



Mémoire : Master Professionnel
Domaine : Sciences Et Techniques
Filière : Hydrocarbures
Spécialité : Mécanique Des Chantier Pétrolier

Présenté par :

Merkhi Ilyes / Djennai Abdallah

Thème

Analyse numérique sur la thermomécanique d'une
bielle d'un moteur Caterpillar 3512

Soutenu publiquement le : 25/06/2024

Devant le jury :

M Lakhdari Abdelhakim	MCB	Président	UKMO
M Bouksani Mohamed	MCB	Examineur	UKMO
M Abdesselam . Yacine	Pr.	Encadreur	UKMO

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Voici venu le temps de mettre un point final à ce manuscrit et à ces années de travaux de recherche effectués au sein du Laboratoire de chimie de l'université KASDI MERBAH, sous la direction de Mr. Nom de l'encadreur, **Abdesslam . Yacine** pour la confiance dont il a toujours fait preuve à mon égard et pour ses perpétuels encouragements. Je tiens à remercier Mr. **Lakhdari Abdelhakim**, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de cette thèse. Je présente également ma profonde reconnaissance à Mr. **Bouksani Mohamed** qui ont accepté d'examiner mon travail. Enfin, dans ces dernières lignes je tiens à remercier mes parents, mes sœurs et mes frères, les conseils et les encouragements qu'ils m'ont toujours prodigués ainsi que pour leur soutien tant moral que financier. Sans eux, je ne serais pas où j'en suis et ce que je suis. Merci encore à tous....

Dédicace

Nous dédie ce modeste travail : A mes chers parents que dieu les garde et A mes chers frères et sœurs. A tous mes amis.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DÉDICACE

INTRODUCTION GÉNÉRAL.....2

CHAPITRE I GÉNÉRALITÉS SUR LE MOTEUR CATERPILLAR 3512

I.1 – Introduction.....	4
I.2 – Description et principe de fonctionnement.....	4
I.3 - Le cycle 4 temps diesel.....	5
I.3.1- Avance ouverture admission (AOA).....	6
I.3.2- Retard fermeture admission (RFA).....	6
I.3.3- Avance ouverture échappement (AOE).....	6
I.3.4- Retard fermeture échappement (RFE).....	6
I.4 - Les organes principaux du moteur.....	7
I.4 .1 – culasse.....	7
I.4.2- Bloc moteur.....	8
I.4.3 - Le carter d’huile.....	9
I.4.4 – Piston.....	9
I.4.5 – Bielle.....	10
I.4.6 - Arbre à cames.....	11
I.4.7 – Soupapes.....	11
I.4.8 – Vilebrequin.....	13
I.5 – Bielle.....	13
I.5.1 - Description de la bielle.....	13
I.5.2 - Matière de la bielle.....	14
I.5.3 - Coussinets de tête.....	14
I.5.4 - Graissage de la bielle.....	14
I.5.5 - Fabrication de la bielle.....	15
I.5.6 - Les problèmes de la bielle.....	17
I.5.7 - La maintenance de la bielle CAT 3512.....	17
I.6 – Charges appliquées sur la bielle.....	19
I.6.1 - Pression des gaz.....	19
I.6.2 - Etude cinématique de la bielle.....	20
I.6.3 - Etude dynamique de la bielle.....	21
I.7 - Les différences de température sur la bielle.....	22

CHAPITRE II GÉNÉRALITÉ SUR L’ANALYSE THERMOMÉCANIQUE DE LA BIELLE PAR SOLIDWORKS SIMULATION

II.1 – Introduction.....	24
II.2 - Transfert de chaleur.....	24
II.2.1- Les modes de transferts thermiques.....	24
II.2.1.1- Conduction.....	24
II.2.1.2- La convection.....	25

II.2.1.3- Transfert radiatif à la paroi.....	26
II.3 - SolidWorks et SolidWorks Simulation.....	27
II.3.1 – Introduction.....	27
II.3.2 – Maillage.....	28
II.3.3 – Type de maillage.....	29
II.3.4 Formulation de la méthode des éléments finis pour l’analyse du transfert de chaleur dans de la bielle.....	30
II.4 - Chargements thermomécaniques.....	33
II.5 - Option de SolidWorks simulation Dans SW Simulation.....	34
II. 6 - Résultats de l'analyse thermique.....	34

CHAPITRE III

III.1-Introduction.....	37
III.2-Construction du modèle géométrique.....	37
III.2.1-Etape 1 : construction la forme du bielle 2D.....	37
III.2.2-Etape 2 : construction la forme du bielle en 3D.....	38
III.2.4-Profil final de bielle.....	39
III.3-Méthodologie de simulation de bielle III.3.1-Objectifs.....	39
III.3.2-Hypothèses de simulation.....	39
III.3.2.1-Hypothèses géométriques.....	39
III.3.2.2-Hypothèses de comportements thermomécaniques.....	40
III.4- Descriptions des matériaux.....	40
III.4.1- Critères de choix des matériaux.....	40
III.4.2- Matériaux utilisés dans la fabrication de bielle.....	40
III.5- Analyse Thermique sur la bielle.....	42
III.5.1-Etape 1 : Choisir le type de simulation.....	42
III.5.2-Etape 2 : Applique un matériau.....	43
III.5.3-Etape 3 : chargements thermiques.....	43
III.5.4-Etape 4 : création de maillage.....	43
III.5.5- Résultats et interprétations.....	44
III.5.5.1- analyse thermique.....	44
III.5.5.2- Analyse thermo statique.....	47
III.6-Conclusion.....	54

CONCLUSION GÉNÉRALE

BIBLIOGRAPHIES

Liste Des Tableau

	Page
Tableau I.1 Caractéristiques d'un moteur diesel Caterpillar 3512-A-	4
Tableau I.2 Débit des pompes.	5
Tableau 3 Principe Fonctionnement Moteur Diesel Temps	6
Tableau I.4 Avances et retard des à l'ouverture et à la fermeture des soupapes d'admission et échappement.	7
Tableau II.1 Conductivité thermique de certains matériaux	21
Tableau II.2 Coefficient de transfert de chaleur par convection	26
Tableau II.3 Options de sortie d'analyse thermique	36
Tableau III.1 Caractéristiques des matériaux utilisés dans la fabrication des bielles..	41
Tableau III.2 Températures minimales résultats pour trois maillages différents	44
Tableau III.3 contrainte et limite d'élasticité de chaque matériau	49

Liste Des Figures

	PAGE
Figure I 1 : Les différents organes du moteur Caterpillar 3512.	7
Figure .I.2 : Culasse	8
Figure I.3 : Bloc moteur CAT 3512	8
Figure I.4 : Le carter d'huile	9
Figure I.5 : le piston	9
Figure I.6 : Axe de piston	10
Figure I.7 : Élément de la bielle	10
Figure I.8 : Arbre à cames	11
Figure I.9 : Mécanisme de Soupape	12
Figure I.10 : vilebrequin CAT 3512	12
Figure I.11 : Processus de fabrication de bielle semi-finie (brut de forge) ...	14
Figure I.12 : Répartition de la matière selon les dimensions de la préforme ...	14
Figure I.13 : (a) laminage transversal et (b) laminage à retour	15
Figure I.14 : Méthode de contrôle de la bielle	17
Figure I.15 : Présentation des forces dues à la pression des gaz	18
Figure I.16 : système bielle-manivelle	18
Figure I.17 : Force sa glissant sur l'embiellage.	19
Figure II 1 : Modèles d'une bielle (A) modèle SolidWorks. (B) modèle maillage de la bielle	26
Figure III 1 : Profil de construction du bielle 2 D.	37
Figure III 2 : Forme 3D de la bielle	38
Figure III 3 : Profil final de la belle	39
Figure III 4 : La masse de chaque matériau	42
Figure III 5 : Type de simulation	42
Figure III 6 : chargements thermiques sur la bielle..	43
Figure III 7 : Maillages de bielle d'étude	44
Figure III 8 : Profil de résultats d'Analyse thermique des quatre matériaux	47
Figure III 9 : Températures maximales et minimales des matériaux	48
Figure III 10 : Profil des résultats de Flux thermique de chaque matériau	50

Figure III 11 : Le flux de chaleur maximal et minimal..	50
Figure III 12 : Profil des résultats d'analyse structurelle des contraintes des matériaux	52
Figure III 13 : Profil des résultats d'analyse structurelle des déplacements des matériaux	55
Figure III 14 : Déplacement de chaque matériau	55
Figure III 15 : Profil des résultats d'analyse structurelle de déformation des matériaux	57
Figure III 16 : Déformation de chaque matériau..	58
Figure III 17 : Profil des résultats des coefficients de sécurité des matériaux.	59
Figure III 18 : Coefficient de sécurité minimal de chaque matériau	60

Liste De Symboles

x	Position du bielle (m)
x'	Vitesse du bielle (m/s)
x''	Accélération du (m/s ²)
q_x	La quantité de chaleur W/m ²
λ	La constante W/ (m. K)
Q	Flux de chaleur transmis par convection (W)
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m ⁻² °C ⁻¹)
T_p	Température de surface du solide (°C)
[C]	Celsius
[F]	Fahrenheit
[K]	Kelvin
[R]	Rankine
S	Aire de la surface de contact solide/fluide (m ²)
S_1	surface limite dans laquelle est spécifiée T_0
S_2	surface limite dans laquelle q est spécifié
S_3	surface limite dans laquelle la chaleur de convection est spécifiée
Q_{wray}	La quantité de chaleur W/m ²
ε	Émissivité totale directionnelle
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
k	Matrice
f	La force (N)
F_R	Force radiale
F_{rot}	Force rotative
F_{res}	La force résultante
F_{osc}	La force oscillante
F_p	Force agissant sur le piston .

Résumé:

Cette étude traite de l'analyse de contraintes dans le moteur à combustion interne sous la plus grande pression appliquée au bielle. L'objectif principal de ce travail est une simulation du la bielle utilisant trois types des matériaux et détermine les charges appliquées sur la tête de bielle du moteur à combustion interne Caterpillar 3512 diesel, le moteur Caterpillar 3512 est un moteur diesel a 12 piston, suralimenté par deux turbocompresseurs, dont l'injection se fait directement dans le cylindre. Nous avons mis en œuvre des éléments finis qui sont analysés numériquement en utilisant logiciel Solidworks, étude cinématique et dynamique du système bielle manivelle.

Mots-clés: bielle, éléments limités, moteur à combustion interne Caterpillar, charges, turbo, diesel.

ملخص:

تتناول هذه الدراسة تحليل الإجهادات في عمود توصيل محرك الاحتراق الداخلي تحت الضغط الأعظم المطبق على عمود التوصيل. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو عمل محاكاة للعمود باستعمال ثالث أنواع من المواد وتحديد الأحمال المطبقة على رأس عمود التوصيل للمحرك الاحتراق الداخلي كاتربيلر 2153 ديزل , محرك كاتربيلر 2153 ديزل ذو اسطوانة ومشحون من قبل شاحني توربو يتم الحقن في هذا المحرك مباشرة في الاسطوانة قمنا بتطبيق العناصر المحدودة التي يتم تحليلها عدديا باستخدام سوليد ووركس ودراسة السكون والحركة لنظام عمود ومرفق لكلمات المفتاحية : عمود التوصيل , العناصر المحدودة, محرك الاحتراق الداخلي كاتربيلر, الأحمال, توربو, الديزل

Abstract:

This study deals with the stress analysis in the internal combustion engine under the highest pressure applied to the connecting rod . The main objective of this work is a simulation of the connecting rod using three types of materials and determines the loads applied on the connecting rod head of the Caterpillar 3512 diesel internal combustion engine. The Caterpillar 3512 engine is a 12-piston diesel engine, supercharged by two turbochargers, whose injection is done directly into the cylinder. We have implemented finite elements which are numerically analyzed using Solidworks software, kinematic and dynamic study of the connecting rod-crank system. Keywords: connecting rod, limited elements, Caterpillar internal combustion engine, loads, turbo, diesel

Introduction générale

Au niveau mondial, les hydrocarbures demeurent et pourraient demeurer pendant longtemps l'énergie la plus efficace. Selon la pratique, les investissements dans les forages représentent plus de 30% de l'ensemble des investissements concentrés dans l'industrie pétrolière et gazière de notre pays [1]. Le sondage est la seule façon d'atteindre le réservoir et d'extraire le pétrole avec un prix de revient le plus bas possible et dans des conditions de sécurité optimales. Les systèmes de forage des puits de pétrole et de gaz nécessitent de l'énergie afin de garantir le bon fonctionnement de la technologie de forage. Les équipements des systèmes de puissance de forage jouent un rôle très important dans le forage des puits. En effet, ils assurent l'énergie nécessaire pour le forage des puits. [1]. Le moteur diesel CATERPILLAR 3512 est l'un des équipements utilisés, qu'il soit utilisé comme groupe de force ou comme groupe électrogène qui entraîne un alternateur pour générer de l'énergie électrique pour alimenter les équipements de forage (pompe à boue, treuil, table de rotation,...) et pour assurer l'éclairage dans la plate-forme pétrolière, les camps et les bases de vie. La bielle est un élément actif du moteur qui est soumis à une inertie élevée et à des forces externes, transformant ainsi l'énergie thermique en énergie mécanique entre le piston au vilebrequin. Afin d'optimiser l'économie de carburant, on envisage l'utilisation d'un matériau de poids léger pour soutenir le moteur, qui présente des caractéristiques thermomécaniques. En parallèle, il est nécessaire d'améliorer la forme de la chambre de combustion afin de réduire les émissions de CO₂ à l'environnement [2]. Cette mémoire traite de l'étude d'une bielle d'un moteur Caterpillar de type (3512). La bielle doit être rigide et l'assemblage doit se déplacer comme un mécanisme. Par conséquent, l'analyse doit impliquer une analyse des corps rigides et une analyse des corps flexibles. Ainsi, les forces dans les composants lorsque le moteur effectue un mouvement alternatif doivent être calculé et ces forces sont utilisées pour calculer les contraintes dans le composant d'intérêt, c'est-à-dire la bielle. Il est proposé de remplacer par deux nouveaux ensembles de matériaux pour les composants de l'assemblage et de vérifier les paramètres en effectuant des analyses statiques et thermiques [3]. Dans ce projet, les principales pièces de l'assemblage, à savoir la bielle, sont modélisées et assemblées selon la conception donnée. Et l'analyse par éléments finis est effectuée dans Solidworks Simulation. Le maillage est réalisé en Hyper Mesh.

Chapitre I : description général sur le moteur Caterpillar 3512

Chapitre II : l'analyse thermomécanique de la bielle par solidworks simulation

Chapitre III : Applique solidworks sur la bielle.

Chapitre I :

Généralité sur le moteur Caterpillar 3512

I.1 – Introduction

Dans les forages isolés qui ne disposent pas d'une source énergétique stable, ils font appel à un groupe de force (groupe électrogène) qui entraîne un alternateur pour générer de l'énergie électrique pour alimenter les équipements de forage tels que la pompe à boue, le treuil, la table de rotation, etc. La marque la plus répandue est généralement Caterpillar avec un moteur diesel de série 3512, en raison de ses performances, de sa longévité et de sa fiabilité. On présente dans ce chapitre :

- Généralité sur moteur Caterpillar 3512-A- ;
- Fabrication de la bielle de moteur ;
- Étude cinématique et dynamique de la bielle de moteur.

I.2 – Description et principe de fonctionnement

Le CAT 3512 est un moteur 12 cylindres de la série 3500. Il s'agit d'un moteur diesel 4 temps à injection directe suralimenté par deux turbocompresseurs qui fonctionnent à une vitesse de 45 000 à 60 000 tr/mn. Il y a deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement dans chaque culasse [4]. L'arbre à came permet l'action mécanique des culbuteurs et des soupapes grâce à des poussoirs. Le gas-oil est injecté directement dans le cylindre. Un régulateur électrique et un mécanisme de commande contrôle le débit de la pompe d'injection afin de maintenir le régime moteur choisi par l'opérateur. La pompe d'injection met en œuvre la méthode de dosage et de pompage du gazole qui est envoyé aux injecteurs. La fonction d'avance automatique du calage garantit une injection optimale à tout régime moteur. Le filtre à air filtre l'air d'admission. Avant d'entrer dans les cylindres, l'air est comprimé par le turbo compresseur. L'énergie du turbocompresseur provient des gaz d'échappement du moteur. Il s'agit d'un moteur suralimenté et inter-refroidi. La pompe à eau fournit le liquide de refroidissement du refroidisseur pour le faire circuler dans le bloc cylindres [5].

Alésage	170 mm
Course	190 mm
Angle entre les rangées	60°
Nombre des cylindres	12
Cylindrée Unitaire	4,31 Litres
Cylindrée totale	58,2 Litres
Taux de compression	13 /1
Sens de rotation vue depuis le volant	Sens antihoraire
Ordre d'injection	1-12-9-4-5-8-11-2-3-10-7-6.
Type d'injection	Injection directe
Type d'injecteur	Injecteur -Pompe à 10 trous
Régime de ralenti	900 tr/min
Régime nominal de pleine charge	1200 tr/min
Puissance mécanique	1225HP

Tableau I.1 Caractéristiques d'un moteur diesel Caterpillar 3512-A- [6]


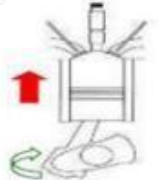
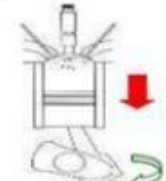

Pompe à huile	340 l/min
Pompe à gas-oil	21 l/min
Pompe à eau	1520 l/min

Tableau I.2 Débit des pompes [6]

1.3 - Le cycle 4 temps diesel

Le Caterpillar 3512 est un moteur diesel à quatre.... cylindres. Deux turbocompresseurs sont suralimentés. Le moteur a un cycle à 4 temps identique à celui de tous les moteurs diesel. Il est donc nécessaire de faire deux tours de vilebrequin, soit 720° de rotation, afin de réaliser un cycle complet [8].

Tableau I 3 Principe de fonctionnement du moteur diesel à 4 temps [4]

<p>1^{er} Temps admission</p> <ul style="list-style-type: none"> -le piston descend -le cylindre se remplit uniquement d'air 	
<p>2^{ème} Temps compression</p> <ul style="list-style-type: none"> -le piston monte -la pression de fin compression est élevée - la température de l'air comprimé est donc importante (600°C) 	
<p>3^{ème} Temps combustion /détente</p> <ul style="list-style-type: none"> -Le gasoil est injecté à haute pression (100 à 200 bars) -IL s'enflamme tout seul au contact de l'air surchauffé -le piston descend => c'est le temps moteur 	
<p>4^{ème} Temps échappement</p> <ul style="list-style-type: none"> -le piston monte -Il chasse les gaz brûlés 	

La comparaison avec le diagramme théorique fait ressortir un certain nombre de différences provenant de l'énergie de l'air qui diminue le remplissage, du délai de déjection et des contre-pressions à l'échappement. On a donc été ramené, sur le moteur diesel, à opérer comme sur le moteur à explosion un réglage de la distribution (AOA- RFA- AOE- RFE et AA).

I.3.1- Avance ouverture admission (AOA)

Pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés, on donne de l'avance à l'ouverture des soupapes d'admission, de façon à ce que l'air aspiré dans le cylindre chasse les gaz brûlés.

I.3.2- Retard fermeture admission (RFA)

On donne du retard aux soupapes d'admission pour obtenir un meilleur remplissage de cylindre en air frais. En effet, l'air ayant acquis une certaine vitesse durant la course ascendante du piston, continue de pénétrer dans le cylindre pendant le temps mort du piston quand il est au PMB.

I.3.3- Avance ouverture échappement (AOE)

A la fin de cycle de détente, il est bon d'avoir de l'avance à l'ouverture des soupapes

d'échappement pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés.

I.3.4- Retard fermeture échappement (RFE)

Nous remarquons que ce retard correspond à peu près à l'avance à l'ouverture des soupapes d'admission. En effet, les gaz frais pénétrant dans le cylindre chassent les gaz brûlés.

Les différents avances et retards à l'ouverture et à la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement pour un moteur Diesel sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau I.4 Avancés et retardés à l'ouverture et à la fermeture des soupapes d'admission et d'échappement [4].

Avances et retards en degrés	Moteur diesel suralimenté
AOA	60 à 75
AOE	35 à 50
RFA	30 à 45
AFE	60 à 75

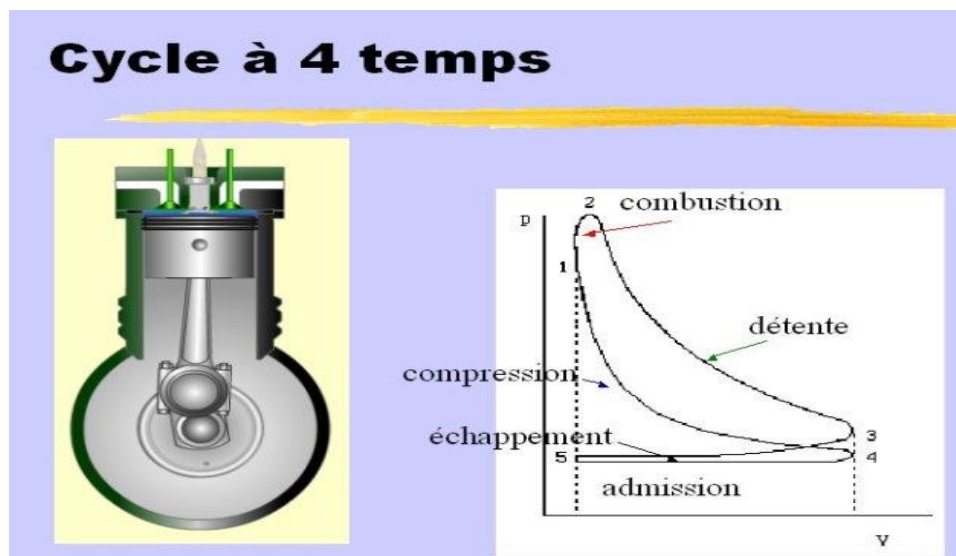


Figure I.1 : cycle à 4 temps

I.4 - Les organes principaux du moteur

La figure I.1 présente les organes principaux du moteur Caterpillar 3512.

