



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



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Fabrication Mécanique et Productique

Titre

**Conception et Simulation Thermo structurelle d'un
piston moteur diesel**

Proposé et encadré par :

M.Salhi

Mr.Benmisra

Réalisé par :

Mahmoudi Ferial

Hennaoui Rofeida

Douidi Roumaissa

Remerciements

*Nous remercions Dieu qui nous a donné la force et la volonté
d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons tout d'abord à exprimer nos sincères remerciements ainsi
que nos vives gratitudes envers tous ceux qui ont contribué de près ou
de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

*Nos sincères remerciements et reconnaissances vont à notre promoteur,
Mr Salhi Merouane pour son aide, ainsi que pour la confiance qu'il
nous a prodiguée durant la réalisation de ce travail ainsi que notre co-
promoteur Mr Benmisra Abdelkader.*

*Nos plus vifs remerciements s'adressent également aux membres de
jury qui nous honorées en acceptant d'évaluer ce travail.*

*Que tous les enseignants du département de mécanique qui ont
contribué à notre formation reçoivent
nos gratitudes.*

*Sans oublier d'exprimer mes remerciements à tous nos amis Chacun
avec son nom et tous ceux qui nous a aidé de près ou de loin.*

Dédicaces

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : je dédie ce mémoire de master à :

A mes chers parents, ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

A mes frères et sœur Walid, Sarah et Chakib

A mes tentes Nadia et Houria

A mes cousines, cousins et toute ma familles

A mes copines

A tous les membres de la promotion FMP 2021

A tous mes enseignants qui m'ont nourri de leurs savoirs depuis mes années d'études

A tous ce qui me sens chère et que j'ai omis de citer.

Dédicace

À mes chers parents

*Vos sacrifices, votre générosité, votre éducation et vos conseils précieux
ont fait de moi ce que je suis devenu aujourd'hui grâce à dieu.*

*Ces quelques mots ne suffiront jamais pour décrire ce que j'éprouve pour
vous.*

J'espère que vous trouvez ici le témoignage de ma profonde affection.

À mon frère Abderrahim et Brahim.

À mes sœurs Nesrine et Lina et Amina.

À mes grands-pères et mes grand-mères.

À tous mes oncles et mes tentes.

À mes chères cousines.

À mes chers cousins.

À tous les amis que j'aime et dont je n'avais pas cité leurs prénoms.

HENAOUI Rofeida.

Dédicace :

À ma mère, source de confiance et d'amour

Inconditionnel, aucune dédicace ne sera à la hauteur

De ses prières incessantes durant mon parcours scolaire pour ma réussite.

À mon père, homme de valeurs et de principes dont la vie est synonyme d'amour et de sacrifice. Nul Sentiment ne peut exprimer ma reconnaissance envers lui.

À mon marié KORICHI Djamel et à toute ma famille, que ce travail soit témoignage d'une fraternité indéfectible et d'amour éternel.

À tous mes amis, à toute personne qui m'a donné de l'aide pendant ma carrière estudiantine.

Trouvent en ce travail, l'hommage de ma gratitude, qu'aucun mot ne saurait l'exprimer, leur attachement durant ces longues années.

DOUIDI Roumaissa

Sommaire :

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction	1
I.2. Définitions moteur Diesel	1
I.3. Principe de fonctionnement	1
I.4. Cycle à quatre temps	2
I.4.1. 1er temps : ADMISSION	2
I.4.2. 2ème temps : COMPRESSION	2
I.4.3. 3ème temps : COMBUSTION	2
I.4.4. 4ème temps : ECHAPPEME	2
I.5. Les organes d'un moteur diesel	3
I.5.1 Les organes fixes	3
I.5.1.1. Le bloc-cylindres (carter-moteur)	3
I.5.1.2. La chemise de cylindre	3
I.5.1.3. Culasse	4
I.5.2. Les organes mobiles	5
I.5.2.1. La bielle	5
I.5.2.2. Le vilebrequin	5
I.5.2.3. L'arbre à came	6
I.5.2.4. Les soupapes	6
I.6. Le piston	7
I.6.1. Tête	8
I.6.2. Fond	8
I.6.3. La couronne porte-segment	9
I.6.4. La Jupe	9
I.6.5. Logement d'axe (trou d'axe)	9
I.6.6. Forme générale du piston	9
I.6.7. Matériaux utilisés dans la fabrication des pistons	11
I.7. Différentes formes de tête de piston	12
I.8. Les Charges appliquées sur le piston	12
I.8.1. Pression des gaz	12
I.8.2. Températures	13

I.8.3. Contraintes thermiques	14
I.9. Dommages des pistons.....	15
I.9.1. Enlèvement de matière / fusion de la calotte d'un piston en fonte.....	15
I.9.2. Fissures à la couronne de la tête du piston et au bord du bol de combustion (moteurs Diesel).....	16
I.9.3. Fatigue mécanique à haute température	17
I.9.4. Fatigue thermique et Température élevée	17

CHAPITRE II : MODE D'OPTENTION DE BRUTS

II.1. Introduction	19
II.2. Obtention par fusion (fonderie, ou moulage)	19
II.2.1. La fonderie	19
II.2.2.1 Le moule non permanent	20
II.2.2.2 Le moule permanent	20
II.2.2. La température de fusion.....	20
II.2.3. Les principaux traitements thermiques et de surfaces.....	21
II.2.3.1. Les principaux traitements thermiques	21
II.2.3.2. Les principaux traitements de surface	21
II.2.4. Le moulage	22
II.2.4.1. Avantage.....	22
II.2.4.2. Inconvénients	22
II.2.5. Moulage en sable.....	22
II.2.6. Moulage métallique (ou moulage permanent)	23
II.2.6.1. Le procédé de moulage en coquille permet.....	23
II.2.6.2. Les matériaux mis en forme par moulage en coquille	24
II.2.6.2. Les matériaux constituant le moule	24
II.2.6.3. Technologie de la coquille	25
II.3 Obtention par déformation.....	27
II.3.1 Extrusion (ou filage)	27
II.3.1.1. Avantage.....	27
II.3.1.2. Inconvénients.....	27
II.3.2 Laminage	27

II.3.2.1.Principe.....	27
II.3.3 Forgeage libre.....	28
II.3.3.1.Principe.....	28
II.3.3.2.Avantages	28
II.3.3.3.Inconvénients	29
II.3.4 Estampage et matriçage	29
II.3.4.1.Principe	29
II.3.4.2.Avantages	29
II.3.4.3.Inconvénients.....	29
II.3.5 Pliage.....	30
II.3.5.1.Avantages	30
II.3.5.2.Inconvénients.....	30
II.3.6 Cintrage	30
II.3.7 Profilage à froid.....	31
II.3.7.1.Avantages	31
II.3.8 Emboutissage	31
II.4.Obtention par Frittage	31
II.4.1.Définition	31
II.4.2.Avantages.....	32
II.4.3.Inconvénients	32
II.5. Obtention par enlèvement de matière.....	33
II.5.1 Le tournage	33
II.5.2 Le fraisage.....	34
II.5.3. Le perçage	34
II.6. Techniques d'amélioration des états de surface	35
II.6.1.La rectification	35
II.6.2.La super finition	35
II6.2.1.Principe	37
II.8. Conclusion.....	37

CHAPITRE III : PROCESSUS DE FABRIQUATION DES PISTONS

III.1.Introduction	38
III.2.Processus de fabrication de piston	38

III.2.1. La préparation du métal	38
III.2.2.Coulage de précision	38
III.2.3.Démasselottage	40
III.2.4.Stabilisation	41
III.2.5.Traitement thermique.....	41
III.2.6. Usinage	42
III.2.6.1 Emboitage	42
III.2.6.2 Ebauche trou d'axe.....	43
III.2.6.3 Chariotage et dressage	43
III.2.6.4 Gorge et finition tête piston	43
III.2.6.5 Lamage + Chanfrein trous	44
III.2.6.6 Finition jupe	45
III.2.6.7 Chanfrein des gorges.....	45
III.2.6.8 Finition des trous d'axes	46
III.2.6.9 Cassage angle	46
III.2.6.10 fraisage fond	46
III.2.6.11 Marquage	47
III.2.6.12 Lavage et étamage-graphitage de la pièce	47
III.3.Contrôle et Super-contrôle	47
III.4. Emballage.....	48

Chapitre IV : Simulation du piston

IV.1.Introduction	49
IV.2. Construction du modèle géométrique	49
IV.2.1. Définition de SolidWorks	49
IV.2.2.Les étapes de la construction du modèle géométrique	50
IV.2.2.1.Etape 1 : construction la forme du piston 2D	50
IV.2.2.2.Etapes 02 : construction la forme du piston 3D.....	50
IV.2.2.3.Etapes 3 : construction des étapes de modification du piston.....	51
IV.2.3. La bielle et la tête de bielle	51
IV.2.4.L'axe de piston	52
IV.2.5.Assemblages des composantes	52

IV.3.Simulation du piston	53
IV.3.1.définition du logiciel.....	53
IV.4.Simulation Ansys	54
IV.4.1. Conditions aux limites	54
IV.4.2.Les efforts appliqués.....	55
IV.4.3.Le maillage	55
IV.4.4. Résultat de la simulation.....	56
IV.3.4.1.1 ^{er} Cas	56
IV.3.4.2. 2eme Cas.....	60
IV.5.5. Conclusion	64
Conclusion général	65
Bibliographies.....	66
Annexes	

La liste de figures

Figure I.1 : Principe de fonctionnement d'un moteur à quatre temps 'Moteur à allumage commandé'	2
Figure I.2: Les organes d'un moteur diesel	3
Figure I.3 : Le bloc-cylindres et la chemise Figure.....	4
Figure I.4 : Culasse Figure	4
Figure I.5 : La bielle	5
Figure I.6 : Le vilebrequin.....	6
Figure I.7 : L'arbre à came	6
Figure I.8 : Les soupapes.....	7
Figure I.9 : Le piston	8
Figure I.10 : Vue de face avec profil accentué.....	10
Figure I.11 : Vue de dessus de la forme accentué	10
Figure I.12 : Différentes formes de tête de piston.....	12
Figure I.13 : Présentation des forces dues à la pression des gaz	13
Figure I.14: Représentation de l'échange thermique par convection.....	14
Figure I.15: Tête de piston endommagée	15
Figure I.16: Tête de piston fissurée	16
Figure I.17: Fissures diverses à la tête de piston.....	16
Figure I.18: Piston cassé jusqu'à l'axe.....	17
Figure I.19: Tête endommagées de pistons de locomotive : (a) Piston 01 (b) Piston 02.....	17
Figure II.1 : Métal fondu	20
Figure II.2 : Procédé de fonderie.....	21
Figure II.3 : Les étapes du moulage	22
Figure II.4 : Les étapes du moulage en sable	23
Figure II.5 : Exemple d'un outillage coquille pour fonderie aluminium, (a) modèle 3D, (b) outillage réalisé, (c) les deux chapes, (d) les noyaux, (e) les broches.....	26
Figure II.6 : Schéma de principe de filage	27
Figure II.7 : Laminage	28
Figure II.8 : Le forgeage libre	28
Figure II.9 : Le matriçage.....	29

Figure II.10 : Le pilage.....	30
Figure II.11 : Le cintrage.....	30
Figure II.12 : L'emboutissage	31
Figure II.13 : Le frittage	32
Figure II.14 : Usinage d'une pièce moulée	33
Figure II.15 : Outils et opérations de tournage.....	33
Figure II.16 : Types de fraisage	34
Figure II.17 : Opération de perçage	34
Figure II.18 : Opération de la rectification.....	35
Figure II.19 : Principe de la super finition	37
Figure III.1 : Blocs de métal.....	38
Figure III.2 : Le four	39
Figure III.3 : Versement du métal dans le moule.....	39
Figure III.4 : Le moule	40
Figure III.5 : Machine de démasselotage	40
Figure III.6 : Opération de démasselottage	41
Figure III.7 : Four de stabilisation.....	41
Figure III.8 : Traitement thermique.....	42
Figure III.9 : Opération d'emboitage	42
Figure III.10 : Réalisation de trou d'axe	43
Figure III.11 : Chariotage dressage	43
Figure III.12 : Usinage des gorges	44
Figure III.13 : Chanfrein des trous	44
Figure III.14 : Jupe finie.....	45
Figure III.15 : Chanfrein des gorges	45
Figure III.16 : Finition trous d'axes	46
Figure III.17 : Fraisage fond	46
Figure III.18 : Piston marqué	47
Figure III.19 : Contrôle dimensionnel.....	48
Figure III.20 : Des pistons emballés.....	48
Figure IV.1: Profil de construction du piston.....	50
Figure IV.2 : Formes pivotées du profil de base	50
Figure IV.3 : interfaces graphiques des étapes de modification de la jupe	51
Figure IV.4 : forme 2D de la bielle et la tête de bielle.....	51

Figure IV.5 : forme 3D de la bielle et la tête de bielle	52
Figure IV.6 : l'axe du piston	52
Figure IV.7 : les composantes avant l'assemblages	53
Figure IV.8 : piston final	53
Figure IV.9: Condition aux limites	54
Figure IV.10:Les efforts appliqués.....	55
Figure. IV.11:Maillage du piston	55
Figure IV.12 : Distribution de la température selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C.....	56
Figure IV.13 : Contrainte équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C.....	57
Figure IV.14 : Déplacement total selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C.....	58
Figure IV.15 : Contrainte équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C.....	59
Figure IV.16 : Distribution de la température selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C.....	60
Figure IV.17 : Contrainte équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C.....	61
Figure IV.18 : Déplacement total selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C.....	62
Figure IV.19 Déformation élastique équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C.....	63

Liste Des Tableaux

Tableau II.1 : Température de fusion	20
Tableau II.2: Matériaux de la coquille en fonction du matériau coulé.....	24
Tableau II.3 : Différentes applications de la super finition.....	36
Tableau IV.1: Condition aux limites du piston	54
Tableau IV.2: Les efforts appliqués	55
Tableau IV.3: Résultats de la simulation	64

ملخص

المكبس هو من اكثر اجزاء مشحونة من محرك الاحتراق الداخلي, و وظيفته هي نقل الطاقة الميكانيكية الى الكرانكشفتات عن طريق قضيب الربط. و يركز هذا العمل على دراسة البيبليوغرافيا بشأن محركات الاحتراق الداخلي , و تشكيل و عملية التصنيع و يركز هذا العمل على دراسة البيبليوغرافيا بشأن محركات الاحتراق الداخلي , و صب و عملية تصنيع البستون ودراسة تحليل الازاحة وتشوهات وضغوطات في المكبس المحرك تحت التحمل الحراري وحمل الضغط. اختيار المواد لصنع **"ANSYS-Workbench"** وتجري هذه الدراسة باستخدام برمجيات محدودة العناصر المكبس هو عامل رئيسي للأداء السليم , لدراستنا اخترنا سبيكة الألومنيوم ولكن النتائج ليست مثالية جدا. والتحليل مع مواد أخرى مثل الصلب العادي والتيتانيوم هو إيجاد أنسب تحليل يقلل من انتشار درجات الحرارة في أوقات الاحتراق والعدم والضغط والضغوط الحرارية الميكانيكية. الكلمات الرئيسية: المكبس , هيكلية ثيرمو , عناصر محدودة , رقمي , محرك احتراق داخلي , تحميل حراري.

Résumé

Le piston est une des pièces les plus chargées du moteur à combustion interne, il a pour fonction de transmettre l'énergie mécanique au vilebrequin via la bielle.

Le présent travail se focalise sur une étude bibliographie sur les moteurs a combustion interne, le moulage, le processus de fabrication d'un piston et d'une étude d'analyse des déplacements, déformations ainsi des contraintes dans le piston du moteur sous chargement thermique et une charge de pression.

Cette étude est faite à l'aide d'un logiciel éléments finis « ANSYS-Workbench. » Le choix de matériaux d'élaboration du piston est un facteur principal pour le bon fonctionnement, pour notre étude on a choisi l'alliage d'aluminium mais les résultats ne sont pas tellement parfaits. L'analyse avec d'autres matériaux comme l'acier standard et le titane c'est pour trouver le plus convenable qui réduit la propagation des températures dans les temps combustion, échappement, compression et les contraintes thermomécaniques.

Mots clés : piston, Thermo structurelle, éléments finis, numérique, moteur à combustion interne, chargement thermique piston.

Abstract

The piston is one of the most loaded parts of the internal combustion engine; its function is to transmit mechanical energy to the crankshaft via the connecting rod.

The present work focuses on a bibliographical study on internal combustion engines, casting, the manufacturing process of a piston and an analysis study of the displacements, deformations as well as the stresses in the engine piston under thermal and pressure loading.

This study is done with the help of a finite element software "ANSYS-Workbench". The choice of material for the piston is a main factor for the proper functioning of the engine, for our study we have chosen aluminum alloy but the results are not so perfect. The analysis with other materials such as standard steel and titanium is to find the most suitable one that reduces the temperature propagation in combustion, exhaust, compression and thermomechanical stresses.

Keywords: piston, structural thermo, finite element, numerical, internal combustion engine, mpiston thermal loading.

INTRODUCTION GENERALE

Le processus de fabrication des pièces moulées dans les conditions d'une fonderie mécanisée comprend une série d'opérations technologiques nécessaire à la fabrication et cela selon l'échelle de production (selon la série) en passant par le bureau d'étude et le bureau des méthodes à la fonderie pour finaliser le processus dans les ateliers de fabrication.

Le moulage n'est que la première phase dans le processus de production pour passer à la seconde phase qui est d'usinage suivie d'un traitement thermique pour obtenir une pièce finie. Et c'est le cas pour le piston.

Pour le moteur à combustion interne, le piston est l'une des pièces mobiles les plus vulnérables, car il assure des multiples fonctions. Le rôle principal d'un piston est de convertir de l'énergie thermique en énergie mécanique. La jupe du piston est la partie qui se situe en dessous du dernier segment, elle agit en tant que surface supportant la charge et qui maintient le piston correctement aligné dans le cylindre.

Le piston doit résister à des sollicitations mécaniques et thermiques importantes. Notre approche consiste à modéliser le comportement thermique de la tête du piston dans le but de présenter les différents états de contraintes, déformations thermiques et déplacements pour différents matériaux : Alliage d'aluminium, Acier et Titane, le changement de métal nous permet de sélectionner le bon métal pour le type de piston.

Notre travail intitulé Conception et simulation d'un piston du moteur Diesel comprend quatre chapitres :

- Recherche bibliographique sur les moteurs thermique et leurs composants ;
- Mode d'obtention de brut ;
- Processus de fabrication du piston ;
- Conception et simulation du piston

CHAPITRE I :ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction :

Le piston a fait l'objet de nombreuses études dont la plupart concerne les moteurs diesel, lesquels sont plus sollicités thermiquement et mécaniquement que les d'abord moteurs à essence.

Nous allons étudier les études précédentes sur le piston et nous allons discuter des composants du moteur diesel choisi parmi les moteurs à combustion interne car ce phénomène est plus répandu dans ce type de moteur. Quelques travaux antérieurs sur les contraintes thermiques et mécaniques.

I.2. Définitions moteur Diesel :

Le moteur diesel est un moteur alternatif à combustion interne dans lequel l'allumage du mélange s'effectue par simple compression.

Les Diesels sont appelés moteurs à auto allumage (par apposition aux moteurs à essence, appelés moteurs à allumage commandé) dans un premier temps l'air parte à une pression très élevée, s'échauffe lorsque la température dans la chambre combustible est suffisante, le combustible est injecté en fine particule qui s'enflamme spontanément au contact de l'air.

I.3. Principe de fonctionnement

Le carburant pulvérisé très finement et mélangé à l'air forme un mélange combustible qui est introduit dans le cylindre : Cette introduction correspond à l'opération d'admission.

A ce stade de l'introduction dans le cylindre, le mélange gazeux est à faible pression. Si on l'enflammait à ce moment, il ne pourrait fournir qu'un travail insuffisant, il faut au préalable le comprimer : c'est l'opération de compression.

Puis, le mélange en flammées détend en fournissant l'effort moteur transformé en mouvement de rotation sur l'arbre moteur grâce au mécanisme bielle manivelle.

Enfin, il faut que les gaz brûlés soient évacués avant qu'un nouveau mélange frais soit admis dans le cylindre : c'est l'opération d'échappement.

I.4. Cycle à quatre temps :

I.4.1. 1er temps : ADMISSION

Descente du piston Ouverture de la soupape d'admission Remplissage du cylindre par de l'AIR Fermeture de la soupape d'admission.

I.4.2. 2ème temps : COMPRESSION

Montée du piston Les soupapes sont fermées Forte élévation de la pression (environ 40 bars) et donc de la température (environ 600°C) pour permettre l'auto inflammation.

I.4.3. 3ème temps : COMBUSTION

Le combustible est injecté à haute pression (environ 300 bars). Il s'enflamme spontanément et continue à brûler tout le temps que dure l'injection (la combustion dure ici plus longtemps que dans le cas du moteur à essence). Sous l'action de la pression (environ 90 bars), le piston descend.

I.4.4. 4ème temps : ECHAPPEMENT

La soupape d'échappement s'ouvre chute de pression le piston monte et chasse les gaz brûlés contenus dans le cylindre et le cycle recommence lors de l'admission, le moteur aspire de l'air l'injection doit se faire à très haute pression le combustible s'enflamme par auto-inflammation la combustion dure le temps que dure l'injection du combustible. Toutes ces temps sont résumées dans (figure I.1) :

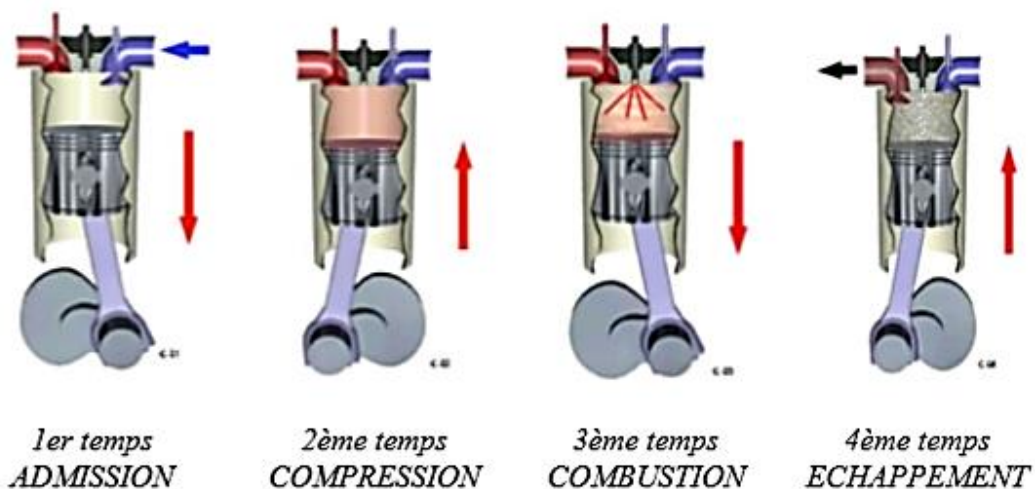


Figure I.1 : Principe de fonctionnement d'un moteur à quatre temps 'Moteur à allumage commandé'.

