

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Sciences de L'Ingénieur
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Filière : Electromécanique

Option : Electromécanique

THEME

Etude Expérimentale et Numérique de la Rupture du
Vilebrequin D'un Compresseur à 40 Bars

Présenté par :

Promoteur : **Dr. MECHAKRA** Hamza

Mr. ANDRADE Yuri António Sebastião

Promotion 2017/2018



REMERCIEMENTS

*Je tiens en premier lieu rendre grâce à **DIEU** Tout Puissant de m'avoir donné le savoir et la volonté et patience pour réaliser ce modeste travail.*

*Mon promoteur **Mr. MECHAKRA Hamza**, qui a su m'encadrer avec efficacité, clairvoyance et beaucoup de patience durant tout le temps que m'a exigé ce travail. Je lui exprime ma profonde reconnaissance pour son soutien et encouragement face à la difficulté mais aussi pour sa disponibilité.*

*Mes encadreur **Mr. BITAM Kamel** et **Mr. BRAHIM Abdelatif**, merci pour la patience et les explications et tous les personnels de la Fruital Coca-Cola.*

***Mr. CROCHART Jean Michelle**, Ingénieur et spécialiste en montage du vilebrequin chez CPI (Compressor Products International) à qui je suis très reconnaissant pour leurs remarques, leurs conseils et leurs disponibilités à m'écouter à tous moment.*

*À tous **les enseignants** qui pendant tout le cursus de formation ont su transmettre leur connaissance. Merci chers enseignants.*

Nous remercions le président et les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

*À tous mes **collègues** et **amis** qui directement ou indirectement ont contribué à mon succès dans mes études.*



DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à ma reine, la femme la plus forte et la plus courageuse que je connaisse dans ma vie. C'est son amour, son attention et sa croyance en moi et ses enseignements que j'ai toujours suivi qui m'ont permis d'être ce que je suis aujourd'hui. Tout ce chemin je l'ai parcouru pleinement grâce à toi. Merci beaucoup maman «Maria Antónia Sebastião André».

À mon Père «Pedro José Andrade», pour tout le soutien et les conseils que vous m'avez accordé, sachez que j'ai les garde toujours dans mon cœur, merci beaucoup papa.

À ma fiancée «Arleth Vicente», pour son amour et leur soutien constant.

À toute ma famille, mes grands-parents, mes tantes, mes sœurs et mes frères, Marisa, Maureth, Suzeth, Isabel, Dinho, Zinho, Vado, Pepetucho, Luiszinho, Adi, Su, Carina, Luzineth, je vous tiens dans mon cœur...

“ Yuri António Sebastião Andrade “

الملخص

العمل الحالي يتمحور في إجراء دراسة حول مشكلة تمزق العمود المرفقي من ضاغطة حجمية من نوعها 34P37 ، المستخدمة في نفخ قارورات بلاستيكية PET على خط الإنتاج في مصنع فرويتال كوكا كولا Fruital Coca-Cola في المنطقة الصناعية بالرويبة Rouïba ، الجزائر. كان الغرض من هذه الدراسة هو تحليل وتحديد أسباب الفشل من خلال تنفيذ ورقة تحليل للتحقق من سبب تمزق دقيق. كما نقدم محاكاة عددية للعمود المرفقي مع أو بدون تشقق من أجل تحديد تأثير الترددات والضغط المطبقة على المادة.

الكلمات المفتاحية : ضاغط نوع 34P37 - تمزق العمود المرفقي - محاكاة العمود المرفقي ، محاكاة عددية - ترددات.

Résume :

Le présent travail consistait à réaliser une étude sur le problème de rupture du vilebrequin d'un compresseur volumétrique de type 34P37, utilisée dans le soufflage des bouteilles PET sur une ligne de production chez Fruital Coca-Cola à Rouïba, Algérie. Le but de cette étude était d'analyser et d'identifier les causes de rupture à travers la mise en place d'une feuille d'analyse afin de vérifier la cause précise de la rupture. Nous présentons aussi une simulation numérique du vilebrequin sans et avec fissuration afin de déterminer l'effet des fréquences et des contraintes appliquées au matériau.

Mots clés : Compresseur 34P37 - Rupture Vilebrequin - Alignement Vilebrequin, simulation numérique- Fréquences et modes.

Abstract

The present work consisted in carrying out a study on the problem of rupture of the crankshaft of a volumetric compressor of the type 34P37, used in the blowing of the PET bottles on a line of production at Fruital Coca-Cola in Rouïba, Algeria. The purpose of this study was to analyze and identify the causes of failure through the implementation of an analysis sheet to verify the precise cause of the rupture. We also present a numerical simulation of the crankshaft with and without cracking in order to determine the effect of the frequencies and the stresses applied to the material.

Keywords: Compressor 34P37 - Crankshaft rupture - Crankshaft alignment, numerical simulation - Frequencies and modes.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DE TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE1

QUELQUES MOTS SUR LA FRUITAL COCA-COLA2

CHAPITRE I- GÉNÉRALITÉS SUR LES MODES DE RUPTURE ET D'ENDOMMAGEMENT

I.1. Introduction4

I.2. Aperçu sur la rupture.....4

I.3. Définition rupture.....5

I.4. Mode de rupture.....5

I.5. Modes d'endommagement et de rupture.....6

I.5.1. Modes de chargement7

I.5.2. Classes de matériaux vis-à-vis de la rupture.....8

I.5.3. Aspects microscopiques de la rupture9

I.5.3.1. Rupture fragile10

I.5.3.2. Rupture quasi-fragile10

I.5.3.3. Rupture ductile.....11

I.5.3.4. Rupture en fluage11

I.5.3.5. Rupture en fatigue14

I.5.3.6. Rupture des polymères14

I.6. Conclusion.....15

CHAPITRE II- PRÉSENTATION DU COMPRESSEUR

II.1. Introduction16

II.2. Définition et classification générale16

II.2.1. Avantages et inconvénients des différents types de compresseurs19

II.3. Les compresseurs à piston.....19

SOMMAIRE

II.3.1. Principe de fonctionnement des compresseurs à piston	20
II.3.2. Classification des compresseurs à piston.....	22
II.4. Le compresseur 37P34.....	22
II.4.1. Les organes du compresseur	23
II.4.2. Fonctionnement du compresseur 37P34.....	25
II.4.3. Cycle de compression.....	25
II.4.4. Caractéristiques générales du compresseur 37P34	28
II.4.5. Mode de fonctionnement	29
II.4.6. Dispositif d'entraînement	30
II.4.7. Système de refroidissement	30
II.4.8. Système de graissage.....	30
II.4.8.1. Lubrification du compresseur sans graissage des cylindres	31
II.4.8.2. Vidange.....	32
II.4.8.3. Graissage du moteur électrique.....	32
II.4.9. Système de régulation électropneumatique	33
II.4.10. Purges	34
II.4.11. Contrôles visuels	34
II.4.12. Sécurités.....	34
II.5. Conclusion.....	34
<u>CHAPITRE III - ÉTUDE EXPERIMENTALE DE LA RUPTURE DU VILEBREQUIN</u>	
III.1. Introduction.....	35
III.2. Le vilebrequin	35
III.2.1. Composition d'un vilebrequin	35
III.2.2. Types de vilebrequin	36
III.2.2.1. Le vilebrequin assemblé	36
III.2.2.2. Le vilebrequin monobloc.....	37
III.2.3. Fabrication et matériau.....	38

SOMMAIRE

III.2.4. Équilibrage	38
III.2.4.1. Équilibre statique.....	38
III.2.4.2. Équilibre dynamique.....	39
III.2.5. Les causes de rupture ou cassure du vilebrequin	39
III.3. Problème de Rupture du Vilebrequin du Compresseur 37P34	40
III.3.1. Description du problème	40
III.3.2. Montage du nouveau vilebrequin	41
III.3.2.1. Mise en place du vilebrequin	43
III.3.2.2. Contrôle et ajustement	44
III.3.2.3. Mise en place et fixation du moteur électrique	47
III.3.3. Démarrage du compresseur	48
III.4. Conclusion	49
 <u>CHAPITRE IV - SIMULATION NUMÉRIQUE DU VILEBREQUIN</u>	
IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Présentation du logiciel ABAQUS.....	50
IV.2.1. Les Logiciels sur le marché.....	50
IV.2.2. Les caractéristiques du logiciel ABAQUS.....	51
IV.2.3. Bases de l'interface d'ABAQUS	52
IV.2.3.1. Organisation de l'interface.....	52
IV.2.3.2. Les touches de la souris	52
IV.2.3.3. Manipulation de la vue affichée	53
IV.2.4. Présentation du logiciel ABAQUS CAE	53
IV.2.4.1. Les Modules	53
IV.2.4.2. L'arbre du modèle	54
IV. 3. Conception de la géométrie sous SolidWorks	54
IV.3.1. Le logiciel SolidWorks	54
IV.3.2. Modélisation 3D	55

SOMMAIRE

IV.3.3. Description de la géométrie.....	55
IV.3.3.1. Modèle SolidWorks de la pièce utile.....	56
IV.3.3.2. Propriétés de la géométrie.....	56
IV. 4. Simulation numérique du vilebrequin sans fissure (cas 1).....	57
IV.4.1. Le module « PART »	57
IV.4.2. Le module « PROPERTY »	58
IV.4.3. Le module « ASSEMBLY »	58
IV.4.4. Le module « STEP »	59
IV.4.5. Le module « LOAD »	59
IV.4.6. Le module « MESH »	59
IV.4.7. Le module « JOB »	60
IV.4.8. Le module « VISUALIZATION »	60
IV.4.8.1. Résultats fréquence (le cas 1).....	60
IV.4.8.2. Présentation graphique (cas 1)	63
IV.4.8.3. Résultats contraintes (cas 1).....	64
IV. 5. Simulation numérique du vilebrequin avec fissure (cas 2).....	66
IV.5.1. Résultats fréquence (cas 2).....	67
IV.5.2. Présentation graphique (cas 2).....	69
IV.5.3. Résultats contraintes (cas 2).....	70
IV.6. Conclusion	72
<u>CONCLUSION GÉNÉRALE</u>	73
<u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	74
<u>ANNEXES</u>	76

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Chapitre I.

Fig. I.1.	Schématisation des trios modes de rupture	6
Fig. I.2.	Charge limite et mode de pilotage du chargement	7
Fig. I.3.	Chargement cyclique	8
Fig. I.4.	Classes de matériaux vis-à-vis de la rupture en sollicitation monotone	9
Fig. I.5.	Exemples de rupture fragile dans les céramiques	11
Fig. I.6.	Exemples de rupture fragile dans les métaux	12
Fig. I.7.	Rupture quasi-fragile : composite SiC–SiC	12
Fig. I.8.	Rupture ductile	13
Fig. I.9.	Endommagement en fluage	13
Fig. I.10.	Stries de fatigue	14
Fig. I.11.	Rupture d'un polymère PVDF	15

Chapitre II.

Fig. II.1.	Principe d'un compresseur	16
Fig. II.2.	Classification des compresseurs	18
Fig. II.3.	Cylindre - Piston	20
Fig. II.4.	L'ensemble cylindre – piston – clapets	21
Fig. II.5.	Compresseur 37P34	23
Fig. II.6.	Cycle de compression 1 ^{er} temps	26
Fig. II.7.	Cycle de compression 2 ^{ième} temps	26
Fig. II.8.	Schéma circulation d'air	27

Chapitre III.

Fig. III.1.	Composition d'un vilebrequin	35
Fig. III.2.	Exemple d'un vilebrequin assemblé	37
Fig. III.3.	Exemple d'un vilebrequin monobloc	37
Fig. III.4.	Description du problème	40
Fig. III.5.	Le vilebrequin cassé	41
Fig. III.6.	Carter du vilebrequin	41
Fig. III.7.	Micromètre palmer- Jauge micrométrique	42
Fig. III.8.	Retouche des paliers	43
Fig. III.9.	Placement nouveau vilebrequin	43
Fig. III.10.	Bague de butée- clé dynamométrique	44
Fig. III.11.	Placement comparateur de contrainte	44
Fig. III.12.	Résultats comparateur de contrainte 1 ^{er} contrôle	45

LISTE DES FIGURES

Fig. III.13.	Palier extérieur	45
Fig. III.14.	Mesure des cales	46
Fig. III.15.	Résultats comparateur de contrainte 2 ^{ième} contrôle	47
Fig. III.16.	Fixation moteur électrique- alignement des courroies	47
Fig. III.17.	Contrôle de température avec une caméra infra-rouge	48

Chapitre IV.

Fig. IV.1.	Le nouveau vilebrequin	55
Fig. IV.2.	Vue extérieure de la pièce après conception sur SolidWorks	56
Fig. IV.3.	Dimensions de la pièce utile	57
Fig. IV.4.	Modèle du vilebrequin sans fissure	57
Fig. IV.5.	Modèle vilebrequin après affectation de ses propriétés	58
Fig. IV.6.	Assemblage du vilebrequin	58
Fig. IV.7.	Module Step	59
Fig. IV.8.	Conditions aux limites (cas1)	59
Fig. IV.9.	Maillage du vilebrequin	60
Fig. IV.10.	Le premier mode du vilebrequin (cas 1)	61
Fig. IV.11.	Le deuxième mode du vilebrequin (cas 1)	61
Fig. IV.12.	Le troisième mode du vilebrequin (cas 1)	61
Fig. IV.13.	Le quatrième mode du vilebrequin (cas 1)	59
Fig. IV.14.	Le cinquième mode du vilebrequin (cas 1)	59
Fig. IV.15.	Le sixième mode du vilebrequin (cas 1)	60
Fig. IV.16.	Fréquence en fonction du mode	63
Fig. IV.17.	Contrainte de Mises (cas 1)	64
Fig. IV.18.	Contrainte de Tresca (cas 1)	64
Fig. IV.19.	Contrainte selon l'axe X (cas 1)	64
Fig. IV.20.	Contrainte selon l'axe Y (cas 1)	65
Fig. IV.21.	Contrainte selon l'axe Z (cas 1)	65
Fig. IV.22.	Contrainte dans le plan (cas 1) - (a) : plan Xy, (b) : plan Xz, (c) : plan Yz	65
Fig. IV.23.	Modèle du vilebrequin avec fissure	66
Fig. IV.24.	Conditions aux limites (cas 2)	66
Fig. IV.25.	Le premier mode du vilebrequin (cas 2)	67
Fig. IV.26.	Le deuxième mode du vilebrequin (cas 2)	67
Fig. IV.27.	Le troisième mode du vilebrequin (cas 2)	67
Fig. IV.28.	Le quatrième mode du vilebrequin (cas 2)	68

LISTE DES FIGURES

Fig. IV.29.	Le cinquième mode du vilebrequin (cas 2)	68
Fig. IV.30.	Le sixième mode du vilebrequin (cas 1)	68
Fig. IV.31.	Fréquence en fonction du mode (cas 1,2)	69
Fig. IV.32.	Contrainte de Mises (cas 2)	70
Fig. IV.33.	Contrainte de Tresca (cas 2)	70
Fig. IV.34.	Contrainte selon l'axe X (cas 2)	71
Fig. IV.35.	Contrainte selon l'axe Y (cas 2)	71
Fig. IV.36.	Contrainte selon l'axe Z (cas 2)	71
Fig. IV.37.	Contrainte dans le plan (cas 2) - (a) : plan Xy, (b) : plan Xz, (c) : plan Yz	72

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DE TABLEAUX

Chapitre II.

Tabl. II.1. Avantages et inconvénients des différents types de compresseurs	19
Tabl. II.2. Descriptif de caractéristiques générales du compresseur 37P34	28
Tabl. II.3. Spécification minimum requise pour les lubrifiants du compresseur 37P34	32

Chapitre III.

Tabl. III.1. Mesures de diamètre du bout d'arbre du nouveau vilebrequin	42
Tabl. III.2. Mesures d'épaisseur	46
Tabl. III.3. Contrôle de température	48

Chapitre IV.

Tabl. IV.1. Propriétés mécaniques du vilebrequin	58
Tabl. IV.2. Caractéristiques de maillage du vilebrequin	60
Tabl. IV.3. Les valeurs des fréquences en fonction des modes (cas 1)	63
Tabl. IV.4. Les valeurs des fréquences en fonction des modes (cas 1,2)	69

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'air comprimé est une forme d'énergie emmagasinée qui sert à faire fonctionner des machines, des équipements ou des procédés industriels. Actuellement dans l'industrie agroalimentaire on utilise de l'air à 7 bars (basse pression) pour les outils automates et des organes pneumatiques et de l'air comprimé à 40 bars (moyenne pression) pour le soufflage des bouteilles.

La compression de l'air pour atteindre des pressions élevées avec un débit moyen est effectuée par des compresseurs à pistons dotée d'un système de bielle-manivelle (vilebrequin) qui actionne les pistons à l'aide d'un moteur électrique.

Le compresseur considéré dans notre étude est un compresseur alternatif à pistons avec rupture du vilebrequin, se trouvant à la Coca-Cola Fruitai-Rouïba, dans le service utilité.

La rupture d'une pièce mécanique comme le vilebrequin peut s'interpréter avant tout comme une interruption de la continuité du processus. Elle constitue un point faible qui peut provoquer une séparation (cassure). Elle peut se produire après une grande déformation, le plus souvent après un affaiblissement du matériau suite à des dommages préalables des paliers, des manetons surchauffés ou encore par des endommagements mécaniques lors du montage.

L'objectif de ce mémoire est de faire l'étude sur les causes de rupture du vilebrequin. Il est à noter que ce matériel est exploité par l'entreprise depuis 1996.

L'essentiel des travaux réalisés dans le cadre de ce projet de fin d'études est synthétisé dans le présent mémoire comprenant une introduction générale, quatre (04) chapitres et une conclusion générale :

Le chapitre I : présente les concepts généraux sur les modes de rupture et d'endommagement.

Le chapitre II : décrit le compresseur type 34P37 (dont lequel on fera l'étude sur les causes de rupture du vilebrequin prédit sur notre problématique).

Le chapitre III : est consacré à l'application proprement dite. Une étude sur les causes de rupture du vilebrequin est présentée dans ce chapitre en procédant avec la mise en place d'un nouveau vilebrequin et le démarrage de compresseur.

Le chapitre IV : présente les outils de conception et de calcul, suivis par des résultats obtenus par la simulation numérique en termes de fréquences, contraintes e déformations.

QUELQUES MOTS SUR L'ENTREPRISE

Introduction

Embouteiller de Coca Cola depuis 1993, Fruitall Coca Cola filiale du groupe ECCBC est le plus important producteur et distributeur des produits de The Coca Cola Company en Algérie.

Fruitall Coca Cola SPA, filiale du groupe Espagnol ECCBC, une entreprise internationale spécialisée dans le métier de l'embouteillage présente dans 13 pays dont l'Algérie, 16 usines d'embouteillage, 43 lignes de production et un environnement multiculturel par excellence.

Fruitall Coca Cola avec un effectif de plus de 1300 collaborateurs, une usine à Rouïba comprenant 7 lignes de production dont 2 lignes RGB, 4 lignes PET et 1 ligne CAN, produit et commercialise plus de 56 références sous les marques Coca Cola, Fanta, Schweppes et Pulpy à travers son réseau de distribution qui compte parmi les plus performants de la zone pour le plus grand plaisir des consommateurs Algériens.

Profitant du support international de The Coca Cola Company, Fruitall Coca Cola enregistre d'excellentes performances et des taux de croissance importants sur le marché Algérien, grâce à sa marque et l'engagement de ses employés. Elle distribue ses produits dans 13 wilayas dont Alger, Blida, Boumerdes, Tizi-Ouzou, Tipaza, Médéa, Ain Defla, Bouira, Bordj Bou Arreridj, Djelfa, Tamanrasset, Lagouat et Ghardaïa.

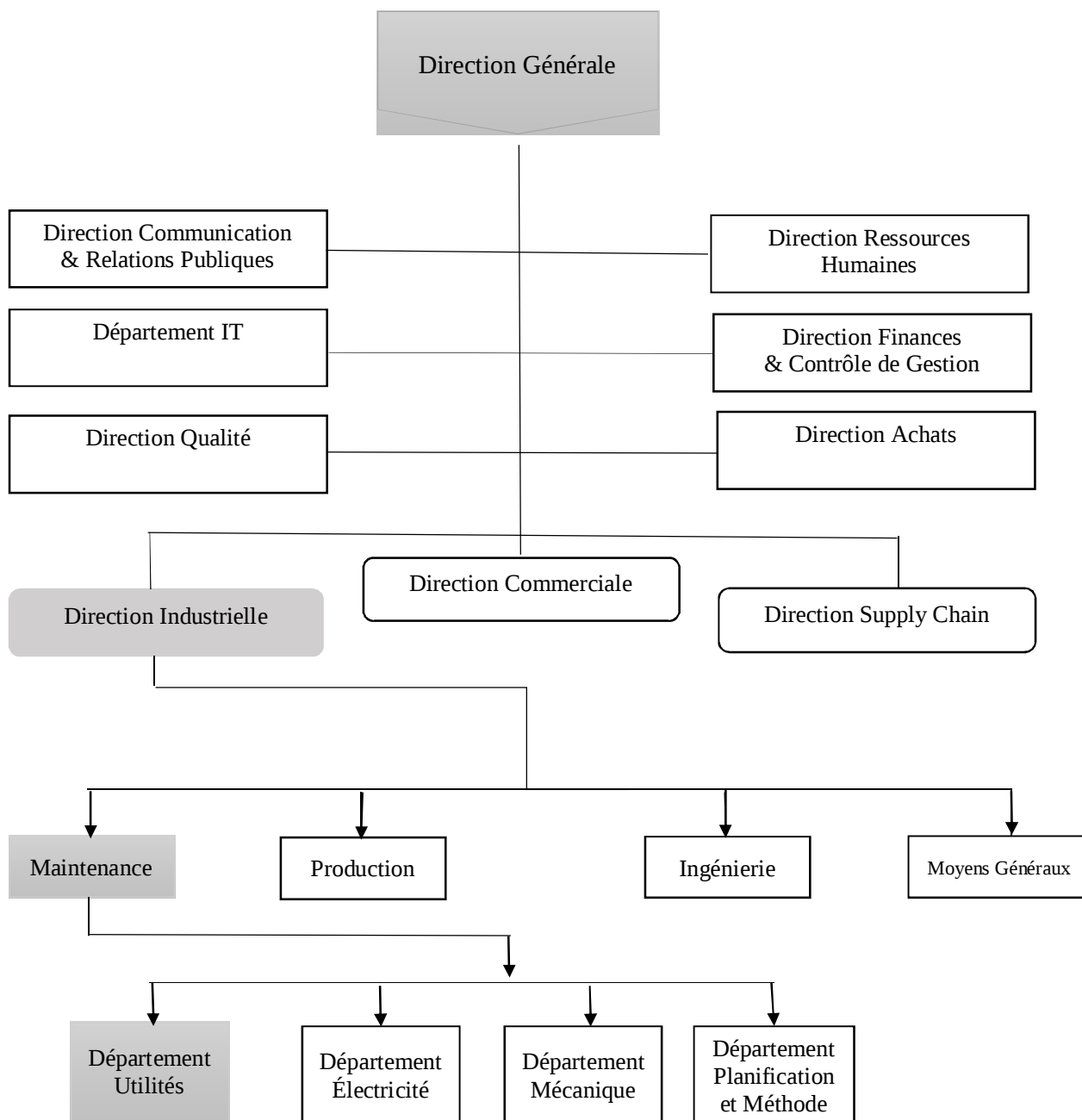
Fruitall Coca Cola offre à ses collaborateurs un excitant challenge avec un plan de développement ambitieux, en leur permettant de mettre toutes leurs aptitudes et expertises au service de l'une des entreprises qui compte parmi les plus dynamiques du marché Algérien.

➤ Description Service Utilités

Le département utilités est considéré comme le cœur d'une usine. Il a le rôle de fournir des différentes énergies et fluides pour le fonctionnement d'une industrie. Le service utilités de la Fruitall Coca Cola ECCBC est composée de :

- Une station de production d'air comprimé composée de 4 compresseurs à 7 bars et 4 compresseurs à 40 bars ;
- Une station de production de vapeur composée de 3 chaudières ;
- Une station de stockage de dioxyde de carbone (CO₂) composée de 4 citernes ;
- Une station de froid industrielle composée de 5 compresseurs ;
- Une station de traitement des eaux ;
- Une station de Siroperie.

Organigramme Fruitall Coca Cola ECCBC



CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES MODES DE RUPTURE ET D'ENDOMMAGEMENT

I.1. Introduction

La mécanique de la rupture a pour objet essentiel l'étude des fissures macroscopiques. Elle s'applique lorsqu'il existe dans le matériau des discontinuités telles dans la matière qu'elles viennent modifier l'état de contrainte, déformation et déplacement, si bien que l'homogénéisation du milieu n'a plus de sens. [4]

La séparation en deux parties disjointes d'un corps se produit à la suite de la phase d'amorçage, qui a vu le développement de microcavités, microfissures sous l'action de sollicitations mécaniques, thermiques, chimiques. La propagation de la ou des fissures macroscopiques peut conduire à la séparation complète de plusieurs morceaux ou bien au contraire les fissures peuvent s'arrêter. [4]

Le mode de rupture peut être fragile, la rupture se produisant alors souvent sans déformation plastique, ou ductile, en présence d'une déformation plastique importante.

I.2. Aperçu sur la rupture [8]

La rupture est un problème auquel l'homme aura à faire face aussi longtemps qu'il construira des édifices ou fabriquera des structures. Ce problème est actuellement plus crucial avec le développement de structures complexes lié au progrès technologique. Les avancées dans la connaissance de la mécanique de la rupture permettent aujourd'hui et plus précisément depuis le milieu du 20e siècle, de mieux prévenir le risque de rupture.

Cependant, beaucoup de mécanismes de rupture sont encore mal connus notamment lorsqu'on utilise de nouveaux matériaux ou de nouveaux procédés. Le coût des ruptures catastrophiques représente, d'après une étude économique de début des années 80, près de 4% du PNB dans les pays industriels développés. On pourrait réduire ce coût d'environ 30% si on appliquait correctement les concepts connus de la mécanique de la rupture et de 25% supplémentaires par le développement des recherches dans le domaine de la rupture.

On distingue deux catégories de rupture des structures :

- Soit une négligence dans la conception, dans la construction ou dans l'utilisation de la structure
- Soit l'utilisation d'un nouveau matériau ou d'un nouveau procédé, qui peut provoquer une rupture inattendue.

Dans le premier cas, le risque de rupture peut être évité dès lors que la structure est bien dimensionnée avec un choix de matériaux adaptés et que les chargements sont correctement évalués.

Dans le deuxième cas, la prévention de la rupture est plus délicate. Lorsqu'on utilise un nouveau matériau ou un nouveau procédé, il y a souvent un certain nombre de facteurs que le concepteur ne maîtrise pas toujours car la mise en œuvre de nouvelles techniques, bien qu'elle procure des avantages, conduit inévitablement à des problèmes potentiels.

Un exemple bien connu du deuxième cas est la rupture de ce qu'on appelait les bateaux de la liberté pendant la deuxième guerre mondiale. Ces bateaux, dont la coque était assemblée par soudage et non par rivetage, coûtaient moins chers et étaient fabriqués plus rapidement.

Ce changement de procédé de fabrication qui constituait un progrès indéniable, conduisait cependant à des ruptures catastrophiques qui se développaient dans les joints de soudure.

Aujourd'hui, la plupart des bateaux sont assemblés par soudage mais le progrès des connaissances et l'utilisation des doubles coques en aciers plus adaptés permettent de mieux maîtriser ce risque de rupture.

I.3. Définition rupture [6]

Le mécanisme de rupture est un processus mécanique produisant au sein d'un matériau une discontinuité locale de matière appelée fissure. Il est usuel de parler d'initiation de la rupture et de propagation de la rupture. Par rapport au facteur temps.

On distingue deux types de rupture :

- **rupture fragile** : la rupture fragile est caractérisée par l'absence de déformation plastique macroscopique, et donc par la propagation très rapide possible des fissures (consommation d'énergie faible).
- **rupture ductile** : la rupture ductile semble liée essentiellement à la présence d'inclusion ou de précipités. Dans ce mode de rupture, la déformation plastique macroscopique est en général importante (consommation d'énergie grande).

I.4. Mode de rupture [6]

La propagation d'une fissure peut se faire suivant trois modes de déplacement des faces de la fissure dans un plan défini. Elle peut aussi se faire suivant des modes mixtes qui les combinent tous les trois. La figure (I.1) illustre les trois modes de rupture.

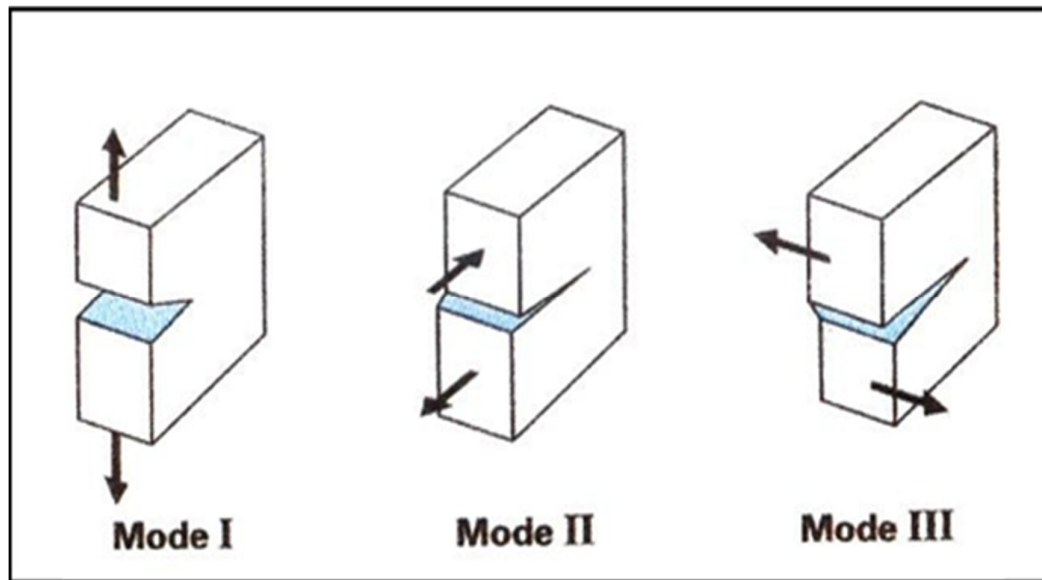


Fig. I. 1 - Schématisation des trois modes de rupture [6]

- **Mode I** : les surfaces de la fissure se déplacent perpendiculairement l'une par rapport à l'autre, c'est le mode par ouverture.
- **Mode II** : les surfaces de la fissure se déplacent dans le même plan, et dans une direction perpendiculaire au front de fissure. Il est appelé aussi mode par glissement droit.
- **Mode III** : les surfaces de la fissure se déplacent dans le même plan et dans une direction parallèle au front de fissure, c'est le mode de glissement vis.

Le mode I est considéré comme le plus dangereux en raison de l'ouverture par traction qui favorise l'initiation et la propagation des fissures. C'est le type le plus répandu dans le cas des matériaux fragiles. Par conséquent, il est le plus étudié.

