



## RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

**Diplôme de Master Sciences et Techniques**

**Spécialité : Génie Mécanique et Productique**

*Thème :*

***Résolution du problème de fissuration du fourreau inférieur  
du padlock de la dragline 8400 M***

*Présenté par :*

- **OUMOUJAN ZAKARIYAE**

- **EL IDRISSI HAMZA**

*Encadré par :*

- **ABBASS SEDDOUKI, Professeur département génie Mécanique et productique FST Fès**

- **EL ANSARI ILYAS, Encadrant de la société OCP KHOURIBGA**

*Effectué à : groupe office chérifien des phosphates - OCP KHOURIBGA-*

*Soutenu le : 13/06/2018*

*Devant le jury :*

• Pr : <b>ABBASS SEDDOUKI</b>	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr : <b>AHMED EL KHALFI</b>	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr : <b>BILAL HARRAS</b>	Faculté des Sciences et Techniques de Fès

**Année Universitaire : 2017-2018**



# *Remerciements*

Au terme de notre stage effectué à l'OCP Khouribga, nous aimerons remercier vivement la société, qui nous a accueilli, ainsi que MR EL ANSARI ILYASS notre encadrant pour son aide, pour les informations et notices techniques qu'il nous a fourni.

Nos remerciements s'adressent à Monsieur Le Doyen de la FST, le corps administratifs et professoral, pour les conseils, les directives et les encouragements prodigués le long de notre formation.

Nos remerciements s'adressent également à notre encadrant à la FST, MR. ABASS SEDDOUKI, qui nous a fait profiter de son aide, et de sa collaboration. Ils s'adressent aussi aux membres du jury, qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Par la même occasion nous remercions tous ceux qui ont contribué à faciliter la tâche de notre travail, en prodiguant généralement leur aide accompagnée de sympathies et d'encouragements, qu'ils trouvent ici l'expression de nos sincères gratitude.



# Introduction

Ce projet industriel de fin d'études entre dans le cadre de la résolution d'un problème fréquent lié au parc machines de l'atelier DRAGLINES à OCP KHOURIBGA.

Le groupe OCP est le leader mondial sur le marché du phosphate et des produits dérivés, cette place ne vient pas du hasard mais avec un travail sérieux et intensif et une amélioration continue de toute la chaîne de production notamment la phase d'extraction des phosphates, donc une disponibilité maximale des machines d'extraction et primordiale.

Dans le cadre de la nouvelle dynamique industrielle adoptée par l'OCP pour répondre au besoin des clients et faire face au marché concurrentiel actuel, le service maintenance mécanique de la zone Sidi Chennane vise une amélioration de la dragline 8400M, qui présente la machine la plus critique dans le Parc matériel du secteur Sidi Chennane.

Grace à son importance primordiale et son positionnement stratégique dans le processus de production des phosphates, la dragline 8400M doit être disponible la plupart du temps, en d'autres termes, l'arrêt de cette machine est inacceptable, c'est une perte d'argent pour le groupe. C'est pour cela les agents du service Maintenance Draglines et Sondeuses travaillent sans arrêt pour assurer une grande disponibilité de cette machine.

La dragline M8400, affectée à l'enlèvement des morts terrains primaires du secteur Sidi Chennane, est le plus grand moyen de décapage existant à l'OCP Khouribga. Cette machine présente actuellement au niveau du Pad-Lock des fissures fréquentes.

Pour résoudre ce problème, il nous est demandé de :

- ✓ **Caractériser et analyser la situation actuelle en se basant sur l'historique des défaillances enregistrées.**
- ✓ **Vérifier la conception et le montage actuel.**
- ✓ **Déterminer les charges appliquées au fourreau inférieur de la dragline 8400-M**
- ✓ **Proposer des nouvelles conceptions du fourreau.**
- ✓ **Analyser par la démarche de l'analyse statique les solutions proposées (étude par éléments finis).**



Le travail présenté dans ce rapport s'étale sur quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous présenterons le groupe office chérifien des phosphates et ses activités en passant par une description des phases d'extraction des phosphates.

Le deuxième chapitre est consacré à établir une étude critique pour la classification des équipements qui vise à déterminer les machines les plus critique et par la suite une description de la dragline 8400M.

Le troisième chapitre vise à positionner notre problème, puis démarrer la méthode de résolution de problème afin de solutionner d'une façon bien structurée et organisée en mettant les causes racines du phénomène avec le moins de ressources et du temps possible.

Le quatrième chapitre est une suite de la démarche **MRP**, consacré à apporter des solutions pour lutter contre ce problème ennuyeux.

Enfin, le travail est clôturé par une conclusion générale.



# Abstract

This end-of-studies industrial project is part of the resolution of a frequent problem related to the machinery park of the DRAGLINES workshop in OCP KHOUREBGA.

The OCP group is the world leader in the market for phosphate and derived products, this place does not come by chance but with a serious and intensive work and a continuous improvement of the whole chain of production in particular the phase of extraction of the phosphates, therefore maximum availability of extraction machines and paramount.

As part of the new industrial dynamic adopted by the OCP to meet the needs of customers and to cope with the current competitive market, the mechanical maintenance service of the Sidi Chennane area aims to improve the 8400M dragline, which presents the most Critical in the Material Park Sector Sidi Chennane.

Due to its paramount importance and its strategic positioning in the phosphate production process, the 8400M dragline must be available most of the time, in other words, the shutdown of this machine is unacceptable, it is a loss of money for the group. This is why the Maintenance Draglines and Lawnmowers are constantly working to ensure the high availability of this machine.

The M8400 dragline, assigned to the removal of primary land dead in the Sidi Chennane sector, is the largest stripping facility existing at OCP Khouribga. This machine present at the level of Pad-Lock frequent cracks.

To solve this problem, we are asked to:

- ✓ Characterize and analyze the current situation based on the history of recorded failures
- ✓ Check the current design and assembly.
- ✓ Determine the loads applied to the lower leg of the 8400-M dragline
- ✓ Propose new designs of the sheath.
- ✓ Analyze the proposed solutions (finite element study) using the static analysis approach.

The work presented in this report is divided into four chapters:

In the first chapter we will present the office of the Cherifian group of phosphates and its activities through a description of the phases of extraction of phosphates.



The second chapter is devoted to establishing a critical study for the classification of equipment that aims to determine the most critical machines and subsequently a description of the 8400M dragline.

The third chapter aims to position our problem, then start the problem-solving method in order to solve in a well-structured and organized way by putting the root causes of the phenomenon with the least resources and the time possible.

The fourth chapter is a continuation of the MRP approach, dedicated to providing solutions to combat this annoying problem. Finally, the work is closed by a general conclusion.



# Sommaire

## Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise d'accueil

I.	Aperçu sur l'OCP.....	13
1.	Introduction.....	13
2.	Historique.....	14
3.	Groupe OCP aujourd'hui.....	15
4.	Mission.....	16
5.	Statut juridique de l'OCP.....	16
6.	Organigramme du groupe OCP.....	16
II.	Processus d'extraction.....	17
1.	Méthode d'extraction en découverte.....	17
III.	Présentation des secteurs d'exploitation.....	21
1.	Présentation du lieu de stage, Service OIK/CE/MD- 337.....	21
2.	Mission du service 337.....	22
3.	Organigramme du service.....	22
4.	Parc matériel de site SIDI CHENNANE.....	23

## Chapitre 2 : Description de la machine dragline 8400M

I.	Etude critique des machines du service dragline et sondeuse.....	25
1.	La classification des équipements du site Sidi Chennane.....	25
II.	Description de la dragline 8400M.....	28
1.	Introduction.....	28
2.	Structure de la machine.....	29
3.	Chaine cinématique des Mouvements de la dragline 8400M.....	29
III.	Etude et analyse des arrêts de la 8400M.....	33
1.	Analyse Pareto des équipements de la 8400M.....	33
2.	Interprétation des résultats :.....	36
3.	Analyse des couts.....	36

## Chapitre 3 : Résolution de problème « MRP »

I.	Méthodologie de résolution des problèmes.....	39
----	---	----



▪ Etape 1 : Identification de problème .....	40
▪ Etape 2 : décrire la situation existante.....	43
▪ Etape 3 : fixer des objectifs .....	64
▪ Etape 4 : analyse des causes racines .....	64
Conclusion : .....	65

## **Chapitre 4 : Actions et contre-mesures**

I. La re-conception d'un nouveau fourreau de la dragline 8400M .....	68
Partie 1 : définition et analyse fonctionnelle .....	68
Partie 2 : étude éléments finis des nouvelles technologies du fourreau.....	69
II. Description du mode opératoire de l'alignement du fourreau.....	76
III. Elaboration du mode opératoire du soudage.....	78
1. Introduction.....	78
2. Eléments et paramètres de soudage .....	78
3. Mode opératoire de soudage .....	82

## **Conclusion générale**

## **Annexe :**



## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Carte des sites d'implantation d'OCP au Maroc .....	13
<b>Figure 2</b> : Carte des secteurs phosphatés à Khouribga. ....	14
<b>Figure 3</b> : Présentation schématique de la chaîne d'extraction. ....	15
<b>Figure 4</b> : Organigramme du groupe OCP. ....	16
<b>Figure 5</b> : La foration des trous à l'aide de la machine SONDEUSE BUCYRUS 50R. ....	18
<b>Figure 6</b> : Opération de sautage par des explosifs. ....	19
<b>Figure 7</b> : Opération de décapage par dragline. ....	19
<b>Figure 8</b> : Opération de décapage par bulls.....	19
<b>Figure 9</b> : Opération de défruitage par chargeuse. ....	20
<b>Figure 10</b> : Transport du phosphate par des camions. ....	20
<b>Figure 11</b> : Convoyeurs et transporteurs des phosphates épierrés. ....	21
<b>Figure 12</b> : Atelier maintenance dragline et pelle. ....	22
<b>Figure 13</b> : Organigramme du service 337. ....	22
<b>Figure 14</b> : Parc matériel de SIDI CHENANNE. ....	23
<b>Figure 15</b> : La dragline 8400M.....	28
<b>Figure 16</b> : Les composants de la 8400M.....	29
<b>Figure 17</b> : Chaîne cinématique de drague.....	30
<b>Figure 18</b> : Chaîne cinématique de levage.....	30
<b>Figure 19</b> : Chaîne cinématique d'orientation.....	31
<b>Figure 20</b> : Chaîne cinématique de translation.....	32
<b>Figure 21</b> : Vue en dessus de la 8400M.....	32
<b>Figure 22</b> : Histogramme des arrêts de la 8400M en 2015.....	34
<b>Figure 23</b> : Histogramme des arrêts de la 8400M en 2016.....	35
<b>Figure 24</b> : Histogramme des arrêts de la 8400M en 2017-2018.....	36
<b>Figure 25</b> : Positionnement du padlock dans La dragline 8400M.....	40
<b>Figure 26</b> : Vue de face du padlock .....	40
<b>Figure 27</b> : Vue de face du fourreau.....	40
<b>Figure 28</b> : Position des fissures au niveau du fourreau.....	41
<b>Figure 29</b> : Schéma architectural de la Dragline M8400.....	46
<b>Figure 30</b> : Schéma cinématiques du Pad-Lock.....	47
<b>Figure 31</b> : Schéma cinématiques du Pad-Lock -suite-.....	48
<b>Figure 32</b> : Graphe de liaisons.....	48
<b>Figure 33</b> : Schéma simplifié du Fourreau chargé.....	54
<b>Figure 34</b> : Géométrie du fourreau inférieur du Pad-Lock.....	55
<b>Figure 35</b> : Résultats de l'analyse statique – critère de von mises-.....	58
<b>Figure 36</b> : Résultats de l'analyse statique – critère de déplacement-.....	59
<b>Figure 37</b> : Résultats de l'analyse statique – critère de déformation-.....	60
<b>Figure 38</b> : Les composantes de la tête flèche de la dragline 8400M.....	61
<b>Figure 39</b> : Diagramme d'Hishikawa.....	64
<b>Figure 40</b> : Diagramme bête à corne.....	68
<b>Figure 41</b> : Modélisation de la solution 1.....	69
<b>Figure 42</b> : Nuages des matériaux pour $IP = \sqrt{E} / \rho$ .....	70
<b>Figure 43</b> : Nuages des matériaux pour $IP = \sqrt{E} / C_p$ .....	70
<b>Figure 44</b> : Application du support fixe.....	71
<b>Figure 45</b> : Application des chargements.....	71
<b>Figure 46</b> : Génération du maillage.....	72
<b>Figure 47</b> : Résultats de l'analyse statique 1.....	72
<b>Figure 48</b> : Modélisation de la solution 2.....	73
<b>Figure 49</b> : Application des actions extérieures.....	73
<b>Figure 50</b> : Génération du maillage.....	74



<i>Figure51 : Résultats de l'analyse statique 2</i> .....	74
<i>Figure 52 : Modélisation de la solution 3</i> .....	75
<i>Figure53 : Application des actions extérieures</i> .....	75
<i>Figure 54 : Génération du maillage</i> .....	75
<i>Figure 55 : Résultats de l'analyse statique 3</i> .....	76
<i>Figure56 : Procédure de soudage</i> .....	83

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : MTTR et les heures de marche des machines draglines</i> .....	25
<i>Tableau 2 : Fiche d'évaluation de la 8400M</i> .....	26
<i>Tableau 3 : Classification des équipements</i> .....	27
<i>Tableau 4 : Historique des arrêts de la 8400M en 2015</i> .....	33
<i>Tableau 5 : Historique des arrêts de la 8400M en 2016</i> .....	34
<i>Tableau 6 : Historique des arrêts de la 8400M en 2017-2018</i> .....	35
<i>Tableau 7 : Cout des pièces de rechange</i> .....	37
<i>Tableau 8 : Caractéristiques mécaniques du matériau du fourreau</i> .....	55
<i>Tableau 9 : Composants du padlock de la dragline 8400M</i> .....	62
<i>Tableau 10 : Paramètres de fonctionnement du padlock de la dragline 8400M</i> .....	63
<i>Tableau 11 : Propriétés des matériaux issues de l'étude sous CES</i> .....	71
<i>Tableau 12 : Composition chimique du matériau 22NC6</i> .....	79
<i>Tableau 13 : Indice de soudabilité</i> .....	80
<i>Tableau 14 : Diamètres des électrodes et paramètres de préchauffage</i> .....	81
<i>Tableau 15 : Paramètres de soudage</i> .....	82



## Liste des abréviations

**MRP** : Méthode de résolution de problème  
**OCP** : Office chérifien des phosphates  
**SMGI** : Système de Management Global et Intégré  
**MTTR** : Mean time to repair  
**MTBF** : Mean time between failures  
**KOM** : Komatsu  
**PH** : Pelles hydrauliques  
**MO** : Main d'œuvre  
**PDR** : Pièce de rechange  
**NF** : Norme française  
**DAO** : Dessin assisté par ordinateur  
**CEM** : Carbone équivalent métallurgique  
**C** : Carbone  
**Mn** : Magnésium  
**Ni** : Nickel  
**Si** : Silicium  
**Cr** : Chrome  
**Mo** : Molybdène  
**Ceq** : Carbone équivalent  
**AWS** : American welding system  
**E7018** : Type électrode  
**BWRA** ; British Welding Research Association.  
**TP** : Température de préchauffage  
**TSN** : Indice de sévérité thermique  
**E36** : Acier de construction mécanique



# *Chapitre 1 :*

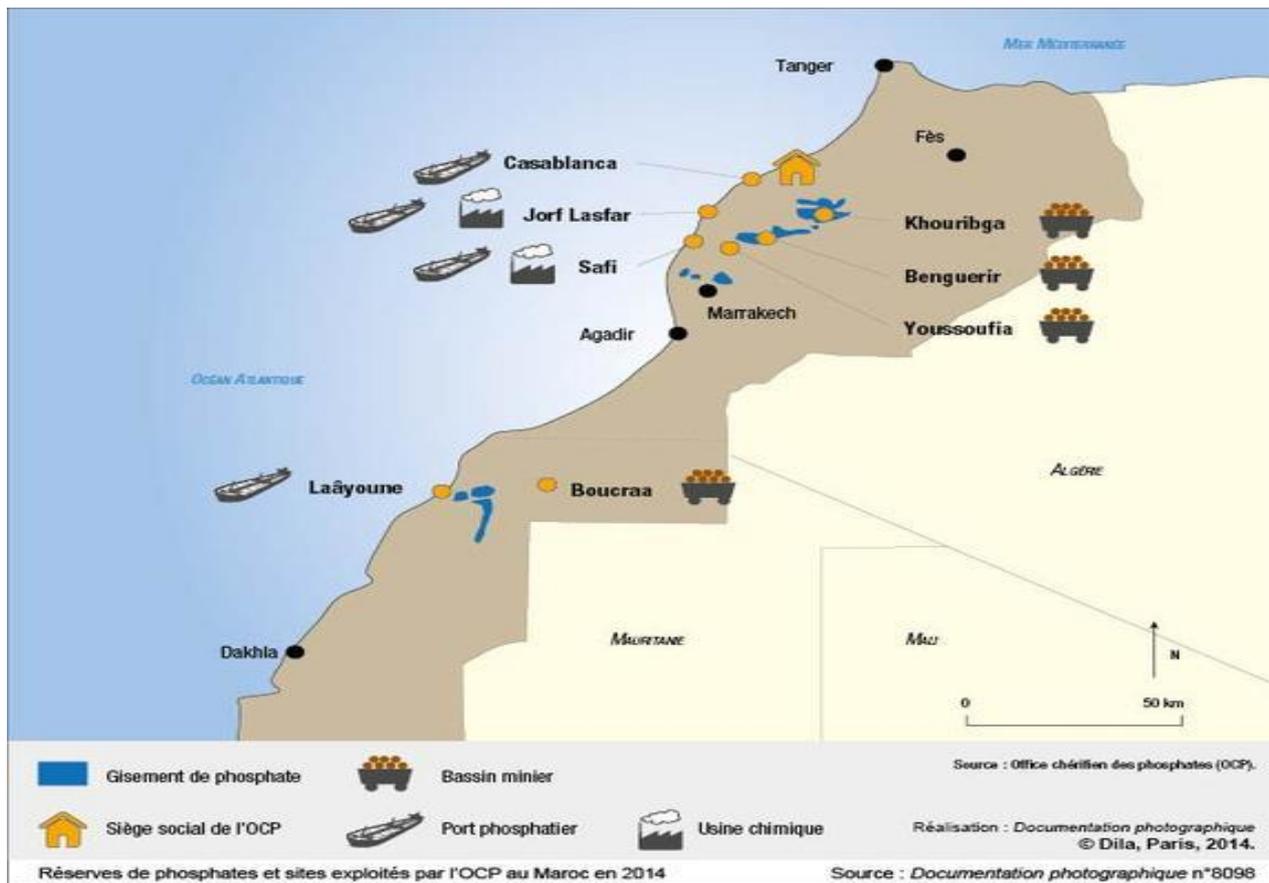
## *Présentation de l'entreprise d'accueil*

« Ce chapitre présente un aperçu  
général sur l'office chérifien des phosphates  
Khouribga en tant qu'établissement d'accueil »

## I. Aperçu sur l'OCP

### 1. Introduction

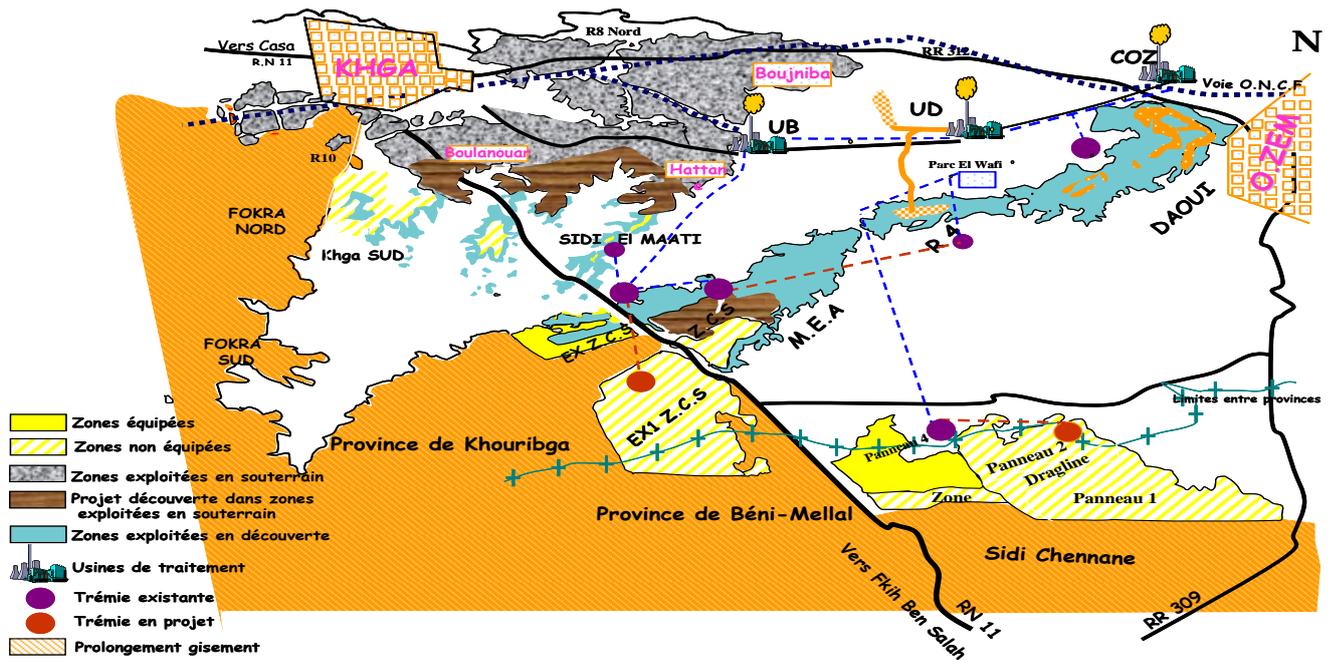
La zone de Khouribga est située à 120 Km au sud - Est de Casablanca. Elle constitue la plus importante zone de production de phosphate du Groupe OCP (plus de  $\frac{2}{3}$  de la production du groupe proviennent de Khouribga). Elle fait partie du gisement des OUELD ABDOUN. C'est le plus ancien et notamment le plus vaste des gisements exploités au Maroc.



**Figure 1 : carte des sites d'implantation d'OCP au Maroc.**

Le gisement de phosphate est du type sédimentaire, présentant plusieurs couches phosphatées alternant avec des niveaux de marnes et de calcaires. Les réserves en phosphates sont estimées à plus de 35 milliards de m<sup>3</sup>.

Les gisements actuellement en exploitation sont SIDI DAOUI, MERAH EL AHRACH et SIDI CHENNANE.



*Figure 2 : Carte des secteurs phosphatés à Khouribga.*

La valorisation de ce minerai nécessite la mise en place de nouvelles techniques, aussi bien au niveau du management qu'au niveau de la production et de la maintenance. Et ce, en vue de se maintenir dans le marché international, devenu très concurrentiel. La consolidation de notre part de marché se fait par la diversification des produits et leur adaptation aux exigences des clients en matière de spécifications quantitatives et qualitatives.

Ce défi, que l'O.C. P est tenu constamment de relever, ne peut être relevé sans veiller à l'application de certains principes dont on cite principalement :

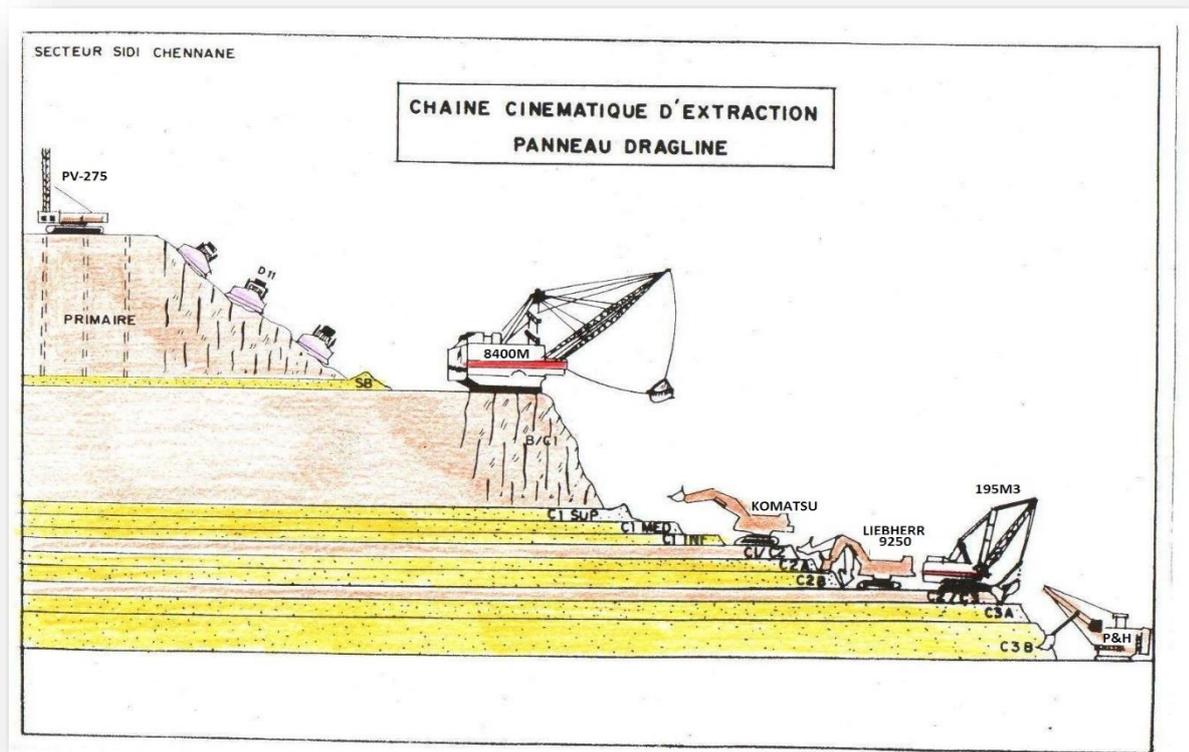
- La satisfaction de la demande en quantités et en qualités. Ce qui permet de fidéliser nos clients ;
- La valorisation continue des ressources humaines et son implication dans une démarche participative à la gestion de l'activité. Ceci est devenu possible grâce à l'adoption de la TPM, de l'analyse des processus et d'une manière générale de l'approche qualité totale ;
- La récupération optimale du gisement ;
- Le maintien de l'outil de production et sa modernisation ;
- La compression des dépenses.

## *2. Historique*

L'extraction du phosphate à Khouribga a commencé en Février 1921 par l'Office Chérifien des phosphates, créé le 21 Dul Kaâda 1338 correspondant au 7 Août 1920.

Au début, l'exploitation se faisait en souterrain et ne concernait qu'un seul niveau phosphaté : la couche 1.

En 1952, l'exploitation en découverte a démarré à SIDI DAOUI, elle s'est étendue en 1965 à MERAH EL AHRACH, et en 1994 à SIDI CHENNANE. La figure ci-après donne une présentation schématique de la chaîne d'extraction en découverte. Cette chaîne sera expliquée en détail dans la partie processus d'extraction.



*Figure 3 : présentation schématique de la chaîne d'extraction.*

### 3. Groupe OCP aujourd'hui

Aujourd'hui, le groupe OCP compte environ 24 000 agents répartis entre Hors Cadres, TAMCA (Techniciens, agents de maîtrise et cadres administratifs) et ouvriers.

