

Université de Gafsa
Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de GAFSA
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études

Présenter à l'institut supérieur des sciences appliquées et de technologies de Gafsa

**En vue de l'obtention de licence appliquée en génie mécanique
spécialité maintenance automobile**

**Application de la méthode AMDEC sur le sécheur granulateur de
TSP et le culbuteur à wagons**

Présenté et soutenu par :

Dhaoui Marwen

Sous la Direction de

Encadrant académique : Mr. MESSAOUI SAKER

Encadrant industrielle : Mr. OTHMENI KHALED

Soutenu le 07/07/2023

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Abid BOUBAKRI

Rapporteur : Mr. Soufien SAHBI

Encadrant : Mr. Saker MESSAOUI

2022/2023

Remerciement

*Je tiens à remercier Mr **Messaoui Saker***

*Qui a guidé avec efficacité et cordialité le développement de ce
projet. Son soutien, moral que scientifique, elle m'a beaucoup aidé
et je suis heureux de pouvoir lui exprimer ma profonde
gratitude.*

*Je tiens à exprimer ma sincère respect à **Mr Othmeni Khaled**
pour leur aide précieux leur disponibilité leur encouragement et
pour l'ambiance qu'il a créé pour réussir ce projet. Je tiens à
exprimer ma parfaite considération et reconnaissance à la
direction de **Groupe Chimique Tunisien de M'dhilla** pour leur
soutien et leur compréhension envers moi., Je tiens à les
remercier du profond cœur.*

Je remercie également les membres de jury.

*Ma plus profonde gratitude s'adresse à ma famille : mes parents,
mon frère et ma sœur pour leurs disponibilités et leurs
encouragements*

Résumé

Dans l'industrie de phosphate, les équipements utilisés dans le traitement et la production de phosphate peuvent présenter des défaillances qui ont des effets sur la production et la qualité du produit final. Le but de ce projet est d'appliquer la méthode AMDEC (analyse des modes de défaillances et leurs effets et leurs criticités) sur le sécheur granulateur et le basculeur des wagons pour identifier les défaillances potentielles et proposer des mesures préventives.

❖ Objectifs :

- Analyser les deux équipements et évaluer leurs états fonctionnels.
- Identifier les défaillances potentielles et leurs impacts sur les deux équipements.
- Proposer un plan de maintenance préventive.

❖ Méthodes :

Nous avons réalisé une approche qualitative sur les deux équipements précédents à l'aide des données d'entretiens et des fichiers historiques des deux machines. Nous avons ensuite évalué la criticité en utilisant la méthode AMDEC dans le but d'améliorer le fonctionnement des deux équipements et augmenter leurs fiabilités et leurs disponibilités.

❖ Résultats :

Les résultats de l'étude ont montré que la méthode AMDEC est très efficace pour l'identification des défaillances présentes dans les équipements. Nous avons identifié plusieurs défaillances potentielles pour le sécheur granulateur et le basculeur des wagons, y compris des défaillances mécaniques, électriques et hydrauliques. Nous avons également évalué l'effets de ces défaillances sur la production et la qualité du produit final et proposé des actions correctives pour minimiser ces pannes.

❖ Implications :

Les résultats de ce projet ont des implications importantes pour l'industrie de phosphate et d'autres industries qui utilisent des équipements similaires. Les recommandations proposées pourront aider les entreprises à améliorer l'utilisation de la méthode AMDEC et à prévenir et éviter les pannes imprévues.

3.1 Le diagramme SADT	23
3.2 Le diagramme des interacteurs (diagramme de pieuvre).....	24
3.3 La graphe des prestations	25
4. Décomposition fonctionnelle.....	26
4.1. Etude technologique sur le sécheur granulateur	26
4.1.1 Description de mécanisme.....	26
4.1.2 Le principe de fonctionnement.....	26
4.1.3 Fiche technique de sécheur granulateur.....	27
4.2 Décomposition sécheur granulateur	29
4.3 Conception des pièces mécaniques sur SolidWorks.....	29
4.3.1 Conception de groupe de commande	29
4.3.2 Conception de la virole.....	33
4.3.3 Conception de système de martelage.....	35
4.3.4 Conception de système de supportage.....	35
5. Analyse AMDEC	37
6. hiérarchisation des défaillances.....	41
7. choix de la politique de maintenance	42
8. Analyse des résultats	43
9. Réalisation de plan de maintenance.....	44
10. Conclusion.....	45
Chapitre 3 : Application de méthode AMDEC sur culbuteur à wagons.....	46
2. Démarche AMDEC	47
3. Analyse fonctionnelle	48
3.1 Diagramme SADT.....	48
3.2 Diagramme des interacteurs	49
3.3 Graphe des prestations.....	50
4. Décomposition fonctionnelle.....	51
4.1 Etude technologique sur le culbuteur à wagons	51
4.1.1 Description du mécanisme	51
4.1.2 Principe de fonctionnement.....	51
4.2 Décomposition de système	53
4.3 Conception des pièces mécaniques sur SolidWorks.....	53
4.3.1 Conception de groupe de commande	53
4.3.2 Conception de système de supportage.....	54
5. Analyse AMDEC	56

6. hiérarchisation des défaillances.....	59
7. Choix des stratégies de maintenance	60
8. Analyse des résultats	61
9. Réalisation de plan de maintenance.....	62
10. conclusion	63
Conclusion générale	64
Liste des références	65

Liste des figures

Figure 1: Le groupe chimique tunisien.....	10
Figure 2: Organigramme d'usine M'dhilla.....	10
Figure 3 : Organigramme de politique de maintenance	12
Figure 4 : Organigramme de décomposition fonctionnelle d'un système.....	15
Figure 5 : Sécheur granulateur de triple super phosphate	19
Figure 6 : Culbuteur à wagons.....	20
Figure 7 : Diagramme SADT de sécheur granulateur	23
Figure 8 : Diagramme pieuvre de sécheur granulateur.....	24
Figure 9: Graphe de prestation sécheur granulateur.....	25
Figure 10 : Le sécheur granulateur de TSP	26
Figure 11 : Dessin d'ensemble du sécheur granulateur	27
Figure 12 : Dessin de définition de sécheur granulateur	28
Figure 13 : Conception de réducteur de vitesse sur SolidWorks.....	29
Figure 14: Dessin d'ensemble de réducteur de vitesse	30
Figure 15 : Assemblage du moteur électrique et de réducteur de vitesse sur SolidWorks.....	31
Figure 16 : Conception d'accouplement élastique sur SolidWorks	31
Figure 17 : Conception de coupleur hydraulique sur SolidWorks	32
Figure 18 : Conception de pignon d'attaque sur SolidWorks	32
Figure 19 : Conception de virole sur SolidWorks	33
Figure 20 : Conception de bondage lisse sur SolidWorks.....	34
Figure 21 : Conception de couronne dentée sur SolidWorks	34
Figure 22 : Conception de système de martelage sur SolidWorks	35
Figure 23 : Conception des galets de supportage sur SolidWorks	35
Figure 24: conception des galets de guidage sur SolidWorks	36
Figure 25 : Préparation préventif-correctif.....	42
Figure 26 : Diagramme SADT de culbuteur à wagons	48
Figure 27 : Diagramme de pieuvre de culbuteur à wagons	49
Figure 28 : Diagramme de prestation de culbuteur à wagons	50
Figure 29 : dessin de définition de basculeur des wagons.....	52
Figure 30 : Conception de moteur électrique sur SolidWorks	53
Figure 31 : Conception de réducteur vitesse sur SolidWorks	53
Figure 32 : Conception de pignon d'attaque sur SolidWorks	54
Figure 33 : Conception de couronne dentée sur SolidWorks	54
Figure 34 : Conception des rails sur SolidWorks.....	54
Figure 35 : Conception des couronnes lisses sur SolidWorks.....	55
Figure 36 : Conception de virole rotative sur SolidWorks.....	55
Figure 37 : Conception des galets de supportage sur SolidWorks	55
Figure 38 : Préparation préventif-correctif.....	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les niveaux de maintenance.....	13
Tableau 2 : Les niveaux de Gravité.....	16
Tableau 3 : Les niveaux de non-détection.....	17
Tableau 4 : Les niveaux de fréquence des défaillances.....	17
Tableau 5 : Les niveaux de criticité.....	18
Tableau 6 : les composants de sécheur granulateur.....	27
Tableau 7 : Les données techniques de sécheur granulateur.....	27
Tableau 8: les composants de réducteur de vitesse	30
Tableau 9: Les composants d'accouplement élastique	31
Tableau 10: Les composants de coupleur hydraulique.....	32
Tableau 11 : les composants de galet de guidage.....	36
Tableau 12 : AMDEC du Virole	37
Tableau 13 : AMDEC de système de martelage.....	38
Tableau 14 : AMDEC du groupe de commande	39
Tableau 15 : AMDEC du système de supportage.....	40
Tableau 16 : Hiérarchisation des défaillances	41
Tableau 17 : Liste des actions d'atténuation	42
Tableau 18 : Plan de maintenance préventive de sécheur granulateur	44
Tableau 19 : AMDEC partie commande.....	57
Tableau 20 : Hiérarchisation des défaillances	59
Tableau 21 : Liste des actions d'atténuation	60
Tableau 22 : Plan de maintenance préventive de culbuteur à wagons	62

Introduction générale

Dans le domaine industriel, nous avons de plus tendance à utiliser des méthodes d'analyse afin de réaliser des études visant l'amélioration des activités de maintenance.

En effet, les entreprises ont cherché un moyen valide pour augmenter la disponibilité et la fiabilité des équipements pour cela elles ont trouvé que la méthode AMDEC est la plus efficace pour résoudre tous les problèmes de maintenance et pour planifier les interventions nécessaires.

Dans ce contexte s'intègre mon projet de fin d'études réalisé au Groupe Chimique Tunisien, Usine M'dhilla 1 intitulé Application de méthode AMDEC sur le sécheur granulateur de TSP (triple super phosphate) et sur le Culbuteur à wagons.

Ce rapport est développé en trois chapitres le premier est une étude bibliographie comprend une description de Groupe Chimique Tunisien et les procédés de fabrication de TSP, une généralité sur la maintenance et la méthode AMDEC finalement une généralité sur le sécheur granulateur de TSP et le culbuteur à wagons.

Vient ensuite le deuxième chapitre Application de méthode AMDEC sur le sécheur granulateur qui est une analyse détaillée sur les défaillances de systèmes est identification des causes principales en recherchons des actions correctives qui va augmenter la disponibilité de sécheur granulateur.

Enfin le troisième chapitre considéré pour l'application de méthode AMDEC sur culbuteur à wagons dans le but d'améliorer les performances de système et définir un plan de maintenance qui démunie les défaillances probables de basculeur.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

1. Introduction

Ce chapitre est développé en quatre parties, dans la première partie on s'intéresse à la présentation du groupe chimique tunisien et des procédés de fabrication de TSP (Triple Super Phosphate), la deuxième partie recourt à une définition de la maintenance, ses types, ses niveaux et ses objectifs, en passant dans la troisième partie par une généralité sur la méthode AMDEC et nous terminons ce chapitre par une généralités sur le sécheur granulateur et le culbuteur à wagons.

2. Présentation du groupe chimique tunisien et des procédés de production de triple super phosphate

2.1 Présentation de groupe chimique

Le GCT (Groupe Chimique Tunisien) est une entreprise publique tunisienne, fondé en 1972 dont l'objet est de transformer le phosphate extrait en Tunisie en produit chimiques telle que l'acide phosphorique et les engrais.



Figure 1: Le groupe chimique tunisien

L'usine M'dhilla Gafsa est spécialisée en production de TSP (triple super phosphate) fondé en 1985, leur organigramme est présenté comme suit :

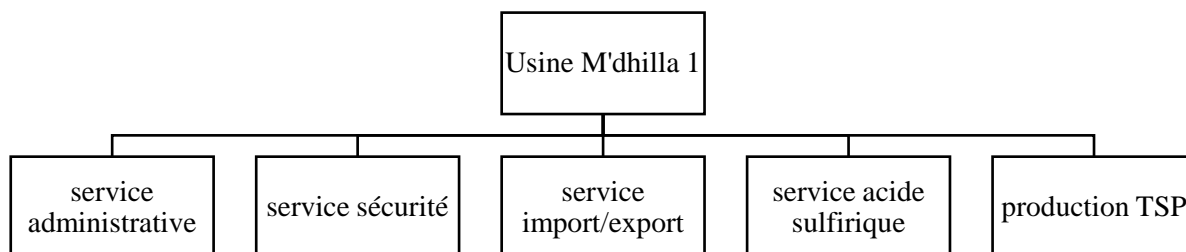


Figure 2: Organigramme d'usine M'dhilla

2.2 Les procédées de production de TSP (Le triple super phosphate)

Le TSP (triple super phosphate) est un engrais minéral phosphaté, Il est intervenu dans divers processus métabiologiques des plantes. Il est obtenu par attaque chimique d'une roche phosphaté par l'acide phosphorique pour obtenir de TSP sous forme soluble à l'eau, assimilables par les plantes.

