
RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDE

Sujet :

**ETUDE DE CONCEPTION D'UN MOULE POUR
UN SUPPORT DE TOUR A BOIS**

Présentée le jeudi 4 Avril 2019

Réalisé par :

BENTOUIMOU Mouad

BENABOUCHE Jaouad

BAYNAH Hamza

devant les jurés :

Pr. H .SALHI

Pr.TIZLIOUINE

Pr. EL OUMAMI

Année universitaire :2018/2019

Remerciements :

Avant d'entamer ce rapport, Nous tenons à remercier très sincèrement Pr. H. SALHI, notre encadrante au sein de l'ESTC, pour son aide et ses conseils qui nous ont permis de cerner et concrétiser notre projet de fin d'études et particulièrement pour la mise en œuvre de tout son savoir-faire, sa gentillesse et son soutien pour nous permettre de réaliser ce travail dans les meilleurs délais.

A l'occasion de ce travail nous adressons nos chaleureux remerciements à tous ceux qui ont contribué à l'accomplissement de ce projet.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département Génie mécanique et productique à l'ESTC pour leurs grands efforts qu'ils ont donnés pour garantir une bonne formation .

Nos vifs remerciements enfin à tous ceux, qui de près ou de loin, ont apporté une contribution à la réussite de nos travaux.

Sommaire

Remerciements	1
Introduction générale :	9
Chapitre 1: généralité sur le moulage et l'analyse fonctionnelle	10
Introduction	11
1-1) Définition des mots techniques utilisés dans le moulage :	11
1-2) Les avantages du moulage en sable :	12
1-3) Inconvénients du moulage en sable :	12
1-4) Différents types de moulage :	12
1-4-1) Les moules permanents :	13
1-4-2) Les moules non permanents (Moulage en sable) :	13
1-4-2-1) introduction :	13
1-4-2-2) gamme générale de moulage :	14
1-4-2-3) Sable utilisé :	16
1-4-2-4) Choix du modèle :	17
1-5) Cahier des charges proposé par l'encadrant :	18
1-5-1) Problématique :	18
1-5-2) Dessin de définition donné par l'encadrant :	19
1-5-3) Dessin de définition réalisé à l'aide de SolidWorks :	20
1-5-4) Fiche technique du matériau :	21
1-5-4-1) définition du matériau	21
1-5-4-2) Propriétés de l'alliage :	21
1-5-4-3) Avantages de l'alliage :	21
1-5-4-4) Les caractéristiques du matériau :	21
1-6) Justification de procédé :	22
1-6-1) Les critères qui commandent le choix sont :	22
1-6-2) Le choix selon le nombre minimal de pièces à fabriquer :	22
1-6-3) Le Choix selon l'épaisseur minimal et la plus grande dimension :	23
1-6-4) Choix selon la température de fusion du métal :	23
1-7) Analyse fonctionnelle :	24

1-7-1) Définition de la pièce : :	24
1-7-2) Analyse de besoin : :	24
1-7-2-1) Bête à corne : :	24
1-7-2-3) Diagramme pieuvre : :	25
1-7-2-4) Diagramme S.A.D.T : :	27
1-7-2-5) Diagramme F.A.S.T : :	27
Conclusion : :	28
Chapitre 2: conception du modèle en bois : :	29
Introduction	30
2-1) Choix du plan de joint : :	30
2-2) Détermination des trous à éliminer : :	31
2-3) Détermination de la surépaisseur d'usinage : :	31
2-4) Détermination de la dépouille	33
2-5) Détermination des rayons raccordements : :	36
2-6) Détermination du retrait : :	37
2-7) la conception de noyau : :	38
2-7-1) Détermination des dimensions du noyau : :	38
2-7-2) Dessin de définition du noyau : :	39
2-7-3) Dessin de la boîte de noyau : :	40
Conclusion : :	40
Chapitre 3 : la masselotte et le système de remplissage.	41
Introduction : :	42
3-1) Dimensionnement de la masselotte : :	42
3-1-1) définition de la masselotte : :	42
3-1-2) Décomposition de la pièce : :	43
3-1-3) Calcul des modules : :	44
3-1-4) Détermination du volume de masselotte : :	45
2) Système de remplissage : :	46
3- 2-1) Définition de système de remplissage : :	46
3-2-2) Les constituants du système de remplissage : :	46

3-2-3) Choix du mode de remplissage :	47
3-2-4) Calcul des paramètres du système de remplissage :	48
3-2-4-1) Détermination de la hauteur métallostatique :	48
3-2-4-2) Détermination de la hauteur initiale :	48
3-2-4-3) Détermination de la hauteur finale :	49
3-2-5) Détermination de la température de remplissage :	49
3-2-6) Calcul des sections du système de remplissage :	50
3-2-6-1) Détermination de l'Echelonnement :	50
3-2-6-2) Détermination de la section descente (Sd) :	51
3-2-6-3) Détermination de la section des canaux (Sc) :	52
3-2-6-4) Détermination de section des attaques (Sa) :	53
3-2-7) Dessin final du système de remplissage :	54
3-2-8) Conception des châssis :	55
conclusion:	56
Chapitre 4 :l'avant-projet d'étude fabrication et l'étude économique de ce projet.	57
Introduction :	58
4-1) l'avant-projet d'étude fabrication	58
4-1-1) Inventaire des contraintes dimensionnelles :	58
4-1-2) Les spécifications géométriques :	58
4-1-3) Identification des groupements de surfaces:	59
4-1-4) Graphe de liaison :	60
4-1-5) Gamme d'usinage :	60
4-2) Etude économique de projet :	64
4-2-1) Le cout de l'étude :	64
4-2-2) Le cout de la matière première :	64
4-2-2-1) le cout du sable : :	64
4-2-2-2) le cout d'alliage d'aluminium :	64
4-2-3) le cout de la réalisation :	65
4-2-3-1) La réalisation du modèle en bois :	65
4-2-3-2) Le cout de réalisation de la série des pièces :	65

Projet de fin d'étude

4-2-3-2-1) Le cout des machines utilisées :	65
4-2-3-2-1-1) Le cout de parachèvement :	66
4-2-3-2-1-2) Le cout d'usinage :	66
4-2-3-2-2) Le cout de main d'œuvre :	67
Conclusion :	67
Conclusion générale :	68
Annexe :	69
Bibliographie :	72

Liste des figures :

Figure 1: Moulage non permanent

Figure 2 : Exemple d'une pièce à mouler

Figure 3 : Exemple d'un modèle

Figure 4: Exemple d'un noyau et une boîte de noyau

Figure 5: Exemple d'un moule

Figure 6: Exemple d'un modèle avec le noyau

Figure 7: Figure : Dessin de définition donné par l'encadrant

Figure 8: Dessin de définition à l'aide de SolidWorks

Figure 9: Un abaque pour la justification de procédé

Figure 10: Support tour à bois

Figure 11: L'expression du besoin par bête à corne.

Figure 12: Les fonctions principales et secondaires de la pièce.

Figure 13 : Diagramme S.A.D.T pour le support tour à bois

Figure 14 : Diagramme FAST pour le support tour à bois

Figure 15: Dessin avec le plan de joint

Figure 16: Dessin avant l'élimination des trous

Figure 17: Dessin après l'élimination des trous

Figure 18: Dessin de la pièce avec les surépaisseurs

Figure 19: Vue de face de la pièce avec les dépouilles

Figure 20: Vue de dessus de la pièce avec les dépouilles

Figure 21: Dessin avec les rayons raccordements

Figure 22: Dessin pour déterminer les dimensions du noyau

Figure 23: Dessin de définition du noyau

Figure 24: La boîte de noyau

Figure 25: La décomposition des blocs

Figure 26: Dessin de la masselotte avec les relations

Figure 27: Dessin de la masselotte avec les dimensions

Figure 28: Les composant du système de remplissage

Figure 29: Le choix de système de remplissage

Figure 30 : Les différents paramètres de système de remplissage

Figure 31: Les sections des canaux

Figure 32 : Dessin final du système de remplissage

Figure 33 : Dessin final avec la masselotte et le système de remplissage et les châssis

Figure 34 : Graphe de liaison

Listes des tableaux :

Tableau 1 : Les caractéristiques du matériau.

Tableau 2 : Le choix de procédé selon le nombre de la pièce à fabriquer et la nature de l'alliage.

Tableau 3 : Choix selon la température de fusion du métal .

Tableau 4 : Classe des surépaisseurs d'usinage de Amax en fonction des dimensions des cotes

Tableau 5 : Des surépaisseurs d'usinage.

Tableau 6 : Les valeurs de Amax en fonction des dimensions des côtes.

Tableau 7 : Les valeurs des dépouilles.

Tableau 8 : Les cotes finales avec le retrait.

Tableau 9 : Le calcul de module de chaque bloc.

Tableau 10 : Les spécifications dimensionnelles .

Tableau 11: Les contraintes géométriques.

Tableau 12: La gamme d'usinage.

Tableau 13 : Le cout horaire des machines.

Tableau 14 : Le cout de parachèvement d'une seule pièce.

Tableau 15 : Le cout de réalisation de chaque phase.

Introduction générale :

Dans le cadre de finaliser notre formation de technicien supérieur à l'école supérieure de technologie de Casablanca, on nous propose un projet de fin d'étude dans le but de mettre en application notre connaissance technique, de créer un esprit du groupe et de travail collectif, en plus apprendre les étudiants à effectuer des recherches techniques, d'analyser des problématiques afin de trouver des solutions.

Notre projet consiste à concevoir un moule en sable pour un support de tour à bois en aluminium (AS13G) à partir du dessin de définition de la pièce en utilisant l'outil informatique SolidWorks.

Le moulage est un procédé d'obtention de pièces brutes qui consiste à couler par gravité ou sous pression, du métal fondu, obtenu par chauffage dans un four, dans un moule présentant une empreinte. Après solidification et refroidissement de l'alliage, on obtient les formes et les dimensions de la pièce souhaitées. Ce procédé de formage des métaux est utilisé dans de nombreux secteurs, les techniques utilisées dépendent du matériau, des dimensions et des caractéristiques géométriques de la pièce à obtenir, et des quantités à produire.

Une visite à MAFODER a été proposée par notre encadrant pour nous permettre de mieux approcher le domaine de fonderie et pour vérification des résultats obtenues par le calcul.

La pièce qui nous a été proposée, il s'agit d'étudier toutes les étapes de conception du moule.

Dans le premier chapitre nous proposons une généralité sur le procédé de moulage en sable, ainsi que l'analyse fonctionnelle afin d'élaborer un cahier des charges fonctionnelle, et dernièrement on va présenter un dessin de la pièce obtenu par SolidWorks.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception du modèle en bois de la pièce, après avoir choisir le plan de joint.

Dans le troisième chapitre on va faire une étude générale sur la masselotte et le système de remplissage.

Enfin, un chapitre sur l'étude économique et l'avant-projet d'étude de fabrication.

Chapitre 1: Généralité sur le **moulage et l'analyse** **fonctionnelle.**

Introduction :

Le moulage est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour produire, après refroidissement une pièce en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition. Cette technique est souvent la plus économique pour l'obtention de produits finis ou semi-finis et pour des pièces de formes complexes, des séries de pièces identiques ou pour des pièces massives.

1-1)Définition des mots techniques utilisés dans le moulage :

Le modèle : Objet destiné à être reproduit. Il est l'œuvre du modelleur.

Le moulage : le moulage consiste à fabriquer un moule généralement en matériaux réfractaires, qui porte l'empreinte en négatif de la pièce, cette empreinte est obtenue à partir d'un modèle reproduisant la pièce à fabriquer.

Le moule : ensemble des éléments en matériaux réfractaires délimitant l'empreinte et recevant le métal liquide qui, après solidification, donnera la pièce.

Le châssis : Cadre en bois destiné à maintenir le sable comprimé autour du modèle (fonderie en moule non permanent).

Le dépouille : c'est l'inclinaison des parois verticales d'un modèle ou d'une boîte à noyaux par rapport au sens de démoulage. Elle a pour but de faciliter l'extraction du modèle ou du noyau.

La masselotte : volume de métal liquide qui permet d'alimenter la pièce pendant la solidification. Les masselottes doivent être dimensionner de façon à se solidifier après la pièce.

Le plan de joint : Séparation entre les châssis. Une pièce peut être réalisée avec plusieurs châssis donc plusieurs plans de joint.

Le noyau : Réalisé en sable, il permet d'obtenir les formes intérieures. Il est réalisé dans une boîte à noyau (fonderie en moule non permanent).

L'évent : Canal destiné à faciliter l'échappement des gaz formés au moment où le métal chaud entre en contact avec la surface de l'empreinte.

Le décochage : opération qui consiste à libérer la pièce du moule lorsque le métal est solidifié.

1-2) Les avantages du moulage en sable :

Voilà quelques avantages de moulage en sable :

- Permet de réaliser des pièces de formes complexes.
- Permet de réaliser des formes intérieures et extérieures.
- On peut réaliser des pièces de très grande dimension.
- Certains procédés de moulage permettent une production en grandes séries.

1-3) Inconvénients du moulage en sable :

Voilà quelques inconvénients de moulage en sable :

- Limitation des propriétés mécaniques des pièces (matériau).
- Faible précision dimensionnelle.
- Mauvais état des surfaces pour certains procédés (ex : moulage en sable).
- Procédés dangereux du fait de la manipulation de métaux en fusion.
- Problèmes environnementaux (fumées...).

1-4) Différents types de moulage :

Moulage non permanent :

- Moulage en sable .
- Moulage en carapace.
- Moulage à la cire perdu.

Moulage permanent :

- Moulage en coquille .
- Moulage par centrifuge.
- Moulage en coulée continue .

1-4-1) Les moules permanents :

Métalliques, réutilisables plusieurs fois, ce qui les rend bien adaptés aux fabrications de grande série. Le moulage par centrifugation et en coquille gravité est utilisé pour certaines fabrications en alliages ferreux. Les alliages d'aluminium, de magnésium et de zinc sont dans leur très grande majorité coulés en moules métalliques par les procédés sous pression, coquille gravité, coquille basse pression.

1-4-2) Les moules non permanents (Moulage en sable) :

1-4-2-1) introduction :

Fabriqués en sable ou en céramique. Après la coulée et la solidification du métal, ils doivent être désagrégés pour libérer les pièces.

Le matériau est coulé dans un moule en sable qui sera détruit après l'élaboration de chaque pièce. Ce dernier est fabriqué en une ou plusieurs parties : chacune d'elles dispose d'une empreinte donnant la forme de la pièce tracée par un modèle (en bois, métallique...) enfoncé dans le sable. Lorsque la pièce a des formes intérieures (trous), on insère dans le moule un noyau en sable qui y sera maintenu puis détruit après démoulage de la pièce.

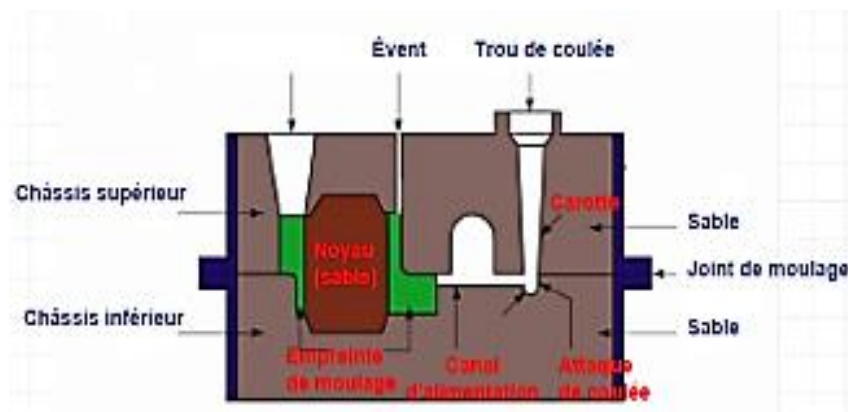


Figure1 :moulage non permanent.

1-4-2-2) gamme générale de moulage :

Etape 1 : Lecture du dessin

Lire le cahier des charges, le dessin de définition de la pièce et choisir le plan de joint (qui n'est autre que la ligne de séparation des deux châssis: c'est une surface qui contient la plus grande section ou le plan de symétrie de la pièce).

Etape 2 : Croquis du modèle

(il faut penser à ajouter le retrait, les surépaisseurs d'usinage et les dépouilles)

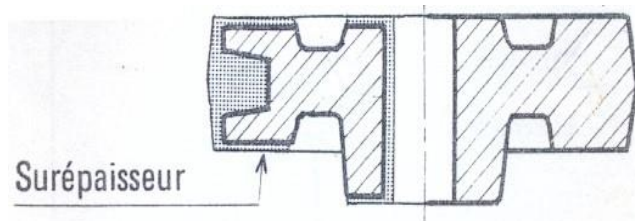


Figure 2: Exemple d'une pièce à mouler.

Etape 3 : Confection du modèle par le modelleur.

Il est à noter que:

- Pour les petites séries, le modèle est en bois,
- Pour les grandes séries, le modèle est métallique, usiné et poli.

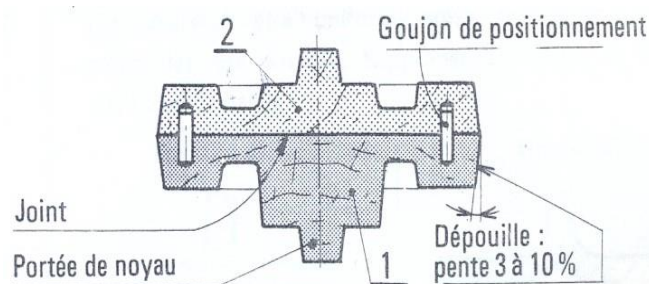


Figure 3 : Exemple d'un modèle.

