



MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

Diplôme de Master Sciences et Techniques Spécialité : Ingénierie Mécanique

Redimensionnement et modification de tourteau de renvoi ATM calcaire ligne 1

Réalisé par :

Mr. Adil MAHFOUD

Mr. Mohamed IKBANE

Encadré par :

Pr.A.TOUACHE (FST)

Mr.A.MOUAZNI (LAFARGE)

Date de la soutenance : 23 juin 2011

Soutenu devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Pr.A.TOUACHE	Faculté des Sciences et Techniques	Encadrant
Pr.A.ABOUTAJDDINE	Faculté des Sciences et Techniques	Examinateur
Pr.A.MAJDOBI	Faculté des Sciences et Techniques	Examinateur

PFE effectué à :
LAFARGE BOUSKOURA.

Année Universitaire : 2010-2011



Stage effectué à : LAFARGE BOUSKOURA

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: IKBANE Mohamed-MAHFOUD ADIL

Année Universitaire : 2010-2011

Titre: Redimensionnement et modification de tourteau de renvoi ATM calcaire ligne 1

Résumé

L'amélioration de la fiabilité et la disponibilité des équipements est un souci majeur pour l'ensemble des entreprises marocaines. Dans cette perspective, LAFARGE MAROC usine de BOUSKOURA déploie des efforts insatiables pour améliorer les performances des équipements et réduire ainsi le coût de production visant l'efficacité dans ses différents départements en matière de rentabilité et de sécurité.

Dans le cadre de l'amélioration de la fiabilité et la disponibilité des équipements, le service bureau de méthodes a lancé un projet d'adoption d'une nouvelle conception des équipements basée sur le redimensionnement des éléments critiques afin de diminuer le temps total d'intervention.

Le but de notre sujet est le redimensionnement et la modification de l'alimentateur à tablier métallique calcaire ligne 1 pour diminuer le temps d'intervention lors de son entretien.

Cette étude nous a mené à effectuer d'abord une enquête préliminaire sur le mode de fonctionnement de l'alimentateur à tablier métallique grâce à une analyse AMDEC. Ainsi nous avons mis en évidence la défaillance et la criticité du tourteau renvoi. Ensuite nous avons modifié le principe de fonctionnement de L'ATM de telle façon que la liaison entre l'arbre et la couronne dentée soit rigide (suppression des roulements puisqu'ils sont les éléments critiques), et que l'arbre soit tournant à l'aide des paliers à roulements placés à ses extrémités. Nous avons proposé des solutions étudiées et validées (dimensionnements ainsi que leurs CAO on utilisant le logiciel CATIA v5.18). Finalement nous avons trouvé que la solution proposée était judicieuse d'un point de vue disponibilité et fiabilité de l'ATM.

Mots clés: Fiabilité, Temps d'intervention, ATM, Tourteau de renvoi, AMDEC, Palier à roulements, Clavette, Arbre, Dimensionnement, contrainte, Charge radiale, Débit, Puissance.



Résumé

L'amélioration de la fiabilité et la disponibilité des équipements est un souci majeur pour l'ensemble des entreprises marocaines. Dans cette perspective, LAFARGE MAROC usine de BOUSKOURA déploie des efforts insatiables pour améliorer les performances des équipements et réduire ainsi le coût de production visant l'efficacité dans ses différents départements en matière de rentabilité et de sécurité.

Dans le cadre de l'amélioration de la fiabilité et la disponibilité des équipements, le service bureau de méthodes a lancé un projet d'adoption d'une nouvelle conception des équipements basée sur le redimensionnement des éléments critiques afin de diminuer le temps total d'intervention.

Le but de notre sujet est le redimensionnement et la modification de l'alimentateur à tablier métallique calcaire ligne 1 pour diminuer le temps d'intervention lors de son entretien.

Cette étude nous a mené à effectuer d'abord une enquête préliminaire sur le mode de fonctionnement de l'alimentateur à tablier métallique grâce à une analyse AMDEC. Ainsi nous avons mis en évidence la défaillance et la criticité du tourteau renvoi. Ensuite nous avons modifié le principe de fonctionnement de L'ATM de tel façon que la liaison entre l'arbre et la couronne dentée soit rigide (suppression des roulements puisqu'ils sont les éléments critiques), et que l'arbre soit tournant à l'aide des paliers à roulements placés à ses extrémités. Nous avons proposé des solutions étudiées et validées (dimensionnements ainsi que leurs CAO on utilisant le logiciel CATIA v5.18). Finalement nous avons trouvé que la solution proposée était judicieuse d'un point de vue disponibilité et fiabilité de l'ATM.

Mots clés: Fiabilité, Temps d'intervention, ATM, Tourteau de renvoi, AMDEC, Palier à roulements, Clavette, Arbre, Dimensionnement, contrainte, Charge radiale, Débit, Puissance.

Abstract

The improvement of the reliability and the availability of equipments is a major concern for all the Moroccan companies. In this perspective, LAFARGE Bouskoura deploys the insatiable efforts to improve the performances of



equipments and to reduce so the production cost aiming at the efficiency in its various departments in profitability and in security.

Within the framework of the improvement of the reliability and the availability of equipments, the methods office initiated a project to adopt a new equipments design based on the resizing of the critical elements to reduce the total time of intervention

The purpose of our subject is to resize and change the limestone feeder steel deck of the line 1 by changing its operating principle that will solve the problems mentioned or encountered at the cake removal to reduce time of intervention.

This study led us to make first a preliminary survey of the operating mode of the limestone made of metal apron feeder line 1, by making an analysis FMEA to implement the failure and the criticality of the cake removal After that, we changed the operating principle of the ATM so that the connection between the shaft and the ring gear is rigid (removal of the bearings because they are critical components), and the shaft is rotating using the roller bearings at its ends. We have proposed solutions, their sizing and their designs using the software CATIA v5.18.

Finally we checked the validity of the solutions in terms of fatigue strength, shear strength and estimated lifetime of bearings while comparing the results obtained with the current state. We found that the first solution (change of the shaft and use of a cotter and large bearings) was appropriate since it makes the total intervention time very short compared to the current state (one hour instead of 7 hours)

Key words: Reliability, Intervention, ATM, FMEA, roller bearings, cotter, shaft, sizing, stress, radial load, flow, power, cake removal

Liste des tableaux

Tableau 1: Différentes compositions du ciment.....	15
Tableau 2: éléments constituant l'arbre de commande.	24



Tableau 3: éléments constituant l'arbre de renvoi.....	25
Tableau 4: analyse et cotation de l'ATM.....	27
Tableau 5: Nomenclature des pièces principales de l'arbre de renvoi.....	31
Tableau 6: Choix de type d'étanchéité.....	36
Tableau 7: dimension de la section de la clavette.....	38
Tableau 8: Facteur de charge.....	39
Tableau 9: méthode de PUGH.....	64
Tableau 10: Degrés de l'indice de fréquence.....	70
Tableau 11: cotation de la gravité.....	70
Tableau 12: Degrés de l'indice de détectabilité.....	71

Liste DES ABREVIATIONS

ABREVIATION	DESIGNATION
ATM	Alimentateur à tablier métallique
AMDEC	L'analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
TI	Temps d'Intervention
RDM	Résistances Des Matériaux

Liste des figures

Figure 1: sites de production.....	12
Figure 2: Chiffres d'affaires.....	13
Figure 3: Répartition des ventes.....	14



Figure 4: Constitution du ciment	15
Figure 5: Types de ciments.....	15
Figure 6: Extraction et transport de la matière première	16
Figure 7: concassage.....	16
Figure 8: Broyeur cru	16
Figure 9: Circuit de cuisson.....	17
Figure 10:Four rotatif	18
Figure 11: Refroidisseur	19
Figure 12: Procès du fabrication du ciment.....	20
Figure 13: organe de commande	23
Figure 14: organe de renvoi.....	29
Figure 15: représentation de l'idée générale de la nouvelle conception.....	32
Figure 16: palier en deux parties	34
Figure 17: Roulement sur portée cylindrique, arbre épaulé	35
Figure 18: Roulement sur manchon de serrage, arbre lisse.....	35
Figure 19: résultante des forces exercées sur la surface de la clavette.....	41
Figure 20: concept de la 2 ^{ème} solution.....	45
Figure 21: dimension du palier de la 2 ^{ème} solution.....	46
Figure 22: dessin de la couronne roue de commande.....	48
Figure 23: dessin du moyeu.....	50
Figure 24: diagramme des efforts tranchants	53
Figure 25: diagramme des moments fléchissant.....	53
Figure 26: diagramme des efforts tranchants par RDM6	54
Figure 27: diagramme des moments fléchissant par RDM6	55
Figure 28: contraintes normales par RDM6	55
Figure 29: vérification de la durée de vie par SNR	58
Figure 30: diagramme des efforts tranchants	59
Figure 31: diagramme des moments fléchissant.....	59
Figure 32: diagramme des efforts tranchant par RDM6.....	60
Figure 33: diagramme des moments fléchissant par RDM6	61
Figure 34: contraintes normales par RDM6	61
Figure 35: la flèche maximale	61
Figure 36: durée de vie et facteur de sécurité des roulements par SNR.....	63
Figure 37: durée de vie des roulements de l'état actuelle	65



Sommaire

Chapitre I : Présentation du groupe LAFARGE	11
I. Présentation de la société	11
1. Historique.....	11
2. Les sites de production.....	12
II. Procédés de fabrication du ciment :	14
1. Définition du ciment	14
2. Différents types de ciments :.....	15
3. Etapes de fabrication de ciment :	16
Chapitre II : Contexte de sujet	22
I. Description de l'ATM calcaire	22
1. Définition	22
2. Caractéristiques techniques d'ATM calcaire	22
3. Description technique d'ATM	22



4.	Principe de fonctionnement	23
5.	Tourteau de renvoi :	24
6.	Montage et démontage de tourteau de renvoi	25
7.	Conclusion	26
8.	Application de la méthode AMDEC	26
9.	Résultats AMDEC.....	26
10.	Problématique :	27
Chapitre III : Redimensionnement du tourteau de renvoi.....		29
I.	Description d'état actuelle de l'organe de renvoi:	29
1.	L'idée générale des solutions propose	31
2.	Solutions proposées.....	32
3.	Sélections des solutions	32
4.	Première solution	32
5.	Deuxième solution	33
II.	Etude préliminaire sur les paliers.....	33
1.	Généralités sur les paliers à roulements :.....	33
2.	Paliers en deux parties : description et aptitude.....	33
3.	Les constructeurs des paliers :	34
4.	Types des paliers à grande dimensions SKF.....	34
5.	Choix de type d'étanchéité	36
III.	Première solution	36
1.	Dimensionnement du palier	36
2.	Choix de roulements	37
3.	Dimensionnement de la clavette	38
4.	Redimensionnement de l'arbre	42
IV.	Deuxième solution	45
1.	Dimensionnement du palier	45
2.	Choix des roulements.....	46
3.	Dimensionnement de la clavette	46
4.	Dimensionnement du moyeu	47
Chapitre IV : Vérification de validité des solutions.....		51
I.	Vérification de la validité de la première solution	51
1.	Arbre	51
2.	Les roulements	56
II.	Vérification de la validité de la deuxième solution :	58
1.	Vérification de la résistance de l'arbre à la flexion et à la torsion.....	58



2.	Les roulements	62
III.	Choix de la meilleure solution :	63
1.	La méthode de PUGH	63
2.	Validation de la solution en se basant sur la durée et la fréquence des interventions	64
3.	Calcul du coût de l'indisponibilité	65
	Conclusion générale	66
	Bibliographie	67
	NNEXE1 : la méthode AMDEC	69
	ANNEXE 2 : Dimension des paliers à roulements.....	71
	ANNEXE3 : Montage des palies	73
	ANNEXE4 : Composition du ciment	74

INTRODUCTION

La concurrence en domaine de production du ciment est devenu de plus en plus acharnée avec l'ouverture de nouveaux sites de production, c'est pourquoi LAFARGE ciment est appelée à revoir sa stratégie et de montrer une certaine vigilance afin de renforcer sa position au marché nationale comme étant le leader de la fabrication des matériaux de construction des bâtiments surtout dans un contexte qui se caractérise par la propagation des effets négatifs de la crise financière internationale, et vue la croissance de la demande national en matière des matériaux de construction des bâtiments, LAFARGE BOUSKOURA ne cesse d'investir pour augmenter la disponibilité de son outil de production.

Parmi les créneaux de développement et d'amélioration, on trouve la modification et le redimensionnement des équipements de production qui doivent être efficaces et efficientes, dans cette perspective, le bureau de méthodes de LAFRAGE BOUSKOURA vise à améliorer la disponibilité de l'outil de production, il met parmi ces objectifs la réduction des arrêts programmés et non programmés de l'alimentateur à tablier métallique calcaire ligne 1 et l'augmentation de sa fiabilité en réduisant le temps d'intervention.



Le présent projet qui s'intitule modification et le redimensionnement de l'organe de renvoi de l'ATM vise à aboutir aux objectifs suivants

1. Mettre en évidence la défaillance subite par l'ATM
2. Modification et le redimensionnement du tourteau de renvoi
3. Evaluation de l'efficacité des solutions proposées

Pour se faire, nous avons proposé d'accomplir, durant notre stage, les tâches suivantes :

1. Une analyse AMDEC de l'ensemble ATM
2. Détermination des éléments les plus critiques
3. Proposer des solutions
4. Vérifier la validité des solutions proposées par des calculs analytiques et numériques

Chapitre I : Présentation du groupe LAFARGE



Présentation du groupe LAFARGE

Présentation de la société

Historique

Le Groupe Lafarge a vu le jour en **1833** lorsque Léon Pavin se lance dans l'exploitation du gisement de pierre de calcaire en reprenant l'activité familiale acquise en **1974** auprès de LA SEIGNEURIE LAFARGE. Les grands chantiers se succèdent peu à peu consolidant ainsi l'entreprise qui s'agrandit de jour en jour.

L'implantation à l'étranger débute avec l'ouverture vers les marchés d'Afrique du Nord. Déjà en Algérie depuis **1866**, Lafarge y devient le premier producteur de ciment Portland et s'installe au Maroc et en Tunisie.

En **1926**, Lafarge ouvre sa première cimenterie au Royaume-Uni. En **1956** le Groupe s'implante en Amérique du Nord, il fusionnera en **1980** avec le Groupe Coppée : Ces acquisitions aux Etats-Unis et au Canada placent alors Lafarge Coppée comme le numéro 1 du ciment en Amérique du Nord.

Entre **1982** et **1990** Lafarge se lance à la conquête de l'Europe : Lafarge s'intéresse d'abord à l'Allemagne puis aux pays de l'Europe de l'Est. En **1994** Lafarge entre en Chine.

Depuis son introduction au Maroc, l'industrie du ciment a évolué depuis **1913** jusqu'à nos jours ; cette évolution se traduit comme suit :

- **1913** : Création de la première société de ciment "Chaux et Ciments du Maroc" à Casablanca, elle avait pour but de construire une usine à four droit au quartier des Roches Noires ;
- **1929** : Accord associant "Chaux et Ciments du Maroc" à Lafarge ;
- De **1930** à **1955** : Construction simultanée de quatre fours ;
- **1968** : Création de "Lafarge Maroc" dont le principal actionnaire est la société "Chaux et Ciments du Maroc" ;
- **1981** : Création de la Cimenterie Nouvelle de Casablanca 'CINOUCA' chargée de réaliser une unité de production de 1 200 000 tonnes de ciment par an. CINOUCA participe à la protection de l'environnement en choisissant le site de sa nouvelle usine à 30 km au Sud Ouest de Casablanca et à 17 km de Bouskoura.
- **1992** : Démarrage de la première installation de broyage de ciment par presse à rouleaux en Afrique, entraînant du coup des économies d'énergie considérables ;
- **1996** : CINOUCA est devenue le pôle fédérateur d'un groupe comportant quatre cimentiers et six centrales de bétons ;
- **1999** : Signature de partenariat avec l'ONA après contrôle effectué entre Lafarge et la Société Nationale d'Investissement - SNI - ;
- **2004** : Audit de l'usine de Bouskoura et du siège pour l'obtention de la certification ISO 9001 versions 2000.
- **2006** : Extension de la deuxième ligne de production de ciment à l'usine de Bouskoura.



La société a poursuivi le renforcement de ses ressources humaines par l'embauche de cadres qualifiés dont le nombre est passé de 53 à 121 en quatre ans ; cette politique a pour objectif le développement des compétences initiées, et vise à accompagner la mise à niveau technologique des usines et les changements organisationnels introduits pour améliorer l'efficacité de Lafarge Maroc, ainsi elle se traduit par l'effort soutenu en matière de recrutement et de formation.

Les sites de production

Le groupe LAFARGE Maroc comprend quatre secteurs de base : ciments, plâtre, bétons et granulats qui sont illustrés selon le diagramme ci-dessous :

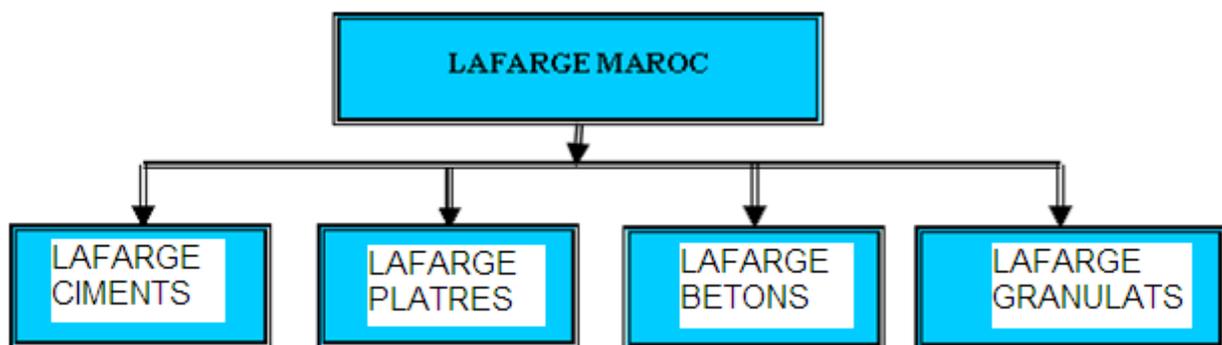


Figure 1: sites de production

Chiffres d'affaires

La répartition des chiffres d'affaires par activité est représentée comme suit :

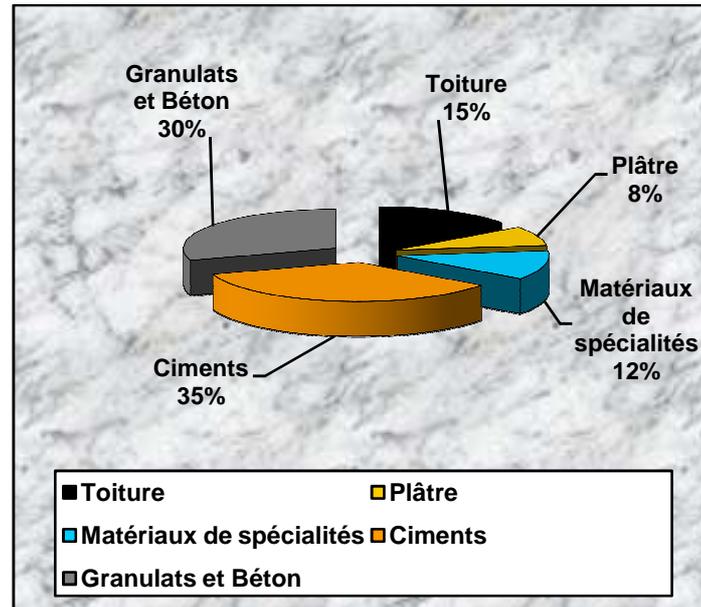


Figure 2: Chiffres d'affaires

Granulats, bétons : Prêts à l'emploi, bétons préfabriqués pour les constructeurs d'ouvrages d'art, routes, bâtiments, etc... ; Elle représente 30% du chiffre d'affaires du groupe, avec 16942 collaborateurs.