2.2.1. Les étapes préparatoires

- Transport de phosphate brut : Le phosphate brut est transporté sur chemins de fer puis déchargé par un culbuteur à wagons, enfin le phosphate va transporter depuis la trémie de réception jusqu'à au broyeur par un série de deux bandes transporteuses.
- Broyage de phosphate : Le broyage consiste à préparer le phosphate à l'attaque en réduisant sa granulation afin d'augmenter la surface de contact avec l'acide sulfurique
- Stockage de l'acide phosphorique : Pour ce processus l'acide phosphorique est apporté de groupe chimique tunisien de Gabés à travers des pipelines qui sera versé dans des réservoirs de capacités 1000 m³.

2.2.2 La solubilisation

Préparation de la bouillie, mélange préalable à la réaction dans le réacteur de la solution d'acide phosphorique et du phosphate dans un milieu réactionnel à la température de réaction, notamment comprise entre 90°C et 110°C.

2.2.3 La granulation de la bouillie

Ce processus est réalisé dans le tambour granulateur rotatif qui reçoit d'une part la bouillie en provenance du réacteur et d'autre part les produits recyclés, qui vont granuler par la suite en des petits grains.

2.2.4 Le séchage

Le processus de séchage est crucial dans la création de TSP. Le séchage se fait simultanément avec l'air chaud et sec produit par la combustion du gaz naturel avec un taux d'humidité de 2% et température de 100°C.

2.2.5 La séparation granulométrique (criblage)

Après le séchage, le produit final passe dans un crible vibrant pour sélectionner la taille des grains, telle que la granulométrie de TSP varie entre 2mm et 5mm.

3. Généralités sur la maintenance

3.1 Définition de la maintenance

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifique où en mesure d'assurer un service déterminé. Entretenir, maintenir c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation), qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production ainsi que la sécurité de l'opération.

3.2 Les types de maintenance

Il existe deux types de maintenance : la maintenance préventive la maintenance corrective :

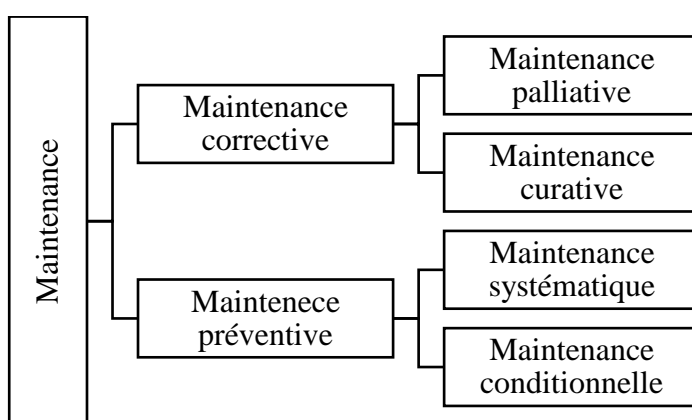


Figure 3 : Organigramme de politique de maintenance

3.3 La maintenance préventive

Ce type de maintenance est une Maintenance effectuer à des intervalles réguliers ou selon des critères prédéterminés et destinée à réduire la probabilité des défaillances ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

➤ Types de maintenance préventive

Il y a deux types de maintenance préventive, qui sont les suivants :

- ❖ Maintenance préventive systématique : elle consiste à effectuer des remplacements systématiques des composants, à intervalle régulières, même si les pièces déposées sont encore en état fonctionnelle, c'est un moyen qui assure une grande fiabilité des équipements.
- ❖ Maintenance préventive conditionnelle : est une maintenance dépende de l'expérience et les informations recueillies en temps réel (les mesures, les signaux, les commentaires), elle caractérise par la mise en évidence des points faibles.

3.4 La maintenance corrective

La maintenance corrective est une maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

L'intervention sur un bien défaillant peut être une des deux suivantes :

- ❖ Le dépannage (palliative) : c'est réparé la panne de façon provisoire.
- ❖ La réparation (curative) : c'est réparé la panne de façon définitive.

3.5 Les niveaux de maintenance

Les interventions de la maintenance ne sont pas toutes identiques. Selon la norme AFNOR elles sont classées en cinq niveaux en fonction de la complexité des actions réalisées, les procédures de l'intervention, l'intervenant ainsi l'outillage de maintenance.

Tableau 1 : Les niveaux de maintenance

Niveau de maintenance	Actions	Intervenant	Moyens
1	Travaux simples	Exploitation sue place	Outillage léger
2	Travaux courant (échange standard)	Personnel habituelle	Outillage standard
3	Diagnostic, réparation	Technicien qualifiée	Outillage prédéfinie
4	Travaux importants préventive et corrective	Technicien ou équipement spécialisé	Outillage général et spécialisé
5	Travaux de rénovation et de reconstruction	Constructeur ou société spécialisé	Moyens importants du constructeur

3.6 Le plan de maintenance

Le plan de maintenance est un Document sur lequel on trouve la liste des opérations de maintenance préventive ou corrective ainsi que les informations nécessaires pour le choix des interventions (simple intervention, contrôle périodique, changement systématique, contrôle technique, visite) pour maintenir l'équipement et le garder en bon état de fonctionnement.

3.7 Les objectifs de plan de maintenance

L'objectif d'un plan de maintenance est de garantir le bon fonctionnement et la disponibilité des équipements. Il vise à minimiser les pannes, les temps d'arrêt non planifiés et les coûts de réparation, tout en optimisant l'efficacité et la durée de vie des machines.

4. Généralité sur la méthode AMDEC

4.1 Définition et historique de méthode AMDEC

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est un outil de sûreté de fonctionnement (S.D.F) et de gestion de la qualité. L'AMDEC est élaborée par l'armée américaine dans les années 1940, est restée appliquée jusqu'à aujourd'hui dans tous les domaines industriels.

Cette méthode vise à analyser, identifier et réduire le risque de défaillance d'un système. Aussi il consiste à faire un plan de maintenance préventive pour garder l'équipement en bon état de fonctionnement.

4.2 Les types d'AMDEC

Il existe plusieurs méthodes d'AMDEC différentes selon l'étape de conception : (AMDEC produit, AMDEC procédé et AMDEC machine) tous ces types d'AMDEC ont la même structure.

- **AMDEC produit** : Pour ce type de produit, l'AMDEC consiste à analyser la conception du produit pour améliorer sa qualité et sa fiabilité prévisible
- **AMDEC Processus** : Ce type d'AMDEC consiste à analyser les modes de défaillance liés au processus de fabrication.
- **AMDEC Machine** : Ou « AMDEC moyen » Elle concerne l'analyse des défaillances des machines.

Il existe d'autres types de méthode AMDEC telle que :

- AMDEC organisation
- AMDEC services
- AMDEC sécurité

4.3 Les méthodes d'AMDEC

Les méthodes AMDEC comprennent :

- Tableau causes-effets
- Diagramme Ishikawa (5M)
- Les cinq pourquoi
- La méthode QQQQCCP (qui, quoi, où, quand, comment, combien, pourquoi)

4.4 Démarche de méthode AMDEC

A partir de l'analyse fonctionnelle, la démarche consiste à effectuer les étapes suivantes :

- Analyse des mécanismes et identifier les défaillances (décomposition fonctionnelle, identifier des effets, des modes et des causes)
- Evaluation de la criticité (calculer la probabilité, la gravité, la non-détection des défaillances)
- Recommandations d'actions correctives (actions correctives ou actions préventives).

4.4.1 la décomposition fonctionnelle

Le système se décompose en des blocs fonctionnels sous la forme arborescente de la manière suivante :

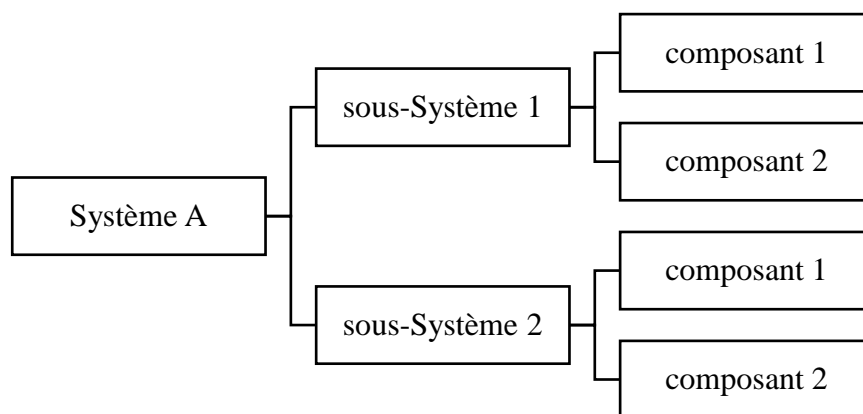


Figure 4 : Organigramme de décomposition fonctionnelle d'un système

4.4.2 l'analyse qualitative

Cette méthode de recherche consiste à identifier :

➤ Les modes de défaillance

Le mode de défaillance est la manière dont un équipement présente un dysfonctionnement ; certains exemples incluent des pannes qui ne démarrent pas, ne s'arrêtent pas, dégradent le fonctionnement, vibrent, font du bruit ou consomment de l'énergie de manière anormale.

➤ Les causes de défaillance

Une cause de défaillance est évidemment ce qui conduit à une défaillance. Les causes de chaque mode de défaillance possible sont définies et décrites afin que leur probabilité puisse être estimée.

➤ Les effets de défaillance

Les effets de la défaillance sont les effets locaux sur l'élément étudié et sur le fonctionnement de système

➤ Evaluation de criticité

La criticité dépend de trois critères principaux qui sont :

- La Gravité **G**
- La fréquence d'apparition **F**
- La non-détection **N**

$$C = G * F * N$$

Voici les différents critères de criticité :

❖ La Gravité **G**

La valeur de **G** nous montre sur le degré de gravité des conséquences de panne sur l'utilisateur ainsi que le système et le service fourni, chaque effet de défaillance correspond à un indice de gravité. Les niveaux de gravité sont expliqués dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Les niveaux de Gravité

Niveaux	Définition
1	Mineure : défaillance ne provoque pas l'arrêt ou la dégradation de fonctionnement
2	Moyenne : défaillance provoquant un arrêt moins de 30 minutes Sans risque probable
3	Importante : défaillance provoquant un arrêt d'une heure à deux heures et nécessite un remplissage des composant défectueux
4	Grave : défaillance provoquant un arrêt long et un risque sur les personnes et les équipements

❖ La non-détection N

Le critère « N » évolue à partir de l'état de défaillance avec une note estimée entre 1 et 4, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Les niveaux de non-détection

Niveaux	Définition
1	Elémentaire : défaillance possible à éviter
2	Aisée : apparition d'une défaillance avec recherche des actions correctives
3	Moyenne : apparition de défaillance probable avec recherche des actions correctives
4	Délicat : défaillance difficilement détectable et nécessite le démontage par un technicien spécialisé

❖ La fréquence F

Le critère de fréquence F indique le niveau de probabilité d'apparition de défaillance par une note estimé allant de 1 (défaillance faible ou rare) vers 4 (défaillance forte à apparaître)

Tableau 4 : Les niveaux de fréquence des défaillances

Niveaux	Définition
1	Faible : moins d'une fois par semestre
2	Possible : en moyenne d'une fois par mois
3	Certaine : en moyenne d'une fois par semaine
4	Forte : possible d'une fois par jour

❖ La criticité

S'obtient en faisant le produit des trois indices présidents cette valeur de criticité compris entre le 1 et 64, il nous offre une indication sur état de l'équipement et mise en évidence la faiblesse de certain point aussi orient les actions à mettre en œuvre dans le but évité les pannes.

