



## RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

**Diplôme de Master Sciences et Techniques**  
**Spécialité : Génie Mécanique et Productique**

**Thème :**

***Etude critique et amélioration du freinage du système de levage de la dragline 200B***

*Présenté par :*

**ISMAILI Mohammed**

**ELHJOUJI Yassine**

*Encadré par :*

- Pr. SEDDOUKI Abbass, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès
- Mr. IKHRICHI AISSAM, Encadrant de la société.

*Effectué à : OCP Khouribga*

*Soutenu le :16/06/2017*

**Devant le jury :**

• Pr. A. SEDDOUKI	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr. A. EL HAKIMI	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr. A. EL KHALFI	Faculté des Sciences et Techniques de Fès

**Année Universitaire : 2016-2017**

## DEDICACES

***A Dieu,***

*A Allah, le clément et miséricordieux, pour la force qu'il nous donne, et qu'il donne aux personnes qui nous ont aidées et soutenues. Notre Dieu merci pour tout ce qui nous arrive dans notre vie.*

***A nos chers parents,***

*Notre amour pour vous n'a pas de limite, vous nous avez toujours encouragés à donner le meilleur de nous-même. Puisse Dieu vous donner longue vie pleine de santé pour que nous puissions vous comblez à notre tour.*

***A nos frères et sœurs,***

***A toute notre famille et à tous nos amis,***

*Que ce travail soit l'aboutissement de votre soutien et de votre encouragement.*

## REMERCIEMENT

Il nous est agréable de nous acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes qui nous ont soutenu et qui ont contribué à la réussite de ce projet de fin d'études.

Au terme de ce travail qui nous permet d'exprimer nos profonds remerciements à la direction du Groupe Office Chérifien des Phosphates de nous avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage. Que ce travail soit le témoignage de notre considération et notre profond respect.

Nous avons le plaisir de remercier notre encadrant de ce travail au Groupe OCP, **Monsieur Aissam IKHRICHI** ingénieur responsable de la maintenance dans l'atelier dragline au site MEA au Groupe OCP, de nous avoir fait confiance et nous avoir proposé un sujet aussi intéressant. Pour ses conseils, ses directives, et sa disponibilité tout au long de la période du stage.

Ainsi, nous tenons à remercier particulièrement notre encadrant de FST de Fès, **Monsieur Abbas SEDDOUKI**, à qui nous exprimons notre profonde gratitude pour l'intérêt qui a porté à ce travail durant toute la période du stage.

Nous tenons à remercier aussi le chef d'atelier Dragline **Monsieur Abdelkrim BEN ZAHRA** pour ses conseils, son savoir-faire et sa disponibilité tout au long de la période du stage.

Sans oublier, l'ensemble du personnel travaillant dans l'atelier dragline, qui ont été toujours à notre service avec leurs conseils et leurs savoir-faire et qui ont veillé à la poursuite de notre stage dans les meilleures conditions afin de réaliser ce projet.

A la fin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet.

## RESUME

Ce projet avait comme mandat la résolution de problème de freinage d'un système de levage d'une Dragline 200B en ajoutant un frein Auxiliaire pour assurer le freinage du système de levage Ce frein auxiliaire a pour but le freinage de l'arbre de treuil.

Pour se faire, une recherche sur les types existants des freins a été effectuée afin de s'inspirer pour modéliser des nouveaux concepts. Ces derniers qui vont être présentés sous forme de trois solutions pour le freinage.

Finalement une solution a été choisie pour le freinage du système de levage par l'utilisation de la méthode de tableau multicritères. Il s'agit de 4 freins à disque montés dans un bâti. Une étude approfondie sur cette solution a été réalisée afin de le développer et le dimensionner, suivie par une analyse de coût pour l'ensemble de la solution finale.

Ce projet a été une expérience très enrichissante non seulement sur le plan personnel mais aussi sur le plan technique qui a permis de découvrir des méthodes utilisées en pratique.

En outre, l'accomplissement de ce travail a été une occasion pour nous d'améliorer des connaissances techniques dans le domaine de freinage, de résistances des matériaux, et l'utilisation de certains logiciels industriels tels que FluideSim, SolidWorks et ANSYS.

# SOMMAIRE

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

I.	Présentation du groupe O.C.P :	13
1.	Historique :	13
2.	Statut juridique de l'OCP :	14
3.	Rôle et activités :	14
4.	Filiales :	14
5.	Organigramme de l'OCP :	15
II.	Les étapes d'extraction de phosphate :	15
1.	FORATION :	15
2.	SAUTAGE :	16
3.	DECAPAGE :	16
4.	DEFRUITAGE :	17
5.	TRANSPORT :	17
III.	Présentation du site Khouribga :	18
1.	Situation des gisements et mines de Khouribga :	19
2.	Présentation du service 327 :	19
i.	Mission du service (327) :	20
ii.	L'organigramme du service 327 :	20
iii.	Mission de chaque section :	21
iv.	Typologie De communication du service 327 :	23
3.	Les différentes formes de maintenances appliquées au service 327 :	23
i.	Maintenance systématique :	23
ii.	Maintenance corrective :	24
iii.	Maintenance conditionnelle :	24
4.	Parc machine de notre atelier :	25

## Chapitre 2 : Présentation de la machine 200 B

I.	Description de la machine 200B :	27
1.	Présentation :	27
2.	Structure de la machine :	28
3.	Alimentation de la machine :	30
II.	Décomposition fonctionnelle de la 200B :	31

1. Groupe Ward Leonard.....	31
2. Système de Levage :.....	32
3. Système de drague :.....	32
4. Système de translation.....	33
5. Système d'orientation.....	33
6. Système d'alimentation.....	33
7. Auxiliaires.....	33
8. Armoire de régulation.....	33

### Chapitre 3 : Etude critique du Système de Levage

I. Description du Système de Levage :.....	36
1. Les composants du système de Levage :.....	36
i. Moteur :.....	36
ii. Accouplement.....	37
iii. Réducteur :.....	38
iv. Treuil :.....	38
v. Virole de treuil :.....	39
vi. Frein Airflex :.....	39
2. Le fonctionnement du système de Levage :.....	40
II. Analyse fonctionnelle de Système de levage :.....	41
1. Bête à cornes du système de levage :.....	41
2. Diagramme pieuvre du système de levage :.....	41
3. Diagramme F.A.S.T du système de levage :.....	43
III. Présentation du Problème :.....	44
1. La modification du système de levage :.....	44
2. Les conséquences de la modification :.....	44
3. Objectifs généraux et spécifiques du projet :.....	45
i. Méthodologie utilisée :.....	45
ii. Cahier des charges et des spectres de conception :.....	45
IV. Analyse fonctionnelle de Frein Auxiliaire :.....	46
1. Bête à cornes du Frein Auxiliaire :.....	46
2. Diagramme pieuvre du Frein Auxiliaire :.....	46
V. Etude de Système de Levage :.....	48
1. Calcul de Force F appliqué par le godet sur le Treuil :.....	48

2. Calcul de couple de freinage de l'arbre de treuil : ..... 55

## Chapitre 4 : Proposition Des Solutions

I. Freins : ..... 57

1. Fonction : ..... 57

2. Constitution schématique d'un frein : ..... 57

3. Classification : ..... 58

II. Les Solutions Proposés : ..... 60

1. Solution 1 : Freinage de l'arbre de treuil par un frein Airflex. .... 60

2. Solution 2 : freinage de Treuil par un frein disque : ..... 61

3. Solution 3 : freinage de Treuil par un frein à bande : ..... 62

III. Choix de Solution : ..... 63

4. Hiérarchiser les critères : ..... 63

5. Définir une échelle de notes. .... 63

6. Le choix de solution : ..... 64

## Chapitre 5 : Développement de la solution adopté

I. Description de la Solution Finale ..... 66

1. Les éléments de Frein à disque : ..... 66

i. Plaquettes de frein : ..... 66

ii. Etrier : ..... 67

iii. Disque (Rotor) : ..... 67

II. Choix de frein à disque : ..... 68

1. Type de Frein ..... 68

2. Couple de freinage : ..... 69

3. Dimensions : ..... 70

i. L'espace vide dans la machine : ..... 70

ii. Dimension de système de freinage ..... 71

iii. Conclusion : ..... 72

4. Energie : ..... 72

5. Choix finals de Frein : ..... 73

III. Commande de système : ..... 75

1. Les éléments de circuit de commande pneumatique : ..... 75

i. Les Filtres à air(FRL) ..... 75

ii. Le régulateur (détendeur / mano-détendeur) ..... 76

iii. Le lubrificateur :.....	77
2. Fonctionnement du circuit :.....	78
IV. Étude économique .....	79
1. Le coût des éléments standards.....	79
2. Le coût de la matière première :.....	80
3. Le coût de la main d'ouvre et machine de l'atelier.....	80
4. Le coût total de projet.....	80

## Chapitre 6 : Etude Analytique de la Solution Sur ANSYS

I. Simulation du problème en ANSYS .....	82
5. Création du modèle sur ANSYS Workbench :.....	83
6. Choix du maillage : .....	83
7. Détermination de la pression de contact :.....	85
8. Modélisation du modèle de contact de frein à disque :.....	86
9. Modélisation du chargement et des conditions aux limites.....	86
i. Conditions aux limites appliquées au disque .....	86
ii. Conditions aux limites et chargement appliquées aux plaquettes .....	86
10. Lancement de calcul :.....	87
II. Résultats de calcul mécanique et discussions .....	88
1. Maillage du modèle.....	88
2. La déformée totale.....	89
3. Contraintes équivalentes de Von Mises.....	90
4. Etude de la convergence .....	91



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Début des exploitations des phosphates en 1920 .....	13
Figure 2 : Organigramme de l'OCP .....	15
Figure 3 : Opération de foration par une sondeuse.....	16
Figure 4 : le sautage par explosion.....	16
Figure 5 : Décapage par dragline 7900.....	17
Figure 6 : Opération de Défruitage .....	17
Figure 7 : Convoyeur .....	18
Figure 8 : Situation des gisements et mines de Khouribga .....	19
Figure 9 : le service 327(Atelier Dragline) .....	19
Figure 10 : Organigramme du service 327 .....	20
Figure 11 : Typologie De Communication Service 327.....	23
Figure 12 : Image de dragline 200B.....	27
Figure 13 : image de dragline 200B.....	28
Figure 14 : Vue interne de la partie interne .....	29
Figure 15 : les Chenilles de dragline 200B.....	30
Figure 16 : Vue générale du PSF13.....	30
Figure 17 : Groupe Ward Leonard.....	31
Figure 18 : schéma representatif de Dragline 200B.....	35
Figure 19 : Système de Levage .....	36
Figure 20 : Moteur.....	36
Figure 21 : Accouplement .....	37
Figure 22 : Réducteur .....	38
Figure 23 : Treuil.....	38
Figure 24 : Virole de treuil.....	39
Figure 25 : Frein Airflex .....	39
Figure 26 : Schéma représentatif de Système de Levage .....	40
Figure 28 : Système de levage avant modification .....	44
Figure 28 : Système de levage après modification .....	44
Figure 29 : Schéma de force appliquée par le godet sur le treuil .....	48

Figure 30 : Eléments de transmission lors du freinage .....	57
Figure 31 : Eléments de Frein à disque et Frein à Tambour .....	58
Figure 32 : freinage de l'arbre de Treuil par frein Airflex .....	60
Figure 33 : freinage de l'arbre de Treuil par frein à disque .....	61
Figure 34 : Freinage de treuil par frein à bande.....	62
Figure 35 : les éléments de frein à bandes .....	62
Figure 36 : Frein à disque .....	66
Figure 37 : Plaquette de frein.....	67
Figure 38 : Etrier de frein .....	67
Figure 39 : Disque de frein .....	68
Figure 40 : dimension des freins .....	71
Figure 41 : L'installation pneumatique dans la machine Dragline 200B.....	72
Figure 42 : Montage des freins sur le système de freinage .....	73
Figure 43 : Vue de face des freins monter sur le système de freinage.....	74
Figure 44 : circuit pneumatique des freins .....	78
Figure 45 : Création de modèle sur ANSYS WB16.....	83
Figure 46 : Élément tétraèdre quadratique iso paramétrique de 10 nœuds .....	84
Figure 47 : maillage de disque.....	84
Figure 48 : maillage de plaquette de frein .....	84
Figure 50 : 1 surface d'Air = 0.03 m <sup>2</sup> .....	85
Figure 50 : 1 Corps volume=2,7828e-004 m <sup>3</sup> .....	85
Figure 51 : Modèle FE d'un ensemble disque-plaquettes.....	85
Figure 52 : Conditions aux limites et chargement imposées au disque-plaquettes.....	87
Figure 53 : Maillage volumique du disque et plaquettes (Nœuds 16608, Eléments 7820).....	88
Figure 54 : variation de déformation totale du modèle .....	89
Figure 55 : Déformation totale du disque à t=10s .....	89
Figure 56 : Déformation totale de la plaquette intérieure à t=10s .....	89
Figure 57 : Distribution des contraintes de Von Mises dans le modèle disque-plaquette.....	90

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Parc machine d'atelier Dragline .....	25
Tableau 2 : Les caractéristiques des moteurs et des génératrices .....	32
Tableau 3 : Caractéristique du moteur .....	37
Tableau 4 : Caractéristique d'Accouplement .....	37
Tableau 5 : cahier des charges fonctionnel.....	42
Tableau 5 : cahier des charges fonctionnel.....	47
Tableau 6 : Classification des freins .....	59
Tableau 7 : Offre des prix .....	79
Tableau 8 : Coût total .....	80
Tableau 9 : Tableau des caractéristiques mécaniques des deux pièces .....	83
Tableau 10 : Caractéristiques de conception des deux pièces. ....	83
Tableau 11 : Résultats d'un maillage .....	86

# 1

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

Nous commençons par une présentation générale du groupe OCP, tout en donnant une vue sur son organisation, son historique, ainsi que son secteur d'activité.

## I. Présentation du groupe O.C.P. :

### Introduction

L'exploitation des phosphates marocains est confiée, dans le cadre d'un monopole d'État, dès 1920 à l'Office Chérifien des Phosphates, devenu Groupe OCP en 1975 et Société Anonyme le 22 janvier 2008. L'activité d'extraction et de traitement a démarré à BOUJNIBA, dans la région de Khouribga le 1er mars 1921. En 1965, avec la mise en service de Maroc Chimie à Safi, le Groupe devient également exportateur de produits dérivés. En 1998, il franchit une nouvelle étape en lançant la fabrication et l'exportation d'acide phosphorique purifié.

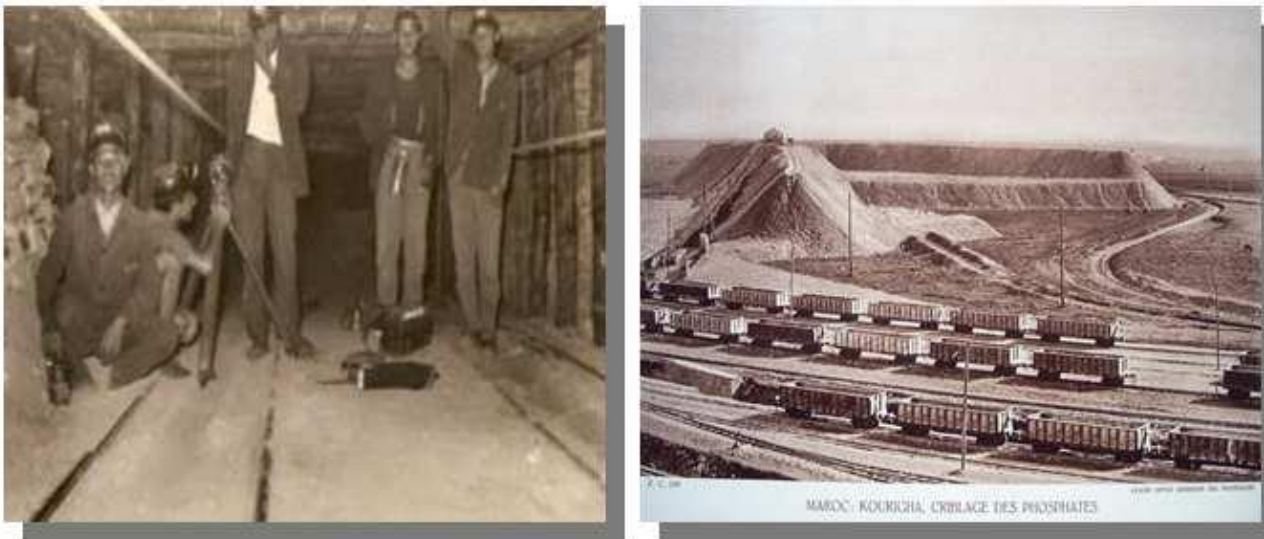


Figure 1 : Début des exploitations des phosphates en 1920

#### 1. Historique :

Le groupe Office Chérifien des Phosphates, fut créé par le Dahir du 07 août 1920 qui réservait à l'Etat du Maroc les droits de recherche, d'exploitation et de commercialisation du phosphate afin d'éviter que les richesses ne tombent aux mains des organismes privées.

La production géologique qui a commencé vers 1908, a relevé les premiers indices des phosphates au Maroc en 1921 dans la région d'Ouled Abdoun de Khouribga. L'exploitation effective du phosphate marocain fut entreprise à partir de février de la même année dans la région de Oued-Zem sur le gisement d'Ouled Abdoun.

La mise en exploitation d'un nouveau gisement à Youssoufia dans la région de Gant Our à 80 Km de Safi ou la teneur de phosphate est de 70 BPL est bien inférieure à celle du phosphate de Khouribga mais elle reste supérieure à celle des gisements exploités dans les autres pays.

En 1929, les demandes du phosphate marocain ont connu un brusque abaissement à cause de la crise mondiale économique qui demeura jusqu'à la seconde guerre mondiale. En effet en 1939 la guerre commença et les relations commerciales avec un grand nombre de pays furent

rompues. Après, la restriction du secteur agricole des pays européens exige à des qualités croissantes d'engrais et les exploitations de l'OCP repartent en flèche.

### 2. Statut juridique de l'OCP :

L'OCP a été constitué sous forme d'un organisme d'état, mais étant donné le caractère de ses activités commerciales et industrielles.

L'OCP fonctionnant comme une société dont le seul actionnaire est l'Etat marocaine, est dirigé par le directeur général nommé par un Dahir. Le contrôle est exercé par un conseil d'administration qui représente l'intérêt de la Nation.

Le personnel OCP est régi par un statut du mineur du premier juillet 1964. Ce statut a été élaboré en conformité avec le Dahir 60-007 du 24 décembre 1960, portant le statut du personnel des entreprises minières. Les ingénieurs et assimilée (hors cadre) sont régis par un statut particulier. Les structures actuelles ont été définies par l'OS (Organisation Sociale) no 716 du premier janvier 1917.

### 3. Rôle et activités :

La mission du groupe OCP est centrée principalement sur la production, la valorisation des phosphates minéraux, la transformation chimique à travers des filiales intégrées et la commercialisation des produits phosphatés et leurs produits dérivés (acide phosphorique ou sous forme d'engrais)

### 4. Filiales :

Dans le but de répondre aux besoins d'étude et de présentations liées à l'exploitation et au développement, le groupe OCP dispose d'entités spécialisées notamment :

- ❖ **CERPPOS** (centre d'étude de recherche des phosphates minéraux), doté de laboratoire et d'études d'essais pilotes.
- ❖ **FERTIMA** : (société marocaine des fertilisants), opérant dans le secteur de l'approvisionnement du pays en engrais du Maroc chimie et d'importations. Cette société est prévue d'être privatisée, déjà 30% de sa capitale sont introduit en bourse.
- ❖ **MARPHOCEAN** : entreprise maritime spécialisée en particuliers dans le transport de l'acide phosphorique.
- ❖ **STAR** : (société de transport d'affrètements réunis), travaillant dans le domaine du courtage des affrètements maritimes.
- ❖ **SOTREG** (société de transports régionaux), chargé du transport du personnel du groupe OCP.
- ❖ **IPSE** : institut de promotion socio-éducative.

## 5. Organigramme de l'OCP :

Le groupe OCP présente une firme à organisation hiérarchique très organisée dont l'organigramme est le suivant :

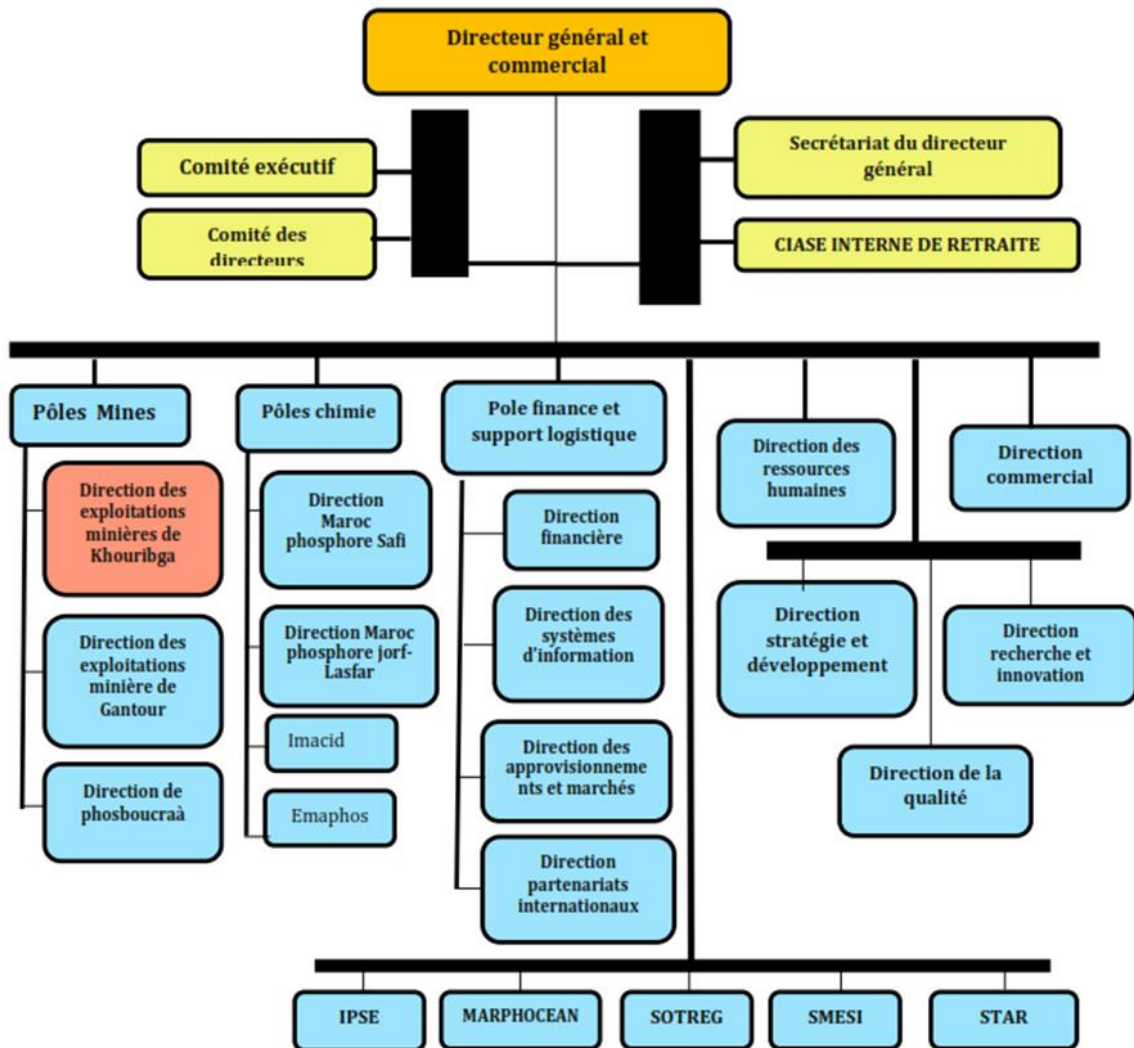


Figure 2 : Organigramme de l'OCP

## II. Les étapes d'extraction de phosphate :

### 1. FORATION :

Il s'agit de créer des trous de profondeur qui atteignent le niveau de la couche phosphate à exploiter. Ça se fait à l'aide des machines sondeuses électriques de type (45R et PV) sur chenille, ou diesel sur pneus (T4BH). Le choix de ce diamètre est justifié par l'avance surfacique importante qu'il offre, la réduction du coût de FORATION et l'amélioration du rendement de l'explosif.



Figure 3 : Opération de foration par une sondeuse

## 2. SAUTAGE :

Cette opération consiste à mettre l'explosif dans les trous de foration et procéder au tir. L'explosif utilisé dans les mines à ciel ouvert de KHOURIBGA est l'Amonix composé de nitrate d'ammonium 94% et de fuel 6%.



Figure 4 : le sautage par explosion

## 3. DECAPAGE

Le décapage sert à enlever les morts terrains pour découvrir les couches phosphatées. On distingue plusieurs modes de décapage suivant la hauteur des recouvrements :

- ✓ Décapage par dragline pour les hauts recouvrements
- ✓ Décapage par bulldozers pour les bas recouvrements.
- ✓ Chargement et transport : en cas d'impossibilité de casement





Figure 5 : Décapage par dragline 7900

#### 4. DEFRUITAGE :

Il s'agit de prendre le fruit qui n'est que le phosphate. Les couches minces sont aménagées par les bulles puis chargées par des chargeuses, tandis que les couches épaisses chargées par les draglines.



Figure 6 : Opération de Défruitage

#### 5. TRANSPORT

Le transport est assuré par deux moyens :

- ✓ Les camions : Ces engins transportent le minerai du lieu d'extraction jusqu'aux trémies de l'installation d'épierreage, comme ils le transportent aussi aux stocks. Ils ont une capacité de 110 t et de 170 t.
- ✓ Les convoyeurs : ils assurent la liaison entre les stocks et les lieux d'épierreage, et entre les différents stocks.

L'affectation des camions aux machines obéit au principe qu'aucune machine (pelle ou dragline) ne soit en arrêt sauf en cas de panne en plus des paramètres suivants : Rendement des machines et camions (heurs continue de travail pour les machines et le nombre de voyage pour les camions), Cycle des machines et camions.



Figure 7 : Convoyeur

### III. Présentation du site Khouribga

Situé à 120 km au sud-est de Casablanca, Khouribga constitue la plus importante zone de production de phosphate du Groupe OCP. Le site minier compte actuellement quatre zones d'extraction : Daoui, Merah El Ahrach, Sidi Chennane et Lhlassa.

L'exploitation du site de Khouribga est importante en raison de caractéristiques géologiques favorables : faibles recouvrements, proximité aux sources d'eau : bassin d'oum rabiaa, nappes région Fkih Ben Salah, niveaux relativement riches en P2O1. La capacité de production s'élève à 59 millions de tonnes par an.

Le traitement du phosphate au niveau de la zone de Khouribga consiste à valoriser les qualités sources extraites par des processus de traitement appropriés. Les unités de traitement se situent entre Khouribga et Oued-Zem. Elles sont constituées d'une usine de séchage à Béni-Idir, d'une laverie à Daoui et d'un complexe de séchage à Oued-Zem.

## 1. Situation des gisements et mines de Khouribga

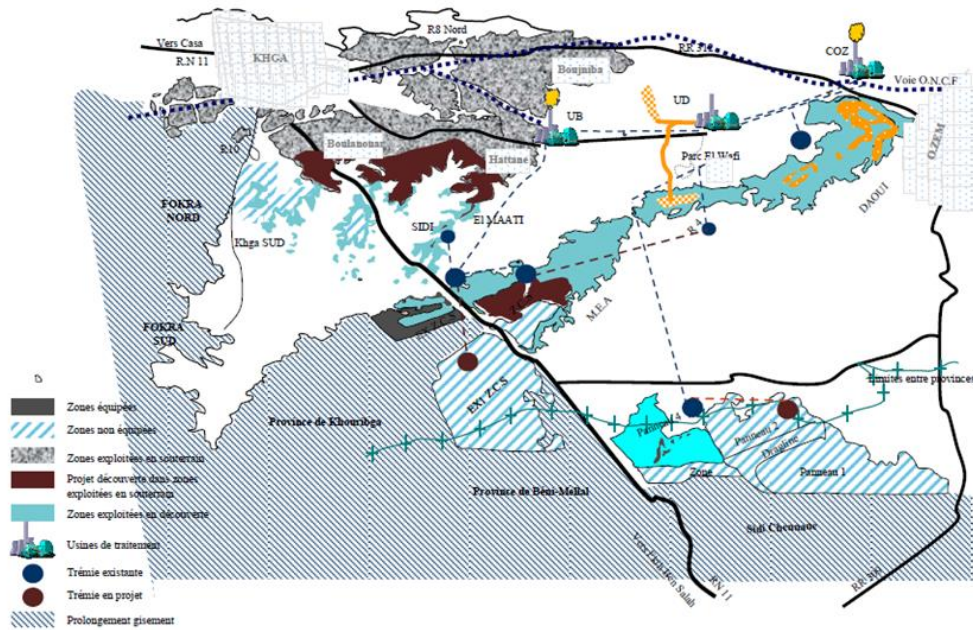


Figure 8 : Situation des gisements et mines de Khouribga

## 2. Présentation du service 327 :

Le secteur Merah el Ahrach accueille les services de maintenance tels que le service bulls et camions (325), le service (326), le service magasin (328), le service sous ensemble (329) et le service Parc 7900 (327) auquel on a effectué notre stage est le service draglines, sondeuses et pelle hydraulique.



Figure 9 : le service 327(Atelier Dragline)

i. Mission du service (327)

Le principal rôle de l'atelier draglines, sondeuses et pelle hydraulique est l'entretien et la réparation des machines et des sous-ensembles des machines.

L'activité du service PME / MEA, s'est soldée par un certain nombre de réalisation et l'amélioration visant l'amélioration de la disponibilité, de l'organisation du travail et de la sécurité tout en réduisant les coûts de la maintenance des machines.

