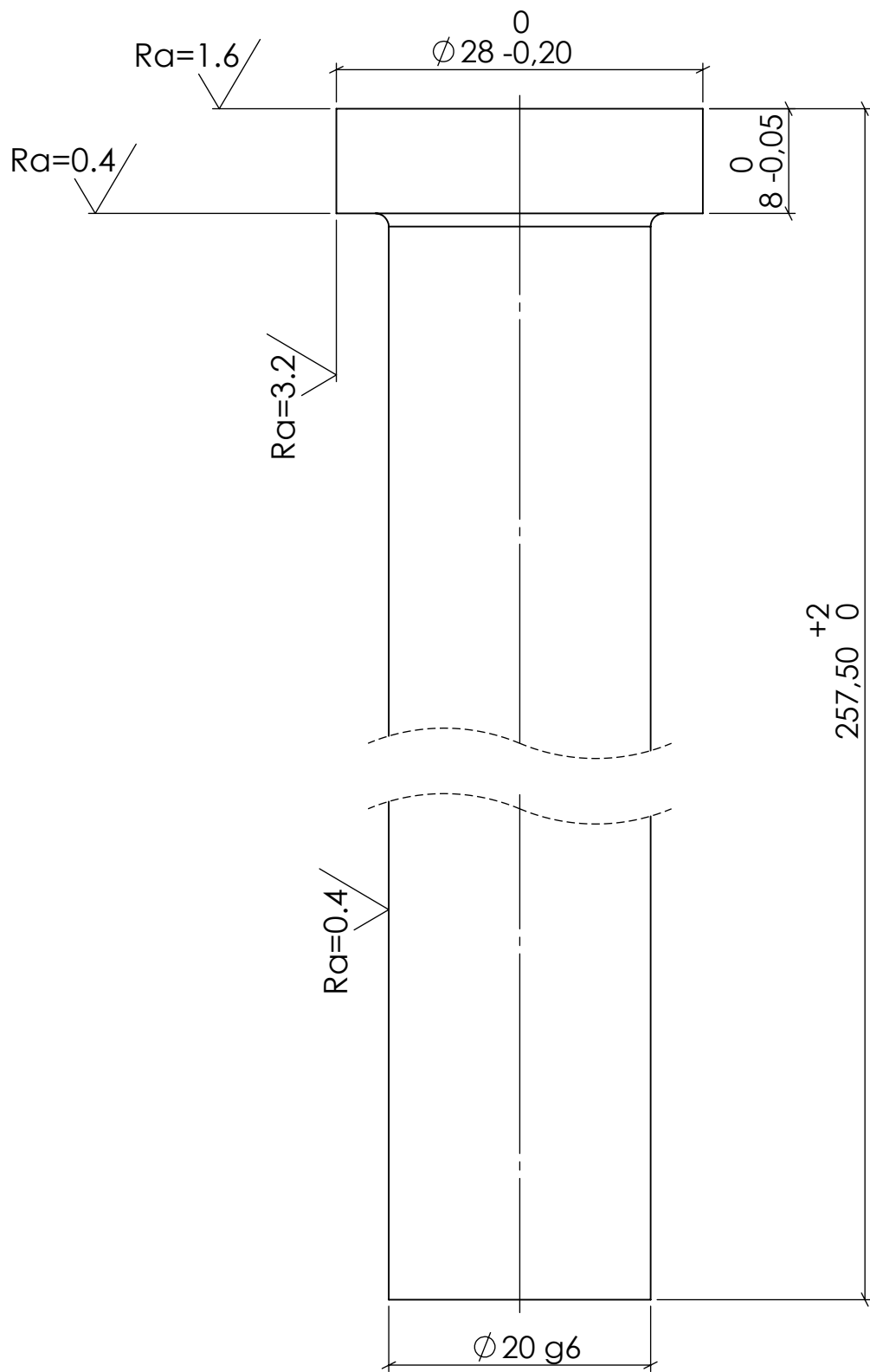
$Ra=1.6$
 $IT=\pm 0.2$
sauf indication

Echelle:1:1	boulon support	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :2/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

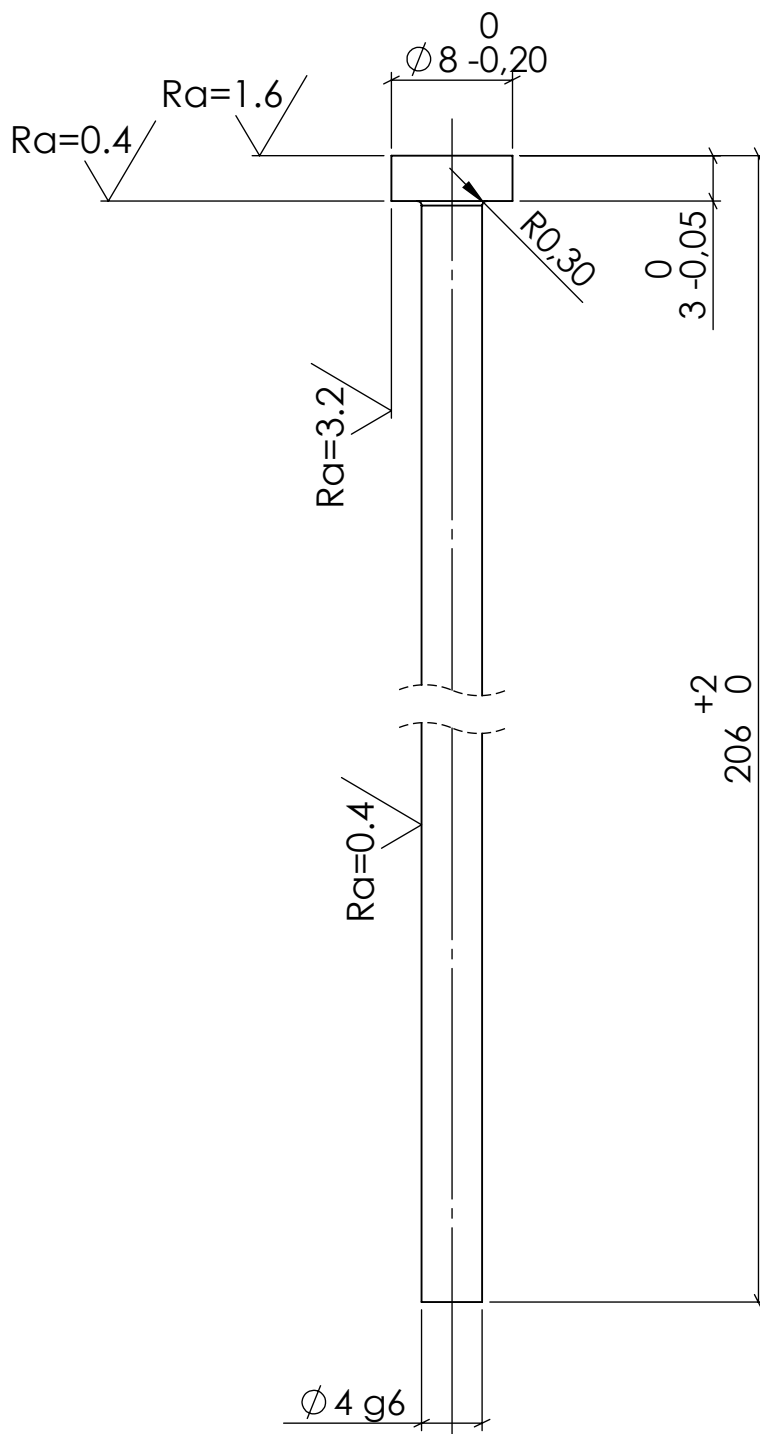


Ra=1.6
IT= ± 0.2
sauf indication

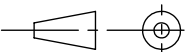
Echelle:1:2	colone de guidage D50	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° : 3/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

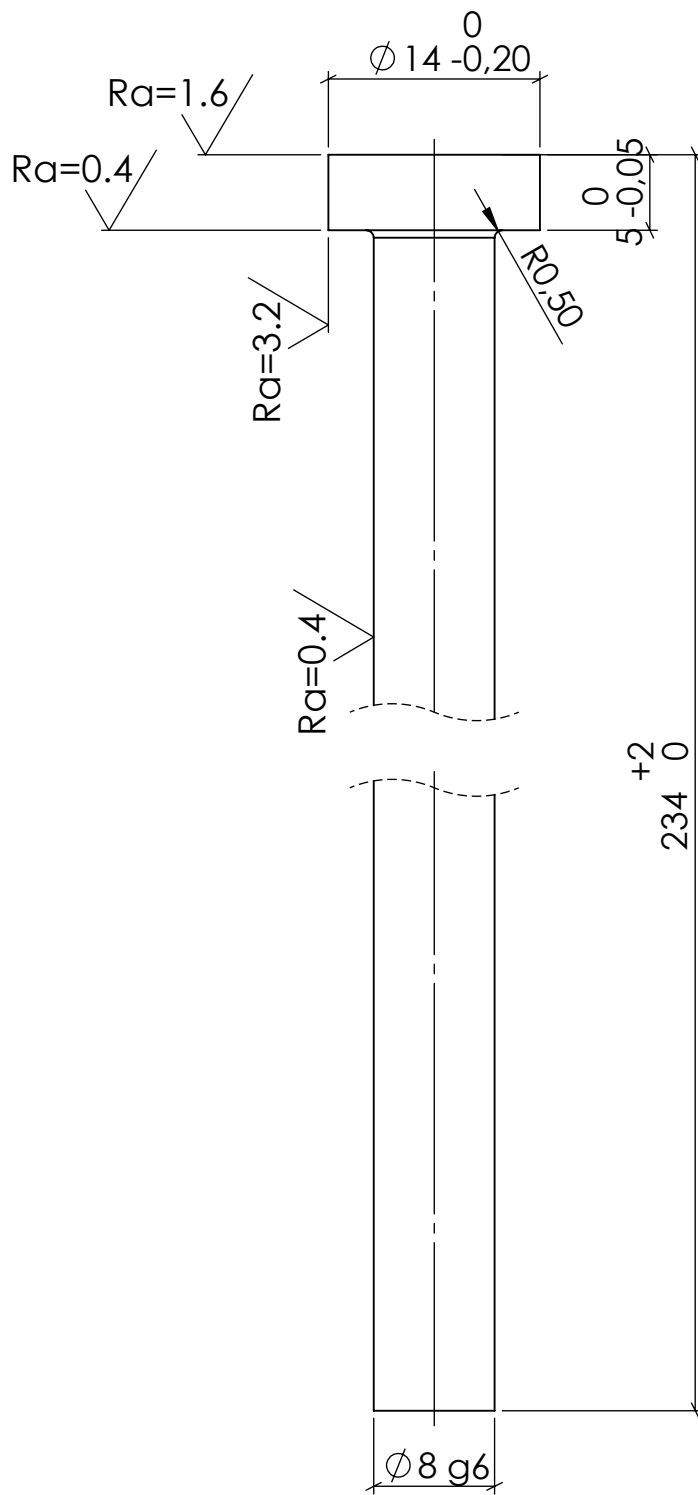


Echelle:2:1	colone guidage D20	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° : 4/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

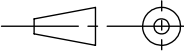


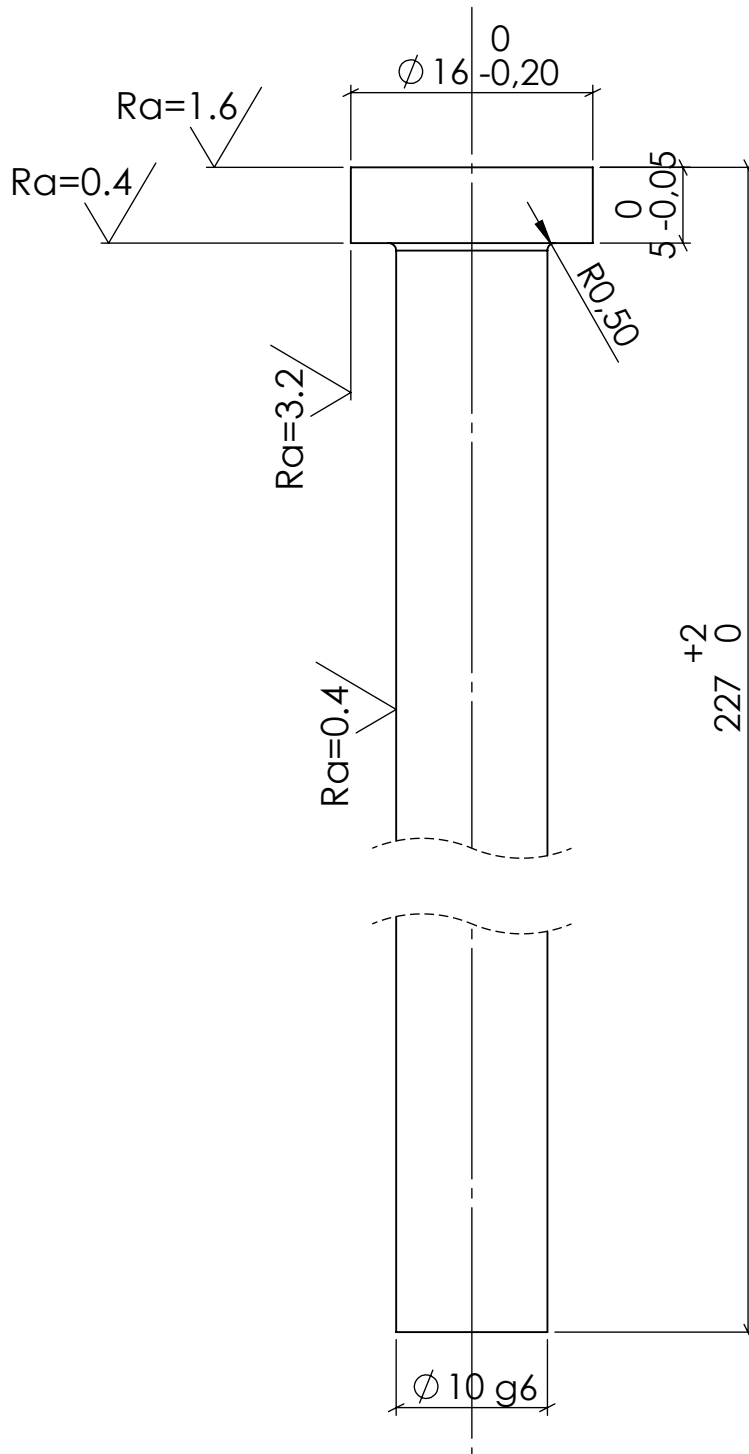
$Ra=1.6$
 $IT=\pm 0.2$
sauf indication

Echelle:2:1	Ejecteur D4	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° : 5/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