Gamme de ciment et liants hydrauliques : Adaptée au besoin du marché et de la construction et même des travaux publics, représente 35% du chiffre d'affaires du groupe, et avec 32238 collaborateurs.

Gamme de tuiles : En béton et en terre cuite, accessoires de couverture systèmes de conduites de cheminées, représente 15% du chiffre d'affaires du groupe avec 12362 collaborateurs.

Système de plaque de plâtre à projeter : au service du second œuvre du bâtiment, construction neuve voire rénovée, il représente 8% du chiffre d'affaires du groupe, avec 3661 collaborateurs.

Matériaux de spécialités représentant 12% du chiffre d'affaires du Groupe avec 5155 collaborateurs, où ils prennent deux formes :

- & Produits minéraux pour l'industrie « aluminates, réfractaires et chaux » ;
- & Produits formulés pour la construction « mortiers, adjuvants, peintures et applications routières ».

Répartition des ventes dans les quatre cimenteries année 2004 :

LAFARGE MAROC représente 42% de production de ciment dans le marché marocain. Il est à signaler que le groupe LAFARGE donne de l'importance à L'usine de Bouskoura puisqu'elle représente 49% de la production au sein du groupe.

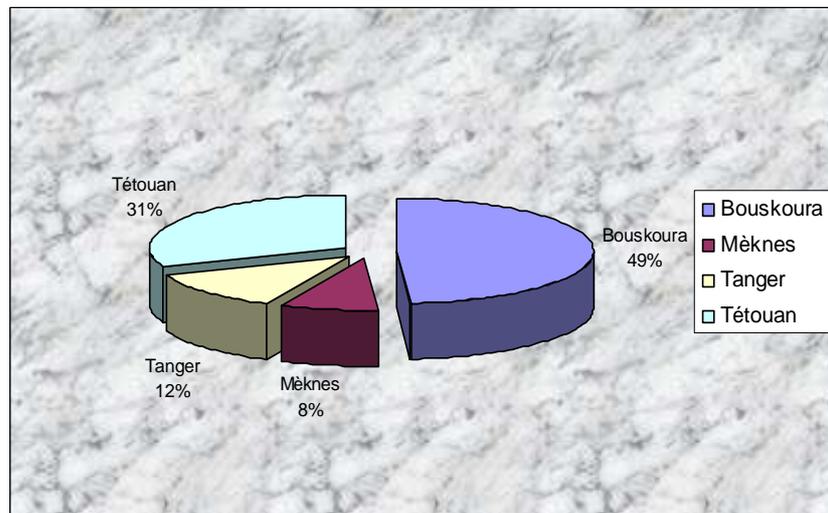


Figure 3: Répartition des ventes

Procédés de fabrication du ciment :

Définition du ciment

Le ciment est un liant hydraulique constitué d'une poudre minérale, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson, appelé clinker, forme une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique.

Le ciment résulte du broyage de clinker et de sulfate de calcium ajouté généralement sous forme de gypse. Il forme avec l'eau une pâte plastique faisant prise et durcissant progressivement, même à l'abri de l'air, notamment sous l'eau.

Les constituants anhydres, présents sous forme de cristaux polygonaux assez réguliers et homogènes, se combinent à l'eau et se décomposent. En s'hydratant, ils recristallisent, prenant des formes très variées : Aiguilles, bâtonnet, prismes, divers...

Ces cristaux adhèrent aux adjuvants granuleux du béton : sable, gravier, cailloux...c'est l'hydratation qui constitue le ciment.

La figure suivante résume les éléments qui entrent dans la constitution du ciment:

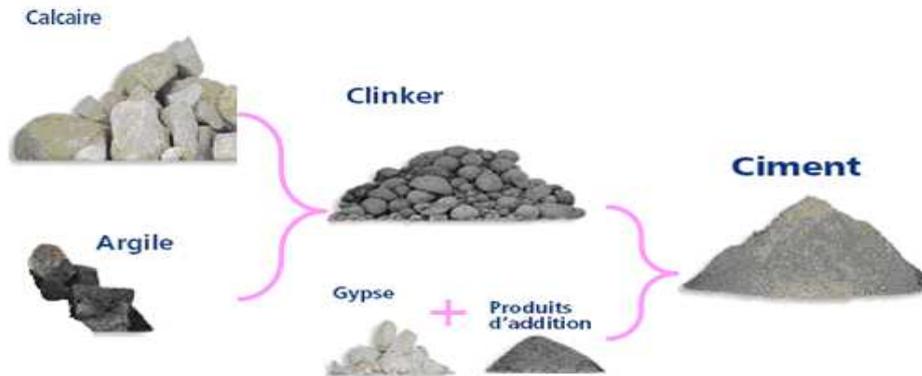


Figure 4: Constitution du ciment

Différents types de ciments :

LAFARGE MAROC s'intéresse à la fabrication des trois catégories de ciments, à savoir : CPJ35, CPJ45 et CPA55. Concernant le ciment blanc, le groupe l'importe sous forme de matière cuite (clinker) pour être broyé et mit en sacs en vue de son expédition.

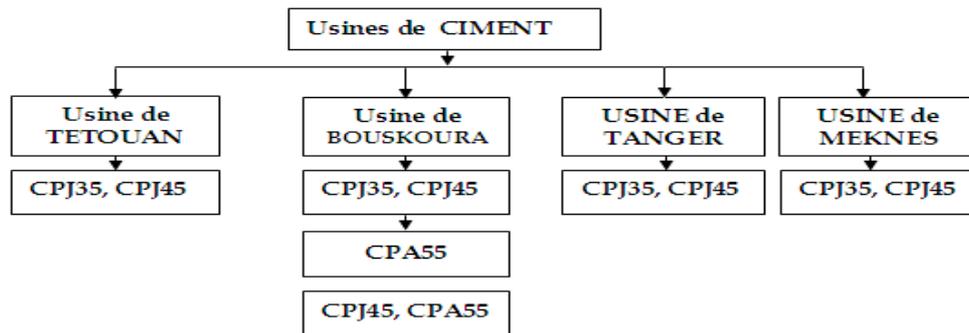


Figure 5: Types de ciments

En outre, les trois types de ciments (CPJ35, CPJ45, CPA55) se différencient selon des pourcentages précis des ajouts au clinker

Ciments Compositions	CPJ35	CPJ45	CPA55
Calcaire	35.60%	24.00%	0.00%
Cendres volantes	3.21%	6.52%	0.00%
Gypse	2.80%	3.14%	5.64%
Clinker	58.39%	66.34%	94.36%

Tableau 1: Différentes compositions du ciment



Etapes de fabrication de ciment :

Avant d'obtenir du ciment, la matière première passe par diverses étapes de transformation physico-chimiques de l'extraction jusqu'à l'expédition.

Carrière :

LAFARGE ciments Bouskoura exploite une carrière qui fournit deux matières premières : le calcaire et le schiste. L'extraction de ces roches se fait par abattage à l'explosif. Il consiste à fragmenter le massif exploité à l'aide d'explosifs.



Figure 6: Extraction et transport de la matière première

Concassage :

C'est une opération qui consiste à réduire la granulométrie de la matière première en fragments de faibles dimensions (25 à 40 mm). Elle assure également un certain mélange des matières premières arrivant de la carrière (calcaire et schiste).

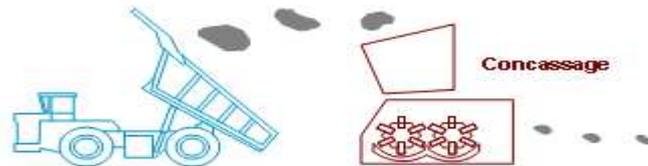


Figure 7: concassage

Broyage cru :

Les matières premières doivent être finement broyées pour faciliter les réactions chimiques au cours de la cuisson dans le four.

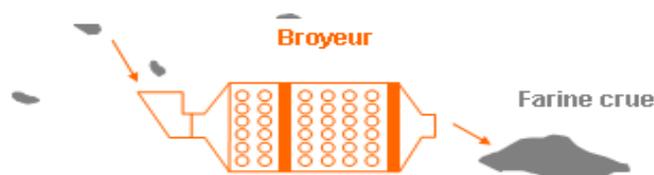


Figure 8: Broyeur cru



La matière passe donc par les doseurs qui alimentent le broyeur sécheur. La fonction de séchage est nécessaire pour diminuer le taux d'humidité de la matière. En plus du séchage et de la fragmentation, le broyeur assure le mélange des différents minerais apportés par les matières premières et les ajouts de correction en faibles proportions.

Ligne de cuisson :

La ligne de cuisson est constituée :

- ➔ d'une tour à cyclones ;
- ➔ d'un four rotatif ;
- ➔ d'un refroidisseur.

Tour à cyclones

La tour à cyclones est un échangeur de chaleur à voie sèche constituée de cinq étages. Elle permet d'effectuer un échange thermique à contre courant entre les gaz chauds (850°C) sortant du four et la farine froide (50 à 60°C). Les gaz parcourent l'édifice de bas en haut alors que la matière le parcourt en sens inverse.

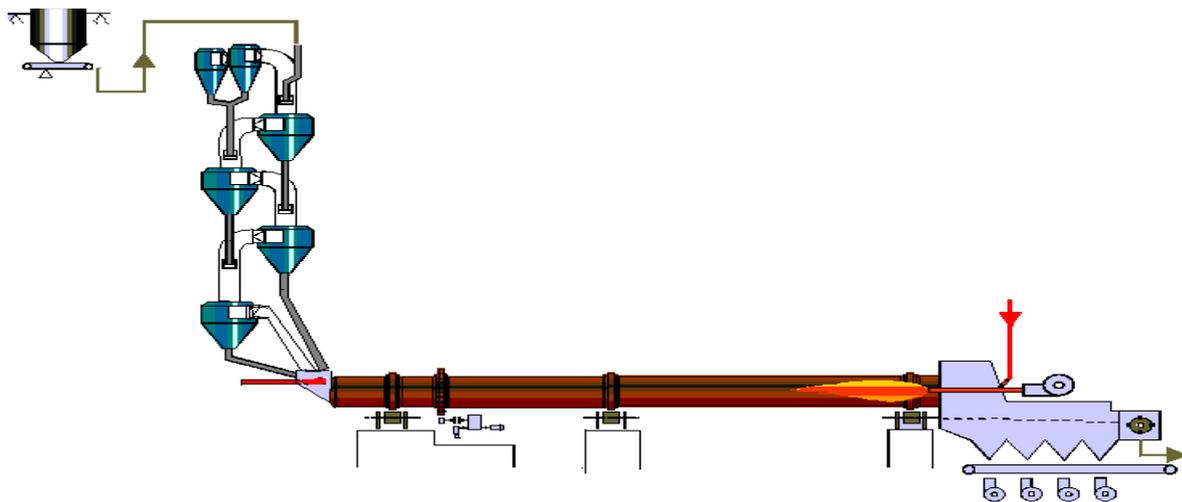


Figure 9: Circuit de cuisson

Four rotatif :

C'est une grande enceinte circulaire rotative dans laquelle on injecte le combustible sous pression pour produire une flamme. C'est un échangeur de chaleur à contre courant dans lequel la flamme et les gaz récupérés du refroidisseur cèdent leur chaleur à la farine qui arrive en sens inverse. Le four est constitué par une virole en acier et protégée par un revêtement intérieur en matériaux réfractaires

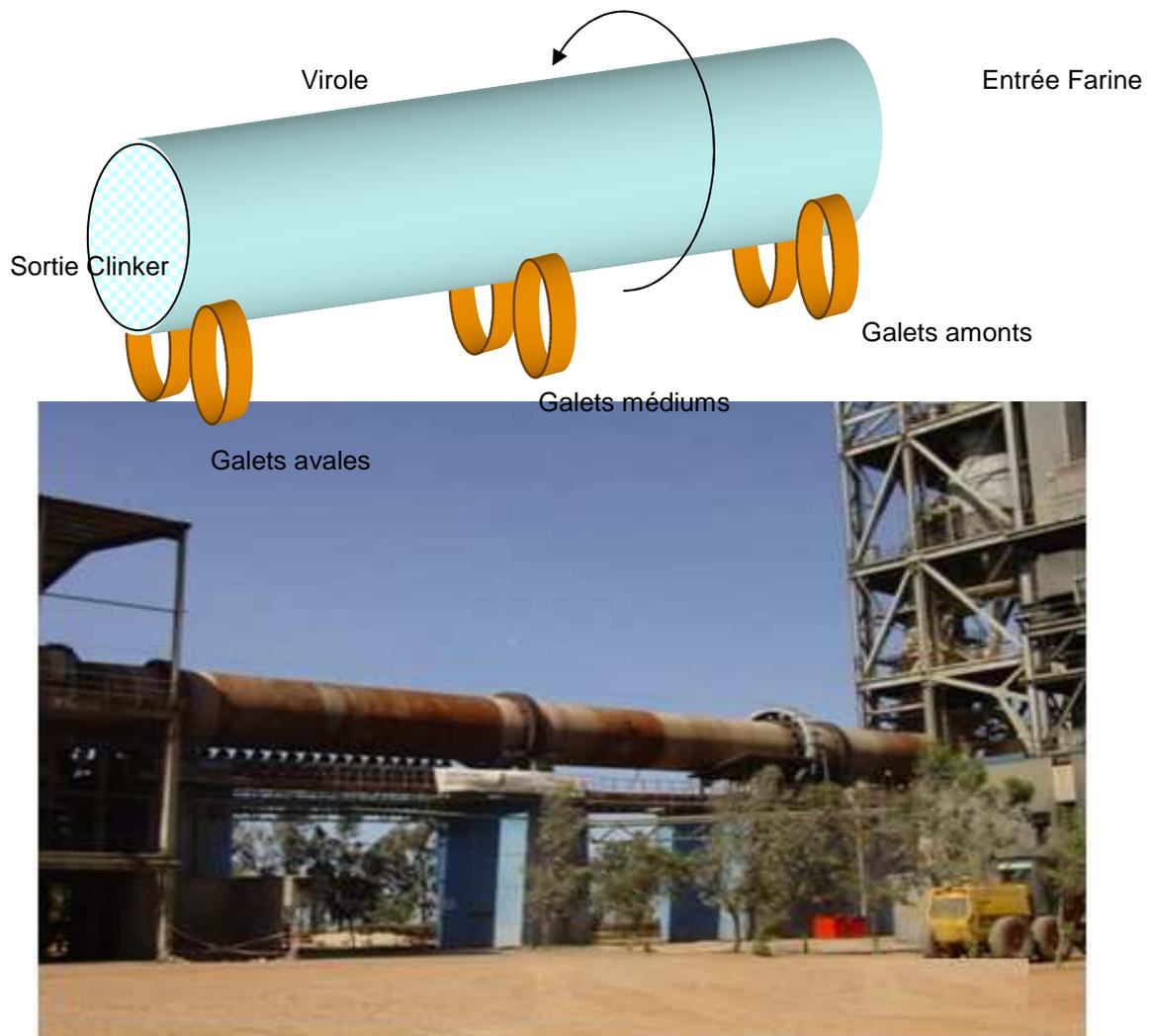


Figure 10:Four rotatif

Refroidisseur :

Il est situé à l'aval du four, c'est un refroidisseur à grilles horizontales au nombre de deux à commande hydraulique. Le refroidissement est assuré par onze ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par des chambres de soufflage.

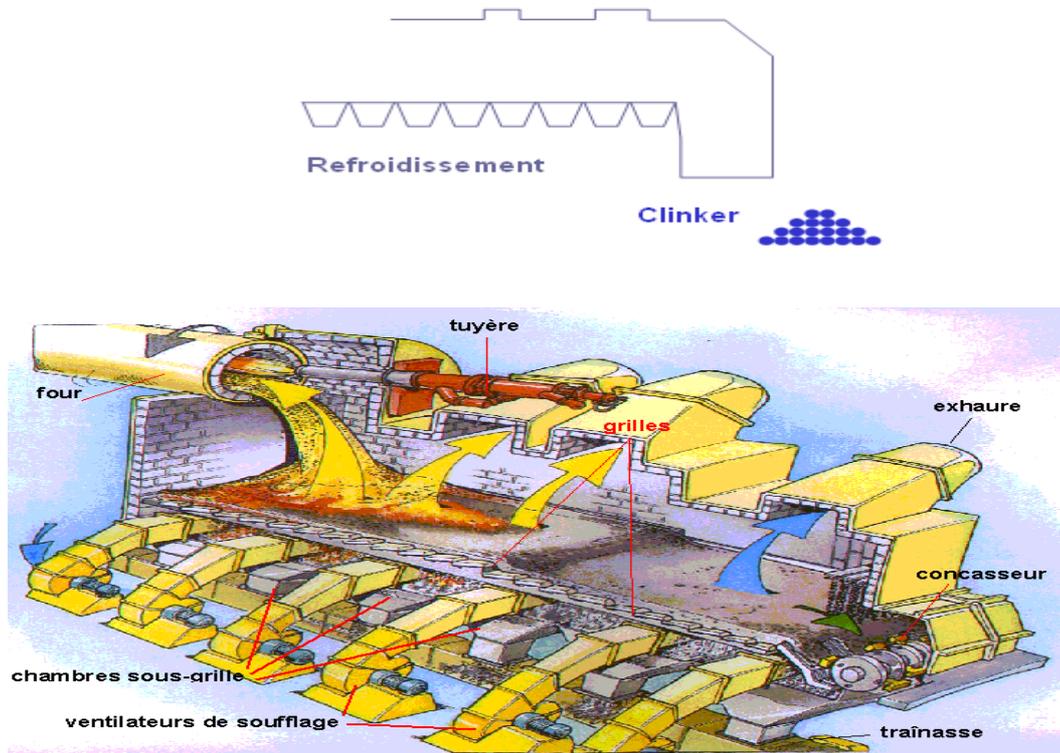


Figure 11: Refroidisseur

Broyage ciment :

Après refroidissement, les granules de clinker sont ensuite broyés avec addition de gypse. Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique et aussi de conférer au ciment des propriétés spécifiques correspondant aux différentes qualités du ciment (CPJ35 ; CPJ45 ; CPA55)

Ensachage et expédition :

A la sortie du broyeur, le ciment est orienté vers les silos de stockage et de livraison. Trois silos pour la CPJ35, trois pour la CPJ45 et un silo pour la CPA55. Le transport s'effectue à l'aide d'un convoyeur pneumatique par des pompes Fuller. La livraison du ciment s'effectue soit en sacs, soit en vrac.