Tableau 5 : Les niveaux de criticité

Niveaux	Définition
C < 9	Faible : aucun problème particulier
9 < C < 12	Acceptable : Nécessite un contrôle particulier
12 < C < 16	Forte : Nécessite une surveillance périodique avec une intervention au plus tôt
C > 16	Dangereuse : l'équipement est en état critique il faut faire une intervention globale ou changer l'équipement

Après avoir analysé les défaillances, trois étapes plus importantes doivent être franchies pour le succès de la méthode AMDEC, qui sont les suivantes :

- Il est nécessaire de faire la hiérarchisation des défaillances selon les niveaux atteints par la criticité pour savoir quelle panne mérite une intervention immédiate
- Spécifier la nature des actions pour traiter la défaillance identifiée, soit préventive soit corrective
- Organiser les interventions, visites et inspections nécessaires pour maintenir les équipements en excellent état de fonctionnement et prolonger leur durée de vie en réalisant un plan de maintenance préventive.

5. Généralités sur le sécheur granulateur



Figure 5 : Sécheur granulateur de triple super phosphate

La granulation à tambour rotatif est une technique largement répandue dans le domaine des engrais et l'industrie chimique alimentaire. Le granulateur, est constitué d'une enveloppe cylindrique tournant sur des supports inclinée de quelques degrés par rapport à l'horizontale.

La longueur du tambour varie entre quatre et dix fois son diamètre, le produit à granuler est introduit à la coté la plus élevée, il progresse dans le tambour sous l'effet conjugué et l'inclinaison, pour être évacué à l'extrémité opposée.

Le sécheur pouvant présenter des problèmes pas de séchage, mais de détérioration ou non-conformité de produit, pour éviter le risque des effets secondaires générés par opération de séchage il faut bien déterminer les paramètres de séchage (humidité, température ...)

La paroi du cylindre est chauffée extérieurement par des gaz de combustion. La face interne de cylindre assure par conduction la transmission de chaleur au produit humide. Un écoulement d'air est nécessaire pour l'extraction de la vapeur d'eau.

6. Généralités sur le culbuteur à wagons

Le culbuteur à wagons ou le basculeur est une machine traditionnellement utilisée pour décharger des wagons découverts contenant jusqu'à 120 tonnes de matière première avec un poids net, dans le but d'augmenter la productivité et de réduire le temps de déchargement du phosphate brut. De ce fait, le chargeur de wagon fait partie des équipements critiques du groupe chimique tunisien, il doit faire l'objet d'un suivi périodique et la maintenance préventive nécessaire prévue pour maintenir la continuité de la production.

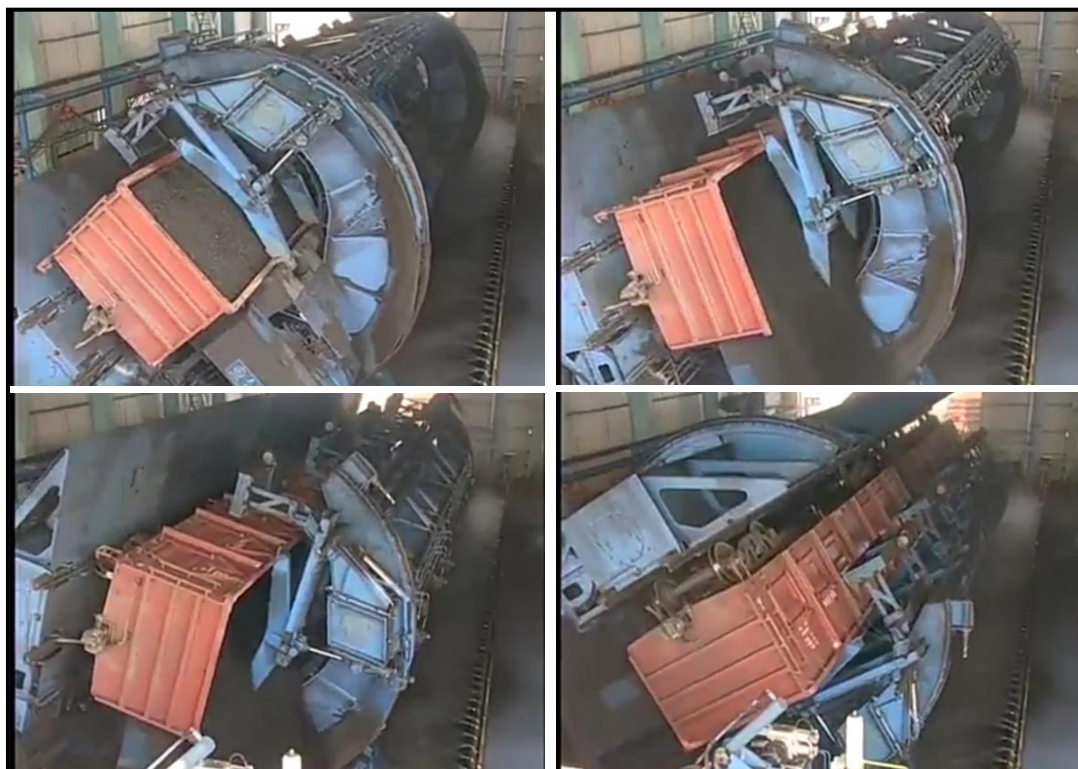


Figure 6 : Culbuteur à wagons

7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le groupe chimique tunisien et les procédés de production du Triple Super Phosphate. Nous avons démontré la valeur de la maintenance et sa part dans la croissance du secteur en utilisant l'approche AMDEC. Puis il nous a donné un aperçu sur le sécheur granulateur et le culbuteur à wagons, Afin de nous mettre dans le cadre du rapport qui est application de méthode AMDEC sur les deux machines précédentes.

Chapitre 2 : Application de la méthode AMDEC sur le sécheur granulateur

1. Introduction

Après l'étude théorique approfondie de la méthode AMDEC et de ses caractéristiques, nous allons l'appliquer sur un cas réel qui est le sécheur granulateur. Ce dernier est un système de production de triple super phosphate qui se compose de plusieurs éléments qui peuvent avoir différents types de défaillance, nous allons donc Effectuer l'AMDEC-moyen (ou AMDEC machine) afin d'établir des plans de maintenance préventives et correctives pour ces composants

2. Démarche de méthode AMDEC

Le but de notre étude est donc d'étudier et d'analyser tous les modes de défaillances possibles au fonctionnement de sécheur granulateur puis de voir les actions correctives et préventives qui permettront d'optimiser la sûreté de fonctionnement de la machine et de réduire le temps d'indisponibilité.

Afin d'analyser au mieux notre système sur la base d'une étude AMDEC (analyse des modes de défaillance et leurs effets et leur criticité), nous détaillerons en premier lieu le système en présentant une analyse fonctionnelle de sécheur granulateur de TSP.

Les étapes suivantes doivent être suivies pour une utilisation réussie de la méthode AMDEC :

- ✓ Constituer une équipe de travail et identifier le niveau de l'étude
- ✓ Faire une analyse fonctionnelle
- ✓ Faire une décomposition fonctionnelle de système
- ✓ Faire une étude qualitative (identifier les modes les causes les effets des défaillances)
- ✓ Faire une étude quantitative (évaluation de la criticité)
- ✓ Hiérarchiser les défaillances selon la valeur de criticité
- ✓ Rechercher les actions correctives et préventives
- ✓ Réaliser un plan de maintenance

3. L'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un système pour satisfaire les besoins de son utilisation.

Différents diagrammes et outils permettent de réaliser l'analyse fonctionnelle d'un système (Diagramme SADT, Diagramme des interacteurs, graphe des prestations)

Dans cette partie nous allons faire une analyse fonctionnelle en se basant sur les outils mentionnés ci-dessus.

3.1 Le diagramme SADT

La méthode SADT (en anglais : Structured Analysis & Design Technic) est une méthode graphique qui part du général pour aller vers les détails. La méthode est appliquée industriellement pour une communication entre les personnes d'origine différents, elle permet la description dans un langage commun des flux de matières et d'énergie transitant à travers le système.

Le modèle de représentation prend la forme d'actigramme, rectangle basé sur les fonctions du système comme suit :

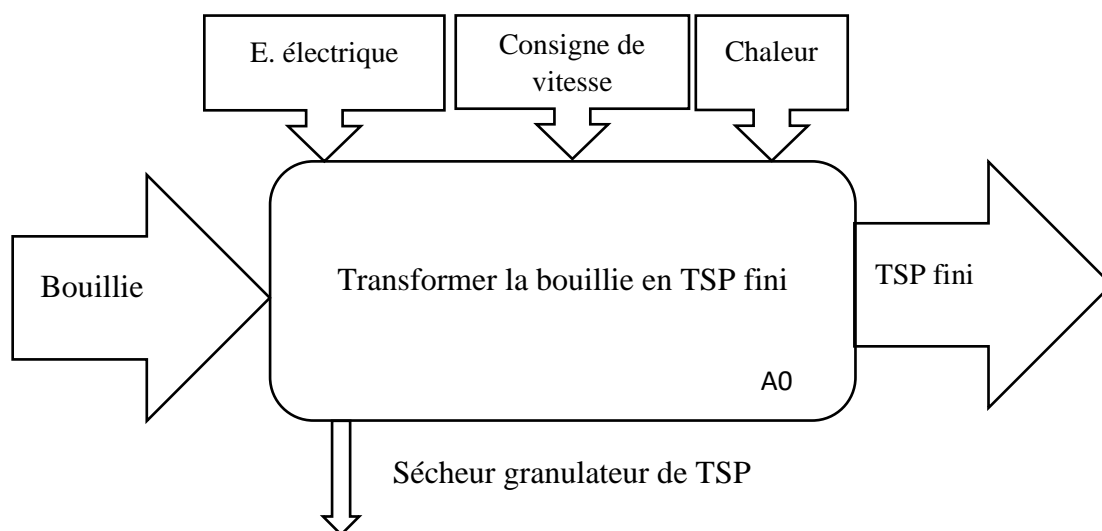


Figure 7 : Diagramme SADT de sécheur granulateur

3.2 Le diagramme des interacteurs (diagramme de pieuvre)

Le diagramme pieuvre permet de définir les relations entre un système et son environnement. Il met en évidence les fonctions principales et les fonctions complémentaires auxquels l'objet doit s'adapter. Ces fonctions sont appelées fonctions de services.

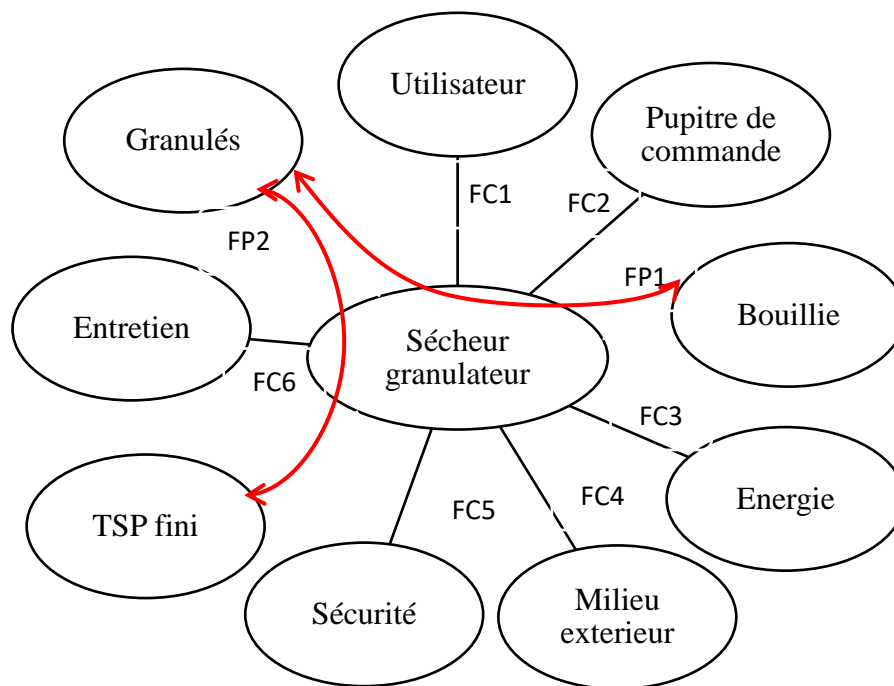


Figure 8 : Diagramme pieuvre de sécheur granulateur

➤ Les fonctions principales :

FP 1 : Transformer la bouillie en granulés

FP 2 : Sécher les granulés pour obtenir le produit final

➤ Les fonctions complémentaires :

FC 1 : Recevoir les consignes et les paramètres de l'utilisateur

FC 2 : Gérer et suivre le fonctionnement du sécheur granulateur

FC 3 : Utiliser l'énergie électrique

FC 4 : Résiste au milieu extérieur

FC 5 : Respect les normes de sécurité

FC 6 : Subir à des actions d'entretien

3.3 La graphe des prestations

La méthode d'expression du besoin répondre aux trois questions suivantes :

- ❖ A qui le produit rend-il service ?
- ❖ Dans quel but ?
- ❖ Sur quoi le produit agit-il ?