I.5. Les organes d'un moteur diesel :

Dans un moteur à combustion interne on peut distinguer les organes fixes, mobiles, et organes qu'on peut appeler organes annexes.

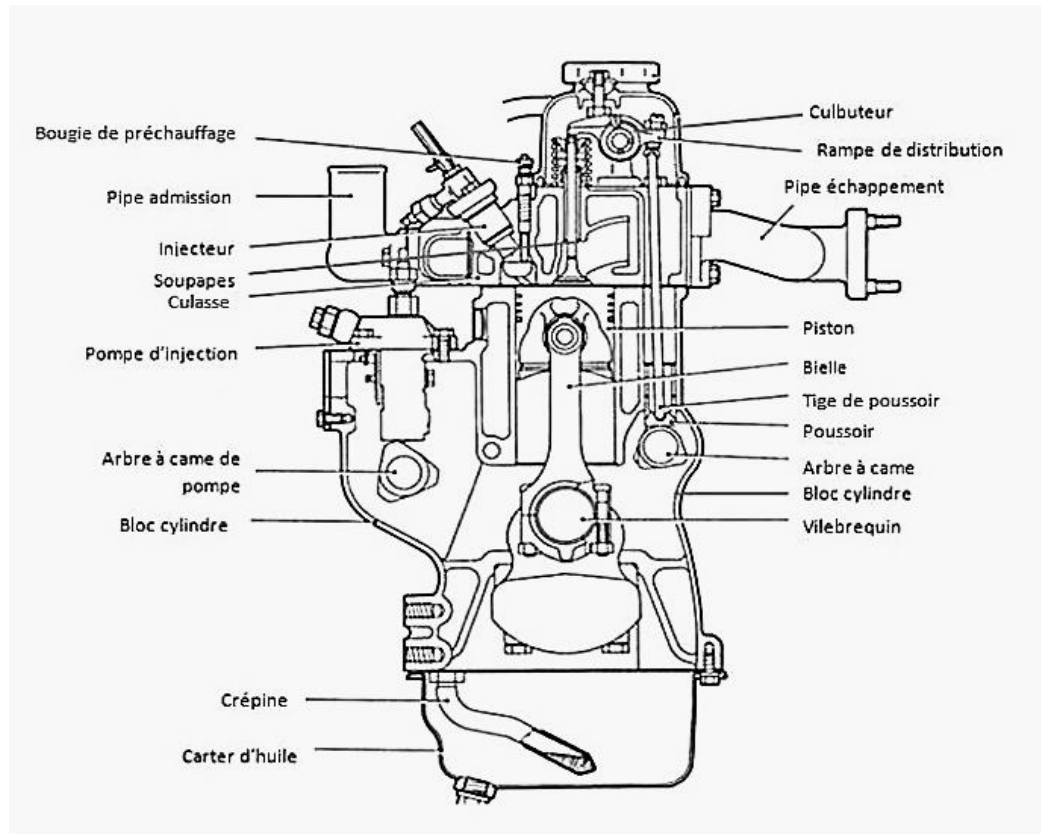


Figure I.2: Les organes d'un moteur diesel [1]

I.5.1. Les organes fixes :

I.5.1.1. Le bloc-cylindres (carter-moteur) :

C'est la partie inférieure du moteur, et il comporte les organes de distributions, Le bloc est en fonte ou en alliage d'aluminium moulé. Il constitue le bâti du moteur et dont la partie intérieure est usinée pour former les cylindres ou les logements de chemises s'il s'agit d'un moteur à chemises rapportées. .(figure I.3)

I.5.1.2. La chemise de cylindre :

La chemise est un fut cylindrique dans lequel coulisse le piston, elle peut être rapportée ou alésée directement dans le bloc, et ce pour plusieurs raisons tels que le type de combustible utilisé et la puissance du moteur.

La chemise peut être en fonte phosphoreuse (entre 0.25 et 0.60% de phosphore) à structure perlitique, en acier Nickel Chrome auquel on additionne des traces de molybdène et on fait subir un durcissement superficiel par nitruration ou en alliage d'aluminium. (figure I.3).



Figure I.3 : Le bloc-cylindres et la chemise [1]

I.5.1.3. Culasse :

La culasse possède plusieurs rôles :

Elle obture le cylindre et constitue la chambre de combustion c'est-à-dire l'espace correspondant du volume qui subsiste quand le piston est au point mort haute, la culasse porte le siège des soupapes et tubulures de passage des gaz frais brute. Figure (I.4).



Figure I.4 : Culasse [1]

I.5.2. Les organes mobiles :

I.5.2.1. La bielle :

La bielle est un organe qui permet la liaison entre le piston et le vilebrequin et a pour rôle de transmettre le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire du vilebrequin. (figure I.5)

Le pied de bielle est muni d'une bague antifriction dans laquelle bouge un librement.

La tête de bielle a pour plan d'assemblage avec le chapeau oblique ou droit cranté.



Figure I.5 : La bielle [1]

I.5.2.2. Le vilebrequin

Le vilebrequin donne le mouvement rotatif nécessaire au moteur. Il est relié à la bielle (Qui est-elle même reliée au piston) qui lui transmet un mouvement alternatif. (figure I.6).

C'est donc le vilebrequin qui va entraîner tout les éléments du moteur qui ont besoin d'un mouvement rotatif comme :

- La transmission primaire (chaîne de distribution ou cascade de pignon ou courroie, arbre à cames...).
- Les pompes (à eau; à huile).
- L'alternateur.
- Eventuellement les contre-arbres d'équilibrage.



Figure I.6 : Le vilebrequin [1]

I.5.2.3. L'arbre à came :

La commande de soupapes et les injecteurs, s'effectue à l'aide de cames tournante d'un mouvement uniforme, les cames nécessaires à la distribution dans un moteur sont d'un arbre appelé " arbre à came " ..(Figure I.7)



Figure I.7 : L'arbre à came [1]

I.5.2.4. Les soupapes :

Chaque cylindrer comporte une soupape d'admission et une soupape d'échappement, outre l'obturateur proprement dit où tête de soupape, une tige de commande appelée queue de soupape, un poussoir agit sur la queue ou sur la tige du culbuteur pour réaliser l'ouverture.

La fermeture s'effectue sous l'action d'un ressort de rappel, comprimé lors de l'ouverture, le ressort permet ainsi au poussoir d'être en contact permanent avec la came. La levée de soupape est à accélération constant, ce qui régularise les forces d'inertie de la

soupape, la tension du ressort est supérieure au produit de l'accélération par la masse des pièces en mouvement.(figure I.8).



Figure I.8 : Les soupapes [1]

I.6. Le piston :

Pièce cylindrique mobile, sert à comprimer les gaz en vue d'une explosion, et qui après l'explosion transforme une énergie thermique en énergie mécanique. Outre ces deux rôles primordiaux, le piston a d'autres rôles aussi importants pour le bon fonctionnement du moteur :

- Aspirer le mélange de gaz dans la chambre de combustion lors de sa descente.
expulser les gaz brûlés lors de sa remontée.
- Evacuer la chaleur créée par les explosions répétées.
- Assurer l'étanchéité entre la chambre de combustion et le carter du vilebrequin rempli d'huile.
- Résister à la très forte chaleur et aux contraintes mécaniques.
- Et enfin, être le plus léger possible pour diminuer les masses en mouvement.

Le piston peut être décomposé en trois parties principales; tête, jupe et logement d'axe (trou d'axe) (figure I.9)

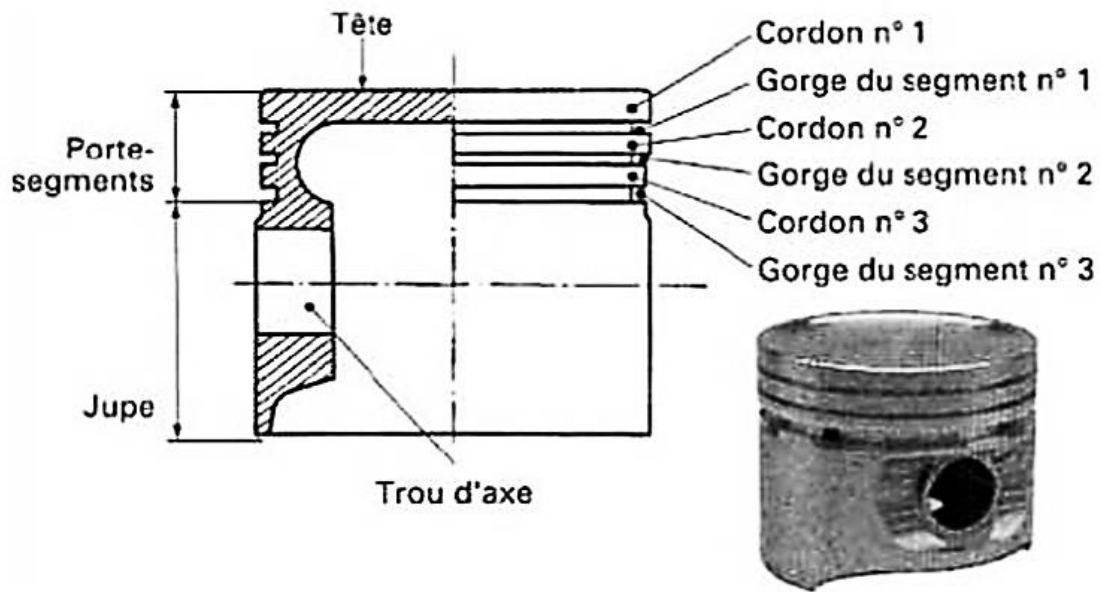


Figure I.9 : Le piston [1]

I.6.1. Tête :

Elle se compose d'un fond et d'une couronne porte-segment.

I.6.1.a. Fond :

Reçoit les efforts nés de la combustion. Son épaisseur, inversement proportionnelle au module d'élasticité du matériau, à la température de fonctionnement, doit croître avec la pression maximale des gaz avec l'alésage, pour que l'allongement n'atteigne la valeur A% du matériau à la température du matériau considérée. Le fond est également la surface d'entrée des flux thermiques qui traverseront le piston. Lorsque ce piston doit concourir à l'établissement d'une turbulence du mélange (air+combustible), ce qui est fréquent en diesel, sa surface n'est plus plate et devient plus ou moins tourmentée. Il s'ensuit que le flux thermique pénétrant dans le piston s'accroît puisque la surface d'échange croît et le coefficient de transfert thermique augmente.

I.6.1.b. La couronne porte-segment :

Dissipe une partie d'énergie calorifique qui entre par le fond et assure l'étanchéité au gaz et à l'huile. L'étanchéité aux gaz :

- Assure la compression de l'air.
- Limite les fuites de gaz de combustion (donc les pertes d'énergie d'huile).
- Evite que les gaz refoulant l'huile, ne provoquent le dommage des segments, le grippage au niveau de la jupe et les fumées au reniflard (évacuation des vapeurs présentes dans le carter d'huile).

I.6.2. La Jupe :

ou partie frottant , assure:

- L'appui latéral du piston sur la chemise; la répartition de l'effort global, croissant d'une part avec l'obliquité de la bielle.
- Le guidage du déplacement du piston et surtout de la couronne porte segment dans la chemise, qui motive un allongement de cette dernière lorsque la masse de la tête du piston croît.
- L'évacuation d'une partie de la quantité de chaleur à l'entrée de la tête.

I.6.3. Logement d'axe (trou d'axe) :

Ce logement et en particulier le raccordement des bossages au fond, doivent posséder une rigidité conduisant à des déformations aussi faibles que possible tout en n'étant pas trop lourde. Il y a intérêt à situer ce logement d'axe aussi près que possible du centre de gravité du piston afin d'en diminuer le basculement.

I.6.4. Forme générale du piston :

Du fait des déformations lors de la montée en température dans le piston, les formes à froid figure (I.10) d'un piston sont loin d'être cylindriques. En effet, le piston est :

- En tonneau dans le sens vertical avec une décroissance en tête de quelques dixièmes (0,4 mm à 0 5 mm).

- Ovale, vu de dessus avec un ovale de quelques dixièmes également (environ 0,5 mm au niveau du diamètre d'appariement qui est le diamètre le plus élevé du piston. Les jeux piston/chemise qui doivent être précis, conduisent à un appariement entre piston et chemise. Les jeux peuvent être de 20 à 40 μm dans certains moteurs et de 90 à 110 μm dans d'autres.

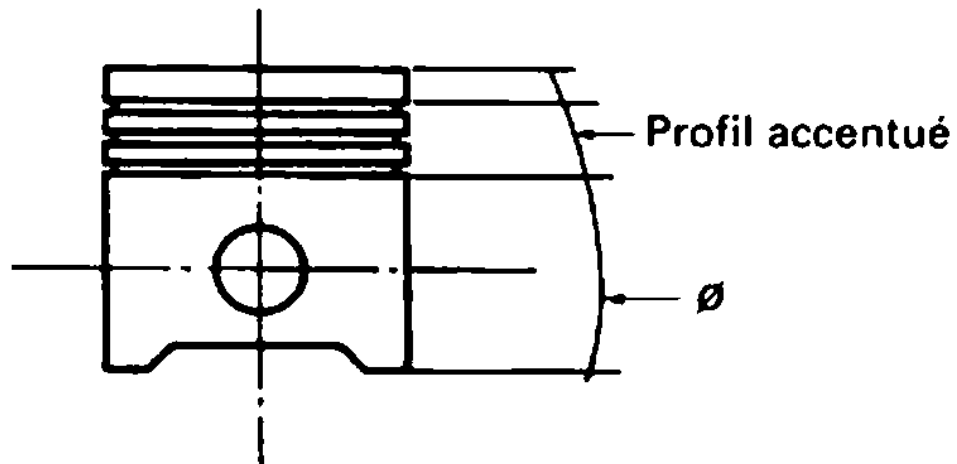


Figure I.10 : Vue de face avec profil accentué [1]

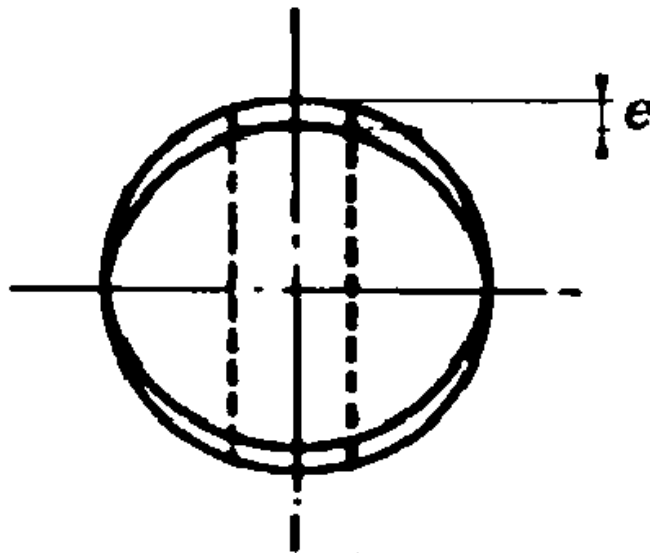


Figure I.11 : Vue de dessus de la forme accentué [1]

I.6.5. Matériaux utilisés dans la fabrication des pistons :

Parmi les matériaux que l'on peut utiliser dans la fabrication du piston, on cite:

I.6.5.a. Alliages d'aluminium :

Les alliages d'aluminium au cuivre (2 à 10% de Cu) ductiles et forgeables possèdent des caractéristiques mécaniques importantes à froid mais qui se dégradent rapidement à chaud. On préfère, en conséquence les alliages au silicium (12% de Si) car :

- Ils se comportent moins mal à chaud.
- Ils possèdent un coefficient de dilatation moins élevé ($20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$).
- Ils offrent de meilleures qualités de frottement.

I.6.5.b. Acier :

L'acier est le métal industriel possédant les meilleures caractéristiques [2]. Mais du fait de sa mauvaise conductivité thermique, il ne peut être utilisé que dans les cas de piston refroidi.

I.6.5.c. Fonte :

La fonte possède un faible allongement A% avant l'apparition de fissure, ce qui l'handicape dans son emploi lorsque le moteur est soumis à de fréquentes et brutales variations de régime. Par ailleurs son gain de poids moins accusé que dans la solution acier (E plus faible), incite à limiter son emploi au moteur semi-lent.

I.6.5.d. Remarque :

Les principales propriétés ayant une influence sur le comportement des pistons sont les suivantes:

- La densité.
- Les propriétés mécaniques des matériaux aux températures de fonctionnement
- Conductivité thermique.
- Coefficient de dilatation.
- Qualités de frottement, de résistance à l'usure.

I.7. Différentes formes de tête de piston :

La tête du piston représente la partie en contact direct avec les gaz de combustion à l'intérieur du cylindre (en compression ou en détente). Dans un moteur, elle peut avoir plusieurs formes (Figure I.12) tout dépend du type du carburant utilisé et du type de l'injection. La tête du piston est en général plane (Figure I.12). Notamment pour les moteurs à deux temps et les moteurs à quatre temps de bonnes performances.

Parfois, elle est convexe, permettant d'avoir une chambre de combustion, offrant un allumage plus efficace du gaz et un meilleur refroidissement de la bougie (dans le cas des moteurs à essence) et un taux de compression plus élevé.



Figure I.12 : Différentes formes de tête de piston [3].

I.8. Les Charges appliquées sur le piston :

I.8.1. Pression des gaz :

Les gaz dans le cas du Diesel, ont une plus grande turbulence et une pression élevée, par conséquent, en pleine puissance, le transfert du flux de chaleur (gaz-tête du piston) est plus important. Le piston est aussi soumis à des sollicitations mécaniques dues à l'action (P_z) de la pression des gaz de combustion sur la tête du piston, et la réaction (R_z) de l'axe de piston comme le montre la figure (I.13).

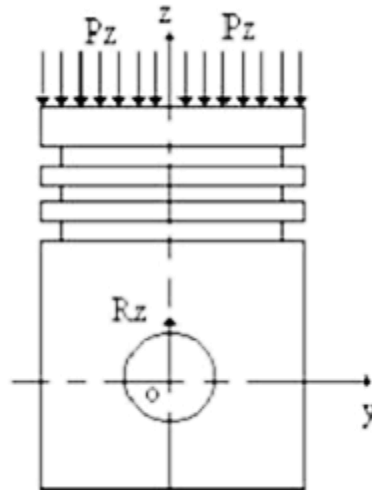


Figure I.13 : Présentation des forces dues à la pression des gaz [3]

I.8.2. Températures :

Le flux de chaleur à travers une surface élémentaire du piston est :

$$d_Q = d_S \left(T_{(enamon)_t} - T_{(enava)_i} \right) h d_t \quad (I.1)$$

ou

h : est le coefficient de transfert de chaleur par convection ($W/m^2 \cdot K$)

d_S : l'élément de surface qui évacue le flux de chaleur élémentaire dQ .

$T_{(enamon)_t}$: Température des gaz après combustion.

$T_{(enava)_i}$: Température de la paroi de la tête de piston, qui varie avec T des gaz résiduels, de la vitesse de rotation du moteur N et, pour un régime donné du moteur en fonction de la position de la surface élémentaire dS considérée [3].

Dans le cas du Diesel, par contre, il est prévu que la jupe du piston évacue une quantité importante de chaleur, qui passe par la tête de piston. En outre, il faut que l'axe du piston du Diesel soit aussi loin que possible de la tête, de sorte que, la température au contact de l'axe ne réduit pas trop la viscosité de l'huile, ce qui empêche sa lubrification.

I.8.3. Contraintes thermiques :

Le gradient de température dans le corps du piston est très élevé dans un laps de temps très court, avec la répétition cyclique rapide, génère des contraintes thermiques qui causent des déformations, qui, plus tard impliquent la fissuration du piston. L'augmentation de la température $\Delta\theta$ (supposée uniforme) sur la tête du piston va augmenter la dilatation de son diamètre.

$$\Delta D = \alpha \cdot D \cdot \Delta T \quad (I.2)$$

Avec $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ pour la fonte (moteur de locomotive).

En conditions réelles d'exploitation, la différence de température $\Delta\theta$ entre le centre et la périphérie de la tête du piston varie jusqu'à 150° C .

Cette analyse concerne toutes les surfaces qui constituent les différentes parties du piston, qui sont soumises à un échange de chaleur par convection $h(T_{\text{paroi}} - T_{\infty})$, où T_{paroi} et T_{∞} sont respectivement la température de la paroi de la surface en question et la température du fluide de son entourage.

Le flux de chaleur résultant de la combustion est transféré par convection à la tête du piston, ce qui fait augmenter sa température par conduction, puis cédé à l'entourage par convection à travers les segments, la jupe et le bossage interne. La figure (I.14). illustre cet échange.

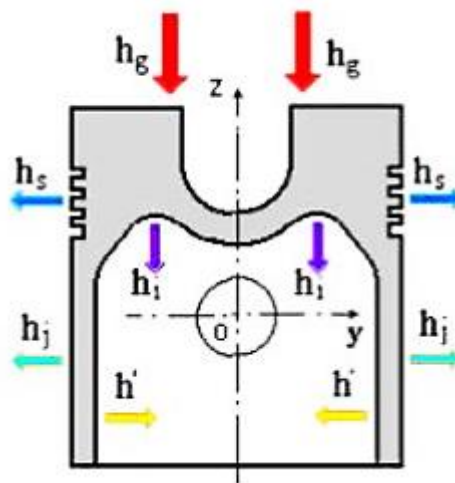


Figure I.14: Représentation de l'échange thermique par convection [4]

H_g : Coefficient d'échange de chaleur par convection entre la tête du piston et les gaz de combustion; ($T_g > T_{\text{paroi}}$), où T_g est la température des gaz de combustion.

H_s : Coefficient d'échange de chaleur par convection entre le film d'huile et les segments, ($T_{\text{paroi}} > T_h$), où T_h est la température de l'huile.

h_j : Coefficient d'échange de chaleur par convection entre le film d'huile et l'extérieur de la jupe, ($T_{\text{paroi}} > T_h$).

h' , h_i : Coefficients d'échange par convection respectivement entre l'huile projeté et l'intérieur de la jupe, et le bossage interne ($T_{\text{paroi}} > T_h$).

Par conséquent, la pression, la haute température et les contraintes thermiques, ajoutant à cela les propriétés du matériau du piston, sont les paramètres importants déterminant le bon fonctionnement du piston. Donc, nous allons concentré cette étude sur la tête du piston du moteur Diesel turbocompressé, à deux (2) temps.