Le schéma ci-contre résume les différentes transformations subies par la matière première jusqu'à l'obtention du ciment et son expédition :

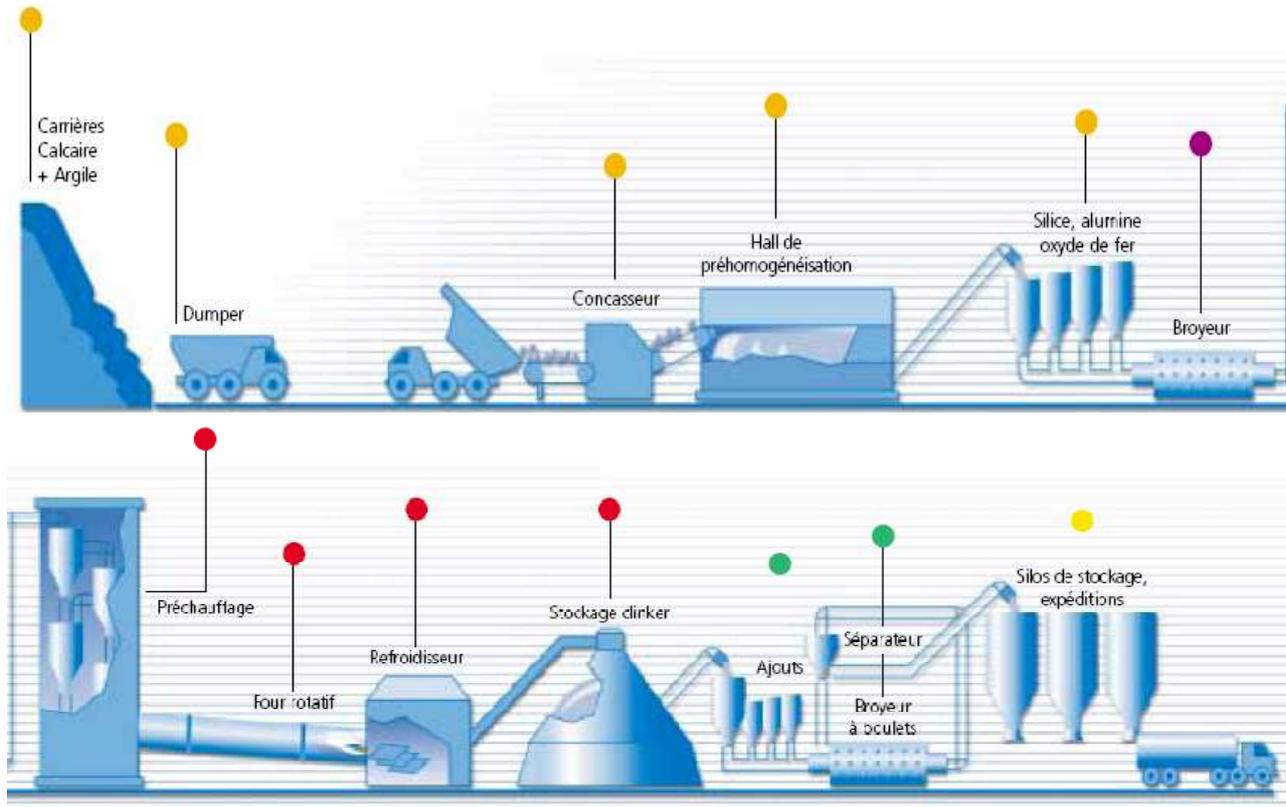


Figure 12: Procès du fabrication du ciment



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah - Fès
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES





Contexte de sujet

Description de l'ATM calcaire

Définition

C'est un convoyeur très lourd et particulièrement destiné aux installations ayant un débit important (ex: cimenteries, carrières) Son fonctionnement parfaitement régulé assure un débit optimisé au niveau du pré criblage, ainsi que du broyage et garanti le bon fonctionnement de l'ensemble de l'installation en améliorant la qualité des agrégats.

Caractéristiques techniques d'ATM calcaire

Marque : FIVES-CALL BABCOCK

Type : dragon ATM 46-200X900

Débit nominal : variable de 800 a 1100T /H

Distance entre tourteaux 9000mm (ENTRAXE DES ARBRES)

Inclinaison: 24 degré

Puissance absorbée: 55kw

Vitesse du tablier: 1.06 a 3.22tr/min

Poids globale : M=55tonnes

Description technique d'ATM

C'est un alimentateur à tablier métallique .Il est au début de la chaîne de production de la ligne1, il a comme rôle l'alimentation du pré-crible du concasseur primaire par le calcaire.

Dans un premier temps on va faire une description fonctionnelle de notre ATM qui consiste à décomposer notre système aux différentes parties. Il est constitué essentiellement par :

1/ Un tablier continu de palettes en tôles épaisses renforcées par de fortes nervures et soudées à leurs deux extrémités sur des maillons de chaîne en acier (figure 13). Ces palettes formant ainsi des caissons assurant une grande rigidité. Elles s'emboîtent de façon à former une chaîne métallique continue s'articulant aux maillons munis de bagues en acier très dur sur des axes transversaux en acier, de forte section.

2 /un mécanisme de commande avec arbre monté sur 2 paliers à roulements à rotule sur deux rangées de rouleaux et recevant les deux tourteaux d'entraînement clavetés.

3/ un mécanisme de tension comportant un arbre sur palier fixes supportant deux tourteaux de renvoi monté sur roulements à rotule sur deux rangées de rouleaux et deux vis de tension agissant sur les paliers.

4/ un châssis support métallique constitué par deux poutre largement dimensionnées et entretoisées par des fers transversaux. Ce sont les rails de roulement et le chemin de glissement.

5/ les tôleries de guidage latérales prenant appui sur les deux poutres longitudinales du châssis.



Principe de fonctionnement

L'alimentateur à tablier métallique calcaire ligne 1 fonctionne à l'aide de deux organes. Un de commande et l'autre de renvoi.

Organe de commande

Il entraîne l'ATM par : un moteur asynchrone à vitesse variable, un accouplement et un réducteur primaire et un réducteur secondaire

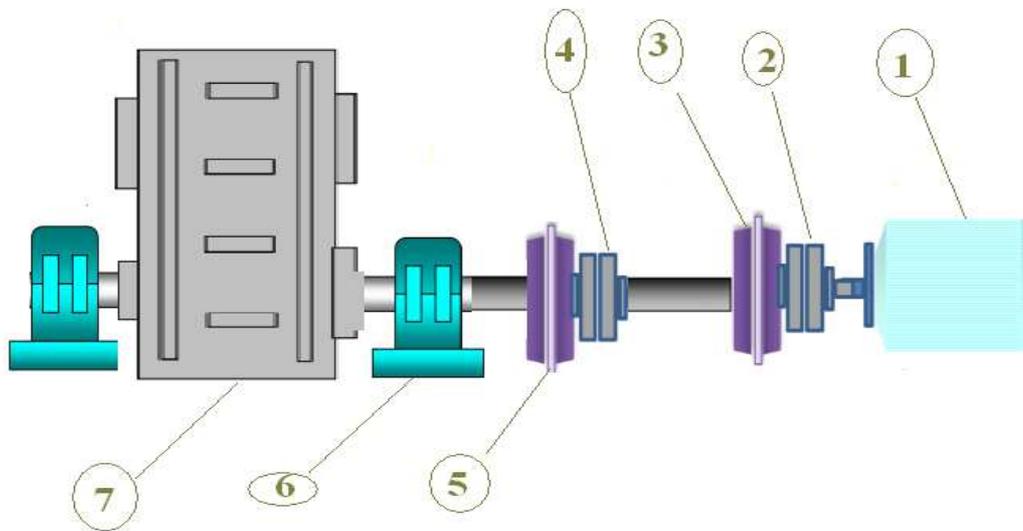


Figure 13: organe de commande

- 1 : Moteur asynchrone
- 2 : Accouplement
- 3 : Réducteur principal
- 4 : Accouplement
- 5 : Réducteur secondaire
- 6 : Palier à roulement
- 7 : Tablier

a. Le moteur

Nature : asynchrone à vitesse variable

Tension 144-252-92volts

Intensité nominale 220 -102 Ampères

Vitesse maximal 2807 tr/mn vitesse minimal 850 Tr/mn

Constructeur ASEA Type KB 95



b. Le réducteur primaire

Réducteur de type H1H119
Puissance 93KW
Petite vitesse PV=144tr/mn de (sortie)
Grande vitesse (entrée) GV=720tr /mn
Rapport de réduction R=1/5

c. Réducteur secondaire

Réducteur planétaire Type : FD 23500
Puissance P=55KW
Vitesse d'entrée Ve=144Tr /mn
Vitesse de sortie Vs=4 .40Tr/mn
Rapport de réduction 1 /45

d. L'arbre de commande :

Il reçoit le mouvement d'entrée et il entraîne l'ATM. Le tableau suivant montre l'ensemble des éléments constituant l'arbre de commande, les références, les fournisseurs et la quantité de chaque élément.

Arbre de commande	Référence	Fournisseur	QT
Palier monobloc	AD 5151	SKF	2
Roulement	23052 CKC3W33	SKF	2
Manchon de démontage	AOH 3052	SKF	2
Ecrou de démontage	HM 3056	SKF	2
Joint à lèvres type C			4
Couronne (6 dents Pas 450mm)	Plan N° 1663-13	CAP Industrie	2

Tableau 2: éléments constituant l'arbre de commande.

Tourteau de renvoi :

Chaque tourteau de renvoi est monté sur deux roulements à rouleaux ;ces roulements sont à alesage cylindrique et contrairement a ceux des paliers du mecanisme de commande , sont montes serres sur l'alesage du tourteau sur l'arbre .

Principe de fonctionnement

Les chaines sont entraînées par l'organe de commande. Elles entainent à leur tour le tourteau de renvoi.ce dernier est guidé en rotation par des roulements à rotule

L'arbre de renvoi :

Arbre de retour



Paliers (sur moyeu couronne)		SKF	1
Roulement	23030CC3 W33	SKF	4
Couronne (roue retour) 6 dents Pas 450	Plan N°1663-14	CAP Industrie	2
Palette (tuile)	Plan N°1663-17	CAP Industrie	46
Chaîne Pas 450	Plan N°1663-1	CAP Industrie	2x20,7
Galet à joues Diam=250 Lg=100	Plan N°1663-1	CAP Industrie	92
Douille Diam=85 Lg=156	Plan N°1663-1	CAP Industrie	92
Arbre Lg=2412	Plan N°1663-1	CAP Industrie	46
Circlips de fermeture	Plan N°1663-1	CAP Industrie	92

Tableau 3: éléments constituant l'arbre de renvoi

Montage et démontage de tourteau de renvoi

Démontage :

Pour faire le démontage du tourteau de renvoi l'opérateur doit :

- ✓ Enlever un axe de palette au niveau des tourteaux de renvoi (Voir figure 14) et libérer ceux-ci
- ✓ Sortir l'arbre de renvoi complet (voir page 25)
- ✓ Démontez les paliers fixes
- ✓ tourteau ; démontez les cache poussières, bagues et sortez chaque tourteau avec ses deux roulements.
- ✓ Avec un tube prenant appui sur la bague extérieure des roulements, on pourra finalement sortir les deux roulements (ceux-ci étant entretoisés)

Remontage :

- ✓ Remettre en place la bague entretoise avec son cache poussière intérieur.
- ✓ Monter le roulement coté intérieur ATM dans le tourteau, le remplir de graisse, puis monter l'entretoise sur l'alésage du tourteau ;
- ✓ Mettre en place le tourteau avec ce 1^{er} roulement sur l'arbre en poussant sur la bague intérieure de ce roulement au moyen d'un 2^{ème} tube
- ✓ Emmancher le cache poussière intérieur et vérifier que les 2 bagues du roulement soient butées ;
- ✓ Emmancher le 2^{ème} roulement en poussant alternativement sur la bague extérieure et intérieure.
- ✓ Finir le montage par la bague de serrage (cette bague est butée sur l'arbre et non sur le roulement), puis par le cache poussière extérieure et l'écrou SKF ;
- ✓ Remonter les paliers fixes et l'arbre sur le châssis.



Conclusion

L'opération de démontage et de montage de tourteau de renvoi en cas d'intervention pour remplacement des roulements dure très longtemps (7h) ce qui pénalise la production.

Pour mettre en oeuvre la criticité des défaillances subites par le tourteau de renvoi, Nous avons appliqué la méthode AMDEC.

Application de la méthode AMDEC

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser systématiquement les défaillances potentielles d'un dispositif puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, afin d'engager les actions correctives à apporter au dispositif, l'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception dans un but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un moyen de production. Il existe globalement trois types d'AMDEC suivant le système analysé :

- Produit
- Processus
- Moyen de production

Dans notre cas, on utilisera AMDEC moyen afin d'évaluer la criticité des machines et par suite l'établissement d'une grille de priorité.

N.B.

Il est à noter que notre but n'est pas L'AMDEC elle-même mais le but est de mettre en évidence les défaillances subit dans le tourteau de renvoi c'est pour cela on va appliquer directement le déroulement de la méthode sans entrer dans les détails de la méthode

Résultats AMDEC

Les grilles d'AMDEC sont établies en se basant sur l'historique des arrêts et les fiches techniques de chaque équipement.

Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la	Effet de la	Détection	Criticité	Action
---------	----------	---------------------	-------------	-------------	-----------	-----------	--------



			défaillance	défaillance		F	G	D	C	Corrective
Accouplement	Transmettre la puissance	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -fatigue -désalignement	Mauvaise transmission -usure des paliers -arrêt	-visuel	1	3	2	6	
Réducteur principale	Réduire la vitesse et transmettre la puissance	Dégradation des ressorts	-Fatigue -vibration - manque de lubrifiant	Perte de performance -arrêt	-sonore - capteur de vibration	1	4	2	8	Remplacement du ressort dégradé
Réducteur auxiliaire	Réduire la vitesse et transmettre la puissance	Cisaillement de l'arbre	Fatigue -vibration - manque de lubrifiant	-perte de performance Arrêt		1	4	4	116	Remplacement de l'arbre par un arbre à cisaille
Palier Commande	Guider et supporter l'arbre de rotation	usure -cassure	-Fatigue -vibration - manque de lubrifiant	Echauffement -arrêt	-Bruit	1	4	2	8	PAS d'action
Roulement De l'arbre de renvoi	Guider la rotation de la couronne	Usure cassure	Fatigue Lubrification Joints	Bruit Blocage de la couronne	bruit	2	4	3	224	Il faut faire une correction légère

Tableau 4: analyse et cotation de l'ATM

Problématique :

On voit bien que la criticité de défaillance des roulements de l'arbre de renvoi est supérieure à 16 (voir l'annexe1). Il faut faire une correction du système contenant les roulements c.à.d. le tourteau de renvoi. Le tourteau de renvoi présente une grande criticité et son démontage et remontage est complexe, ce qui nécessite une modification et un redimensionnement de l'organe de renvoi pour améliorer sa fiabilité.





Redimensionnement du tourteau de renvoi

Description d'état actuelle de l'organe de renvoi:

On a déjà vu dans le deuxième chapitre le principe général de fonctionnement de l'organe de renvoi : le moyeu tourne par les chaînes entraînées par l'organe de commande à l'aide des roulements autour d'un arbre fixe supportant les roulements au niveau des couronnes dentées.



Figure 14: organe de renvoi



Repère	Désignation	Nombre
301	Arbre de renvoi	1
302	Tourteaux	2
305	Graisser	2
311	Cache-poussière	4
314	Joint à lèvres	4
315	Segment d'étanchéité	4
318	Bague entretoise	2
319	Roulement à rotule	4
321	Entretoise	2
322	Bague de serrage	2
324	Vis	24
325	Rondelle	24
327	Tôle frein	2
328	Ecrou	2
330	Palier	2
331	Clavette	2
337	Vis	8
338	Ecrou	8

Tableau 5: Nomenclature des pièces principales de l'arbre de renvoi

L'idée générale des solutions propose

Dans notre étude on va modifier le principe de fonctionnement de l'organe de renvoi de tel façon que l'arbre soit tournant à l'aide des paliers à roulements à ses extrémités et de lier l'arbre avec les couronnes dentées par des clavettes.

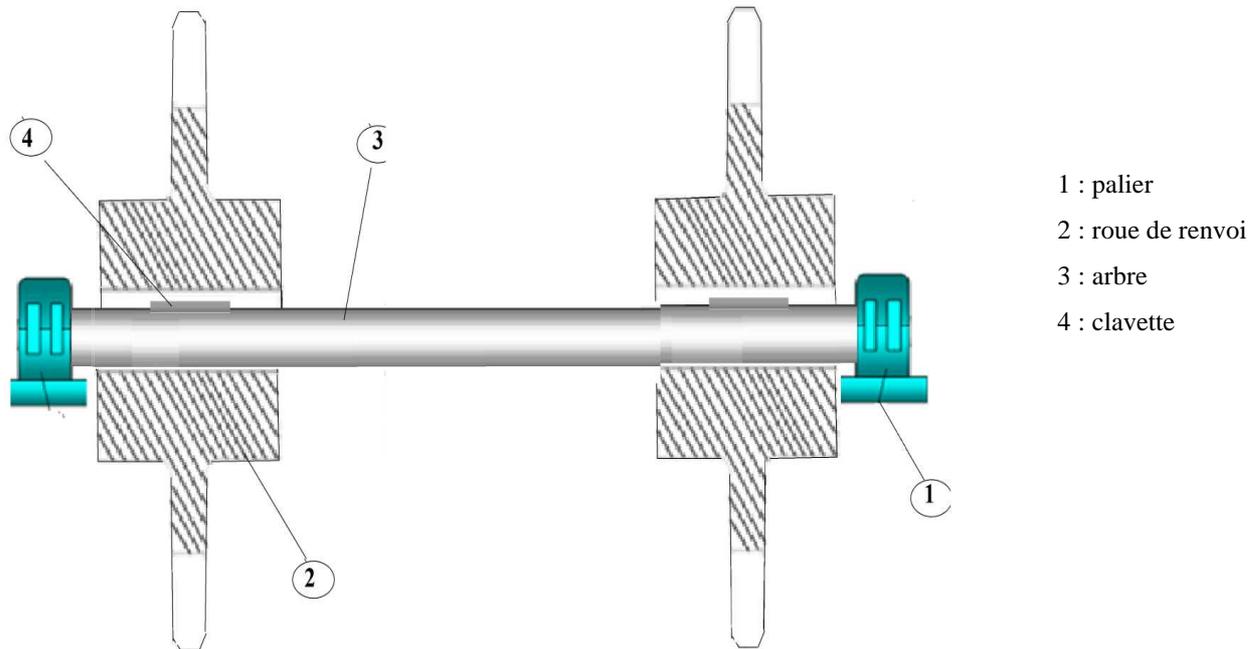


Figure 15: représentation de l'idée générale de la nouvelle conception

Cette nouvelle conception permet de réduire le temps d'intervention. Les éléments critiques (roulements) seront à l'extérieur du tablier. Le démontage et le montage sera très simple.

Pour ce faire il faut tenir compte les charges appliquées (poids de l'ensemble et la force d'entraînement). Pour s'assurer que l'arbre et les roulements peuvent résister.

Solutions proposées

Dans cette partie on va chercher toutes les solutions qui prouvent supprimer la liaison pivot entre l'arbre et la couronne dentée :

- 1- changement de l'arbre et utilisation d'une clavette pour le fixe avec le moyeu.
- 2- conservation de l'arbre et utilisation d'un moyeu clavetté entre la couronne dentée et l'arbre.
- 3- utilisations des manchons de serrage.
- 4- soudages entre l'arbre et la couronne.

Sélections des solutions

Puisqu'on cherche à créer une liaison démontable entre l'arbre et la couronne dentée. La solution 4 sera supprimée, la solution 3 sera aussi supprimée puisqu'elle ne donne pas un état de référence pour l'utilisateur (deux tourteau). Les solutions réalisables sont les deux premières. Après le dimensionnement, on va choisir la meilleure solution en utilisant la matrice de PUGH.

Première solution

On va utiliser un arbre de grande section pour simplifier la liaison par clavetage entre la couronne dentée et l'arbre. Cette solution nécessite :



- un redimensionnement de l'arbre ;
- un dimensionnement des clavettes;
- un dimensionnement des paliers.

Deuxième solution

On va garder le même arbre et on utilisera un moyeu fixé sur l'arbre par une clavette et sur la couronne dentée par un système de boulons. Cette solution nécessite :

- un dimensionnement des paliers;
- un dimensionnement de la clavette;
- un dimensionnement du moyeu.

Etude préliminaire sur les paliers

Généralités sur les paliers à roulements :

Le palier à roulements est un ensemble composé :

- d'un support logement : en fonte ou en tôle d'acier, en deux parties ou monobloc, étanche ou protégé fixe sur le montage par des boulons ;
- d'un roulement d'un type acceptant les défauts d'alignement et équipé d'un système de fixation rapide sur l'arbre.

Le palier évite au constructeur l'usinage d'un logement ainsi que celui de l'arbre, il autorise des défauts d'alignement importants.

Il existe deux types de paliers :

- ✓ le palier en deux parties (corps et chapeau) équipé d'un roulement à rotule sur billes ou d'un roulement à rouleaux sphériques généralement à alésage conique pour être monté sur manchon de serrage.
- ✓ le palier auto-aligneur, monobloc, équipé d'un roulement à une rangée de billes à bague extérieure sphérique, étanchéité, muni d'un système de fixation sur l'arbre.

Pour notre projet on va utiliser les paliers de grandes dimensions en deux parties grâce à leur simplicité de montage et grâce au type de roulements qu'on va utiliser.