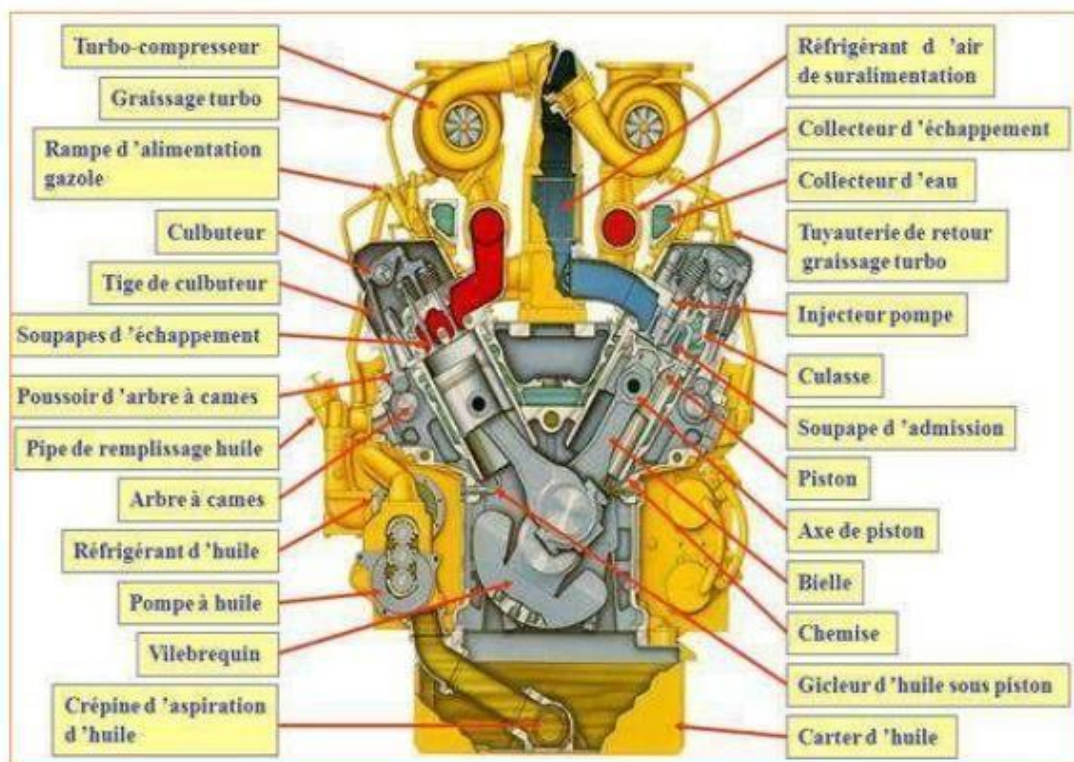


Figure I.1 : Les différents organes du moteur Caterpillar 3512

I.4 .1 – culasse

Les culasses CAT sont réalisées en fonte avec ces culasses des séries 3500 sont du type individuel et reçoivent quatre soupapes par chaque cylindre, Disposé à l'extrémité supérieure du cylindre, elle ferme le cylindre et constitue la chambre de combustion. Elle comporte les éléments de distribution, l'injecteur, les conduits d'admission et d'échappement. Très fortement sollicitées de point de vue thermique, des chambres d'eau sont nécessaires à son refroidissement. (Voir Figure I.2).



Figure. I.2 : Culasse

I.4.2- Bloc moteur

Le bloc est réalisé par moulage puis par usinage de la fonte ou d'alliage en aluminium moulé. Il constitue le bâti du moteur 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. L'eau de refroidissement circule librement à l'intérieur du carter-moteur. Sa partie supérieure est dressée pour former le plan de joint. La culasse vient s'appuyer sur le plan de joint supérieur pour coiffer les cylindres [9].



Figure I.3 : Bloc moteur CAT 3512

I.4.3 - Le carter d'huile

C'est une cuvette en tôle emboutie qui abrite le vilebrequin et les têtes de bielle et qui contient la réserve d'huile de graissage. Il peut être en alliage léger moulé avec des nervures à l'extérieur pour assurer un bon refroidissement de l'huile échauffée par son passage dans le moteur. L'étanchéité entre le carter-moteur et le carter inférieur doit être parfaite. Elle est assurée par un joint plat en liège ou bien par un joint cylindrique, en caoutchouc synthétique ou en silicone, logé dans une gorge.



Figure I-4 : Le carter d'huile.

I.4.4 - Piston

Le piston est l'organe qui, en se déplaçant dans le cylindre ou la chemise, transmet la poussée des gaz au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle. Il est en général moulé dans un matériau dans des gorges pratiquées sur le pourtour du piston. La partie inférieure ou jupe du piston doit assurer le guidage à froid comme à chaud avec un minimum de frottement.

Matériau léger et d'une bonne conductivité thermique comme les alliages d'aluminium. La tête et le support d'axe, devant transmettre l'énergie mécanique, sont particulièrement renforcés. Le piston se compose d'une tête ou culot dont le diamètre doit être inférieur à l'alésage du cylindre (dilatation thermique incluse). L'étanchéité est assurée par des segments.



Figure I.5 : le piston

Tête du piston : Celle-ci assure la partie compression/évacuation des gaz. Sa forme est liée à celle du cylindre. Il existe plusieurs formes de têtes de piston.

Jupe du piston : La jupe du piston est la partie assurant le guidage du piston dans le cylindre. Elle peut subir un traitement de surface de quelques micromètres à base de nickel ou de graphite principalement pour assurer une bonne lubrification.

Axe de piston : Il assure la liaison entre le piston et la bielle. La force à transmettre étant élevée, sa surface en contact avec le piston et la bielle doit être très importante. Il doit résister aux efforts de flexion et être léger. L'axe de piston est fabriqué en acier cémenté, trempé, puis rectifié. Il est souvent bloqué en translation par des joncs d'arrêt leur diamètre est 69.93 mm. Il est retenu à chaque extrémité par un circlips.

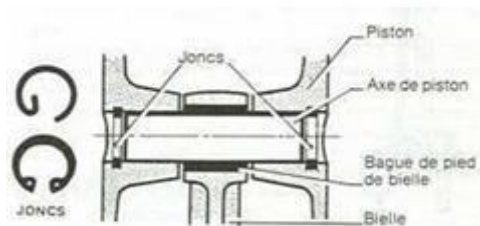


Figure I-6 : Axe de piston

I.4.5 – Bielle

La bielle est une pièce mécanique dont une extrémité est liée au piston par l'axe du piston et l'autre extrémité au maneton du vilebrequin. Elle permet la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu du vilebrequin. La bielle est en acier très résistant au nickel-chrome, parfois en acier mi- dur au carbone. On utilise également des bielles en alliage d'aluminium sur les moteurs poussés, en raison de sa grande légèreté [8]. Plus de détails voir la section (I.5).

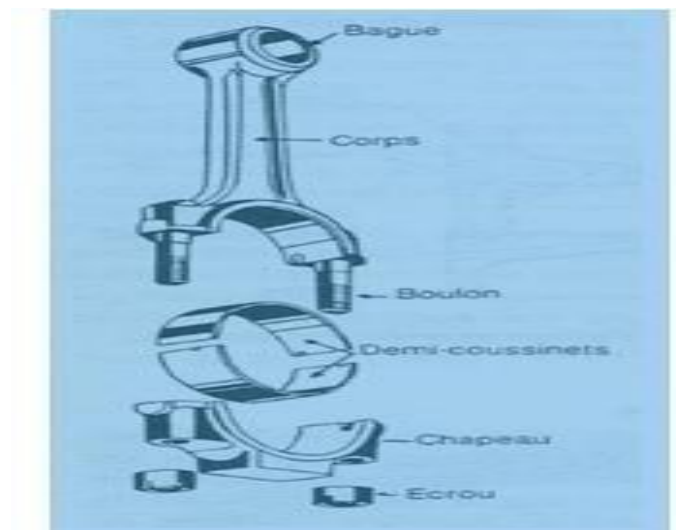


Figure I-7 : Élément de la bielle

I.4.6 - Arbre à cames

Un arbre à cames est un dispositif mécanique permettant de synchroniser plusieurs déplacements. Il s'agit d'un arbre muni de plusieurs cames. Il transforme le mouvement de rotation continu de l'arbre en un mouvement de translation alterné (par exemple d'une soupape), ou bien de rotation alterné (par exemple d'un culbuteur). L'arbre à cames est entraîné par le vilebrequin et est dotée de cames qui agissent sur les poussoirs des soupapes pour commander leur ouverture [8].



Figure I-8 : Arbre à cames

I.4.7 – Soupapes

La soupape est un bouchon métallique en acier au Nickel, au Chrome ou au Tungstène dont le rôle est d'ouvrir et de fermer les orifices d'admission et d'échappement afin de permettre la compression, la combustion et l'évacuation des gaz brûlés. Elle se compose d'une tige et d'une tête [8].

- **La tige appelée** aussi queue de forme cylindrique est raccordée à la tête par un congé à grand rayon pour diminuer les contraintes et renforcer ainsi la section dangereuse. La tige sert à guider la soupape lors de son mouvement rectiligne alternatif dans un guide qui est rapporté soit dans le bloc, soit dans la culasse. culasse.
- **La tête** : de forme tronconique, repose par une partie conique sur un siège pour assurer la fermeture et l'étanchéité de l'orifice d'admission ou d'échappement. La tête se caractérise par son angle de siège égal à 30° ou 45° selon les différents types de moteurs et peut être plate ou bombée.

Les soupapes sont fortement sollicitées au plan thermique. Même si elles bénéficient de l'effet refroidissant des gaz admis, une soupape d'admission peut facilement atteindre une température de service de 500°C. Sur une soupape d'échappement, la température peut monter jusqu'à 800°C. Les soupapes d'échappement sont parfois refroidies avec du sodium. Le sodium est incorporé dans la tige creuse et diffuse la chaleur de la tête de soupape vers la tige de soupape. La soupape est composée d'une tête et d'une tige [9].

La tête de soupape assure l'obturation du cylindre en combinaison avec le siège de soupape. La tige de soupape est guidée dans la culasse par un guide de soupape. En haut de la tige de soupape se trouve un joint pour éviter toute infiltration d'huile dans la chambre de combustion. La fermeture de la soupape est assurée par un ressort de soupape. La surface de fermeture doit être aussi étroite que possible pour obtenir une pression d'assise optimale. Une surface de fermeture trop étroite entraîne la combustion de la tête de soupape parce que la chaleur n'est pas suffisamment évacuée.

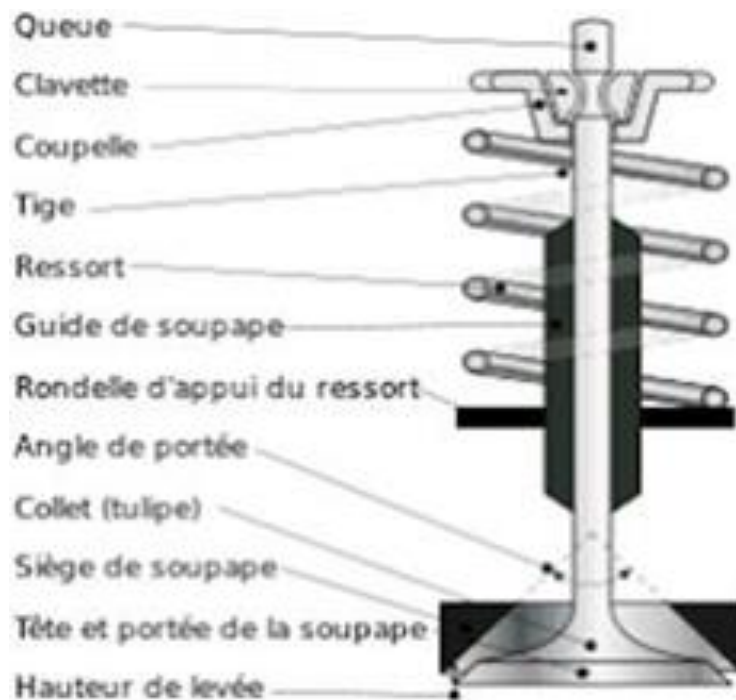


Figure I-9 : Mécanisme de Soupape

I.4.8 – Vilebrequin

Le vilebrequin est la manivelle qui reçoit la poussée de la bielle et fournit un mouvement rotatif à partir du mouvement alternatif du piston. La force exercée par la bielle applique au vilebrequin un couple qui se retrouve au bout de celui-ci sous forme de couple moteur. A l'une des extrémités du vilebrequin, le couple moteur est utilisé pour entraîner le véhicule. A l'autre extrémité, une fraction du couple disponible est prélevée pour entraîner les auxiliaires du moteur.

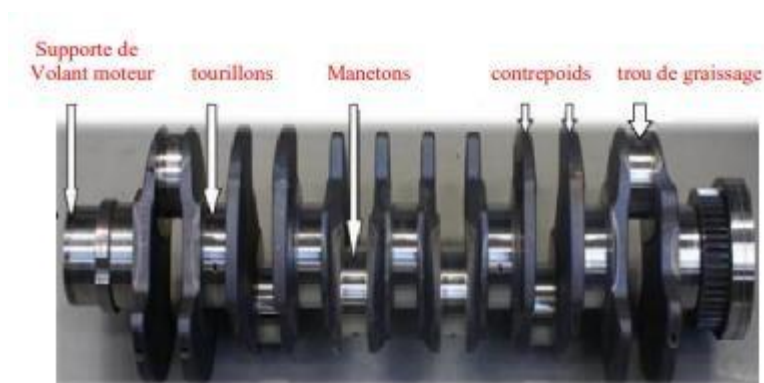


Figure I.10 : vilebrequin CAT 3512

I.5 – Bielle

I.5.1 - Description de la bielle

La bielle se compose de trois parties :

- Le pied relié à l'axe du piston, soit généralement avec une bague en bronze emmanchée à force, soit dans certains cas avec une bague à aiguilles.
- Le corps est la partie comprise entre le pied et la tête. Il est de section en forme de "H" ou "I" pour résister aux divers efforts de compression et de traction et pour éviter le flambement.
- La tête de bielle qui tourne sur le maneton du vilebrequin est coupée dans un plan perpendiculaire à l'axe de la bielle pour permettre la pose des coussinets et son montage sur le maneton du vilebrequin [8].

La partie inférieure qui vient coiffer le maneton est appelée chapeau. Ce dernier est généralement fixé par des boulons. La coupe peut être droite ou oblique par rapport à l'axe de la bielle. Pour permettre le tourbillonnement sur le vilebrequin on peut utiliser : soit des roulements à aiguilles ; soit des coussinets minces. Dans le premier cas, il faut alors démonter le vilebrequin en plusieurs éléments pour retirer la bielle [9].

La longueur de la bielle désigne la distance entre l'axe de la tête et l'axe du pied. Elle est comprise entre 1.7 et 2.5 fois la course.

I.5.2 - Matière de la bielle

La bielle est en acier très résistant au nickel-chrome, parfois en acier mi-dur au carbone. On utilise également des bielles en alliage d'aluminium sur les moteurs poussés, en raison de sa grande légèreté [9].

I.5.3 - Coussinets de tête

L'articulation de la tête de bielle avec l'axe de vilebrequin est facilitée par l'interposition d'un roulement fin. Les coussinets fins offrent un haut degré de longévité et de conductivité. Les composants sont fabriqués sous la forme d'un support en acier laminé à froid [9], roulé en demi-cercle et recouvert d'une fine couche de métal antifricition. Le métal en question peut être divisé en deux catégories : le régule, ou le bronze au plomb

I.5.4 - Graissage de la bielle

Le graissage s'effectue toujours sous pression, sauf dans le cas de certains petits moteurs deux temps où il est réalisé par barbotage ou par projection d'huile. Dans le graissage sous pression l'huile parvient à travers le maneton du vilebrequin au coussinet de tête de bielle qui comporte une rainure circulaire formant bain d'huile. Cette huile en s'échappant est projetée sur les cylindres par la vitesse de rotation de la tête de bielle et assure ainsi le graissage des cylindres et de l'intérieur du piston [7].

I.5.5 - Fabrication de la bielle

Le processus de fabrication de bielles forgées est illustré sur la Figure 1.11. Celui-ci comporte plusieurs phases que sont le découpage, le chauffage, la répartition par laminage, l'estampage, l'ébavurage, traitement thermique et l'usinage sur les machines-outils à commande numérique.

Le forgeage comporte plusieurs étapes qui sont, en général, la fabrication d'une pré-ébauche par laminage de forme d'un lopin préalablement chauffé à une température adéquate, l'estampage ou le matriçage de la pré-ébauche, le découpage des bavures de forgeage ou leur arasage et un poinçonnage[4.5].

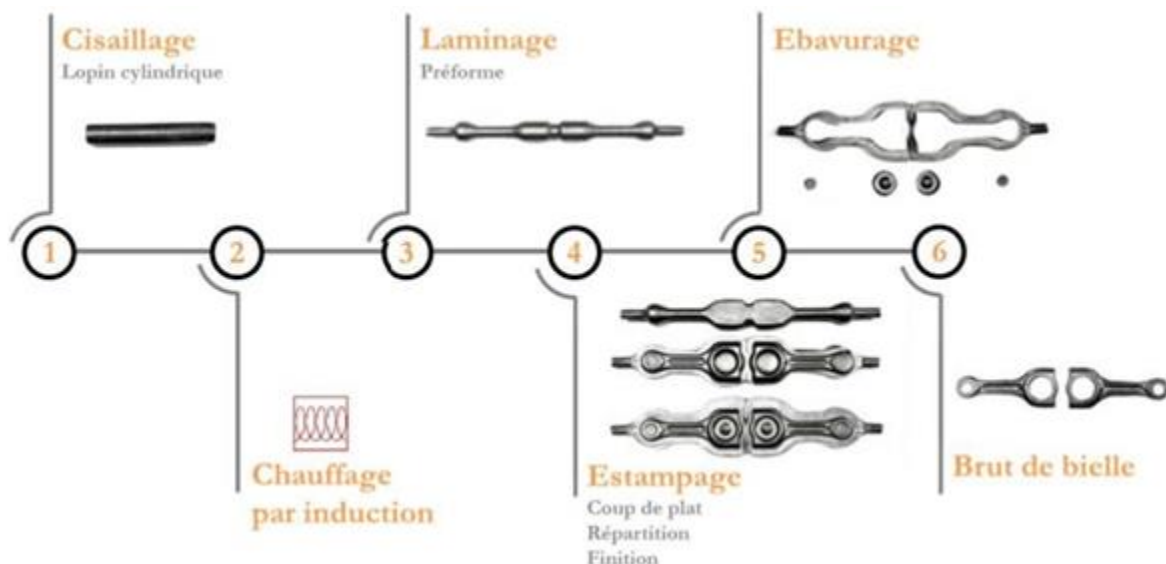


Figure I.11 : Processus de fabrication de bielle semi-finie (brut de forge)

Le rôle du laminage est de fabriquer une préforme avant forgeage. Cette étape permet la répartition de la matière du lopin avant estampage (voir Figure I.12). La répartition de matière de la préforme est très importante car elle doit permettre le remplissage des matrices tout en minimisant le volume de la bavure. Compte tenu des volumes de production, une amélioration même faible de la mise au mille peut apporter un gain de productivité important.

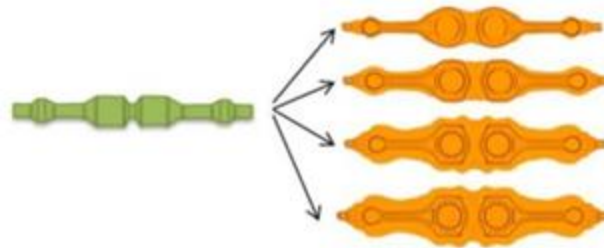


Figure I.12 : Répartition de la matière selon les dimensions de la préforme

La préforme avant estampage peut être fabriquée par deux procédés de laminage : le laminage à retour ou le laminage transversal. Les deux procédés sont illustrés sur la Figure I.13. Par rapport au laminage à retour, le fait de réaliser la préforme par laminage transversal comporte plusieurs avantages. D'une part, il permet une meilleure répartition et donc d'économiser de la matière en réduisant le volume de la bavure après estampage. Il réalise ainsi une meilleure mise au mille. D'autre part, la consommation d'énergie est moins importante et la productivité est plus élevée car les temps de cycle sont plus courts d'environ 5 à 10 secondes ; et enfin, d'après les propriétés mécaniques des produits seraient plus élevées.

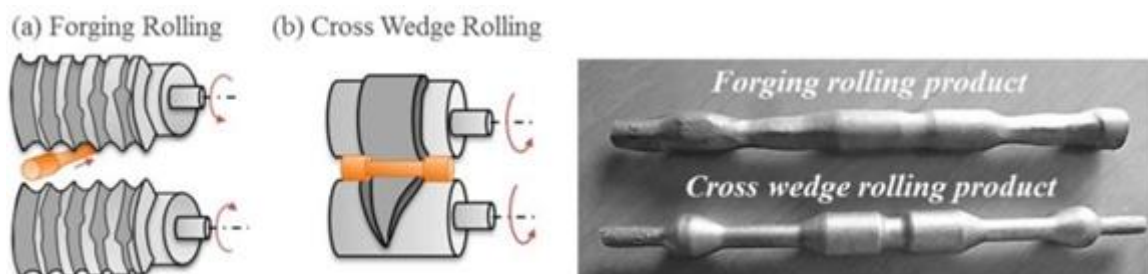


Figure I.13 :(a) laminage transversal et (b) laminage à retour

Le traitement thermique qui peut être soit différé, soit fait dans la chaude de forge, dépend, notamment, de la nuance d'acier utilisée et des caractéristiques mécaniques recherchées. Le traitement thermique différé peut, également, être une trempe suivie d'un revenu, destinée à obtenir une structure principalement martensitique dont les caractéristiques mécaniques sont très élevées [9].

L'usinage comporte principalement le dressage des faces latérales et l'usinage des alésages de la tête et du pied de la bielle, la séparation de la tête en deux parties, et le perçage des trous destinés à recevoir les vis de fixation des deux parties de la tête. La séparation de la tête en deux parties se fait soit par usinage, soit, lorsque la bielle est sécable, par rupture fragile sous choc.

La bielle se doit d'être à la fois la plus légère possible pour diminuer les effets de balourd sur les axes mais également la plus longue possible pour que le mécanisme bielle-manivelle

observe un mouvement suffisamment régulier. Comme elle agit en transmetteur d'effort, la bielle est soumise à des sollicitations de traction et de compression [9]. Sa longueur est ainsi limitée par des considérations de résistance au flambage tandis que sa section est la plus élancée possible pour obtenir un grand moment d'inertie.