I.9.Dommages des pistons :

I.9.1.Enlèvement de matière / fusion de la calotte d'un piston en fonte :



Figure I.15: Tête de piston endommagée [5] [6]

Dans la figure (I.15) la couronne de la tête du piston a été complètement détruite et la calotte supérieure du piston est complètement fondue, le métal en fusion coule vers la jupe causant des dégâts, le premier segment de compression est désormais partiellement intact sur le côté gauche du piston, alors que le reste de la gorge porte-segment s'est détaché du piston pendant le fonctionnement et a provoqué des dégâts supplémentaires dans la chambre de combustion.

En Figure (I.15) le métal localisé dans la zone de la tête devient mou dans ce processus, l'érosion due aux gaz de combustion accélère le détachement des particules de la surface.

I.9.2.Fissures à la couronne de la tête du piston et au bord du bol de combustion (moteurs Diesel) :



Figure I.16: Tête de piston fissurée [6]



Figure I.17: Fissures diverses à la tête de piston [8]

I.9.2.a. Description des dommages :

La couronne du piston présente des fissures provoquées sous contrainte thermique, qui s'étend sur un côté de la tête du piston jusqu'à l'alésage de axe du piston figure (I.16). Les gaz de combustion chauds, fuit à travers la fissure ont creusés un canal dans le matériau du piston jusqu'au segment racleur.

I.9.2.b. Evaluation des dégâts :

En raison de la charge thermique élevée, le matériau du piston chauffe d'une manière significative dans des endroits bien localisé sur la tête du piston, tels que les préchambres de combustion où les endroits de percussions du jet de l'injecteur, sur le bord du bol (moteurs à injection directe).

Le matériau se dilate beaucoup plus dans les zones chauffées qu'ailleurs. La zone thermiquement surchargée est en permanence, déformée au-delà de sa limite d'élasticité. .

Ces résultats de contraintes de traction dans ce domaine, finissent par provoquer des fissures de contrainte figure(I.17).

Si les contraintes résultantes de la surcharge thermique sont très élevés, il y'aura aussi des contraintes opposées, causées par la déformation de l'axe du piston, ou dans certains cas, les fissures peuvent se transformer en une fissure beaucoup plus importante, qui provoque la rupture complète qui rend le piston hors service [8].

Sur les moteurs qui sont soumis à des charges fréquemment variables, par exemple, autobus urbains, engins de terrassement etc. Ces facteurs peuvent devenir particulièrement critiques.

I.9.3.Fatigue mécanique à haute température :



Figure I.18: Piston cassé jusqu'à l'axe [9]



Figure I.19: Tête endommagées de pistons

de locomotive : (a) Piston 01 (b) Piston 02 [9]

La tête est toujours plus chaude que la jupe et la zone de l'axe du piston, à cause de la distribution de température vertical le long l'axe de piston, ce qui fait la résistance à la fatigue du matériau à la tête est plus faible, même si le matériau est le même [10].

Selon la géométrie particulière du piston, l'influence de la température dans zone du bol et de l'axe du piston est très critique. Ainsi, le bord de la chambre de combustion et la tête, ont moins de résistance à la température élevée, qui cause la fissure ; sur la (figure I.17), la fissure se propage jusqu'à atteindre l'axe du piston (figure I.18)

I.9.4. Fatigue thermique et Température élevée :

La fatigue thermique est liée aux contraintes dans le matériau, et est induite par les gradients thermiques dans le piston. La figure (I.19) montre deux pistons de locomotive avec plusieurs fissures à la tête du piston [11].

Des contraintes thermiques dues à la distribution «verticale» de la température le long du piston, des températures élevées au niveau de la tête (en haut) et à des températures inférieures au niveau du bas de la jupe (Figure I.19.a).

Contraintes thermiques dues à la différence de température à la tête du piston en raison de l'écoulement des gaz chauds ou à l'injection du carburant à haute pression (Figure I.19.b).

Chapitre II : Modes d'obtention de brut

II.1 Introduction :

Obtenir une pièce nécessite parfois l'utilisation successive de différents procédés de fabrication dont l'obtention de la pièce brute, puis obtention de la pièce finale, Les procédés d'obtention des pièces sont très variés selon la nature des matériaux, leur fonction, leur géométrie. On s'intéresse dans le cadre de ce chapitre aux quelques principes d'obtention des pièces brutes qui pourront par la suite être usinées, rectifiées, ...etc.

II.2 Obtention par fusion (fonderie, ou moulage) :

II.2.1.La fonderie :

La fonderie est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour reproduire, après refroidissement, une pièce donnée (forme intérieure et extérieure) en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition.

Dans la spécialisation de la fonderie, on distingue pratiquement les fonderies suivantes :

a. La nature des métaux et alliages :

- Fonderie de fonte
- Fonderie d'acier.
- Fonderie d'aluminium et ses alliages.
- Fonderie de cuivre. Bronzes, laitons, etc

b) Selon l'utilisation :

- Fonderie d'art.
- Fonderie d'ornement (bijoux).
- Fonderie de mécanique industrielle.

c) Selon le procédé de moulage :

- Moulage en sable (manuel ou mécanique).
- Moulage en carapaces.

- Moulage à la cire perdue.
- Moulage en coquilles (moule permanent)

Dans ces procédés le moule peut-être permanent ou non permanent (destructible).

II.2.2.1 Le moule non permanent est utilisé qu'une seule fois, pour extraire la pièce, il faut le détruire, l'empreinte est obtenue par moulage du matériau constitutif autour d'un modèle réalisé en bois ou en métal.

II.2.2.2 Le moule permanent peut servir un grand nombre de fois, il est réalisé en plusieurs parties pour faciliter l'extraction de la pièce. Il est utilisé surtout lorsque la quantité de pièces à couler est importante



Figure II.1 : Métal fondu

II .2.2.La température de fusion :

La température de fusion dépend de la nature des matériaux

Matériau	Température de fusion (C°)
Carbure de silicium	3100
Acier	1500
Fonte	1400
Cuivre	1300
Verre	1000
Aluminium	600
PTFE	120

Tableau II.1 : Température de fusion

II .2.3.Les principaux traitements thermiques et de surfaces :

II.2.3.1.Les principaux traitements thermiques :

-Trempe : consiste à chauffer un matériau jusqu'à transformation de sa structure interne puis de le refroidir suffisamment rapidement pour « figer » plus ou moins cette phase. La principale conséquence d'une trempe est le durcissement (superficiel) du matériau.

- Revenu (d'après trempe) : consiste à chauffer un matériau en dessous de la température de trempe, afin de supprimer les contraintes internes dues à la trempe. Ceci permet au matériau trempé d'être moins fragile, plus résistant à la fissuration.

- Recuit : consiste à chauffer un matériau à haute température puis de le refroidir très lentement. Ceci permet de supprimer les effets d'une trempe non désirée.

II.2.3.2.Les principaux traitements de surface :

- Sablage : projection de sable afin de décaper ou d'écrouir la surface.

- Moletage : déformation superficielle en forme de stries afin de faciliter la prise en main.

- Dépôts métalliques : nickelage, cuivrage, cadmiage, galvanisation (inoxydables), chromage (aspect brillant ou anti-usure), étamage, argenture, dorure...

- Diffusion chimique superficielle : cémentation (carbone), nitruration (azote), boruration,... afin d'augmenter la dureté superficielle ; ou aluminisation afin de protéger contre l'oxydation.

- Peinture : Sert à protéger (contre l'oxydation, la corrosion) et à améliorer l'aspect des pièces.

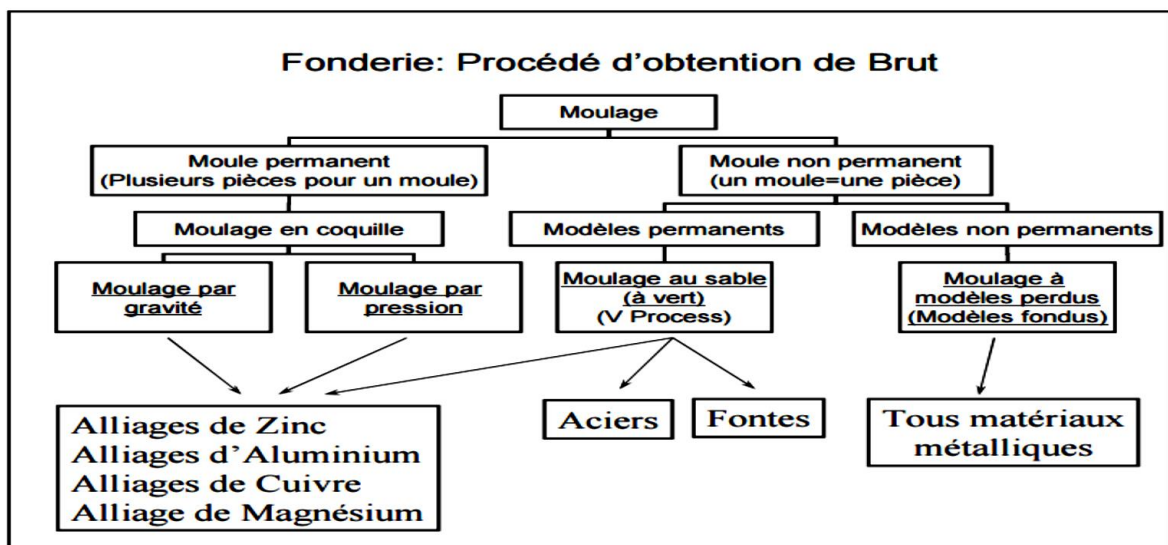


Figure II.2 : Procédé de fonderie

II .2.4.Le moulage :

Le moulage proprement dit est l'action de réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir), le métal en se solidifiant, prendra la forme et dimensions de l'empreinte du moule.

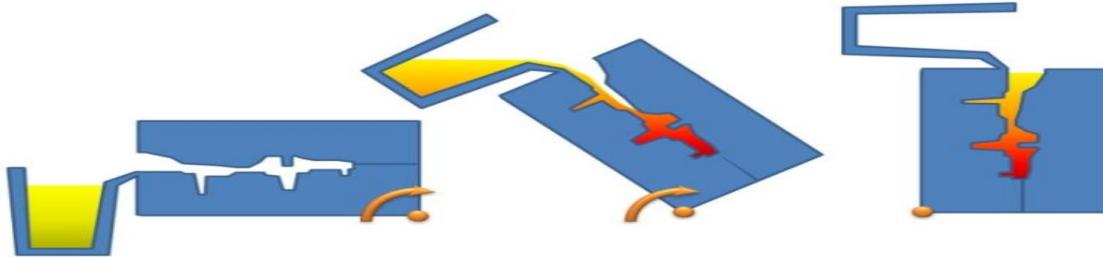


Figure II.3 : Les étapes du moulage

II.2.4.1.Avantage :

- Peu de gaspillage de matière première ;
- Permet d'obtenir des formes très complexes.

II.2.4.2.Inconvénients :

- Nécessite un outillage important et coûteux (surtout pour les moules métalliques) ;
- La pièce à obtenir doit posséder des épaisseurs approximativement constantes ou variant faiblement, ne pas posséder d'arêtes vives (congés et arrondis vivement conseillés), et avoir des surfaces de dépouilles ;
- L'état de surface (rugosité) obtenu est moyen ;
- La précision obtenue est moyenne (retraits de matière et déformation en refroidissant);
- Ces deux derniers inconvénients obligent souvent à calculer et ajouter des surépaisseurs d'usinages au niveau des surfaces fonctionnelles de la pièce .

Il existe principalement deux techniques de moulage : en sable ou métallique.

II.2.5. Moulage en sable :

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, etc) enfoncé dans le sable. Lorsque la pièce a des formes intérieures (trous, évidement, etc), on insère dans (entre) la (les) partie(s) du moule un noyau en sable qui y sera maintenu (dans le moule) puis détruit après démoulage de la pièce.

L'intérêt de cette technique est que le sable est réfractaire (il résiste à la chaleur), et que le moule ne coûte pas cher à fabriquer. Par contre, l'état de surface ($Ra \approx 3,2 \mu m$) et la précision obtenue est assez mauvaise. Cette technique convient bien pour des petites séries.

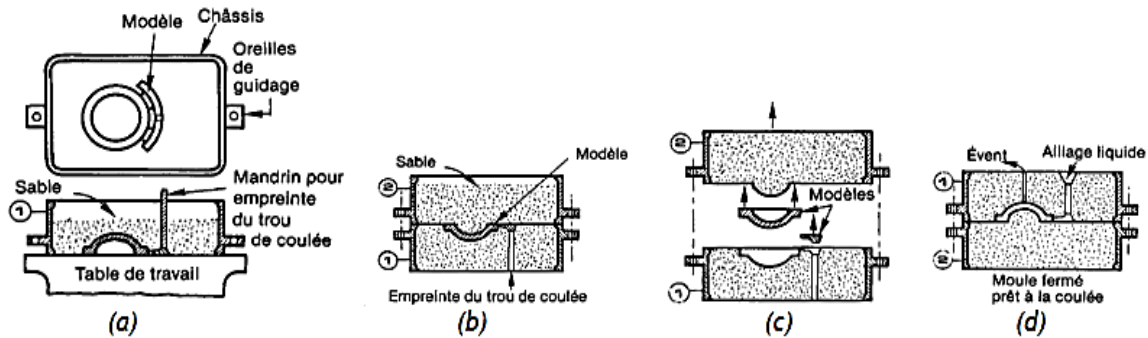


Figure II.4 : Les étapes du moulage en sable

II.2.6. Moulage métallique (ou moulage permanent) :

Le moulage en coquille consiste à obtenir une pièce à partir d'un moule métallique, appelé coquille, constitué d'éléments assemblés dans lesquels une cavité ayant la forme extérieure de la pièce a été réalisée (Figure I.2 a). Dans cette cavité dénommée empreinte, l'alliage liquide est versé par l'intermédiaire d'un orifice de remplissage. Le remplissage de la coquille se fait sous la seule action du poids de l'alliage soit par coulée directe, de haut en bas, dite en chute ou par gravité, soit, suivant le principe des vases communicants, de bas en haut, dite en source.

II.2.6.1. Le procédé de moulage en coquille permet :

- Précision dans les dimensions des pièces ;
- Une simplification et une réduction de l'usinage (même s'il est difficile de supprimer complètement l'usinage) ;
- La possibilité d'utiliser des noyaux en sable afin de réaliser les pièces de formes internes complexes ;
- Des caractéristiques mécaniques améliorées par rapport à un moulage en sable. Ces améliorations sont dues au refroidissement plus rapide de l'alliage coulé contre les parois métalliques du moule.

Ce procédé de moulage convient plus particulièrement :

- Aux moyennes et grandes séries ; dans le cas de pièces simples, la rentabilité peut être obtenue à partir d'une série de 500 pièces et en général pour des quantités de 2000 pièces en moyenne ;
- A la fabrication de pièces sollicitées exigeant un alliage à traitement thermique ;
- Aux alliages à bas point de fusion (alliage d'aluminium par exemple).

II.2.6.2. Les matériaux mis en forme par moulage en coquille :

L'aluminium et ses alliages sont les matériaux les plus employés par le moulage en coquille, quelques exemples :

- Les alliages présentant une bonne aptitude au moulage obtenu par l'apport de silicium :

Al Si 13 - Al Si 10 Mg - Al Si 5 Cu

- Les alliages traités thermiquement à hautes caractéristiques mécaniques obtenues par l'apport de magnésium :

Al Cu 5 Mg T1 - Al Si 7 Mg - Al Si 10 Mg

Le zinc et ses alliages sont fréquemment moulés par ce procédé, à savoir :

- **Zamak - Zn Al4 Mg** (principalement en fonderie sous pression) - **Zn Al12 - Zn Al Cu**

Mais également le cuivre et ses alliages :

- **Laiton - Cu Zn39 Pb2 - Bronze - Cu Sn7 - Cupro-aluminiums - Cupro-nickels**

II.2.6.2. Les matériaux constituant le moule

Les diverses pièces constituant les coquilles de fonderie sont soumises à des sollicitations qui varient considérablement selon leur fonction et l'alliage coulé. Il convient en général de prévoir la réalisation de chacun dans le matériau le mieux adapté et ayant subi le traitement thermique susceptible de lui assurer une tenue en service aussi longue que possible.

Matériau coulé	Matériaux	État	Remarques
Alliages d'aluminium	Fonte grise perlitique 35 Ni Cr 15	Recuit Trempé et revenu	Coquille Noyaux sollicités
Laiton	Fonte grise perlitique 25 Cr Mo 4	Recuit Trempé et revenu	Coquille Noyaux sollicités
Cuivreux	X 30 W Cr 09 03	trempé et revenu	

Tableau II.2: Matériaux de la coquille en fonction du matériau coulé

II.2.6.3. Technologie de la coquille

Afin d'assurer la conformation de la pièce, la coquille doit contenir en plus de l'empreinte, un certain nombre d'éléments importants :

Le système de remplissage : au minimum composé d'un trou de coulée, d'un bassin de coulée et de canaux, son rôle est d'acheminer le métal liquide du trou de coulée à l'empreinte. Il est préférable d'assurer via ce système une veine fluide non perturbée et une alimentation homogène de l'empreinte. Enfin il est possible d'ajouter dans le bassin de coulée ou les canaux, des filtres céramiques et des bassins de décantation pour retenir les impuretés.

Le système d'alimentation : communément appelé masselottage, son objectif est d'assurer l'alimentation de la pièce en métal fondu après l'arrêt de la coulée, lors de sa solidification. En effet la diminution du volume du métal en se solidifiant pourrait générer des pièces incomplètes (retassures) si le système d'alimentation n'est pas efficace. Il consiste donc en des réserves de métal fondu, généralement disposées au dessus de la pièce. Lors du moulage en coquille par gravité, le système de remplissage peut faire office (au moins pour une partie) de système d'alimentation.

Les événements : Ces trous généralement fins dans la coquille permettent l'échappement de l'air lors du remplissage et évitent ainsi les incomplets et les bulles d'air diminuant les propriétés mécaniques de la pièce coulée.

Les portées : lors de l'utilisation de noyaux en sable ou de broches métalliques afin de réaliser les formes intérieures de la pièce, il est important d'ajouter des portées. Ces liaisons noyau-coquille, broche-coquille ou broche-broche, assurent la mise en position des éléments dans la coquille et la résistance de cette mise en position aux efforts de la coulée (chute du liquide et pression hydrostatique)

Mise en position des chapes : la coquille et les empreintes n'étant jamais monobloc il est nécessaire d'ajouter entre chaque liaison une mise en position précise (centreur, locating, goujon...) et un maintien en position efficace (crampe de fermeture, goupille d'arrêt...). Sans ces éléments, ou avec des éléments mal dimensionnés, des écarts géométriques importants peuvent apparaître, voire une fuite de métal si le plan de joint n'est pas correctement maintenu fermé.

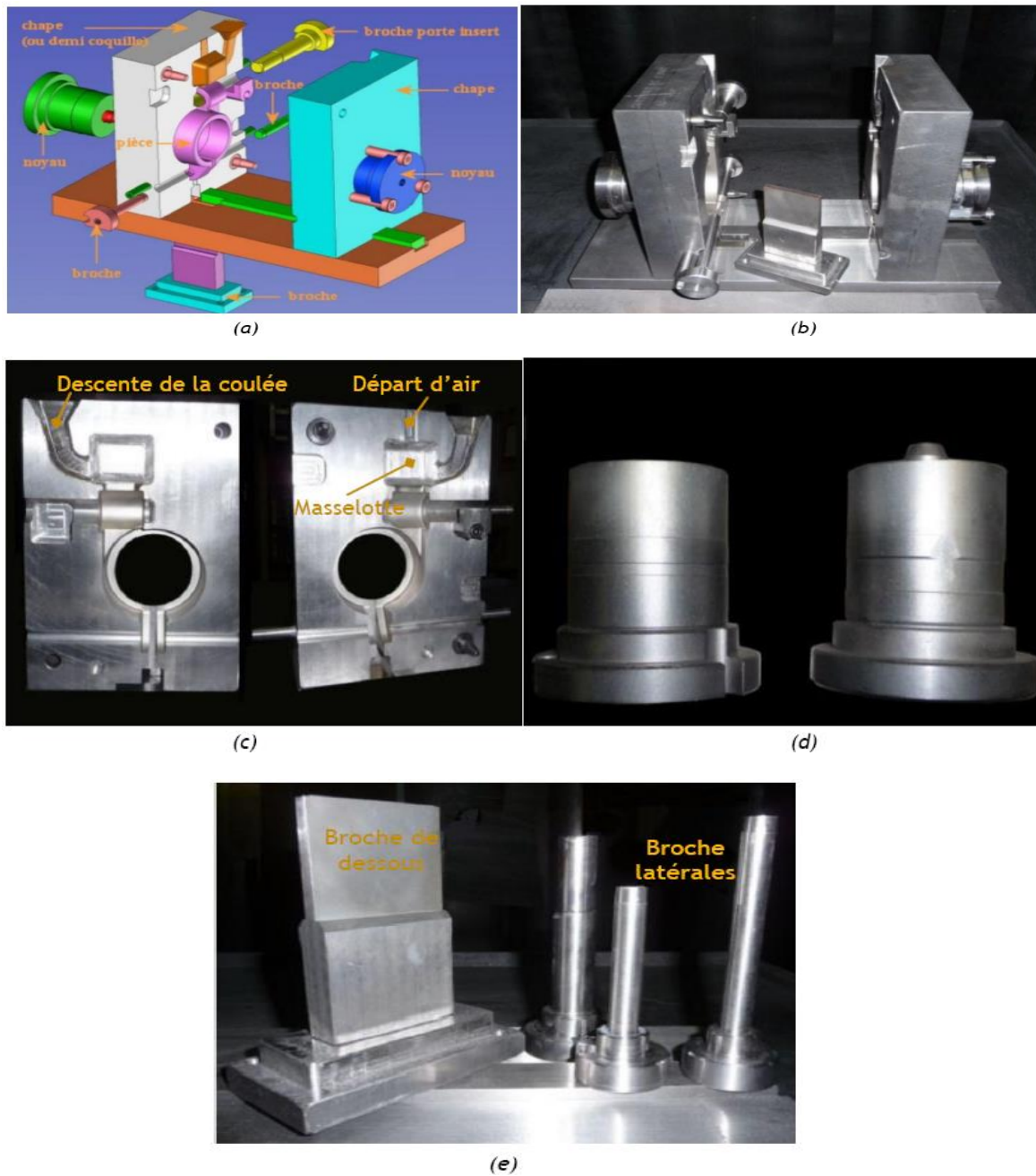


Figure II.5 : Exemple d'un outillage coquille pour fonderie aluminium, (a) modèle 3D, (b) outillage réalisé, (c) les deux chapes, (d) les noyaux, (e) les broches.