Paliers en deux parties : description et aptitude

Le palier est constitué d'un corps et d'un chapeau en fonte, ces éléments, séparables mais non interchangeables, permettent de dégager la ligne d'arbre sans la démonter, le palier est conçu pour recevoir un roulement à rotule ou à rouleaux sphériques à alésage conique. Le logement de la bague extérieure du roulement est usiné de façon à assurer un ajustement libre qui permet un déplacement axial du roulement dans le corps du palier.



Figure 16: palier en deux parties

*Les constructeurs
des paliers :*

Il existe plusieurs constructeurs des paliers (SKF, FAG, NSK, INA...). SKF est le principal fournisseur de LAFARGE BOUSKOURA pour cela on va utiliser des paliers SKF.

Types des paliers à grande dimensions SKF

Les paliers de grandes dimensions peuvent recevoir des roulements à rotule sur rouleaux montés sur des arbres lisses ou épaulés, les roulements peuvent être montés sur des manchons de serrage ou directement sur les portées d'arbres cylindriques.

Roulement sur portée cylindrique, arbre épaulé

Avantage :

- Possibilité d'efforts axiaux plus élevés dans les deux sens.
- Jeu radial résiduel déterminé par la tolérance de la portée cylindrique, pas de risque de pré charge radiale au montage.
- Position du roulement sur l'arbre déterminée avec précision par l'épaulement de l'arbre.
- Possibilité d'appui du roulement sur d'autres éléments par l'intermédiaire d'entretoises.

Applications :

Montages impliquant un grand nombre de roulements.

Montages soumis à des chocs important

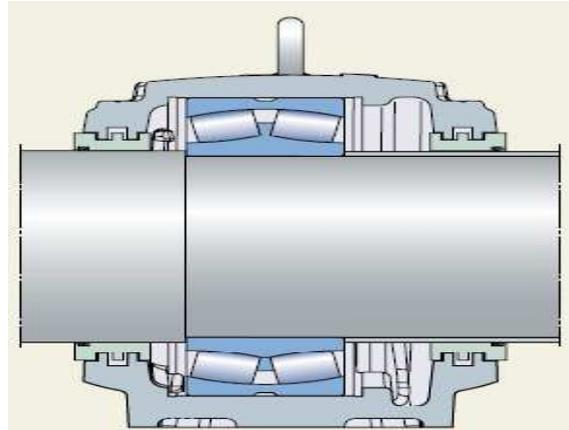


Figure 17: Roulement sur portée cylindrique, arbre épaulé

Roulement sur manchon de serrage, arbre lisse

Avantage :

- Usinage superflu pour les arbres ayant une tolérance de diamètre h9.
- Résistance maximale de l'arbre, qui n'est pas affaibli par des épaulements.
- Possibilité de montage en un point quelconque de l'arbre.
- Force de montage (force nécessaire pour enfoncer le roulement sur le manchon) inférieure d'environ 40 % à celle requise pour d'autres montages avec manchons en raison de la limitation du frottement à un seul contact.
- Le jeu radial du roulement peut être réglé pendant les montages, dans certaines limites, pour répondre aux exigences de fonctionnement.

Applications :

- Montages d'arbres relativement longs exigeant plus de deux paliers.
- Montages où les éléments de machine sont fixés par serrage (pas d'usinage de l'arbre).
- Lorsque la distance entre roulements ou la position finale des portées ne peuvent être définies avec précision.

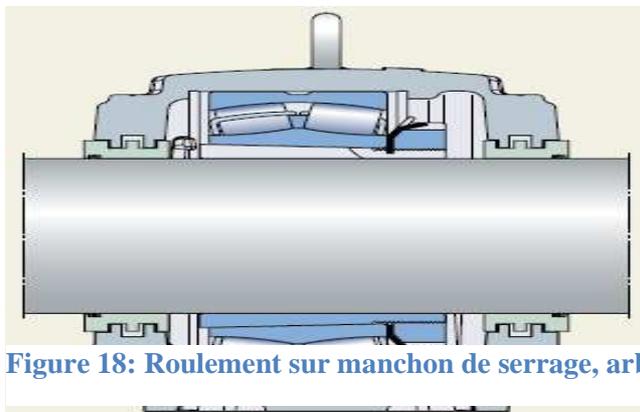


Figure 18: Roulement sur manchon de serrage, arbre lisse



5. Choix de type d'étanchéité

Pour les paliers SNL de grandes dimensions, SKF fournit comme étanchéités : palier monoblocs à chicane et des joints "Taconite". Toutes ces étanchéités sont faciles à installer et sont livrées en emballage séparé. Le choix de l'étanchéité convenable est réalisé on s'appuyant sur le tableau 8.

	TS ..	TNF ..	TSD .. U ¹⁾
Propriétés			
Température, °C	-50 à +200	-40 à +100	-50 à +200
Vitesse périphérique, m/s	++	≤ 12	++
Désalignement, degrés	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3
Re-lubrification à la graisse	+	+	-
Lubrification à l'huile	-	-	++
Faible frottement	++	+	++
Déplacement axial de l'arbre	+	+	-
Montage vertical	--	-	--
Environnement			
Poussière	+	++	+
Particules fines	+	++	+
Grosses particules	+	++	+
Contaminant abrasif	++	++	++
Projection de fluides	--	++	-
Exposition au soleil	++	++	++

Tableau 6: Choix de type d'étanchéité

Il est bien clair que les paliers Joints Taconite exécution TNF est le meilleur pour notre cas et on va utiliser un palier à roulement sur portée cylindrique, arbre épaulé.

Première solution

Dimensionnement du palier

D'après le plan de l'arbre de renvoi ATM calcaire ligne 1 le diamètre intérieure de la couronne dentée est **d=225mm**.

Alors on va choisir un palier convenable à un arbre supportant cette couronne c.à.d. un arbre qui a comme diamètre au niveau du palier **d_a ≤ 225mm**.

On choisit donc un arbre qui a comme diamètre au niveau du palier **d_a=220mm**

Le tableau (ANNEXE2) donne les paliers de grandes dimensions pour roulements à alésage cylindrique sachant le diamètre de l'arbre. Alors le palier convenable à notre cas est **SNL3044GTNF**.



Choix de roulements

Introduction

Les roulements sont généralement utilisés vu leur stabilité de fonctionnement et leur entretien qui est un peu aisé.

Un bon montage des roulements permet d'assurer une meilleure précision, une rigidité considérable surtout pour les roulements à rouleaux cylindriques ou coniques.

Les roulements permettent aussi de supporter des vitesses de rotation relativement élevée, mais cette vitesse devient limitée par la température de fonctionnement admissible.

Critère de choix du type de roulement

Dans le marché il existe une multitude de roulements chacune d'entre eux présente des caractéristiques qui dépendent de sa conception et qui le rendent plus aux moins adapté à une application donnée.

Dans la plupart du temps, cependant, il faut tenir compte de plusieurs facteurs influençant le choix du roulement qu'il faut combiner pour aboutir à un meilleur choix.

On peut résumer les différents critères de choix dans :

□ Charge :

Elle concerne la direction de la charge, radiale, axiale ou combinée, et l'intensité de la charge, c'est le facteur qui détermine en générale la taille du roulement.

□ L'encombrement :

En générale le diamètre de l'alésage est imposé par la taille de la machine et le diamètre de l'arbre qui est à son rôle imposé par le calcul mécanique.

□ Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation est généralement limitée par la température de fonctionnement.

□ Rigidité :

Elle est caractérisée par l'ampleur de la déformation élastique, les roulements à rouleaux soit conique ou cylindrique sont en générale plus rigide que les roulements à billes.

□ précision :

La précision dépend du type de roulement et du montage.

Dans notre cas les roulements à rotule sur rouleaux sont les plus adaptés car

- ➔ Chargement purement radiale
- ➔ Vitesse faible
- ➔ Compensation des défauts d'alignement en fonctionnement
- ➔ Compensation des erreurs initiales d'alignement

Le type de roulement choisit parmi les choix proposées par SKF est 23044CC/W33 (voir l'annexe 2).

Le fiche technique de ce roulement :

Roulement à rotule à deux rangées de rouleaux avec rainure et trous de graissage sur bague extérieure

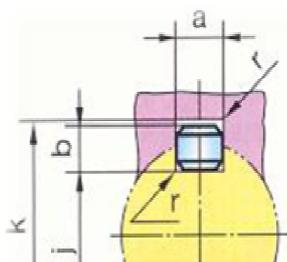
- ✓ Diamètre alésage : 220mm



- ✓ Diamètre extérieure : 340mm
- ✓ Largeur totale : 90mm
- ✓ Diamètre primitif : 284.3mm
- ✓ Nombre de corps roulants : 24
- ✓ Diamètre corps roulants : 33.2mm
- ✓ Capacité dynamique : 145000daN
- ✓ Capacité statique (C0) :211000daN

Dimensionnement de la clavette

Les dimensions de la section de la clavette sont normalisées en fonction du diamètre de l'arbre. En effet le diamètre de l'arbre doit pouvoir résister aux efforts à transmettre et donc on ne doit pas trop l'affaiblir par une rainure disproportionnée. Seule la longueur peut être choisie (librement)



d	a	b	s	j	k	d	a	b	s	j	k
de 6 à 8 inclus	2	2	0,16	d - 1,2	d + 1	58 à 65	18	11	0,6	d - 7	d + 4,4
8 à 10	3	3	0,16	d - 1,8	d + 1,4	65 à 75	20	12	0,6	d - 7,5	d + 4,9
10 à 12	4	4	0,16	d - 2,5	d + 1,8	75 à 85	22	14	1	d - 9	d + 5,4
12 à 17	5	5	0,25	d - 3	d + 2,3	85 à 95	25	14	1	d - 9	d + 5,4
17 à 22	6	6	0,25	d - 3,5	d + 2,8	95 à 110	28	16	1	d - 10	d + 6,4
22 à 30	8	7	0,25	d - 4	d + 3,3	110 à 130	32	18	1	d - 11	d + 7,4

Tableau 7: dimension de la section de la clavette



38 à 44	12	8	0,4	d - 5	d + 3,3	150 à 170	40	22	1,0	d - 13	d + 9,7
44 à 50	14	9	0,4	d - 5,5	d + 3,8	170 à 200	45	25	1,6	d - 15	d + 10,4
50 à 58	16	10	0,6	d - 6	d + 4,3	200 à 230	50	28	1,6	d - 17	d + 11,4

Nota : L'emploi d'une clavette, sur un arbre de dimension supérieure, est possible.

d=225mm

Donc :

b= 28mm

a= 50mm

Il reste à déterminer la longueur (L). Pour cela on va vérifier les conditions de non matage et de cisaillement.

Il faut déterminer d'abord les charges appliquées sur la couronne dentée et sur l'arbre pour pouvoir calculer la charge de cisaillement de la clavette.

Charges appliquées sur l'arbre

Pour déterminer les charges appliquées sur l'arbre, il faut tenir compte du poids de l'assemblage du rotor, des charges provenant inévitablement du fonctionnement d'une machine ou d'une transmission de puissance. Elles incluent la



charge radiale, qui s'applique à l'angle droit de l'axe du roulement, et la charge axiale qui s'applique au roulement parallèlement à son axe. Elles peuvent s'appliquer seules ou combinées.

De plus l'utilisation d'une machine produit inévitablement un degré variable de vibrations et chocs. Pour tenir compte de ces facteurs, la valeur théorique de la charge est multipliée par un facteur de sécurité, qui est le « facteur charge ».

Charge appliquée sur l'arbre = facteur charge f_w × charge calculée

Le tableau ci-dessous indique les valeurs du facteur de charge f_w qui correspond au degré de choc auquel est soumise la machine.

Types de chocs	f_w	Applications
Presque pas de chocs	1.0~1.2	Machines électrique, machines-outils, instruments de mesure
Chocs modérés	1.2~1.5	Véhicules ferroviaires, automobiles, laminoirs, machines à travailler les métaux, machines à papier, travail des matières plastiques, machines d'imprimerie, aéronautique, machines textiles, machines électriques, équipement de bureau
Chocs Importants	1.5~3.0	Broyeurs, machines agricoles, matériel de travaux publics, grues

Tableau 8: Facteur de charge

Charge appliquée sur les arbres par transmission de puissance

L'effort qui s'applique sur l'arbre lorsqu'une puissance est transmise par courroies, chaînes ou engrenages est en général déterminé par la formule suivante :

$$C = \frac{9550 \times P}{N} \quad (1)$$

$$F_t = \frac{C}{R} \quad (2)$$

Où

C : Couple en N.m

P : Puissance en kW

N : Vitesse de rotation en tr/min

R : Rayon effectif de l'engrenage en m

F_t : Effort de transmission (effort de transmission effectif de la Chaîne; effort tangentiel de l'engrenage) en N

La charge effectivement appliquée à l'arbre par l'effort de transmission peut être déterminée à l'aide de la formule suivante :

Charge effective = Facteur × F_t



Différents facteurs sont utilisés en fonction du système de transmission utilisé.

Dans la plupart des cas, les charges réelles appliquées sont plus importantes que celles calculées, en raison de vibrations, de chocs, etc. Grâce au facteur de charge f_w , on peut calculer des valeurs très proches de la réalité. Lorsque la puissance est transmise par une chaîne, l'effort effectif de transmission qui s'applique à la roue dentée est déterminé grâce à la formule (2). Pour obtenir la charge effective, l'effort de transmission doit être multiplié par le « facteur chaîne », de 1.2 à 1.5.

$$F = f_w \times F_c$$

Où

F : effort effectif en N.

F_c : effort théorique en N.

f_w : facteur de charge.

Application

Calculons l'effort de transmission effectif de la Chaîne :

- **Données**

1. le diamètre primitive de la roue $D_p = 900\text{mm}$
2. La vitesse de rotation minimale $N = 2.5 \text{ tr /min}$
3. La puissance transmise $P = 55\text{KW}$

$$\text{On } C = \frac{30P}{2\pi N} = \frac{9550 \times P}{2N} \quad (\text{La puissance est transmise par deux chaînes donc on la divise par 2})$$

A.N:

$$C = 105.04 \text{ KN.m}$$

$$F_t = 233.4 \text{ KN}$$

Calculons la charge radiale appliquée sur la roue :

Pour calcul la charge radiale en prend un facteur de correction $f_b = 1.5$

$$F_r = 1.5 \times F_t$$

A.N: $F_r = 350 \text{ KN}$

Pour déterminer la charge réelle, il faut multiplier la charge théorique, c'est-à-dire les résultats des formules citées ci-dessus, par le facteur des chaînes décrit dans le tableau 11.

On prend un facteur de charge $f_w = 2$

$$F = f_w \times F_c$$

A.N: $F_r = 409 \times 2 = 700\text{K}$

$$F_t = 291.8 \times 2 = 466.8\text{KN}$$

Finalement



- La charge radiale $F_r = 700 \text{ KN}$
- La charge tangentielle $F_t = 466.8 \text{ KN}$

Détermination de la longueur L de la clavette

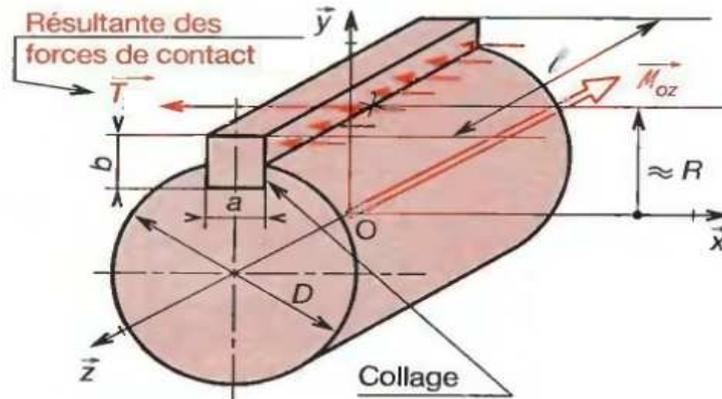


Figure 19: résultante des forces exercées sur la surface de la clavette

La force appliquée sur la clavette est la force tangentielle F_t qu'on a calculée dans le paragraphe précédent.

$$F_t = 466.8 \text{ KN}$$

Cette force engendre des contraintes de compression sur la surface indiquée dans la figure 19

Donc pour déterminer la longueur (L) il faut vérifier la condition de non matage et la condition de non cisaillement de la clavette.

Calcul de la pression sur le flan de contact :

La surface de contact est plane on peut écrire :

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{2F}{bL}$$

La condition de non matage est : $\sigma \leq \sigma_{ad}$

Avec σ_{ad} : la contrainte admissible

La contrainte de cisaillement s'écrit : $\tau = \frac{F}{La}$

La condition de non cisaillement est : $\tau \leq \tau_{ad}$

En utilisant un facteur de sécurité, $FS = 2$, les contraintes admissibles sont

$$\sigma_{ad} = \frac{R_e}{FS} \quad \tau_{ad} = \frac{R_e}{2FS}$$

Choix du matériau :

Puisque la charge est très grande il faut choisir un acier d'usage général de limite élastique élevée

On choisit l'acier **E450** dont la limite d'élasticité minimale $R_e=450 \text{ MPa}$



A.N:

$$\sigma_{ad} = \frac{450}{2} = 225 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ad} = \frac{450}{4} = 112.5 \text{ MPa}$$

D'après La condition de non cisaillement on a :

$$\tau = \frac{F}{L \cdot a} \leq \tau_{ad}$$

Alors,

$$L \geq \frac{F}{\tau_{ad} \cdot a}$$

A.N:

$$L \geq 82.98 \text{ mm}$$

Et d'après La condition de non matage on a :

$$\sigma = \frac{2F}{Lb} \leq \sigma_{ad}$$

A.N:

$$L \geq 156.9 \text{ mm}$$

On prend donc $L \geq 148.19 \text{ mm}$

On choisit une clavette de la longueur $L = 160 \text{ mm}$

On a $L/D = 160/225 < 2.5$

Donc une clavette parallèle peut être utilisée

D'après les valeurs normalisées et les calculs fait on choisit la clavette parallèle de

Forme B 56x28x160 NF- E450

Redimensionnement de l'arbre

L'arbre de renvoi actuel à une longueur totale de $L = 2910 \text{ mm}$. Cette longueur doit être changée en tenant compte les dimensions suivants :

-Le palier à comme longueur de base $l = 360 \text{ mm}$ donc si on veut que le palier soit au milieu du support palier existant à l'atelier de concasseur primaire, la longueur doit être $L = 2910 + 2 \times 180 - 60 \times 2 = 3150 \text{ mm}$

-Comme on a vu précédemment l'arbre choisit à un diamètre au niveau du palier égal à 220 mm le long du palier c.à.d. 360 mm dans les deux extrémités. Le diamètre de la couronne dentée est 225 mm donc il faut avoir le même diamètre pour l'arbre le long de la couronne c.à.d. 200 mm pour chaque couronne.