En effet, parallèlement, aux activités quotidiennes le dépannage et entretien des machines, le service 327 a entrepris une campagne de révision partielles dans le but d'améliorer la fiabilité des systèmes critique.

ii. L'organigramme du service 327

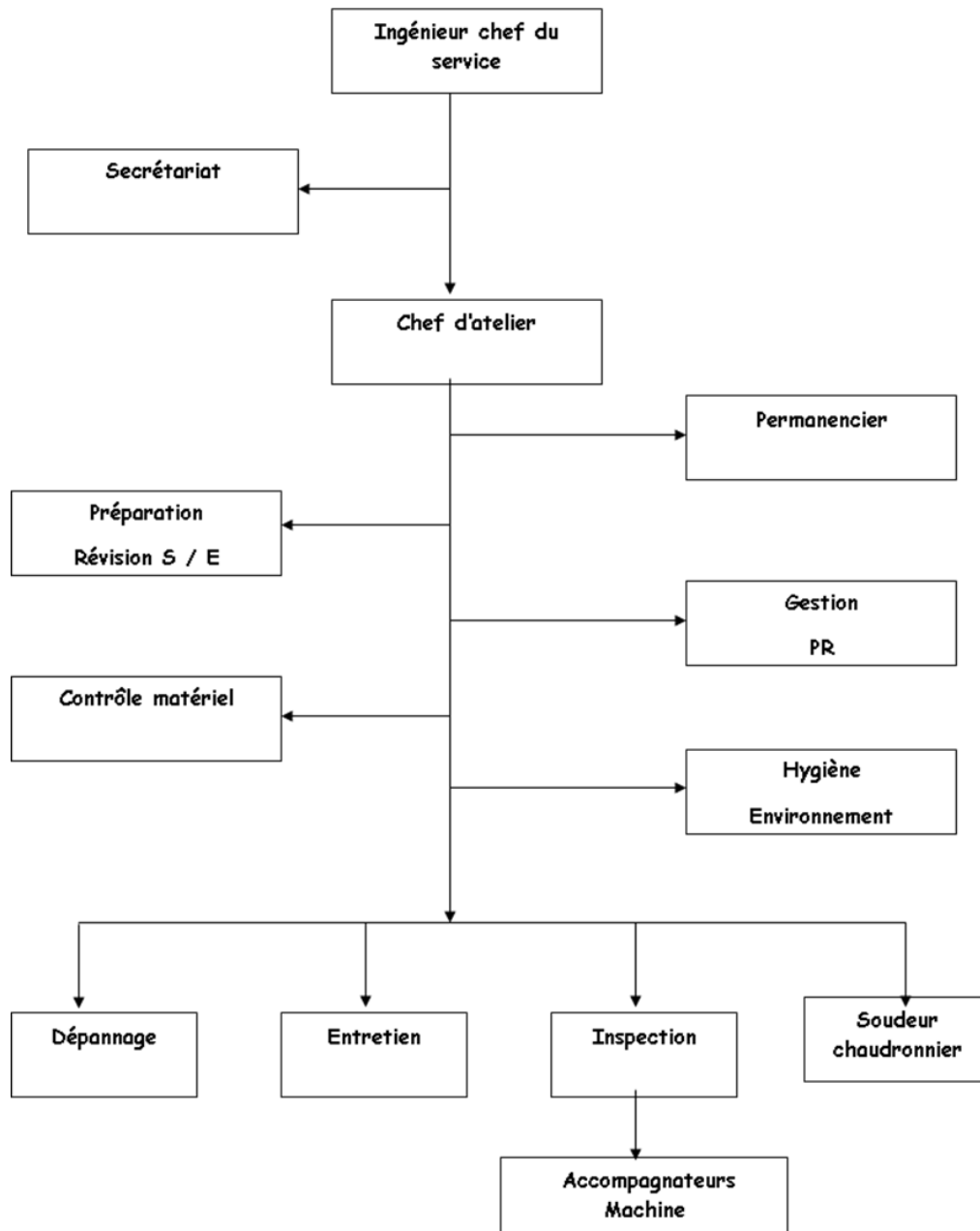


Figure 10 : Organigramme du service 327

iii. Mission de chaque section :

**✚ Section Secrétariat :**

Elle se charge de la gestion du personnel du service :

- Pointage OE/TAMCA/SMESSI
- Déroulement des postes
- Suivi des heures supplémentaires
- Prime de rendement mensuel
- Etat récapitulatif du pointage du personnel mensuel
- Tableau de travail de la semaine
  - Préparation
  - Dépannage
  - Accompagnateurs
- Planning de congé annuel

**✚ Section de pièce de rechange de service 327 de MEA a pour mission à :**

- Présenter une meilleure qualité de l'expression de besoin en pièce de rechange du matériel mécanique équipant la machine
- Définir la structure de consommation en pièce de rechange et les problèmes d'indispensabilité qui mène à la rupture de stock pour certain sous-ensemble névralgique.
- Déterminer la liste de pièce de rechange de chaque sous-ensemble et déduire les listes types correspond à différentes interventions retenues pour les équipements.
- Déterminer la typologie de consommation en se basant sur la politique de la maintenance à adopter.

**✚ Contrôle du matériel :**

Suivi du matériel du service ainsi que le magasin

**✚ Permanencier**

Cette section associe à un mécanicien et un électricien. Elle se charge d'enregistrer et renseigner l'équipe concernée (mécanique et électrique)

**✚ Section travaux de soudures et chaudronniers**

Les travaux effectués par cette section entrent dans les interventions de réparation, dépannage et entretien.

La mission de cette section se résume en trois tâches :

- La recharge des pièces usinées.
- Le perfectionnement des pièces de rechange et de modification
- L'accompagnement : dans la plupart des interventions, leur présence est indispensable pour certaine opération tel que soudage, coupe.

### **Inspection et mécanicien de bord**

L'inspection assure un contrôle continu de façon journalier (des tournées) de différents éléments de la machine : niveau d'huile, échauffement, usure.

Au cas où il y'a d'une dégradation, d'une anomalie ou d'une panne, il avise le service concerné pour prendre les décisions nécessaires.

L'inspecteur de la maintenance se charge aussi de remplir la fiche TPM qui aide à faire le suivie des heures de marche, nombre des anomalies et le rendement de la machine.

Alors que le mécanicien de bord se chargent de l'assistance permanente de la machine à travers :

- ✓ Nettoyage pendant les arrêts
- ✓ Graissage de la machine
- ✓ Détection des anomalies
- ✓ L'autorisation de déplacement de la machine.

### **Section entretien et dépannage**

Elles intéressent à la remise des équipements mécaniques en état de bon fonctionnement après une panne ou dont les anomalies détectées sont plus terminant en cas de panne ou d'une dégradation, l'équipe de dépannage ou d'entretien se déplacent immédiatement pour fonctionner les machines provisoirement ou définitivement.



Effectués selon des périodicités fixes préconisées par le constructeur ou améliorées par le service de maintenance et qui regroupe les travaux suivants :

- Nettoyage ;
- Lubrification ;
- Vidange d'huile ;
- Contrôle des flexibles ;
- Contrôle du niveau d'huile ;
- Serrage des boulons ;
- Contrôle des fissures et déformations

Ces opérations de maintenance systématique sont des standards appliqués par le mécanicien de bord ou une équipe d'intervention pour éviter la dégradation de la machine. En plus, on trouve des plannings des travaux élaborés par les inspecteurs du service.

➤ **La check-list :**

Ce sont des contrôles effectués après chaque entretien systématique pour différentes sections et comportent toutes les anomalies détectées dans la machine.

➤ **Les révisions générales :**

Après un cumul des heures de marches données, la machine est totalement révisée.

ii. **Maintenance corrective**

Elle est effectuée de deux manières :

- Le dépannage sur chantier dans le cas de petits problèmes qui ne dépassent pas une dizaine de minutes en raison de remise en état des organes défectueux.
- La réparation au niveau des ateliers ou au chantier par les équipes d'interventions spécialisées en vue d'une remise en état définitif.

iii. **Maintenance conditionnelle**

La maintenance conditionnelle est rencontrée en cas :

↻ Arrêt automatique du moteur thermique à cause :

- Chute de pression d'huile moteur thermique.
- Manque d'eau de refroidissement

↻ Mise en angle mini des pompes de travaux en cas de :

- Surchauffe du moteur thermique.
- Manque d'huile hydraulique.



4. Parc machine de notre atelier

Machines	Nombre	Fonction	Type
195M1	1	Décapage	Dragline
195M2	1		
7900M	1		
9W	1		
200B	1	Défruitage	
191M1	1	Défruitage	Pelle mécanique
191M2	1		
R994	1		
R9250	1		
PC3000-2	1		
PC3000-7	1		
37HR1	1	Foration	Sondeuses électriques
37HR2	1		
SK60-N°3	1		
SK60-N°4	1		
T4BH	1		
DML	1		
SKF11-N°3	1		
SKF11-N°4	1		

Tableau 1 : Parc machine d'atelier Dragline

# 2

## *Présentation de la machine 200 B*

Donner une vision sur les différentes parties de la machine Dragline 200B et son rôle dans le processus d'extraction du Phosphate.

## Introduction

Comme la dragline 200B est l'objet de notre projet de fin d'études, Dans ce chapitre nous allons présenter son fonctionnement, ses mouvements et son alimentation. Ensuite nous allons détailler la partie électrique à savoir le groupe Ward-Leonard et l'armoire de régulation tout en donnant une vue globale sur le principe de régulation des différents mouvements de la dragline 200B2.

### I. Description de la machine 200B :

#### 1. Présentation :

La dragline 200B est une machine de type Bucyrus ,elle fonctionne en drague et elle est destinée pour le défruitage, elle utilise plusieurs mouvements qui sont assurés par des moteurs à courant continu, et contrôlés par une boucle de régulation de type Ward-Leonard pour la variation du couple et la vitesse et un Amplistat pour la commande des gâchettes des thyristors

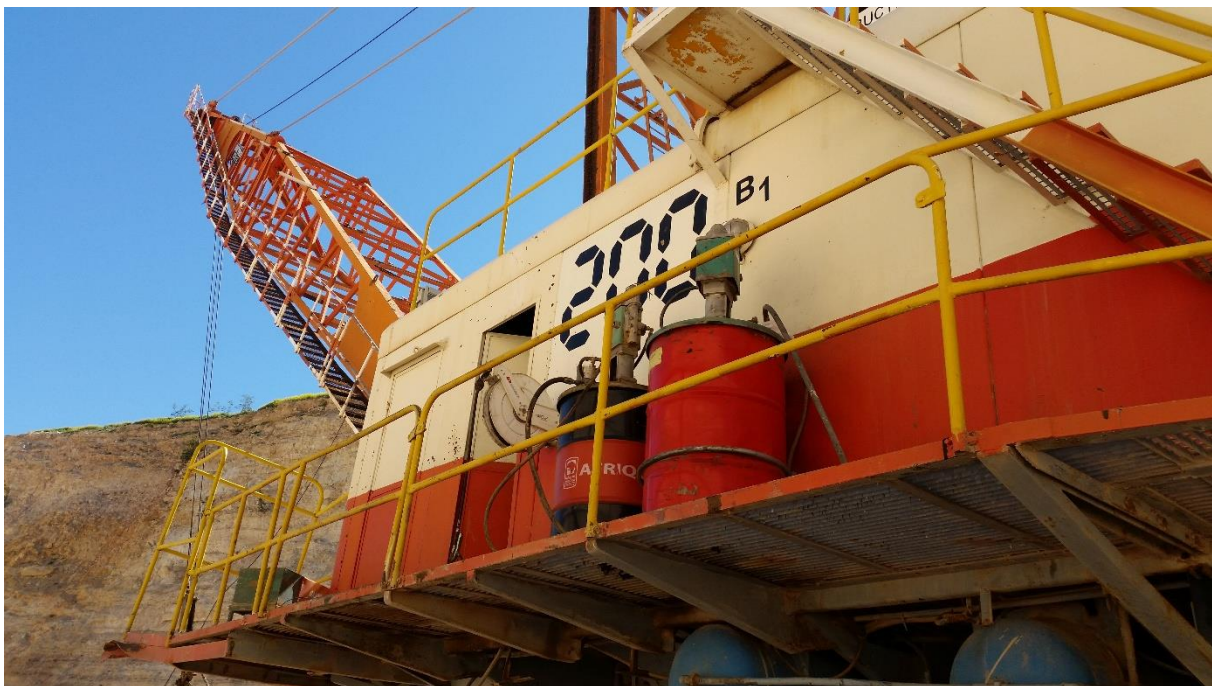


Figure 12 : Image de dragline 200B

Cette machine utilise le Groupe Ward Leonard est dotée de quatre mouvements principaux :

✓ **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 dragline dispose d'un moteur à courant continu appelé moteur de levage, qui entraîne le treuil de levage.

✓ **Mouvement de drague** : assure le chargement du godet en creusant des couches des terrains morts. Cette opération s'effectue à l'aide d'un moteur à courant continu, appelé de drague, qui entraîne le treuil de drague. Le retrait et le drague du godet sont assurés par un moteur à courant continu qui entraîne le tambour par l'intermédiaire d'un réducteur.

✓ **Mouvement de l'orientation** : se fait par deux moteurs à courant continu, la partie supérieure de la machine pivote sur la partie fixe à l'aide d'une couronne. La rotation se fait dans les deux sens avec un angle de 360°. Ce mouvement permet le positionnement du godet pour le chargement ou le déchargement dans les différents points de la tranchée d'exploitation.

✓ **Mouvement de translation** : ce mouvement assure le déplacement de la machine sur des chenilles, il se fait par le même moteur de drague. Le transfert drague-translation se fait par un système mécanique hydraulique commandé électriquement.

## 2. Structure de la machine :

La machine 200B2 est composée de deux parties comme le montre la figure 13 :



Figure 13 : image de dragline 200B

- **La superstructure (ou la plateforme tournante) :**

Elle peut pivoter d'un angle de 360° autour de l'axe de la machine. Elle comprend la salle de la machine où sont installés (fig. 6) :

- ❖ Les transformateurs ;
- ❖ Les armoires de commande ;
- ❖ L'armoire des auxiliaires ;
- ❖ Le groupe Ward léonard ;
- ❖ Les moteurs des mouvements ;
- ❖ Les auxiliaires assurant la ventilation, le pompage, etc.

Dans ce même compartiment, on trouve aussi les dispositifs de commande de l'éclairage intérieure et extérieure. La cabine de l'opérateur contient un superviseur, plusieurs panneaux de signalisation et deux manipulateurs (contrôleurs) pour piloter la machine.

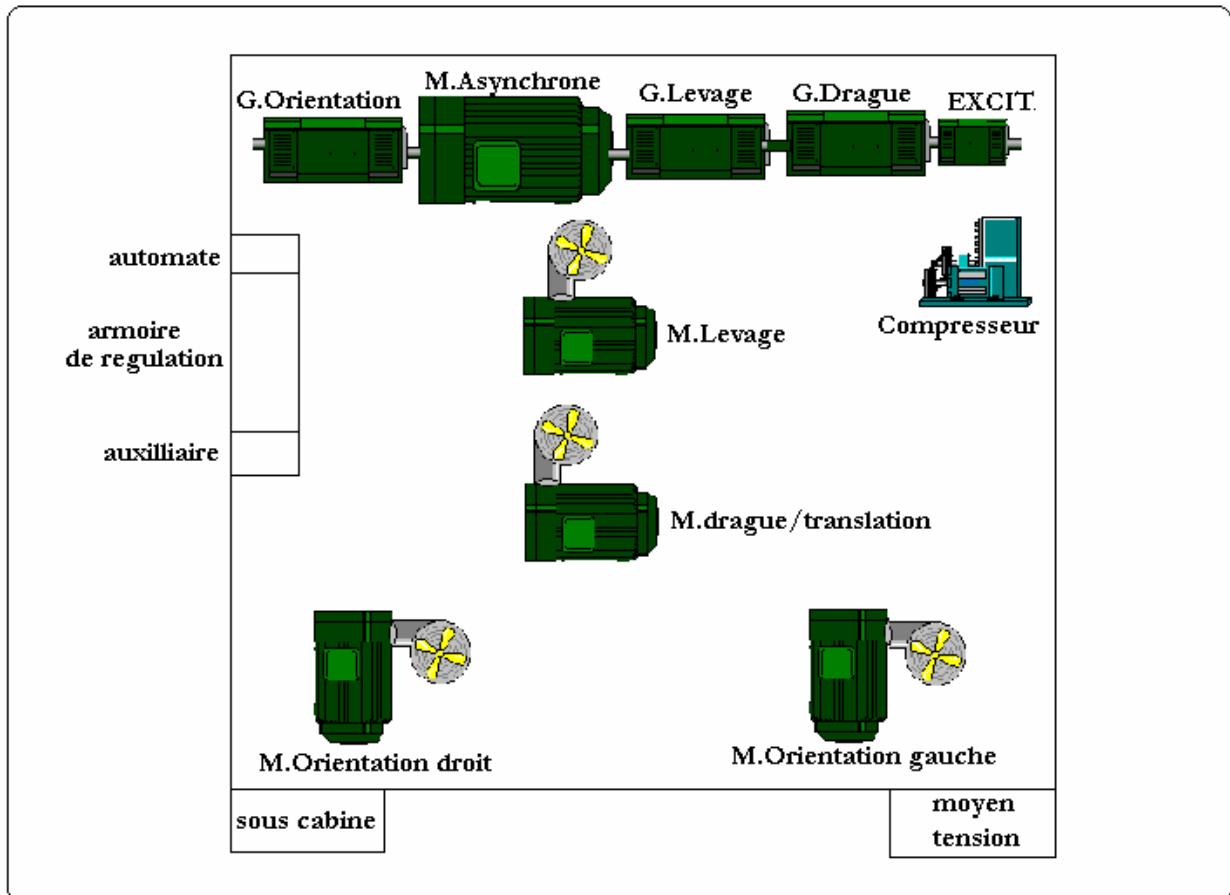


Figure 14 : Vue interne de la partie interne

- **L'infrastructure (plateforme fixe) :**

Elle supporte le poids de la plateforme tournante et assure la translation de la machine sur des chenilles (fig.15) et son orientation par la couronne d'orientation.



Figure 15 : les Chenilles de dragline 200B

### 3. Alimentation de la machine :

L'alimentation de la machine en énergie électrique est assurée par un poste semi fixe (PSF 60kV/5.5kV) sous la tension 5,5 kV.

#### ✓ Poste semi-fixe :

Le poste semi-fixe est un chariot mobile portant un transformateur avec son dispositif de protection et de mesure. Le transformateur du PSF a une puissance apparente de 2,5 MVA, trois départs et un système de refroidissement naturel assuré par des ailettes.

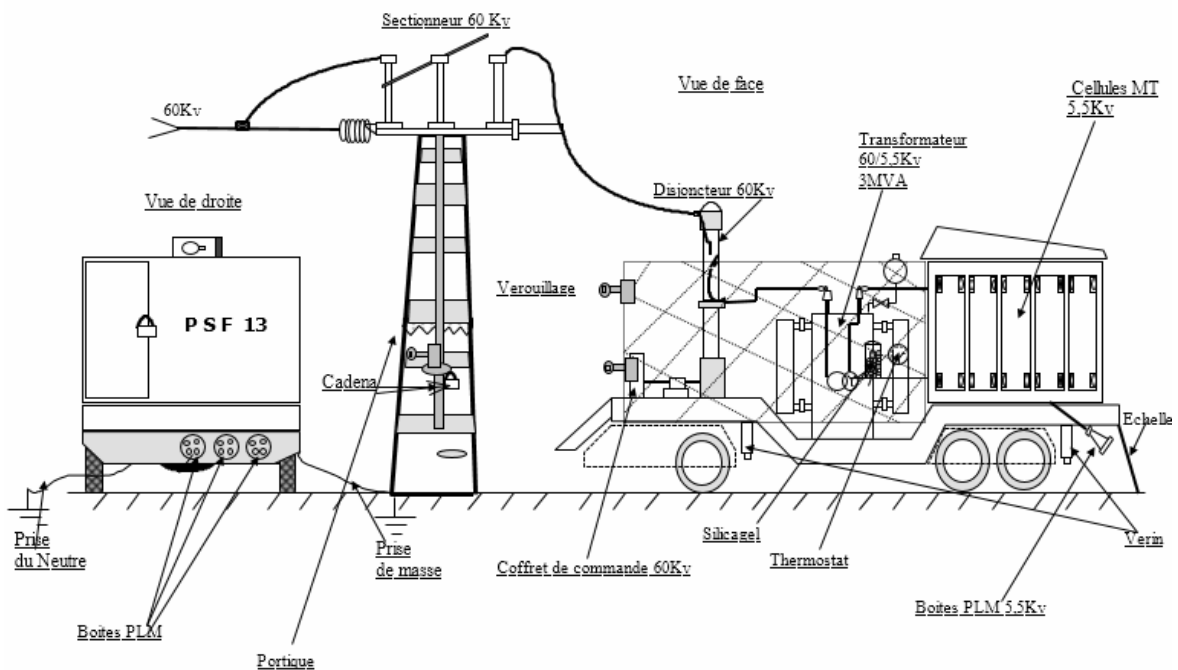


Figure 16 : Vue générale du PSF13

✓ **Câble 2/0 :**

Le câble 2/0 est un câble tripolaire sec à champ radial isolé Il comprend trois conducteurs de phase, deux fils de masse et un fil pilote non utilisé à la division

## II. Décomposition fonctionnelle de la 200B

L'amélioration de la performance de la dragline 200B2, nécessite tout d'abord une bonne compréhension de ses systèmes fonctionnels. Dans ce sens la machine peut être subdivisée en 8 systèmes :

### 1. Groupe Ward Leonard

La machine 200B utilise le principe de fonctionnement du groupe Ward Leonard :

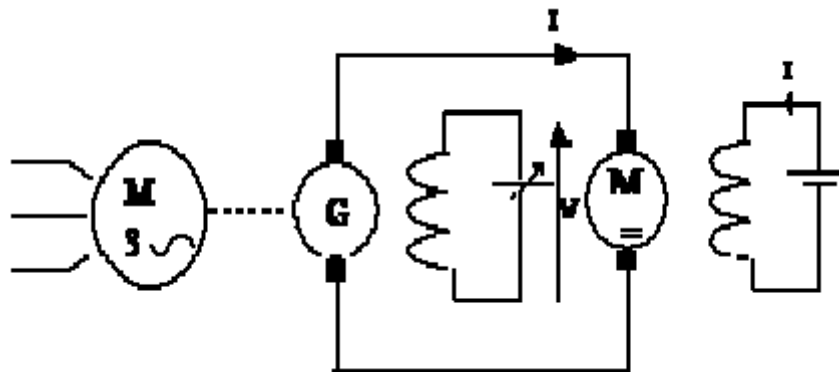


Figure 17 : Groupe Ward Leonard

Le Groupe Ward Leonard (fig.17) est un groupe composé d'un moteur asynchrone alimenté par une tension 5.5KV venant de la cellule MT de la machine qui entraîne à une vitesse pratiquement constante trois génératrices à courant continu qui alimentent les moteurs à courant continu des mouvements (levage, drague, translation et orientation), et une excitatrice qui est chargé d'alimenter les inducteurs de ces derniers.

Le tableau 2 indique les caractéristiques des moteurs et des génératrices du groupe Ward Leonard :

Désignation	Tension(V)	Courant(A)	Puissance	Vitesse (RPM)
Moteur Asynchrone	5500		600 HP	1500
Moteur Drague	475	1065	640 HP	820
Moteur Levage	475	1065	640 HP	820
Moteur orientation droit	475	225	130 HP	1125

Moteur orientation gauche	475	225	130 HP	1125
Génératrice Drague	475	1065	506 KW	1500
Génératrice Levage	475	1065	506 KW	1500
Génératrice Orientation	475	1065	506 KW	1500
Excitatrice	125	200	25 KW	1500

Tableau 2 : Les caractéristiques des moteurs et des génératrices

## 2. Système de Levage :

Les deux opérations « levage et descente » du godet permettant le chargement et déchargement sont effectuées par un ensemble de composants qui sont regroupés dans un système nommé le système de levage.

Les principaux sous organes de ce système sont :

- **Le treuil** : organe mécanique de forme cylindrique entraîné par un moteur à courant continu. Il dispose de deux sens de rotation, le 1<sup>er</sup> tend le câble et par conséquent effectuer l'opération de levage du godet et le 2<sup>ème</sup> le lâche pour effectuer la descente du godet ;
- **Le réducteur** : organe mécanique permettant de modifier le rapport de la vitesse entre son entrée qui est lié au moteur et sa sortie liée au treuil. Il dispose d'un facteur de réduction de vitesse, grâce à cette réduction on obtient en fin de compte un couple élevé qui nous permet de manipuler la charge efficacement ;
- **Freins** : dispositifs de freinage pneumatique ;
- **Les câbles de manutention** : sont des câbles spéciaux, permettant la transmission de mouvement entre le treuil et le godet ;
- **Le moteur à courant continu** : le système de levage contient 1 moteur à courant continu. Ce moteur assure la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique qui va permettre d'entraîner le treuil, ensuite tendre les câbles de manutention et enfin effectuer le mouvement levage.

## 3. Système de drague :

L'opération de drague a pour but le chargement du phosphate. Le système de drague comporte les mêmes organes que le système de levage. Les principaux organes sont :

- ✓ Le réducteur ;



- ✓ Le treuil ;
- ✓ Les câbles de manutention ;
- ✓ Le moteur à courant continu.

### 4. Système de translation

La dragline 200B2 est une machine qui se déplace via translation. Ce déplacement est assuré par deux grandes chenilles.

La translation et le dragage ont le même moteur, le passage d'un mouvement vers un autre est assuré par un embrayage.

### 5. Système d'orientation

Le système d'orientation permet le déplacement horizontal de la machine. Lorsqu'elle réalise le chargement d'une quantité du phosphate, elle effectue une orientation autour de sa base. Elle est composée essentiellement d'une couronne entraînée par deux moteurs à courant continu via des réducteurs.

### 6. Système d'alimentation

Le système d'alimentation interne se compose de :

- ✓ Circulaire ;
- ✓ Cellule MT : contenant les protections de la machine et les départs 5.5kV ;
- ✓ Les transformateurs MT/BT.

### 7. Auxiliaires

La machine 200B2 dispose également d'autres équipements auxiliaires à savoir :

- **Les soufflantes** : chaque Moteur de mouvement est équipé d'une soufflante entraînée par un moteur asynchrone. Le rôle principal des soufflantes est le refroidissement des moteurs
- **Le compresseur** : génère l'air comprimé pour commander les freins des moteurs de mouvements ;
- **Eclairage.**

### 8. Armoire de régulation

L'armoire de régulation dans la 200B2 constitue d'un système responsable de la régulation via des amplificateurs statiques (Amplistat). Le principe de fonctionnement des Amplistat sera détaillé dans ce qui suit.

L'armoire de régulation se compose essentiellement de : Thyristors, Amplistat et ponts redresseurs.

# 3

## *Etude critique du Système de Levage*

Dans ce chapitre nous allons étudier le système de levage du Dragline 200B, puis nous allons définir le problème général de projet.

## Introduction

Le service Dragline intervient dans la maintenance du parc matériel de la mine MERA. L'une de ces principales missions est de garantir une disponibilité de 90% et une fonction normale sans risque d'incident ou d'accident matériel.

En effet la dragline 200B rentre dans le périmètre d'intervention de service Dragline, elle enregistre une disponibilité d'environ 90% mais son système de levage représente un risque d'incident important surtout que son système de freinage s'avère mal positionné.

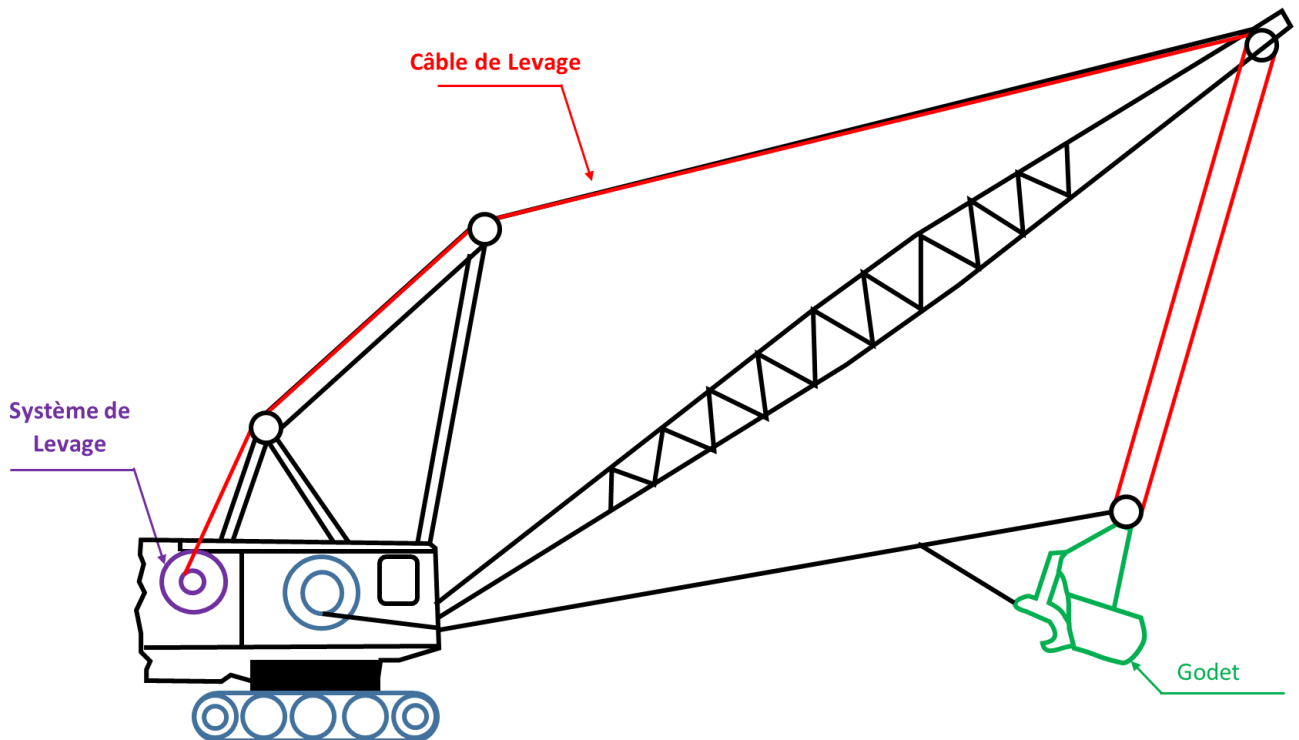


Figure 18 : Schema representatif de Dragline 200B

## I. Description du Système de Levage :

### 1. Les composants du système de Levage :

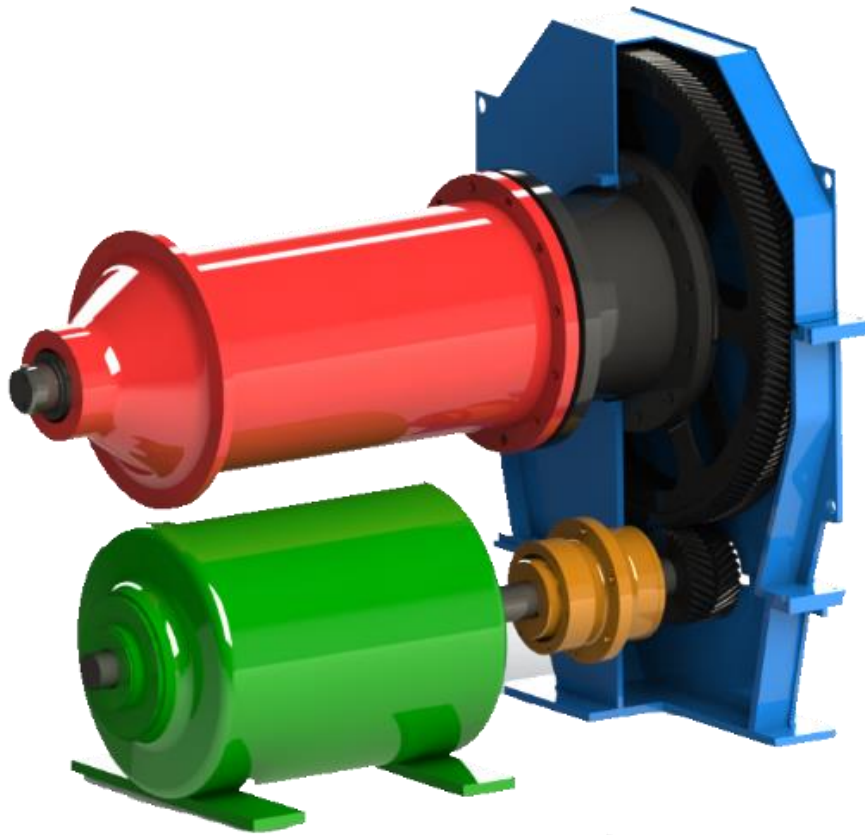


Figure 19 : Système de Levage

#### i. Moteur :

Le système de levage contient 1 moteur à courant continu. Ce moteur assure la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique qui va permettre d'entraîner le treuil, ensuite tendre les câbles de manutention et enfin effectuer le mouvement levage.