Etape 4 : Confection du noyau et la boîte à noyau par le modelleur

Le noyau est confectionné en sable auto-siccant dans une boîte à noyau. Il est ensuite cuit à l'étuve pour lui donner une solidité lui permettant de résister à l'érosion du métal en fusion et aux efforts de compression qu'il subit lors de refroidissement de la pièce.

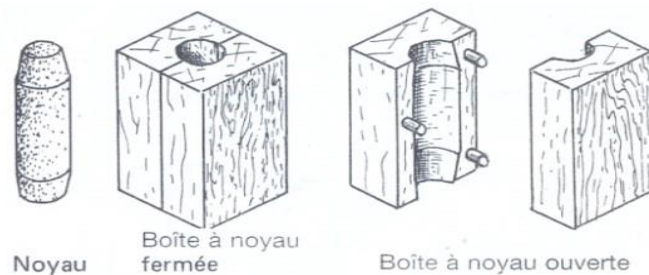


Figure 4 : Exemple d'un noyau et une boîte de noyau.

Etape 5 : Confection de la partie inférieure du moule

Il faut prendre la première partie du modèle, la positionner sur un marbre, placer le premier châssis sur le même marbre, tasser du sable dans le châssis.

Etape 6 : Confection de la partie supérieure du moule

Il faut retourner la partie inférieure élaborée à l'étape 4, positionner la deuxième partie du modèle moyennant les goujons de positionnement, placer le deuxième châssis sur le premier et assurer le serrage, placer le mandrin de coulée, le mandrin d'évent, la masselotte et tasser du sable dans le deuxième châssis.

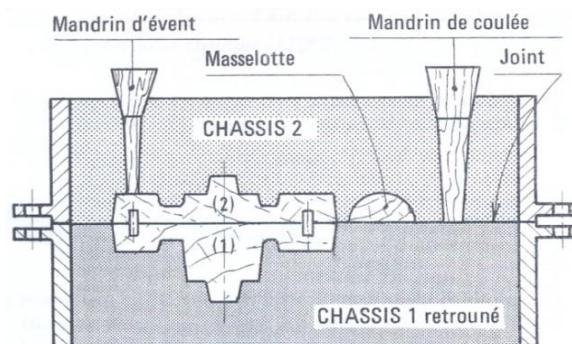


Figure 5 : Exemple d'un moule.

Etape 7 : Le remoulage

Ouvrir le moule, extraire le modèle, creuser les passages du métal, placer le noyau, refermer le moule.

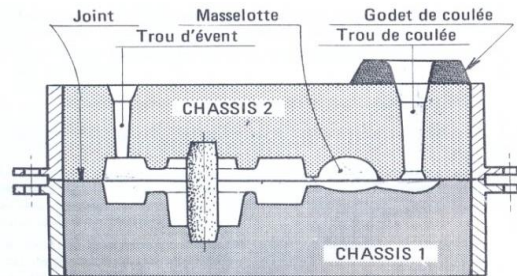


Figure 6 : Exemple d'un modèle avec le noyau.

Etape 8 : Le décochage

Après solidification et refroidissement du métal, le moule est placé sur une grille vibrante qui désagrége le sable et le noyau.

Etape 9 : L'ébarbage

La pièce est débarrassée des bavures, des jets de coulée, de l'évent et de la masselotte puis nettoyée à la brosse ou au jet de sable.

4-2-3) Sable utilisé :

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

- avoir une surface aussi fine que possible.
- reproduire fidèlement la pièce modèle.
- résister à la température de coulée élevée du métal (présenter une température de ramollissement supérieure à la température de fusion de l'alliage).
- résister à l'érosion du métal liquide.
- ne pas s'opposer au passage des gaz produits au moment de la coulée.
- récupérable: une économie de matériaux est assurée par recyclage des sables, après régénération et contrôle de ses caractéristiques.

On en cite:

le sable auto-siccatif (mélange de silice + huile siccative (tel que l'huile de lin)) qui durcit sous l'action de l'air.

le sable au silicate de soude qui durcit sous l'action du gaz carbonique (CO₂) et peut être utilisé pour la confection des noyaux.

Sa composition est généralement de :

- 70 à 80% de silice => support
- 5 à 15% d'argile => agglutinant
- 7 à 10% d'eau
- 3 à 5% d'impuretés (oxyde de fer, matières organiques, etc.)

4-2-4) Choix du modèle :

Suivant le type d'utilisation, on utilisera différents modèles :

- En bois tendre : unitaire à petite série (20 pièces). Modèle non réutilisable.
- En bois mi-dur à dur : jusqu'à 150 pièces.
- En bois renforcé métal ou plastique : jusqu'à 250 pièces.
- Modèle métallique : jusqu'à 10 000 pièces (usure).
- Modèle métallique modulaire : au-delà de 10 000 pièces. Permet le remplacement des éléments usés.

Remarques ;

Dans le cas où la pièce à mouler comporte des parties évidées, celles-ci sont réalisées à l'aide de noyaux en sable placés dans le moule au moment de sa fermeture. Le noyau doit être positionné pour éviter son écrasement. Le noyau doit résister aux efforts engendrés par la pression du métal en fusion dans le moule.

1-5) Cahier des charges proposé par l'encadrant :

1-5-1) Problématique :

Notre projet consiste à faire un dessin de définition d'un support de tour à bois en alliage d'aluminium (AS13G) à l'aide de SolidWorks, à concevoir le modèle de la pièce en bois pour le moulage en sable, faire la gamme d'usinage afin d'obtenir la pièce finie, et finalement faire une étude économique.

Objectifs du projet de fonderie :

- ✓ Création des géométries compatibles avec le procédé de fabrication.
- ✓ Création de l'habillage du moule avec ses accessoires.

Compétences visées :

- ✓ Etude du moulage en sable, pour des pièces métalliques.
- ✓ Maîtriser de nouveaux éléments de connaissance.
- ✓ Vocabulaire technique adapté au moulage.
- ✓ L'application du phénomène de la gravité sur un corps liquide chaud.
- ✓ La notion de retrait.
- ✓ L'alimentation au refroidissement...

Savoir-faire :

- ✓ Placer le plan de joint.
- ✓ Installer les surépaisseurs d'usinages.
- ✓ Positionner les dépouilles.
- ✓ Rayonner toutes les arêtes.
- ✓ Réaliser le dessin de définition coté du noyau.
- ✓ Installer les canaux d'alimentation.
- ✓ Le trou de coulée.
- ✓ Les événements.
- ✓ Les masselottes.
- ✓ Les châssis...

La pièce à étudier :

La pièce dont notre projet vise à réussir sa conception est un support de tour à bois (poupée mobile), le matériau par lequel la pièce est fabriquée est l'alliage d'aluminium AS13G, en une série de 50 pièces. Nous avons pu dessiner cette pièce à l'aide de logiciel SolidWorks.

1-5-2) Dessin de définition donné par l'encadrant :

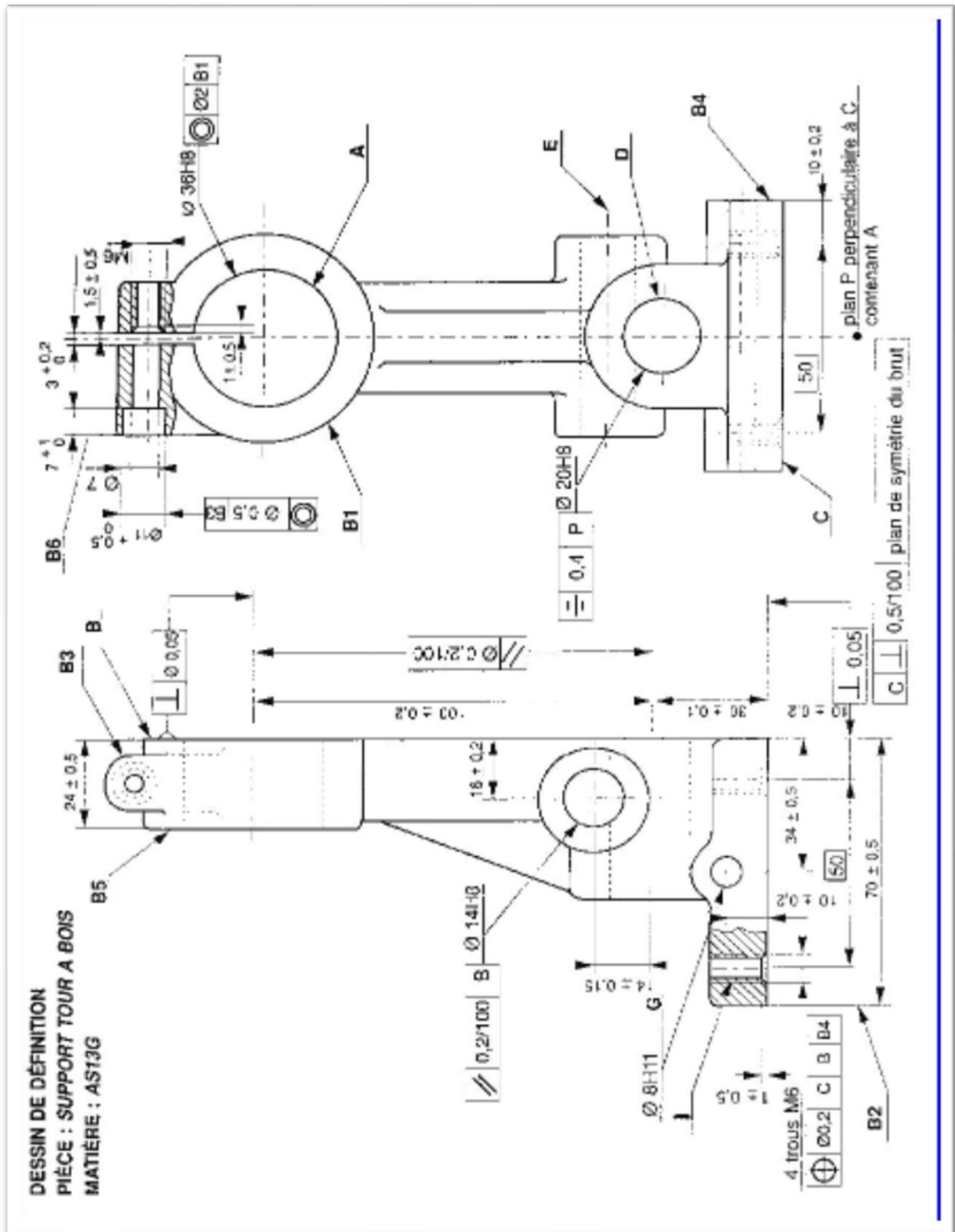
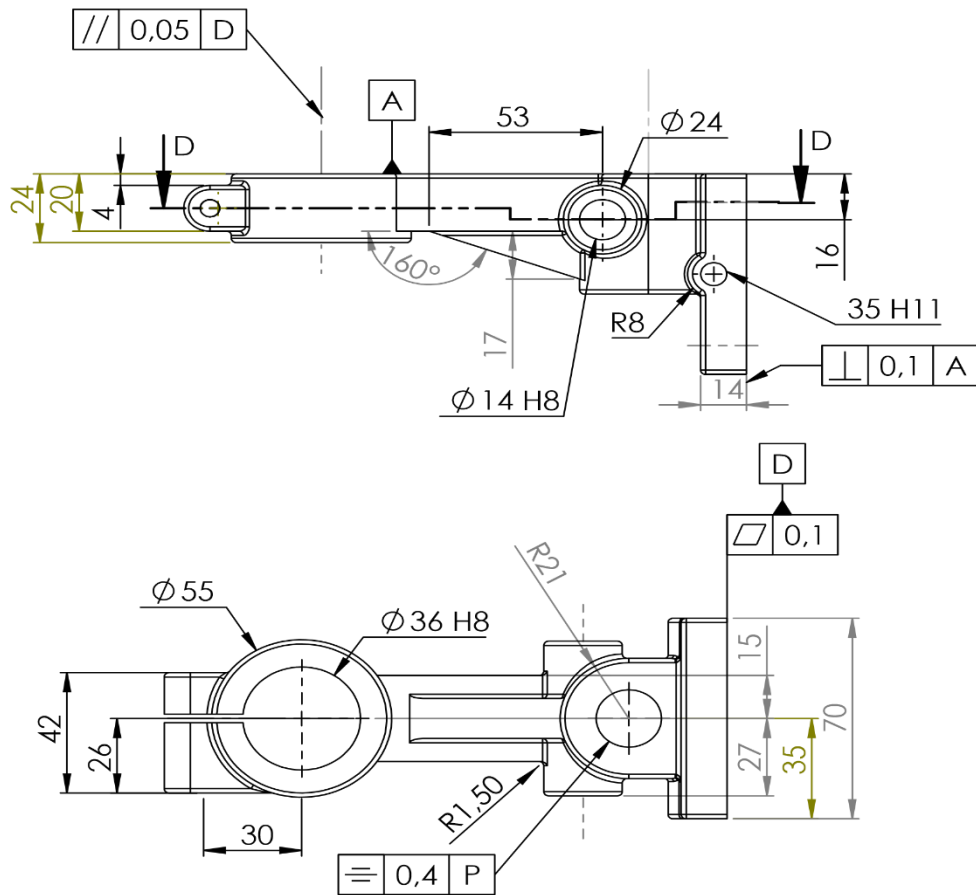


Figure 7 : Dessin de définition donné par l'encadrant.

1-5-3) Dessin de définition réalisé à l'aide de SolidWorks :



Echel 1:2	SUPPORT TOUR A BOIS	Baynah Hamza Bentouimou Mouad Benabouche Jaouad
		AS13G
A4	Ecole Supérieure de Technologie de Casablanca	09.02.2019

Figure 8 : dessin de définition à l'aide de SolidWorks.

1-5-4) Fiche technique du matériau :

1-5-4-1) définition du matériau

Alliage d'aluminium contenant 13% de silicium et quelque trace de magnésium.

1-5-4-2) Propriétés de l'alliage :

Parmi les propriétés de ces alliages d'aluminium sont multiples : légèreté, bonne résistance à l'oxydation, excellente tenue à la corrosion, bonne conductivité électrique et thermique, facilité d'usinage, bonnes caractéristiques de finition.

1-5-4-3) Avantages de l'alliage :

- Alliages traitables thermiquement/pour moulage au sable, en coquille ou sous pression.
- Résistance élevée ; quelques alliages avec une résistance à la fatigue élevée.
- Applications typiques pour pièces d'automobiles (pistons, pompes) et pièces électriques.
- Résistance à la rupture typique comprise entre 131 et 275 MPa.

1-5-4-4) Les caractéristiques du matériau :

Type d'alliage	Hypoeutectique de deuxième fusion
Intervalle solidification	520°C – 590°
Coefficient de dilatation	21.7 x 10 ⁻⁶ m/mK
Module d'Young	76 GPa
Masse volumique	2.78 g/cm ³
Conductivité thermique	105 W/m.K
Vitesse de solidification	50°C/s
Dureté	80 HB
Résistance aux chocs	4 J

Tableau 1 : Les caractéristiques du matériau.

1-6) Justification de procédé :

1-6-1) Les critères qui commandent le choix sont :

- Les caractéristiques mécaniques et physiques de (ou des) alliages constituant la pièce moulée ;
- Les exigences concernant l'état des surfaces non usinées de la pièce moulée ;
- Les formes et les dimensions de cette pièce ;
- Les considérations économiques telles que les délais imposés, le volume des séries, la nécessité et (ou), les possibilités d'automatisation des tâches .

1-6-2) Le choix selon le nombre minimal de pièces à fabriqué :

Le tableau ci-dessous présente le choix de procédé selon le nombre de la pièce à fabriquer et la nature de l'alliage :

PROCEDES DE MOULAGE		Fontes	Aciers	all. Cu	all. Al	all. Mg	all. Zn
Moules non permanents	à vert à la main	1	1	1	1	1	1
	à vert à la machine	10 à 50	10 à 50	10 à 50	10 à 50	50	10 à 50
	moule rigide en sable aggloméré	1	1	1	inutilisé	10 à 50	inutilisé
	par noyaux extérieurs	20	20	inutilisé	inutilisé	inutilisé	inutilisé
	en sable liquide	1	1	1	inutilisé	inutilisé	inutilisé
	en carapace	500 à 1000	500 à 1000	500	500	inutilisé	inutilisé
	cire perdue	500	50 aciers spé.	Inutilisé	50	100	inutilisé
	modèle perdu en polystyrène	1	1	1	inutilisé	inutilisé	inutilisé
Moules permanents	coquille par gravité	250 à 1000	Inutilisé	200 à 300	500	500	500
	base-pression	inutilisé	Inutilisé	Inutilisé	1000	500	inutilisé
	sous-pression	Inutilisé	Inutilisé	2000	2000	5000	2000
	Centrifugation	200 à 1000	200 à 1000	200 à 1000	inutilisé	inutilisé	inutilisé

Tableau 2 : le choix de procédé selon le nombre de la pièce à fabriquer et la nature de l'alliage.

Interprétation :

On peut conclure que le moulage à vert à la machine est plus favorable car on a une série de 50 pièces et un alliage d'aluminium .