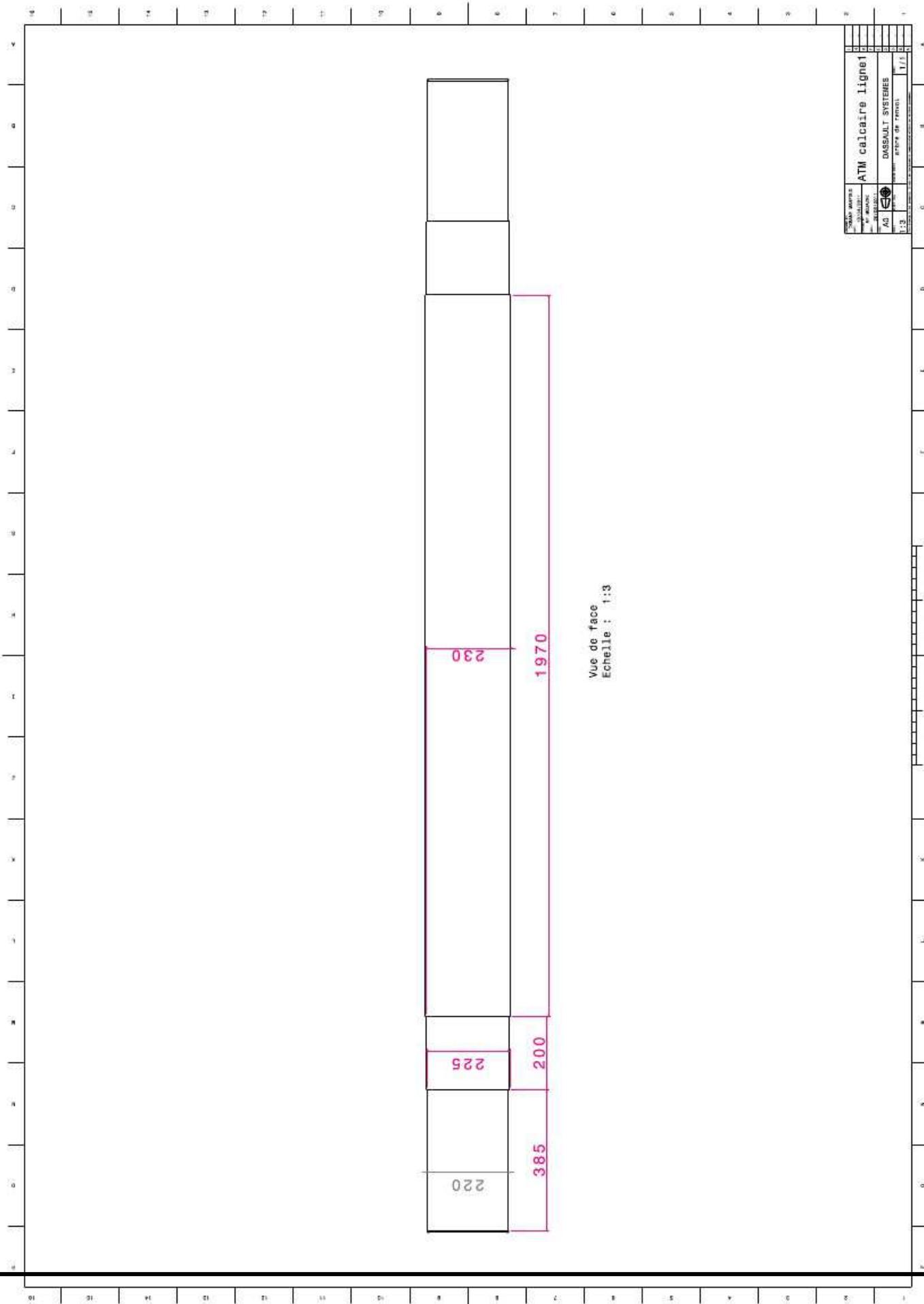
-Pour fixer la couronne il faut avoir une butée on choisit une butée de 5 mm

-Il faut avoir une rainure de longueur égale à la longueur de la clavette 160 mm , de profondeur égale à $b/2 = 14 \text{ mm}$ et de largeur $a = 50 \text{ mm}$.



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah - Fès
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES





UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH - FÈS		FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES	
ATM calcatoire ligne 1		DASSAULT SYSTEMES	
AD		1:3	
1/3		1/11	



Deuxième solution

Dans cette solution on va garder le même arbre et nous utiliserons un moyeu lié à l'arbre par une clavette et à la couronne à l'aide d'un système de boulons. Cette solution nécessite :

- le dimensionnement des paliers ;
- le dimensionnement de la clavette ;
- le dimensionnement du moyeu.

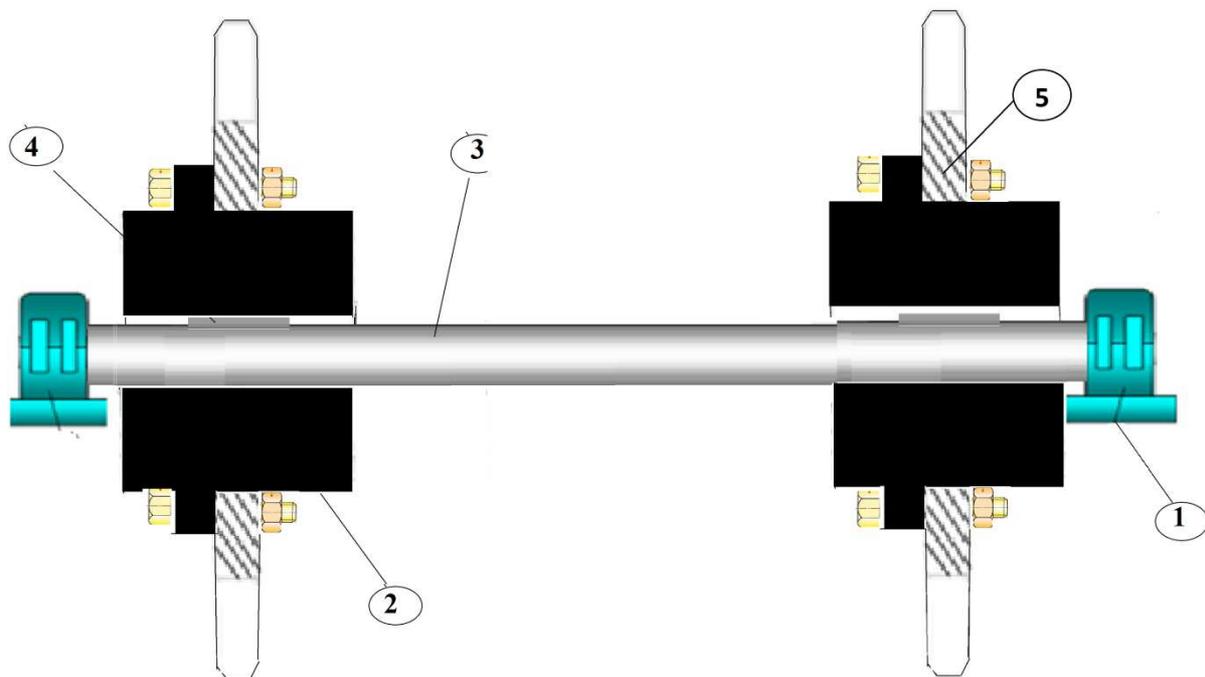


Figure 20: concept de la 2ème solution

- 1:Palier à roulements
- 2:Moyeu
- 3:Arbre de renvoi
- 4 :Clavette
- 5 :Couronne

Dimensionnement du palier

Puisque on ne va pas changer la section de l'arbre dans cette solution. Les dimensions de l'arbre restant les mêmes.



Pour le même raisonnement que la première solution on choisit un palier à joints taconite. Le tableau (ANNEXE2) donne les paliers de grandes dimensions pour roulements à alésage cylindrique sachant le diamètre de l'arbre. Alors le palier convenable à notre cas est **SNL 226TND**.

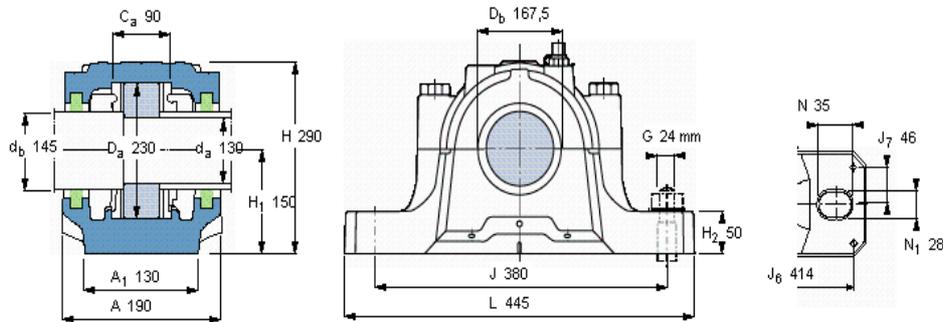


Figure 21: dimension du palier de la 2^{ème} solution

Choix des roulements

On suit le même raisonnement fait pour la solution 1. Alors le type de roulement est **23226CC/W33**.

Le fiche technique de ce roulement est :

- ✓ Roulement à rotule à deux rangées de rouleaux avec rainure et trous de graissage sur bague extérieure
- ✓ Diamètre alésage : 130mm
- ✓ Diamètre extérieure : 230mm
- ✓ Largeur totale : 80mm
- ✓ Diamètre primitif : 183.3mm
- ✓ Nombre de corps roulants : 18
- ✓ Diamètre corps roulants : 28.3mm
- ✓ Capacité dynamique : 91200daN
- ✓ Capacité statique (C0) : 113000dN

Dimensionnement de la clavette

D'après le dimensionnement du moyeu on va choisir une clavette de forme standard correspondant à un diamètre $d=150\text{mm}$

$b=22$

$a=40$

Il reste à déterminer la longueur : pour cela on va vérifier les conditions de non matage et de non cisaillement.

Choix de matériau

On choisit l'acier d'usage général **E450** dont la limite d'élasticité minimale $R_c=450\text{MPa}$

A.N:



$$\sigma_{ad} = \frac{450}{2} = 225 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ad} = \frac{450}{4} = 112.5 \text{ MPa}$$

D'après la condition de non cisaillement on a :

$$\tau = \frac{F}{L \cdot a} \leq \tau_{ad}$$

Alors,
$$L \geq \frac{F}{\tau_{ad} \cdot a}$$

A.N:

$$L \geq 103.73 \text{ mm}$$

Et d'après la condition de non matage on a :

$$\sigma = \frac{2F}{Lb} \leq \sigma_{ad}$$

A.N :

$$L \geq 188.6 \text{ mm}$$

On prend donc $L \geq 188.6 \text{ mm}$

On choisit une clavette de la longueur $L = 190 \text{ mm}$

D'après les valeurs normalisées et les calculs faits on choisit la clavette parallèle :

Forme B 40x22x190 NF- E450

Dimensionnement du moyeu

On va utiliser un moyeu de telle façon à exploiter le stock en couronne roue de commande. Donc le dimensionnement du moyeu doit être compatible au dimensionnement de la couronne roue de commande illustrée dans la figure (19). Cette conception nécessite un moyeu de diamètre intérieur **Di=150mm** et de diamètre extérieur **De=560mm**. Le moyeu contient **12** trous de diamètre **35mm** et une rainure de clavette.

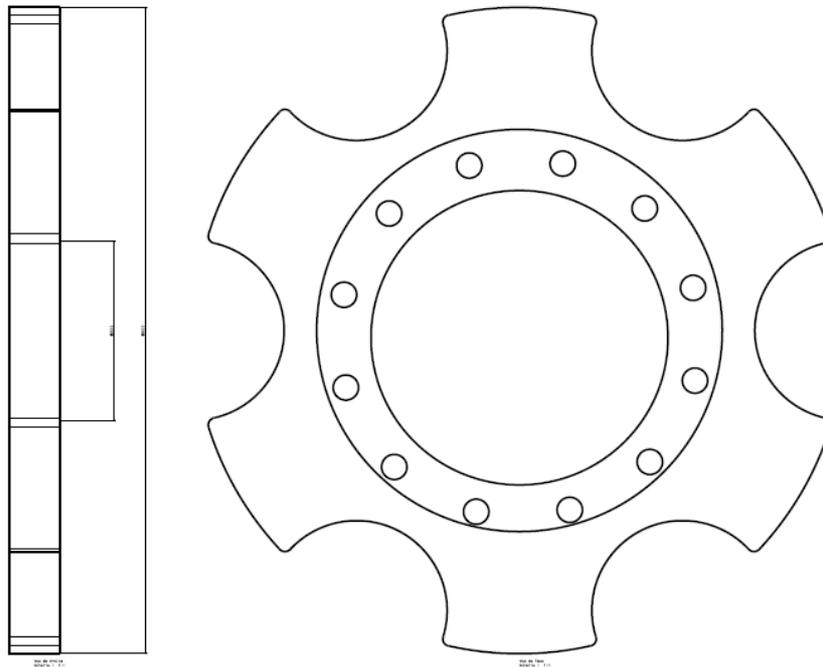
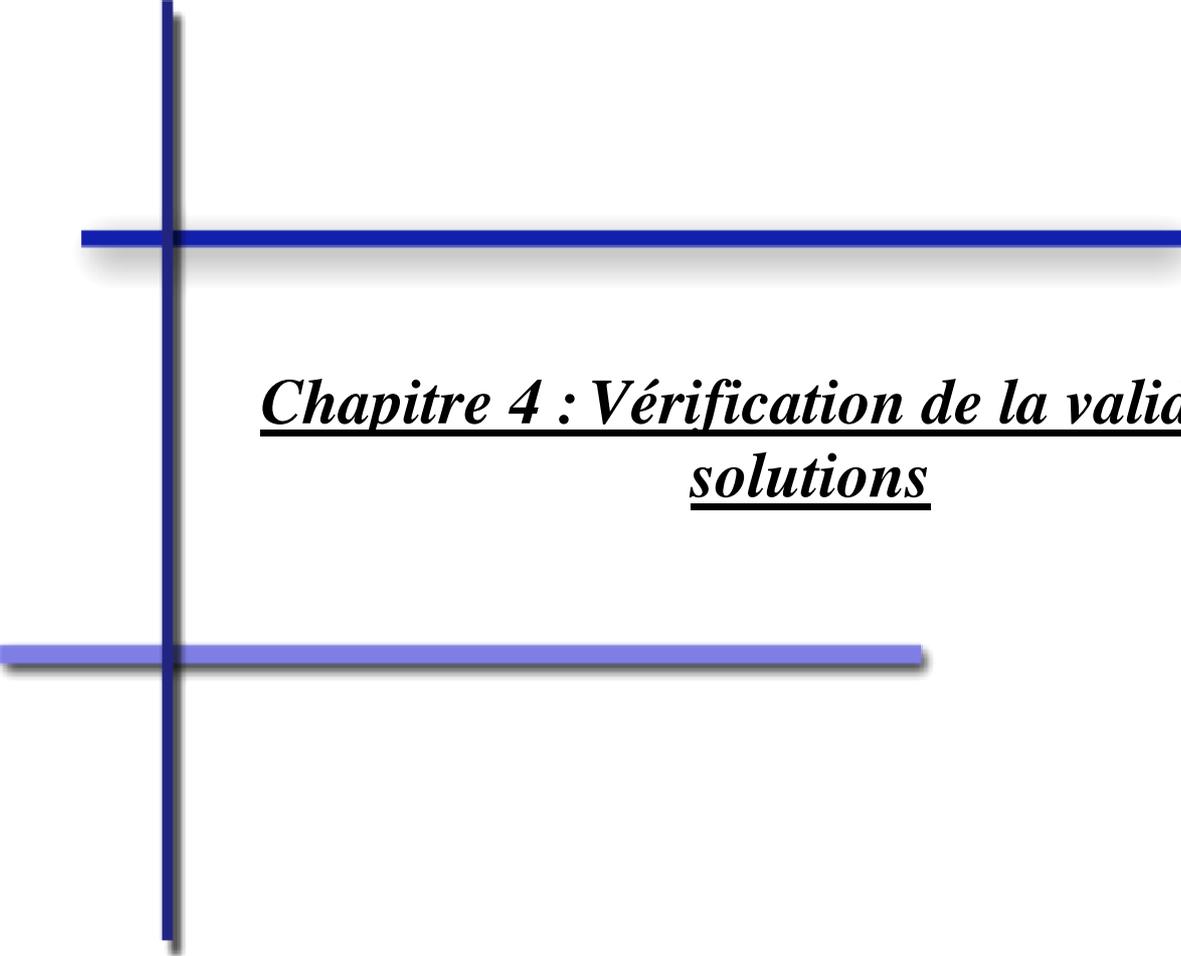


Figure 22: dessin de la couronne roue de commande



Figure 23: dessin du moyeu



Chapitre 4 : Vérification de la validité des solutions



Vérification de validité des solutions

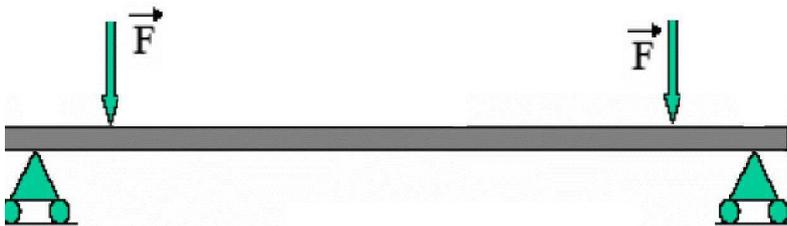
Vérification de la validité de la première solution

Arbre

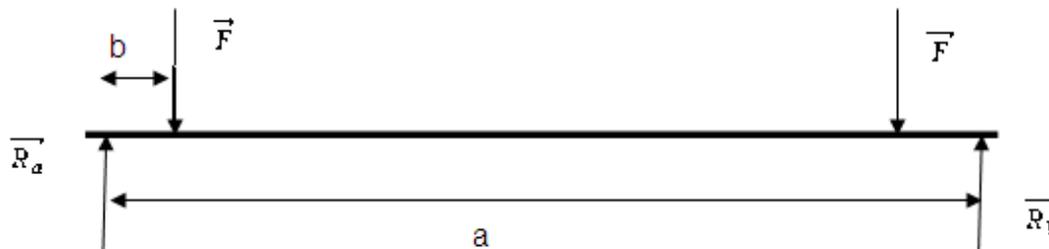
Pour faire la vérification de la validité de l'arbre il faut déterminer sa résistance à la flexion et à la torsion cela nécessite la détermination des charges appliquées sur l'arbre.

Etude analytique

L'arbre de renvoi dans la nouvelle conception sera soumis à une sollicitation de flexion donc il faut vérifier le non cisaillement de l'arbre.



Le principe fondamental de la statique :



Pour les forces

$$\sum \vec{F}_Y = \vec{0} \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{F} + \vec{F} + \vec{R}_a + \vec{R}_b = \vec{0} \\ F + F - R_a + R_b = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{2F = R_a + R_b} \quad (1)$$

Pour les moments

$$\sum \vec{M}_A = \vec{0} \quad \left\{ \begin{array}{l} \vec{F} \times \vec{b} + \vec{F} \times (\vec{a} - \vec{b}) - \vec{R}_b \times \vec{a} = 0 \\ \dots \dots \dots \end{array} \right.$$



$$\Rightarrow F \times a - R_b \times a = 0$$

$$F = R_b$$

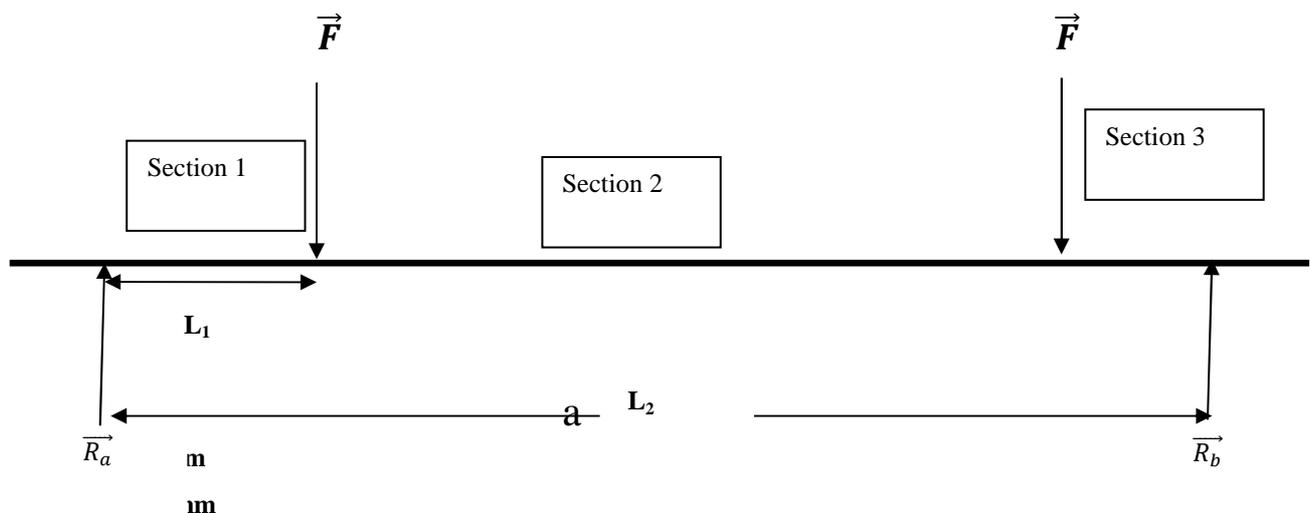
De l'équation 1 on aura

$$F = R_b = R_a = K_r = 700 \text{ KN}$$

Diagramme des moments fléchissant et des efforts tranchants :

Pour tracer le diagramme des moments fléchissant et des efforts tranchants on appliquera la méthode des sections dans notre cas on a trois sections principales.