Évidemment, chaque bielle est un compromis entre légèreté, longueur et résistance. La conception d'une bielle se fait ainsi en même temps que le développement du piston pour permettre une longueur maximale de la bielle sans sacrifier la solidité du piston. La bielle est une pièce forgée, mais elle peut également être usinée dans la masse. Généralement une matrice emboutit la bielle avec ses œillets sous-dimensionnés. Les œillets sont usinés, la tête de bielle est alors coupée avec l'aide d'une guillotine pour permettre la fixation sur le vilebrequin [9]. Les coussinets sont ensuite fixés.

I.5.6 - Les problèmes de la bielle

L'un des symptômes typiques d'une bielle coulée est un **bruit de choc au niveau du moteur**. Cela vient généralement d'un problème d'huile moteur. En effet, soit le niveau d'huile moteur est trop bas dans le carter, soit la pompe à huile est HS ou défectueuse, soit le problème vient d'un filtre à huile encrassé.

La fatigue est un endommagement qui se traduit par l'apparition de fissures, d'arrachements de métal, ou d'une rupture sur la pièce mécanique. Elle résulte généralement d'une forte sollicitation qui évolue au cours du temps et entraîne le dépassement du niveau de résistance et d'endurance du coussinet. Parmi les causes possibles de la fatigue mécanique des coussinets on peut citer :

- Une sur-sollicitation due à des charges plus importantes à celles pour lesquelles le moteur est conçu ;
- Une lubrification insuffisante (lubrifiant inapproprié, pression de lubrification insuffisante, filtre encrassé, etc...) ;
- Des vibrations importantes des pièces mobiles augmentant le risque de la fatigue mécanique des coussinets.

Le problème des fissures de chaleur se manifeste par des fissures et une décoloration au niveau de la coquille. Les causes possibles des fissures de chaleur :

- Une mauvaise dissipation thermique causée par la défaillance du circuit de refroidissement ou du circuit de lubrification (qui permet également de refroidir les organes du moteur).

- Une usure avancée provoquant une hausse continue de la température de fonctionnement (frottements importants).

I.5.7 - La maintenance de la bielle CAT 3512

La maintenance est un ensemble des travaux destinés à soutenir l'aptitude au travail au la réparation d'un matériel pendant (utilisation, stockage, transport) pour Conserver l'état de la machine et assurer la qualité de la production. On distingue deux types de maintenance :

1. Maintenance préventive : pour l'entreprise, il convient donc d'organiser un système visant à minimiser ces arrêts.

a. Maintenance systématique : C'est une maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon un temps. Pour maintenir le système dans l'état avec de ses performances initiales ;

b. Maintenance préventive conditionnelle : C'est un type d'événement prédéterminé. Par une auto diagnostic, une information d'un capteur, d'une mesure d'une usure en un autre outil révélateur.

2. Maintenance corrective : La maintenance corrective s'applique après la panne, On distingue deux types qui sont :

a. Maintenance palliative : Elle peut être un dépannage au une intervention à caractère provisoire pour limiter l'arrêt de fonctionnement.

b. Maintenance curative : Elle s'intéresse à la réparation et amélioration de l'outil de fabrication donc à la remise à l'état d'origine.

Entretien des systèmes de la bielle est basé sur :

1. Vérification d'alignement des bielles. Il y a plusieurs modèles d'appareils pour l'alignement. Si l'alignement est ne pas vérifier, on a le risque de tordre ou plier la bielle.

2. système de graissage : Contrôler le niveau d'huile lorsque le moteur est à l'arrêt. Le moteur doit être le plus possible à l'horizontale pour cette opération

La méthode de contrôle de la bielle est base sur la tableau qui présente dans la figure I.14

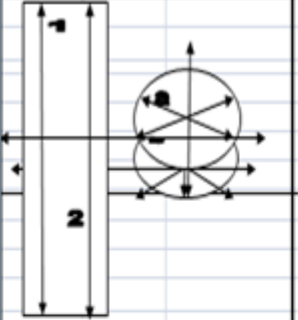
	TYPE: CAT 3512 N° DE SERIE:													
	TETES DE BIELLES													
			1	2	3	4	5	6						
a1														
a2														
b1														
b2														
			7	8	9	10	11	12						
a1														
a2														
b1														
b2														
						PIEDS DE BIELLES								
			1	2	3	4	5	6						
a1														
a2														
b1														
b2														
			7	8	9	10	11	12						
a1														
a2														
b1														
b2														
Alésage têtes des bielles sans coussinets Diamètre = 143,028 ± 0,015 m m														
Alésage pieds de bielle Diamètre = 70,00 ± 0,008														
Couple de serrage des vis de bielles: Serrage des boulons à 90 = 5 N.m (65± 4 lb.ft) Reserrage des boulons à 90 = 5 N.m (65± 4 lb.ft) Serrage à 90°														
Serrage de tous les boulons à: 90 = 5 N.m														
Diamètre axe de piston 69,962 ± 0,005 m m			OBSERVATIONS:											
Jeux de Graissage 0,038 ± 0 0 13			OUTILLAGES UTILISES:						NOM:					
									DATE:					
									VISA:					

Figure I.14 : Méthode de contrôle de la bielle.

I.6 – Charges appliquées sur la bielle

I.6.1 - 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.15 [11].

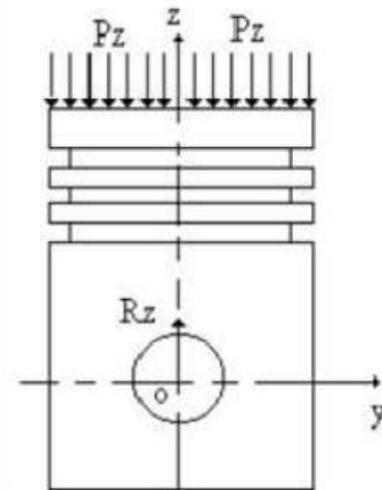
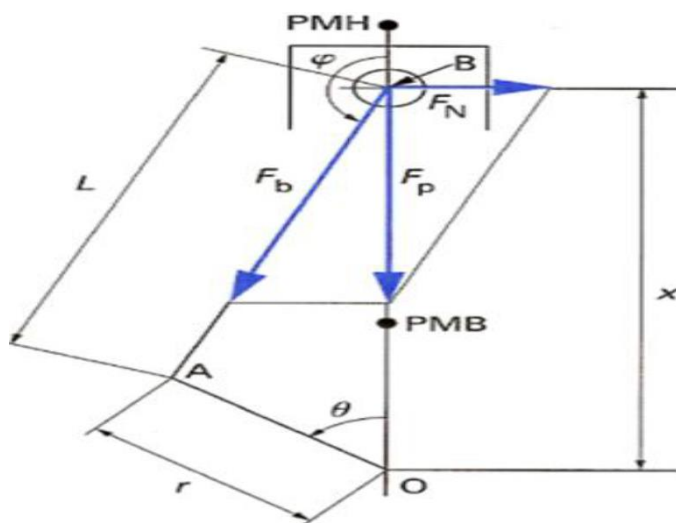


Figure I.15 : Présentation des forces dues à la pression des gaz [11]

I.6.2 - Etude cinématique de la bielle



- A : axe du maneton
- B : axe de piston
- O : axe du tourillon
- F_p : effort sur le piston
- F_b : effort sur la bielle
- F_N : effort normal
- PMB : point mort bas
- PMH : point mort haut

Figure I.16 : système bielle-manivelle [14]

Position du piston

$$x = OB = r \cos(\theta) - L \cos(\varphi)$$

$$\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{3\pi}{2} \quad \text{donc} \quad \cos(\varphi) = -\sqrt{1 - \sin^2(\varphi)}$$

$$r \sin(\theta) = L \sin(\varphi)$$

$$X = r \left[\lambda - \frac{1}{4\lambda} - \frac{3}{64\lambda^3} + \cos(\theta) + \left(\frac{1}{4\lambda} + \frac{4}{64\lambda^3} \right) \cos(2\theta) - \left(\frac{1}{64\lambda^3} \right) \cos(4\theta) \right] \quad (I-1)$$

Vitesse de la bielle

$$\dot{x}=r \left[-\dot{\theta} \sin (\theta)-2\dot{\theta} \left(\frac{1}{4\lambda} + \frac{4}{64\lambda^3} \right) \sin 2(\theta) + 4\dot{\theta} \left(\frac{1}{64\lambda^3} \right) \sin (4\theta) \right] \quad (I-2)$$

La vitesse moyenne du piston est donnée par :

$$\dot{x}_{\text{moy}}=4r \frac{N}{60} \quad (I-3)$$

N (tr/min) vitesse de rotation du vilebrequin (régime de rotation du moteur). [14]

Accélération de la bielle

$$x''=-r \dot{\theta}^2 \left[\cos(\theta) + \frac{\cos(2\theta)}{\lambda} \right] \quad (I-4)$$

I.6.3 - Etude dynamique de la bielle

Le mouvement d'un point quelconque de la bielle résulte de la composition mouvement :

- Rotation du pied de bielle (point B) (mouvement circulaire)
- Translation de la tête de bielle (point A) (mouvement alternatif)
- Il s'ensuit un mouvement plan de son centre gravité un système dynamiquement équivalent à la bielle est que ce système et la bielle ont même masse total MB :

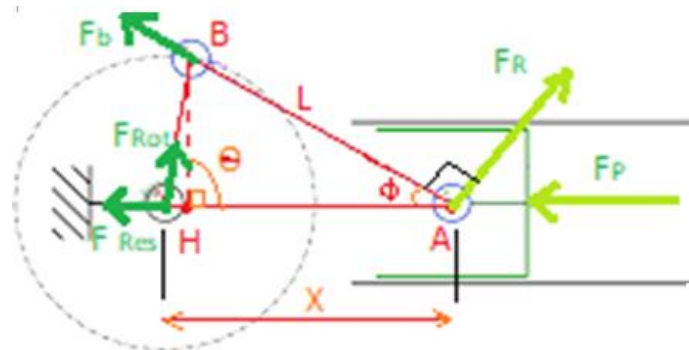


Figure II. 17 : Forces agissant sur l'embellage

Force agissant sur le piston : Elle est égale au produit de la section du piston par la pression maximale atteinte de la combustion cette pression est égale à 150 bar la force exercée sur le piston est [13] :

$$F_p = S_p \times P_{\text{max}} = 3244719N \quad (I.5)$$

La force oscillante : C'est la force des masse ayant un mouvement alternatif c'est la masse du point A.

$$F_{\text{osc}} = m_{\text{osc}} \times \gamma_A \quad (I.6)$$

D'après les valeurs données au tableau 3 on constate le maximum des efforts se trouve à la position ($\theta = 240^\circ$), la valeur de $\gamma_A = 937556,937$

La force résultante : Cette force est égale la somme de la force exercée sur le piston et la force oscillante

$$F_{res} = F_p + F_{osc} \quad (I.7)$$

Force exercée sur la bielle : La force résultante se décompose en deux forces l'une suivant la direction de l'axe de la bielle est appelée force bielle elle engendre un flambage et l'autre perpendiculaire à la section de la bielle et engendre la flexion de celle-ci et donc

$$F_b = F_{res} \times \cos \emptyset \quad (I.8)$$

Force rotative : C'est la force de la masse rotative ayant l'accélération normale γ_B du point B

$$F_{rot} = m_{rot} \times \gamma_B \quad (I.9)$$

Force radiale : C'est la force normale à la section de la bielle

$$F_R = F_{res} \times \sin \emptyset \quad (I.10)$$

Tableau II. 4 Dynamique de système Bielle- Manivelle [13]

Θ (deg)	F_p	F_{osc}	F_{res}	F_b	F_{rot}	F_r
0	3244719	-2195759,01	1048959,99 1	1048959,9 9	1332035.5	0
90	3244719	439151,933	3683870,93 3	3565987,0 6	1332035.5	920967,73 3
180	3244719	1317455,14	4562174,14 3	4562174,1 4	1332035.5	1,396E-10
270	3244719	439151,933	3683870,93 3	3565987,0 6	1332035.5	-20967,73
360	3244719	-2195759,01	1048959,99 1	1048959,9 9	1332035.5	-6,2938E- 1

I.7 - Les différences de température sur la bielle

La bielle est un corps relié au piston de combustion et au vilebrequin. Il est toujours immergé dans l'huile du moteur pour assurer une bonne lubrification en plus du refroidissement. C'est pourquoi on retrouve une différence de température dans le corps de la bielle la première au niveau du pied de bielle d'environ de 300°C [14], et le deuxième au niveau de la tête de bielle (vilebrequin) sous l'effet de frottement d'environ 150°C.

Chapitre II :

Généralité sur l'analyse
thermomécanique de la bielle
par solidworks simulation

II.1 - Introduction

Dans la procédure de création ou développement d'une bielle de moteur, la première étape d'études est de faire plusieurs analyses et simulation à des conditions maximales qui existent dans le moteur. On présente dans ce chapitre :

- Initiation sur transfert de chaleur ;
- Concept de méthode des éléments finis et leur utilisation sur SolidWorks ;
- Généralité sur SolidWorks simulations.

II.2 - Transfert de chaleur [22].

Lorsque deux systèmes sont à des températures différentes, le système le plus chaud cède de la chaleur au plus froid. Il y a échange thermique ou encore transfert thermique entre ces deux systèmes. Cette situation se rencontre dans de nombreuses situations industrielles (moteurs thermiques ou même électriques...etc.). Un transfert d'énergie donne lieu à un flux de chaleur qui correspond à un déplacement de l'énergie du plus chaud vers le plus froid. Comme on le verra par la suite, le flux de chaleur dont la densité locale est notée $\vec{\phi}$ est une grandeur vectorielle. Il est défini en chaque point de l'espace et a l'unité d'une densité surfacique de puissance (W/m^2). Dans le moteur thermique permettre de consommation de l'énergie calorifique de gasoil et convertie à énergie mécanique à l'aide des mécanismes et les modes de Transfert de chaleur dans la chambre de combustion. Il existe trois modes essentiels de transferts de chaleur: la conduction, le rayonnement et la convection .

II.2.1- Les modes de transferts thermiques

II.2.1.1- Conduction

La conduction résulte de « chocs » à l'échelle moléculaire et atomique. Elle va donc être très liée à la structure et à l'organisation du matériau. Elle peut avoir lieu dans les solides et dans une moindre mesure dans les fluides, plus dans les liquides que dans les gaz. C'est un phénomène très analogue à la conduction de l'électricité est lié au mouvement des électrons libres . D'une façon plus simple. Il s'agit d'un transfert d'énergie à petite échelle sans déplacement de matière . La conduction a lieu dans les limites d'un corps par la diffusion de ses énergies internes. La température à l'intérieur du corps T est exprimée en degrés

Celsius [C], Fahrenheit [F], Kelvin [K] ou Rankin [R]. Sa variation dans l'espace définit le vecteur de gradient de température ∇T avec des unités de [K/m]

Elle est décrite par la loi de Fourier (1807) .

$$q_x = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

q_x : La quantité de chaleur transférée dans la direction de x par unité de surface, exprimée en W/m². Elle est proportionnelle au gradient de température $\frac{dT}{dx}$.

dx

La constante λ : est une caractéristique du matériau connue sous le nom de conductivité thermique, exprimée en W/ (m .K)

Tableau II 1 Conductivité thermique de certains matériaux

Matériau	λ (W.m ⁻¹ . °C ⁻¹)
	419
Argent	386
Cuivre	204
Aluminium	45
Acier doux	15
Acier inox	0,60
Eau	

II.2.1.2- La convection

La convection a donc lieu dans les fluides (gaz ou liquides). elle est souvent caractéristique de l'échange à la frontière entre un solide et un fluide, donc très liée à l'écoulement fluide mais aussi aux géométries d'échange et aux états de surface, si un solide intervient par exemple la bielle qui caractéristique par géométrie spécial permettre le refroidissement la partie inférieure et le bossage de axe par l'huile de lubrification. Il convient de distinguer la convection forcée dans laquelle le fluide est mise en mouvement par rapport d'énergie mécanique extérieur (pompe, ventilateur, ...) de la convection naturelle dans laquelle le fluide prend en son sein, l'énergie nécessaire au mouvement (variation de masse volumique associée à une variation de température par exemple) . On distingue trois types de transfert par convection sont :

- convection naturelle (libre)
- convection forcée
- convection avec changement de phase

Dans le cas de bielle de façon macroscopique elle est décrite par la loi de Newton (1701) [21].

$$\phi = h S (T - T(\infty)) \quad (II.2)$$

Avec :

ϕ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($W m^{-2}C^{-1}$)

T_p : Température de surface du solide ($^{\circ}C$)

$T(\infty)$: Température du fluide loin de la surface du solide ($^{\circ}C$) S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

Tableau II 2 Coefficient de transfert de chaleur par convection

Fluid	h[W/ (m ² .K)]	
	Convection naturelle	Convection forcée
Gaz	5-30	30-300
Eau	30-300	300-10000
Huiles	5-100	30-3000
Liquides métalliques	50-500	500-20000
Ebullition de l'eau	2000-20000	30000-100000
Condensation de l'eau	3000-30000	3000-200000

II.2.1.3- Transfert radiatif à la paroi

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant , Dans ce cas Le rayonnement des gaz brûlés pour des mélanges riches est modélisé d'une manière simple basée sur la loi de Stefan en considérant les gaz brûlés comme un corps gris de température uniforme T_{gb} et d'émissivité ϵ . Seuls les rayonnements de CO_2 et de H_2O sont pris en compte. Pour une position donnée du front de flamme r tel que $r < R$ (rayon de la chambre), le flux surfacique radiatif reçu par la paroi d'absorptivité α est calculé comme suit :

$$Q_{wray}(r) = \frac{\tau_{r1}}{4 \pi R^2} . h . \epsilon . \sigma . (T_{gb}^4 - T_w^4)$$

σ est la constante de Stefan-boltzmann

II.3 - SolidWorks et SolidWorks Simulation

II.3.1 - Introduction

Le programme SolidWorks est l'un des premiers programmes de modélisation. Il a été développé exclusivement pour le système d'exploitation Microsoft Windows. Sa première version en 1995 a conduit à son adoption par de nombreuses entreprises à travers le monde. La logique CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D qui permet aux utilisateurs de rechercher rapidement des idées et d'expérimenter des conceptions[16]. Ces fonctions et conceptions sont utilisées pour créer des modèles et des plans de SolidWorks produits précis.

Le système SolidWorks Simulation représente une plate-forme complète d'analyse d'intégration. La suite logicielle SolidWorks. Nous sommes reconnaissants des solutions rapides et simples qui facilitent la résolution des problèmes. Il existe une marge considérable pour une conceptualisation plus approfondie. Il a raccourci la livraison de la mise en place. La marche à la température recommandée et les déplacements nécessaires pour déterminer la conception optimale ont été effectués[17].

Le logiciel offre plusieurs types d'études et outils d'analyse comme suivants [18] : études statiques, études thermique, études fréquentielles, études fréquentielles, études fréquentielles, études de flambage, études non linéaires ...etc.

- **Études statiques** (ou de contraintes) calculent les déplacements, les forces de réaction, les déformations, les contraintes et la distribution des coefficients de sécurité. Les matériaux sont endommagés aux emplacements où les contraintes dépassent un certain niveau. Les calculs de coefficients de sécurité sont basés sur un critère de ruine. Le logiciel offre 4 critères de ruine. Les études statiques permettent d'éviter la ruine due à des contraintes élevées. Un coefficient de sécurité inférieur à l'unité indique la ruine du matériau. Des coefficients de sécurité élevés dans une zone indiquent des contraintes faibles ; vous pouvez alors vraisemblablement réduire les épaisseurs de matière dans ces zones[18].
- **Les études thermiques** calculent les températures, les gradients de température et les flux de chaleur résultant des conditions de dégagement de chaleur, de conduction, de convection et de radiation. Les études thermiques permettent d'éviter des conditions thermiques indésirables, par exemple la surchauffe ou la fusion [18].

II.3.2 – Maillage

La méthode d'analyse par éléments finis (FEA) constitue une technique numérique fiable d'analyse de conception. Le processus commence par la création d'un modèle géométrique. Ensuite, le programme subdivise le modèle en un réseau de petites entités de formes simples, appelées éléments, interconnectées par des points communs appelés nœuds. Le processus qui consiste à diviser le modèle en petites entités est appelé le maillage. Le programme d'analyse par éléments finis considère le modèle comme un réseau d'éléments interconnectés. Le maillage est une étape fondamentale de l'analyse. Le logiciel crée automatiquement un maillage mixte d'éléments volumiques, de coques et de poutres. Le maillage volumique convient à des modèles volumiques ou complexes en 3D. Les éléments coque conviennent aux pièces minces (comme les pièces de tôlerie). Les éléments poutre conviennent aux éléments mécano- soudés [17]. La précision de la solution dépend de la qualité du maillage. En général, plus le maillage est fin, plus la précision est élevée. Le maillage généré dépend des facteurs suivants :

- La géométrie créée
- Les options de maillage actives
- Le contrôle de maillage
- Les conditions de contact [21]

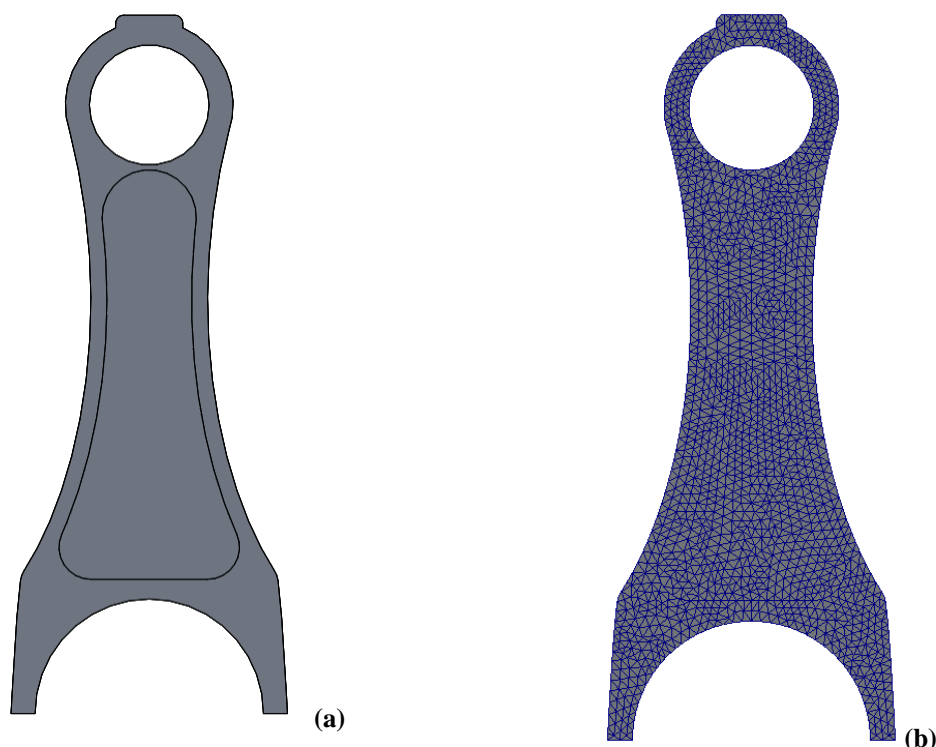


Figure II 1 :Modèles d'une bielle (A) modèle SolidWorks. (B) modèle maillage de la bielle.