Figure 20 : Moteur

**Caractéristiques du moteur**

Tension nominale	475V
Vitesse de rotation nominale	820 tr/min
Courant de démarrage	1065A
Puissance	640HP=477 248 N.m/s
Couple	2916,09 N.m

Tableau 3 : Caractéristiques du moteur

ii. **Accouplement**

L'accouplement permet la transmission de puissance de moteur à l'arbre de pignon d'attaque, il favorise l'alignement et compose certains défauts voire favoriser la mobilité entre les deux arbres.



Figure 21 : Accouplement

**Caractéristiques d'Accouplement :**

Type	A denture acier
Taille	35
Diamètre des alésages	<b>133 mm</b>
Longueur totale	<b>250 mm</b>
Diamètre extérieur	<b>288 mm</b>
Couple	<b>17000 N.m</b>

Tableau 4 : Caractéristique d'Accouplement

iii. Réducteur :

Organe mécanique permettant de modifier le rapport de la vitesse entre son entrée qui est lié au moteur et sa sortie liée au treuil. Il dispose d'un facteur de réduction de vitesse, grâce à cette réduction on obtient en fin de compte un couple élevé qui nous permet de manipuler la charge efficacement.



Figure 22 : Réducteur

iv. Treuil :

Organe mécanique de forme cylindrique entraîné par un moteur à courant continu. Il dispose de deux sens de rotation, le 1er tend le câble et par conséquent effectuer l'opération de levage du godet et le 2ème le lâche pour effectuer la descente du godet ;



Figure 23 : Treuil

v. Virole de treuil :

Après une modification réalisée en 2007 sur le système de levage, l'arbre de Treuil a été modifiée et devient plus longue, mais le treuil reste le même. Donc ils ont ajouté cette pièce pour assembler l'engrenage avec la Treuil.

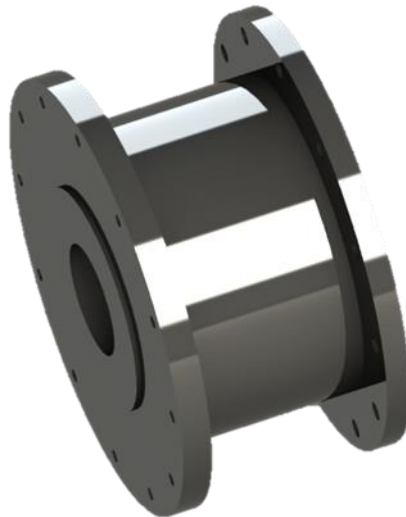


Figure 24 : Virole de treuil

vi. Frein Airflex :

Le frein Airflex est un frein pneumatique qui est monté sur le bâti du moteur et qui a comme fonction le freinage de l'arbre de Moteur.



Figure 25 : Frein Airflex

## 2. Le fonctionnement du système de Levage :

Le levage, indépendant des autres fonctions, est assuré par un moteur à courant continu qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique vers le pignon d'attaque de réducteur par l'intermédiaire d'un accouplement à denture acier. Par la suite, le réducteur qui permet de modifier le rapport de vitesse, entraîne le treuil qui permet le levage ou descente de Godet.

La même chaîne est utilisée pour la manœuvre de la flèche en remplaçant le câble de levage par celui de dragage et en le faisant pousser par un moulage prévu à cet effet.

L'arbre du Treuil de levage est supporté par deux roulements, un de type à rotule et l'autre à rouleaux cylindriques.

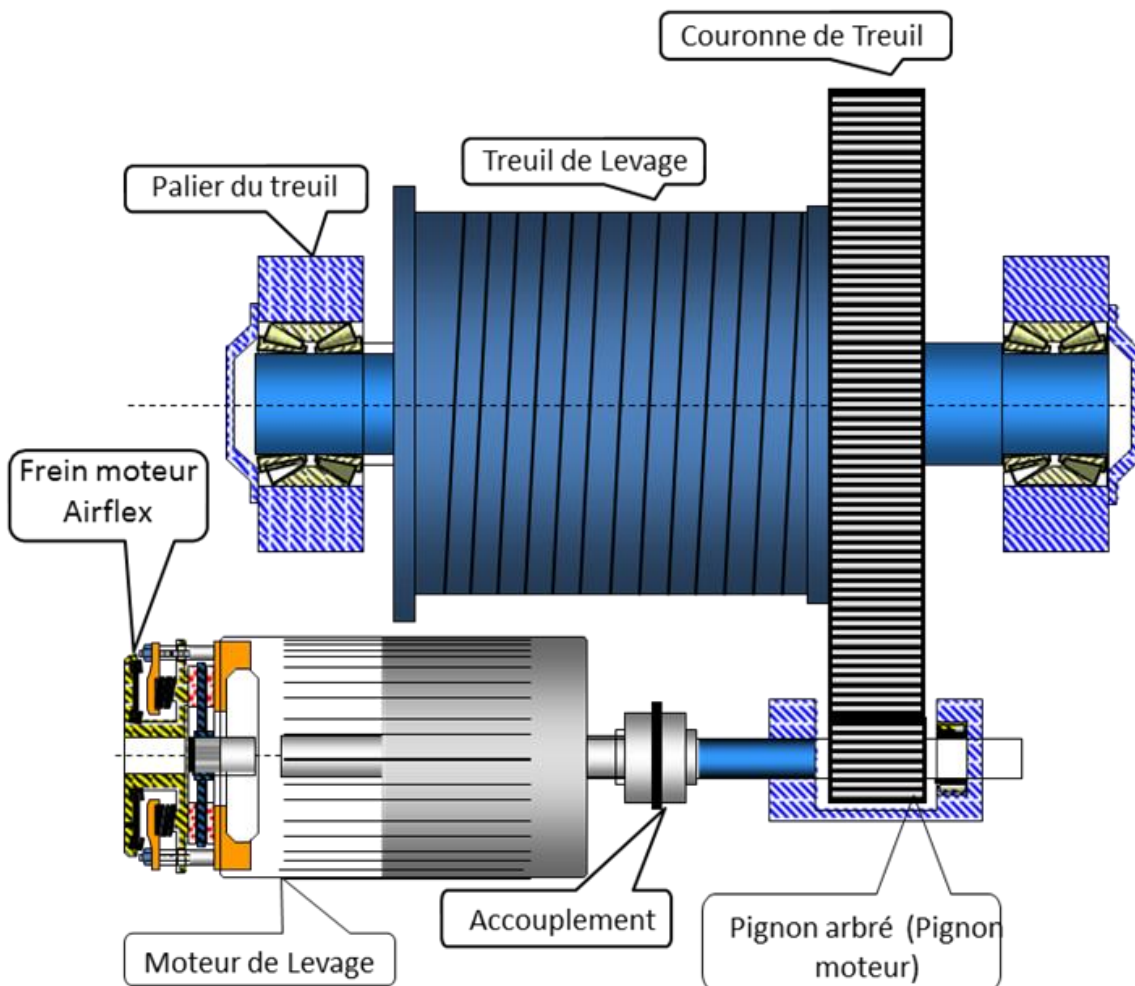


Figure 26 : Schéma représentatif de Système de Levage



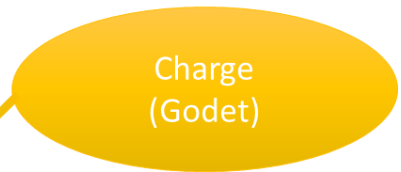
## II. Analyse fonctionnelle de Système de levage :

### 1. Bête à cornes du système de levage :

**A qui rend-il le service ?**



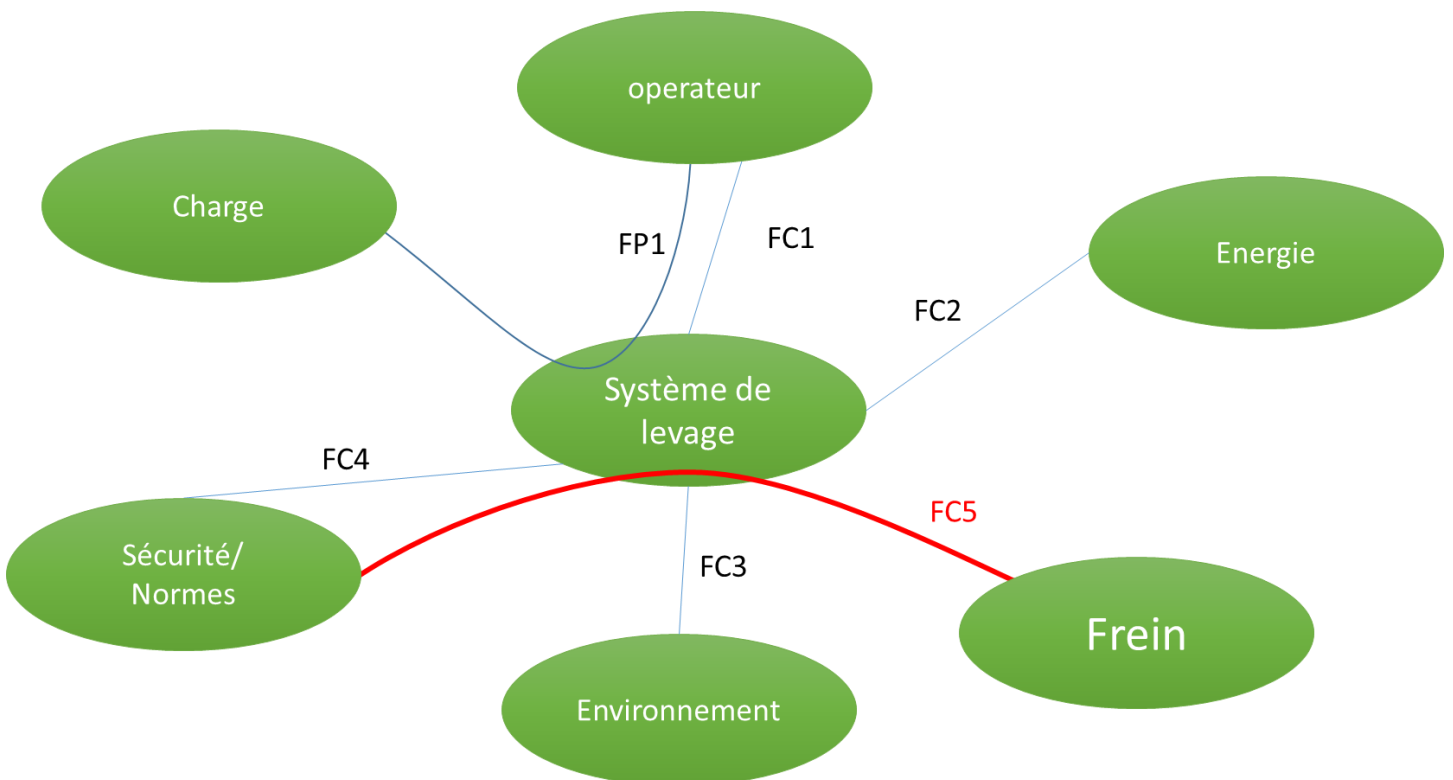
**Sur quoi s'agit-il?**



**Sur quoi s'agit-il?**



### 2. Diagramme pieuvre du système de levage :



**Fonctions de service :**

FP1 : Transporter la charge verticalement en fonction des consignes données par l'opérateur.

FC1 : Etre équipée d'éléments de communication pour l'utilisateur.

FC2 : Être alimentée en énergie électrique et pneumatique.

FC3 : Être adapté à son environnement d'utilisation et respecter celui-ci.

FC4 : Respecter les normes et les règles de sécurités

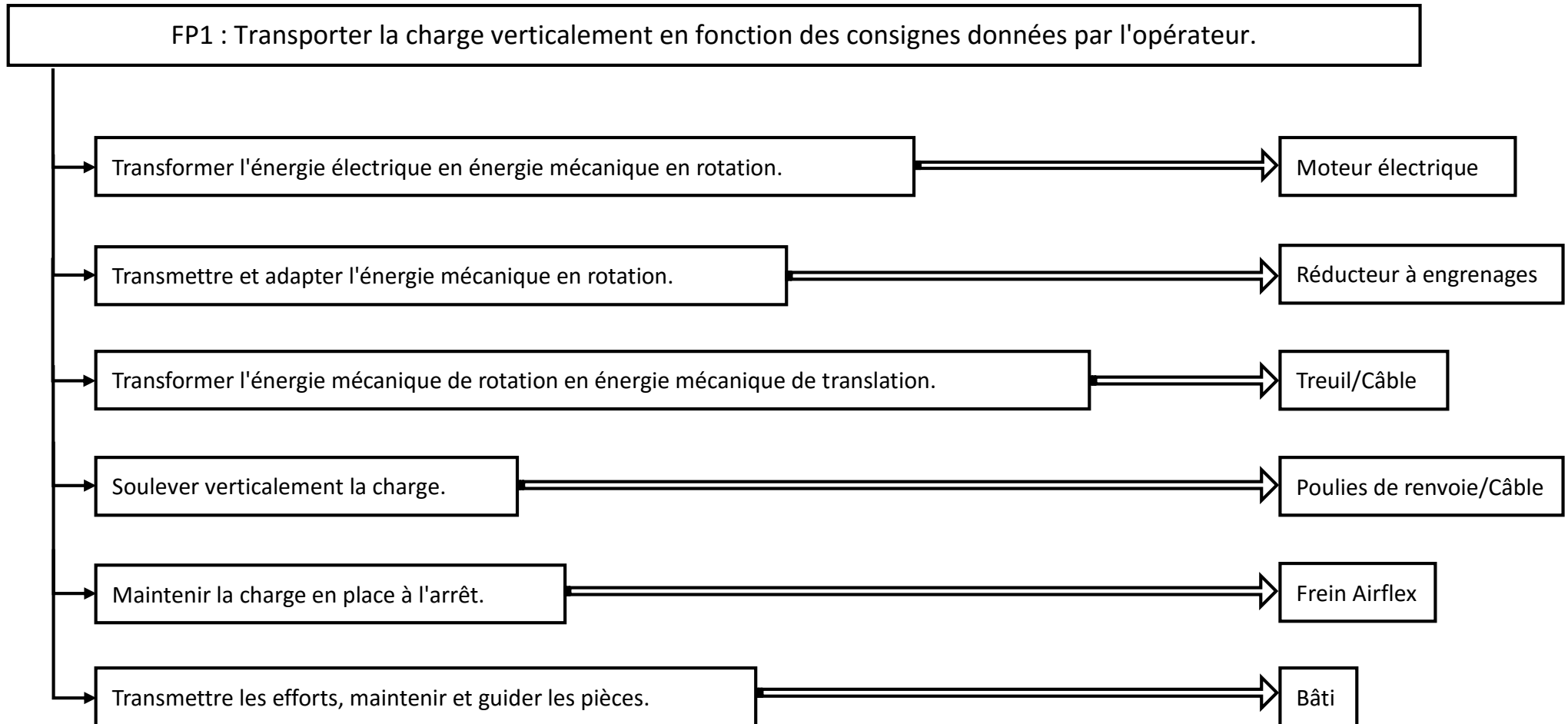
FC5 : Le freinage doit être efficace pour assurer la sécurité.

**Extrait du cahier des charges fonctionnel :**

FONCTIONS	CRITERES D'APPRECIATION	NIVEAUX	FLEXIBILITE
FP1 : Transporter la charge verticalement en fonction des consignes données par l'opérateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vitesse.</li> <li>✓ Accélération.</li> <li>✓ Charge.</li> <li>✓ Déplacement vertical.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De -0.8 à 0.8 m/s</li> <li>✓ De 0.01 à 7 m/s<sup>2</sup></li> <li>✓ De 7 à 8 Tonnes</li> <li>✓ Sur 10 m</li> </ul>	<p>± 2,5 %</p> <p>± 2,5 %</p>
FC1 : Etre équipée d'éléments de communication pour l'utilisateur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Boutons poussoirs, clavier.</li> <li>✓ Voyants, afficheur.</li> </ul>		
FC2 : être alimenter en énergie électrique et pneumatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alimentation secteur Triphasé.</li> <li>✓ Installation Pneumatique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 475V ;50 Hz</li> <li>✓ 12 Bar.</li> </ul>	
FC3 : être adapté à son environnement d'utilisation et respecter celui-ci.			
FC4 : Respecter les normes et les règles de sécurités	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Norme NF E 52</li> </ul>	Norme	Impératif
FC5 : le freinage doit être efficace pour assurer la sécurité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Frein principale</li> <li>✓ Frein Auxiliaire</li> </ul>		

*Tableau 5 : cahier des charges fonctionnel*

3. Diagramme F.A.S.T du système de levage :



### III. Présentation du Problème :

#### 1. La modification du système de levage :

En 2007 et après beaucoup de révisions et entretiens pour le système de levage de dragline 200B, Le service de maintenance de dragline 327 a détecté des nombreux problèmes et anomalies dans le système de levages telles que la vibration, des difficultés de démontage des pièces, problèmes de freinage et d'autres problèmes.

Donc pour résoudre ces problèmes ils ont fait des modifications au niveau du système de levage, ces modifications sont comme suite :

- ✓ Ils ont ajouté un accouplement entre l'arbre de moteur et l'arbre de pignon d'attaque.
- ✓ La longueur de l'arbre de treuil a été changée et devient plus grande.
- ✓ Le treuil n'était pas changé, donc ils ont ajouté une pièce cylindrique nommée 'Treuil Virole' pour lier le treuil avec la couronne de treuil.
- ✓ Ils ont ajouté un frein Airflex sur l'arbre de moteur pour assurer le freinage.

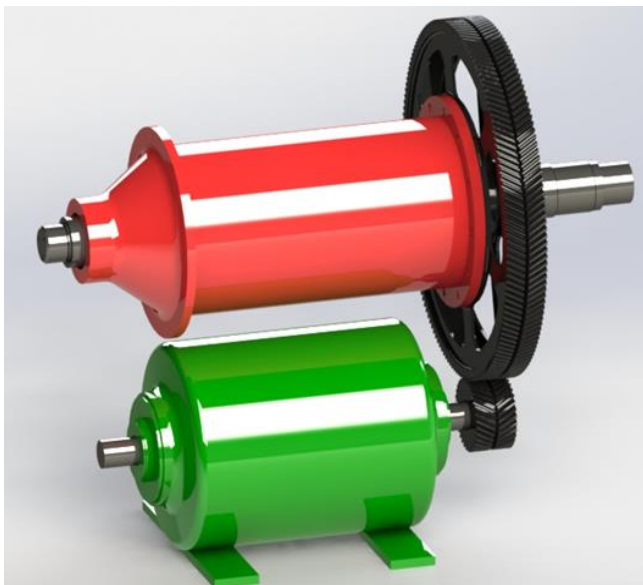


Figure 28 : Système de levage avant modification

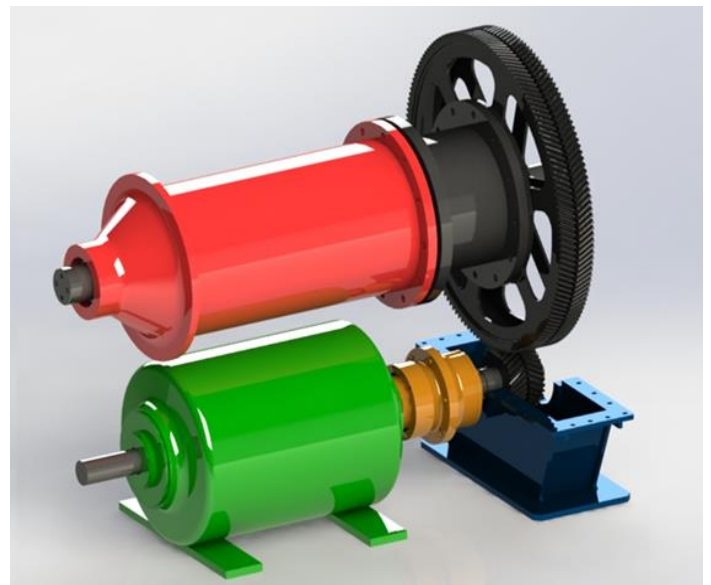


Figure 28 : Système de levage après modification

#### 2. Les conséquences de la modification :

Les modifications qui ont été mises en place ont pu aboutir à la résolution des problèmes mais en revanche ils ont causé l'apparition de nouvelles anomalies. Notre projet s'inscrit dans le contexte d'accomplir la modification en s'attaquant à la résolution des problèmes qui empêchent le non accomplissement de cette dernière.

Lors de travail de la machine Dragline, le Godet recule et avance tout le temps par le système de levage. Le moteur tourne ce qui entraîne le treuil de tourner et tirer le câble et à l'aide d'un système de polie le Godet s'élève vers le haut. Le freinage de moteur s'effectue par contre-courant.

Au cas où il y avait une anomalie au niveau de l'accouplement ou bien dans l'arbre de moteur ainsi que le pignon d'attaque, la partie mécanique va se séparer de la partie électrique et donc le Treuil va se libérer de tourner et comme ça on va avoir une chute libre de Godet, ce qui est très dangereux et peut causer beaucoup de dégât sur la machine de Dragline et des dégât humains.

### 3. Objectifs généraux et spécifiques du projet :

L'objectif du projet est de concevoir un système de freinage auxiliaire qui va être capable d'arrêter le Treuil au cas d'une anomalie au niveau de l'accouplement. Ce système de freinage doit être conçu dans la partie mécanique du système qui est représentée par l'arbre de treuil et ses composants. Le freinage du système nécessite le calcul de couple de freinage nécessaire pour l'arrêter. Après un choix d'une solution convenable pour l'anomalie, il est important de faire une simulation de cette solution pour vérifier la faisabilité de la solution.

#### i. Méthodologie utilisée :

Après le brainstorming que nous avons fait avec l'équipe projet. À chaque rencontre, nous avons pu identifier les points importants. Dans le quel nous devons suivre un ordre logique pour la recherche d'information, les calculs à effectuer, la méthodologie du travail à faire. Dans lequel notre logique et nos propositions ont été les mots clés dans nos réunions.

#### ii. Cahier des charges et des spectres de conception :

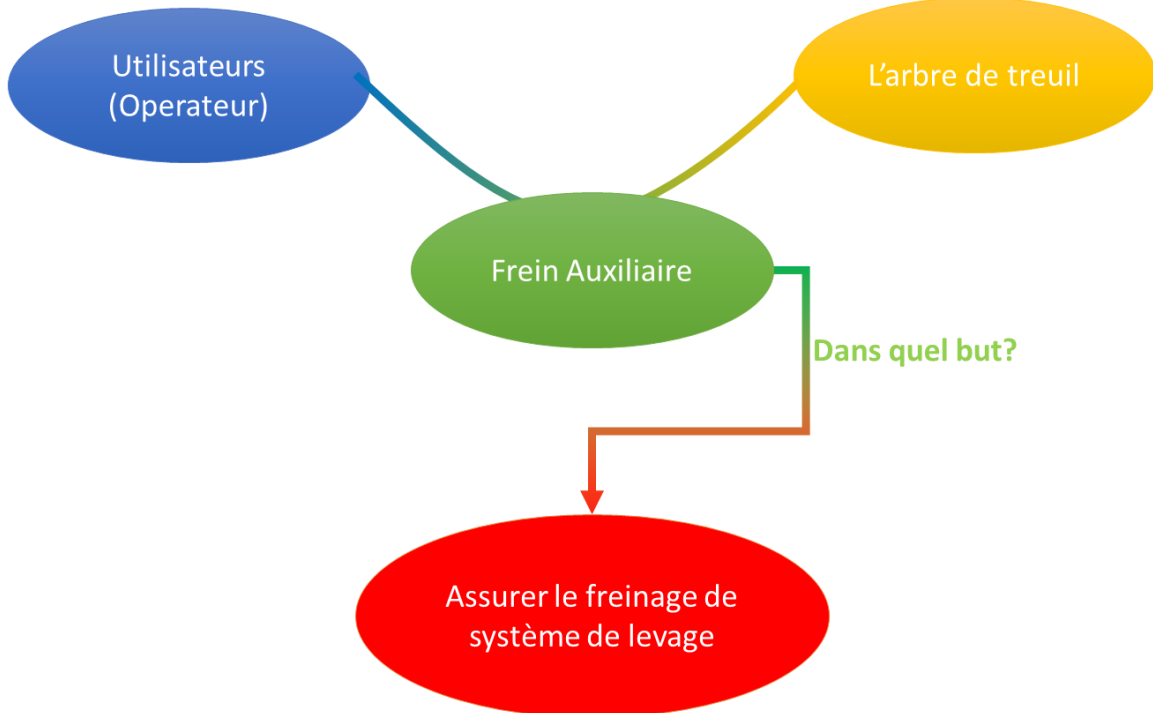
En collaboration avec l'ingénieur responsable nous avons établi le cahier des charges complet de notre projet. En ce qui concerne les spectres de conception, les normes à respecter, le promoteur a demandé de considérer les points suivants :

- Etude de Système de levage.
- Proposition d'une solution technique de freinage de la partie mécanique
- Etude concevoir de la solution proposé en utilisant un logiciel de CFAO.
- La solution doit être raisonnable et faisable.
- La solution ne nécessite pas des grandes modifications dans le système actuel.
- La solution doit être très sécurisée.

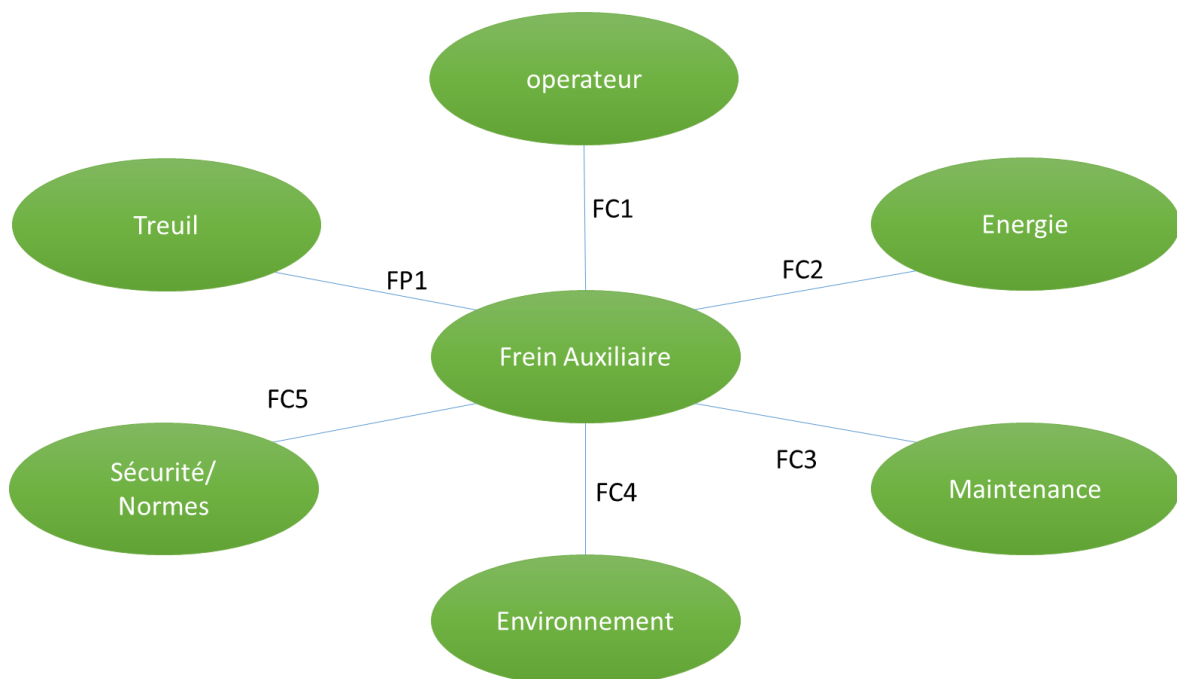
#### IV. Analyse fonctionnelle de Frein Auxiliaire :

##### 1. Bête à cornes du Frein Auxiliaire :

A qui rend-il le service ?



##### 2. Diagramme pieuvre du Frein Auxiliaire :



**Fonctions de service :**

FP1 : Assurer le freinage de treuil.

FC1 : Actionner le frein par les boutons de commande.

FC2 : Être alimenter en énergie pneumatique.

FC3 : La maintenance doit être efficace par l'opérateur.

FC4 : Le frein auxiliaire doit être adapté à son environnement d'utilisation et respecter celui-ci.

FC5 : Respecter les normes et les règles de sécurités.

**Extrait du cahier des charges fonctionnel :**

FONCTIONS	CRITERES D'APPRECIATION	NIVEAUX	FLEXIBILITE
FP1 : Assurer le freinage de treuil	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vitesse.</li> <li>✓ Accélération.</li> <li>✓ Charge.</li> <li>✓ Déplacement vertical.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De -0.8 à 0.8 m/s</li> <li>✓ De 0.01 à 7 m/s<sup>2</sup></li> <li>✓ De 7 à 8 Tonnes</li> <li>✓ Sur 10 m</li> </ul>	<p>± 2,5 %</p> <p>± 2,5 %</p>
FC1 : Actionner le frein par les boutons de commande.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Boutons poussoirs, clavier.</li> <li>✓ Voyants, afficheur.</li> </ul>		
FC2 : Être alimenter en énergie pneumatique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Installation Pneumatique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 6 Bar.</li> </ul>	
FC3 : La maintenance doit être efficace par l'opérateur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Entretien</li> <li>✓ Maintenance</li> </ul>		
FC4 : Le frein auxiliaire doit être adapté à son environnement d'utilisation et respecter celui-ci.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Encombrement</li> <li>✓ L'accès à l'autre composant.</li> </ul>		
FC5 : Respecter les normes et les règles de sécurités.			

*Tableau 6 : cahier des charges fonctionnel*

## V. Etude de Système de Levage :

Avant de chercher les solutions pour résoudre le problème, on doit tout d'abord étudier le système actuel et calculer le couple de freinage nécessaire pour arrêter le système.

### 1. Calcul de Force F appliqué par le godet sur le Treuil :

Dans cette partie nous allons calculer la force F qui est appliqué par le godet sur le Treuil de levage.