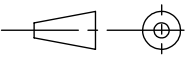


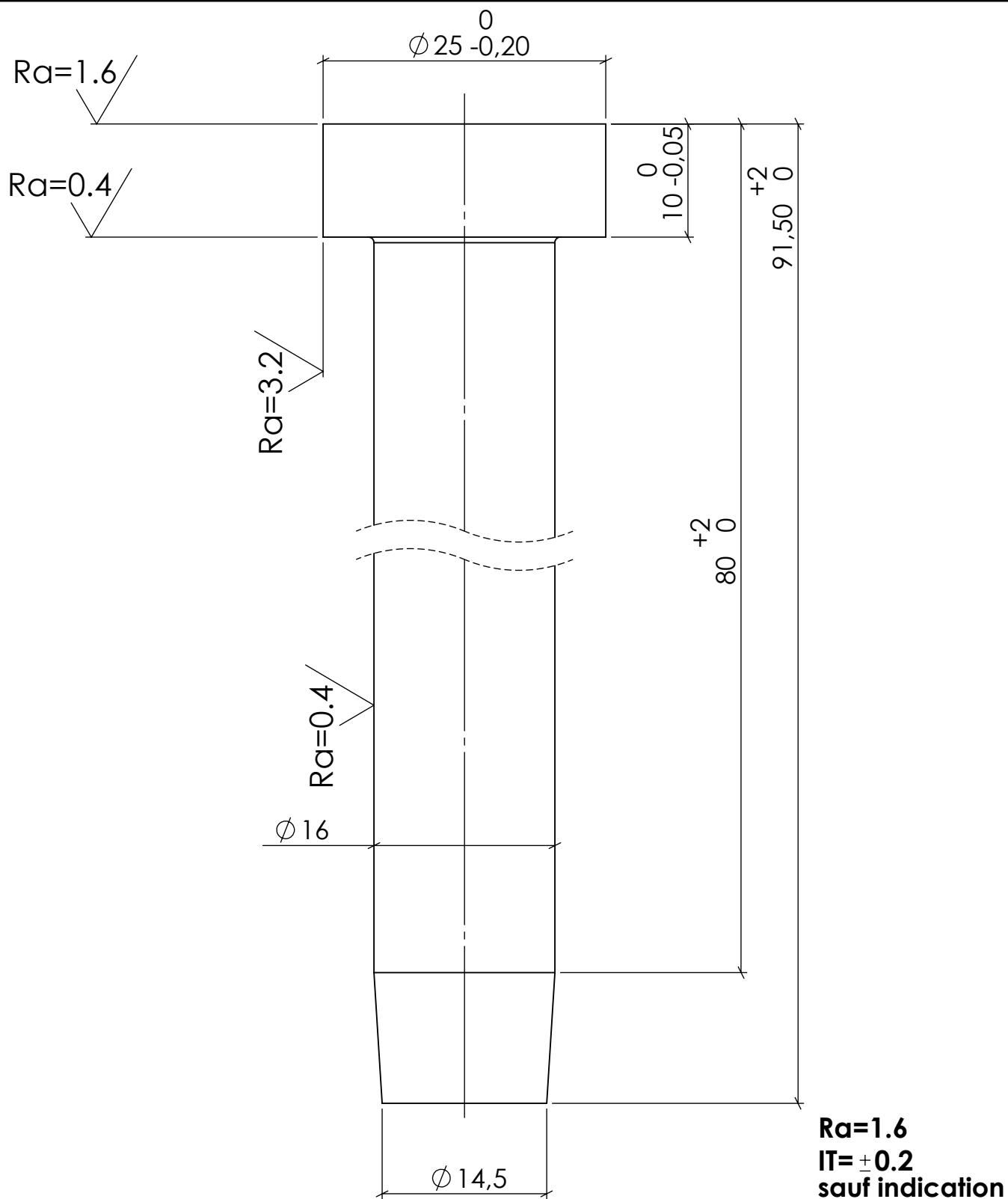
Ra=1.6
IT= ± 0.2
sauf indication

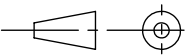
Echelle:2:1	ejecteur D8	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° : 6/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

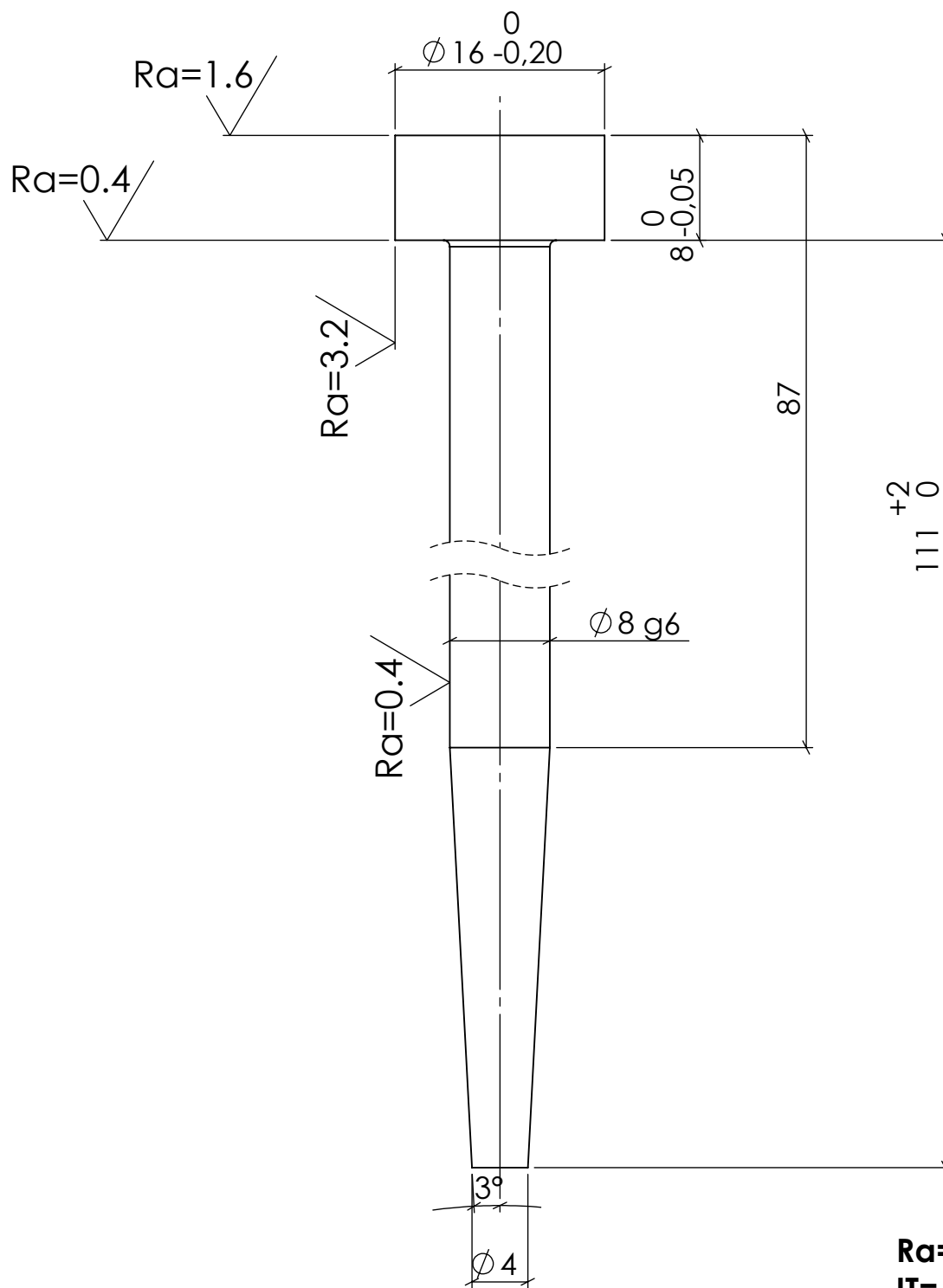


Ra=1.6
IT= +0.2
sauf indication

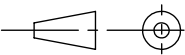
Echelle:2:1	Ejecteur D10	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :7/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



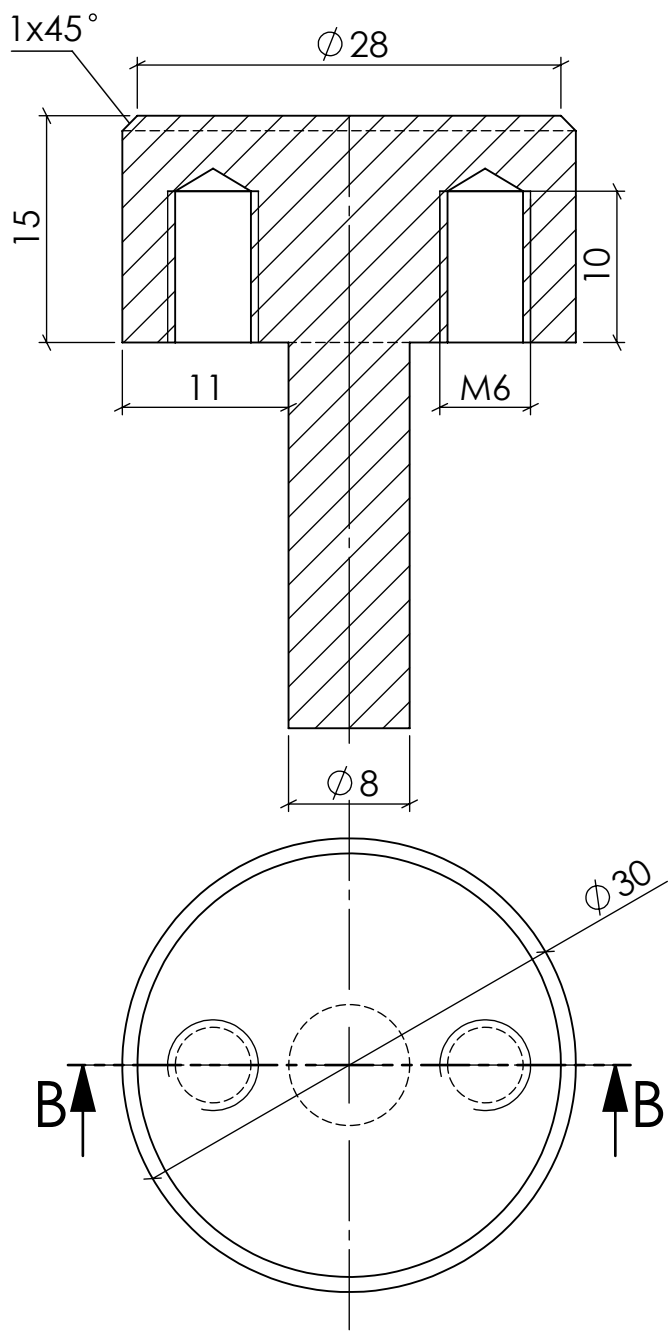
Echelle:2:1	insert D15	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° : 8/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



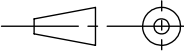
Ra=1.6
IT= ± 0.2
sauf indication

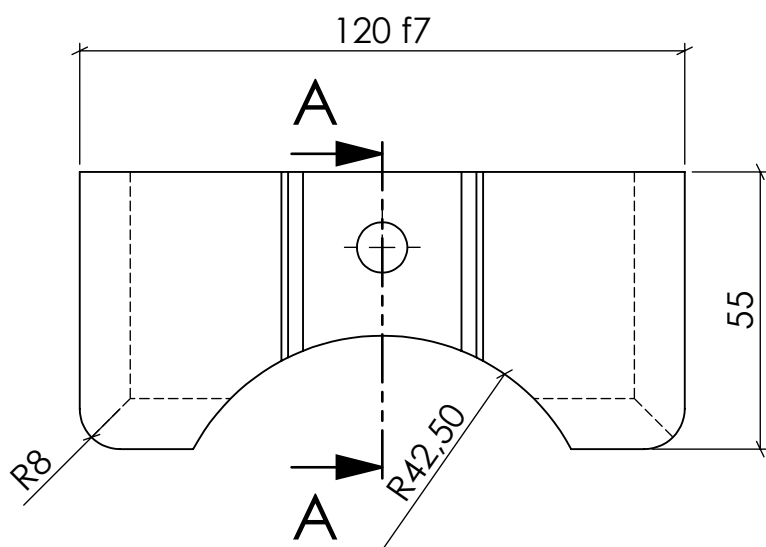
Echelle:2:1	Insert D7	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :9/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