Le groupe ne cesse de rechercher l'amélioration des services, la qualité de la production et, la sécurité absolue de ses agents. Ainsi un système SMGI (Système de Management Global et Intégré) pour la sécurité et l'environnement vient d'être mis en place tandis qu'au sein de ses sections exécutantes des « Cercles de Qualité » sont créés pour étudier les difficultés que rencontrent les ouvriers et leur inciter à essayer d'en trouver les solutions adéquates.

En parallèle, le groupe n'ignore point les effets néfastes de ses activités industrielles sur l'environnement et agit dans ce sens à travers des organismes internationaux. Et à titre d'exemple,

à la zone d'exploitation de SIDI CHENNANE l'opération de reboisement des zones exploitées ainsi que la mise en place d'un lac artificiel abritant -un nombre considérable d'animaux...

#### 4. Mission

La mission de l'OCP peut être résumée dans les deux points suivants :

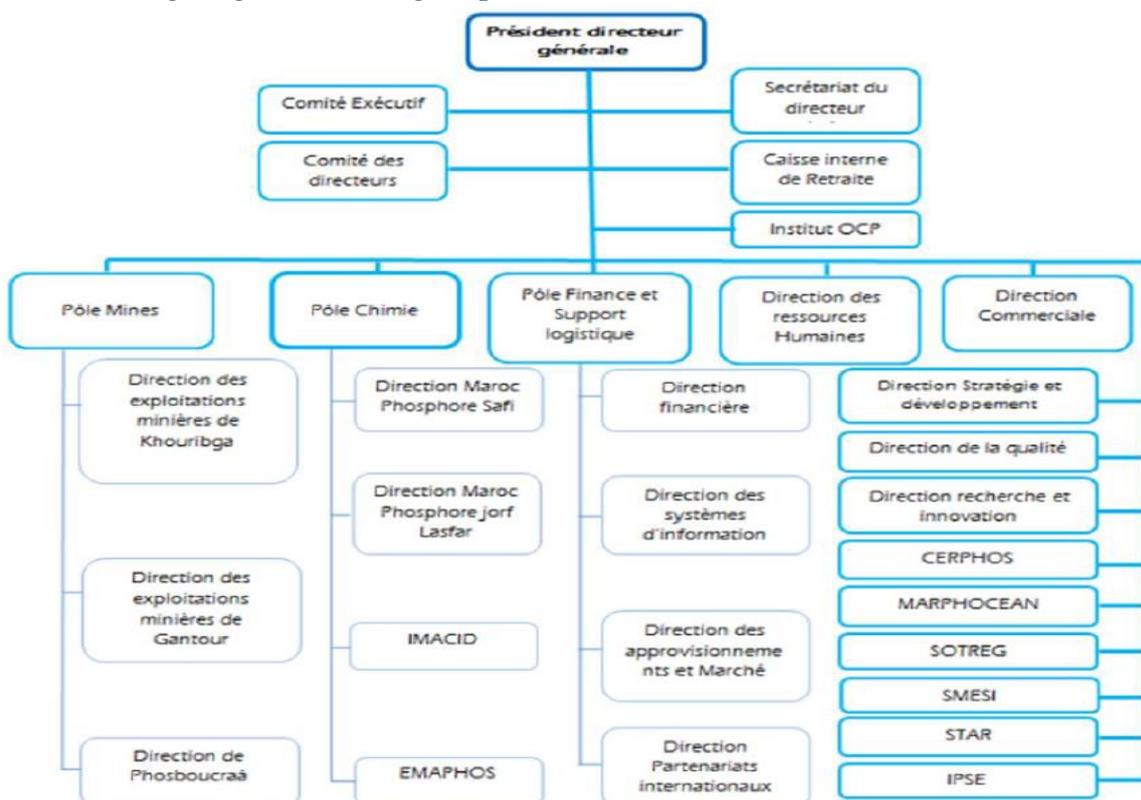
- ✓ Extraire les phosphates bruts, les traiter pour rendre marchands et le commercialiser.
- ✓ Valoriser une partie de la production de phosphates dans les usines chimique soit sous forme d'acide phosphorique, ou sous forme d'engrais.

#### 5. Statut juridique de l'OCP

L'OCP a été constitué sous forme d'une organisation d'état à caractère industriel et commercial doté d'une organisation lui permettant d'agir avec la même dynamique et la même souplesse nommée par DAHIR et par un conseil administratif composé de ministres et précédé par le premier ministre.

L'OCP est la première entreprise nationale et l'une des grandes entreprises internationales. Il occupe une place très importante parmi les pays producteurs du phosphate, ainsi il a le choix pour la qualité de phosphate qu'elle produit.

#### 6. Organigramme du groupe OCP



**Figure 4 : Organigramme du groupe OCP.**



## *II. Processus d'extraction*

### *1. Méthode d'extraction en découverte*

La méthode d'exploitation à ciel ouvert dans les mines de phosphate de l'OCP consiste à enlever la découverte de 5 à 30 m par des draglines ou des bulls après l'avoir forée et sautée. Le phosphate ainsi découvert est chargé sur des camions de 110 T et 170 T et acheminé vers les installations d'épierreage - criblage.

La chaîne d'extraction dans les mines à ciel ouvert de l'OCP se compose de cinq principaux stades opératoires :

- La foration.
- Le sautage.
- L'enlèvement du stérile.
- Le chargement et transport du phosphate.
- L'épierreage - criblage du phosphate.

En général, l'épuisement se fait de la périphérie (des affleurements) vers le centre du gisement. Les machines évoluent selon des circuits concentriques de même largeur de 40 m et de longueurs pouvant atteindre plusieurs kilomètres.

Le vide créé par l'exploitation d'une tranchée est utilisé pour le casement du primaire et une partie des intercalaires supérieurs de la tranchée adjacente. Les intercalaires non casés sont transportés par camions vers les décharges situées à proximité des tranchées en cours d'exploitation.

Le phosphate est transporté par camions jusqu'aux installations d'épierreage. Le stockage des phosphates au niveau des parcs humides se fait après une reconnaissance préalable de la qualité in-situ moyennant un prélèvement d'échantillons sur des saignées exécutées par bulldozers

Dans le niveau phosphaté. La qualité des phosphates stockés est ensuite confirmée par une analyse chimique faite par la Direction Traitement et embarquement.

Dans l'objectif de pouvoir répondre à la demande, de plus en plus exigeante en seuils des éléments pénalisants, et avec le souci d'une meilleure récupération et préservation des teneurs en place, la méthode d'extraction a évolué vers une sélectivité totale aussi bien verticale qu'horizontale s'opérant en treize étages.

### *a) La Foration*

L'extraction des phosphates nécessite l'abattage à l'explosif de la roche constituant le recouvrement, les intercalaires et les niveaux phosphatés qui comportent des bancs de calcaire, notamment la couche 2. L'utilisation de l'explosif nécessite la foration des trous de mine. Cette opération consiste en le fonçage des trous de mines, généralement verticaux, de diamètre de 9'' et selon une maille appropriée tenant compte des caractéristiques de la roche, de la nature de l'explosif et de la fragmentation désirée.



***Figure 5 : la foration des trous à l'aide de la machine SONDEUSE BUCYRUS 50R.***

### *b) Le sautage*

Le sautage est l'opération qui consiste à loger une quantité d'explosif dans les trous de foration dans le but de fragmenter le terrain pour faciliter son enlèvement par les machines d'excavation.

En effet, on s'attache à obtenir une fragmentation telle qu'on élimine, même dans les zones perturbées où les duretés varient, tout risque de voir le rendement des machines décroître et toute sollicitation anormale de leurs organes de puissance.

De ce fait, pour chaque niveau à miner et pour chaque machine on applique un dosage en explosif permettant d'obtenir la fragmentation recherchée.



**Figure 6 : opération de sautage par des explosifs**

### *c) Le décapage*

Cette Opération consiste à enlever les morts terrains qui recouvrent le premier niveau phosphaté exploitable, On distingue trois méthodes de décapage :

1. Décapage par bulls consiste à pousser le volume d'une tranchée de largeur déterminée dans la tranchée du circuit précédent ou à l'extérieur du gisement dans le cas des affleurements.
2. Décapage par dragline, qui consiste à caser les déblais des morts-terrains dans la tranchée déjà exploitée. Ce mode de décapage est pratiqué lorsque le recouvrement est important au point que les bulls ne peuvent le pousser.
3. Décapage transporté qui consiste à décaper le primaire par une pelle de grande capacité et à transporter les déblais par des camions jusqu'aux décharges. Il n'est utilisé que dans les situations où le décapage par bulls ou par dragline ne peut pas s'appliquer.



**Figure 7 : opération de décapage par dragline.**



**Figure 8 : opération de décapage par bulls**

### *d) Le défruitage*

Opération qui consiste à récupérer le phosphate, une fois l'enlèvement des intercalaires terminé. Il est chargé et le transporté sur des camions jusqu'aux installations d'épierreage. C'est

une opération délicate car non seulement il faut récupérer le phosphate de façon convenable, mais aussi il faut sauvegarder la teneur in-situ du minerai.



***Figure 9 : opération de défruitage par chargeuse.***

#### ***e) Le transport***

Le transport du phosphate ou du stérile est assuré par des camions de grande capacité de la benne (170T et 110T) vers, soit la trémie ou les décharges. La liaison entre ces différents points est assurée par un réseau de pistes.



***Figure 10 : transport du phosphate par des camions.***

#### ***f) L'épierrage***

C'est dans les installations fixes où le produit transporté par les camions subit la première opération de traitement mécanique. Cette opération consiste en l'épierrage du phosphate à une maille de 90 x 90 mm, concassage du stérile retenu par l'épierreur et son acheminement vers la mise à terril, et criblage et mise en stock pour le phosphate dans le cas de la trémie de SIDI CHENNANE ou mise en stock et ensuite criblage pour les autres trémies de SIDI DAOUI et MEA.

Le stockage des phosphates au niveau des parcs humides se fait après une reconnaissance préalable de la qualité in-situ moyennant un prélèvement d'échantillons sur saignée exécutée par

bulldozer dans le niveau phosphaté. La qualité des phosphates stockés, par qualité source, est ensuite confirmée par une analyse chimique faite par la Division Traitement.

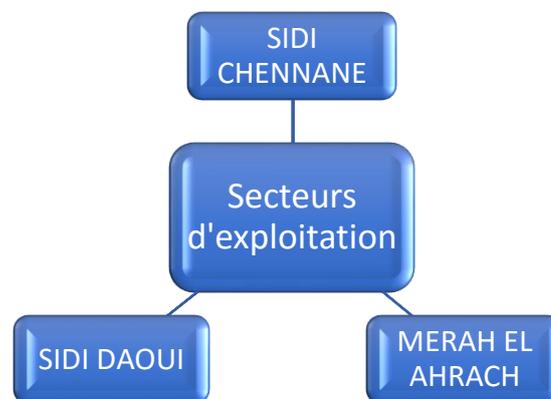


*Figure 11 : Convoyeurs et transporteurs des phosphates épierrés.*

### III. Présentation des secteurs d'exploitation

#### 1. Présentation du lieu de stage, Service OIK/CE/MD- 337

L'exploitation à ciel ouvert, qui assure la totalité de la production de la zone, est concentrée dans trois secteurs : SIDI DAOUI, MERAH EL AHRACH et SIDI CHENNANE.



Nous allons s'intéresser au secteur **SIDI CHENNANE** vu que nous y avons passé notre stage.

Le secteur **SIDI CHENNANE** est une nouvelle mine dont l'activité a démarré en 1994, c'est un secteur minier en pleine expansion, avec une production d'environ 6 Mt de phosphates en moyenne par an, et une réserve de 331 Mt.

➤ Ateliers décentralisés de SIDI CHENNANE :

- ✓ Atelier Bulls & Camions : service 335
- ✓ Atelier électrique : service 336
- ✓ Atelier machines : service 337



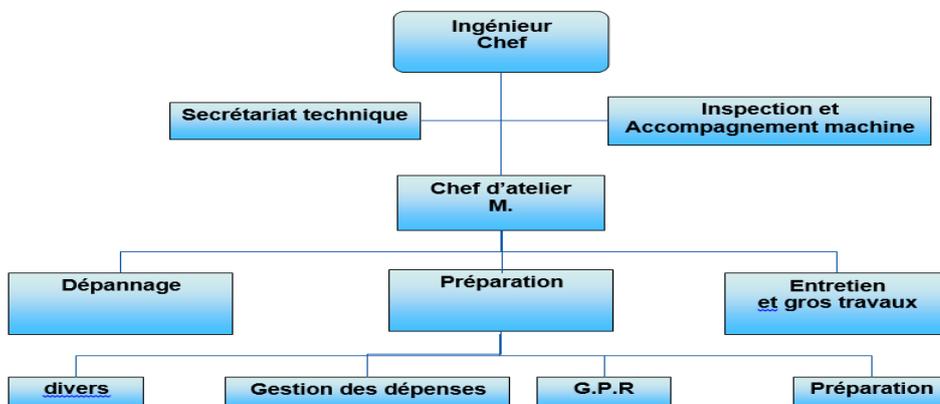
***Figure 12 : atelier maintenance dragline et pelle.***

### ***2. Mission du service 337***

La mission du service 337 est d'assurer la disponibilité des machines (draglines, sondeuses et pelles au site de SIDI CHENNANE) et leur fiabilité avec un coût optimum tout en assurant une meilleure sécurité.

### ***3. Organigramme du service***

Dirigé par un ingénieur chef du service, ce service se décompose suivant l'organigramme ci-dessous et dispose à son actif une moyenne d'environ 130 agents selon les semestres.



***Figure 13 : Organigramme du service 337.***

4. Parc matériel de site SIDI CHENNANE



Figure 14 : Parc matériel de SIDI CHENANNE.



## *Chapitre 2 :*

# *Description de la machine dragline 8400M*

« Dans ce chapitre nous présenterons une idée globale sur la machine 8400M, son fonctionnement, ses arrêts sur les 3 ans écoulés, sa position ainsi que la justification du choix de la machine »



## I. Etude critique des machines du service dragline et sondeuse

### 1. La classification des équipements du site Sidi Chennane

#### Pourquoi la machine 8400M ?

Pour justifier le choix de la machine 8400M nous allons établir une méthode développée par le groupe OCP pour la classification des équipements, cette méthode consiste à garantir une utilisation maximale des équipements au moindre coût avec 0 incident.

Cette méthode se base sur plusieurs critères tels que le temps de réparation de la machine, facteur d'influence, risques, fréquence de pannes ...

Pour chaque critère on donne une valeur, par exemple pour le critère de temps de réparation si :

**MTTR <1h = 5**

**1h <MTTR <2h = 10**

**2h <MTTR <4h = 15**

**4h <MTTR <8h = 20**

**MTTR >8h = 30**

Puis on somme la note de chaque critère pour avoir une note finale de la machine et selon cette dernière on ordonne les machines en ordre décroissant afin de classer la machine dans le groupe convenable :

✓ Le groupe AA : les machines les plus importantes avec un pourcentage de **95%** jusqu'à **100%**

✓ Le groupe A : moins d'importance **80% - 95%**

✓ Le groupe B : les machines de la classe « intermédiaire » **20% -80%**

✓ Le groupe C : les machines qui ont une évaluation inférieure à **20%**

Pour évaluer cette classification nous avons besoin de la MTTR et les heures de marche de chaque machine. Le tableau suivant représente les heures de marche et la MTTR des machines draglines en 2017.

Machines	Heures De marches	Nombre D'arrêts subis	Nombre d'arrêts décidées	Cumul de nombre d'arrêts	Temps d'arrêts décidées	Temps d'arrêts subis (H)	Cumul des temps d'arrêts	MTTR	Disponibilité	Fiabilité
8400M	5858	51	57	108	621	500.67	1121.61	9.82	87.19	161.94
195M3	4831	25	27	52	687	399.08	1086.08	15.96	87.60	334.43
200B2	54	18	17	35	1300	160.8	1460.8	8.93	83.32	477.73
200B3	807	13	7	20	27	350.65	377.65	26.97	95.68	646.87

*Tableau 1 : MTTR et les heures de marche des machines draglines*



$$MTTR = \frac{\text{temps d'arrêts subis}}{\text{nombre d'arrêts subis}} ;$$

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{temps calendaire} - \text{cumul des temps d'arrêts}}{\text{temps calendaire}}$$

$$MTBF = \frac{\text{temps calendaire} - \text{temps d'arrêt subis}}{\text{nombre d'arrêt subis}}$$

Avec *Le temps calendaire = 8760 heures*

✓ **Feuille de classification :( Exemple la 8400)**

Classification	No	Item	Critères	Évaluation
Temps de Réparation (T)	1	Arrêts moyen (MTTR)	<1h = 5 1h < MTTR < 2h = 10 2h < MTTR < 4h = 15 4h < MTTR < 8h = 20 > 8h = 30	30
Facteur d'influence (D)	2	Utilisation de l'équipement (Heures de Marche) (D1)	HM < 3600h = 1 3600h < HM < 4200h = 2 4200h < HM < 4800h = 3 4800h < HM < 5400h = 4 5400h < HM < 6000h = 5	5
	3	Impact sur la Qualité produit (D2)	Important = 6 Moyen = 3 Faible = 2 Sans effet = 1	1
	4	Perte d'énergie (D3)	Important = 6 Moyen = 3 Faible = 2 Sans effet = 1	2
	5	Aspect sécurité de l'anomalie (D4)	Très fort risque pour le personnel = 5, Moyen = 3 Faible = 2 sans risque = 1 Obligation de contrôle légal +5	3
	6	Aspect environnement de l'anomalie (D5)	Fort impact = 5, Moyen = 3 Faible impact = 2 Sans effet = 1	2
Probabilité de Panne (P)	7	Fréquence des pannes	Supérieur à 4 par mois = 35 Entre 1 et 4 par mois = 20 Inférieur à 1 par mois = 5	20
Criticité de l'équipement (C)	8	Criticité de l'équipement en fonction des arrêts de production	20 40 60 80 100	100
Evaluation totale				163

Tableau 2 : Fiche d'évaluation de la 8400M

Avec : **Évaluation Totale=T+D+P+C**

Facteur d'influence(D)= (D1×D2×D3×D4×D5) / 5

Pour les feuilles de classification des autres machines voir (ANNEXE 1)



### Résultat de la classification :

Après avoir noté chaque équipement, nous avons établi un seuil à partir duquel nous avons considéré que chaque équipement qui a eu une notation supérieure au seuil est considéré par la suite un équipement critique qui constitue la classe AA. Le seuil a été fixé à **160**, le résultat de l'évaluation des équipements critiques est donné au tableau suivant :

Stade d'extraction des phosphates	Nom et N° de l'équipement	Commentaires	Évaluation	Classification de l'équipement AA, A, B ou C
Décapage	8400M	Machine importante	163	AA
Chargement	KOM PC6	Nouvelle machine	155	A
Chargement	KOM PC5		151	A
Chargement	LIEBHERR-4		141	A
Chargement	KOM PC1		129	B
Décapage	195M3		128	B
Forage intercalaires et phosphates	DML1	Nouvelle machine	124,4	B
Forage intercalaires et phosphates	PV-275E		124	B
Forage intercalaires et phosphates	SANDVIK2		120	B
Forage intercalaires et phosphates	SK5		118,6	B
Forage intercalaires et phosphates	SANDVIK1		114,4	B
Chargement	200B3		97	B
Chargement	PH1		92	C
Forage intercalaires et phosphates	T4BH1		83,6	C
Chargement	200B2	Machine déjà révisée	72	C
Règle de classification : <b>Inférieure à 20% : Classe C</b> <b>20%-80%: Classe B</b> <b>80% - 95%: Classe A</b> <b>95% - 100%: Classe AA</b>				

*Tableau 3 : classification des équipements*

### La classification obtenue est :

- ✓ **Classe AA** : Machine (8400M)
- ✓ **Classe A** : Machines (KOM PC6 ; KOM PC5 ; LIEBHERR-4)
- ✓ **Classe B** : Machines (KOM PC1 ; 195M3 ; DML1 ; PV-275E ; SANDVIK2 ; SK5 ; SANDVIK1 ;200B3)
- ✓ **Classe C** : Machines (PH1 ; T4BH1 ;200B2)

D'après cette classification nous avons trouvé que la machine dragline 8400M est la machine la plus importante dans le parc matériel de l'atelier et par conséquent elle nécessite un suivi et une analyse plus approfondie que les autres machines.

## *II. Description de la dragline 8400M*

### *1. Introduction*

Les draglines sont des machines qui permettent la découverte des couches phosphatées pour qu'elles soient disponibles au transport. Elles jouent un rôle primordial dans l'exploitation minière, en particulier dans l'extraction des phosphates et constituent ainsi le support de la production. La machine M8400 est la plus importante parmi ce type de machine dans la découverte de KHOURIBGA grâce à ses capacités de travail énormes, Elle assure 43% du décapage entier du secteur SIDI CHENNANE. Cette Machine assure sa fonction par le biais d'un godet qui est entraîné par deux paires de câbles pour assurer les mouvements de Levage et de Dragage. Aussi la machine tourne autour de sa base pour assurer l'Orientation de son godet supporté par une flèche et elle se déplace en Translation par l'intermédiaire de deux sabots pour les charges explosives, et leur profondeur dépend de celle du niveau phosphaté.

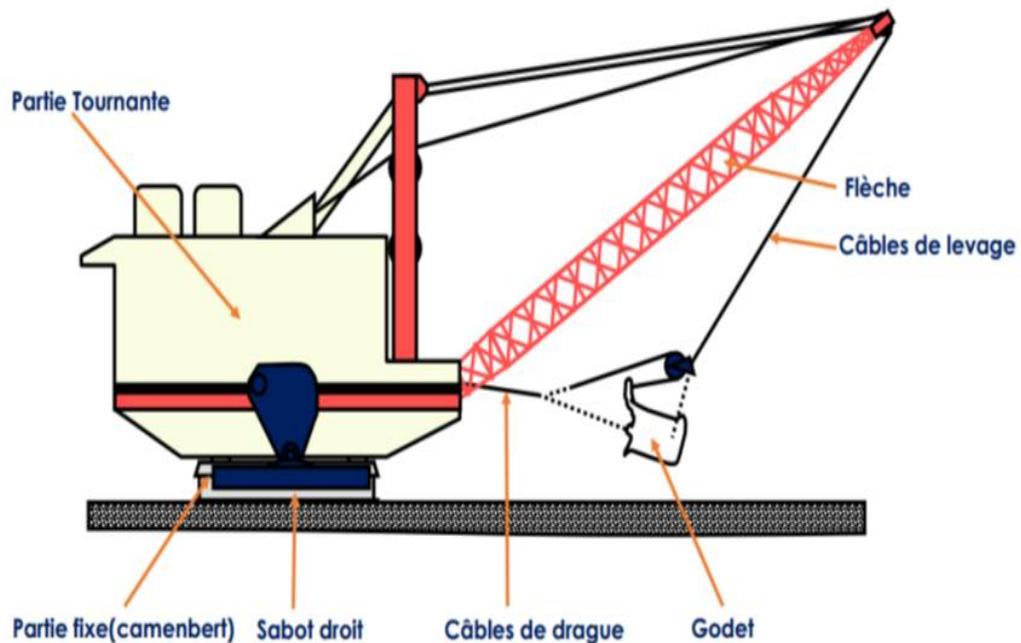


*Figure 15 : La dragline 8400M*

## 2. Structure de la machine

La dragline 8400M est constituée de deux parties essentielles :

- ✚ Une partie fixe formée du camembert.
- ✚ Une partie mobile pouvant pivoter autour de son axe est constituée principalement de :
  - ✓ Deux cabines du conducteur (une à gauche et l'autre à droite)
  - ✓ Une salle des machines
  - ✓ Des sabots (pour la translation)
  - ✓ Une flèche (pour supporter le levage)
  - ✓ Un godet



*Figure 16: les composants de la 8400M*

## 3. Chaîne cinématique des Mouvements de la dragline 8400M

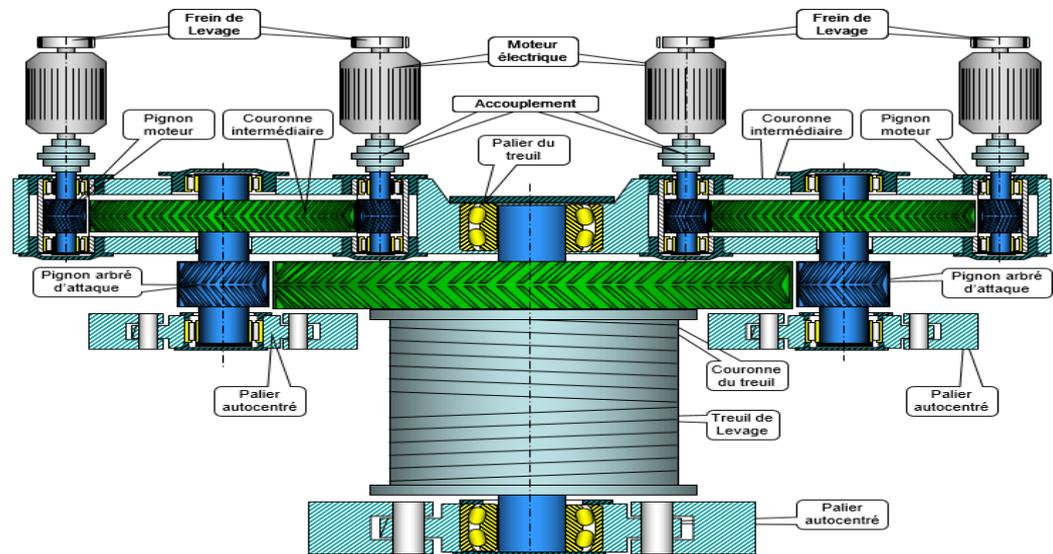
Au cours des travaux, la machine peut effectuer les mouvements suivants :

- Mouvement de drague pour charger le godet.
- Mouvement de levage pour faire monter ou faire descendre le godet.
- Mouvement d'orientation pour déplacement horizontal du godet.
- Mouvement de translation pour déplacement de la machine.

### a. Chaîne cinématique de drague

Le mouvement de drague assure le chargement du godet en creusant les couches stériles du terrain. Cette opération s'effectue à l'aide de quatre moteurs à courant continu, appelés moteurs de drague (DM : drag Motors), qui entraînent le treuil de drague. Le système de drague est très

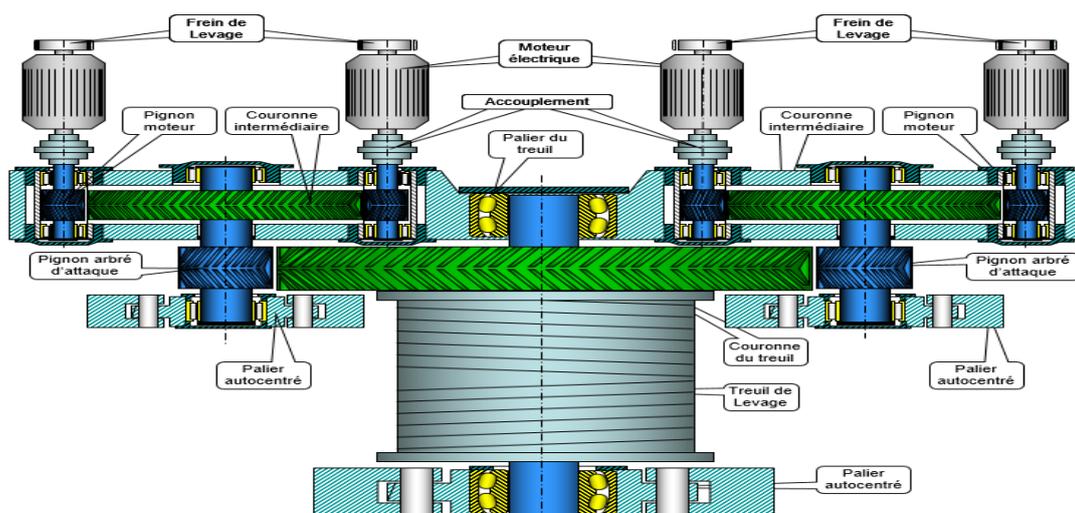
semblable à celui du levage (Figure 18) avec la seule différence au niveau du freinage qui est assuré seulement par deux freins dans le cas de drague alors que le freinage des moteurs de levage est assuré par quatre freins.