Le diagramme des prestations du sécheur granulateur est décrit dans la figure suivante :

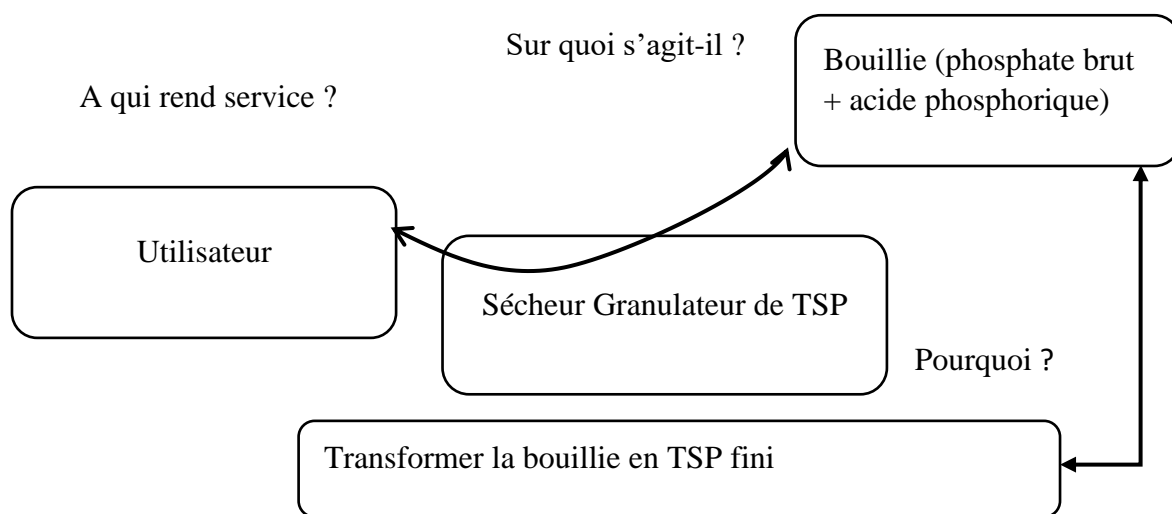


Figure 9: Graphe de prestation sécheur granulateur

Pour valider l'expression de besoin, il reste à poser ces questions complémentaires :

- ❖ Pour quoi ce produit existe-t-il ?
- ✓ Pour produire le triple super phosphate
- ❖ Peut- il avoir disparition ?
- ✓ Non
- ❖ Peut-il y avoir des évolutions ?
- ✓ Oui, au niveau de principe de fonctionnement

4. Décomposition fonctionnelle

Cette partie est une description détaillée de fonctionnement de Sécheur granulateur de TSP (triple super phosphate) installé à l'usine de m'dhilla. Et une décomposition fonctionnelle selon le mode de fonctionnement en des sous-systèmes pour une meilleure compréhension de système et pour faciliter l'évaluation de l'état.

4.1. Etude technologique sur le sécheur granulateur

4.1.1 Description de mécanisme



Figure 10 : Le sécheur granulateur de TSP

Le sécheur granulateur est un cylindre en acier E24-2 de diamètre 4 m et de longueur 9 m, son rôle principal est de produire des granulés de TSP. La fonctionnalité de sécheur granulateur se divise en deux phase : premièrement la granulation de bouillie (phosphate brut + acide phosphorique) et deuxièmement le séchage de granulés pour obtenir un TSP (triple super phosphate) fini.

4.1.2 Le principe de fonctionnement

Le sécheur granulateur a la forme cylindrique basé sur des galets, vu la longueur importante on utilise deux types des galets la première de supportage et l'autre galets de guidage. Formant une transmission à friction avec les bondages lisses de granulateur. Le groupe de commande est composé d'un moteur électrique de puissance 160 KW tournant à 1500 tr/min, un réducteur de vitesse (vitesse de sortie = 2.47 tr/min) et un coupleur hydraulique, l'arbre sortant du réducteur est connecté à un pignon de $Z=23$ dents, Ce pignon transmet sa puissance grâce à une couronne denté de 150 dents.

Le granulateur basé sur un processus de développement de la force centrifuge qui va former la bouillie en granulés sphériques de 2 à 5 mm de diamètre la granulométrie varie avec la variation des paramètres d'inclinaison et de de vitesse de rotation.

4.1.3 Fiche technique de sécheur granulateur

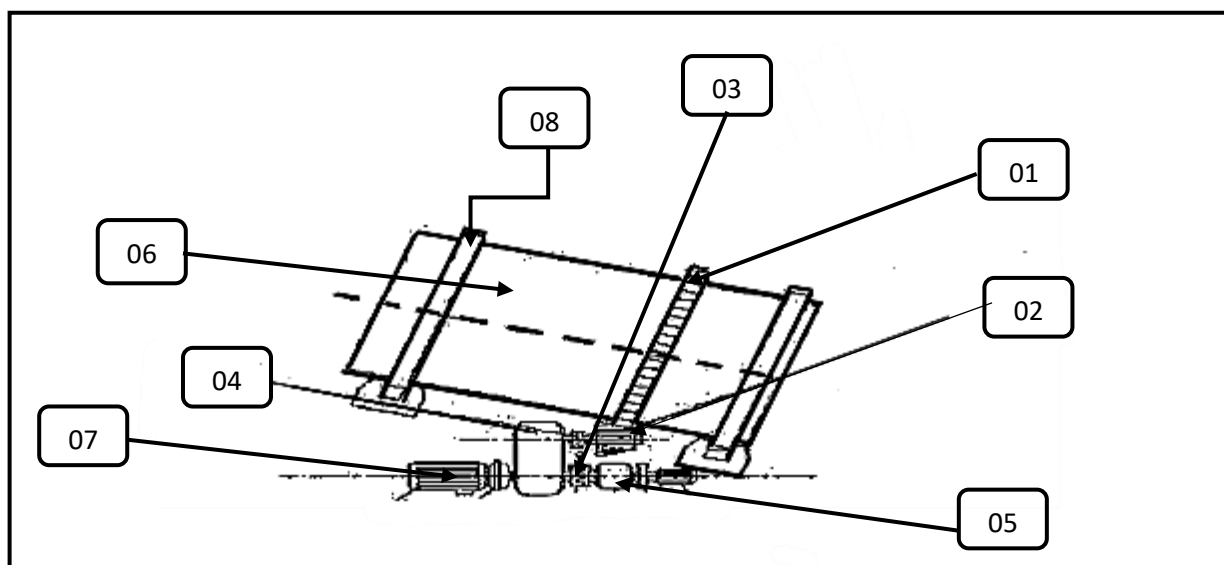


Figure 11 : Dessin d'ensemble du sécheur granulateur

Le tableau suivant représente les différents composants de système

Tableau 6 : les composants de sécheur granulateur

Repères	Désignation
01	Couronne denté
02	Pignon d'attaque
03	Accouplement
04	Réducteur de vitesse
05	Coupleur hydraulique
06	Virole
07	Moteur électrique
08	Bandage lisse

Le tableau ci-dessous contient les données techniques de sécheur granulateur

Tableau 7 : Les données techniques de sécheur granulateur

Diamètre	3300 mm
Longueur	24000 mm
Épaisseur	18 mm
Matériaux	Acier E24-2
Vitesse de rotation	2.47 tr/min
Débit	180 T/h
Poids de tambour	50 T
Couronne	35 CD 4 moulé
Pignon	42 CD forgé

4.2 Décomposition sécheur granulateur

On va décomposer le sécheur granulateur selon son mode de fonctionnement en quatre parties

- **Groupe de commande** : composé par cinq sous-systèmes qui sont le Moteur électrique, le coupleur hydraulique, l'accouplement, le pignon d'attaque et le réducteur de vitesse.
- **Virole** : divisé en trois sous-systèmes tel que le cylindre, le bandage lisse et la couronne dentée
- **Système de martelage** : composé par ensemble des ceintures forment un mécanisme de frappe sur l'extérieur de virole dans le but d'éliminer le phénomène de colmatage
- **Système de supportage** : contient les galets de roulement et les galets de centrage

4.3 Conception des pièces mécaniques sur SolidWorks

4.3.1 Conception de groupe de commande

- **Le réducteur de vitesse**

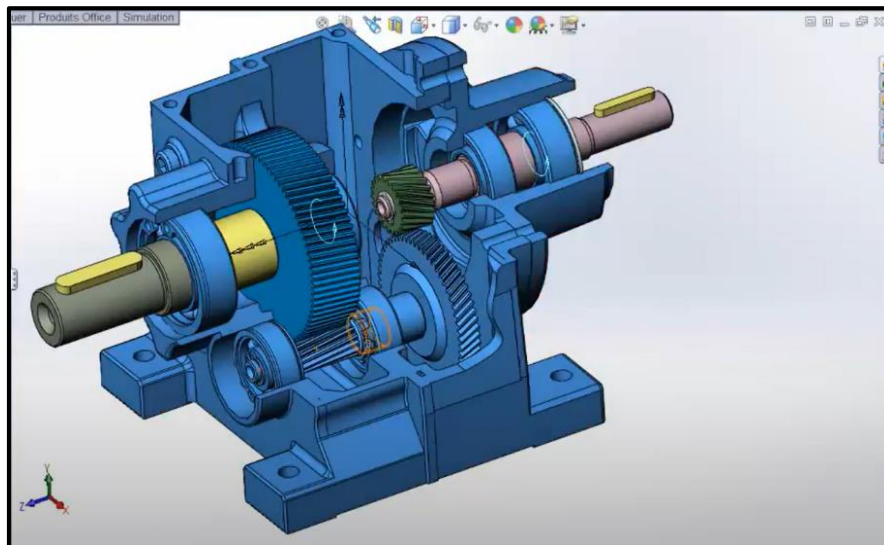


Figure 13 : Conception de réducteur de vitesse sur SolidWorks

Le dessin d'ensemble de réducteur de vitesse est présenté comme suit :

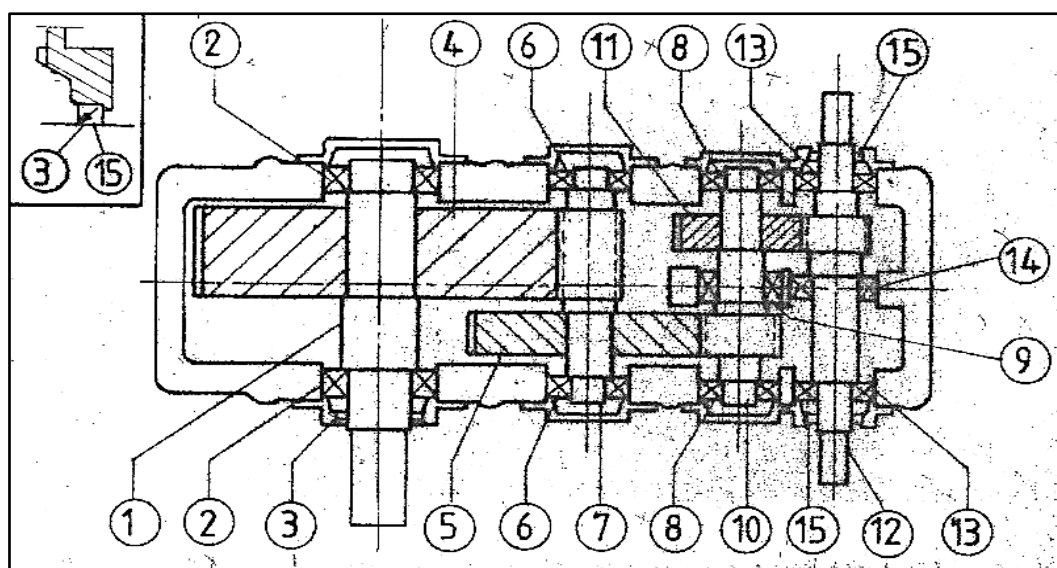


Figure 14: Dessin d'ensemble de réducteur de vitesse

Tableau 8: les composants de réducteur de vitesse

Roulement réf 23044 C W33	Rep 2
Roulement réf 22328 C W33	Rep 6
Roulement réf 22318 C W33	Rep 8
Roulement réf 22324 C W33	Rep 9
Roulement réf 22317 C W33	Rep 13
Roulement réf 23122 C W33	Rep 14
Bague d'étanchéité diamètre 220x250	Rep 3
Bague d'étanchéité diamètre 85x120	Rep 15
Roue dentée Z=122 m=8	Rep 4
Roue dentée Z=108 m=7	Rep 5
Pignon arbre Z=24 m=8	Rep 7
Pignon arbre Z=22 m=7	Rep 10
Roue dentée Z=82 m=6	Rep 11
Pignon arbre Z=23 m=6	Rep 12