(Images Fonderie Roux et Gallois)

II.3 Obtention par déformation :

Consiste à déformer plastiquement le matériau jusqu'à obtention de la forme désirée. Une déformation plastique est une déformation permanente du matériau.

II.3.1 Extrusion (ou filage)

Principe de l'extrusion (appelée aussi filage pour les métaux) : Un matériau chauffé et compressé est contraint de traverser une filière ayant la section de la pièce à obtenir.

Cette technique permet d'obtenir en continu un produit pouvant être très long (barre, tube, profilé, tôle...).

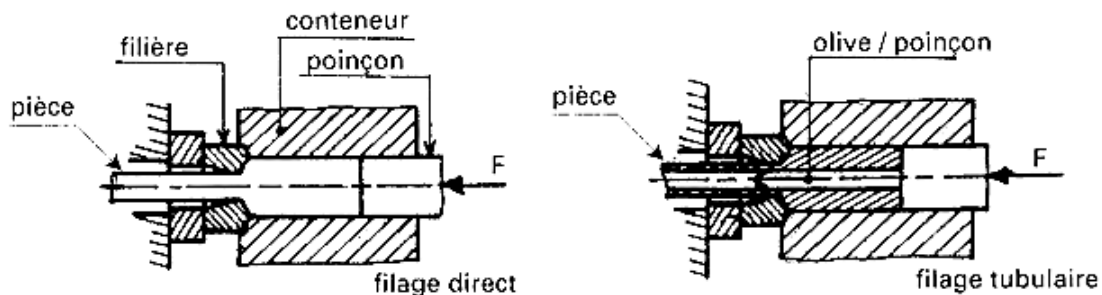


Figure II.6 : Schéma de principe de filage [3]

II.3.1.1. Avantage :

- Meilleure précision que le matriçage ou l'estampage ;
- Bon état de surface ;
- Sections des profilés pouvant être creux et très complexes.

II.3.1.2. Inconvénients :

- Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- Formes limitées à des « extrusions ».

II.3.2 Laminage

II.3.2.1. Principe :

Le laminage peut s'effectuer à froid ou à chaud. Le matériau est déformé par compression continue au passage entre deux cylindres tournant dans des sens opposés appelés laminoirs. Ils sont souvent utilisés les uns à la suite des autres afin de réduire progressivement l'épaisseur des profilés.

La plupart des tôles plates brutes sont obtenues par laminage.

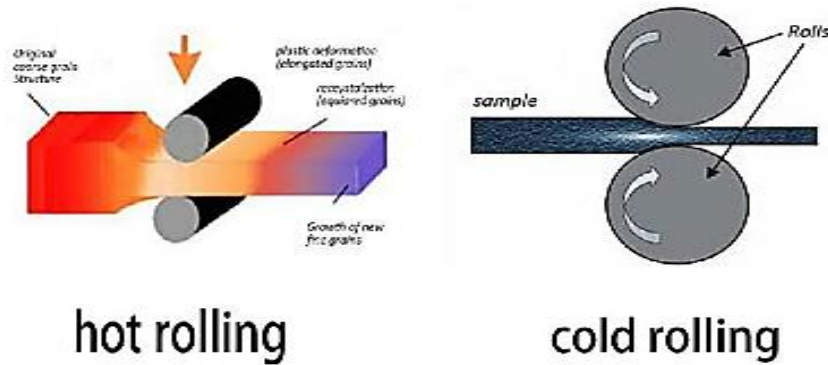


Figure II.7 : Laminage

II.3.3 Forgeage libre :

Le forgeage libre est la déformation manuelle d'un lopin métallique à l'aide d'un pilon ou d'un marteau. Le résultat obtenu est dépendant du savoir-faire de l'ouvrier. Un forgeron réalisant un fer à cheval réalise du forgeage libre. Ce moyen de production tend à disparaître du fait de la standardisation et de la production en grande série, et n'est utilisé que pour les petites séries ou les pièces unitaires.

II.3.3.1.Principe:

Sous l'action d'une forte pression ou d'une succession de chocs, un bloc de métal chauffé (800 à 1200 °C) se déforme plastiquement vers les surfaces restées libres.



Forgeage libre au marteau manuel



Forgeage libre au marteau-pilon

Figure II.8 : Le forgeage libre

II.3.3.2.Avantages :

- Pas d'outillage spécialisé selon la pièce à obtenir ;
- Les pièces forgées ont une résistance mécanique supérieure aux mêmes pièces usinées, du fait du fibrage de la pièce consécutif au forgeage.

II.3.3.3.Inconvénients :

- Nécessite beaucoup d'énergie (métal chauffé) ;
- La précision est médiocre.

II.3.4 Estampage et matriçage :

La forge par estampage consiste à former, après chauffage, des pièces brutes par pression entre deux blocs -- les matrices -- portant en creux la forme exacte du produit à réaliser.

II.3.4.1.Principe :

Un lopin de métal chauffé et calibré (avec des dimensions précises) se déforme pour remplir les deux demi-empreintes de deux matrices appliquées l'une contre l'autre sous l'action d'une forte pression ou d'une série de chocs. L'estampage et le matriçage sont adaptés à une production en série.

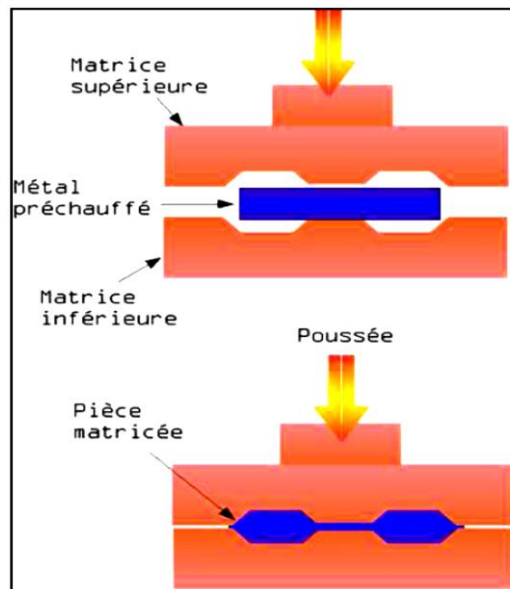


Figure II.9 : Le matriçage

II.3.4.2.Avantages :

- Les mêmes que pour le forgeage libre, avec plus de rapidité et une meilleure précision.

II.3.4.3.Inconvénients :

- Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- Prix de revient élevé des matrices rapidement « usées ».

II.3.5 Pliage :

Le pliage est une déformation permanente effectuée à froid sur une tôle plane. La surface obtenue présente des plis rectilignes et est développable (c'est-à-dire applicable sur un plan par dépliage).

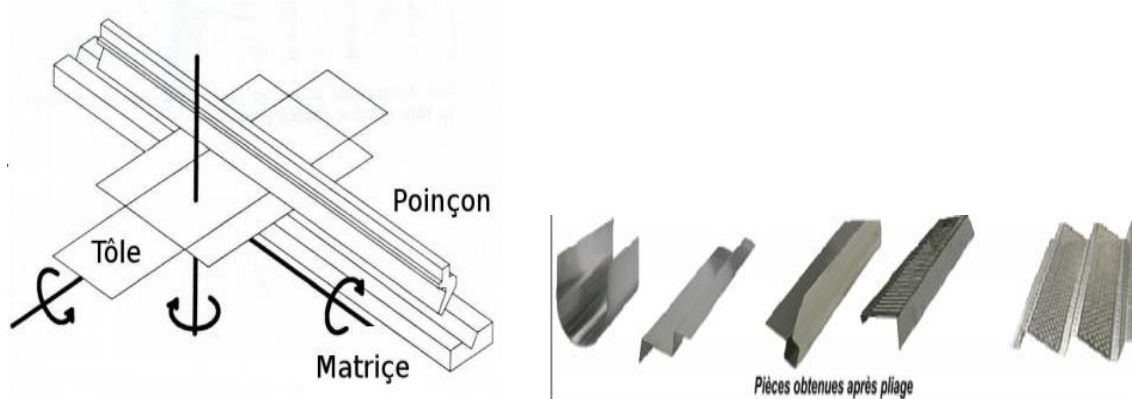


Figure II.10 : Le pliage

II.3.5.1. Avantages :

- Outillage simple : presses hydrauliques avec différents poinçons et matrices.

II.3.5.2. Inconvénients :

- Ressaut élastique résiduel difficile à prévoir ;
- Longueur de pliage limitée.

II.3.6. Cintrage :

Le cintrage est la déformation à froid d'un tube ou d'une barre, suivant un rayon et un angle donnés (opération effectuée avec une cintruse). On peut obtenir un cintrage approximatif en effectuant plusieurs petits pliages rapprochés les uns des autres.

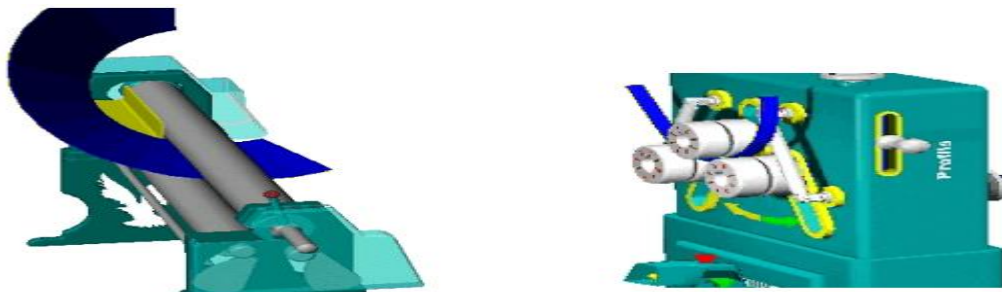


Figure II.11 : Le cintrage

II.3.7. Profilage à froid :

Principe :

Une tôle plane (feuillard), introduite entre les galets tournants d'une machine à profiler, subit des déformations progressives qui l'amènent à la forme finale désirée, sans que soit modifiée son épaisseur initiale.

Ce procédé est adapté aux grandes séries.

II.3.7.1. Avantages :

- Longueur de profilé non limitée ;
- Procédé rapide et productif (possibilité de découpe en vol).

II.3.8 Emboutissage :

L'emboutissage est un procédé de mise en forme très utilisé dans l'industrie, permettant d'obtenir des pièces creuses profondes (embout) à partir de feuilles de tôle mince, montées sur presse. La tôle appelée « flan », est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. L'opération peut être réalisée avec ou sans serre flan pour maintenir le flan contre la matrice pendant que le poinçon déforme la feuille.

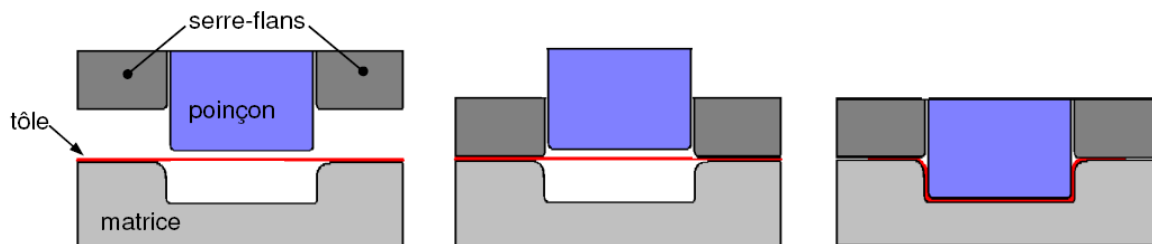


Figure II.12 : L'emboutissage

II.4. Obtention par Frittage :

II.4.1. Définition

Le **frittage** est un procédé de fabrication de pièces consistant à chauffer une [poudre](#) (ou un mélange de poudre) dans un moule, sans la mener jusqu'à la fusion. Sous l'effet de la chaleur, les grains se soudent et forment des liaisons entre eux, ce qui forme la cohésion de la pièce. D'un point de vue technique, on distingue :

- Le frittage libre réalisé sans contrainte mécanique (chauffage sous air ou sous atmosphère contrôlée).
- Le frittage sous contraintes réalisé dans la grande majorité des cas en présence simultanée d'une contrainte mécanique et de chaleur.

II.4.2. Avantages :

- Faible prix de revient pour de grandes séries de pièces complexes, précises et saines, qui peuvent être utilisées à l'état brut ;
- La porosité naturelle des pièces frittées permet la fabrication de filtres et de coussinets autolubrifiants ;
- Autorise l'obtention de nouveaux alliages (encore appelés « Pseudo-alliages »).

II.4.3. Inconvénients :

- La porosité naturelle peut devenir un inconvénient dans le cas de problèmes d'étanchéité par exemple ;
- Le principe de la compression conduit à des pièces non homogènes (porosité plus élevée au milieu), et dont les qualités de résistance mécanique sont faibles pour les métaux frittés.

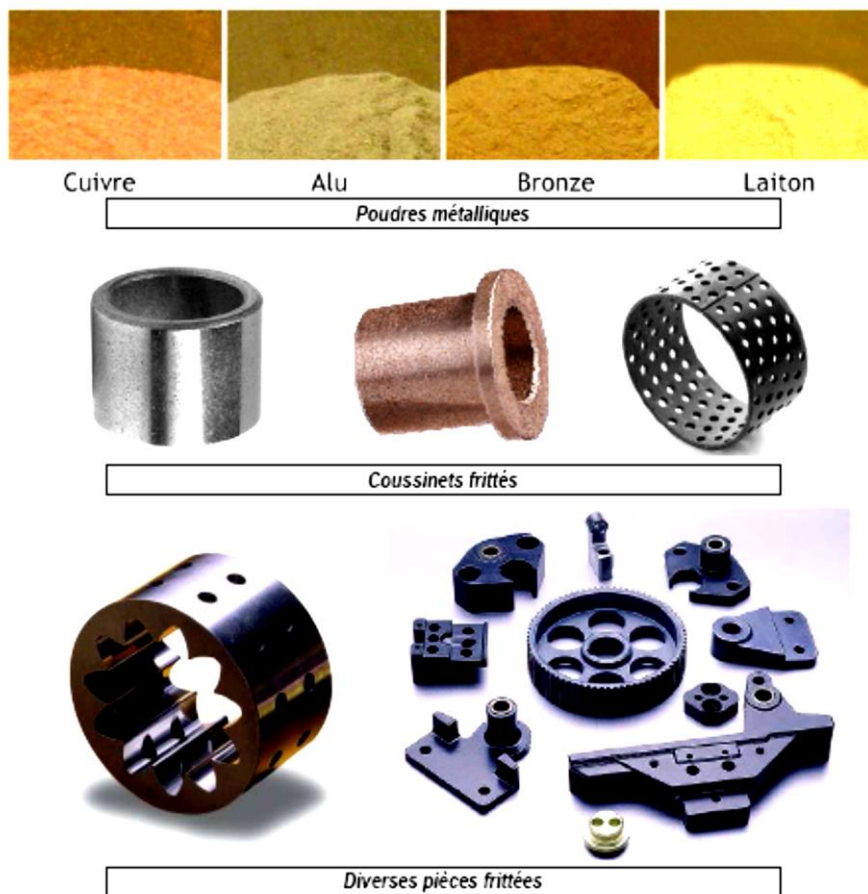


Figure II.13 : Le frittage [2]

II.5. Obtention par enlèvement de matière :

L'usinage par enlèvement de matière est le moyen le plus fiable pour obtenir la forme finale, à partir de pièces moulées, extrudées ou forgées.

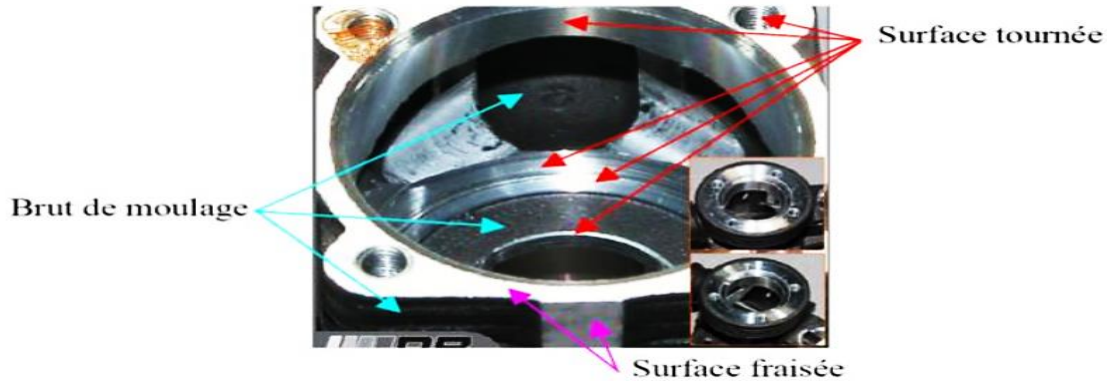


Figure II.14 : Usinage d'une pièce moulée

On distingue différents types de procédés cités ci-dessous.

II.5.1 Le tournage :

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière qui consiste à l'obtention de pièces dont la forme est principalement cylindrique sur une machine-outil appelée tour. En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. Le tournage permet principalement d'obtenir des formes de révolution autour de l'axe de rotation de la pièce.

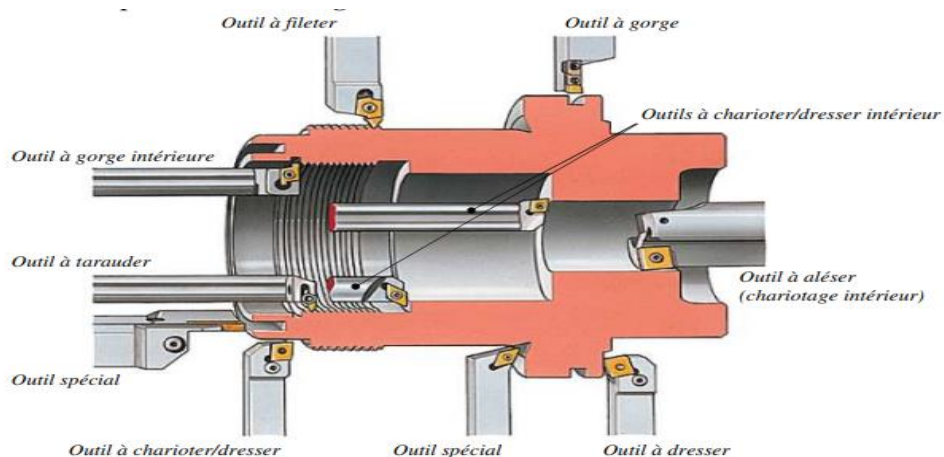


Figure II.15 : Outils et opérations de tournage

II.5.2 Le fraisage :

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière qui consiste à l'obtention de pièces dont la forme est principalement prismatique sur une machine-outil appelée fraiseuse.

En fraisage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de l'outil (la fraise), tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de la pièce maintenue dans un étau (ou une pince ou encore des mors, selon la pièce à serrer).

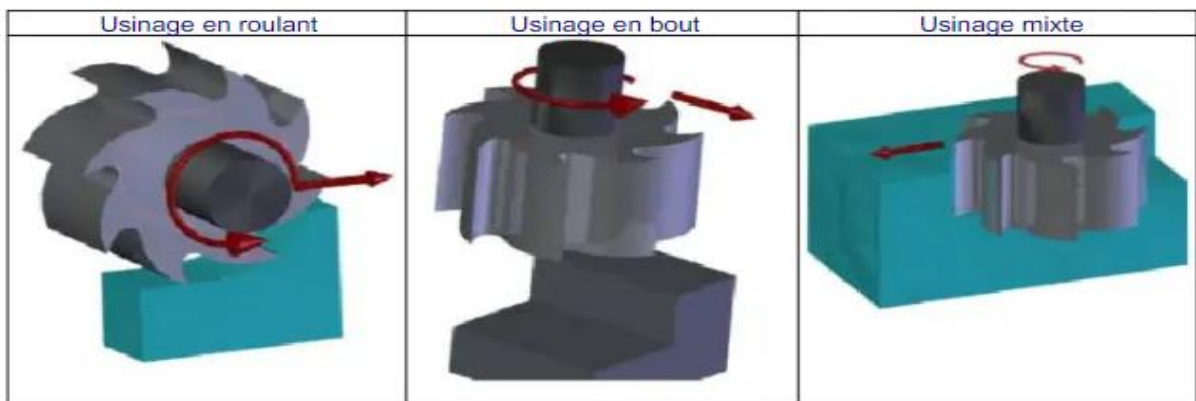


Figure II.16 : Types de fraisage

II.5.3. Le perçage :

Le perçage consiste à exécuter des surfaces cylindriques intérieures à l'aide d'outils rotatifs. L'outil de coupe, appelé foret, est animé d'un mouvement de rotation continu et d'un mouvement de déplacement longitudinal.

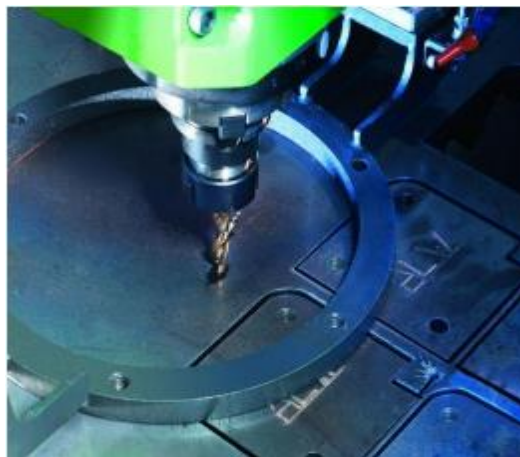


Figure II.17 : Opération de perçage

II.6. Techniques d'amélioration des états de surface :

II.6.1. La rectification :

Rectification: c'est un processus qui est généralement utilisé au stade final de la fabrication, après le tournage ou le fraisage, pour améliorer la qualité de la surface.

La rectification s'effectue sur une machine-outil conçue à cet effet appelée rectifieuse. La rectification plane consiste en un meulage horizontal de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériau de quelques dizaines de micromètres. Dans le cas de la rectification cylindrique, la pièce tourne sur elle-même en effectuant sa course parallèlement à l'axe de la meule.