II.3.3 – Type de maillage

Lorsque vous maillez un modèle, le logiciel génère un réseau mixte d'éléments volumiques, coque, ressort et de contact à partir de la géométrie créée. Le programme crée automatiquement les maillages suivants :

- **Maillage volumique** : Le programme crée un maillage volumique avec éléments volumiques tétraédriques 3D pour tous les composants volumiques du dossier Pièces. Les éléments tétraédriques sont adaptés aux objets massifs.
- **Maillage coque** : Le programme crée automatiquement un maillage de coque pour les tôles métalliques d'épaisseur uniforme (sauf pour les études d'essai de chute) et les géométries de surface. Pour les tôles métalliques, le maillage est créé automatiquement sur la surface médiane. Le programme extrait l'épaisseur de coque de l'épaisseur de la tôle métallique.
- **Maillage de poutre** : Le programme utilise automatiquement un maillage de poutre et identifie les liaisons pour les éléments structurels en contact ou en interférence comme pour les éléments structurels qui ne sont pas en contact mais à une certaine distance (tolérance). Une poutre est une ligne définie par deux points d'extrémité et une coupe transversale. Les poutres sont capables de supporter les chargements axiaux, de flexion, de cisaillement et de

torsion. Les barres supportent uniquement les chargements axiaux. Pour les constructions soudées, le logiciel définit les propriétés de coupe transversale et détecte les connexions.

- **Maillage mixte** : Le programme utilise automatiquement un maillage mixte quand le modèle comporte des géométries différentes

II.3.4 Formulation de la méthode des éléments finis pour l'analyse du transfert de chaleur dans la bielle

La distribution de température $T(x,y,z)$ est celle qui minimise la fonctionnelle :

$$I = \frac{1}{2} \iiint \left[K_x \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + K_y \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + K_z \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 + 2QT \right] dv$$

$T(x,y,z)$ doit satisfaire les conditions limites suivantes : Condition de Dirichlet sur S1

$$T(x,y,z) = \bar{T}$$

Condition de Neumann sur S2

$$K_x \frac{\partial T}{\partial x} l_x + K_y \frac{\partial T}{\partial y} l_y + K_z \frac{\partial T}{\partial z} l_z + q = 0$$

Condition de Neumann sur S3

$$K_x \frac{\partial T}{\partial x} l_x + K_y \frac{\partial T}{\partial y} l_y + K_z \frac{\partial T}{\partial z} l_z + hA(T - T_\infty) = 0$$

Avec

- q : flux de chaleur appliqué en S2 ;
- $hA(T - T_\infty)$: flux de chaleur par convection ;
- l_x, l_y, l_z : cosinus directeurs selon x, y, z ;
- S1 : surface limite dans laquelle est spécifiée T_0 ;
- S2 : surface limite dans laquelle q est spécifié ;
- S3 : surface limite dans laquelle la chaleur de convection est spécifiée La fonctionnelle des équations aux conditions limites est :

$$I_{C.L} = \iint qT dS_2 + \iint \frac{1}{2} hA(T - T_\infty)^2 dS_3$$

La fonctionnelle à minimiser est donc exprimée sous la forme suivante :

$$I = \frac{1}{2} \iiint \left[K_x \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + K_y \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + K_z \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 + 2QT \right] dv + \iint qT dS_2 + \iint \frac{1}{2} hA(T - T_\infty)^2 dS_3$$

Étape 1 : discrétisation du domaine V en éléments finis (NE : nombre d'éléments, NN :

nombre de nœuds du domaine V).

Étape 2 : Approximation de (x,y,z) sur chaque élément réel. On a :

$$T^e(x, y, z) = [N(x, y, z)]\{T^e\}$$

$[N(x, y, z)]$ fonction de forme (d'interpolation) associée à l'élément e ; $\{T^e\}$ =Variable nodale à déterminer

$$\{T^e\} = \begin{Bmatrix} T_1^e \\ T_2^e \\ \cdot \\ \cdot \\ T_i^e \\ \cdot \\ \cdot \\ T_p^e \end{Bmatrix} = [T_1^e \quad T_2^e \quad \dots \quad T_i^e \quad \dots \quad T_p^e]^T$$

Température nodale associée au nœud i de l'élément e.

Étape 3 : Elle exprime la fonctionnelle I du domaine V comme étant la somme des quantités élémentaires I^e de chaque élément, nous avons :

$$\hat{I} = \sum_{e=1}^{NE} I^e$$

La minimisation de I se fait par la condition :

$$\frac{\partial I^e}{\partial T_i} = \iiint \left[K_x \frac{\partial T^e}{\partial x} \frac{\partial}{\partial T_i} \left(\frac{\partial T^e}{\partial x} \right) + K_y \frac{\partial T^e}{\partial y} \frac{\partial}{\partial T_i} \left(\frac{\partial T^e}{\partial y} \right) + K_z \frac{\partial T^e}{\partial z} \frac{\partial}{\partial T_i} \left(\frac{\partial T^e}{\partial z} \right) + Q \frac{\partial T^e}{\partial T_i} \right] dV + \iint q \frac{\partial T^e}{\partial T_i} dS_2 + \iint h(T^e - T_\infty) \frac{\partial T^e}{\partial T_i} dS_3$$

L'équation (II.23), s'écrit alors

$$\frac{\partial I^e}{\partial \{T^e\}} = [K_{lij}^e]\{T^e\} - \{F_i^e\} + [K_{2ij}^e]\{T^e\}$$

Où les expressions des éléments :

$$K_{lij}^e = \iiint \left[K_x \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + K_y \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} + K_z \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} \right] dv$$

Qui exprime le terme de rigidité dû à la conduction de la chaleur dans le matériau. L'équation

discrétisée pour tout le domaine V est obtenue par la condition de stationnarité de la fonctionnelle I.

Etape 4 : résolvons $\frac{\partial I^e}{\partial \{T^e\}} = \sum_{e=1}^{NE} \frac{\partial I^e}{\partial \{T^e\}} = \sum_{e=1}^{NE} ([K_1^e] + [K_2^e])\{T^e\} - \{F^e\} = 0$

$$[K]\{T\} = \{F\}$$

Où

$$[K] = \sum_{e=1}^{NE} [[K_1^e] + [K_2^e]]$$

Qui exprime la matrice de rigidité globale :

$$\{F\} = \sum_{e=1}^{NE} \{F_i^e\}$$

Qui exprime vecteur de sollicitation global :

Qui exprime le vecteur nodal global du domaine V Les expressions matricielles

$$\{T\} = \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_{NN} \end{Bmatrix}$$

Qui exprime le vecteur nodal global du domaine V Les expressions matricielles

$$[K_1^e] = \iiint_{V^e} [B]^T [D] [B] dV$$

$$[K_2^e] = \iint_{S_3^e} h [N]^T [N] dS_3$$

$$\{F^e\} = \{F_1^e\} - \{F_2^e\} + \{F_3^e\}$$

Avec sollicitation due à la chaleur générée par le corps sur un élément fini.

$$\{F_1^e\} = \iiint_{V^e} Q [N]^T dV$$

Sollicitation due au flux de chaleur appliqué sur S2

$$\{F_2^e\} = \iint_{S_2^e} q [N]^T dS_2$$

Sollicitation due au flux de chaleur de convection appliqué sur S3

$$\{F_3^e\} = \iint_{S_3^e} hT_\infty [N]^T dS_3$$

Avec :

Fonction de forme sur un élément réel

$$[N] = [N_1, N_2 \dots \dots \dots N_p]$$

Propriété du matériau au transfert de chaleur

$$[D] = \begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix}$$

Matrice des dérivées des fonctions de forme

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \frac{\partial N_P}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \frac{\partial N_P}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} & \frac{\partial N_2}{\partial z} & \frac{\partial N_P}{\partial z} \end{bmatrix}$$

II.4 - Chargements thermomécaniques

Les conditions de chargement pouvant être appliquées à un système sont :

- Charges statiques ponctuelles , dépression , thermiques , gravitaires et centrifuges.
 - Charges thermiques de la solution d'analyse de transfert de chaleur.
 - Flux de chaleur et convection.
 - Charges dynamiques ponctuelles, de pression et de gravité.
 - Les contraintes sont des températures spécifiées (ou une condition de convection car elle inclut une température de fluide spécifiée). les réactions sont le flux de chaleur résultant qui est nécessaire pour maintenir une température spécifiée. Température.
- Toutes les autres conditions ajoutent des termes de charge ou de source [22].

II.5 - Option de SolidWorks simulation Dans SW Simulation

Il est possible de lister, additionner, moyenner et représenter graphiquement les résultats, arêtes, lignes, courbes ou surfaces sélectionnées. Ainsi, nous devons planifier à l'avance et ajouter "lignes fractionnées" au maillage où vous vous attendez à trouver de tels graphiques informatifs. Le flux de chaleur de réaction thermique est disponible dans SW Simulation tout en visualisant tracés des résultats du flux de chaleur. Une Résultat du flux \square Tracé thermique \square réaction thermique est obtenue via Résultats Définir Liste sélectionnée où l'entrée de somme donne le flux de chaleur net. \square de chaleur SW Simulation propose également des éléments p-adaptatifs (p pour polynôme). En gardant le maillage inchangé, il peut exécuter automatiquement une série de cas où il utilise effectuer des interpolations polynomiales de deuxième, troisième, quatrième et enfin cinquième ordre. Il permet à l'utilisateur de spécifier la quantité d'erreur autorisée. C'est-à-dire qu'il peut résoudre un problème donné avec assez de précision. Cependant, encore définir la géométrie, matériaux, emplacements de charge et de maintien, et valeurs de charge et de maintien ainsi que interpréter correctement les résultats. Alors évitez la stupidité assistée par ordinateur.

II. 6 - Résultats de l'analyse thermique

Après avoir exécuté une étude thermique, nous pouvons choisir l'un des grandeurs suivantes

Tableau II .2 Options de sortie d'analyse thermique [17]

T	TEMP	Température
$\frac{\partial T}{\partial X}$	GRADX	Gradient de température dans la direction X de la Géométrie de référence sélectionnée
$\frac{\partial T}{\partial y}$	GRADY	Gradient de température dans la direction Y de la géométrie de référence sélectionnée
$\frac{\partial T}{\partial z}$	GRADZ	Gradient de température dans la direction Z de la Géométrie de référence sélectionnée
∇	GRADN	Gradient de température résultant = $[(\text{GRADX})^2 + (\text{GRADY})^2 + (\text{GRADZ})^2]^{(1/2)}$
qx	HFLUXX	Flux de chaleur dans la direction X de la géométrie de référence sélectionnée

CHAPITRE II GÉNÉRALITÉ SUR L'ANALYSE THERMOMÉCANIQUE DE LA BIELLE PAR SOLIDWORKS SIMULATION

qy	HFLUXY	Flux de chaleur dans la direction Y de la géométrie de référence sélectionnée
qz	HFLUXZ	Flux de chaleur dans la direction Z de la géométrie de référence sélectionnée
Q	HFLUXN	Flux de chaleur résultant= $[(HFLUXX)^2+(HFLUXY)^2+(HFLUXZ)^2]^{(1/2)}$

Chapitre III :

Modélisation et simulation d'une bielle de moteur Caterpillar par solidworks simulation

III.1-Introduction

Dans le présent travail, on fait des analyses thermiques et thermostatiques par SolidWorks simulation appliquée sur modèle approché de bielle du moteur Caterpillar 3512.

pour le but de sélectionner un matériau de haut caractéristique d'après trois matériaux pour effectuer l'analyse et évaluer la structure générale de bielle et éliminer des défauts .

III.2-Construction du modèle géométrique

Cette étape est difficile car la forme de bielle est très complexe, elle nécessite plusieurs essais pour construire un modèle plus proche que possible de la forme réelle.

III.2.1-Etape 1 : construction la forme du bielle 2D

Construction de la forme de bielle modélisée sur la base des dimensions réelles de bielle de moteur 3512 A . La figure III 1 illustre en effet cette construction.

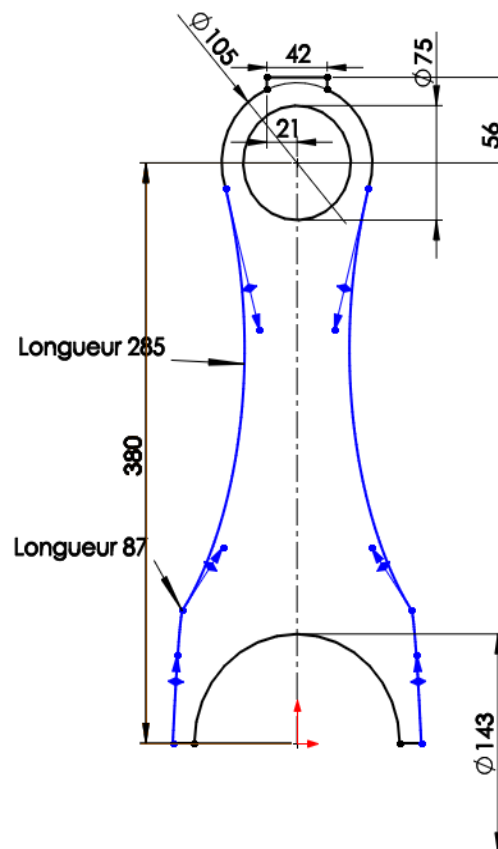



Figure III 1:Profil de construction du bielle 2 D

III.2.2-Etape 2 : construction la forme du bielle en 3D

Créer le modèle volumique par la fonction **Bossage Extrusion** . Dans la zone **Direction 1**, sélectionnez le **Plan milieu**, définissez l'option Profondeur avec une valeur de 36 mm .La figure III 2 montre des formes obtenues après la fonction Extrusion avec épaisseur de 36 mm.

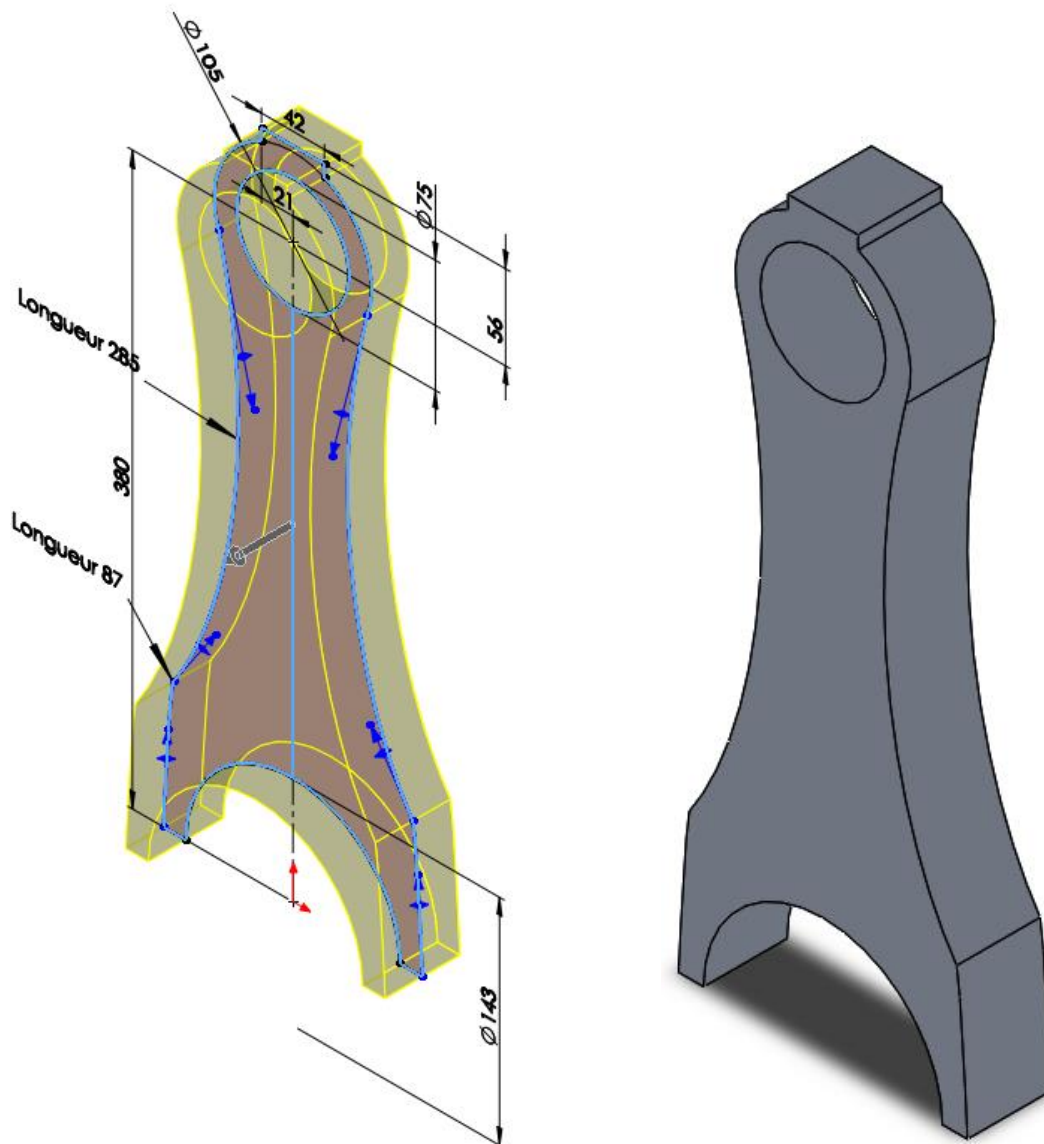


Figure III.2: Forme 3D de la bielle

III.2.3-Etape 3 : Construction d'enlèvements des matières


On trace la forme de la figure III.3a sur la face de la bielle. Puis en utilise la fonction Enlèvement de matière extrude avec une profondeur de 12 mm .La forme finale est présentée dans la figure. (III.3b). Finalement, on utilise la fonction **Symétrique**  pour réaliser le deuxième enlèvement de la matière avec le plan de face comme plan de symétrie (voir la

figure III.3c) .

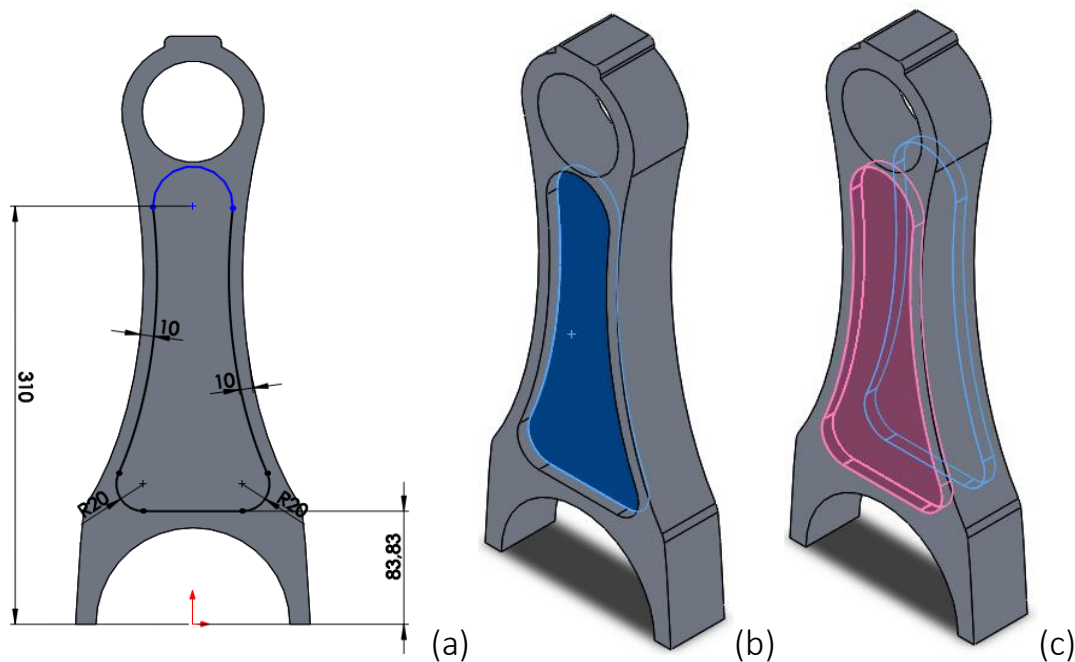


Figure III. 3 : Profil final de la bielle

III.3-Méthodologie de simulation de bielle

III.3.1-Objectifs

Les objectifs de travail de simulation sont divisés en trois parties :

- La première partie concerne l'application des chargements thermiques dans le modèle 3D du bielle.
- Dans la deuxième partie on détermine et discute les résultats de analyse thermique et analyse thermostatique .Ce dernier se basera sur les résultats de l'analyse thermique correspondant a chaque matériau.
- Dans la troisième partie nous conclurons le meilleur matériau et proposons des suggestions et des recommandations pour améliorer la structure générale de la bielle .

III.3.2-Hypothèses de simulation

III.3.2.1-Hypothèses géométriques

A-système d'unités :

Nous travaillerions dans le système d'unités S.I « kg, mm, s, N,w, J, K ».

B- Assemblage et configuration :

Nous travaillons ici avec une seule pièce, la configuration d'assemblage n'est donc pas importante. Pour simplicité, nous travaillerons directement dans le système de coordonnées liées à la géométrie du piston d'étude.

III.3.2.2 Hypothèses de comportements thermomécaniques

La bielle procure une seule source d'échange d'énergie (dégage la chaleur), c'est la partie inférieure avec huile de lubrification et ne change pas leurs énergies avec et piston et vilebrequin.