➤ Le Moteur électrique

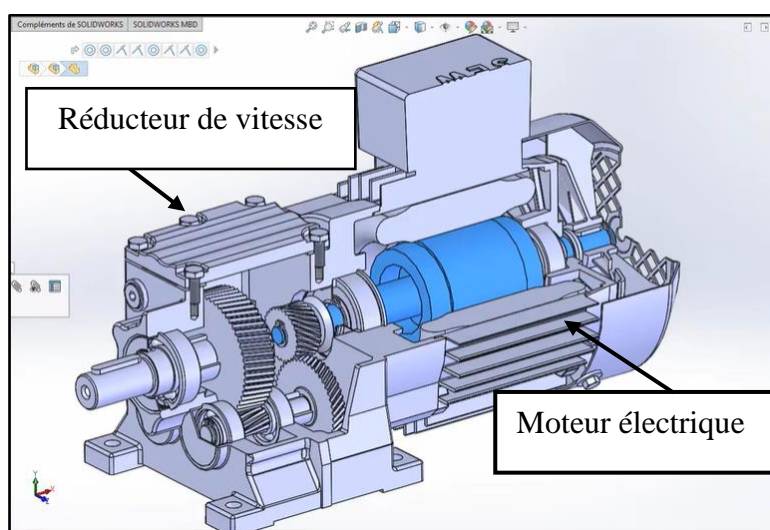


Figure 15 : Assemblage du moteur électrique et de réducteur de vitesse sur SolidWorks

➤ L'accouplement élastique

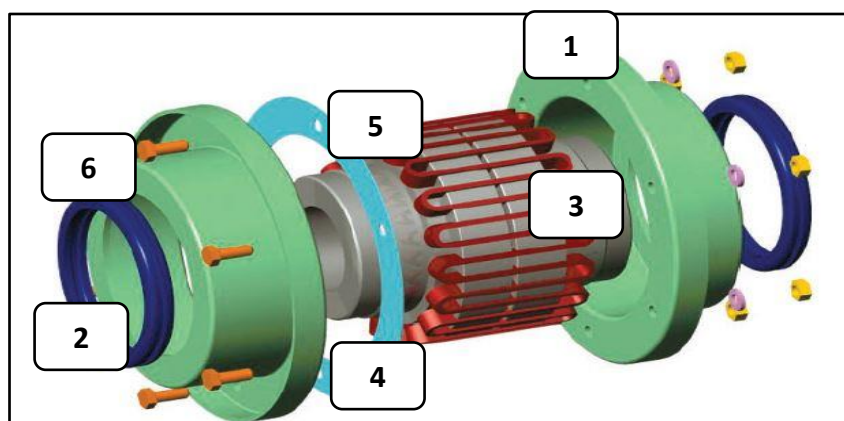


Figure 16 : Conception d'accouplement élastique sur SolidWorks

Tableau 9: Les composants d'accouplement élastique

Nombre	Composant	Référence
2	Bagues d'étanchéité	Rep 2
1	Joint d'étanchéité	Rep 4
2	Demi boîtier	Rep 1
1	Ressort	Rep 5
2	Moyeu	Rep 3