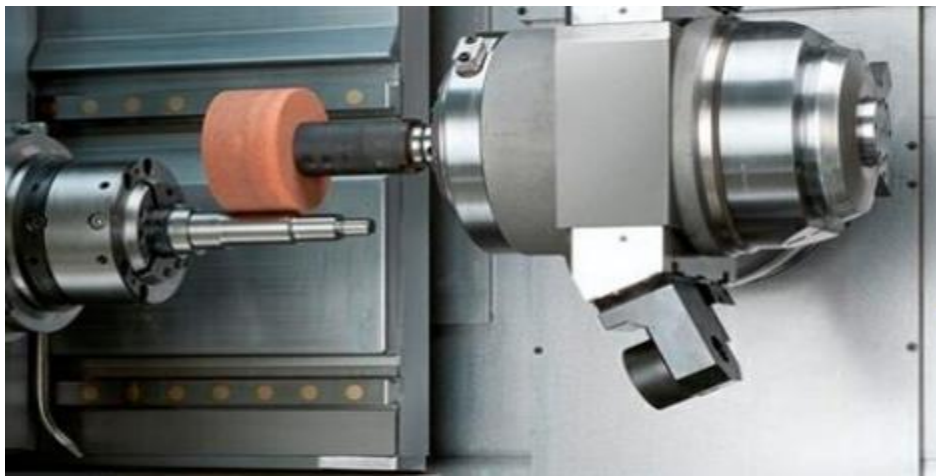


Figure II.18 : Opération de la rectification

II.6.2. La super finition :

La super finition est une action d'usinage qui vise à obtenir des pièces de très haute qualité, au-delà des capacités de la rectification. Elle opère sur deux caractères :

- la forme de la surface obtenue en définitive : l'usinage à l'outil laisse sur la surface un certain nombre de raies ou de stries (que le rodage masque partiellement).
- la structure superficielle du métal usiné : l'usinage à l'outil conduit à de grandes élévations de température pouvant atteindre 1 000 °C à l'extrémité de l'outil ; celui-ci arrache, d'autre part, des éléments de copeaux ; il en résulte une détérioration superficielle due à la fusion de particules de métal qui se ressoudent ensuite.

À cela s'ajoute l'agglutination de corps étrangers : limailles, lubrifiant, saletés, etc., qui contribuent à former une structure superficielle fragile et peu homogène, appelée couche de

Beilby. La superfinition consiste à enlever la couche de Beilby, de manière à faire disparaître les stries et les défauts géométriques.

La différence essentielle entre superfinition et rectification porte sur le mouvement de coupe de l'abrasif. L'action très rapide de la meule est remplacée par celui d'une pierre abrasive à mouvement rectiligne alternatif. Ce mouvement de vibration a une fréquence d'environ 25 coups par seconde et une amplitude de 1 à 5 mm. L'abrasif travaille à faible vitesse (10 à 20 m/min, contre 3000 m/min en polissage).

Le tableau II.3 présente quelques applications de la superfinition, elle sert à l'amélioration des états de surface des pièces usinées par le tournage et la rectification. Les mouvements lents et de faible amplitude des grains abrasifs provoquent la formation de copeaux microscopiques. Cela permet d'obtenir en très peu de temps, une très haute qualité de surface.





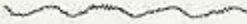







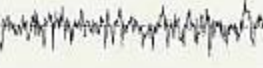

Paramètres	Tournage/rectification	Superfinition
Planéité		
Cylindricité		
Rectitude		
Circularité		
Facette		
Taux de portance		
Profondeur de rugosité		

Tableau II.3 : Différentes applications de la superfinition

II.6.2.1.Principe :

Les outils de super finition dont le grain, le liant et la dureté sont adaptés au but recherché, oscillent axialement par rapport à la pièce mise en rotation, la pression d'appui est réglable en continu. En fonction de la longueur de la surface à usiner, l'outil travaille en plongée ou par déplacement. Il faut que la surface de contact importante entre l'outil de super finition et la pièce. Les défauts de forme tels que l'ondulation, les stries qui créent par l'avance de la pièce, faux rond et traces de broutage (figure II.19).



Figure II.19 : Principe de la super finition.

II.7. Conclusion

Le domaine de la fabrication mécanique n'échappe pas à l'exception du développement d'où la diversification des procédés d'obtention du brut dont la déformation à froid, la déformation à chaud, le moulage, l'ajout de matière, etc.).

La mise en forme des matériaux (métaux et alliages) est et a toujours été une technique importante dans l'art de leur transformation. Comprendre les procédés de mise en forme des matériaux métalliques est une nécessité pour innover et optimiser.

Chapitre III : Processus de fabrication des pistons

III.1.Introduction :

La fabrication d'un piston, voué à opérer dans un moteur Diesel moderne, requière un savoir-faire particulier tant dans les procédés de fonderie que d'usinage. Suivons toutes les étapes de sa fabrication, de l'arrivée de la matière première en bloc jusqu'au produit fini.

III.2.Processus de fabrication de piston :

Nous allons suivre la fabrication d'un piston utilisé pour le moteur diesel.

III.2.1. La préparation du métal :



Figure III.1 : Blocs de métal

Les blocs de métal arrivent directement de chez le fournisseur sur cette aire avant d'être fondus. Ils sont classés par caractéristiques d'alliage.

Chaque piston est réalisé dans un alliage composé, au minimum, d'aluminium et de silicium. La part de silicium permet d'augmenter la résistance thermique et mécanique de l'alliage face aux contraintes élevées des moteurs Diesel modernes.

III.2.2. Coulage de précision :

On introduit dans un four de fusion, des lingots qui sont soit en alliage d'Aluminium avec 12% de Silicium (AS12), soit en alliage d'aluminium avec 18% de Silicium (AS18) ; afin de les fondre.



Figure III.2 : Le four

Ce poste amène l'alliage à sa température de fusion, située à environ 800 °C, dans de très grands fours.



Figure III.3 : Versement du métal dans le moule.

Une chaîne de coulée, entièrement automatisée, transfère l'alliage, encore à l'état liquide, dans des gobelets articulés. Ce dernier verse le métal dans le moule qui, suite à un procédé de refroidissement complexe, délivre l'ébauche de ce que sera notre piston.



Figure III.4 : Le moule.

On réalise une pièce d'échantillon et on l'envoie au laboratoire de contrôle, pour vérifier la composition chimique du métal et donner le feu vert à l'opération de moulage.

III.2.3.Démasselottage :

En termes de définition, c'est une opération qui consiste à enlever la ou les masselottes et la descente de coulée, soit par chocs pour les pièces en fonte, soit par découpe pour les pièces en aluminium, acier et alliage de cuivre.



Figure III.5 : Machine de Démasselottage

La masselotte : est une réserve d'alliage liquide qui ne fait pas partie de la pièce finale. Elle alimente la pièce pour compenser la contraction lors du refroidissement et éviter les défauts. Donc Après l'obtention de la matière brute, il faut enlever le système de la coulée et la masselotte suivant les dimensions du piston.



Figure III.6 : Opération de démasselottage

III.2.4.Stabilisation

Le piston brut passe ensuite dans un four pour un recuit de stabilisation. Au cours de cette étape qui dure entre 8h et 10h, afin que le métal récupère ses propriétés, la pièce gagne en dureté ; l'empêchant ainsi de se dilater dans le moteur en cas de hautes températures.



Figure III.7 : Four de stabilisation

Après la stabilisation les pistons sont stockés en zone d'attente avant l'usinage. Ils sont mis dans des bacs avec des fiches d'identification indiquant leurs références et leurs quantités.

III.2.5.Traitement thermique :

Cette phase, appelées également " trempes ", améliorent les caractéristiques au cœur du piston, ainsi qu'à sa surface, Ces traitements sont destinés à donner aux pièces une parfaite stabilité dimensionnelle.



Figure III.8 : Traitement thermique

Après avoir terminé ces étapes , les pistons sont stockés en zone d'attente avant l'usinage. Ils sont mis dans des bacs avec des fiches d'identification indiquant leurs références et leurs quantités.

III.2.6. Usinage :

Au cours de cette phase, se fait l'usinage des différentes surfaces fonctionnelles et de référence du piston en respectant toutes les contraintes dimensionnelles, géométriques, de forme et d'état de surface conformément aux spécifications du dessin de définition.

III.2.6.1 Emboitage :

C'est la première opération que subit le piston, son rôle général est de faire un usinage au-dessous du piston pour assurer le bon maintien de la broche dans les autres opérations (création d'une surface de référence).



Figure III.9 : Opération d'emboitage.

III.2.6.2 Ebauche trou d'axe :

C'est l'opération de l'usinage du trou d'axe. C'est un usinage primaire, il se fait avec une belle précision.

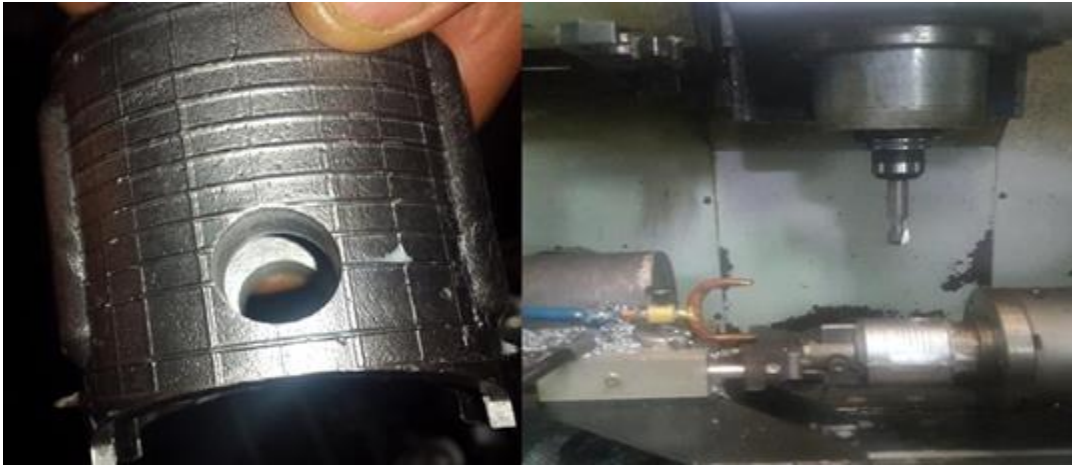


Figure III.10 : Réalisation de trou d'axe.

III.2.6.3 Chariotage et dressage :

Figure III.11 : Chariotage dressage

III.2.6.4 Gorge et finition tête piston :

Dans cette opération, on usine trois gorges segments a la tête du piston qui sert à porter les différents segments (coupe-feu, compression, racleur).



Figure III.12 : Usinage des gorges

III.2.6.5 Lamage + Chanfrein trous :

Dans cette opération on fait un petit usinage à l'intérieur du trou pour le circlips qui va bloquer l'axe, et facilite son montage sur le piston.



Figure III.13 : Chanfrein des trous

III.2.6.6 Finition jupe :

Cette opération se fait à l'aide des machines WMT. La finition se fait sur deux parties. Chacune des parties sont différentes.



Figure III.14 : Jupe finie

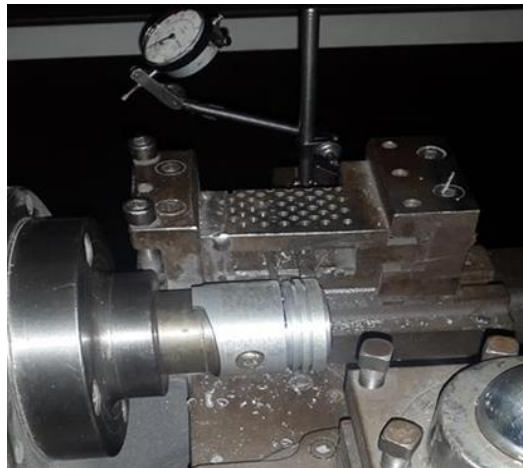
III.2.6.7 Chanfrein des gorges

Figure III.15 : Chanfrein des gorges

III.2.6.8 Finition des trous d'axes :

La finition trou d'axe se fait dans l'aléreuse. Cette opération se fait avec une très grande précision, c'est-à-dire micron.

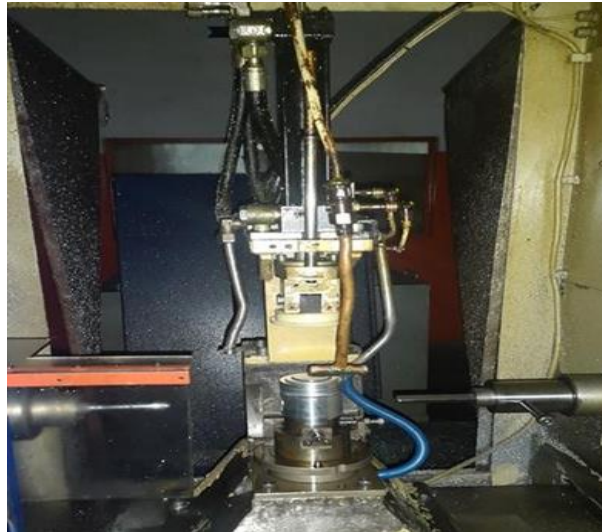


Figure III.16 : Finition trous d'axes

III.2.6.9 Cassage angle :

Le but de cette opération est de casser les angles du piston pour éviter qu'ils soient trop affilés et aiguisés.

Cette opération se réalise sur un TOUR de cassage des angles, et comme son nom l'indique, elle est constituée pour casser les angles du piston à l'aide d'un bloc qui contient des lames. Le déplacement de l'outil sur la trajectoire d'usinage est réalisé par l'opérateur. Pour cela, il utilise les manivelles permettant de générer les mouvements sur les axes.

III.2.6.10 fraisage fond :

Finition fond : On fait usiner à l'aide d'un fraiseuse le fond du piston pour créer un fond bien plat.



Figure III.17 : Fraisage fond

III.2.6.11 Marquage :

Le marquage se fait juste avant le control suivant les exigences du plan. Il se fait soit manuellement, soit automatiquement.



Figure III.18 : Piston marqué

III.2.6.12 Lavage et étamage-graphitage de la pièce :

Après avoir fabriqué les pistons, ceux-ci vont être lavé dans le bac de lavage a l'aide de l'eau et du savon à une température de 40°C afin de dégraisser la pièce et enlever le lubrifiant.

- L'étamage : est une opération qui consiste à déposer une couche de carbonate de soude sur la jupe du piston.
- Graphitage : est une opération qui consiste à déposer une couche de graphite sur la jupe du piston.

III.3. Contrôle et Super-contrôle :

Après l'usinage, le contrôle visuel et dimensionnel est effectué afin de vérifier qu'il n'y a pas de défaut sur la surface.

- Contrôle visuel :

Il permet de :

- Vérifiant des défauts d'usinage.
- Vérifiant des défauts accidentels.
- Vérifiant des défauts de marquage.

- Contrôle dimensionnel :

Il consiste à vérifier :

- Les trous d'axe : l'appareillage utilisé pour cette opération est un montage de contrôle (Comparteur + axe).
- Le diamètre.
- La hauteur de compression.

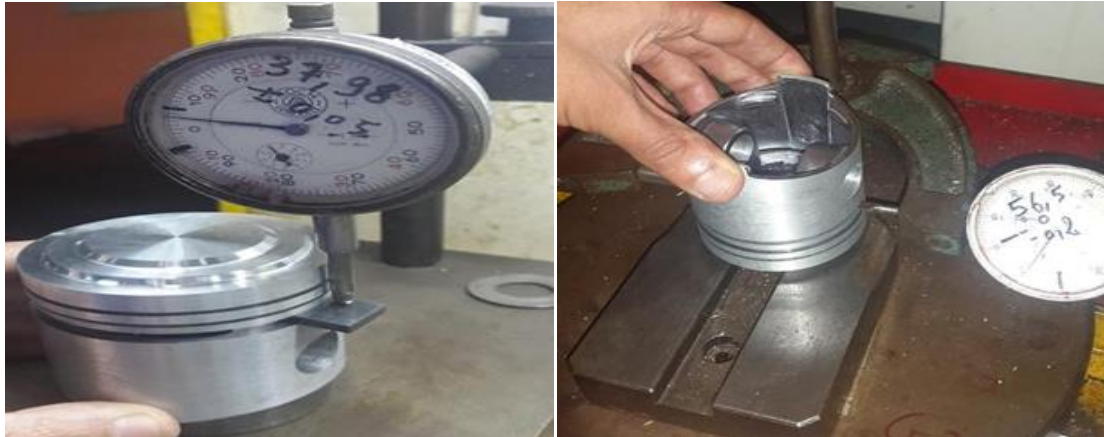


Figure III.19: Contrôle dimensionnel.

- Super contrôle :

Après l'étamage et le graphitage, les pistons sont expédiés au magasin pour y subir un super contrôle.

Dans cette section on fait le contrôle:

- Du trou d'axe.
- Des gorges avec des cales étalons d'une grande précision.

III.4.Emballage

Si es pièces ont passé l'étape du contrôle, le conditionnement est effectué dans des cartons.



Figure III.20 : Des pistons emballés.

Chapitre IV : Conception et Simulation du piston

IV.1.Introduction :

La modélisation numérique a fait des progrès considérables durant les vingt dernières années, suite à l'évolution continue de la puissance des calculateurs. Grâce à des algorithmes de plus en plus robustes, La méthode des éléments finis est devenue un outil de base couramment utilisé dans l'industrie pour la prévision et la simulation du comportement des systèmes. La méthode des éléments finis peut traiter des problèmes non linéaires issus du comportement du matériau, de la géométrie de la pièce, c'est une méthode qui consiste à découper le domaine spatial en petits éléments appelés mailles.

Aujourd'hui, plusieurs logiciels de simulation permettent d'optimiser et de modéliser plusieurs phénomènes lors des procédés de mise en forme des matériaux. Parmi ces logiciels on peut citer Abaqus, Ansys, AFRÉECAD...etc.

IV.2. Construction du modèle géométrique :

Cette étape est difficile car la forme de piston est très complexe, elle nécessite l'utilisation de logiciel de conception SolidWorks suivant plusieurs étapes.

IV.2.1.Définition de SolidWorks :

C'est le premier système de CAO à offrir une approche de conception 3D native. Simple d'utilisation et facile à apprendre. SolidWorks offre les fonctionnalités les plus avancées dans le domaine de la modélisation de pièces. La définition de formes complexes. la création est la gestion de très gros assemblages et la mise en plan. SolidWorks offre un rapport puissance prix qui permet un retour sur investissement très rapide.

IV.2.2. Les étapes de la construction du modèle géométrique :

IV.2.2.1. Etape 1 : construction la forme du piston 2D :

Construction de la forme du piston modélisé sur la base des dimensions réelles la figure (IV.1) illustre en effet celle construction.

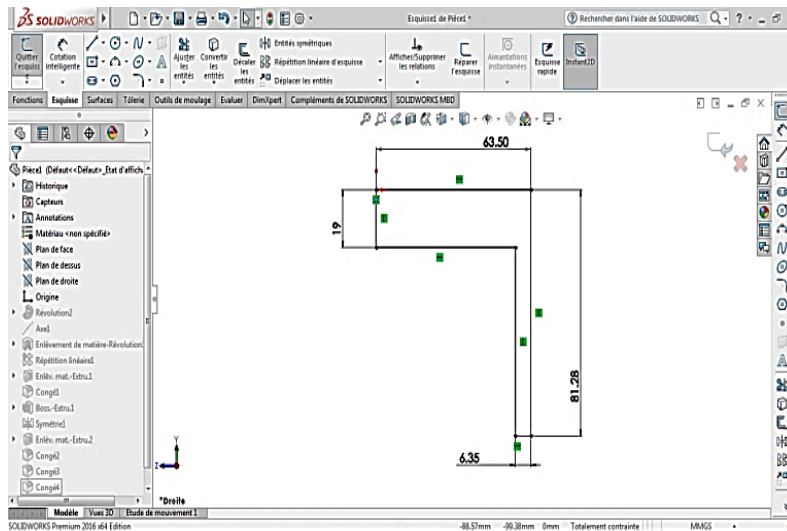


Figure IV.1: Profil de construction du piston.

IV.2.2.2. Etapes 02 : construction la forme du piston 3D :

Créer le modèle volumique par rotation de 360° de la face définit précédemment autour de l'axe de révolution.

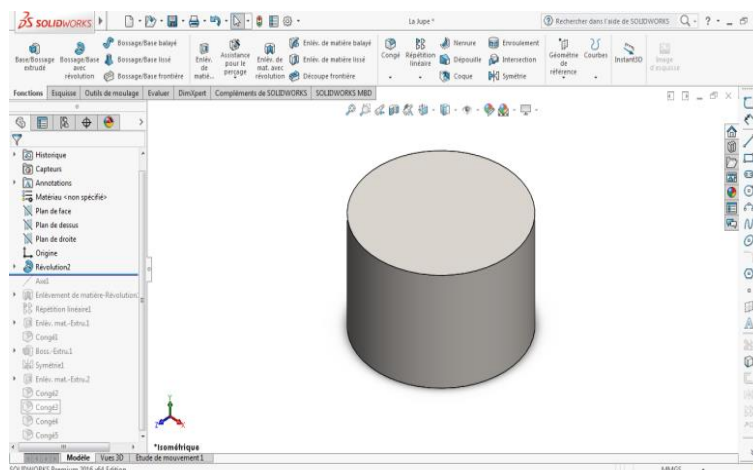


Figure IV.2 : Formes pivotées du profil de base.

IV.2.2.3. Etapes 3 : construction des étapes de modification du piston :

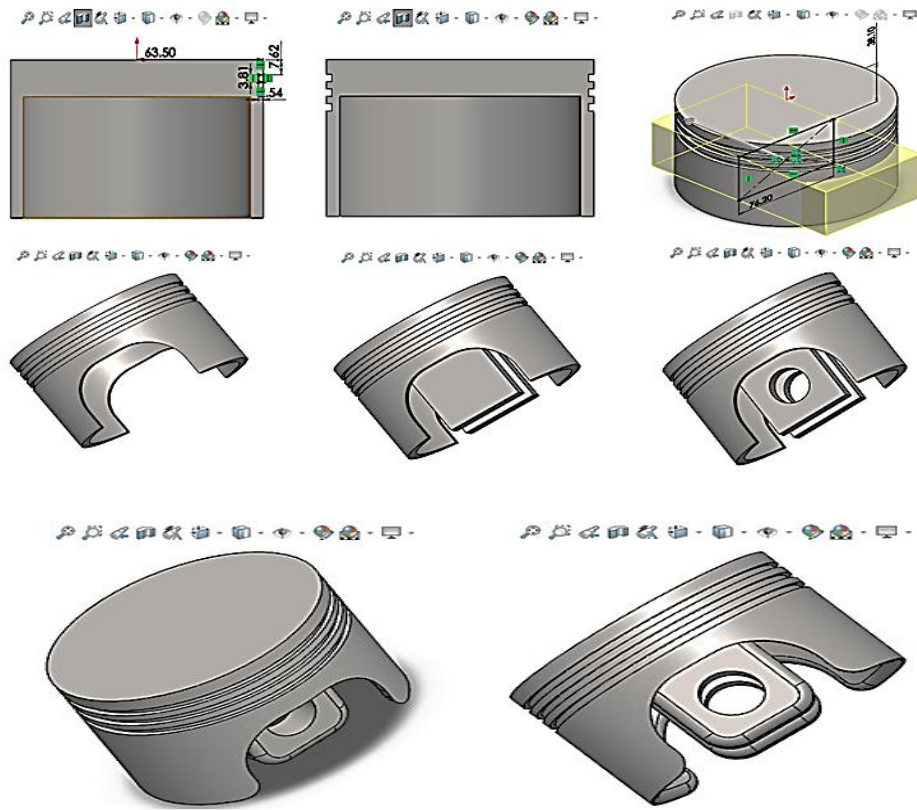


Figure IV.3 : interfaces graphiques des étapes de modification de la jupe.