I.5. Modes d'endommagement et de rupture

L'endommagement est l'apparition dans un matériau de dommages causés par l'usure ou une attaque physique ou chimique. Il conduit à une dégradation de ses capacités physiques pouvant conduire à la rupture. À mesure que les événements physiques se succèdent, la capacité d'un système physique à les supporter diminue et le dommage subi augmente.

Le dommage, ou le niveau d'endommagement, est un nombre qui caractérise le degré d'avancement de la dégradation qui précède une défaillance. Historiquement cette notion a été

introduite lors de l'étude de la fatigue des matériaux. Les défaillances sont dans ce cas des ruptures (traction, torsion, flexion, etc.). [5]

Une défaillance est un dysfonctionnement dont l'origine et la nature sont bien déterminés, comme la rupture d'une pièce ou l'usure d'une région particulière d'une surface. Une même pièce peut avoir plusieurs défaillances. Pour un système complexe, les défaillances sont celles de chacune de ses pièces ainsi que celles associées à l'assemblage des diverses parties. Nous verrons plus loin qu'on peut aussi définir le dommage causé par un événement : c'est la contribution de cet événement au dommage de la défaillance considérée.

I.5.1. Modes de chargement

On distingue plusieurs modes de chargement des structures : chargement monotone, chargement cyclique et chargement constant. Chaque mode de chargement correspond à un mode de ruine particulier.

- **Chargement monotone** : Dans ce cas le chargement croît de façon continue. Le chargement peut consister en un déplacement imposé ou une charge imposée. Dans le cas linéaire (élasticité) les deux cas sont similaires. Dans le cas d'un comportement plastique, il existe une charge limite que la structure ne peut pas dépasser. Dans le cas d'un chargement en force, il y a rupture brutale par instabilité plastique (figure I.2). Il peut s'agir, par exemple, du cas d'un réservoir dont on augmente la pression.

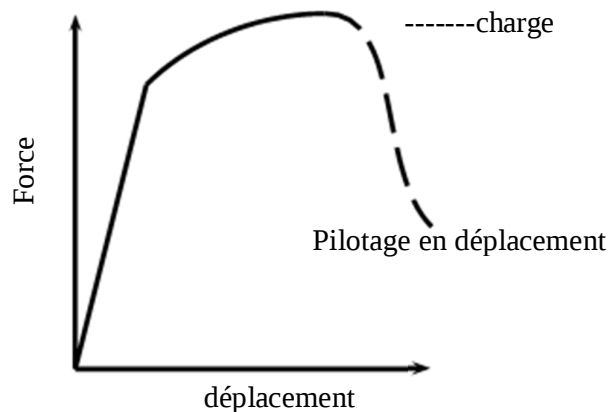


Fig. I. 2 - Charge limite et mode de pilotage du chargement [5]

- **Chargement cyclique** : La charge ou le déplacement varient de façon cyclique au cours du temps. La rupture est différée ; elle n'interviendra qu'au bout d'un nombre de cycles dépendant de la sévérité du chargement (figure I.3). On parle de *fatigue*. Des

nombreuses structures sont sollicitées en fatigue : moteurs, pneus, ailes d'avions, hélices de bateau etc.

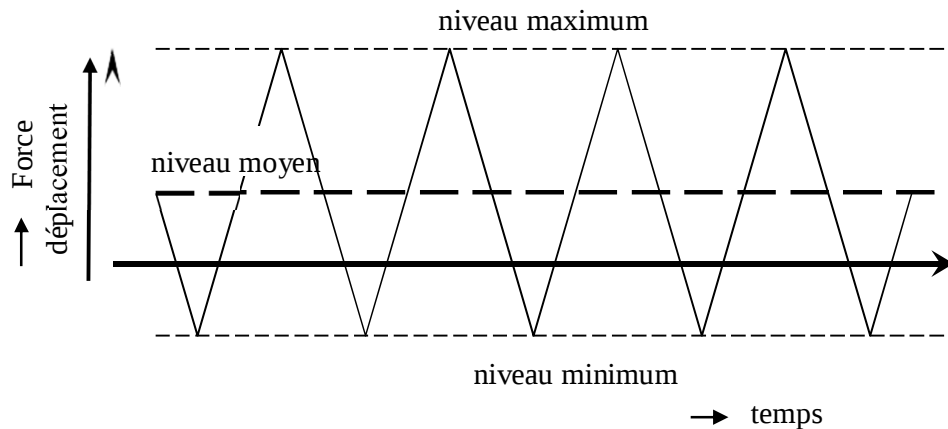


Fig. I. 3 - Chargement cyclique [5]

- **Chargement constant** : Dans ce cas une charge constante est appliquée sur une structure généralement à haute température (c'est à dire pour $T/T_f > 0.5$). Dans ce cas la structure flue. On se trouve également dans un cas de rupture différée.
- **Chargements complexes** : Dans certains cas, le chargement peut être plus complexe que dans les cas précédents. Une structure à haute température peut voir son niveau de charge varier au cours du temps. On parle alors d'interaction fatigue– fluage. Une structure en fatigue dans laquelle se propage lentement une fissure peut subir une surcharge qui entraîne la rupture en charge limite. [5]

I.5.2. Classes de matériaux vis-à-vis de la rupture

Pour un essai sous chargement monotone d'une éprouvette de traction simple, on peut distinguer différents types de modes de rupture :

- **Rupture élastique fragile** : le comportement global est linéaire élastique et la rupture intervient de façon brutale (c.-à-d. sans signes d'avertissement). Les déformations à la rupture sont généralement faibles. Les matériaux ayant ce type de comportement sont les céramiques et les verres.
- **Rupture quasi fragile** : le comportement global est non linéaire. Des décharges partielles indiquent une forte perte de rigidité qui révèle des microfissurations du

matériau tel que : composites, céramiques (en particulier les composites en céramique), les bétons.

- **Rupture plastique fragile** : ce type de matériau se rompt brutalement pour des déformations relativement faibles. C'est le cas des métaux de type cubique centré ou hexagonal lorsque la température est suffisamment faible.
- **Rupture ductile** : ce type de matériau se rompt progressivement. Une fissure peut s'amorcer au sein de la matière. L'endommagement peut être relativement important. Les métaux cubiques à faces centrées ont ce comportement. Les métaux de type cubique centré sont ductiles pour une température suffisamment élevée.

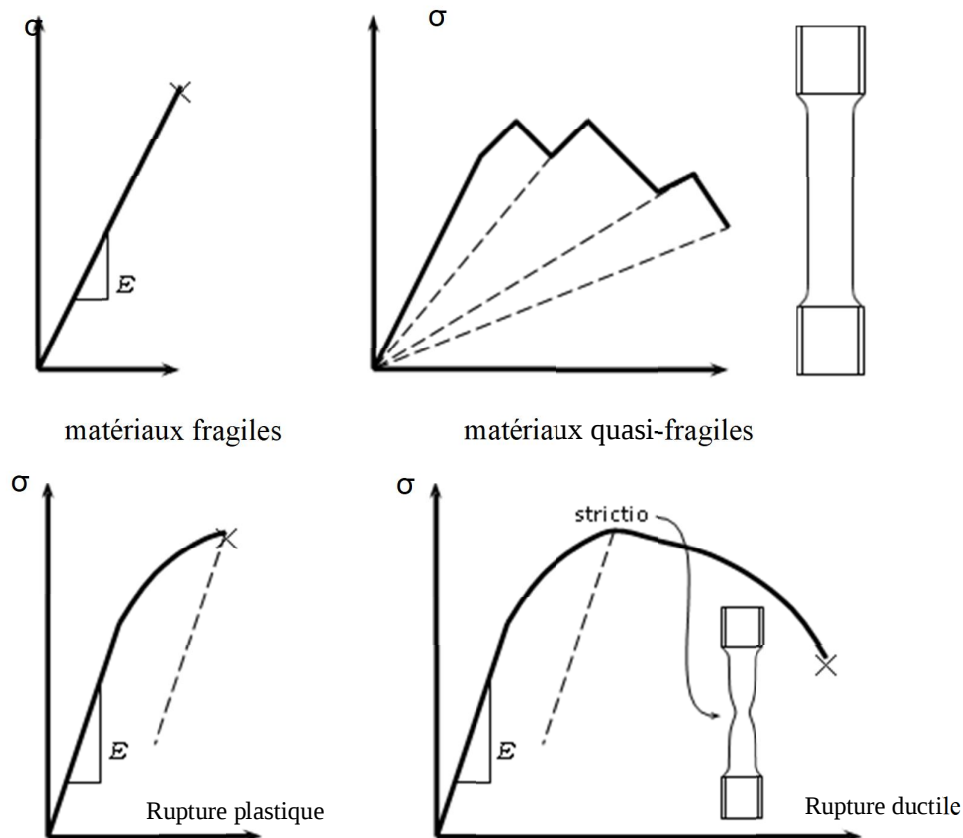


Fig. I.4. Classes de matériaux vis-à-vis de la rupture en sollicitation monotone [5]

I.5.3. Aspects microscopiques de la rupture

Dans cette partie, les faciès de rupture correspondant aux différents modes de rupture ainsi qu'aux différents matériaux sont présentes. L'observation des faciès est importante pour déterminer l'origine de la rupture. Elle peut se révéler très utile lors d'expertises de pièces

ayant rompu. Compte tenu de la diversité des modes de rupture des matériaux, les exemples suivants ne prétendent pas à l'exhaustivité. [5]

De manière générale, les faciès de rupture peuvent être examinés à deux échelles différentes :

- faciès macroscopique à l'échelle de la pièce,
- faciès microscopique à l'échelle de la microstructure.

Les deux observations peuvent contribuer à la détermination des modes de rupture.

I.5.3.1. Rupture fragile

➤ Céramiques

La figure I.5 illustre la rupture des céramiques fragiles. Celle-ci s'amorce en général sur des défauts apparus lors de la fabrication du matériau (pores, microfissure, etc.). La rupture peut être inter granulaire ou intra granulaire. Le faciès macroscopique est souvent plat et lisse.

➤ Métaux

La figure I.6 illustre la rupture fragile des métaux (CC et HC). Deux modes de ruptures peuvent être observés : le clivage qui correspond à une rupture intra granulaire et la rupture inter granulaire. Cette dernière est moins fréquente mais peut être observée en cas de ségrégation (par exemple de S ou P) aux joints de grain. Le faciès macroscopique est souvent plat et lisse.

I.5.3.2. Rupture quasi-fragile

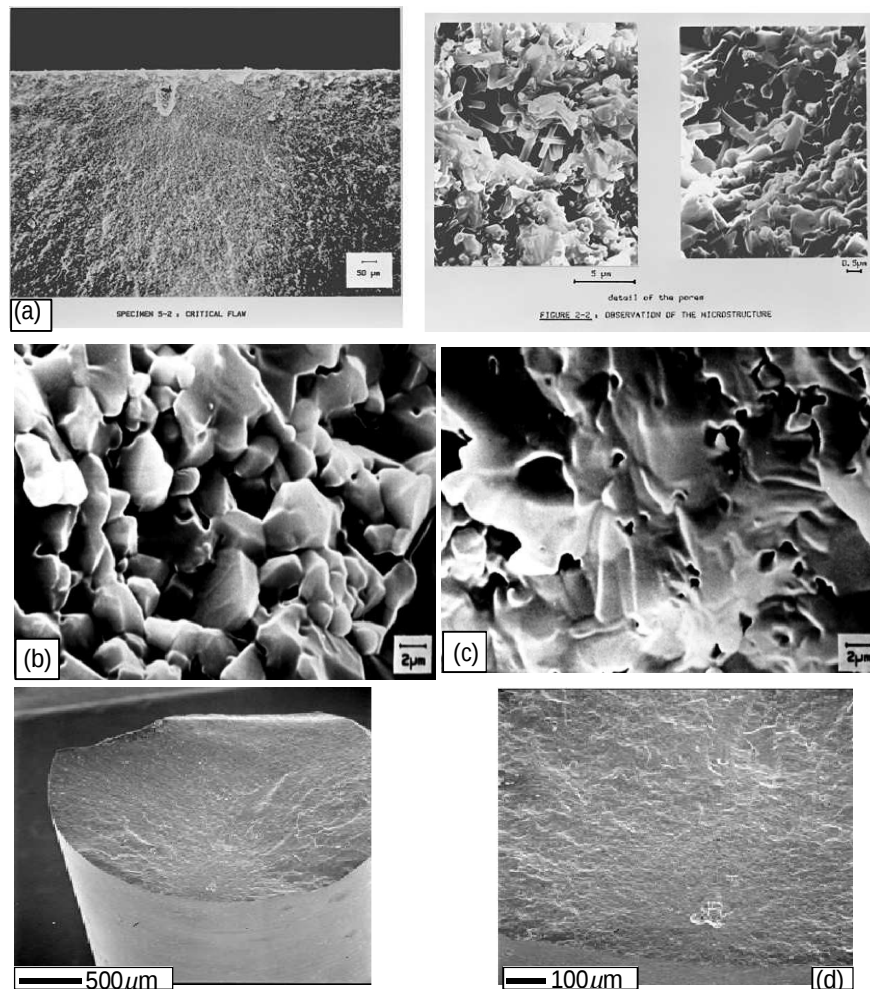
La figure I.7 donne un exemple de rupture d'un composite "SiC-SiC", c'est à dire d'un composite contenant des fibres de carbure de silicium (SiC) maintenues par une matrice de SiC déposée en phase vapeur. On constate une fissuration de la matrice, un déchaussement des fibres ainsi que la rupture des fibres. La rupture de l'interface fibre/matrice permet de dévier des fissures apparues dans la matrice et favorise un endommagement diffus. Le frottement fibre/matrice lors du déchaussement est également un phénomène dissipatif qui permet d'augmenter la résistance du matériau.

I.5.3.3. Rupture ductile

La figure I.8 illustre l'allure d'une surface de rupture correspondant à un mode ductile dans le cas d'un acier X100 et d'un alliage d'aluminium 2024. On distingue dans les deux cas des cupules dont le fond est souvent occupé par une inclusion. Le faciès macroscopique est souvent rugueux, terne et chaotique.

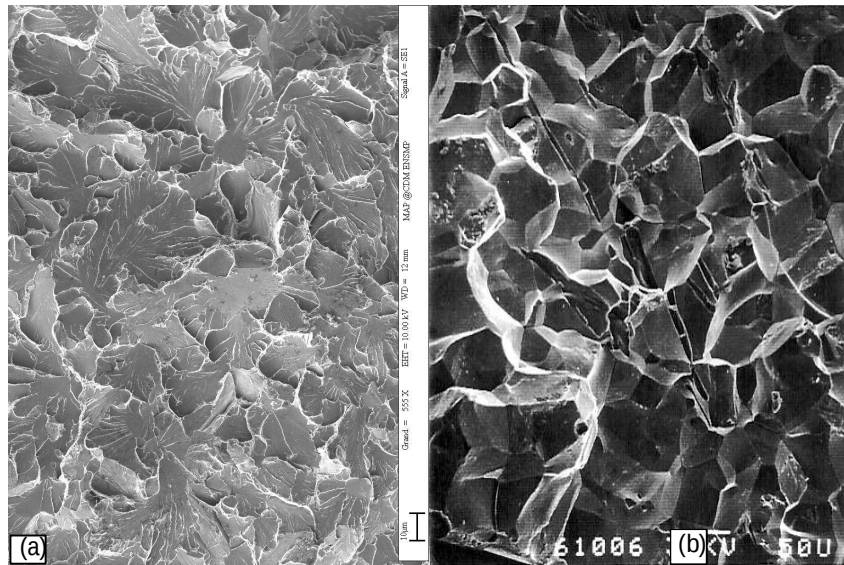
I.5.3.4. Rupture en fluage

La rupture en fluage est observée dans de nombreux matériaux dès que la température est assez élevée. La figure I.9 illustre les modes d'endommagement dans un acier austénitique et dans une céramique réfractaire.



a) Rupture dans un nitrure de silicium à partir d'un défaut de frittage ; b) rupture inter granulaire dans un carbure de silicium ; c) rupture intra granulaire dans un carbure de silicium ; d) rupture dans carbure de silicium à partir d'un défaut.

Fig.I.5. Exemples de rupture fragile dans les céramiques [5]



- a) rupture en clivage (intra granulaire) ;
- b) rupture inter granulaire.

Fig. I.6. Exemples de rupture fragile dans les métaux [5]

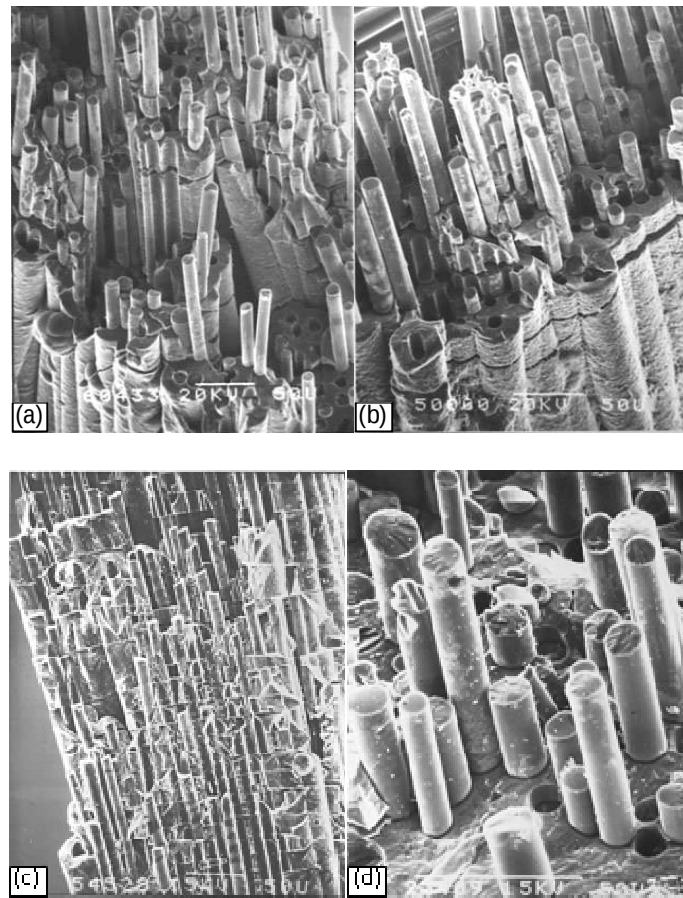
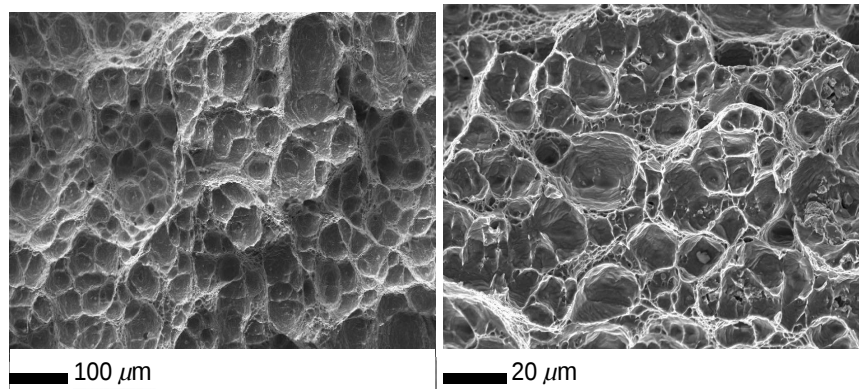
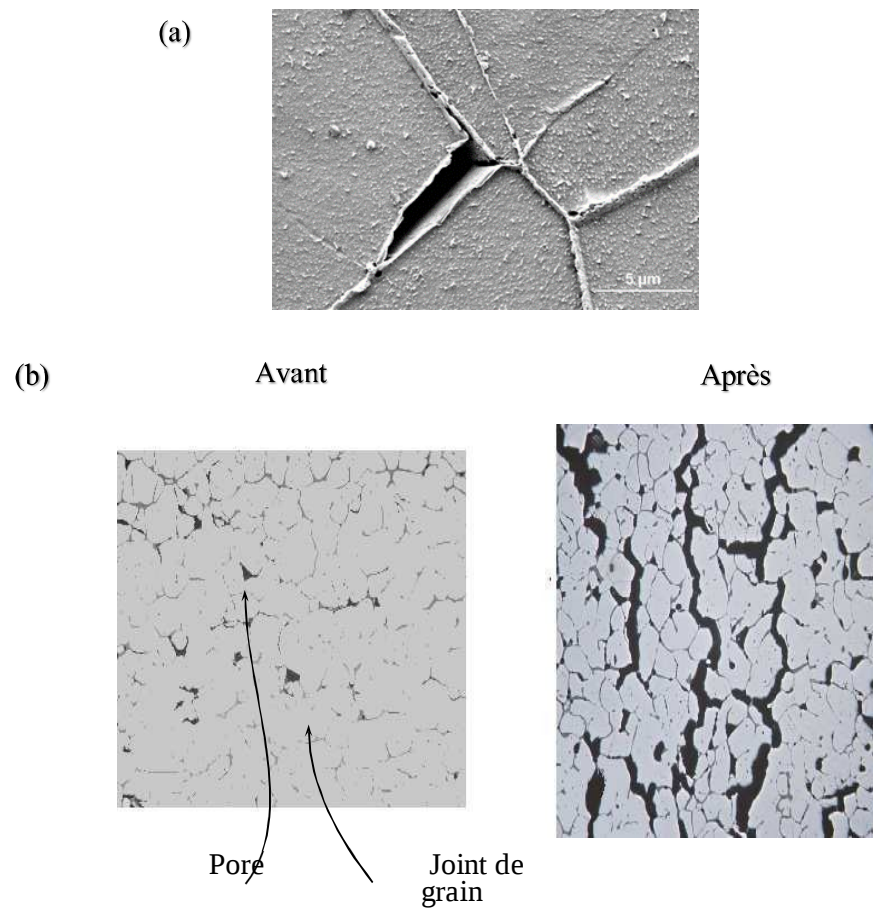


Fig. I.7. Rupture quasi-fragile : composite SiC-SiC [5]



- a) acier X100 ;
b) alliage d'aluminium 2024.

Fig. I.8. Rupture ductile [5]



- a) acier austénitique ;
b) céramique réfractaire.

Fig. I.9. Endommagement en fluage [5]

I.5.3.5. Rupture en fatigue

Le faciès macroscopique est généralement lisse. L'observation du faciès microscopique peut révéler des stries de fatigue (figure I.10). Chaque strie correspond à l'avancée de la fissure durant un cycle. L'observation des stries permet donc de remonter à la vitesse de fissuration macroscopique.

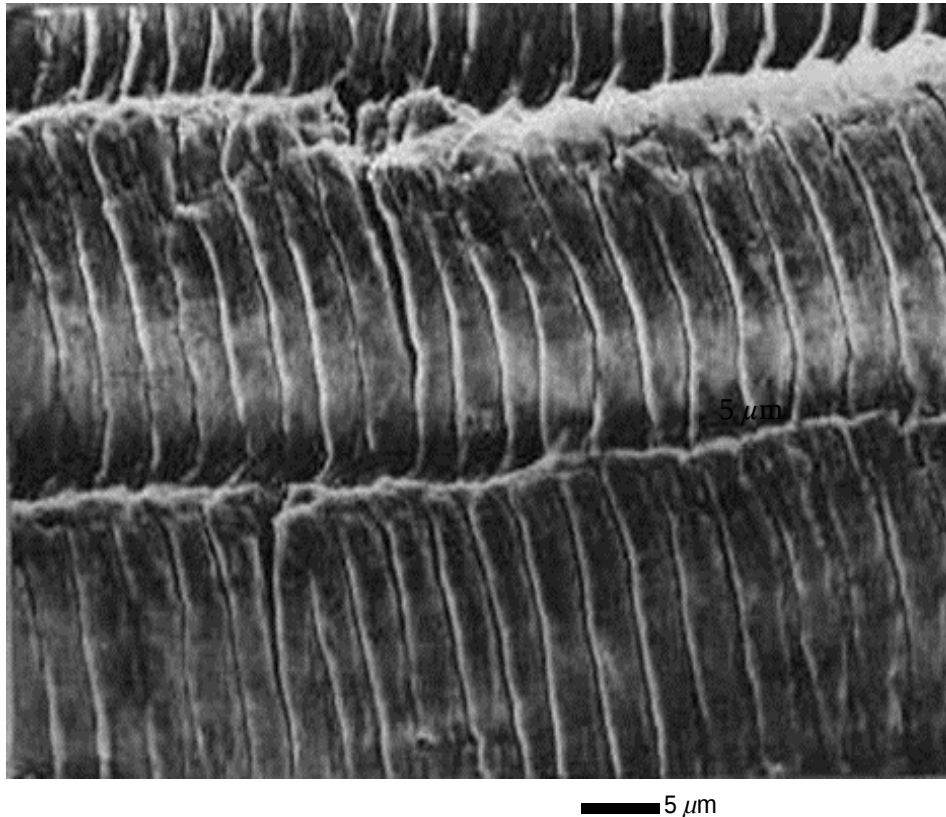


Fig. I.10. Stries de fatigue [5]

I.5.3.6. Rupture des polymères

Comme les métaux, les polymères peuvent rompre selon un mode fragile ou un mode ductile. Il existe une zone de transition en température et vitesse de sollicitation entre les deux modes. Ces modes sont illustrés à la figure I.11 dans le cas d'un PVDF ($\text{—CH}_2\text{—CF}_2\text{—}$).

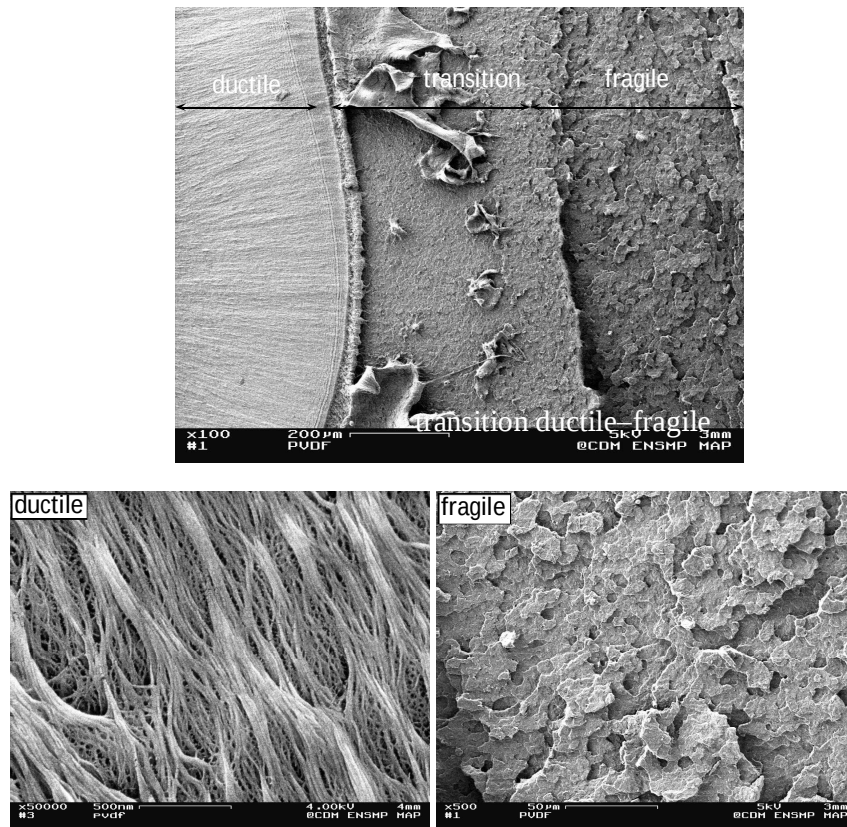


Fig. I.11. Rupture d'un polymère PVDF [5]

I.6. Conclusion

La rupture peut résulter de l'existence de défauts de fabrication comme des inclusions ou des vides dans le matériau ou encore des zones d'endommagement à partir desquels des fissures naissent puis se propageront pour parvenir à une taille où la structure atteint la ruine.

La rupture peut se produire aussi brutalement suite à la fragilité du matériau, souvent elle se produit sans déformation plastique. L'énergie nécessaire pour son apparition est caractérisée par la notion de résilience (rapport de l'énergie nécessaire pour rompre une pièce et sa section de rupture), dans le cas des matériaux ductiles, la possibilité de la rupture est plus élevée.

CHAPITRE II

PRÉSENTATION DU COMPRESSEUR

II.1. Introduction

Un compresseur est une machine qui a pour fonction d'élever la pression du fluide compressible qui le traverse. Son nom traduit le fait que le fluide se comprime (son volume diminue) au fur et à mesure de l'augmentation de pression.

Les compresseurs sont utilisés dans de nombreux domaines comme par exemple l'industrie alimentaire. De l'air comprimé peut entre autres être utilisé pour contrôler les électrovannes des secteurs de transport et d'emballage ou pour procéder aux opérations de séchage ou de nettoyage.

Dans ce chapitre on présente la classification des différents types de compresseurs à noter les compresseurs à pistons et la description du compresseur sujet de notre étude.

II.2. Définition et classification générale [1]

Les compresseurs sont des appareils destinés à réaliser un accroissement de pression d'un fluide à l'état gazeux.

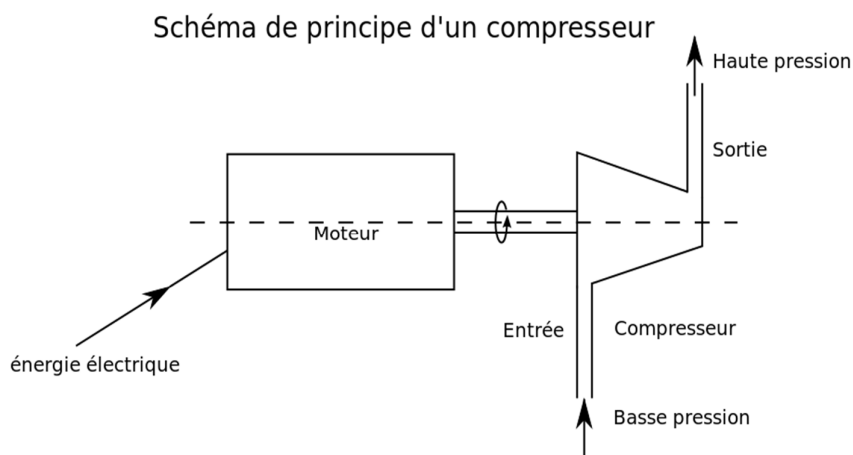


Fig. II.1. Principe d'un compresseur [3]

Les fluides traversant les compresseurs peuvent être de nature diverse : gaz pur, mélange gazeux, vapeur surchauffée ou saturée.

L'équation fondamentale :

$$pv = RT, \text{ où } (1)$$

R- la grandeur qui conserve une valeur fixe pour un gaz parfait donné (constante spécifique du gaz), tandis que pour un fluide gazeux non assimilable à un gaz parfait elle varie avec les grandeurs p et T.

P- est la pression ;

V- est le volume ;

T- est la température absolue.

La relation (1) montre immédiatement que pour augmenter la pression d'un gaz, on peut agir soit sur sa température, soit sur son volume, soit encore pour ces deux grandeurs à la fois. Examinons d'abord le premier de ces moyens. En chauffant une masse donnée de gaz dans une enceinte de volume constant, on obtient un accroissement simultané de température et de pression. Pour une dépense de chaleur égale à θ Kcal/kg, l'élévation de température résulte de la relation :

$$\theta = C_v (T_2 - T_1) \quad (2)$$

Où C_v – est la chaleur spécifique du gaz a volume constant.

