

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des hydrocarbures énergies renouvelables et science de la terre et  
de l'univers.

Département de forage et Mécanique des chantiers pétroliers.

Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention d'un diplôme de Master  
professionnel.

Spécialité: Mécanique des chantiers pétroliers.

Présenté Par :

**Baba Sidi Ali - Baba Sidi Moussa - Bourouis Salim**

**-THÈME-**

---

**Étude de phénomène de cavitation et corrosion sur les chemises  
des pistons d'un moteur diesel Caterpillar 3512 A.**

---

**Soutenu publiquement**

le : 14/ 06/2021

Mr Zoubeidi Ammar	president	UKM Ouargla
Mr rezzaiguia Issam	Examinator	UKM Ouargla
Dr. Helal Yazid	Encadreur	UKM Ouargla

**Promotion: 2020/2021**

## Remerciement

Tout d'abord, je remercie 'Allah' de m'avoir donné la patience pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier très chaleureusement, mon encadreur, Monsieur M.Hellal Yazid pour la qualité de l'encadrement dont j'ai bénéficié pendant ces quelques années.

Un remerciement à l'ensemble des professeurs de département Mécanique des chantiers pétrolier et Forage par leurs aides et effort  
Pour l'assurance d'une bonne formation.

Un remerciement particulier à madame Chouicha Samira, Professeur à UKM Ouargla.

Tous les membres de jury qui me feront l'honneur d'examiner et de juger mon travail ;

Tous les personnels de la ENTP et MLN Sonatrach qui m'ont beaucoup aidé et orienté durant ma recherche aux prés de leur service

Tous les membres de ma famille qui m'ont tant encouragé et soutenue tout au long de mon cursus scolaire et universitaire, particulièrement à mon cher père et ma cher mère, qui sans eux je n'aurai pas eu l'énergie nécessaire pour parvenir à la fin de mon cycle.

# Table des Matières

<b>Introduction générale :</b> .....	1
<b>Chapitre I : Généralité sur le moteur diesel :</b> .....	3
I.1 Utilisation et description des moteurs diesel : .....	3
I.2. Différentes types moteur utilisé dans l'industrie pétrolière : .....	3
I.3 Moteur Diesel Caterpillar 35 12 A .....	4
I.3.1 Description et principe de fonctionnement : .....	4
I.3.2 Le rôle de moteur Caterpillar : .....	6
I.3.4 Caractéristiques d'un moteur diesel Caterpillar 35 12A [1] .....	6
I.3.5 Principaux organe :.....	7
I.3.6 Caractéristiques métallique de la chemise : .....	9
I.3.7. Les principes circuit et système dans le moteur cat 3512 A : .....	10
Chapitre II : État de l'art sur la corrosion et cavitation. ....	13
II.1. Phénomène de corrosion : .....	13
II.1.1 Définition de la corrosion : .....	13
II.1.2. Les Facteurs de la corrosion .....	14
II.1.3. Les types de corrosion .....	14
II.1.4. Les formes de corrosion.....	16
II.1.5. Mécanisme d'érosion par corrosion :.....	19
II.1.6. Méthode d'évaluation de corrosion : .....	20
II.2. Phénomène de cavitation.....	20
II.2.1. Définition de cavitation.....	20
II.2.2. Les cause de cavitation .....	21
II.2.3. Les types de cavitation.....	22
II.2.4. Mécanisme d'érosion par cavitation :.....	26
II.2.5. Paramètres mesurables pour quantifier l'érosion par cavitation :.....	27

II.2.6. Méthode d'évaluation de cavitation : .....	28
Chapitre III : Méthode et moyen expérimental d'analyse de cavitation et de l'érosion sur la chemise de cylindre CAT 3512 A. ....	29
III.1.1 Composantes de liquide de refroidissement : .....	29
III.1.2. Propriétés chimiques de liquide de refroidissement : [18] .....	30
III.1.3. Propriétés physiques de liquide de refroidissement : .....	30
III.2.2. Corrosion par érosion : .....	33
III.2.3. La rouille : .....	34
III.3. Problème de la cavitation sur les chemises : .....	35
III.4. Utilisation et principe de la méthode ultrason .....	36
III.4.1 Définition de la méthode ultrason .....	36
III.4.2 Principe de la méthode ultrason.....	36
III.4.3 Le matériel utilisé en contrôle par ultrason : .....	36
Chapitre IV : résultats et interprétation : .....	38
IV.1. Organigramme de problème .....	38
IV.2. Calcule les pertes de masse et l'épaisseur (chemises moteur CAT 35-12).....	39
IV.2.1. Calcule de taux de corrosion .....	39
IV.2.2. Calcule de taux d'endommagement volumique par cavitation .....	40
IV.2.3 Calculer de taux d'endommagement surfacique par cavitation : .....	41
IV.2.4. Mesure les pertes d'épaisseur : .....	41
IV.3 Analyse des causes et proposition de solution.....	44
Conclusion : .....	46
Résumé : .....	47

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 (I.1) : Les différents organes du moteur [3512A].....	5
Figure 2 (I.2). Circuit de refroidissement. ....	12
Figure 3 (II.1) les facteurs de corrosion.....	14
Figure 4 (II.2) Corrosion par piles .....	17
Figure 5 (II.3) corrosion entre des matériaux différents. ....	18
Figure 6 (II.4) : Relation pression-température .....	21
Figure 7 (II.5) : Montage de bagues d'étanchéité de la chemise .....	22
Figure 8 (II.6): cavitation à bulles sur un profil d'aile.....	23
Figure 9 ( II.7): Cavitation à poches sur un engin sous-marin.....	24
Figure 10 (II.8) : Cavitation à poches sur une roue de pompe.....	24
Figure 11 (II.9) : Cavitation à poches sur un entre fer de roué.....	24
Figure 12 (II.10) : cavitation à lames sur une pale d'hélice.....	25
Figure 13 (II.11) : cavitation d'extrémité de pale d'hélice .....	26
Figure 14 (II.12) : cavitation de mélange en aval d'une vanne papillon .....	26
Figure 15 (III.1) : bouchage de reforgeur d'huile. ....	31
Figure 16 (III.2) : bouchage de reforgeur l'eau.de l'air.....	31
Figure 17 (III.3). Chemise corrodé .....	32
Figure 18 (III.4). Chemise érosive.....	33
Figure 19 (III.5). La rouille sur la chemise .....	34
Figure 20 (III.6). Érosion par cavitation .....	35
Figure 21 (III.7). Piquage et érosion d'une chemise par cavitation.....	36
Figure 22 (III.8) : Matériel de mesures.....	37
Figure 23 (IV.1) la masse de chemise corrodé $m= 17800$ g .....	39
Figure 24 (IV.2). La masse chemise neuve $m= 18600$ g .....	39
Figure 25 (IV.4). Diamètre Chemise neuve.....	40
Figure 26 (IV.3). Diamètre chemise .....	40
Figure 27 (IV 5) mesure d'épaisseur de la chemise .....	42
Figure 28 (IV .6) les courbes d'épaisseur de la chemise corrodé et neuve.....	43
Figure 29 (IV.7) ; La courbe représente perte d'épaisseur.....	44

## LISTE DES TABLEAUX.

Table 1 (I.1) caractéristiques d'un moteur diesel Caterpillar 35 12A.	6
Table 2 (III.2) Protection par Éthylène-glycol.	30
Table 3 (III.3) Propriétés chimique de liquide de refroidissement	30
Table 4 (IV.1) Mesures perte d'épaisseur (chemises moteur CAT 35-12).	42

## ABREVIATIONS

Symboles : Unités

CAT : Caterpillar.

CND : Control Non Destructif.

HP : Unité de mesure de puissance.

FGS : Font à graphite sphéroïdal.

FGL : Font à graphite lamellaire.

R m : La résistance à la traction

[N/ mm<sup>2</sup>]

$R_0m$ : Limite d'élasticité

[N/ mm<sup>2</sup>]

HB : Potentiel Hydrogène.

Ni : Nickel.

Cr : Chrome.

Mn : Manganèse.

$H_2S$  : Hydrogène sulfite.

Cu : Cuivre.

H<sup>+</sup> : L'ion d'Hydrogène.

O<sub>2</sub> : Deux atome d'oxygène.

EK : Potentiel pour un atome.

Cl<sup>-</sup> : chlore

$Fe^{+3}$ : L'ion de fer III.

$Cu^{+2}$  L'ion de cuivre II.

$Hg^{+2}$ : L'ion de mercure II.

Zn : Zinc.

ρ: La masse volumique du liquide

[g/m<sup>3</sup>]

P : Pression lors du choc [pascal].

C : Célérité des ondes de compression dans le liquide	[m/s]
VC : Vitesse de choc	[m/s]
$\rho$ : La densité du fluide	[g/m <sup>3</sup> ]
R : Le rayon de la bulle	[mm]
R : La dérivée temporelle première de rayon	
$\ddot{R}$ : La dérivée temporelle secondaire de rayon	
Pv: La pression de vapeur interne	[Pa]
$p_{\infty}$ : La pression externe de liquide	[Pa]
PPM: Parts per million	[mg/l]
S1: La surface extérieure de la chemise neuve	[mm <sup>2</sup> ]
S2 : La surface extérieure de la chemise corrodée	[mm <sup>2</sup> ]
L : La longueur de la chemise	[mm]
r1 : Le rayon extérieur de la chemise neuve	[mm]
r2 : Le rayon extérieur de la chemise corrodé	[mm]
D1 : Le Diamètre extérieur de la chemise neuve	[mm]
D2 : Le Diamètre extérieur de la chemise corrodé	[mm]
t : Le temps [H]	
VCC : Volume de la chemise extérieur de la chemise corrodé	[mm <sup>3</sup> ]
$\dot{V}$ : Taux d'endommagement volumique par cavitation	[cm/t]
$\dot{S}$ : Taux d'endommagement surfacique par cavitation	[1/t]
e : épaisseur de la chemise	[mm]
a : Semelle	[mm]
F : Fréquence	[MHz]
E : Sonde 1	
R : Sonde 2	
VL: Vitesse des ultrasons	[mm/s]
$\rho_2$ : Densité de la chemise corrodé	[g/cm <sup>3</sup> ]

### Introduction générale :

Pour l'exploitation des puits de pétrole et le développement des gisements hydrocarbures il existe des entreprises spécialisées dans ce domaine.

Ces entreprises s'appuient principalement sur des installations de forage et des équipements.

Les Installations de forage actuelles exigent la puissance électrique pour tourner tous les équipements de forage et pour obtenir d'autres formes d'énergie : les pompes à boue, le treuil de forage, top drive, les tamis vibrants ..., pour cela on utilise des moteurs diesels reliés à des génératrices (Groupe Electrogène).

Après les quatre temps de cycle moteur de fonctionnement admission, compression et combustion, échappement plus les mouvements de translation et rotation des organes mobiles de moteur, la température de moteur augmente, pour contrôler et régler la température il existe un système de refroidissement.

Par utilisation de l'eau dans le circuit de refroidissement pour assurer l'échange thermique et réduire la température.

L'eau circule autour des chemises de piston en suite remonte dans les culasses pour refroidir les conduits d'échappement puis s'écoule dans les tuyaux coudés dans la tubulure de retour.

La circulation d'eau autour des chemises de piston capable de créer des problèmes et des phénomènes cause de défaillance et de dommages des organes de moteur.

La cavitation et la corrosion des phénomènes résultant de la circulation d'eau dans l'opération du refroidissement de moteur.

Les chemises de moteur CAT 35 12 A permettent les organes exposés à ces deux phénomènes.

➤ La pression de choc créée par l'effondrement de la cavité avec le temps peuvent traverser la chemise et permettre ensuite le passage de liquide de refroidissement dans la chambre de combustion ou le carter d'huile.