1-6-3) Le Choix selon l'épaisseur minimal et la plus grande dimension :

Cette figure représente la justification du procédé selon l'épaisseur minimal et maximal :

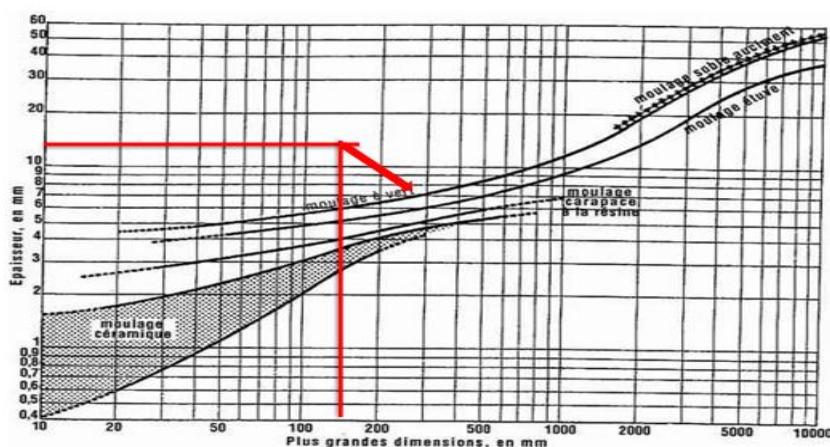


Figure 9 : un abaque pour la justification de procédé.

Interprétation :

Pour notre pièce la plus grande dimension est 162mm et l'épaisseur minimale est 4 mm, Donc le choix de procédé c'est un moulage en vert .

1-6-4) Choix selon la température de fusion du métal :

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

METAUX ET TEMPERATURES DE FUSION	MOULAGE
<ul style="list-style-type: none"> - Fontes : 1100°C à 1250°C - Aciers : 1200°C à 1500°C 	<ul style="list-style-type: none"> - Moulage en sable avec ou sans noyau. - Moulage à la cire perdue - Moulage en coquille
<ul style="list-style-type: none"> - Cuivre et ses alliages : Laiton : 940°C - Aluminium et ses alliages : environ 610° C 	<ul style="list-style-type: none"> - Moulage en sable : pour les grosses pièces. Exemples : <ul style="list-style-type: none"> • cloches en bronze • hélices de bateaux pour les petites séries.

Tableau 3 : Choix selon la température de fusion du métal .

Interprétation :

D'après le tableau on peut conclure que notre procédé c'est le moulage en sable car on a un alliage d'aluminium.

1-7) Analyse fonctionnelle : Support tour à bois

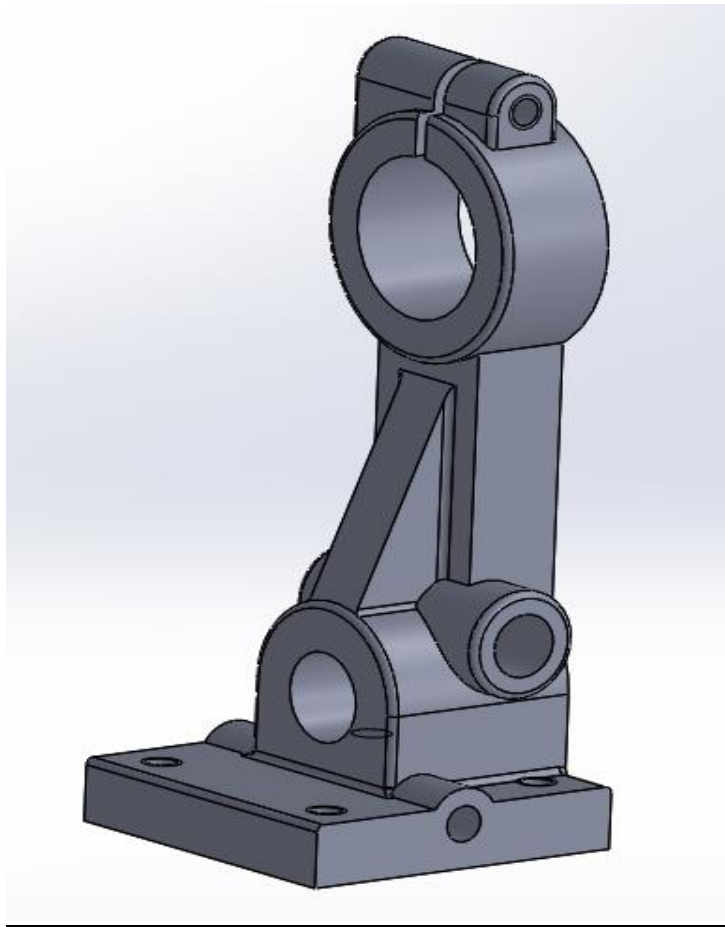


Figure 10: support tour à bois

1-7-1) Définition de la pièce :

La pièce présentée dans la figure est un support du contre point du tour à bois, le matériau utilisé est ALS13G.

1-7-2) Analyse de besoin :

1-7- 2-1) Bête à corne :

Cet outil a pour objectif de représenter graphiquement l'expression du besoin à travers 3 questions simples autour du sujet étudié :

- Sur quoi agit-il ?
- Dans quel but ?
- A qui rend le service ?

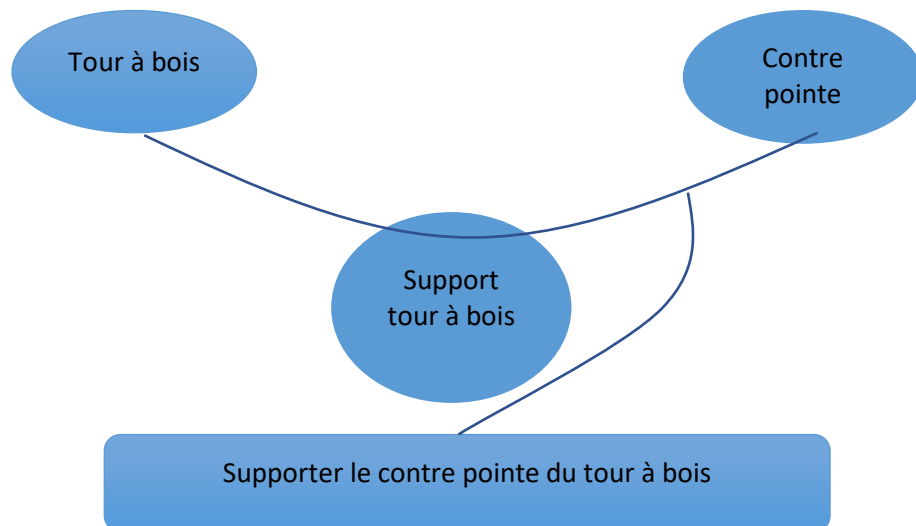


Figure 11 : L'expression du besoin par bête à corne.

Interprétation :

Pour interpréter le diagramme on doit répondre aux questions suivantes :

- Pourquoi le produit existe-il ?

Pour supporter le contre point.

- Comment peut-on l'évaluer ?

Deux paramètres :

Le matériau utilisé.

La conception la pièce.

- Qu'est ce qui pourrait le disparaître ?

Le développement technologique.

1-7-2-3) Diagramme pieuvre :

C'est un outil qui visualise les fonctions du système, il y a les fonctions principales, qui sont notées FP, qui représentent l'action d'un élément du milieu extérieur sur un autre milieu, par l'intermédiaire du système. Ensuite, il y a les fonctions contraintes, qui sont notées FC, et qui représentent l'action d'un élément du milieu extérieur sur le système ou réciproquement.

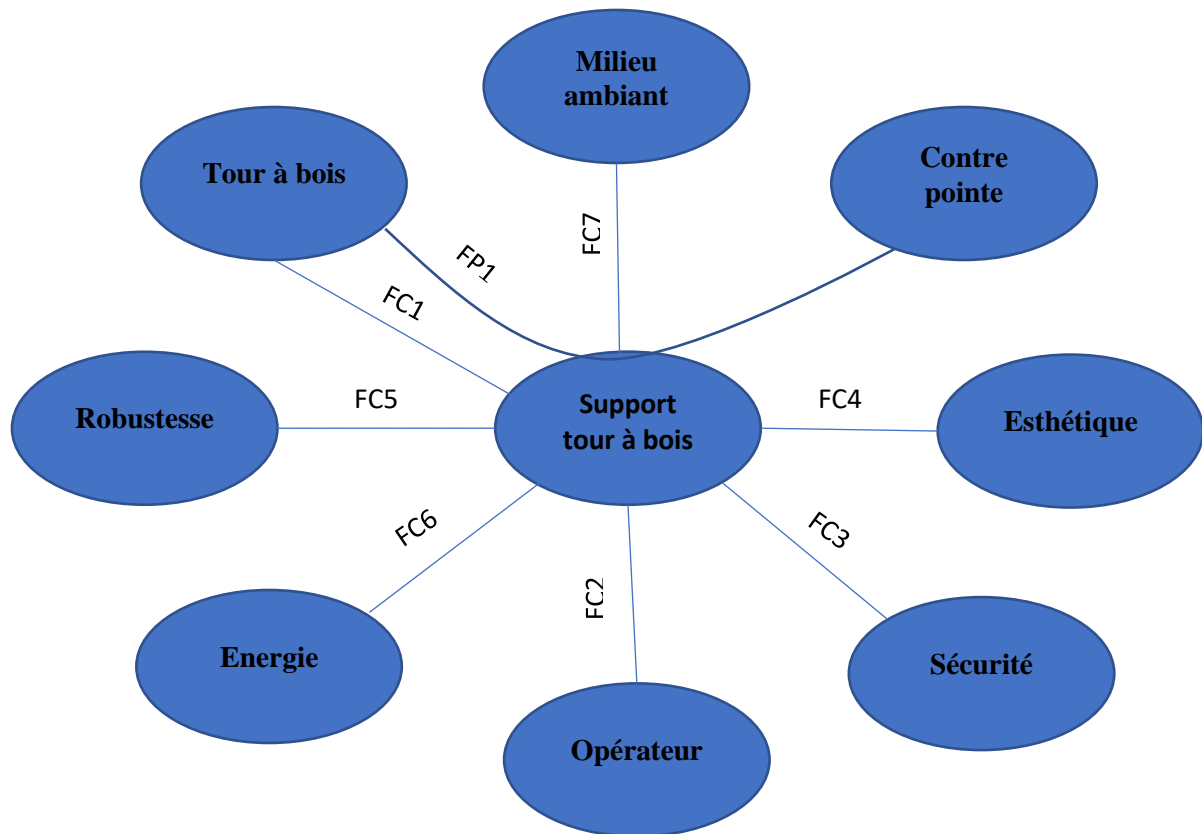


Figure 12 : les fonctions principales et secondaires de la pièce.

Interprétation des fonctions :

➤ Fonction principale : FP ; Fonction contraintes : FC

FP1	Supporter la contre pointe.
FC1	Fonctionnement avec liaison glissière
FC2	Être facile à manipuler, monter et à démonter.
FC3	Respecter les normes de sécurité.
FC4	S'adapter au décor
FC5	Volume convenable
FC6	Fonctionner en énergie mécanique de translation
FC7	Respecter les contraintes d'environnement

1-7- 2-4) Diagramme S.A.D.T :

L'acronyme S.A.D.T signifie : (**S**tructured **A**nalysis and **D**esign **T**echnic). Cette méthode a été mise au point par la société Softech aux Etats Unis. La méthode SADT est une méthode d'analyse par niveaux successifs d'approche descriptive d'un ensemble. On peut appliquer le SADT à la gestion d'une entreprise tout comme à un système automatisé.

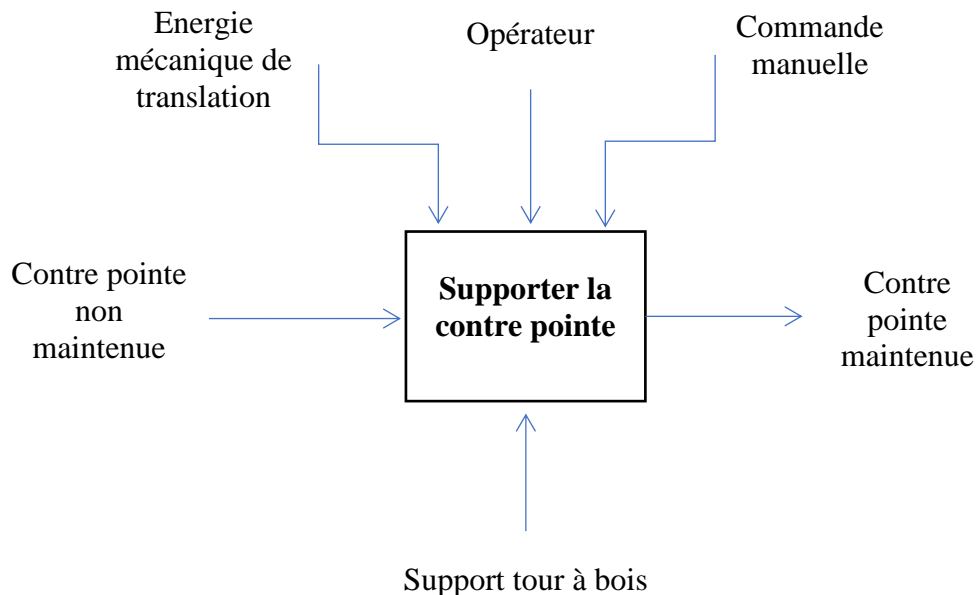


Figure 13 : Diagramme S.A.D.T pour le support tour à bois

Interprétation :

Le support tour à bois doit être alimenté par l'énergie mécanique de translation qui donnée par la commande manuelle de l'opérateur pour pousser le contre point afin de réaliser le maintien en position de la pièce.

1-7- 2-5) Diagramme F.A.S.T :

Un diagramme FAST (Functional Analysis System Technique) présente une décomposition hiérarchisée des fonctions du système allant des fonctions de service (fonctions en lien avec le milieu extérieur) et passant par les fonctions techniques (fonctions internes au système) jusqu'à l'énoncé des solutions technologique employées ou prévues pour remplir les fonctions techniques.

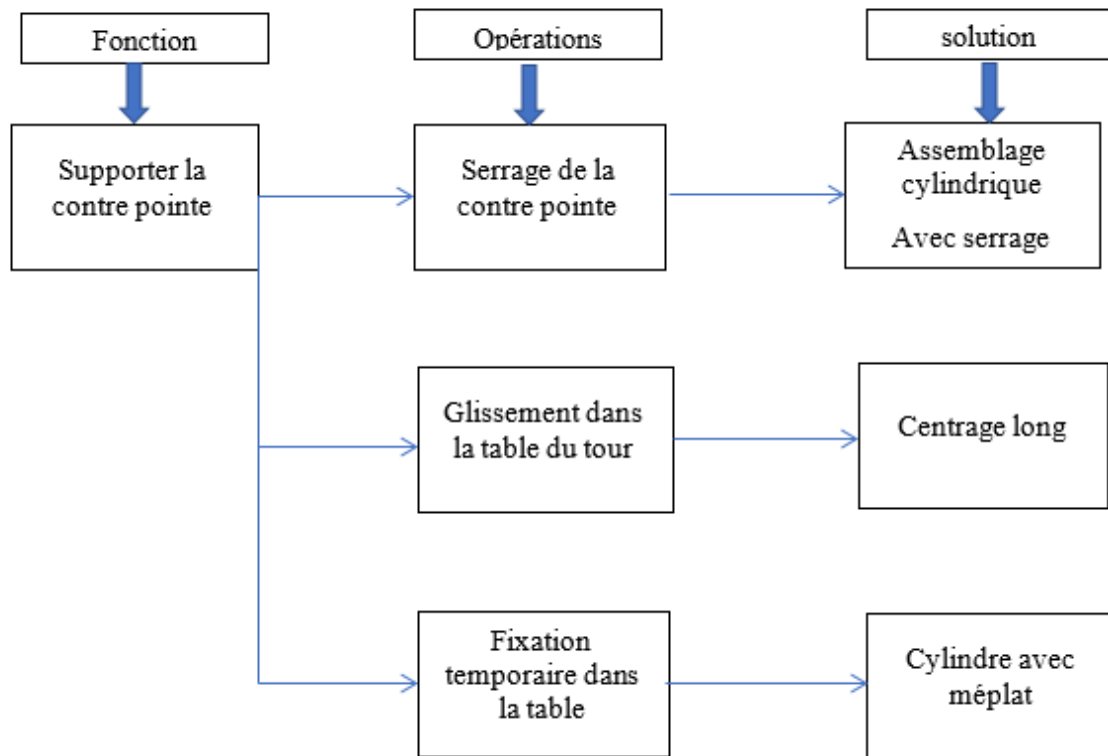


Figure 14 : Diagramme FAST pour le support tour à bois

Interprétation :

La fonction principale de la pièce est de supporter la contre pointe à l'aide d'un assemblage cylindrique avec un serrage, pour assurer le glissement sur la table on va utiliser un centrage long, et pour la fixation temporaire dans la table on utilise un cylindre avec un méplat.

Conclusion :

Les procédés de moulage ont chacun des caractéristiques bien précises d'emploi qui les destinent préférentiellement à certain type de production, et selon notre cahier des charges on a choisi le moulage en sable.