La pression finale P_2 est donnée par :

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (3)$$

Où les indices 1 et 2 correspondent aux états initial et final du gaz.

Particularité : le gaz chaud doit être utilisé immédiatement par exemple le cas de la turbine à explosion.

Si la température d'un gaz est maintenue constante, sa pression est inversement proportionnelle au volume spécifique ; un accroissement de pression peut donc être obtenu au moyen d'une réduction du volume occupé par le gaz. Dans ce cas l'élévation de pression résulte d'une compression, c'est à dire d'une action directe sur le volume d'une masse gazeuse donnée. La diminution du volume du gaz conduit toujours à un accroissement de la pression.

Les appareils fonctionnant suivant ce principe sont des **compresseurs volumétriques**. Dans ces appareils, l'énergie nécessaire pour produire l'élévation de pression est dépensée

sous forme de travail qui est fourni par un moteur d'entraînement (moteur thermique, électrique, etc...).

A leur tour les compresseurs volumétriques sont divisés en deux types : **alternatifs et rotatifs**.

Dans les **turbocompresseurs** l'élévation de pression résulte précisément d'une action sur la vitesse du fluide. Ici encore, l'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur est dépensée sous forme de travail, celui-ci est transformé en énergie cinétique du fluide à comprimer, et cette dernière à son tour, est transformée en pression. La mise en vitesse est obtenue en soumettant le fluide à l'action de roues à aubes qui sont calées sur un arbre ayant habituellement une grande vitesse de rotation. Au point de vue de l'écoulement du fluide dans le compresseur, les turbocompresseurs se divisent en appareils **centrifuges et axiaux**. Certains turbocompresseurs sont d'un type mixte : le fluide entre dans ces appareils suivant une direction parallèle à l'axe de rotation et, ensuite s'éloigne de l'axe vers la périphérie.

Finalement on a la classification des compresseurs :

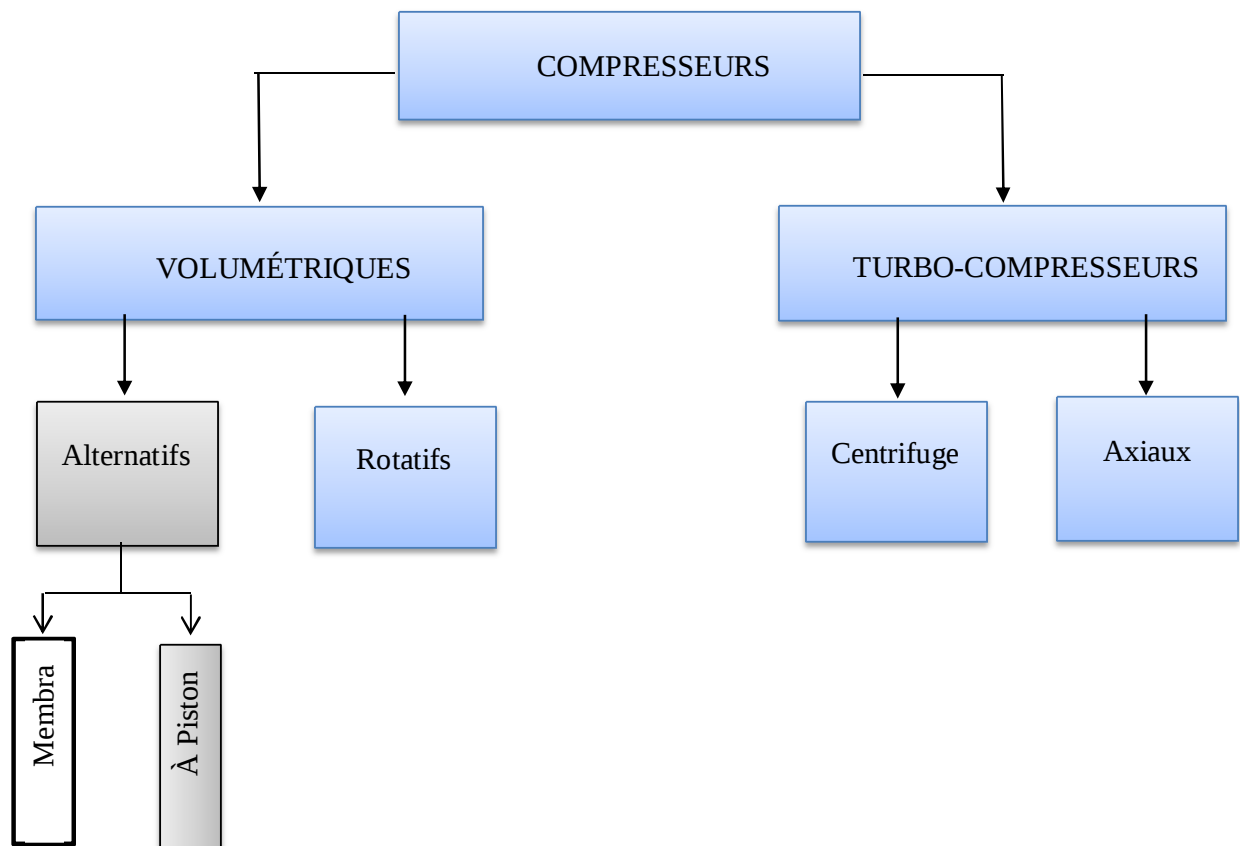


Fig. II.2. Classification des compresseurs [1]

II.2.1. Avantages et inconvénients des différents types de compresseurs

Tableau II.1 Avantages et inconvénients des différents types de compresseurs [3]

Types de compresseur	Compresseurs volumétriques		Turbo - compresseurs	
	Alternatifs	Rotatifs	Centrifuge	Axiaux
Avantages	Bien adaptés aux petits débits ; Peuvent véhiculer du gaz à toutes les pressions ; Relativement souple à exploiter ;	Peuvent véhiculer du gaz dans une large plage de débit ; Débit régulier ; Fiabilité satisfaisante ;	Bien adaptés aux moyens et grands débits de gaz ; Relativement souple à exploiter ; Excellente fiabilité ;	Très bon rendement ; Bien adaptés aux très grands débits et aux pressions modérées ; Excellente fiabilité
Inconvénients	Débit pulsé ; Fiabilité moyenne au niveau des soupapes ; Avoir une machine en secours ;	Peu appliqué aux hautes pressions ;	Pas adapté aux faibles débits ; Phénomène de pompage à faible débit rend l'exploitation délicate	Rotors de grande taille, délicats à construire et coûteux

II.3. Les compresseurs à piston [3]

Les compresseurs à piston avec système bielle-manivelle sont les plus connus et les plus utilisés. Son principe de fonctionnement est basé sur la variation de volume et la compression du gaz obtenues par le mouvement alternatif d'un piston à l'intérieur d'un cylindre, ce mouvement étant créé par un système bielle-manivelle.

Les premiers compresseurs sont d'écoulés de la construction des machines à vapeur, en position horizontale, avec une ou deux lignes disposés de part et d'autre d'un volant, vers le 19^{ième} siècle, la connaissance de principe de la thermodynamique a permis de voir l'intérêt

d'une compression multi-étages équipée d'un système de refroidissement intermédiaire. Des clapets automatiques ont été ensuite utilisés à fin d'augmenter les performances et de réduire l'encombrement du compresseur.

Les compresseurs à piston comportent un moteur électrique qu'entraînent un ou plusieurs pistons dans un cylindre au moyen d'une bielle et d'un vilebrequin. C'est un mouvement d'avant en arrière qui permet de comprimer l'air.

On trouve les compresseurs à pistons dans toutes les industries : alimentaire, chimie, pétrole, électronique, verrerie, fonderie etc.

II.3.1. Principe de fonctionnement des compresseurs à piston

Dans un compresseur à pistons, chaque piston a un mouvement alternatif dans un cylindre. Lors de l'aller, le piston aspire l'air à une certaine pression puis le compresse au retour. Pour cela chaque piston est muni d'une entrée et d'une sortie à clapet antiretour.

Le clapet d'admission ne peut laisser passer l'air que vers la chambre du piston. À l'inverse le clapet d'échappement ne peut laisser passer le fluide que vers le circuit extérieur. De plus, le clapet d'échappement a une certaine résistance de façon à ce qu'il ne s'ouvre que quand la pression à l'intérieur de la chambre du cylindre a une valeur suffisante.

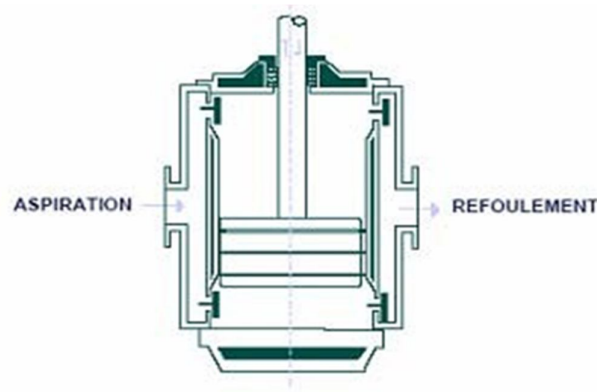


Fig. II.3. Cylindre – Piston [3]

Le fonctionnement se présente comme suit :

- le piston "descend", la dépression créée à l'intérieur du cylindre entraîne l'ouverture du clapet d'admission et l'air est aspiré. Le clapet d'échappement est fermé car il ne marche que dans un sens (le clapet est conçu fermé).

- le piston commence sa "remontée", l'air commence à comprimer car il ne peut sortir par le clapet de refoulement. Il se comprime car la "remontée" du piston diminue le volume dans le cylindre.
- la pression d'air atteint la pression voulue, cette pression est suffisante pour ouvrir le clapet d'échappement et l'air sous pression s'échappe donc. Le piston finissant sa remontée, il chasse l'air tout en maintenant sa pression.
- un nouveau cycle recommence alors, le clapet d'échappement se fermant lorsque le piston redescend.

Un compresseur à piston est souvent muni de plusieurs pistons dont les phases d'admission et d'échappement sont décalées pour avoir une sortie d'air constante dans le compresseur.

En effet, pour chaque piston la sortie d'air comprimé n'occupe qu'une petite partie du cycle.

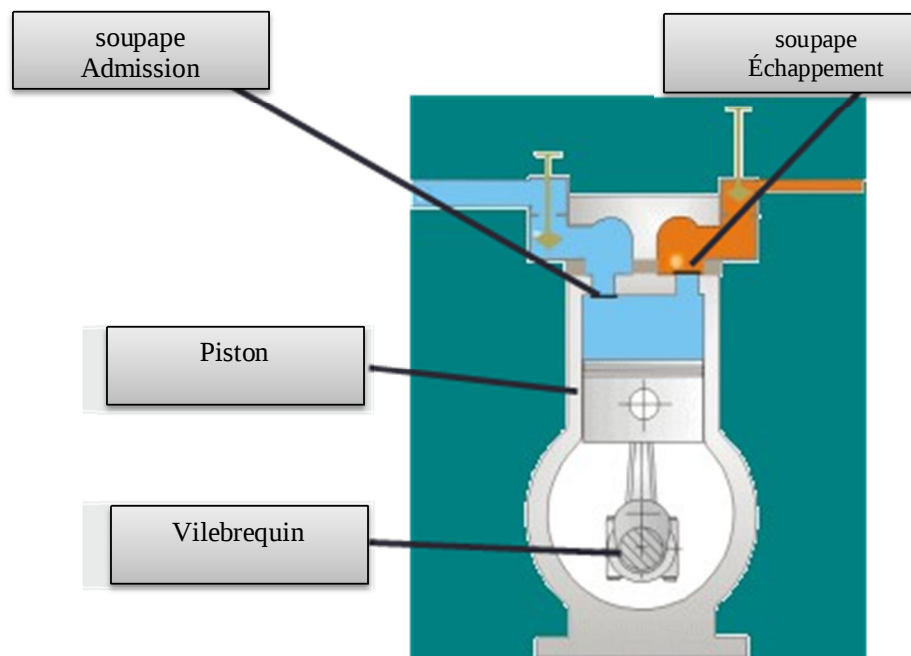


Fig. II.4. L'ensemble cylindre – piston – clapets [3]

II.3.2. Classification des compresseurs à piston

On classe les compresseurs à piston d'après différents indices :

- 1) disposition des cylindres (horizontale, verticale et en coin) ;
- 2) nombre de cylindres (monocylindriques, polycylindriques-en série et en parallèle) ;
- 3) principe de fonctionnement ;
- 4) partie d'entraînement (bielle et manivelle, moteur-compresseur quand le moteur à gaz et le compresseur ont l'arbre vilebrequin commun, compresseurs à pistons libres ou bien diesel compresseur) ;
- 5) méthode de refroidissement (par l'air, par l'eau) ;
- 6) méthode de graissage (barbotage, sous pression) ;
- 7) valeur de débit :
 - a) débit faible : $0 < q_v \leq 160 \text{ m}^3/\text{h}$;
 - b) débit moyen : $160 < q_v < 4000 \text{ m}^3/\text{h}$;
 - c) grand débit : $q_v \geq 4000 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 8) pression de refoulement :
 - a) basse pression $p < 25 \text{ bars}$ ($2,5 \text{ MPa}$) ;
 - b) moyenne pression $25 < p \leq 100 \text{ bars}$ ($\leq 10 \text{ MPa}$) ;
 - c) haute pression $p > 100 \text{ bars}$ ($> 10 \text{ MPa}$)

II.4. Le compresseur 37P34 [2]

C'est un compresseur à piston de type horizontal, comportant trois étages et 4 cylindres à double effet à cross, avec un refroidissement par l'eau et une méthode de graissage à circulation d'huile sous pression, conçu pour comprimer l'air d'une pression atmosphérique de 1 bar jusqu'à une pression de refoulement de 40 bars.

Le compresseur fournit un débit de $1194 \text{ m}^3/\text{h}$. Il est entraîné par un moteur électrique asynchrone triphasé à démarrage étoile/triangle et d'une puissance de 280 KW.

L'air comprimé est destiné à alimenter les souffleuses des bouteilles de la ligne PET 10-10 de Fruital Coca-Cola.



Fig. II.5. Compresseur 37P34 [2]

II.4.1. Les organes du compresseur

- **Bâti** : pour assurer l'ensemble des organes mécaniques. Fabriqués en fonte, du type fermé, fortement nervuré, il possède une réserve d'huile, équipé de paliers dont 2 côté volant et de portes de visite largement dimensionnées pour faciliter la maintenance ;
- **Volant d'inertie** : servant à régulariser la rotation du vilebrequin.
- **Arbre vilebrequin** : il reçoit l'effort transmis par les pistons et les bielles et fournit un mouvement circulaire. Réalisé en fonte ou acier estampé avec contrepoids monobloc évitant tout risque de désolidarisation en cours de fonctionnement et autorisant des courses de 150 à 165 millimètres. Garniture d'étanchéité côté volant.
- **Pompe à huile à engrenage** : attelée au vilebrequin, elle permet la distribution d'huile sous pression à l'intérieur du réseau de graissage.

- **Coussinets de ligne d'arbre** : servant à guider et à supporter des organes tournants. Du type mince revêtu d'anti friction avec bagues de butée. Double palier, placé côté volant.
- **Bielles** : elles transmettent la force du piston au vilebrequin. Fabriquées en acier forgé, avec chapeau rapporté boulonné sur le corps. Équipées de coussinets de tête de bielle du type mince revêtu de cuproplomb et de coussinets de pied de bielle en bronze dur.
- **Entretoise** : elle sert à faire une liaison entre le bâti et le cylindre. Elle est munies de bagues d'arrêt d'huile évitant le passage du lubrifiant de la partie mécanique vers les cylindres et de portes de visite largement dimensionnées pour accéder aux crosses.
- **Crosses** : elles assurent la transformation du mouvement rotatif du vilebrequin en mouvement alternatif. Elles sont reliées aux bielles à l'aide d'un axe appelé axe de crosse. Du type monobloc en fonte graphite-sphéroïdale.
- **Axe de crosse** : en acier traité en surface. Arrêté en translation par des circlips.
- **Cylindres** : ils sont conçus pour un échange thermique optimum entre la chambre de compression, les chapelles de soupapes et l'eau de refroidissement, et sont équipés de larges portes de visite pour permettre le nettoyage aisé des chambres d'eau. Les fonds de cylindre sont également refroidis par circulation d'eau.
- **Tiges de piston** : en acier, elles sont munies de déflecteur interdisant tout passage de lubrifiant dans le cylindre. Elle assure la liaison entre la crosse et le piston.
- **Piston** : il assure la compression de l'air, équipé des segments porteurs et d'étanchéité.
- **Garnitures mécaniques** : assurent la meilleure étanchéité possible entre la cellule de compression et l'extérieur à la sortie de la tige de piston du cylindre.
- **Soupapes (clapets)** : automatiques à disques avec ressorts et amortisseurs à grande section de passage utilisés très en dessous de leurs possibilités. Elles assurent la distribution d'air entre l'extérieur et l'intérieur de la cellule de compression tant à l'aspiration qu'au refoulement.
- **Réfrigérants** : du type a faisceau tubulaire dilatable et démontable, l'air circulant dans les tubes et l'eau à l'extérieur à contre-courant. Ils sont équipés d'anti pulsateur à l'entrée et de séparateur de condensats à la sortie munie d'un robinet de purge.
- **Collecteur d'air** : pour fournir à chaque cylindre, la quantité d'air nécessaire.

Le compresseur comprend également d'autres équipements complémentaires tels que :

- **Condenseurs** : pour refroidir l'eau au niveau de l'installation.
- **Ballon de stockage d'air** : pour accumuler et garantir une plus grande stabilité de pression de l'air.

- **Sécheur d'air** : pour diminuer la teneur en eau (sécher l'air).
- **L'armoire électrique** : elle regroupe l'ensemble de systèmes électriques nécessaires au démarrage du moteur d'entraînement, l'automate ainsi que les dispositifs de visualisation et de commande.
- **L'armoire régulation** : regroupant quatre thermostats de contrôle de la température d'air ou refoulement, un pressostat de contrôle de la pression d'huile et une électrovanne à trois voies (charge, vide et décharge) pour ?

II.4.2. Fonctionnement du compresseur 37P34

Le compresseur aspire de l'air atmosphérique muni d'un filtre à air. L'air aspiré passera à travers le clapet d'aspiration qui se trouve au niveau du cylindre du premier étage pour subir une opération de compression suivie d'un refoulement par l'effet du mouvement du piston (tout en sachant que le piston est à double effet arrière et avant).

L'air issu de cette étape aura une pression de 3 bars, au niveau de l'échangeur, un passage d'eau intervient lors du déplacement de l'air dans des tubes afin de le refroidir (à contre-courant).

À l'issue de cette étape, l'air passe au deuxième étage d'où il sera transmis à l'échangeur par l'effet de refoulement de piston à travers des clapets de refoulement avec une pression de 11 bars.

Une deuxième opération de conservation et de refroidissement suivie de refoulement est prévue à ce niveau pour faire passer la pression de l'air à 40 bars ; l'air récolté ne passe pas à l'étape d'exploitation qu'après avoir subi une déshumidification en le faisant passer à travers un sécheur d'air puis le stocker dans un ballon de 1.5 m³.

II.4.3. Cycle de compression

❖ 1^{er} temps

Lors du premier temps la chambre se remplit par les orifices B et C. Les orifices de refoulement B1 et C1 sont alors fermés.

Le refoulement de l'air emmagasiné se fait par les orifices A1 et D1 pendant que les orifices d'aspiration A et D sont fermés.

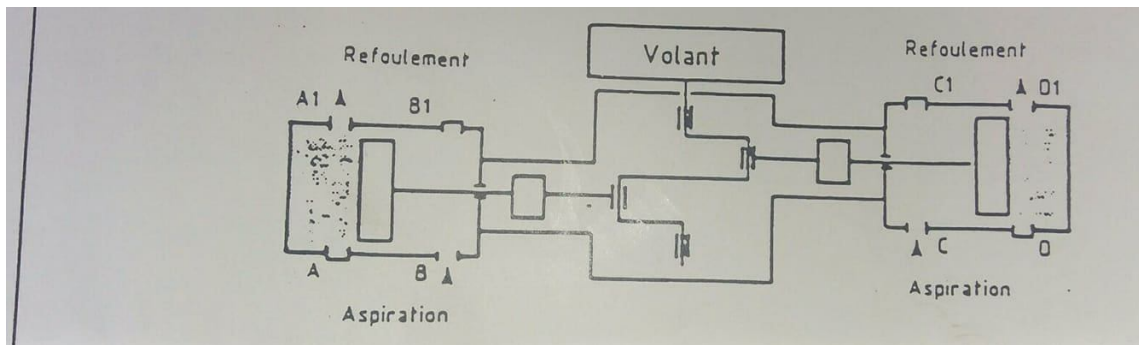


Fig. II.6. Cycle de compression 1^{er} temps [2]

❖ 2^{ème} temps

Lors du deuxième temps (après rotation du vilebrequin de 180°) l'air emmagasiné lors du premier temps s'évacue par les orifices de refoulement B1 et C1, les orifices d'aspiration B et C étant fermés.

La compression provoque un échauffement du gaz comprimé. La température de refoulement est en fonction de la nature de ce gaz, de sa température d'aspiration, du rapport de compression et du refroidissement des cylindres.

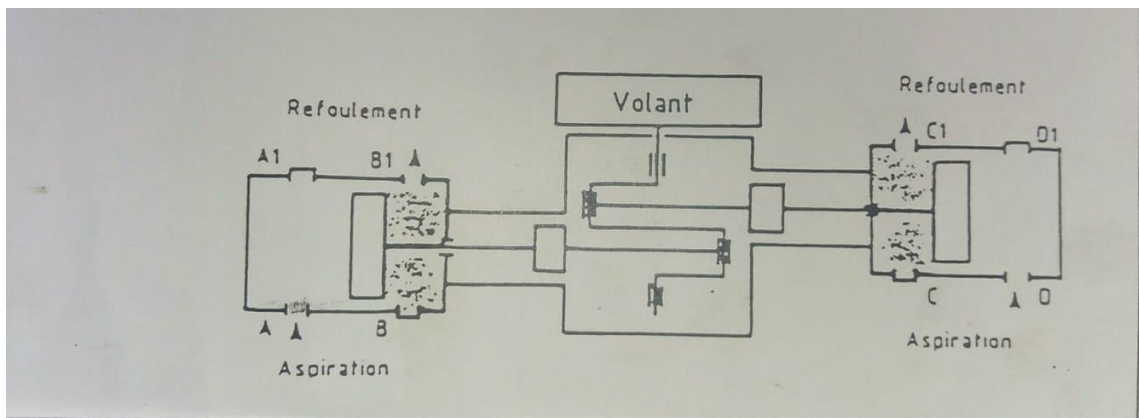


Fig. II.7. Cycle de compression 2^{ème} temps [2]

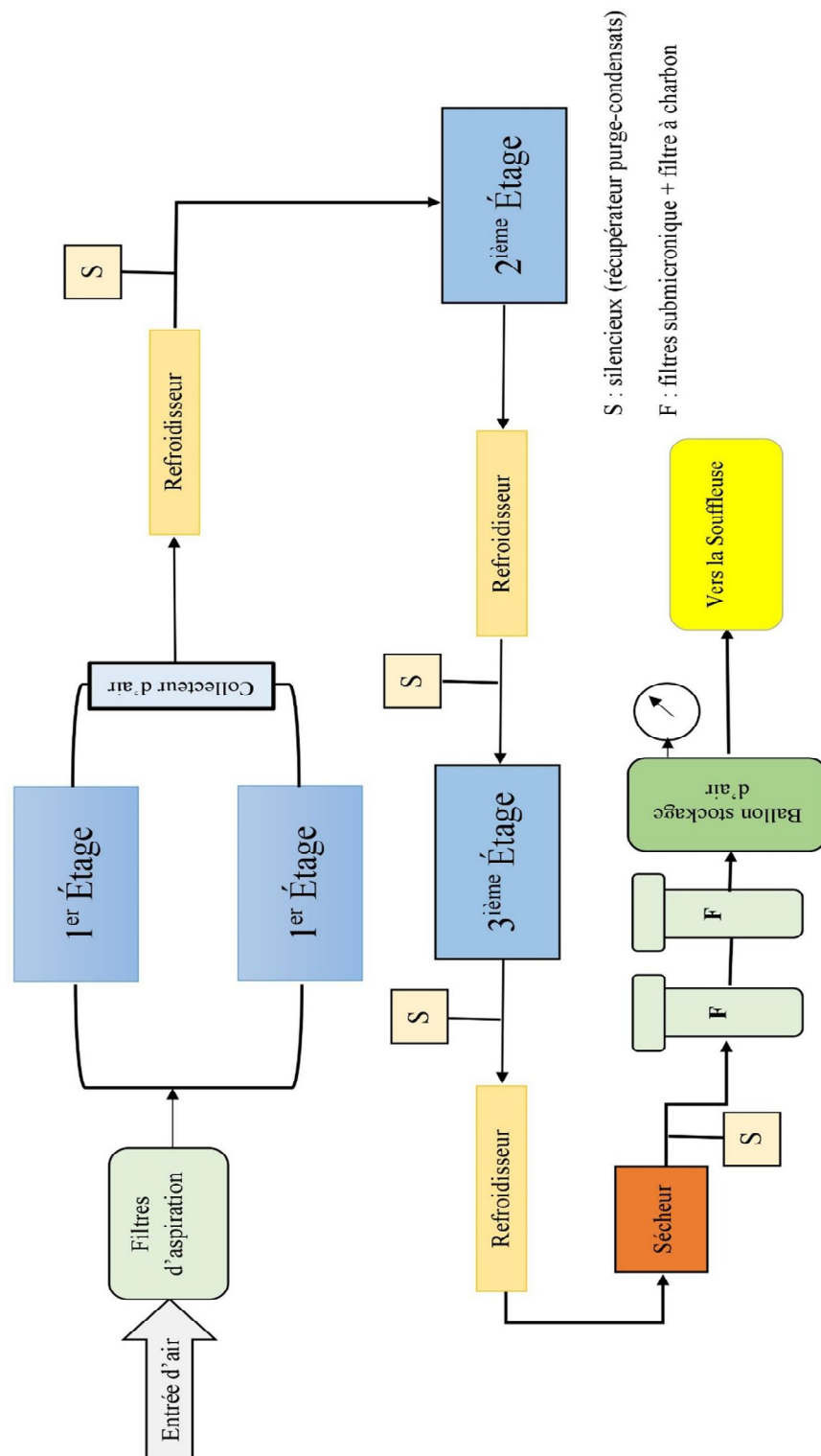


Fig. II.8. Schéma circulation d'air

II.4.4. Caractéristiques générales du compresseur 37P34

Tableau II.2. Descriptif de caractéristiques générales du compresseur 37P34 [2]

Caractéristiques techniques				
Type de compresseur	37P34			
Marque	Thome crepelle			
Année	1996			
Course	150			mm
Utilisation	PET			
Type du gaz	Air			
Nombre des cylindres	4			
Nombre d'étages	1	2	3	
Diamètre des cylindres	2x320 BP	220 MP	145 HP	mm
Caractéristiques de fonctionnement				
Pression d'aspiration	1.013			Bars absolus
Pression de refoulement	37			Bars effectifs
Pression d'huile	1.4 - 2			Bars
Pression d'eau	1.4 - 2			Bars
Pression de détente pour la mise à vide	7			Bars
Débit (à 0°C sec)	1194			m ³ /h
Vitesse compresseur	740			tr/min
Vitesse moteur	1500			tr/min
Puissance moteur	280			KW
Humidité relative	70			%
Température d'aspiration	40			°C
Température eau	45			°C
Encombrement approximatif	6450 x 3250 x 4050			L x l x h en mm
Masse de l'ensemble	19.000			Kg
Numéro d'étage	1	2	3	
Température d'aspiration	Ambiante	36- 38	38- 40	°C
Température de refoulement	102-125	125- 130	130- 140	°C
Pression d'aspiration	Atmosphé rique	3	11	Bars
Pression de refoulement	3	11	40	Bars
Caractéristiques électriques				
Tension	380			V
Fréquence	50			Hz
Puissance	305			KW
Type de démarrage	Étoile/Triangle			
Type d'automate	Siemens-Simatic S7-200			
Type d'armoire	Schneider			

II.4.5. Mode de fonctionnement

Quel soit le mode de fonctionnement, le compresseur démarre et s'arrête à vide, indépendamment de la pression d'air dans le réseau, la mise en charge s'effectuant automatiquement.

a) Fonctionnement en mode manuel

Ce fonctionnement n'est à utiliser que pour effectuer des essais lors de la mise en route ou pour des interventions de maintenance.

- Mise sous tension du compresseur ;
- Le commutateur est en position « manuel » ;
- Démarrage moteur avec temporisation de 10 à 12 secondes entre position étoile/triangle ;
- La sécurité « pression huile » est masquée, au démarrage, pendant 20 secondes ;
- Dans le cas où la pression d'huile ne s'établit pas au bout de 20 secondes, le moteur s'arrête ;
- En fonctionnement normal, toute baisse anormale de pression d'huile entraîne l'arrêt immédiat ;
- La sécurité « manque de débit d'eau » est masquée au démarrage pendant 25 secondes ;
- Dans le cas où la circulation d'eau ne s'établit pas au bout des 25 secondes, le moteur s'arrête ;
- En fonctionnement normal, toute absence de débit d'eau entraîne l'arrêt moteur au bout de 26 secondes ;
- La mise en charge s'effectue 30 secondes après le démarrage ;
- Si une ou plusieurs des conditions suivantes sont en défaut : - Température de refoulement, - Relais thermique, - Joker 1 ou joker 2 (option), le compresseur s'arrête ou ne démarre pas ;
- Lorsque la pression de réglage est atteinte, le compresseur se met à vide.
- Dès que la pression d'air dans le réseau devient insuffisante, la remise en charge se fait automatiquement ;

b) Fonctionnement en mode automatique

Ce fonctionnement est le fonctionnement normal du compresseur.

Le cumulateur est en position automatique. Le processus de fonctionnement est identique mais si le compresseur se met à vide plus de 10 minutes, le moteur s'arrête.

Le but de cette temporisation est de limiter le nombre de démarrages à l'heure. Le redémarrage s'effectue dès que la pression d'air devient insuffisante.

II.4.6. Dispositif d'entraînement

Le moteur électrique est commandé par l'armoire électrique, et ce dernier entraîne le volant du compresseur par l'intermédiaire de jeu de courroies trapézoïdales qui font un pont reliant la poulie du moteur à celle du compresseur ce qui provoque l'entraînement de vilebrequin, ce dernier donne un mouvement alternatif qui engendrera respectivement les phases de compression, aspiration et refoulement au niveau des cylindres.

II.4.7. Système de refroidissement

Le refroidissement des compresseurs sert à éviter la surchauffe de certaines parties d'une part, et d'autre part, à refroidir l'air comprimé dans les cylindres dans le but d'obtenir une diminution de la température de l'air, ce qui permet d'éviter la surchauffe et d'optimiser la puissance de compression.

Le compresseur sujet de notre étude utilise un système de refroidissement (échangeurs) à circulation d'eau effectué par une pompe d'eau.

II.4.8. Système de graissage

Le fonctionnement d'une centrale d'air comprimé à pistons est très dépendant de la qualité de l'huile de graissage employée. Les préconisations du constructeur doivent être impérativement respectées.