➤ L'érosion de la chemise avec la circulation de liquide résulte des particules, ces particules créent des problèmes de bouchage dans le circuit de refroidissement. Ces deux problèmes en peuvent :

1. Arrêter le moteur pour les travaux de maintenance (perte de temps).
2. Evacuer le moteur vers l'atelier de révision général (perte plus de temps, arrêter la production permet de perdre la qualité de service avec les clients).



Pour étudier l'effet de ces deux phénomènes sur les chemises de moteur notre travail est divisé en quatre chapitres :

On commence dans le premier chapitre par une généralité sur les moteurs diesel, avec une description et principe de fonctionnement de moteur CAT 3512 A.

Puis, 'état de l'art sur corrosion et la cavitation présentée dans le deuxième chapitre.

Par la suite, le chapitre trois présente la méthode et moyen expérimental d'analyse.

Le quatrième chapitre contient des résultats avec des propositions pour éviter ses problèmes.

## Chapitre I : Généralité sur le moteur diesel :

Dans cette étude on a choisi le moteur CAT 35 12 A par ce que ce type le plus utilisé au cours des 20 dernières années pour l'alimentation des appareils de forage en Algérie.

### I.1 Utilisation et description des moteurs diesel :

Les moteurs diesel sont des machines thermiques à combustion interne :

Ils utilisent l'énergie chimique du combustible et la transforment en travail en passant par l'énergie thermique de la combustion réalisée dans une enceinte fermée : le cylindre

La combustion nécessite trois éléments :

- Le combustible : le gasoil
- Le combustible : l'air
- Une source d'inflammation : c'est la compression de l'air dans le cylindre qui permet d'atteindre la température d'auto inflammation du gazole les moteurs diesel sont des machines d'entraînement très répandues. Ils sont utilisés principalement comme moteurs de propulsion pour tous types de Véhicules mais peuvent également entraîner :

Des alternateurs, des pompes, principalement des pompes à incendie, des compresseurs

### I.2. Différentes types moteur utilisé dans l'industrie pétrolière :

Les moteurs sont essentiels dans les opérations de forage pétrolier, et les moteurs les plus couramment utilisés sont les moteurs Caterpillar.

#### - CAT 3508A

Puissance maximum 746 KW / vitesses maximum 1450 tr/min / maximum torque 3144 lb-ft, direct Unit injection.

#### - CAT 3512 A

Puissance maximum 1250 KW/ vitesses maximum 1500 ou 1800 tr/min  
Direct Unit injection.

#### - CAT 3508 B

Puissance maximum 820,6 KW / vitesses maximum 1450 tr/min / maximum torque 3211 lb-ft, injection Mécanique.

#### - CAT 3512 B

Puissance maximum 1231 KW / vitesses maximum 1450 tr/min / maximum torque 7180Nm, injection Mécanique.

- **CAT 3512 C**

Puissance maximum 1119 KW / vitesses maximum 1500 tr/min / maximum torque 5259 lb-ft, injection Mécanique.

- **CAT 3508C**

Gamme de puissances 578 ,15-820,6 KW / gamme de vitesses 1200-1600 tr/min injection Mécanique.

- **CAT C15**

Puissance maximum 432,68 WK / vitesses maximum 1400 tr/min / maximum torque 1958 lb-ft, injection électronique.

- **CAT C32**

Puissance maximum 895 ,2 KW / vitesses maximum 1200 tr/min / maximum torque 4056 lb-ft, injection électronique. [1]

### **I.3 Moteur Diesel Caterpillar 35 12 A**

#### **I.3.1 Description et principe de fonctionnement :**

Le moteur CAT 3512 est un moteur de série 3500, 12 cylindres en V. C'est un moteur Diesel à quatre temps à injection directe sur alimentée par deux turbos compresseurs qui tournent à une vitesse de 45000 à 60000 tr/mn. Chaque culasse comporte deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement. L'arbre à came actionne mécaniquement les culbuteurs et les soupapes par l'intermédiaire de poussoirs.

Le gas-oil est injecté directement dans le cylindre. Un régulateur el étriquée un mécanisme de commande contrôle le débit de la pompe d'injection afin de maintenir le régime moteur choisi par l'opérateur.

La pompe d'injection combine le dosage et le pompage de gas-oil qui est acheminé aux injecteurs (un par cylindre).

L'avance automatique du calage assure une injection optimale sur toute plage de régime moteur. L'air d'admission est filtré par le filtre à air. L'air est comprimé par le turbocompresseur avant de pénétrer dans les cylindres. Le turbocompresseur est entraîné par les gaz d'échappement du moteur. Le moteur est sûr alimentée inter refroidi. Le liquide de refroidissement du refroidisseur est mis en circulation par la pompe à eau dans bloc-cylindres. Le cycle à quatre temps de ce moteur est le même que celui de tous les moteurs Diesel. Donc, il nécessite deux tours du vilebrequin ;

Soit 720° de rotation du vilebrequin pour effectuer un cycle complet. [1]

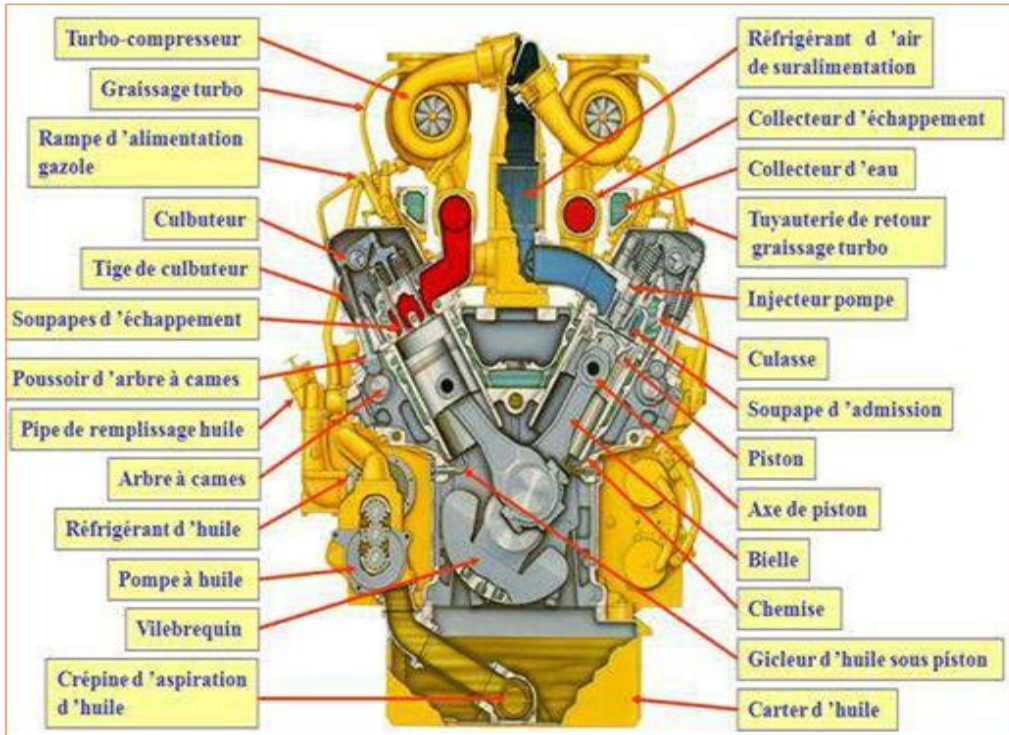


Figure 1 (L1) : Les différents organes du moteur [3512A]

Un cycle complet vaut cinq phases successives suivantes :

**La 1<sup>ère</sup> phase :**

C'est celle d'admission qui fait introduire de l'air frais dans le cylindre par l'intermédiaire des soupapes d'admission ouvertes.

**La 2<sup>ème</sup> phase :**

Fait comprimer l'air à une pression de 30 à 40 bars se trouvant emprisonné dans le cylindre par l'intermédiaire de piston. Cette compression brutalement engendre une température de l'air de 500°C.

**La 3<sup>ème</sup> phase :**

Fait injecter du gas-oil sous forme de brouillard dès qu'elle piston est au voisinage de PMH. Au contact de l'air surchauffé, les gas-oils s'enflamment spontanément.

**La 4<sup>ème</sup> phase :**

Entre en action et provoque une augmentation de volume des gaz qui chasse violemment le piston vers le PMB.

Le volant reçoit de l'énergie durant cette phase pour franchir et vaincre les temps résistants.

**La 5<sup>ème</sup> phase :**

Et celle d'échappement qui fait chasser les gaz brûlés vers l'atmosphère par

l'intermédiaire des soupapes d'échappement ouvertes. [1]

### I.3.2 Le rôle de moteur Caterpillar :

Les moteurs diesel **CATERPILLAR 3512A** qui est exploité comme étant un groupe de force ou bien comme un groupe électrogène qui entraîne un alternateur pour produire de l'énergie électrique afin d'alimenter les équipements de forage (pompe à boue, treuil, table de rotation, top drive, ...) ainsi pour assurer l'éclairage dans la plateforme pétrolière, les camps et les bases de vie.

Donc ce moteur est le cœur de l'appareil de forage dans ce site considéré comme aride.

### I.3.4 Caractéristiques d'un moteur diesel Caterpillar 35 12A [1]

Ce tableau montre les principales caractéristiques d'un moteur diesel **Caterpillar 3512 A**.

**Table 1 (I.1) caractéristiques d'un moteur diesel Caterpillar 35 12A.**

Alésage	170mm
Course	190mm
Angle entre les rangées	60°
Nbre des cylindres	12
Cylindrée Unitaire	4,31Litres
Cylindrée Totale	51,8 Litres
Taux de compression	13/1
Sens de rotation vue depuis le volant	Sens antihoraire
Ordre d'injection	1-12-9-4-5-8-11-2-3-10-7-6.
Type d'injection	Injection-Pompe à 9Trous
Rotation Régime de ralenti	900 tr/mn
Régime Nominal de Plein charge	1200 tr/mn
Puissance Mécanique	1210HP

## I.3.5 Principaux organe :

### I.3.5.1 Organe fixe :

#### 1-Bloc moteur V12

##### Description:

- seule pièce en fonte
- comportent des portes de visite
- paliers de vilebrequin et deux arbres à cames

##### Rôle:

-circulation d'eau, assure leur refroidissement et lubrification et support des chemises

#### 2-Chemises de cylindre

##### Description :

- Fabriquées en fonte spécifique
- fixée à sa partie supérieure serrée entre la culasse et le bloc
- la partie inférieure est guidée dans le bloc et étanchéité assurée par des joints toriques

##### Rôle :

-Guider les pistons et assuré l'échange thermique entre la chambre de combustion et le liquide qui entoure\_

#### 3-Culasse :

##### Description :

- Fabriquées en fonte contient des conduits de gasoil

##### Le rôle:

- porter quatre soupapes
- les guides et sièges de soupapes

#### 4-Joint de culasse

il composé deux feuilles de cuivre plus une feuille d'amiante

##### Le rôle

- assure l'étanchéité entre la culasse et le bloc cylindre

### I. 3.5.2 Les organes mobiles :

#### 1-Piston :

##### Description

- Fabriquée en alliage d'aluminium avec un anneau.

- porte trois segments

### Le rôle de piston :

- il est animé d'un mouvement alternatif et rectiligne dans le cylindre
- permet l'échange d'énergie entre le processus de combustion et la bielle.

### **2-La bielle :**

#### Description

- Fabrique en acier très résistant
- Comporte trois parties (le pied et la tête, le corps)

#### Le rôle

- Liaison entre le piston et le vilebrequin
- Transforme le mouvement de piston sous la forme d'un couple l'énergie développée lors de la combustion.

### **3-Vilebrequin**

#### Description

- Fabrique en acier au nickel chrome
- Éléments principaux du vilebrequin les tourillons les manetons

#### Le rôle

- La régularisation de l'équilibrage de la rotation avec le volant moteur

### **4-Arbre à came**

#### Description

Fabriquées en acier forgé et entraîne par le vilebrequin et situe dans le bloc

#### Le rôle

- Actionnelles soupapes par la liaison un ensemble de poussoirs.
- Tiges de culbuteurs, culbuteurs et des ressorts hélicoïdaux.