*Figure 17 : chaîne cinématique de drague*

### *b. Chaîne cinématique de levage*

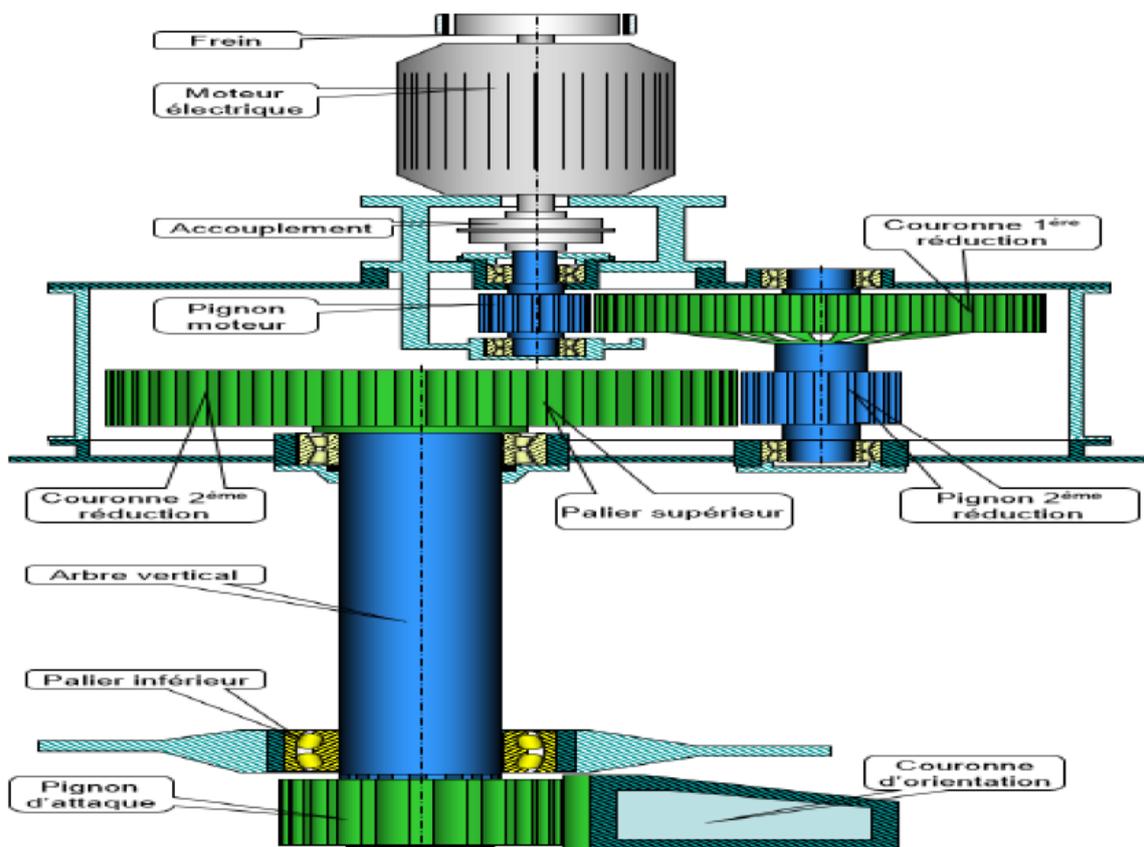
Le mouvement de levage permet le déplacement du godet du bas vers le haut (levage) ou du haut vers le bas (descente). Pour assurer ce mouvement la machine dispose de quatre moteurs à courant continu appelés moteurs de levage (HM : hoistMotors), qui entraînent le treuil de levage qui est liée au godet par un câble de levage. La Figure 18 illustre le système mécanique complet du levage de la machine 8400M.



*Figure 18: Chaîne cinématique de levage*

### c. Chaîne cinématique d'orientation

Le mouvement d'orientation permet de diriger la partie tournante de la machine à gauche ou à droite. La puissance mécanique nécessaire est fournie par quatre moteurs à courant continu appelés moteurs d'orientation (SM : Swing Motors). La Figure 19 montre la chaîne cinématique d'un seul moteur d'orientation qui est fixé sur la partie tournante de la machine. Le mouvement de rotation généré par le moteur à courant continu est transmis à travers plusieurs réducteurs au pignon d'attaque qui va tourner autour de la couronne d'orientation celle-ci étant fixe par rapport au camembert, l'ensemble de la partie tournante tourne par rapport à la couronne d'orientation donc par rapport au camembert.



*Figure 19: Chaîne cinématique d'orientation*

### d. Chaîne cinématique de translation

La machine dispose de deux sabots l'un à droite et l'autre à gauche, permettant son déplacement. Chaque sabot est entraîné par deux moteurs à courant continu appelés moteurs de translation (PM : Propel Motors). Les mouvements des deux sabots doivent être exécutés simultanément, du coup une synchronisation est requise au niveau de la commande La Figure 20 montre la chaîne cinématique d'un seul sabot de la machine 8400M.

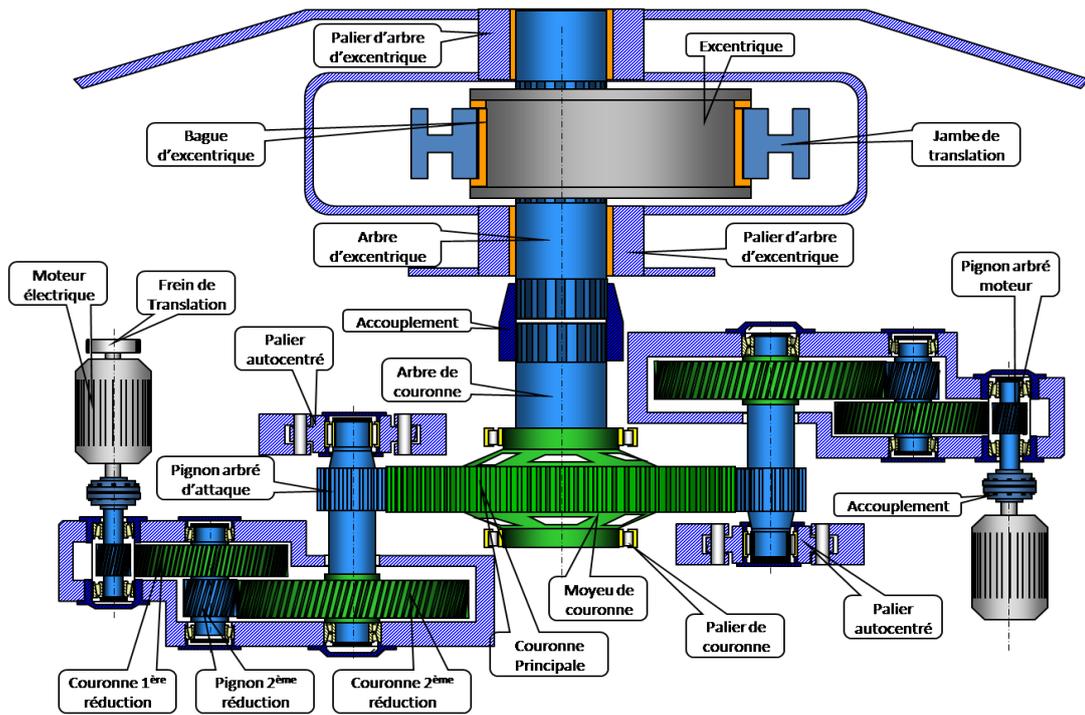


Figure 20: Chaîne cinématique de translation

Les quatre mouvements de la machine sont assurés comme montré dans la Figure 21 :

- ✚ **Drague** : le mouvement de drague est assuré par quatre moteurs à courant continu : DM1-DM2-DM3-DM4. (Couleur verte sur la Figure 21)
- ✚ **Levage** : le mouvement de levage est assuré par quatre moteurs à courant continu : HM1-HM2-HM3-HM4. (Couleur bleue sur la Figure 21).
- ✚ **Translation** : le sabot gauche est entraîné par deux moteurs à courant continu PM1-PM2, quant au sabot droit, il est entraîné par PM3-PM4. (Couleur rose sur la Figure 21)
- ✚ **Orientation** : le mouvement d'orientation est assuré par quatre moteurs à courant continu : SM1-SM2-SM3-SM4.

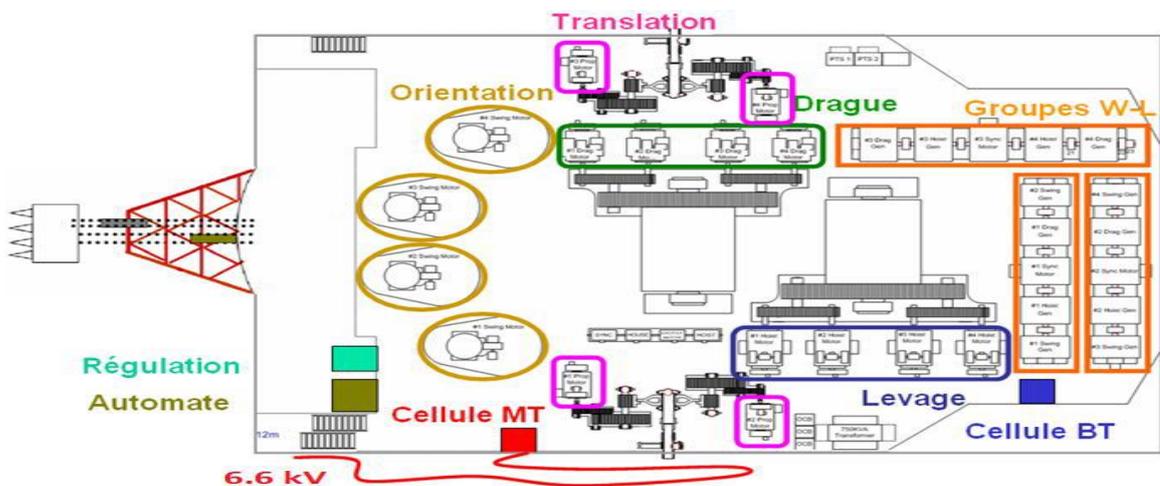


Figure 21: Vue en dessus de la 8400M



La machine est alimentée en 6600V (50HZ) qui est la tension d'alimentation des trois moteurs synchrones des groupes WL. Cette tension est par ailleurs abaissée en 480V (50HZ) pour alimenter les différentes armoires de l'alternatif qui dessert entre autres : Les moteurs rotonomiques, les ventilateurs (blowers) des mouvements, le moteur asynchrone du groupe d'excitation, l'éclairage, les auxiliaires...

### *III. Etude et analyse des arrêts de la 8400M*

#### *1. Analyse Pareto des équipements de la 8400M*

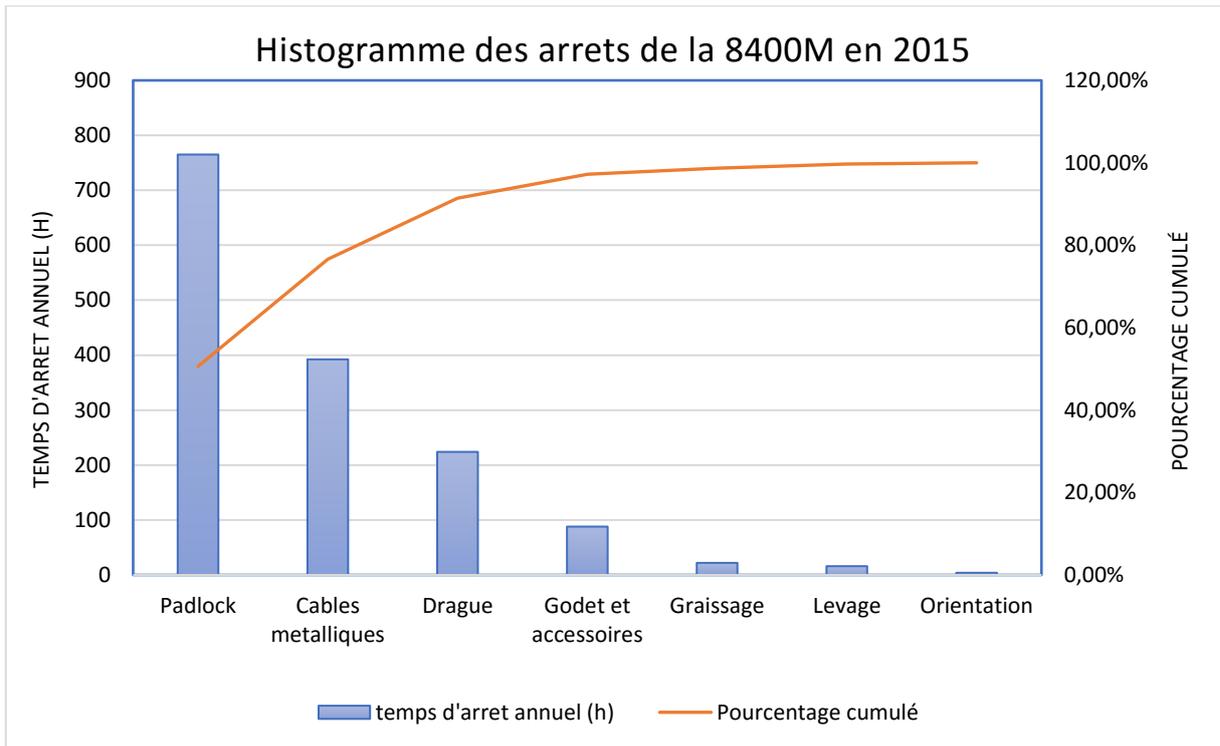
Pour sélectionner les équipements qui présente le plus d'avarier, nous devons les classer par ordre d'importance du point de vue nombre de panne (indicateur du fiabilité) en se basant sur l'historique des arrêts de la 8400M à partir de 2015 jusqu'à présent. Le but de cette approche est l'amélioration de la performance des équipement (diminution de la panne, et donc du temps total d'arrêts) ce qui améliore la disponibilité des équipements et augmente la productivité .

#### Année 2015 :

Type d'arrêt	Fréquence	Temps d'arrêt annuel (h)	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<b>Pad lock</b>	17	765	50,62%	50,62%
<b>Câbles métalliques</b>	11	392,37	25,96%	76,58%
<b>Drague</b>	7	224	14,82%	91,40%
<b>Godet et accessoires</b>	4	88	5,82%	97,22%
<b>Graissage</b>	2	22	1,46%	98,68%
<b>Levage</b>	2	16	1,06%	99,74%
<b>Orientation</b>	1	4	0,26%	100,00%

Total = 1511.37

Tableau 4 : historique des arrêts de la 8400M en 2015



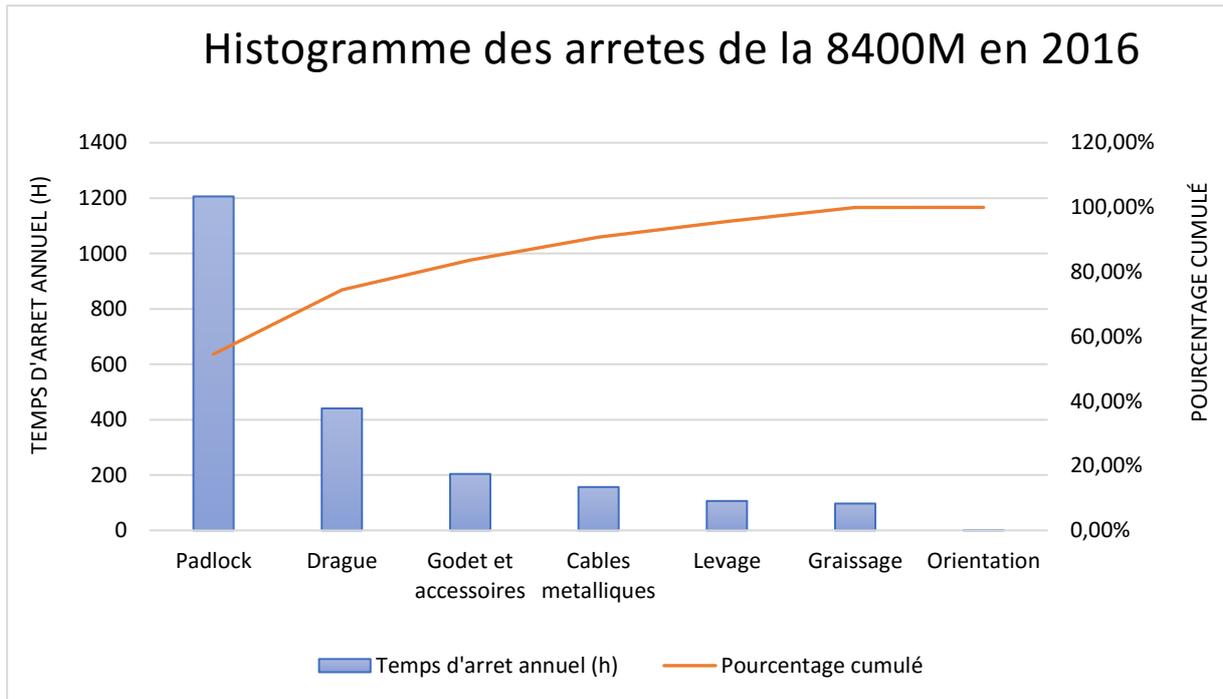
*Figure 22 : Histogramme des arrêts de la 8400M en 2015*

**Année 2016**

Type d'arrêt	Fréquence	Temps d'arrêt annuel (h)	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<b>Pad lock</b>	24	1206,24	54,56%	54,56%
<b>Drague</b>	13	440,57	19,93%	74,48%
<b>Godet et accessoires</b>	8	203,92	9,22%	83,71%
<b>Câbles métalliques</b>	8	156,64	7,08%	90,79%
<b>Levage</b>	5	106,25	4,81%	95,60%
<b>Graissage</b>	12	96,96	4,39%	99,98%
<b>Orientation</b>	1	0,42	0,02%	100,00%

**Total = 2211**

*Tableau 5: historique des arrêts de la 8400M en 2016*



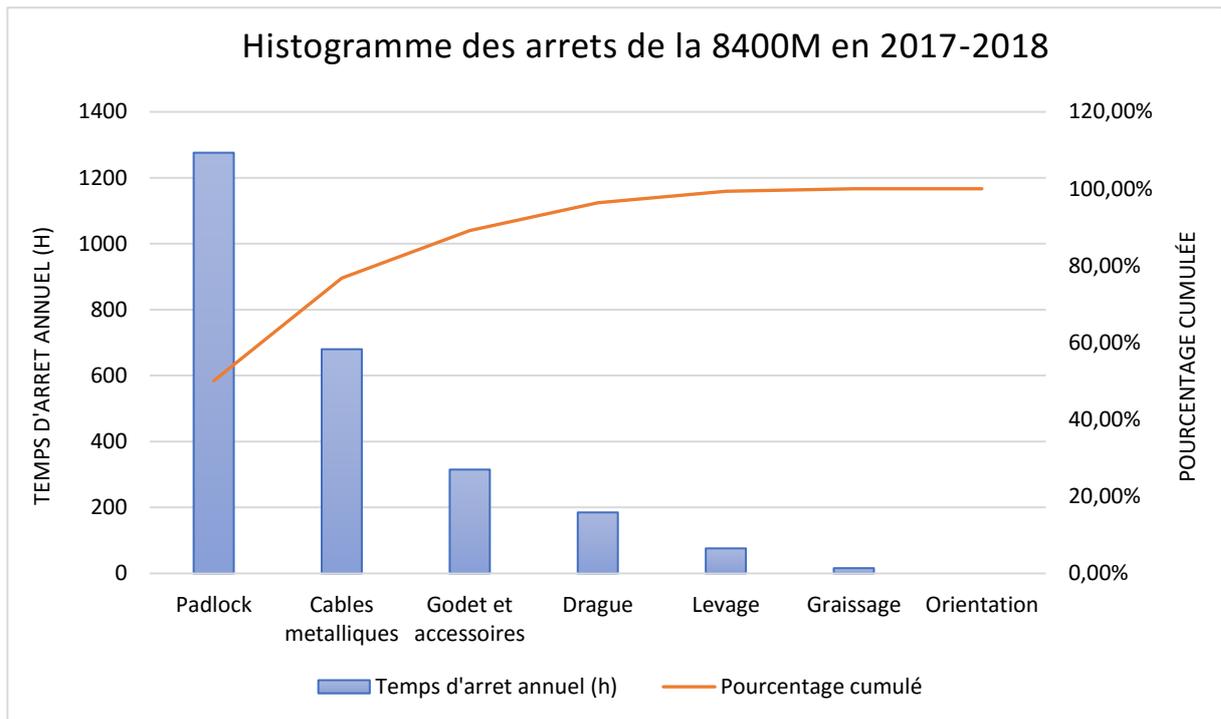
*Figure 23 : Histogramme des arrêtes de la 8400M en 2016*

Année 2017-2018 :

Type d'arrêt	Fréquence	Temps d'arrêt annuel (h)	Pourcentage	Pourcentage cumulé
<b>Pad lock</b>	22	1276	50,08%	50,08%
<b>Câbles métalliques</b>	17	680	26,69%	76,77%
<b>Godet et accessoires</b>	9	315	12,36%	89,13%
<b>Drague</b>	5	185	7,26%	96,39%
<b>Levage</b>	4	76	2,98%	99,37%
<b>Graissage</b>	2	16	0,63%	100,00%
<b>Orientation</b>	0	0	0,00%	100,00%

**Total = 2548**

*Tableau 6 : historique des arrêtes de la 8400M en 2017-2018*



*Figure 24 : Histogramme des arrêts de la 8400M en 2017-2018*

## 2. Interprétation des résultats :

### Année 2015 / 2017-2018 :

Après la classification des sous-ensembles de la 8400M, on remarque que le pad lock et les câbles métalliques sont les équipements les plus critiques qui représentent plus de 80% (classe A).

### Année 2016 :

Pendant cette année on constate que le pad lock et le drague sont les équipements les plus sensibles qui constituent plus de 80% (classe A).

⇒ D'après l'analyse Pareto, nous pouvons conclure que le sous-système pad lock est très névralgique.

Il est donc nécessaire de réagir sur cet équipement afin de diminuer le temps d'arrêt de la machine.

## 3. Analyse des coûts.

Pour mieux comprendre l'influence de cet organe critique sur le temps d'arrêt annuel, nous allons l'analyser en termes de coût.

➤ **Cout de la maintenance = Cout direct + Cout indirect**

### **A- Cout direct**

Cout direct = Cout MO + Cout des PDR



▪ Cout de la main d'œuvre :

L'intervention sur le pad lock de la machine 8400M nécessite :

7 mécaniciens 125 DH/h

2 soudeurs 130 DH/h

2 chefs d'équipe 125 DH/h

1 grutier 120 DH/h

Coût MO = ((cout de mécanicien \* Nb des mécaniciens) + (cout de soudure \* Nb de soudeurs) + (cout des chefs d'équipe \* Nb de chef d'équipe) + (cout de grutier \* Nb des grutiers)).

▪ Cout des pièces de rechange

Machines	Description de l'article	Qté	Prix Unitaire(dh)	Valeur(dh)
8400M	POULIE PADLOCK	2	1 486 681,34	2 973 362,68
8400M	RONDELLE DE FRICTION PADLOCK	1	75 571,72	75 571,72
8400M	AXE DE POULIE PADLOCK	1	279 489,65	279 489,65
8400M	PADLOCK	1	5 244 810,84	5 244 810,84
8400M	CONE	4	65 310,00	261 240,00
8400M	CUVETTE	4	25 596,00	102 384,00
8400M	FOURREAU AR PADLOCK	1	191 888,00	191 888,00
8400M	BAGUE PADLOCK	2	23 791,00	47 582,00
<b>Prix total</b>				<b>9 176 328,89</b>

*Tableau 7 : cout des pièces de rechange*

**B - Cout indirect**

Le Coût indirect représente les pertes de la production due à l'arrêt de la machine, estimé de 8000 DH/ heure.



## *Chapitre 3 :*

# *Résolution de problème « MRP »*

« Le présent chapitre est conçu pour la résolution de problème liée au Pad-lock de la machine dragline 8400M en suivant la méthode MRP »

## I. Méthodologie de résolution des problèmes

La méthode de résolution des problèmes ou bien la MRP est un processus qui permet de résoudre un problème complexe d'une façon bien structurée et organisée en mettant les causes racines du phénomène avec le moins de ressources et du temps possible afin d'adopter la bonne solution du problème.

*Pour cette raison il faut bien savoir maîtriser les étapes suivantes :*

✓ **Phase 0 : préparation du chantier résolution du problème**

✓ **Phase 1 : planifier (PLAN)**

Etape 1 → Identification de problème.

Etape 2 → Décrire la situation existante.

Etape 3 → Fixer les objectifs.

Etape 4 → Analyse des causes racines.

✓ **Phase 2 : Faire (DO)**

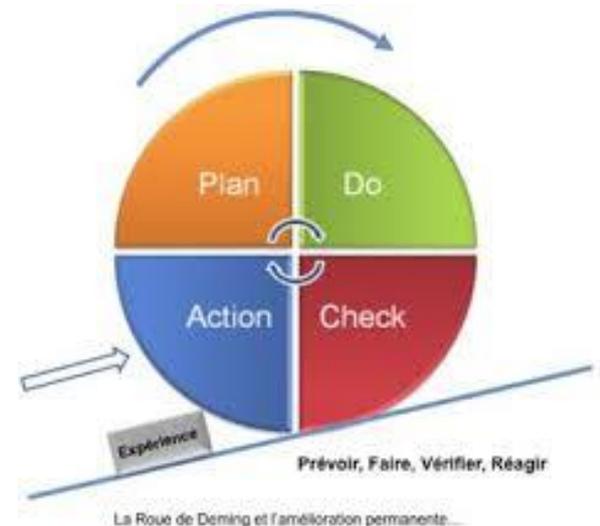
Etape 1 → Actions et contre-mesures.

✓ **Phase 3 : Vérifier (CHECK)**

Etape 1 → Vérification des résultats.

✓ **Phase 4 : Réagir (Action)**

Etape 1 → Agir, corriger et prendre les décisions qui s'imposent.