Et aussi d'après l'analyse fonctionnelle on a conclu que la pièce fonctionne comme un support du contre pointe du tour à bois .

Chapitre 2: Conception du modèle en bois.

Introduction :

La pièce à mouler est un support de tour à bois réalisé en alliage d'aluminium (AlSi13Mn) dans un moule en sable. C'est pour cela on doit faire une étude de modèle en bois qui va laisser l'empreinte dans le sable.

Pour cela on a consacré ce chapitre pour la conception du modèle en bois de la pièce, après avoir choisi le plan de joint .

2-1) Choix du plan de joint :

Le plan de joint est le plan de coupe qui limite les différentes parties d'un moule et sépare les deux châssis, il dépend de la forme de la pièce à mouler, il faut bien choisir le plan de joint pour démouler la pièce sans se casser ou endommager le moule.

Pour notre cas nous avons choisis le plan de symétrie comme plan de joint.

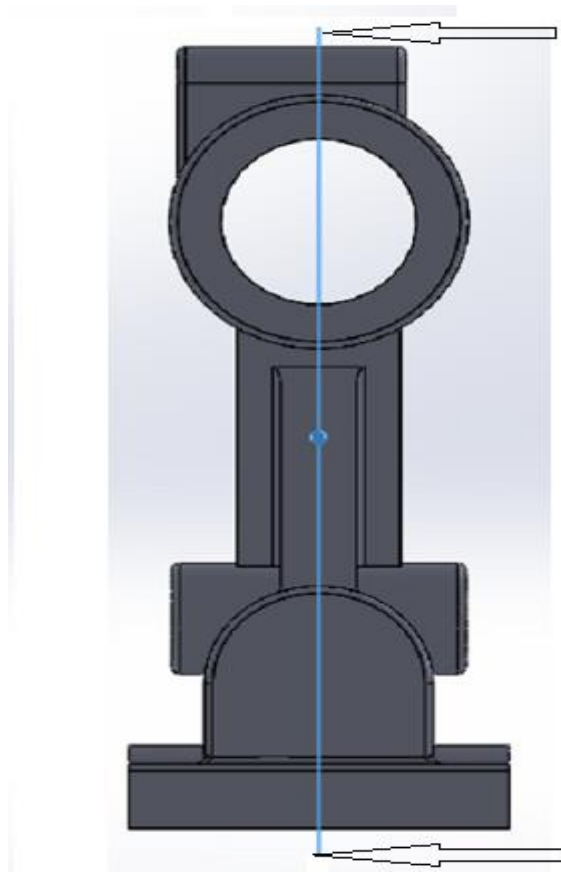


Figure 15 : dessin avec le plan de joint

2-1-2) Détermination des trous à éliminer :

Pour des contraintes économiques il faut éliminer les trous dont le diamètre est inférieur à 20 mm, Dans notre cas on a éliminé les trous de diamètre ($\Phi 20$; $\Phi 14$; 4 x $\Phi 6$; $\Phi 11$; $\Phi 8$).

Voici modèle avant et après élimination des trous :

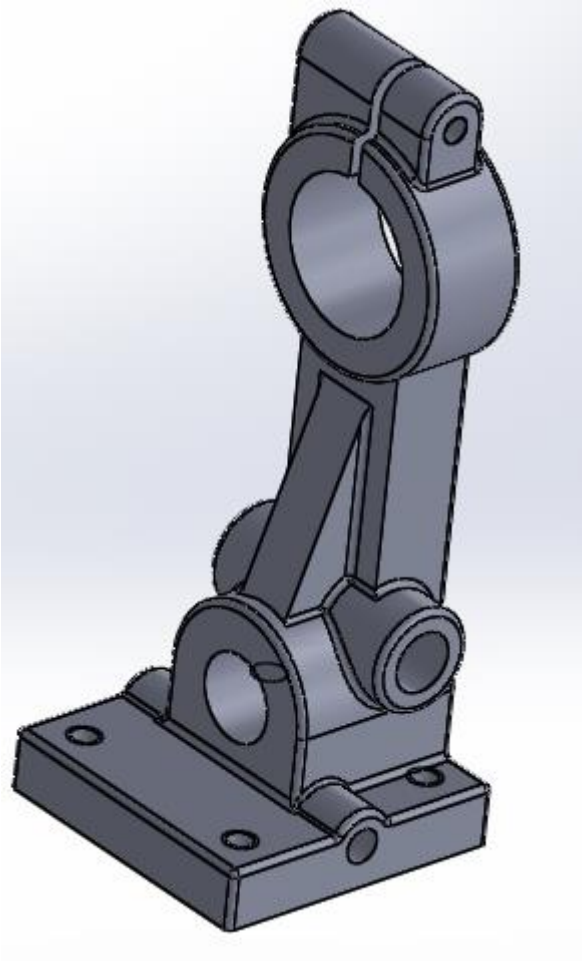


Figure 16 : Dessin avant l'élimination des trous.

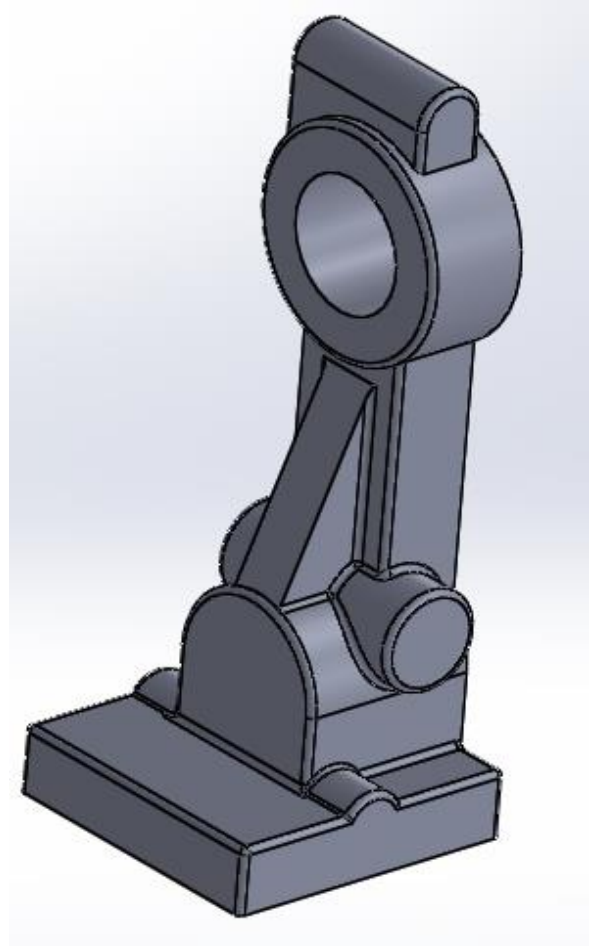


Figure 17 : dessin après l'élimination des trous.

2-3) Détermination de la surépaisseur d'usinage :

La surépaisseur d'usinage permet d'assurer la présence de matière afin d'avoir une épaisseur de coup supérieur au coupeau minimum pour les surfaces usinées.

Le calcul de surépaisseur dépend de type de moulage et la nature du matériau et la cote la plus large de la pièce .

Projet de fin d'étude

Type de moulage	Classe des surépaisseurs d'usinage spécifiées								
	Métaux et alliages de coulée								
	Acier	Fonte grise	Fonte à graphite sphéroïdale	Fonte malléable	Alliage de cuivre	Alliage de zinc	Alliages de métaux légers	Alliages à base de nickel	Alliages à base de cobalt
Moulage en sable à la main	G à K	F à H	F à H	F à H	F à H	F à H	F à H	G à K	G à K
Moulage en sable mécanique et moulage en carapace	F à H	E à G	E à G	E à G	E à G	E à G	E à G	F à H	F à H

Tableau 4 : classe des surépaisseurs d'usinage.

Interprétation :

On a le matériau est l'aluminium donc on est dans la classe des alliages de métaux légers. Et on a une série de 50 pièces alors le moulage est fait à la main donc notre classe est de F à H.

Surépaisseurs d'usinage											
Cote la plus large (mm)		Classe des surépaisseurs d'usinage spécifiées									
Au dessus de	Jusqu'à et y compris	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
-	40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1	1,4
40	63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2
63	100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
100	160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6
160	250	0,3	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8
250	400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10
400	630	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6	9	12
630	1000	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14
1000	1600	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16
1600	2500	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,5	6	9	13	18
2500	4000	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20
4000	6300	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16	22
6300	10000	1,1	1,5	2,2	3	4,5	6	9	12	17	24

Tableau 5 : des surépaisseurs d'usinage.

Interprétation :

On a la cote la plus large est : 172mm, donc on est dans l'intervalle 160mm et 250mm.

A partir des tableaux ci-dessous, nous avons trouvé les résultats de surépaisseur suivantes :
(2mm ; 2.8mm ; 4 mm).

Donc notre surépaisseur est :

Surépaisseur d'usinage = 4mm

Dessin qui montre les surépaisseurs ajoutées (les surépaisseurs sont en rouges):

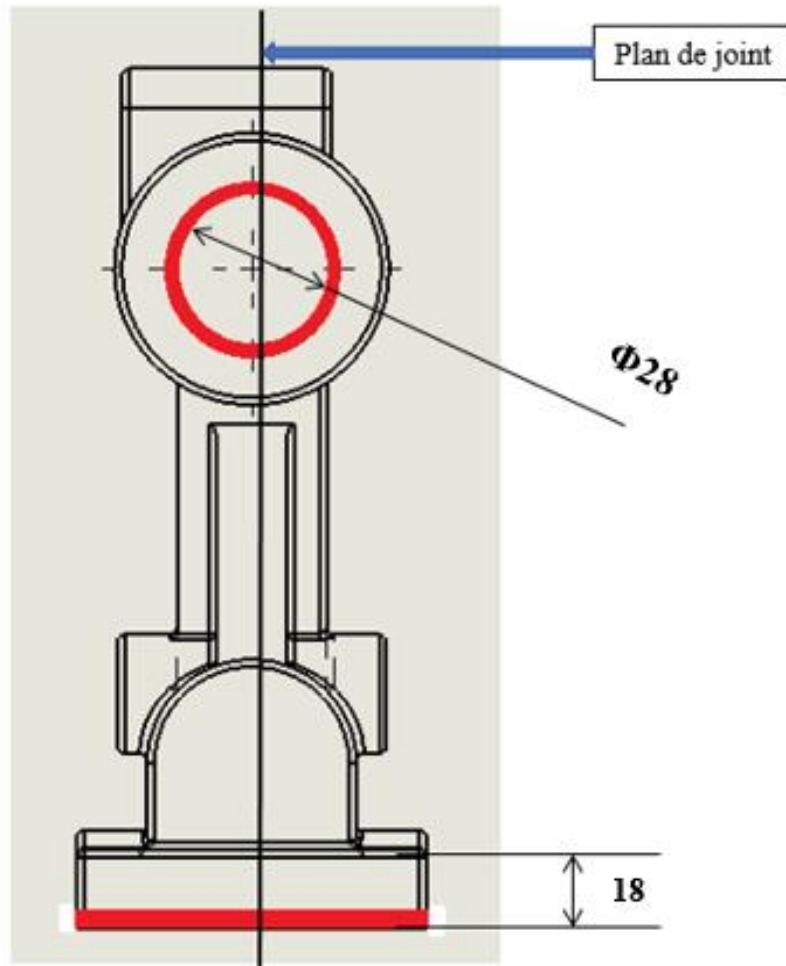


Figure 18: dessin de la pièce avec les surépaisseurs

2-4) Détermination de la dépouille

Pour faciliter l'extraction de la pièce et pour ne pas détruire le moule, notre modèle nécessite des dépouilles sur les surfaces perpendiculaires au plan du joint.

Méthode de calcul :

$$\text{Angle de dépouille} = \arctg\left(\frac{\text{DimensionAmaxi}}{\text{Dimension}}\right)$$

Le tableau ci-dessous montre les valeurs de Amax en fonction des dimensions des cotes :

Dimension	Dimension A(MAX)
18 inclus	1
>18 30 inclus	1.5
>30 50 inclus	2
>50 120 inclus	2.5
>120 315 inclus	3.5
>315 630 inclus	6
>630 1000 inclus	9

Tableau 6 : les valeurs de Amax en fonction des dimensions des cotes

Les valeurs des dépouilles sont résumées dans le tableau ci-dessous :

La cote	Dimension Amaxi	Angle de dépouille en degré
35	2	3,27
16	1	3.6
15	1	3.81
26	1,5	3,3
27	1,5	3,18
21	1,5	4,08
55	1,5	3,12

Tableau 7 : Les valeurs des dépouilles

Remarque :

Lors de la visite à la société MAFODER, les techniciens nous ont informé qu'en pratique ils prennent 3 degrés de dépouille pour l'aluminium. C'est pour cela on a pris 3 degrés sur toutes les côtes.

La figure ci-dessous montrent en rouge les différentes dépouilles dans notre modèle :

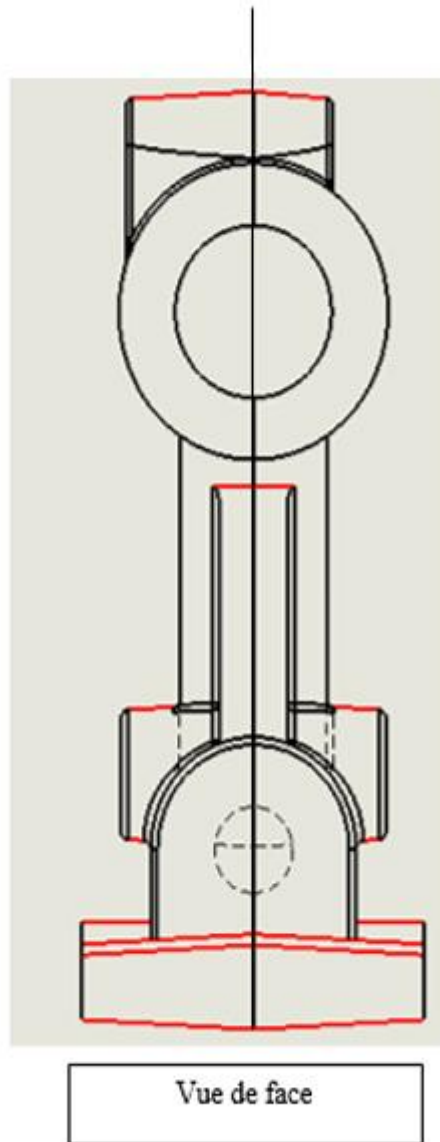


Figure 19 : vue de face de la pièce avec les dépouilles .

2-5) Détermination des rayons raccordements :

Pour faciliter l'extraction du modèle sans endommager ou avoir des fissures dans le moule notre modèle nécessite des arrondies sur tous les angles vifs.

Notre pièce contient des raccordements de forme L et de forme T.

Méthode de calcul pour la forme L (d'après l'annexe 1) :

On a $e = 14$; $E = 42$

Et $0,8 \times E = 0,8 \times 42 = 33,6$ alors $e < 0,8 \times E$

C'est-à-dire : $r = (e + E) / 2 = (14 + 42) / 2 = 28 \text{ mm}$

Méthode de calcul pour la forme T (d'après l'annexe 2) :

On a $e = 14$; $E = 42$

Et $1,6 \times e = 1,6 \times 14 = 22,4$ alors $E > 1,6 \times e$

C'est-à-dire : $r = e = 14 \text{ mm}$

Le dessin ci-dessous montre les raccordements :

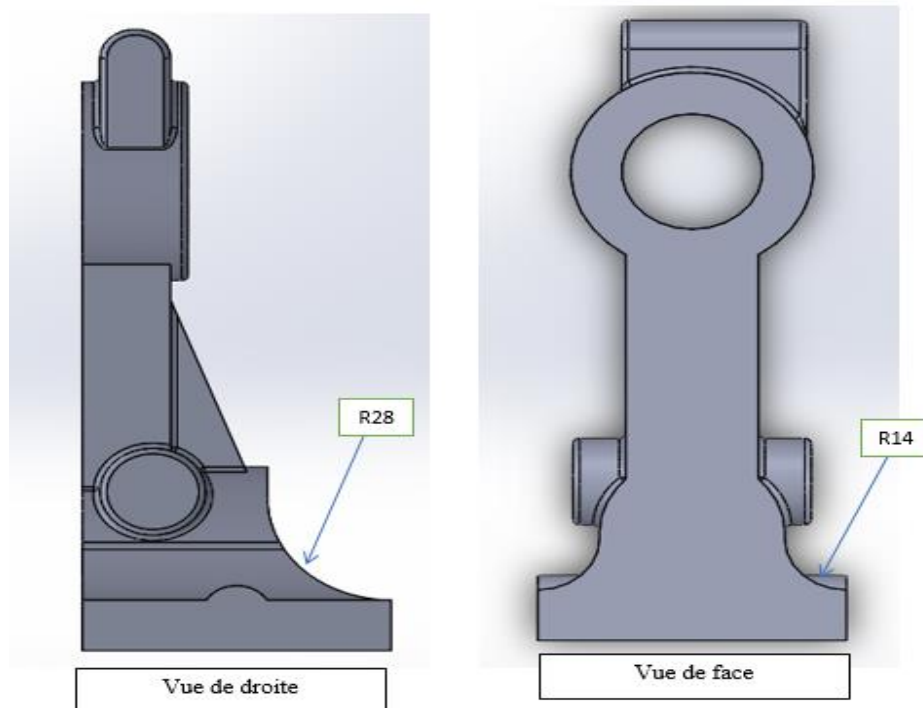


Figure 21: dessin avec les rayons raccordements

2-6) Détermination du retrait :

Le retrait étant l'espace qui apparaît entre la pièce et le moule lors du refroidissement. Ce phénomène est dû à la modification de la masse volumique en fonction de la température. Le retrait est fonction du matériau coulé, c'est pour cela on ajoute la valeur du retrait à l'ensemble des côtes. Le retrait passe par trois étapes le retrait à l'état liquide, contradiction de solidification et le retrait à l'état solide.