### **5-Coussinet**

#### Description

- Constitue de demi
- Coquilles démontables

- Recouvert d'une couche de métal antifriction

### Le rôle

- Réalisent les contacts entre le palier du vilebrequin et la tête de la bielle

### **6- Soupape**

Description : constituées (une tête plate, creuse bombée).

Le rôle : permet l'entrée de l'air dans le cylindre et sortie le gaz brûlés

### **7- Culbuteur**

Description : fabriquées en acier austénitiques nitrogénases.

Le rôle : transmettent le mouvement des cames aux soupapes par l'intermédiaire des tiges de culbuteur.

### **I.3.6 Caractéristiques métallique de la chemise :**

La chemise de moteur cat 3512 est en fonte à Graphite Sphéroïdal 60.7. Pour l'amélioration de la résistance mécanique de fonte grise, on ajoute des éléments d'additionnels que le Ni, Cr, Mn ou bien on cherche à améliorer l'effet du graphite sphérique, dans ce cas la fonte est appelée font à Graphite Sphéroïdal.

Le Fonte à Graphite Sphéroïdal s obtient par addition de magnésium à la fonte liquide la composition chimique moyenne de cette font comme suite :

- Carbone : (3,2 à 3,6) %
- Silicium : (1,8 à 3) %
- Magnésium :( 0,3 à 0,4) %
- Phosphore : $\approx$  0,05 % [6]

Caractéristique mécanique moyennes de fonte Graphite Sphéroïdal [6]

#### **A) Les avantages de fonte GS :**

- \_ Résistance à la traction.
- \_ Bonne coulabilité permettant l'obtention de formes complexes.
- \_ Capacité d'amortissement des vibrations.
- \_ Un module d'élasticité voisin de celle d'aciers.
- \_ Bonne résistance aux chocs.
- \_ Bonnes propriétés de frottement.
- \_ Capacité de déformation avant rupture plus élevée que celle des fontes GL.
- \_ Un résistance à la rupture par traction ou par flexion deux à trois fois supérieure à celle fontes GL.



### **B) Les inconvénients de fonte GS :**

Les inconvénients des fontes Les fontes grises ont, par rapport à d'autres alliages ferreux laminés ou moulés, des caractéristiques mécaniques de résistance, de plasticité et de ténacité nettement inférieures.

les fontes en général, sont fragiles et sont difficilement soudable [7].

### **c) Les dimensions de la chemise :**

- Diamètre extérieur supérieur : 21,2 cm
- Diamètre extérieur inférieur : 19,2 cm
- Diamètre intérieur : 17 cm
- Longueur : 35,8 cm

## **I.3.7. Les principes circuit et système dans le moteur cat 3512 A :**

### **I.3.7.1. Circuit d'admission et d'échappement :**

Consiste :

- un refroidisseur d'air
- deux turbocompresseurs
- deux filtres à air
- deux pipes d'admission d'air
- deux soupapes d'admission par cylindre
- deux soupapes d'échappement par cylindre
- deux collecteurs d'échappement
- une chambre de combustion par cylindre.

Le rôle :

- assure entre l'air en quantité suffisante dans la chambre de combustion.
- assure la sorte des gaz brulés par l'intermédiaire des soupapes. [1]

### **I.3.7.2 Circuit d'alimentation en gasoil :**

Consiste :

- une pompe d'alimentation
- une pompe d'amorçages
- des filtres à gasoil
- des injecteurs
- une soupape de maintien de pression de gasoil.

### -Rôle :

\_ assure l'alimentation de l'injecteur avec des pressions d'injecteur à travers la chambre annulaire de culasse. [1]

### **I.3.7.3 Circuit de graissage (lubrification) :**

#### -Consiste :

- un carter d'huile
- un pompe d'huile
- une boîte des filtres
- un réfrigérant d'huile avec sa soupape de dérivation.

#### -Rôle :

Diminuer les frottements qui sont à l'organe de l'usure, protéger les pièces en mouvement de l'usure, formation des films de lubrifiant en niveau des surfaces de pièces en mouvement. [1]

### **I.3.7.4 Système de refroidissement :**

#### Consiste :

- Une pompe à eau
- un radiateur
- une Ventilateur
- des thermostats
- des chemises d'eau
- un liquide de refroidissement.

#### \*Principe de fonctionnement de système de refroidissement :

La pompe à eau aspire de liquide du radiateur à travers la conduite reliant le radiateur allant jusqu'au centre de la pompe à eau.

La pompe à eau fournit un débit de 1520 l/min sous une pression de 37 psi environ.

Le débit d'eau de refroidissement est divisé à la sortie de la pompe en deux parties différentes.

-Une partie du débit de 570 l/min est envoyée vers le refroidisseur d'air et l'autre partie d 950 l/min est envoyée vers le réfrigérant d'huile.

- l'eau traverse le réfrigérant d'huile et sort à travers un coude qui est relié à l'arrière du bloc moteur tout près du vé du moteur.

- l'eau sortant du coude entre dans la tubulure principale de distribution du côté du

cylindre arrière droit.

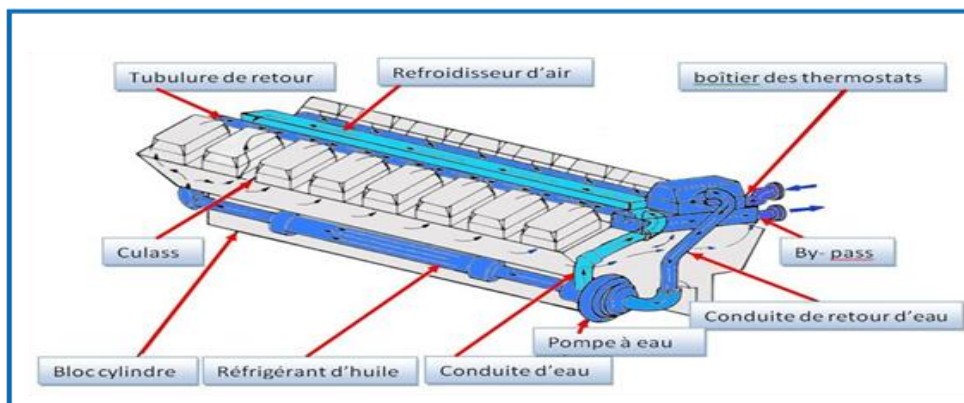
- l'eau traversant le refroidisseur d'air s'écoule du côté arrière de la tubulure principale de distribution.

Ces deux liquides se mélangent et vont ensemble à travers la tubulure principale de distribution pour alimenter les chambres des chemises.

- l'eau entre par le bas, et circule autour des chemises du bas vers le haut, Dans le haut des chemises, où la température est plus élevée, ces chambres d'eau dans cette zone sont plus étroites cela a pour conséquence d'avoir une vitesse d'écoulement d'eau plus importante.

- l'eau du haut des chemises entre dans les culasses, circule d'abord autour des endroits les plus chauds, puis, s'écoule par ces tuyaux coudés dans la tubulure de retour.

- l'eau se dirigé enfin vers le boîtier des thermostats. [1]



**Figure 2 (I.2). Circuit de refroidissement.**

\*Rôle des thermostats :

pour rôle maintenir la température de l'eau les limites déterminées et d'accélérer le chauffage de l'eau au démarrage du moteur, la pièce principale du thermostat est appelée soufflet en laiton, lorsque la température est inférieure à 82°C, la soupape central est appliqué parfaitement centre son siège, il en résulte que l'eau circule dans le by-pass, avec l'augmentation de la température de l'eau, le liquide contenu dans le soufflet commence à se transformer en vapeur saturée, alors la pression augmente, il s'ensuit que la soupape. S'ouvre progressivement la soupape latérale masque les lumières, le liquide alors passe au radiateur. [3]

## **Chapitre II : État de l'art sur la corrosion et cavitation.**

La corrosion et la cavitation sont des problèmes délicats, nécessite des études et d'analyse important.

### **II.1. Phénomène de corrosion :**

#### **II.1.1 Définition de la corrosion :**

La corrosion est le phénomène de dégradation le plus répandu dans les unités de procédés. Il est à l'origine de la majorité des défaillances d'équipements sous pression. On estime que la corrosion détruit un quart de la production annuelle mondiale d'acier, ce qui représente environ 150 millions de tonnes par an ou encore 5 tonnes par seconde. Or, la corrosion ne se limite pas à l'acier, mais affecte tous les métaux ainsi que les polymères et céramiques. Elle résulte d'interactions chimiques et/ou physiques entre le matériau et son environnement. Voici quelques exemples de phénomènes de corrosion :

- transformation de l'acier en rouille
- fissuration d'un laiton en présence d'ammoniac
- oxydation d'un contact électrique en cuivre
- fragilisation par l'hydrogène d'un acier à haute résistance
- corrosion à chaud d'un superalliage dans une turbine à gaz
- gonflement du polyéthylène en contact avec un solvant
- dégradation du PVC par le rayonnement ultraviolet
- attaque d'un tuyau en nylon par un acide oxydant
- attaque des briques réfractaires par les laitiers
- attaque d'un verre minéral par une solution alcaline

La corrosion est une réaction interraciale irréversible d'un matériau avec son environnement, qui implique une consommation du matériau ou une dissolution dans le matériau d'une composante de l'environnement. Cette définition inclut les effets positifs de la corrosion ainsi que l'absorption d'un Composante de l'environnement sans consommation du matériau. L'absorption de l'hydrogène par l'acier est, par

exemple considérée comme une réaction de corrosion.

Pour cette raison, on distingue la corrosion humide, ou corrosion à température ambiante, de la corrosion sèche, ou corrosion à haute température. [8]

**II.1.2. Les Facteurs de la corrosion**

Nombreux sont les facteurs qui influencent la corrosion d'un matériau. Parmi ces facteurs l'on peut citer :

- Les facteurs métallurgiques** (type de matériau, mode d'élaboration, types de traitement, état de surface.)
- Les facteurs du milieu corrosif** (type du milieu, composition, exposition, température, ph, teneur en O2, agitation,)
- Facteurs conditions d'emploi** (conception, géométrie des pièces, types d'assemblage, fréquence de maintenance et mode d'intervention...)
- Facteurs temps** (vieillessement, dégradation de la protection, naissance de tensions mécaniques,). Ces facteurs son regroupés par type dans le schéma ci-dessous :

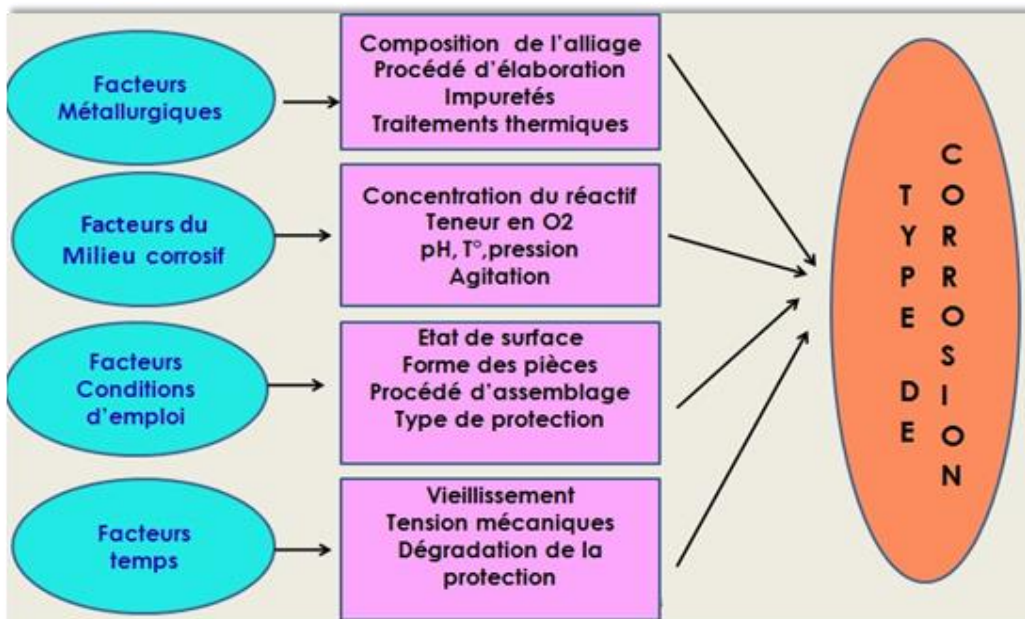


Figure 3 (II.1) les facteurs de corrosion.