➤ Le coupleur hydraulique

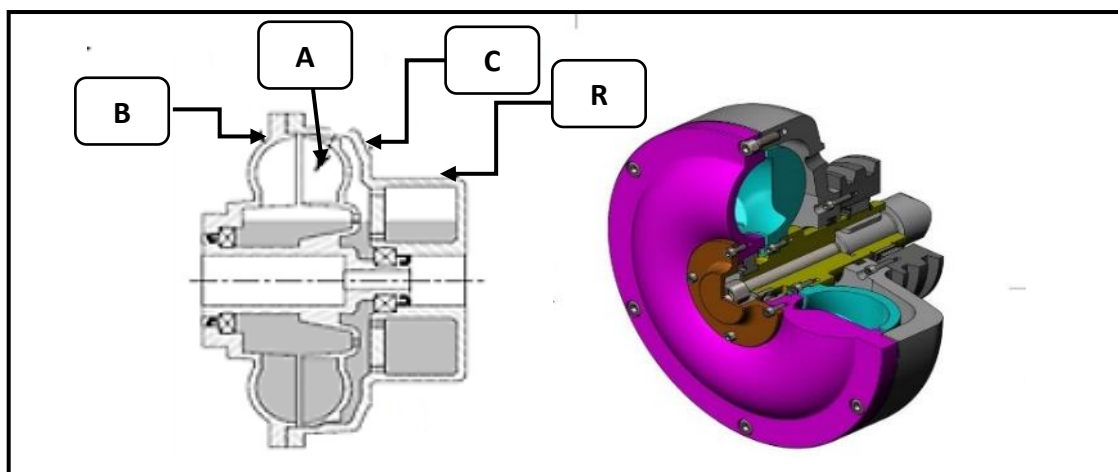


Figure 17 : Conception de coupleur hydraulique sur SolidWorks

Tableau 10: Les composants de coupleur hydraulique

A	Pompe
B	Turbine
C	Carter
R	Chambre de retardement

➤ **Le pignon d'attaque**

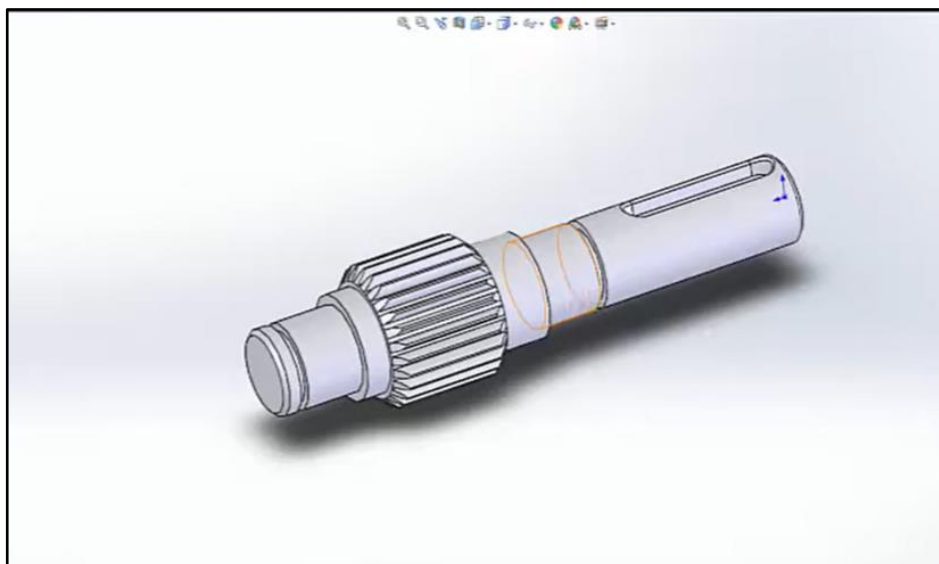


Figure 18 : Conception de pignon d'attaque sur SolidWorks

4.3.2 Conception de la virole

➤ Le cylindre

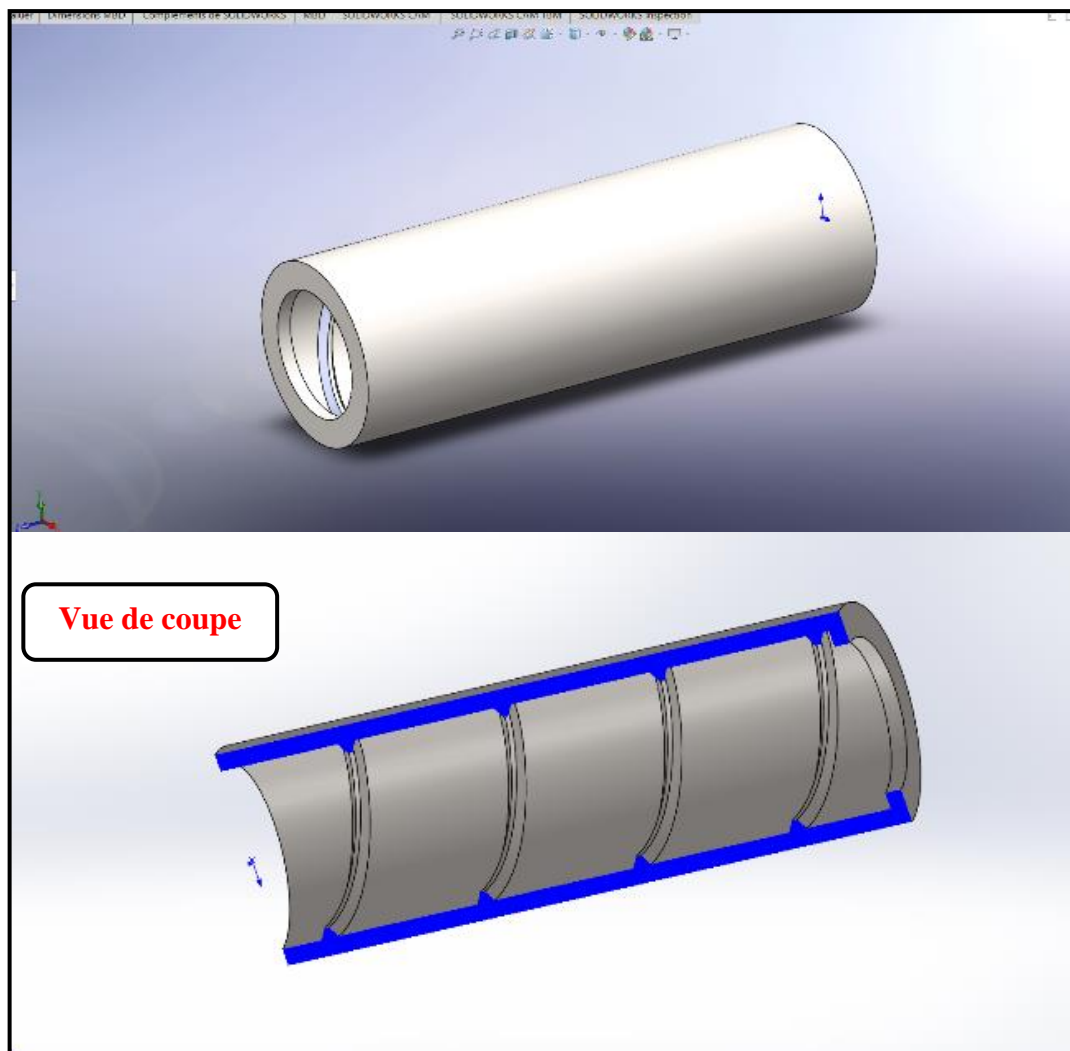


Figure 19 : Conception de virole sur SolidWorks

➤ **Le bandage lisse**

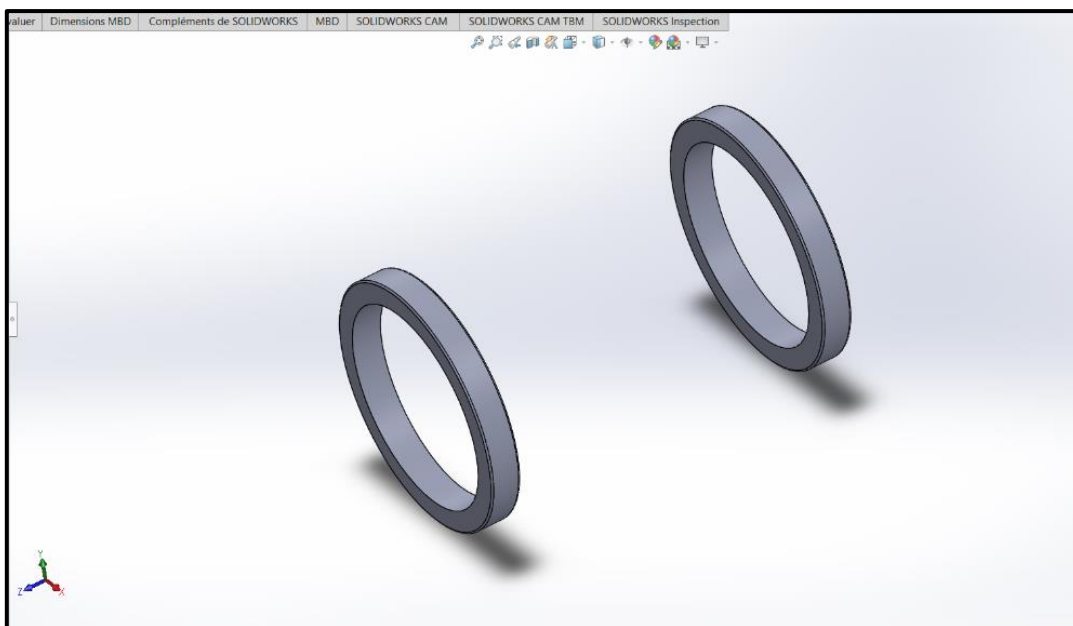


Figure 20 : Conception de bondage lisse sur SolidWorks

➤ **La couronne dentée**

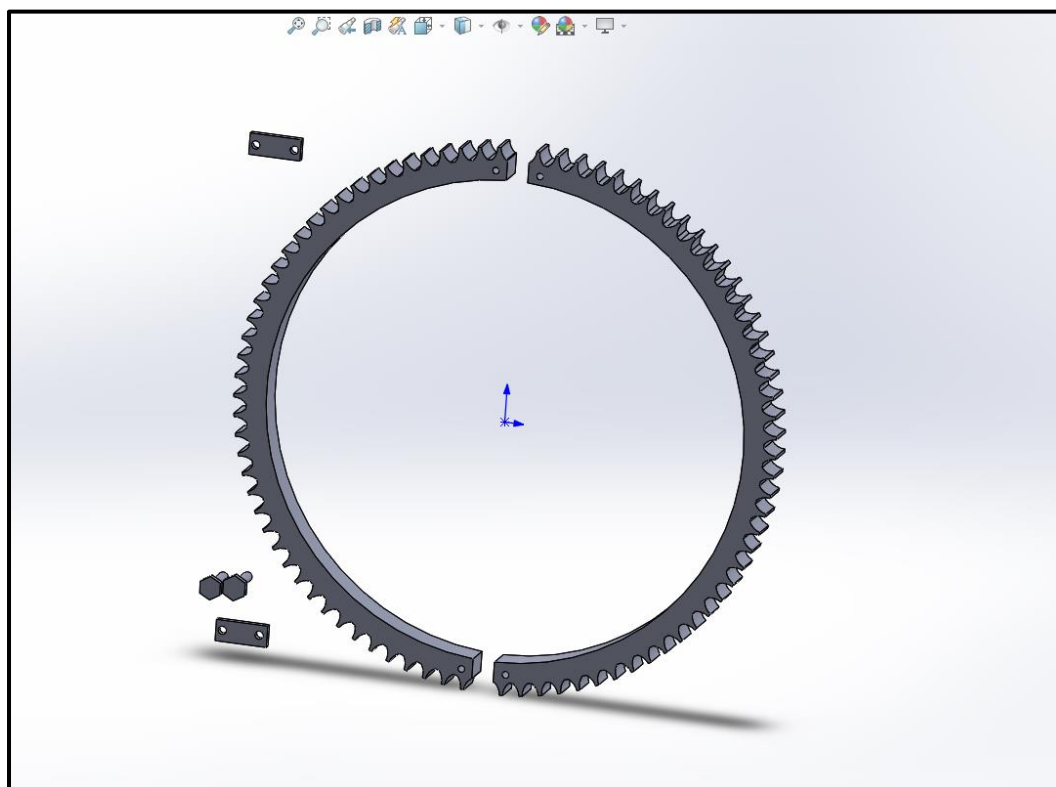


Figure 21 : Conception de couronne dentée sur SolidWorks

4.3.3 Conception de système de martelage

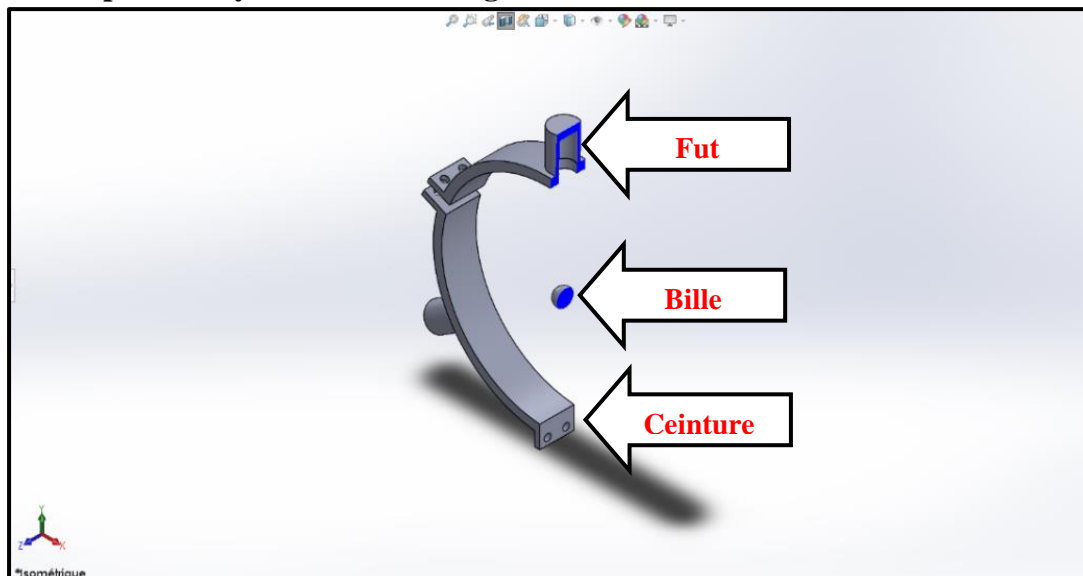


Figure 22 : Conception de système de martelage sur SolidWorks

4.3.4 Conception de système de supportage

➤ Les galets de supportage

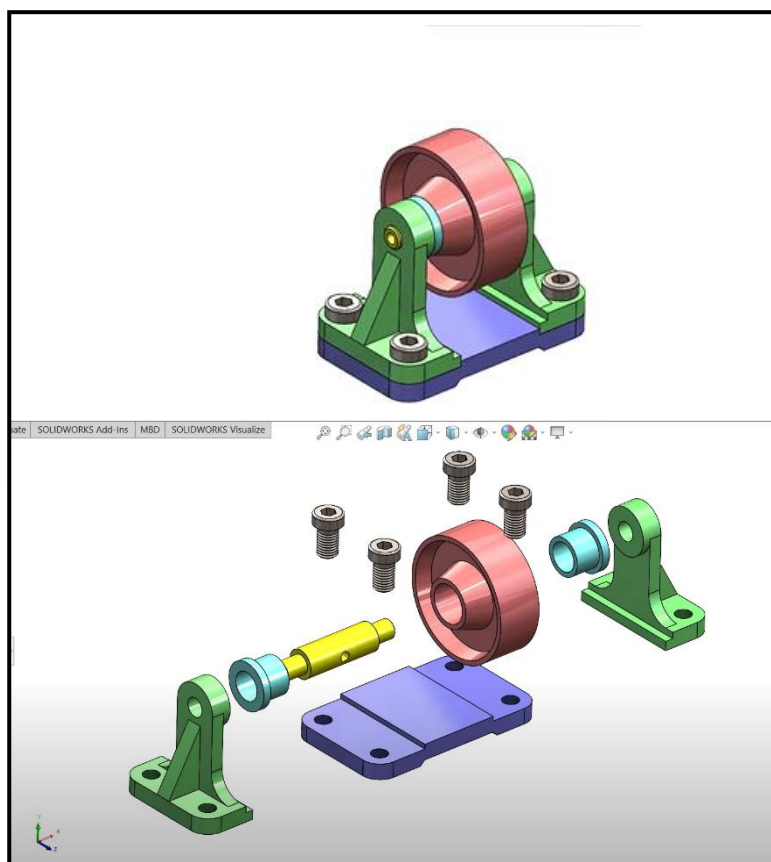


Figure 23 : Conception des galets de supportage sur SolidWorks

➤ Les galets de guidage

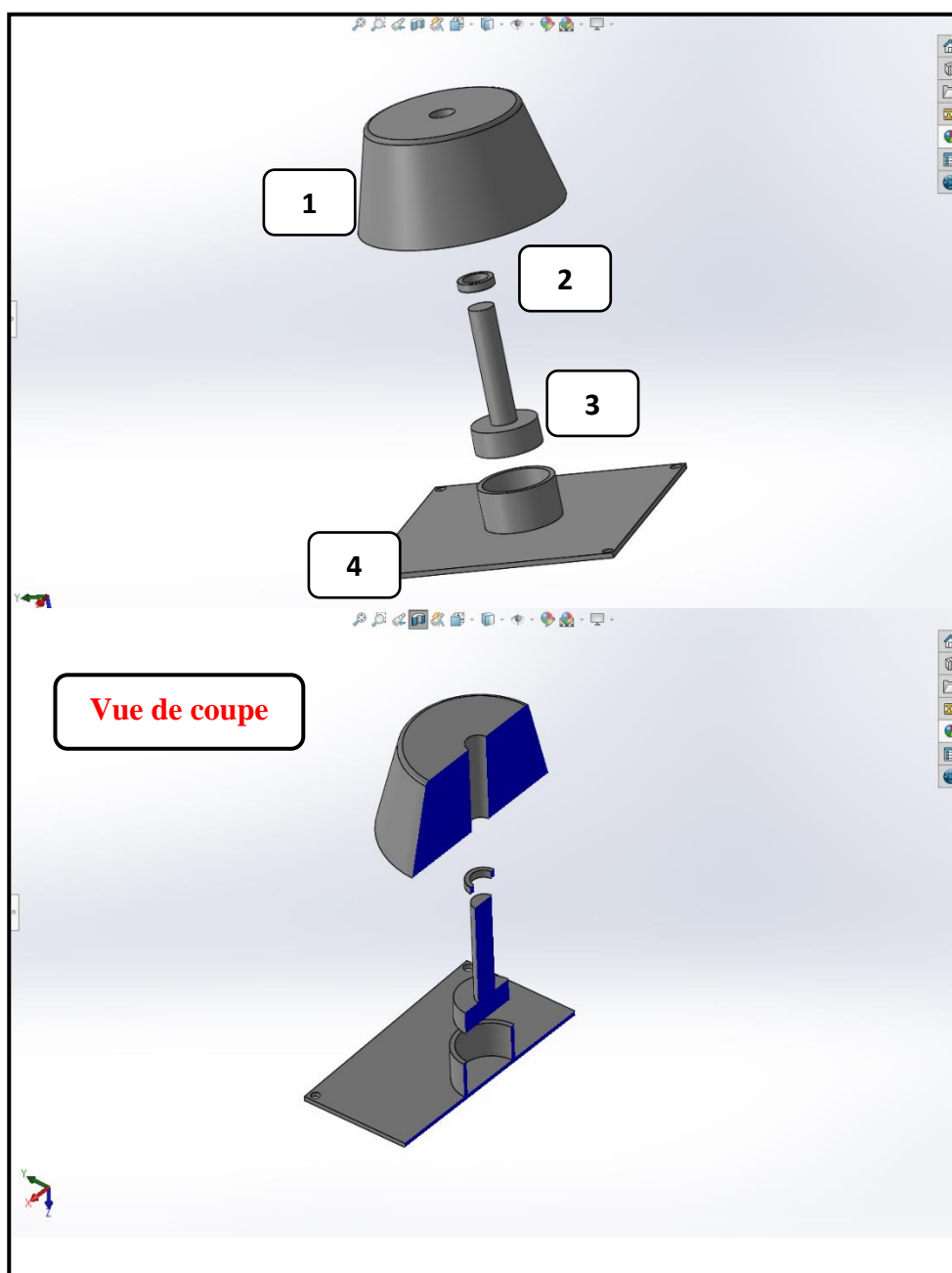


Figure 24: conception des galets de guidage sur SolidWorks

Tableau 11 : les composants de galet de guidage

Nombre	Composant
1	Poulie
2	Roulement
3	Axe
4	Support fixe

5. Analyse AMDEC

Cette analyse un processus d'attribution des notes de criticité basées sur leur risque potentiel.