IV.2.3. La bielle et la tête de bielle :

IV.2.3.1. Forme 2D :

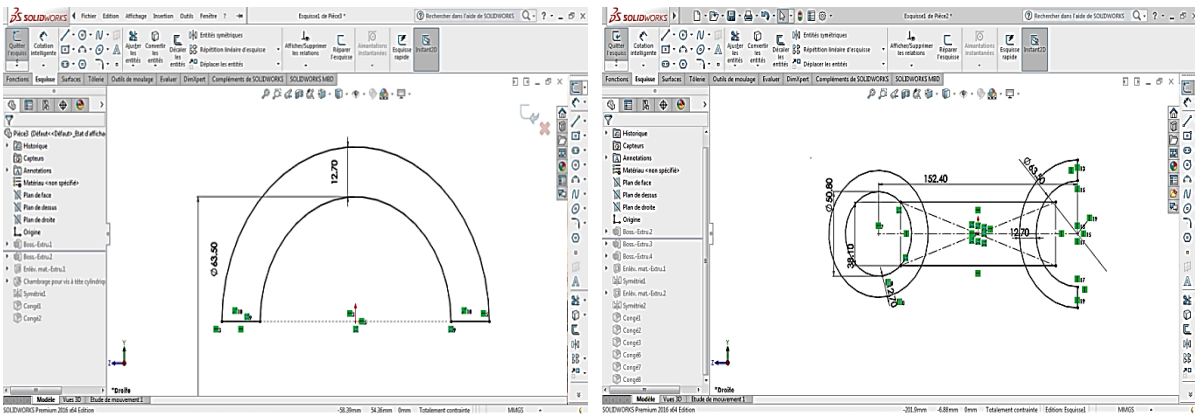


Figure IV.4 : forme 2D de la bielle et la tête de bielle.

IV.2.3.2. Forme finale 3D :

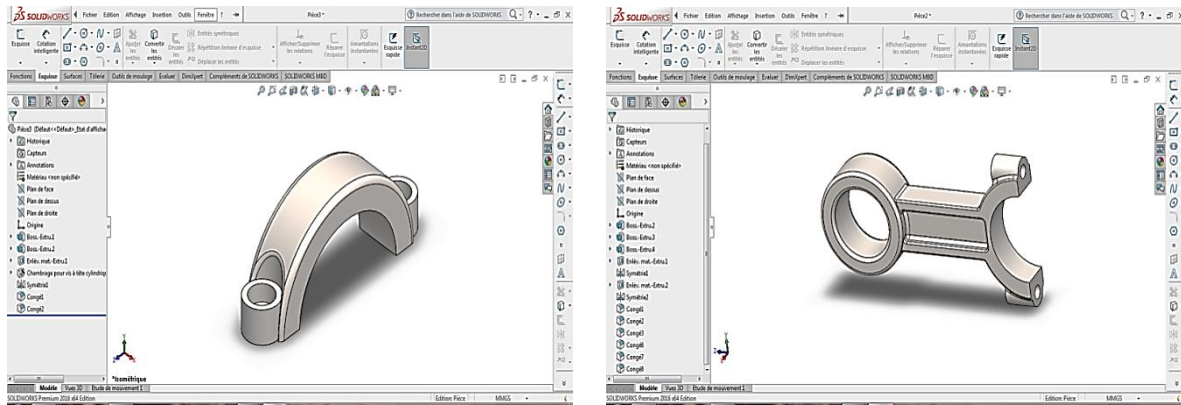


Figure IV.5 : forme 3D de la bielle et la tête de bielle.

IV.2.4.L'axe de piston :

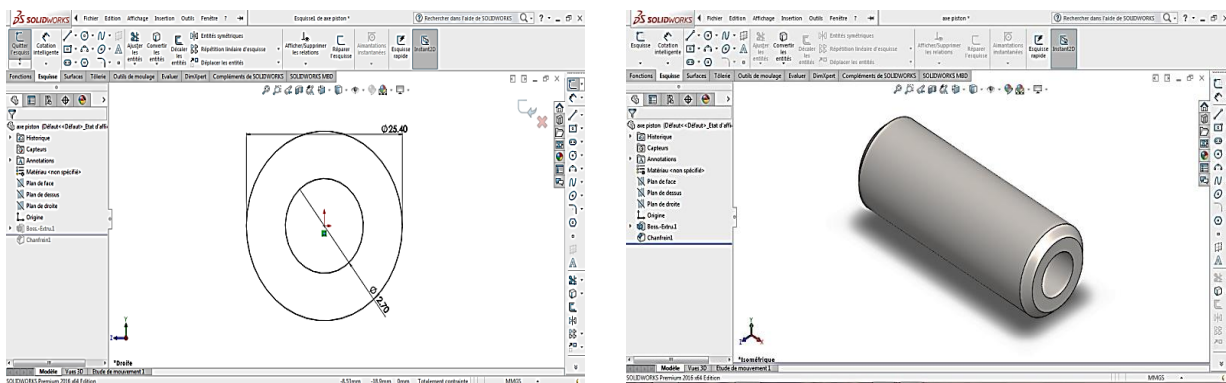


Figure IV.6 : l'axe du piston.

IV.2.5. Assemblages des composants :

- Pour compléter l'assemblage du système il faut:
 - Choisir les surfaces ou bien les arrêtes en contact dans les éléments.
 - Sélectionner les deux surfaces ou surface et arrête.
 - Choisir les Contraintes.
 - Valider et faire rapprocher.
 - Valider.

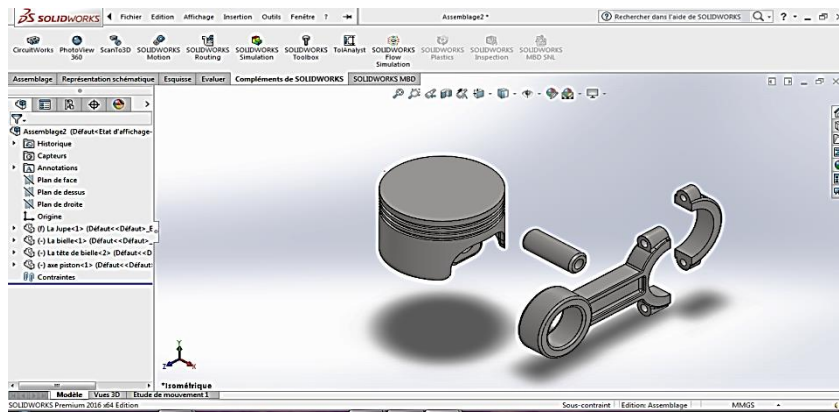


Figure IV.7 : les composants avant l'assemblage.

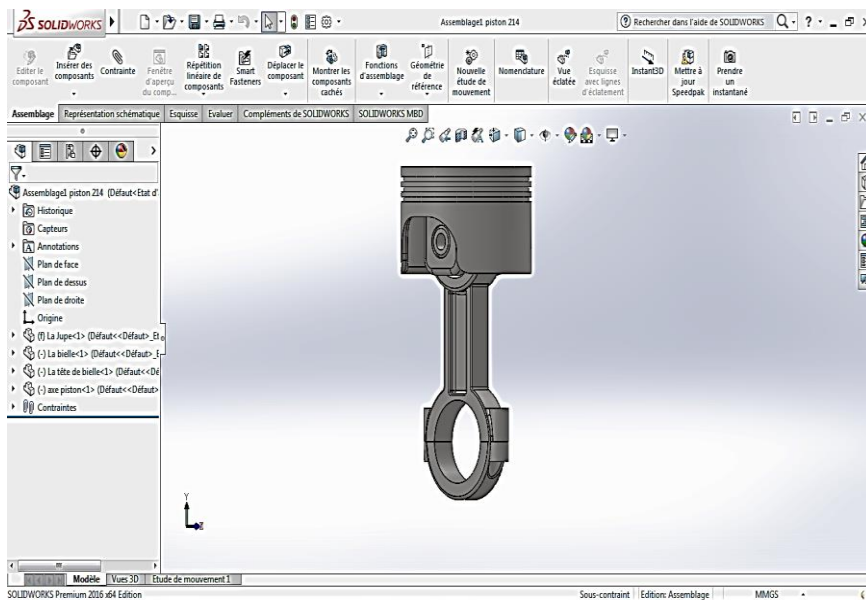


Figure IV.8 : piston final.

IV.3.Simulation du piston :

Pour notre travail, nous sommes intéressés à l'étude thermo structurale du piston en utilisant le logiciel Ansys.

IV.3.1.définition du logiciel :

Ansys est un éditeur de logiciel,

Le logiciel d'analyse par éléments finis AnsysMechanical est un logiciel utilisé pour simuler des modèles informatiques de structures, d'électronique ou de composants de machines pour analyser la résistance, la ténacité, l'élasticité, la distribution de température, l'électromagnétisme, l'écoulement de fluide et d'autres attributs.

ANSYS Workbench : cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plate forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution. Le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.

IV.4.Simulation Ansys:

Pour faire la simulation numérique il faut construire un modèle numérique du notre piston.

IV.4.1. Conditions aux limites :

Conditions	Valeur	Point d'application
Température	400°C	Sommet de la tête (A)
Convection	200 W/m ² .°C	Sommet de la tête (B)
Convection	150 W/m ² .°C	Les gorges (C)
Convection	100 W/m ² .°C	Les gorges (D)
Convection	80 W/m ² .°C	La jupe (E)
Convection	40 W/m ² .°C	La bielle (F)

Tableau IV.1: Condition aux limites du piston.

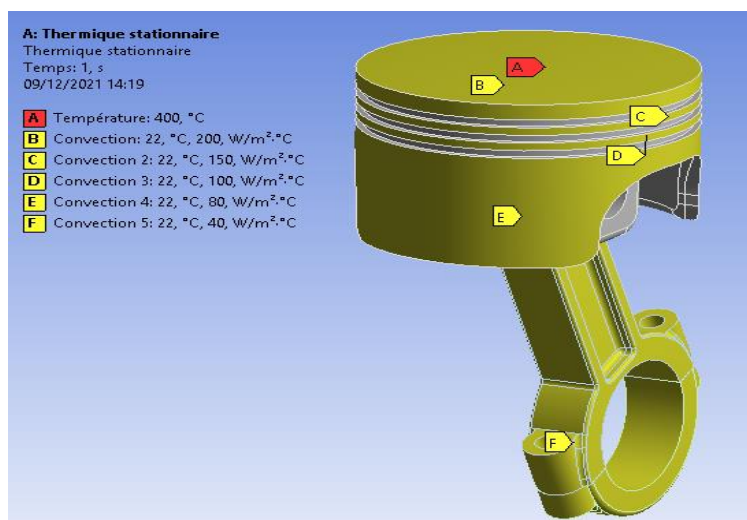


Figure IV.9: Condition aux limites.

IV.4.2. Les efforts appliqués :

Effort	Valeur	Point d'application
Pression	50 bars	Sommet de la tête (A)
Support fixe (encastrement)		Coussinet (B)

Tableau IV.2: Les efforts appliqués.

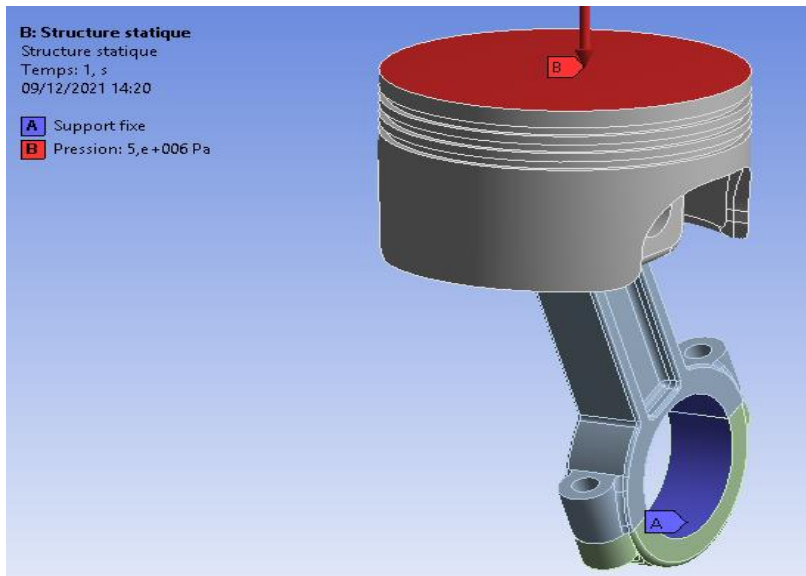


Figure IV.10: Les efforts appliqués.

V.4.3. Le maillage :

Le maillage est effectué automatiquement à l'aide des éléments tétraédriques, la structure est discrétisée en 100637 nœuds et 56843 éléments tétraèdres.

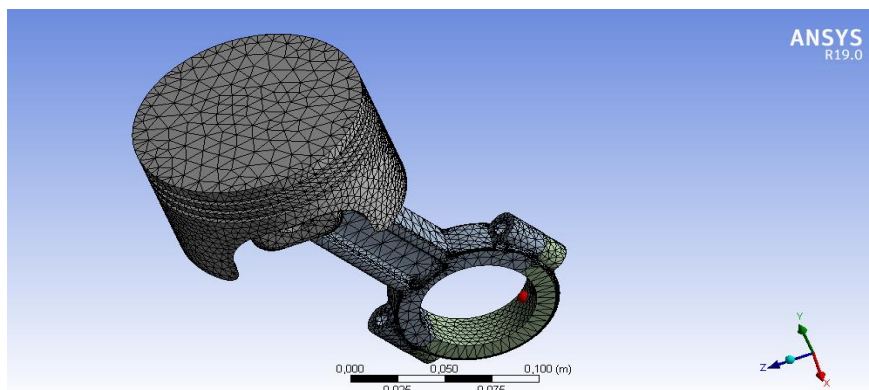


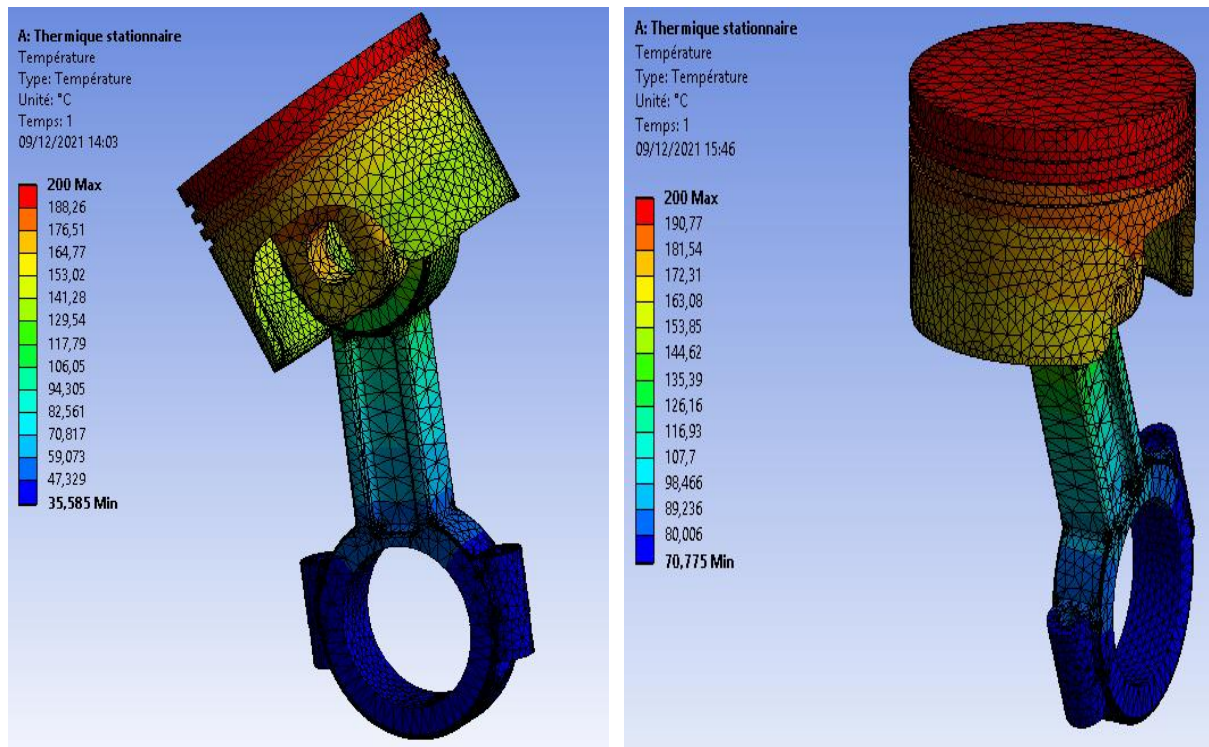
Figure. IV.11: Maillage du piston.

IV.4.4. Résultat de la simulation :

IV.4.4.1.1^{er} Cas :

Après avoir appliqué une charge thermique de **200°C** et une pression de **20Bars** sur le piston et en changeant le matériau de fabrication du piston à chaque fois, nous observons les résultats suivants :

IV.4.4.a. Températures :



A: Acier standard

B: Aluminium

Figure IV.12 : Distribution de la température selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C

Commentaire :

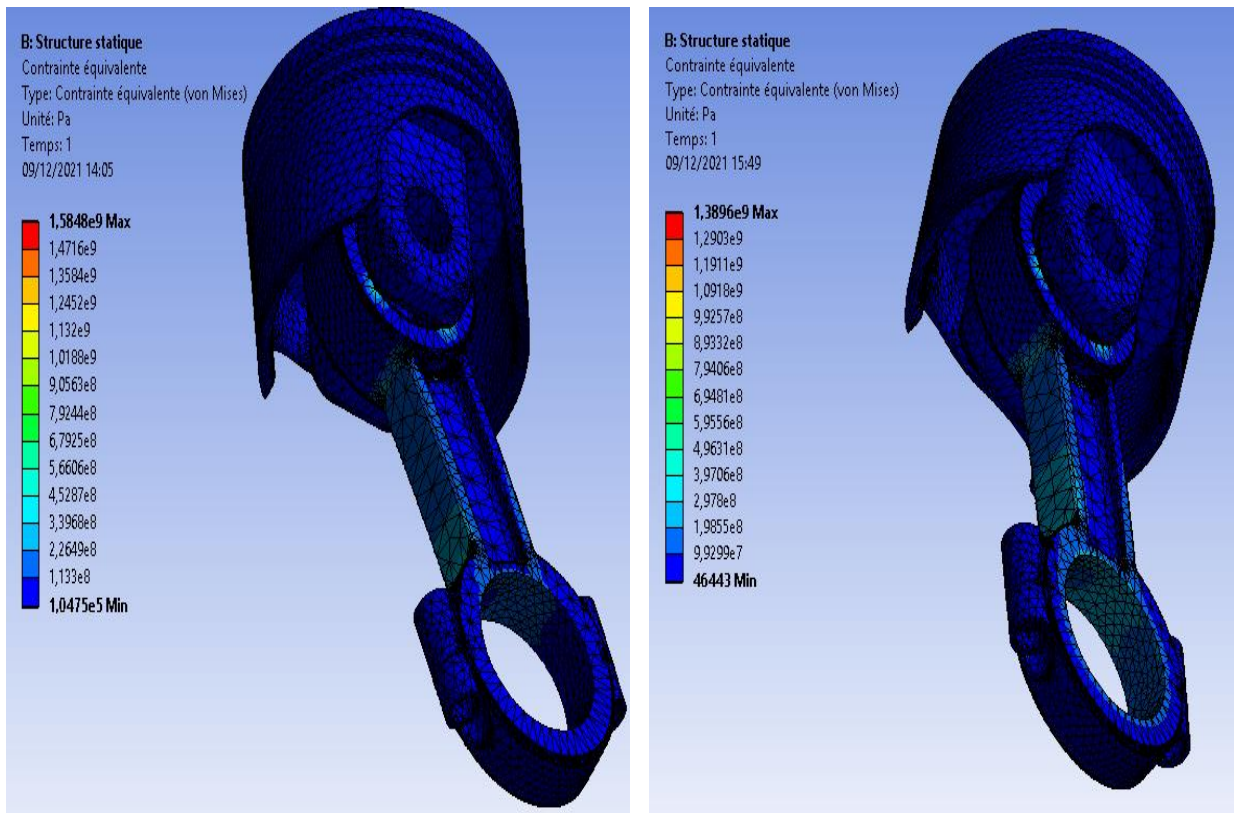
On remarque que :

La température max = 200°C (se trouve sur la tête de la jupe).

La température min pour l'acier standard = 35.585°C.

La température min pour l'aluminium = 70.775°C.

IV.4.4.1.b. Contrainte équivalente (Von Mises) :



A : Acier Standard

B : Aluminium

Figure IV.13 : Contrainte équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C.

Commentaire :

La figure IV.18 présente la contrainte équivalente pour les matériaux Acier standard et Aluminium dans les conditions 20bar, 200°C, où on remarque que la zone critique apparait sur la tête de la bielle ou ce qu'on appelle Coussinet, c'est la où situe le support fixe, les valeurs varis entre 1.0475e5 et 1.5848e9 Pa pour l'acier standard et entre 46443 et 1.3896e9 Pa pour l'aluminium.

- Les contraintes maximales pour l'acier standard et pour l'aluminium sont inferieures à la limite d'élasticité du chaque matériau, d'où la limite d'élasticité :

Acier standard : 200 GPa.

Aluminium : 70 GPa.