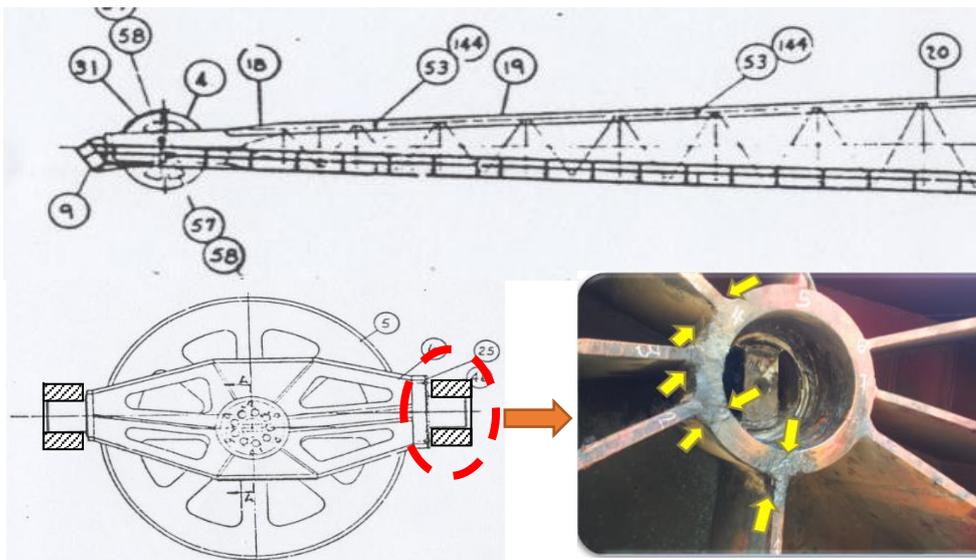
### → Phase 0 : Préparation du chantier résolution du problème

Quel est le problème ?

Le problème objet de notre chantier est la fissuration fréquente du fourreau inférieur du Pad lock de la dragline M8400 : il s'agit d'une anomalie répétitive au niveau de la tête de flèche de la machine qui présente des risques humains et matériels et des pertes énormes sur la production.



*Figure 25 : positionnement du Pad-lock dans La dragline 8400M*



*Figure 26 : vue de face du Pad-lock*

*Figure 27 : vue de face du fourreau*

➔ **Phase 1 : Planification**

▪ **Etape 1 : Identification de problème**

a) **Analyse des risques**

Avant d'aborder l'analyse de problème il est très exigeant d'identifier et analyser les risques liés à ce problème, notamment :

✓ Sécurité :

- La chute du pad-lock au cas où le fourreau rompe, provoquerait des dégâts matériels et humains estimés très dangereux

✓ Humains :

- A cette éventualité la machine perd sa stabilité et pourrait mettre en danger la vie de toutes les personnes existant sur un rayon de 50 m.
- Les interventions que se soient de réparation ou d'inspection par les mécaniciens présentent un grand risque de chute en hauteur de 60 m.

✓ Matériels :

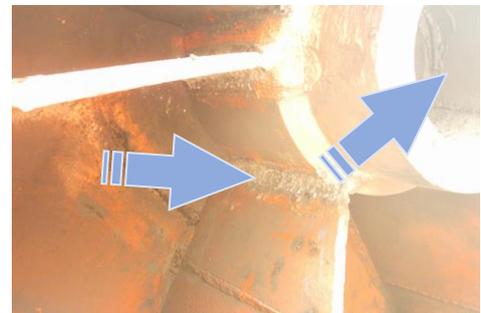
- la chute brusque engendrerait une déformation subite de la flèche qui pourrait touchée la salle machine, dite même une rupture frontale du treillis. La perte de stabilité peut éventuellement faire glisser la machine au bas du talus.

✓ Production :

- Arrêt prolongé de la machine.

❖ Position des fissures :

- Les fissures apparaissent sur les cordons de la soudure entre les goussets de renfort et le fourreau. Elles sont prolongées sur la longueur des 4 goussets, soit 700 mm pour une épaisseur de 21 mm



## Fissuration FOURREAU



*Figure 28 : position des fissures au niveau du fourreau*



*b) QQQQPC*

L'utilisation de l'outil QQQQPC nous a permis de clarifier le phénomène et cerner les circonstances de son apparition, ainsi nous avons obtenu les résultats suivants :

**QUOI**

**Fissuration du fourreau du palier inférieur du Pad lock de la 8400M**

**QUI**

- Les soudeurs
- Mécaniciens de la machine
- Conducteurs
- Equipe de la maintenance

**OÙ**

**Au niveau des cordons de soudures des goussets avec le fourreau**

**QUAND**

**Chaque deux semaines après réparation**

**PAR QUEL**

**Détection visuel -apparition des fissures sur le corps du fourreau et les cordons des soudures-**

**COMMENT**

**Lors d'oscillation du pad lock au moment de levage du godet, le fourreau reçoit des à- coups provoquant des compressions au niveau des goussets. Les soudures sont fissurées suit à la libération des contraintes**



Le problème consiste donc à l'apparition fréquente d'un phénomène de fissuration du fourreau et soudures entre le fourreau et les goussets; chaque deux semaines après réparation ; suites aux efforts subis au moment de levage et descente du godet.

Une connaissance du système s'avère nécessaire avant d'entamer une étude détaillée dans son milieu, qui fera l'objet de la prochaine étape.

▪ *Etape 2 : décrire la situation existante*

*1) Investigation :*

✓ **Historique :**

Depuis sa mise en service de la 8400M, la machine n'a connu que quelques arrêts pour la réparation du fourreau inférieur du PAD-LOCK, à raison d'une fois par an jusqu'à l'an 2005, où la redondance des opérations de soudage a excédé la moyenne de 4 fois par an. Vu la criticité du problème, côté sécurité et répétitivité des actions correctives, le service de maintenance du secteur SIDI DAOUI, a lancé, en mai 2012, la conception d'un nouveau fourreau en se basant sur le plan MARION d'origine. Mais, à cause du non disponibilité du matériau de base recommandé par MARION 50CRMO4, le choix de la nuance d'acier a été dérogré.

L'opération de descente, réparation et remontée de la flèche a pris un mois et demi. Mais dès la première journée du travail de ce fourreau, une fissure longitudinale a apparu à travers le fourreau et après deux mois de fonctionnement, tous les goussets de renforts ont été également fissurés.

L'action corrective prise en considération était de :

- Raccourcir la longueur des goussets à l'interface du corps du fourreau.
- Ajouter deux goussets supérieurs symétriques par rapport au plan médian de la flèche.

✓ **Matériau :**

Le fourreau MARION d'origine est un acier faiblement allié 50CRMO4 dont ces caractéristiques mécaniques selon les normes NFA32-103, NFA32-201, NFA32-NFA32-701, NFA32-702 sont :

-Allongement  $A\% = 18\%$

-Dureté :  $HB = 180$

-Limite minimale apparente d'élasticité :  $Re_{min} = 624MPa$ ,

-Résistance minimale à la rupture par extension :  $Rm_{min} = 800MPa$ ,

-Limite d'endurance = 960MPa : **Résistance à la fatigue est faible**

✓ **Montage :**

- Difficulté d'alignement Pad-Lock sur les deux paliers : Système hyperstatique.

-Opération soudage gousset / fourreau :

-Positionnement des goussets radialement par rapport à l'axe du fourreau : Défaut d'excentricité.



- Métal d'apport non adéquat.
- Condition de préchauffage non respectée.
- Procédure de succession coins de cordon et préparation des surfaces non respectée.
- Condition de post chauffage (refroidissement progressif) non adapté.
- Mise et maintien en position des goussets non régulière.
- Adaptation des bagues d'usure : coussinet à rainure axiale non approprié aux conditions de chargement.
- Mode d'élaboration du fourreau : pièce usinée (non forgée ni moulée).

#### ✓ Lubrification :

- Graissage des coussinets : fluide ou pâteux.
- Pression et débit de graissage conforme ou non à la spécification : MARION

#### ✓ Conduite :

- Mauvaise manipulation : giration et dragage en même temps.

#### ✓ Charges et intempéries :

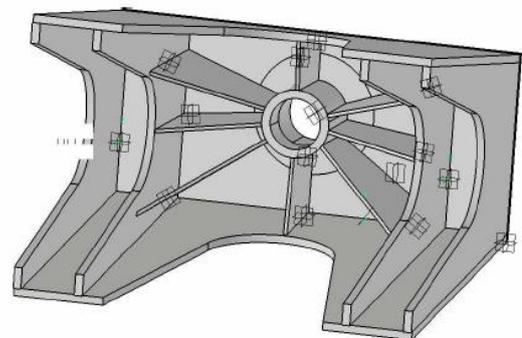
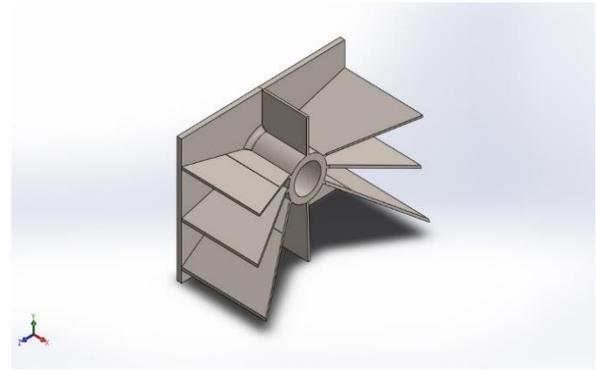
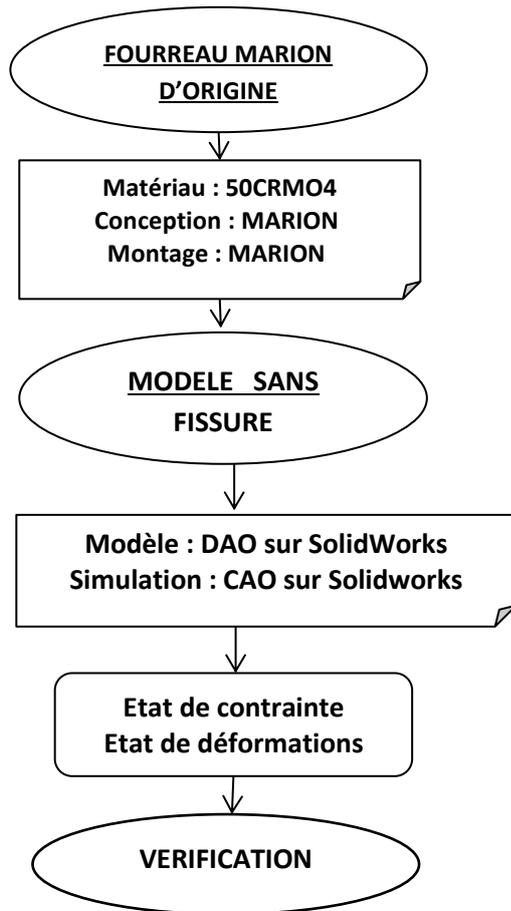
- Surcharge godet : poids à vide du godet.
- Accélération, décélération au moment levage et giration.
- Vent.
- Poussière.
- Terrain irrégulier : choc entre godet / sol.
- Vibration machine : système orientation.
- Température (saisons)
- Câbles de suspension non tendus : conforme aux spécifications MARION.
- Surcharge godet : poids à vide du godet.

#### ✓ Maintenance

- ✚ Ajout des deux goussets de suspension non justifié.
- ✚ Répartition non uniforme des contraintes sur le fourreau.
- ✚ Soudage répétitif donc augmentation de la zone attaquée thermiquement, ce qui implique que les lignes de soudure perdent leurs caractéristiques mécaniques par fatigue.

#### ✓ Géométrie et dimensionnement

Afin de vérifier la conformité de la géométrie et le dimensionnement nous avons modélisé le fourreau actuel (définir le modèle sur un logiciel de dessin DAO « SolidWorks 2016 ») et par la suite nous avons déterminé les efforts appliqués au modèle (objet de paragraphe ci-dessous) défini par les conditions aux limites à savoir les zones encastées et le type de sollicitations appliquées, le type de maillage, le matériau sur le modèle conçu pour visualiser et simuler l'état des contraintes et des déformations.



## 2) Détermination des charges appliquées au fourreau inférieur de la tête de la flèche.

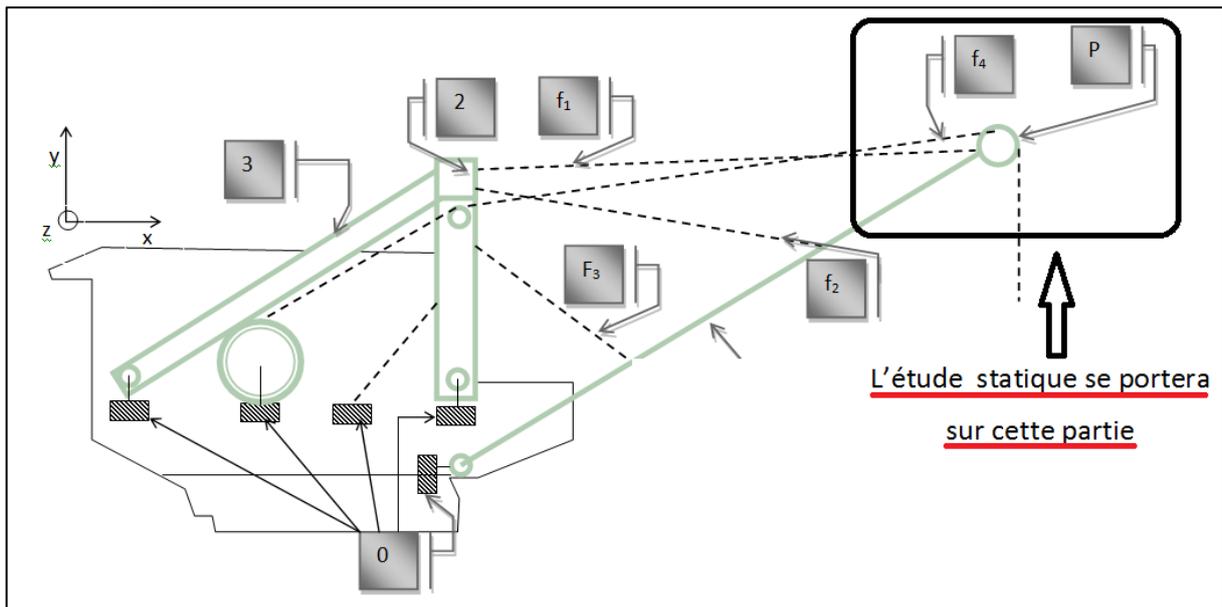
### ❖ Hypothèses :

- On suppose que les deux liaisons entre le Pad lock et le Treillis sont des liaisons Pivot de même axe.
- Le câble de Levage ne glisse pas sur les poulies de PAD LOCK.
- Le calcul mené ci-après se base sur l'état statique. Le régime Vibratoire ne sera pas pris en considération dans ce chapitre.

L'ensemble des pièces concernées par cette étude sont :

- Le Pad-Lock avec ses sous parties (les deux poulies de guidage des câbles de levage).
- Ses articulations avec la flèche (les deux fourreaux, inférieur et supérieur).
- Le godet.

### ❖ Schéma architectural



*Figure 29 : Schéma architectural de la Dragline M8400*

La Nomenclature des parties représentées dans le schéma architectural :

[0] : Partie supposée fixe.

[2] : Mât supportant la flèche grâce aux câbles de suspension.

[3] : Pièce pour suspendre le mât au contre poids de la machine.

[P] : Pad-Lock.

[F1] ; [f2] ; [f3] : Câbles de suspensions.

[F4] : Câble de levage.

❖ Etude Elémentaire :

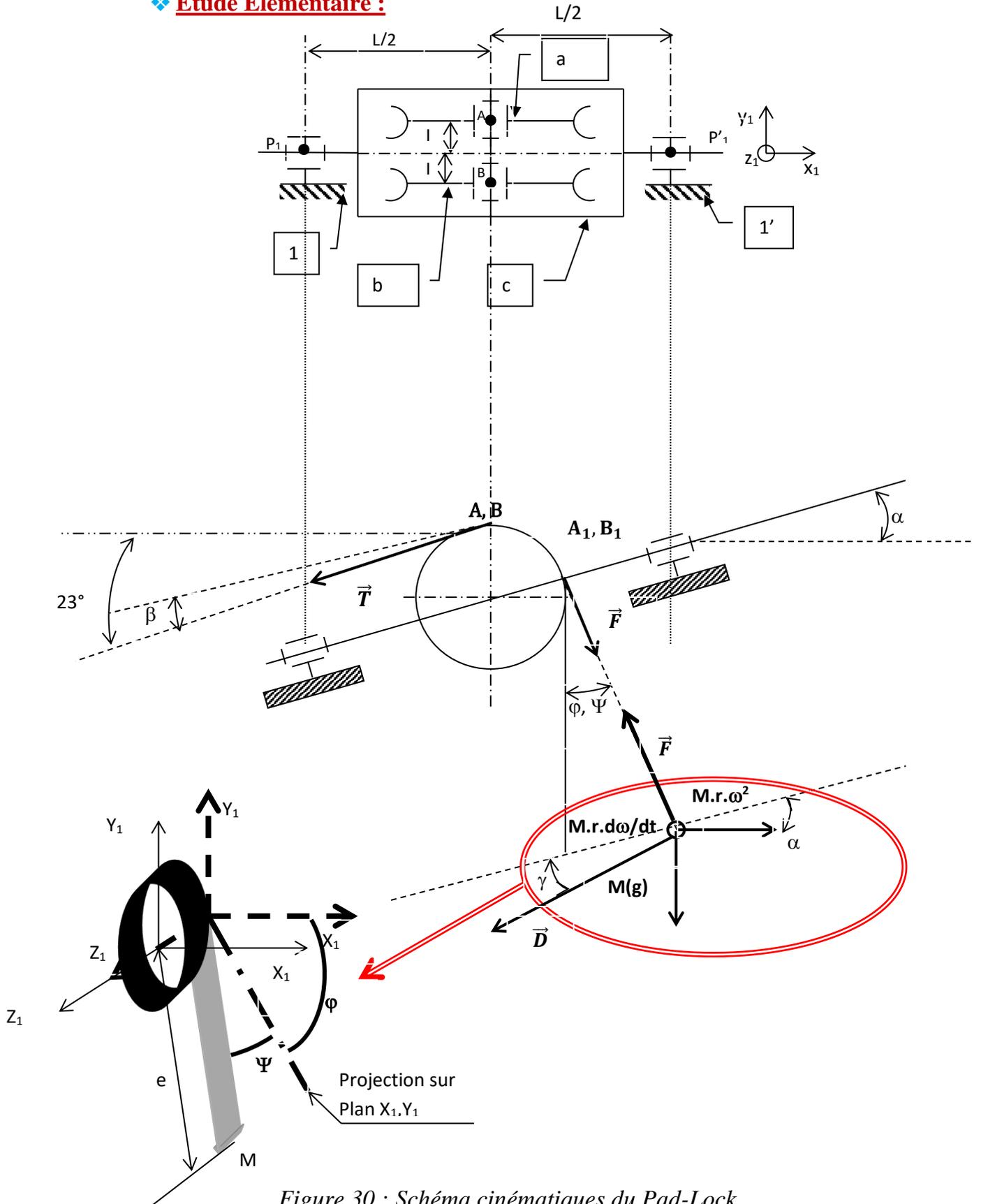


Figure 30 : Schéma cinématiques du Pad-Lock

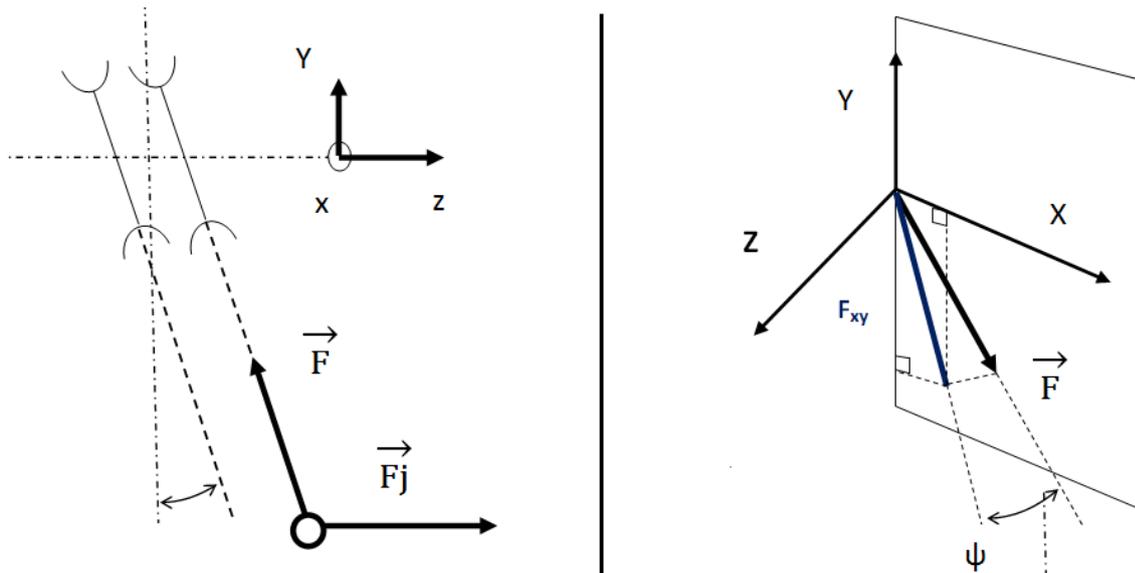


Figure 31 : Schéma cinématique du Pad-Lock -suite-

a. Graphe des liaisons

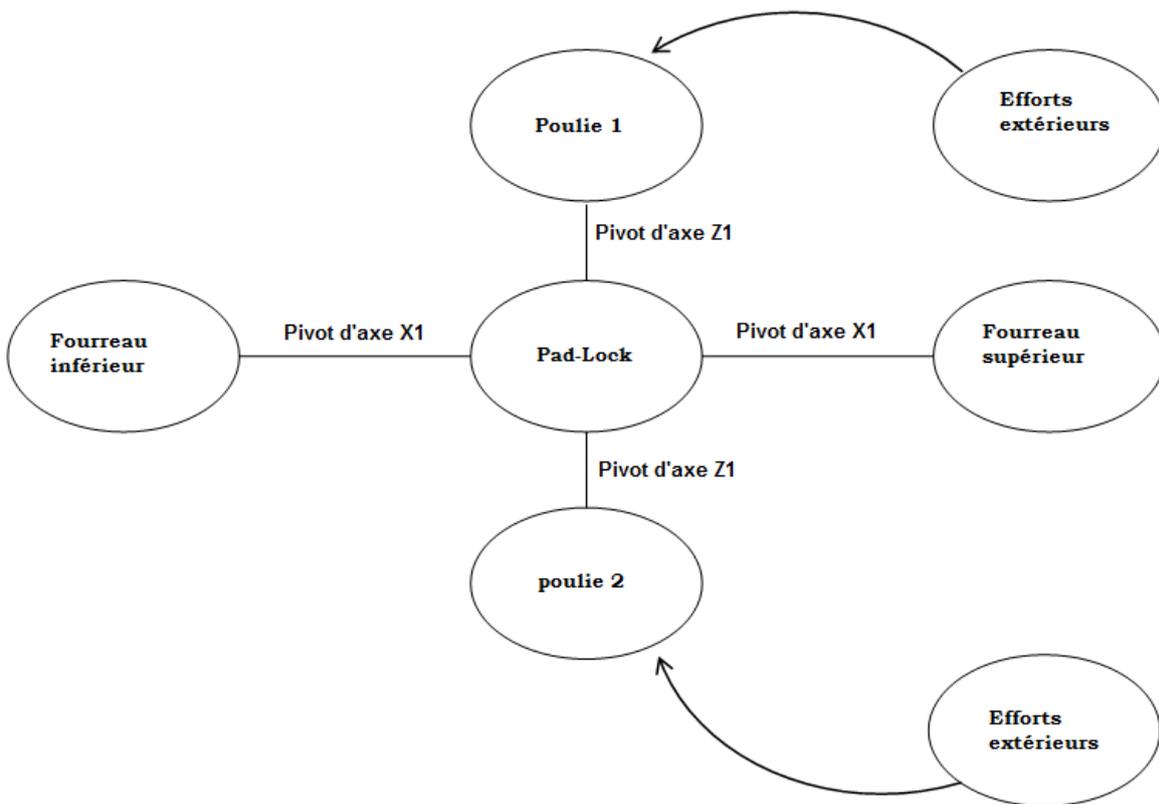


Figure 32 : Graphe de liaisons

b. Écriture des torseurs statiques

- Torseur statique de la poulie P1 sur le Pad-lock

$$\bullet \left\{ \tau_c/a \right\}_a = \left\{ \begin{array}{c|c} X_{ca} & L_{ca} \\ Y_{ca} & M_{ca} \\ Z_{ca} & 0 \end{array} \right\}_a$$



- Torseur statique de la poulie P2 sur le Pad-lock

$$\bullet \left\{ \tau_c/b \right\}_b = \begin{pmatrix} X_{cb} & L_{cb} \\ Y_{cb} & M_{cb} \\ Z_{cb} & 0 \end{pmatrix}_b$$

- Torseur statique de pad-lock P sur la flèche au point Fi

$$\bullet \left\{ \tau_c/fi \right\}_{P1} = \begin{pmatrix} X_{p1} & 0 \\ Y_{p1} & M_{p1} \\ Z_{p1} & N_{p1} \end{pmatrix}_{P1}$$

- Torseur statique de pad-lock P sur la flèche au point Fs

$$\bullet \left\{ \tau_c/fs \right\}_{P2} = \begin{pmatrix} X'_{p1} & 0 \\ Y'_{p1} & M'_{p1} \\ Z'_{p1} & N'_{p1} \end{pmatrix}_{P2}$$

- Torseur statique des efforts extérieurs aux poulies p1 et p2 au point G

$$\bullet \left\{ \tau_{ext}/a \right\}_G = \left\{ \tau_{ext}/b \right\}_G = \begin{pmatrix} -Mg \cdot \sin(\alpha) + M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha) & 0 \\ -Mg \cdot \cos(\alpha) - M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha) & 0 \\ \frac{M \cdot r \cdot d\omega}{dt} & 0 \end{pmatrix}$$

- Torseur statique des efforts extérieurs aux poulies p1 et p2 aux points A et B

$$\bullet \left\{ \tau_{ext}/a \right\}_A = \left\{ \tau_{ext}/b \right\}_A = \begin{pmatrix} T_1 \cdot \cos\beta & 0 \\ T_1 \cdot \sin\beta & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- Torseur statique des efforts extérieurs aux poulies p1 et p2 aux points A1 et B1

$$\bullet \left\{ F_{ext}/a \right\}_{A1} = \left\{ F_{ext}/b \right\}_{B1} = \begin{pmatrix} -F \cdot \cos\psi \cdot \cos\varphi & 0 \\ -F \cdot \cos\psi \cdot \sin\varphi & 0 \\ -F \cdot \sin\psi & 0 \end{pmatrix}$$

- Torseur statique de l'effort de drague sur le godet au point G

$$\bullet \left\{ D \right\}_G = \begin{pmatrix} -D \cdot \cos\gamma & 0 \\ -D \cdot \sin\gamma & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_a$$

✓ Calcul

➡ Isolons le Godet G

$$\left\{ \tau_{ext}/a \right\}_G + \left\{ F_{ext}/a \right\}_G + \left\{ D \right\}_G = \left\{ \vec{0} \right\}$$