COUPE B-B

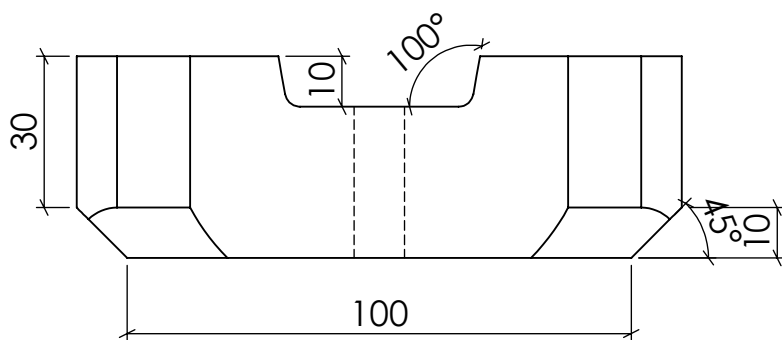
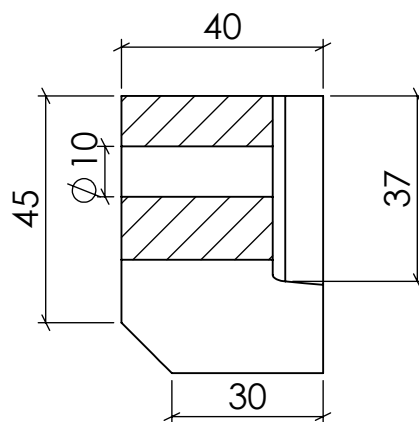


Ra=1.6
IT= ±0.2
sauf indication

Echelle:2:1	pièce d'arrêt	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :10/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



COUPE A-A



Ra=1.6
IT= ±0.2
sauf indication

Echelle:1:1.5

plaque d'entrée

IKERROUIENE-Dj
AMMOUR-R

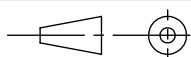


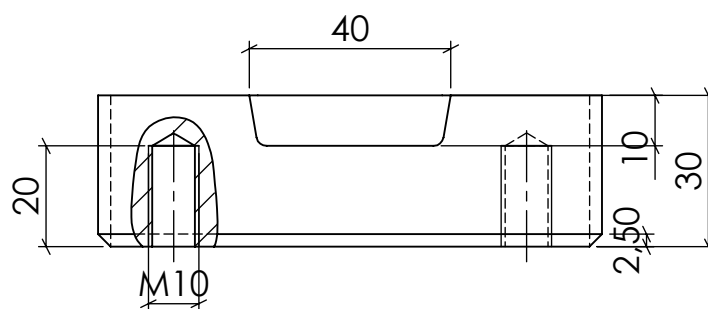
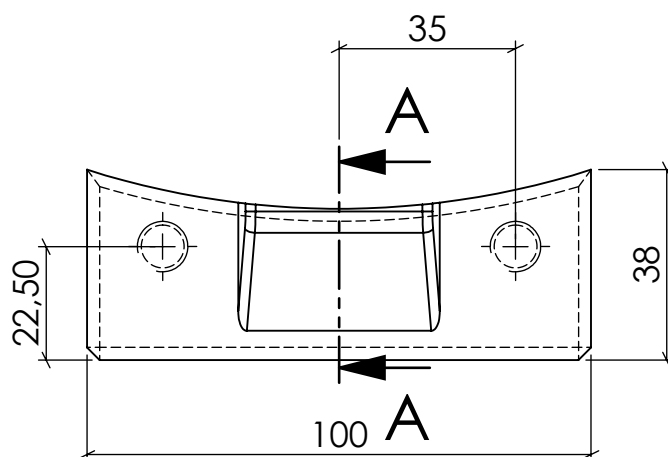
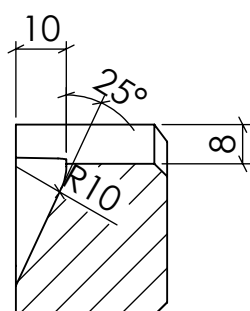
Planche N° :11/30

A4

FGC - GM - UMMTO

M2 FMP

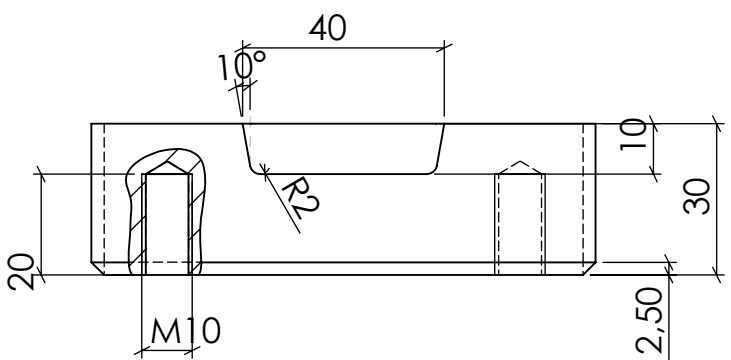
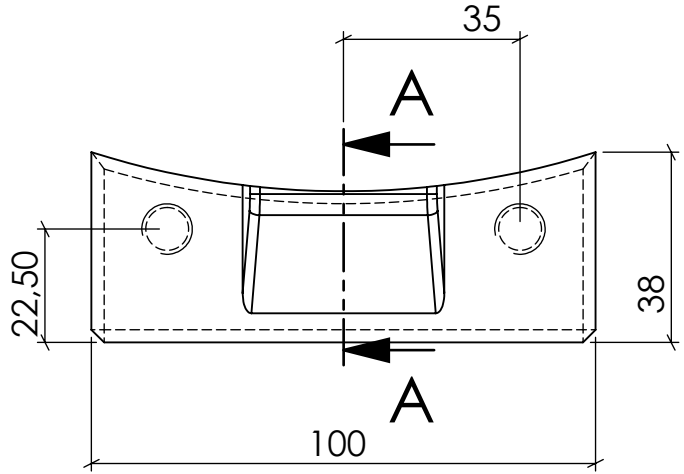
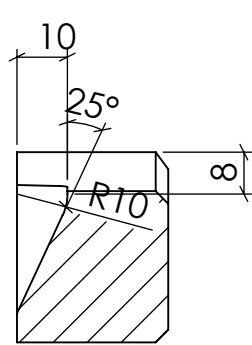
COUPE A-A



$Ra=1.6$
 $IT=\pm 0.2$
 sauf indication

Echelle:1:1.5	plaque pour attaque de coulée fixe	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :12/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

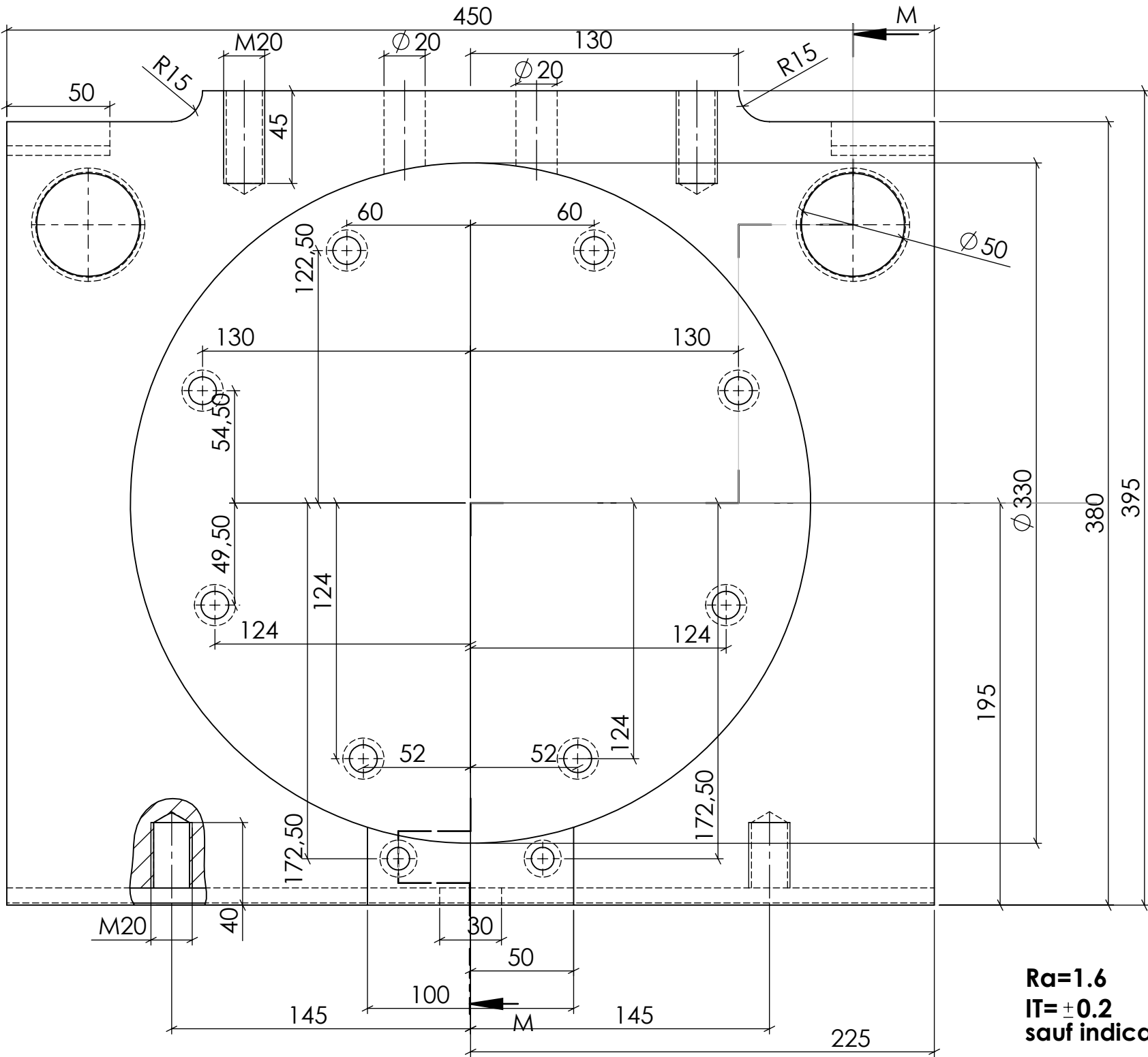
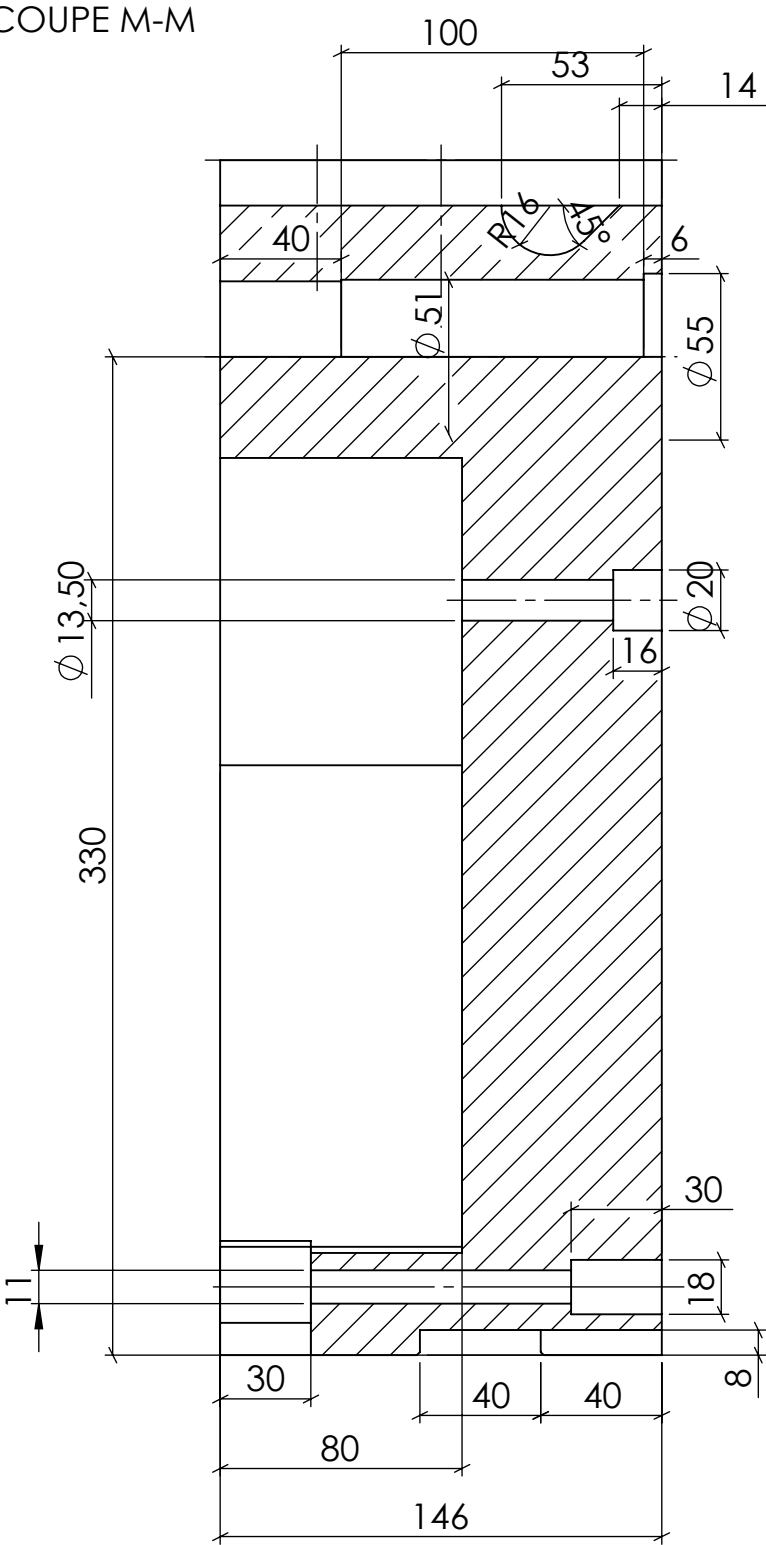
COUPE A-A