En raison des conditions de service spécifiques, l'huile doit posséder de bonnes propriétés de résistance à l'oxydation, de désémulsion, de protection contre la corrosion, de bonnes caractéristiques anti-mousse, et un point éclair suffisamment élevé.

D'autre part, l'huile doit être stable, peu volatile, insensible à la présence de l'eau et avoir une viscosité compatible avec le démarrage à froid, et le bon rendement du compresseur. Le lubrifiant utilisé, ne doit laisser aucun dépôt charbonneux, après distillation.

La lubrification de compresseur est de type à circulation d'huile sous pression, elle est assurée par une pompe à engrenage directement entraînée par l'arbre vilebrequin avec soupape de réglage de pression. L'action de la pompe conductrice fait circuler l'huile, qui se trouve dans le carter du bâti à travers des conduites centralisées vers les éléments à graisser (tête de bielle, coussinets et palier).

En aval de la pompe un filtre à cartouche jetable d'une finesse de filtration de 25 microns assure l'alimentation en huile propre de la rampe de graissage des paliers et des glissières.

En bout de rampe un pressostat d'huile décèle immédiatement toute baisse anormale de pression et arrête le compresseur.

II.4.8.1. Lubrification du compresseur sans graissage des cylindres

Le graissage est limité à la lubrification de la partie mécanique (système bielle-manivelle). Il requiert une huile 'mouvement' de bonne qualité.

Le lubrifiant sera retenu dans les catégories normalisées ci-dessous.

- **Huile compresseur** : Catégorie L.DAA suivant le Project ISO/ DIS 6743/3 (ou du style BVL de la norme DIN 51506).
- **Huile hydraulique** : du type HM suivant NFE 48603.
- **À défaut** : Huile moteur Diesel du style MIL.L 2104 C ou API CC -CD

Les caractéristiques du lubrifiant seront conformes au tableau II.3. :

Tableau II.3. Spécification minimum requise pour les lubrifiants du compresseur 37P34 [2]

Paramètre	Norme ISO	Norme AFNOR	Valeur mini
Grade de viscosité	3448	NFT 60141	ISO VG 100
Viscosité cinématique (mm ² /sec = 10 %)	3104	NFT 60100	100
Point d'écoulement °C maxi	3016	NFT 60105	-9 °C
Indice de viscosité	2909	NFT 60136	95
Stabilité à l'oxydation ou résidu Conradson	4263	NFT 60150	CCR ≤ 2 > 2000 H
Caractéristiques de désémulsion à 54 °C	6614	NFT 60125	40.37.3 (20')
Corrosion à la lame de cuivre (3 H à 100 °C maxi)	2160	NFM 07015	1 a
Caractéristiques de moussage séquence 2 à 93 °C	DO 6247	NFT 60129	30 (5 min) 0 (10min)
Point éclair 0 °C mini	2592	NFT 60110	> 200 °C
Prévention de la rouille 24 H	7120	NFT 60110	Neant

II.4.8.2. Vidange

La vidange du carter doit être réalisée après la mise en service ou, au plus tard, après une semaine de fonctionnement (50 à 100 heures).

Après le changement de la cartouche du filtre à huile, faire le remplissage avec une huile préconisée. La vidange sera ensuite effectuée toutes les 8000 heures (ou tous les ans).

II.4.8.3. Graissage du moteur électrique

Les graisseurs sont du type 'TECALEMIT hydraulic. À noter qu'un excès de graisse a pour conséquence un échauffement important du roulement.

Nous recommandons, après un arrêt prolongé du moteur, supérieur ou égal à six mois, d'effectuer un graissage avant démarrage.

Les opérations de graissage seront effectuées en fonctionnement, grâce aux graisseurs dont sont équipés nos moteurs. Les sorties de graisse usée sont obturées sur certains moteurs, pour éviter les rentrées poussières.

Après quelques dizaines de graissage, il convient de retirer les plaquettes d'obturation correspondantes, pour éliminer la graisse usée. Cette opération peut nécessiter le démontage du capot de protection du ventilateur ; en atmosphère normale, non poussiéreuse, ces plaques peuvent être retirées, de façon permanente.

Les roulements sont garnis, en usine, de graisse de qualité et nous recommandons l'utilisation pour les graissages ultérieurs. Il est conseillé d'éviter les mélanges ; par conséquent, en cas d'emploi de graisse analogue de marques ou de compositions différentes, il y a lieu de démonter, puis de nettoyer au pétrole, les roulements et leurs accessoires, pour enlever l'ancienne graisse, avant de les remplir de nouvelle graisse.

L'intervalle de temps entre deux graissages successifs dépende de la vitesse de rotation du moteur, du type et de la dimension du roulement, du facteur d'utilisation du moteur et de la température ambiante qui règne dans le local.

Pour les conditions moyennes, généralement rencontrées, le graissage sera effectué à chaque vidange du compresseur, soit toutes les 8000 heures ou une fois par an. Il est conseillé de suivre de la plaque de graissage disposée sur le moteur ou éventuellement se reporter à la notice.

II.4.9. Système de régulation électropneumatique

Elle consiste en un système de mise à vide du compresseur par blocage pneumatique des soupapes d'aspiration dans leur position d'ouverture piloté par :

- Un pressostat d'air qui, sous l'effet de la pression, coupe l'alimentation électrique de l'électrovanne de décompression.
- Une électrovanne de décompression à trois voies commandée par le pressostat agissant sur le système de mise à vide par pression d'air et un filtre épurateur pour l'air d'alimentation du dispositif.

II.4.10. Purges

Il permet d'évacuer les condensats des différents étages de compression de l'équipement. Il peut être déclenché soit automatiquement (par ordre de l'automate) soit manuellement par l'appui sur la touche "test purge".

La fréquence de purge s'est fait à chaque 10 minute pendant 3 secondes.

II.4.11. Contrôles visuels

- Un tableau de contrôle supportant les manomètres de pression d'air comprimé ainsi que la pression d'huile de graissage du mécanisme ;
- Thermomètre à l'entrée et à la sortie des réfrigérants d'air comprimé ;
- Viseur, pour contrôle du niveau d'huile du carter ;
- Contrôle visuel de circulation d'eau sur le circuit de chaque cylindre (option).

II.4.12. Sécurités

- Thermostat de contrôle de la température d'air ou refoulement
- Soupape de sûreté sur chaque réfrigérant d'air comprimé ;
- Pressostat de contrôle de la pression d'huile du mécanisme ;
- Contrôleur de circulation d'eau ;
- Electrovanne de circulation d'eau ;
- Thermostat de contrôle de la température d'eau de refroidissement.

II.5. Conclusion

La compression en générale, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée.

Un compresseur à piston se compose d'un ou plusieurs cylindres dotés de pistons entraînés par un moteur. L'air est aspiré dans le cylindre puis comprimé dans un ou plusieurs étages jusqu'à la pression opérationnelle. Après la compression, l'air comprimé passe dans le refroidisseur final et poursuit son chemin jusqu'au réservoir d'air.

CHAPITRE III

ÉTUDE EXPERIMENTALE DE LA RUPTURE DU VILEBREQUIN

III.1. Introduction

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.

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

- la transmission primaire (chaîne de distribution ou courroie, arbre à cames...) ;
- les pompes (à eau, à huile) ;
- l'alternateur ;
- éventuellement les contre-arbres d'équilibrage.

III.2. Le vilebrequin [14]

III.2.1. Composition d'un vilebrequin

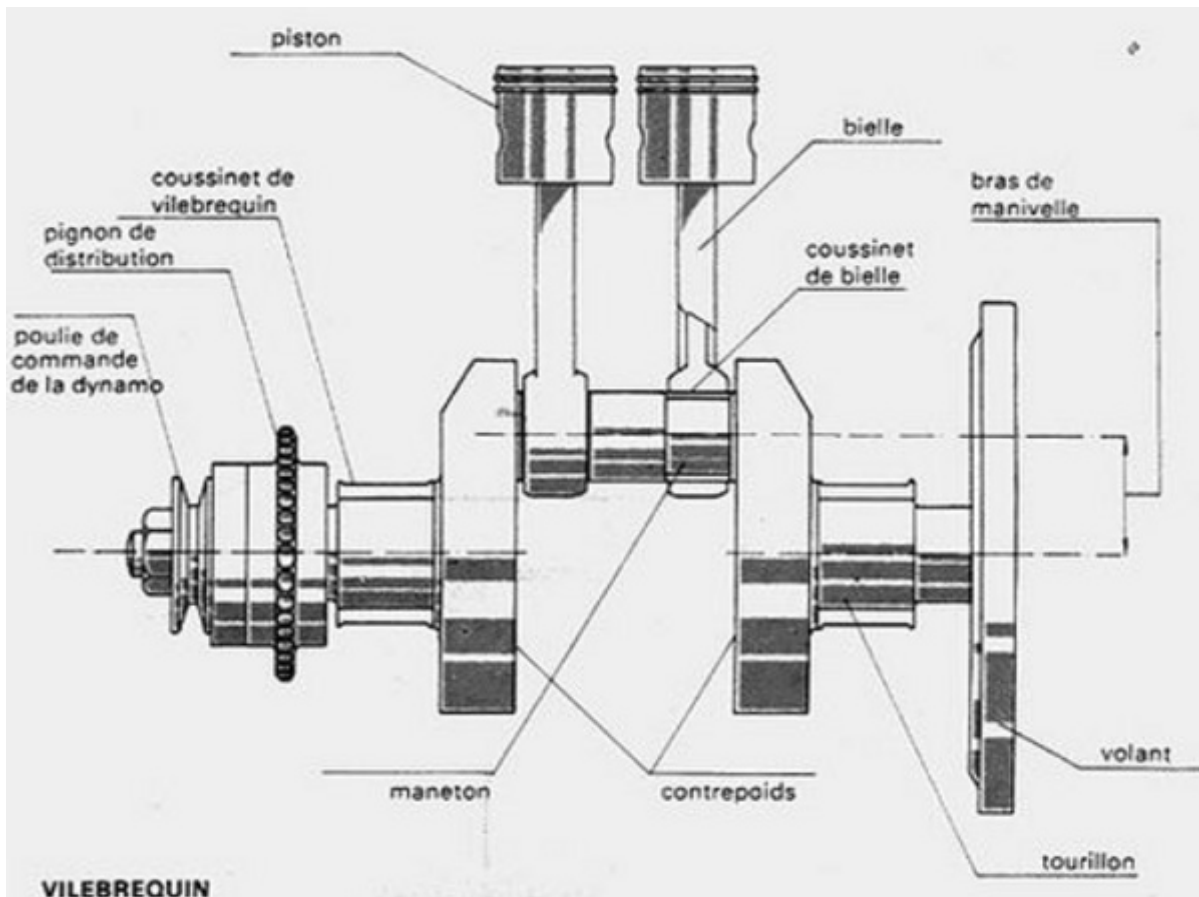


Fig. III.1. Composition d'un vilebrequin [14]

Dans des compresseurs à pistons, en général, le nombre des manivelles est la moitié du nombre de cylindres. Le nombre des paliers de ligne d'arbre, en revanche, peut varier considérablement. Ainsi, par exemple, un moteur à quatre cylindres peut comporter un vilebrequin porté par deux paliers seulement, ou par trois, quatre ou cinq. Le choix dépend de considérations techniques et économiques. Un moteur à deux paliers est de fabrication plus économique, mais ne permet pas d'atteindre des régimes très élevés ni de grosses puissances spécifiques

En effet, pour éviter des flexions du vilebrequin et les vibrations qui en résultent, le diamètre des manetons doit être très important et il convient de donner aux bras de manivelle une section en rapport, ce qui donne un vilebrequin et des têtes de bielle lourds. Les masses tournantes engendrent alors des forces d'inertie considérables, incompatibles avec des régimes très élevés. Les vibrations de flexion du vilebrequin sont, en outre, une cause de bruit (battement dans les coussinets de ligne d'arbre).

Toutes ces raisons font que pour les 4 cylindres la solution du vilebrequin à deux paliers n'est plus utilisée. Beaucoup de moteurs à quatre cylindres sont donc à trois paliers, mais pour les plus modernes, surtout ceux de cylindrée élevée, on a préféré la solution à cinq paliers, plus coûteuse mais permettant d'atteindre des puissances spécifiques élevées et de réduire en même temps le poids total du moteur. Pour cette même raison, d'une façon générale, les moteurs 6 cylindres en ligne disposent de sept paliers, les 6 cylindres en V de quatre paliers, les V 8 de cinq paliers.

III.2.2. Types de vilebrequin

III.2.2.1. Le vilebrequin assemblé

Ce type de vilebrequin (voir la figure 2) est peu coûteux car l'usinage des pièces est simple. Il est composé d'un axe faisant office de maneton et de deux masses arborées. Les vilebrequins assemblés sont peu rigides, ils sont donc généralement utilisés pour les moteurs monocylindres de faible cylindrée

Il y a deux possibilités, soit tous les éléments du vilebrequin sont fabriqués indépendamment et ensuite assemblés soit une masse et une portée ou un maneton peuvent être fabriqués d'une pièce et ensuite assemblés. Les assemblages se font généralement à la presse.

- **Avantage** : utilisation de roulements (meilleure lubrification) et de bielles monoblocs.
- **Inconvénient** : moins rigide et alignement moins précis qu'avec un vilebrequin monobloc.

III.2.2.2. Le vilebrequin monobloc

Les vilebrequins monoblocs (figure 3) requièrent l'utilisation de bielles démontables. Ce type de vilebrequin offre une meilleure rigidité et permet d'y mettre un plus grand nombre de manetons et donc de pistons.

Les paliers sont chers à mettre en œuvre puisqu'ils nécessitent une circulation d'huile sous pression. C'est pourquoi ces vilebrequins sont utilisés pour les moteurs de forte cylindrée.

En général ils sont réalisés par forgeage (l'usinage complet d'un vilebrequin restant excessivement cher). Par contre l'utilisation d'un vilebrequin monobloc impose le montage de coussinets et de bielles assemblées.

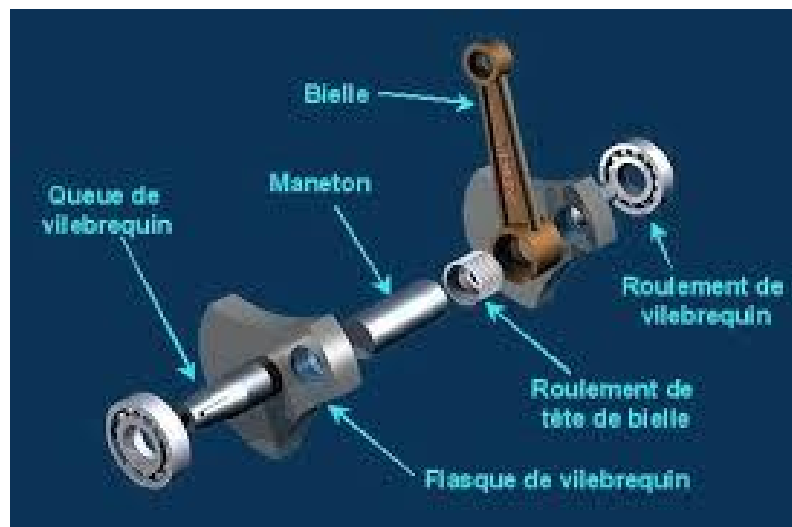


Fig. III.2. Exemple d'un vilebrequin assemblé [14]



Fig. III.3. Exemple d'un vilebrequin monobloc [14]

III.2.3. Fabrication et matériau

Les vilebrequins sont généralement en fonte GS (graphite sphéroïdal). Moulée pour les moteurs de faible puissance spécifique (jusqu'à 40 kW/L). Pour les moteurs plus puissants, suralimentés ou turbocompressés (puissance spécifique de 40 à 60 kW/L), les vilebrequins sont en acier forgé. On utilise alors des aciers faiblement ou moyennement alliés, enrichis au nickel-chrome ou au chrome-molybdène-vanadium suivant l'intensité des sollicitations. Le forgeage est réalisé par opérations successives de matriçage à chaud et les formes parfois complexes des contrepoids sont réalisées dans le même processus.

Les portées mécaniques (tourillons et manetons) sont réalisées par tournage (mise en position excentrée du vilebrequin dans le cas du tournage des manetons). Elles sont ensuite rectifiées très précisément pour obtenir un état de surface adéquat (friction sur coussinet). Elles subissent ensuite un traitement thermique superficiel afin d'en augmenter la dureté et de réduire l'usure. Finalement, Les portées sont durcies par cémentation, par trempe superficielle ou par nitruration. La trempe superficielle consiste en un chauffage de la surface par induction électrique ou par la flamme d'un chalumeau puis par un refroidissement rapide à l'eau.

Dans le cas des vilebrequins monoblocs, des conduits percés relient l'orifice d'alimentation avec les tourillons et les manetons afin de permettre la circulation d'huile sous pression. Ces conduits parcourent l'ensemble du vilebrequin et traversent les manivelles.

En final, le vilebrequin subit un équilibrage statique et dynamique par enlèvement de matière. Afin de parfaire l'équilibrage dynamique, celui-ci peut être complété par des perçages peu profonds sur la périphérie des contrepoids.

III.2.4. Équilibrage

Comme tout élément tournant, un vilebrequin doit être équilibré de façon statique et dynamique. L'équilibrage du vilebrequin est nécessaire pour réduire les vibrations du moteur causées par les forces et moments produits par la pression des gaz dans les cylindres et par les pièces en mouvement alternatif et de rotation, et pour diminuer les charges exercées sur les coussinets de la ligne d'arbre.

III.2.4.1. Équilibre statique

L'équilibre statique du vilebrequin est obtenu lorsque le centre de gravité se trouve sur son axe de rotation. Un équilibrage statique parfait n'implique pas nécessairement un bon équilibre

dynamique. En effet, le vilebrequin peut donner lieu à un moment de flexion dû aux forces centrifuges d'autant plus grandes que le mouvement de rotation est important.

Les forces centrifuges, qui s'exercent sur le vilebrequin à deux manivelles d'un moteur quatre temps boxer, sont dans des plans différents et séparés par une distance égale à la distance des axes des cylindres. Étant donné que le moment résultant est le produit de la force centrifuge par cette distance, le vilebrequin est équilibré dynamiquement par un moment égal et opposé par l'ajout de contrepoids.

III.2.4.2. Équilibre dynamique

L'équilibre dynamique est obtenu sans adjonction de poids, si le vilebrequin est équilibré statiquement au préalable, admet un plan de symétrie perpendiculaire à l'axe de rotation, « par rapport auquel les manivelles sont symétriques en nombre, position et dimensions ». Pour les autres cas, l'équilibrage nécessite des contrepoids.

La plupart des vilebrequins équilibrés dynamiquement dans leur ensemble ont également leurs manivelles équilibrées individuellement par des contrepoids. En munissant de contrepoids chacune des manivelles, on réduit ou annule les moments de flexion individuelle qui, en agissant sur les diverses parties du vilebrequin, tendraient à le faire fléchir.

Les manetons subissent également des forces dues aux masses animées d'un mouvement alternatif. Ces forces, causées par les variations de vitesse du piston et de la bielle, se subdivisent en forces alternatives du premier et du deuxième ordre.

III.2.5. Les causes de rupture ou cassure du vilebrequin

Les cassures du vilebrequin ont bien plus souvent les causes suivantes :

- Surcharge mécanique du vilebrequin suite à des anomalies de combustion, des coups de bélier, etc.
- Blocage subit du moteur dû à un défaut de la boîte de vitesses, au desserrage de contrepoids, etc.
- Vibrations torsionnelles excessives, par exemple avec des amortisseurs de vibrations, des volants d'inertie ou des embrayages défectueux.
- Affaiblissement du matériau suite à des dommages préalables des paliers ou des manetons surchauffés, etc.
- Retouches non autorisées des paliers de vilebrequin.
- Endommagements mécaniques du vilebrequin avant le montage

À noter que les erreurs de montage sont les causes de dommages les plus fréquentes des vilebrequins et des paliers de même que de l'usure. Nous citons quelques exemples :

- Perte de dureté des manetons suite à des dommages préalables des paliers ou à une retouche incorrecte, par exemple une rectification excessive.
- Le jeu de coussinet prescrit n'a pas été respecté. Causes : carter de vilebrequin usé ou déformé.
- Manque d'huile lubrifiante lors de la mise en service car le circuit d'huile n'a pas été rempli et mis sous pression préalablement.
- Le radiateur d'huile, l'huile moteur et le filtre à huile n'ont pas été remplacés.
- Les paliers principaux/chapeaux de coussinet de bielle ont été permutés ou montés dans le mauvais sens.
- Les diamètres d'alésage de base des paliers de vilebrequin dans le carter de vilebrequin n'ont pas été contrôlés ou réparés après un dommage préalable.
- Des couples de serrage erronés et/ou des vieilles vis de chapeau de palier ont été utilisés.
- Les consignes du constructeur n'ont pas été respectées lors de la mise en service du moteur.

III.3. Problème de Rupture du Vilebrequin du Compresseur 37P34

III.3.1. Description du problème

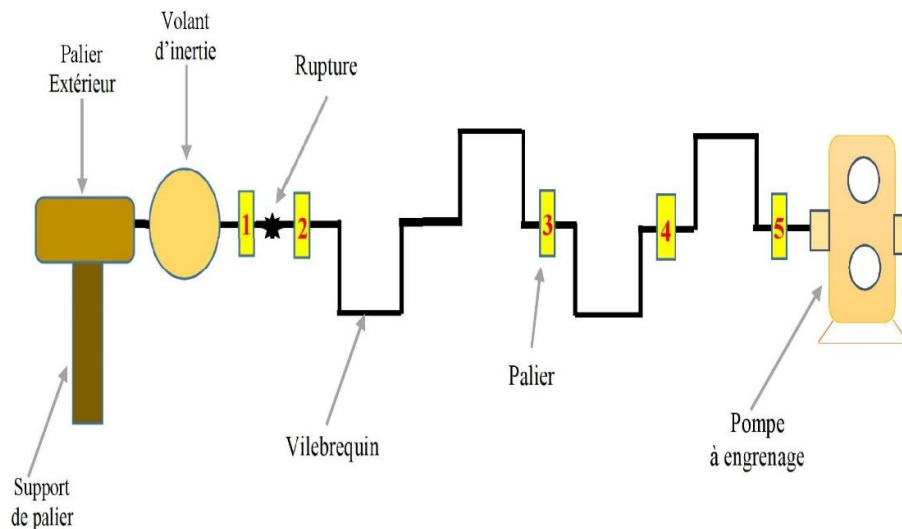


Fig. III.4. Description du problème

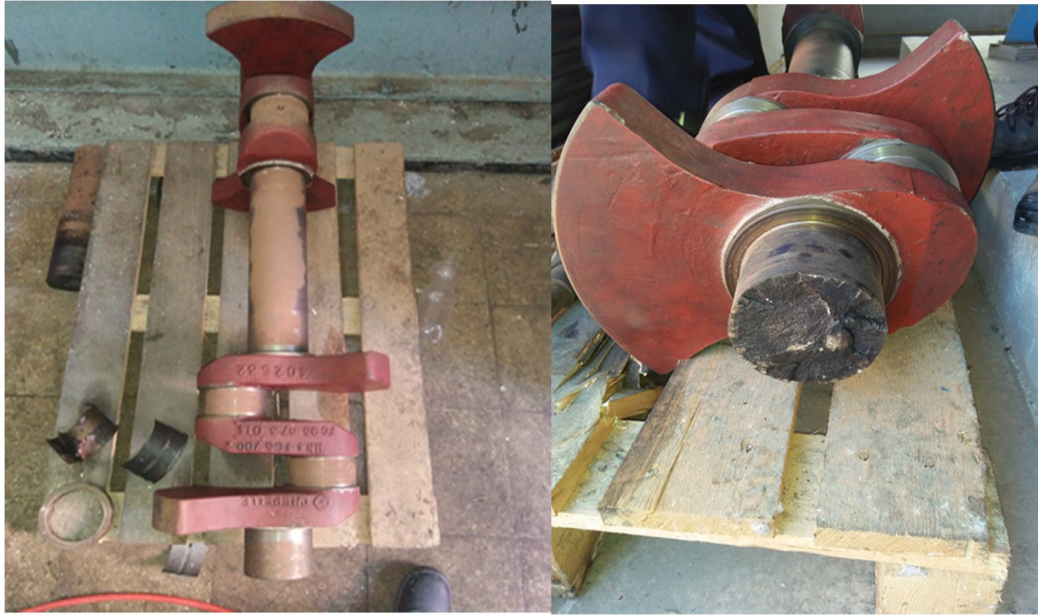


Fig. III.5. Le vilebrequin cassé

III.3.2. Montage du nouveau vilebrequin

Après l'élimination dans les règles des éventuels dommages préalables au niveau du passage des paliers principaux et des tiges de bielle (figure 6), le diamètre du bout d'arbre du nouveau vilebrequin, est mesuré à l'aide d'un palmer micrométrique (figure 7-A) et celle de 5 paliers (du carter du vilebrequin) avec une jauge micrométrique (figure 7-B).

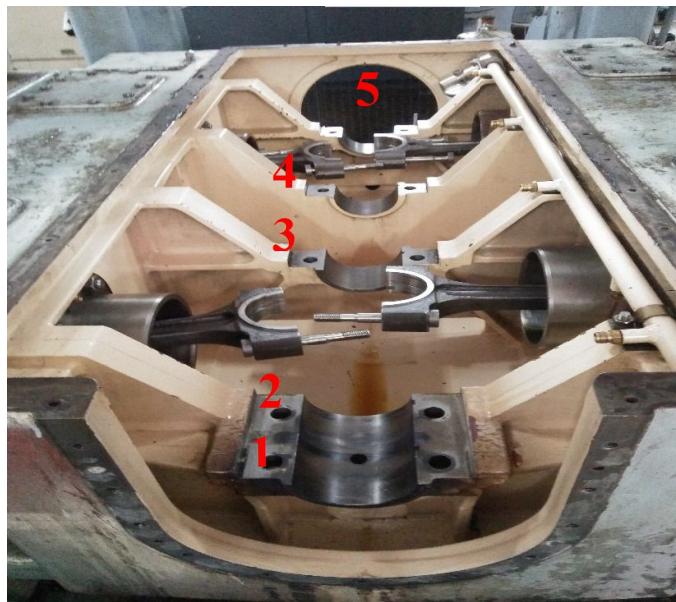


Fig. III.6. Carter du vilebrequin

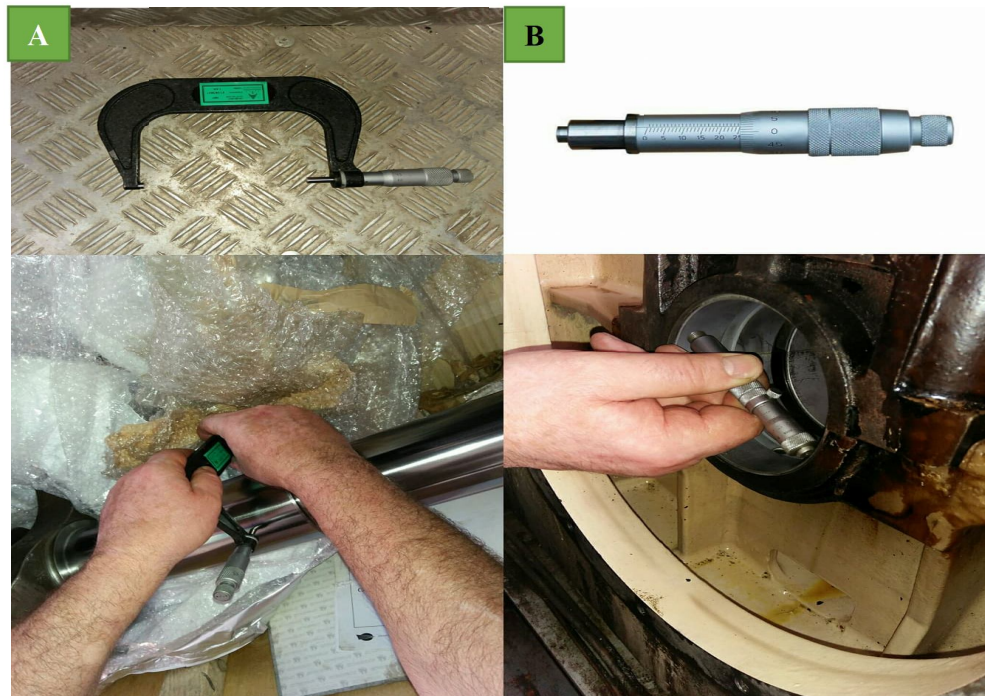


Fig. III.7. Micromètre palmer- Jauge micrométrique

Tableau III.1. Mesures de diamètre du bout d'arbre du nouveau vilebrequin

Désignation	Diamètre intérieur (en mm)
Bout d'arbre	109,98
Palier 1	109,90
Palier 2	109,91
Palier 3	110,08
Palier 4	110,08
Palier 5	110,08

Nous constatons bien une déformation au niveau du première et seconde palier (coté volant d'inertie) dû à un échauffement causé par la rupture du vilebrequin.

Suite à ce problème, une rectification des deux chapeaux est faite chez le tourneur et une retouche des paliers de carter sur place à l'aide d'une meuleuse de façon à avoir à la fin un diamètre $\geq 110,05$



Fig. III.8. Retouche des paliers

III.3.2.1. Mise en place du vilebrequin

Après avoir mis correctement en place les nouveaux coussinets et bien lubrifié l'ensemble du carter, le nouveau vilebrequin est placé ainsi que la bague de butée latérale au niveau des deux premiers paliers dont le but est de régler le mouvement de translation du vilebrequin.

Ensuite, les chapeaux de paliers principaux est placé tout en respectant leur numérotation, huiler légèrement les vis des paliers principaux et serrez-les au couple prescrit (27 Nm) à l'aide d'une clé dynamométrique. Dernièrement la mobilité du vilebrequin est vérifiée manuellement.

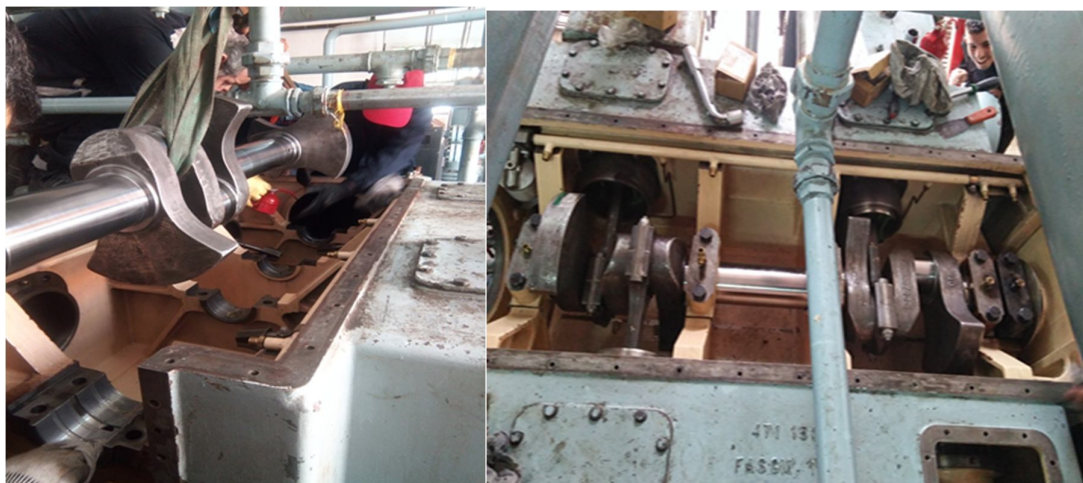


Fig. III.9. Placement nouveau vilebrequin



Fig. III.10. Bague de butée- clé dynamométrique

III.3.2.2. Contrôle et ajustement

Un comparateur de contrainte est mis entre les joues du vilebrequin (coté volant d'inertie) pour vérifier son alignement. Ce dernier a été mis à deux reprises :

➤ Premier contrôle

Le premier contrôle est fait avec les anciennes cales du palier extérieur (figure 13). Cette opération consistait en placer le comparateur entre les joues des paliers du première étage (figure 11) et ensuite faire tourner manuellement le vilebrequin. Si le comparateur est à zéro pendant toute la rotation (360°) c'est à dire que l'alignement du vilebrequin est correcte mais si le comparateur varie pendant la rotation c'est à dire qu'il y a une déviation au niveau du vilebrequin donc il faut augmenter ou diminuer l'épaisseur des cales du palier extérieur.