On prend comme origine le point où s'applique la force \vec{R}_a .



➤ Section 1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \vec{F}_Y = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_A = \vec{0} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} V + F = 0 \\ V(X) = -F \\ M(x) - Fx = 0 \\ M(x) = Fx \end{array} \right.$$



➤ Section 2 :

$$\sum \vec{F}_Y = \vec{0} \begin{cases} V-F+F=0 \\ V(x) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(x)-F*x + F(x-L_2) = 0 \\ M(X) = F L_2 \end{cases} \quad \sum \vec{M}_A = \vec{0}$$

$$\sum \vec{F}_Y = \vec{0} \begin{cases} V(x) +F-F-F=0 \\ V(X) = F \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(x) - F (L_1-X) = 0 \\ M(X) = F (L_1-X) \end{cases} \quad \sum \vec{M}_A = \vec{0}$$

le diagramme des efforts tranchants :

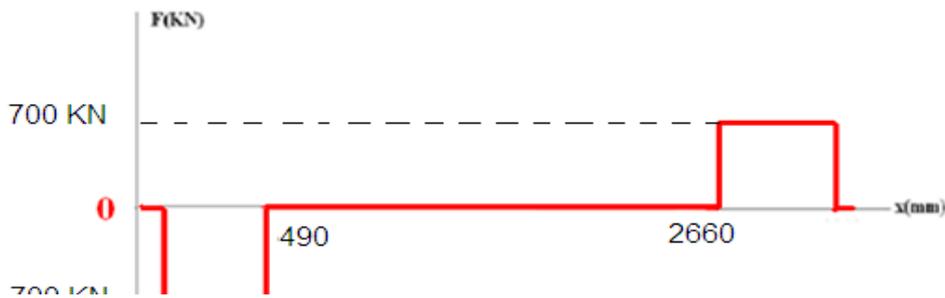


Figure 24: diagramme des efforts tranchants

Le

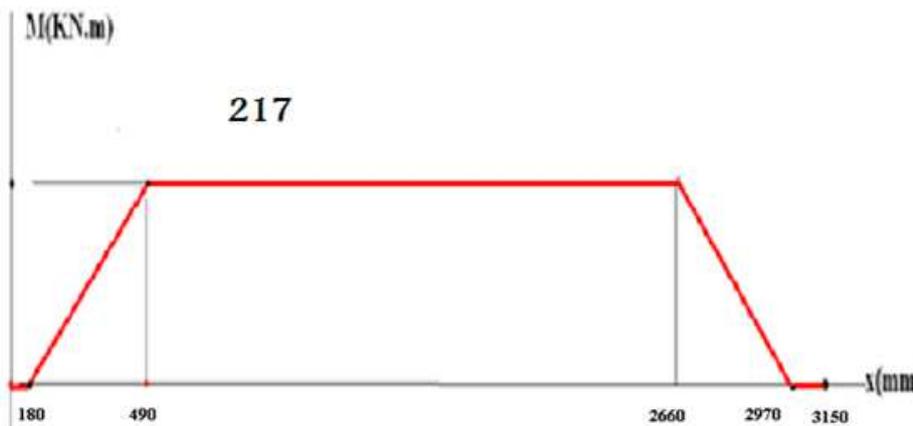


Figure 25: diagramme des moments fléchissant

Détermination de la contrainte maximale de flexion



La contrainte maximale dans l'arbre $\sigma_{\max} = 32Mf_{\max} / \pi d^3$

$Mf_{\max} = 217 \text{KNm}$ (Le moment fléchissant maximal)

A.N :

$$\sigma_{\max} = 194.05 \text{MPa}$$

Etude numérique

On va faire une étude RDM Par le code RDM6. Considérant l'arbre comme étant une poutre soumise à quatre sollicitations équivalentes $T = 700 \text{KN}$

Les nœuds principales sont comme suit :

A=0 (l'origine)

B=180 mm (le centre du premier palier à roulement : voir le redimensionnement du paliers)

C= 490mm (le centre de la couronne dentée 1)

D=2660mm (le centre de la couronne dentée 2)

E=2970mm (le centre du deuxième palier à roulement)

F=3150mm l'extrémité de l'arbre (voir le dimensionnement de l'arbre).

Le diagramme des efforts tranchants :



Figure 26: diagramme des efforts tranchants par RDM6

Le diagramme des moments fléchissant

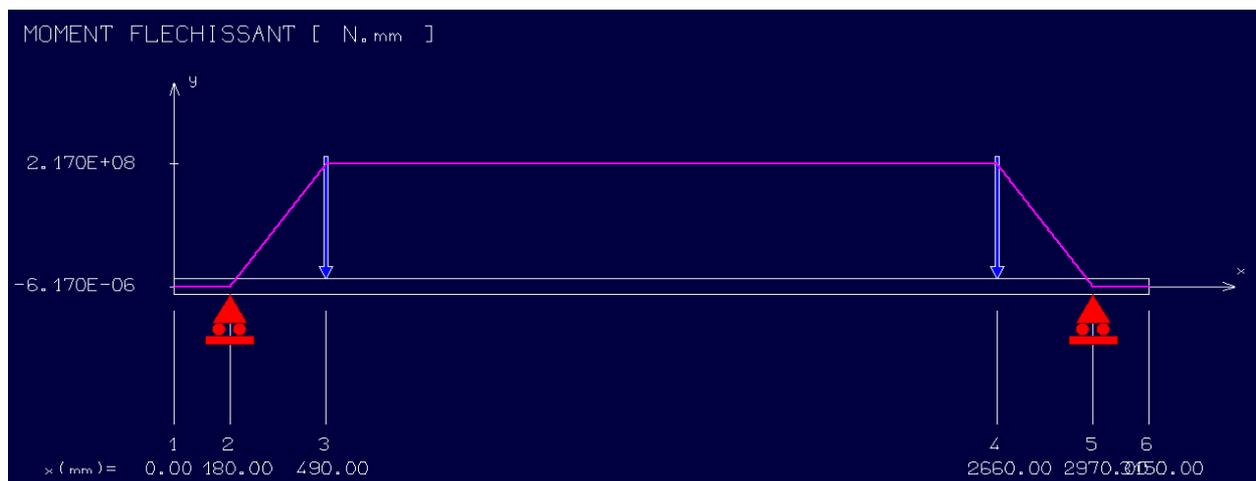




Figure 27: diagramme des moments fléchissant par RDM6

La flèche

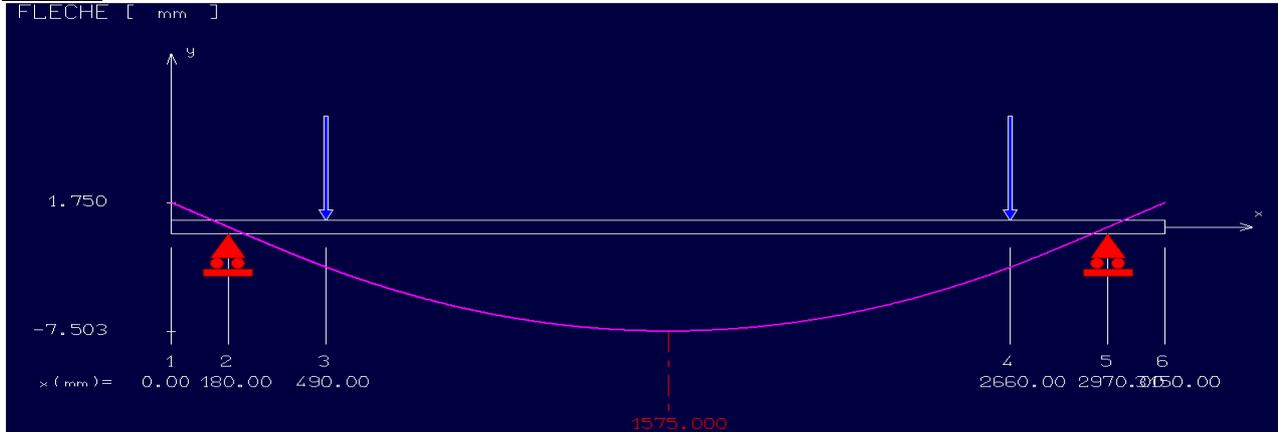


Figure 28: La flèche

La flèche est acceptable et les roulements à rotule peuvent corriger le problème d'alignement.

Détermination de la contrainte maximale

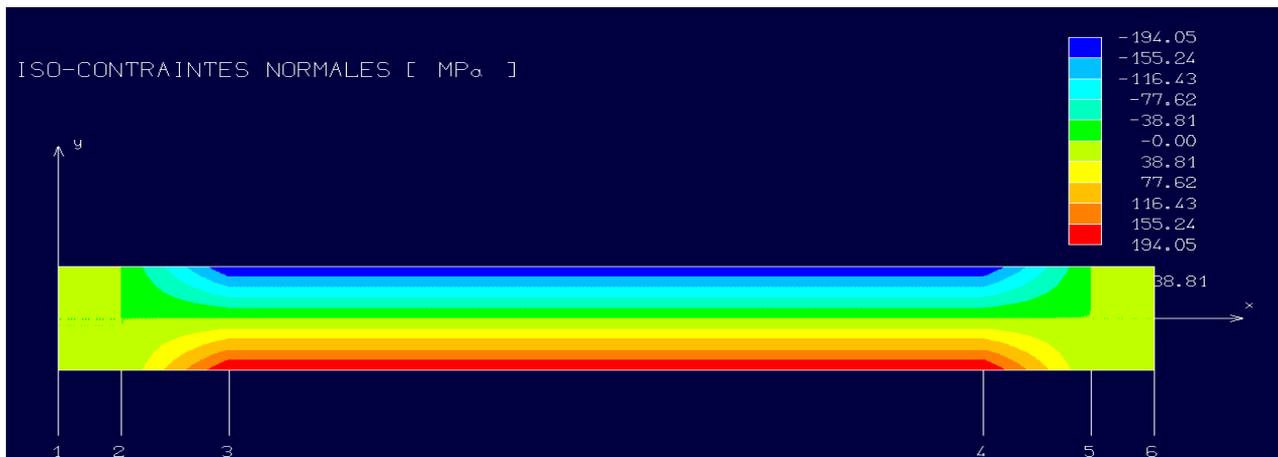


Figure 28: contraintes normales par RDM6

Donc la contrainte maximale est de **194.05MPa** identique à celle calculer analytiquement

Etude de la résistance de l'arbre

Le matériau utiliser dans la conception actuelle est l'acier **42Cr Mo4**

Re=850MPa et Rr=1100MPa

La contrainte maximale due à la flexion est :

$$\sigma_{\max}=194.05\text{MPa}$$

La contrainte maximale due à la torsion est :



$$\tau = \frac{16M_t}{\pi D^3}$$

Avec M_t : est le moment de torsion ($M_t = C = 105.04 \text{ KN.m}$)

A.N :

$$\tau = 47 \text{ MPa}$$

L'arbre contient des rainures pour les clavettes qui génèrent des concentrations de contraintes dans la zone rainure due à une restriction de section. Afin d'augmenter la sécurité, on prend un facteur de concentration de contraintes : $K_{ff} = K_{ft} = 2$.

Alors la contrainte équivalente de Von Mises due à la torsion et à la flexion:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(K_{ff}\sigma_f)^2 + 3(K_{ft}\sigma_f)^2}$$

A.N :

$$\sigma_{VM} = 420 \text{ MPa}$$

Alors on a,

$$FS = \frac{R_e}{\sigma_{VM}} = 2$$

Finalement L'arbre résistera à la flexion et à la torsion

Les roulements

Durée de vie (L)

La durée de vie d'un roulement est définie par le nombre de tours (ou le nombre d'heures de fonctionnement à vitesse constante) que celui-ci peut effectuer avant l'apparition des premiers signes de fatigue (écaillage) sur une bague ou un élément roulant.

Durée de vie nominale (L_{10})

C'est le nombre de millions de tours qu'atteignent ou dépassent 90% de l'ensemble des roulements d'un lot, essayés dans les mêmes conditions. La méthode la plus simple de calcul de la durée consiste à utiliser la formule ISO pour la durée nominale, c'est-à-dire :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

L_{10} : durée nominale, en millions de tours.



C : charge dynamique de base en newtons.

P : charge dynamique équivalente, en newtons

n : un exposant qui est fonction du contact entre pistes et éléments roulants

n = 3 pour les roulements à billes

n = 10/3 pour les roulements à rouleaux

Charge dynamique de base (C)

Elle est utilisée pour le calcul de la durée des roulements en rotation. C'est la charge pour laquelle la durée nominale ISO du roulement considéré atteint 1 million de tours, sous certaines conditions d'application (charge constante en intensité et en direction, radiale dans le cas d'un roulement radial, axiale et centrée dans le cas d'une butée). La détermination des charges dynamiques de base des roulements a été faite par un calcul conforme à ISO 281 : 1990.

Charge statique de base (Co)

Elle est utilisée pour le calcul des roulements, soit à l'arrêt, soit en rotation à basse vitesse ou animés de faibles mouvements d'oscillation. Elle doit aussi être prise en considération lorsque des chocs importants de courte durée s'exercent sur un roulement en rotation. La charge statique de base est définie conformément à ISO 76 : 1987 comme la charge statique qui correspond par calcul à une contrainte, au centre du contact élément/chemin le plus chargé, égale à :

- 4600 MPa pour les roulements à rotule sur billes,
- 4200 MPa pour tous les autres roulements à billes,
- 4000 MPa pour tous les roulements à rouleaux.

Cette contrainte produit une déformation permanente totale (élément et chemin) d'environ 0.0001 du diamètre de l'élément roulant, les conditions d'application étant celles déjà définies pour la charge dynamique de base.

Applications

Le type de roulement : roulement SKF à rotule sur rouleaux 23044C

La charge radiale : 700KN

La charge axiale : négligeable devant la charge radiale

Capacité dynamique : 145000daN

La vitesse de rotation : est la vitesse du tablier. On prend la valeur moyenne $N = 2.5tr/min$

On a : $F_a / F_r < e$ (voir le catalogue des roulements)

$$P = F_r + y_1 \cdot F_a$$

$$P = F_r \text{ (puisque } F_a \text{ est négligeable)}$$

$$\underline{A.N} : L_{10H} = \left(\frac{1450000}{700000} \right)^{10/3} \times \frac{10^6}{60N}$$

$$L_{10H} = 75533.9 \text{ Heurs}$$



Vérification par SNR-catalogue

Le logiciel SNR nous donne une durée de vie $L_{10}=75534$ Heurs et puisque le tablier fonction 16H. La durée de vie sera **4720.86 jours c.-à-d. 12.93 ANS**

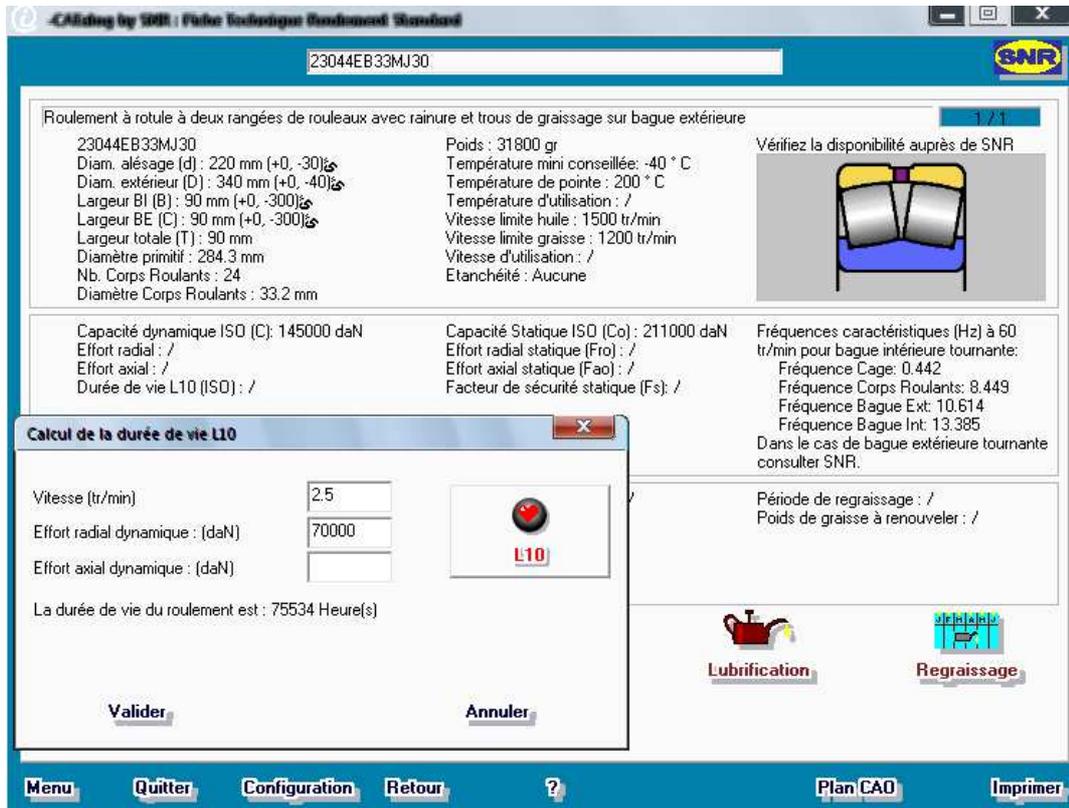


Figure 29: vérification de la durée de vie par SNR

Vérification de la validité de la deuxième solution :

1. Vérification de la résistance de l'arbre à la flexion et à la torsion

On va suivre la même démarche pour déterminer les charges au niveau des paliers et on aura les mêmes résultats

$$F = R_b = R_p = K_r = 700 \text{KN}$$

a Etude analytique

Diagramme des moments fléchissant et des efforts tranchants :

Pour tracer le diagramme des moments fléchissant et des efforts tranchants on appliquera la méthode des sections.