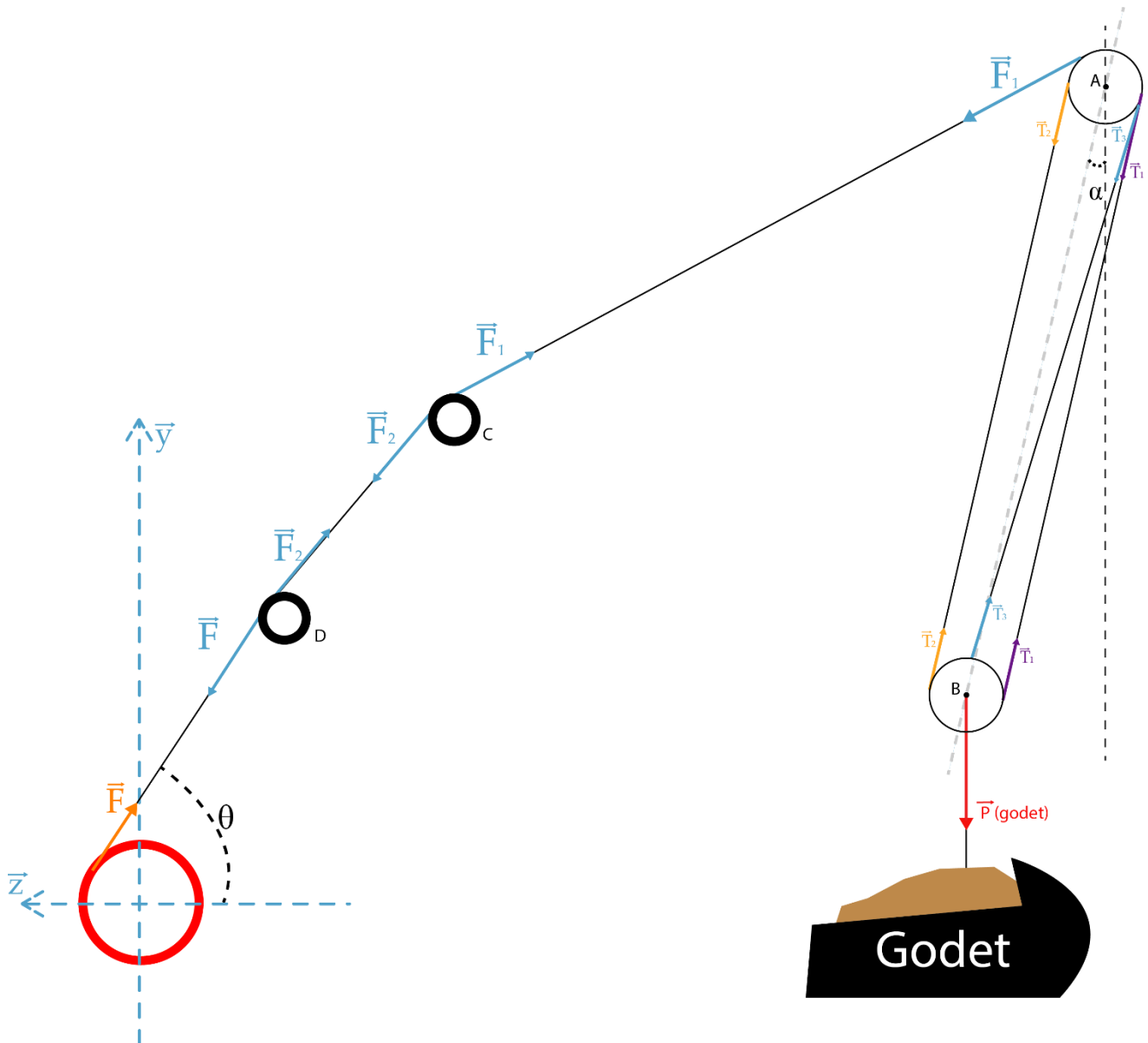
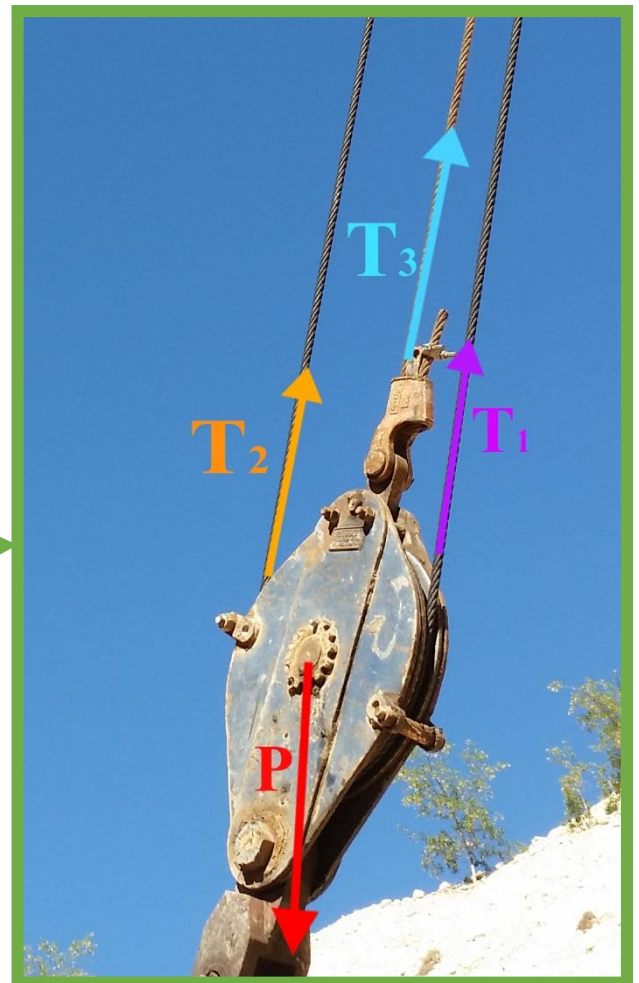
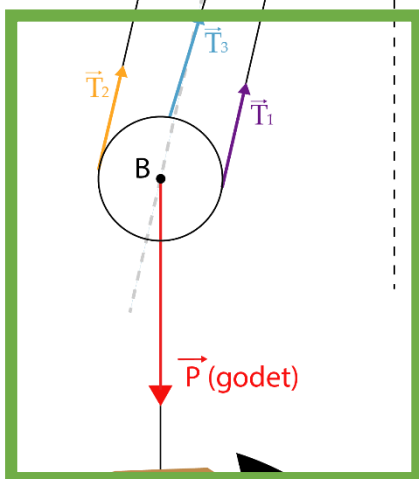
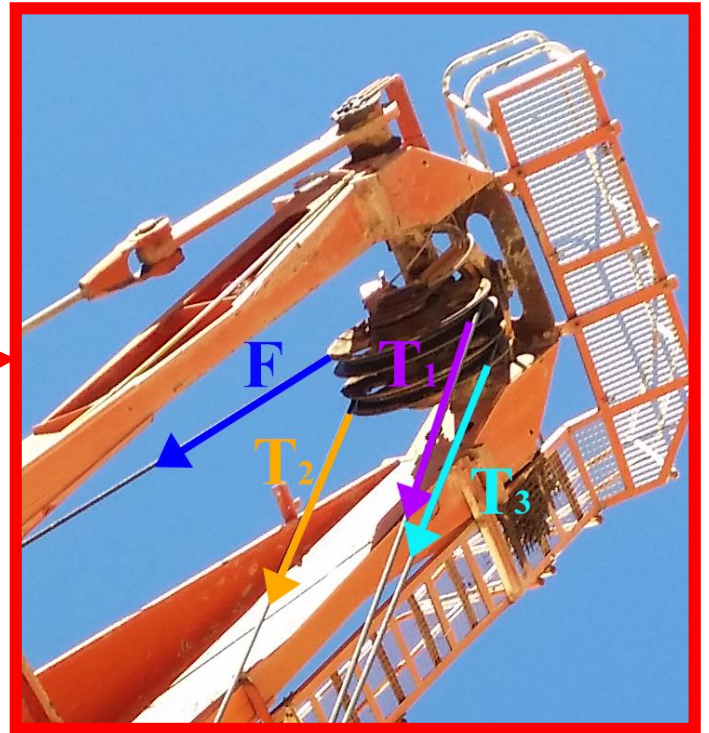
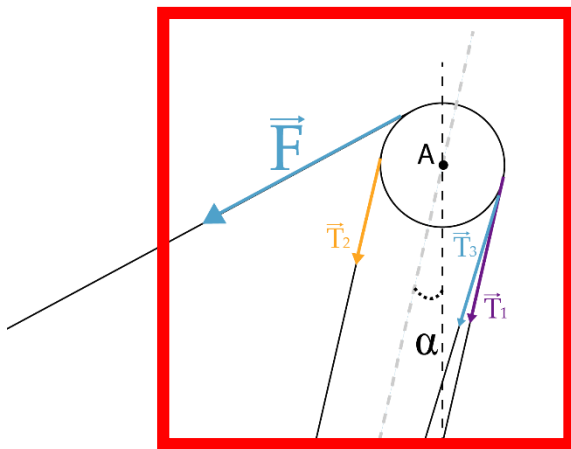


Figure 29 : Schéma de force appliquée par le godet sur le treuil





Godet

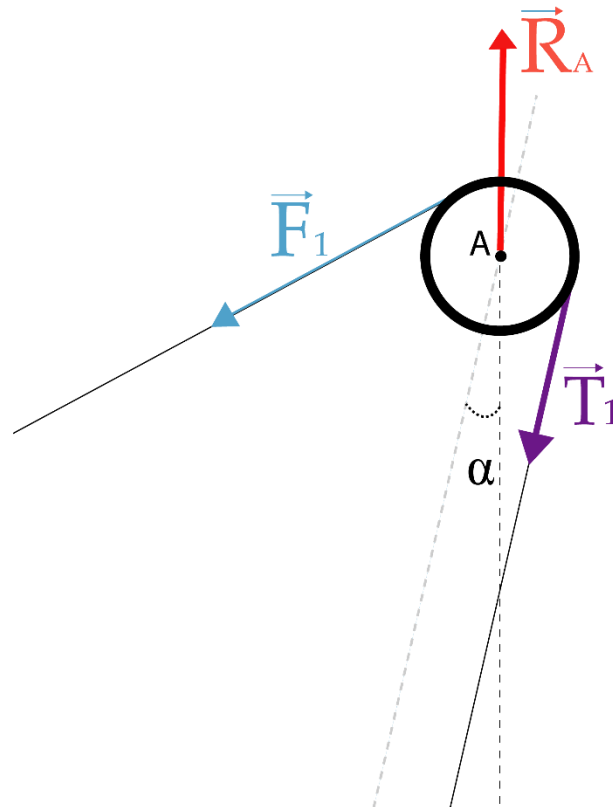
**Calcul de Force  $F_1$  :**

Pour calculer la force F, on doit tout d'abord calculer les tensions dans chaque poulie.

**Au Point A :**

On remarque que dans le point A il y a deux poulies donc on va étudier chaque poulie individuelle.

**Poulie1 :**



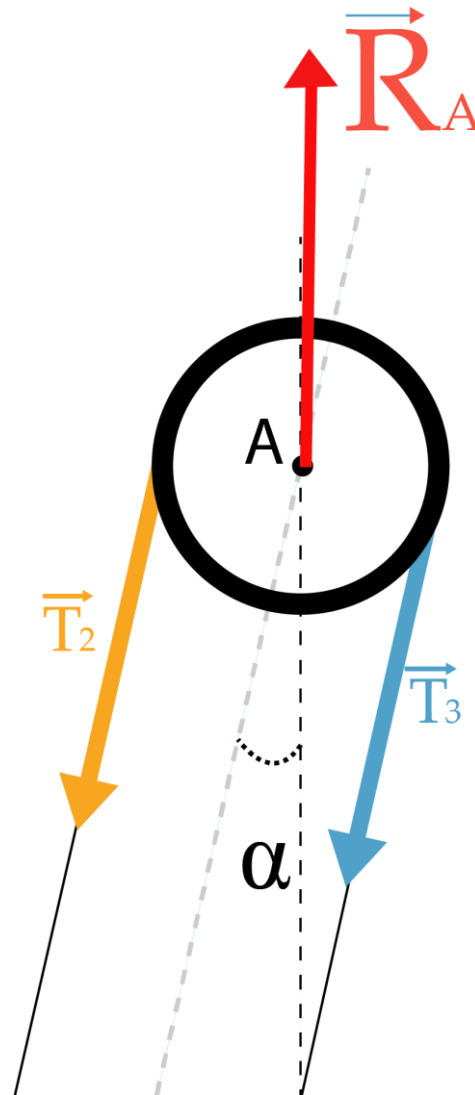
On applique le principe fondamental de la statique au point A pour la 1<sup>ère</sup> poulie et on trouve :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F} + \vec{T}_1 + \vec{R} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow M(\vec{F}) + M(\vec{T}_1) + M(\vec{R}) = \vec{0} \end{array} \right.$$

Donc après la 2eme équation nous avons :

$$-r.F_1 + r.T_1 = 0 \Rightarrow T_1 = F_1 \quad (1)$$

Poulie 2 :



On applique le principe fondamental de la statique au point A pour la 2eme poulie et on trouve :

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T}_2 + \vec{T}_3 + \vec{R} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow M(\vec{T}_2) + M(\vec{T}_3) + M(\vec{R}) = \vec{0} \end{cases}$$

Donc après la 2eme équation nous avons :

$$-r \cdot T_2 + r \cdot T_3 = 0 \Rightarrow T_2 = T_3 \quad (2)$$

**Au Point B :**

On applique le principe fondamental de la statique au point A pour la 2eme poulie et on trouve :

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{T}_3 + \vec{P} = \vec{0} (*) \\ \sum \vec{M}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow M(\vec{T}_1) + M(\vec{T}_2) + M(\vec{T}_3) + M(\vec{P}) = \vec{0} \end{cases}$$

Donc après la 2eme équation nous avons :

$$-r'.T_1 + r'.T_2 = 0 \Rightarrow T_1 = T_2 \quad (3)$$

Donc, d'après 1 , 2 et 3 nous avons :

$$T_1 = T_2 = T_3 = F_1$$

Donc on Project l'équation (\*) sur l'axe y et on trouve :

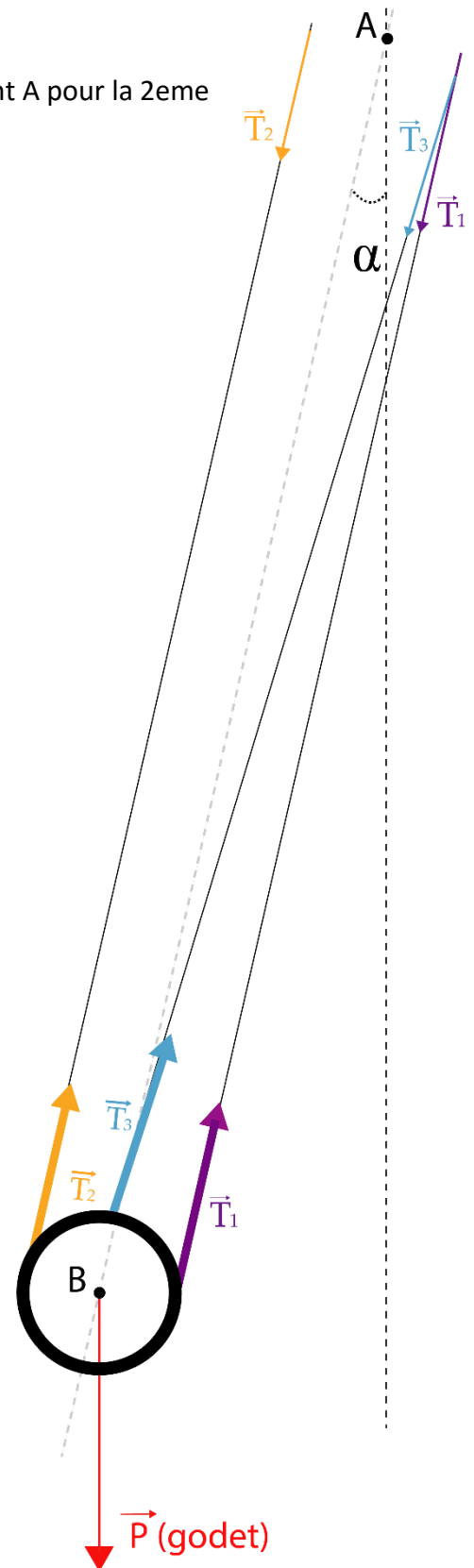
$$T_1 \cdot \cos\alpha + T_2 \cdot \cos\alpha + T_3 \cdot \cos\alpha - Mg = 0$$

Donc :

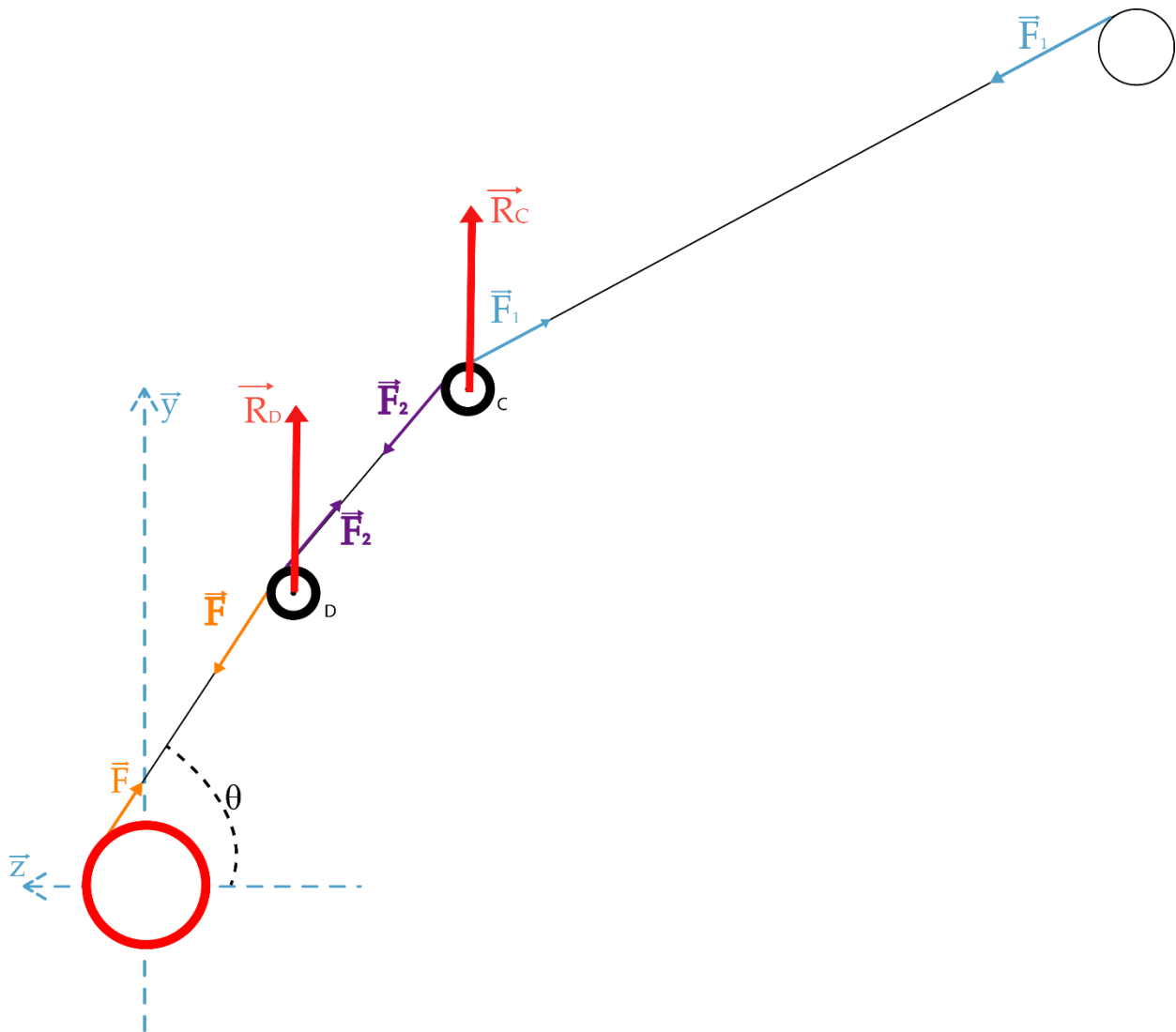
$$-M \cdot g + 3T_1 \cos\alpha = 0 \Rightarrow T_1 = \frac{M \cdot g}{3 \cos\alpha}$$

Donc :

$$F_1 = T_1 = \frac{M \cdot g}{3 \cos\alpha}$$



**Calcul de Force F :**



**Au Point C :**

On applique le principe fondamental de la statique au point C et on trouve :

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{R}_C + \vec{F}_2 = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow M(\vec{F}_1) + M(\vec{R}_C) + M(\vec{F}_2) = \vec{0} \end{cases}$$

Donc après la 2eme équation nous avons :

$$r_C \cdot F_1 - r_C \cdot F_2 = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 \quad (1')$$

**Au Point D :**

On applique le principe fondamental de la statique au point D et on trouve :

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_2 + \vec{R}_D + \vec{F} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow M(\vec{F}_2) + M(\vec{R}_D) + M(\vec{F}) = \vec{0} \end{cases}$$

Donc après la 2eme équation nous avons :

$$r_D \cdot F_2 - r_D \cdot F = 0 \Rightarrow F_2 = F \quad (2')$$

**Et Donc**

**Donc, d'après 1' et 2' nous avons :**

$$F = F_1 = F_2 = \frac{M \cdot g}{3 \cos \alpha}$$

Pour les raisons de sécurité, notre étude se focalisé sur le cas où les paramètres variables sont dans les valeurs maximal, donc :

- Pour que F soit maximal il faut que  $\cos \alpha$  soit minimal, donc :

$$\alpha = 76^\circ \Rightarrow \cos \alpha = 0,23$$

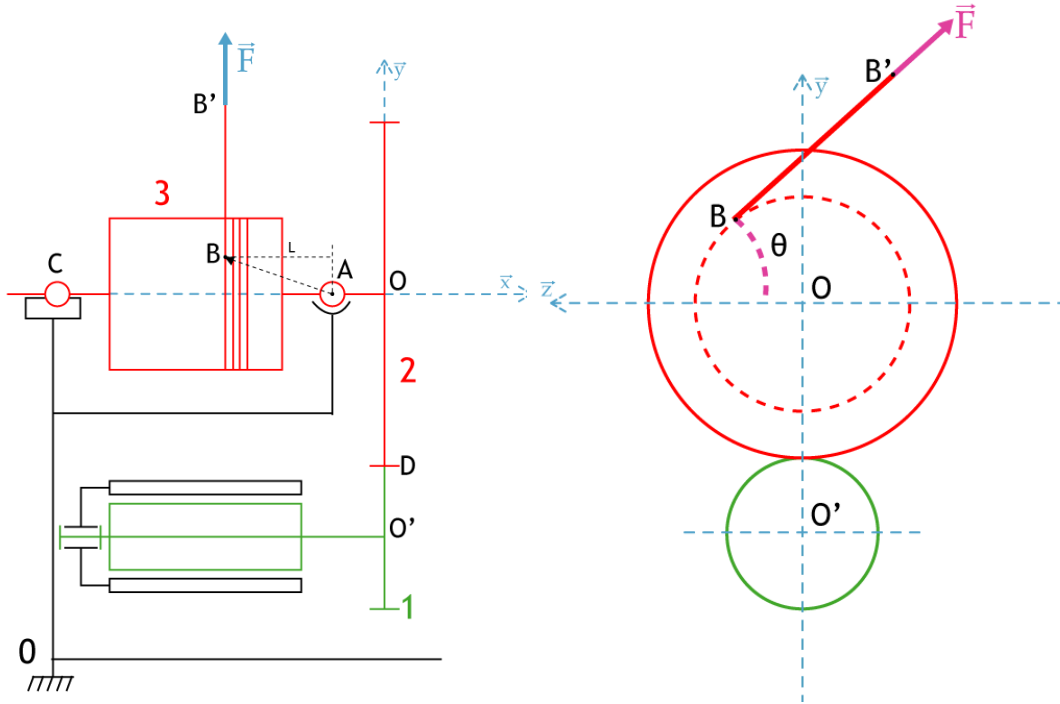
- La valeur maximale de masse de godet plein :  $M = 20T = 20\ 000\ Kg$
- $g = 9.81\ m/s^2$ .

Donc :

$$F = \frac{20\ 000 \times 9,81}{0,7} = 284\ 347\ N$$

2. Calcul de couple à freiner sur l'arbre de treuil :

Pour freiner le treuil de levage il suffit que le couple de freinage appliqué au treuil soit égal au couple appliqué sur le treuil par le godet.



Nous avons le couple appliqué par la force F sur le treuil est :

$$C_T = \frac{d}{2} \cdot F = \frac{0,720}{2} \cdot 284\,347 = 102\,364,92 \text{ N.m}$$

**Donc le couple à freiner pour arrêter l'arbre de treuil sous la charge maximale est :**

$$C_f = 102\,364,92 \text{ N.m}$$

**Pour les raisons de sécurité le couple à freiner sécurisée est :**

$$C_f = 103\,000 \text{ N.m}$$

# 4

## ***Proposition Des Solutions***

A travers ce chapitre, 3 solutions ont été proposées à la problématique citée précédemment ; Afin de comparer entre ces solutions, nous allons choisir la solution la plus convenable à notre problème.



Avant de proposer les solutions de freinage de système de levage, nous allons tout d'abord définir le freinage et les différents types de frein existants.

### I. Freins :

#### 1. Fonction :

Dans une chaîne de transmission de puissance, le dispositif de freinage est destiné à transformer l'énergie mécanique en énergie calorifique afin de :

- ✚ Ralentir un mouvement établi en lui communiquant une décélération qui abaissera sa vitesse à une nouvelle valeur souhaitée, nulle (arrêt) ou non (ralentissement).
- ✚ S'opposer à la mise en mouvement d'un organe arrêté.

Les freins fonctionnent de la même manière que les embrayages mis à part que l'un des arbres, fixe, sert de base pour arrêter progressivement le second par absorption de l'énergie cinétique des masses mobiles. Cette énergie est transformée en chaleur puis dissipée dans l'air ambiant.

D'une manière générale, tout dispositif de freinage doit être installé à proximité de l'organe récepteur dont il est souhaité le ralentissement ou l'arrêt, afin d'éviter les chocs dans les éléments de transmission lors du freinage.

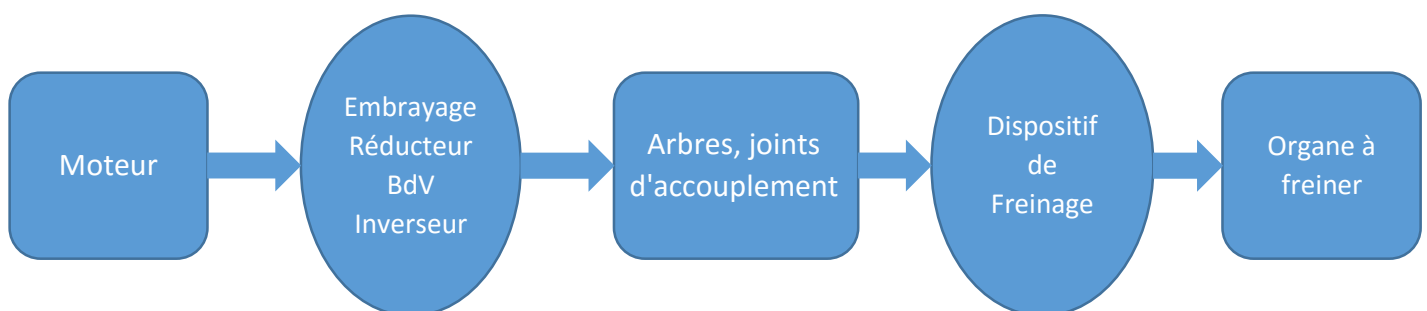


Figure 30 : Eléments de transmission lors du freinage

#### 2. Constitution schématique d'un frein :

Un frein comprend schématiquement (figure 31) :

- Deux surfaces pouvant venir en contact, chacune d'elles étant solidaire de l'un des deux éléments dont on veut faire cesser le mouvement relatif. L'une de ces surfaces est munie d'une garniture à fort coefficient de frottement (ferodo, cuir ou coton...) collée ou rivée.

- Un système produisant l'effort normal et le transmettant aux surfaces.

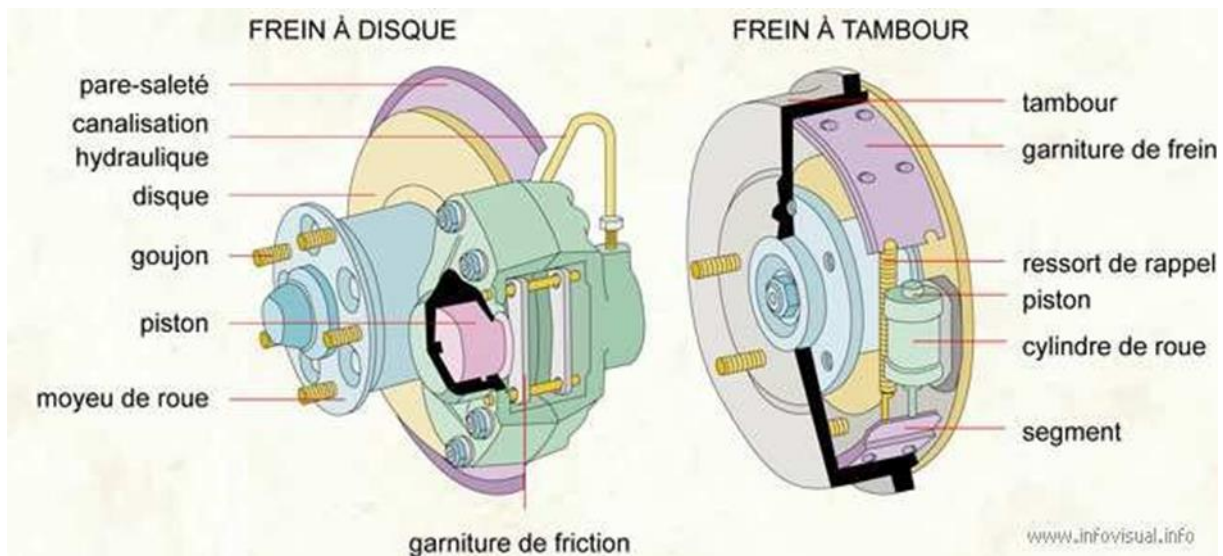


Figure 31 : Eléments de Frein à disque et Frein à Tambour

### 3. Classification :

Pour classifier les types de frein, on peut retenir entre autres :

- ✓ Le mode d'action (contact radial ou axial, sans contact).
- ✓ La nature de la commande extérieure.

Mode d'action	Commande.	Schéma	Désignation	Applications
Contact radial entre 2 solides	Extérieur		Frein à sangle (Ou à courroie) 1 : tambour 2 : sangle	Boîtes de vitesse automatiques, motoculteurs, etc.
			Frein à sabot (ou à mâchoire extérieure) 1 : tambour 2 : mâchoires	Trains, moteurs électriques à forte puissance, etc.
	Intérieur		Frein à tambour 1 : tambour 2 : mâchoires	Automobiles, motos, etc.
			Frein à tambour 1 : tambour 2 : mâchoires	Poids lourds

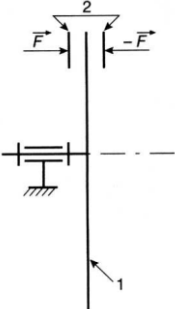
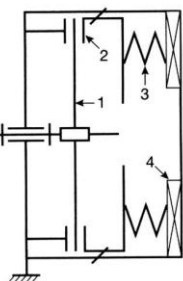
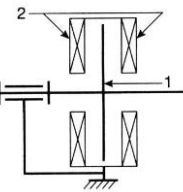
Contact axial entre 2 solides	Hydraulique Pneumatique		Frein à disque 1 : disque 2 : plaquettes	Automobiles, motos, machines diverses, etc.
			Frein à disque à manque de courant 1 : disque 2 : plateau mobile 3 : ressort 4 : électro- aimant	Moteurs freins (ascenseurs, treuils, etc.)
Sans contact matériel	Electrique		Ralentisseur 1 : induit 2 : inducteurs	Poids lourds, cars, etc.

Tableau 7 : Classification des freins

## II. Les Solutions Proposés :

### 1. Solution 1 : Freinage de l'arbre de treuil par un frein Airflex.

Cette solution consiste à introduire un frein Airflex, qui été déjà utiliser pour le freinage de l'arbre du moteur, sur l'arbre de Treuil.