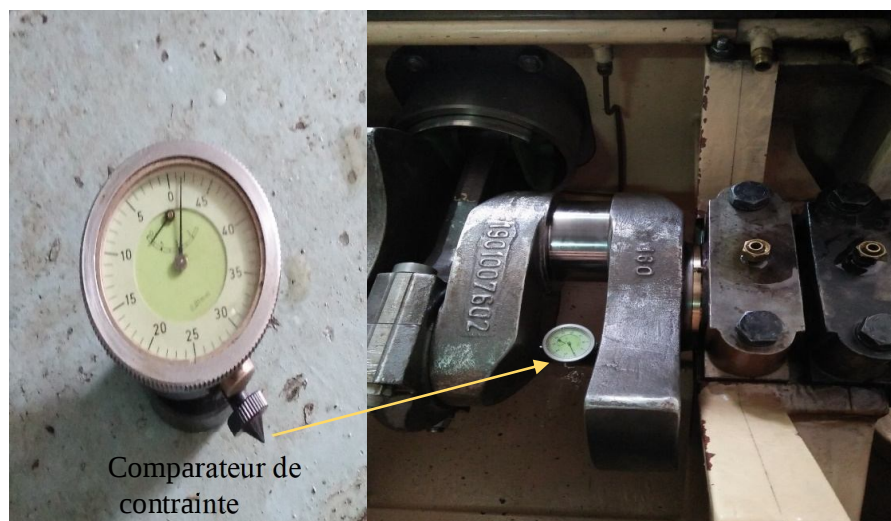


Fig. III.11. Placement comparateur de contrainte

Soit la figure ci-dessous :

- Y- l'axe vertical du vilebrequin : si on constate que le comparateur varie à ce niveau c'est à dire qu'il existe un problème au niveau de cales;
- X- l'axe horizontal du vilebrequin : si on constate que le comparateur varie à ce niveau c'est à dire qu'il existe un problème au niveau de vis de réglage.

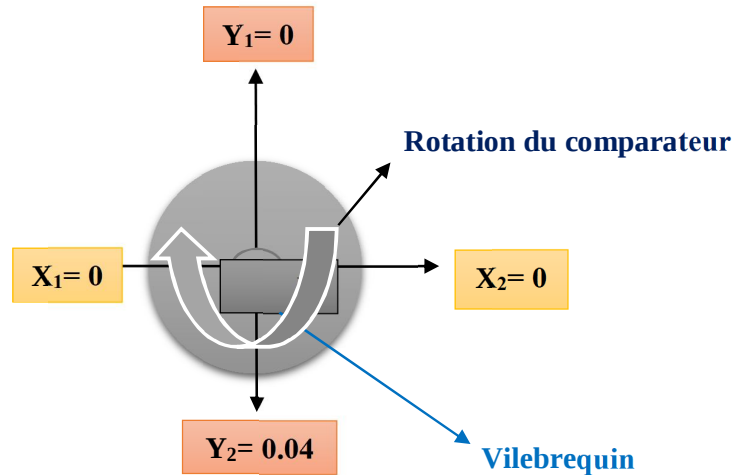


Fig. III.12. Résultats comparateur de contrainte 1^{er} contrôle

Pour ce premier contrôle, un décalage de 0.04 (quatre centième) au niveau de l'axe Y est constaté ce qui prouve qu'il avait bien un problème au niveau de cales.

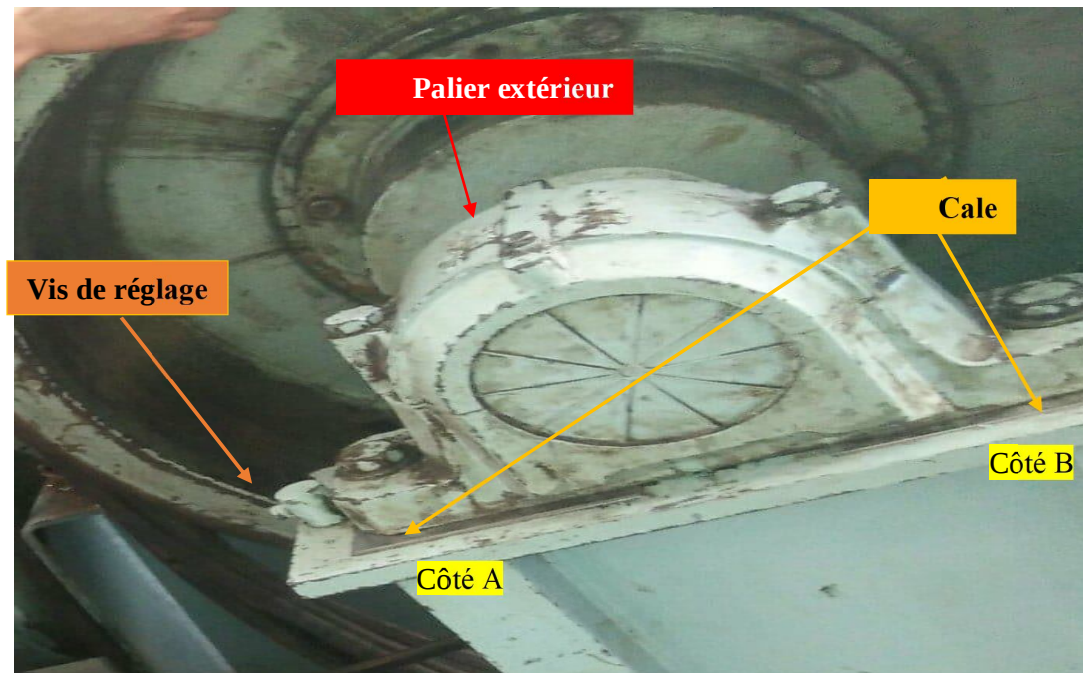


Fig. III.13. Palier extérieur

Suite à ce problème, l'épaisseur des anciens cales est mesurée à l'aide d'un micromètre palmer.



Fig. III.14. Mesure des cales

Les valeurs trouvées sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.2. Mesures d'épaisseur

Désignation	Épaisseur (en mm)
Cale côté A	2.1
Cale côté B	1.99

Nous constatons une différence d'épaisseur due à une défaillance de cales (épaisseur de cale).

➤ Deuxième contrôle

Pour régler ce problème, six nouvelles cales de 0,4 millimètres d'épaisseur pour chaque côté sont placées et l'alignement du vilebrequin est contrôlé à nouveau ce qui nous a donné des bons résultats (figure 15).

Soit la figure 15 :

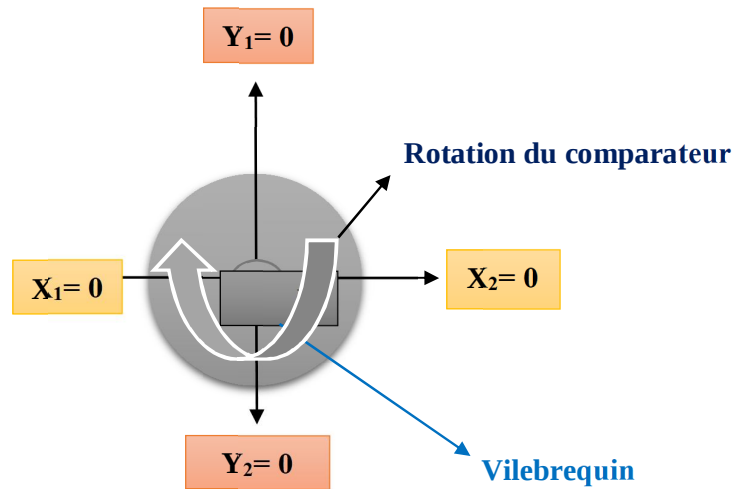


Fig. III.15. Résultats comparateur de contrainte 2^{ème} contrôle

III.3.2.3. Mise en place et fixation du moteur électrique

Cette étape était consacrée à la fixation du moteur électrique, remise des courroies et l'alignement du moteur.



Fig. III.16. Fixation moteur électrique- alignement des courroies

III.3.3. Démarrage du compresseur

Le compresseur a démarré à vide pendant plus de quatre heures pour faire un rodage sur la machine, vérifier le bon fonctionnement des organes et contrôler les températures des paliers à l'aide d'une caméra infra-rouge.



Fig. III.17. Contrôle de température avec une caméra infra-rouge

Ce contrôle a été réalisé trois fois avec un intervalle d'une heure afin de contrôler l'échauffement des paliers.

Tableau III.3. Contrôle de température

Désignation	Température (en °C)		
	12h :00	13h :20	14h :20
Palier 1	43.4	51.3	59
Palier 2	42.3	51.6	61.5
Palier 3	40.6	53.6	63.7
Palier 4	40.4	51	60.9
Palier 5	41.6	51.6	60.5
Palier extérieur	40.9	52.7	61.2

Nous prenons comme référence les températures du palier 3, 4 et 5 (car ils étaient à l'origine) pour comparer avec ceux des paliers 1 et 2. Nous constatons des valeurs presque identiques, ce que veut dire que n'y a pas d'échauffement anormal sur les paliers retouchés.

III.4. Conclusion

D'après le travail réalisé lors de la mise en place du nouveau vilebrequin nous concluons que la rupture du vilebrequin était due à un mauvais alignement sur le palier externe causé par une défaillance des cales et non contrôle d'alignement du vilebrequin.

Pour cela nous recommandons une vérification systématique de l'alignement du vilebrequin avec un comparateur de contrainte, après chaque intervention sur le palier externe à savoir :

- changement des courroies (à chaque 25.000 mil heure de fonctionnement)
- changement des organes mécanique tel que coussinets, paliers, crosses, etc. (à chaque 40.000 mil heure de fonctionnement).
- démontage de la poulie .

Pour une longue durée de vie de ce nouveau vilebrequin nous recommandons :

- Quantité suffisante d'huile dans le moteur (conformément à la consigne du constructeur).
- Huile de la bonne spécification, ne pas utiliser d'huile encrassée ou trop vieille.
- Prévention de la contamination de l'huile moteur par du liquide de refroidissement ou du carburant.
- Prévention des défauts du circuit d'huile entraînant des problèmes de pression d'huile (par exemple : pompe à huile défectueuse, valve de surpression d'huile défectueuse, injecteurs ou boîtier de filtre à air défectueux, conduites et canaux bouchés, etc.).
- Pas de température excessive de l'huile moteur pour éviter la déchirure du film lubrifiant.

CHAPITRE IV

SIMULATION NUMÉRIQUE DU VILEBREQUIN

IV.1. Introduction [9]

Un modèle est une représentation testable d'un système et la simulation est l'action d'utiliser ce modèle. Les calculs émanant de ces simulations étant souvent complexes, les outils numériques sont utilisés pour les exécuter ; on parle alors de simulation numérique. Cette technique offre un potentiel immense, utile à toutes les entreprises de l'industrie.

L'évolution spectaculaire des moyens informatiques et diminution de leur coût ont fait que le monde industriel a vu dans la simulation numérique une opportunité pour optimiser ses techniques de production.

Une simulation ne représente pas forcément ce qui se passe dans la réalité. La confrontation des résultats de la simulation et des résultats expérimentaux permettra de valider et de caler le code de calcul.

La simulation numérique, est une série de calculs effectués sur un ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle aboutit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'il s'était réellement déroulé. Cette représentation peut être une série de données, une image ou même un film vidéo.

Une simulation numérique peut représenter des phénomènes physiques complexes dont la description repose sur un modèle mathématique comportant des équations aux dérivées partielles. L'ordinateur résout alors ces équations numériquement en utilisant la méthode des éléments finis.

Dans ce chapitre, on procède à la conception du vilebrequin sous SolidWorks et ensuite à la simulation numérique de ce dernier (vilebrequin) sans et avec fissure à l'aide du logiciel Abaqus.

IV.2. Présentation du logiciel ABAQUS [12]

IV.2.1. Les Logiciels sur le marché

Il faut savoir que les logiciels de conception et de calculs assistés par ordinateur sont très nombreux sur le marché. Les plus utilisés sont Nastran, Catia, ABAQUS et SolidWorks. Tous ces logiciels effectuent les mêmes tâches, c'est à dire qu'ils génèrent des structures, ses caractéristiques et celles du problème étudié (par exemple une table avec 8 pieds de différentes longueurs en liège et devant soutenir une charge de 2T en son centre), ensuite ils calculent le

devenir de cette structure (déformations, ruptures, plastification...) et enfin ils permettent de traiter ces résultats afin d'en sortir des données utilisables et exploitables.

La plupart des entreprises utilisent un assortiment de ces logiciels qui sont plus ou moins performants dans l'une ou l'autre de ces tâches, par exemple, dessiner avec Catia, calculer avec ABAQUS et faire du post traitement avec Nastran. Il vous sera donc certainement demandé dans le monde de l'entreprise une maîtrise de plusieurs de ces outils, d'où l'intérêt de commencer avec ABAQUS.

IV.2.2. Les caractéristiques du logiciel ABAQUS

ABAQUS a été développé par Hibbit, Karlsson & Sorensen (HKS) depuis 30 ans et le début de la théorie des éléments finis a été amélioré au fur et à mesure pour intégrer toutes les nouveautés de la théorie et des besoins de l'entreprise, jusqu'à ce que l'entreprise soit rachetée par Dassault industries en Octobre de l'année 2005. ABAQUS est avant tout un logiciel de simulation par éléments finis de problèmes très variés en mécanique. Il est connu et répandu, en particulier pour ses traitements performants de problèmes non-linéaires.

Le cœur du logiciel ABAQUS est donc ce qu'on pourrait appeler son "moteur de calcul". À partir d'un fichier de données (caractérisé par le suffixe .inp), qui décrit l'ensemble du problème mécanique, le logiciel analyse les données, effectue les simulations demandées et fournit les résultats dans un fichier .odb.

Deux tâches restent à accomplir : générer le fichier de données (cela s'appelle aussi effectuer le prétraitement), et exploiter les résultats contenus dans le fichier .odb (ou post traitement). La structure du fichier de données peut se révéler rapidement complexe : elle doit contenir toutes les définitions géométriques, les descriptions des maillages, des matériaux, des chargements, etc..., suivant une syntaxe précise. Il faut savoir que le pré traitement et le post traitement peuvent être effectués par d'autres logiciels. ABAQUS propose le module ABAQUS CAE, interface graphique qui permet de gérer l'ensemble des opérations liées à la modélisation :

- La génération du fichier de données,
- Le lancement du calcul proprement dit,
- L'exploitation des résultats.

IV.2.3. Bases de l'interface d'ABAQUS

IV.2.3.1. Organisation de l'interface

On retrouve dans l'interface les éléments essentiels suivants :

- la fenêtre d'affichage graphique ;
- une première barre de menus en haut : ces menus sont relatifs au module dans lequel on se trouve ;
- une deuxième barre horizontale d'outils : y sont disposées les icônes correspondant aux commandes les plus courantes, c'est-à-dire les commandes d'ouverture et de sauvegarde de fichiers, et les commandes réglant l'affichage des vues (perspective, ombrage, zoom, rotations, etc.) ;
- une troisième barre de menus déroulant permettant d'accéder aux autres modules, ou de sélectionner le modèle ou la pièce sur lesquels on souhaite travailler ;

Plus important :

- on dispose à gauche d'une colonne d'icônes permettant d'accéder aux outils disponibles à l'intérieur du module dans lequel on se trouve.

ATTENTION : les icônes comportant une petite flèche en bas à droite)  cachent d'autres icônes ! Il faut maintenir enfoncée la touche M1 de la souris sur ces icônes pour voir apparaître les icônes cachées et pouvoir sélectionner les outils correspondants.

- L'espace juste sous la fenêtre d'affichage graphique est celui dans lequel ABAQUS vous parle : les messages affichés à cet endroit sont faits pour vous guider dans l'action que vous avez entreprise. Lisez-les, suivez-les attentivement, ils vous seront d'une grande aide ;
- Enfin, une fenêtre en-dessous sur fond blanc est utilisée pour afficher des messages informatifs : réponses à des questions posées, avertissements liés à des problèmes rencontrés, etc.

IV.2.3.2. Les touches de la souris

La souris comporte trois touches, classiquement appelées M1, M2 et M3, de gauche à droite. Chacune a un mode de fonctionnement particulier dans ABAQUS/CAE :

- la touche M1 sert à sélectionner (classique) ;

- la touche M2 sert en général à confirmer pour quitter une action : elle peut être une alternative pratique pour répondre "OK" à une question. Cliquer sur M2 revient donc la plupart du temps à valider une action, ou à quitter une procédure ;
- la touche M3 permet de faire apparaître des menus contextuels relatifs à l'action en cours. En particulier, elle permet bien souvent de faire un pas en arrière dans l'action entreprise.

IV.2.3.3. Manipulation de la vue affichée

Trois raccourcis bien pratiques pour manipuler la vue affichée à l'aide de la souris :

- "Ctrl + Alt + souris/M1" : rotation de la vue,
- "Ctrl + Alt + souris/M2" : translation de la vue, "
- Ctrl + Alt + souris/M3" : zoom avant/arrière.

IV.2.4. Présentation du logiciel ABAQUS CAE

IV.2.4.1. Les Modules

ABAQUS CAE est divisé en unités fonctionnelles appelées modules. Chaque module contient les outils qui sont propres à une partie de la tâche de modélisation.

- **Le module « PART »** : permet de créer tous les objets géométriques nécessaires à notre problème, soit en les dessinant dans ABAQUS CAE, soit en les important d'un logiciel de dessin tiers.
- **Le module « PROPERTY »** : permet, comme son nom l'indique, de définir toutes les propriétés d'un objet géométrique ou d'une partie de ces objets.
- **Le module « ASSEMBLY »** : ce module permet d'assembler les différents objets géométriques créés dans un même repère de coordonnées global. Un modèle ABAQUS contient un seul assemblage.
- **Le module « STEP »** : ce module permet de définir toutes les étapes et les requêtes pour le post traitement, c'est à dire le moment (temps) à partir duquel une force est appliquée et jusqu'à quand, il est aussi possible de créer des forces ou des conditions limites qui s'activent à des moments donnés.
- **Le module « INTERACTION »** : grâce ce module, il est possible de spécifier toutes les interactions entre les différentes parties et régions du modèle, qu'elles soient

mécaniques, thermiques ou autres. Il faut savoir qu'ABAQUS ne prend en compte que les interactions explicitement définies, la proximité géométrique n'étant pas suffisante.

- **Le module « LOAD »** : permet de spécifier tous les chargements, conditions limites et champs. Il faut savoir que les chargements et les conditions limites sont dépendants des steps, par exemple une force est appliquée au step 1 mais inactive au step 2.
- **Le module « MESH »** : ce module contient tous les outils nécessaires pour générer un maillage élément fini sur un assemblage.
- **Le module « JOB »** : une fois que toutes les tâches de définition du modèle ont été réalisées, il faut utiliser le module Job pour analyser ce modèle. ABAQUS va alors réaliser tous les calculs nécessaires et en tirer des résultats.
- **Le module « VISUALIZATION »** : ce module permet de visualiser le modèle et les résultats, les courbes de charges, les déformations...
- **Le module « SKETCH »** : ce module permet de créer des formes bidimensionnelles qui ne sont pas associés à un objet. Il peut être utilisé pour des extrusions par exemple.

IV.2.4.2. L'arbre du modèle

L'arbre donne une description visuelle de la hiérarchie des objets du modèle. Tous les objets sont indiqués par de petites icônes avec en parenthèses le nombre de ces objets. L'ordre de l'arbre reflète l'ordre classique d'élaboration du modèle. A partir de cet arbre il est possible de retrouver la plupart des fonctionnalités de la barre de menu principale. Par exemple, double cliquer sur Part permet de créer une nouvelle Part comme sélectionner Part -> Create dans la barre de menu.

IV. 3. Conception de la géométrie sous SolidWorks [11]

IV.3.1. Le logiciel SolidWorks

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et mises en plan précises.

Il génère 3 types des fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation, toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Les pièces constituent les éléments de base du logiciel SolidWorks. Les assemblages contiennent des pièces ou d'autres assemblages, appelés des sous assemblages. Un modèle SolidWorks est constituée de géométrie 3D qui définit ses arêtes, faces et surfaces. Le logiciel SolidWorks vous permet de concevoir rapidement des modèles précis.

Les modèles SolidWorks sont :

- Bases sur la modélisation 3D ;
- Bases sur les composants.

IV.3.2. Modélisation 3D

SolidWorks adopte l'approche de modélisation 3D. Lorsque vous concevez une pièce, vous créez un modèle 3D, de l'esquisse initiale au résultat final. A partir de ce modèle, vous pouvez créer des mises en plan 2D ou contrainte des composants constitués de pièces ou de sous-assemblages afin de créer des assemblages 3D. Vous pouvez aussi créer des mises en plan 2D d'assemblages 3D. Un modèle conçu à l'aide de SolidWorks peut être visualisé dans ses trois dimensions, c'est à dire dans son aspect final après fabrication.

De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilisateurs orientés métiers (tôlerie, bois...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

IV.3.3. Description de la géométrie

Il s'agit du nouveau vilebrequin du compresseur 37P34 (Fig IV.1). Réalisé en acier estampé avec contrepoids monobloc évitant tout risque de désolidarisation en cours de fonctionnement et autorisant des courses de 150 à 165 millimètres.



Fig.IV.1. Le nouveau vilebrequin

IV.3.3.1. Modèle SolidWorks de la pièce utile

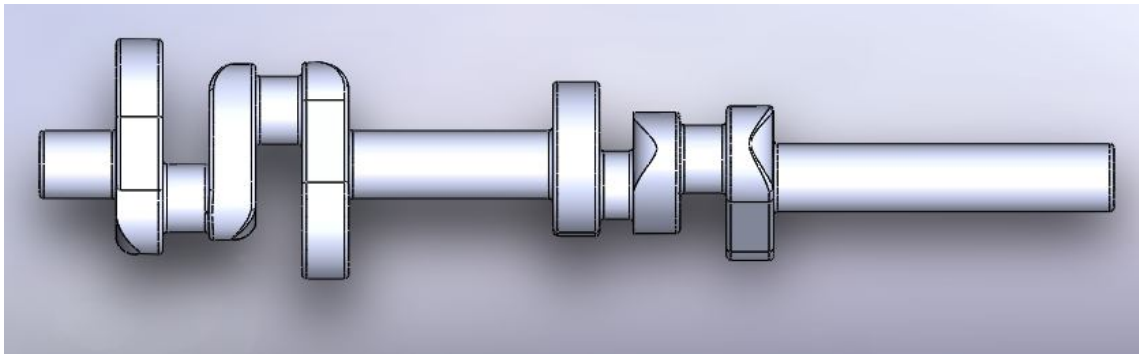
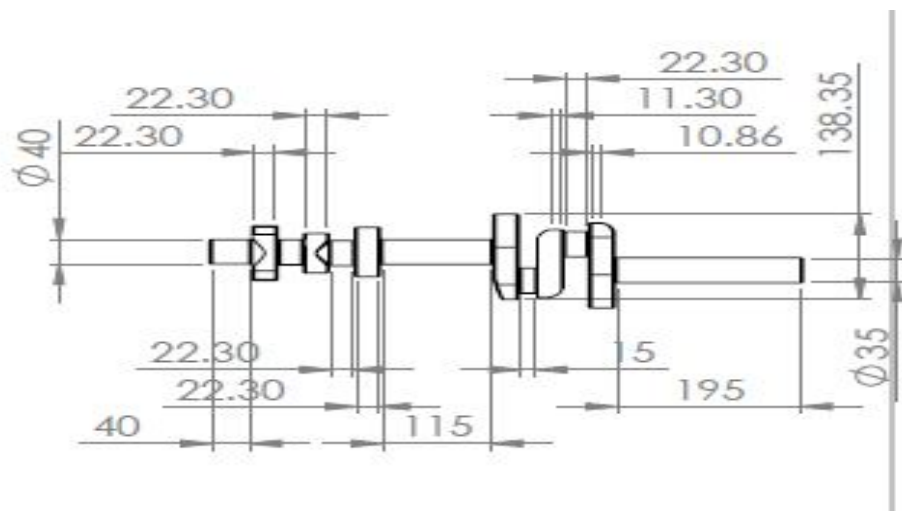


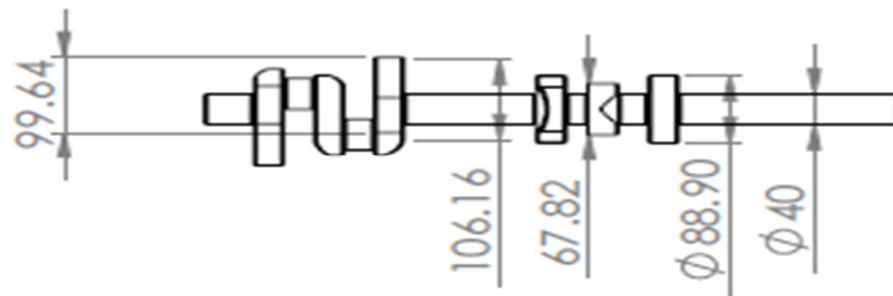
Fig.IV.2. Vue extérieure de la pièce après conception sur SolidWorks

IV.3.3.2. Propriétés de la géométrie

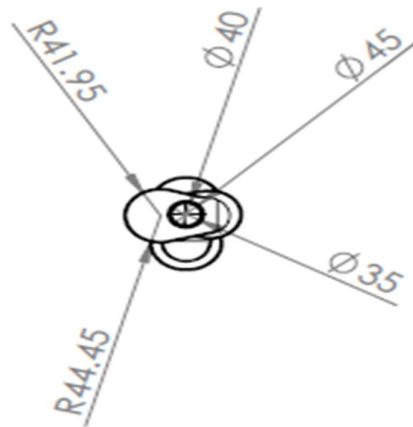
- a) Masse : 1843.74 g
- b) Volume : 1843739.74 mm³
- c) Aire de la surface extérieure : 185654.28 mm²
- d) Dimensions de la pièce utile :



a) Vue de face de la pièce utile



b) Vue de dessus de la pièce utile



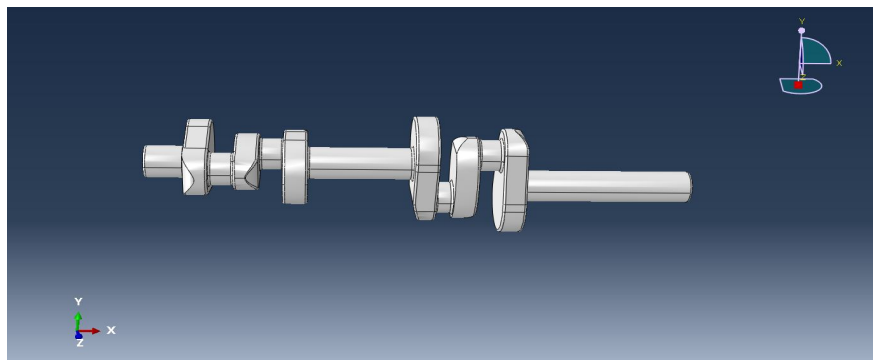
c) Vue de droite de la pièce utile

Fig.IV.3. Dimensions de la pièce utile

IV. 4. Simulation numérique du vilebrequin sans fissure (cas 1)

IV.4.1. Le module « PART »

Dans cette partie la géométrie du vilebrequin est importée du SolidWorks vers l'Abaqus.

**Fig.IV.4.** Modèle du vilebrequin sans fissure

IV.4.2. Le module « PROPERTY »

Pour ce module les propriétés *mécaniques* du vilebrequin sont définies.

Tableau IV.1. Propriétés mécaniques du vilebrequin

Désignation	Valeur
Densité [Kg/m^3]	7850
Module de Young [GPa]	210
Coefficient de poisson	0.3

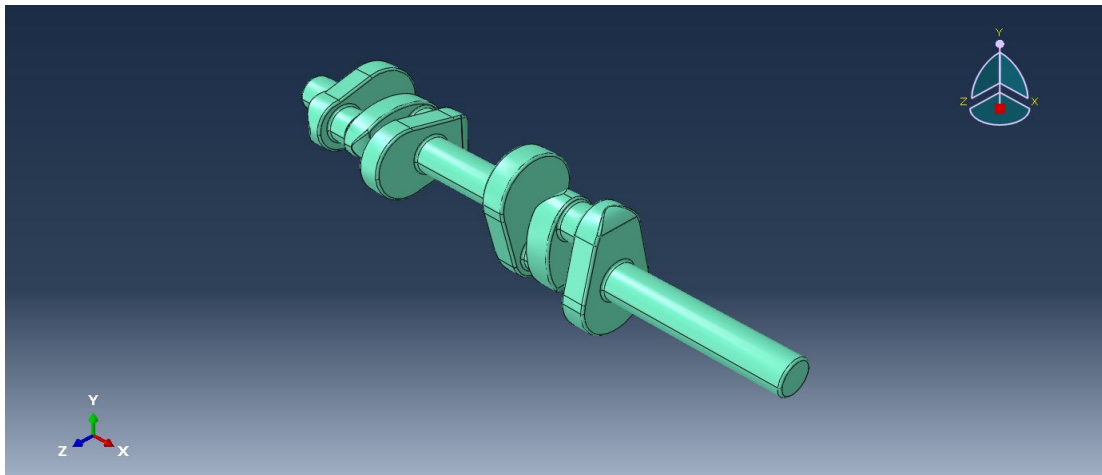


Fig.IV.5. Modèle vilebrequin après affectation de ses propriétés

IV.4.3. Le module « ASSEMBLY »

Dans cette partie on fait l'appel à la pièce définis, pour le mettre dans l'espace d'analyse des éléments finis et trouver les résultats souhaitées.