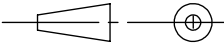
Ra=1.6
IT= ±0.2
sauf indication

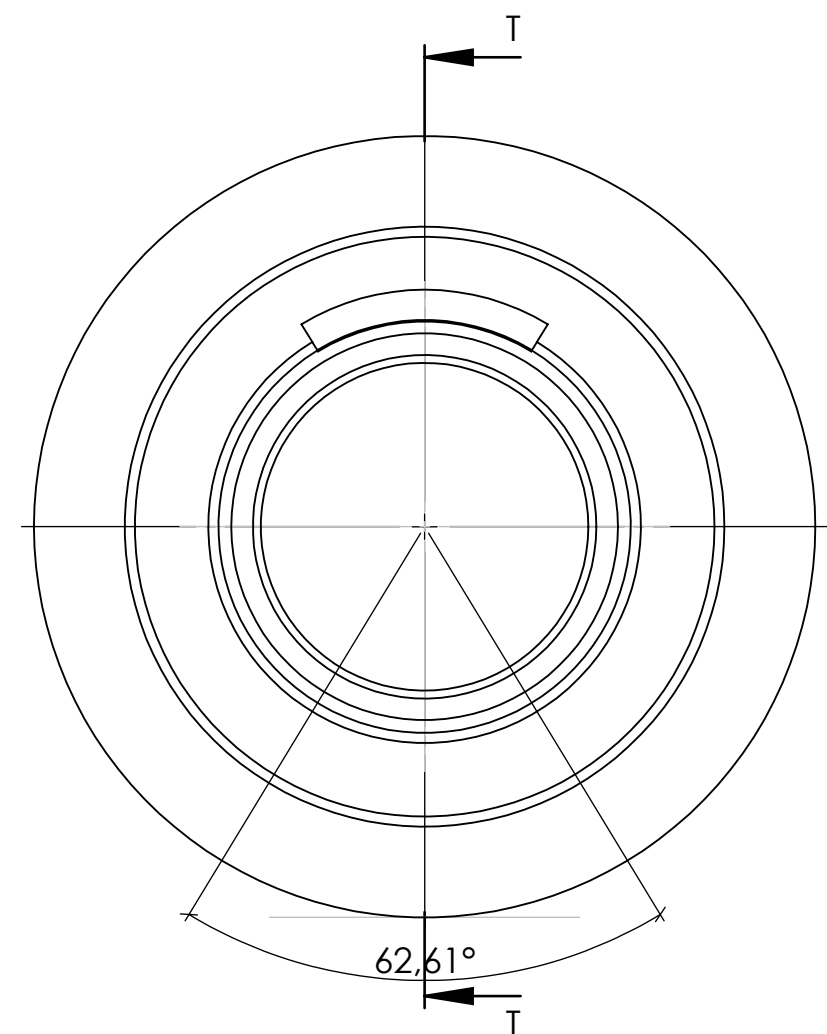
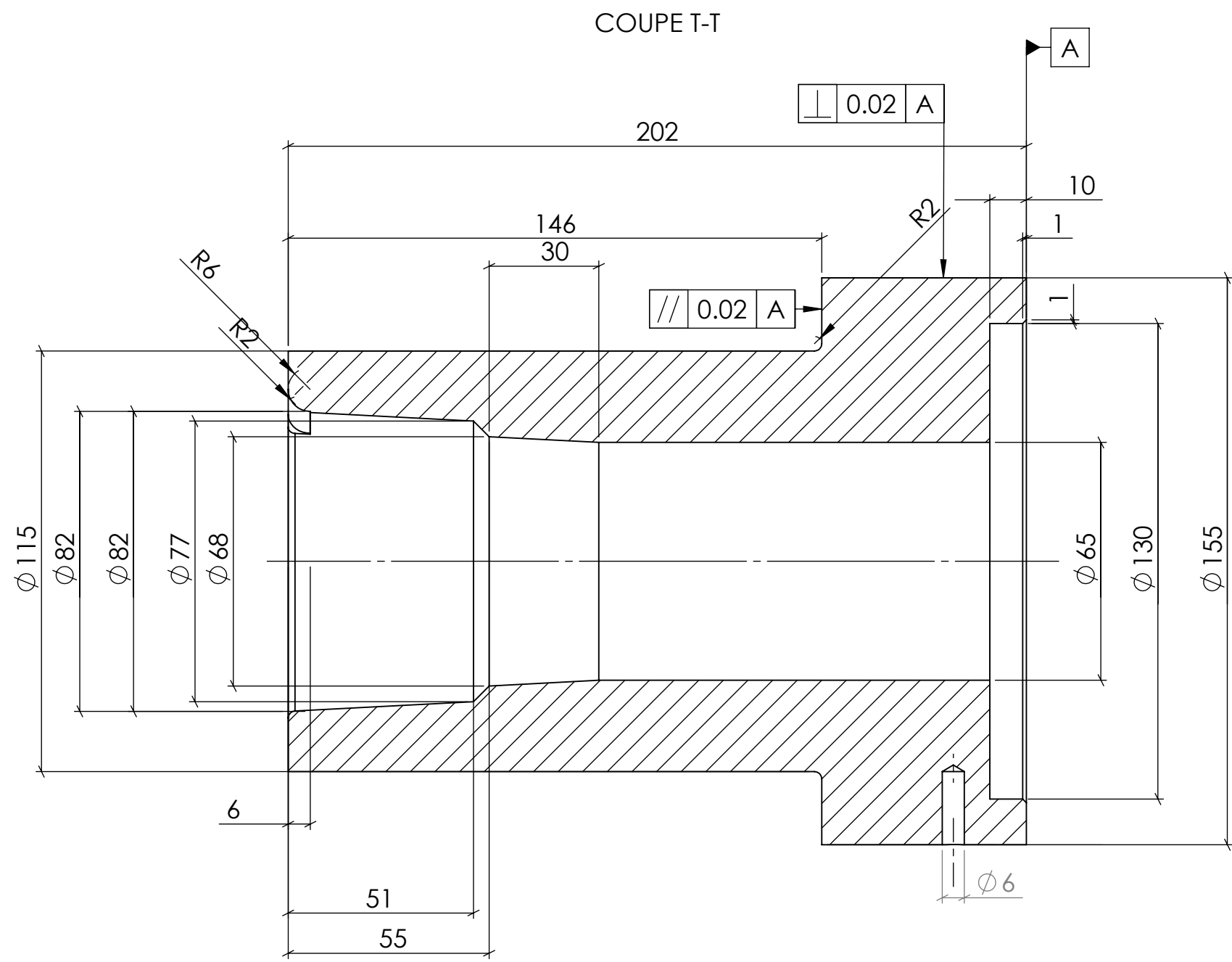
Echelle:1:1.5	plaque pour attaque de coulée mobile	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :13/30
A4	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

COUPE M-M



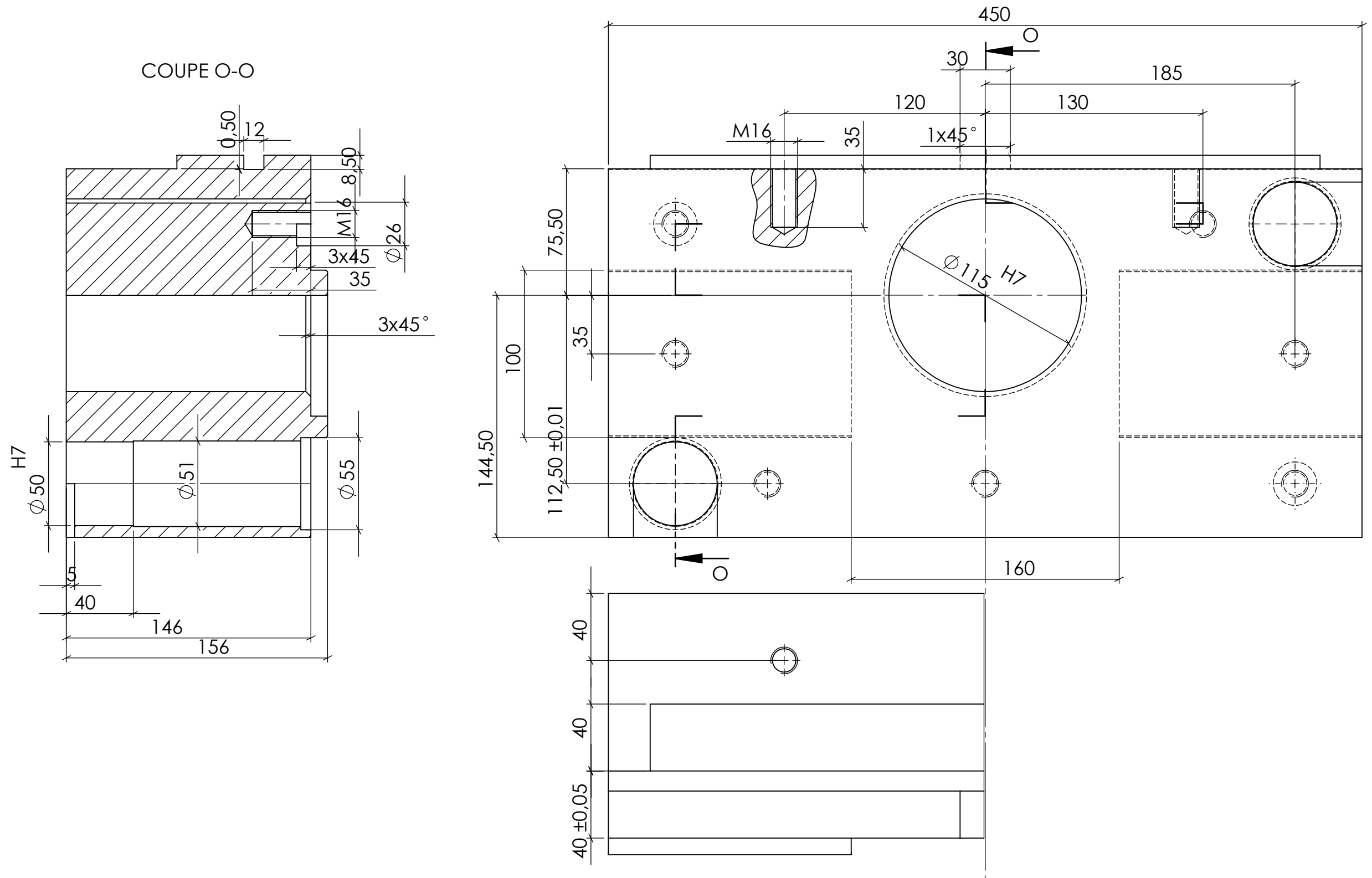
Ra=1.6
IT=±0.2
sauf indication

Echelle : 1:2.5	plaque de moule fixe	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :14/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



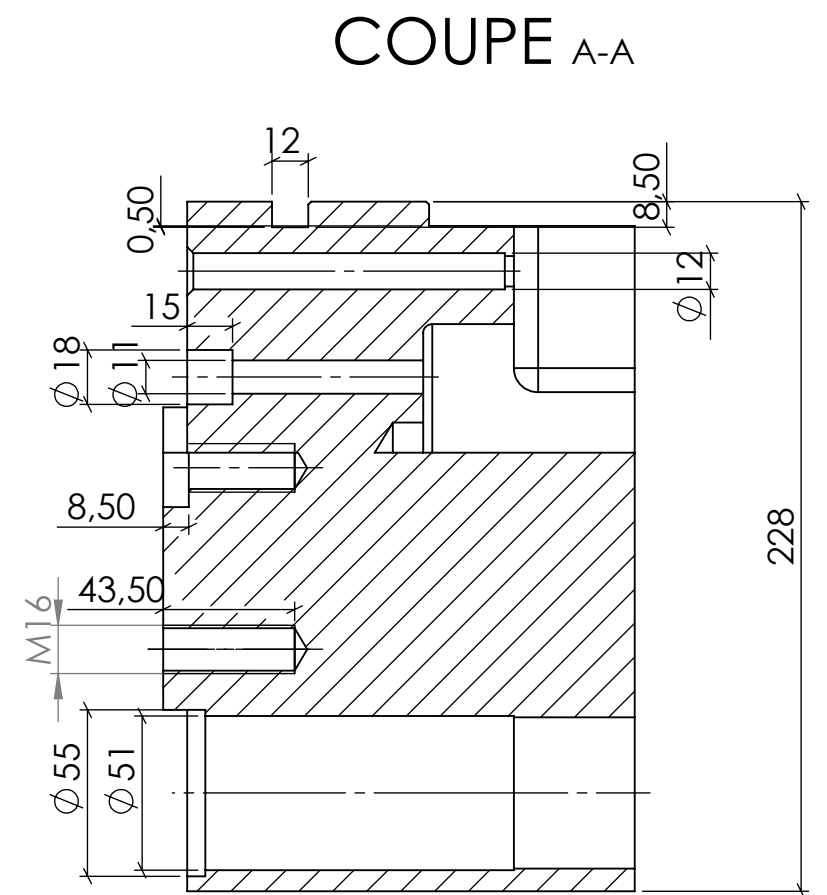
Ra=1.6
IT=±0.2
sauf indication

Echelle : 1:1.5	douille de coulée	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :15/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