IV.4.4.c. Déplacement total :

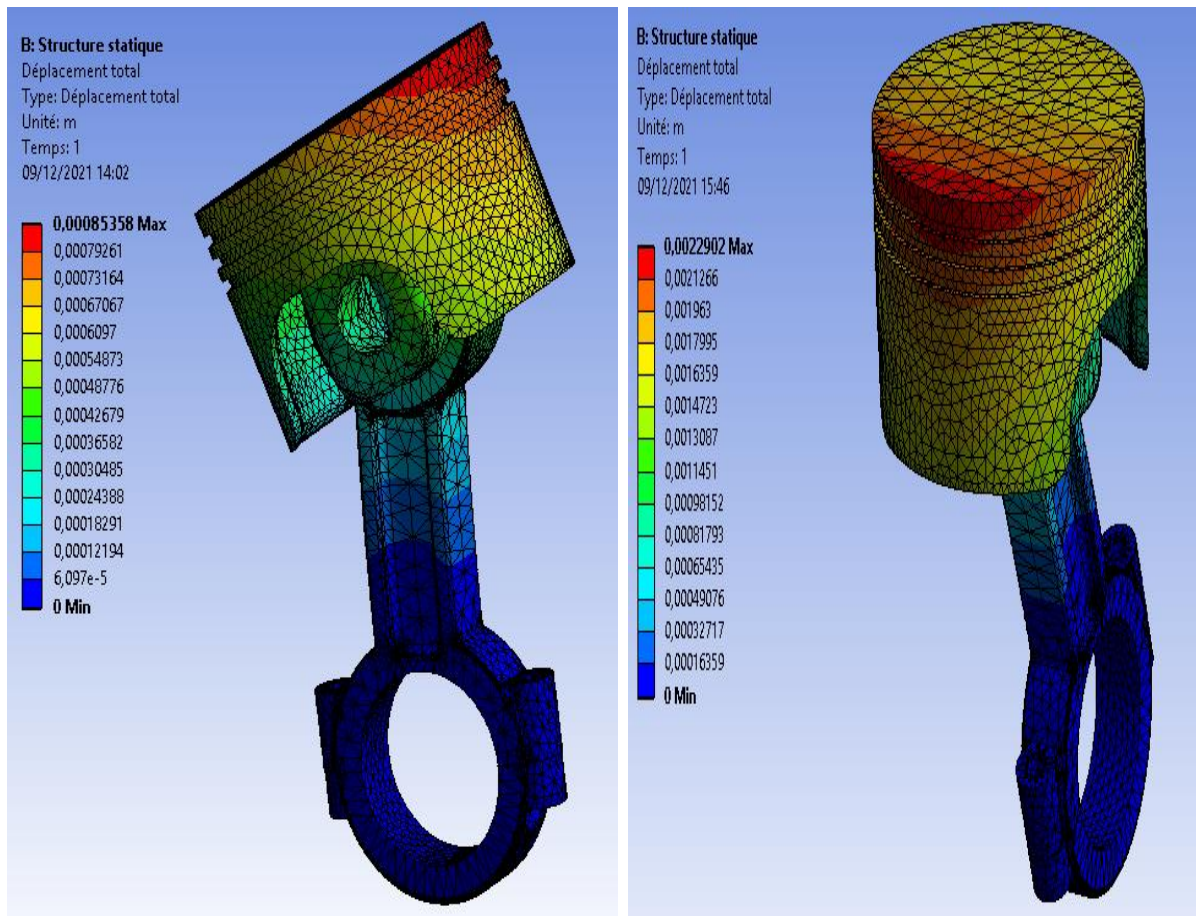


Figure IV.14 : Déplacement total selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C

Commentaire :

La figure IV.18 présente le déplacement total pour les matériaux Acier standard et Aluminium dans les conditions 20bar, 200°C, où on remarque que la zone critique apparaît au niveau de la partie latérale supérieure de la tête du piston, les valeurs varis entre 0 et 0.00085358 m pour l'acier standard et entre 0 et 0.0022902 m pour l'aluminium.

IV.3.4.d. Déformation élastique équivalente :

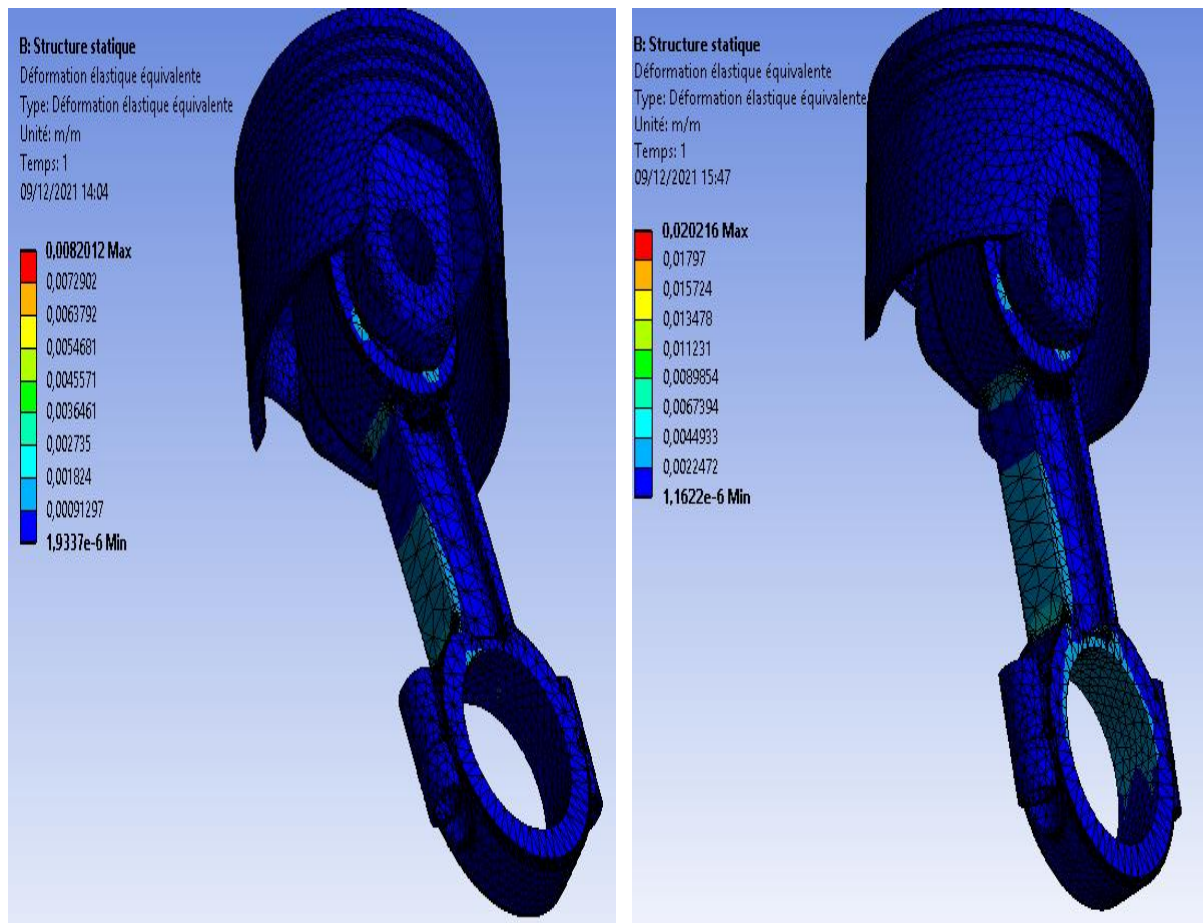


Figure IV.15 : Contrainte équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 20bar, 200°C.

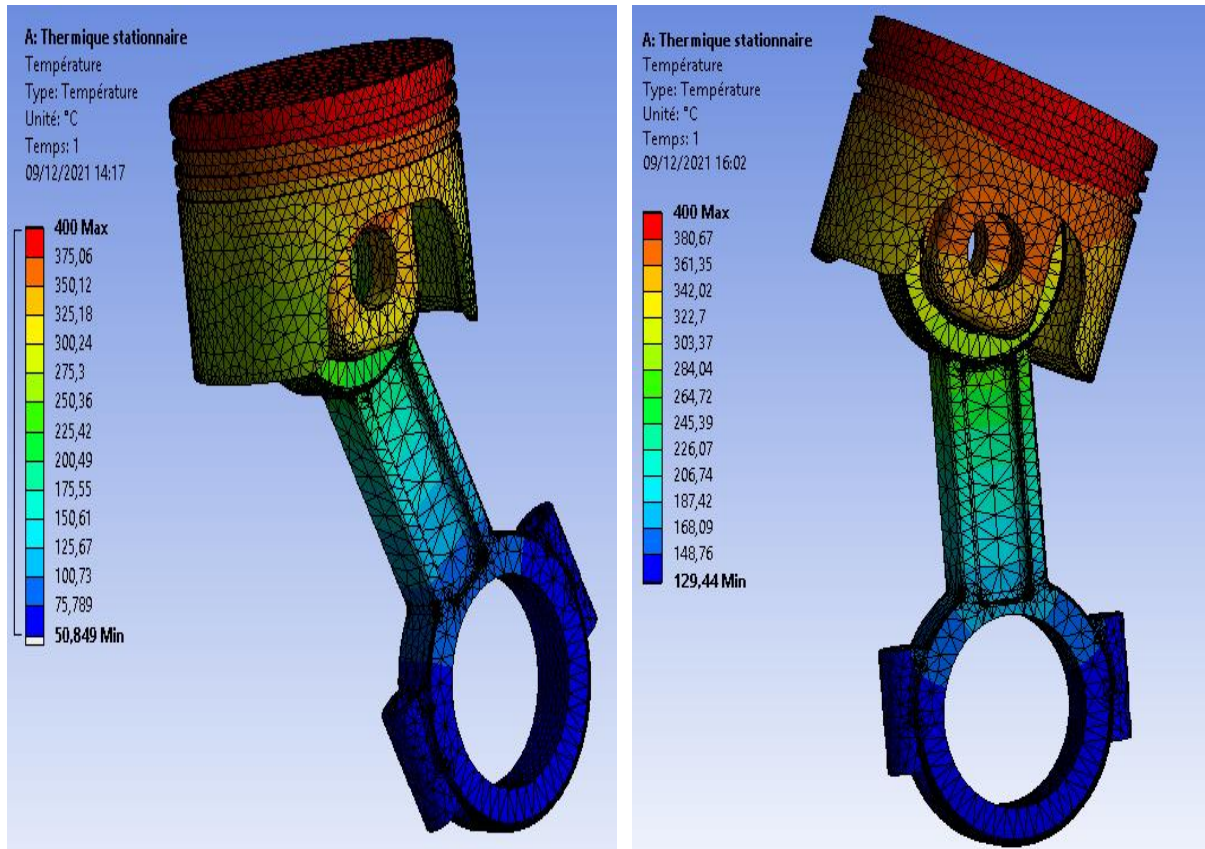
Commentaire :

La figure IV.18 présente la contrainte équivalente pour les matériaux Acier standard et Aluminium dans les conditions 20bar, 200°C, où on remarque que la zone critique apparaît sur la tête de la bielle où situe le support fixe, les valeurs varis entre 1.9337e-6et 0.0082012 Pa pour l'acier standard et entre 1.622 e-6 et 0.020216 Pa pour l'aluminium.

IV.4.4.2. 2eme Cas :

Après avoir appliqué une charge thermique de **400°C** et une pression de **50Bars** sur le piston et en changeant le matériau de fabrication du piston à chaque fois, nous observons les résultats suivants :

IV.4.4.2.a. Température :



A : Acier standard

B : Aluminium

Figure IV.16 : Distribution de la température selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C.

Commentaire :

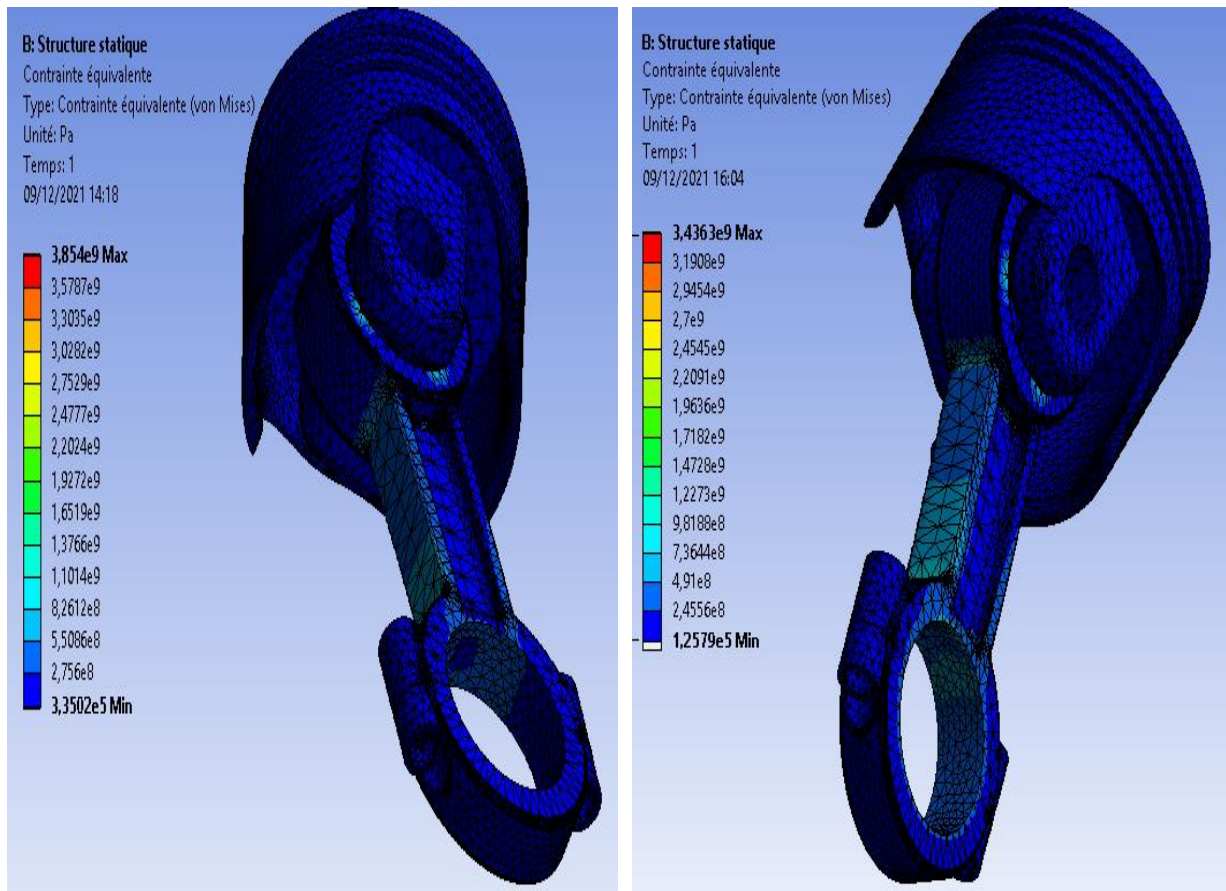
On remarque que :

La température max = 400°C (se trouve sur la tête de la jupe).

La température min pour l'acier standard = 50.849°C.

La température min pour l'aluminium = 129.44°C.

IV.4.4.2.b. Contrainte équivalente (Von Mises) :



A : Acier standards

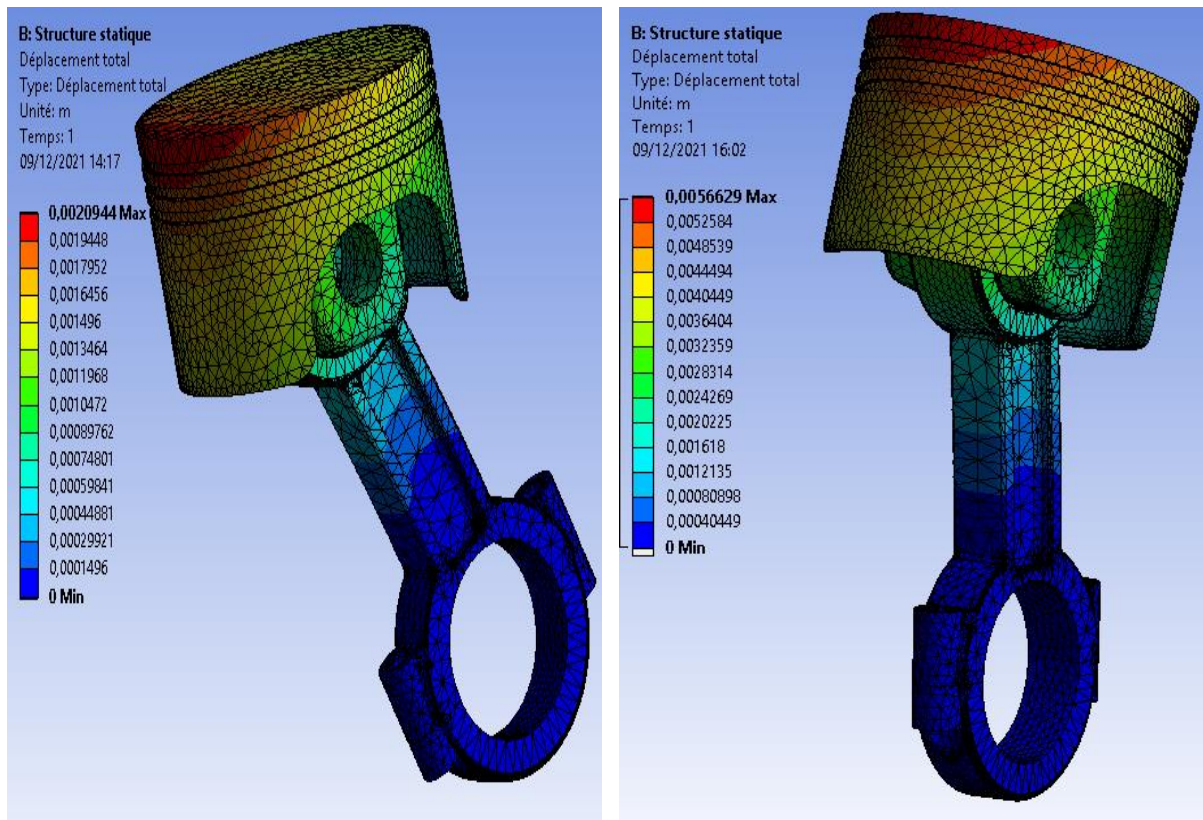
B : Aluminium

Figure IV.17 : Contrainte équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C.

Commentaire :

La figure IV.18 présente la contrainte équivalente de Von-Misés pour les matériaux Acier standard et Aluminium dans les conditions 50bar, 400°C, où on remarque que la zone critique apparaît sur la tête de la bielle où situe le support fixe, les valeurs varis entre 3.3502e5 et 3.854e9 Pa pour l’acier standard et entre 1.2579e5 et 3.4363e9 Pa pour l’aluminium, d’où on remarque que les valeurs maximaux sont approximativement égaux (légère différence).

IV.3.4.2.c. Déplacement Total :



A : Acier standard

B : Aluminium

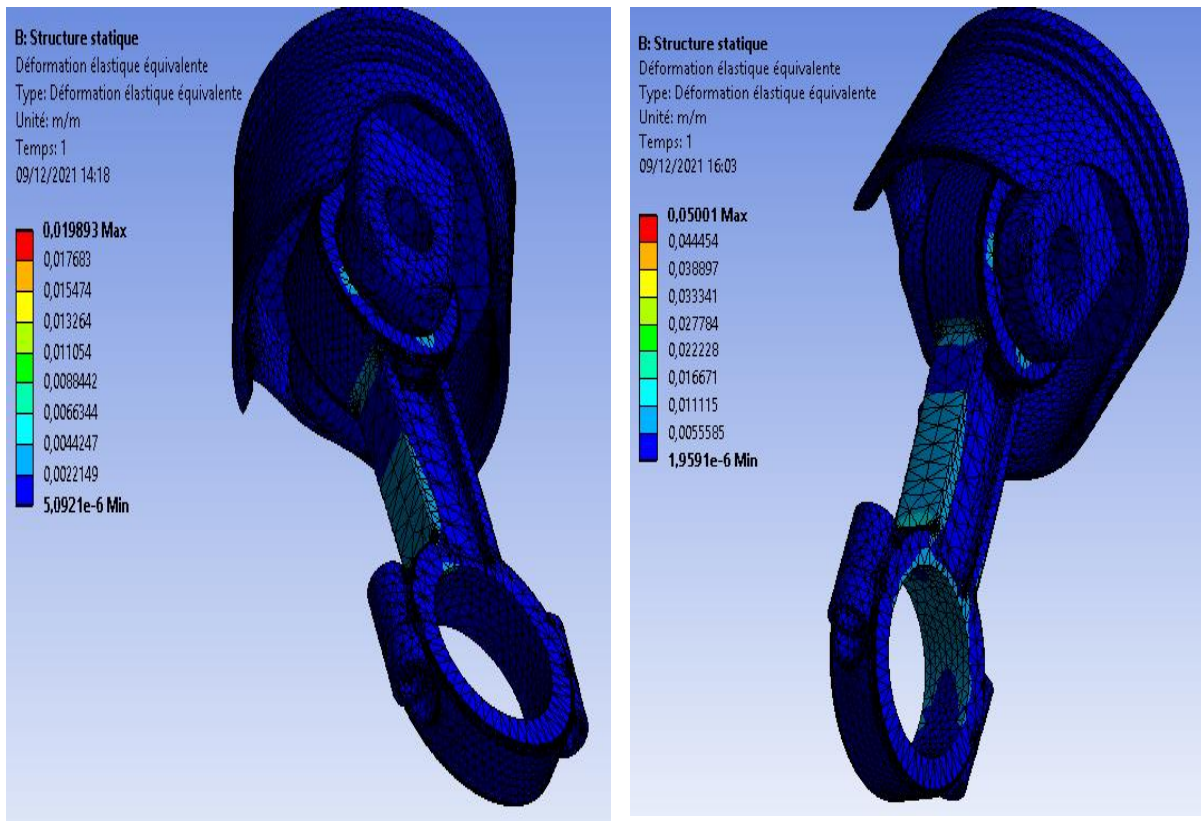
Figure IV.18 : Déplacement total selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C

Commentaire :

La figure IV.18 présente le déplacement total pour les matériaux Acier standard et Aluminium dans les conditions 50bar, 400°C , où on remarque le la zone critique apparait sur , les valeurs varis entre 0 et 0.0020944 m pour l'acier standard et entre 0 et 0.0056629 m pour l'aluminium.

- Le déplacement maximal est sur l'extrémité de la tête du piston, car on a appliqué une température égale 400°C. elle est décrite sur la figure par la couleur rouge
- On remarque que le déplacement minimal est sur le support fixe.
- Le déplacement maximal pour l'acier standard est inferieur au déplacement maximal pour l'aluminium.

IV.3.4.2.d. Déformation élastique équivalente :



A : Acier standard

B : Aluminium

Figure IV.19 : Déformation élastique équivalente selon le matériau du piston dans les conditions 50bar, 400°C.

Commentaire :

La figure IV.18 présente la déformation élastique équivalente pour les matériaux Acier standard et Aluminium dans les conditions 50bar, 400°C, où on remarque le la zone critique apparaît sur l'extrémité de la tête du piston, les valeurs varis entre 5.0921e-6 et 0.019893m pour l'acier standard et entre 1.9591e-6 et 0.05001 m pour l'aluminium.

- La déformation minimal est au niveau de la tête de la bielle car la température est minimal comme montre la figure IV.16, par contre l'apparition de la valeur maximal est au niveau de la tête de la jupe ou la température est maximale.