Premièrement en déterminent les modes de défaillance, les causes probables et les effets de cette défaillance puis à l'aide de valeur de gravité, de non-détections et fréquence d'apparition en fait une simple multiplication pour obtenir la valeur de criticité ($C = F \cdot N \cdot G$).

La collecte des informations a été faite à l'aide de dossier historique de machine et par des observations en temps réel sur le système

Nous avons eu la chance de voir le système en marche durant les trois mois de stage

Le tableau suivant concerne la grille de virole rotative

Tableau 12 : AMDEC du Virole

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités									
	Sécheur granulateur Sous-ensemble : Virole				Evaluation de Criticité				Les actions correctives
Les éléments	Fonction	Modes	Causes	Effets	G	F	N	C	Soudage de fissures de virole Sablage de la virole Respecter la charge maximale de machine
Cylindre	Granuler de bouillie	Fissure	Surcharge	Perte de produits	3	1	1	3	
		Déformation	Usure	Mauvaise qualité de produit					
		Fuite de produits							
Bandage lisse	Guider la virole en rotation	Usure	Vibration	Dérapage de virole	3	2	1	6	Serrage de bandage lisse
		Déformation		Désalignement					Changement des sabots et leurs boulons de fixation
		Desserrage	Fatigue de matériaux	pendant la rotation					
Couronne dentée	Transmettre le mouvement de rotation de pignon d’attaque vers la virole	Usure	Manque de lubrifiant	Mauvais alignement	4	2	2	16	Graissage de couronne
		Fracture		Vibration					Contrôle d’alignement
		Déformation	Surcharge	Bruit					
			Fatigue de matériaux						

Le tableau AMDEC de système de martelage est présenté comme suit

Tableau 13 : AMDEC de système de martelage

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités									
	Sécheur granulateur Sous-ensemble : système de martelage				Evaluation de Criticité				Les actions correctives
Les éléments	Fonction	Modes	Causes	Effets	G	F	N	C	Nettoyage Vérification de l'état des futs
Futs	Guider les boules en translation	Débouchage Fissure Colmatage	Poussière, particules étrangères Fatigue des matériaux	Accumulation à l'intérieur du virole	2	2	2	8	
Boules	Frapper la virole en utilisant la force gravité	Blocage Coincement Obstruction	Poussière et particules étrangers	Accumulation à l'intérieur du virole	2	1	2	4	Contrôle de l'état des boules Nettoyage
Ceintures	Tenir la virole de l'extérieur	Rupture Desserrage	Fatigue des matériaux Vibration	Accumulation à l'intérieur du virole	3	3	1	6	Serrage des boulons Soudage des fissures

Le tableau suivant concerne la grille de groupe de commande

Tableau 14 : AMDEC du groupe de commande

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités									
	Sécheur granulateur Sous-ensemble : Groupe de commande				Evaluation de Criticité				Les actions correctives
Les éléments	Fonction	Modes	Causes	Effets	G	F	N	C	Nettoyage des ventilateurs du moteur
Moteur électrique	Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation	Détérioration de bobinage	Température élevée	Arrêt de production	3	3	2	12	Changement des roulements
		Brulage du moteur	Vibration						Mesure de vibrations
		Dégradation de fonctionnement	Surcharge						Eliminer les surcharges
Coupleur	Transmettre le mouvement de rotation	Fuite d'huile	Mauvaise étanchéité	Arrêt de production	3	2	1	6	Vérification d'alignement
		Bruit	Huile détruit						Vérification niveau d'huile
			Surcharge						Vidange
Réducteur de vitesse	Réduire la vitesse du moteur	Détérioration des dents	Para-huile détruit	Arrêt de production	4	2	2	16	Changement des para-huiles
		Fuite d'huile	Température élevée						Nettoyage de réducteur
			Roulements défectueux						Changement des roulements
Pignon d'attaque	Transmettre la rotation du réducteur à la couronne dentée	Détérioration des dents	Manque de lubrification	Arrêt de production	4	2	2	16	Changement de pignon d'attaque
		Usure	Désalignement						Graissage de pignon
			Surcharge						
Accouplement élastique	Transmission le mouvement de rotation	Mauvaise transmission de mouvement	Mauvais alignement	Arrêt de production	2	3	1	6	Vérification d'alignement
			Fatigue de matériaux						Changement d'accouplement

Nous allons maintenant introduire le tableau AMDEC de système de supportage

Tableau 15 : AMDEC du système de supportage

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités									
	Sécheur granulateur Sous-ensemble : Système de Supportage				Evaluation de Criticité				Les actions correctives
Les éléments	Fonction	Modes	Causes	Effets	G	F	N	C	Changement périodique des paliers
Galets de roulement	Supporter la virole	Blocage Usure Échauffement des paliers	Surcharges Paliers défectueux	Dérapage du trajet Usure de bandage lisse	3	2	1	6	Graissage des paliers Éviter les surcharges
Galets de centrage	Eviter le virole de déraiper hors de chemin	Blocage Usure Échauffement des paliers Cisaillement de l'arbre	Manque de lubrification Fatigue des matériaux Roulements défectueux	Mauvais fonctionnement Dérapage de trajet Bruit	3	2	1	6	Changement périodique des paliers Graissage des paliers

6. hiérarchisation des défaillances

Cette étape vous permet de déterminer quelles sont les principales erreurs qui doivent être traitées en premier. En général, la priorité est définie en tenant compte de la gravité de la panne et de la fréquence (probabilité) de la défaillance, ou simplement en utilisant une valeur de criticité, la défaillance ayant la valeur de criticité la plus élevée nécessitant une intervention immédiate. Et pour plus de clarification en regroupant les défaillances en trois catégories :

✓ **Priorité 1** : La criticité est supérieure à 12 (Défaillance critique)

✓ **Priorité 2** : La criticité varie entre 9 et 12 (Défaillance à surveiller ou réparer)

✓ **Priorité 3** : La criticité inférieure à 9 (Défaillances négligeable)

A partir de ces niveaux de criticité on peut savoir le classement de défaillance comme représenter dans le tableau ci-dessous :

Tableau 16 : Hiérarchisation des défaillances

Hiérarchisation des défaillances		
Classe	Eléments	Valeur de criticité
Priorité 1	<ul style="list-style-type: none"> - La couronne dentée - Pignon d'attaque - Le réducteur de vitesse 	$C > 12$
Priorité 2	<ul style="list-style-type: none"> - Le moteur électrique 	$9 \leq C \leq 12$
Priorité 3	<ul style="list-style-type: none"> - La cylindre - Le bondage lisse - Le système de martelage - L'accouplements élastique - Le système de supportage 	$C < 9$

7. choix de la politique de maintenance

En règle générale, on tendra vers une diminution des actions correctives au profit des actions préventives, Mais il faut savoir qu'on ne peut pas tout prévoir cela signifie que les actions correctives et préventives vont être complémentaires et que la part de préventives que l'on va adopter peut déterminer à partir des considérations économiques.

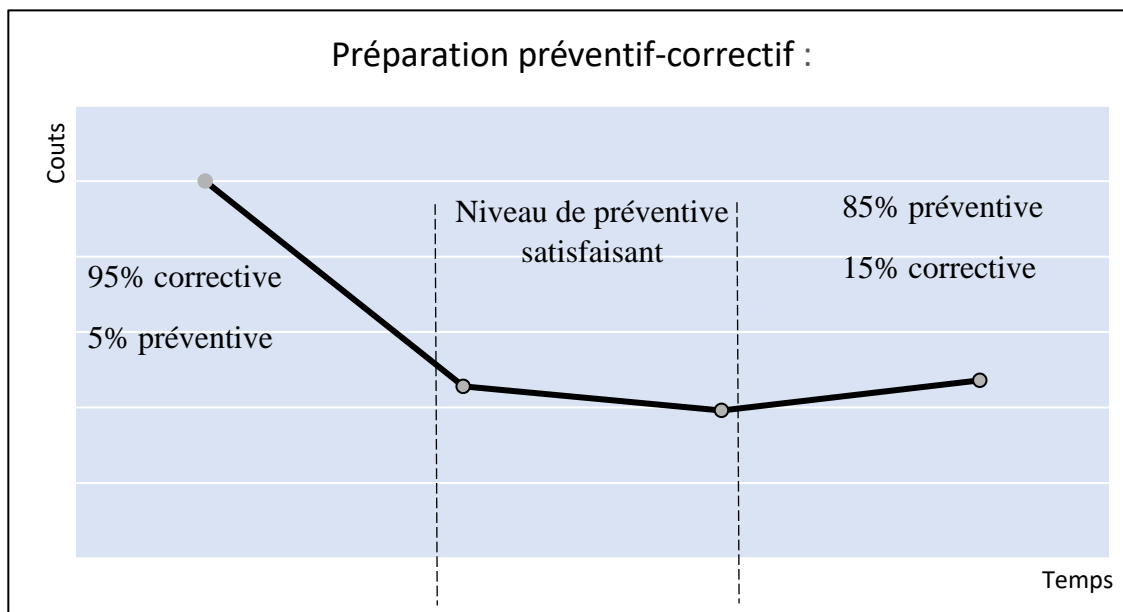


Figure 25 : Préparation préventif-correctif

Après avoir établi les tableaux AMDEC pour les différents composants de sécheur granulateur et hiérarchisé les défaillances selon leurs criticités, nous avons proposé quelques actions d'atténuation dans la section qui suit.

Tableau 17 : Liste des actions d'atténuation

Criticité des éléments	Actions d'atténuation
Très basse	Aucune modification Surveillance périodique
Modéré	Entretien périodique de système
Élevée	Maintenance préventive Maintenance corrective Contrôle contenu
Très élevée	Développement de plan de maintenance Surveillance particulière

8. Analyse des résultats

Nous avons observé que la majorité des défaillances rencontrés dans ce système sont dus à l'usure. Pour éviter ce genre des problèmes il est recommandé de faire un contrôle systématique de l'usure. Pour s'assurer que l'usure ne se propage plus et que les défaillances n'altèrent pas le fonctionnement de sécheur granulateur et n'engendrent pas de longs arrêts

Pour l'amélioration de disponibilité de sécheur granulateur il faut veiller à l'application des actions de maintenance préventive (systématique ou conditionnelle) avec une surveillance périodique sur les équipements ayant une criticité supérieure ou égale à 12.

D'après les résultats obtenus nous avons bien déterminé les risques de dysfonctionnement de système de granulage, en mettant en évidence les points critiques pour proposer un plan de maintenance (des actions correctives) afin de réduire leur criticité.

C'est pourquoi il est nécessaire de faire ces actions de façon périodique

- 1- Planification d'entretien régulier : Établir un programme d'entretien régulier pour le sécheur granulateur, Cela peut inclure la vérification des niveaux d'huile, le nettoyage des filtres et le remplacement des pièces usées.
- 2- Formation des utilisateurs : Assurez que les utilisateurs de l'équipement ont reçu une formation adéquate pour son utilisation et son entretien, Cela peut inclure l'enseignement des bonnes pratiques d'utilisation et les limite de charge de l'équipement aussi la formation à la détection des problèmes.
- 3- Lubrification : Effectuez une lubrification régulière de toutes les parties mobiles de l'équipement pour réduire l'usure et prolonger sa durée de vie.
- 4- Nettoyage régulier : Nettoyez régulièrement l'équipement, Cela peut inclure l'utilisation de produits spécifiques pour enlever la graisse, l'huile et la poussière.
- 5- Utilisation de pièces de rechange de qualité : Lors du remplacement de pièces usées ou défectueuses, utilisez uniquement des pièces de rechange de qualité pour assurer une performance optimale et une durée de vie prolongée de l'équipement.