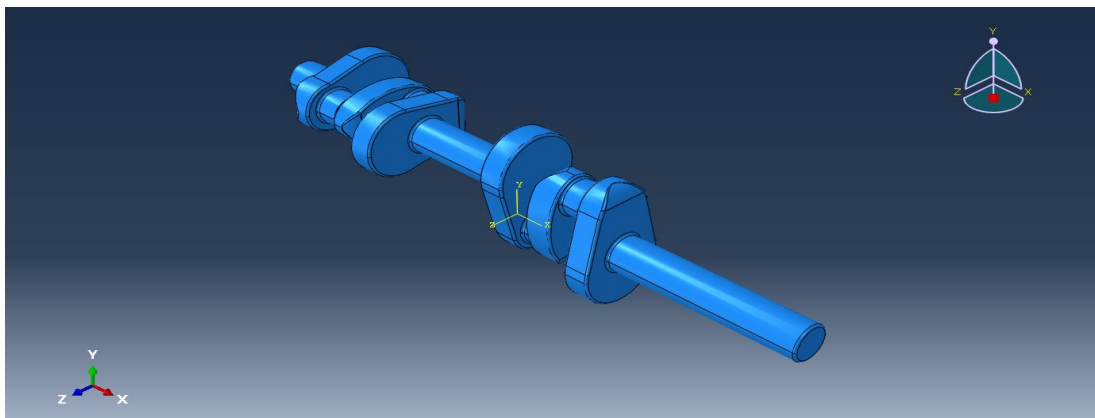


Fig.IV.6. Assemblage du vilebrequin

IV.4.4. Le module « STEP »

Dans cette partie on procède à la création des deux étapes pour le post traitement, à savoir :

- Le step 1 pour les fréquences ;
- Le step 2 pour les contraintes et déformations.

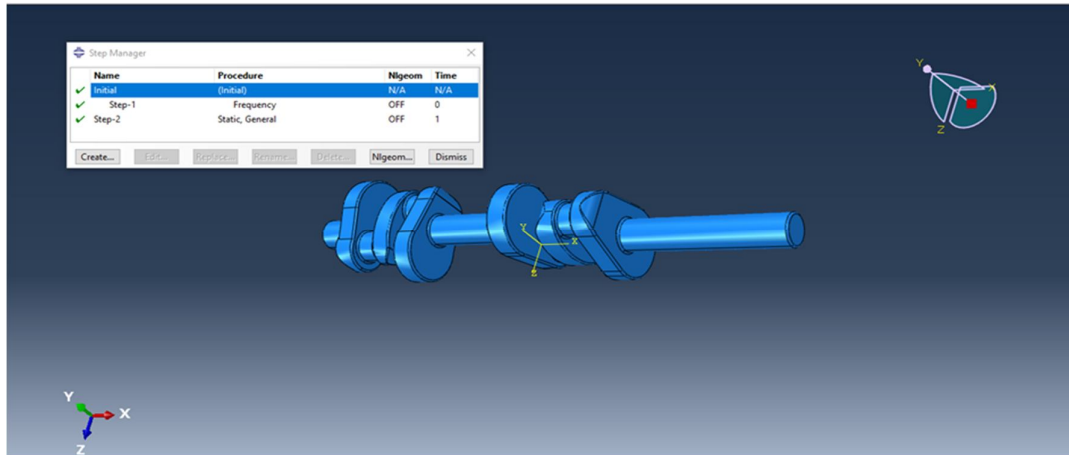


Fig.IV.7. Module Step

IV.4.5. Le module « LOAD »

Pour ce module tous les chargements, conditions limites et les champs sont appliqués.

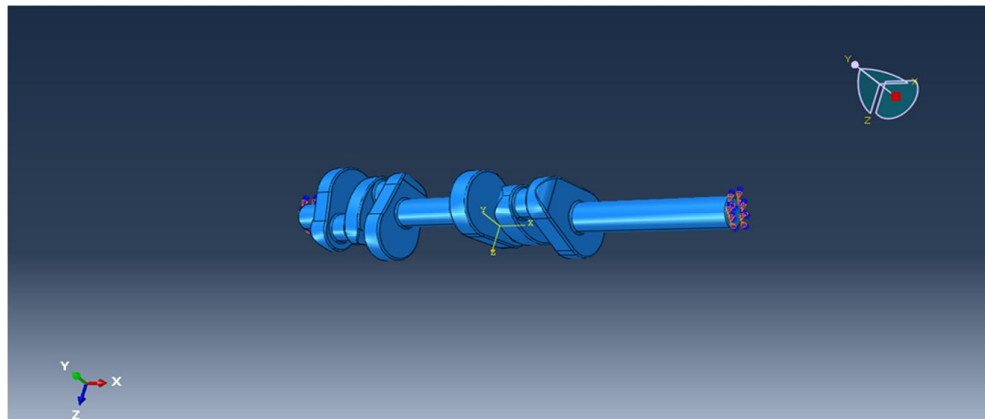


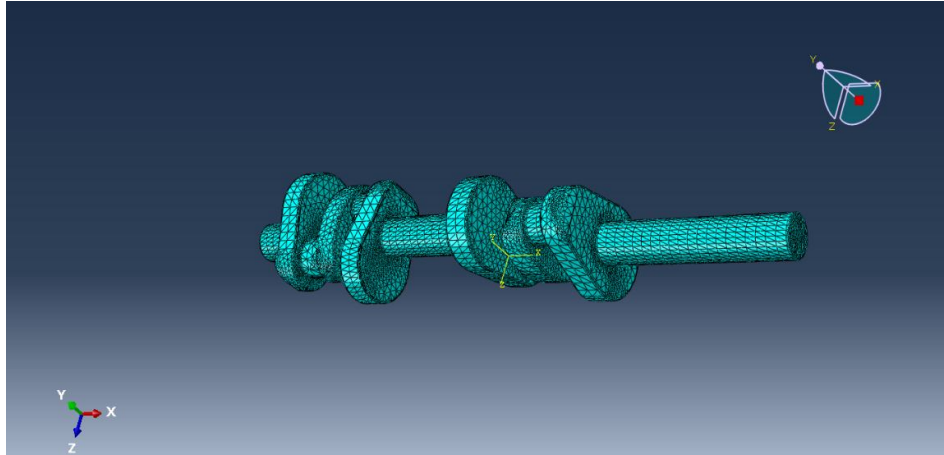
Fig.IV.8. Conditions aux limites (cas1)

IV.4.6. Le module « MESH »

Dans cette partie le maillage est défini par la méthode des éléments finis. Pour notre modèle nous avons choisi l'élément C3D10 : A 10-node quadratic tetrahedron.

Tableau IV.2. Caractéristiques de maillage du vilebrequin

Désignation	Valeur
Nombre d'éléments	107220
Nombre de nœuds	161612

**Fig.IV.9.** Maillage du vilebrequin

IV.4.7. Le module « JOB »

Ce module est réservé pour l'analyse du modèle définis.

IV.4.8. Le module « VISUALIZATION »

Ce module est consacré pour la visualisation du modèle. Ce dans cette partie qu'on va analyser les résultats (fréquences et contraintes).

IV.4.8.1. Résultats fréquence (le cas 1)

La base modale contient six modes, L'allure des six modes est présentée ci-dessous :

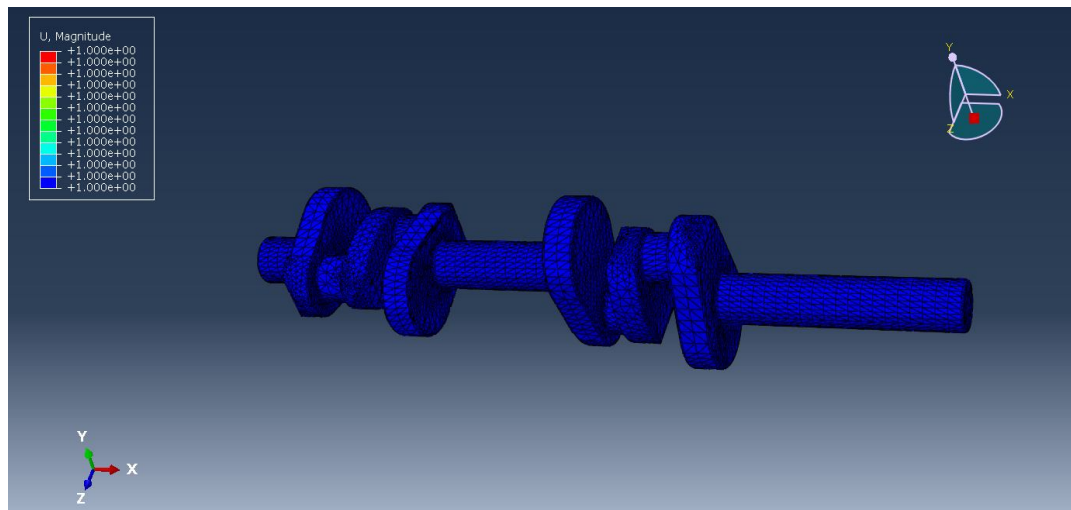


Fig.IV.10. Le premier mode du vilebrequin (cas 1)

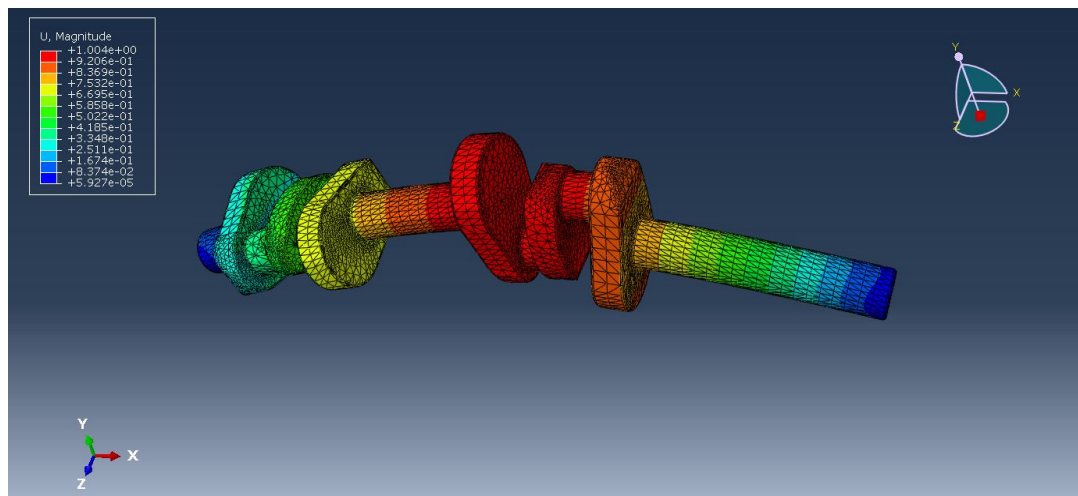


Fig.IV.11. Le deuxième mode du vilebrequin (cas 1)

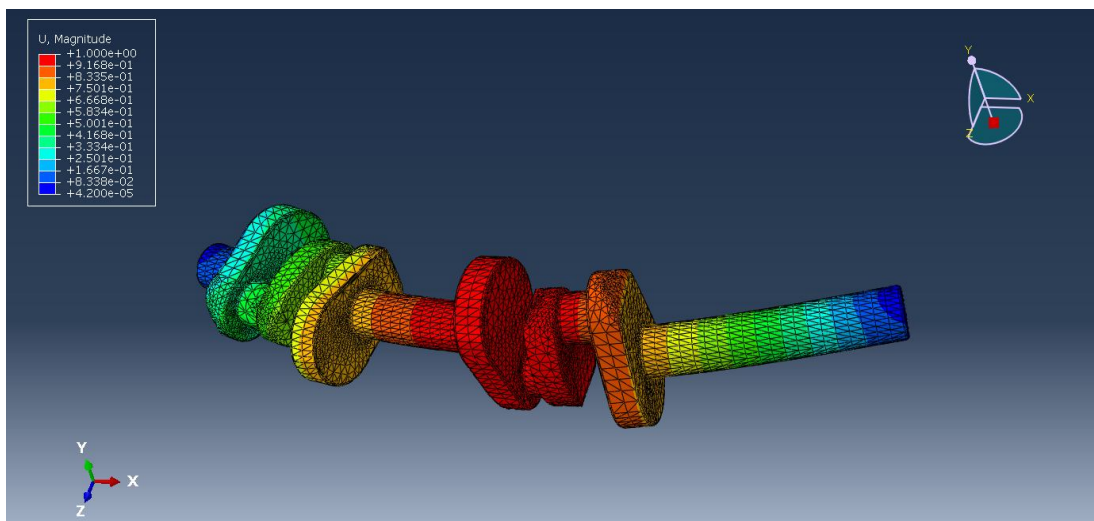


Fig.IV.12. Le troisième mode du vilebrequin (cas 1)

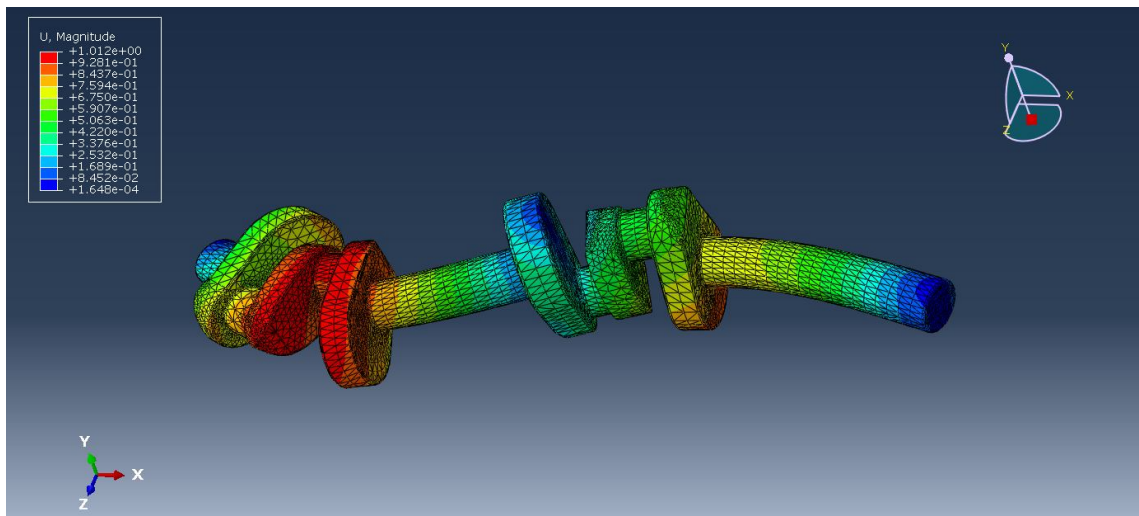


Fig.IV.13. Le quatrième mode du vilebrequin (cas 1)

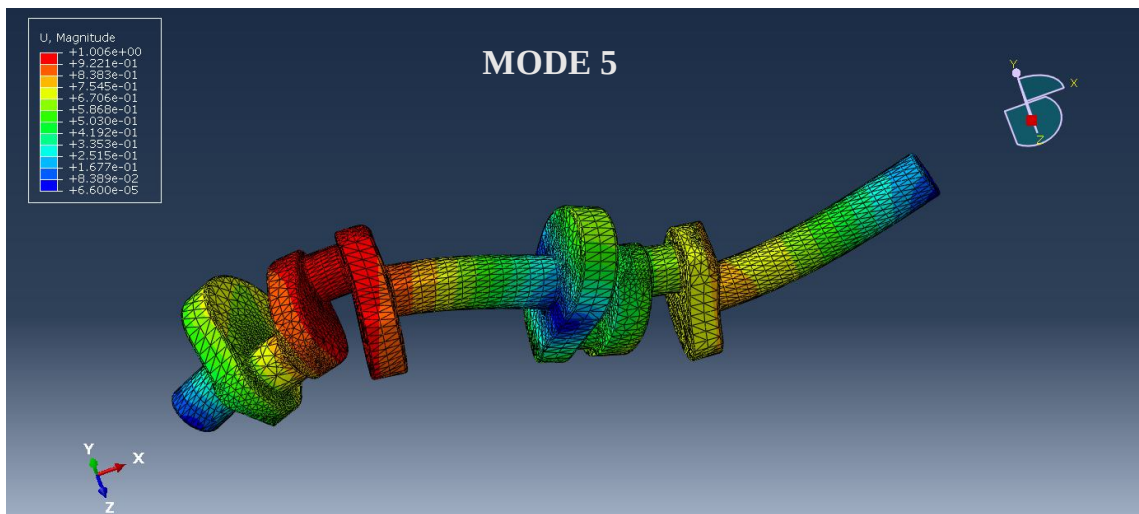


Fig.IV.14. Le cinquième mode du vilebrequin (cas 1)

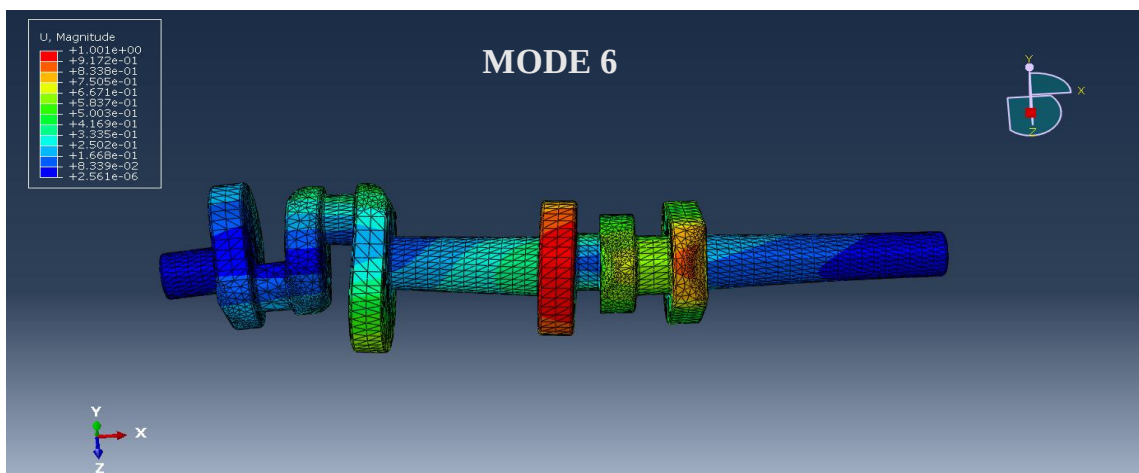


Fig.IV.15. Le sixième mode du vilebrequin (cas 1)

IV.4.8.2. Présentation graphique (cas 1)

Tableau IV.3. Les valeurs des fréquences en fonction des modes (cas 1)

Désignation	Fréquence [Hz]
Mode 1	0
Mode 2	0.10975
Mode 3	0.11461
Mode 4	0.45072
Mode 5	0.46706
Mode 6	0.64192

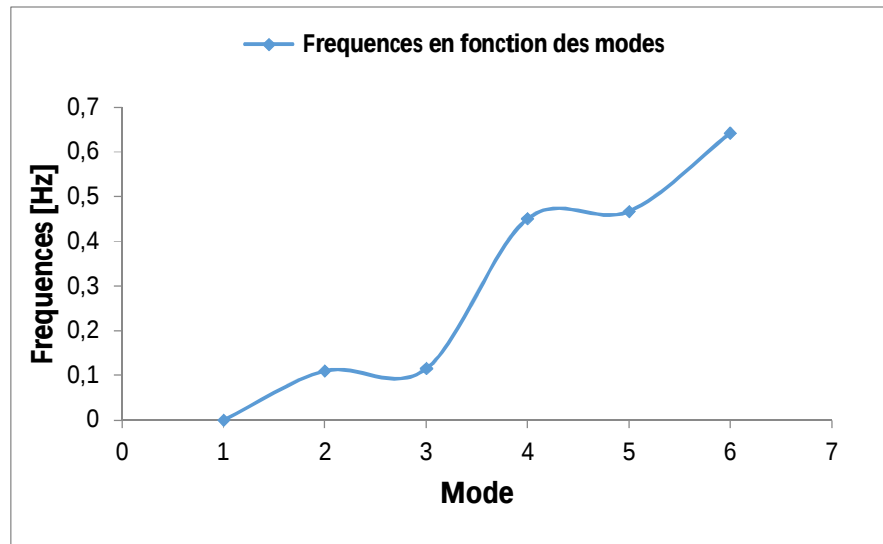


Fig.IV.16. Fréquence en fonction du mode

La figure IV.16 présente les modes de déformation correspondants aux six premières fréquences naturelles du vilebrequin. L'analyse graphique de ces résultats montre que les fréquences de couplage flexion-torsion augmente avec la variation des modes jusqu'à ce que la portée à des valeurs significatives dans la plage d'environ $f_1 = 0$ Hz à $f_6 = 0.64192$ Hz, alors les fréquences de torsion augmente progressivement à partir de mode 4 a fin d'attendre une valeur maximale de $f_6 = 0.64192$ Hz.

IV.4.8.3. Résultats contraintes (cas 1)

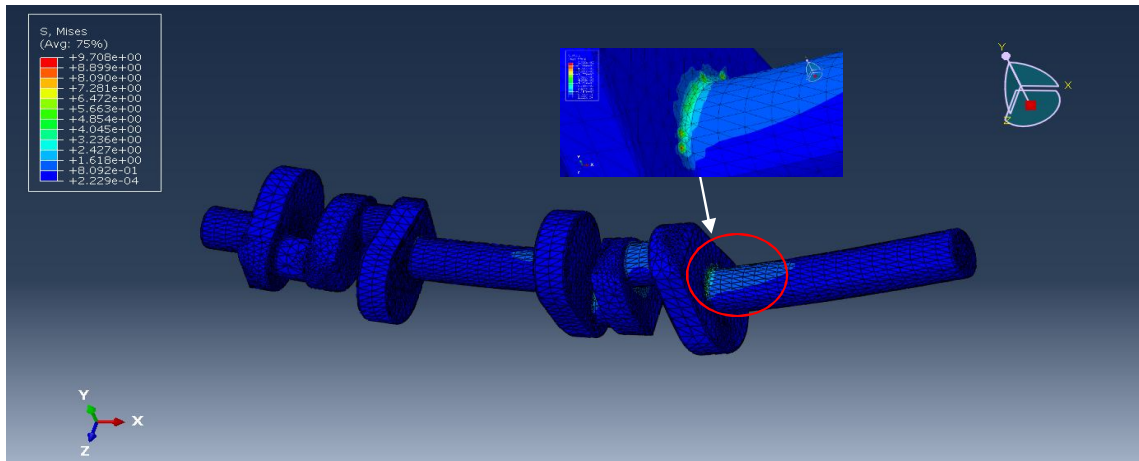


Fig.IV.17. Contrainte de Mises (cas 1)

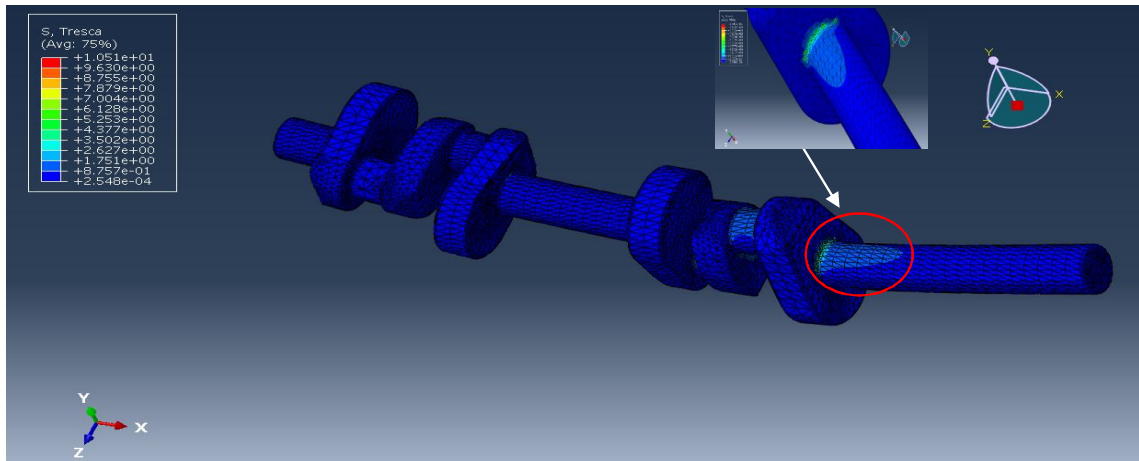


Fig.IV.18. Contrainte de Tresca (cas 1)

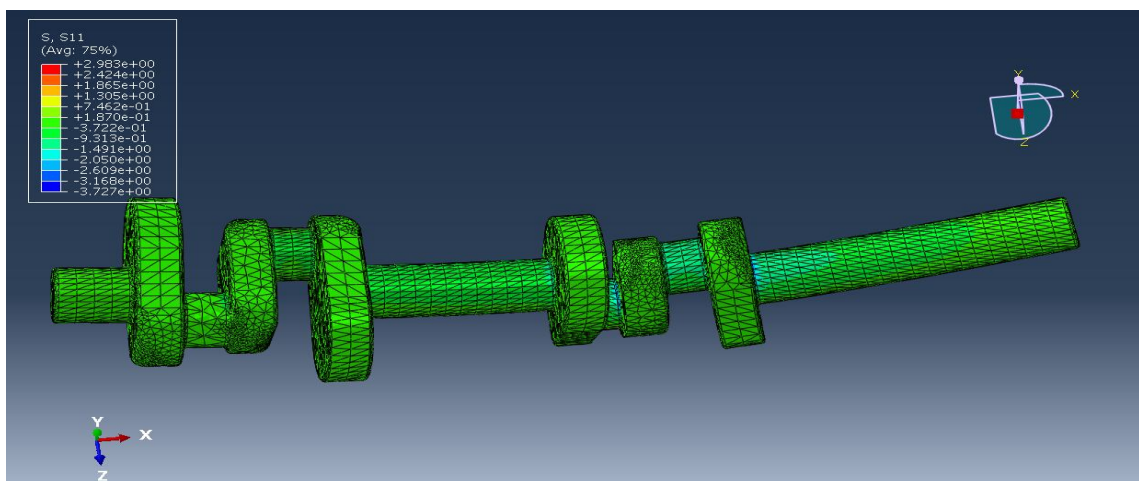


Fig.IV.19. Contrainte selon l'axe X (cas 1)

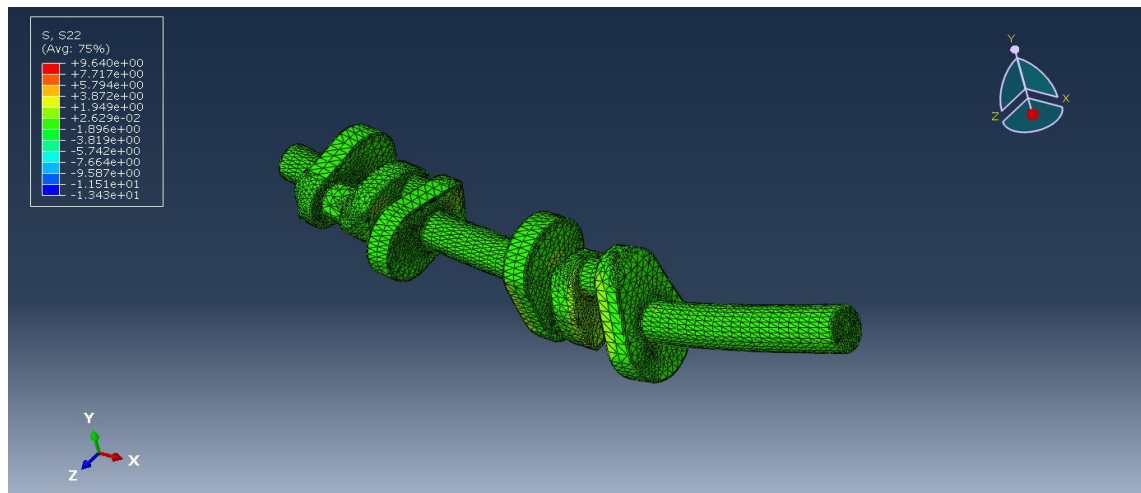


Fig.IV.20. Contrainte selon l'axe Y (cas 1)

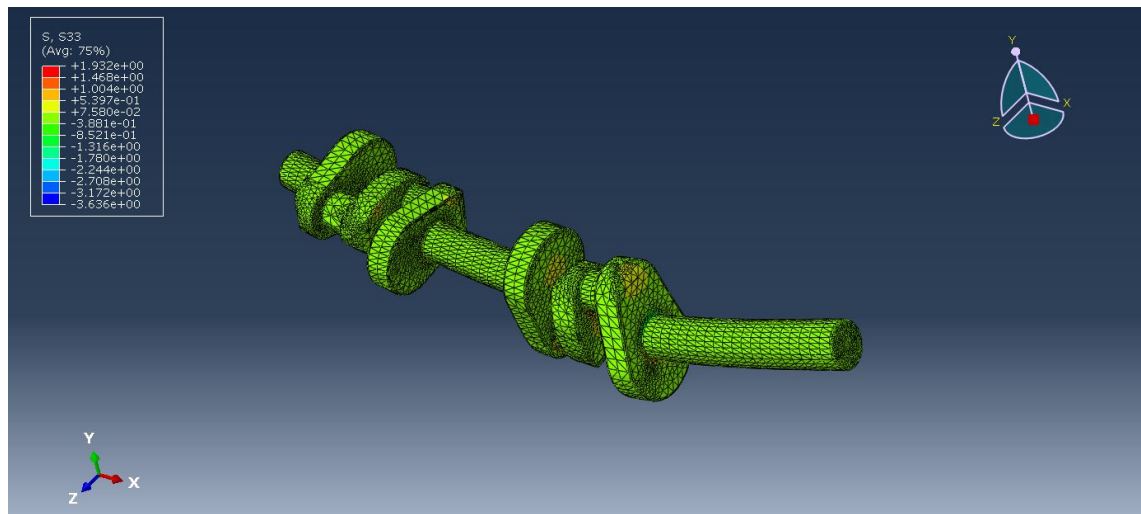


Fig.IV.21. Contrainte selon l'axe Z (cas 1)