Soit donc :

$$\begin{cases} Mg \cdot \sin(\alpha) + M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha) - D \cdot \cos\gamma - F \cdot \cos\psi \cdot \cos\varphi = 0 \\ Mg \cdot \cos(\alpha) - M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha) - D \cdot \sin\gamma + F \cdot \cos\psi \cdot \sin\varphi = 0 \\ \frac{M \cdot r \cdot d\omega}{dt} - F \cdot \sin\psi = 0 \end{cases}$$



On tire F :

$$F = ((Mg \cdot \sin(\alpha) - M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha) + D \cdot \cos\gamma)^2 + (Mg \cdot \cos(\alpha) + M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha) - D \cdot \sin\gamma)^2 + \left(\frac{M \cdot r \cdot d\omega}{dt}\right)^2)^{\frac{1}{2}}$$

→ Isolons la poulie P1 :

$$\left\{ F_{ext/a} \right\}_a + \left\{ \tau_{c/a} \right\}_a + \left\{ \tau_{ext/a} \right\}_a = \left\{ \vec{0} \right\}$$

Soit donc :

$$\begin{cases} F \cdot \cos\psi \cdot \cos\varphi - T_1 \cdot \cos\beta + X_{ca} = 0 \\ -F \cdot \cos\psi \cdot \sin\varphi - T_1 \cdot \sin\beta + Y_{ca} = 0 \\ Z_{ca} - F \cdot \sin\psi = 0 \end{cases}$$

Et :

$$\begin{cases} L_{ca} + F \cdot r_0 \cdot \sin\psi \cdot \cos(\varphi + \alpha) = 0 \\ M_{ca} + F \cdot r_0 \cdot \sin\psi \cdot \sin(\varphi + \alpha) = 0 \\ T_1 \cdot r_0 \cdot (\cos\alpha \cdot \cos\beta + \sin\alpha \cdot \sin\beta) + F \cdot \cos\psi \cdot r_0 \cdot [\cos(\varphi) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\varphi)] = 0 \end{cases}$$

### Résultats:

$$\begin{cases} F = [(Mg \cdot \sin(\alpha) - M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha) + D \cdot \cos\gamma)^2 + (Mg \cdot \cos(\alpha) + M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha) - D \cdot \sin\gamma)^2 + \left(\frac{M \cdot r \cdot d\omega}{dt}\right)^2]^{\frac{1}{2}} \\ T_1 = \frac{F \cdot \cos\psi}{\cos(\alpha - \beta)} \\ X_{ca} = -F \cdot \cos\psi \cdot \cos\varphi + T_1 \cdot \cos\beta \\ Y_{ca} = F \cdot \cos\psi \cdot \sin\varphi + T_1 \cdot \sin\beta \\ L_{ca} = -F \cdot r_0 \cdot \sin\psi \cdot \cos(\varphi + \alpha) \\ M_{ca} = -F \cdot r_0 \cdot \sin\psi \cdot \sin(\varphi + \alpha) \\ Z_{ca} = F \cdot \sin\psi \end{cases}$$

### On adopte les valeurs numériques suivantes :

$e = 36m$	$d\omega/dt = 0.0035rad/s^2$ $\omega = 0.335rad/s$
$\beta = 12^\circ$	$\varphi = 200^\circ$
$M=100/2 = 50T$	$r_0 = 300mm$
$r = 72m$	$\psi = 20^\circ$
$\alpha = 34^\circ$	$D = 3MN$



On obtient comme résultats:

$$\begin{cases} F = 3.3 \text{ MN} \\ T_1 = 3.34 \text{ MN} \\ X_{ca} = 6.2 \text{ MN} \\ Y_{ca} = -370 \text{ KN} \\ Z_{ca} = 1.13 \text{ MN} \\ L_{ca} = 200 \text{ KN.m} \\ M_{ca} = -274 \text{ KN.m} \end{cases}$$

→ Isolons la poulie (b) : les relations sont identiques que celles de la poulie (a) : Tous calculs faits, nous aurions :

$$\begin{cases} F = 3.3 \text{ MN} \\ T_2 = 3.34 \text{ MN} \\ X_{cb} = 6.2 \text{ MN} \\ Y_{ca} = -370 \text{ KN} \\ Z_{ca} = 1.13 \text{ MN} \\ L_{ca} = 200 \text{ KN.m} \\ M_{ca} = -274 \text{ KN.m} \end{cases}$$

→ Isolons axe PAD-LOCK (c) :

$$\{\tau_{0/c}\}_{P_1} + \{\tau_{0/c}\}_{P_2} + \{\tau_{a/c}\}_a + \{\tau_{b/c}\}_b = \{\vec{0}\}$$

$$\begin{cases} -X_{P_1} - X'_{P_1} - X'_{ca} - X_{cb} = 0 \\ -Y_{P_1} - Y'_{P_1} - Y_{ca} - Y_{cb} = 0 \\ -Z_{P_1} - Z'_{P_1} - Z_{ca} - Z_{cb} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ -M_{P_1} \\ -N_{P_1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -M'_{P_1} \\ -N'_{P_1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -X'_{P_1} \\ -Y'_{P_1} \\ -Z'_{P_1} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} -L \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -L_{ca} \\ -M_{ca} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -X_{ca} \\ -Y_{ca} \\ -Z_{ca} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} -L/2 \\ 0 \\ l \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -L_{cb} \\ -M_{cb} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -X_{cb} \\ -Y_{cb} \\ -Z_{cb} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} -L/2 \\ 0 \\ -l \end{pmatrix} = \{\vec{0}\}$$

$$\begin{cases} -L_{ca} - l \cdot Y_{ca} - L_{cb} + l \cdot Y_{cb} = 0 \\ M_{ca} - M_{P_1} - M'_{P_1} - L \cdot Z'_{P_1} + l \cdot X_{ca} + \frac{L}{2} \cdot Z_{ca} = 0 \\ N_{P_1} - N'_{P_1} - L \cdot Y'_{P_1} - \frac{L}{2} \cdot Y_{ca} - \frac{L}{2} \cdot Y_{cb} = 0 \end{cases}$$

D'où

$$\begin{cases} X_{P_1} + X'_{P_1} = -X_{ca} - X_{cb} \\ Y_{P_1} + Y'_{P_1} = -Y_{ca} - Y_{cb} \\ Z_{P_1} + Z'_{P_1} = -Z_{ca} - Z_{cb} \\ M_{P_1} + M'_{P_1} = l \cdot X_{ca} + \frac{L}{2} \cdot Z_{ca} - L \cdot Z'_{P_1} \\ N_{P_1} + N'_{P_1} = -L \cdot Y'_{P_1} - \frac{L}{2} \cdot Y_{ca} - \frac{L}{2} \cdot Y_{cb} \end{cases}$$

**On adopte les valeurs numériques suivantes :**

$$L = 3\text{m}$$

$$I = 400\text{mm}^4$$

$$X'_{p1} = 0\text{MN}$$

$$\begin{cases} X_{p1} + X'_{p1} = -12.4 \text{ MN} \\ Y_{p1} + Y'_{p1} = 740 \text{ KN} \\ Z_{p1} + Z'_{p1} = -2.3 \text{ MN} \\ M_{p1} + M'_{p1} = 4.2 - 3 \cdot Z'_{p1} \\ N_{p1} + N'_{p1} = -3 \cdot Y'_{p1} + 1.1 \end{cases}$$

Les efforts sont en MN et les moments sont exprimés en MN.m Nous avons donc :

$$X_{p1} = -12.4 \text{ MN.}$$

Nous avons un système Hyperstatique d'ordre 4.

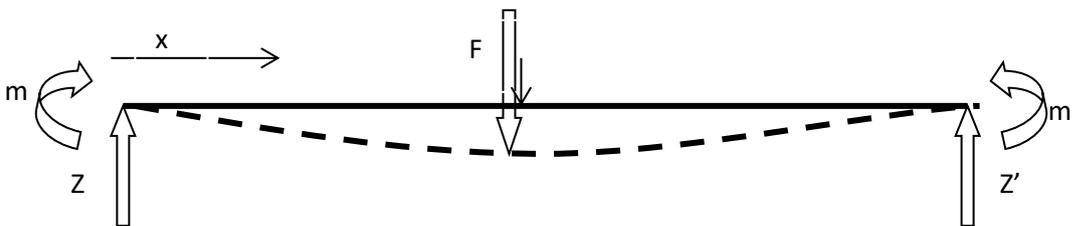
Les 4 autres équations peuvent être tirées à partir des résultats de RDM.

*c. Application des résultats de la résistance des matériaux RDM*

a) Détermination des moments fléchissant M et N

✓ **Modélisation 1 : calcul de m et z**

✚ Le problème obéit au théorème de MENABREA :



$$x \in [0, \frac{L}{2}[ : M(x) = m + Z \cdot x ;$$

$$x \in [\frac{L}{2} ; L[ : M(x) = m + Z \cdot x - F(x - \frac{L}{2}).$$

L'énergie de la déformation s'écrit sous la forme :

$$W = \frac{1}{2} \int \frac{M^2}{E \cdot I} dx$$

Pour  $x = 0$ ,  $\theta = 3.33 \cdot 10^{-3} \text{rad}$  où :  $\theta = \frac{\partial W}{\partial m}$

Avec  $I = \int r^2 \cdot r \cdot dr \cdot d\theta = \pi \cdot \frac{d^4}{32}$  avec  $d = 400\text{mm}$  et  $E = 210000\text{MPa}$

Donc :  $m = \frac{\theta \cdot E \cdot I}{L} + \frac{Z \cdot L}{4} - \frac{F \cdot L}{8}$  avec  $F = 1\text{MN}$ .

D'où :  $m = 0.21 + 0.75 \cdot Z ;$



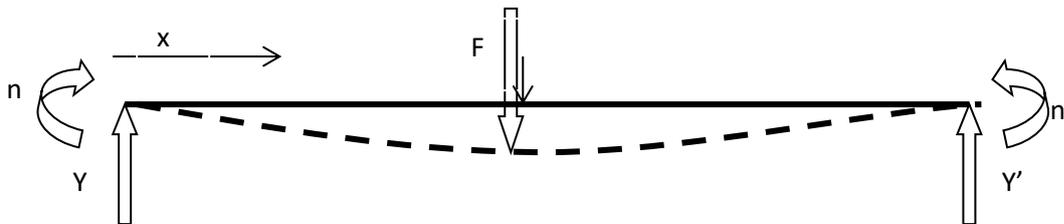
$$\text{Et } \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad \text{d'où } m = \frac{5.FL}{24} - \frac{2.ZL}{3}$$

$$m = 0.625 - 2.Z ;$$

$$\text{Donc : } Z = 151 \text{ KN.}$$

$$m = 323 \text{ KN.m;}$$

✓ Modélisation 2 ; calcul de n et y



$$x \in [0, \frac{L}{2}[ : N(x) = n + Y.x ;$$

$$x \in [\frac{L}{2} ; L[ : N(x) = n + Y.x - F(x - \frac{L}{2}).$$

L'énergie de la déformation s'écrit sous la forme :

$$W = \frac{1}{2} \int \frac{M^2}{E.I} dx$$

$$\text{Pour } x = 0, \theta = 3.33.10^{-3} \text{ rad où : } \theta = \frac{\partial W}{\partial n}.$$

$$\text{Avec } I = \int r^2 . r . dr . d\theta = \frac{\pi.d^4}{32} \quad \text{avec } d = 400\text{mm et } E = 210000\text{MPa}.$$

$$\text{Donc : } n = \frac{\theta.E.I}{L} + \frac{Y.L}{4} - \frac{F.L}{8} \quad \text{avec } F = 14\text{MN}.$$

$$\text{D'où : } n = -4.66 + 0.75.Y ;$$

$$\text{Et : } \frac{\partial W}{\partial Y} = 0 \quad \text{d'où : } n = 5. \frac{5.FL}{24} - \frac{2YL}{3}.$$

$$\text{D'ou } n = 8.75 - 2.Y ;$$

$$\text{Donc : } Y = 4,8 \text{ MN}$$

$$n = -1,1 \text{ MN.m;}$$

**Récapitulation:**

$$X_{p1} + X'_{p1} = -12.4 \text{ MN.}$$

$$Y_{p1} + Y'_{p1} = 740 \text{ KN}$$

$$Z_{p1} + Z'_{p1} = -2.3 \text{ MN}$$

$$M_{p1} + M'_{p1} = 4.2 - 3.Z'_{p1}.$$

$$N_{p1} + N'_{p1} = -3.Y'_{p1} + 1.1$$

$$Y_{p1} = 4,8 \text{ MN}$$

$$N_{p1} = -1,1 \text{ MN.m};$$

$$Z_{p1} = 151 \text{ KN}.$$

$$M_{p1} = 323 \text{ KN.m};$$

$$X_{p1} = -12.4 \text{ MN}.$$

D'où:

$$Y_{p1} = 4,8 \text{ MN};$$

$$N_{p1} = -1,1 \text{ MN.m};$$

$$Z'_{p1} = 151 \text{ KN};$$

$$M_{p1} = 323 \text{ KN.m};$$

$$X_{p1} = -12.4 \text{ MN};$$

$$X'_{p1} = 0 \text{ MN};$$

$$Z_{p1} = -2.45 \text{ MN};$$

$$M'_{p1} = 11.23 \text{ MN.m};$$

$$Y'_{p1} = -4.1 \text{ MN};$$

$$N'_{p1} = 14.5 \text{ MN.m};$$

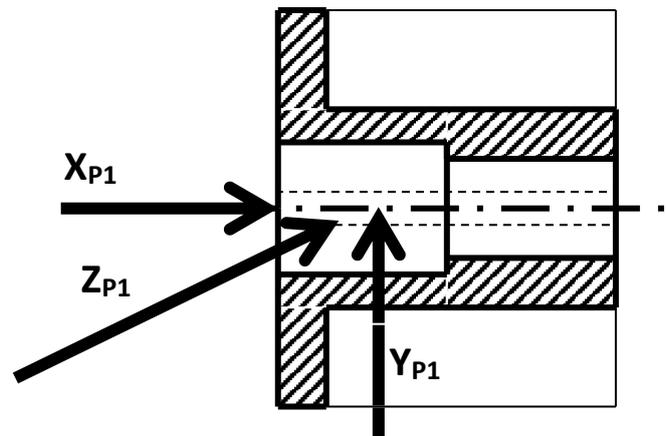


Figure 33 : Schéma simplifié du Fourreau chargé

### 3) Modélisation par éléments finis du fourreau inférieur du Pad-lock sous SOLIDWORKS

#### a. Création de la géométrie à l'aide de l'outil SOLIDWORKS 2016

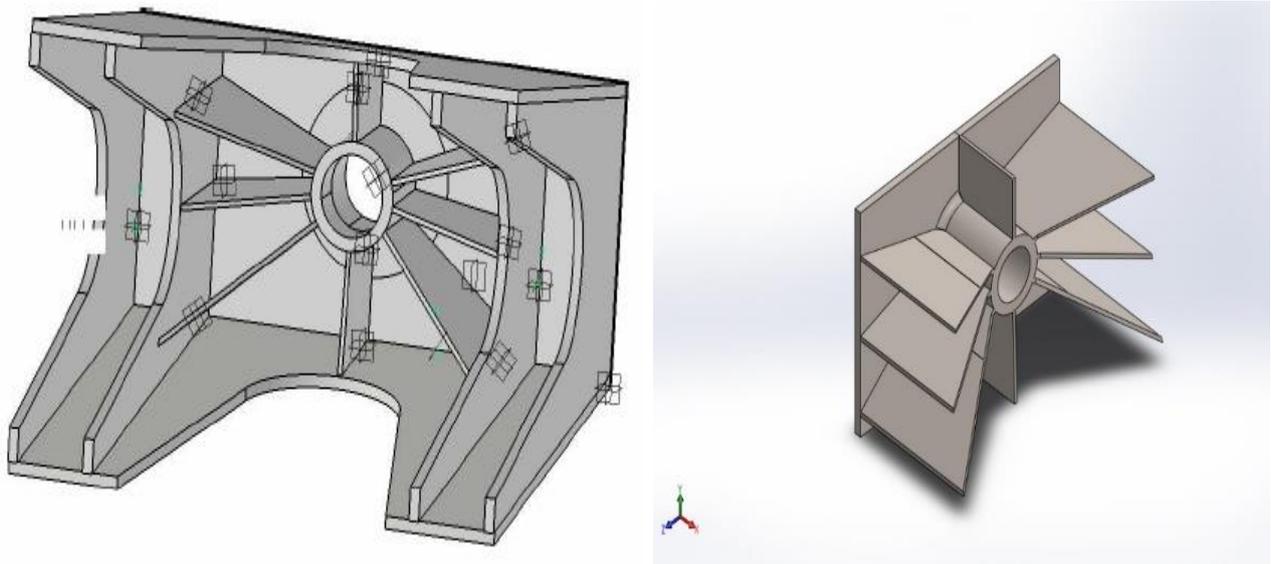
On a pris les mesures des cotations directement sur la pièce concernée qui se trouve à la tête de la flèche en absence des plans ou des dessins de définition. Puis, on a fait un assemblage à l'aide de l'outil Solidworks 2016 dans l'atelier simulation.

On note, aussi, qu'on a affecté au fourreau le matériau 50CRMO4 avec les propriétés Suivantes :

De même pour les goussets on a affecté l'acier ordinaire avec le même module de Young  $E = 211 \text{ GPa}$ .

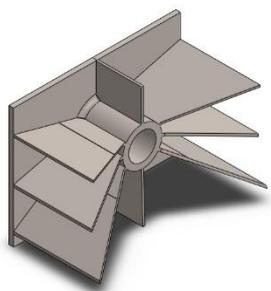
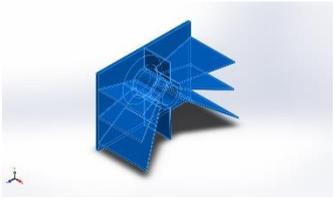
<b>Masse volumique</b>	7800 kg/m <sup>3</sup>
<b>Module de Young E</b>	211 GPa
<b>Coefficient de poisson</b>	0.28
<b>Rupture</b>	1050 MPa
<b>R (2%)</b>	735 MPa

*Tableau 8 : Caractéristiques mécaniques du matériau du fourreau*



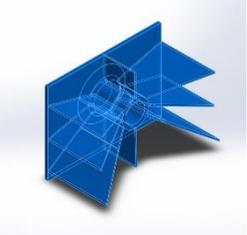
*Figure 34 : Géométrie du fourreau inférieur du Pad-Lock*

❖ Informations sur le modèle

 <p>Nom du modèle: Fourreau inferieur du PADLOCK de la dragline 8400 M</p>		
Nom du document et référence	Traité comme	Propriétés volumétriques
<p>Boss.-Extru.8</p> 	<p>Corps volumique</p>	<p>Masse:2568.75 kg Volume:0.333604 m<sup>3</sup> Masse volumique:7700 kg/m<sup>3</sup> Poids:25173.7 N</p>

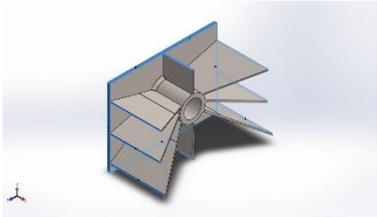
Après avoir modélisé le fourreau inférieur sur SOLIDWORKS on a exporté la structure géométrique de l'atelier SOLIDWORKS SIMULATION pour faire l'analyse par la méthode des éléments finis du comportement élastique de la structure.

*b. Propriétés du matériau*

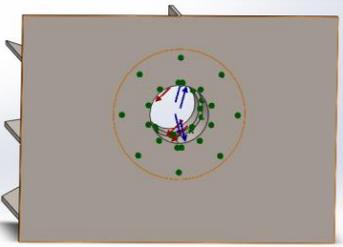
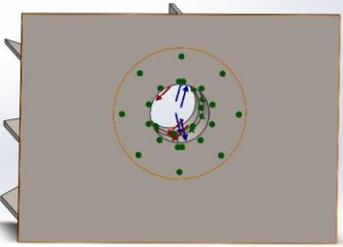
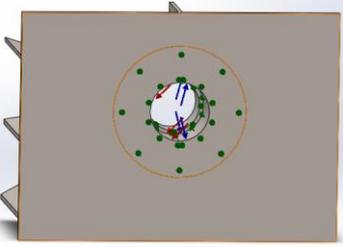
Référence du modèle	Propriétés	Composants
	<p>Nom : <b>Acier allié</b></p> <p>Type de modèle : <b>Linéaire élastique isotropique</b></p> <p>Critère de ruine par défaut : <b>Contrainte de von Mises max.</b></p> <p>Limite d'élasticité : <b>6.20422e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Limite de traction : <b>7.23826e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Module d'élasticité : <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficient de Poisson : <b>0.28</b></p> <p>Masse volumique : <b>7700 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Module de cisaillement : <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficient de dilatation thermique : <b>1.3e-005 /Kelvin</b></p>	<p><b>Corps volumique 1 (Boss.-Extru.8) (Fourreau inf PADLOCK 8400 M)</b></p>

*c. Actions extérieures*

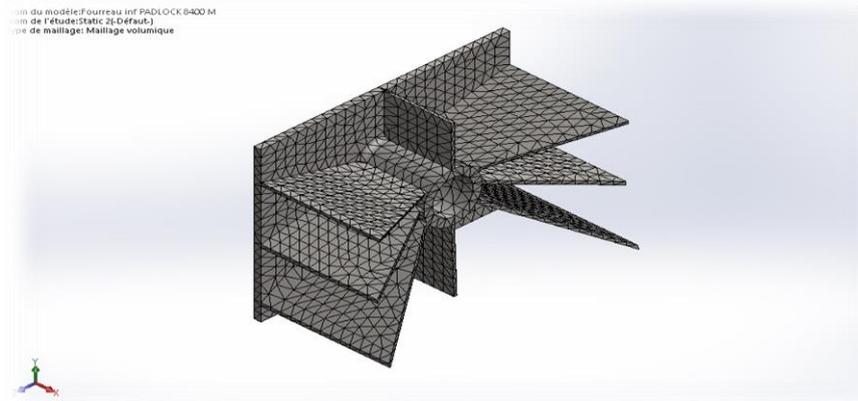
- *Support fixe*

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
Fixe-1		Entités : 12 faces Type : Géométries fix

- *Chargement*

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités : 2 face(s) Type : Force normale Valeur : 12.4e+006 N
Force-2		Entités : 1 face(s) Type : Force normale Valeur : 4.8e+006 N
Force-3		Entités : 1 face(s), 1 plan(s) Référence : Plan2 Type : Force Valeur : 2.45e+006 N

*d. Maillage de la structure*



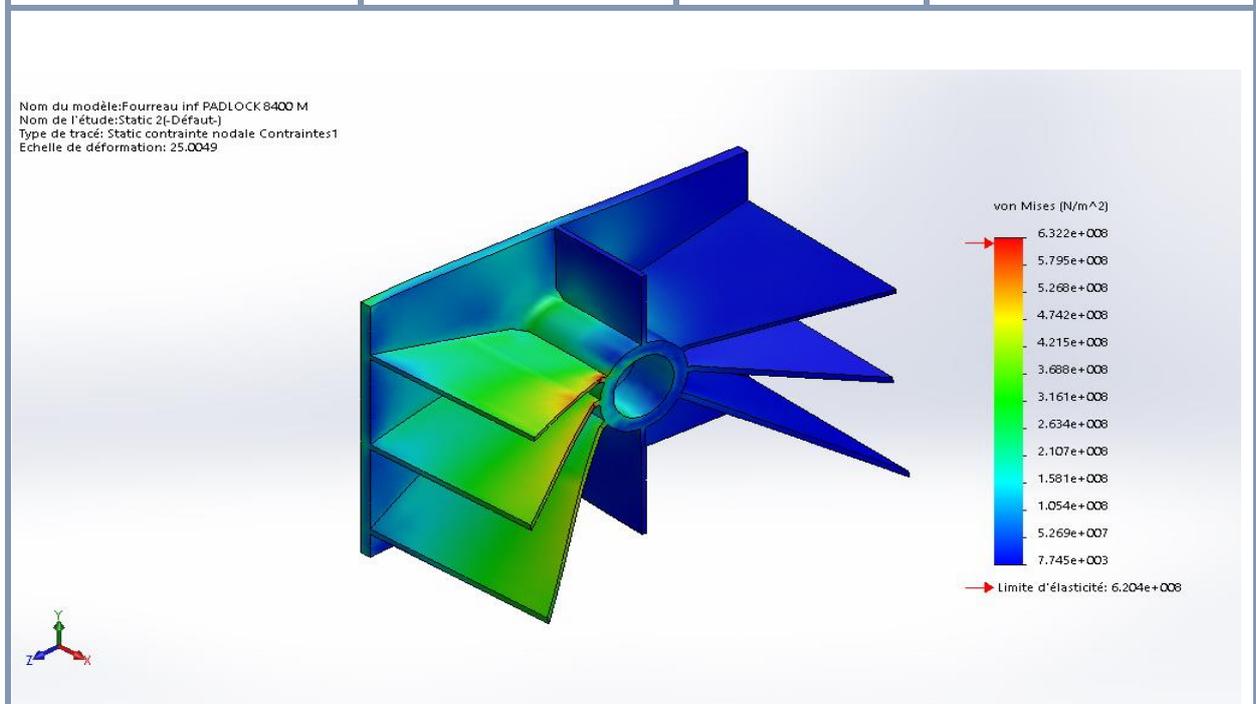
*e. Résultats de l'étude*

Les résultats des calculs de l'analyse sont donnés dans les figures suivantes ;

Les zones les plus sollicitées se trouvent aux niveaux de l'assemblage des goussets avec le fourreau, avec un enregistrement des contraintes les plus critiques sur les goussets inférieurs, avec une contrainte maximale égale à 632 MPa.