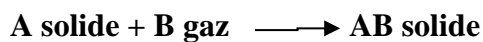
**II.1.3. Les types de corrosion**

**II.1.3.1. Corrosion chimique (sèche) :**

Il s'agit d'une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase gazeuse. Le processus d'oxydoréduction de la corrosion chimique se déroule dans le

domaine atomique avec le milieu ambiant sans présence d'électrolyte.

Donc la corrosion purement chimique ne fait donc ne pas intervenir le passage d'un courant électrique, un flux électronique cesse, car l'échange d'électrons entre les différents partenaires de réactions s'effectue directement. L'air renferme l'oxygène, de la vapeur d'eau et des vapeurs acides (anhydride carbonique CO<sub>2</sub> et sulfureux SO<sub>2</sub>, hydrogène sulfureux S<sub>2</sub> etc.). Ce sont les agents corrosifs mais le plus souvent c'est le CO<sub>2</sub>. L'attaque du métal par une réaction chimique avec le milieu ambiant sans intervention du courant électrique nécessite généralement des températures élevées, la réaction qui se produit est de la forme :



Il est très difficile de donner des exemples de corrosion purement chimique, puisque le plus souvent elle est accompagnée de corrosion électrochimique.

On peut considérer comme corrosion chimique l'attaque d'un métal par un autre métal liquide (Hg), par un seul fondu ou par une solution aqueuse (Al dans Cl<sub>4</sub>) l'exemple de la corrosion sèche en atmosphère oxydante à haute température.

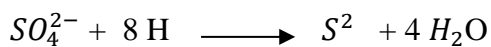
### II.1.3.2. Corrosion biochimique :

C'est l'attaque bactérienne des métaux en particulier dans les canalisations enterrées.

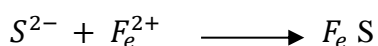
Le mécanisme de ce mode de corrosion peut être de plusieurs types.

**A)** Chimique par production de substances corrosives telles que CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> ou d'un acide organique, le cas le plus répandu est celui rencontré dans les canalisations enterrées et déterminé par la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal.

**B)** Certaines bactéries peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène.



L'hydrogène provient par exemple des régions cathodiques, il y a donc dépoliarisation des cathodes et formation accélérée de Fe<sup>2+</sup> aux anodes.



### II.1.3.3. Corrosion électrochimique

C'est le phénomène de corrosion le plus important et elle se manifeste lorsque le réactif est un liquide ou lors qu'il existe une hétérogénéité soit dans le métal ou dans le réactif,

présentant une dissymétrie de composition.

L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anodes et cathodes dans le réactif et les zones qui constituent les anodes sont attaquées (corrodées). Pour une corrosion électrochimique on a :



#### II.1.3.4. Corrosion avec érosion, avec frottement et par cavitation

Dans ce cas les produits de corrosion forment un dépôt adhérent et continu à la surface de métal. Ils ralentissent en général la vitesse de la corrosion. Cette couche peut être éliminée en certains points par abrasion du métal due au mouvement du liquide lui-même ou bien à celui des particules solides qu'il contient, il y'a accélération de la corrosion. Il en est de même lorsque deux pièces se déplacent l'une par rapport à l'autre (frottement). [10]

#### II.1.4. Les formes de corrosion

Les diverses formes de corrosion que l'on rencontre ont souvent un nom évocateur de la manière dont elles se manifestent. C'est le cas de la corrosion générale, de la corrosion par piqûres, de la corrosion sélective, ou encore de la corrosion intergranulaire. D'autres formes de corrosion portent un nom associé au mécanisme mis en œuvre. C'est le cas de la corrosion sous contrainte, de la corrosion par effet de crevasse de la corrosion bactérienne, galvanique ou de la corrosion-érosion.

En réalité, il n'y a pas systématiquement de relation biunivoque entre le type de corrosion et la morphologie du dommage.

##### II.1.4.1. La corrosion générale ou uniforme

C'est le phénomène de corrosion le mieux répandu et connu. Il survient, en présence d'un agent de corrosion, dans le cas d'un environnement homogène (absence de gradient de température, de pression ou de concentration le long de l'interface) et lorsque le métal lui-même présente vis à vis de cet environnement un comportement suffisamment homogène. Cette homogénéité de comportement peut être le fait soit d'une homogénéité intrinsèque du matériau due à l'absence d'inclusions ou de défauts structuraux, soit à la non sélectivité de l'environnement vis à vis de ces défauts.

### II.1.4.2. Corrosion par piles d'aération différentielle

La corrosion par aération différentielle s'observe lorsque la concentration en oxygène varie le long d'une structure (bassins avec de grandes différences de concentration en oxygène) ou si une partie de cette structure est couverte par des dépôts (incrustations, dépôt de boue, produits de corrosion non adhérents, etc.)

Qui empêchent l'accès de l'oxygène à la surface métallique.

Une zone anodique avec dissolution du métal se forme dans la zone la moins oxygénée.

Ce type de corrosion s'observe en général sur des installations en acier, acier galvanisé et fonte (voir fig. II.2) .

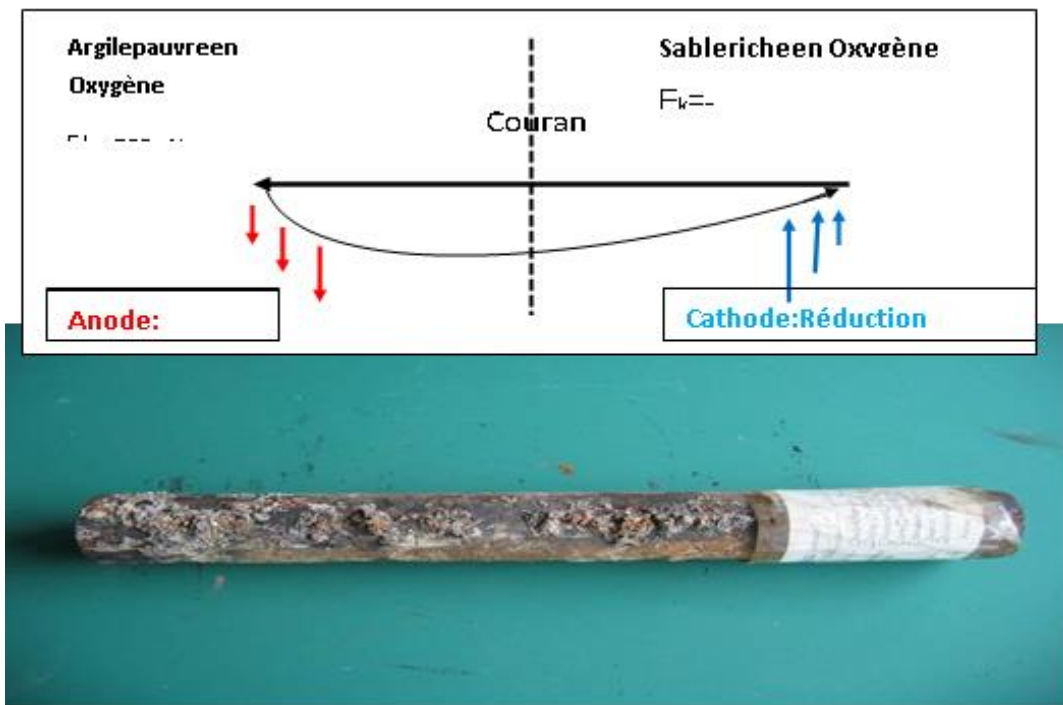


Figure 4 (II.2) Corrosion par piles

### II.1.4.3. Corrosion par couples galvaniques :

La condition nécessaire pour la corrosion par couples (piles) galvaniques est la présence d'une différence de potentiel entre plusieurs parties d'une structure métallique. Exemple de présence de corrosion entre des matériaux différents cela concerne des installations qui utilisent de matériaux différents ; des aciers de nuances différentes ou carrément de types de métaux Cela donne naissance à un couple galvanique dans un milieu Argile pauvre en Oxygène  $E_k = -700$  mV CSE sable riche en Oxygène Courant  $E_k = -400$  m VCSE Anode : Cathode :

Réduction 25 électrolytique ou liés électriquement par fixation (boulon, soudure,



contact,). La fig II.3 illustre ce phénomène

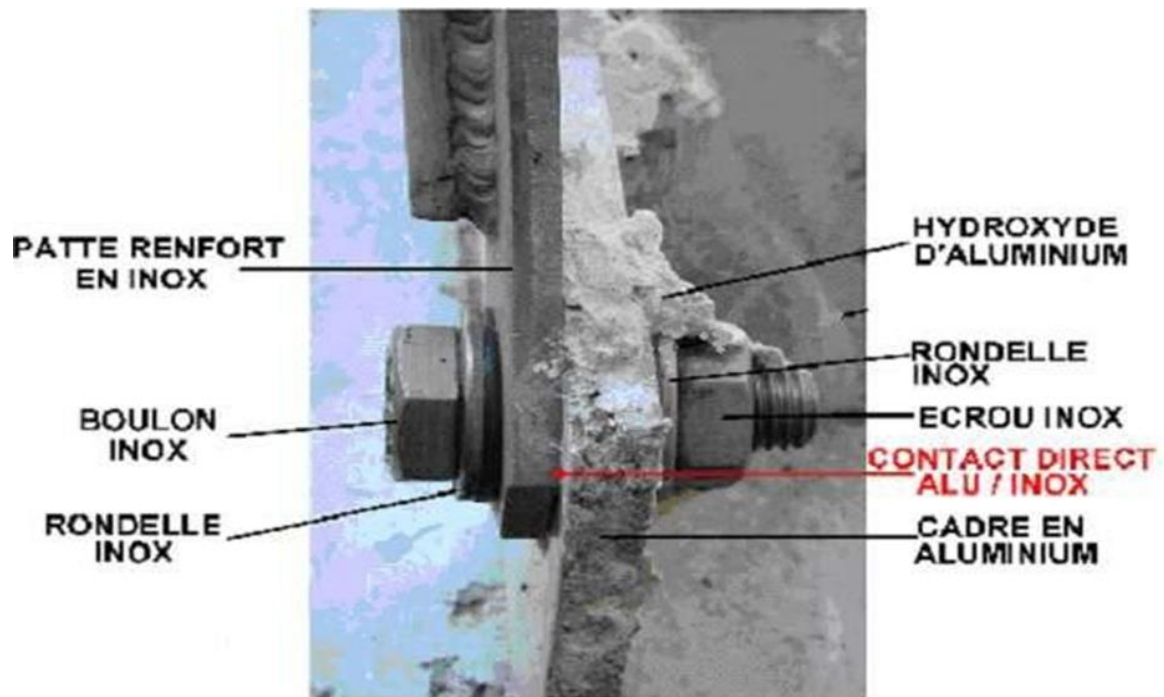


Figure 5 (II.3) corrosion entre des matériaux différents.

#### II.1.4.4. Corrosion Caverneuse :

Cette forme d'attaque est généralement associée à la présence de petits volumes de solution stagnante dans des interstices, sous des dépôts et des joints, ou dans des cavernes ou crevasses, par exemple sous les écrous et têtes de rivets. Le sable, la poussière, le tartre, les produits de corrosion sont autant de corps solides susceptibles de créer des zones dans lesquelles le liquide n'est que difficilement renouvelé causant par ce fait des couples anodes/cathode.