Ce frein va être conçu de façon à être fixé avec le carter gauche du système et il doit être capable de freiner l'arbre de treuil directement. Vu que le frein Airflex est de forme circulaire donc il est convenable avec le carter gauche du système, il faut seulement ajouter les trous de fixation.

Comme ce frein est pneumatique, donc il doit être contrôlé de même façon que le frein de moteur et il ne nécessite pas un grand changement vu que le circuit pneumatique déjà installé dans le système actuel.

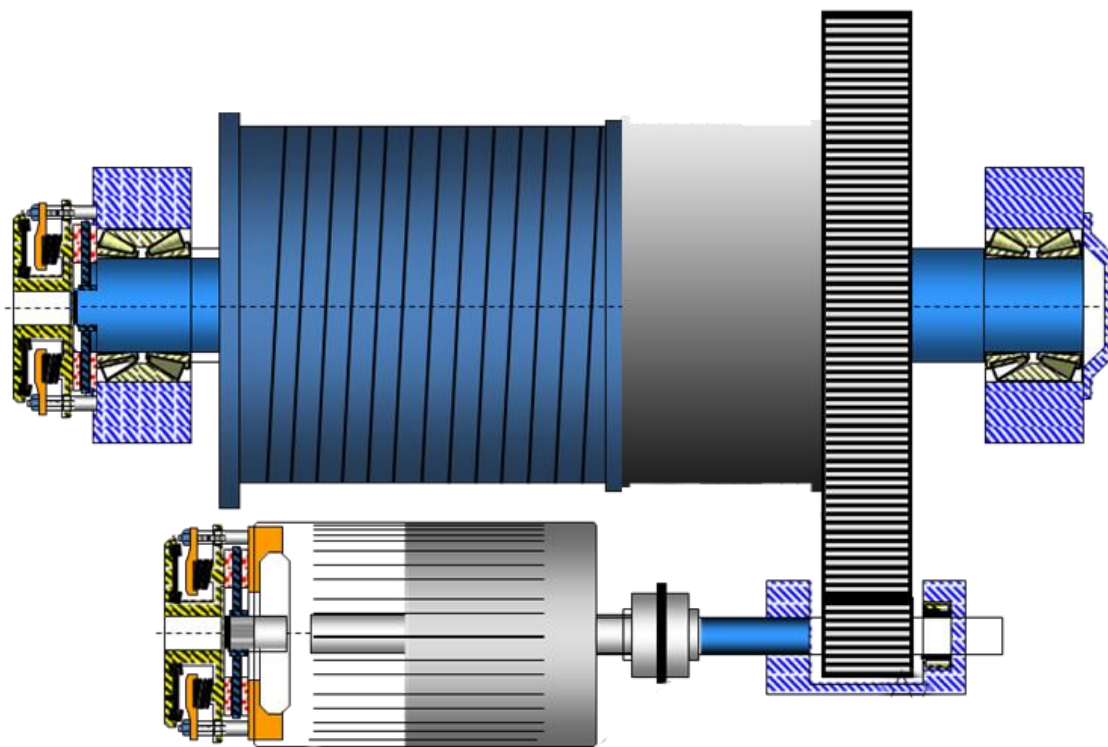


Figure 32 : freinage de l'arbre de Treuil par frein Airflex

## 2. Solution 2 : freinage de Treuil par un frein disque :

La deuxième solution proposée est une solution qui est utilisée beaucoup dans l'industrie sur des grandes machines.

Cette solution sert à ne pas freiner l'arbre de treuil mais plutôt le treuil lui-même. On montre ci-dessous un disque de freinage entre le treuil et le virole de treuil, cette fixation doit être assurée par des boulons de fixation. Le frein à disque doit être monté dans un bâti et dans une position pour lui permettre de freiner le disque. Et ainsi le freinage de disque va permettre de freiner aussi le treuil.

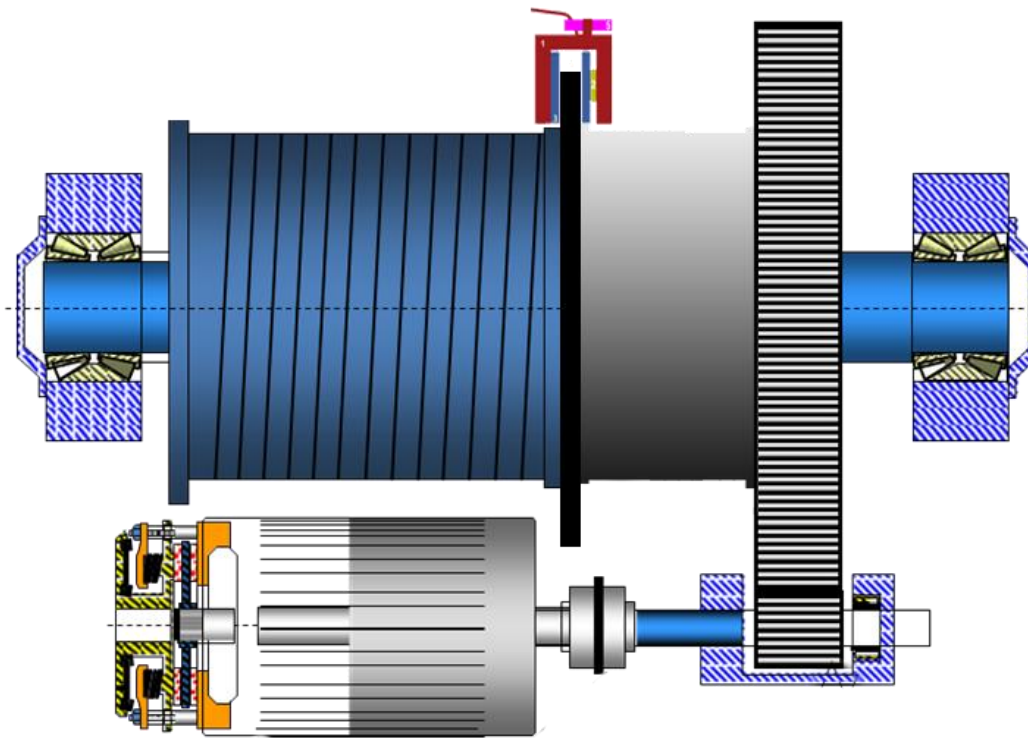


Figure 33 : freinage de l'arbre de Treuil par frein à disque

### 3. Solution 3 : freinage de Treuil par un frein à bande :

Il est constitué de deux bandes métalliques circulaires équipées de garnitures (patins) reliées aux bandes par des boulons à têtes fraisées.

Ces bandes sont reliées par une barre d'équilibrage qui répartit les forces entre les deux bandes et réduit ainsi l'usure des patins.

Chaque bande enveloppe une jante de grand diamètre rivetée sur la joue du treuil. La surface de ces jantes est généralement cémentée afin de résister à l'usure. Une circulation d'eau à l'intérieur des jantes dissipe la chaleur dégagée.

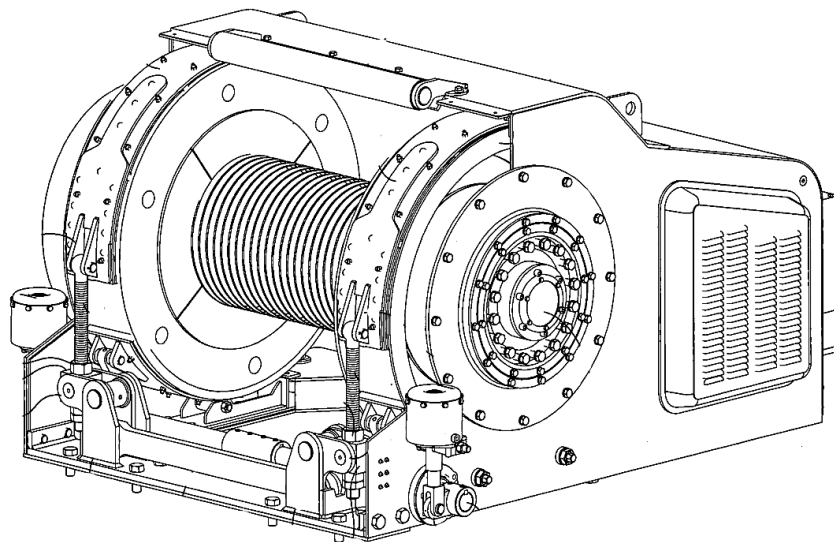


Figure 34 : Freinage de treuil par frein à bande

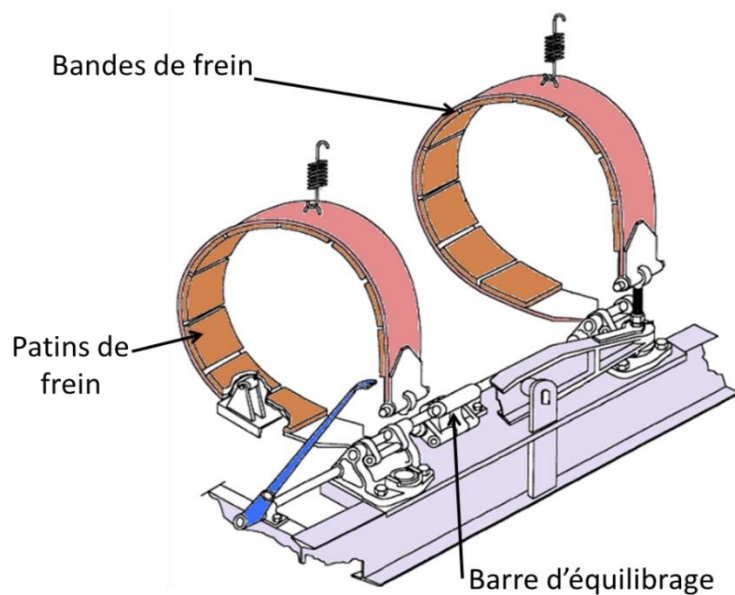


Figure 35 : Eléments de frein à bandes

### III. Choix de Solution :

Pour le choix de la solution final nous avons utilisé la méthode de Tableau multicritère.

#### 4. Hiérarchiser les critères :

En collaborant avec l'équipe projet nous avons pu déceler les critères importants et pour chaque critère nous l'avons affecté un coefficient comme suit :

- Encombrement : coefficient 5
- Coût : coefficient 4
- L'accès à l'autre composant : coefficient 3
- Entretien : coefficient 2
- Maintenance : 1

#### 5. Définir une échelle de notes.

Après avoir affecté le coefficient nous procédons de la même manière mais cette fois-ci nous donnons une note aux critères, dont les notes s'échelonneront de 0 à 5 et la note on la donne selon le niveau d'importance.

✓ **Encombrement** sera évaluer selon l'espace utiliser, le airflex utilise moins d'espace donc il bénéficiera de la note maximale, alors que le frein qui prend plus d'espace c'est le frein à bande donc il prendra 0.

✓ **Entretien** ou le contrôle, sera évalué selon la manière de contrôler le frein et le temps perdue pour faire l'entretien, ici l'airflex et le frein à disque est le plus simple à contrôler avec le minimum de temps.

✓ **Maintenance** sera évaluée selon le coût de maintenance et le temps,

✓ **Coût**, le Airflex est le plus chère donc il prendra la note 0 et le frein à disque est le moins chère il bénéficiera de la note supérieure)

✓ **L'accès à l'autre composant** sera évalué selon la facilité d'accès aux autres composants pour l'entretien ou bien pour la maintenance.

**La note pondérée = la note \* le coefficient de pondération**

## 6. Le choix de solution :

Une fois on termine le tableau on fait la somme des notes pondérées, la solution qui a la note maximale est la solution choisie

Critère	Pondération	Solution 1 (Airflex)		Solution 2 (Frein à disc)		Solution 3 (Frein à bande)	
		Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
Encombrement	5	5	25	4	20	0	0
Entretien	2	3	6	3	6	1	2
Maintenance	1	3	3	5	15	0	0
L'accès à l'autre composant	3	5	15	3	9	1	3
Coût	4	0	0	3	12	2	6
<b>Total</b>			<b>49</b>		<b>62</b>		<b>11</b>

### Conclusion

Donc selon cette méthode, la solution la plus convenable pour notre projet est la 2<sup>ème</sup> solution : Frein à Disque.



# 5

## *Développement de la solution adopté*

Après qu'on a choisi la solution finale qui est le frein à disque, maintenant nous allons développer cette solution.

### I. Description de la Solution Finale

#### 1. Les éléments de Frein à disque :

Le frein à disque est le meilleur frein que nous avons trouvé jusqu'ici. Les freins à disque sont utilisés pour empêcher tout de voitures à locomotives et jumbo jets. Les freins à disque sont plus longs, moins affectés par l'eau, sont auto-réglables, auto-nettoyants, moins susceptibles d'attraper ou de tirer et de s'arrêter mieux que n'importe quel autre système.

Les principaux composants d'un frein à disque sont :

- Les plaquettes de frein.
- L'étrier, qui contient un piston.
- Le disque (rotor), qui est monté sur le moyeu.

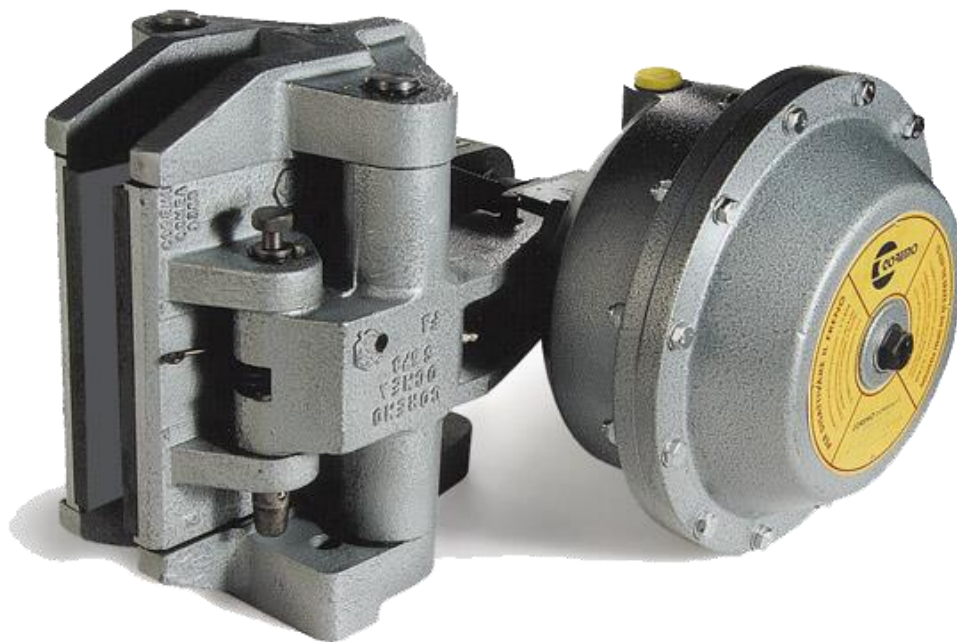


Figure 36 : Frein à disque

#### i. Plaquettes de frein :

Éléments de friction, elles entrent en contact avec le disque de frein afin de contrôler par friction l'énergie cinétique emmagasinée.

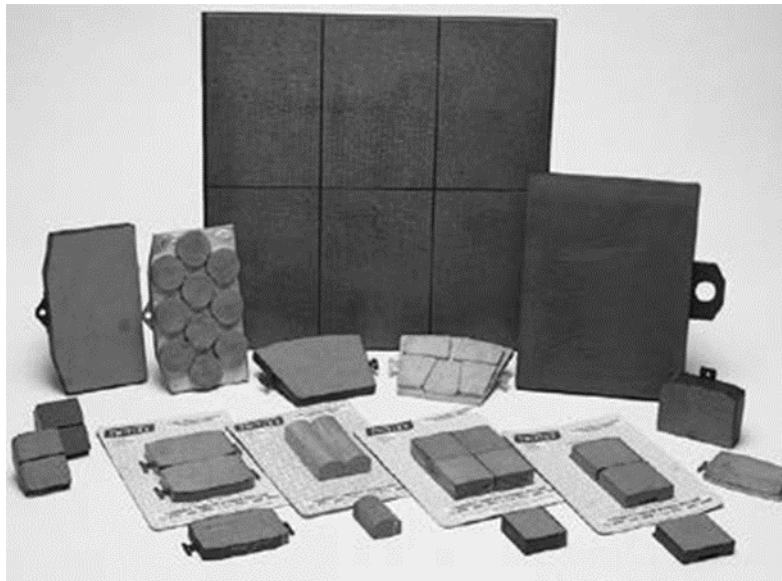


Figure 37 : Plaquette de frein

ii. Etrier :

Maintiennent les plaquettes de frein et transmettent l'effort de serrage par l'intermédiaire du ou des pistons.

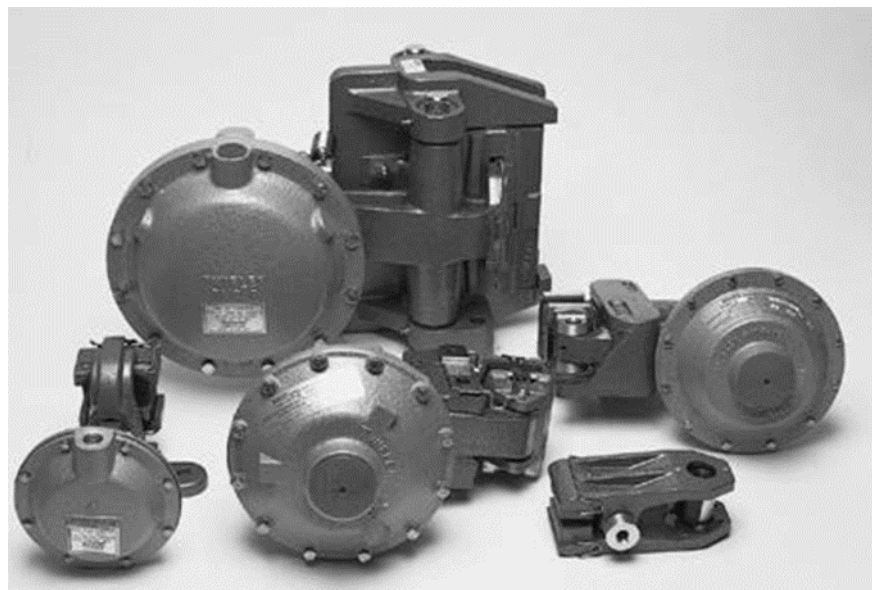


Figure 38 : Etrier de frein

iii. Disque (Rotor) :

En contact avec les plaquettes de frein, il assure la liaison entre les éléments fixes et les éléments mobiles.



Figure 39 : Disque de frein

## II. Choix de frein à disque :

Pour le choix de frein à disque convenable avec notre système, on doit respecter les 4 facteurs suivants :

- Type de Frein.
- Couple de freinage.
- Dimensions.
- Energie.

### 1. Type de Frein

En général, les freins pneumatiques appliqués sont les mieux adaptés pour la lumière à des droits moyens d'arrêt et de mise sous tension des applications avec ici un degré élevé de contrôle est nécessaire.

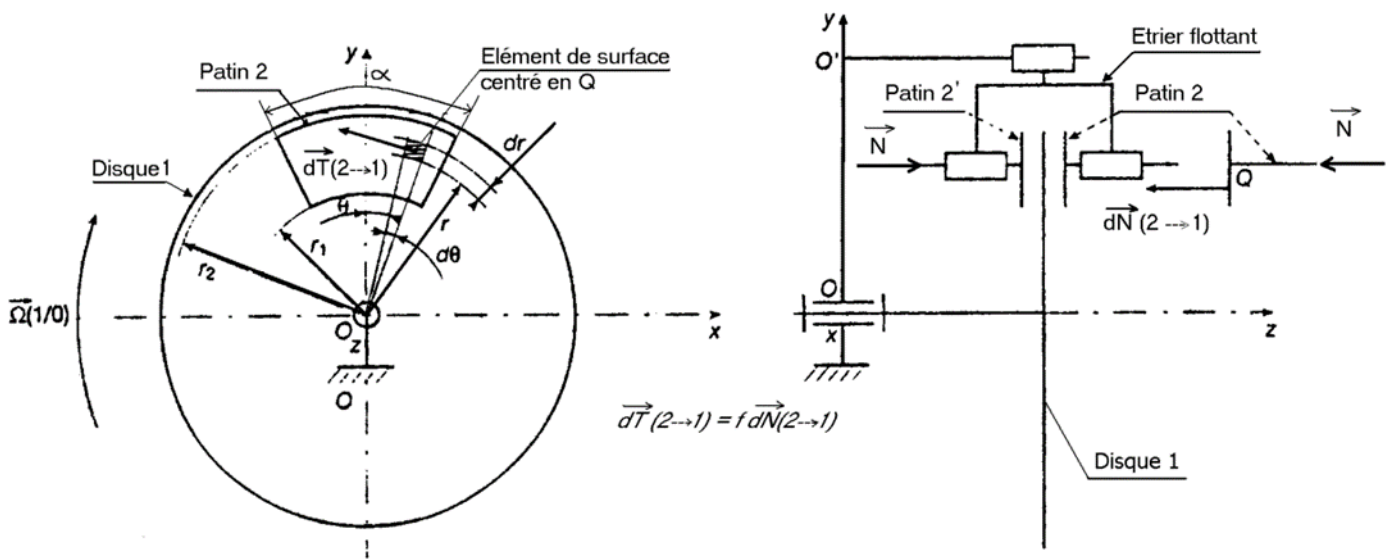
Les freins hydrauliquement appliqués répondent à des exigences de couple plus élevées, tandis que les étriers à ressort sont essentiels lorsque le freinage doit être maintenu en cas de panne du système d'alimentation.

Les unités appliquées mécaniquement sont adaptées aux fonctions de tension de la lumière où aucune alimentation externe n'est disponible. Elles peuvent également être spécifiées lorsque les concepteurs souhaitent utiliser leurs propres moyens d'actionnement.

Notre système de freinage est un système auxiliaire qui sert à maintenir le système de levage au cas où il y a une panne. Donc le type de frein que nous devons choisir est un frein avec des **étriers à ressort** et car il y a une installation pneumatique dans la machine de Dragline donc il est préférable d'utiliser un frein à **relâchement pneumatique**.

## 2. Couple de freinage :

Après le calcul qu'on déjà fait dans le 3<sup>ème</sup> chapitre, nous avons trouvé que le couple de freinage nécessaire pour arrêter le godet avec son poids maximal est :  $C_f = 101\ 000\ \text{N.m}$ .



$dT$  : effort tangentielle élémentaire

$dN$  : effort normale élémentaire

$dS$  : surface élémentaire

$f$  : coefficient de frottement

$P$  : pression dans la zone de contact

$$ds = \rho \cdot d\theta \cdot dr \text{ (loi de coulumb)}$$

$$dT = f \cdot dN = f \cdot P \cdot ds$$

$$dC = f \cdot P \cdot ds \cdot r = f \cdot P \cdot r^2 d\theta \cdot dr$$

$$C_{transmis} = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} f \cdot P \cdot r^2 d\theta \cdot dr$$

$$C_{transmis} = f \cdot P \left[ \frac{r^3}{3} \right]_{r_1}^{r_2} [\theta]_0^{2\pi} = f \cdot P \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (r_2^3 - r_1^3)$$

Selon le frein Twiflex choisie (voir Annexe) nous avons les parametres suivants :

$$f=0,2.$$

$$P=6 \text{ bar} = 600\,000 \text{ Pa}$$

$$r_2 = 625 \text{ mm} ; r_1 = 500 \text{ mm}$$

donc on déduire que:

$$C_{transmis} = 0,2.600000.\frac{2}{3}.\pi.(0,625^3 - 0,5^3) = 29\,943,3 \text{ N.m} \sim 30\,000 \text{ N.m}$$

Donc nous avons trouvé que la plaquette du frein Twiflex le couple appliquer doit être 30 KN.m, ce qui est possible selon le catalogue (Annexe) . Donc, nous avons proposé d'utiliser **4 freins** de même type qui applique un couple de freinage égale à 30 KN.m par frein et donc nous aurons comme résultat un couple de freinage égale à  $30 \times 4 = 120 \text{ KN.m}$  qui est suffisant pour le freinage du système.

### 3. Dimensions :

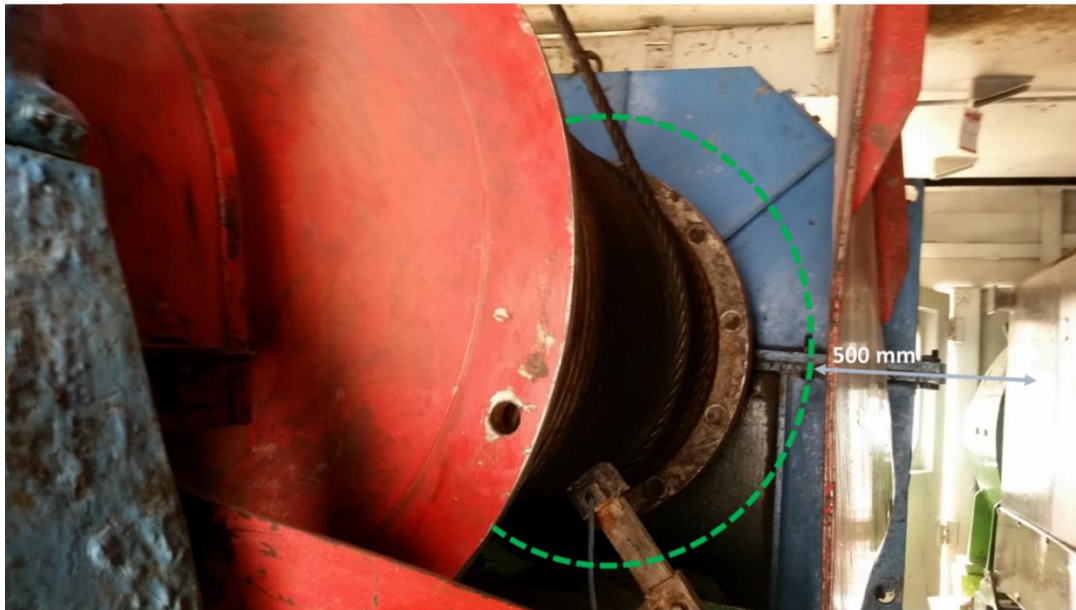
Après avoir conclu d'utiliser 4 freins à serrage par ressort, on doit maintenant vérifier que les dimensions des freins avec le bâti sont suffisantes dans l'espace vide dans la machine de Dragline.

#### i. L'espace vide dans la machine :

Nous avons mesuré l'espace vide dans la machine Dragline sur les côtes gauche et droite du système de levage, pour savoir s'il y a un espace suffisant pour le montage de bâti des freins à disques.

Les résultats obtenues pour la côte droite sont comme suivants :





Pour la côte gauche, nous avons trouvé des dimensions plus larges que celle de la côte droite.

## ii. Dimension de système de freinage

Le bâti des freins ainsi que les freins doivent avoir des dimensions convenables avec l'espace vide dans la machine.

Nous avons créé un concept pour la fixation des freins dans un bâti où ses dimensions sont les suivant :

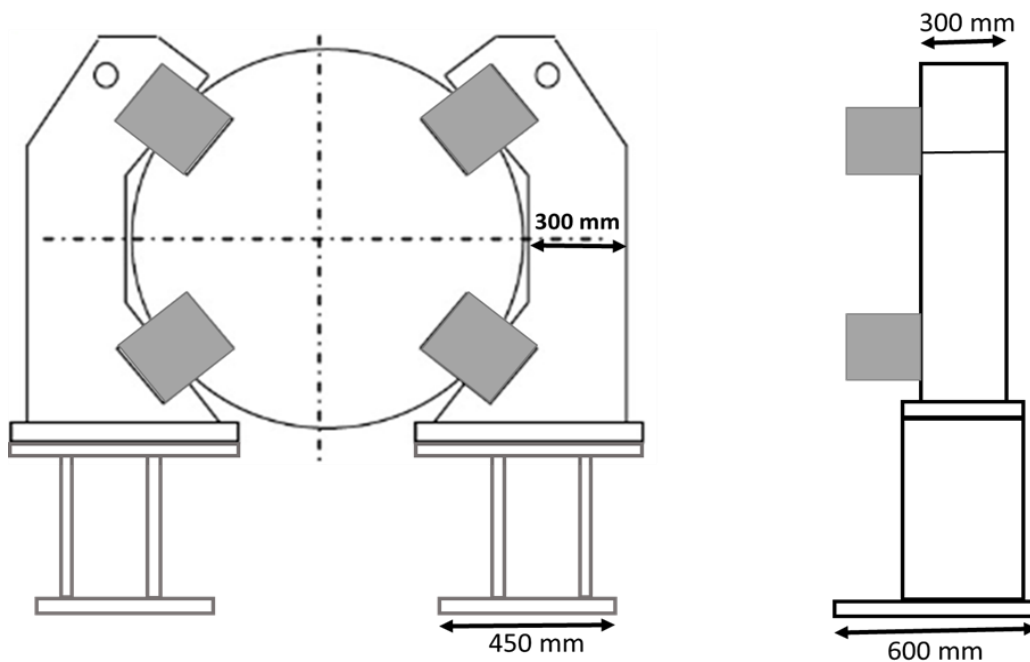


Figure 40 : dimension des freins

iii. Conclusion :

Donc, le concept choisi peut être monté dans la machine car ses dimensions sont suffisantes dans l'espace vide

4. Energie :

Le système de freinage choisi est composé de 4 freins à serrage par ressort à relâchement pneumatique. Chaque frein nécessite une compression d'air au moins égale à 4,6 bar et nous avons l'installation d'air déjà existe dans la machine à une compression maximale de 10 bar. Pour cela nous travaillons avec l'énergie pneumatique pour ce système de levage.