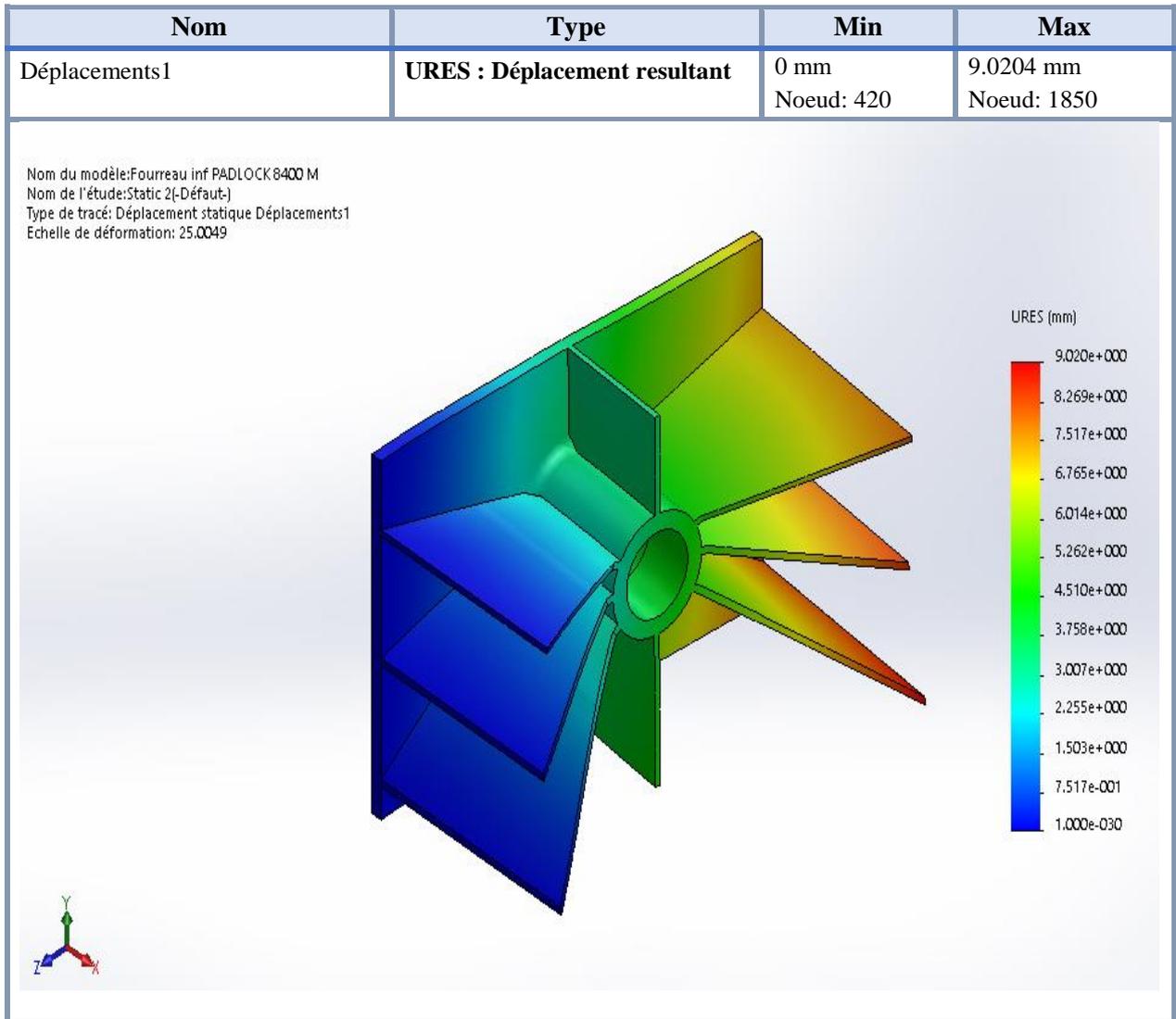
• Critère de Von mises

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	<b>VON : contrainte de von Mises</b>	7745.23 N/m <sup>2</sup> Noeud: 960	6.32203e+008 N/m <sup>2</sup> Noeud: 14206



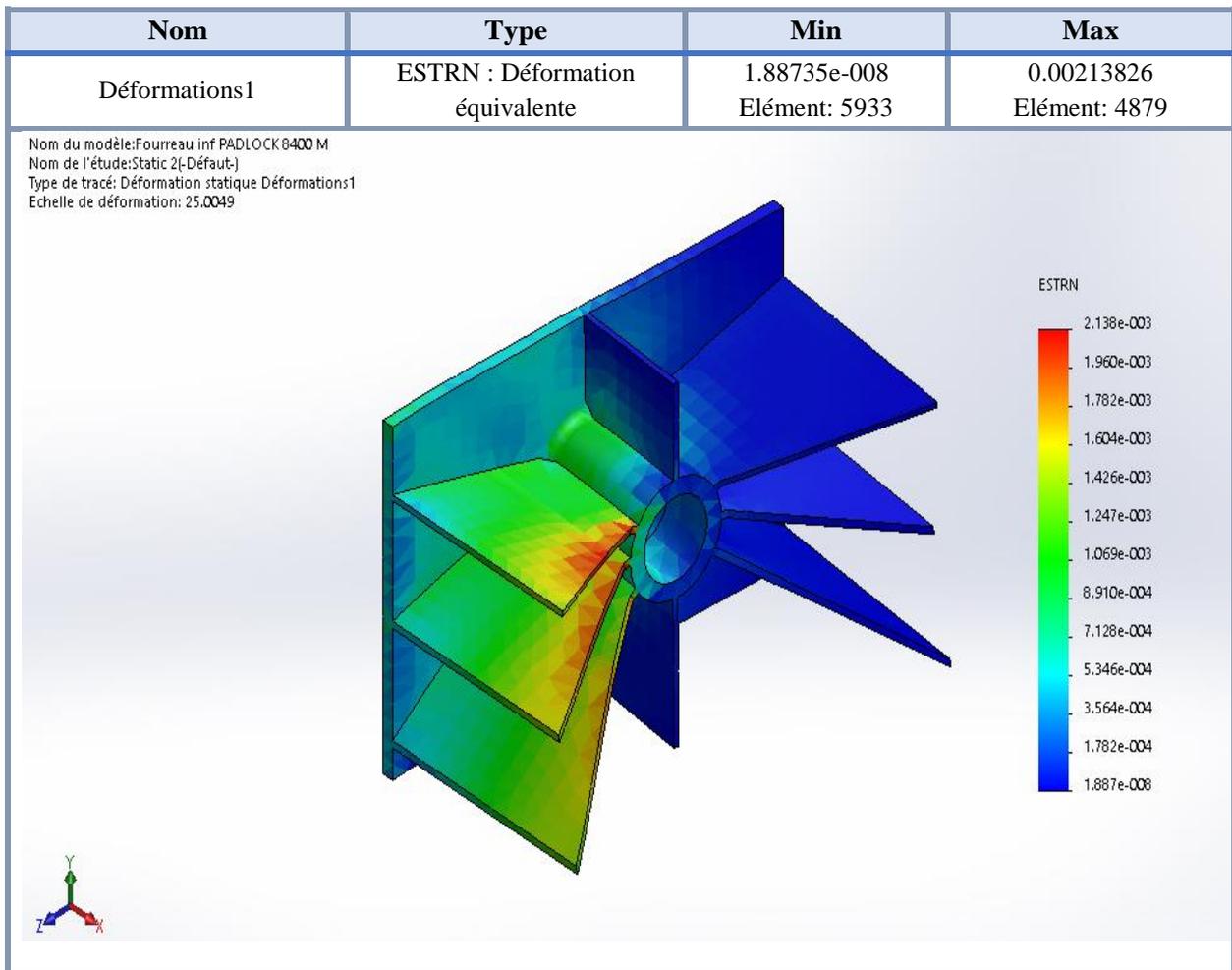
*Figure 35 : résultats de l'analyse statique-critère de von mises-*

• Critère de déplacement



*Figure36 : résultats de l'analyse statique – critère de déplacement-*

• Critère de déformation



*Figure 37 : résultats de l'analyse statique – critère de déformation-*

*f. Conclusion*

Lors de cette étude nous pouvons conclure que les résultats trouvés reflètent bien l'emplacement réel des fissures qui apparaissent au niveau des trois goussets situés à gauche vu la concentration des contraintes donnée par le logiciel. Cette concentration peut être justifiée de point de vue le sens de travail de la flèche de la machine.

*4) Principe de fonctionnement :*

Le système du Pad lock (ensemble des poulies de levage de la tête de flèche) de la dragline M8400 a pour mission principale la transmission des mouvements de levage et d'orientation générés par les systèmes de la salle machine au godet par l'intermédiaire des câbles de levage.

En effet, ces câbles sont renvoyés à la tête de flèche par des poulies guidées par les roulements sur l'arbre pour permettre au godet d'atteindre une hauteur de déversement suffisante.

Vu la difficulté de placer la flèche exactement sur la verticale du godet posé par terre, les poulies sont montées sur le support basculant sur deux paliers à bagues en bronze, ce qui permet d'éviter le déraillement des câbles de levage au niveau des gorges des poulies.

Pour faciliter l'oscillation et éviter les battements du support sur le fourreau arrière une entretoise en bronze est intercalée entre les deux pièces.

Le fourreau est soudé sur la tôle de base qui fait partie de l'infrastructure de tête de flèche. Il est renforcé par huit goussets, l'ensemble constitue le palier arrière du Pad lock.

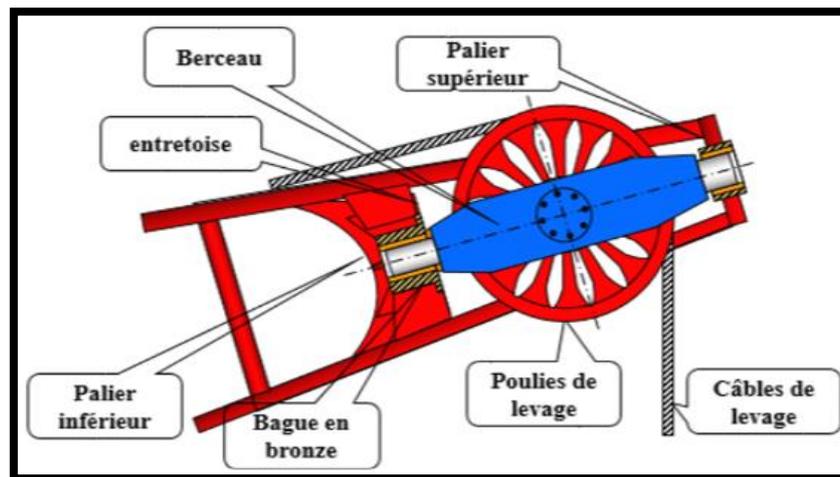
La partie avant contenant le fourreau est un caisson démontable est fixé par des boulons à l'extrémité de l'infrastructure de la tête de flèche.

L'ensemble des roulements, bagues en bronze et entretoise est graissé par un graissage centralisé.

Un mois plus tard, le même problème persiste, jusqu'à l'arrivée de la machine au Secteur SIDI CHENNANE.

En 2006, le fourreau a été changé par un fourreau d'origine et les travaux de montage et de soudures sont réalisés en interne avec une durée de deux mois. Cette réparation a pu donner satisfaction pour une durée de quatre ans sans apparition des fissures.

Depuis 2010, les fissures sont apparues sur les goussets et même sur le fourreau ces dernières années où la redondance des opérations de soudage a excédé la moyenne de 2 fois par mois.



*Figure 38: les composantes de la tête flèche de la dragline 8400M*



*a. Composants et fonctions :*

Composant	Fonction	Mode de défaillance	Conséquences
Support des poulies	-Portées de l'arbre et assure sa fixation. -Oscillation du Pad lock grâce aux 2 bouts d'arbres.	-Fissures -Usure des 2 bouts d'arbres. -Taraudages abimés des vis de fixation de l'arbre des poulies.	-Frottement entre poulies et support. -Déraillement des câbles de levage. -Délèvement de l'arbre (chute des poulies)
Poulies de renvoie	Moufflage des câbles de levage	Usure des gorges.	Usure rapide et casses des câbles.
Arbre	Assure le graissage des roulements de guidage des poulies	-Manque de graissage des roulements -Usure des portées de roulements	-Grippage des roulements -Casse des roulements
Roulement	Guidage du support des poulies en oscillation	Coincement des poulies	Casse ou grippage des roulements
Bague en bronze AR	Guidage du support des poulies en oscillation	Usure de la bague	-Chocs sur le fourreau AR. -Usure ou fissures du fourreau AR.
Bague en bronze AV	Guidage du support des poulies en oscillation	Usure de la bague	Détérioration des boulons de fixation du support du fourreau AV
Entretoise en bronze	Rondelle de friction	Usure de la rondelle	Fissuration, Usure et chocs sur le fourreau AV
Fourreau AR	Palier de guidage en oscillation du Padlock et support des efforts importants	Fissures au niveau du fourreau	-Détérioration du logement de la bague intérieure. -Casse du fourreau -Chute du Padlock
Goussets	Renforcement du fourreau AR	Fissures sur goussets	Fissures au niveau du fourreau AR
Fourreau AV	Palier de guidage en oscillation du Padlock	Fissures du fourreau	Détérioration du logement de la bague AV et fissuration
Tôle de base	Assurer la fixation par soudure du fourreau et fixation des goussets.	Fissures	-Fissuration du fourreau -Dessoudage du fourreau -Chute de Padlock.

Tableau 9 : les composants du padlock de la dragline 8400M



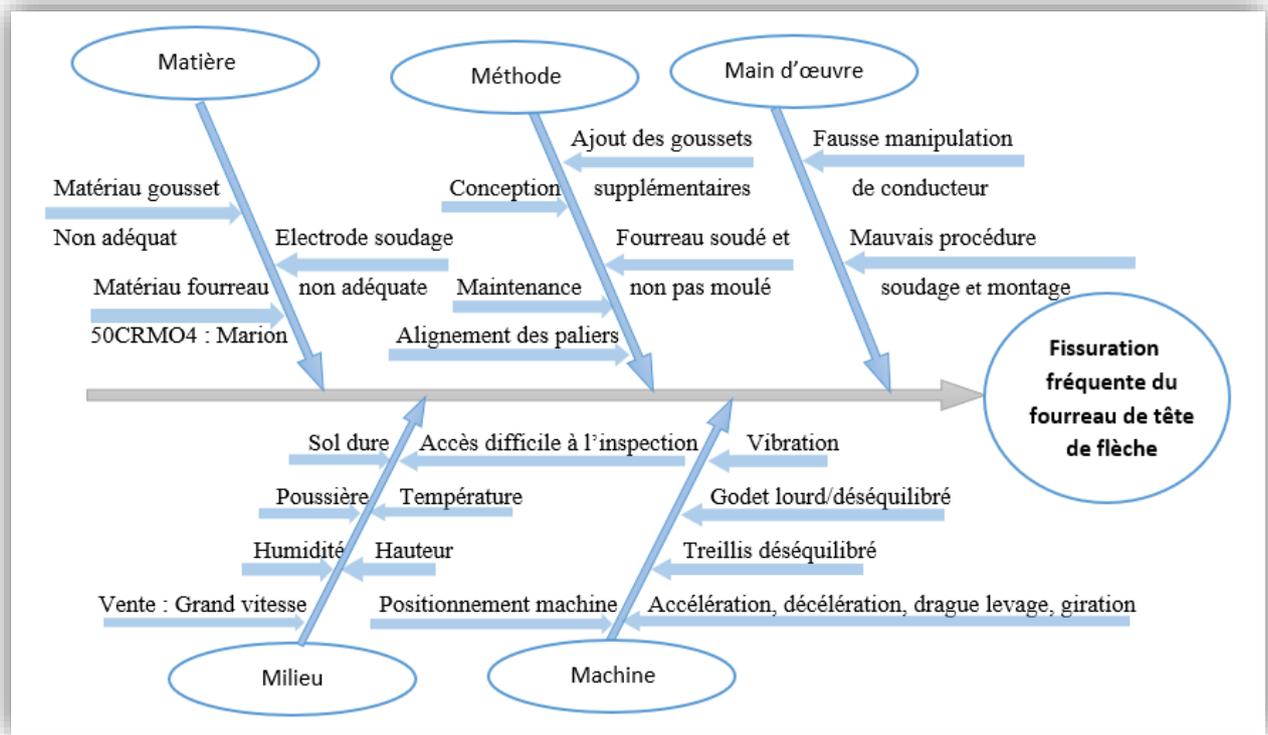
*b. Paramètres de fonctionnement :*

Composant	Valeurs tolérées	Valeurs mesurées	Evaluation
Support des poulies	Absence des fissures et déformation	Pas de fissures ni déformation	✓
	Absence d'usure des portées arbres < 2mm	Usure < 2 mm	✓
Poulies de renvoie	Voilage < 2 mm	Voilage < 2 mm	✓
	Usure des gorges < 5 mm	Usure des gorges < 5 mm	✓
Arbre	Freinage en rotation	Bon	✓
	Cotes des portées non usées < 0,1 mm	< 0,1 mm des 02 cotes	✓
	Trou de graissage non bouché	Débouchant	✓
Roulements	Température < 60°	T = 40 °C	✓
	Jeu < 0,5 (axial)	Jeu = 0,2 mm	✓
Bague en bronze AR	Usure < 3 mm	Usure = 3mm	✗
Bague en bronze AV	Usure < 3 mm	Usure = 3 mm	✗
Entretoise en bronze	Usure < 2 mm	Usure = 1 mm	✓
Fourreau AR	Pas de désalignement	Présence de désalignement	✗
	Pas de jeu entre bague et fourreau	Pas de jeu	✓
	Pas de fissures	Existence des fissures	✗
Goussets	Pas de fissures sur tôles	Présence des fissures sur tôles	✗
	Pas de fissures sur cordons de soudures	Présence des fissures sur cordons de soudures	✗
Fourreau AV	Pas de jeu entre bague et fourreau	Pas de jeu	✓
	Pas de fissures	Pas de fissures	✓
Tôle de base	Pas de déformation	Pas de déformation	✓
	Pas de fissures	Pas de fissures	✓

*Tableau 10 : paramètres de fonctionnement du padlock de la dragline 8400M*

*5) Diagramme d'Hishikawa*

Nous avons procédé par la méthode des 5M qui nous a donné une idée globale sur tous les facteurs qui peuvent influencer sur notre système.



*Figure 39 : diagramme d'Hishikawa*

▪ *Etape 3 : fixer des objectifs*

Après l'analyse de l'historique des heures de service cumulées par le système après chaque réparation nous avons fixé comme objectif :

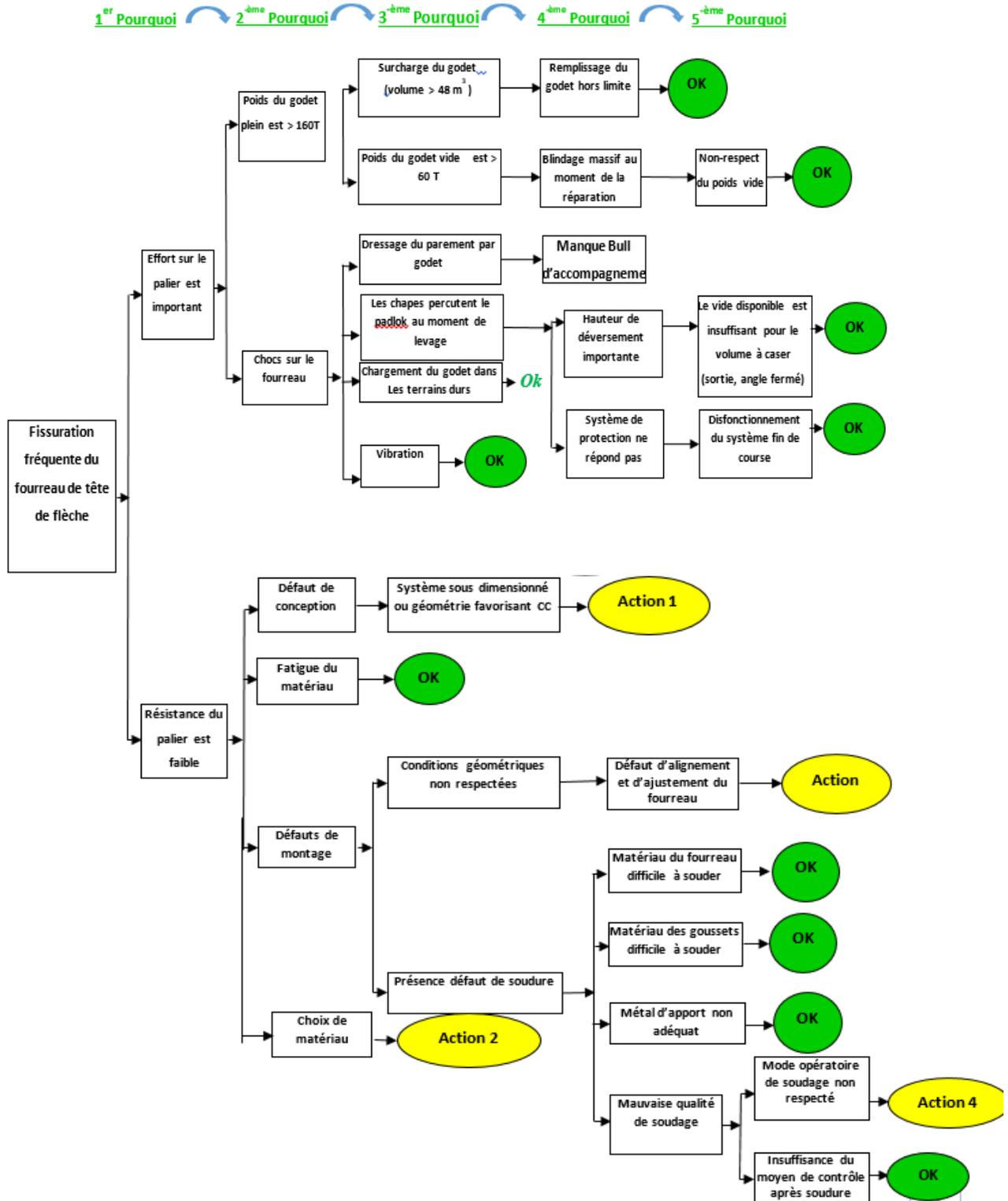
- Prévoir, après réparation, un fonctionnement du fourreau d'une année **sans fissuration**.
- Augmenter la production
- Garantir la sécurité

▪ *Etape 4 : analyse des causes racines*

Pour bien clarifier les causes racines de ce problème nous nous sommes basées sur la méthode des 5 pourquoi ?

Les **5 Pourquoi ?** sont la base d'une méthodologie de résolution de problèmes proposée dans un grand nombre de systèmes de qualité.

C'est une méthode de questionnement systématique qui a pour objectif de remonter aux causes premières possibles d'un problème ou d'un dysfonctionnement. C'est une version simplifiée de l'arbre des causes qui consiste à poser incessamment la question : **pourquoi ?** et à répondre à chaque question, jusqu'à ce que les phénomènes soient entièrement résolus



### Conclusion :

Les causes principales de la fissuration du fourreau sont :

- **Géométrie et Dimensionnement :**

La géométrie actuelle du fourreau favorise la concentration des contraintes.



- **L'alignement :**

Puisque le système est hyperstatique, l'alignement de l'arbre porteur du PAD - LOCK est délicatement réalisable ce qui permet une répartition non uniforme des contraintes. Nous ne pouvons alléger le système que lorsque les travaux de soudage soient achevés et l'alésage du fourreau soit réalisé par une barre d'alésage pour la finition.

- **Le soudage :**

Le type d'acier du fourreau et les charges appliquées nécessitent un soudage spécial qui respecte la norme et les procédures d'assemblage et de soudage tout en suivant le mode opératoire à savoir :

- Préparation et nettoyage des surfaces à souder.
- Repérage des positions radiales des goussets.
- Préchauffage.
- Soudage en demi V et en tour de rôle symétriquement par rapport à l'axe du fourreau.
- Post-chauffage.

→ Contrôle des soudures :

Parmi les causes principales de l'apparition des fissures c'est l'insuffisance de contrôle des soudures après la réparation.



## Chapitre 4 :

# Actions et contre-mesures

« Ce chapitre est réservé pour trouver le remède des fissures au niveau du fourreau inférieur de la machine en suivant une démarche de re-conception d'une géométrie optimale, puis, élaborer un mode opératoire de soudage et d'alignement de la nouvelle conception »

## I. La re-conception d'un nouveau fourreau de la dragline 8400M

### Partie 1 : définition et analyse fonctionnelle

#### • Introduction

Après la localisation des zones les plus sollicitées on a abordé l'étape de la solution. On a focalisé l'étude sur deux côtés :

- ✓ Le choix d'un mécanisme convenable qui minimise les concentrations de contraintes,
- ✓ Le choix d'un matériau qui répond aux conditions d'environnement (la température, humidité...) et d'usinage (soudabilité).

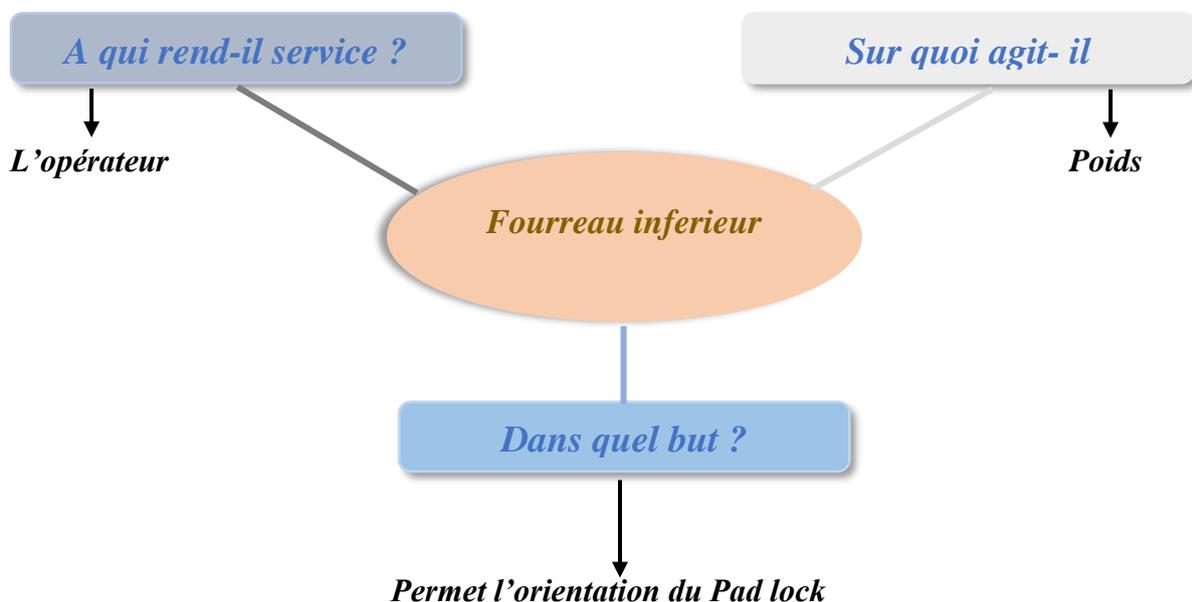
#### • Cahier de charge

On veut concevoir un fourreau avec ses goussets destinés à être installé dans le Pad-lock dans la tête de flèche de la dragline. Pouvant supporter des forces statiques appliquées. Lors de cette étude nous avons le feu vert de jouer sur la géométrie.

#### • Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une méthode permettant d'aider un concepteur à analyser le besoin à satisfaire en le séparant des diverses solutions susceptibles d'y répondre pour tendre à l'optimisation du couple besoin-solution.

#### ✓ Diagramme bête à corne



*Figure 40 : diagramme bête à cornes*

Le diagramme bête à cornes permet de définir la raison d'être d'un système, dans notre cas c'est le fourreau. Pour le schématiser, il faut répondre aux questions ci-dessus.

## Partie 2 : étude éléments finis des nouvelles technologies du fourreau

### • Contexte et objectifs

Sachant qu'on peut jouer sur la géométrie et que le problème est statique, l'objectif de l'étude est de vérifier le critère de résistance de Von mises afin de lutter contre les fissures au niveau de la liaison gousset-fourreau et de minimiser le poids du fourreau en utilisant le logiciel ABAQUS.

Pour cela, on a proposé 3 géométries différentes du fourreau ;

### • Solution 1

#### ✓ La démarche de l'analyse statique :

##### i. Création de la géométrie

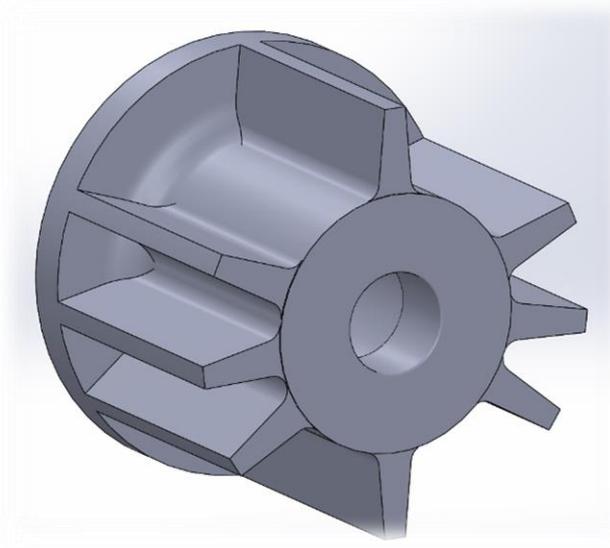


Figure 41 : Modélisation de la solution 1

##### ii. Choix de matériaux

Ce problème exige trois contraintes pour concevoir cette pièce pour lesquelles on a :

- Le poids minimum.
- La rigidité élevée.
- Coût minimale.