#### II.1.4.5. Corrosion par piqûres :

Cette forme de corrosion est particulièrement insidieuse. L'attaque se limite à des piqûres, très localisées et pouvant progresser très rapidement en profondeur, alors que le reste de la surface reste indemne.

L'installation peut être perforée en quelques jours sans qu'une perte de poids appréciable de la structure apparaisse.

#### **II.1.4.6. Corrosion inter granulaire :**

Dans certaines conditions, les joints de grains sont le siège d'une corrosion localisée très importante alors que le reste du matériau n'est pas attaqué. L'alliage se désagrège et perd toutes ses propriétés mécaniques. Ce type de corrosion peut être dû soit à la présence d'impuretés dans le joint, soit à l'enrichissement (ou l'appauvrissement) local en l'un des constituants.

#### **II.1.4.7. Corrosion sélective :**

Comme son nom l'indique, ce mode de corrosion se traduit par la dissolution sélective de l'un des éléments de l'alliage si celui-ci est homogène, ou de l'une des phases si l'alliage est polyphasé. La déliquescence (dissolution sélective du zinc) dans un laiton (ex. 70Cu - 30Zn) est l'exemple le plus connu.

#### **II.1.4.8. Corrosion érosion /abrasion :**

Cette corrosion, sous un effet mécanique, est produite par le mouvement relatif d'un fluide corrosif et d'une surface métallique. L'aspect mécanique du mouvement est important et les phénomènes de frottement et d'usure peuvent intervenir.

#### **II.1.4.9. Corrosion par cavitation :**

Nous rappelons que les lois de la thermodynamique nous indiquent qu'il est possible de faire évaporer un liquide sans varier sa température mais en abaissant la pression ambiante en dessous de sa pression de la vapeur saturante. Cette dépression peut être constatée au niveau des rétrécissements d'une conduite car d'après le théorème de Bernoulli, dans un fluide en écoulement sa vitesse augmente, sa pression chute. [9]

#### **II.1.5. Mécanisme d'érosion par corrosion :**

La corrosion-érosion implique une accélération ou un accroissement de la vitesse de détérioration ou d'attaque d'un métal en raison du mouvement relatif entre un fluide corrosif et la surface métallique. Généralement, ces mouvements est très rapide et des phénomènes d'abrasion ou d'effets d'usure mécanique existent souvent. Le métal est éliminé en surface sous forme des produits solides de corrosion qui sont mécaniquement balayés de la surface métallique. Quelque fois, le mouvement du milieu environnant diminue la corrosion particulièrement lorsque des attaques locales surviennent sous des conditions de stagnation, mais alors il ne s'agit pas de corrosion-érosion puisque la détérioration n'est pas amplifiée. Pour faire la différence entre

l'érosion et la corrosion-érosion, il faut considérer que l'érosion résulte d'effet purement mécanique. Des exemples courants d'érosion seront :

Le jet de sable pour nettoyer le métal, le jet de limailles, de grenaille, et l'érosion par souillures.

La corrosion en est complètement absente ou n'est pas perceptible. Le métal est enlevé et éliminé mécaniquement et subit un changement physique mais n'est pas chimiquement modifié. La corrosion-érosion se caractérise en apparence par des cannelures, ravins vagues, cratères et habituellement se manifeste suivant des directions privilégiées. Pratiquement tous les métaux et alliages sont susceptibles de subir des dégâts par corrosion-érosion. Beaucoup d'entre eux dépendent, pour leur résistance à la corrosion, du développement d'un film à la surface d'une certaine sorte (passivité).

En particulier les éléments ou métaux situés en haut de la série électromotrices sont actifs ou thermodynamiquement instables dans beaucoup d'environnement corrosifs.

[17]

## II.1.6. Méthode d'évaluation de corrosion : [16]

### Analyse thermique :

Un groupe de technique pour lesquelles une propriété de l'échantillon est mesurée en fonction du temps ou de température.

1. **Analyse thermogravimétrique (ATG) :** Variation de masse de l'échantillon.
2. **Analyse thermique différentielle (ATD) :** Différence de température entre l'échantillon et la référence (inerte thermiquement)
3. **Analyse enthalpique différentielle (DSC) :** Différence de flux thermique (puissance) entre l'échantillon et la référence.
4. **Méthode thermomécanique (TMA) :** Variation entre de longueur ou de volume de l'échantillon.

## II.2. Phénomène de cavitation

### II.2.1. Définition de cavitation

La cavitation est les formations des petites cavités dans le liquide remplie de gaz et de vapeur suite à une diminution de la pression absolue du liquide sous sa tension de vapeur.

Elle se manifeste dans une section où la pression absolue est la plus faible. La cavitation se produit quand la pression absolue du liquide s'abaisse en-dessous de sa pression de vapeur saturante. La pression de vapeur saturante est fonction de la nature du fluide et de sa température.

La cavitation n'est pas due à une augmentation de la température qui dépasserait la température de vaporisation mais à une baisse de la pression qui devient inférieure à la pression de vapeur pour les conditions de température locale.

Dans le diagramme ci-dessous relatif à l'eau, on comprend bien que si l'on réduit suffisamment la pression statique à température donnée, l'eau liquide va se transformer en vapeur. Par exemple, il faut atteindre une pression d'environ 20 mbar pour une température ambiante de 20°C.[21] (voir Fig. II.12)

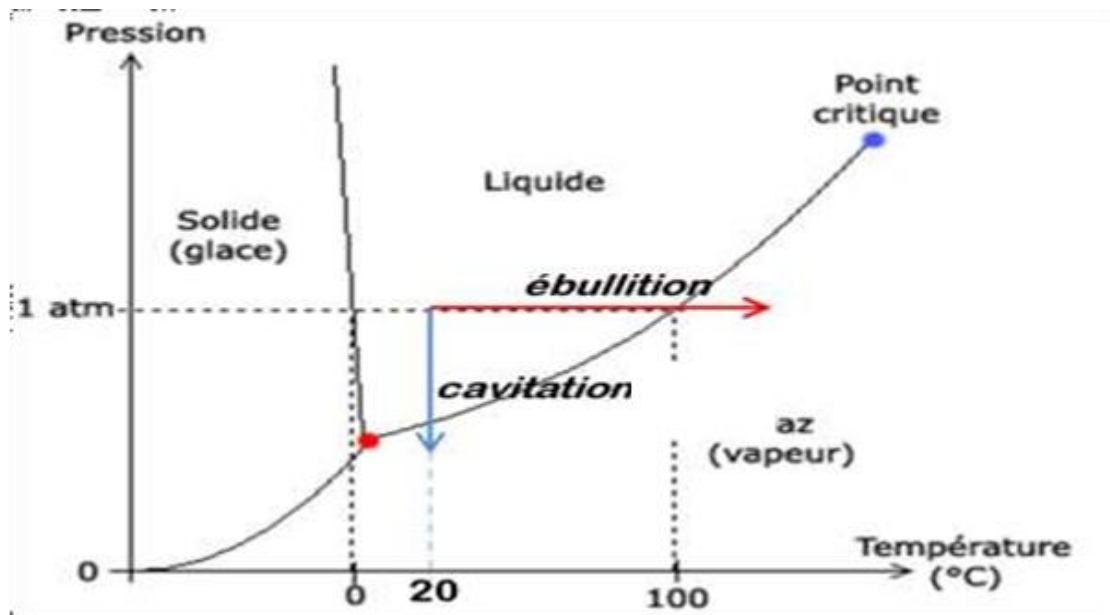


Figure 6 (II.4) : Relation pression-température

### II.2.2. Les cause de cavitation

- Trop de pertes de charge.
- Tuyauteries trop éloignées.
- Fluide trop froid.
- Le filtre à air est obstrué.
- Vibrations et bruit. Baisse et variation du débit ainsi que de la pression de refoulement
- La vitesse de la pompe est top.

### II.2.2.1. Causes possibles de la cavitation sur la chemise :

- Le jeu correct du piston n'a pas été respecté par exemple lors de la réutilisation de pistons ayant déjà servi ou de cylindres trop grands.
- Erreur de forme du siège de la collerette
- Siège défectueux ou imprécis de la collerette dans le carter (voir chapitre – « Collerette de la chemise de cylindre arrachée »).
- L'eau de refroidissement ne contient pas, ou pas assez, d'additif anticorrosion antigel ou équivalent.
- Liquides de refroidissement inappropriés (eau de mer), eau agressive ou acide ou autres liquides.
- Pression d'admission insuffisante dans le système de refroidissement.
- Bagues d'étanchéité et/ou pâte d'étanchéité incorrectes ou silicone sur la collerette de la chemise.
- Nombre incorrect de bagues d'étanchéité.
- Température de service trop basse du moteur
- Montage de bagues d'étanchéité supplémentaires dans le dégagement de la collerette de la chemise Fig. (II.4) :
- les bagues d'étanchéité ne doivent être utilisées que si le constructeur la formellement prévu.[11]

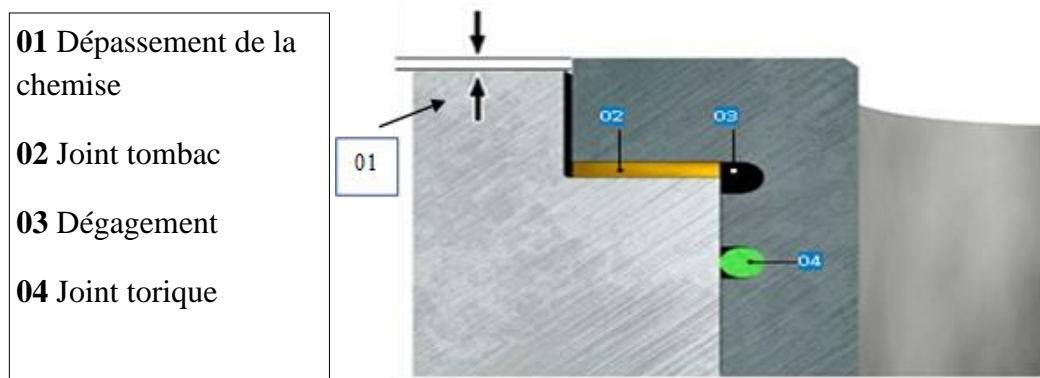


Figure 7 (II.5) : Montage de bagues d'étanchéité de la chemise

### II.2.3. Les types de cavitation

On peut caractériser les différents types de cavitation par l'allure physique du phénomène.

### II.2.3.1. Cavitation à bulles séparées

Ce type de cavitation se produit plutôt sur des profils à faible incidence ; L'allure de bulles de vapeur isolées plus ou moins sphériques qui apparaissent de façon aléatoire au sein du liquide. Afin que ces bulles puissent se créer, il est nécessaire qu'il existe, au sein du liquide ou sur la paroi, des germes (précisément des microbulles d'air) à partir desquels les bulles grossissent (voir la fig. II.3). [22]



Figure 8 (II.6): cavitation à bulles sur un profil d'aile

### II.2.3.2. Cavitation à poches

Dans ce type de cavitation, la phase vapeur constitue une cavité unique, attachée au profil sur lequel elle se développe.