III.4- Descriptions des matériaux

On a trois (03) types de matériaux dont les propriétés mécaniques et thermiques nous sont présentés par le Tableau III 1 , ces propriétés sont les paramètres de notre simulation [27].

III.4.1- Critères de choix des matériaux

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

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

III.4.2- Matériaux utilisés dans la fabrication de bielle

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

- A. Alliage d'aluminium 6061.
- B. Acier inoxydable chromé .
- C. Titanium Ti-8Mn .

Tableau III 1 Caractéristiques des matériaux utilisés dans la fabrication des bielles [27]

Matériaux	Alliage d'aluminium 6061	Acier inoxydable chromé	Titanium Ti-8Mn
Module d'élasticité (N/m ²)	6.09 e+10	2.1e+11	1.15 e+11
Module de cisaillement (N/m ²)	2.60e+10	7.9e+10	4.9 e +10
Masse volumique (kg/m ³)	2700	7700	4730
Limite de traction (N/m ²)	124084000	723825617	900000000
Limite d'élasticité (N/m ²)	55148500	620421997.8	810000000
Coefficient de dilatation thermique (k ⁻¹)	2.4 e-05	1.3e-05	8.6 e-06
Conductivité thermique W/(m ·K)	170	50	10.9
Chaleur spécifique J/(kg ·K)	1300	460	495
La masse(kg)	7.2	8.09	8.6

La masse réel de bielle est 8.5 (kg) de nuance de matériau inconnu car elle est le secret

professionnel d'entreprise Caterpillar [7].

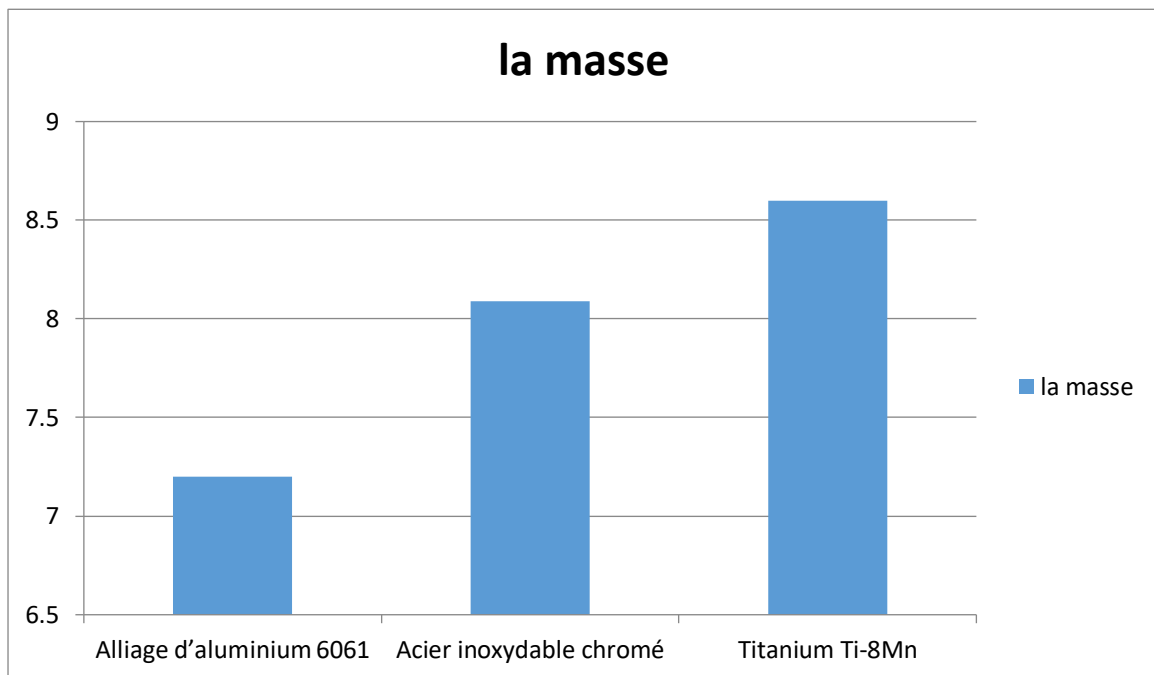


Figure III 4:La masse de chaque matériau

III.5- Analyse Thermique sur la bielle

Pour applique une analyse thermique sur le bielle par SolidWorks Simulation nous suivons les étapes suivantes :

III.5.1-Etape 1 : Choisir le type de simulation

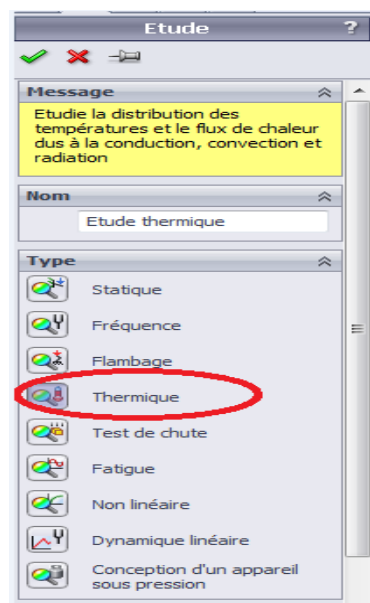


Figure III 5:Type de simulation

III.5.2-Etape 2 : Applique un matériau

On applique a chaque fois un matériau permis les trois types de matériaux dont les propriétés mécaniques nous sont fournies par le Tableau III 1. Ces propriétés sont les paramètres de notre simulation.

III.5.3-Etape 3 : chargements thermiques

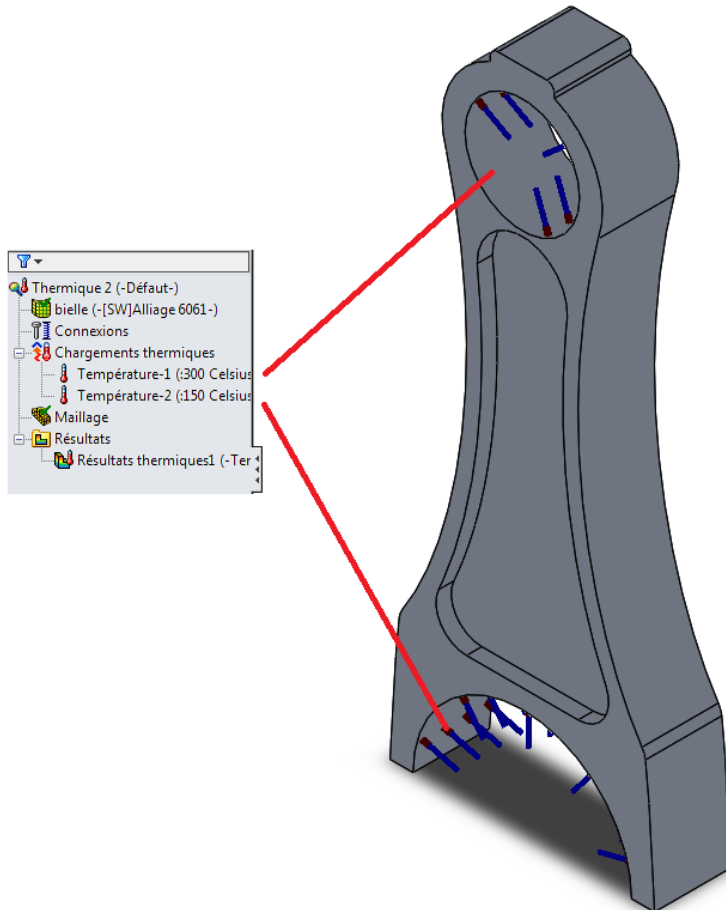


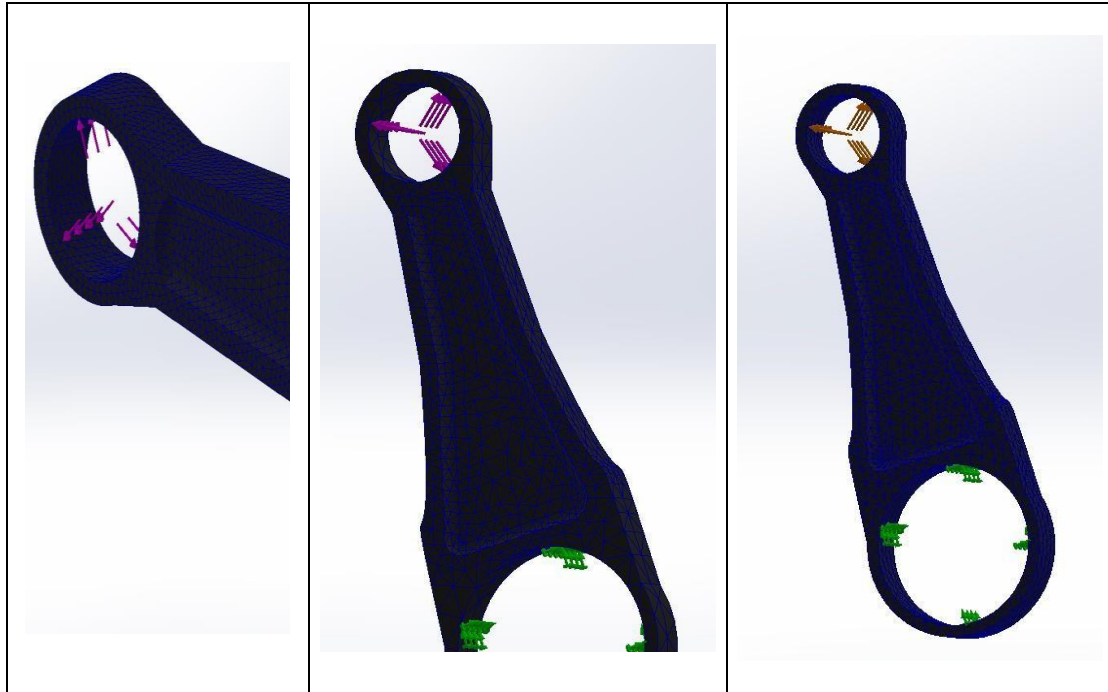
Figure III.6: Chargements thermiques sur la bielle

III.5.4-Etape 4 : création de maillage

A propos de notre étude pour obtenir des bons résultats, nous utilisons un maillage parfait . Pour cela, On prend trois possibilités et essayer dans le SolidWorks comme suivante:

Tableau III 2 Températures minimales résultats pour trois maillages différents

Maillage (mm)	5 (a)	10 (b)	15 (c)
Température min (k)	423.15	423.55	423.85

**Figure III 7 : Maillages de bielle d'étude**

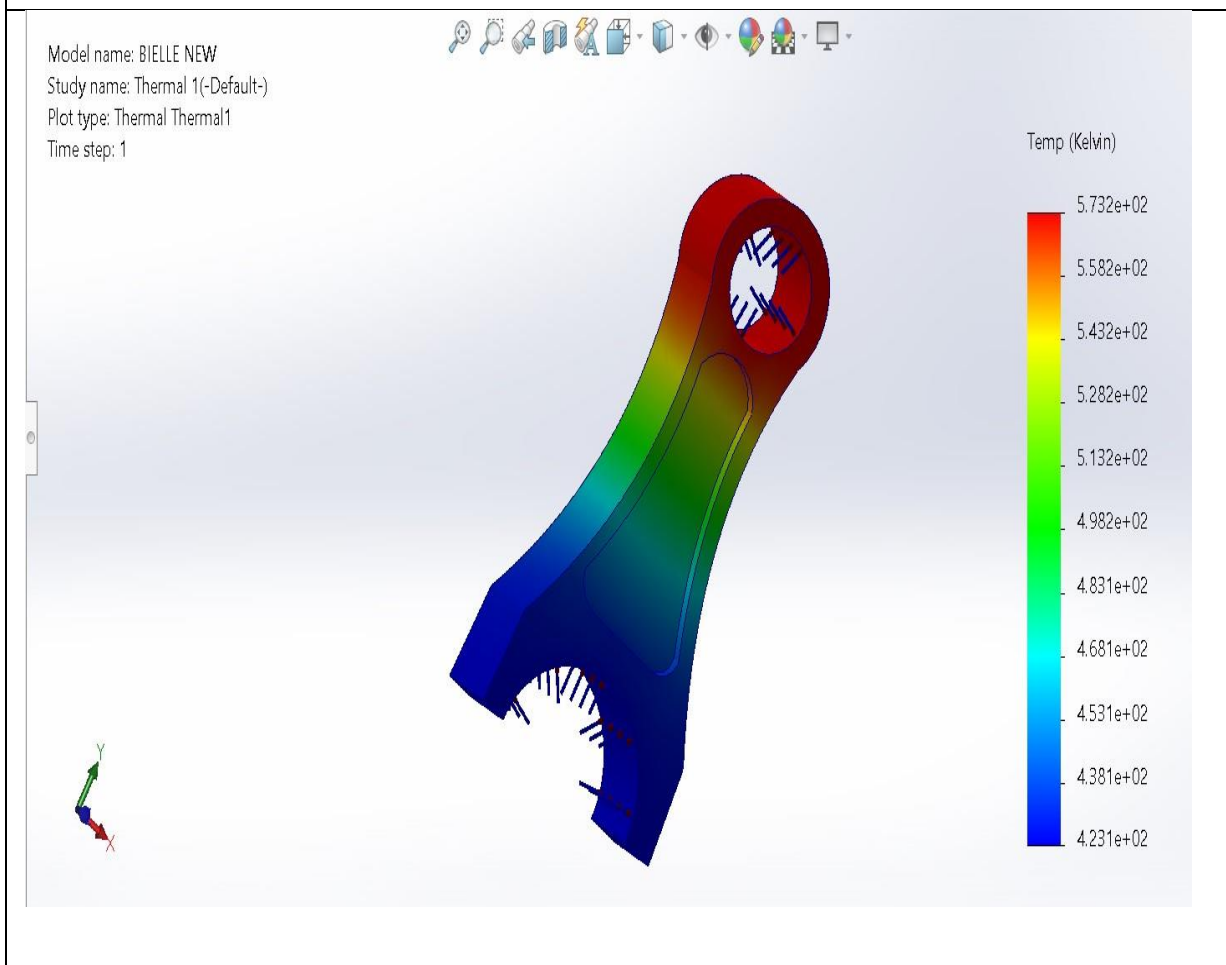
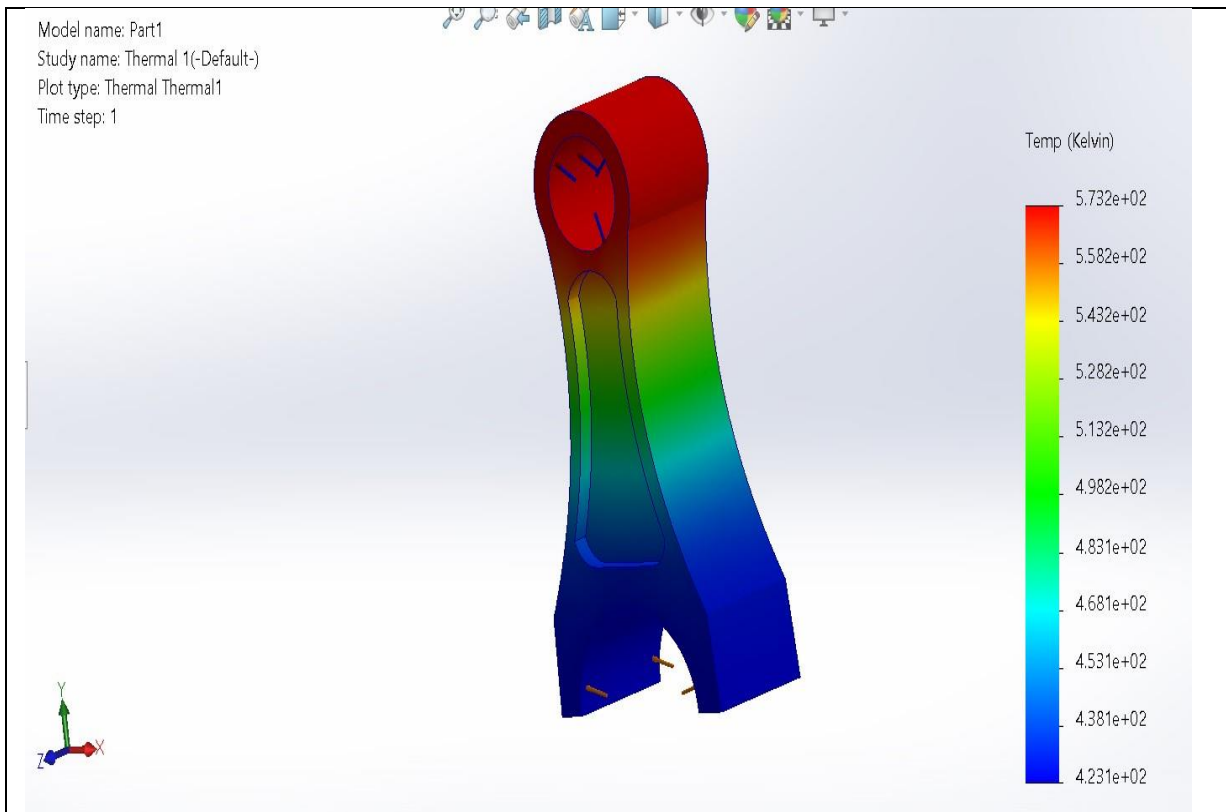
D'après l'exécution d'analyse, on conclut que il n'y a pas une grande influence du maillage sur la distribution de la température mais nous appliquons à tout l'étude. Le maillage (a) est de 5 mm.

III.5.5- Résultats et interprétations

III.5.5.1- analyse thermique

Après application les chargements thermique et exécute la simulation on va sortir par profil de bielle on divise par des zones représente la distribution des résultats (température, flux thermique, ...) par rapporte des critères normalise.

III.5.5.1.1- Distribution de température



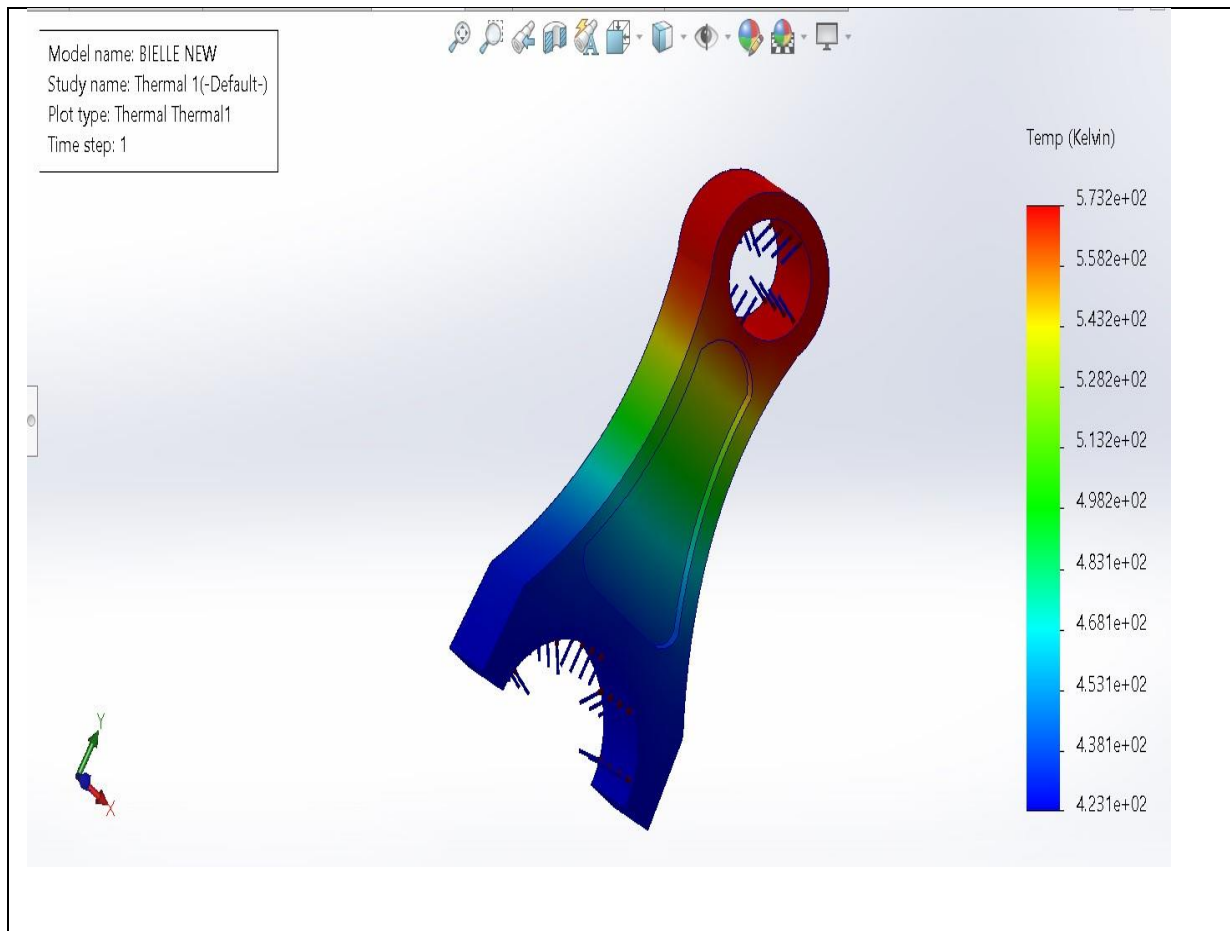


Figure III 8 : Profil de résultats d'Analyse thermique des trois matériaux

En observe ci-dessus dans Figure III 8 qui représente les résultats finaux d'analyse thermique par SolidWorks simulation. La température maximale exercée sur la tête de bielle est la même égale 573,15 (K) ou 300 (c), elle est démenée graduellement de la longe de bielle jusqu'à la température minimale, mais chaque matériau possède des profils spéciaux présentés par des bandes des couleurs.