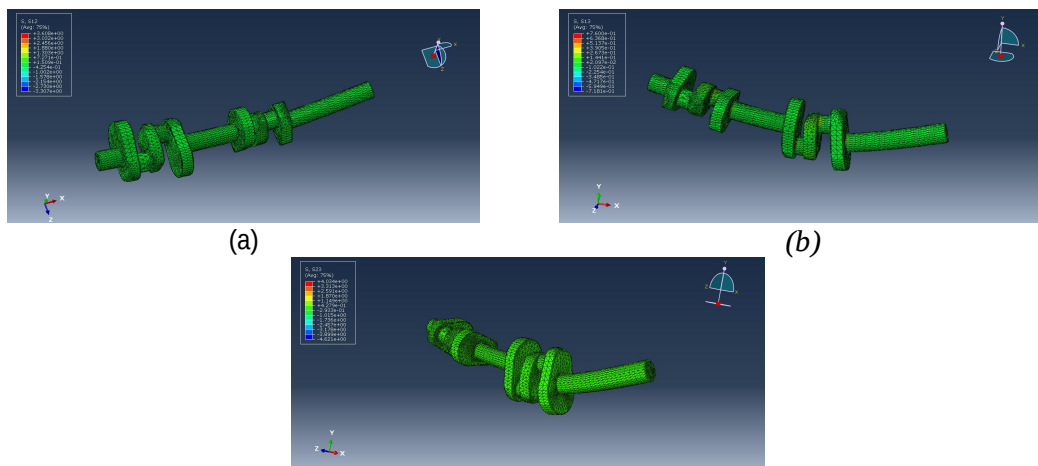
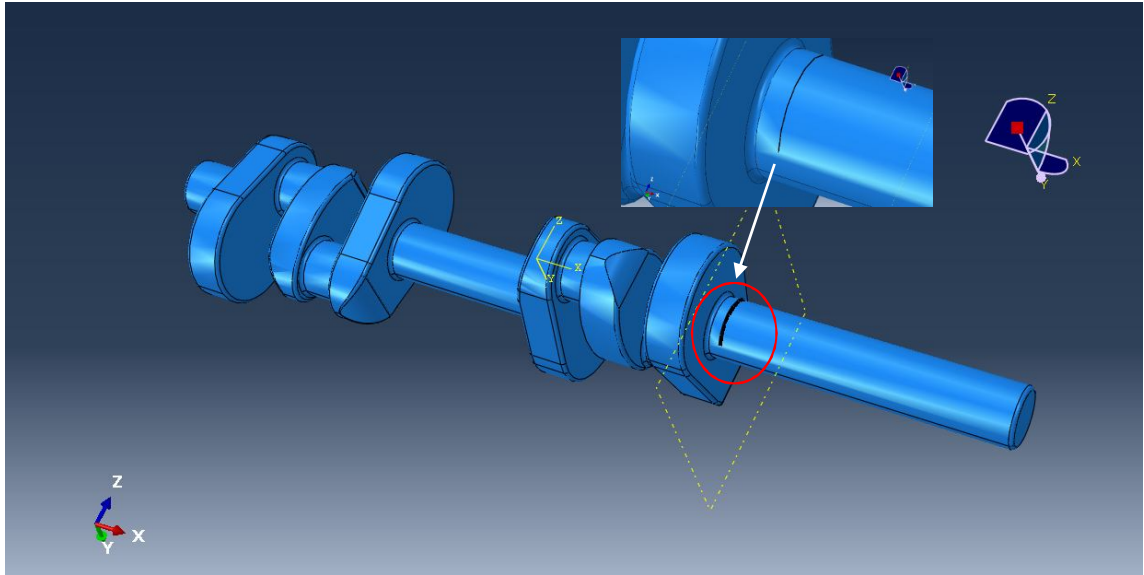
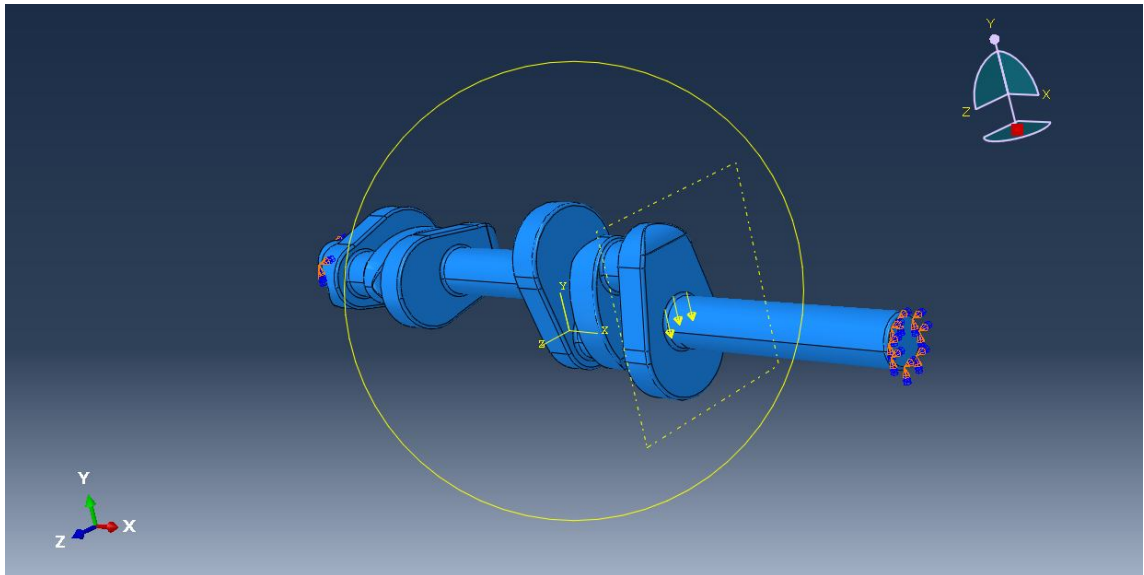


Fig.IV.22. Contrainte dans le plan (cas 1) - (a) : plan Xy, (b) : plan Xz, (c) : plan Yz

IV. 5. Simulation numérique du vilebrequin avec fissure (cas 2)

*Fig.IV.23. Modèle du vilebrequin avec fissure**Fig.IV.24. Conditions aux limites (cas 2)*

IV.5.1. Résultats fréquence (cas 2)

La base modale contient aussi six modes, L'allure des six modes est présentée ci-dessous :

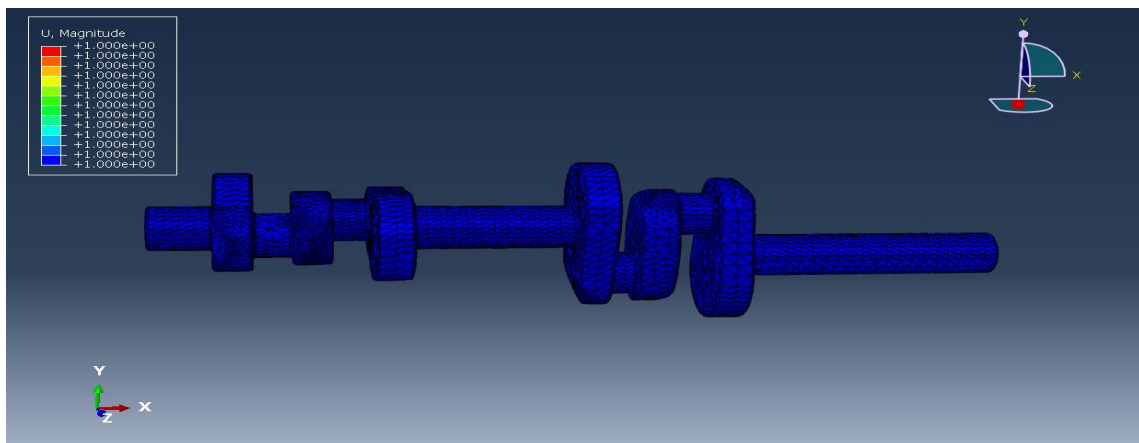


Fig.IV.25. Le premier mode du vilebrequin (cas 2)

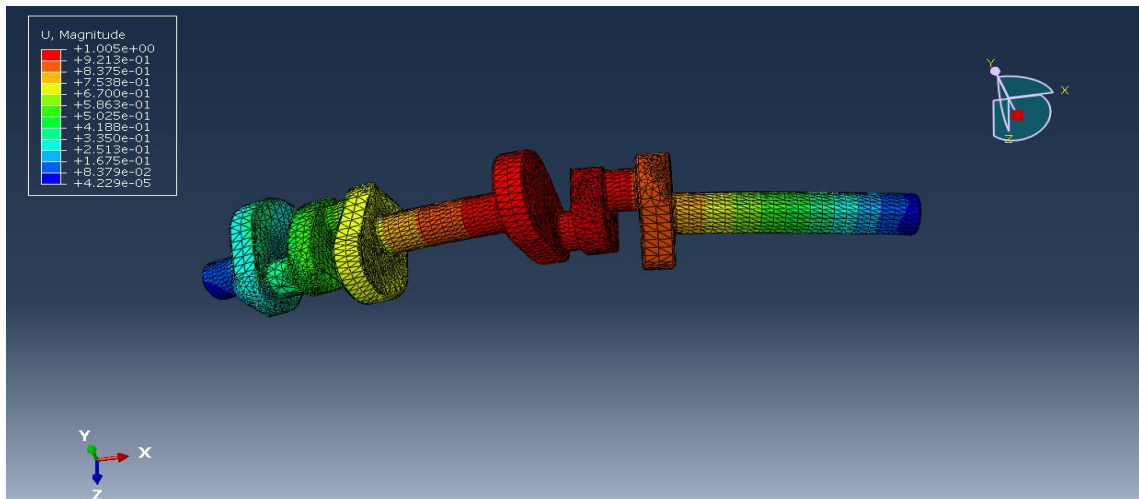


Fig.IV.26. Le deuxième mode du vilebrequin (cas 2)

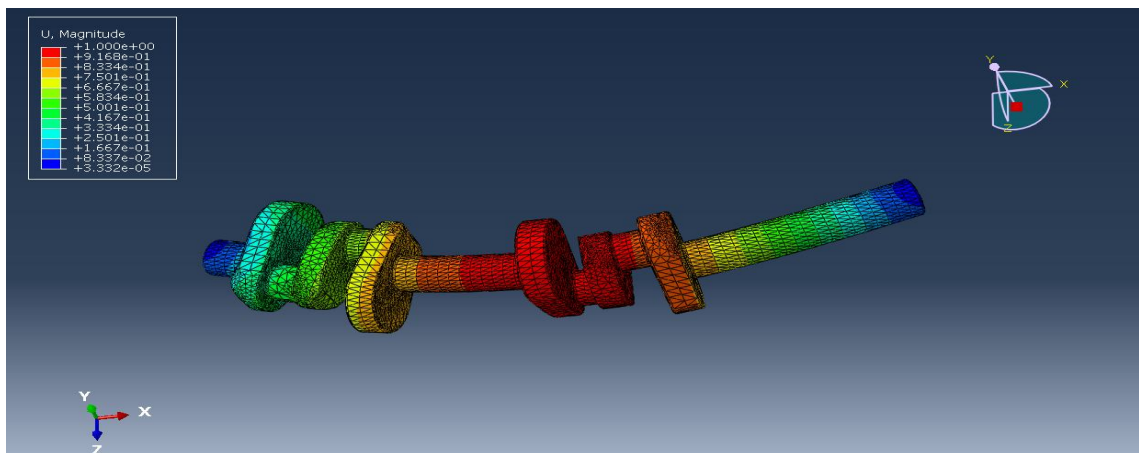


Fig.IV.27. Le troisième mode du vilebrequin (cas 2)

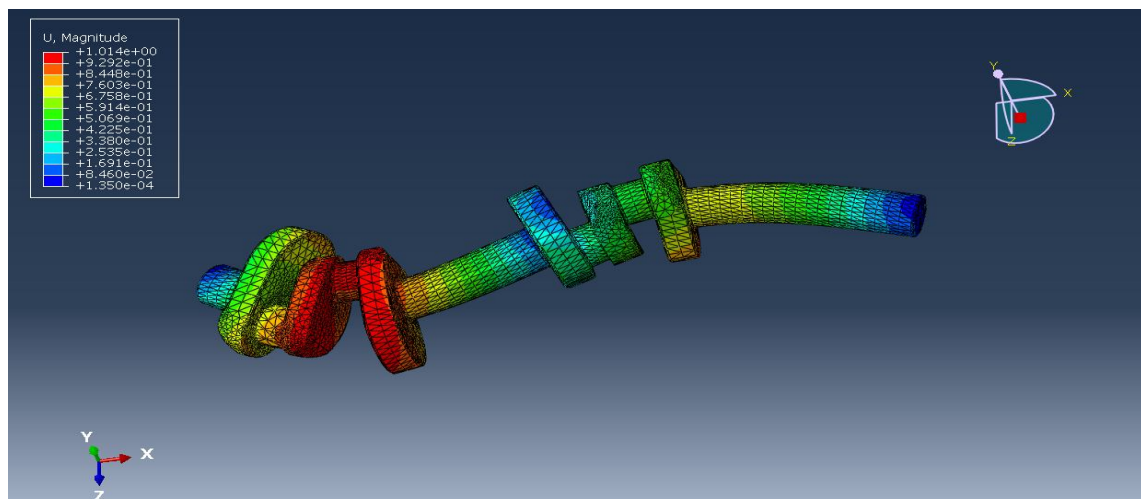


Fig.IV.28. Le quatrième mode du vilebrequin (cas 2)

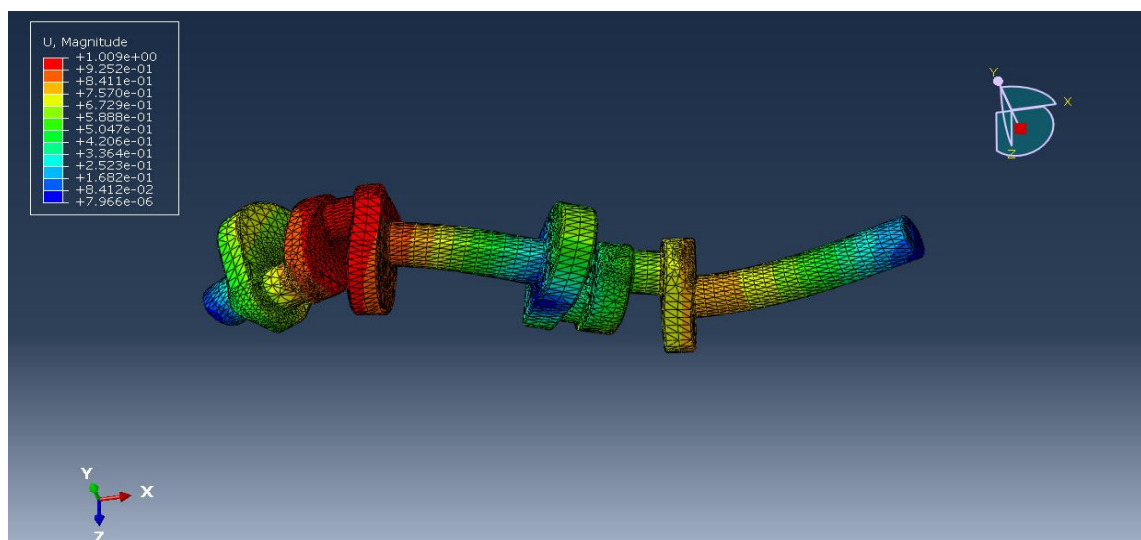


Fig.IV.29. Le cinquième mode du vilebrequin (cas 2)

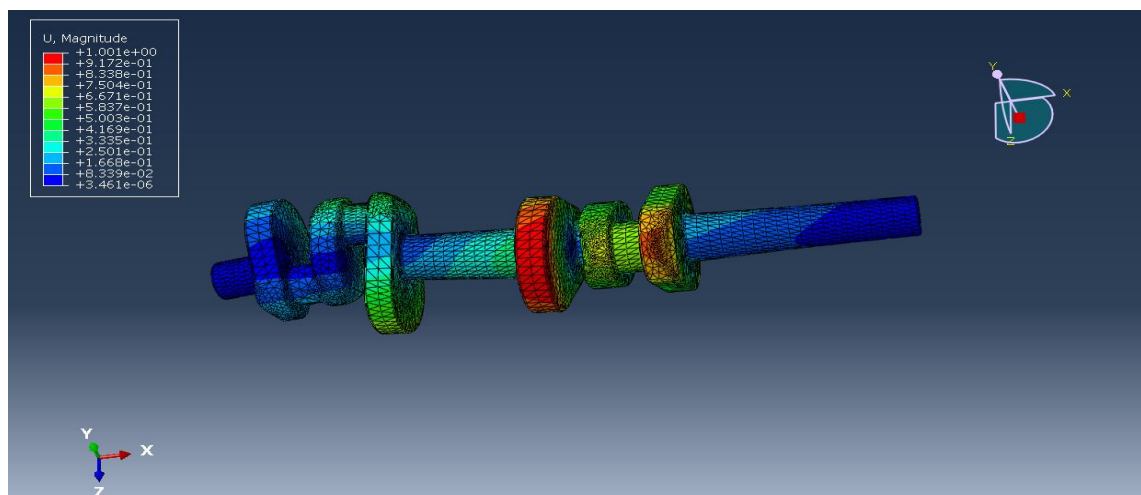


Fig.IV.30. Le sixième mode du vilebrequin (cas 2)

IV.5.2. Présentation graphique (cas 2)

Tableau IV.4. Les valeurs des fréquences en fonction des modes (cas 1,2)

Désignation	Fréquence [Hz] cas 1	Fréquence [Hz] cas 2
Mode 1	0	0
Mode 2	0.10975	0,09863
Mode 3	0.11461	0,10447
Mode 4	0.45072	0,44007
Mode 5	0.46706	0,45171
Mode 6	0.64192	0,63008

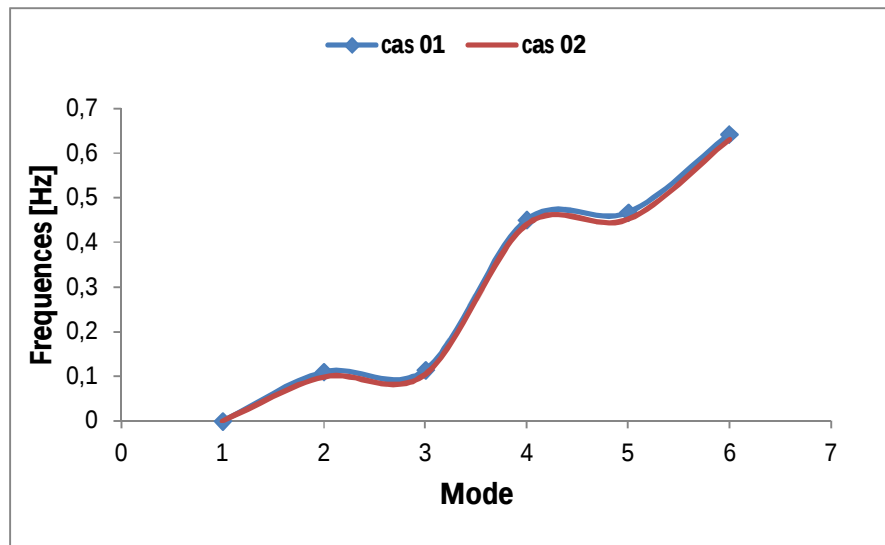


Fig.IV.31. Fréquence en fonction du mode (cas 1,2)

La figure IV.31 présente les modes de déformation correspondants aux six premières fréquences naturelles du vilebrequin pour les deux cas (sans et avec fissuration). On constate que la fissuration au niveau du vilebrequin dans le deuxième cas peut influencer sur le comportement mécanique de matériau par rapport le premier cas.

IV.5.3. Résultats contraintes (cas 2)

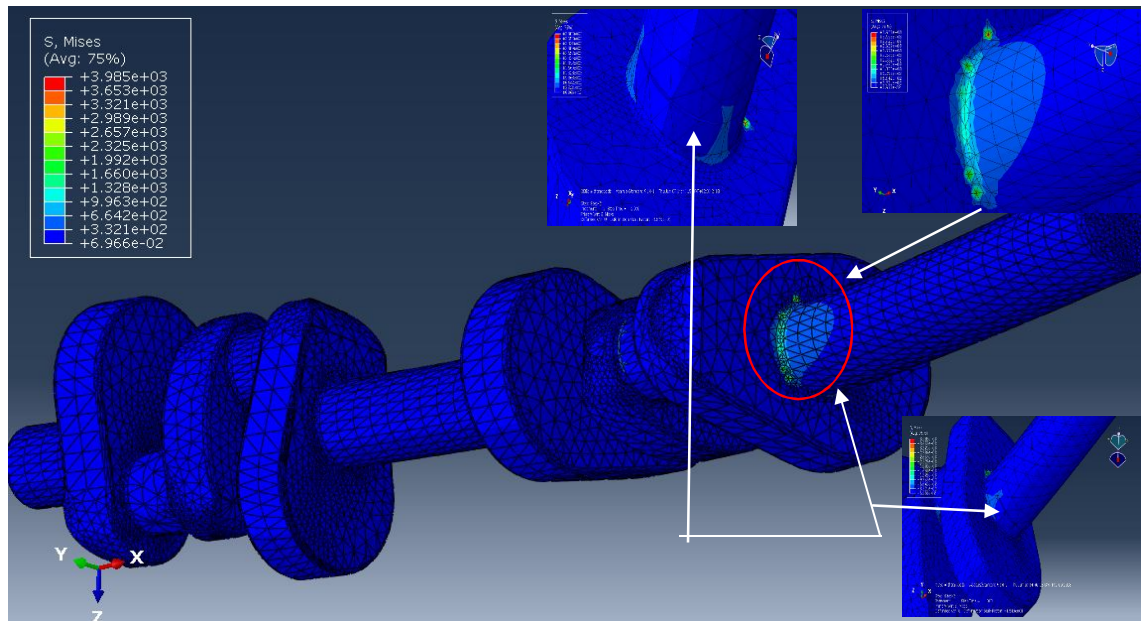


Fig.IV.32. Contrainte de Mises (cas 2)

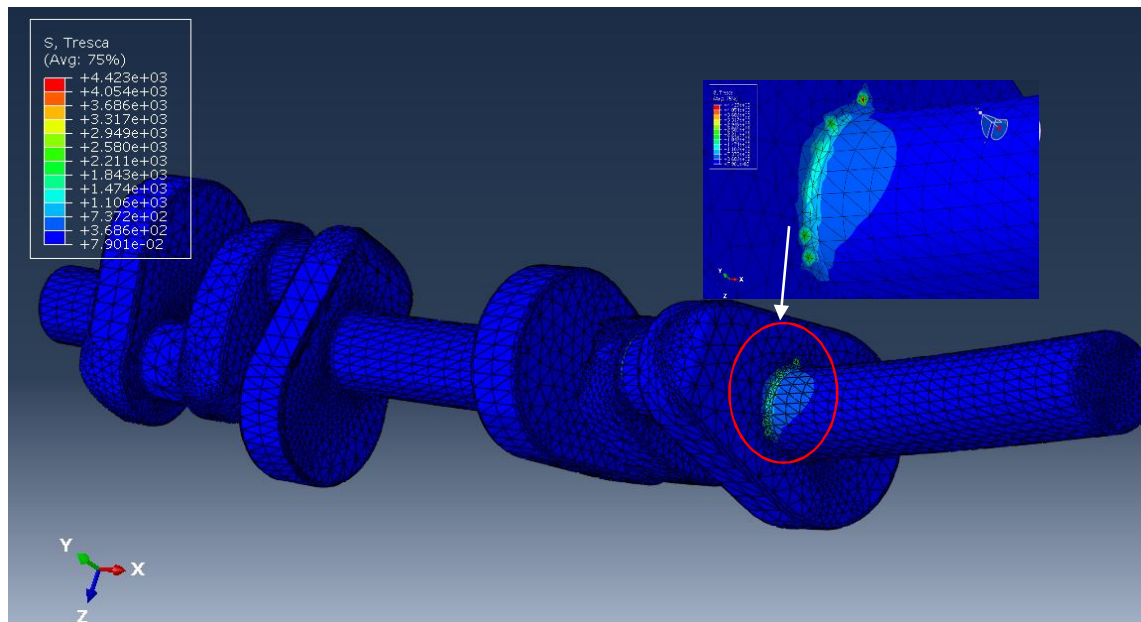


Fig.IV.33. Contrainte de Tresca (cas 2)

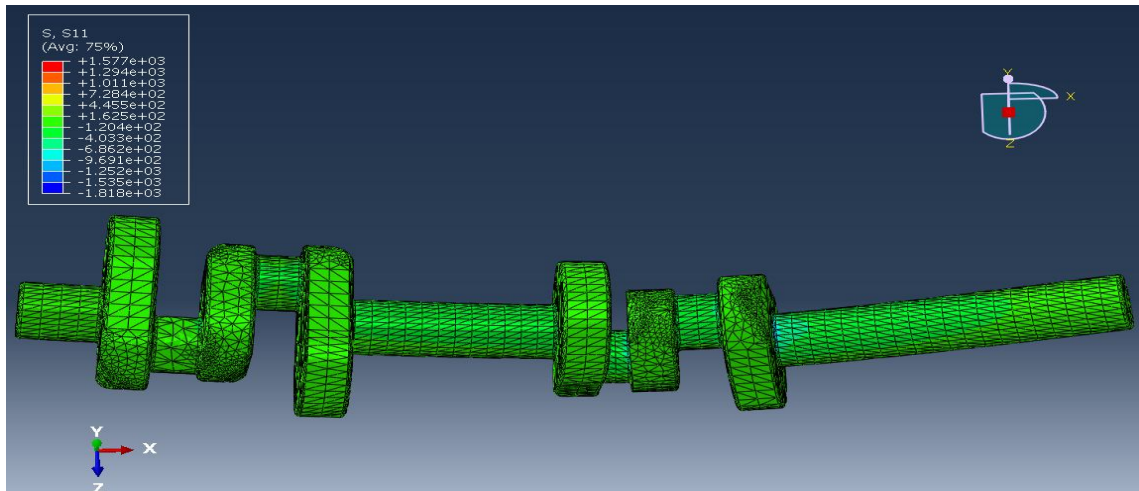


Fig.IV.34. Contrainte selon l'axe X (cas 2)

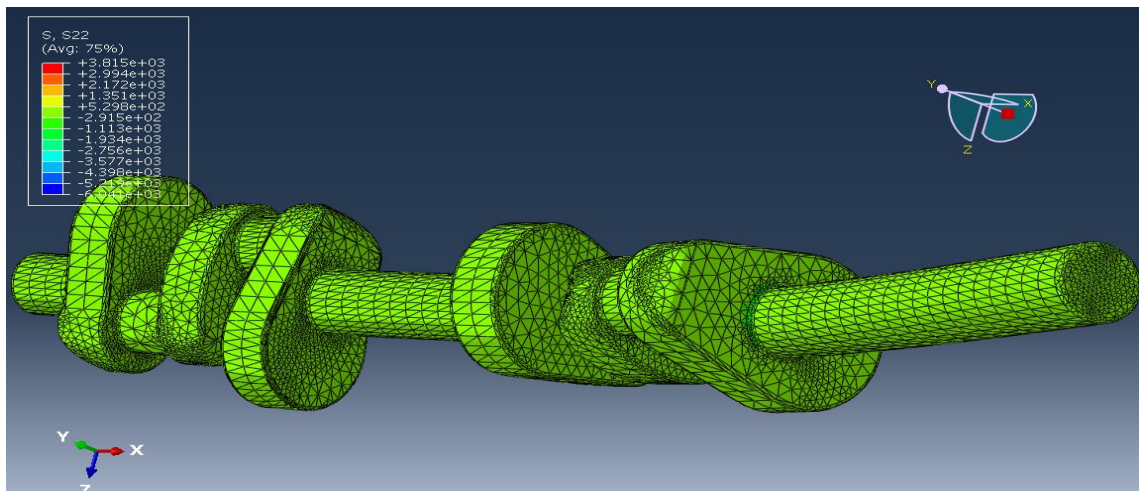


Fig.IV.35. Contrainte selon l'axe Y (cas 2)

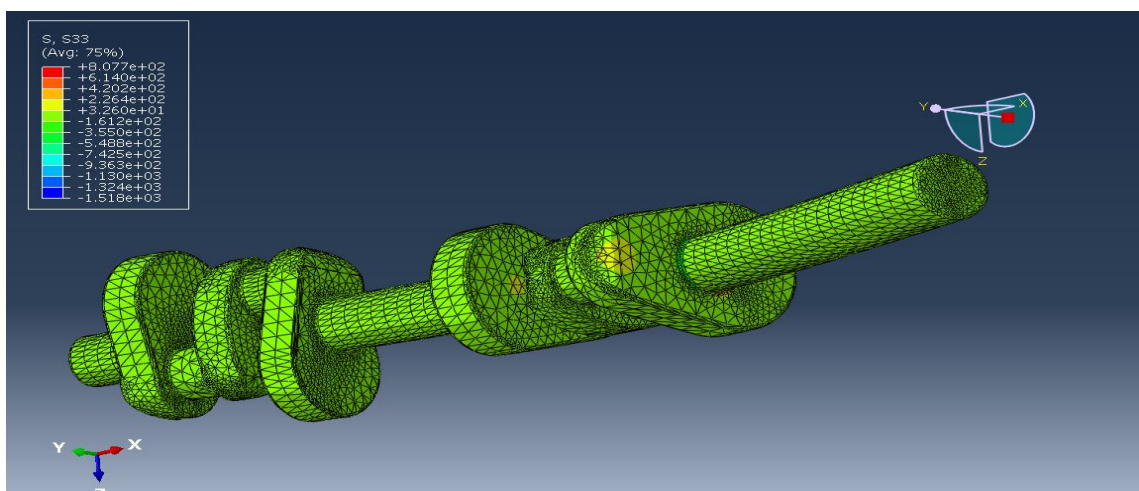


Fig.IV.36. Contrainte selon l'axe Z (cas 2)

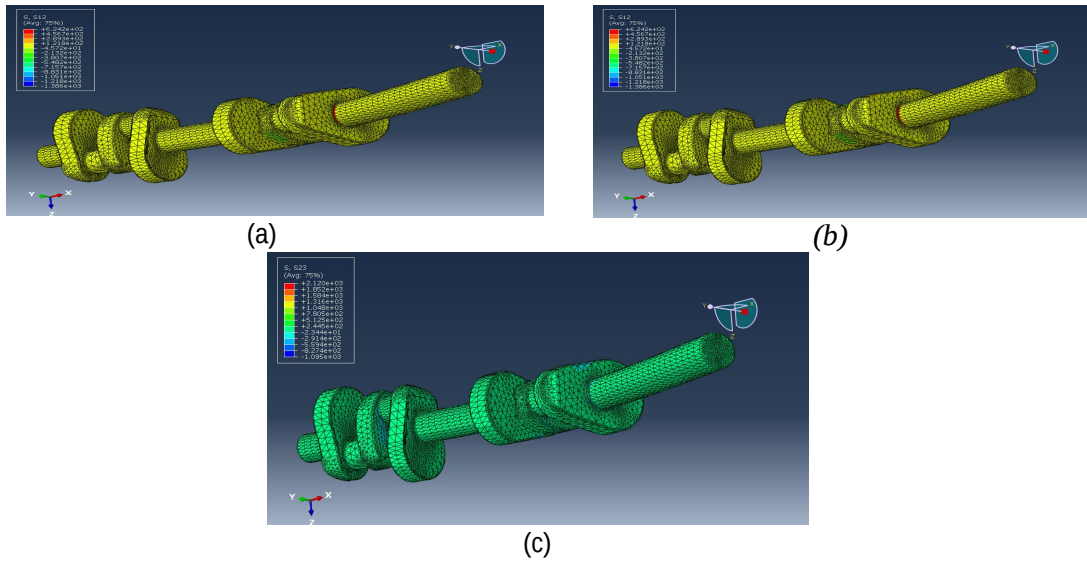


Fig.IV.37. Contrainte dans le plan (cas 2) - (a) : plan XY , (b) : plan XZ , (c) : plan YZ

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre on a déterminé les fréquences et les modes propres ainsi que les contraintes appliquées sur le vilebrequin pour les cas sans et avec fissuration. Les méthodes qu'on a utilisées sont très importantes pour comprendre le phénomène de flexion des arbres et pour éviter les résonances.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le projet de fin d'étude a été réalisé au sein de l'usine de la Fruital Coca-Cola SPA située dans la zone industrielle de Rouïba (Alger) durant trois mois. La principale activité de cette entreprise est la production et l'embouteillage de boissons. Pour cela, on y trouve divers équipements de production et d'embouteillage parmi lesquels le compresseur 34P37. Ce dernier dispose d'un système de bielle-manivelle (vilebrequin), unique dans son genre au sein de l'entreprise, utilisé depuis les années 1996 pour le système d'air comprimé telle que le soufflage des bouteilles PET. D'où l'importance de cet équipement dans la chaîne de production.

Le matériel malgré son vieillissement reste à ce jour exploité continument et les actions de maintenance sont pratiquées régulièrement mais, comme était remarqué durant notre stage, l'état du matériel se dégrade d'une façon irréversible ce qui rend les actions de maintenance moins effective sur le matériel avec des capacités de fonctionnement et de performances amoindries.