Elle prend naissance à partir d'un décollement sur le profil ou sur un obstacle. A l'arrière de cette poche, se détachent des structures instationnaires, convectées par l'écoulement et qui collapseront en aval. Ci-après, quelques exemples de poches de cavitation (voir les fig II 6,7,8). [22]



**Figure 9 (II.7): Cavitation à poches sur un engin sous-marin**



**Figure 10 (II.8) : Cavitation à poches sur une roue de pompe**



**Figure 11 (II.9) : Cavitation à poches sur un entre fer de roué**



### II.2.3.3. Cavitation à lames

On peut la désigner comme un cas particulier de la cavitation par poches. Elle concerne des structures minces et stables semblables à des lames brillantes qui s'accrochent sur une arête comme par exemple le bord d'attaque d'un profil. Ce type de cavitation se produit généralement lorsque l'incidence d'un profil est trop forte et génère une dépression trop importante (voir la fig II 9) . [22]



Figure 12 (II.10) : cavitation à lames sur une pale d'hélice

### II.2.3.4. Cavitation de vortex.

Un vortex (ou tourbillon) se crée par exemple aux extrémités de pales d'hélices ou de pompes. Ils peuvent aussi se créer en aval d'obstacles situés dans l'écoulement. La cavitation qui se produit alors au cœur de ce tourbillon qui est une zone à forte dépression est appelée cavitation de vortex (voir la fig. II 10) .[22]





Figure 13 (II.11) : cavitation d'extrémité de pale d'hélice

#### II.2.3.5. Cavitation de mélange :

Cette cavitation apparaît typiquement dans des couches de cisaillement entre un jet noyé et un liquide.

C'est le cas des écoulements au travers d'orifices ou de vannes et aussi celui de jets Propulsifs.

C'est aussi le cas des écoulements en aval d'obstacles (voir fig. II.11). [22]



Figure 14 (II.12) : cavitation de mélange en aval d'une vanne papillon

#### II.2.4. Mécanisme d'érosion par cavitation :

Les écoulements en mécanique des fluides sont le siège de nombreux phénomènes physiques.

Dans le cas d'un écoulement d'eau liquide, des bulles de vapeur peuvent se créer sous certaines conditions.

Ces bulles sont issues d'un changement de phase local de l'état liquide à l'état gazeux. [21]

#### II.2.4.1. Pression de choc sur la paroi métal :

Lors des premiers essais utilisant ce dispositif, on ne savait si l'érosion observée était imputable à un pur effet de choc liquide- solide ou à une cavitation secondaire lors de l'entrée de l'éprouvette dans le jet. Le fait que les résultats soient peu dépendants de la teneur en air de l'eau du jet et varient avec la température de ce dernier d'une toute autre manière que dans le cas d'une cavitation, permet cependant de conclure aujourd'hui à un phénomène de choc.

Si l'on tient compte de la compressibilité du liquide, la pression créée par le choc de l'éprouvette sur le jet est approximativement donnée par l'équation du coup de Bélier. [13]

$$P = \rho C V \quad \text{II.1}$$

#### II.2.4.2. Implosion des belles:

Pour le traitement mathématique de l'implosion d'une bulle sphérique, ce qui rapproche des conditions d'érosion par cavitation ultrasonique qu'est le sujet d'intérêt dans le cadre de cet ouvrage, il faut considérer le traitement des germes de cavitation d'un point de vue dynamique.

Pour ce faire, nous devons décrire le phénomène à l'aide de l'équation de Rayleigh-Plesset qui s'obtient à partir de l'équation de continuité et de la conservation de la quantité de mouvement en coordonné sphérique.

En négligeant les termes de tension superficielle et de viscosité du liquide pour la durée de l'implosion et en considérant la vapeur comme étant le seul gaz présent dans la bulle. [14]

$$\rho \left[ R \ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 \right] = P_V - P_\infty \quad \text{II.2}$$

#### II.2.5. Paramètres mesurables pour quantifier l'érosion par cavitation :

Pour caractériser l'érosion par cavitation en fonction du temps d'érosion, trois mesures différentes peuvent être effectuées : des mesures de masse érodée, des mesures de

profondeur, ou des mesures de volume érodé.

Ces trois types de mesures peuvent être représentés soit sous la forme d'érosion totale en fonction du temps ou taux d'érosion en fonction du temps, où le taux d'érosion est la dérivée instantanée de l'érosion en fonction du temps. [21]

### **II.2.6. Méthode d'évaluation de cavitation :**

- 1- Méthode érosion rate (ER) : taux de perte de masse total ou taux de perte matière total, parfois nommé taux d'érosion instantané.
- 2- Méthode mean depth of Erosion (MDE) : profondeur d'érosion moyenne. Différence de hauteur entre les moyennes des surfaces non érodée et érodée.
- 3- Méthode mean depth of érosion rate (MDER): taux de pénétration moyen .
- 4- Méthode maximum depth of érosion (MaxDE) : maximum depth of érosion, profondeur d'érosion maximal. Différence de hauteur entre la plus profonde crevasse et la surface non érodée.
- 5- Méthode maximum depth of érosion rate (Max DER) : taux de pénétration maximal.

### Chapitre III : Méthode et moyen expérimental d'analyse de cavitation et de l'érosion sur la chemise de cylindre CAT 3512 A.

Au cours de fonctionnement du moteur l'écoulement et qualités de liquide de refroidissement conduit une défaillance sur les chemises cylindre de moteur par corrosion et par cavitation.

#### III.1.1 Composantes de liquide de refroidissement :

Ce tableau présente les trois éléments constitutifs de liquide de refroidissement en

Pourcentage :

**Tableau (III.1) Composantes de liquide de refroidissement**

Produites	Pourcentages
De Léau	50 à 70%
De glycols	30 à 50%
D'additif	5 à 6 %

#### **Léau :**

L'eau présente l'avantage d'avoir le pouvoir réfrigérant le plus élevé, mais elle présente un certain nombre d'inconvénients :

- Elle solidifie à 0 °C avec une augmentation de volume d'environ 9%;
- Elle favorise la corrosion (phénomènes électrochimiques entre les métaux)
- Elle peut contenir des sels minéraux (calcium, magnésium, etc..) Qui favorisent la corrosion et formation de dépôts et des produits insolubles (entartrage) [2].

#### **Glycols :**

Afin d'abaisser le point de congélation de l'eau, il est nécessaire d'ajouter des produits soluble en milieu aqueux, ce qui a toutefois pour effet de dégrader les propriétés de transfert de chaleur. Comme pour l'eau, la pureté des glycols est également un facteur indispensable. [2]

### III.1.1.1. Protection par Éthylène-glycol :

Ce tableau montre les limites de protection d'éthylène-glycol

**Table 2 (III.2) Protection par Éthylène-glycol.**

Concentration	Protection contre le gel	Protection contre l'ébullition
50%	-36 C°	106 C°
60%	-51 C°	111 C°

#### Les additifs :

Une concentration insuffisante d'additifs peut produire les problèmes suivants [20] :

- Piquage
- Erosion par cavitation
- Rouille
- Tartre
- Ecumage

### III.1.2. Propriétés chimiques de liquide de refroidissement : [18]

Ce tableau présente les propriétés chimiques de liquide de refroidissement.

**Table 3 (III.3) Propriétés chimique de liquide de refroidissement**

Propriétés de l'eau	PPM (mg/L)
Chlorures (cl)	40
Sulfates(SO4)	100
Dureté totale	170
Solides totaux	340
PH	5.5 , 9

### III.1.3. Propriétés physiques de liquide de refroidissement :

- Débit total de pompe à eau 1520 L/min.
- pression de pompe à eau 37 psi.
- Débit entre refroidisseur a huile 950 L/min.
- Débit entre refroidisseur d'air 570 L/min.
- Température de liquide en bloc moteur 210 F°.
- Volume de liquide radiateur 185 Litre.

- Volume de liquide moteur seul 157 Litre. [19]

### III.1.3.1. Bouchage de reforgeuront :

Avec le temps les particules solides résultant d'érosion et de piquage des chemises contribuer au bouchage de refroidisseur d'huile et le refroidisseur d'air.



Figure 15 (III.1) : bouchage de reforgeuront d'huile.



Figure 16 (III.2) : bouchage de reforgeuront l'eau.de l'air

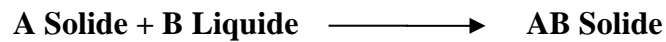
## III.2. Problème de corrosion sur la chemise

### III.2.1 corrosion électrolytique :

#### Description :

Elle se manifeste lorsque le réactif est un liquide ou il existe une hétérogénéité soit dans le métal ou dans le réactif, présent une dissymétrie de composition.

L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anode et cathode dans le réactif et les Zones qui constituent les anodes sont attaquées (corrodées). [4]



#### Cause :

- Le liquide de refroidissement peut devenir acide dans le temps, ainsi en fonction des métaux en présence.
- le moteur peut générer des micro-courts internes.

#### Effet :

- Formation des piqûres de corrosion.
- Dégradation de la surface avec le temps et perte de masse



Figure 17 (III.3). Chemise corrodé



### III.2.2. Corrosion par érosion :

- **Description :**

Est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. [2]

- Le mouvement de liquide de refroidissement attaquant la surface métallique de la chemise. [4]

- **Cause :**

- La Vitesse d'écoulement de liquide de refroidissement.
- Agressivité de liquide de refroidissement avec le temps.

- **Effet :**

- Résultant de particules solides.
- Dommages de la surface protectrice.
- Créant une hétérogénéité dans le circuit.
- Résulte un mouvement relatif entre le liquide corrosif et la surface métallique. [4]



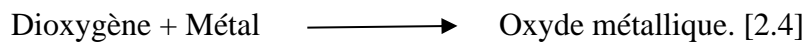
Figure 18 (III.4). Chemise érosive



### III.2.3. La rouille :

- **Description :**

Est une réaction entre le métal et Le dioxygène, l'oxydation attaque la surface des chemises



- **Cause :**

- Perte les propriétés chimiques de liquide de refroidissement avec le temps.
- La variation des paramètres physique de liquide de refroidissement durant le service.

- **Effet :**

- Dépôts de rouilliez à la surface extérieure des chemises.
- Tels dépôts forment une couche isolante empêchant un transfert efficace de chaleur.

[2]



**Figure 19 (III.5). La rouille sur la chemise**

### III.3. Problème de la cavitation sur les chemises :

- **Description :**
  - La cavitation est liée à la tension de vapeur.
  - Elle comprend deux phases distinctes :
    - La formation de bulles de cavité dans la masse du liquide.
    - L'effondrement rapide de ces bulles. [4]
- **Cause :**
  - Augmentation de la température.
  - Diminution de la pression dans le circuit.
  - Tourbillon dans la masse du liquide.
  - Vibration due au choc du piston sur la chemise. [4]
- **Effondrement des cavités (Implosion des bulles) :**

IL se produit au moment où la pression que règne à l'intérieur de la cavité devient inférieure à la pression à laquelle se trouve le volume de liquide. En quelque millième de seconde, les parois de la cavité se déplacent vers le centre de celle-ci à des vitesses de l'ordre de 100 m/s, la pression s'exerçant alors la cavité peut se lever jus q à 10 000 bars, La température ponctuelle pouvant dépasser 1000° C.

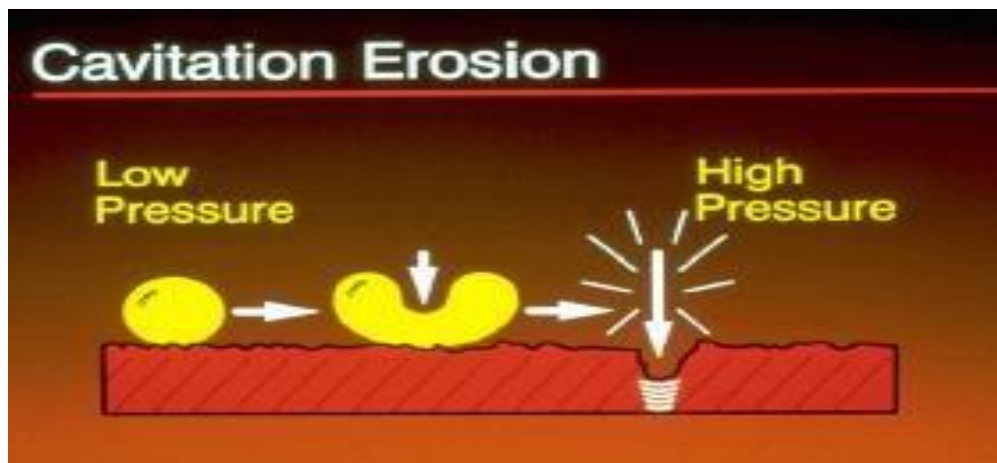


Figure 20 (III.6). Érosion par cavitation

- **Effet :**
  - L'éclatement des bulles détruisent le film protecteur de la surface des chemises. [23]
  - Les contraintes appliquées peuvent dépasser la limite de résistance à la fatigue du matériau
    - \_ Piquage de la surface des chemises.