Calcul du retrait (d'après le tableau l'annexe 3) :

Méthode de calcul :

- Cas général :

Retrait total = retrait à l'état liquide + retrait de solidification

La cote dans le modèle doit être contenir le retrait ;

Cote finale = Cote initiale + Retrait total * Cote initiale

- Dans notre cas :

Retrait = 4%+1,2% = 5,2%

Les cotes finales sans résumées dans le tableau suivant :

Cotes	Cotes avec retrait
70	73,64
8	8,42
30	31,56
55	57,86
86	90,47
100	105,20
21	22,09
16	16,83
14	14,73
4	4,21
24	25,25
8	8,42
42	44,18
16	16,83
35	36,82
20	21,04

Tableau 8 : Les cotes finales avec le retrait.

2-7) la conception de noyau :

2-7-1) Détermination des dimensions du noyau :

Les parties intérieures d'une pièce sont souvent des parties en contre dépouille. Pour réaliser ces formes, on place des masses de sable aggloméré ou des broches métalliques coulissantes à l'intérieur de l'empreinte. Ces masses de sable sont obtenues dans des boîtes à noyaux.

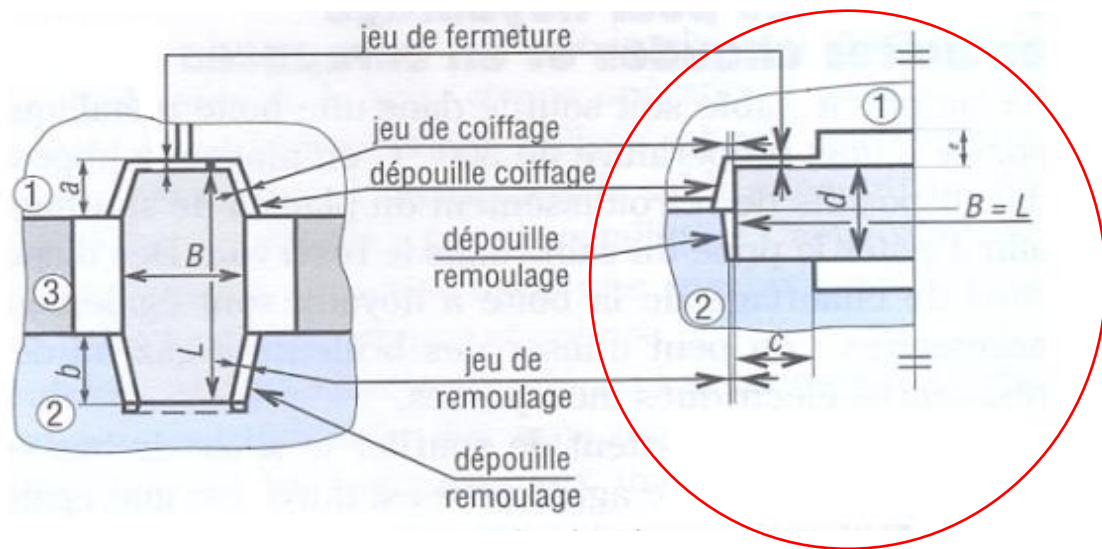


Figure 22: dessin pour déterminer les dimensions du noyau.

Interprétation :

Dans notre cas on a le plan de joint est parallèle à la longueur du noyau donc on a le cas de $B = L$.

B est la plus grande dimension parallèle au plan du joint du moule.

On a $c = d$ (avec d est le diamètre)

Le diamètre = 32 mm et on a $l = 25.25$ mm

Alors $L = B = 2 \times d + l = 2 \times 32 + 25.25 = 89.25$ mm

2-7-2) Dessin de définition du noyau :

La figure ci-dessous représente le dessin de définition du noyau :

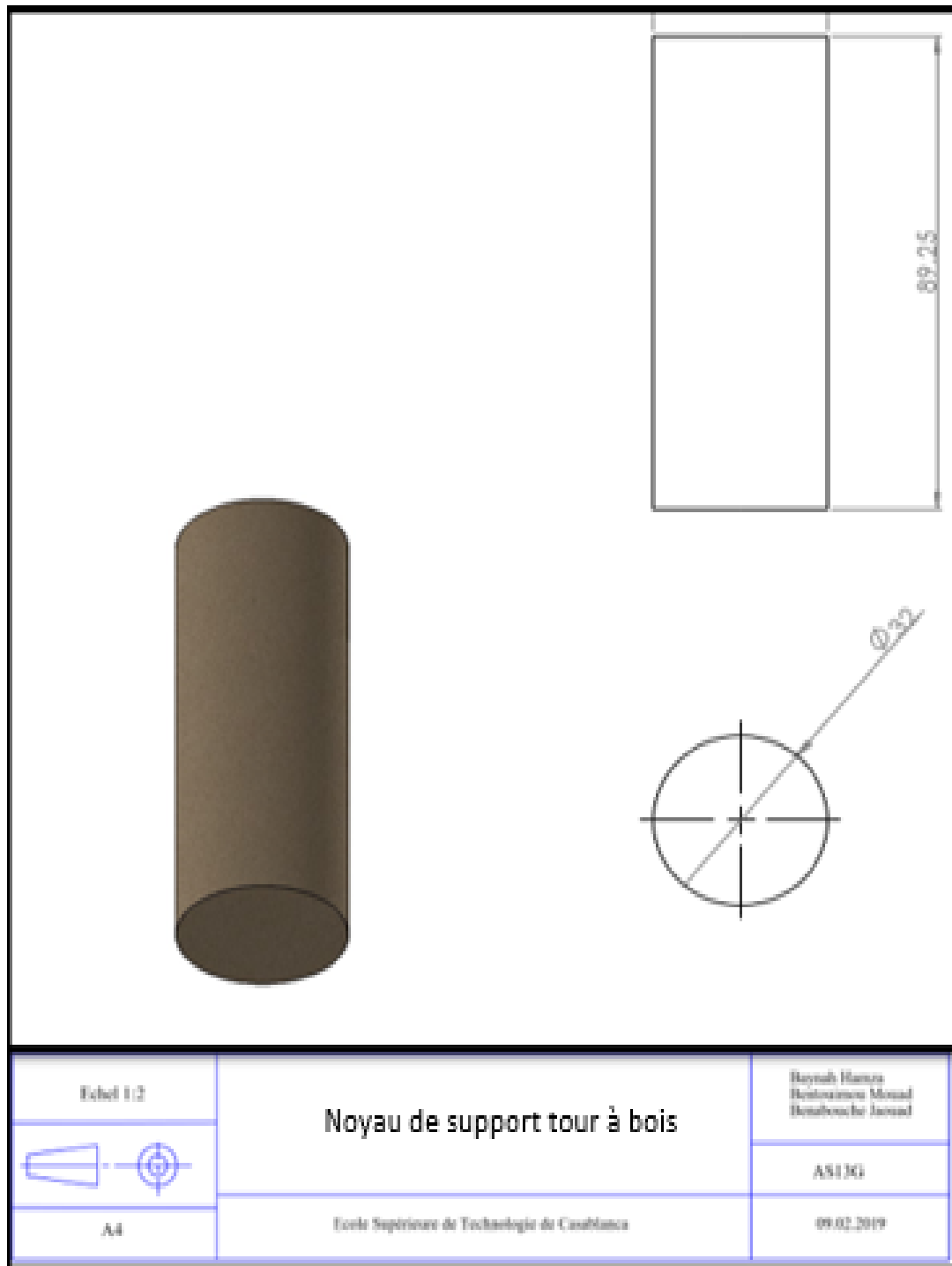


Figure 23: dessin de définition du noyau.

2-7-3) Dessin de la boîte de noyau :

Une boîte à noyaux est un outillage permettant la réalisation d'un noyau en sable.

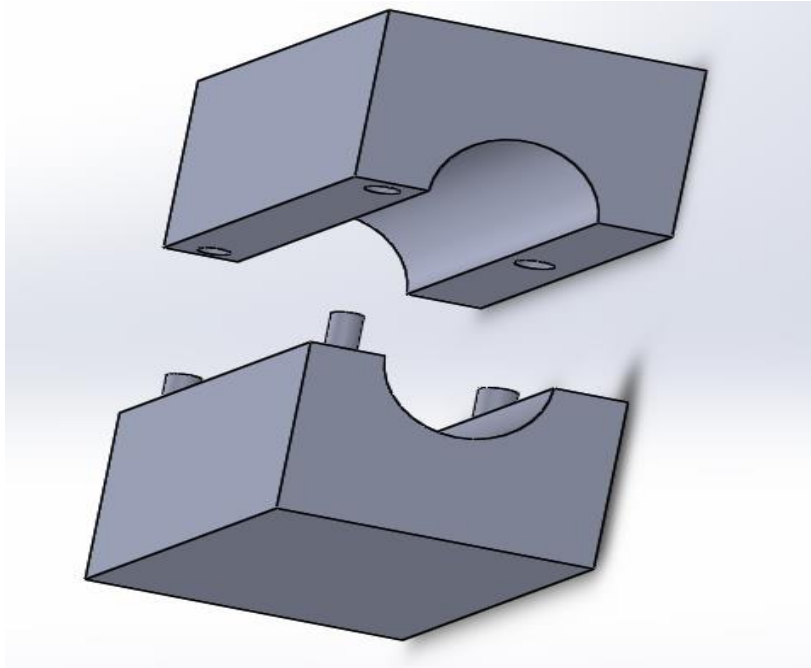


Figure 24 : la boîte de noyau .

Conclusion:

Après avoir fait une conception du modèle en bois qui a pour but de laisser l’empreinte dans le sable ,et le noyau en sable qui permet d'obtenir les formes intérieures.

Donc le chapitre suivant est consacré pour l’étude de la masselotte et le système de remplissage .

Chapitre 3 : La masselotte et le système de remplissage.

Introduction :

Au cours du refroidissement d'une pièce moulée en sable, les phénomènes métallurgiques et thermiques provoquent plusieurs types de défauts. C'est pour quoi on établit un calcul de masselottage pour diriger la solidification de la pièce vers elle au cours du refroidissement.

Pour cela on va consacrer ce chapitre pour tous ce qui concerne l'étude de la masselotte et du système de remplissage .

3-1) Dimensionnement de la masselotte :

3-1-1) définition de la masselotte :

La masselotte est le volume du métal liquide qui permet d'alimenter la pièce pendant la solidification, pour cela on doit calculer le temps de solidification de la pièce pour déterminer l'emplacement de la masselotte.

Pour définir l'emplacement des masselottes ,il est nécessaire d'établir le temps de solidification des différentes zones de la pièce. On positionnera ainsi les masselottes à proximité des zones se solidifiant en dernier.

En moulage sable, le temps de solidification d'une zone de pièce égale :

$$T_s = K * \left(\frac{v}{s}\right)^2$$

T_s :temps de solidification.

K : est une constante qui dépend du matériau du moule, des propriétés du métal et de la température du moule et du métal lors de la coulée.

En conséquence, l'ordre de solidification d'une pièce est similaire à celui des modules ainsi que le module égale :

$$M = \frac{v}{s}$$

V :volume de la pièce .

S :surface de la pièce .

3-1-2) Décomposition de la pièce :

Dans notre cas on a une pièce de forme complexe, c'est pour cela on doit la subdiviser en sept pièces simples, pour calculer à chacune son temps de solidification , on a subdivisé la pièce en sept parties .

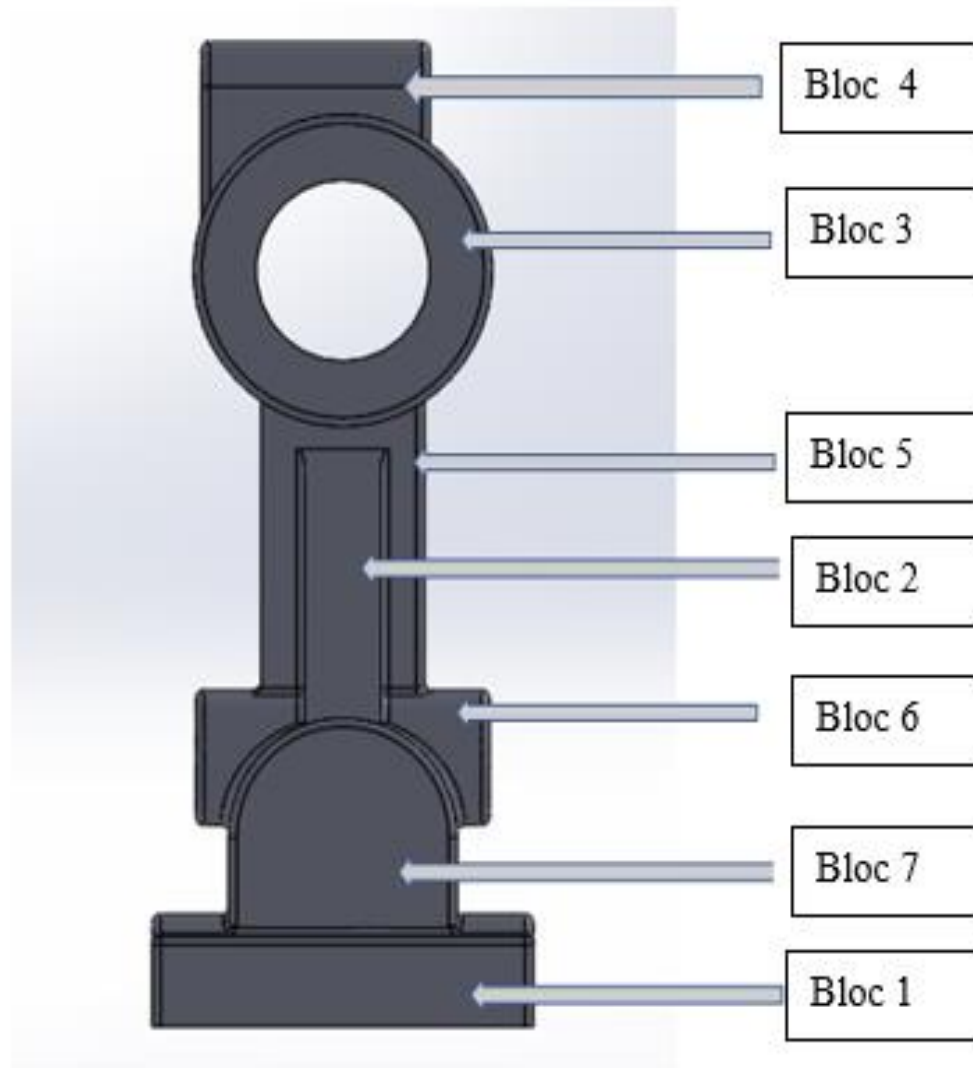


Figure 25 : la décomposition des blocs

3-1-3) Calcul des modules :

Blocs	Volume en mm ³	Surface en mm ²	Module= $\frac{\text{volume}}{\text{surface}}$
Bloc 1 : 	V ₁ =75638	S ₁ =15480	M ₁ =4,89
Bloc 2 : 	V ₂ =5831	S ₂ =2466	M ₂ =2,36
Bloc 3 : 	V ₃ =32590	S ₃ =8220	M ₃ =3,96
Bloc 4 : 	V ₄ =4561	S ₄ =1600	M ₄ =2,85
Bloc 5 : 	V ₅ =34086	S ₅ =6998	M ₅ =4,87
Bloc 6 : 	V ₆ =24420	S ₆ =4997	M ₆ =4,88
Bloc 7 : 	V ₇ =40068	S ₇ =8540	M ₇ =4,69

Tableau 9 : le calcul de module de chaque bloc.

Interprétation :

Après le calcul des modules de refroidissement, on doit comparer les résultats pour obtenir l'ordre de solidification des différents blocs de la pièce :

$$M_2=2,36 < M_4=2,85 < M_3=3,96 < M_7=4,69 < M_5=4,87 < M_6=4,88 < M_1=4,88$$

Plus le module de refroidissement est grand, plus la partie de la pièce considérée refroidit lentement, donc le bloc 1 qui a le plus grand module de refroidissement, est solidifié en dernier. On placera donc la masselotte sur cette surface.

3-1-4) Détermination du volume de masselotte :

$$V_m = \frac{r \cdot V_p}{\eta}$$

r : retrait à l'état liquide + contraction de solidification.

V_p : volume de la pièce .