Les résultats des simulations sont présentés dans le tableau suivant :

Conditions	Paramètres	Acier standard	Alliage d'Al	Alliage de Ti
P=20 bar T=200 °C	Déplacement Δl [mm]	0.85358	2.1266	1.6764
	Déformation ε [mm]	0.0082012	0.01797	0.015137
	Contrainte δ [Gpa]	1.5848	1.3896	1.4121
P=20 bar T=400 °C	Déplacement Δl [mm]	1.0139	2.5786	1.7547
	Déformation ε [mm]	0.010342	0.02002	0.017155
	Contrainte δ [Gpa]	1.9355	1.5071	1.5952
P=50 bar T=200 °C	Déplacement Δl [mm]	2.0014	5.5342	4.1044
	Déformation ε [mm]	0.018283	0.048584	0.035642
	Contrainte δ [Gpa]	3.5499	3.332	3.3055
P=50 bar T=400 °C	Déplacement Δl [mm]	2.0944	5.6629	4.1681
	Déformation ε [mm]	0.019893	0.05001	0.037253
	Contrainte δ [Gpa]	3.854	3.4363	4.4724

Tableau IV.3: Résultats de la simulation.

IV.3.5. Conclusion :

- La contrainte maximale équivalente de Von Mises est inférieure à la limite d'élasticité des deux matériaux :
Acier $Re=200$ MPa
Aluminium $Re=70$ MPa
- Puisque la température maximale est appliquée sur la tête du piston donc La déformation thermique maximale se situe dans cette zone celle-ci nous permet de prévoir le jeu entre le piston et la chemise.
- La déformation thermique minimale se situe sur la tête de la bielle parce que la température est faible sur cette zone.
- On a déterminé les valeurs maximales des contraintes de Von Mises dans le but d'apprécier le comportement du matériau. La comparaison des contraintes de Von Mises des différents matériaux utilisés, nous a permis aussi de voir le piston le moins sollicité et par conséquent le plus performant, et c'est le piston fabriqué avec l'alliage d'aluminium.
- L'augmentation de la température cause l'augmentation de la déformation et le déplacement.
- L'augmentation de la pression cause l'augmentation de la contrainte

Conclusion générale :

Arrivant au terme de notre étude ; il nous est possible de dire que l'objectif qu'on a fixé à notre étude est atteint , Ce travail, nous a permis d'avoir une idée générale sur les moteurs thermique et ses composants, les modes d'obtention du brut et en particulier le moulage en coquille ainsi que le processus de fabrication du piston.

Ce mémoire nous a montré à quel point le domaine mécanique est vaste et nous confirme que nous avons bien choisi ce domaine et nous concluons ce que suit :

- le moulage est une technique qui permet d'obtenir des formes extérieures et intérieures ; dans le service de moulage on peut réaliser des formes très complexes autorisant une grande liberté aux designers ;
- La fabrication des pistons se fait par deux parties, le moulage et l'usinage ;

Cette étude est une contribution très significative à la modélisation de piston pour l'analyse par élément fini de l'effet de charge thermique, elle visait à déterminer les températures dans le piston ainsi que la température maximale qui affecte considérablement les propriétés du matériau.

Nous pouvons dire que les résultats obtenus permettent de mieux comprendre le comportement du piston dans des conditions du fonctionnement différent et de contribuer à la meilleure conception géométrique des pistons.

On a déterminé les valeurs maximales des contraintes dans le but d'apprécier le comportement du matériau, ce qui nous permet de sélectionner le matériau le plus adéquat.

- La comparaison des contraintes de Von mises des différents matériaux, nous a permis aussi de voir le piston le moins sollicité et par conséquent le plus performant.
- Le déplacement maximal dans chaque métal des trois nous a permis de faire le choix du meilleur métal.

La déformation maximale se trouve au niveau du coussinet, ce qui nous permet de prévoir le jeu entre le piston et le vilebrequin.

BIBLIOGRAPHIES

Bibliographies :

[1] Etude de la Sensibilité des Paramètres de Transferts Thermiques Conductifs Appliquée sur un Moteur à Combustion Interne Ecole Nationale Polytechnique d'Alger Septembre 2006

[2] Woshni G., ' A universally applicable equation for the instantaneous heat transfer coefficient in the internal combustion engine', SAE paper N° 670931, 1967.

[3] A. Benhamou « Analyse de l'influence de la forme de la tête du piston d'un moteur diesel à injection directe sur les contraintes mécanique par éléments finis » 17ème Congrès Français de Mécanique Troyes, septembre 2005

[4] Furuhashi S. and Suzuki H. "Temperature distribution of piston ring and piston in high speed Diesel Engine" Bulletin of the JSME, Volume 22, N°174, pp. 1979, 1996

[5] M. TAHAR ABBES, M. HADJ MILOUD, P. MASPEYROT « un modèle global de piston de moteur à combustion interne partie III- le modèle thermique » XVe^e Congrès Français de Mécanique, septembre 2001.

[6] Joyce MR. Styles CM. Reed PAS. Elevated temperature short crack fatigue. Int J Fatigue 2003

[7] MAHLE. Pistons for high loaded direct injection diesel engines. Technical Information, p. 12.

[8] KS service type and information. piston damages; recognizing and rectifying

[9] MAHL; driven by performance. Part engine and filters 'defects, causes, and remedies'

[10] Köster A., Fleury E., Vasseur E. and Remy L. Thermal-Mechanical Fatigue Testing, Automation in Fatigue and Fracture : Testing and Analysis, ASTM STP 1231, C. Amzallag, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1994, pp. 563-580.

[11] F. S. Silva. Fatigue on engine piston- A compendium of case studies. Engineering failure analysis (2005) 480-492.

[12] ANGLADE B. Fonderie: éléments d'initiation ENS Paris Saclay 2018 .

[13] Cours PTSI Sciences industrielles pour l'ingénieur.

[14] J. Sejournet, "filage des aciers et des métaux difficile à déformer ", technique de

BIBLIOGRAPHIES

l'ingénieure M640 (1993). [4] ANGLADE B. Le moulage en coquille : procédé de réalisation de pièces métalliques ENS Pais Saclay 2016.

[15] Fabrication par usinage DUNOD 2ème édition 2013.

[16] Rapport de stage FLOQUET MONOPOLE Automatisation d'une machine coquilleuse.

[17] <https://metalblog.ctif.com/2020/12/07/les-pistons-de-moteurs-thermiques/>

[18] <https://patents.google.com/patent/EP1443200A1/fr>

[19] <https://www.google.com/search?q=fabrication+des+pistons&oq=fa&aqs=chrome>.

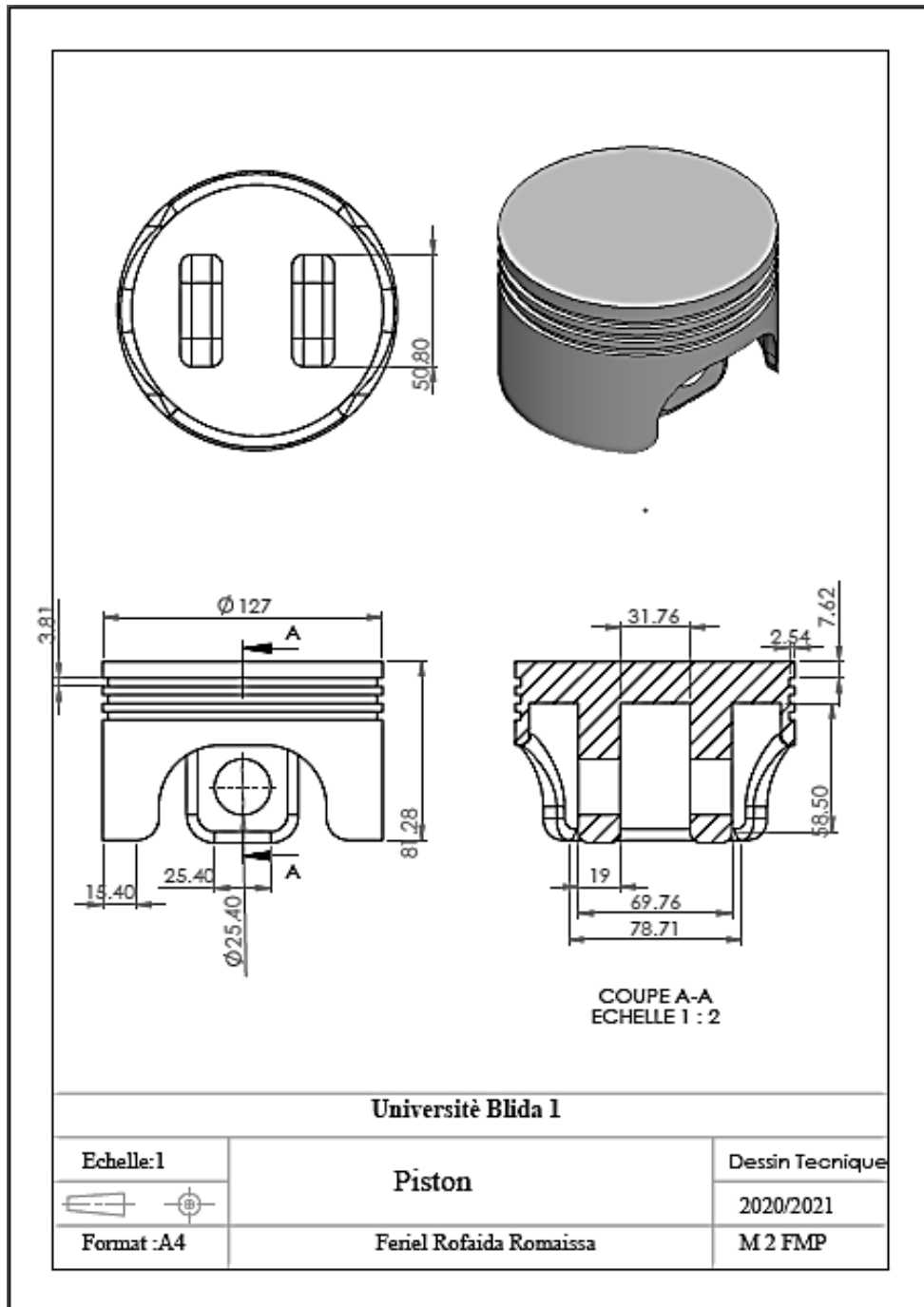
[20] Benhamou, M. Mechalikh, A. Bettahar, P. Maspeyrot ; Comportement Thermo-élastique d'un Piston d'un Moteur Diesel à Injection Directe Sous l'Effet de la Combustion, 20ème congrès Français de mécanique, page 6, 02-09-2011.

ANNEXES

Annexe 01 :

Mise en plan de chaque pièce :

1- Mise en plan de la jupe :

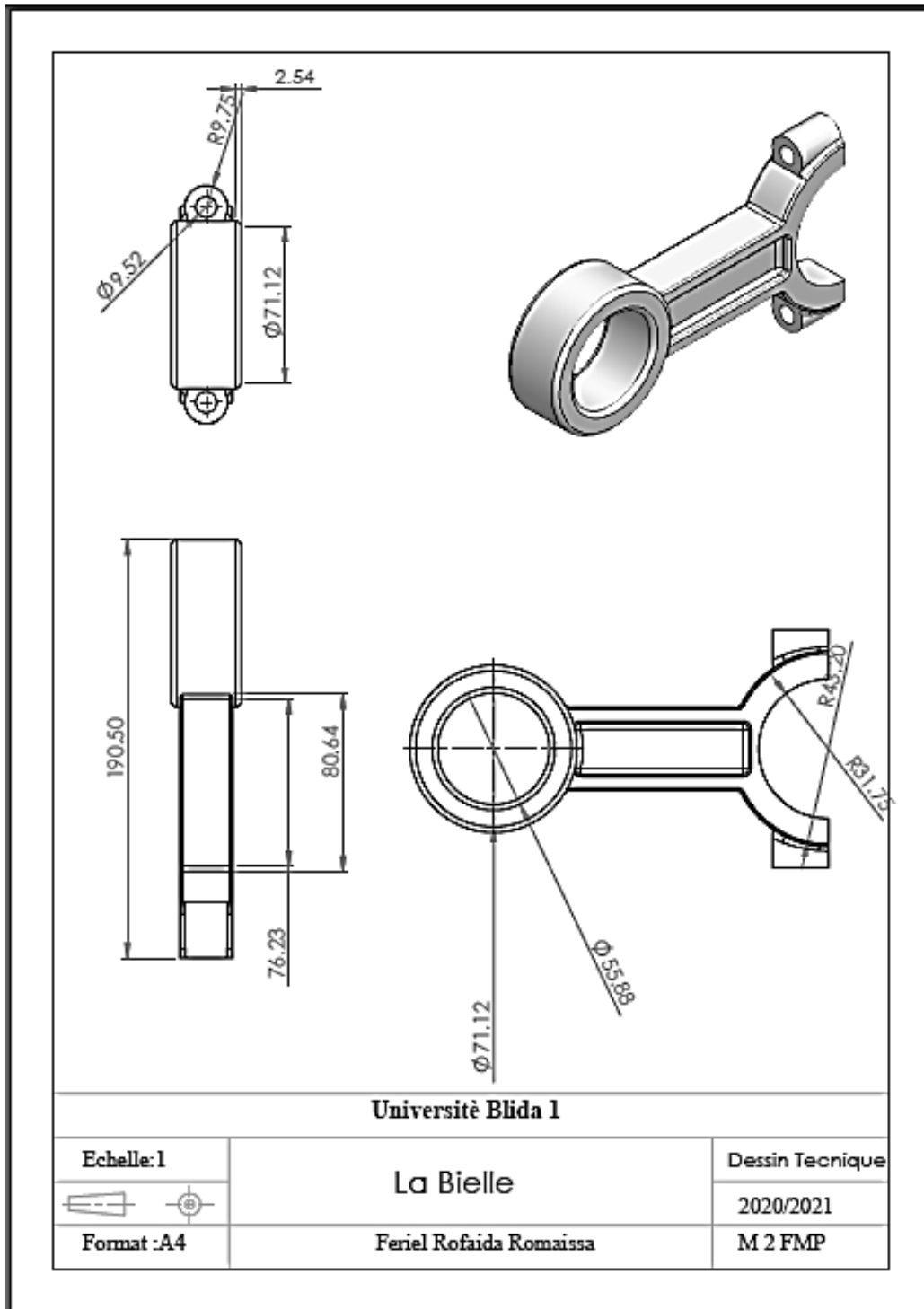


Université Blida 1

Echelle:1	Piston	Dessin Technique
		2020/2021
Format :A4	Feriel Rofaida Romaissa	M 2 FMP

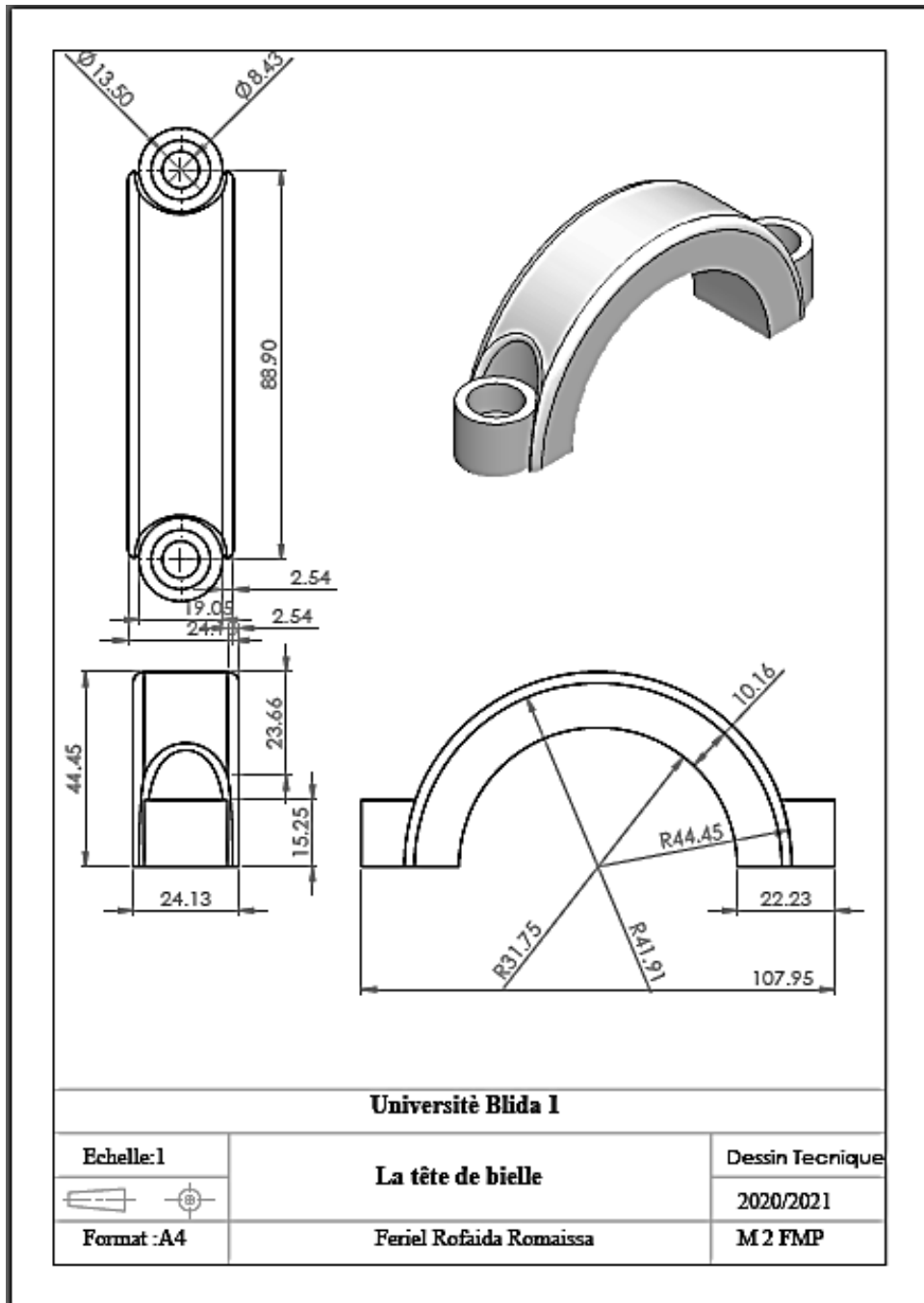
ANNEXES

Annexe 02 : Mise en plan de bielle :



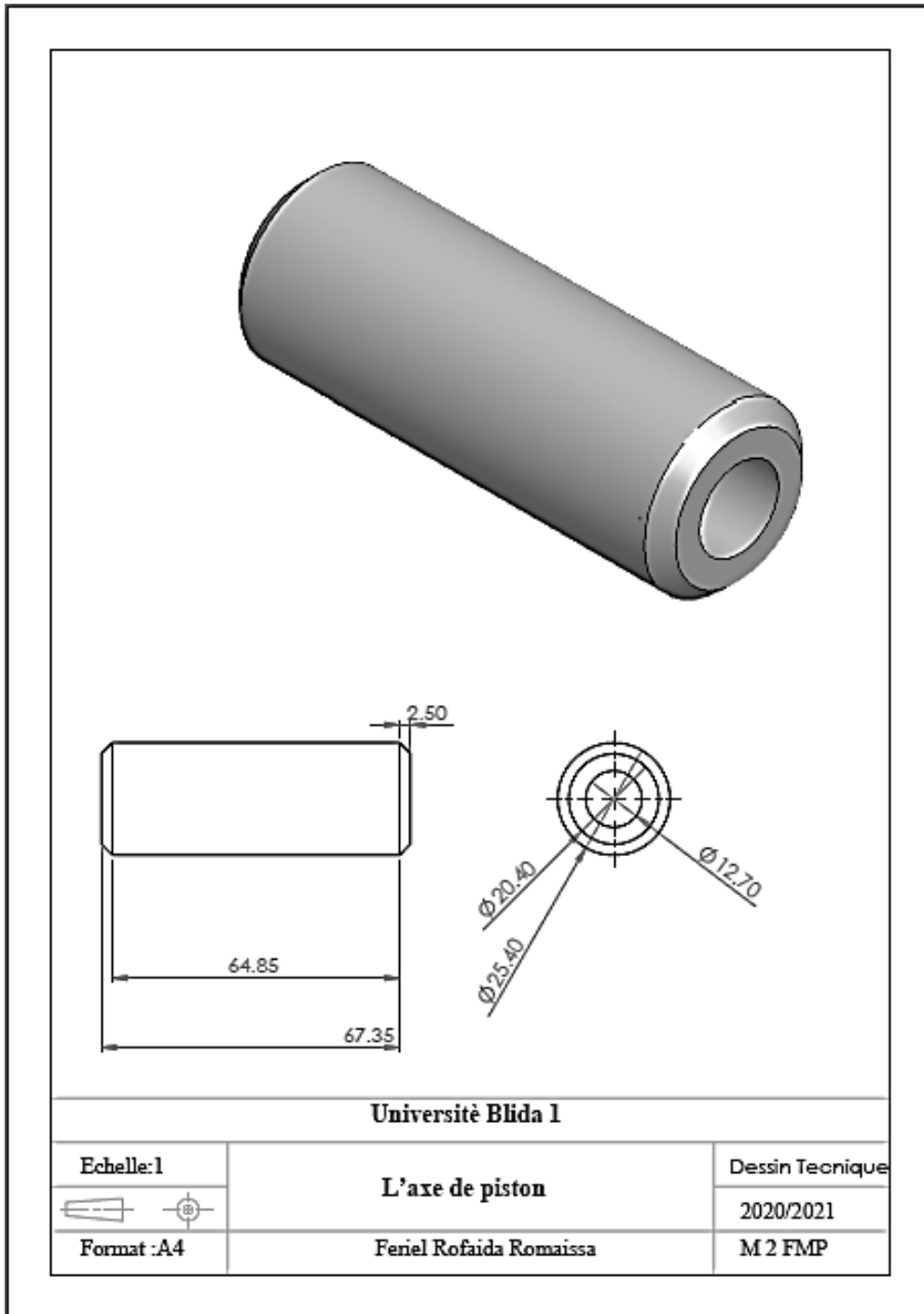
ANNEXES

Annexe 03 : Mise en plan de la tête de bielle



ANNEXES

Annexe 04 : Mise en plan de l'axe de piston :



ANNEXES

Annexe 05:

Fiche technique Man TGA 18.360 FLS-L 01-2001



Prix du véhicule neuf : nc TTC

Devis assurance gratuit

Energie	Diesel
Puissance réelle	360 ch / nc
Puissance fiscale	32 CV
Consommation mixte	nc
Emission de CO ₂	nc
Boîte de vitesses	Manuelle
Carrosserie	Base
Date de fin de commercialisation	01/06/2008

Dimensions et poids

DIMENSIONS

POIDS

PTRA 44 000 kg

<https://www.largus.fr/fiche-technique/Man/Tga/1/2001/Base/18360+Fls-L-741940.html>

1/3

30/10/2021 23:34

Fiche technique Man TGA 18.360 FLS-L - L'argus.fr

HABITABILITÉ

PNEUMATIQUES