#### - Choix basés sur le logiciel de CES

Pour effectuer le choix d'un matériau convenable à cette situation, nous procédons d'abord à trouver une nuance des matériaux qui respecte les contraintes requises (la rigidité, la légèreté, le coût minimum), à l'aide de la méthode d'indice de performance.

Les indices de performances à maximiser sont les suivants :

- $IP = \frac{\sqrt{E}}{\rho}$  Pour minimiser la masse et maximiser la rigidité ;  $\rho$  étant la masse volumique
- $IP = \frac{\sqrt{E}}{C\rho}$  Pour avoir un coût minimal, où  $C\rho$  désigne le coût volumique.

On représente le module de Young  $E$  en fonction de  $\rho$  et  $C\rho$  dans le logiciel CES, et on trace la ligne de correspondance avec une pente de 0.5 et on la translate pour avoir le nuage des matériaux qui répondent aux indices de performances demandés. Les résultats obtenus sont représentés dans les figures suivantes

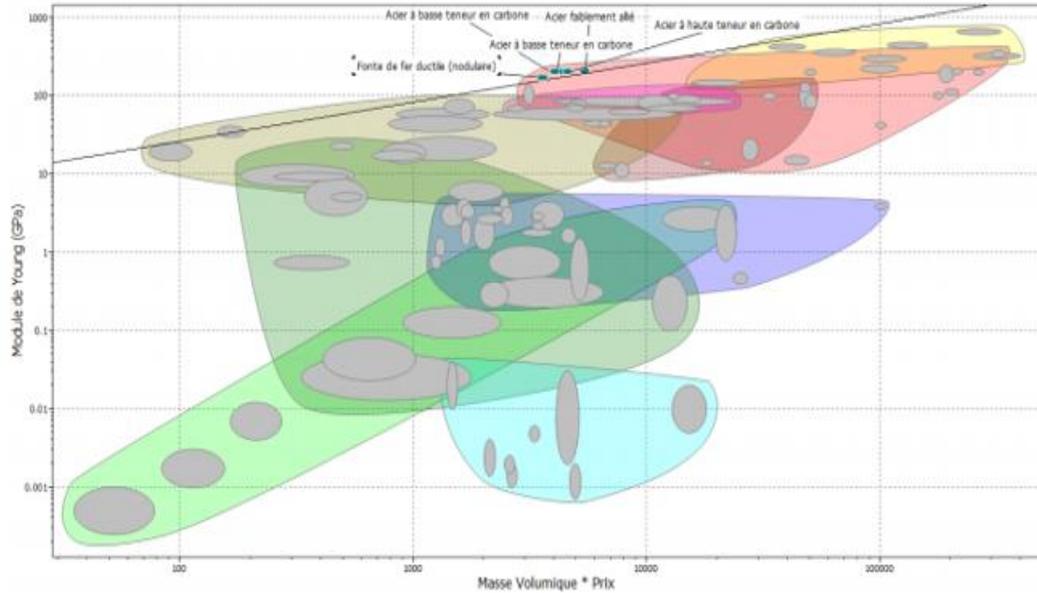


Figure 42 : nuages des matériaux pour  $IP = \frac{\sqrt{E}}{\rho}$

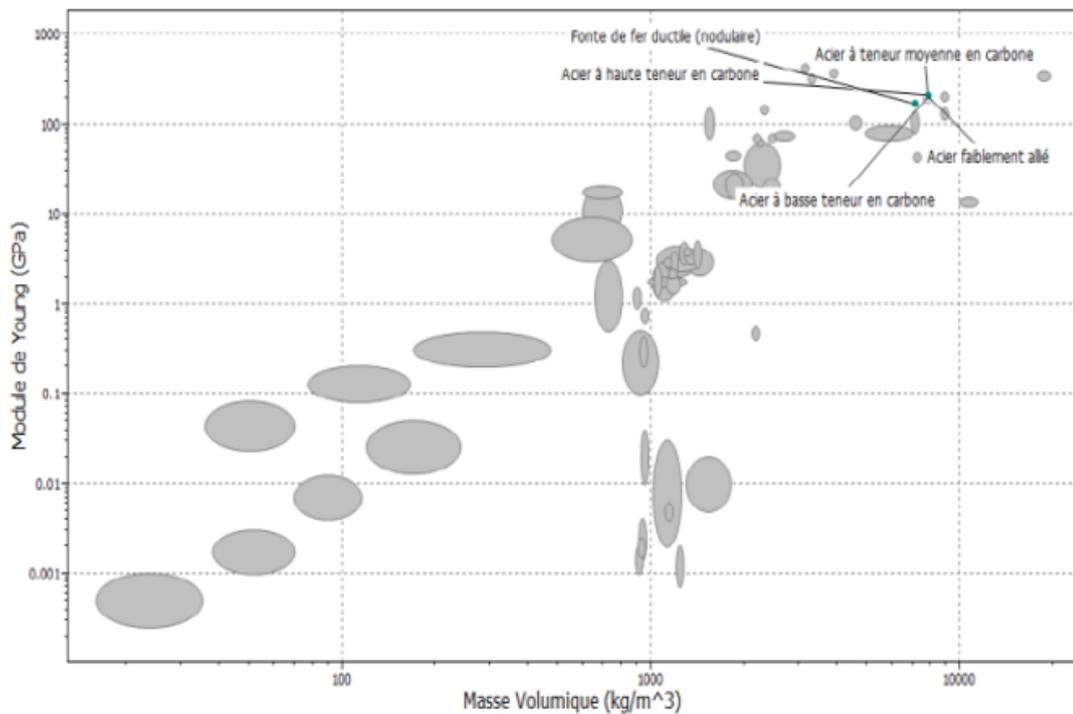


Figure 43 : nuages des matériaux pour  $IP = \frac{\sqrt{E}}{C\rho}$

Les propriétés de ces matériaux sont rassemblées dans le tableau suivant :

Propriétés	Fonte Ductile	Acier à basse teneur C	Acier à haute teneur C	Acier faiblement allié	Acier à moyenne teneur C
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) - $\rho$	7100	7800	7800	7800	7800
Module d'élasticité (GPa)- E	180	210	215	217	216
Résistance ultime en tension (MPa)-Su	462	400	550	600	410
Limite d'écoulement (MPa) – Sy	331	250	400	500	305
Prix (€/kg)	0.518	0.49	0.557	0.47	0.655

*Tableau 11 : propriétés des matériaux issues de l'étude sous CES*

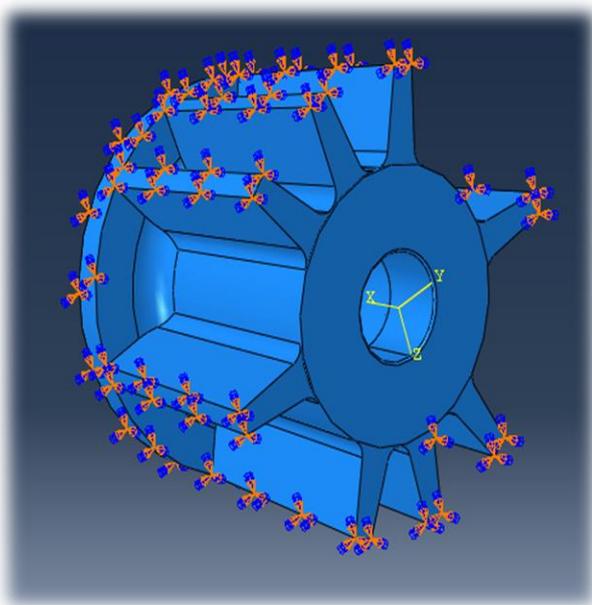
❖ **Conclusion**

D'après le tableau des propriétés, nous constatons que l'acier faiblement allié < **22CN6** >, est un matériau qui présente une bonne caractéristique en termes de masse volumique et prix.

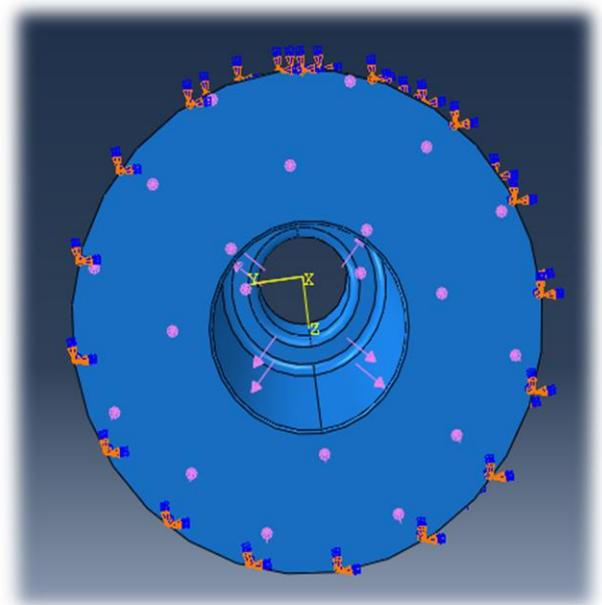
iii. Actions extérieures

- Support fixe

- Chargement

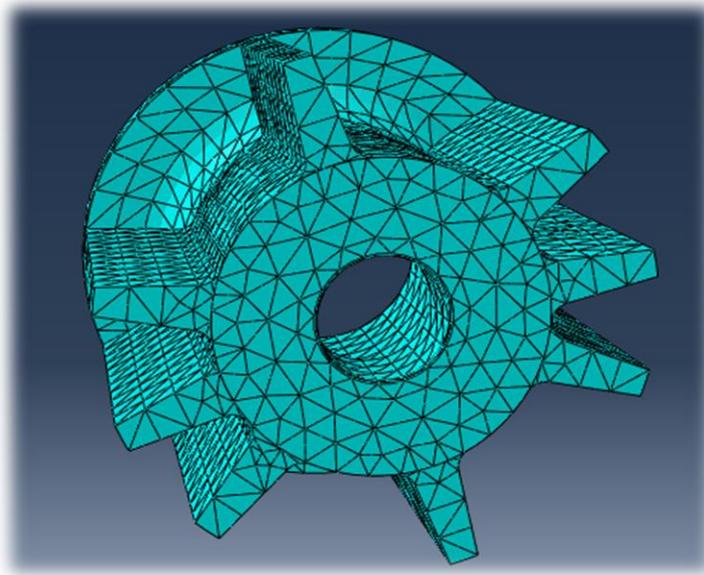


*Figure 44 : application du support fixe*



*Figure 45 : application des chargements*

#### iv. Génération du maillage

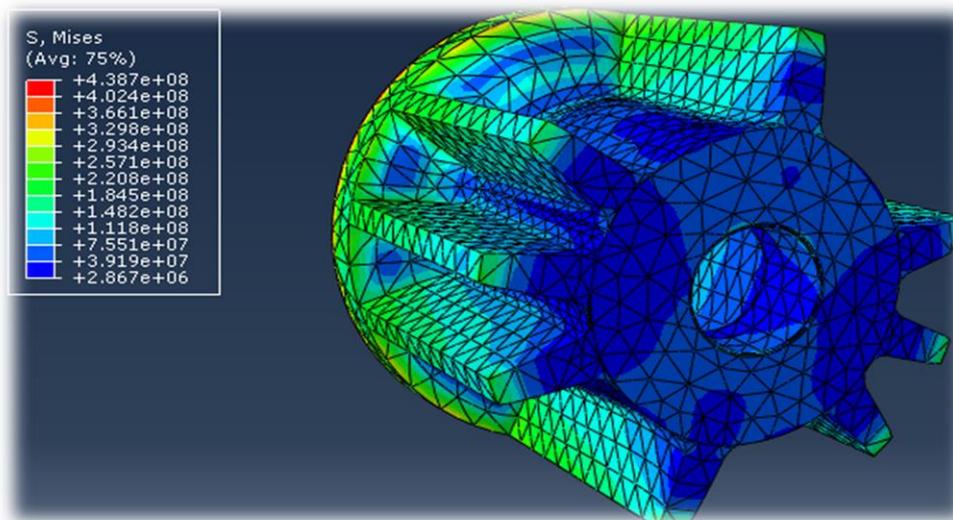


*Figure46 : génération du maillage*

#### v. Vérification des résultats

Après avoir détaillé les étapes nécessaires pour l'étude, il ne reste qu'exécuter la Simulation et présenter les résultats. Il s'agit tout simplement des contraintes, et le facteur de sécurité.

La contrainte équivalente de Von Mises :



*Figure47 : résultats de l'analyse statique 1*

#### **Remarque :**

Vu la continuité des couleurs, on constate qu'on est près de l'état de convergence.

La contrainte maximale de Von Mises obtenue par l'analyse numérique est de l'ordre de 438.7 MPa.

$$\sigma_{VM} = 438.7 \text{ MPa}$$

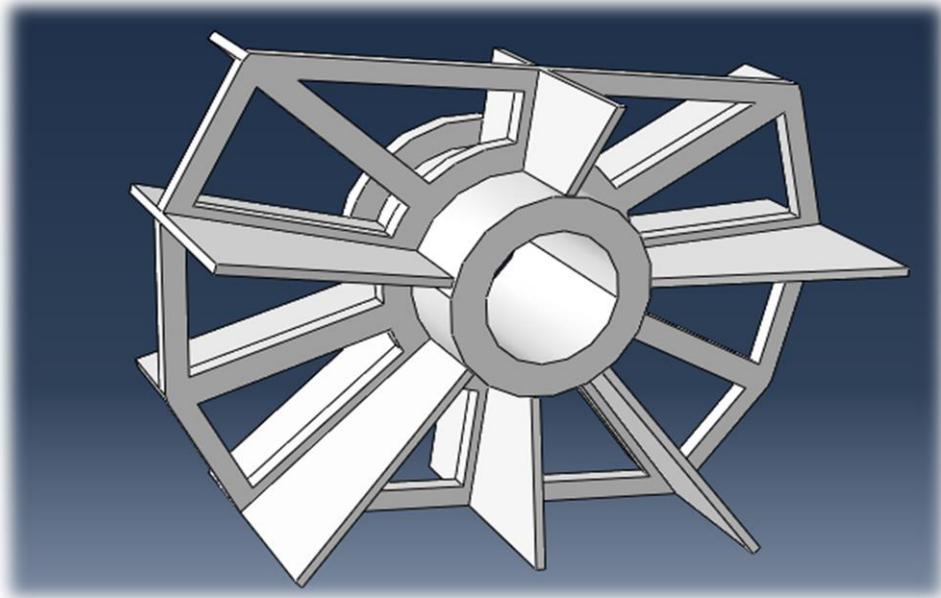
### vi. Facteur de sécurité

Le facteur de sécurité dans ce cas est donné par :

$$FS = \frac{SY}{\sigma_{VM}} = \frac{500}{438.7} = 1.14 > 1 \quad \longrightarrow \quad \text{on est dans la zone de sécurité.}$$

- *Solution 2*

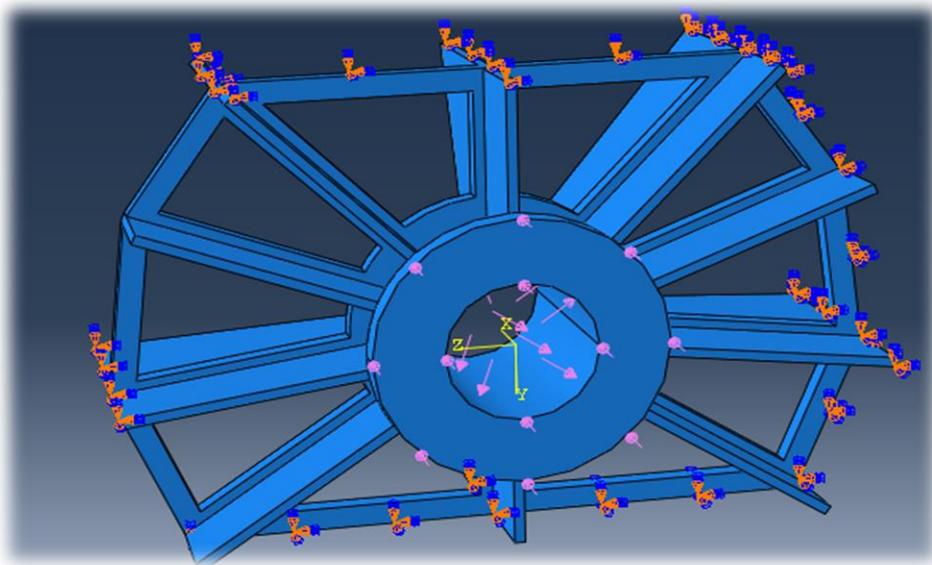
### i. Création de la géométrie



*Figure 48 : modélisation de la solution 2*

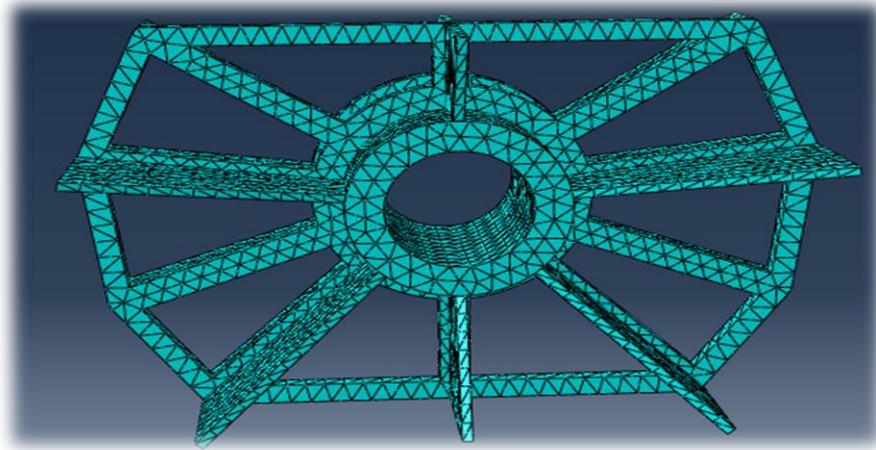
### ii. Actions extérieures

- *Support fixe et chargement*



*Figure 49 : application des actions extérieures*

### iii. Génération du maillage

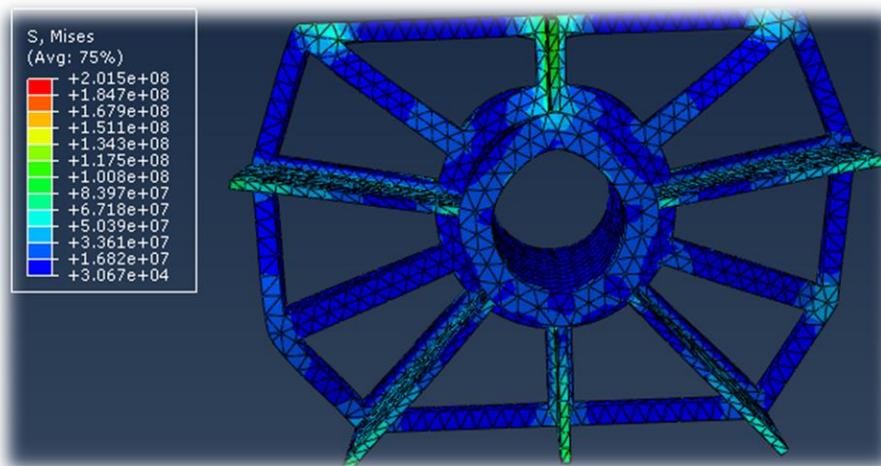


*Figure 50 : génération du maillage*

### iv. Vérification des résultats

Après avoir détaillé les étapes nécessaires pour l'étude,

La contrainte équivalente de Von Mises :



*Figure 51 : résultats de l'analyse statique 2*

#### **Remarque :**

Vu la continuité des couleurs, on constate qu'on est près de l'état de convergence.

La contrainte maximale de Von Mises obtenue par l'analyse numérique est de l'ordre de 201.5 MPa.

$$\sigma_{VM} = 201.5 \text{ MPa}$$

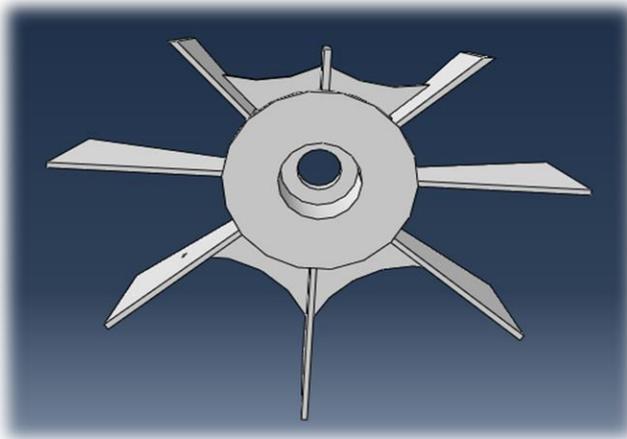
### v. Facteur de sécurité

Le **facteur de sécurité** dans ce cas est donné par :

$$FS = \frac{SY}{\sigma_{VM}} = \frac{500}{201.5} = 2.48 > 1 \quad \longrightarrow \quad \text{on est dans la zone de sécurité.}$$

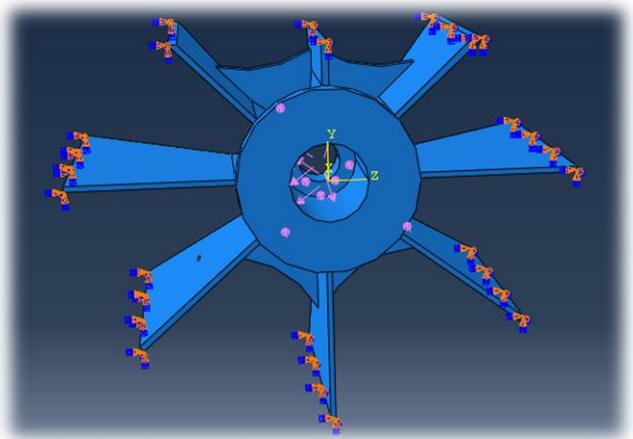
- *Solution 3*

- *Création de la géométrie*



- *Actions extérieures*

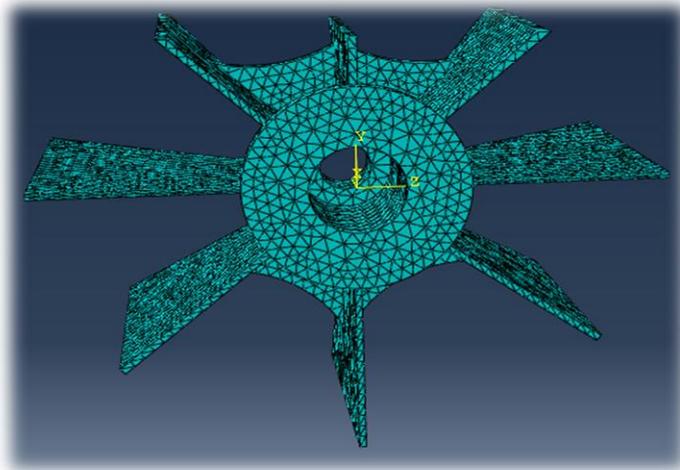
- *Support fixe et chargement*



*Figure52 : modélisation de la solution 3*

*Figure53 : application des actions extérieures*

- *Génération du maillage*

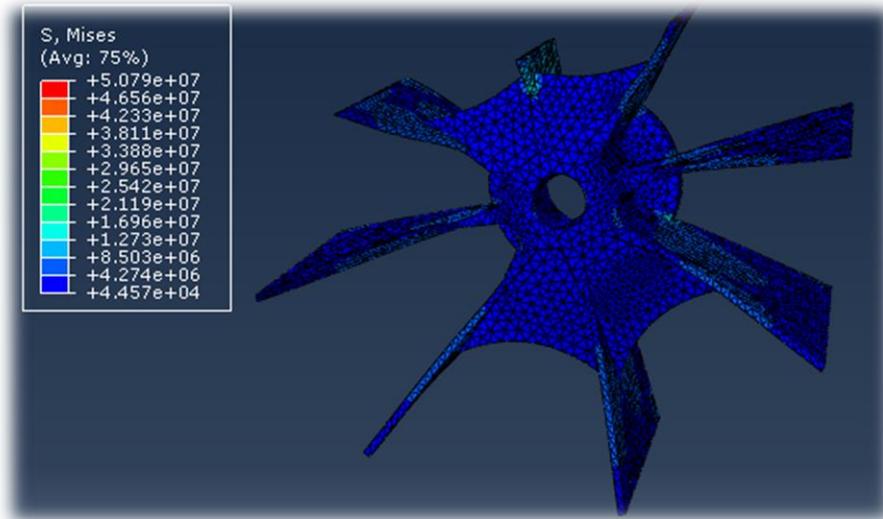


*Figure 54 : génération du maillage*

- i. Vérification des résultats**

Après avoir détaillé les étapes nécessaires pour l'étude,

La contrainte équivalente de Von Mises :



*Figure 55 : résultats de l'analyse statique 3*

**Remarque :**

Vu la continuité des couleurs, on constate qu'on est près de l'état de convergence.

La contrainte maximale de Von Mises obtenue par la simulation numérique est de l'ordre de 50.79 MPA.

$$\sigma_{VM} = 50.79 \text{ MPA}$$

**ii. Facteur de sécurité**

Le **facteur de sécurité** dans ce cas est donné par :

$$FS = \frac{SY}{\sigma_{VM}} = \frac{500}{50.79} = 9.84 > 1 \quad \longrightarrow \quad \text{On est dans la zone de sécurité.}$$

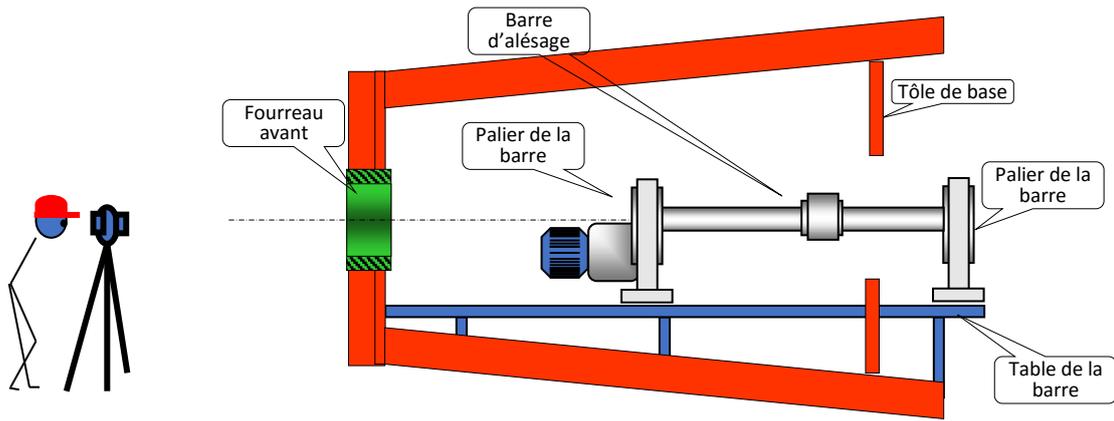
## *II. Description du mode opératoire de l'alignement du fourreau*

Nous avons opté à élaborer un mode opératoire spécial pour le positionnement et l'alignement du Pad lock.