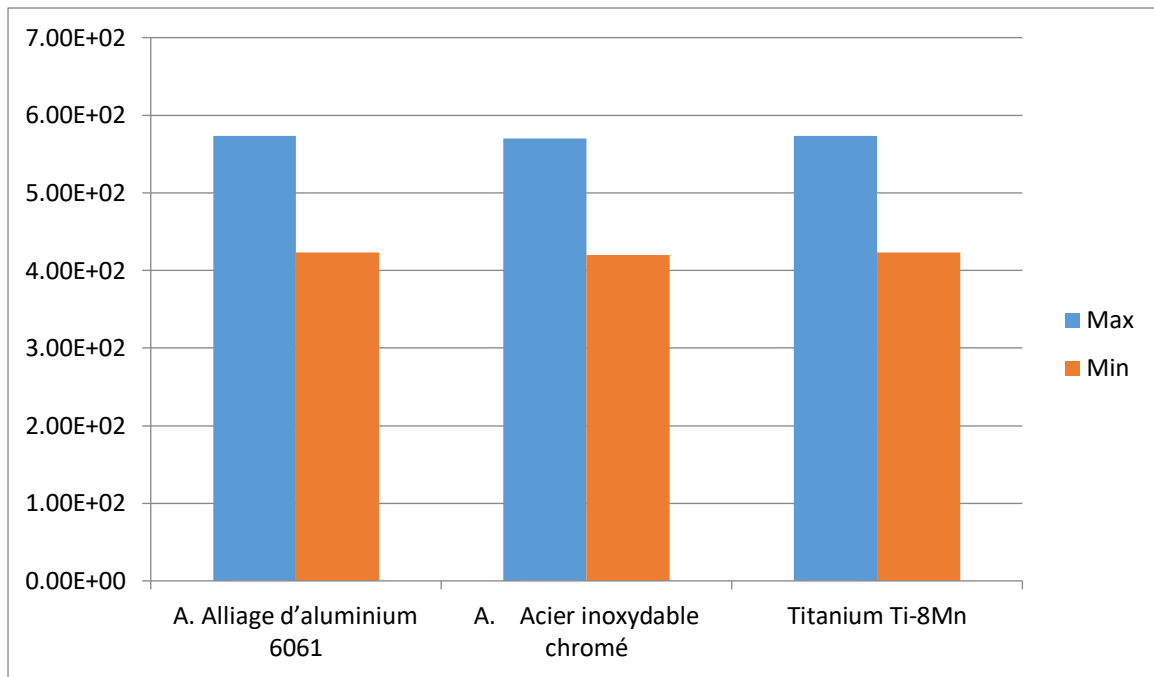
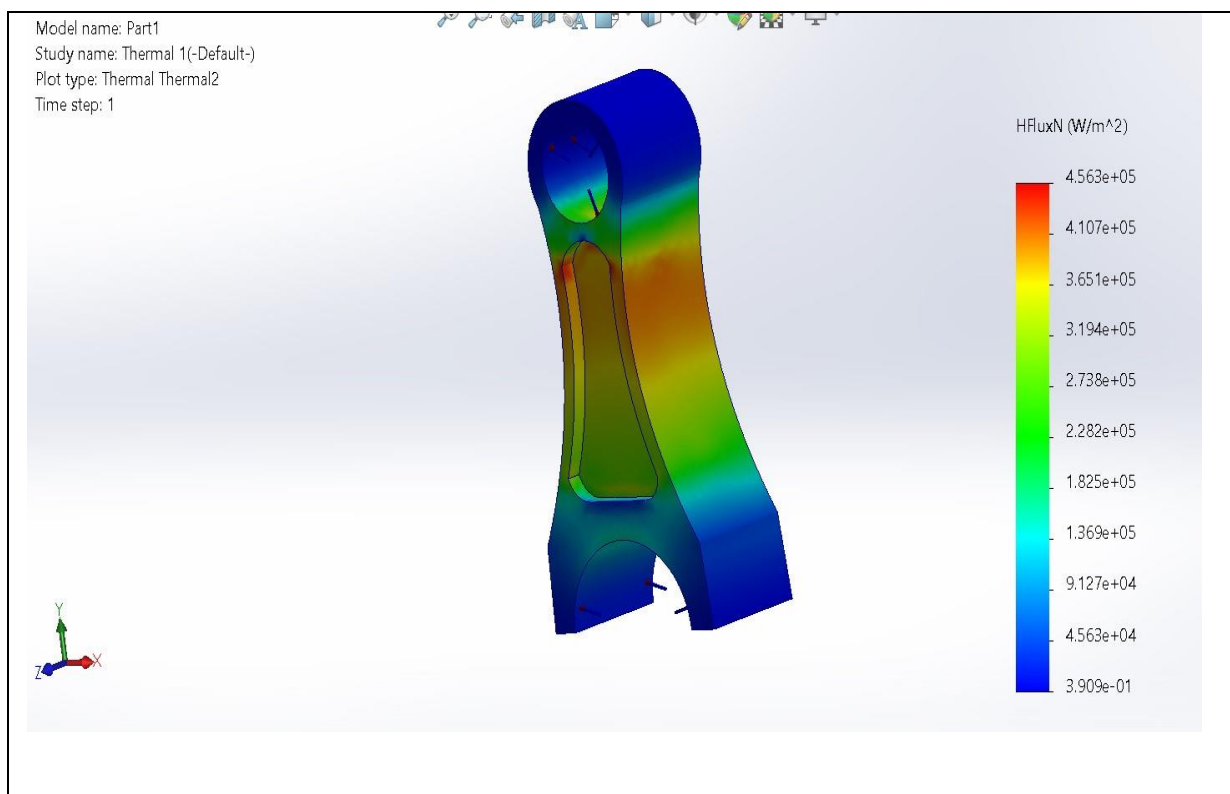


Figure III 9:Températures maximales et minimales des matériaux

En comparant les températures maximales constatée à la fin de la bielle correspondant à chaque matériau et représentées dans la figure III 9 on observe que le haut valeur de température minimale constatée au bielle Alliage d'aluminium 6061 égale 423 ,79 (K) et par contre Titanium Ti-8Mn 423,69 (K).

III.5.5.1.2- Flux de chaleur des matériaux

Pour prendre le résultat du flux de chaleur de chaque matériau, on change l'option de sortie les résultats dans le SolidWorks vers choix HFLUXN.



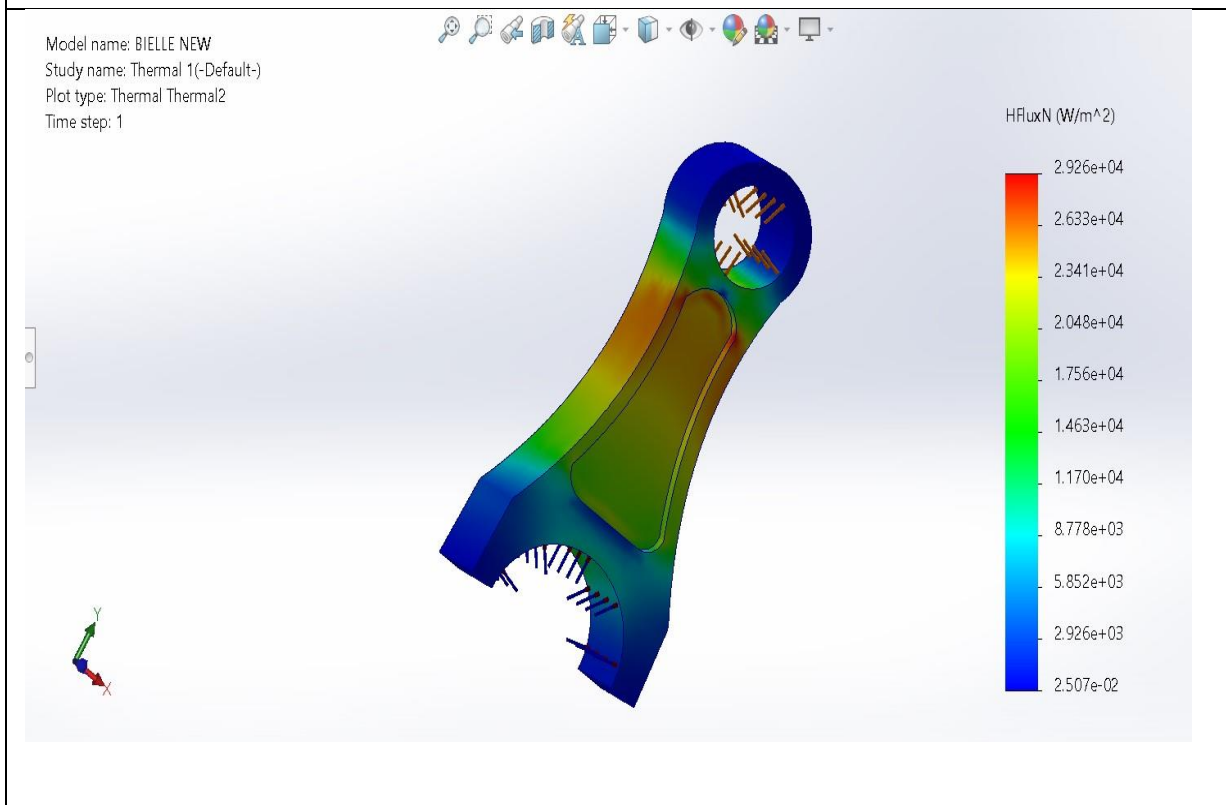
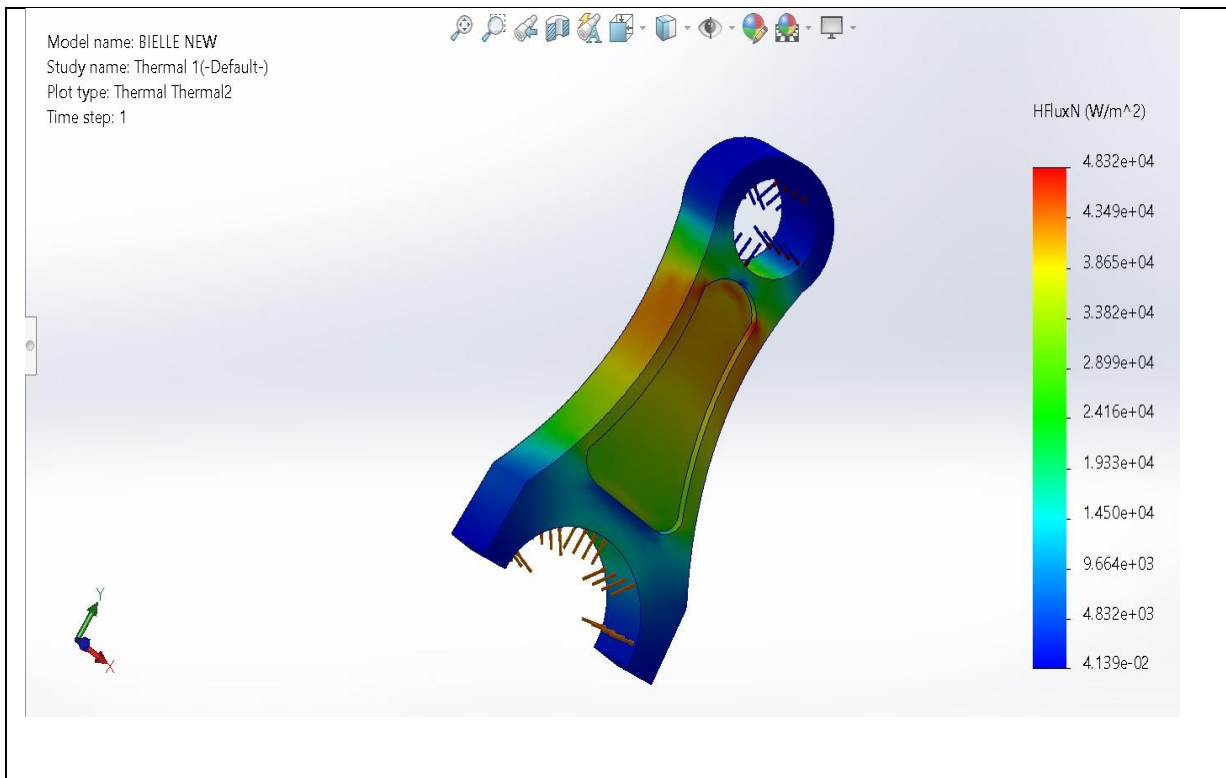
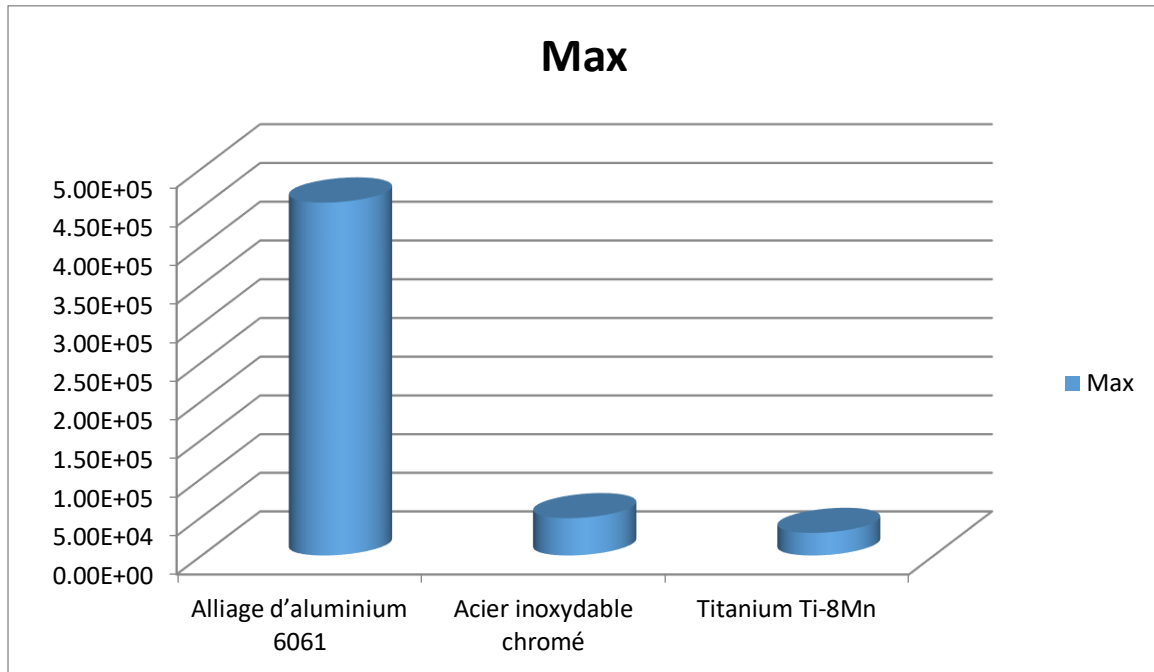


Figure III 10 : Profil des résultats de Flux thermique de chaque matériau

On n'observe que le flux thermique max de bielle par des valeurs différentes pour chaque matériau. Le flux de chaleur minimal situe dans la partie inférieure du pied de bielle.

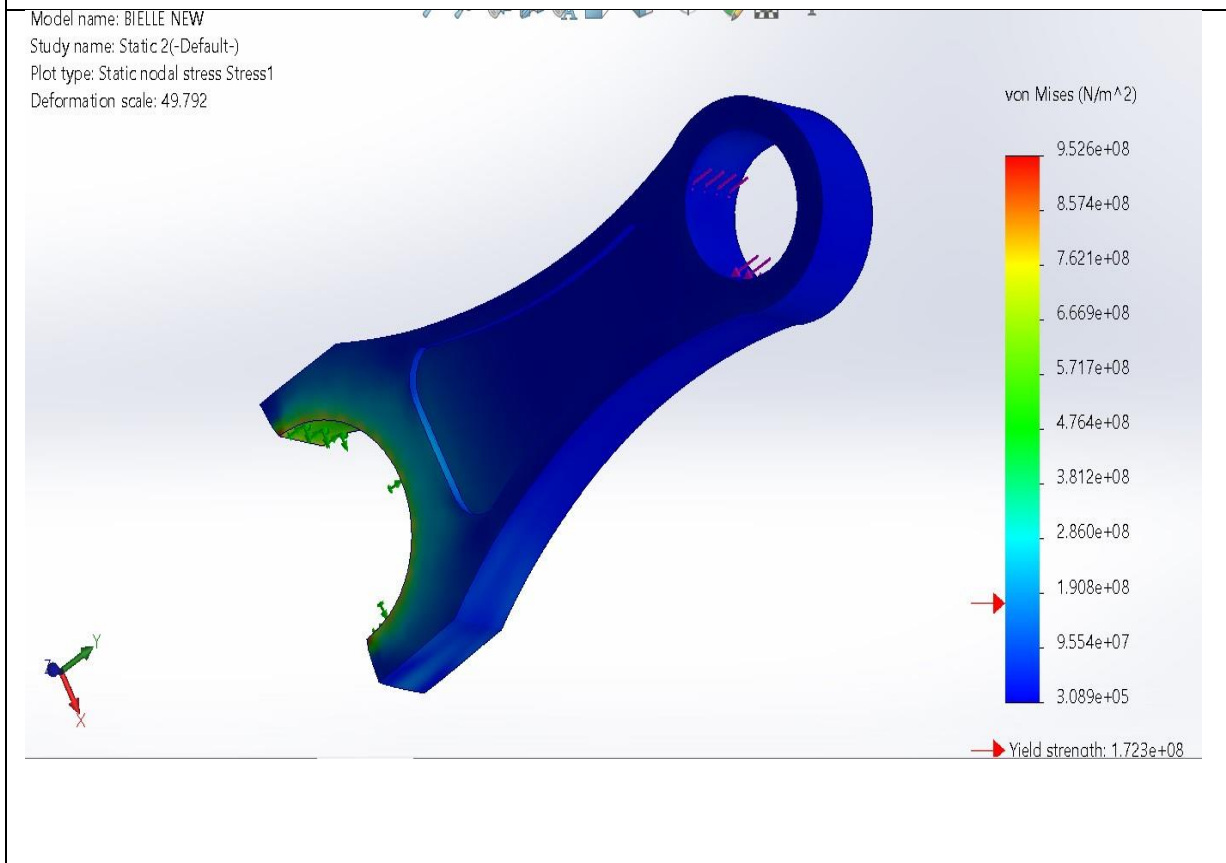
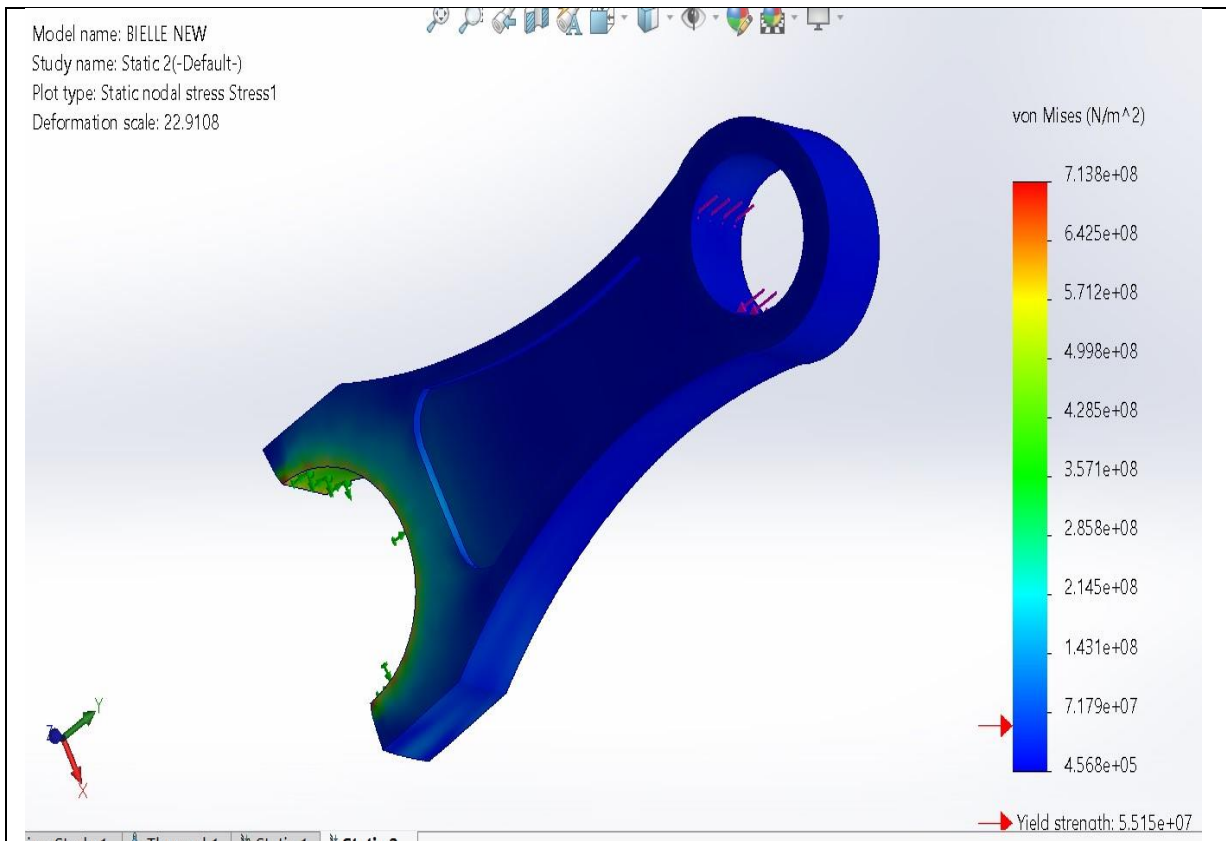
**Figure III 11 : Le flux de chaleur maximal et minimal**

III.5.5.2- Analyse thermo statique

Après avoir appliqué des résultats thermique de analyse thermique précédant sur la tête de bielle, on fixe tous les nœuds de pied de bielle en translation et rotation et en changée

le matériau de fabrication du billet à chaque fois, nous observons les résultats suivants :

III.5.5.2.1- Contrainte



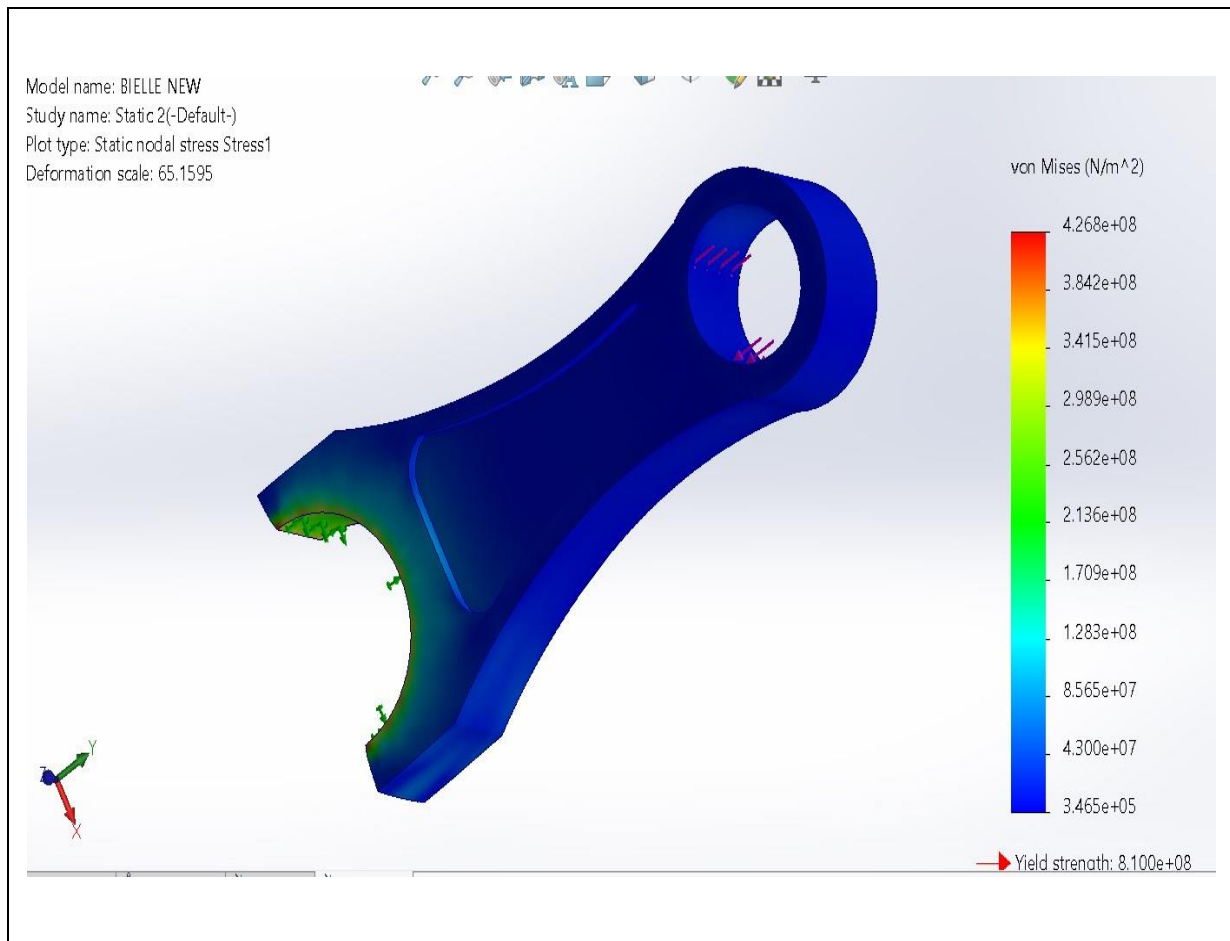


Figure III 12: Profil des résultats d’analyse structurelle des contraintes des matériaux

On observe que presque tout la bielle soumis des contraintes thermique minimal et inferieur a la limite élastique correspondant a chaque matériau comme présente dans la figure III 12 par couleur bleu , La contrainte maximale positionne à l’extrémité supérieur de la tête du bielle dans la zone se couleur par rouge et le couleur jaune et vert correspondant au contraint moyenne .