Figure 41 : L'installation pneumatique dans la machine Dragline 200B



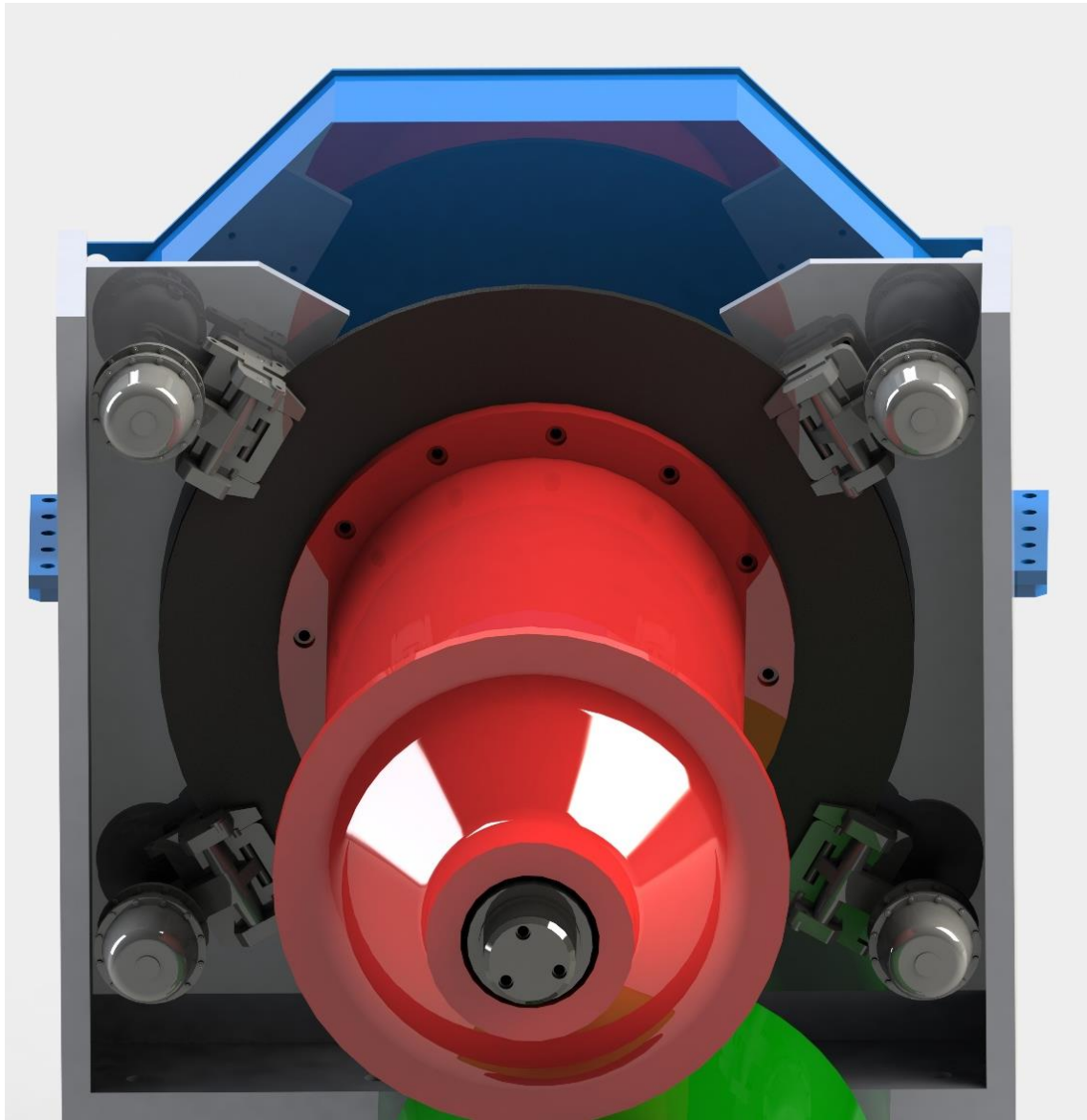
#### 5. Choix finals de Frein :

Donc après cette étude de choix des freins, nous avons choisi 4 freins à disque Twiflex qui ont des caractéristiques (voir l'annexe) très convenable avec notre système de freinage.

La figure suivant montre l'installation des freins sur le système de levage:



Figure 42 : Montage des freins sur le système de freinage



*Figure 43 : Vue de face des freins monter sur le système de freinage*

### III. Commande de système :

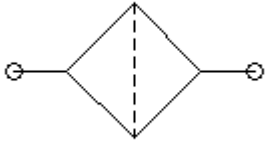
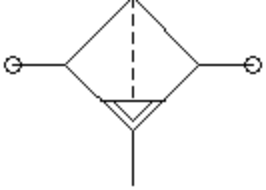
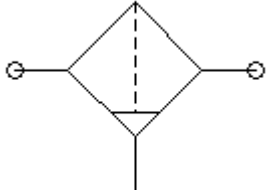
#### 1. Les éléments de circuit de commande pneumatique :

##### i. Les Filtres à air(FRL)

Il convient de vider régulièrement le bol de la condensation récupérée et de nettoyer la cartouche des impuretés qui pourraient obturer ses pores.

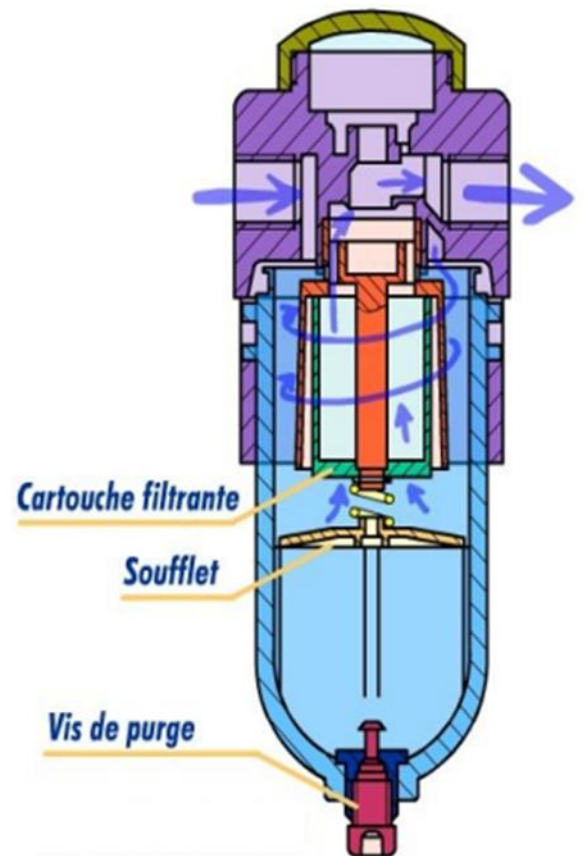


#### ➤ Symboles normalisés

		
<p>Filtre</p>	<p>Filtre avec séparateur de condensats à purge manuelle</p>	<p>Filtre avec séparateur de condensats à vidange automatique</p>

➤ **Principe de fonctionnement**

Lorsque l'air comprimé entre dans la cuve (ou le bol), il est animé d'un mouvement de rotation par la forme des canalisations. La force centrifuge permet d'éliminer les particules liquides et solides qui se déposent sur les bords et glissent au fond de la cuve. Un soufflet retient ces particules au fond de la cuve (il convient cependant de la vider régulièrement afin que ces particules ne soient pas à nouveau entraînées dans l'air comprimé. Pour cela, la cuve est équipée d'une vis de purge ou d'une purge automatique). Une cartouche filtrante complète le dispositif pour retenir les fines particules qui subsistent en suspension dans l'air.

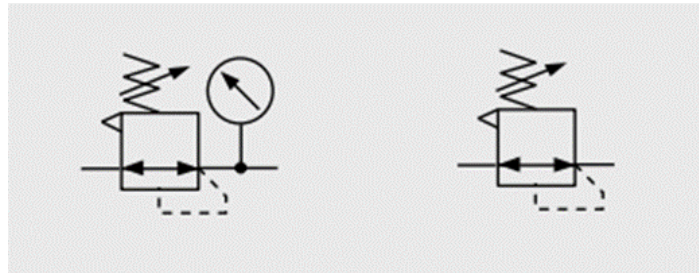


ii. Le régulateur (détendeur / mano-détendeur)

Le régulateur de pression, ou détendeur, permet de garantir une pression de travail (pression du secondaire) aussi régulière que possible tant que la pression d'alimentation (pression du primaire) est supérieure à la pression demandée.

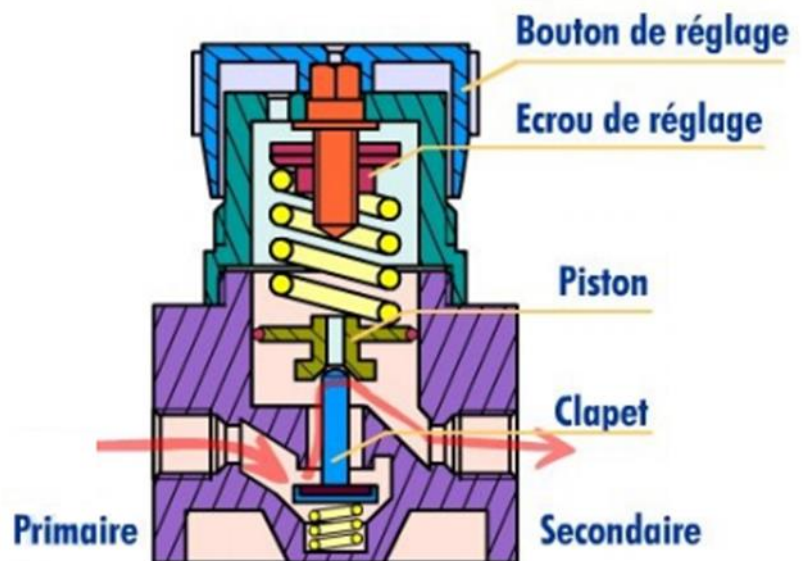


➤ **Symboles normalisés**



➤ **Principe de fonctionnement :**

La pression de travail souhaitée est réglée en tournant le bouton de réglage qui fait monter ou descendre l'écrou de serrage, ce qui tend ou détend le ressort principal. Le piston est en équilibre entre la force du ressort et celle appliquée par la pression sur sa face inférieure. Le clapet est plaqué sur le piston par son ressort et le passage de l'air est plus ou moins ouvert. Le régulateur de pression agit en faisant varier le débit d'air au secondaire.



La majorité des régulateurs (aussi appelés détendeurs) sont équipés d'un manomètre permettant de visualiser la pression relative délivrée au secondaire.

iii. **Le lubrificateur :**

Les outils et machines pneumatique peuvent avoir besoin d'être lubrifiés pendant leur fonctionnement. On insère alors dans le circuit un lubrificateur qui permet d'ajouter à l'air comprimé des particules d'huile qui amélioreront le fonctionnement des équipements tout en leur garantissant une meilleure longévité.

## 2. Fonctionnement du circuit :

Le circuit de puissance pneumatique et de commande électrique sont figures sur le schéma suivant :

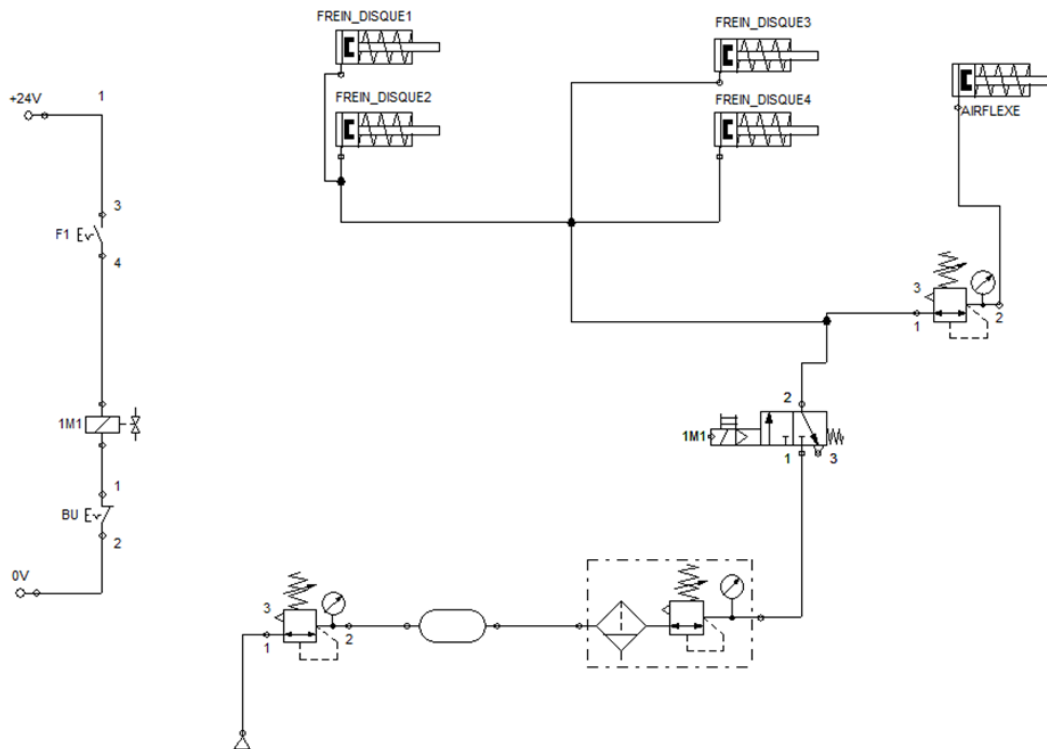


Figure 44 : circuit pneumatique des freins

Remarque : les freins sont modélisés par des vérins simple effet car le logiciel utilisé ne contient pas des symboles des freins.

### Le fonctionnement :

- ✚ A l'état de repos le système est freiné (freinage mécanique) c.-à-d les freins sont activés.
- ✚ Pour commencer le travail par la machine de dragline, le convoyeur appui sur le bouton bistable (initialement ouvert) de commande F1, donc l'électrovanne 1M1 s'enclenche et l'information reçue par le distributeur 1M1, actionne et distribue l'air vers les freins.
- ✚ Le régulateur de pression permet de réguler la pression nécessaire pour le frein Airflex qui est 5,5 bars. Les freins à disque sont alimentés par la pression de l'installation pneumatique qui est 7 bars.
- ✚ Quand l'air entre dans les freins, ces derniers se désactivent, c.-à-d que le système va être libre à fonctionner.
- ✚ Quand le travail est terminé ou dans un cas de repos, le convoyeur va appui sur le bouton bistable (devient ouvert) et le distributeur va déplacer vers la position coupant, ce qui va activer les freins et arrêter le système.

- Au bout de fonctionnement de système de levage, s'il y a un problème ou un danger, il est possible de freiner le système directement en appuyant sur le bouton d'urgence BU, ce qui active directement les freins et arrête le système.

## IV. Étude économique

### 1. Le coût des éléments standards

Pour voir les prix des différentes composantes de circuit de commande, nous avons consulté les fournisseurs « Afrique roulement » et « twiflex », les informations de l'offre des prix présentées dans le tableau suivant :

Référence	Désignation	Qté	Prix DH
PNEUMATIQUE	Frein disque mécaniques	4	90000
PNEUMATIQUE	Limiteur de débit ajustable avec clapet marque METAL WORK	1	1116
H_DISTRIBUTEUR _DIV	Distributeur métalwork 3/2 mono à Commande électrique	1	1500
TELACON2_8*10 BLEU	Tuyau air comprimé	50m	2400
RACC1	RACCORD droit RAPIDE vissée	8	700
RACC2	RACCORD COUDE RAPIDE	10	1000
7061138	CONNECTEUR À 4 VOIES	1	200
Câbles	Câbles éclectique	70m	210
RES41	Interrupteurs	1	150
RES43	Bouton poussoir (arrêt d'urgence)	1	16,65 €

Tableau 8 : Offre des prix

Total H. T	97276.00
Total TVA (5.5)	5350.18
Total TTC	102626.18

Tableau 9 : Coût total

2. Le coût de la matière première :

Nous avons utilisé trois tôles (2m\*2.30m\*40mm) qui coûtent 8000 DH

Les électrodes de soudage coûtent 12000DH

Un coût global de 20000DH

3. Le coût de la main d'œuvre et machine de l'atelier

La durée de projet 20jours, il travail 8h/jours

	Nombre d'heures	Coût DH/h	Prix total DH
Opérateur	160h	45	7200
Machines	70h	4.25	297.5
		Coût total	7497.5dh

4. Le coût total de projet

Coût total = coût des composants + coût de matière premier + coût de main d'œuvre + coût de machine

**Coût total** = 102626.18 DH + 20000 DH + 7497.5 DH= **130 123,68 DH**



# 6

## *Etude Analytique de la Solution Sur ANSYS*

Dans ce dernier chapitre, nous allons faire une étude Analytique du contact plaquette de frein/disque en utilisant le logiciel ANSYS.

## Introduction

La complexité des systèmes physiques ou technologiques destinés à être conçus ou étudiés a conduit à employer des méthodes numériques basées sur le principe d'approcher une solution nominale le plus possible, mais celles-ci exigent de grands calculs nécessitant des calculateurs efficaces.

Une étude du contact entre le disque et les plaquettes de frein est nécessaire pour l'évaluation des pressions contact et des efforts de cisaillement ainsi les contraintes équivalentes de Von Mises et les déformations qui représentent le chargement mécanique imposé au disque.

Dans cette étude, on a modélisé le disque et la plaquette en utilisant le logiciel d'élément finis Multiphysics **ANSYS 16** en caractérisant pour chaque pièce les propriétés mécaniques des matériaux. Le type d'analyse choisi est structurale statique. La simulation a lieu pour une durée totale de freinage  $t=10$  [s]

Pour simplifier et accélérer la simulation, nous avons étudié un seul frein dans un quart de disque de frein.

### I. Simulation du problème en ANSYS

Les simulations présentées dans notre étude considèrent le contact avec frottement d'une plaquette déformable sur un disque rigide. L'application de la pression de contact sur la plaquette de frein vient mettre celle-ci en contact frottant avec le disque dont la vitesse de rotation est maintenue constante durant toute la simulation. Le matériau choisi du disque est le Fonte Grise FG 15 à haute teneur en carbone et la plaquette de frein à un comportement élastique isotrope dont les caractéristiques mécaniques des deux pièces sont récapitulées dans le tableau 9. Des caractéristiques de conception des pièces sont également fournies directement par le code ANSYS 16 ; données dans le tableau 10.

Le coefficient de frottement  $\mu$  est égal à 0,2 au niveau de la zone de contact. Dans le cas avec frottement, cette dernière se situe de l'interface de contact, les contraintes de cisaillement provoquées par le frottement à ce niveau-là sont à l'origine de ce phénomène. Le coefficient de frottement  $\mu$  dépend de beaucoup de paramètres (pression, vitesse de glissement, température, humidité, etc.).

	Disque	Plaquette
Matériau	Fonte Grise	Acier
Module de Young $E$ (Gpa)	138	1
Coefficient de Poisson	0,3	0,25
Masse volumique ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	7250	1400
Coefficient de frottement	0,2	0,2

Tableau 10 : Tableau des caractéristiques mécaniques des deux pièces

	Disque	Plaquette
Volume ( $\text{m}^3$ )	0.03	2,7828e-004
Surface ( $\text{m}^2$ )	2.42	0.03
Masse ( $\text{kg}$ )	205.65	0,44
Moment d'inertie $I_{p1}$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	27,64	9,0906e-004
Moment d'inertie $I_{p2}$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	27,64	2,663 e-003
Moment d'inertie $I_{p3}$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	55,25	1,7722 e-003

Tableau 11 : Caractéristiques de conception des deux pièces.

### 5. Création du modèle sur ANSYS Workbench :

Pour commencer l'étude, nous avons créé une structure sur ANSYS Wb qui représente le disque de frein avec la plaquette. Puis, on a fait le maillage et on a défini les conditions aux limites pour le mettre ensuite sur l'ANSYS Multiphysics et initialiser le calcul.

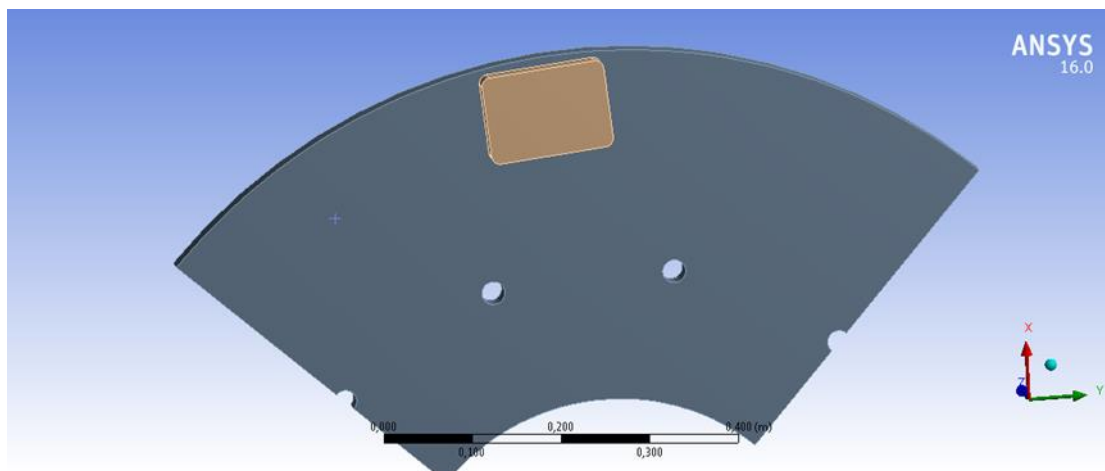
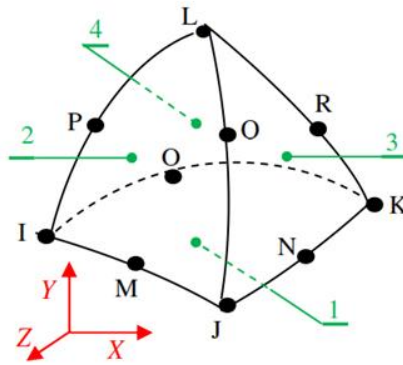


Figure 45 : Création de modèle sur ANSYS WB16

### 6. Choix du maillage :

Un fois la structure est créée, on a fait le maillage. Il s'agit d'un maillage progressif. Le modèle disque-plaquette a été maillé par des éléments volumiques tétraédriques et quadratiques à 10 nœuds (fig.46).



Les nœuds: I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R  
 Les faces: 1(J-I-K), 2(I-J-L), 3(J-K-L), 4(K-I-L)

Figure 46 : Élément tétraèdre quadratique iso paramétrique de 10 nœuds

L'ANSYS Workbench effectue un maillage automatique (par défaut). Si on aurait besoin de le raffiner, on doit intervenir dans le changement des paramètres choisis par défaut. Les figures 47-48 donnent respectivement un maillage volumique de disque et de la plaquette de frein.

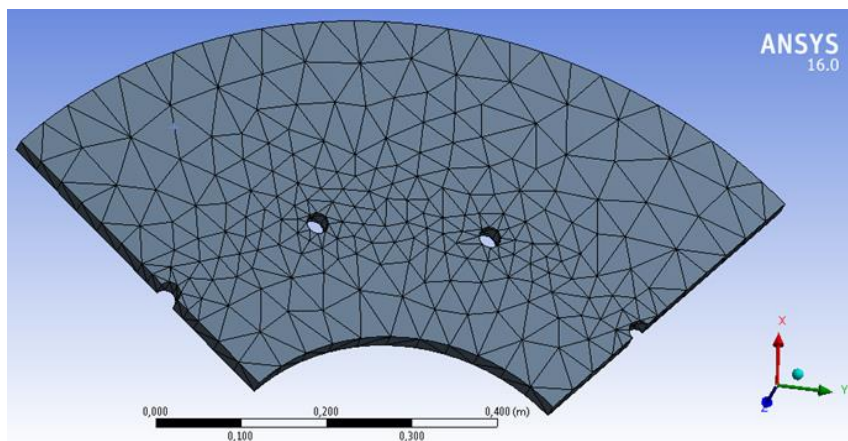


Figure 47 : maillage de disque

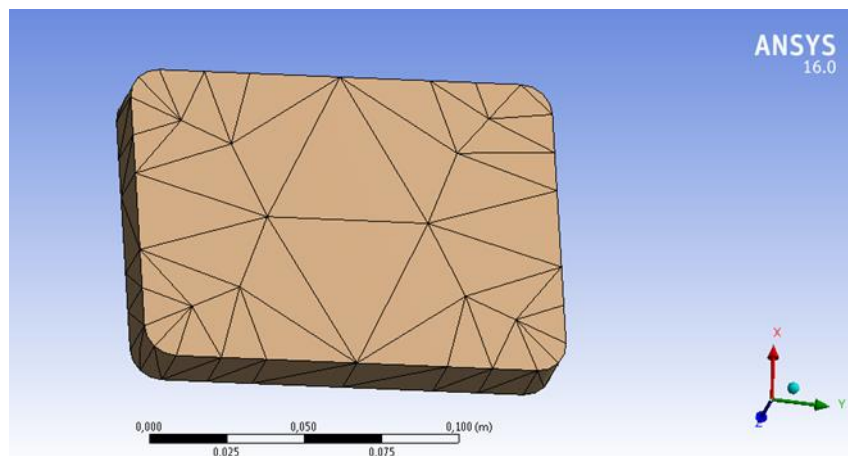


Figure 48 : maillage de plaquette de frein

### 7. Détermination de la pression de contact :

La pression extérieure entre le disque et les plaquettes se calcule par la force appliquée au disque par le ressort ; pour une voie plate, la pression est :

$$P = \frac{F_{disque}}{A_c \cdot \mu} = \frac{36000}{0,03 \times 0,2} = 6 \text{ MPa}$$

Où  $A_c$  est l'aire de surface de la plaquette en contact avec le disque et  $\mu$  le coefficient de frottement. L'aire de zone en contact de la plaquette en  $m^2$  avec le disque est donnée directement en ANSYS en sélectionnant cette surface comme indique la couleur verte dans les figures 50.

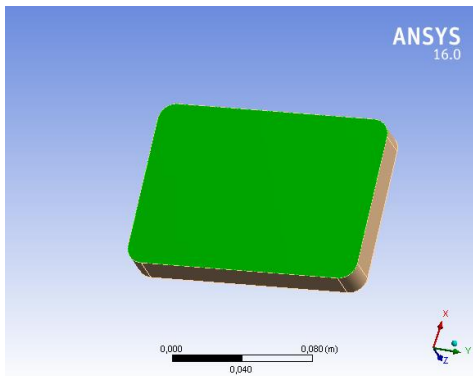


Figure 50 : 1 surface d'Air = 0.03  $m^2$

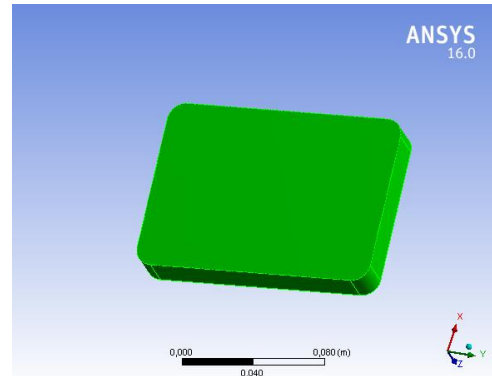


Figure 50 : 1 Corps volume=2,7828e-004  $m^3$

Après la visualisation des différents maillages ; en sélectionnant sur les tâches de l'applet du maillage, on ouvre l'ensemble disque-plaquette sur le modèle FE, on obtient le résumé de cette importation, ce qui représenté sur la figures 51.

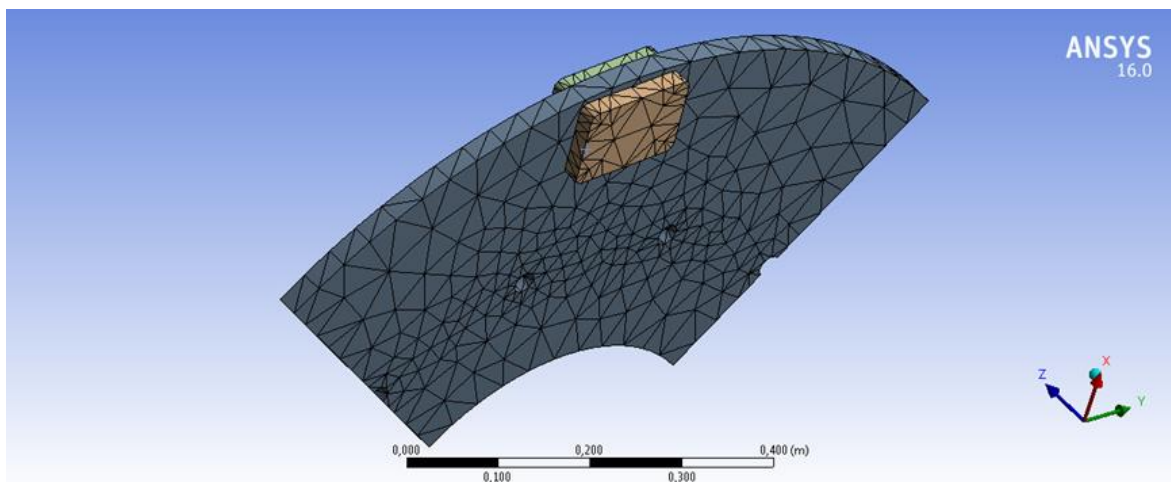


Figure 51 : Modèle FE d'un ensemble disque-plaquettes

Nom du corps	Nœuds	Éléments
Disque	3292	1589
Plaquette 1	430	183
Plaquette 2	430	183

Tableau 12 : Résultats d'un maillage

#### 8. Modélisation du modèle de contact de frein à disque :

Pour appliquer le modèle mécanique d'élément finis avec un rotor, nous considérons les hypothèses suivantes :

- La pression de freinage est uniformément répartie sur la zone de contact du disque et les plaquettes.
- Le coefficient de frottement reste constant pendant le freinage.
- Les matériaux du disque et des plaquettes sont homogènes et leurs propriétés sont invariables avec la température.

#### 9. Modélisation du chargement et des conditions aux limites

Les différentes conditions aux limites imposées au modèle d'éléments finis du disque et de la plaquette en configurations encastrées, compte tenu de son environnement direct, sont les suivantes (Figure 52)

##### i. Conditions aux limites appliquées au disque

- La rotation du disque est prise en compte, en tenant sa vitesse angulaire imposée et constante  $\omega=27.7 \text{ rad/s}$  suivant  $z$ .
- Les nœuds du diamètre intérieur sont bloqués suivant la direction radiale et axiale en laissant la direction tangentielle libre (support cylindrique).
- Le disque est encastré par les 12 perçages au niveau des boulons de fixation qui permettent de maintenir le disque sur le treuil dans les trois directions de l'espace.

##### ii. Conditions aux limites et chargement appliquées aux plaquettes

Les conditions aux limites appliquées aux plaquettes sont définies en fonction des mouvements autorisés par l'étrier. En effet, un des rôles de l'étrier est de retenir les plaquettes qui ont la tendance naturelle à suivre le mouvement du disque lorsque les deux structures sont en contact. L'étrier maintient aussi les plaquettes dans la direction  $z$ .

Ainsi, les conditions imposées aux plaquettes sont :

- La plaquette est encastrée sur ses bords dans le plan orthogonal à la surface de contact, autorisant ainsi un mouvement de corps rigide dans la direction normale au contact tel que l'on peut le trouver dans un montage de frein automobile.
- Un support fixe dans la plaquette extérieure.

Le chargement mécanique est représenté par les plaquettes qui viennent presser le disque et qui engendrent des frottements dus à la rotation de ce dernier. L'effort de serrage des plaquettes provient de la pression d'un ressort sur la plaquette où on a seulement une condition de chargement :

- Une pression  $P$  de 6 MPa appliquée sur la plaquette intérieure.

Sans oublier la création des interactions de contact (frottement ...) entre les deux pièces.

On introduit un coefficient de frottement  $\mu$  pour définir le frottement. Celui-ci dépend de beaucoup de paramètres (pression, vitesse de glissement, température, humidité, etc.) et varie donc au cours d'un freinage. Pour des raisons de simplicité, il est pris constant et égal à  $\mu = 0,2$  dans les calculs.