η : rendement de la masselotte .

$$\eta = \frac{1}{6} \text{ si la masselotte est non exothermique (borgne) }$$

$$\eta = \frac{1}{2} \text{ si la masselotte est exothermique (débouchant) }$$

$$\text{Volume total} = 217212 \text{ mm}^3$$

$$V_m = 22590,04 \text{ mm}^3$$

Les dimensions de la masselotte :

On a : $V_m = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H$ (volume d'un cylindre)

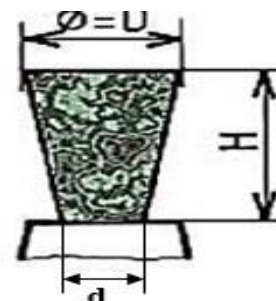
Avec $H = 1,5 \cdot D$

Donc :

$$D = 27 \text{ mm}$$

$$H = 40,5 \text{ mm}$$

$$d = 13,5 \text{ mm}$$



$$H = 1,5 \cdot D \text{ et } d = 0,5 \cdot D$$

Figure 26 : dessin de la masselotte avec les relations

Voilà un dessin de la masselotte avec les dimensions :

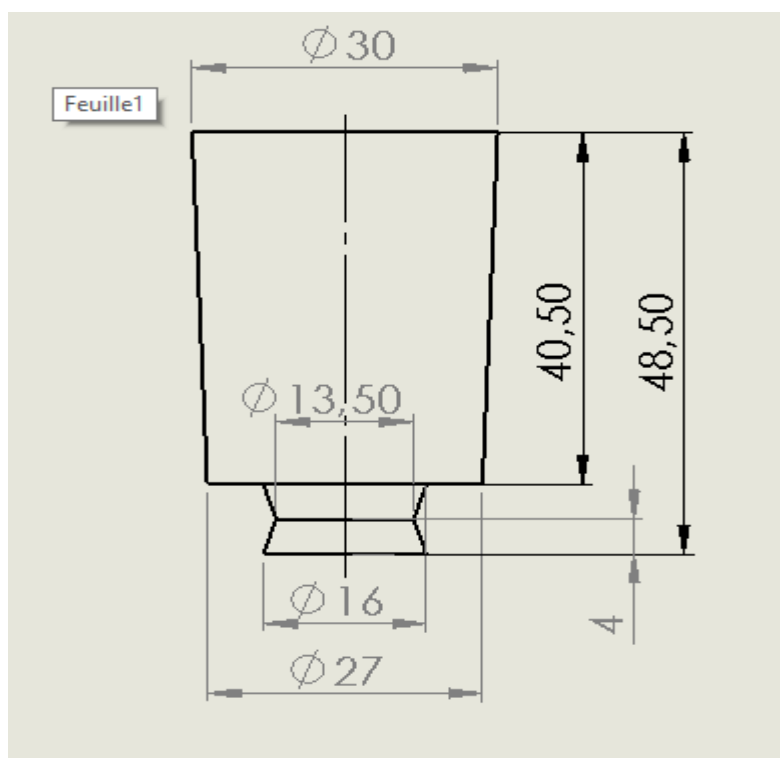


Figure 27 : dessin de la masselotte avec les dimensions.

3-2) Système de remplissage :

3-2-1) Définition de système de remplissage :

Le système de remplissage doit assurer un remplissage correct dans le temps prévu et une réparation correcte du métal dans l'empreinte. Et il doit éviter l'entraînement de crasses, l'emprisonnement des gaz et de l'air dans l'empreinte, l'érosion du moule et des noyaux, toute gêne dans le retrait de la pièce, la rupture de la pièce lors de la séparation des jets, les surchauffes locales de l'empreinte et la surchauffe des zones de pièce non masselottes. Le système de remplissage doit participer à diriger la solidification, à simplifier le travail des couleurs et à faciliter le parachèvement.

3-2-2) Les constituants du système de remplissage :

Descente de coulée : Conduit verticale dirigeant l'alliage vers les canaux, en général de section circulaire.

Canaux : Conduit horizontaux (ou peu inclinés) dirigeant l'alliage vers les attaques.

Attaques : Conduits courts, en général de section réduite et de forme plate reliant les canaux à l'empreinte de la pièce. Leurs dispositions dépendant de la forme de la pièce, de l'emplacement des masselottes et de la nature de l'alliage.

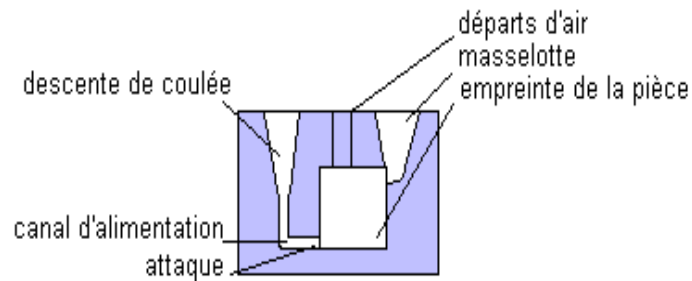


Figure 28 : les composant du système de remplissage.

3-2-3) Choix du mode de remplissage :

Le choix du mode de remplissage dépend du matériau de la pièce et le plan de joint ,puisque on a un alliage léger (AlSi13G) et le plan de joint est le plan de symétrie donc on va choisir le chut en source .

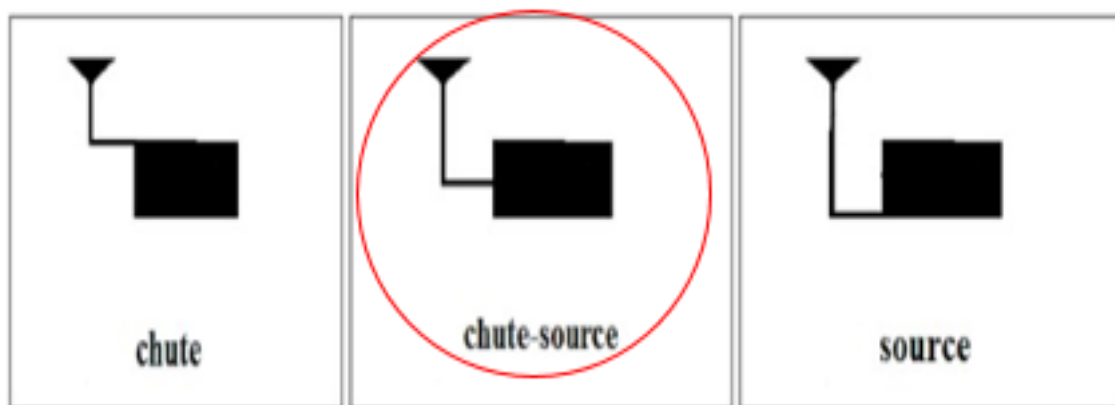


Figure 29 : le choix de système de remplissage.

3-2-4) Calcul des paramètres du système de remplissage :

3-2-4-1) Détermination de la hauteur métalostatique :

Pour un système de coulée en chute-source, la hauteur métalostatique est en fonction de la hauteur de la pièce plus la hauteur de la masselotte .

La hauteur métalostatique est définie par la relation suivante (Annexe 4) :

$$H = \left(\frac{H_i + \sqrt{H_i \cdot H_f}}{(1+a)\sqrt{H_i} + (1-a)\sqrt{H_i}} \right)^2$$

Donc on doit déterminer la hauteur initiale et la hauteur finale .

Voilà une figure qui représente les différentes hauteurs :

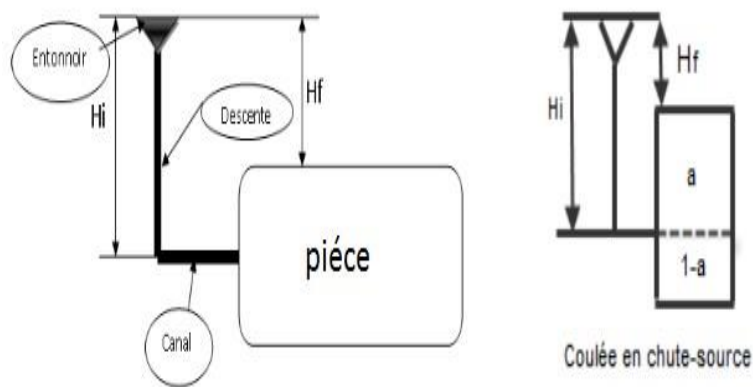


Figure30 : les différents paramètres de système de remplissage.

3-2-4-2) Détermination de la hauteur initiale:

Pour un système de coulée en chute-source, la hauteur métalostatique est en fonction de la hauteur de la pièce plus la hauteur de la masselotte .

$$H_i = H_p + H_m$$

- $H_p = 70 \text{ mm}$
- $H_m = 46,4 \text{ mm}$

$$H_i = 110,5 \text{ mm}$$

- **Hm** : hauteur de la masselotte.
- **Hp** : la hauteur maximale de la pièce.

3-2-4-3) Détermination de la hauteur finale :

La hauteur finale est la différence entre la hauteur métallostatique et la hauteur de la pièce divisée par deux .

$$\mathbf{H_f = H_i - \frac{H_p}{2}}$$

- $H_i = 116,4\text{mm}$
- $H_p = 70\text{mm}$

$$\mathbf{H_f = 75,5\text{mm}}$$

La hauteur métallostatique dépend du système de remplissage ,donc si on remplace dans la relation du hauteur métallostatique avec a est 50% du hauteur de la pièce on va trouver les résultats suivants :

- $H_i = 116,4\text{mm}$
- $H_f = 81,4\text{mm}$

$$\mathbf{H = 92,16\text{mm}}$$

3-2-5) Détermination de la température de remplissage :

C'est le temps maximal pour remplir toute la moule ,il est défini d'après précis de fonderie par la relation suivante :

$$1,4 * \sqrt{M} < T_r < 1,8 * \sqrt{M}$$

M :est la masse de la pièce est d'après le logiciel SolidWorks

Donc d'après la relation on doit déterminer la masse de la pièce .

On a :

$$\mathbf{\rho = \frac{M}{V}}$$

Donc :

$$\mathbf{M = \rho * V_p}$$

ρ : la masse volumique du matériau

V_p : volume de la pièce

$$\rho = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3 \quad \text{et} \quad V_p = 217212 \text{ mm}^3$$

Alors $M = 586,21 \text{ g}$

Donc la température de remplissage est :

$$1,4 \cdot \sqrt{0,586} < Tr < 1,8 \cdot \sqrt{0,586}$$

$$1,07 \text{ min} < Tr < 1,38 \text{ min}$$

$$62,2 \text{ s} < Tr < 82,8 \text{ s}$$

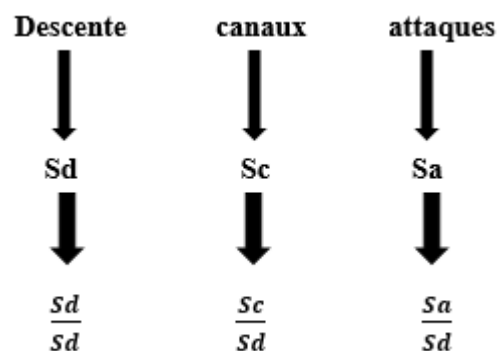
Alors Tr est la moyenne des deux bornes :

$$Tr = \frac{62,2 + 82,8}{2} = 73,5 \text{ s}$$

3-2-6) Calcul des sections du système de remplissage :

3-2-6-1) Détermination de l'Echelonnement :

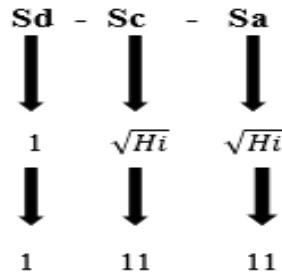
L'Echelonnement a pour but de déterminer toutes les sections du système de remplissage ,section descente (S_d) ,section des canaux (S_c) ,section des attaques (S_a) .



L'Echelonnement d'un système de remplissage dépend de la nature de l'alliage . S'il est oxydable ou non ,ainsi que la valeur de la hauteur initiale H_i . (Le tableau de choix de l'échelonnement annexe 5) .

Interprétation :

Puisqu'on a un alliage oxydable (ALS13G), et $H_i > 100\text{mm}$, donc on va choisir un Echelonnement de $1 - \sqrt{H_i} - \sqrt{H_i}$.



3-2-6-2) Détermination de la section descente (Sd) :

La section descente est définie par la relation suivante (Annexe 6) :

$$S_d = \frac{V_0 \text{source}}{Trs * \sqrt{2 * g * \frac{\sqrt{H_i} + \sqrt{H_f}}{2}} * Rh}$$

V₀ : volume de la pièce sur deux.

Trs = Tr : temps de remplissage.

g : intensité de pesanteur .

Rh : c'est le rendement hydraulique :

- si les attaques perpendiculaires avec les canaux $Rh=0,5$.
- si les attaque dans le prolongement des canaux $Rh=0,55$.

$V_0=108606\text{mm}^3$ et $Tr=73,5\text{s}$ et $H_f=75,5\text{mm}$ et $H_i=110,5\text{mm}$

$Rh=0,5$

Donc en remplace dans la relation de S_d :

On trouve que :

$$S_d = 15\text{mm}^2$$

Alors :

$$d = 4,37\text{mm}$$

Les dimensions de l'entonnoir :

Pour l'entonnoir on a choisi une forme cylindrique idéale pour éviter le découlement et l'entrée de l'air au moment de la coulée.

La relation pour déterminer la hauteur de l'entonnoir :

$$hd = \sqrt{\frac{1,2 * H}{b^2 - 1,2}}$$

d'après la relation hd égale :

$$hd = 13mm$$

3-2-6-3) Détermination de la section des canaux :

D'après l'Echelonnement, la section des canaux est :

$$\frac{Sc}{Sd} = \sqrt{Hi}$$

Donc :

$$Sc = Sd * \sqrt{Hi}$$

D'après le calcul on trouve que : **Sc=157, 67mm²**

Remarque : Puisque la section d'entrée des canaux se divise par deux donc on doit calculer la section de la sortie .

Calcul de la section de la sortie :

D'après l'équation de continuité il faut que le débit d'entrée soit égal au débit de sortie donc :

$$Sce = 2 * Scs$$

Sce : section des canaux de sortie

Scs : section des canaux d'entrée

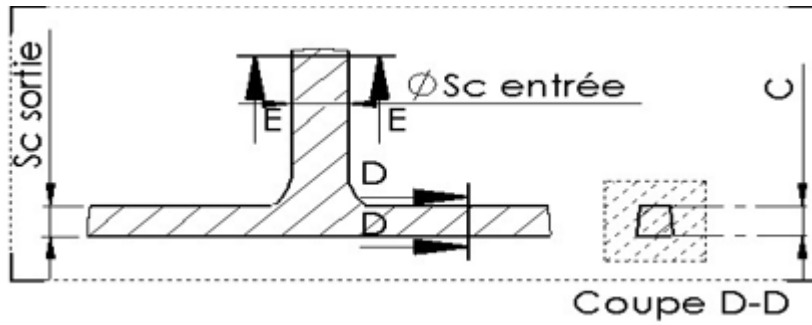


Figure 31 : les sections des canaux.

Donc la section de la sortie est égale :

$$S_{cs}=79 \text{ mm}^2$$

D'après l'annexe 7 la dimension C de la section de sortie égale :

$$S_{cs}= 0.9 \times C^2$$

Alors :

$$C=\sqrt{\frac{S_{csortie}}{0,9}}$$

Donc :

$$C=10\text{mm}$$

3-2-6-4) Détermination de la section des attaques :

D'après l'Echelonnement la section des attaques égale :

On a :

$$\frac{S_a}{S_d}=\sqrt{H_i}$$

alors :

$$S_a=S_d*\sqrt{H_i}$$

donc :

$$S_a=157,67\text{mm}^2$$

Puisque on a 4 attaques, la section des attaques devient :

$$\frac{S_a}{4}= 39,37\text{mm}^2$$

Pour calculer les dimensions de l'attaque, on utilise les formules de l'annexe 7 :

Calcul de la dimension b : $S_a=4*b^2$

Donc :

$$b = \sqrt{\frac{Sa}{4}}$$

$$b = 4\text{mm}$$

Calcul de la dimension a :

$$a = 4 * b$$

$$a = 20\text{mm}$$

3-2-7) Dessin final du système de remplissage :

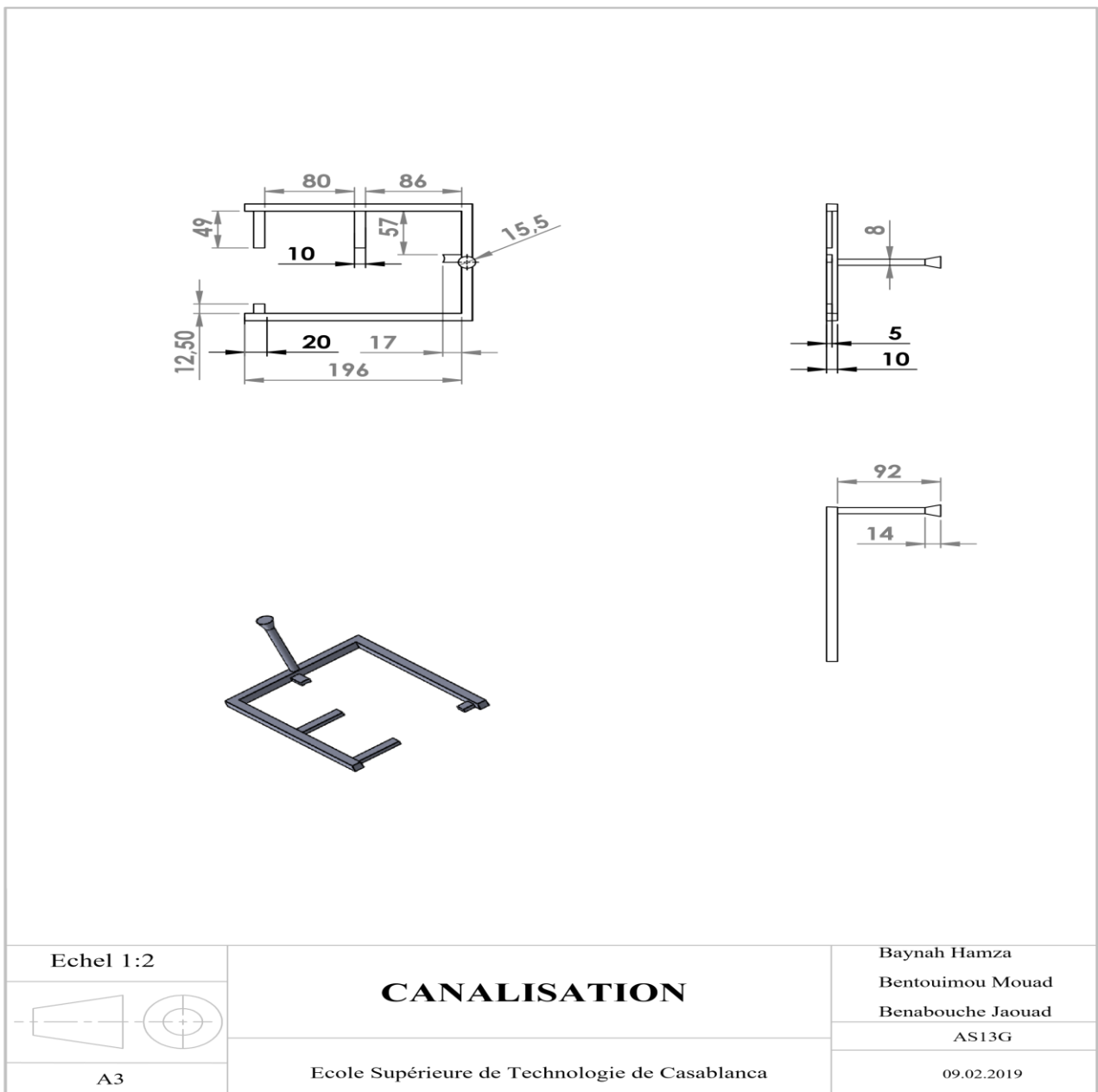


Figure 32 : Dessin final du système de remplissage .