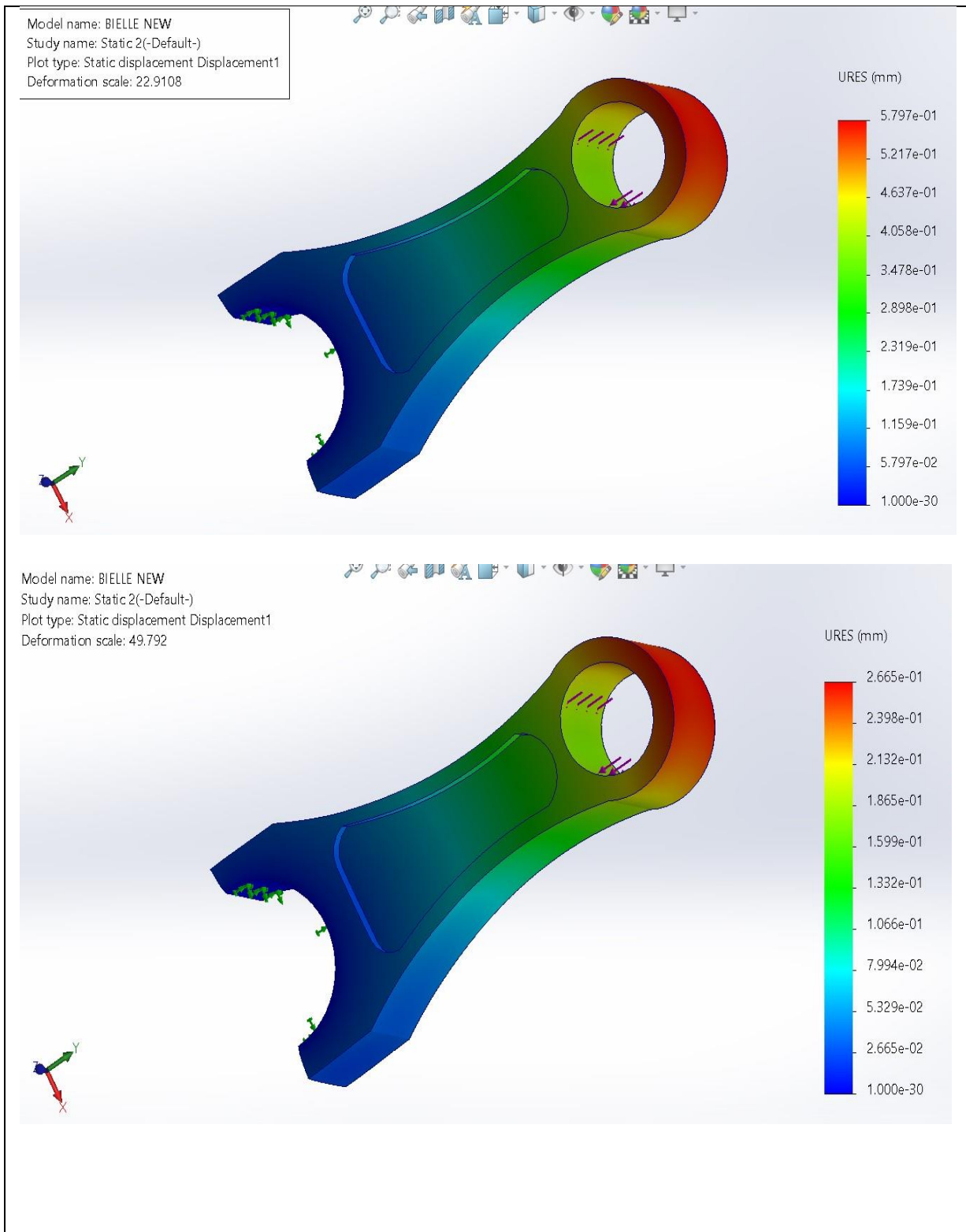
Tableau III 3 contrainte et limite d'élasticité de chaque matériau

Matériaux	Alliage d'aluminium 6061	Acier inoxydable chromé	Titanium Ti-8Mn
Contrainte Max (N/m ²)	7.125e+08	9.513e+08	4.255e+08
Limite d'élasticité (N/m ²)	551485000	620421997.8	81000000
Contrainte Min (N/m ²)	1.798e+05	2.444e+05	1.895e+05
$\Delta\delta$	1.610 e+08	3.307 e+08	3.445 e+08

Nb : $\Delta\delta$ = Contrainte Max - Limite d'élasticité .

D'après le Tableau III 3 on constate que le Titanium Ti-8Mn possède le plus valeurs de limite élasticité par contre Alliage d'aluminium 6061 . D'après la déférence entre contrainte maximal et la limite d'élasticité de chaque matériau, on remarque que le Titanium Ti-8Mn et Alliage d'aluminium 6061 respectivement possède les moins déférence c.-à-d. plus résistance aux contraint.

III.5.5.2.2- Déplacement :



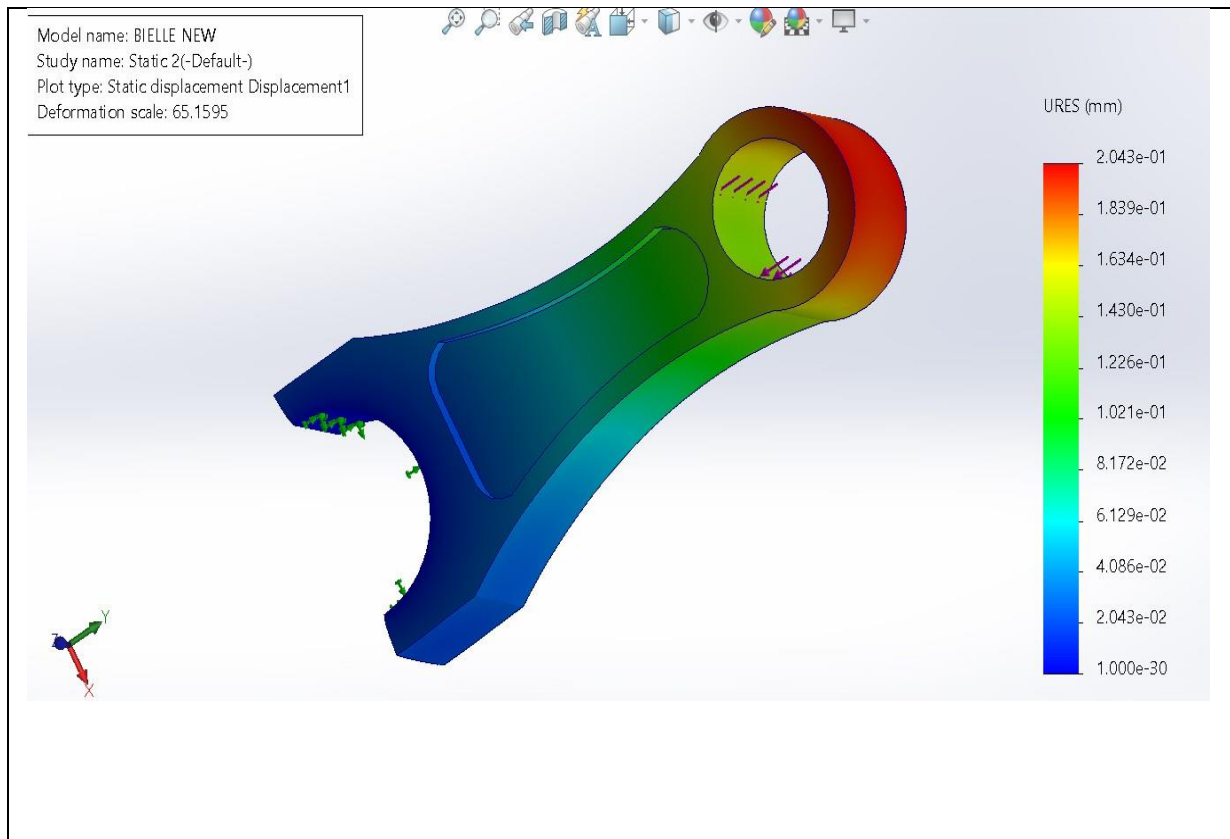


Figure III 13 : Profil des résultats d’analyse structurelle des déplacements des matériaux

Dans des figure III 13 la zone rouge au tête de bielle surtout au couronne représente le déplacement maximal, les zones aux jaune et vert des valeurs moyennes et terminer généralement débit de pied de bielle .

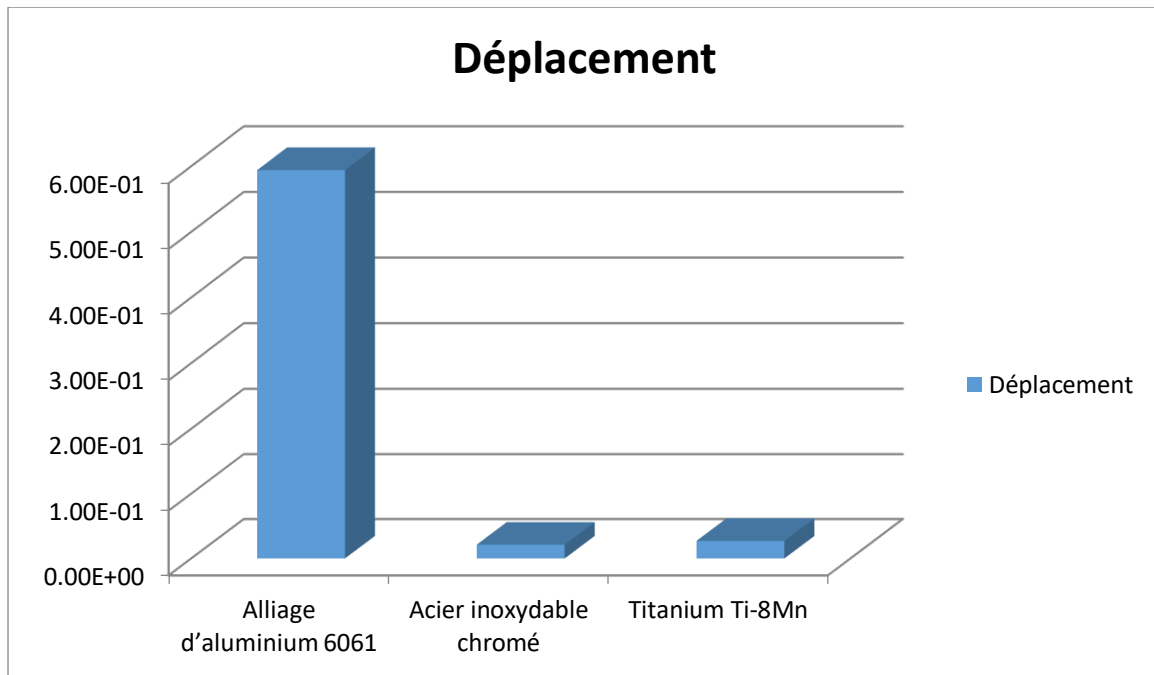
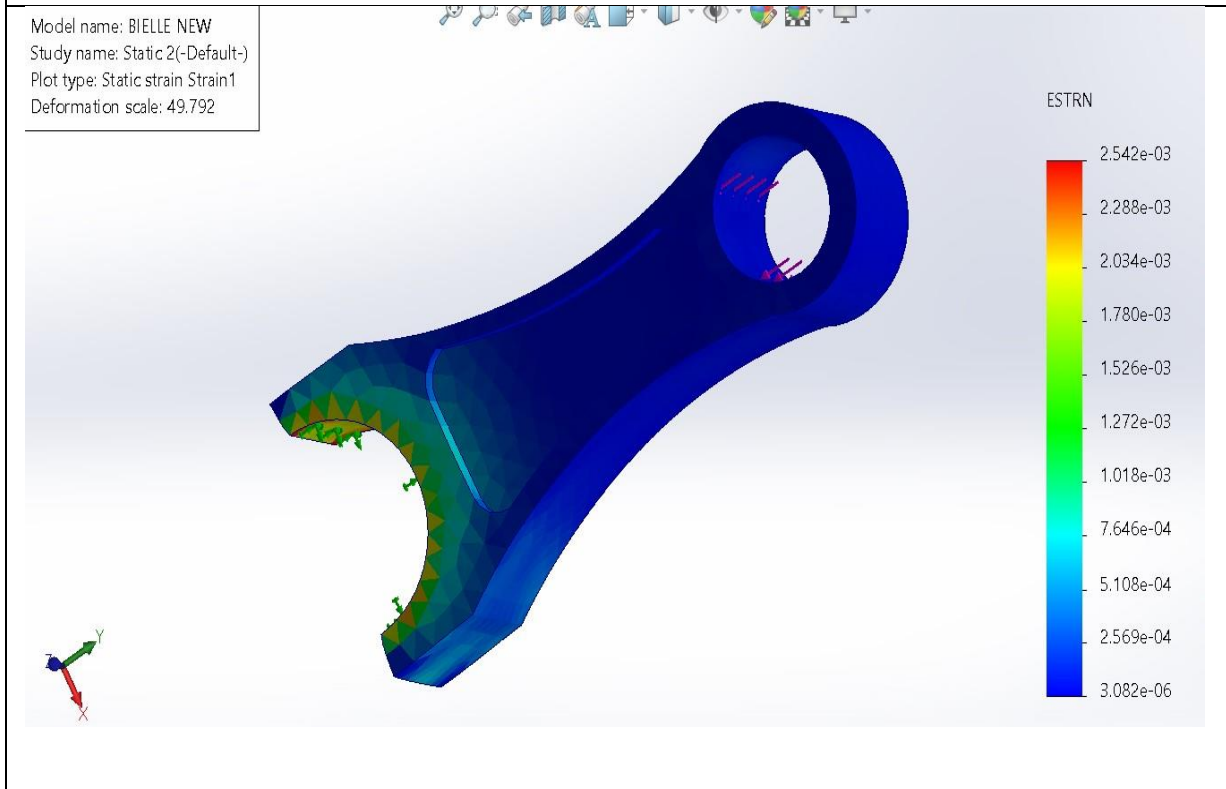
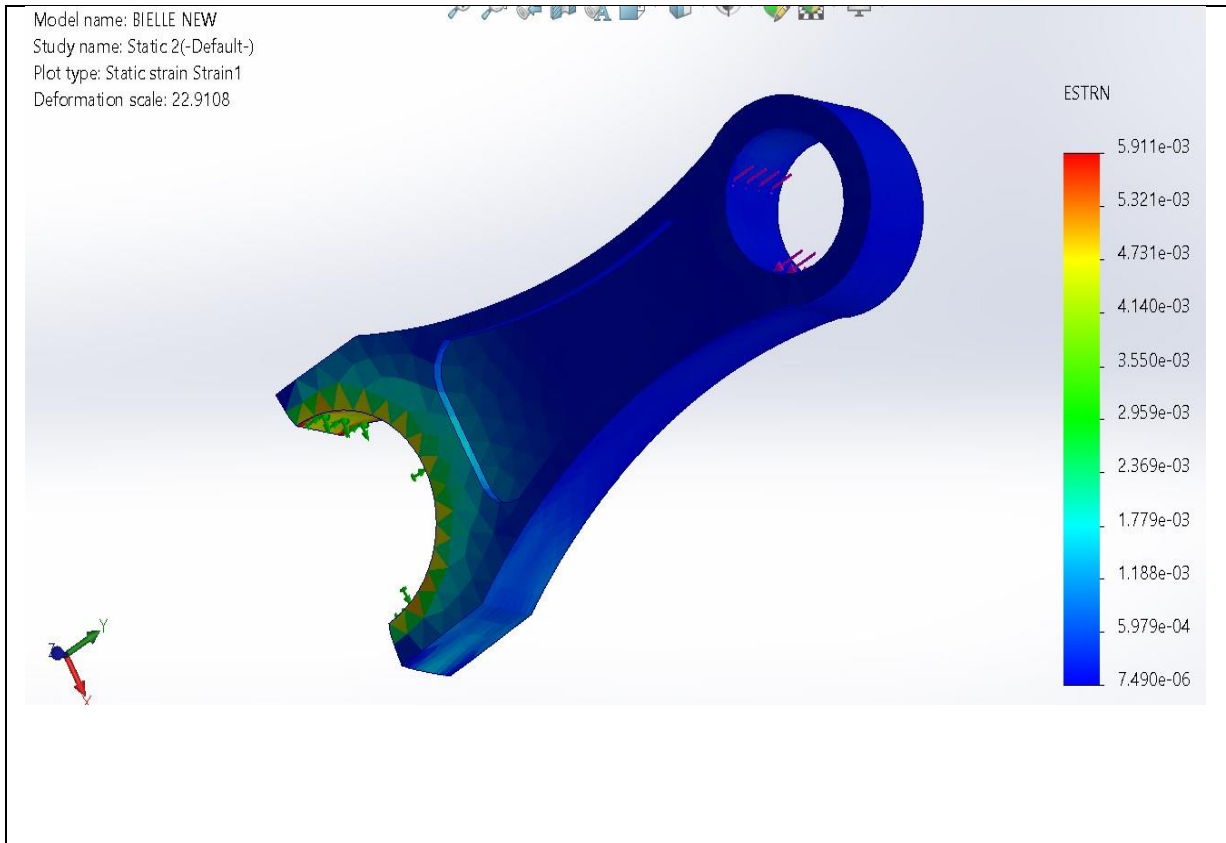


Figure III 14 : Déplacement de chaque matériau

III.5.5.2.3- Déformation



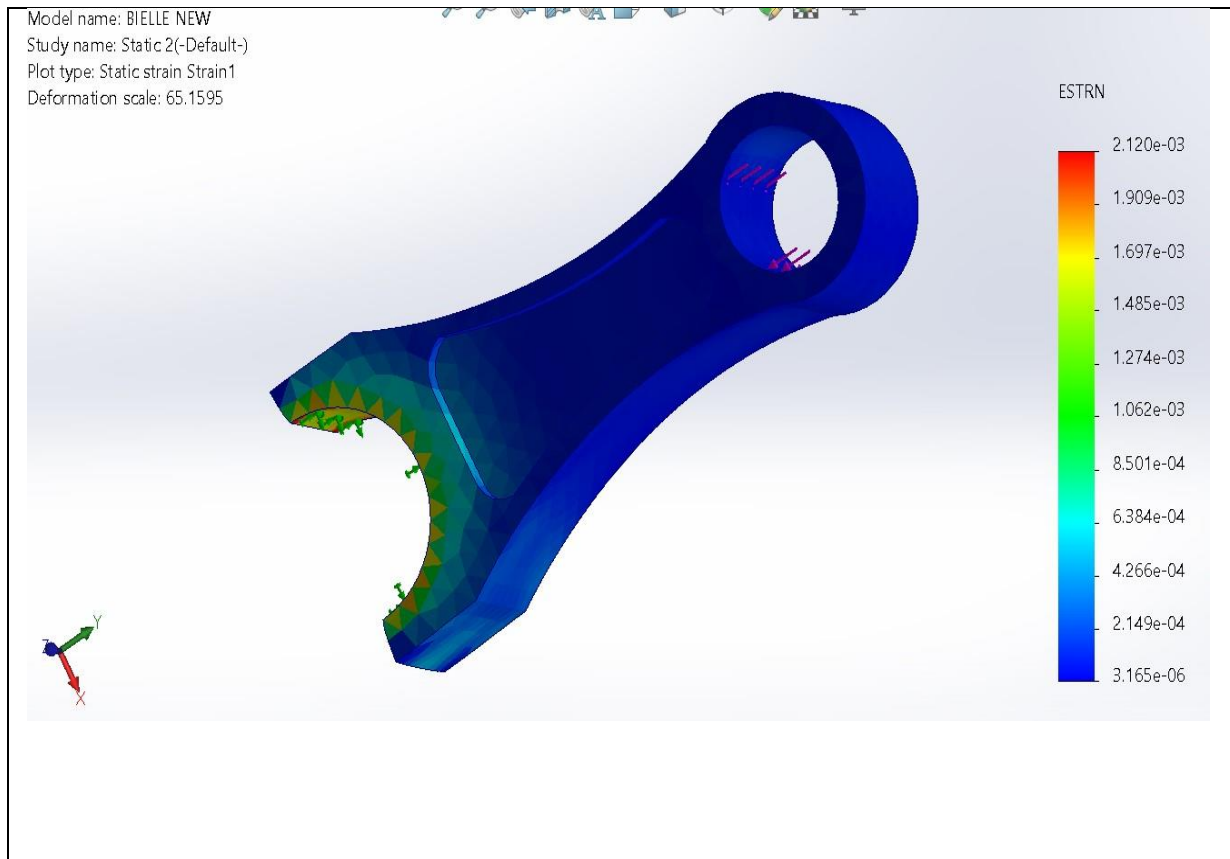


Figure III 15 : Profil des résultats d’analyse structurelle de déformation des matériaux
 On observe que tout la bielle ne soumet pas de la déformation au grand espace représenté au couleur bleu et la déformation concentrée en tour la tête de bielle partie supérieur