À l'issu de ce travail nous considérons que ce compresseur, à défaut d'être remplacé, doit subir une rénovation et une modernisation complètes. Notre recommandation majeure est de proposer dans le cadre d'un nouveau projet de fin d'études la réalisation d'une étude de conception pour la remise à l'état neuf du compresseur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Référence

- [1] MOHAMED TAÏBI " Machines hydrauliques et compresseurs". O.P.U. Alger, 2ieme édition 2006.
- [2] DOCUMENTATION FRUITAL COCA-COLA : Manuel du compresseur 37P34
- [3] TOTAL, Manuel de formation COURS EXP-PR-EQ130 Révision 0.3
- [4] JEAN BAPTISTE LE BLOND " Mécanique de la rupture fragile et ductile ". Juin 2003
- [5] J. BESSON " Endommagement et rupture "
- [6] AMAR GHOUL " Mécanique de la rupture ". Avril 2005
- [7] ODORICO, G. LEIBA " Evolution des matériaux sur les structures d'avions civils et d'hélicoptères". Matériaux Et Techniques, N° 1-2 / Janvier - Février 1988.
- [8] ARCHIVE PDF "concepts fondamentaux de la mécanique de la rupture" lorraine. Consulté en Mars 2018
- [9] GUILLAUME DUBOIS " La simulation numérique ". Dunod, 2016
- [10] AURELIAN FATU " Etude numérique et expérimentale des paliers de moteur thermique et des joints d'étanchéité dynamique" Thèse de Doctorat, Université de Poitiers. Septembre/2013.
- [11] KADRI KAMEL " Simulation numérique 3D du remplissage d'un moule en fonderie " Mémoire de Master, Université M'Hamed Bougara-BOUMERDES. 2014/2015
- [12] JULIEN BRICHE ARCHIVE PDF " Introduction à la CAO sur le logiciel ABAQUS" Consulté en Avril 2018
- [13] SALHI RIADH " ANALYSE VIBRATOIRE et simulation numérique du groupe turboalternateur de la centrale thermique de Ras Djinat " Mémoire de Master, Université M'Hamed Bougara-BOUMERDES. 2016/2017
- [14] ARCHIVE PDF " Dommages des vilebrequins". Consulté en Mars 2018

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [15]** IRSID OTUA" La rupture des aciers ". Décembre 2006
- [16]** ARCHIVE PDF " Crankshaft, Main Bearings and Shaft Alignment ". Consulté en avril 2018
- [17]** ARCHIVE PDF " Restoring crankshaft Alignment ". Consulté en Mai 2018
- [18]** DOMINIQUE FRANCOIS" Comportement mécanique des matériaux ". Janvier 1993
- [19]** ARCHIVE PDF " Numerical Analysis and Study of Crankshaft SystemHydrodynamic Lubrication and Dynamic CouplingSystem ". Consulté en Mai 2018

ANNEXE

1. Fiche d'analyse

ExiM		Fiche d'analyse		Fruital	
Ligne : PET 10/10 - 2/4 LITRES -		Créée par : Equipe		Date de création :	
Nom et n° de l'équipement :		Noms :		Fiche n° :	
Arrêt ligne ☒		Heure de début :		Heure de fin :	
Arrêt de la machine ☒		Heure de début :		Heure de fin :	
Description du problème :		Schéma/photographie du problème (utiliser le verso de la page si nécessaire) :			
- Cassure du vilebrequin du compresseur 40bar 37p34 de la ligne PET 10/10.					
Analyse détaillée :					
Où :	partie mécanique vilebrequin				
Quand :	le 07-11-2017 à 8h30.				
Causes possibles (1 raison) :					
1	Défaut de Vie				
2	problème sur le circuit de graissage. (sécurité pression d'huile).				
3	problème sur les crissements paliers.				
4	problème d'alignement du palier externe.				
5					
Analyse des causes		Contre-mesures réalisées - changement de vilebrequin - changement des câbles - changement des considérants - bague latérale - alignement du vilebrequin avec palier. - mesure du T° après fonctionnements - rectification des paliers - nettoyage palier			
Contre-mesures		Contre-mesures proposées - contrôle systématique de l'alignement de vilebrequin avec un comparateur de contrainte après chaque montage du palier externe à savoir : - changement des courroies - changement de la partie mécanique - démontage de la partie.			
SUIVI :		Oui ☐	Non ☐	Priorité : 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐	Responsable :

Source - Documentation Fruital Coca-Cola SPA

2. Tableau des relevés quotidiens



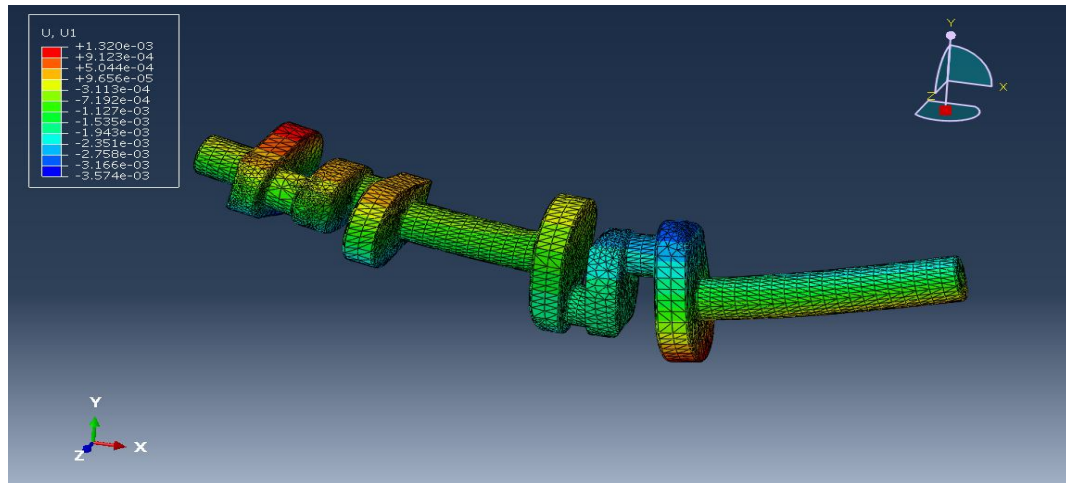
TABLEAU DES RELEVES QUOTIDIENS SUR COMPRESSEURS 40 Bars 37P34

DATE : 22.10.2018

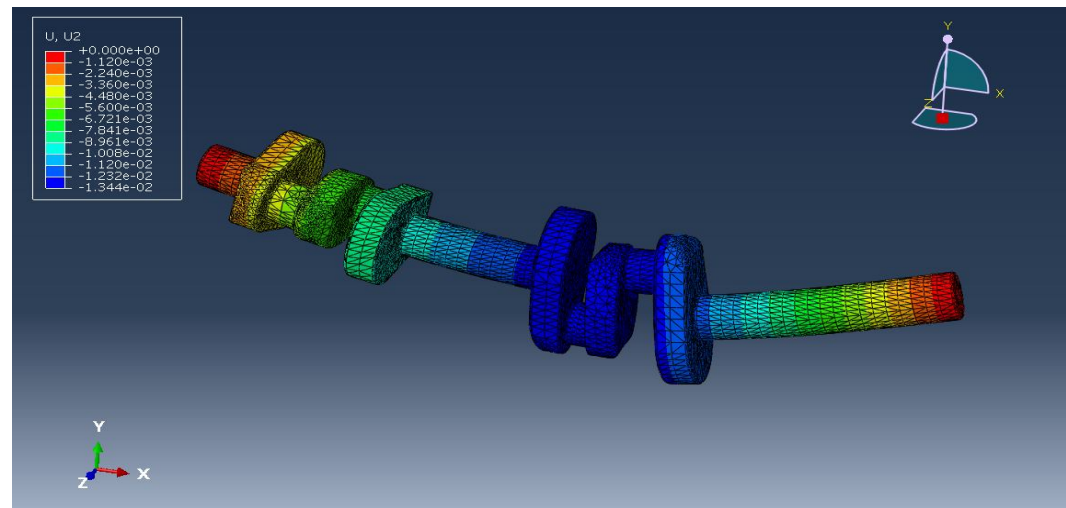
OPERATION	ELEMENTS	UNITE	05h00	08h00	10h00	12h00	14h00	16h00	18h00	20h00	22h00	00h00	02h00	04h00
RELEVER LES TEMPERATURES	Asp. 1er étage	°C	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM	ATM
	Asp. 2ème étage	°C	36	38	37	37	37	38	38	37	38	38	38	38
	Asp. 3ème étage	°C	38	38	40	39	39	39	40	40	40	40	40	40
	Refoul. 1er étage	°C	115	120	120	120	120	125	125	125	120	120	120	120
	Refoul. 2ème étage	°C	120	125	130	130	130	135	135	135	130	130	130	130
	Refoul. 3ème étage	°C	130	130	135	135	140	140	140	140	140	140	140	140
	Entrée eau	°C	40	40	42	42	42	42	42	42	42	40	40	40
	Sortie eau	°C	45	45	45	47	48	47	47	45	50	50	45	48
RELEVER LES PRESSIONS	POINT DE ROSE	°C	18	2	2	2	17	2	2	2	2	16	18	18
	Refoul. 1er étage	Bar	24	24	3	3	24	3	3	3	3	3	3	3
	Refoul. 2ème étage	Bar	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	Refoul. 3ème étage	Bar	33	33	33	33	33	33	33	33	34	34	34	34
	Huile	Bar	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
OBSERVATION :	Eau	Bar	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

Source - Documentation Fruital Coca-Cola SPA

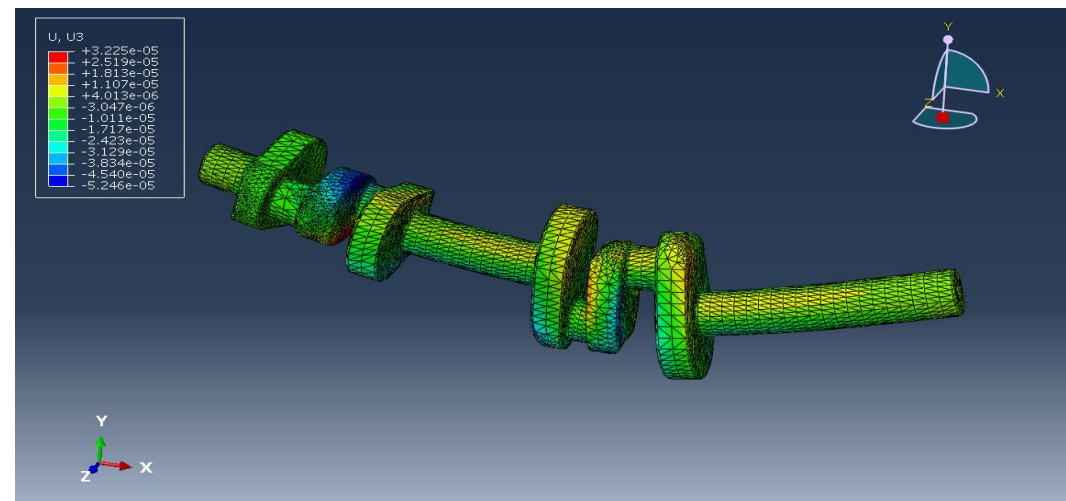
3. Déplacement sans fissuration



a) Déplacement selon l'axe X (cas 1)

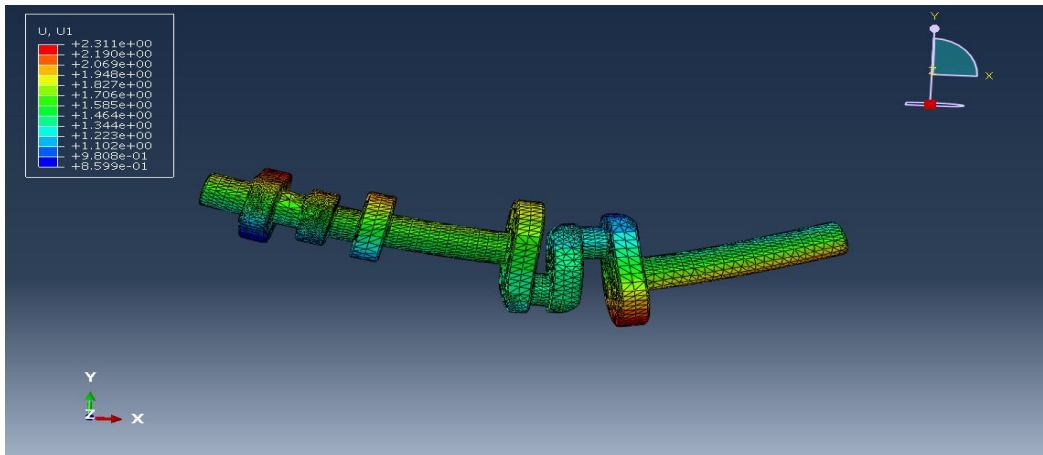


b) Déplacement selon l'axe Y (cas 1)

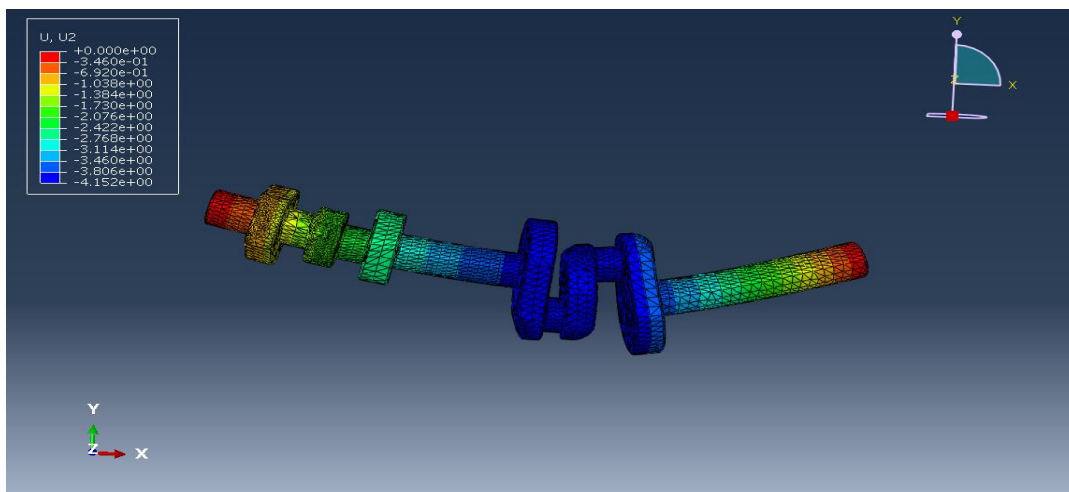


c) Déplacement selon l'axe Z (cas 1)

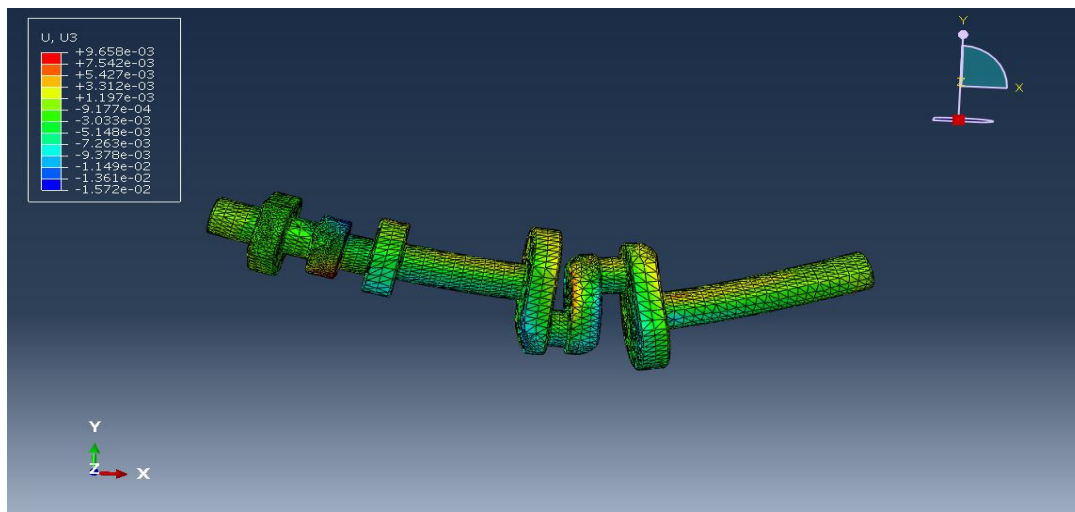
4. Déplacement avec fissuration



a) Déplacement selon l'axe X (cas 2)

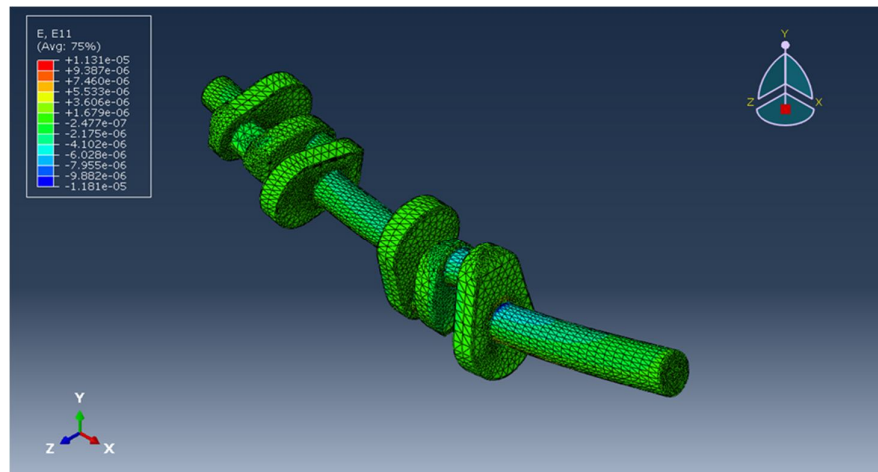


b) Déplacement selon l'axe Y (cas 2)

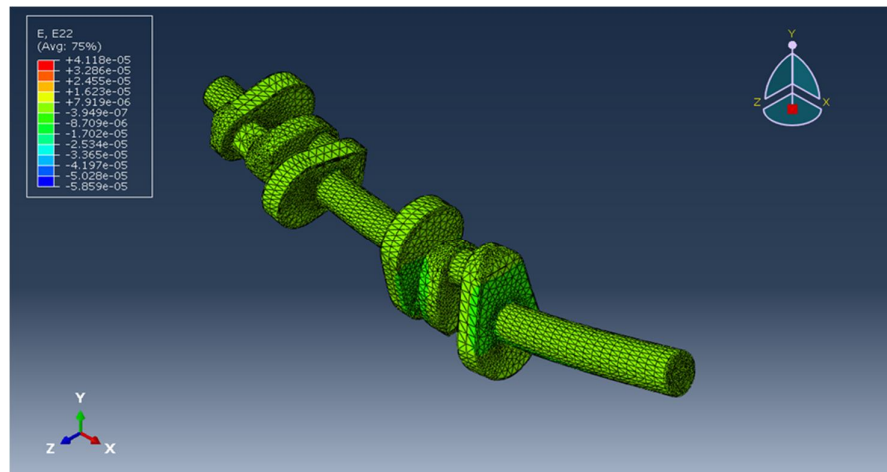


c) Déplacement selon l'axe Z (cas 2)

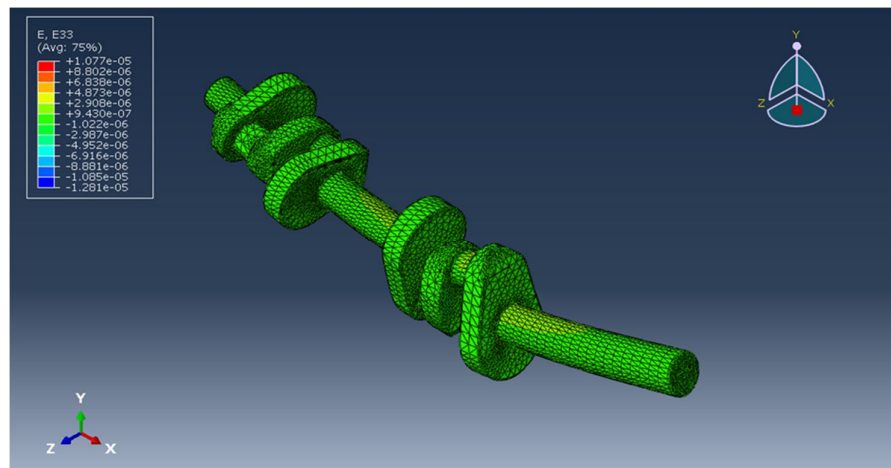
5. Déformation sans fissuration



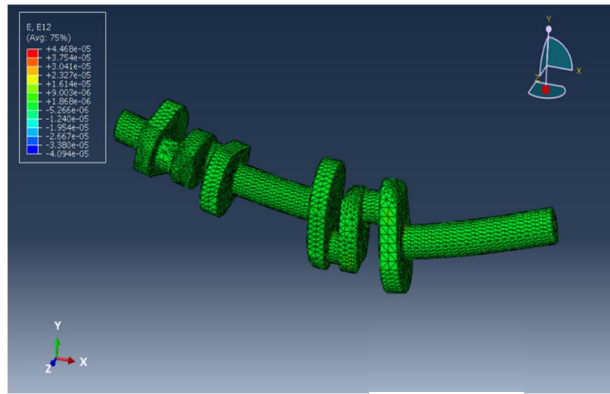
a) Déformation selon l'axe X (cas 1)



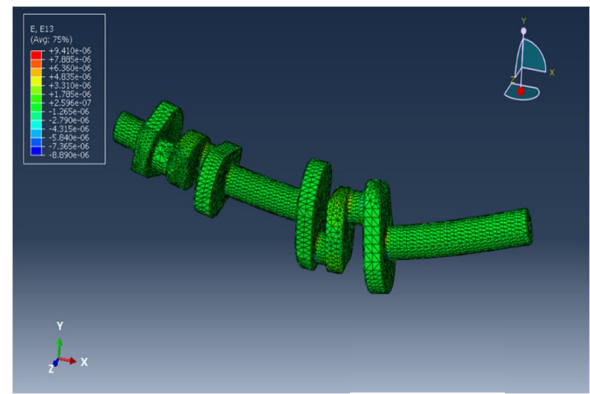
b) Déformation selon l'axe Y (cas 1)



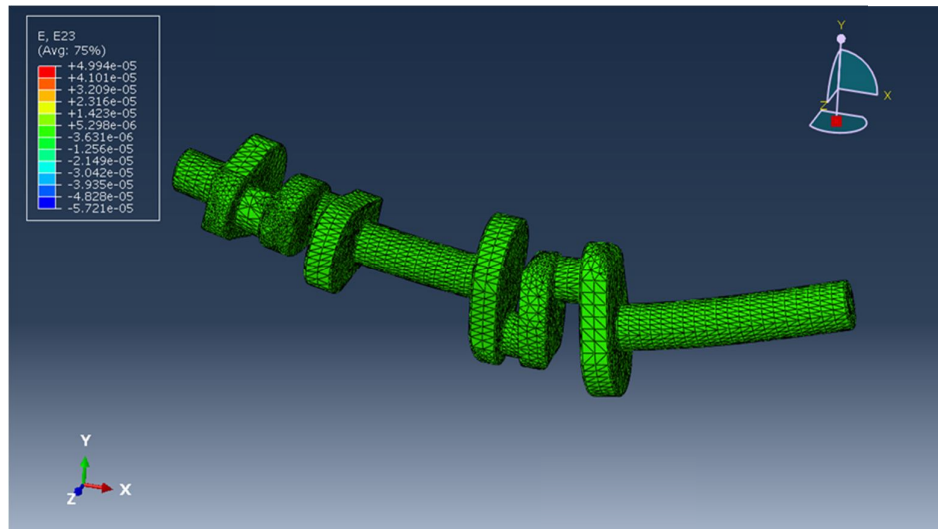
c) Déformation selon l'axe Z (cas 1)



Plan Xy



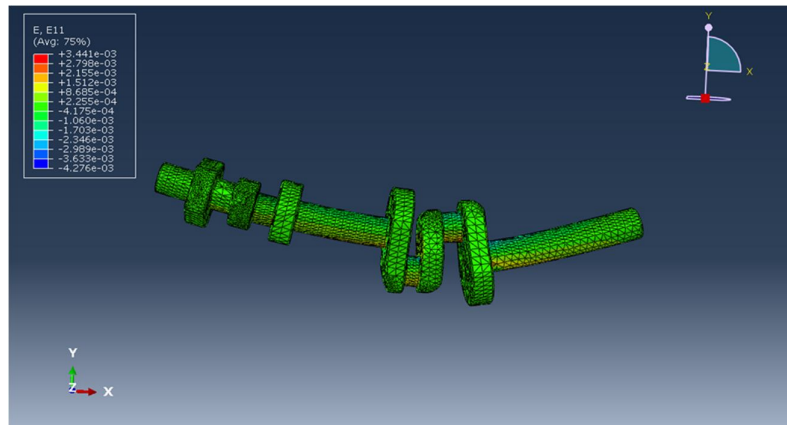
Plan Xz



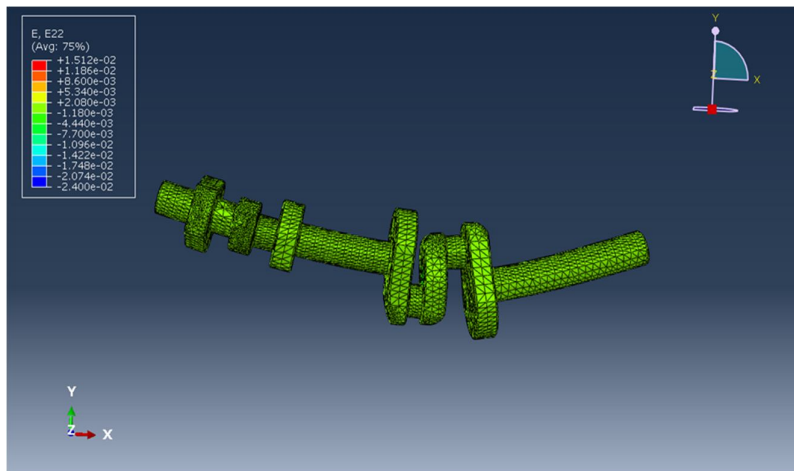
Plan Yz

d) Déformation dans le plan (cas 1)

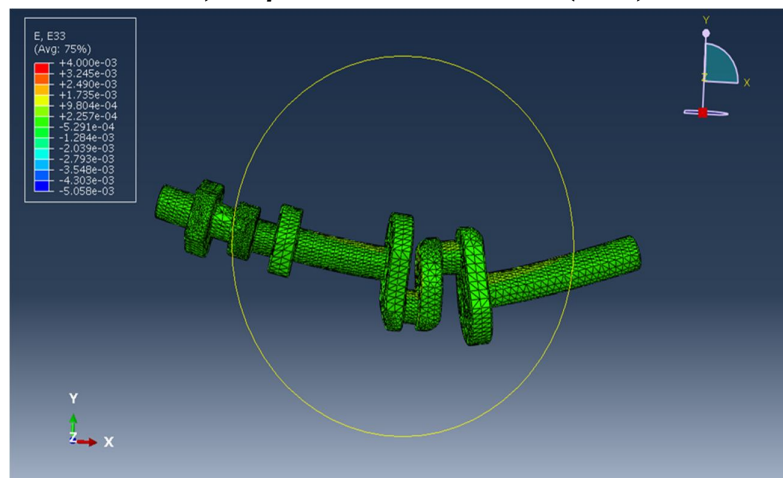
6. Déformation avec fissuration



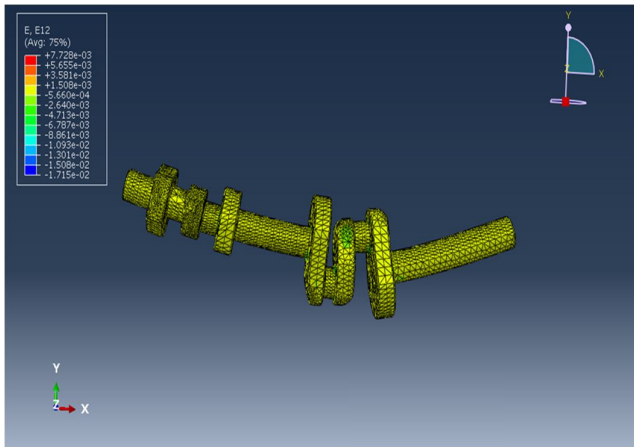
a) Déformation selon l'axe X (cas 2)



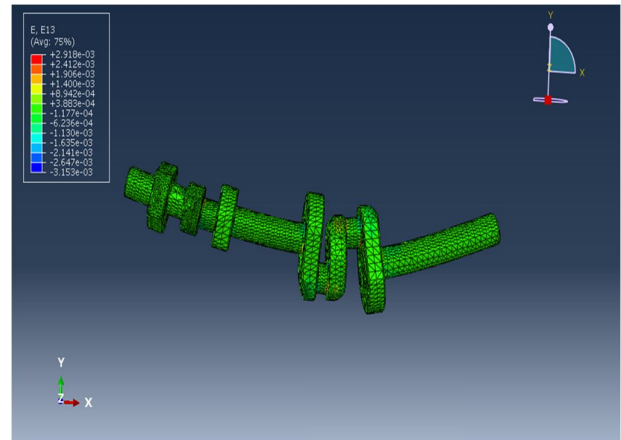
b) Déformation selon l'axe Y (cas 2)



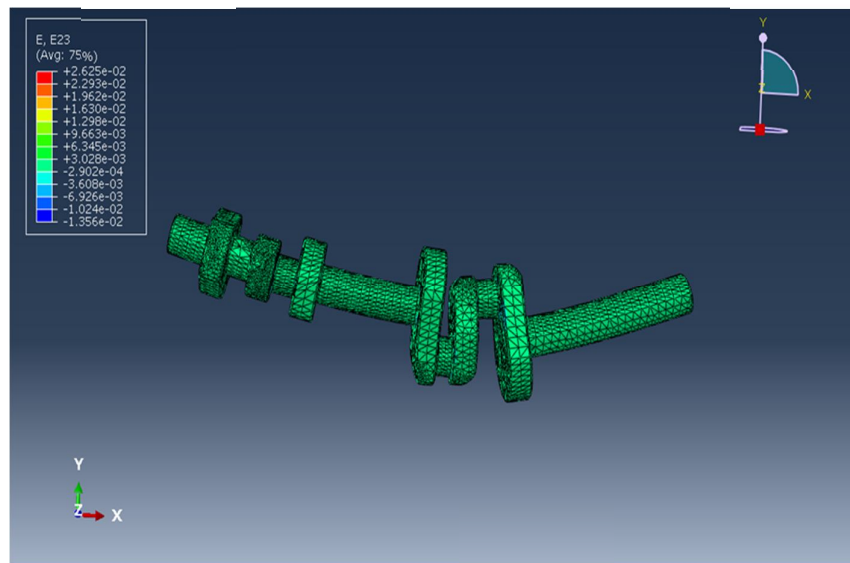
c) Déformation selon l'axe Z (cas 2)



Plan Xy



Plan Xz



Plan Yz

d) *Déformation dans le plan (cas 2)*