3-2-8) Conception des châssis :

Cadre en bois destiné à maintenir le sable comprimé autour du modèle (fonderie en moule non permanent).

Les dimensions du châssis supérieure:

L=300mm l=200mm e=92,16

Les dimensions du châssis inférieure :

L=300mm l=200mm e=70mm

Dessin final de la pièce avec la masselotte est le système de remplissage ainsi que les châssis (obtenu par SolidWorks) :

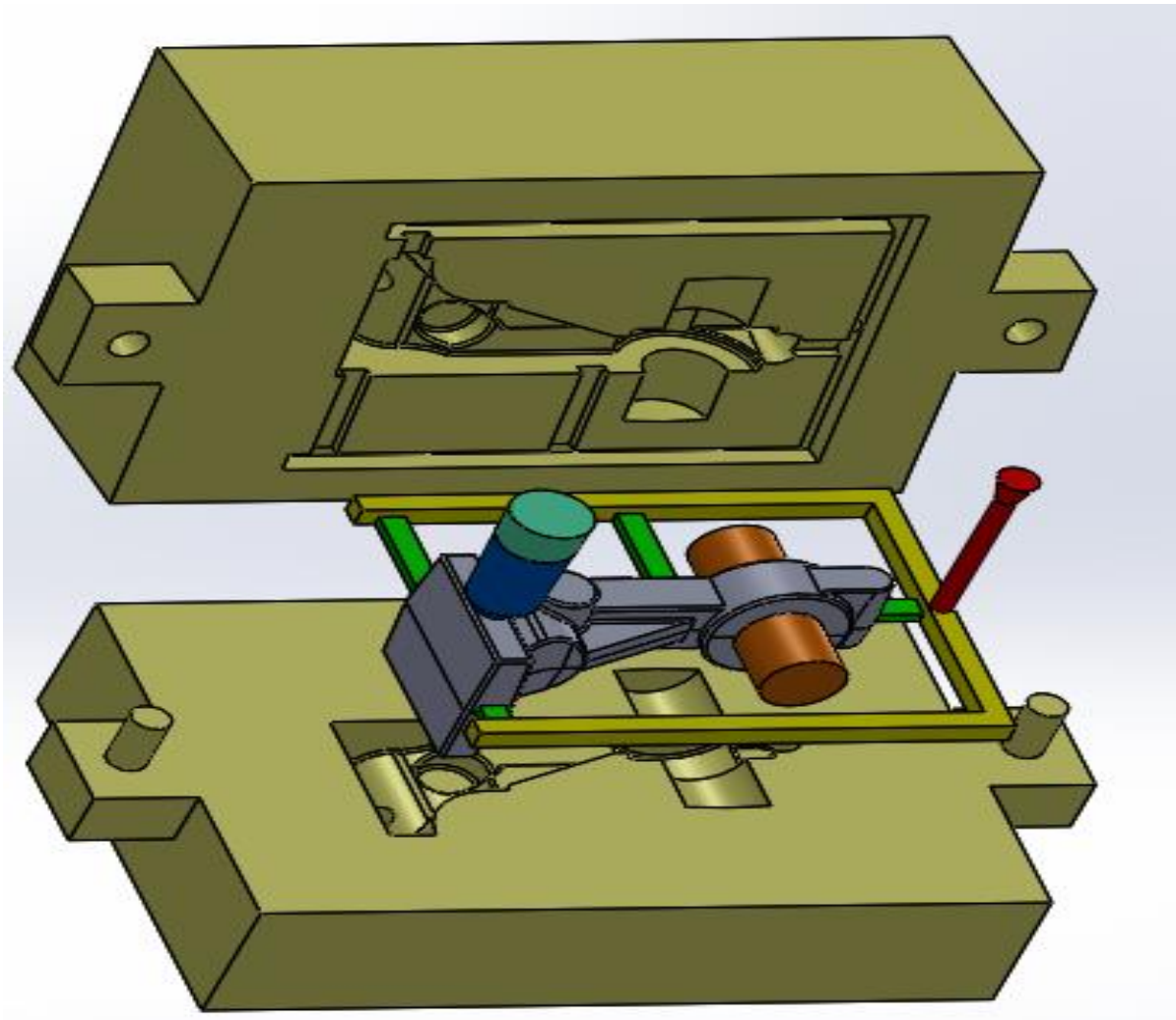


Figure 33 : dessin final avec la masselotte et le système de remplissage et les châssis.

conclusion:

Dans ce chapitre on a fait un calcul de la masselotte qui a pour but d'alimenter la pièce pendant sa solidification et le système de remplissage qui permet d'amener dans l'empreinte la quantité de matière nécessaire à la venue totale de la pièce.

Le chapitre suivant est consacré pour l'étude de l'avant-projet de fabrication et l'étude économique de ce projet.

**Chapitre 4 : L'avant-projet d'étude
de fabrication et l'étude économique
de ce projet.**

Introduction :

Le projet d'étude de fabrication représente un ensemble de documents qui doit permettre, pour chaque phase d'usinage rentrante dans la composition d'une gamme, de lancer la production .

4-1) l'avant-projet d'étude de fabrication :

C'est une étude préalable qui permet de décomposer, pour chaque élément, le travail à réaliser en une suite logique d'opérations en vue de la fabrication du produit aux spécifications demandées.

4-1-1) Inventaire des contraintes dimensionnelles :

Voilà un tableau qui résume toutes les spécifications dimensionnelles avec l'intervalle de tolérance :

Cote	C _{Max}	C _{Min}	IT
100 ^{±0,2}	100,2	99,8	0,4
70 ^{±0,5}	70,5	69,5	1
34 ^{±0,5}	34,5	33,5	1
30 ^{±0,1}	30,1	29,9	0,2
24 ^{±0,5}	24,5	23,5	0,1
16 ^{±0,2}	16,2	15,8	0,4
14 ^{±0,15}	14,15	13,85	0,3
11 ^{±0,5}	11,5	10,5	1
10 ^{±0,2}	10,2	9,8	0,4
10 ^{±0,2}	10,2	9,8	0,4
7 ^{±0,2}	7,2	6,8	0,4
3 ^{±0,2}	3,2	2,8	0,4
1,5 ^{±0,5}	2	1	1
1,5 ^{±0,5}	2	1	1
1 ^{±0,5}	1,5	0,5	1

Tableau 10 : Les spécifications dimensionnelles.

4-1-2) Les spécifications géométriques :

Les spécifications géométriques, portées sur le dessin technique ont pour objet la maîtrise de la géométrie de la pièce à fabriquer.

Projet de fin d'étude

Le tableau suivant représente toutes les spécifications géométriques portées sur le dessin de définition :


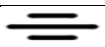







tolérances géométriques						Tolérances de position	Tolérance d'orientation	Tolérance de forme
A		Φ2	B1			X		
D		0,4	P			X		
L		Φ0,5	B3			X		
A		Φ0,05	B				X	
D		0,2/100	A				X	
E		0,2/100	B				X	
C		0,05	B				X	
C		0,5/100	P				X	
4 M6		Φ0,2	C	B	B4	X		

Tableau 11: Les contraintes géométriques .

4-1-3) Identification des groupements de surfaces :

Dans cette étape on va regrouper les surfaces qui peuvent être réalisé dans la même phase.

Groupe 1 :A

Groupe 2 :B

Groupe 3 :C

Groupe 4 :D

Groupe 5 :E, Φ8H11

Groupe 6 : Φ7, M6

Groupe 7 : 4 M6

4-1-4) Graphe de liaison :

C'est pour identifier les surfaces fonctionnelles et pour lier aussi les groupes et les surfaces brutes à l'aide des côtes et des contraintes géométriques.

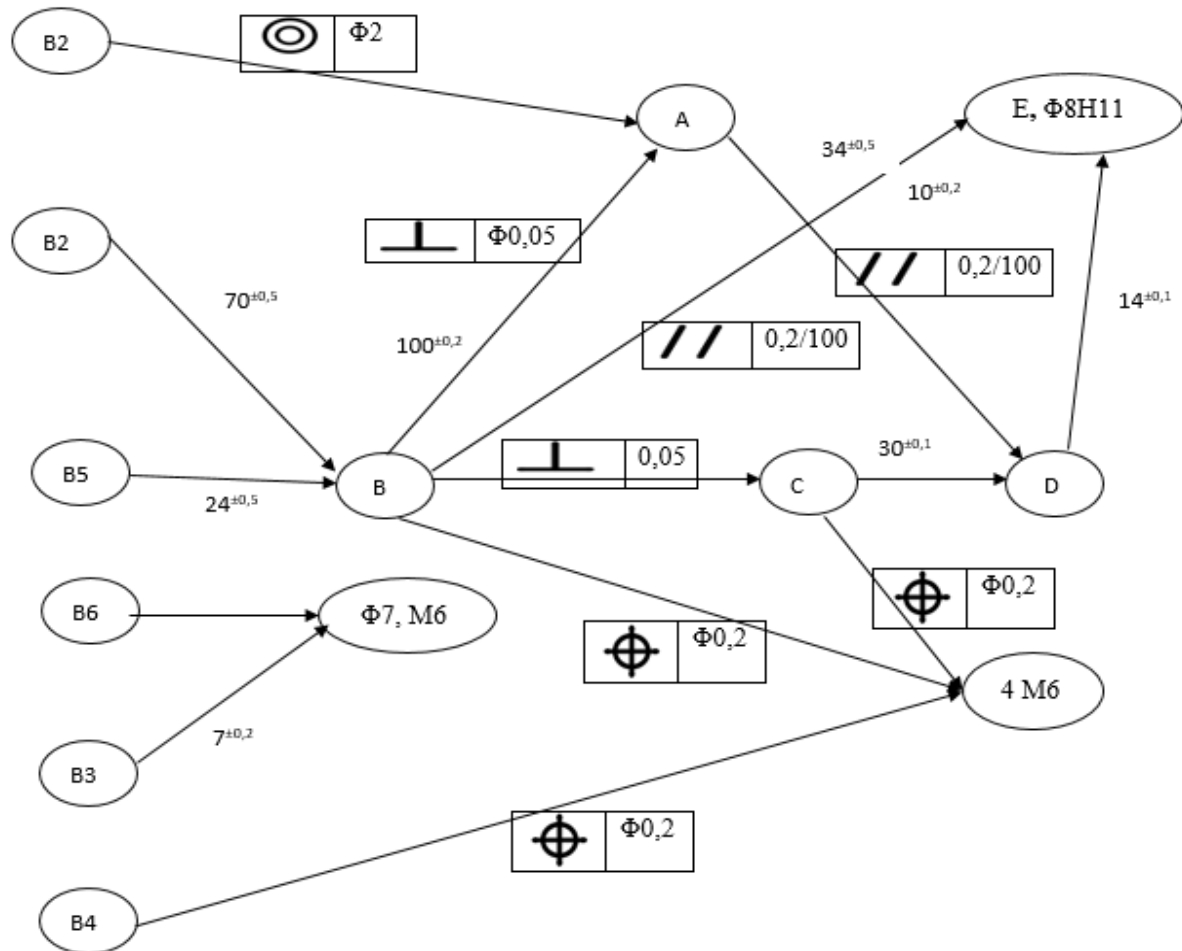


Figure 34 :graphe de liaison .

4-1-5) Gamme d'usinage :

La gamme d'usinage est un tableau qui donne l'ordre chronologique des différentes opérations d'usinage d'une pièce en fonction des moyens d'usinage.

Phase de parachèvement :

Cette phase consiste à éliminer le système de remplissage et la masselotte avec le sciage .

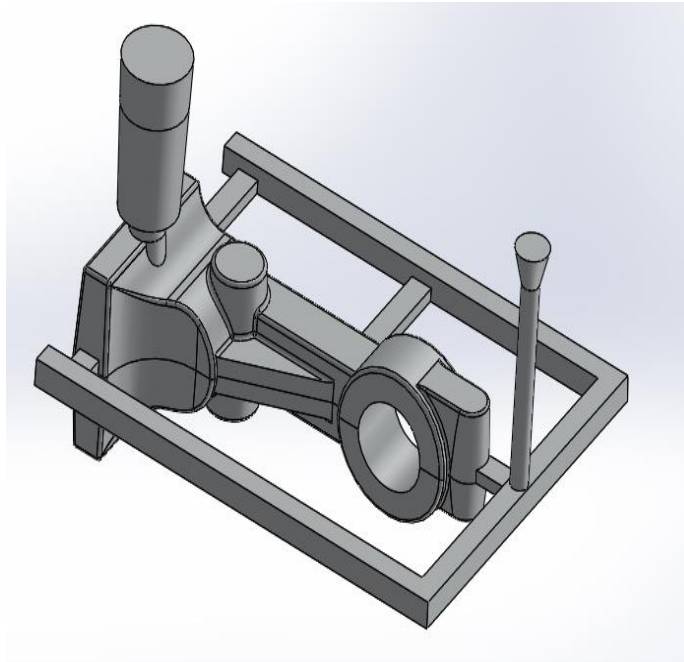


Figure : Pièce obtenu par moulage .

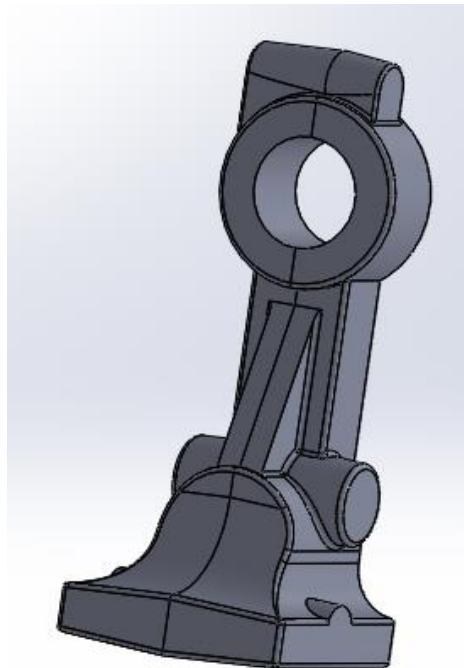
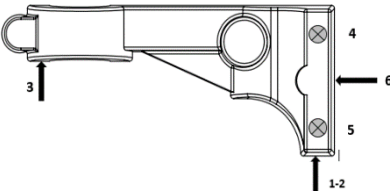
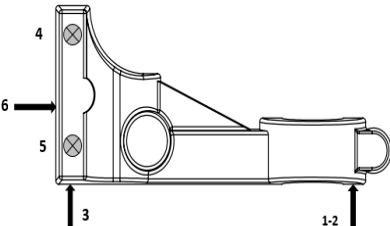
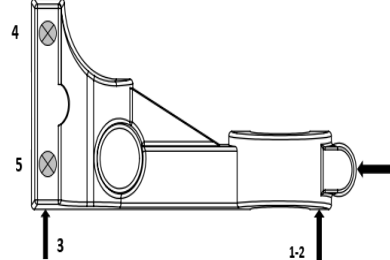
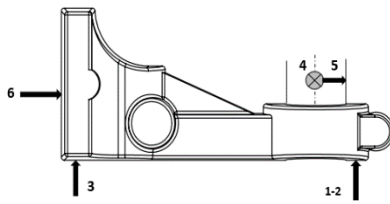


Figure : Pièce après parachèvement .