Dans notre cas on a trois sections principales. On prend comme l'origine le point où s'applique la force \vec{R}_a

Le diagramme des efforts tranchants :

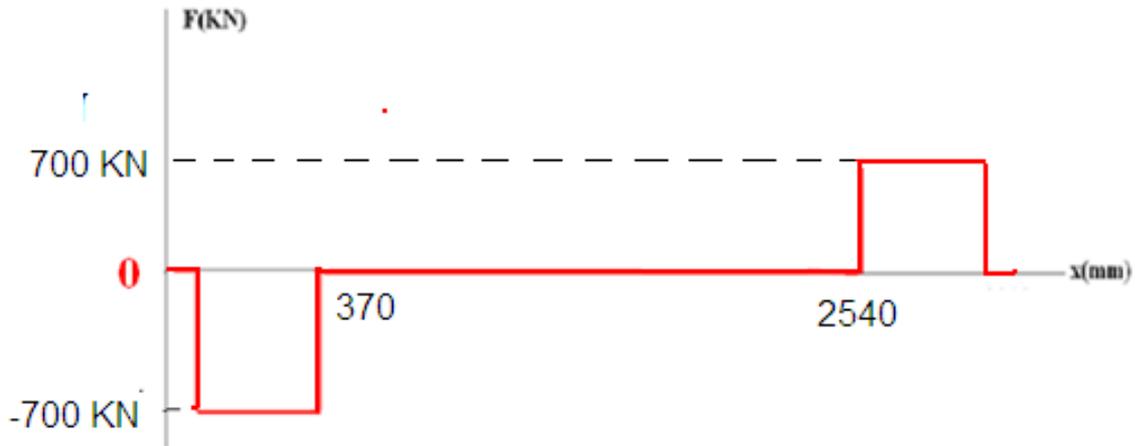


Figure 30: diagramme des efforts tranchants

Le diagramme des moments fléchissant

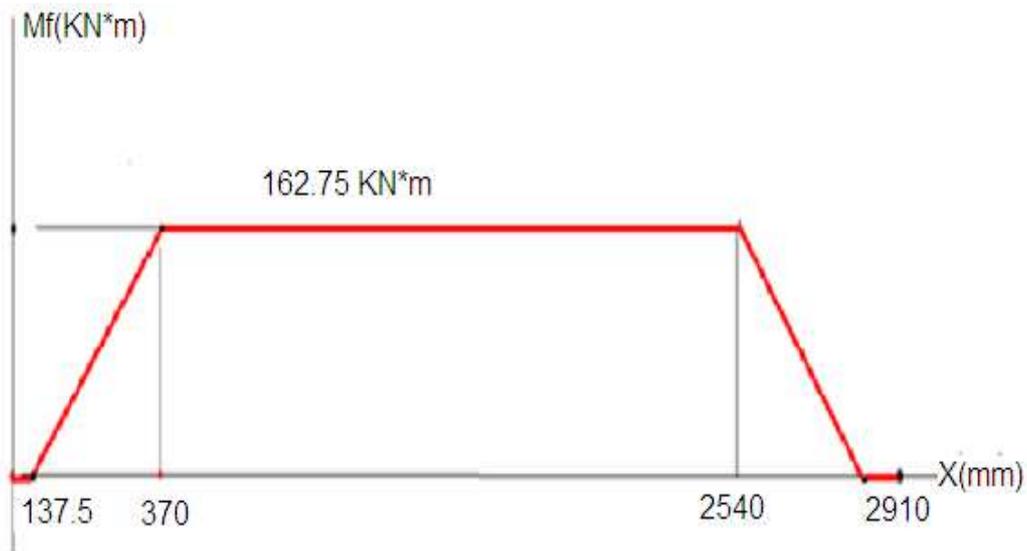


Figure 31: diagramme des moments fléchissant

Détermination de la contrainte maximale de flexion

La contrainte maximale dans l'arbre $\sigma_{\max} = 32M_{f_{\max}} / \pi d^3$

A.N : $\sigma_{\max} = 604.14 \text{ MPa}$

Avec $M_f = 162.75 \text{ KN.m}$



$d=140\text{mm}$

b. Etude numérique

On va faire une étude RDM Par RDM6. On considérant l'arbre comme étant une poutre. Les nœuds principales sont comme suit :

A=0 (l'origine)

B=137.5 (le centre du premier palier à roulement : voir le redimensionnement des paliers)

C= 370 (le centre de la couronne dentée 1)

D=2540 (le centre de la couronne dentée 2)

E=2772.5 (le centre du deuxième palier à roulement)

F=2910 (l'extrémité de l'arbre)

Le diagramme des efforts tranchant

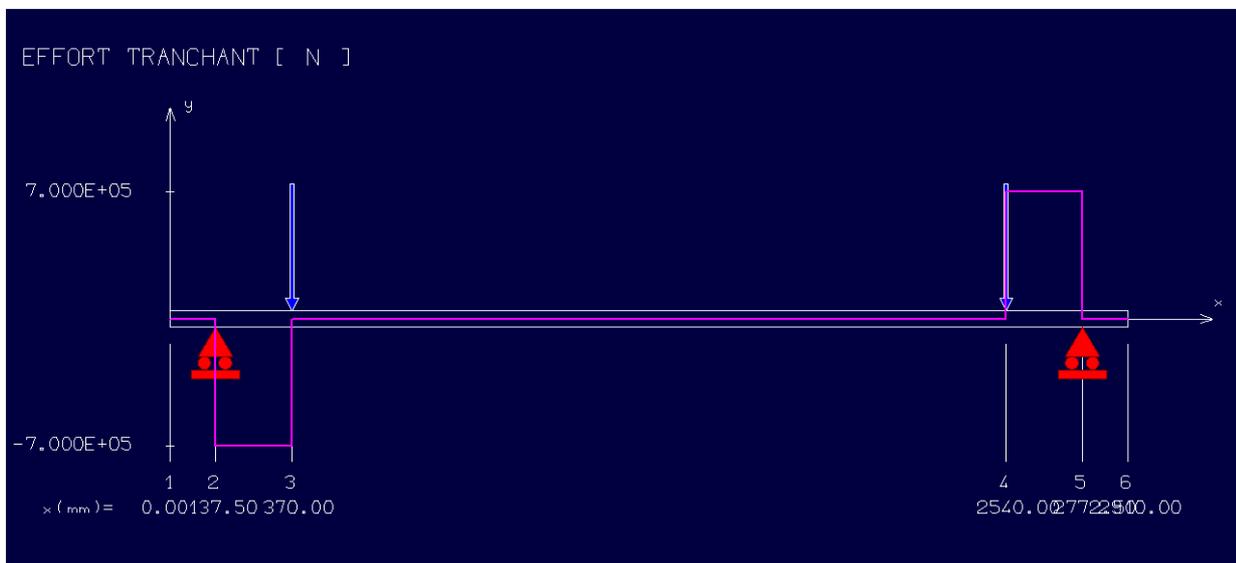


Figure 32: diagramme des efforts tranchant par RDM6

Le diagramme des moments flechissant

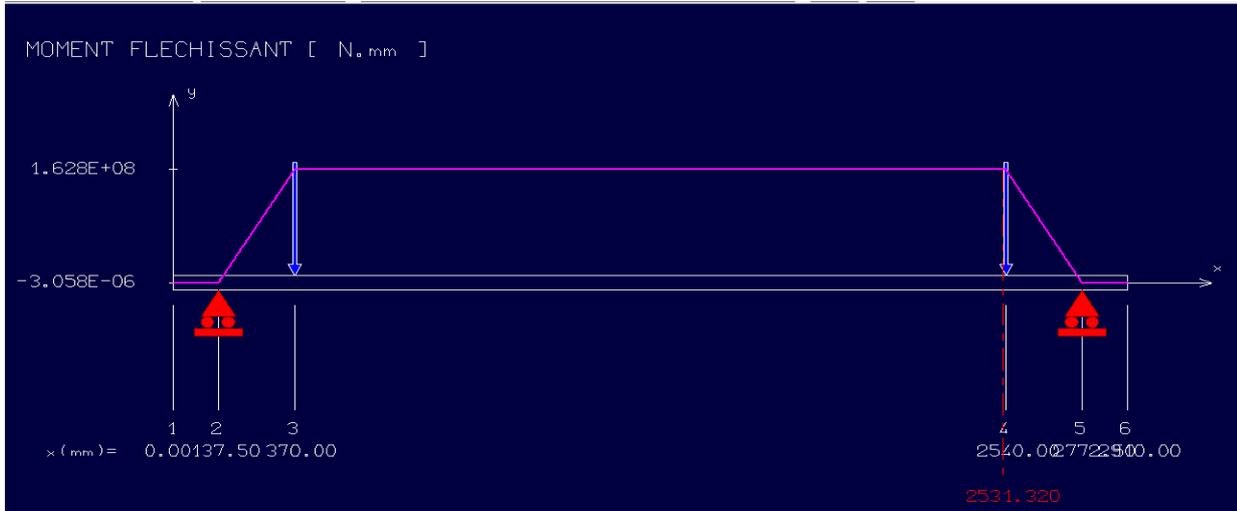


Figure 33: diagramme des moments fléchissant par RDM6

La contraintes normales

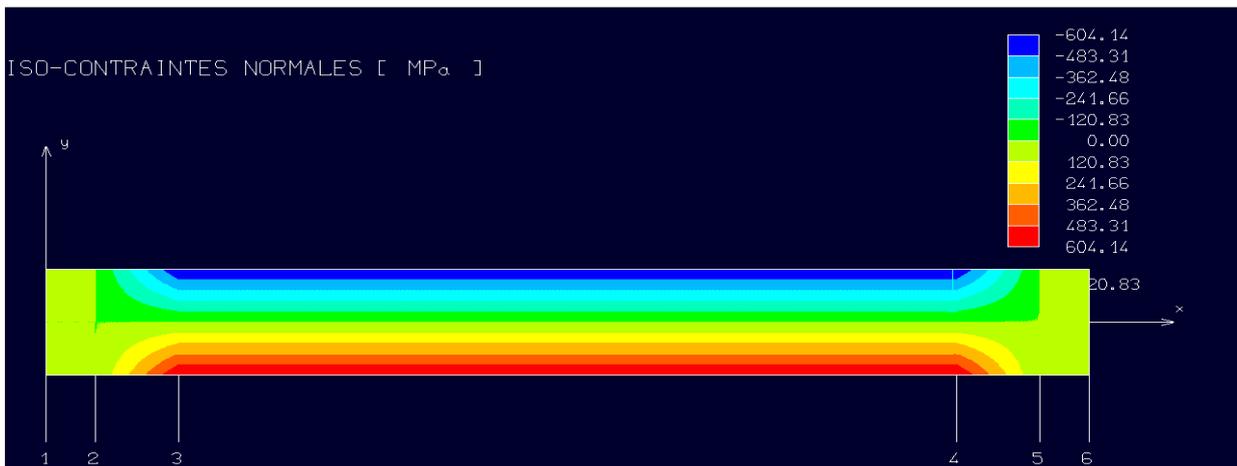


Figure 34: contraintes normales par RDM6

La flèche

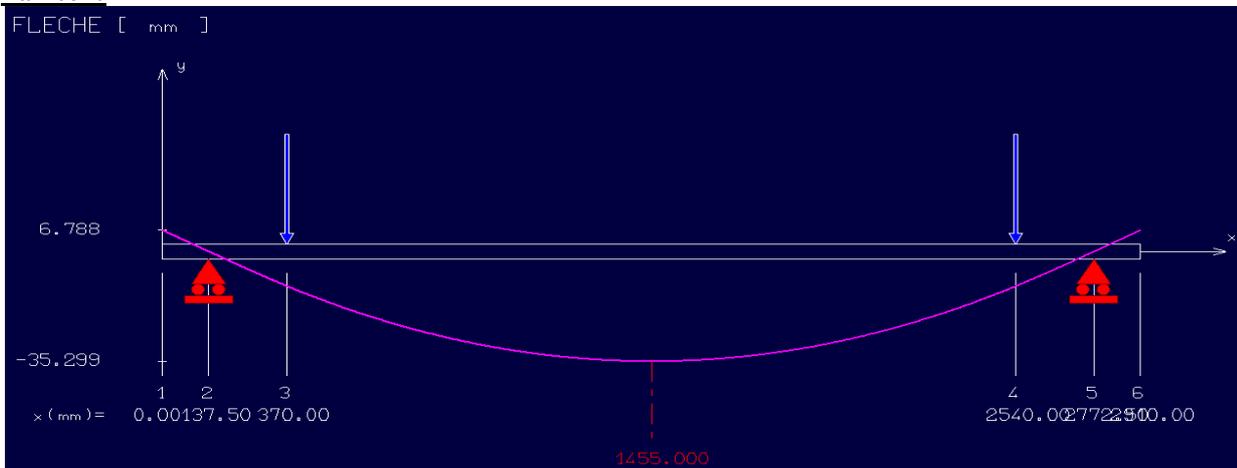


Figure 35: la flèche maximale



La flèche est importante ce qui peut engendrer le bruit au niveau des roulements .

La contrainte maximale est de **604.14MPa** identique à celle calculer analytiquement.

▪ Choix du matériau

Les arbres des grandes sections de LAFARGE sont généralement en acier cimentier rectifié (acier 42 Cr Mo4).

Re=850 MPa et Rr=1100MPa

▪ Calcul des contraintes

Contrainte maximal due à la flexion est $\sigma_{\max} = 604.14\text{MPa}$

La contrainte maximale due à la torsion d'est $\tau = \frac{16M_t}{\pi d^3}$

Avec M_t : est le moment de torsion

$M_t = C = 105.04\text{KN.m}$

$$\underline{AN:} \quad \tau = \frac{16C}{\pi D^3} = 131 \text{ MPa}$$

L'arbre es contaient des rainure pour les clavettes qui génèrent des concentrations de contraintes dans la zone rainure due à une restriction de section dont le rayon Afin d'augmenter la sécurité, on prend un facteur de concentration de contraintes : $K_{ff} = K_{ft} = 2$

Alors la contrainte équivalente de Von Mises est

$$\sigma_e = \sqrt{(K_{ff}\sigma_f)^2 + 3(K_{ft}\tau_f)^2}$$

$$\underline{AN:} \quad \sigma_e = 1290.68 \text{ MPa}$$

Alors ;

$$FS = \frac{R_e}{\sigma_e} = 0.65$$

Finalement L'arbre ne résistera pas à la flexion et à la torsion. Donc on propose d'utiliser un matériau de limite élastique supérieur à 1290MPa

Par exemple On choisit comme matériau de construction de l'arbre (Acier 45 SCD) qui comme caractéristiques $E=220000\text{MPa}$

Limite élastique $R_e=1450 \text{ MPa}$

Alors ;

$$FS = \frac{R_e}{\sigma_e} = 1.12$$

Donc on a un facteur de sécurité très faible, pour cette solution il ya un risque de fatigue de l'arbre.

2. Les roulements

Le type de roulement : roulement SKF à rotule sur rouleaux **23226CC/W33**

La charge radiale : 700KN

La charge axiale : négligeable devant la charge radiale

La vitesse de rotation $N = 2.5\text{tr/min}$

Capacité dynamique : 91200daN



$$L_{10H} = \left(\frac{912000}{700000} \right)^{10/3} \times \frac{10^6}{60N}$$

$$L_{10H} = 16102.67$$

Donc L=1006.417jours

▪ **Vérification par le logiciel SNR**

La durée de vie donnée par le catalogue SNR est 16102.67Heurs. Le tablier fonctionne 16heurs par jour. Alors la durée de vie sera **2.75ANS**. Il donne aussi un facteur de sécurité **1.6<au seuil critique**

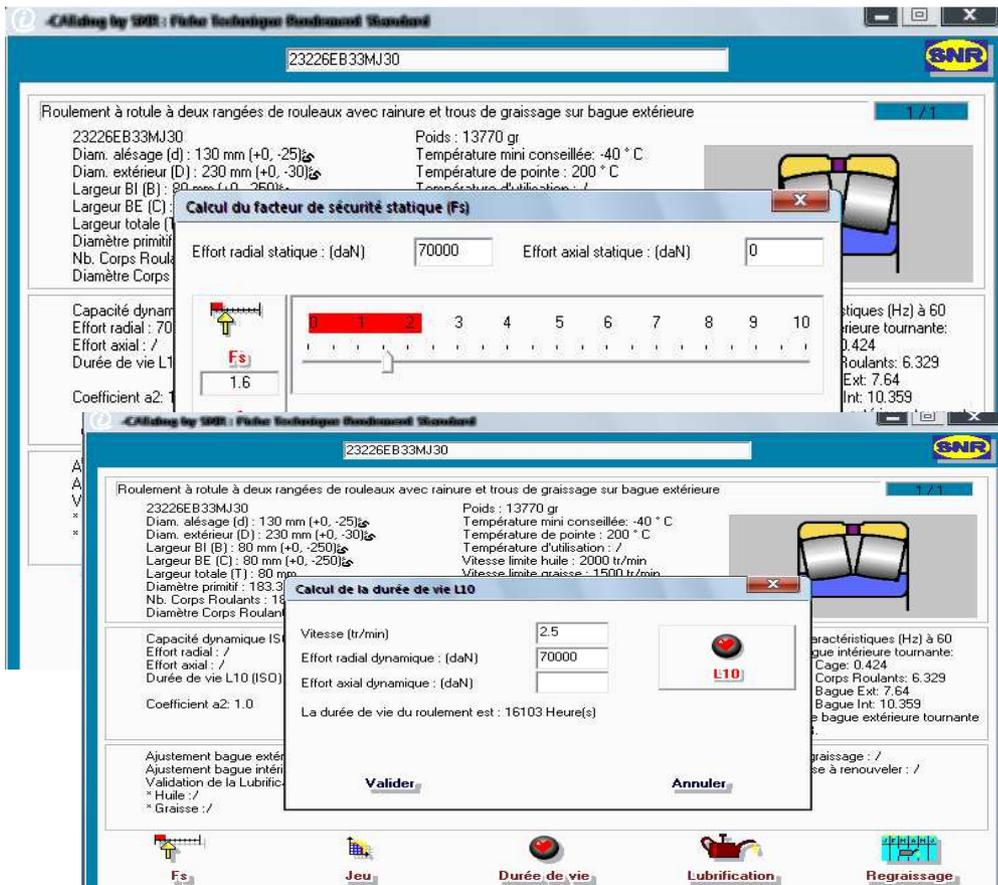


Figure 36: durée de vie et facteur de sécurité des roulements par SNR

Donc le facteur de sécurité est faible ce qui engendre le bruit.

Choix de la meilleure solution :

1. *La méthode de PUGH*

C'est une méthode de convergence développée par STUATRT PUGH permet de diminuer le nombre de concepts c'est la méthode à utiliser en conception.

Application de la méthode de PUGH

On prend comme référence l'état actuel de l'organe de renvoi et on le compare avec les deux solutions pour choisir la meilleure solution



Critères clés	Solution 1	Solution 2	Importance	Etat actuelle
Sécurité	+	+	10	REFERENCE
Temps d'intervention	+	+	8	
Cout total	-	-	6	
Resistance de l'arbre	+	-	6	
Resistance de clavette	=	-	4	
Durée de vie des roulements	+	+	6	
vibrations	+	-	6	
Mantenabilite	+	+	8	
Somme des positifs	6	4		
Somme des négatifs	1	4		
Somme des identiques	1	0		
Somme pondérée des positifs	46	32		
Somme pondérée des négatifs	6	22		
Somme pondérée des identiques	4	0		
Somme pondérée total	40	10		
Observation	Meilleure			

Tableau 9: méthode de PUGH

A partir de cette matrice et d'après les calculs effectués dans le chapitre précédent on propose d'utiliser la première solution.

Validation de la solution en se basant sur la durée et la fréquence des interventions

Le but de notre projet est l'amélioration de la fiabilité de l'alimentateur à tablier métallique en réduisant le temps d'intervention. Ce dernier est égal au temps de réparation ou échange plus le temps nécessaire pour la remise en marche. Pour estimer la durée totale en cas d'intervention on va se baser sur la durée de montage et démontage des paliers à roulements (voir l'annexe 3) et sur l'expérience de l'opérateur responsable de la ligne1. Ce dernier a estimé une durée de 60min au maximum. Nous avons déjà montré que le temps total de l'intervention dans la situation actuelle est 7h et la fréquence étant deux fois par an. Donc le gain en terme de temps est 12 (h/an), en plus on a une durée de vie(75534) très supérieure que celui de l'état actuel (4643heurs).



The screenshot shows the SNR software interface for a bearing model 23030EB33MJ30. The main window displays technical specifications for a two-row roller bearing with a groove and oil holes on the outer ring. A dialog box titled 'Calcul de la durée de vie L10' is open, showing input values for speed (2.5 tr/min) and dynamic radial load (70000 daN), resulting in a calculated L10 life of 4643 hours. The interface includes a menu bar at the bottom with options like 'Menu', 'Quitter', 'Configuration', 'Retour', 'Plan CAO', and 'Imprimer'.