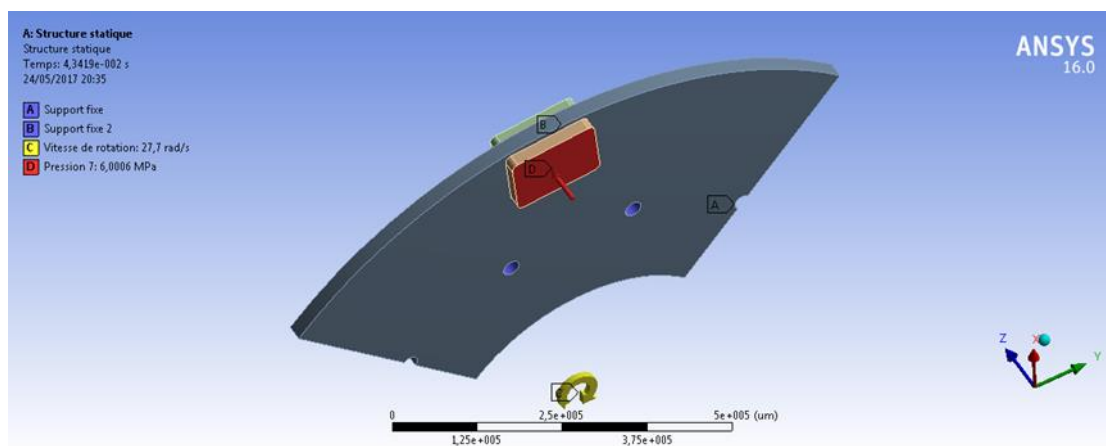


Figure 52 : Conditions aux limites et chargement imposées au disque-plaquettes

### 10. Lancement de calcul :

Une fois les données sont installées, il ne reste qu'à lancer la résolution. Le choix d'un résultat parmi tant d'autres obtenus se fait selon le besoin de l'étude à effectuer. Une fois les résultats obtenus, il ne reste qu'à varier certains paramètres (caractéristiques physiques) par

rapport à certains autres afin de déterminer les plus influents. Par exemple de notre étude (le module de Young, la vitesse de rotation du disque, le coefficient de frottement ...etc.)

## II. Résultats de calcul mécanique et discussions

Le code de calcul ANSYS permet la détermination et la visualisation des déformations de la structure dues au contact glissant entre le disque et les plaquettes. Les résultats des calculs de contact décrits dans cette partie concernent les déplacements ou bien la déformée totale au cours de la séquence de chargement, le champ des contraintes équivalentes de Von Mises sur le disque, les pressions de contact de la plaquette intérieure et extérieure à différents instants de la simulation.

### 1. Maillage du modèle

Le modèle d'éléments finis du rotor est réalisé avec un maillage de **7820** éléments pour un total de **16608** nœuds. Le maillage du disque et plaquette issu du logiciel ANSYS est présenté sur la figure 53.

Ici on constate qu'il y a 2 plans de symétrie en géométrie et en efforts comme la figure précédente l'indique, une symétrie selon le plan xy et une symétrie selon le plan yz, par conséquent la pièce peut être coupée en 4. Donc seul le 1/4 de la pièce sera analysé.

On obtient la configuration suivante.

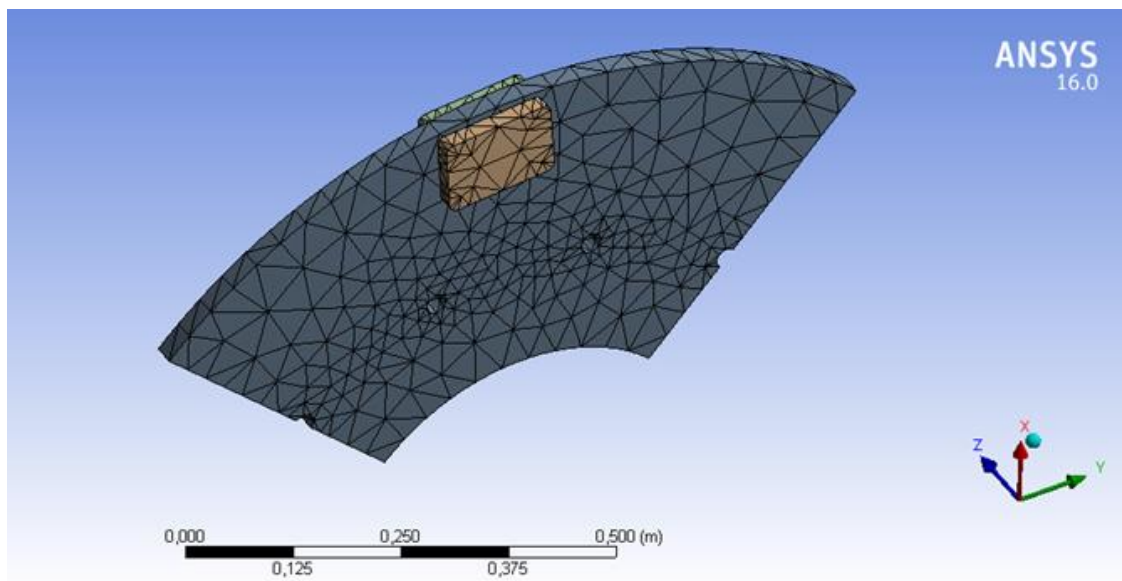


Figure 53 : Maillage volumique du disque et plaquettes (Nœuds 16608, Eléments 7820)



## 2. La déformée totale

La figure 54 montre différentes configurations des déplacements de l'ordre  $\mu m$  du modèle en fonction du temps. La déformée totale est atteinte à la fin du freinage et elle varie entre  $0 \mu m$  à  $69 \mu m$ .

Pour la plaquette, on constate que les déplacements se localisent uniquement sur les pistes de frottement ; ils atteignent une valeur maximale égale à  $70 \mu m$  à l'instant  $t= 10s$  comme on peut voir dans la figure 54. (Pour le disque total voir Annexe C)

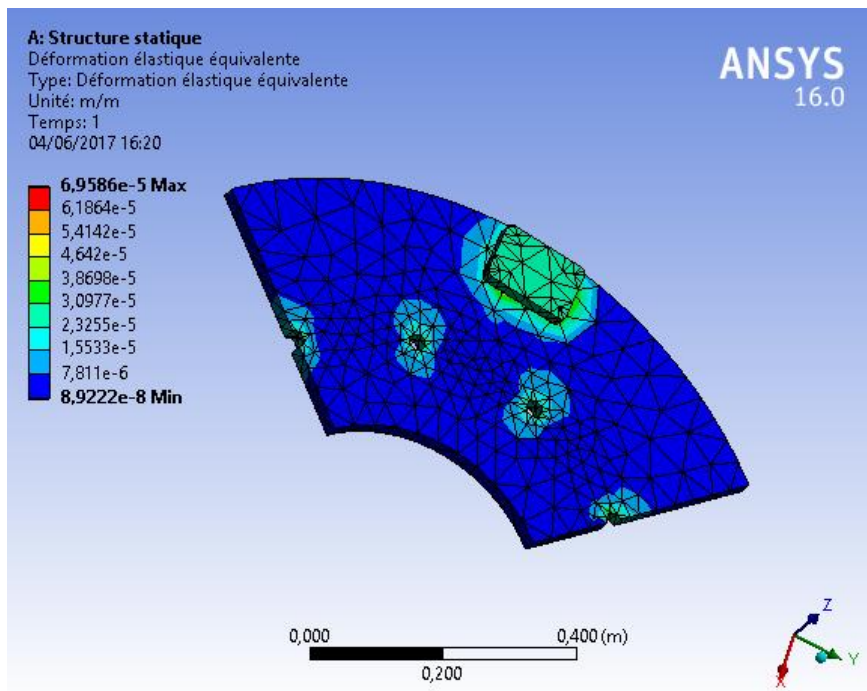


Figure 54 : variation de déformation totale du modèle

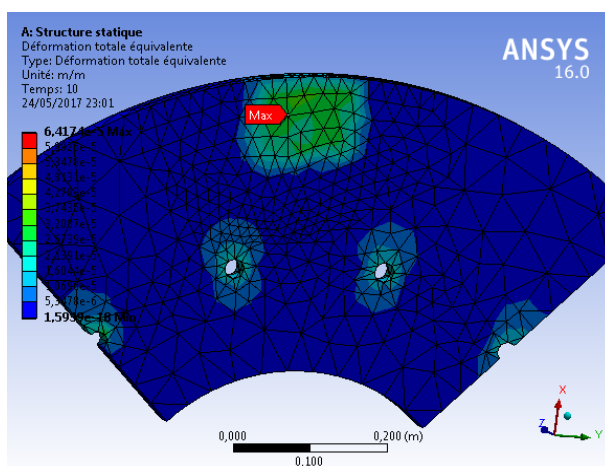


Figure 56 : Déformation totale du disque à  $t=10s$

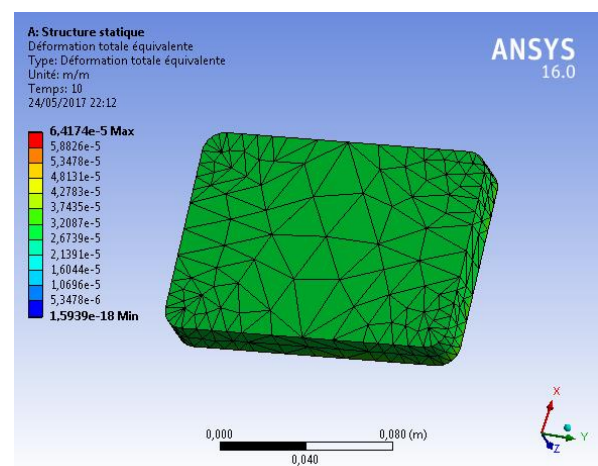


Figure 56 : Déformation totale de la plaquette intérieure à  $t=10s$

### 3. Contraintes équivalentes de Von Mises

La figure 57 présente la répartition de la contrainte équivalente de Von Mises en fonction du temps de simulation. Les valeurs de la contrainte équivalente de Von Mises varient de 0 MPa à 74 MPa. La valeur maximale enregistrée lors de cette simulation se situe au niveau des trous de boulons (du côté interne ou externe du disque). Les concentrations de contraintes les plus importantes naissent dans la zone du boulon du disque au début de freinage et elles se propagent vers la piste de frottement intérieure avec des niveaux faibles au cours du freinage. Ce comportement est dû à l'application de pression de contact qui en présence de la rotation du disque produisent des efforts de torsion et de cisaillements. Notons que, le disque comporte des perçages de fixation constituant des zones de concentration de contraintes.

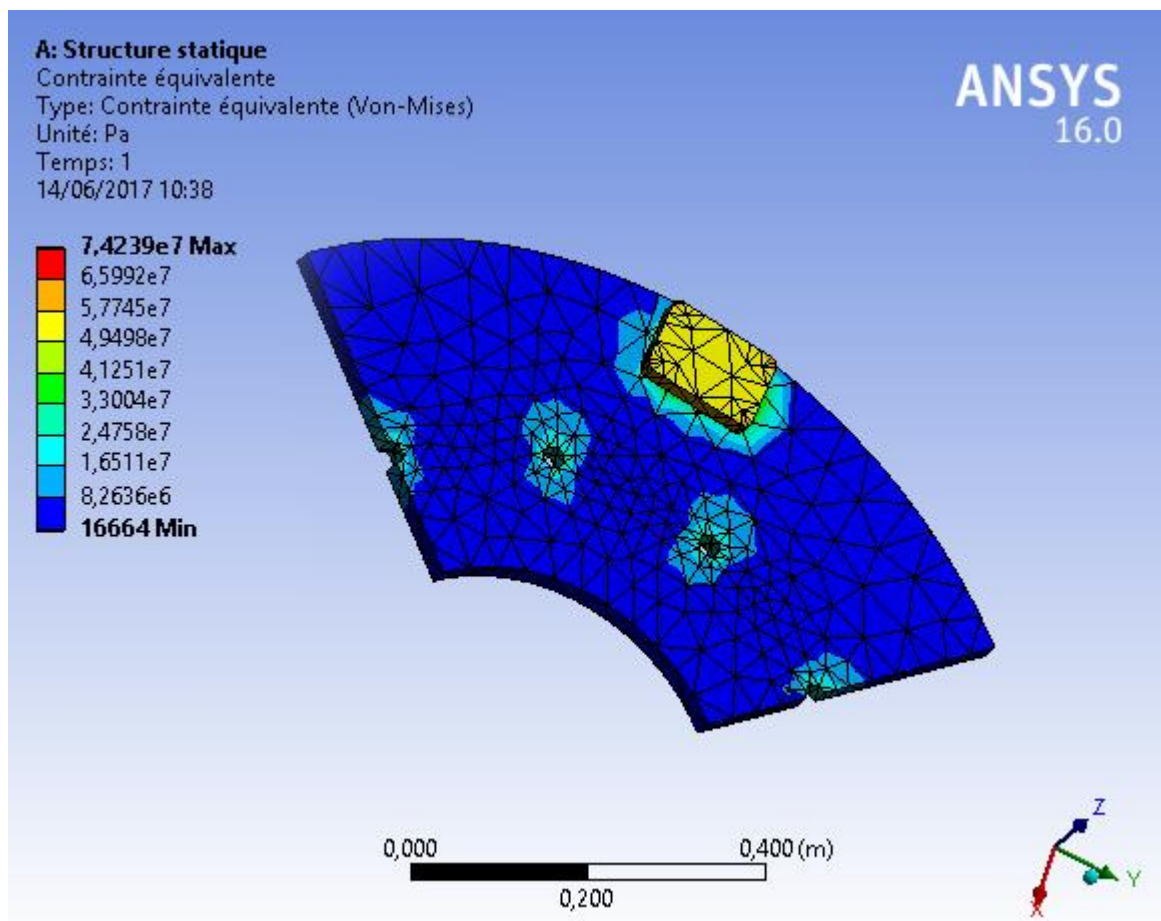
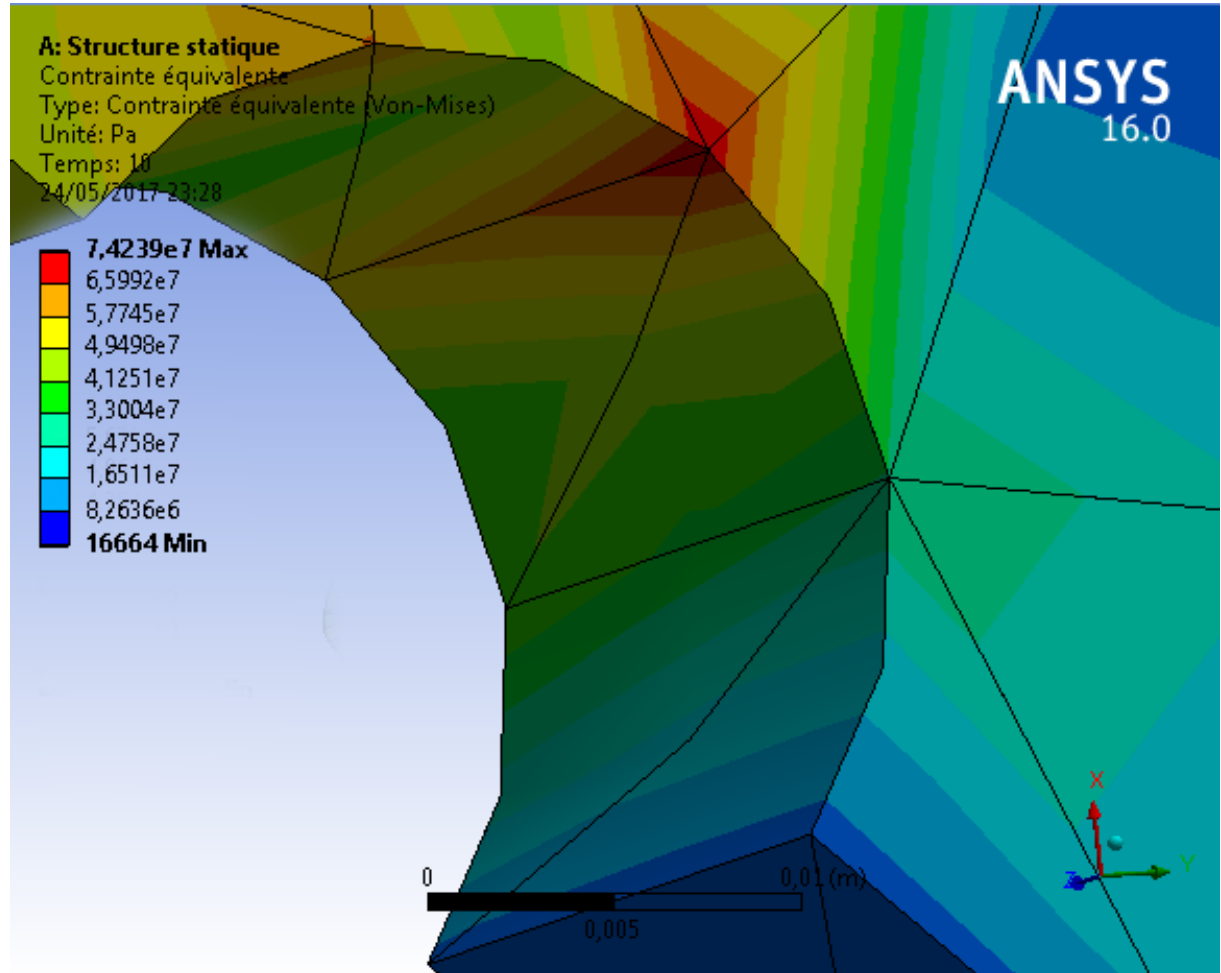


Figure 57 : Distribution des contraintes de Von Mises dans le modèle disque-plaquette.

#### 4. Etude de la convergence

Après on raffine le maillage dans la zone de la contrainte maximale c'est-à-dire près des trous de fixation ou il y a encastrement.



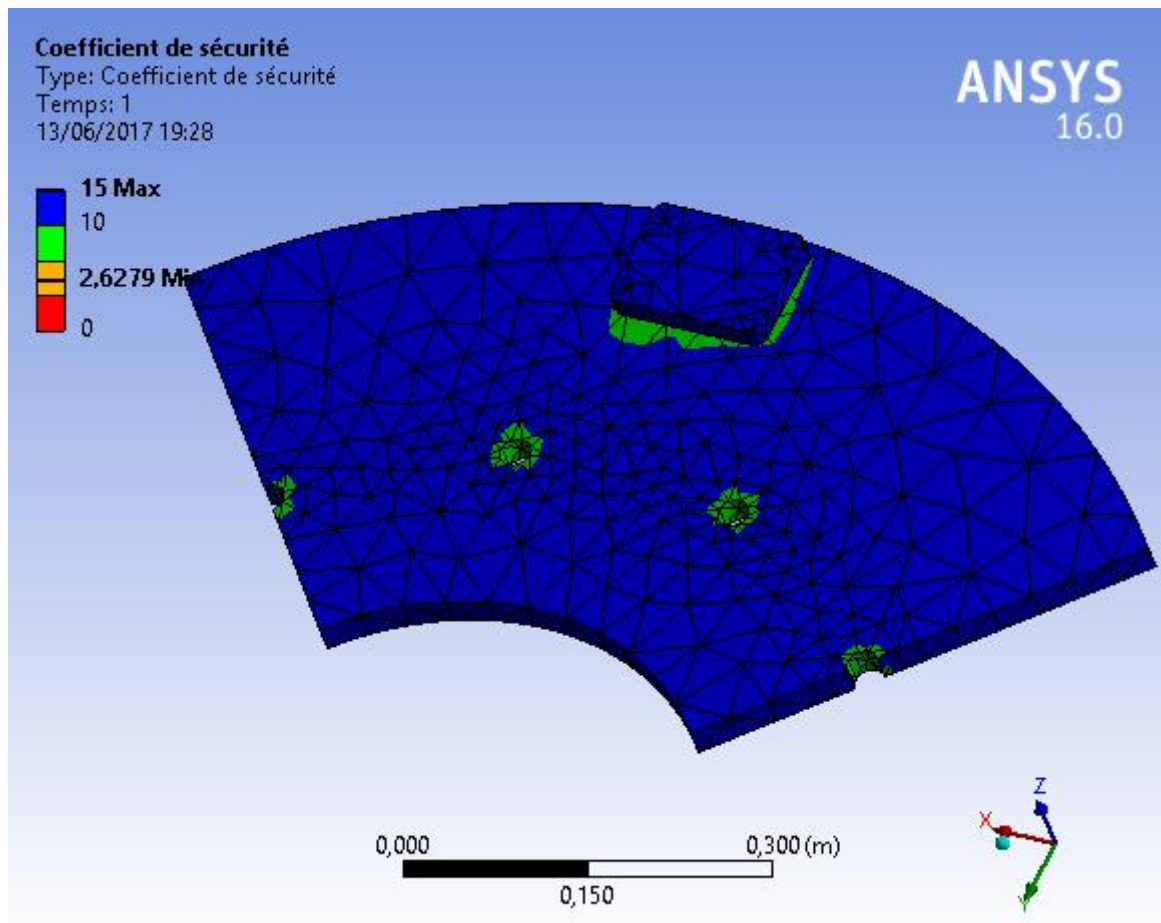
La contrainte de Von Mises doit être plus petite que la limite d'écoulement de 200 MPA. On doit donc étudier la convergence des contraintes dans la région de l'encastrement

La contrainte maximale de Von Mises obtenue par l'analyse numérique est de l'ordre de 74 MPA.

Pour le disque en Fonte grise avec les propriétés données le facteur de sécurité obtenu est donné par le critère de Von Mises.

$$FS = \frac{S_Y}{\sigma_{VM}} = \frac{200}{74,2} = 2,69$$

Nous avons validé la valeur de Facteur de sécurité et on a trouvé :



## CONCLUSION

En raison de la sécurité de machine et personnes, la construction optimale des disques de freins est actuellement l'objet de nombreuses études. Le contact disque – plaquettes implique de nombreux phénomènes, tels que l'élévation de la température, l'usure des pièces et les vibrations.

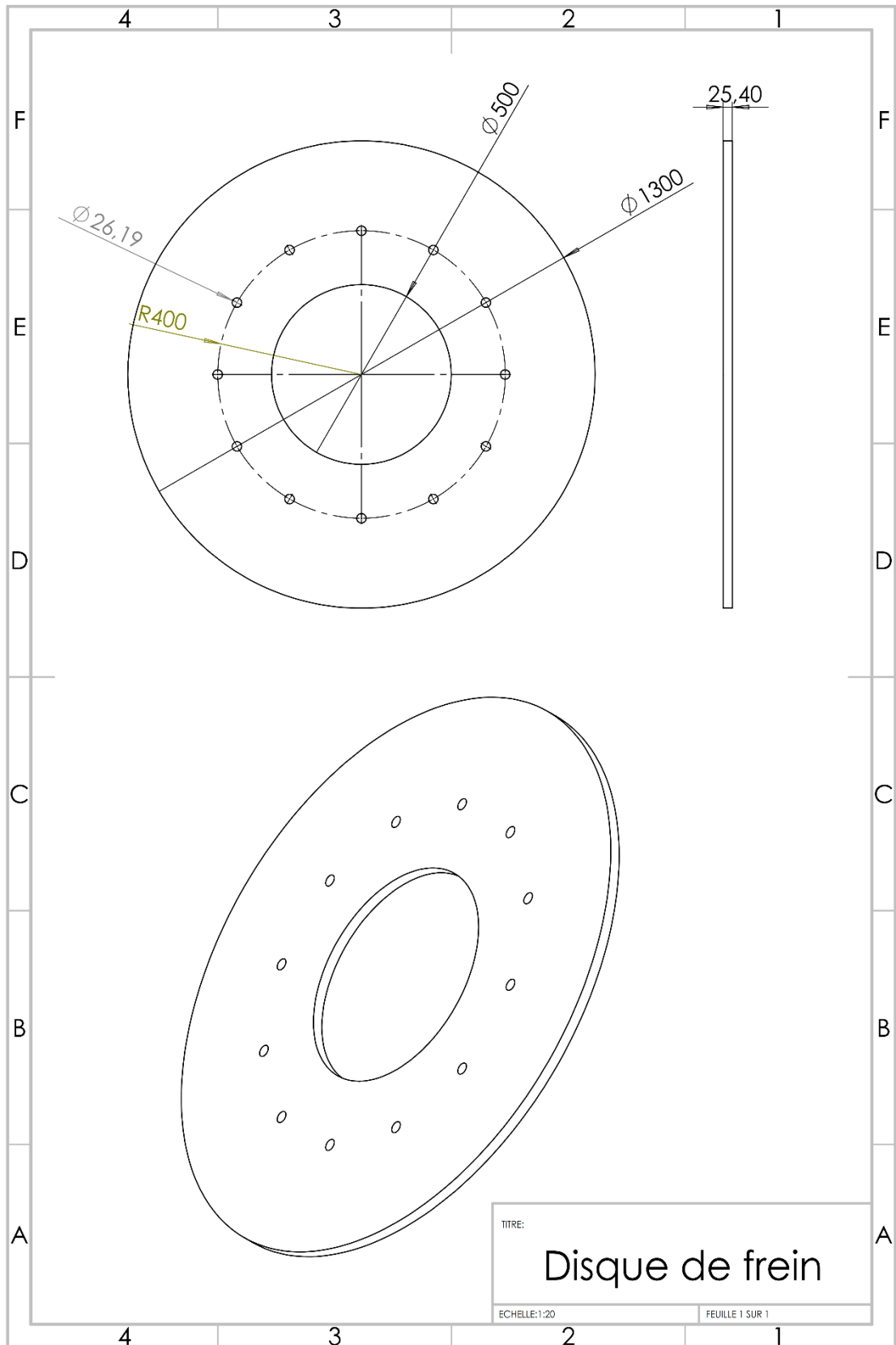
Dans ce travail, on a présenté une modélisation numérique du contact disque plaquettes en utilisant le logiciel ANSYS 16.0, basé sur la méthode des éléments finis, pour analyser le comportement sous l'aspect mécanique pour prédire la tenue en fatigue des pièces en contact glissant.

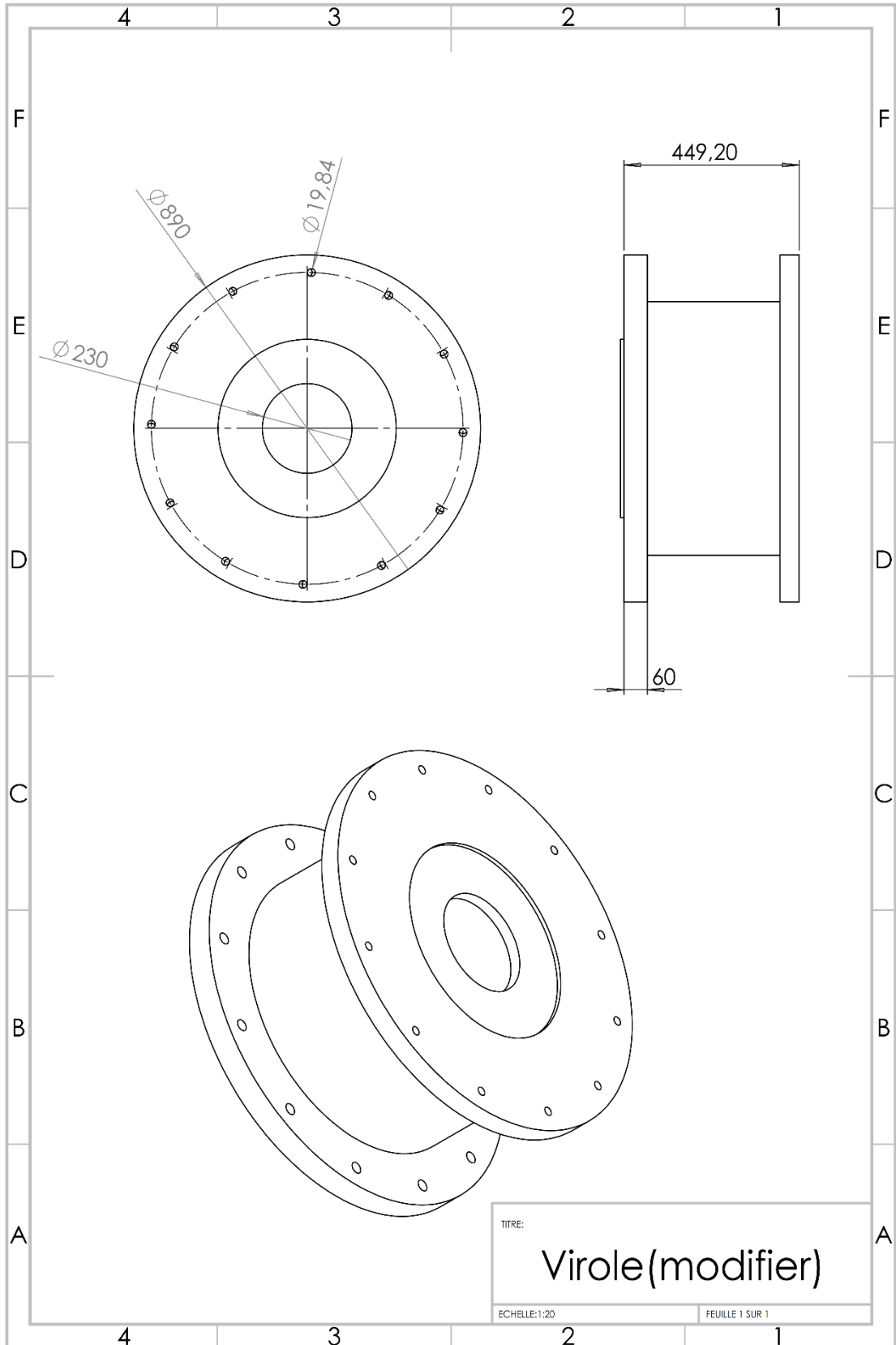
Nous avons présenté une étude purement mécanique du contact entre disque de frein et la plaquette. A l'aide du modèle développée, on a pu examiner la sensibilité de certains paramètres sur les résultats de calcul, qui se résume comme suit :

- Les parties à forte concentration de contraintes se trouvent généralement dans le disque au niveau des trous et les pistes de frottement. Causant des phénomènes mécaniques (fissures radiales, l'usure, rupture, etc.).
- La vitesse de rotation initiale du disque a une grande influence sur le comportement mécanique.
- La finesse du maillage augmente la précision de la solution.
- Le bon choix du matériau des plaquettes dépend de son module de Young. Le matériau ayant le plus grand module d'élasticité diminue les contraintes maximales et donne des bons résultats.
- Le choix d'un matériau des plaquettes dépend d'un bon coefficient de frottement (le plus élevé possible).
- L'emploi de la fonte grise pour les disques de frein influe positivement sur la contrainte en surface du disque. Elle se distingue par un meilleur comportement mécanique.
- Le Facteur de sécurité est plus grand que 2, donc le système est sécurisé.