Ra=1.6
IT= ±0.2
sauf indication

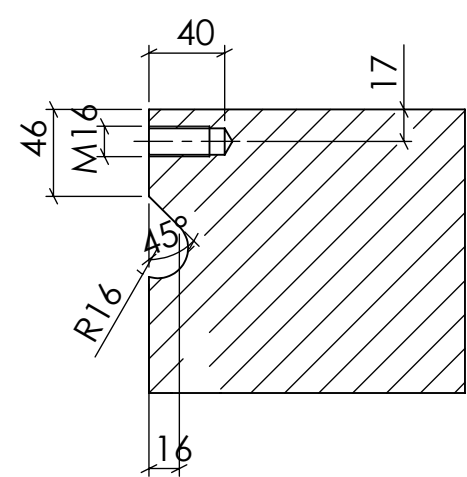
Echelle : 1:2.5	pièce du centre fixe	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :16/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



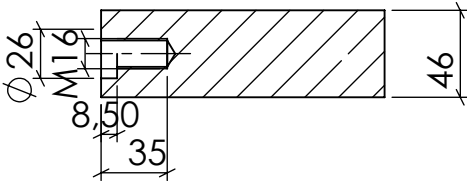
Ra=1.6
IT= ± 0.2
sauf indication

Echelle : 1:2.5	plaque d'entrée 	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :17/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

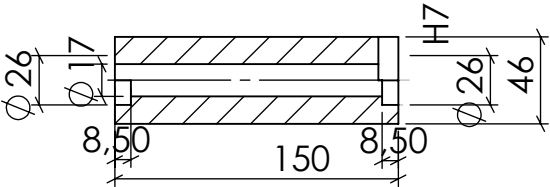
COUPE G-G



COUPE H-H

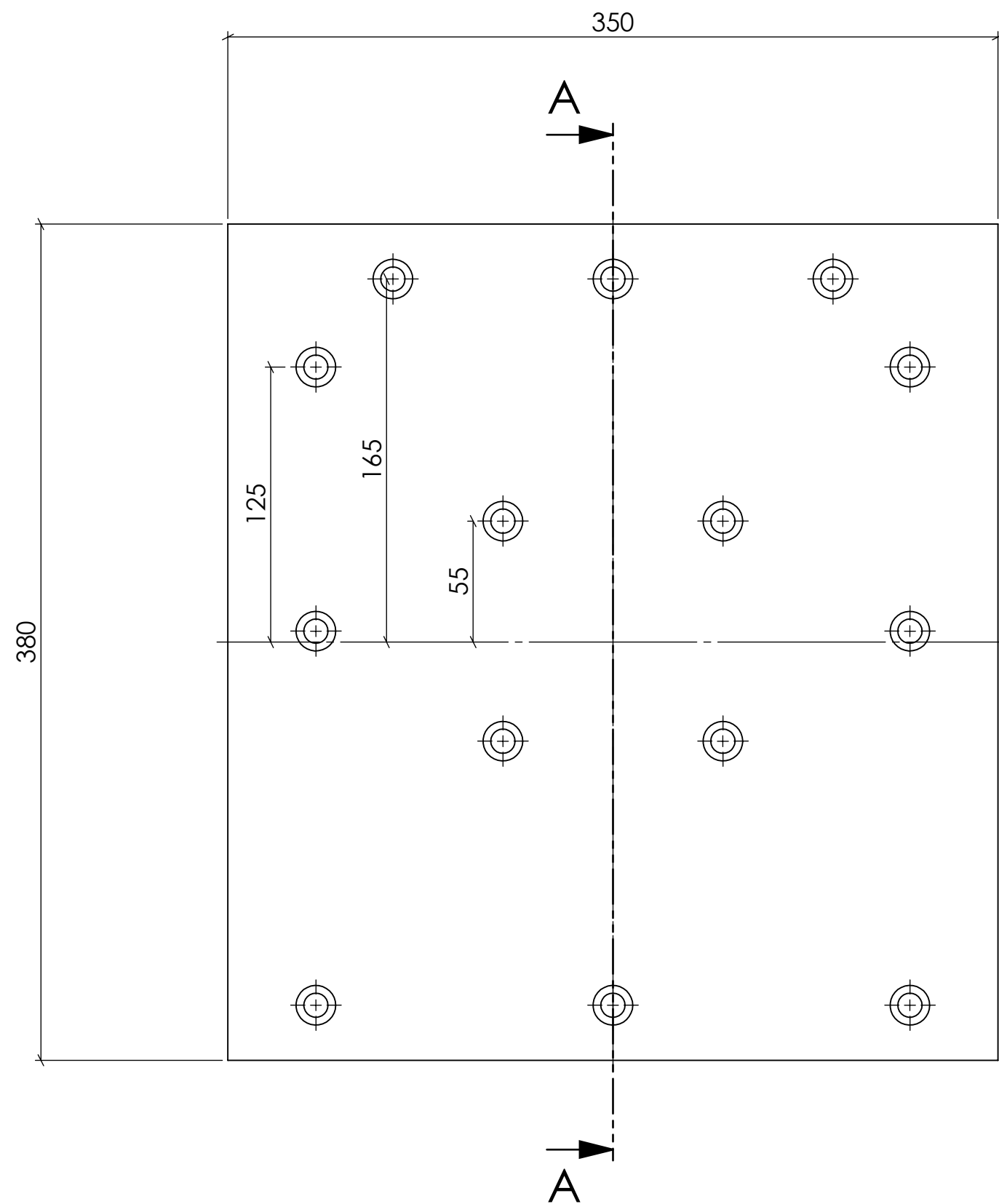


COUPE A-A

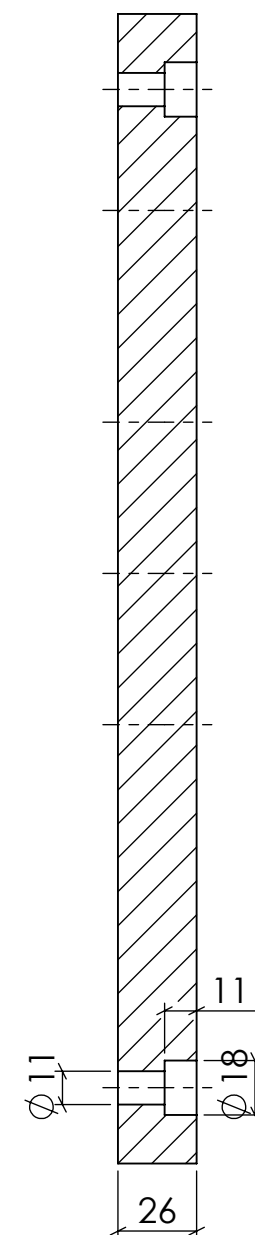


Ra=1.6
IT= ±0.2
sauf indication

Echelle : 1:4	baguette support	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :18/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



COUPE A-A



Ra=1.6
IT= ±0.2
sauf indication

Echelle : 1:2.5



A 3

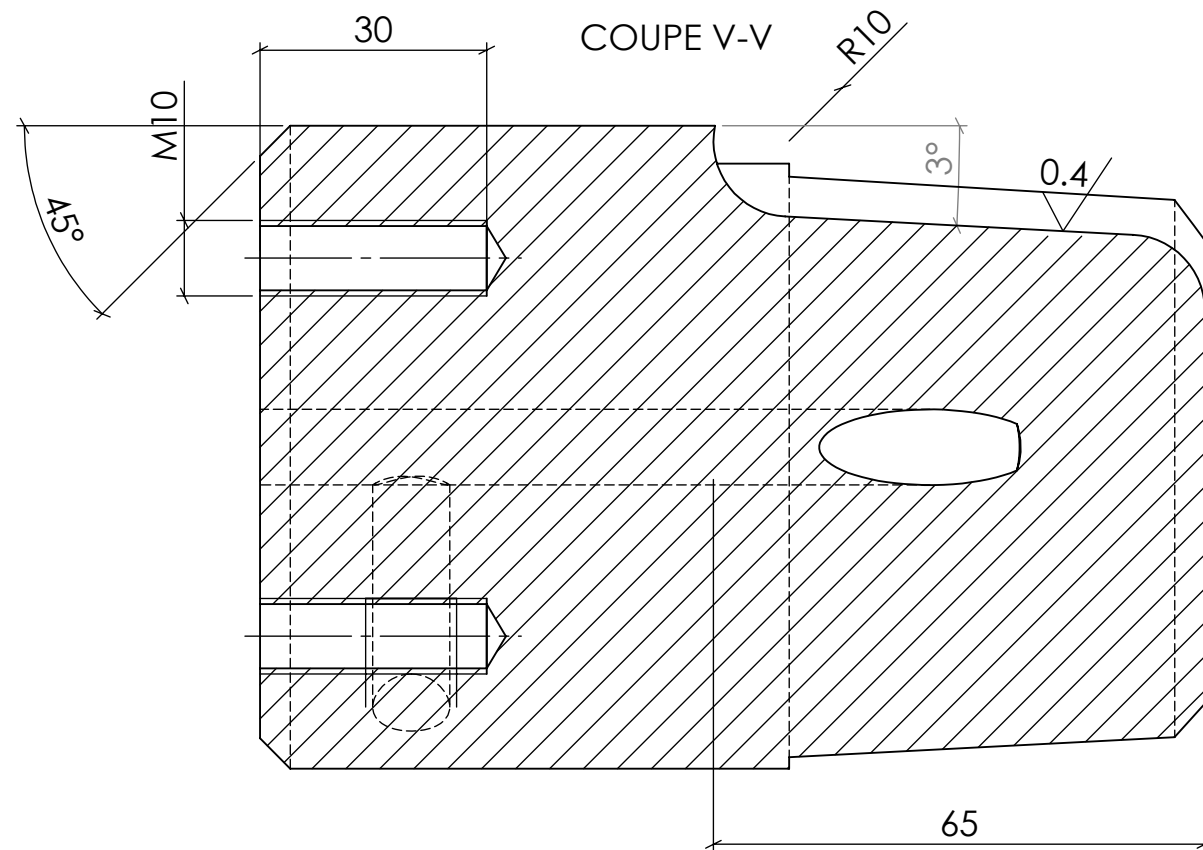
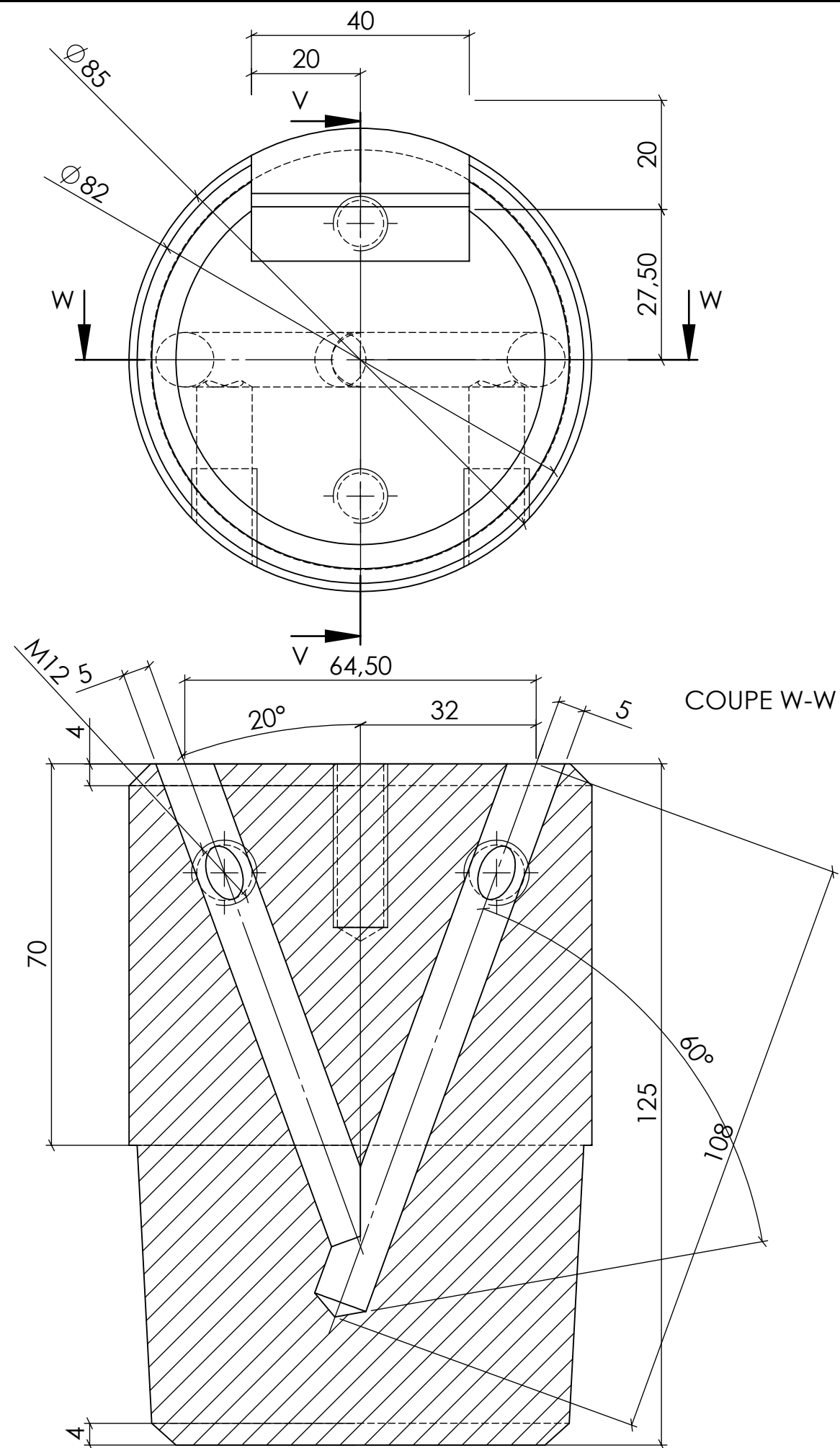
contre plaque d'ejection