Projet de fin d'étude

N° de Phase	Opération et désignation de phase	Le mise et le maintien en position	Machine	Outils	Croquis de phase
10	-Surfaçage de B	-Appui plan sur B5 et B2 -Appui linéaire B4 -Butée B4	Fraiseuse	-Fraise 2 taille	
20	-Perçage de A (ébauche) -Alésage de A (finition)	-Appui plan sur B -Appui linéaire sur B4 -Butée c	Perceuse et fraiseuse	-Forêt $\Phi 35$ -Alésoir machine $\Phi 36H8$	
30	-Surfaçage de C	-Appui plan sur B -centrage cour sur A -Butée B4	Fraiseuse	-Fraise 2 taille	
40	-Perçage de D (ébauche) -Alésage de D (finition)	-Appui plan sur B1 et B4 -Appui linéaire sur B2 -Butée C	Perceuse et Fraiseuse	-Forêt $\Phi 19$ -Alésoir machine $\Phi 20H8$	

Projet de fin d'étude

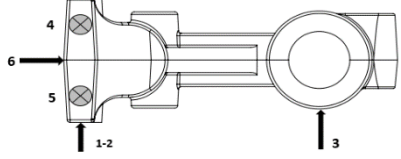
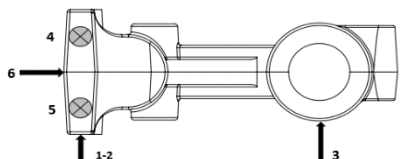
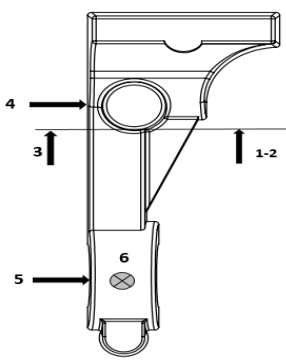
50	<ul style="list-style-type: none"> -Perçage de E -Alésage de E -Perçage de $\Phi 8$ -Alésage de $\Phi 8H11$ -Perçage de $\Phi 6$ -Perçage de $\Phi 7$ -Lamage de $\Phi 11$ -Taraudage de M6 	<ul style="list-style-type: none"> -Appui plan sur B -Appui linéaire B1 et B4 -Butée C 	Perceuse et Fraiseuse	<ul style="list-style-type: none"> -Forêt ($\Phi 7$, $\Phi 8$, $\Phi 6$, $\Phi 11$) -Alésoir machine $\Phi 8H11$ -Taraud M6 	
60	<ul style="list-style-type: none"> -Sciage de $3^{+0,2}$ 	<ul style="list-style-type: none"> -Appui plan sur B -Appui linéaire B4 -Butée C 	Fraiseuse	-Fraise 3 taille	
70	<ul style="list-style-type: none"> -Perçage de 4 M6 -Taraudage de 4 M6 	<ul style="list-style-type: none"> -Appui plan sur B -Appui linéaire sur B4 -Butée 	Perceuse	<ul style="list-style-type: none"> -Forêt $\Phi 6$ -Taraud M6 	

Tableau 12 : la gamme d'usinage .

Interprétation :

Ce tableau nous permet d'identifier la pièce et présenter clairement toutes les opérations d'usinage, ainsi que les machines-outils utilisées .

4-2) Etude économique du projet :

Dans l'étude des projets il est nécessaire d'élaborer une partie qui concerne la gestion du projet et son étude économique pour déterminer les coûts et par conséquent le degré de sa rentabilité.

4-2-1) Le cout de l'étude :

On suppose qu'un technicien s'occupe de l'étude de ce projet il reçoit un salaire de 3500 DH/mois, s'il travaille 8 heures par jour, le coût d'une heure de l'étude sera donc :

$$\text{Cout de l'étude} = 3500 / (8 \times 30) = 14,5 \text{ DH / heure.}$$

Sachant que cette étude durant un mois, par un groupe de trois personnes, d'une moyenne de deux heures par jour.

Donc le cout total de l'étude est :

$$\text{Cout total de l'étude} = 2610 \text{ dh}$$

4-2-2) Le cout de la matière première :

2-2-1) Le cout du sable :

Dans le moulage, le sable utilisé est un sable spécial. Le cout de ce sable (réf : souspression.canalblog.com) est 1,2 DH/kg .

$$1 \text{ kg} \longrightarrow 1,2 \text{ DH}$$

$$6 \text{ kg} \longrightarrow 7,2 \text{ DH}$$

$$\text{Le cout du sable} = 7,2 \text{ DH}$$

2-2-2) Le cout d'alliage d'aluminium

L'aluminium est un métal fabriqué à partir du minerai de bauxite. Léger, malléable et ductile.

On a trouvé d'après un site internet (réf : www.journaldunet.com) le prix d'alliage d'aluminium et de silicium entre 15 DH/kg et 17 DH/kg .

Donc pour notre cas, la masse de notre pièce est de 0,586 kg, et on veut une série de 50 pièces .

$$\text{Alors } 1 \text{ kg} \longrightarrow 16 \text{ DH}$$

$$0,586 \text{ kg} \longrightarrow 9,37 \text{ DH}$$

Donc le prix d'une seule pièce est :

Le cout d'aluminium = 9,37 DH

le cout total de la matière première = 16,57DH

4-2-3) Le cout de réalisation :

La réalisation de ce projet se fait en trois étapes :

4-2-3-1) La réalisation du modèle en bois :

On suppose qu'on va réaliser notre modèle chez un menuisier qui travaille avec 40 Dh/h ,il va travailler 6 heures sur le modèle et une demi-heure sur la boîte de noyau et une heure sur le châssis donc le cout total de toutes les pièces en bois est :

Le cout total = 300 Dh

4-2-3-2) Le cout de réalisation de la série des pièces :

Dans cette partie nous avons partagé le coût de réalisation en deux parties :

- Le coût des machines utilisées (réf : souspression.canalblog.com)
- Le coût de la main d'œuvre.

4-2-3-2-1) Le cout des machines utilisées :

Pour faire l'usinage de la pièce, on va utiliser une fraiseuse et une perceuse .

Le coût horaire des machines est donné par le tableau suivant :

Machines	Fraiseuse universelle	Perceuse	Scie
Cout (DH/h)	80	50	40

Tableau 13 : le cout horaire des machines.

4-2-3-2-1-1) Le cout de parachèvement :

Après le moulage on doit découper la masselotte et le système de remplissage, pour cela on a besoin d'une scie .

Le cout de parachèvement est résumé dans ce tableau :

La phase	Temps pour une pièce	Le cout pour une pièce en DH
Sciage	2 min	1,33

Tableau 14 : le cout de parachèvement d'une seule pièce.

Le cout total de parachèvement =1,33 DH
--

4-2-3-2-1-2) Le cout d'usinage :

Le tableau suivant représente le coût de la réalisation de chaque phase en fonction de la durée qui correspond à chaque machine :

Phase	Machine	Temps pour une pièce	Le cout de la phase en DH
10	Fraiseuse	5 min	6,66
20	Perceuse fraiseuse	3 min 2 min	2,5 2,66
30	Fraiseuse	2 min	2,66
40	Perceuse Fraiseuse	3 min 2 min	2,5 2,66
50	Perceuse Fraiseuse	25 min 15 min	20 20
60	Fraiseuse	2 min	2,66
70	Perceuse	20 min	16,66

Tableau 15 : le cout de réalisation de chaque phase .

Cout d'usinage pour une pièce =78,96 DH
--

4-2-3-2-2) Le cout de main d'œuvre :

On a estimé que le temps de réalisation de ce projet est 2 semaines, D'un moyen de 8 heures par jour , donc le temps total de travail est 56 heures.

Donc le temps de réalisation d'une seule pièce : $\frac{56}{50} = 1,12$ h

Si un ouvrier qualifié s'occupe de ce travail et reçoit un salaire de 15 DH/heure, le coût de la main d'œuvre pour une pièce sera donc :

Le coût de main d'œuvre =16,8 DH.

Le cout de réalisation de la pièce =396,89DH

Finalement le cout de réalisation de ce projet est :

Cout total de projet =3023,64 DH

Conclusion :

Après avoir faire l'étude économique et la gamme d'usinage il suffit de lancer la production en tenant en considération les moyens de production disponibles dans l'entreprise.

Conclusion générale

En conclusion, ce projet de fin d'étude était l'une des expériences les plus fructueuses dans notre formation de technicien supérieur, vu que c'est notre premier projet encadré et réalisé en groupe. En effet, au cours de cette période nous avons pu acquérir beaucoup d'informations qui ont complété notre formation.

Effectivement, notre projet nous a permis d'enrichir nos compétences surtout dans le domaine de la fonderie, aussi d'appliquer les théories acquises lors de notre formation ainsi qu'à apprendre comment travailler en groupe et répartir les tâches entre nous.

Dans le cadre de ce modeste travail, nous avons pu savoir les différentes étapes de la conception du modèle en bois en ce qui concerne le moulage en sable. Nous avons aussi acquis beaucoup de techniques et méthodes de calcul intéressantes sur le moulage. Nous avons aussi amélioré nos connaissances en dessin assisté par ordinateur en utilisant le logiciel SolidWorks et enfin nous avons pu réaliser le modèle en bois dans l'atelier de l'école. La réalisation du modèle en bois, non exigé par le cahier des charges, était une expérience très bénéfique car nous avons pu utiliser de nombreuses machines-outils et développer nos connaissances théoriques et pratiques.

Mais cela n'empêche pas que nous avons confronté des difficultés en cours de chemin, les majeures parties de nos problèmes ont été localisé au niveau du calcul des raccordements et au niveau de la réalisation, car on a des pièces complexes et il n'y a pas assez de machines outil pour la réalisation.

Nous espérons avoir répondu au mieux aux attentes du cahier des charges à travers notre travail.

Annexe :

Annexe 1 : Tableau pour le calcul des rayon de raccordements en L.

TABLEAU 2 Type de la liaison	Alliages d'aluminium	Aciers moulés (1) Cupro-aluminium (2) Alliages de Cuivre (3) (sauf bronze)	Fontes à graphite lamellaire (1) Fontes à graphite sphéroïdal (2) Bronze (3)
	$h = \frac{e + E}{2}$ $r = \frac{e + E}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5E$	$h = 0,6E$ $r \rightarrow \text{tableau 4}$ $p = 15\%$ $h = \frac{e + E}{2}$ $r = \frac{e + E}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5E$	$E \geq 25 :$ $r \geq 4$ $R = 5E$ $p = 10\%$ $h = \frac{E + e}{2}$ $\frac{1}{3} \left\{ \begin{array}{l} r = 0,3E \\ r = 0,8E \end{array} \right.$

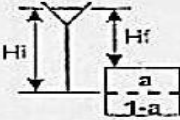
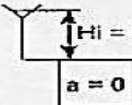
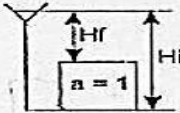
Annexe 2 : Tableau pour le calcul des rayon de raccordements en T.

	$E \geq 1,6e$ $r = e$ $h = \frac{e + E}{2}$ $p = 20\%$ $R = 5e$ <p>Sous-pression : $P = 0$ $0,3 \leq \frac{e}{E} \leq 0,4$ </p>	$E \geq 1,6e$ $h = 0,6E$ $p = 8\%$ $R = 5E$	$E \geq 1,6e$ $h = \frac{E + e}{2}$ $p = 20\%$ $R = 10E$ $\frac{1}{3} \left\{ \begin{array}{l} r = 0,3E \\ r = 0,8E \end{array} \right.$
--	--	---	--

Annexe 3 :Tableau pour le calcul de retrait.

valeurs (*) prises en compte pour réaliser l'outillage du moule :			
valeurs (*) prises en compte pour réaliser les systèmes d'alimentation en alliage liquide :			②
ALLIAGES	Retrait à l'état liquide + contraction de solidification (%)	Retrait à l'état solide (%)	
Alliages d'aluminium	Alliages Al-Cu	7 à 8	1,2 à 1,4
	Alliages Al-Mg	7 à 8	1,2 à 1,4
	Alliages Al-Si	(e) 3,5 à 5	1,1 à 1,3
	Alliages Al-Zn	8	1,5

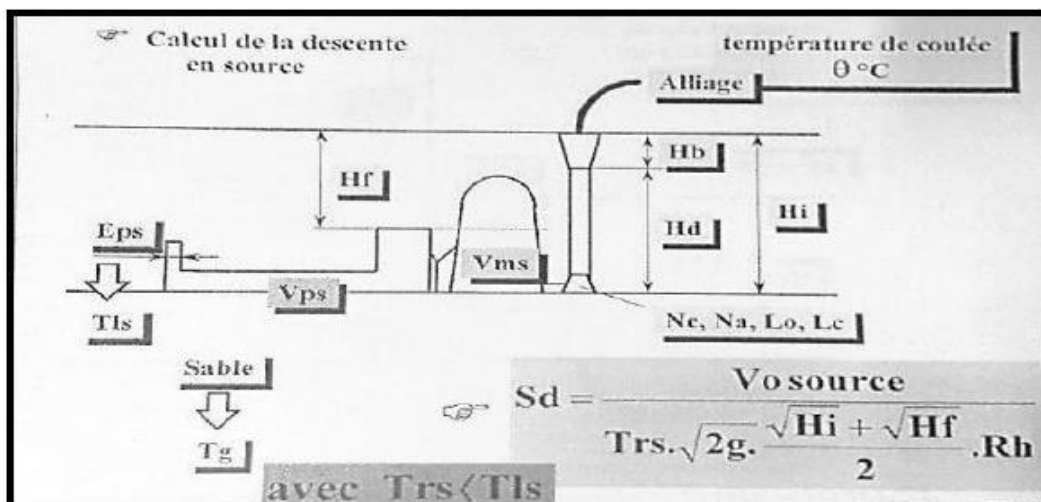
Annexe 4: la relation de la hauteur métallostatique selon le type de chute .

Coulée en chute - source		$H = \left(\frac{H_i + \sqrt{H_i \cdot H_f}}{(1+a)\sqrt{H_i} + (1-a)\sqrt{H_f}} \right)^2$
Coulée en chute		$H = H_i = H_f$
Coulée en source		$H = \left(\frac{\sqrt{H_i} + \sqrt{H_f}}{2} \right)^2$

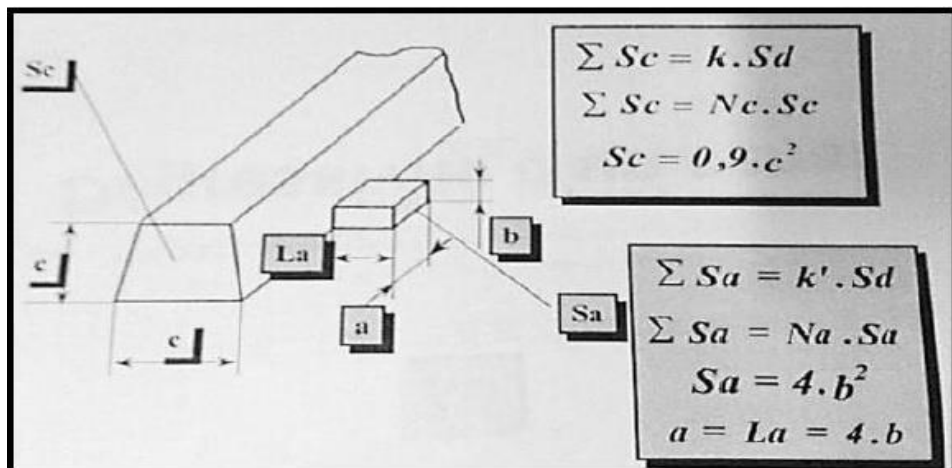
Annexe 5 : tableau de choix de l'Echelonnement.

Alliage	Profil des sections du canal	Echelonnement (H _i en dm)			Remarques
		$\frac{S_d}{S_d}$	$\frac{S_C}{S_d}$	$\frac{S_A}{S_d}$	
oxydable	dégressif	1	0,95	>1,1	Hi < 500 mm et Tr < 15 s Hi ≤ 100 mm Hi > 100 mm
		1	1	1	
		1	$\sqrt{H_i}$	$\sqrt{H_i}$	
Faiblement oxydable	dégressif	1	0,95	>1,1	Hi < 500 mm et Tr < 15 s Hi ≤ 200 mm Hi > 200 mm
		1	1	1	
		1	$\sqrt{H_i}/2$	$\sqrt{H_i}/2$	
Non oxydable	uniforme	1	1	1	Nombre d'attaques ≤ 3 Nombre d'attaques > 4
		1	2	1	
	dégressif	1	0,95	>1,1	- Hi ≤ 100 mm Hi > 100 mm
		1	1	1	
		1	$\sqrt{H_i}$	$\sqrt{H_i}$	

Annexe6 : la relation de la section de la descente .



Annexe 7 : les relations des dimensions des attaques .



Bibliographie :

Précis de fonderie .

Formation/PAE-AFOM Module : 3 Masselottage et système de remplissage .

Webographie :

www.forgefonderie.org/generalites-120

fr.wikipedia.org

www.techniques-ingenieur.fr

metalblog.ctif.com

fonderie-roche.jimdo.com

moulage-et-prehistoire.over-blog.fr

tsaucray.free.fr

souspression.canalblog.com

www.fonderies-de-nangis.com

slideplayer.fr

www.journaldunet.com

souspression.canalblog.com