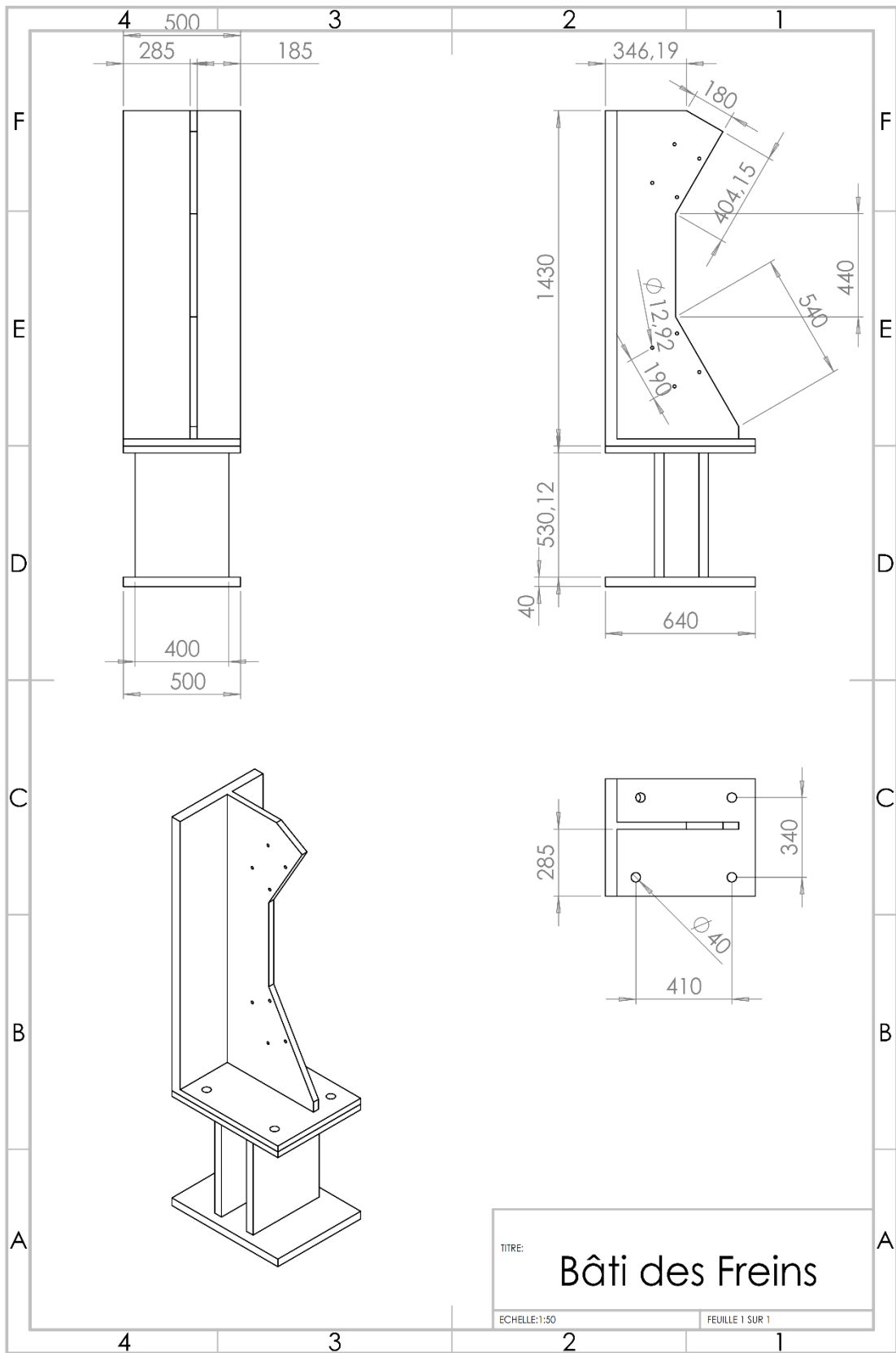
# *Annexe A :*

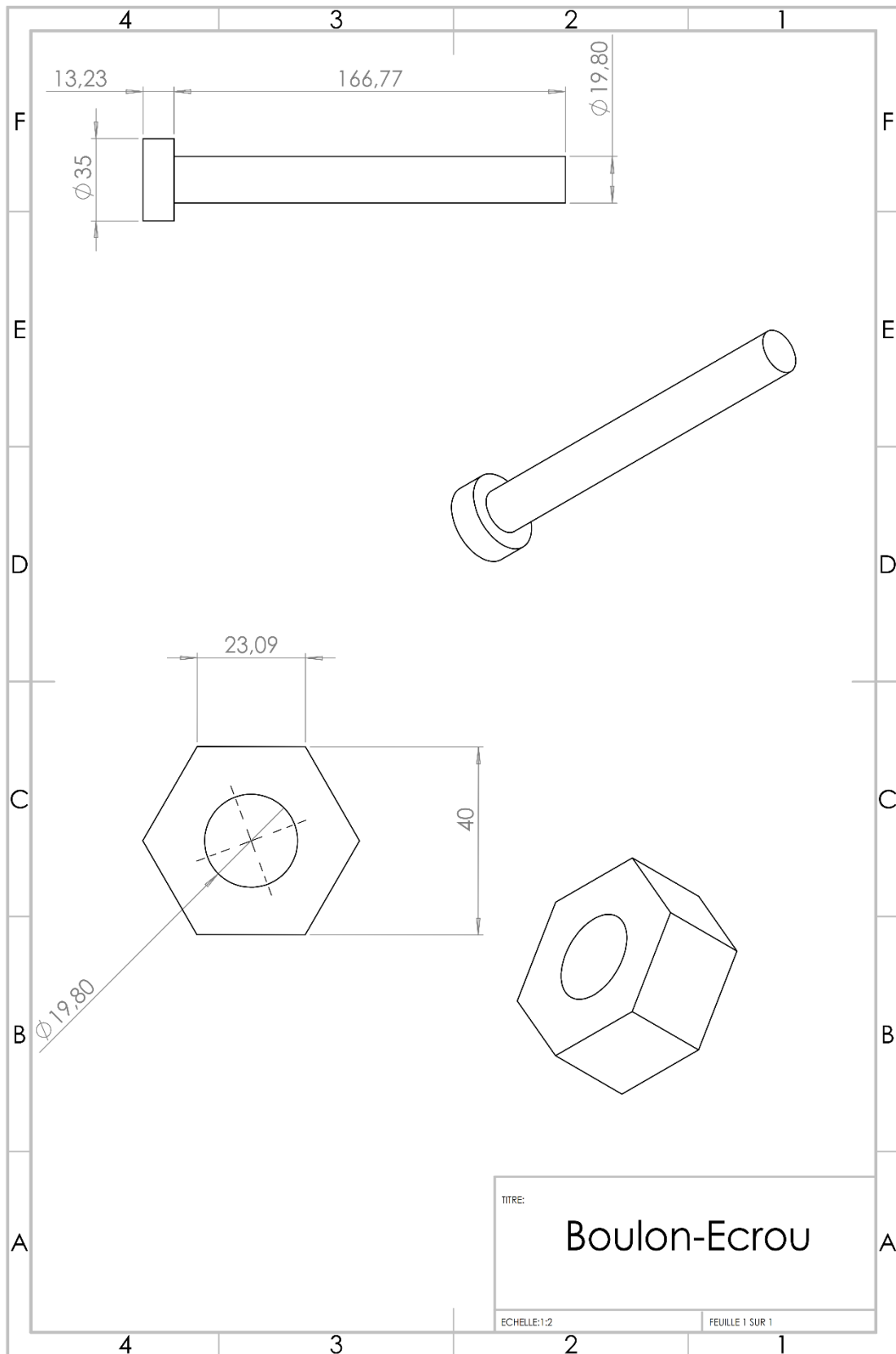
## *Dessin Industrielle des pièces ajoutées*









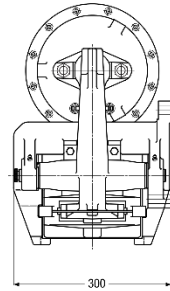
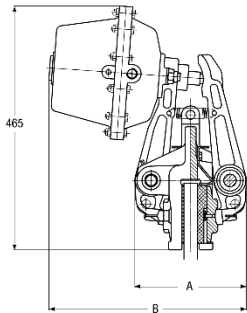


# *Annexe B :*

## *Frein A Disque Twiflex*

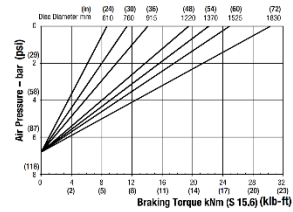
## GMR Series

### GMRS Spring Applied – Pneumatically Released

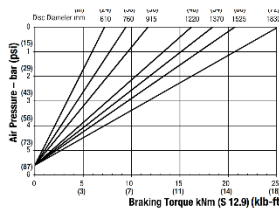


mm (in)

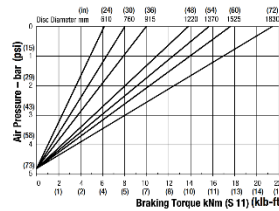
	A	B
GMRS	212 (8.35)	376 (14.80)
GMR40S	223 (8.78)	382 (15.04)



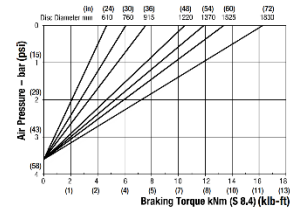
Maximum Braking Force S 15.6: 36kN (8093.12 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 8.4 bar (122 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 49kg (108.03 lb)  
 Weight of thruster only - 15kg (33.07 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 1.31ml (0.04 fl oz)



Maximum Braking Force S 12.9: 30kN (6744.27 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 7 bar (102 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 48kg (105.82 lb)  
 Weight of thruster only - 14kg (30.86 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 1.31ml (0.04 fl oz)

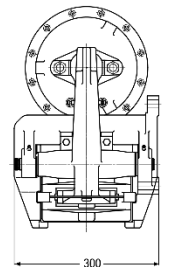
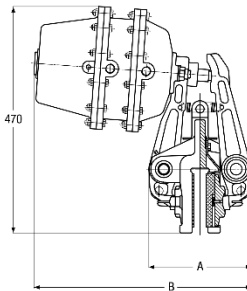


Maximum Braking Force S 11: 25kN (5620.22 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 6 bar (87 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 47.2kg (104.06 lb)  
 Weight of thruster only - 13.2kg (29.10 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 1.31ml (0.04 fl oz)



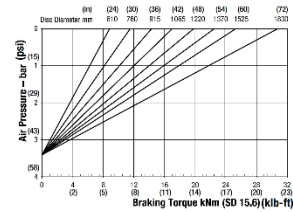
Maximum Braking Force S 8.4: 19.5kN (4383.77 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 4.8 bar (69 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 46.2kg (101.85 lb)  
 Weight of thruster only - 12.2kg (26.85 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 1.31ml (0.04 fl oz)

### GMRSD Spring Applied – Pneumatically Released

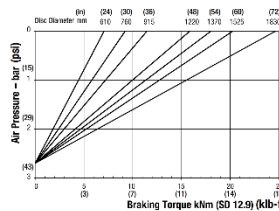


mm (in)

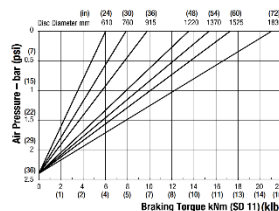
	A	B
GMRSD	212 (8.35)	451 (17.76)
GMR40SD	223 (8.78)	457 (17.99)



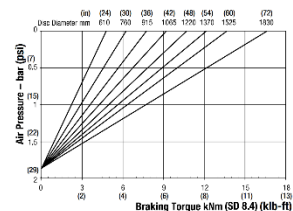
Maximum Braking Force SD 15.6: 36kN (8093.12 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 4.8 bar (69 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 55kg (121.25 lb)  
 Weight of thruster only - 21kg (46.29 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 2.51ml (0.08 fl oz)



Maximum Braking Force SD 12.9: 30kN (6744.27 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 3.8 bar (55 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 54kg (119.05 lb)  
 Weight of thruster only - 20kg (44.09 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 2.51ml (0.08 fl oz)



Maximum Braking Force SD 11: 25kN (5620.22 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 3.3 bar (48 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 53.2kg (117.29 lb)  
 Weight of thruster only - 19.2kg (42.33 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 2.51ml (0.08 fl oz)



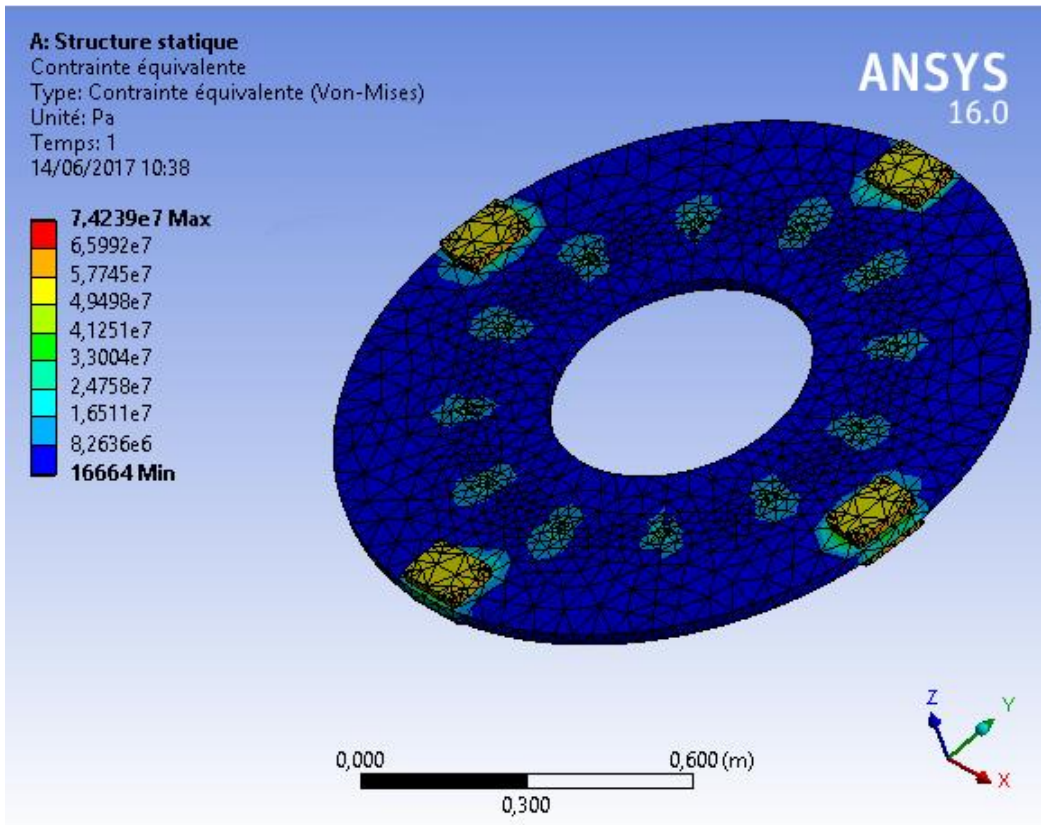
Maximum Braking Force SD 8.4: 19.5kN (4383.77 lbf)  
 Minimum Pressure for full retraction: 2.4 bar (35 psi)  
 Weight of caliper and thruster - 52.2kg (115.08 lb)  
 Weight of thruster only - 18.2kg (40.12 lb)  
 Volume displacement of thruster at full retraction = 2.51ml (0.08 fl oz)

Retraction pressures where shown are calculated and may vary depending on spring tolerance.

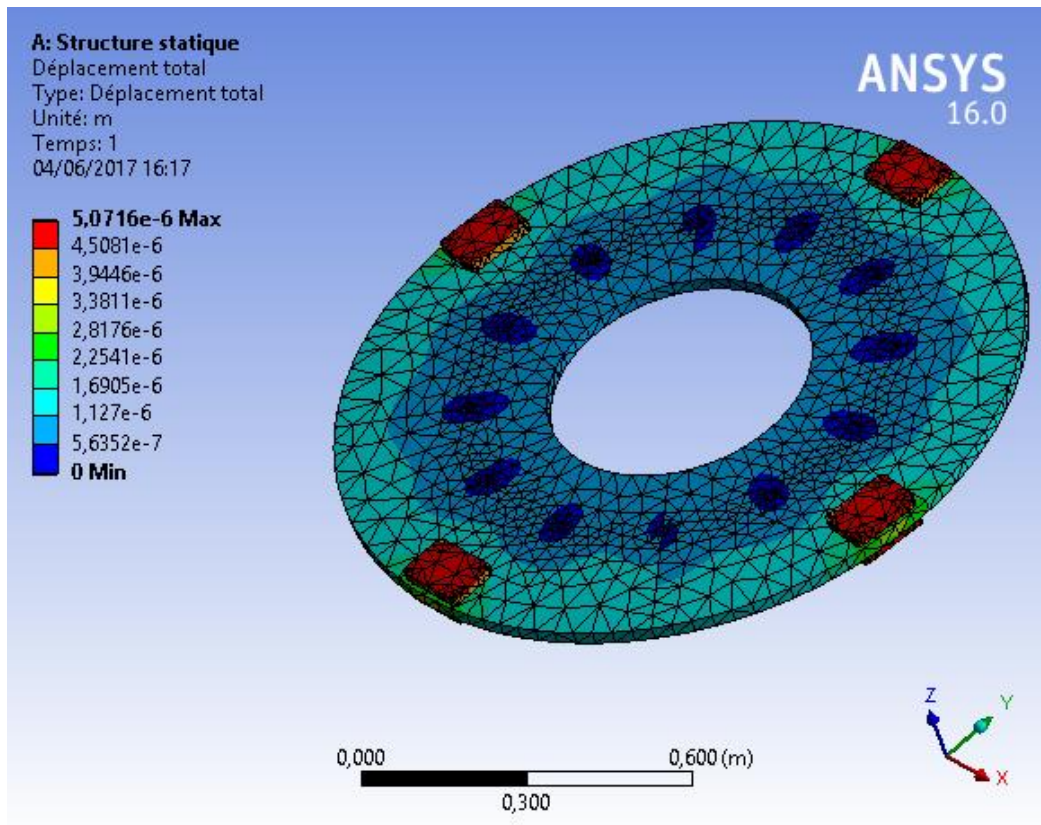
# *Annexe C :*

## *Résultat de simulation de disque complet sur ANSYS*

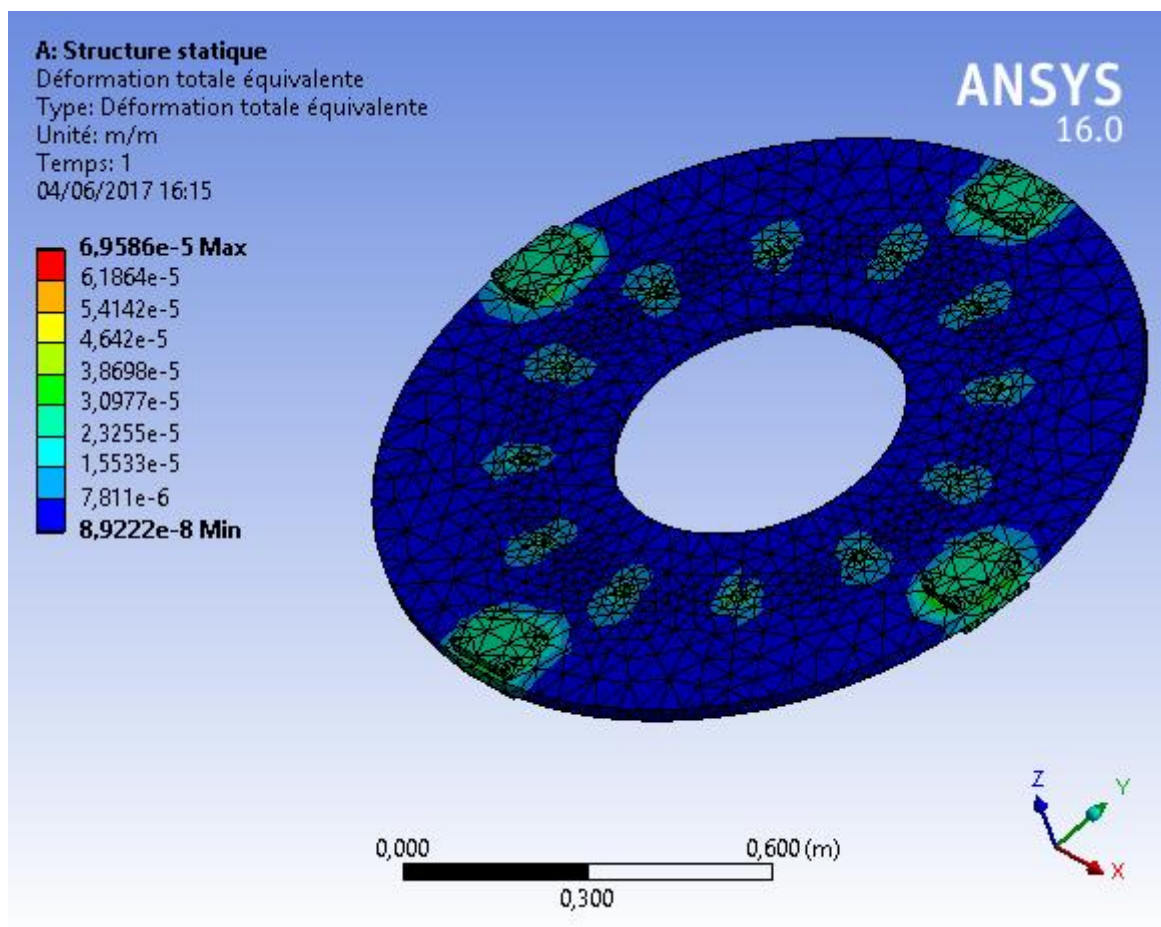
**Contrainte équivalent de Von-Mises**



**Déplacement**



**Déformation**

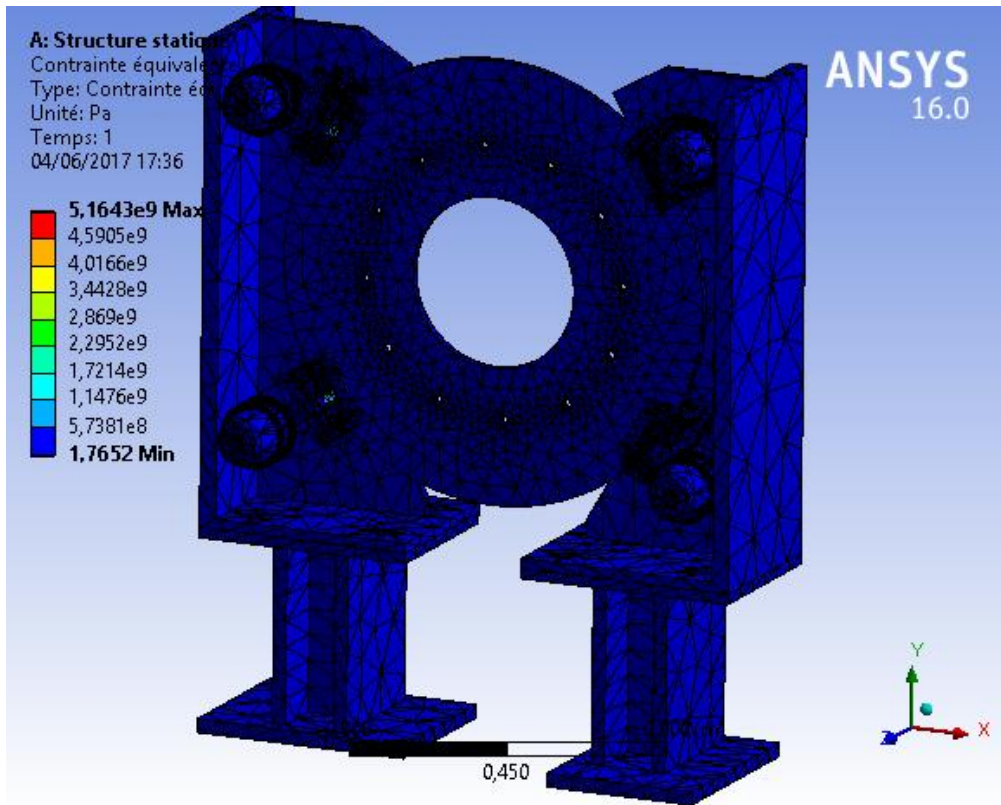


# *Annexe D :*

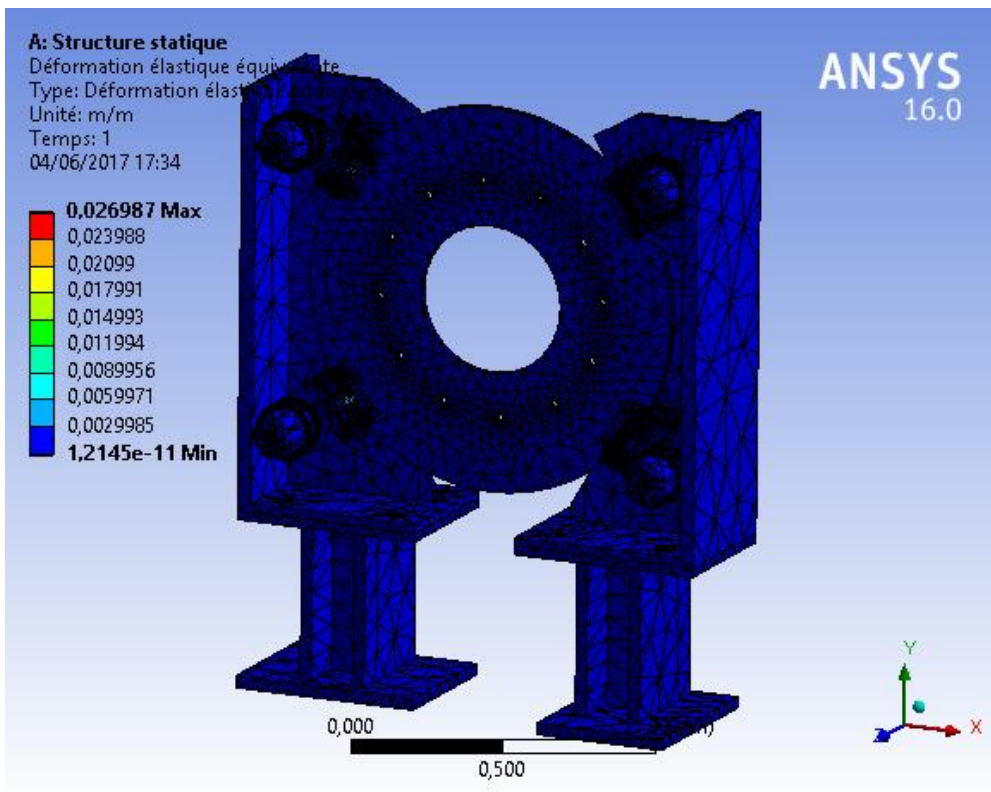
## *Résultat de simulation de Bâti des Disques sur ANSYS*



**Contrainte équivalent de Von-Mises**



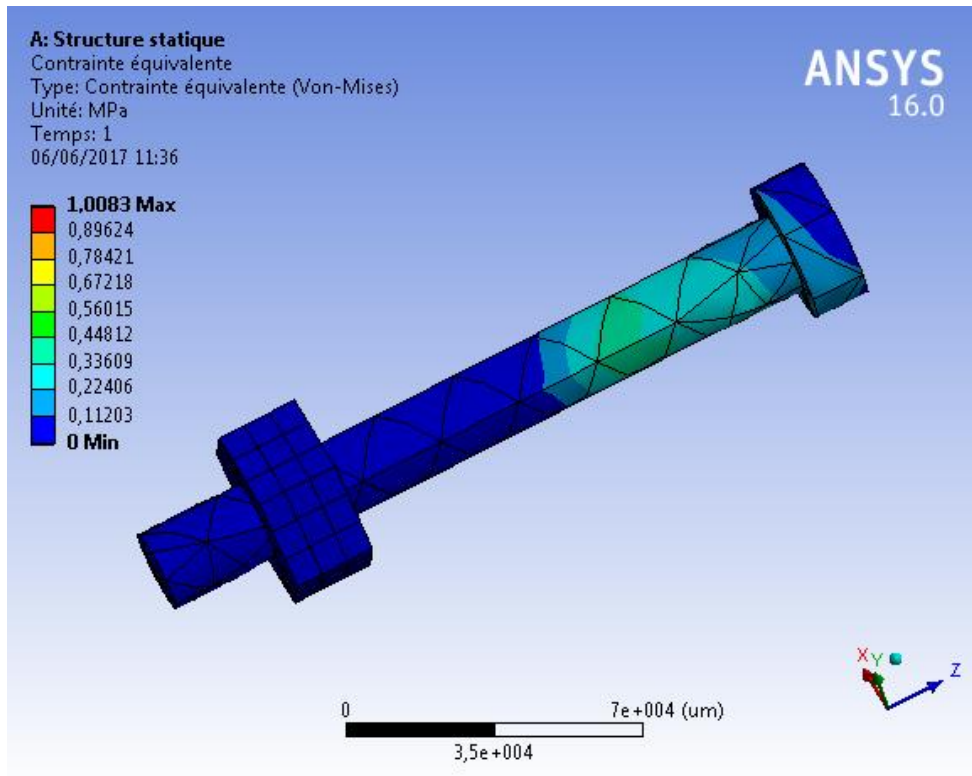
**Déformation :**



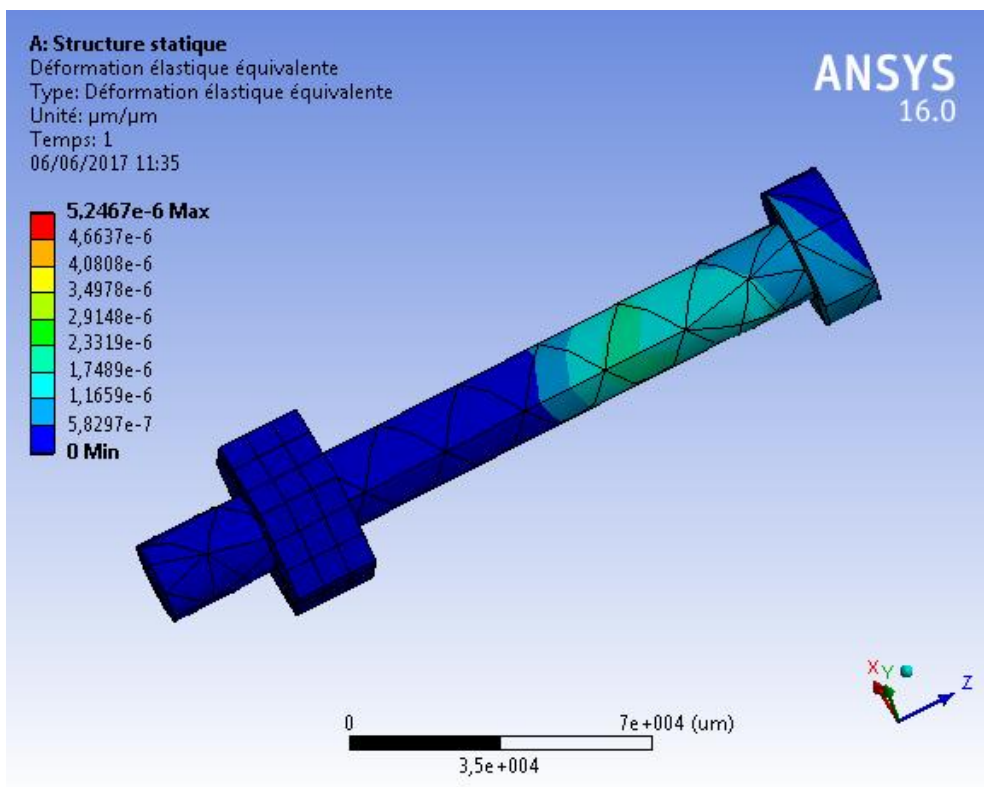
# *Annexe E :*

## *Résultat de simulation de Boulon de fixation sur ANSYS*

**Contrainte équivalent de Von-Mises**



**Déformation :**



# *Bibliographie*

- <http://www.twiflex.com/products/Disc-Braking-Systems/Direct-Acting-Calipers>
- [http://cimap.fr/?gclid=CjwKEAjwvYPKBRCYr5GLgNCJ\\_isSjABqfw7eTK9Fuld8j-WjK0hmyrilHymPiRuLf3sKRIMvC9OHxoC3-bw\\_wcB](http://cimap.fr/?gclid=CjwKEAjwvYPKBRCYr5GLgNCJ_isSjABqfw7eTK9Fuld8j-WjK0hmyrilHymPiRuLf3sKRIMvC9OHxoC3-bw_wcB)
- <http://www.ocpgroup.ma/fr/excellence-mondiale/sites-de-production/le-site-de-khouribga-capitale-mondiale-des-phosphates>