FGC - GM - UMMTO

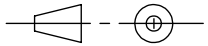
IKERROUIENE-DJ
AMMOUR-R

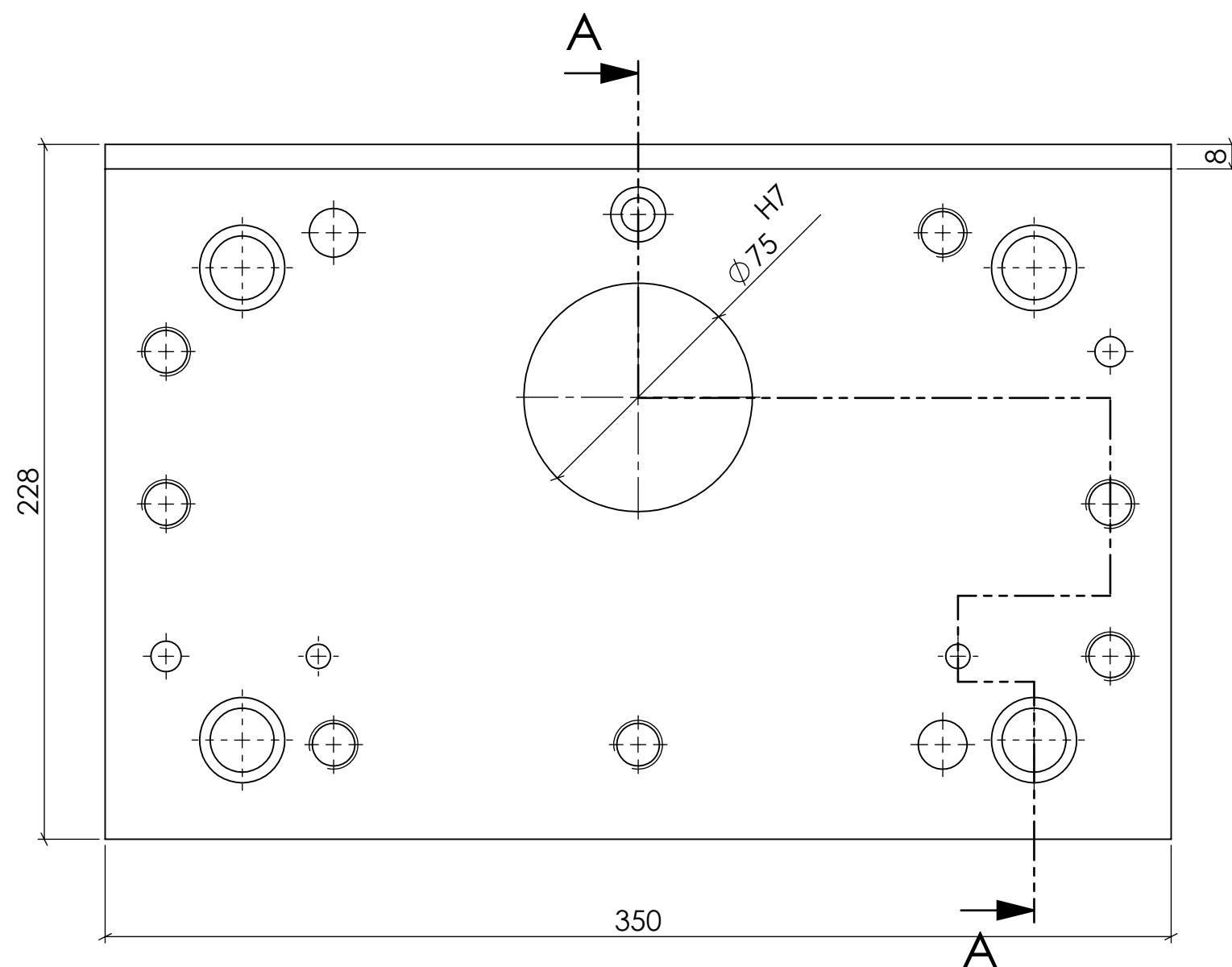
Planche N° :19/30

M2 FMP

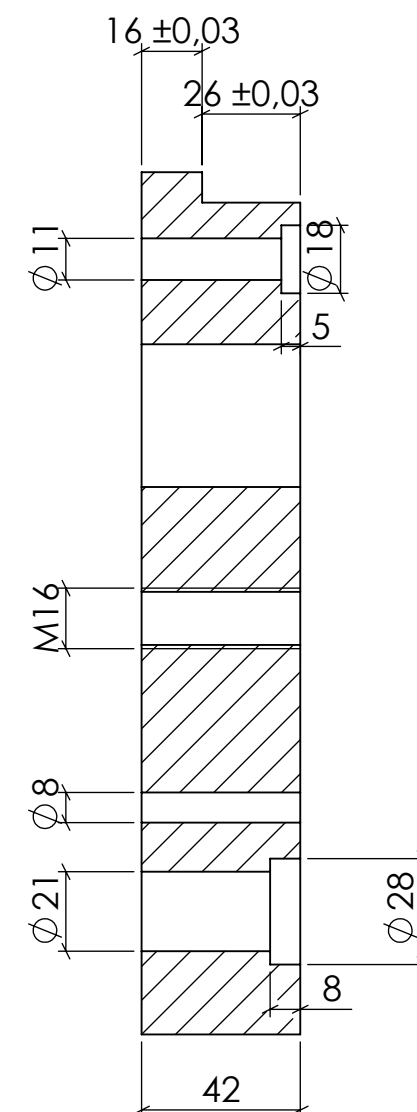


Ra=1.6
IT=±0.2
sauf indication

Echelle : 1:1	enclume	IKERROUIENE-Dj AMMOUR-R
		Planche N° :20/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



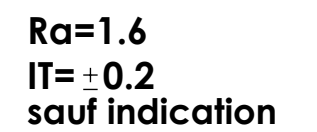
COUPE A-A



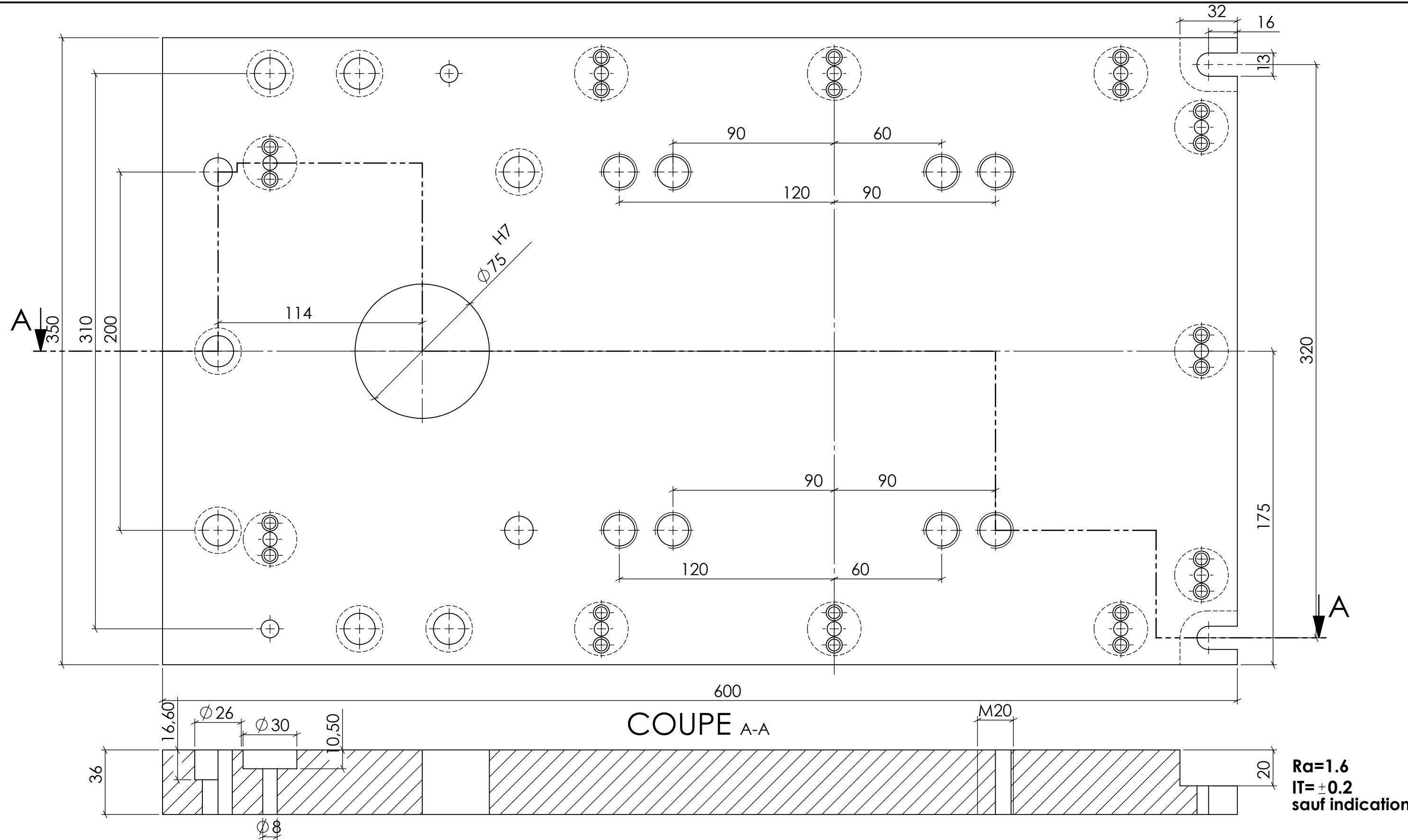
Ra=1.6
IT= ± 0.2
sauf indication

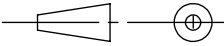
Echelle : 1:2	plaque de couverture	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :21/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

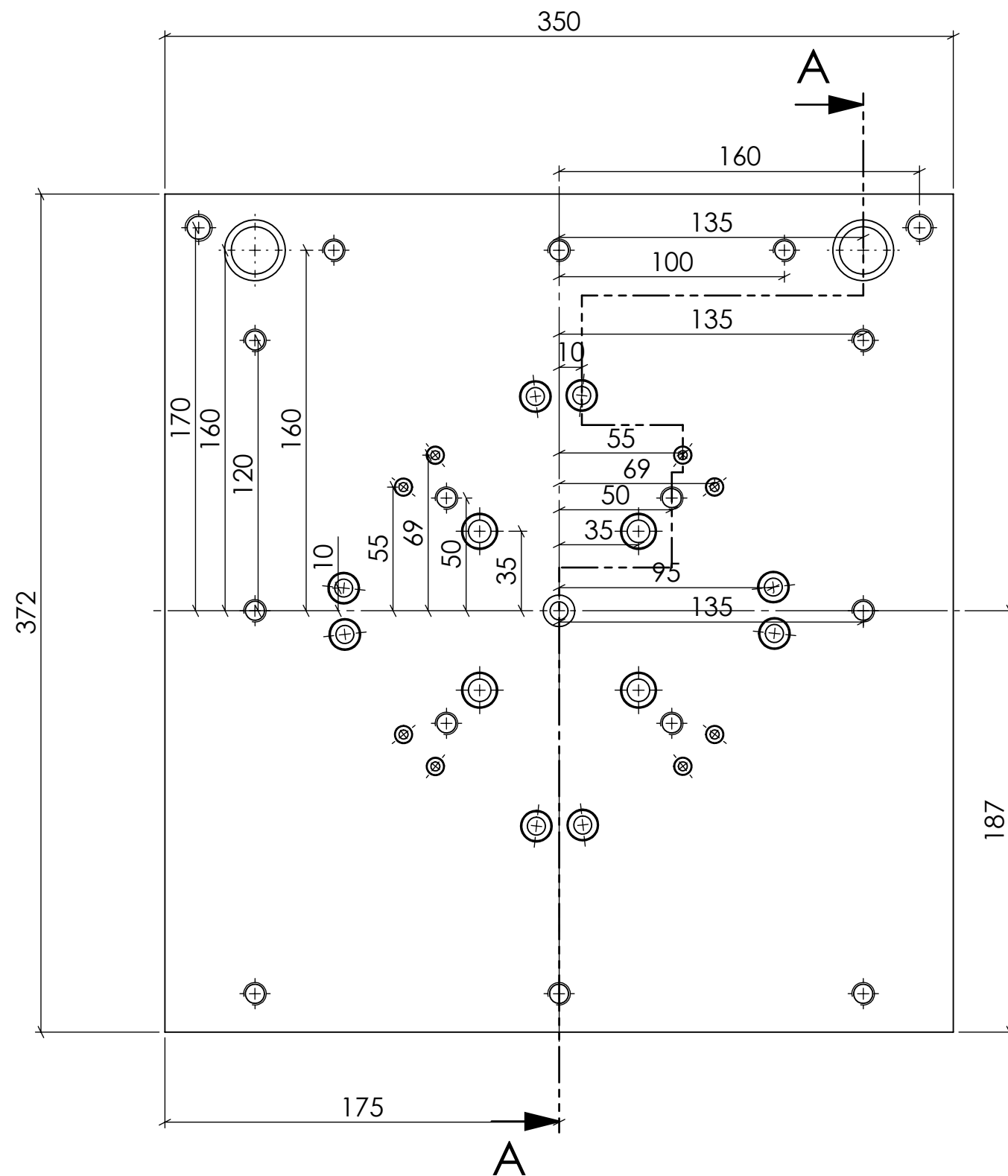
Technical drawing of a vertical assembly. The drawing shows a cross-section of a component with a total height of 650. The top section has a width of 25 and a height of 40, with an M16 hole. A 45° chamfer is indicated. The main body has a width of 56. A section with a width of 8,50 is shown. A section with a height of 100 is shown. A section with a height of 10,50 is shown. A section with a width of 25 is shown. The label M16 DIN912 is present.