\_ Érosion et dégradation paroi des chemises avec le temps. [4]



Figure 21 (III.7). Piquage et érosion d'une chemise par cavitation.

### III.4. Utilisation et principe de la méthode ultrason

#### III.4.1 Définition de la méthode ultrason

- Méthode de contrôle qui consiste à transmettre des impulsions acoustiques de hautes fréquences (les ultrasons) dans un matériau.
- Ces ondes se propagent dans les matériaux suivant différents modes de propagation.
- La présence d'une discontinuité, sur le trajet des ultrasons, provoque la réflexion partielle des impulsions.
- Le signal réfléchi est recueilli par un transducteur ultrasonore.

#### III.4.2 Principe de la méthode ultrason

Le principe du contrôle par ultrasons consiste à émettre et faire se propager une onde ultrasonore dans la pièce à inspecter puis à recueillir et analyser l'onde à l'issue de son interaction avec le matériau. Sur la base de ce principe très général, il existe de nombreuses techniques spécifiques, suivant que le contrôle est effectué en transmission ou bien en réflexion, suivant que les dispositifs en émission et en réception sont confondus ou non, suivant le type et l'inclinaison des ondes ultrasonores utilisées,

#### III.4.3 Le matériel utilisé en contrôle par ultrason :

- Postes U.S. analogiques ou numériques ;
- Traducteurs OL, OT et à angles variables ;
- Mesureurs d'épaisseurs ;

- Logiciels de saisi et de suivi des mesures d'épaisseurs. [22]



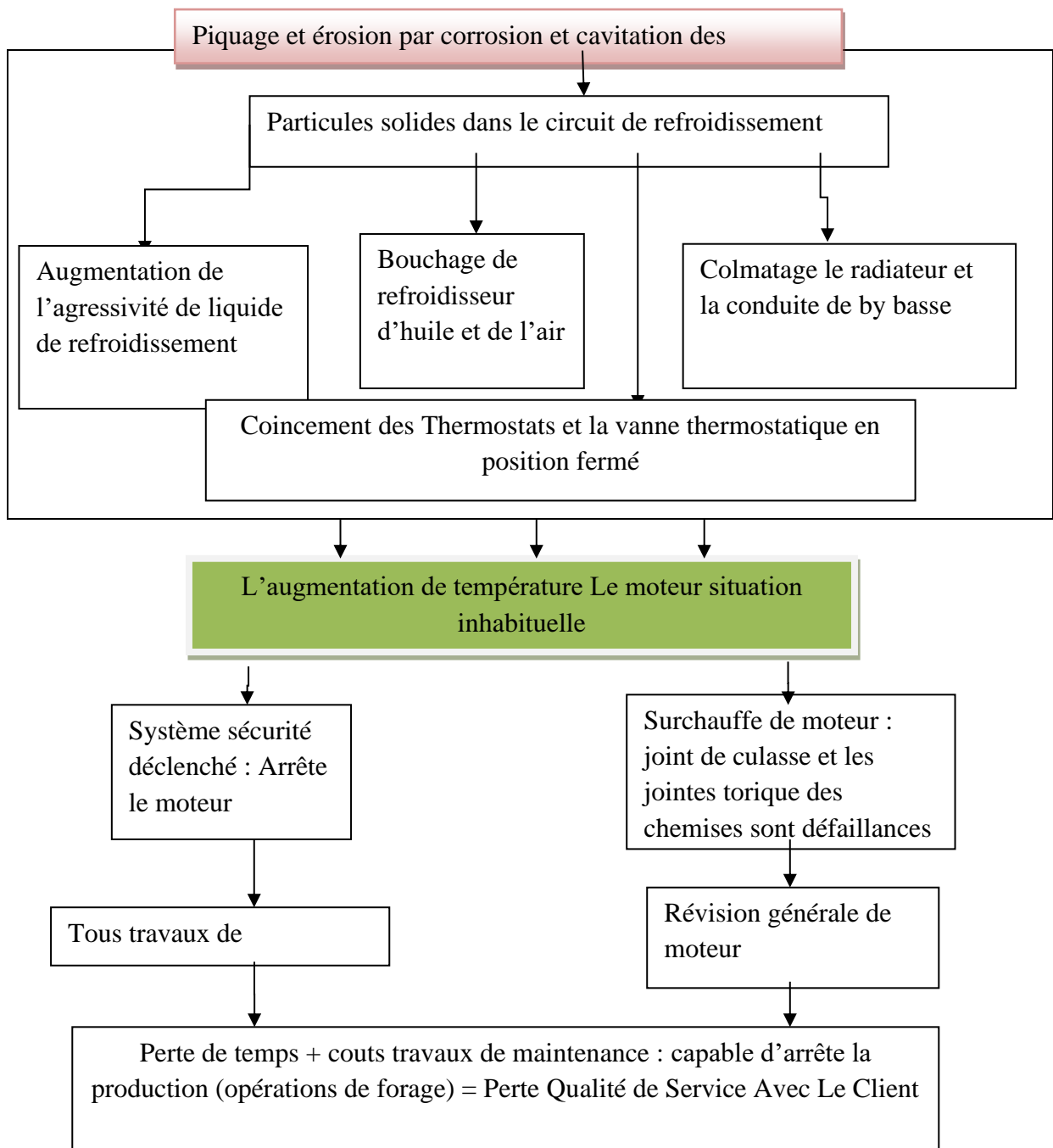
**Figure 22 (III.8) : Matériel de mesures.**

**Chapitre IV : résultats et interprétation :**

En trouver dans ce chapitre l'effet des deux phénomènes sur les chemises, avec les mesures de perte d'épaisseur et de masse,

**IV.1. Organigramme de problème**

Cet organigramme résumer les problèmes de corrosion et de cavitation sur les chemises de moteur et les conséquences de ces problèmes sur le rendement de moteur et la production.



## IV.2. Calcule les pertes de masse et l'épaisseur (chemises moteur CAT 35-12).

Pour calculer le taux de corrosion nous mesuré la masse de la chemise neuve et la chemise corrodée.

### IV.2.1. Calcule de taux de corrosion



Figure 23 (IV.1) la masse de chemise corrodé  
 $m = 17800 \text{ g}$



Figure 24 (IV.2). La masse chemise neuve  $m = 18600 \text{ g}$

- Après les mesures de la masse des deux chemises **Fig. (IV.1)** Chemise corrodé et **Fig. (IV.2)** Chemise neuve (étalon) en peut calculer le taux de corrosion de la chemise.



**Taux de corrosion en (mm/an)**

$$\text{Taux} = \frac{\text{Masse perdue}(\text{mg}) \times 87.6}{\text{Surface}(\text{mm}^2) \times \text{densité}(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) \times \text{temps}(\text{heur})} \quad [13] \quad \text{IV1}$$

Masse perdue = 800g = 800000mg

Surface de la chemise :  $S=2\pi r \times l$

$L=358 \text{ mm}$  et  $r= D/2$  Donc  $r= 170/2=85\text{mm}$

$S= 2 \times 3.14 \times 85 \times 358 = 191100,4 \text{ mm}^2$

Densité = masse total / volume

$M_t=18600\text{g}$

Volume de la chemise  $=\pi r^2 l$  donc  $V=3.14 \times 8.5^2 \times 35,8$   
 $= 8121,767\text{cm}^3$

$\rho_2 = 18600/8121.767 = 2.291 \text{ g/cm}^2$

Temps :  $t=60\ 000$  heures.

**Application numérique :**

$$\text{Taux de corrosion en (mm/an)} = \frac{800000 \times 87,6}{191100,4 \times 2,291 \times 60000}$$

$$= 0,00267 \text{ mm/an}$$

**IV.2.2. Calcule de taux d'endommagement volumique par cavitation**

Figure 26 (IV.3). Diamètre chemise



Figure 25 (IV.4). Diamètre Chemise neuve

## Érodée

$$\dot{V} = \frac{V \text{ total}}{\Delta S \times \Delta t} \quad IV2$$

V total : volume de la chemise neuve.

$$V \text{ total} = \pi \times r^2 \times l = 3.14 \times 8,5^2 \times 35,8 = 8121,767 \text{ cm}^3$$

$\Delta S$  : la différence entre la surface de chemise neuve  $S_1$ , et la surface de la chemise érodée  $S_2$ .

$$\Delta S = S_1 - S_2 = 2 \times \pi \times r_1 \times l - 2 \times \pi \times r_2 \times l.$$

$$S_1 = 2 \times \pi \times D_1 / 2 \times l = 2 \times 3,14 \times 9,6125 \times 35,8 = 2161,1207 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 2 \times \pi \times r_2 \times l = 2 \times 3,14 \times 9,591 \times 35,8 = 2156,2870 \text{ cm}^2$$

$$\Delta S = 2161,1207 - 2156,2870 = 4,834 \text{ cm}^2$$

$\Delta t$  : Le temps de d'exposition à la cavitation.

$$\Delta t = 40\,000 \text{ heures.}$$

$$\text{Donc : } \dot{V} = \frac{8121,767}{4,834 \times 40000} = 0,0403 \text{ cm/h}$$

#### IV.2.3 Calculer de taux d'endommagement surfacique par cavitation :

$$\dot{S} = \frac{S \text{ endommagé}}{\Delta S \times \Delta t} \quad IV3$$

Endommagée : Surface endommagée.

$$\text{Donc : } \dot{S} = \frac{S_2}{\Delta S \times \Delta T} = \frac{2156,287}{4,834 \times 40000} = 0,0111 \text{ 1/h}$$

#### IV.2.4. Mesure les pertes d'épaisseur :

Nous utilisons la méthode de control par ultrasons pour mesurer la perte d'épaisseur des chemises :





Figure 27 (IV 5) mesure d'épaisseur de la chemise

Nous avons mesuré l'épaisseur de la chemise corrodée dans des points

Choisir par utilisation de l'appareil par control ultrason,

- Les résultats dans le tableau suivant.

Table 4 (IV.1) Mesures perte d'épaisseur (chemises moteur CAT 35-12).