Roulement à rotule à deux rangées de rouleaux avec rainure et trous de graissage sur bague extérieure	
23030EB33MJ30	Poids : 7750 gr
Diam. alésage (d) : 150 mm (+0, -25)	Température mini conseillée: -40 ° C
Diam. extérieur (D) : 225 mm (+0, -30)	Température de pointe : 200 ° C
Largeur BI (B) : 56 mm (+0, -250)	Température d'utilisation : /
Largeur BE (C) : 56 mm (+0, -250)	Vitesse limite huile : 2300 tr/min
Largeur totale (T) : 56 mm	Vitesse limite graisse : 1800 tr/min
Diamètre primitif : 190.8 mm	Vitesse d'utilisation : 2.5 tr/min
Nb. Corps Roulants : 26	Étanchéité : Aucune
Diamètre Corps Roulants : 20.3 mm	

Capacité dynamique ISO (C) : 62800 daN	
Effort radial : 70000 daN	Capacité Statique ISO (Co) : 89300 daN
Effort axial : /	Effort radial statique (Fro) : /
Durée de vie L10 (ISO) : 4643 Heure(s)	Effort axial statique (Fao) : /
Coefficient a2: 1.0	Facteur de sécurité statique (Fs) : /

Fréquences caractéristiques (Hz) à 60 tr/min pour bague intérieure tournante:	
Fréquence Cage: 0.447	Fréquence Corps Roulants: 9.295
Fréquence Bague Ext: 11.63	Fréquence Bague Int: 14.369

Calcul de la durée de vie L10	
Vitesse (tr/min)	2.5
Effort radial dynamique : [daN]	70000
Effort axial dynamique : [daN]	
La durée de vie du roulement est : 4643 Heure(s)	
Valider Annuler	

Figure 37: durée de vie des roulements de l'état actuelle

Calcul du coût de l'indisponibilité

Hypothèses et données

- ✓ On va travailler sur le budget de 2010
- ✓ Le pourcentage de calcaire dans CPJ 45PM, CPA65 est nulle.
- ✓ La ligne 1 et la ligne 2 produisent la même quantité de ciment
- ✓ On va travailler sur les valeurs minimales
- ✓ Le temps de la production moyen est 16H par jour.

Calcul de gain pour le CPJ35

Dans le budget de 2010 on trouve les données suivantes

- Calcaire net dans CPJ35= **198291tonnes/an**
- Le pourcentage de calcaire dans le clinker est entre 75%et 80% ;
- le tonnage de clinker étant : 417120tonnes /an .Donc le calcaire dans le clinker $0.75 \times 417120 = 312840$ tonnes /an .Donc le ciment CPJ35 contient **511131tonnes** de calcaire ;

Le prix moyen de ciment CPJ 35 est 1DH.

Coût de calcaire dans CPJ35=511 131 000 MDH/an



Calcul de coût approximative de calcaire ciment CPJ45

- Calcaire net dans CPJ45= 306820 tonnes/an
- le tonnage de clinker étant : 781350.75 tonnes /an. Donc le calcaire dans le clinker $0.75 \times 1041801 = 781350.75$ tonnes /an. Donc le ciment CPJ45 contient 1088170.75 tonnes de calcaire

Finally le calcaire nous donne chaque année 1088170.75 tonnes de ciment CPJ45

Le prix moyen de ciment CPJ 45 est 1.2DH. Donc le cout total de ciment CPJ45 est **1305804900DH/an.**

Coût de calcaire dans CPJ45=1305804900DH/an

Calcul de coût de calcaire dans CPJ55

- Calcaire net dans CPJ55= 51239 tonnes/an
- Le tonnage de clinker étant : 328497 tonnes /an. donc le calcaire dans le clinker $0.75 \times 328497 = 246372.75$ tonnes /an. Donc le ciment CPJ55 contient 297611.75 tonnes de calcaire

Finally le calcaire nous donne chaque année 297611.75 tonnes de ciment CPJ55 le prix minimal de ciment CPJ55 est 1.5DH .Donc le coût total de ciment CPJ55 est **446417625DH/an.**

Coût de calcaire dans CPJ55=446417625DH/an

Coût total de CPJ35 CPJ45 CPJ55

Cout total est la somme des coûts de chaque ciment =2263353525DH/an

Si on considère que la production est régulière toute l'année est que chaque jour le temps effectif de production est 16heurs alors

Le coût de production de chaque heure est : $\frac{2263353525}{365 \times 16} = 387560.53$ DH/H

Finally on a gain total de notre projet en terme de coût est $12 \times 387560.53 = 2 \times 2325363.2$ DH

Et puisque on a deux lignes de production.

Conclusion générale Le gain annuel sur le TI sera 2 325 363.2DH

Pendant ce stage à l'usine de LAFARGE CEMENTS de Bouskoura, nous avons pu suivre les étapes de déroulement d'un projet. Ainsi, nous avons vécu sur le terrain les problèmes que les ingénieurs rencontrent chaque jour. Aussi, nous avons réalisé et vécu les efforts mutuels que doivent déployer les différentes unités pour pouvoir atteindre les objectifs fixés.

Ce projet a été tout d'abord une occasion de montrer nos capacités à nous intégrer efficacement dans le travail d'équipe, et c'était un avantage de profiter de la formation dans un environnement bien organisé.



Le but qu'on avait au cours de ce projet est la réduction du temps d'intervention pour le remplacement des roulements de tourteau de renvoi de l'alimentateur à tablier métallique calcaire ligne 1.

Tout d'abord, on a commencé par la description de l'atelier de l'ATM et on a fait une étude de ces conditions de fonctionnement actuelles. L'étude a été débutée par une étude AMDEC afin d'identifier les modes de défaillances existants, analyser leurs causes et effets et hiérarchiser leurs criticités afin d'en tirer les principaux problèmes altérant la marche de l'ATM.

Dans un deuxième lieu, nous avons proposé des solutions et leurs dimensionnements en se basant sur les normes de constructions et sur des calculs analytiques et numériques. Pour chaque solution le dessin des composants a été réalisé par le logiciel CATIA.

Finalement nous avons vérifiés la validité des solutions en matière de résistance à la fatigue, résistance au cisaillement et estimation de la durée de vie des roulements tout en comparant les résultats obtenus avec l'état actuel. Nous avons prouvé que la première solution était judicieuse en s'appuyant tout d'abord sur la méthode de PUGH, et que cette solution réduit le temps d'intervention de sept à une seule heure tout en améliorant la fiabilité du montage.

Bibliographie

❖ Livres & articles

- Guide du dessinateur industriel, André Chevalier, Edition 2004 ;
- Calcul : construction industrielle, collection H.LONGEOT L.JOUDAN ;
- Eléments de machines.

❖ Documents de LAFARGE ciment:

- Les plans et les schémas des équipements ;



- Catalogue général SNR ;
- Cadarsa « Cadenas y Ruedas Para la Industria Chains and Sprockets for Industry ».

❖ Les sites web

- www.skf.com
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ciment>

ANNEXE :



NNEXE1 : la méthode AMDEC

1. La fréquence d'apparition de l'incident notée f

On peut estimer la fréquence pour qu'un certain genre d'incidents arrive. C'est le premier critère auquel on pense, le plus intuitif en matière de sécurité, de maintenance et de disponibilité :

Le tableau suivant représente la grille de cotation adoptée pour évaluer la fréquence d'apparition des modes des défaillances de chaque équipement:

Cotation de f	Fréquence d'apparition de la défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante A titre indicatif, un défaut par an au maximum



2	Faible taux d'apparition $3 \text{ mois} \leq f \leq 6 \text{ mois}$
3	Taux d'apparition moyen $1 \text{ semaine} \leq f \leq 3 \text{ mois}$
4	Taux d'apparition régulier Plusieurs défaillances par semaine

Tableau 10: Degrés de l'indice de fréquence

2. Cotation de la gravité notée G :

Pour évaluer la gravité de chaque équipement, nous avons choisi le temps d'intervention comme critère de référence pour la notation.

TI (temps d'intervention) = Diagnostic + réparation ou Échange + Remise en condition initiale)

Cotation de la gravité G	Gravité de la défaillance
1	Défaillance mineure aucune dégradation notable du système $TI < 10 \text{ mn}$
2	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état de courte durée. 10 $\text{min} < TI < 30 \text{ mn}$
3	Défaillance majeure nécessitant une intervention de longue durée 30 mn $< TI < 45 \text{ mn}$
4	Défaillance catastrophique très critique nécessitant une longue intervention dommage matériel très important $TI > 45 \text{ mn}$

Tableau 11: cotation de la gravité

3. cotation de la détection

C'est un facteur auquel on pense de façon beaucoup moins immédiate. Elle est calibrée en fonction des moyens de mesure de l'apparition des causes de dysfonctionnement mis en œuvre.

Le tableau 12 représente la grille adoptée pour évaluer la détection des modes de défaillances de chaque équipement.

Valeurs de D	Détection de la défaillance
1	Visuelle à coup sur



2	Visuelle après action de l'opérateur
3	Difficilement détectable (éventuellement auditive)
4	Détection impossible

Tableau 12: Degrés de l'indice de détectabilité

En ce qui concerne le calcul de la valeur de la criticité, nous avons utilisé la formule suivante:

$$C = G \times D \times F$$

Cette valeur ne doit pas dépasser les 25% de la valeur maximale qui de 64 soit 16 ce pourcentage est fixe par défaut ; au delà de cette valeur les actions correctives doivent être entreprise avant la détermination du type de maintenance préventive.

ANNEXE 2 : Dimension des paliers à roulements

Arbre		Portée de roulement		Largeur avec joints		Anneaux de levage conformes à la norme DIN 580	Roulements et éléments associés	
da	db	Ca	Da	A2	A3		Rlt. à rotule sur rouleaux	Bagues d'arrêt
mm		mm		mm		-	-	
170	180	108	280	240	300	M 16	23134 CC/W33	2 FRB 10/280
180	200	108	280	240	310	M 16	23036 CC/W33 24036 CC/W33 C 3036	2 FRB 17/280 2 FRB 4/280 2 FRB 17/280
		116	300	250	315	M 16	23136 CC/W33 C 3136	2 FRB 10/300 2 FRB 10/300
190	200	115	290	250	315	M 16	23038 CC/W33 24038 CC/W33 C 3038	4 FRB 10/290 2 FRB 7,5/290 4 FRB 10/290
		124	320	270	335	M 20	23138 CC/W33	2 FRB 10/320
200	220	122	310	270	335	M20	23040 CC/W33 24040 CC/W33 C 3040	4 FRB 10/310 2 FRB 6,5/310 4 FRB 10/310
		132	340	290	355	M 20	23140 CC/W33 C 3140	2 FRB 10/340 2 FRB 10/340
220	240	130	340	290	360	M 20	23044 CC/W33 24044 CC/W33 C 3044	4 FRB 10/340 2 FRB 6/340 4 FRB 10/340
		140	370	300	365	M 20	23144 CC/W33 C 3144	2 FRB 10/370 2 FRB 10/370
240	260	140	360	300	380	M 20	23048 CC/W33 24048 CC/W33 C 3048	4 FRB 12/360 2 FRB 11/360 4 FRB 12/360
		148	400	315	400	M 24	23148 CC/W33 C 3148	2 FRB 10/400 2 FRB 10/400

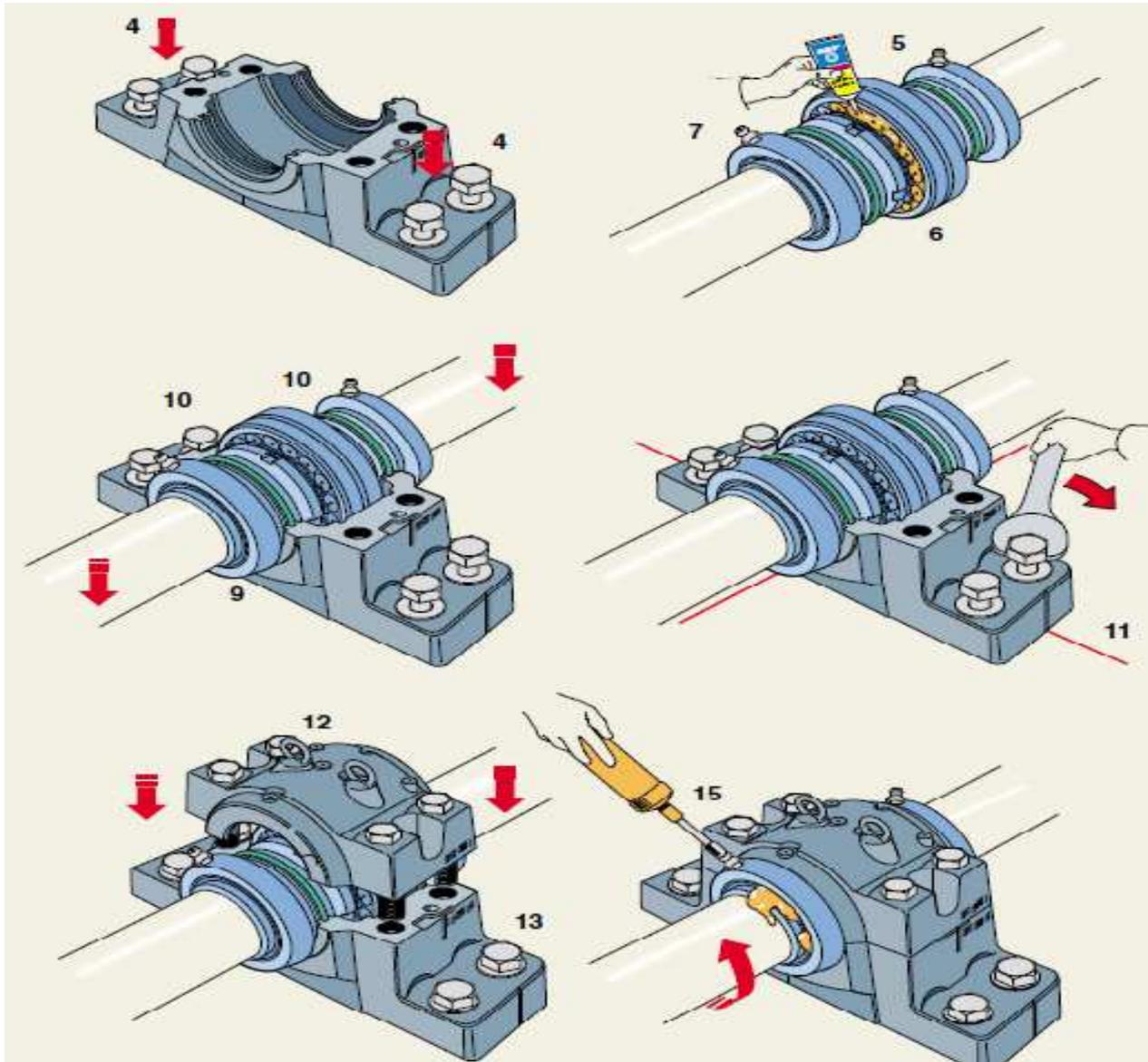


Arbre d_a	Palier Dimensions													Masse	Désignations Corps de palier avec deux joints	Corps de palier seul	Joint	Disque d'obturation
	A	A ₁	H	H ₁	H ₂	J	J ₁	L	N	N ₁	s	G						
mm	mm												kg	-				
170	230	180	333	170	70	430	100	510	34	28	14	24	69,5	SNL 3134 GTS SNL 3134 GTNF	SNL 3134 G SNL 3134 G	TS 40 TNF 40	ETS 40 ETS 40	
	230	180	333	170	70	430	100	510	34	28	14	24	69,5	SNL 3036 GTS SNL 3036 GTNF	SNL 3036 G SNL 3036 G	TS 44 TNF 44	ETS 44 ETS 44	
180	240	190	353	180	75	450	110	530	34	28	15	24	77,5	SNL 3136 GTS SNL 3136 GTNF	SNL 3136 G SNL 3136 G	TS 44 TNF 44	ETS 44 ETS 44	
	240	190	353	180	75	450	110	530	34	28	15	24	77,5	SNL 3038 GTS SNL 3038 GTNF	SNL 3038 G SNL 3038 G	TS 44 TNF 44	ETS 44 ETS 44	
190	260	210	375	190	80	480	120	560	34	28	10	24	97,5	SNL 3138 GTS SNL 3138 GTNF	SNL 3138 G SNL 3138 G	TS 44 TNF 44	ETS 44 ETS 44	
	260	210	375	190	80	480	120	560	34	28	10	24	97,5	SNL 3040 GTS SNL 3040 GTNF	SNL 3040 G SNL 3040 G	TS 48 TNF 48	ETS 48 ETS 48	
200	280	230	411	210	85	510	130	610	42	35	10	30	123	SNL 3140 GTS SNL 3140 GTNF	SNL 3140 G SNL 3140 G	TS 48 TNF 48	ETS 48 ETS 48	
	280	230	411	210	85	510	130	610	42	35	10	30	123	SNL 3044 GTS SNL 3044 GTNF	SNL 3044 G SNL 3044 G	TS 52 TNF 52	ETS 52 ETS 52	
220	290	240	434	220	90	540	140	640	42	35	12	30	138	SNL 3144 GTS SNL 3144 GTNF	SNL 3144 G SNL 3144 G	TS 52 TNF 52	ETS 52 ETS 52	
	290	240	434	220	90	540	140	640	42	35	12	30	139	SNL 3048 GTS SNL 3048 GTNF	SNL 3048 G SNL 3048 G	TS 56 TNF 56	ETS 56 ETS 56	



ANNEXE3 : Montage des palies

1. S'assurer que l'environnement est propre. Vérifier les dimensions et la forme de la portée d'arbre..
 3. Si le roulement est monté sur un manchon de serrage, déterminer la position du palier. Le graisseur situé d'un côté du chapeau du palier (pour améliorer la lubrification) doit toujours se trouver du côté opposé à l'écrou de manchon. Il est nécessaire de traiter le palier globalement, car seuls la base et le chapeau fournis ensemble s'adaptent l'un à l'autre.
 4. Mettre en place la moitié inférieure du palier sur le support. Insérer les vis ou les boulons de fixation dans la semelle, mais sans les serrer.
 5. Faire glisser sur l'arbre les éléments du premier dispositif d'étanchéité jusqu'à la bonne position. La lèvre du V-ring doit être dirigée vers le roulement. Ne pas serrer les vis de montage.
 6. Monter le roulement sur l'arbre, soit directement sur un arbre épaulé, soit en utilisant un manchon de serrage. Le garnir complètement de graisse. La base du palier doit être remplie de graisse jusqu'aux repères situés dans chaque angle
 7. Disposer sur l'arbre la seconde étanchéité comme présenté au point 5. Si le palier est prévu pour un montage borgne, omettre la seconde étanchéité et insérer en lieu et place un disque d'obturation dans la moitié inférieure du palier.
 8. Vérifier que le joint torique se trouve dans la bonne position sur le diamètre extérieur du dispositif d'étanchéité.
 9. Placer l'arbre complet, avec l'ensemble roulement et les rondelles d'étanchéité, dans la moitié inférieure du palier
 10. Mettre en place les bagues d'arrêt, si nécessaire, de part et d'autre du roulement.
- N.B :** Les bagues d'arrêt sont utilisées uniquement pour le palier fixe. Le roulement CARB sera toujours monté avec des bagues d'arrêt.
11. Aligner soigneusement la semelle de palier. Cette opération est facilitée par les repères verticaux placés sur les faces transversales et latérales de la semelle pour indiquer l'axe de la portée du roulement. Puis serrer légèrement les vis ou les boulons de fixation.
 12. Placer le chapeau sur la base en veillant à ne pas endommager les Oring et serrer les vis du chapeau (pour assembler le chapeau et la semelle) .Le chapeau et la semelle d'un palier ne sont pas interchangeables avec ceux d'un autre palier. Le chapeau et la semelle doivent porter le même numéro d'identification.
 13. Serrer à fond les vis ou les boulons de fixation dans la semelle du palier. 14. Ajuster les déflecteurs à la bonne position axiale et serrer les vis de blocage. Le jeu à l'intérieur du dispositif d'étanchéité doit être supérieur au déplacement axial du roulement.
 15. Enfin, avant la première mise en route, graisser les étanchéités grâce aux graisseurs tout en faisant tourner l'arbre jusqu'à ce que la graisse sorte des chicanes. Pour lubrifier ces dispositifs d'étanchéité, utiliser la même graisse que pour lubrifier le roulement.



ANNEXE4 : Composition du ciment