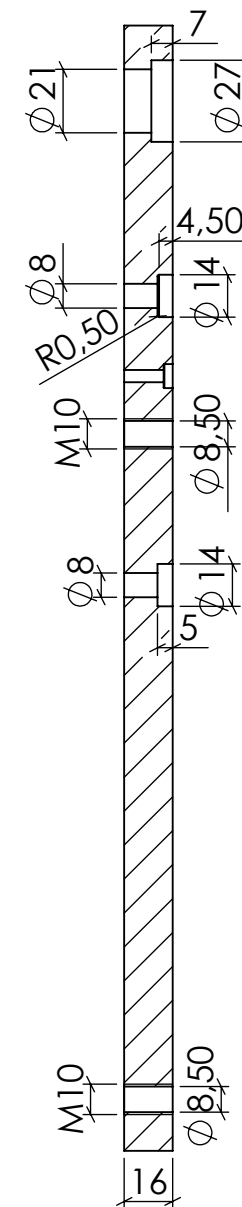
Echelle : 1:4	plaque de serrage fixe	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :22/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



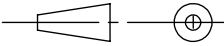
Echelle : 1:2	plaque d'ejecteur superieur	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :24/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

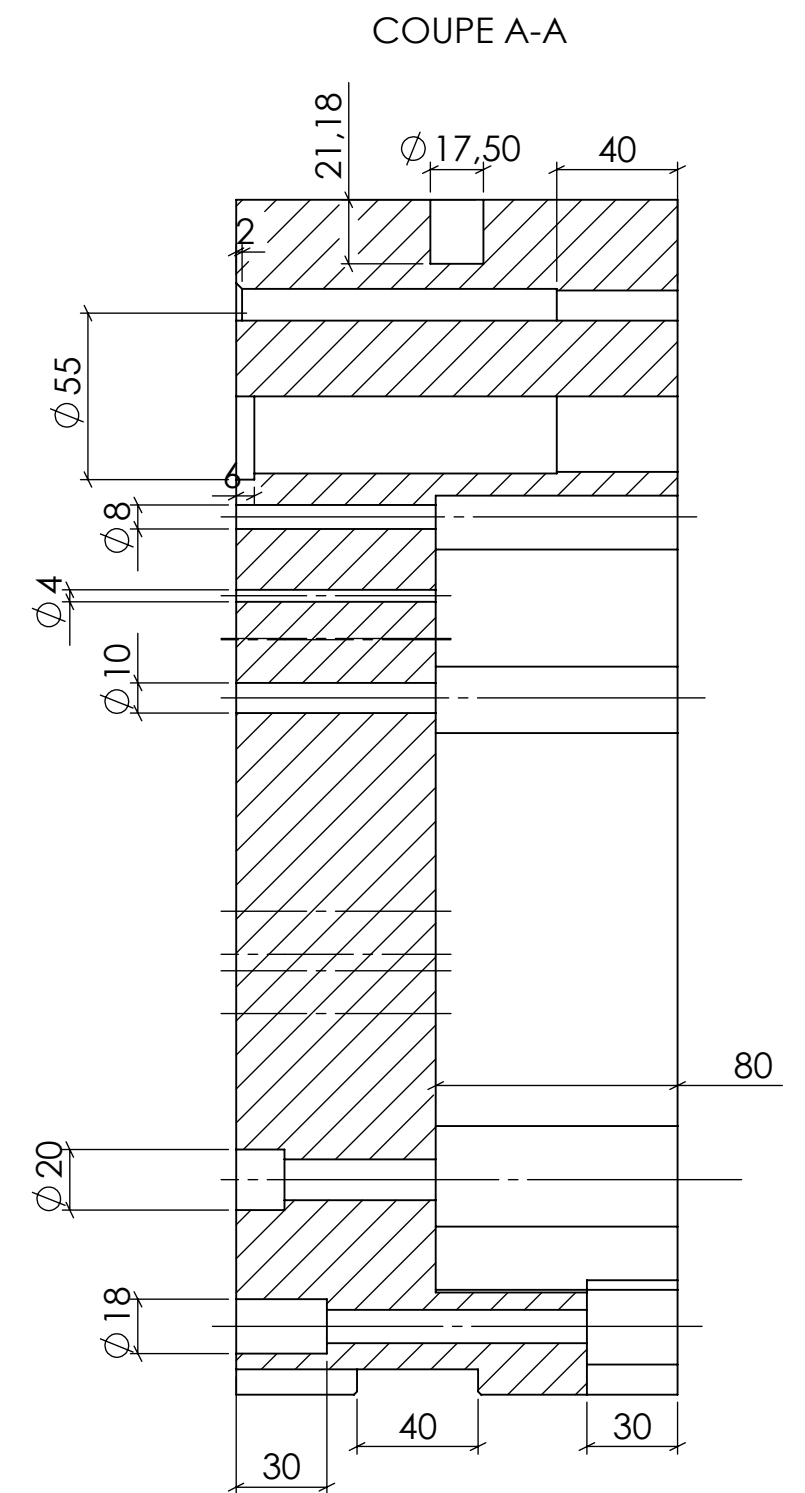


COUPE A-A

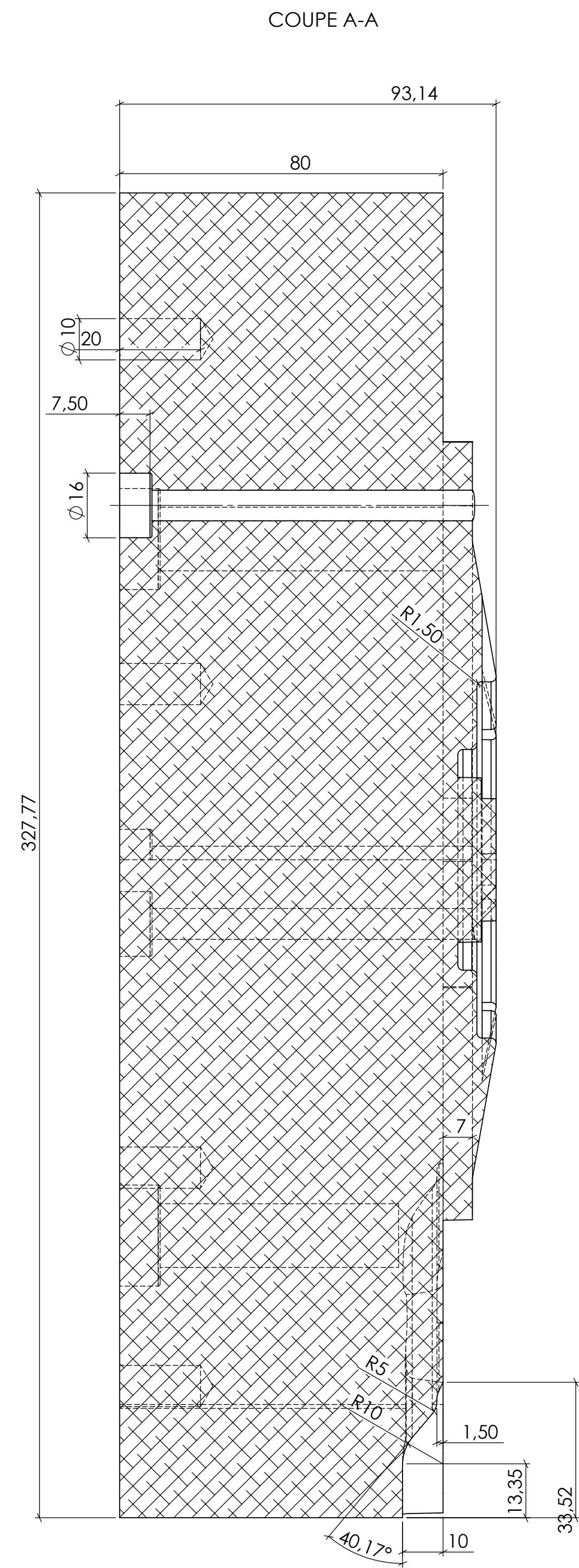
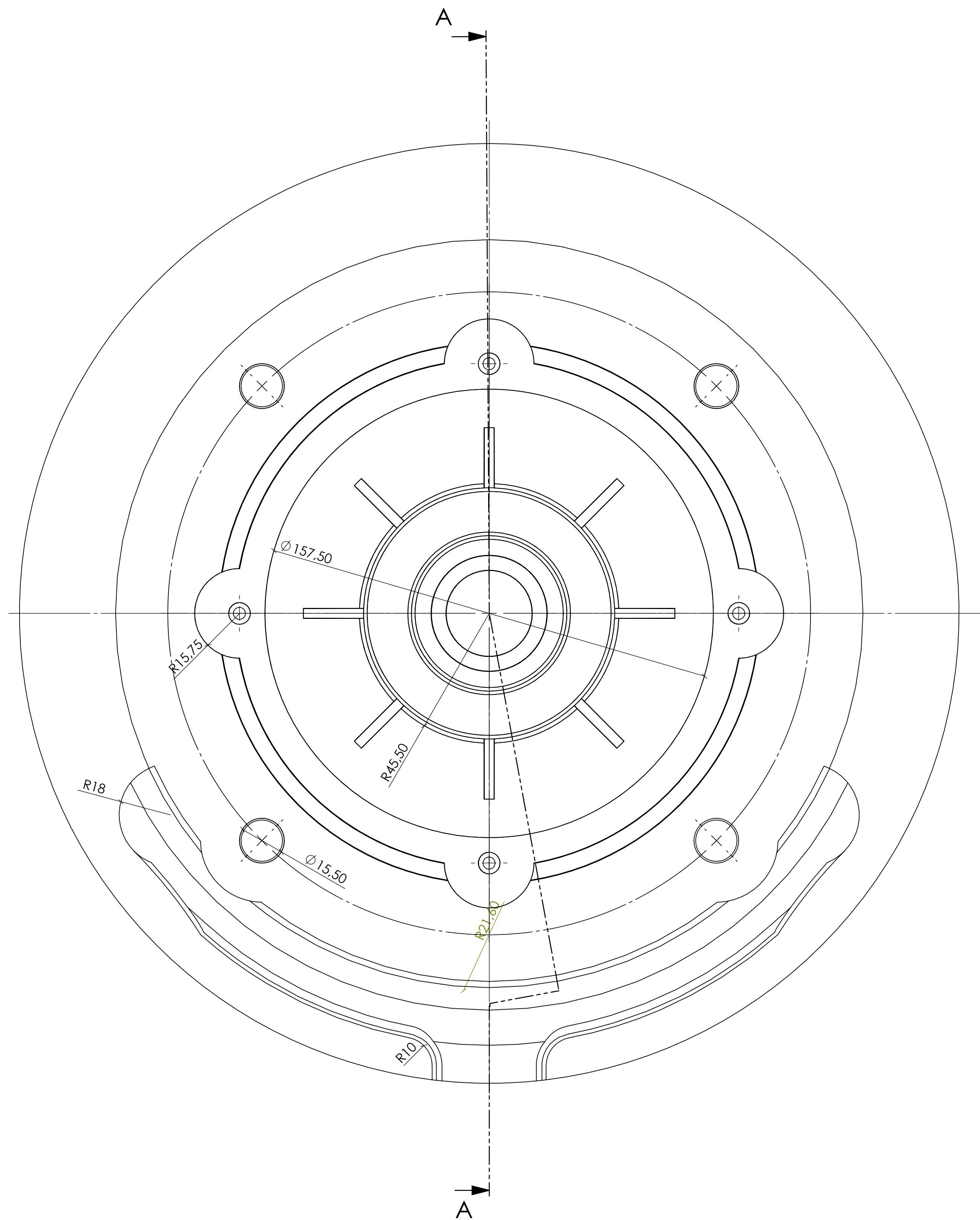


Ra=1.6
IT= ±0.2
sauf indication

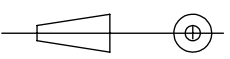
Echelle : 1:2.5	plaque d'ejecteur	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :25/30
A 3	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP

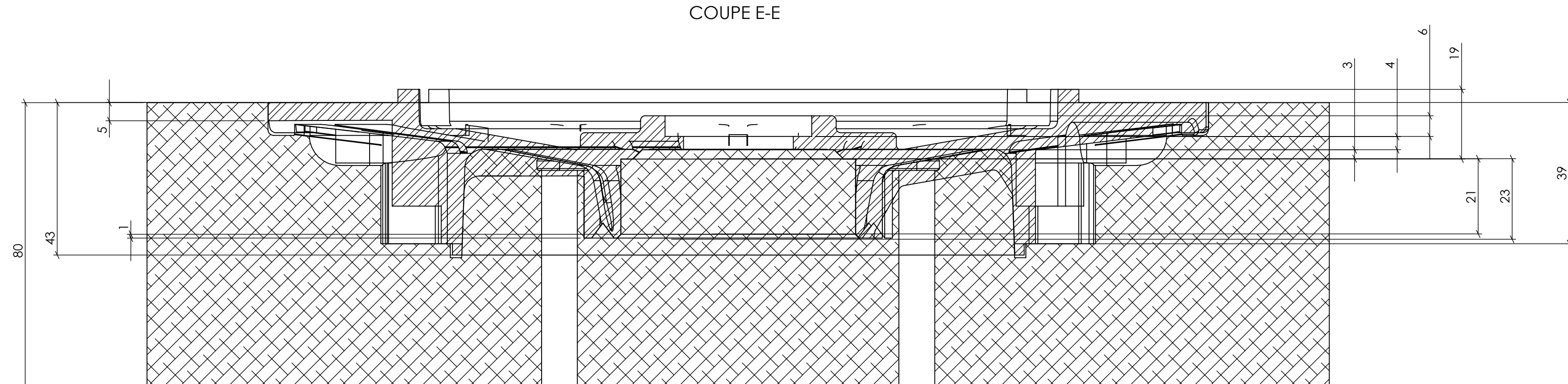
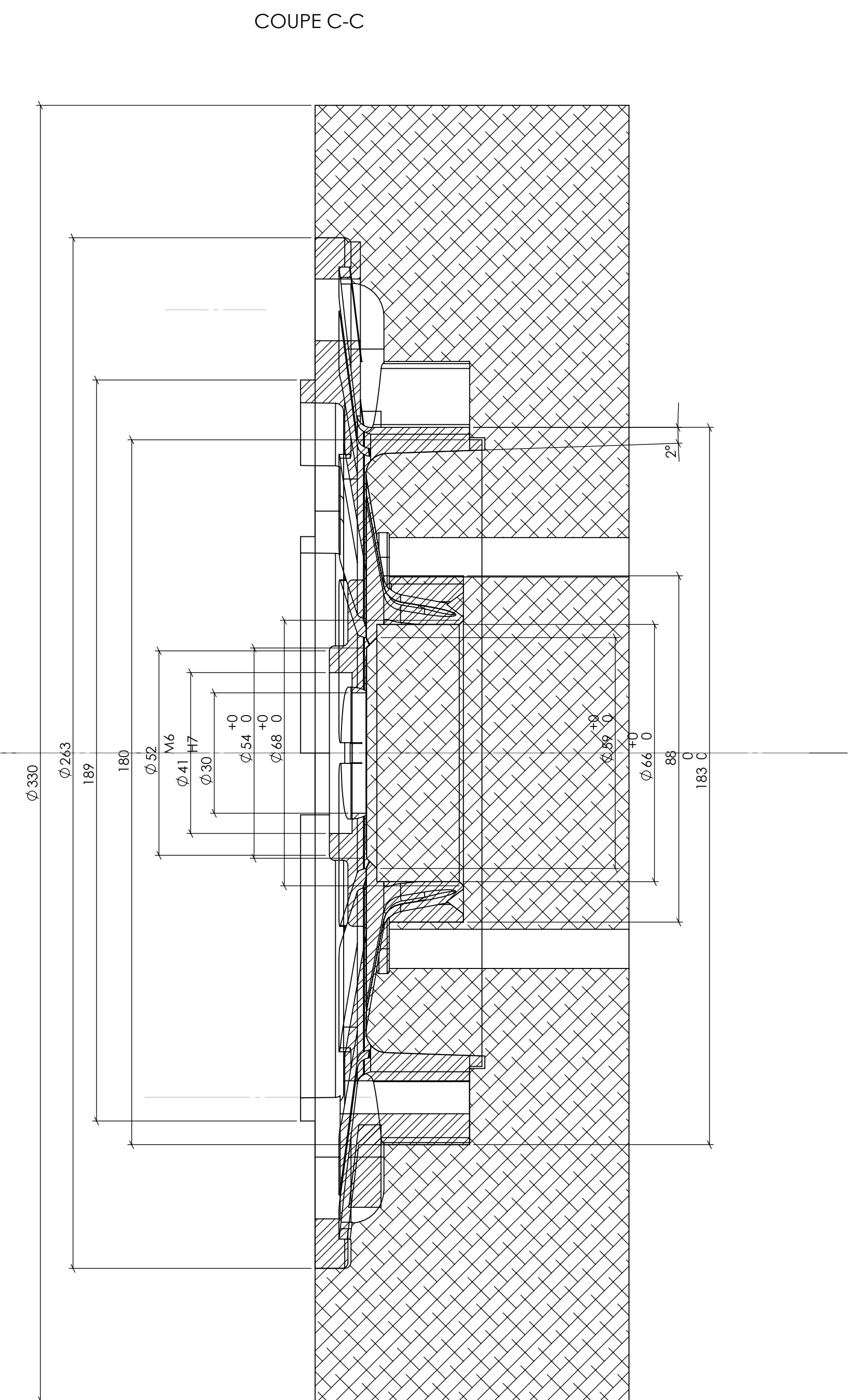
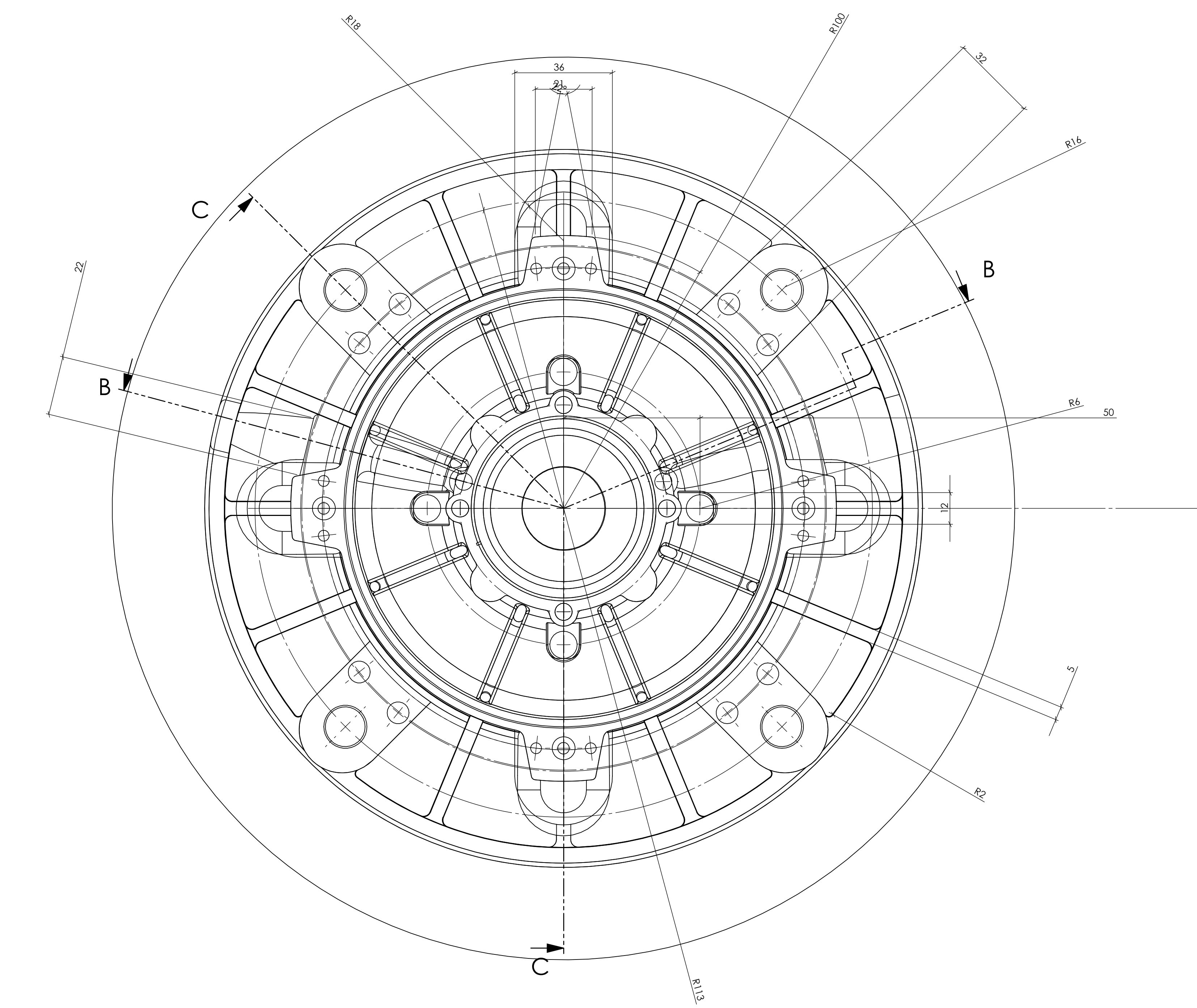


M2 FMP



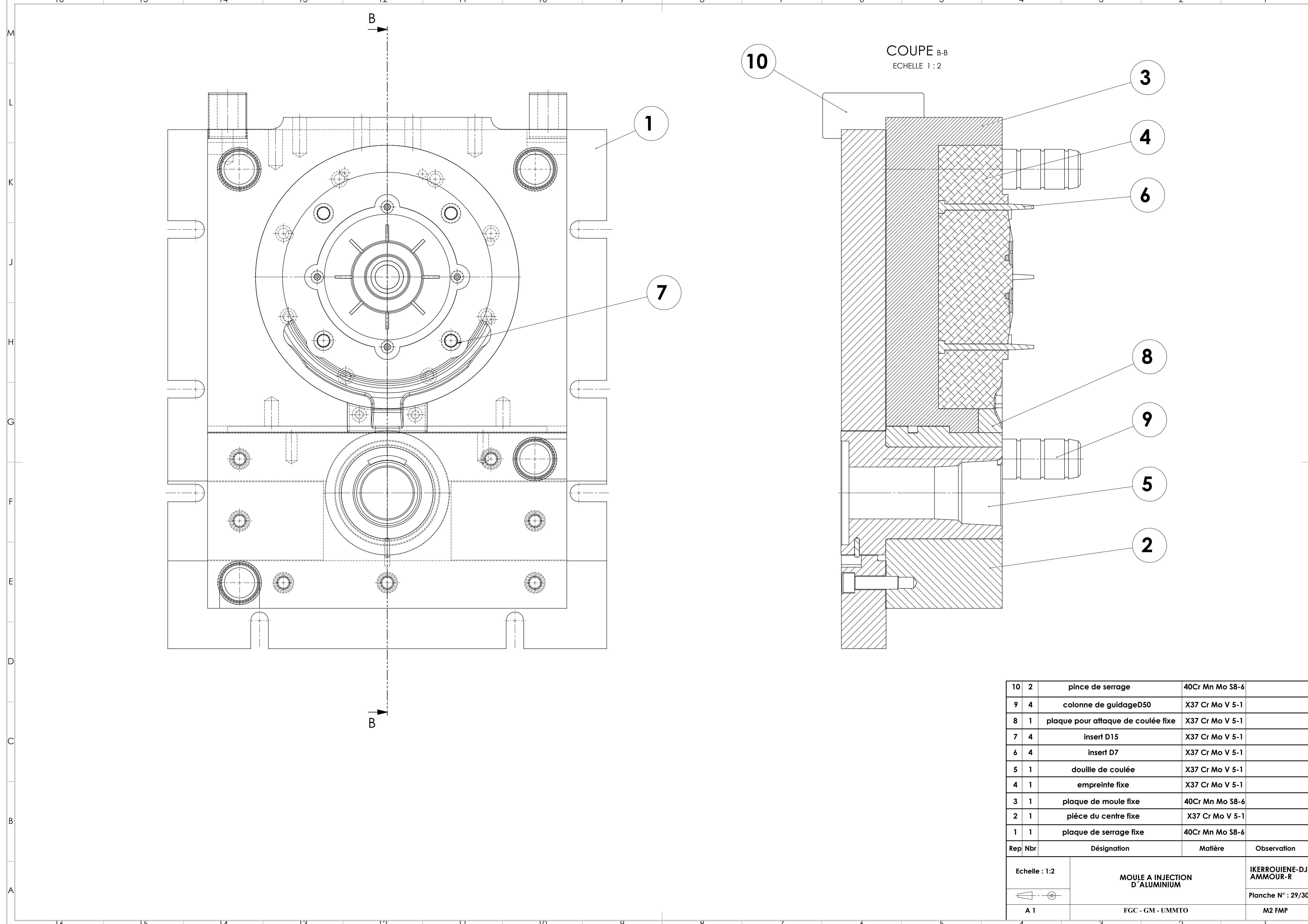
Ra=1.6
IT= : 0.2
sauf indication

Echelle : 1:1	empreinte fixe	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :27/30
A 1	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



Ra=1.6
IT=±0.2
sauf indication

Echelle : 1:1	empreinte mobile	IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
		Planche N° :28/30
A 1	FGC - GM - UMMTO	M2 FMP



10	2	pince de serrage	40Cr Mn Mo S8-6	
9	4	colonne de guidageD50	X37 Cr Mo V 5-1	
8	1	plaque pour attaque de coulée fixe	X37 Cr Mo V 5-1	
7	4	insert D15	X37 Cr Mo V 5-1	
6	4	insert D7	X37 Cr Mo V 5-1	
5	1	douille de coulée	X37 Cr Mo V 5-1	
4	1	empreinte fixe	X37 Cr Mo V 5-1	
3	1	plaque de moule fixe	40Cr Mn Mo S8-6	
2	1	pièce du centre fixe	X37 Cr Mo V 5-1	
1	1	plaque de serrage fixe	40Cr Mn Mo S8-6	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:2		MOULE A INJECTION D'ALUMINIUM		IKERROUIENE-DJ AMMOUR-R
				Planche N° : 29/30
A 1		FGC - GM - UMMTO		M2 FMP