Point	Longueur	Arc	Chemise neuve	Chemise corrodé	Déférence
01	130	00	18	16,09	1.86
02	130	20	18	17,02	0.91
03	130	40	18	16,36	1.43
04	130	60	18	17,12	0.52
05	130	80	18	16,86	1.09

06	130	100	18	17,05	0.89
07	130	120	18	16,89	1.15
08	130	140	18	16,46	1.5
09	130	160	18	16,53	1.71
10	130	180	18	16,02	1.92
11	130	200	18	16,23	1.8
12	130	220	18	16,16	1.51

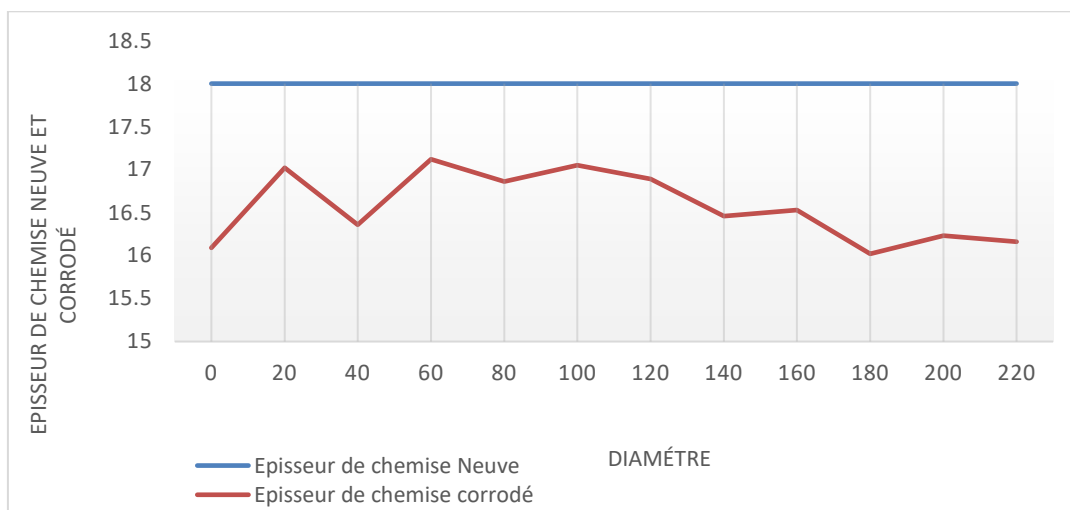
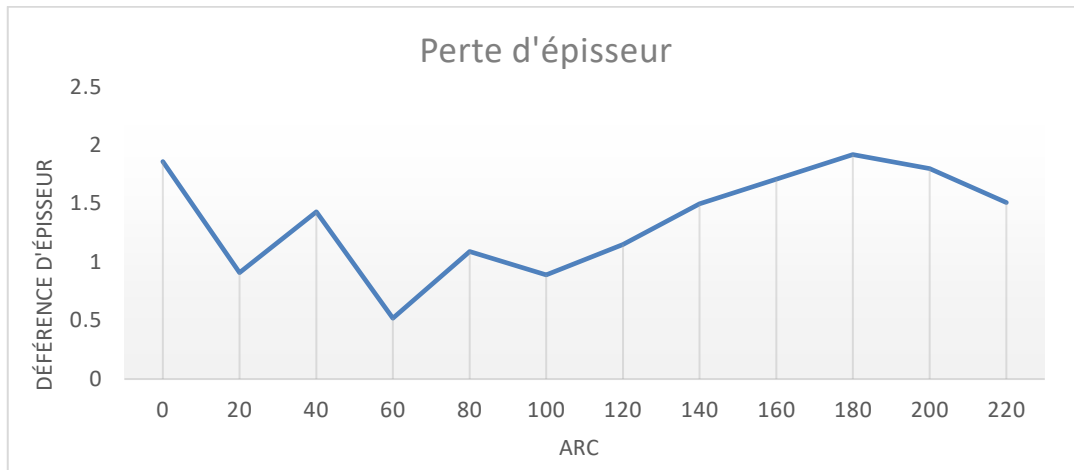


Figure 28 (IV .6) les courbes d'épaisseur de la chemise corrodé et neuve

On remarque dans la courbe Blue qui représente les valeurs d'épaisseur de la chemise neuve en fonction d'arc, les valeurs sont constantes par rapport à la chemise corrodée dans la courbe rouge les valeurs sont variées.



**Figure 29 (IV.7) ; La courbe représente perte d'épaisseur**

Notez la courbe de différence qu'il y a un changement dans les valeurs d'épaisseur en fonction d'arc nous concluons ce que suit :

- Ils y'a une perte de d'épaisseur dans la chemise corrodée.
- Peut avoir des piques dans la surface de la chemise corrodée de profondeur Jusqu'a 2 mm.

**Remarque :** ces mesures ont été effectuées au niveau de département maintenance équipement de forage a l'entreprise nationale des travaux aux puits Hassi Messaouden

### **IV.3 Analyse des causes et proposition de solution**

Grace à notre expérience, nous avons proposé quelques opérations de prévention pour éviter les problèmes de corrosion et de cavitation sur les chemises dans le moteur **CAT 3512 A**.

- Utilisation un filtre ou niveau de la conduite de l'aspiration de la pompe derefroidissent.
- Utilisation un compteur différentiel de pression entre l'entrée et la sorte de refroidisseur d'huile.
- Utilisation un compteur différentiel de pression entre l'entrée et la sorte de refroidisseur d'air.
- Utilisation de liquide original
- Utilisation un compteur à main lazes à distance de température pour assurer le résultat de compteur de tableau d'affichage

- Chaque jour Vérifier l'étanchéité et les fuites des tuyaux de circuit de Refroidissement.
  - Vérifier l'état de la pompe d'eau (mesure la vibration) chaque semaine, plus nettoyage l'extérieur de radiateur.
  - Vérifier l'état des thermostats et nettoyage son boîtier chaque 500 heures.
  - Dans chaque 2000 heures vérifier l'état et les fuites de refroidisseur d'huile plus nettoyage.
  - Vérifier l'état de refroidisseur d'air plus
- Vidange le radiateur plus rinçage le circuit de refroidissement plus changement des thermostats tous 3000 heures.

## **Conclusion :**

Le moteur CAT est considéré comme le cœur de la sonde, est la seule source d'énergie donc il faut utiliser une bonne politique de résolution des principaux problèmes de son fonctionnement pour augmenter la durée de vie du moteur ce que minimise les coûts de réparation qui sera bénéfique pour l'entreprise.

Le circuit de refroidissement est la cause principale de corrosion et de cavitation des organes et des pièces métalliques entraînent des pertes de performance et une défaillance du moteur.

D'après notre étude, ont distingué différentes causes d'érosion et piquage des chemises.

- Formation des piqûres de corrosion qui avec le temps peuvent traverser la chemise et permettre ensuite le passage de liquide de refroidissement dans la chambre de combustion ou le carter d'huile.

- L'onde de choc créée par l'effondrement de la cavité est extrêmement puissante.

Si le phénomène se près d'une paroi, les contraintes appliquées peuvent dépasser la limite de résistance à la fatigue du matériau des particules métalliques se détachent alors de la surface.

**Dans cette étude pouvons conclure une relation entre :**

- Les conditions de circuit de refroidissement et qualité de liquide utilise.
- A quoi vous être exposé des chemises d'érosion avec le temps, plus la pression de choc.
- | La résistance de la matière de fabrication des chemises.

A La Fin de travail en résulte que le bon entretien de circuit de refroidissement contribuer l'augmentation de la durée de vie de moteur et éviter beaucoup de problèmes.

## Résumé :

Les hydrocarbures (pétrole et gaz) sont des sources d'énergie les plus importantes dans le monde, pour les exploiter il faut faire une opération de forage qui est l'un des mécanismes les plus importants pour atteindre aux sources d'hydrocarbures. Afin de continuer l'opération de forage rapidement et minutieusement, il faut assurer une bonne alimentation par l'énergie électrique nécessaire à l'appareil de forage et ses accessoires. Dans les chantiers pétroliers, la seule source qui assure l'alimentation de l'appareil de forage est le moteur diesel à travers un alternateur.

Ce travail présente les résultats et des conséquences de corrosion et cavitation qui attaquent les chemises piston de moteur, et par l'effet de la circulation de liquide de refroidissement au tour de bloc moteur et ces chemises.

D'après l'analyse de ces deux phénomènes, nous proposons quelques solutions afin de préserver le moteur à longue durée de vie et améliorer la qualité de service.

**Mots clés :** hydrocarbures. Le forage. Moteur diesel. Alternateur. Corrosion. Cavitation

### المخلص:

يعتبر النفط والغاز من أهم مصادر الطاقة في العالم، ولاستغلالها لا بد من القيام بعملية حفر التي تعتبر من أهم الآليات للوصول إلى إليها. ومن أجل مواصلة عملية الحفر بسرعة وبدقة، من الضروري ضمان إمداد جيد بالطاقة الكهربائية اللازمة لجهاز الحفر وملحقاته في أعمال النفط، والمصدر الوحيد الذي يضمن إمداد الحفارة وهو محرك من خلال مولد التيار المتردد. الذي يزل

يعرض هذا العمل نتائج وعواقب التآكل والتجوية الذي يهاجم اسطوانات المحرك، وبتأثير دوران المبرد حول بناءً على تحليل هاتين الظاهرتين، نقدم بعض الحلول للحفاظ على عمر المحرك كتلة المحرك وهذه اسطوانات. الطويل وتحسين جودة الخدمة.

**Summary:**

Oil and gas are the most important energy sources in the world, to exploit them it is necessary to do a drilling operation that is one of the most important mechanisms to reach the sources of hydrocarbons. To continue the drilling operation quickly and thoroughly, it is necessary to ensure a good supply of the electrical energy essential for the drilling rig and its accessories.

In oil works, the only source that ensures the power supply to the drilling rig is the diesel engine through an alternator.

This work presents the outcomes and consequences of corrosion and cavitation that attack the cylinder liners of piston diesel engines and the effect of the circulation of coolant around the engine block and these cylinder liners. Based on the analysis of these two phenomena, we provided some solutions to preserve the engine's long life and improve the quality of service.

**Keywords:** hydrocarbons. Thedrilling. Dieselenigne. Alternator. Corrosion. Cavitation.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] Document de l'entreprise ENTP center de formation Hassi Messaoud formation. 2008.
- [2] Dera Yasser, Taila Tarek(étude de problème de corrosion dans un moteur CAT 3512) mémoire fin d'étude master professionnelle MCP, Université Ouargla. 2015-2016
- [3] Bar maki Abderrahmane, benarima mohamed elhadi\_, khelafa abdeslam,(étude et maintenance d'un moteur Caterpillar 3512  
Mémoire fin d'étude master professionnelle MCP Université Ouargla. 2016\_2017
- [4] Document de circuit de moteur Caterpillar, Société de montage et démontage et maintenance circuit de moteur Caterpillar Bergera.monnayeur énergie 2000.1999.
- [5] Document de construction Caterpillar, Société de montage et démontage et maintenance construction de moteur Caterpillar bergera. Monnayeur énergie 2000.1999.
- [6] Ben Saada, classification des aciers et des fontes, Université Biskra 2007
- [7] Lexique de la fonderie (w.w.w fonderie – vincent )
- [8] Corrosion des métaux ENSPM formation industrie training. AP 2005
- [9] Corrosion et prévention Bel Habib institut algérien du pétrole école de Hassi Messaoud formation. 2014
- [10] Ben Saada cours de corrosion.2007
- [11] kolbeschmidet motor service, dommages sur les pistons identification et élimination  
[www.ms-motorservice.com](http://www.ms-motorservice.com) 2015
- [12] Enseignement, Chouicha Samira Cours de corrosion et protection des métaux (pour les étudiants de première Année master professionnelle MCP 2019\_2020.
- [13] Krumenacker Laurent, thèse pour obtenir le grand de docteur (contribution à la prévision de l'érosion de cavitation à parti de simulations numériques, proposition d'un modèle à deux échelles pour l'estimation du chargement imposé en paroi par le fluide)  
l'université de Grenoble spécialité mécanique de fluide  
Par le fluide 29 janvier 2015.
- [14] Séminaire de la Maintenance Edition (Selon l'afnor) 2016.



- [15] Mehdi Zakaria china, farés (étude performance d'un moteur diesel à injection à commande électronique ) mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état Anne 2005
- [16] Abdkarime Chahine, présentation d'analyse de caractérisation (analyse thermiques) faculté des science- Kénitra 2020
- [17] Analyse de mécanisme d'érosion de cavitation, direction des recherches France présentée au comité technique de la société hydrotechnique de France le 17 novembre 1967.
- [18] Perkins, Utilisation et entretien (Moteur Industriel 4008- 30) décembre 2015.
- [19] Haddane Mohamed, Taleb Ahmed Hamza, rapport de stage centre de formation ENAFOR Promotion 2007.
- [20] contrôle non destructifs ENSPM formation industrie training 2005.
- [21] Gabriel Taillon département de génie physique de Montréal mémoire de maîtrise des sciences appliquées, caractérisation des mécanismes d'usure en cavitation avril 2016.
- [22] Jean Bastien Carrat (quantification expérimentale et numérique de l'agressivité de cavitation), l'université de Grenoble 2018