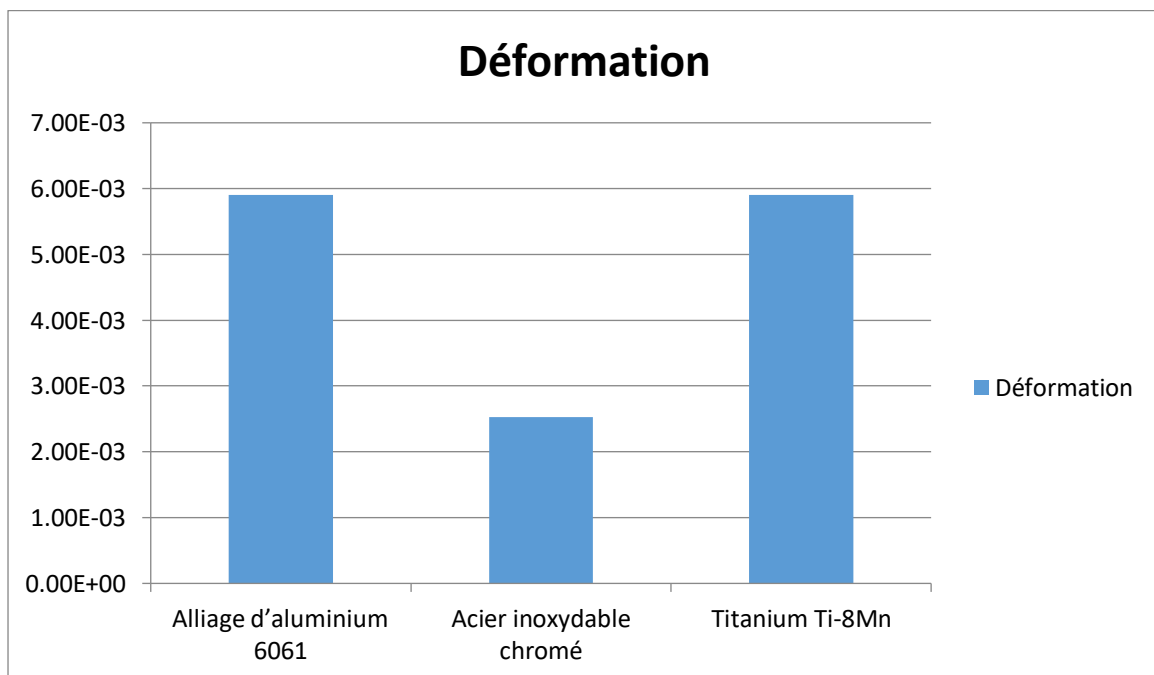
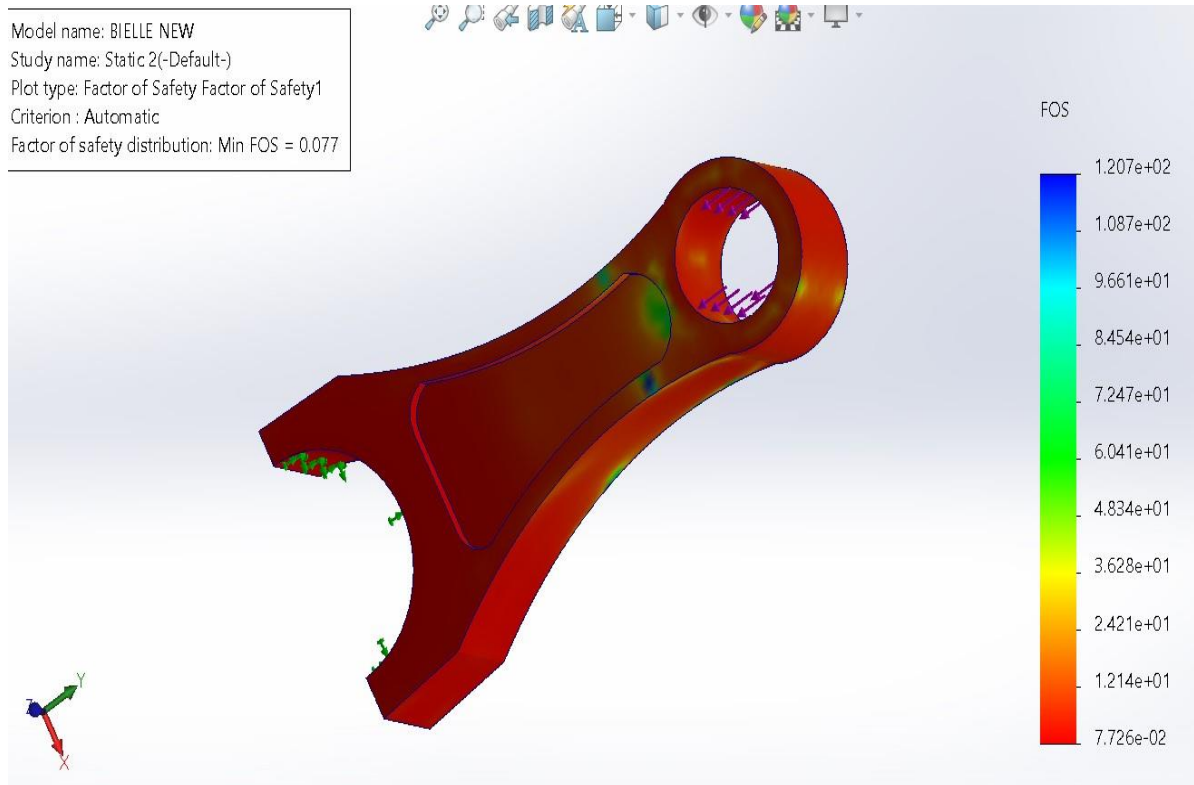


Figure III 16 : Déformation de chaque matériau

D'après le figure III 16 on observe que la moins déformation est 2.757 mm de Acier inoxydable chromé et les autres résultats présentés ci-dessus.

III.5.5.2.4- Coefficient de sécurité



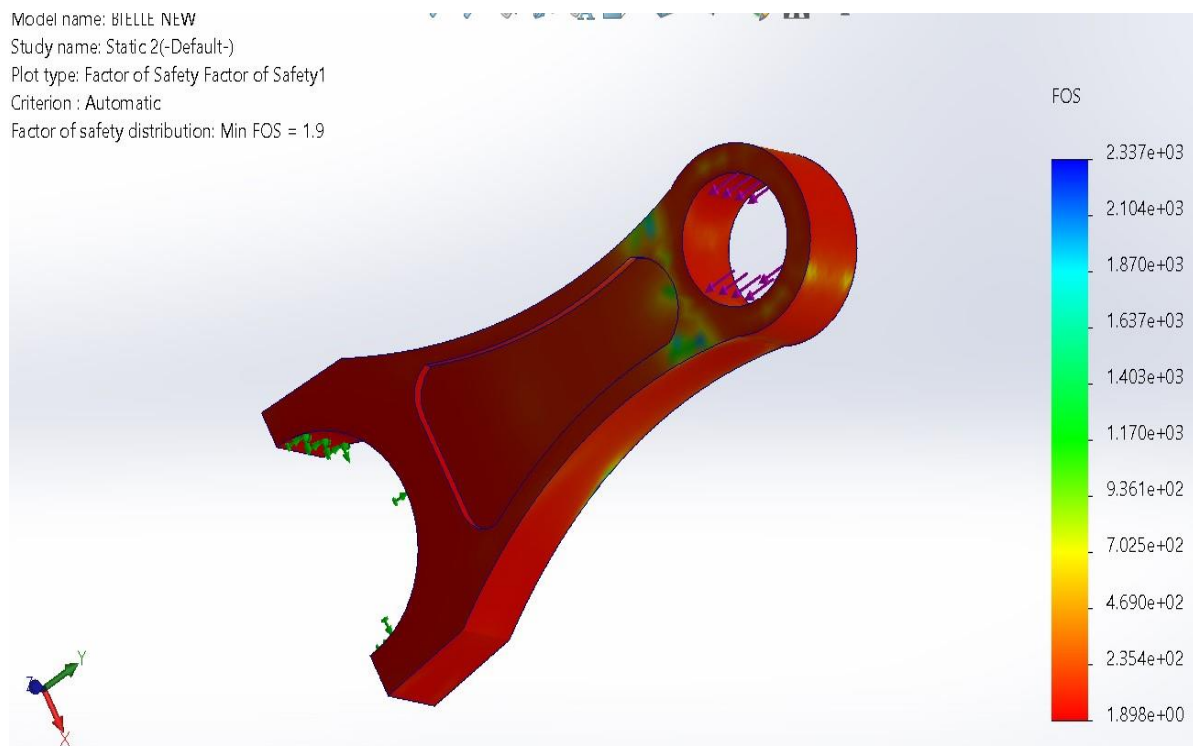
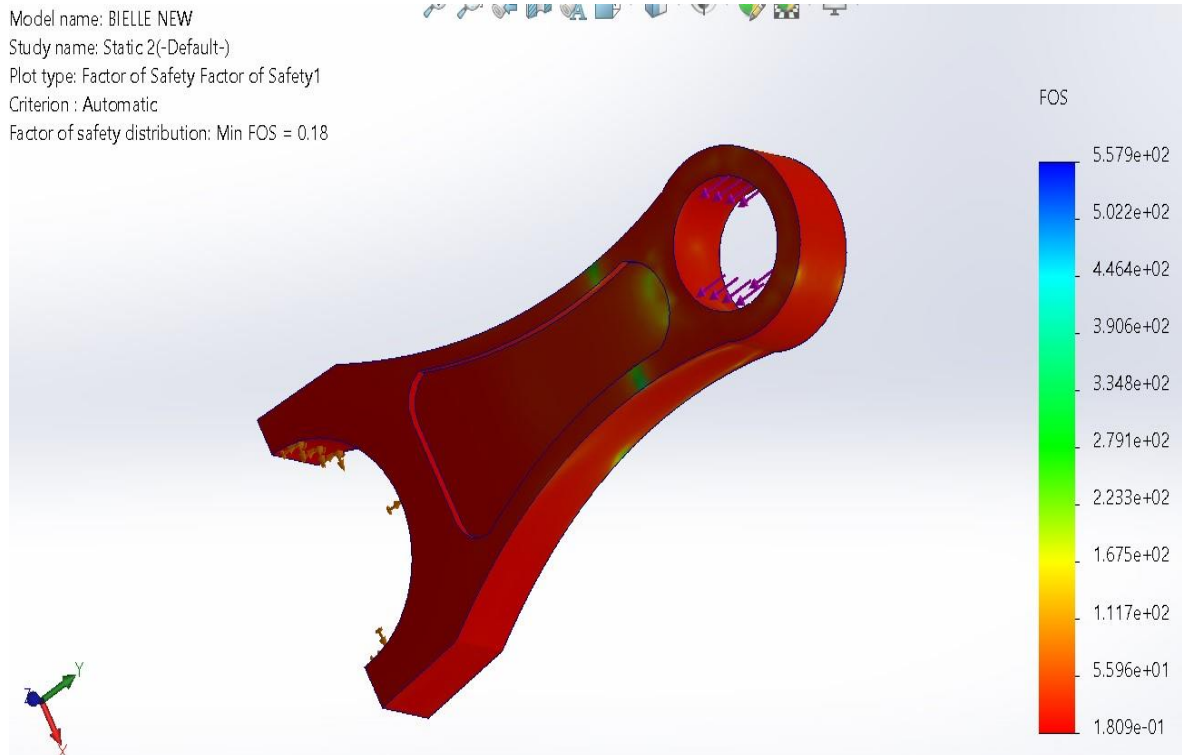


Figure III 17 : Profil des résultats des coefficients de sécurité des matériaux

Cette figure III 17 présente le résultat du coefficient de Sécurité de chaque matériau , montre

que la bielle possède un coefficient minimal acceptable presque sur tout le corps représenté par le couleur rouge , il y a autre zone de coefficient de sécurité élève (jaune) situé à la fin de la bielle et cordon den feu généralement par des valeurs différents pour chaque matériaux .

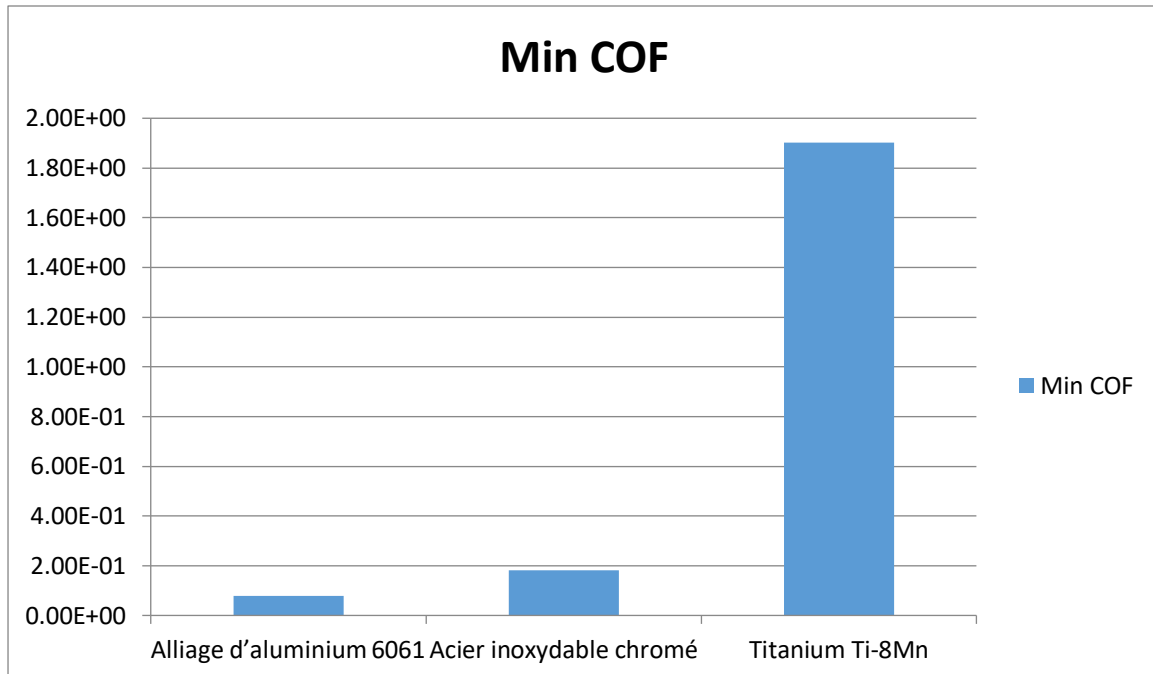


Figure III 18 : Coefficient de sécurité minimal de chaque matériau

D'après Figure III 18 on remarque que le Coefficient de sécurité minimal de chaque matériau ne dépasse pas le seuil, Alliage d'aluminium 6061 possède le moins coefficient de sécurité par rapport les autres alliages c.-à-d. le meilleur alliage

III.6-Conclusion

Grâce à notre simulation, nous concluons que :

- Alliage d'aluminium 6061 est matériau le plus léger par rapport à l'autre matériau.
- Acier inoxydable chromé est meilleur que Titanium Ti-8Mn par rapport la distribution de température et flux de chaleur.
- L'emplacement de la tête de bielle est la partie la plus fragile dans la bielle .il soumis les contraintes et déformations maximales pour chaque matériau. Acier inoxydable chromé et Titanium Ti-8Mn sont le meilleur respectivement.
- Le déplacement maximal se trouve au niveau de la tête de bielle. Acier inoxydable chromé et Titanium Ti-8Mn possède le moins déplacement C.à.d. que ce matériau offre une meilleure résistance par rapport aux autres matériaux.

- Aussi que la bielle possède le moins coefficient de sécurité est celui ayant le type de matériau en Alliage d'aluminium 6061 et Acier inoxydable chromé C.à.d. que ce matériau offre une meilleure résistance par rapport aux autres matériaux.

Recommandation

- Fabrication d'un bielle a deux matériaux différents supportés les chargements requis supposant que la tête de bielle en Acier inoxydable chromé et le pied de bielle en Titanium Ti-8Mn .
- Faire les traitements thermiques au matériau pour augmenter les propriétés physiques et mécaniques.

Conclusion général

Cette étude constitue une contribution importante à la modélisation du bielle pour l'analyse par éléments finis dans logiciel SolidWorks simulation.

Le travail présenté ici visait à déterminer les zones fragiles dans la bielle ainsi que les chargements maximaux qui a effet considérablement aux propriétés du matériau. Nous pouvons dire que les résultats obtenus permettent de mieux comprendre le comportement du bielle dans des conditions du fonctionnement, sélectionné le meilleur matériau qui donne haute performance. Ainsi, cette étude nous a permis

- valoriser apercevoir l'importance du profil géométrique du billet dans un moteur diesel Caterpillar 3512 A .
- Le déplacement maximal se trouve au niveau de la tête du bielle. Ce qui nous permet de prévoir le jeu entre le bielle et la vilebrequin
- La comparaison des contraintes des différents matériaux, nous a permis aussi de voir le bielle le moins sollicité et par conséquent le plus performant
- L'analyse thermique permet de choisir le matériau le plus performant par rapport à la conductivité thermique et le dégagement rapide de la chaleur en la bielle.
- L'analyse thermostatique permet de connaître les zones fragiles pour chaque matériau, sélectionné le meilleur et essaye de contribuer à la meilleure conception géométrique de la bielle.

BIBLIOGRAPHIES

BIBLIOGRAPHIES

- [1] K. Liu, Y.B. Xie, C.L. Gui Proc. IMechE, Part.J, J. Engagé. Tribol. 212 (1998), 221–226, A comprehensive study of the friction and dynamic motion of piston assembly.
- [2] , Taïssir Kasraoui, Karl Joulain, Rémi Bertossi, Marc Bellenoue , Bastien Boust, Julien Sotton,(2006),Modélisation des transferts de chaleur dans une chambre de combustion sphérique à volume constant comparaison avec l'expérience et études numériques.
- [3] , C.H. Li, SAE Paper, vol. 820086,(1982), Piston thermal deformation and friction considerations .
- [4] Document de learning and knowledge development facility: introduction à la mécanique, moteur diesel
- [5] Moteurs diesels technologie générale, Bernard vieux, Edition Foucher, paris, (2003)
- [6] Technical Marketing Information, CATERPILLAR Corporation,
<https://tmiwebclassic.cat.com> . 15/04/2022.
- [7] Document Caterpillar 3500 séries engine, Service Information System, CATERPILLAR Corporation, <https://sis2.cat.com>, avril 2022.
- [8] Moteur diesel ‘’suralimenté bases et calculs cycles réel, théorique et thermodynamique ‘’, Hussein I, Rapport interne Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne LREE-02 – Université Québec à Chicoutimi, Novembre 2006.
- [9] Document de formation Caterpillar a l'entreprise ENTP, B. Yacine, groupe Bergeret monnayeur.1999
- [10] le moteur de base, Centre de Perfectionnement Francis Monnoyeur, Codification 139 S ,2002
- [11] Science et technique du moteur diesel industriel et de transport. tome 1.auteurs : Brun Raymond. 4e edition.date de publication 1981.
- [12] Science et technique du moteur diesel industriel et de transport. tome 1.auteurs : Brun Raymond. 4e edition.date de publication 1981.

[13] redouane zellagui université mentouri constantine

etude et modélisation thermomécanique d'une bielle d'un moteur à combustion interne

[14] philippe michaud, dominique souchet, dominique bonneau université de poitiers,2001.
étude thermique d'un palier de tête de bielle.

[15] philippe michaud, dominique souchet, dominique bonneau université de poitiers,2001.
étude thermique d'un palier de tête de bielle.

[16] Bibliographie de logiciel solidworks 2016.

[17] Basic Concepts of Analysis, <https://help.solidworks.com> ,15/05/2022

[18]] Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation , Radostina V.Petrova
Book , Taylor & Francis Group, LLC , 2015 .

[19] Finite Element Analysis Concepts via Solidworks , J. Ed Akin Rice University, Houston,
Texas, new Jersey· London· Singapore ·Beijing·À shanghai·Hong

[20] Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation, Radostina V Petrova,
CRCPress, 2014

[21] Etude et Conception d'un piston de moteurs Diesel Caterpillar 3512 Utilisant Logiciel
SolidWorks Simulation, Bari .A, Bouchakour .I,Mazouz. A, Mémoire de fin d'étude Master
Université Kasdi Merbah Ouargla , 2021

[22] M.TAHAR ABBES, M. HADJ MILOUD, P. MASPEYROT, XVe""1 Congrès Français
de Mécanique, septembre 2001,Un modèle global de piston de moteur à combustion interne
partie III- le modèle thermique.