Pour avoir un alignement juste, trois principales étapes doivent être suivies :

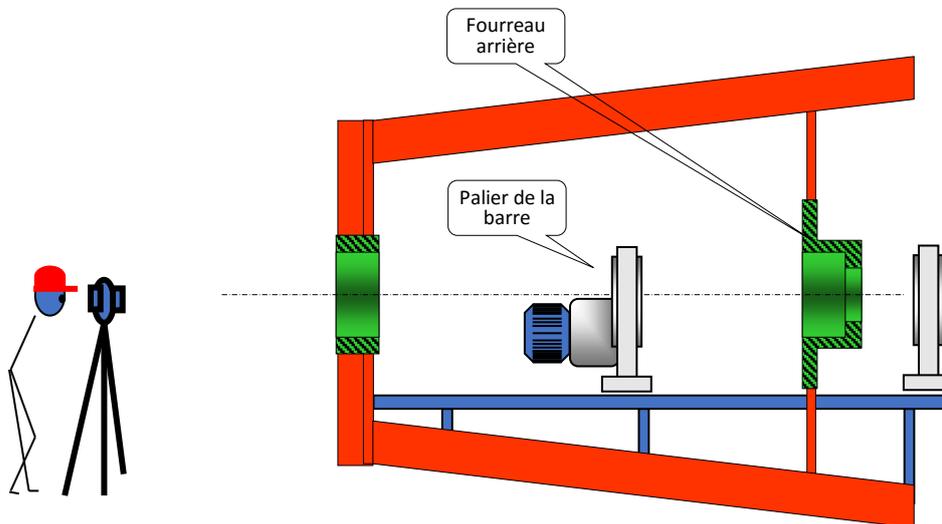
### **1) Alignement des paliers de la barre d'alésage avec le fourreau avant**

Dans un premier lieu, on doit mettre en place le support de la barre d'alésage, ensuite ajuster les deux paliers de la barre d'alésage de tel sorte qu'ils soient alignés avec le fourreau supérieur du Pad-lock. Cette opération est réalisée en se basant sur un appareil laser spécial pour l'alignement



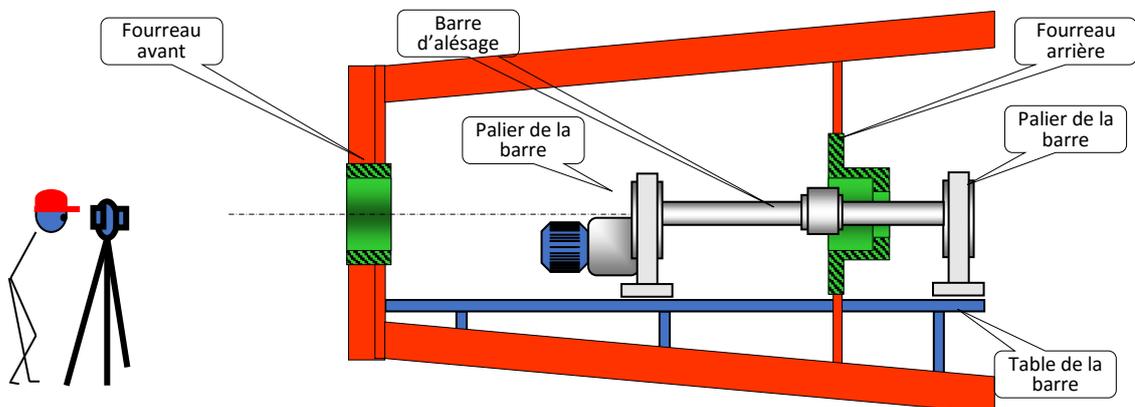
## 2) Alignement du fourreau arrière avec les paliers de la barre d'alésage

En se référant aux paliers après démontage de la barre d'alésage, on positionne le fourreau inférieur du Pad-lock et on l'aligne avec le fourreau supérieur. Toujours la précision est assurée à l'aide de l'appareil laser.



## 3) Rectification du défaut après soudage des goussets avec barre d'alésage

Après positionnement du fourreau inférieur, on procède aux travaux des soudures des goussets de renfort, chose qui implique son désalignement suite aux contraintes générées ; à ce stade on rectifie le défaut généré à l'aide de la barre d'alésage.





Le principe de cette méthode d'alignement s'articule sur la Co-axialité des paliers de la barre d'alésage plus la précision de l'appareil laser. Le défaut résultant des travaux de soudure sera rectifié à travers l'usinage du diamètre intérieur du fourreau.

### *III. Elaboration du mode opératoire du soudage*

#### *1. Introduction*

Le soudage est l'opération qui consiste à assembler deux ou plusieurs pièces rigides de manière à assurer une certaine continuité entre elles. On obtient ainsi, après assemblage, un joint homogène aux caractéristiques plus au moins proches de celles du métal de base, ou un joint hétérogène dans le cas de métaux différents. Cette opération peut être assimilée à une opération locale d'élaboration métallurgique et à une opération locale de traitement thermique donnant une structure cristalline dépendant à la fois de la composition chimique élaborée et du traitement thermique.

Cet assemblage se fait de diverses manières, on utilise parfois la pression, la chaleur ou les deux combinés en même temps. Il existe un très grand nombre de procédés de soudage, dont les principes sont très différents. Pour certains, l'assemblage est obtenu par fusion locale des éléments à assembler ; pour d'autres, la continuité métallique est obtenue à froid par effet purement mécanique.

Entre ces deux modes extrêmes de soudage, par fusion ou à froid, il existe des modes intermédiaires combinant les effets mécaniques et calorifiques pouvant être obtenus à partir de sources d'énergie très variées : chimique, électrique, de radiation, etc. Chaque procédé possède un domaine d'application plus ou moins étendu, mais aucun ne supprime complètement les autres.

#### *2. Eléments et paramètres de soudage*

On considère qu'un matériau métallique est soudable, à un degré donné par un procédé donné et pour un type d'application donné, lorsqu'il se prête, moyennant les précautions correspondantes à ce degré, à la réalisation d'une construction entre les éléments de laquelle il est possible d'assurer la continuité métallique par la constitution de joint soudé, qui par leurs caractéristiques locales et les conséquences de leurs présences, satisfont aux propriétés requises, est choisies comme base de jugement .

On distingue plusieurs types d'acier :

- Acier à bas carbone : les aciers calmés se soudent sans problème. La teneur en oxygène sera limitée pour éviter les soufflures.
- Aciers à haute limite d'élasticité : il y a un risque de fissuration du joint dans les assemblages bridés ; ce risque peut être minimisé par l'application d'un préchauffage ou d'un post-chauffage. Les aciers faiblement alliés contenant moins de 0.30 % de carbone ne nécessitent habituellement pas de préchauffage.



- Aciers à outils : la vitesse de soudage élevée, la faible largeur du cordon et des zones affectées thermiquement présentent un très gros avantage par rapport aux autres procédés utilisés (Ex. : soudage des lames de scie).

- Aciers réfractaires : le procédé de soudage par faisceau d'électrons est le procédé idéal pour le soudage de ces aciers. La focalisation du faisceau permet d'atteindre des températures élevées sur une zone étroite sans affectation du métal de base.

✓ **Carbone équivalent métallurgique C.E.M**

Dans le cas des aciers, un critère de soudabilité est donné par le « facteur » carbone fixé par l'institut international de soudure. Il est donné par :

$$C_{eq} \% = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu \%}{15}$$

$C_{eq}$  : Carbone équivalent métallurgique

- ✓ Si  $C_{eq} < 0.40$ , on soude sans précaution,
- ✓ Si  $0.41 < C_{eq} < 0.60$ , on effectue un préchauffage avec une température comprise entre 100 à 250 C°,
- ✓ Si  $C_{eq} > 0.6$ , l'acier est difficilement soudable,
- ✓ Si  $C_{eq} > 0.7$ , l'acier est non soudable.

**Application : Soudabilité du matériau du fourreau**

La composition chimique du matériau 22NC6 est comme suit :

% C	Mn	Ni	Si
0,22	0,6	1,5	0,25

Tableau12 : composition chimique du matériau 22NC6

Donc :

$$C_{eq} = 0,22 + \left(\frac{0,6}{6}\right) + \left(\frac{1,5}{15}\right)$$

**Ceq= 0,42**

Donc : **0,41 < Ceq < 0.6** donc c'est un acier faiblement allié qui nécessite un préchauffage.

✓ **Choix des électrodes :**

D'après les préconisations du constructeur de la machine, le procédé de soudage du fourreau à adopter c'est le soudage à l'arc avec électrode enrobée. Ce procédé qui consiste à unir avec une électrode de métal d'apport enrobée, deux pièces de métal de même nature en fusionnant leurs bords.



Le type des électrodes enrobées choisi c'est le **AWS. E7018**, c'est une électrode basique à faible teneur en hydrogène, toute position (E7018-1) utilisé avec un courant alternatif ou continu. Permet de souder des aciers au carbone de plus haute résistance et les aciers faiblement alliés.

Ces électrodes doivent être séchées dans un four à température de **300°C à 400°C** pendant 2 heures puis entreposées à une température de **120°C à 150°C** jusqu'à l'utilisation.

✓ **Température de préchauffage, courant et tension du soudage**

Afin de préciser les paramètres de soudage (la température de préchauffage, les courants et les tensions des postes électriques de soudage, nous avons recours à la méthode **BWRA : British Welding Research Association**.

Cette méthode basée sur le « pouvoir trempant » de l'acier, est réservée au soudage à l'**arc électrique avec électrode enrobée**. Elle consiste à calculer la température de préchauffage des pièces en tenant compte des paramètres suivants :

- Indice de sévérité thermique,
- Indice de soudabilité,
- Diamètre des électrodes.

✓ **Indice de sévérité thermique TSN**

Premièrement on commence par le calcul de l'indice de sévérité thermique **TSN** :

Il caractérise la géométrie et l'épaisseur de l'assemblage. L'indice T.S.N. est obtenu en divisant la somme des épaisseurs à souder (en mm) par 6 (unité d'épaisseur).

$$TSN = \frac{(80 + 25)}{6} = 17$$

Donc notre **indice de sévérité TSN** égal à **17**

✓ **Indice de soudabilité**

Il est fonction du pourcentage en C<sub>éq.</sub>, de l'acier à souder, ainsi que de la nature des électrodes utilisées. Le tableau ci-dessous permet de le déterminer après avoir calculé le C<sub>éq.</sub> Par la formule :

$[C] = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}$		indices de soudabilité
Electrodes rutiles	Electrodes Basiques	
jusqu'à [C] = 0,20	jusqu'à [C] = 0,25	A
- 0,21 à 0,23	- 0,26 à 0,30	B
- 0,24 à 0,27	- 0,31 à 0,35	C
- 0,28 à 0,32	- 0,36 à 0,40	D
- 0,33 à 0,38	- 0,41 à 0,45	E
- 0,39 à 0,45	- 0,46 à 0,50	F
- > 0,45	- > 0,50	G

*Tableau13 : indice de soudabilité*



$$\text{On a : } [C] = 0,22 + \left(\frac{0,6}{20}\right) + \left(\frac{1,5}{15}\right)$$

**Donc**  $[C] = 0,35$

D'après le tableau ci-dessus notre indice de soudabilité est C

✓ **Diamètre des électrodes et température de préchauffage :**

La quantité de chaleur transmise au joint étant liée au diamètre des électrodes utilisées, on prend en compte ce paramètre pour le calcul de TP (Température de préchauffage).

Chiffre de sévérité thermique	Indice de soudabilité	Température minimum à laquelle doit être effectuée la soudure				
		Diamètre des électrodes en millimètres				
		3.2	4	5	6	8
		(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
T.S.N. 2	D E F	0 90 125	0 25			
T.S.N. 3	C D E F	0 75 100 150	0 25 100	0 25		
T.S.N. 4	C D E F	90 100 125 175	25 75 125	0 75	0	
T.S.N. 6	B C D E F	90 100 150 175 225	25 100 125 175	25 75 125	0 75	0
T.S.N. 8	A B C D E F	25 75 125 175 200 225	25 75 125 150 200	25 75 125 175	0 50 125	25 50
T.S.N. 12	A B C D E F	75 125 150 200 225 250	25 75 125 175 200 225	25 75 125 175 200	0 75 100 150	0 50 125
T.S.N. 16	A B C D E F	75 125 175 200 225 250	25 75 150 175 200 250	0 50 125 175 200 225	0 50 125 150 200	25 50 100 150
T.S.N. 24	A B C D E F	75 125 175 200 225 250	25 75 150 175 200 250	0 50 125 175 200 225	25 75 125 175 200	25 100 150 200

*Tableau14 : diamètres des électrodes et paramètres de préchauffage*

Ainsi on a pour :

$$D = 3,2 \text{ mm} \longrightarrow T^\circ = 175 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$D = 4 \text{ mm} \longrightarrow T^\circ = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$D = 5 \text{ mm} \longrightarrow T^\circ = 125 \text{ }^\circ\text{C}$$

Le courant et la tension électrique du poste de soudure dépend du diamètre de l'électrode :

$$I_s = (D-1) * 50 \text{ et } U_s = (0,04 * I_s) + 21$$

$$D= 3,2 \text{ mm} \longrightarrow I_s = 110 \text{ A}; U_s = 25 \text{ V}$$

$$D= 4 \text{ mm} \longrightarrow I_s = 150 \text{ A}; U_s = 27 \text{ V}$$

$$D= 5 \text{ mm} \longrightarrow I_s = 200 \text{ A}; U_s = 29 \text{ V}$$

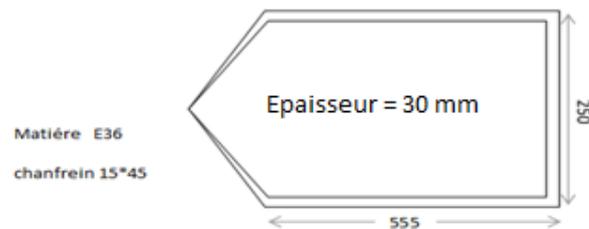
### 3. Mode opératoire de soudage

Le type d'acier du fourreau et les charges appliquées nécessitent un soudage spécial qui respecte la norme et les procédures d'assemblage et de soudage tout en suivant le mode opératoire ci-dessous :

- **Préparation des goussets :**

Les goussets (tôles de type E36) sont préparés par :

- Découpage par Oxcéacytélénique
- Finition par meulage suivant modèle

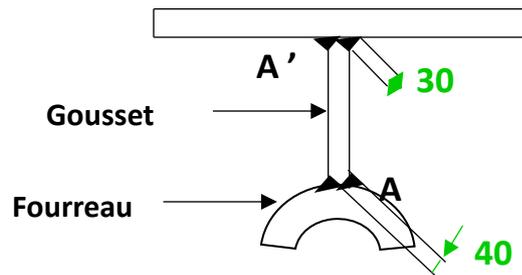


- **Réglage des paramètres :**

<b>Procédé de soudage</b>	À l'arc à l'électrode enrobée (basique)
<b>Electrode utilisé</b>	E 7018 $\Phi=3,2$ et $\Phi=4$
<b>Poste de soudage</b>	SAF (320V 500V) , courant continu
<b>Intensité de soudage</b>	I S (3,2) = 110A pour la pénétration (-) branché a l'électrode I S (5)= 200 A pour remplissage(+) branché a l'électrode
<b>Tension de soudage</b>	US = (is * 0,04) + 21 = 25,4 V US = (is * 0,04 ) + 21 = 29 V
<b>Etuvage</b>	Four à 300°C pendant 2H Entreposés à une température de 120 0 150 °C jusqu'à l'utilisation
<b>Température de préchauffage</b>	175°C pour l'électrode de pénétration de diamètre 3,2 150 °C pour l'électrode de remplissage de diamètre 4

Tableau15 : paramètres de soudage

• Soudage des goussets

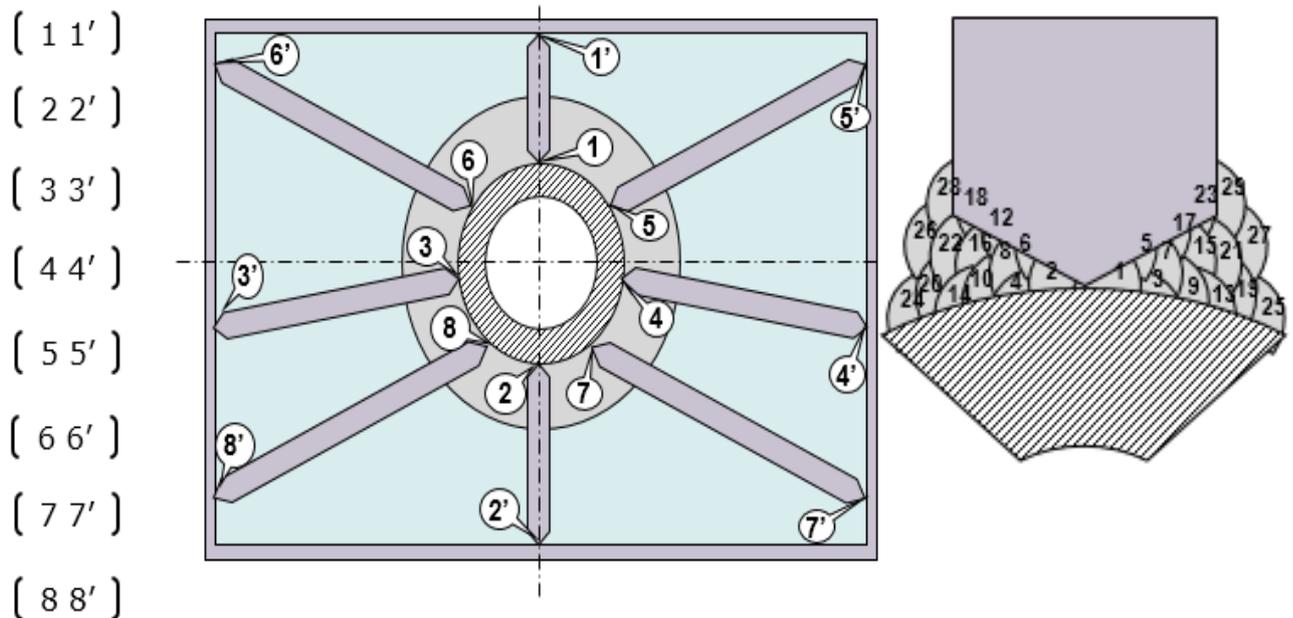


- 1) Pointage par soudure entre gousset et tôle de la flèche
- 2) Préchauffage de la zone A à 175 °C Electrode utilisée  $d=3,2\text{mm}$  branchée sur polarité (-) pour pénétration
- 3) Utilisation de l'électrode  $d=4\text{mm}$  après préchauffage à 150 °C pour remplissage branchée à la polarité (+)
- 4) Suite de la soudure entre gousset et tôle de la flèche

**NB :**

Les Cordons de pénétration et de remplissage entre fourreau et gousset se font simultanément (2 soudeurs en positions opposées)

La mise en place et le soudage des goussets suivent l'ordre suivant :



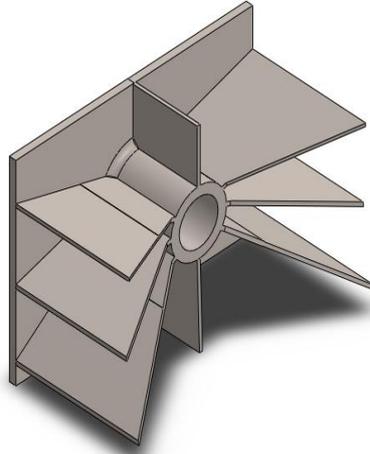
*Figure 56 : procédure de soudage*

• Conclusion

Pour résoudre le problème de fissuration du fourreau inférieur du Padlock de la dragline M8400, nous avons opté à deux solutions :

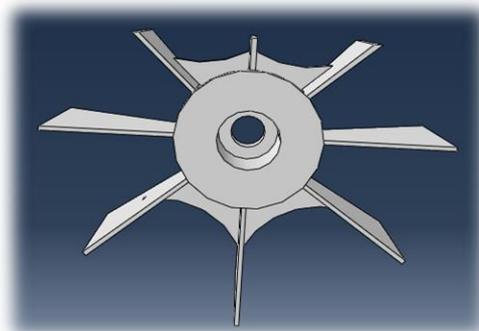
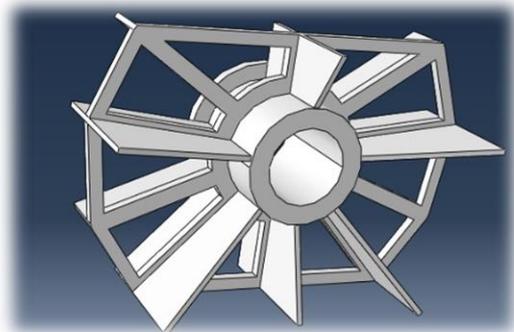
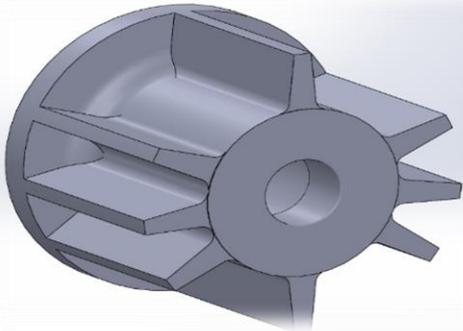
▪ **Solution à court terme :**

Changement du fourreau avec même conception et respect du mode opératoire d'alignement et de soudage avec assistance des experts.



▪ **Solution à moyen terme :**

Changement du fourreau avec géométrie améliorée et respect du mode opératoire d'alignement et de soudage avec assistance des experts.





# Conclusion générale

Le présent travail effectué au sein de l'Office Chérifien des Phosphates de Khouribga, dont le contexte général se focalise sur la résolution du problème de fissuration du fourreau de Pad-lock et permettre ainsi d'augmenter la durée de service du fourreau inférieur et par suite augmenter la production.

L'étude, qui a été mise en évidence, a traité les points suivants :

- Etude critique par la méthode **TDPC**, des machines de service dragline et sondeuse pour relever les machines les plus importantes dans ce service. Notre étude de classification a révélé que la machine la 8400M et un équipement très critique dont la disponibilité est régressée pendant ces trois dernières années. Pour remédier à ce problème, nous avons analysé, à l'aide du diagramme **Pareto**, les arrêts de la machine durant les 3 dernières années ce qui a permis de constater que le système Pad-lock est le plus vénérable de cette machine.
- Instauration de la démarche de résolution de problème en analysant la situation existante ainsi que la vérification de la conception et du montage actuel sous le logiciel **SOLIDWORKS** pour localiser les positionnements des fissures afin de déterminer les causes majeures de ce problème.
- Ensuite, nous avons proposé trois solutions pour le problème de fissuration du fourreau, tel que :

- ✓ La reconception d'un nouveau fourreau de la dragline 8400M

Nous avons proposé trois nouvelles géométries du fourreau sous le logiciel **ABAQUS** en suivant la démarche de l'analyse statique (étude par éléments finis)

- ✓ La description du mode opératoire d'alignement

Pour lutter contre la répartition non uniforme des contraintes, nous avons réalisé un mode opératoire de l'alignement de l'arbre porteur du PAD - LOCK

- ✓ L'élaboration du mode opératoire de soudage

Vers la fin nous avons élaboré un mode opératoire de soudage tout en suivant une norme anglaise BWRA en calculant tous les paramètres nécessaires à savoir le carbone équivalent, l'indice de sévérité thermique et l'indice de soudabilité pour respecter les normes de soudage du fourreau.



## Annexe :

✓ ANNEXE 1 : feuille de classification (LA LIEBHERR-4)

Classification	No	Item	Critères	Évaluation
<b>Temps de Réparation (T)</b>	1	Arrêts moyens (MTTR)	<1h = 5 1h < MTTR < 2h = 10 2h < MTTR < 4h = 15 4h < MTTR < 8h = 20 > 8h = 30	<b>20</b>
<b>Facteur d'influence (D)</b>	2	Utilisation de l'équipement (Heures de Marche)	HM < 3600h = 1 3600h < HM < 4200h = 2 4200h < HM < 4800h = 3 4800h < HM < 5400h = 4 5400h < HM < 6000h = 5	<b>3</b>
	3	Impact sur la Qualité produit	Important = 6 Moyen = 3 Faible = 2 Sans effet = 1	<b>2</b>
	4	Perte d'énergie	Important = 6 Moyen = 3 Faible = 2 Sans effet = 1	<b>2</b>
	5	Aspect sécurité de l'anomalie	Très fort risque pour le personnel = 5, Moyen = 3 Faible = 2 sans risque = 1 Obligation de contrôle légal +5	<b>5</b>
<b>Facteur d'influence (D)</b>	6	Aspect environnement de l'anomalie	Fort impact = 5, Moyen = 3 Faible impact = 2 Sans effet = 1	<b>3</b>
	7	Fréquence des pannes	Supérieur à 4 par mois = 35 Entre 1 et 4 par mois = 20 Inférieur à 1 par mois = 5	<b>5</b>
<b>Probabilité de Panne (P)</b>	8	Criticité de l'équipement en fonction des arrêts de production	20 40 60 (Voir matrice de cotation) 80 100	<b>80</b>
<b>Évaluation Totale</b>				<b>141</b>



✓ ANNEXE 2 : feuille de classification (KOM PC5)

Classification	No	Item	Critères	Évaluation
<b>Temps de Réparation (T)</b>	1	Arrêts moyen (MTTR)	<1h = 5 1h <MTTR <2h = 10 2h <MTTR <4h = 15 4h <MTTR <8h = 20 > 8h = 30	<b>15</b>
<b>Facteur d'influence (D)</b>	2	Utilisation de l'équipement (Heures de Marche)	HM < 3600h = 1 3600h < HM < 4200h = 2 4200h < HM < 4800h = 3 4800h < HM < 5400h = 4 5400h < HM < 6000h = 5	<b>3</b>
	3	Impact sur la Qualité produit	Important = 6 Moyen = 3 Faible = 2 Sans effet = 1	<b>2</b>
	4	Perte d'énergie	Important = 6 Moyen = 3 Faible = 2 Sans effet = 1	<b>2</b>
	5	Aspect sécurité de l'anomalie	Très fort risque pour le personnel = 5, Moyen = 3 Faible = 2 sans risque = 1 Obligation de contrôle légal +5	<b>5</b>
	6	Aspect environnement de l'anomalie	Fort impact = 5, Moyen = 3 Faible impact = 2 Sans effet = 1	<b>3</b>
<b>Probabilité de Panne (P)</b>	7	Fréquence des pannes	Supérieur à 4 par mois = 35 Entre 1 et 4 par mois = 20 Inférieur à 1 par mois = 5	<b>20</b>
<b>Criticité de l'équipement (C)</b>	8	Criticité de l'équipement en fonction des arrêts de production	20 40 60 (Voir matrice de cotation) 80 100	<b>80</b>
<b>Évaluation Totale</b>				<b>151</b>