→ Ces actions préventives peuvent aider à prolonger la durée de vie de notre équipement et à minimiser les temps d'arrêt non planifiés.

9. Réalisation de plan de maintenance

Après la décomposition fonctionnelle de la machine et l'identification des tâches de maintenance nécessaires, il est nécessaire de réaliser un plan de maintenance qui implique les étapes suivantes :

- Développer le calendrier de maintenance préventive de sécheur granulateur qui tient compte des tâches des entretiens et leurs fréquences

Tableau 18 : Plan de maintenance préventive de sécheur granulateur

Les actions de maintenances	Fréquence
Changement des roulements et des paliers	Chaque six mois
Changement d'huile de réducteur hydraulique	Entre le 20000 et 30000 heures de fonctionnement
Graissage des engrenages et des galets	Chaque mois
Nettoyage de ventilateur du moteur et des composants exposés aux poussières	Chaque six mois
Vérification de serrage des supports et des boulons de fixation et mesure de vibration et d'alignement	Chaque trois mois

- Noter toutes les interventions dans le document historique de machine pour faciliter l'évaluation de l'état de machine et prévenir les défaillances fréquentes aussi pour aider les techniciens aux diagnostics de l'équipement.
- Pour rendre le plan de maintenance plus efficace il est nécessaire de fournir les pièces de rechanges et ça se fait à l'aide de stock qui doit contenir tous les composants nécessaires pour effectuer les réparations.

10. Conclusion

Dans cette partie, nous avons appliqué la méthode AMDEC sur le sécheur granulateur de TSP en précisant l'importance de cette méthode, en vue de la différence remarquable au niveau de disponibilité et de fiabilité même sur la durée de vie, Aussi il nous a fourni un certain nombre d'actions préventives pour développer la performance de l'équipement et éviter le maximum des pannes inattendus.

La collecte des données nous a permis d'avoir les informations nécessaires pour réaliser notre étude en collaboration avec l'équipe de travail, ça nous a permis de réunir beaucoup d'informations sur la défaillance et des modes, et nous avons pu proposer des opérations préventives afin de maintenir le bon fonctionnement du sécheur granulateur.

C'est pour quoi on peut classer la méthode AMDEC comme une des meilleures méthodes d'analyse des défaillances grâce à son efficacité et simplicité d'application.

Chapitre 3 : Application de méthode AMDEC sur culbuteur à wagons

1. Introduction

Parmi les premières étapes de production de TSP (triple super phosphate) dans l'usine de m'dhilla est le transport de phosphate brut, Le phosphate brut est transporté sur des chemins de fer puis déchargé par un culbuteur à wagons, ce dernier est un mécanisme utiliser dans le but d'améliorer la productivité et diminuer le temps de décharge de phosphate brut grâce à sa capacité de décharge qui dépasse 25 wagons/heure, c'est pourquoi le basculeur des wagons est parmi les équipement critique dans le Groupe Chimique Tunisien. Et dans ce chapitre on va appliquer la méthode AMDEC sur le culbuteur à wagons et en va planifier toutes les mesures préventives nécessaires pour le garder en bon état de fonctionnement.

2. Démarche AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'analyse de but principal identifier les défaillances, leurs modes, leurs effets et évoluer leurs criticités afin de trouver des solutions pour les réparer.

Les étapes suivantes doivent être suivies pour une application réussie de la méthode AMDEC :

- ✓ Constituer une équipe de travail et identifier le niveau de l'étude
- ✓ Faire une analyse fonctionnelle
- ✓ Faire une décomposition fonctionnelle de système
- ✓ Faire une étude qualitative (identifier les modes les causes les effets des défaillances)
- ✓ Faire une étude quantitative (évaluation de la criticité)
- ✓ Hiérarchiser les défaillances selon la valeur de criticité
- ✓ Rechercher les actions correctives et préventives
- ✓ Réaliser un plan de maintenance

3. Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un système pour satisfaire les besoins de son utilisation.

Différents diagrammes et outils permettent de réaliser l'analyse fonctionnelle d'un système (Diagramme SADT, Diagramme des interacteur, graphe de prestations)

Dans cette partie nous allons faire une analyse fonctionnelle en se basant sur les outils mentionnés ci-dessus.

3.1 Diagramme SADT

La méthode SADT (Structured Analysis & Design Technic) est une méthode graphique qui part du général pour aller vers les détails. La méthode est appliquée industriellement pour une communication entre les personnes d'origine différents, elle permet la description dans un langage commun des flux de matières et d'énergie transitant à travers le système.

Le diagramme A0 de culbuteur à wagons est présenté comme suit :

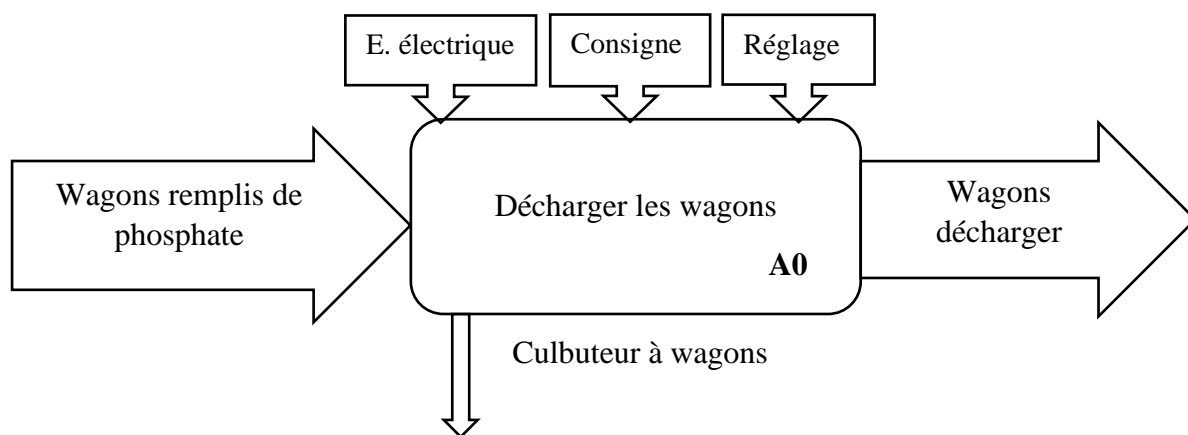


Figure 26 : Diagramme SADT de culbuteur à wagons

3.2 Diagramme des interacteurs

Le diagramme des interacteurs permet de définir les relations entre un système son environnement. Il met en évidence les fonctions principales et les fonctions complémentaire auxquels l'objet doit s'adapter. Ces fonctions sont appelées fonctions de services.

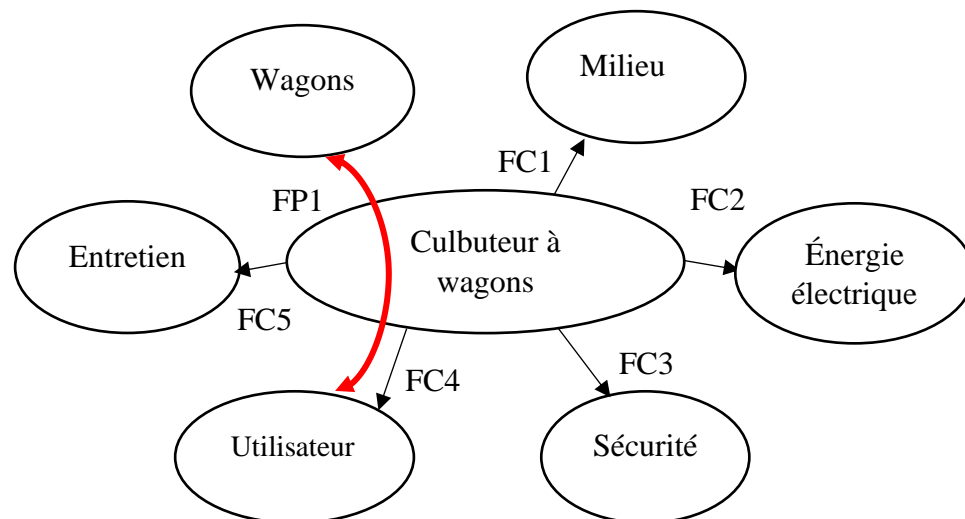


Figure 27 : Diagramme de pieuvre de culbuteur à wagons

➤ La fonction principale

FP 1 : Décharger les wagons

➤ Les fonctions complémentaires

FC 1 : Résiste au milieu extérieur

FC 2 : Utiliser l'énergie électrique

FC 3 : Respect les normes de sécurité

FC 4 : recevoir les consignes et les paramètres de l'utilisateur

FC 5 : Subir à des actions de maintenance

3.3 Graphe des prestations

La méthode d'expression du besoin repose sur trois questions :

✓ A qui le produit rend-il service ?

✓ Dans quel but ?

✓ Sur quoi le produit agit-il ?

Le diagramme des prestations du culbuteur à wagons est décrit dans la figure suivante :

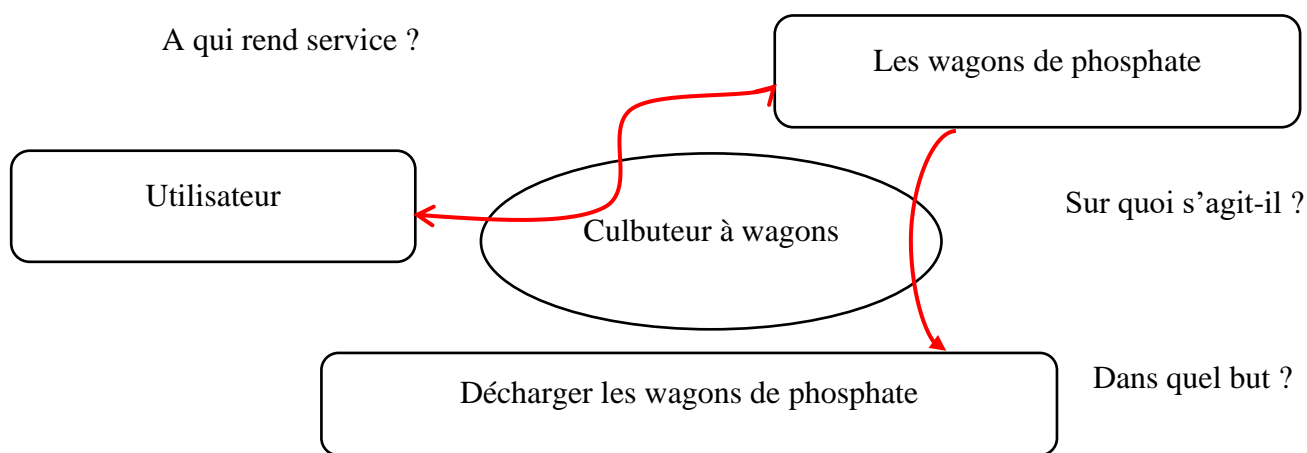


Figure 28 : Diagramme de prestation de culbuteur à wagons

Pour valider l'expression de besoin, il reste à poser ces questions complémentaires :

➤ Pour quoi ce produit existe-t-il ?

✓ Pour décharger les wagons de phosphate

➤ Peut-il avoir disparition ?

✓ Non

➤ Peut-il y avoir évolution ?

✓ Oui, au niveau de principe de fonctionnement

4. Décomposition fonctionnelle

Cette section fournit une explication détaillée du fonctionnement du culbuteur (basculeur des wagons) placé à l'usine du groupe chimique m'dhilla. Et une division fonctionnelle en sous-systèmes basée sur le mode de fonctionnement pour faciliter l'analyse des défaillances des composants individuels.

4.1 Etude technologique sur le culbuteur à wagons

4.1.1 Description du mécanisme

Un basculeur des wagons est un équipement utilisé dans les industries ferroviaires pour décharger le contenu d'un wagon. Il est constitué d'une plateforme fixée sur une structure pivotante autour d'un axe. Un wagon est positionné sur la plateforme et incliné sur le côté pour permettre le déchargement de son contenu.

4.1.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'un basculeur de wagon consiste à poser le wagon sur la plateforme une fois que le wagon est fixé, le mécanisme de rotation commence à tourner la plate-forme du basculeur jusqu'à ce qu'elle atteigne l'angle nécessaire pour permettre la décharge à partir d'un côté.

Il est important de noter que les basculeurs de wagons doivent être installés et utilisés conformément aux normes de sécurité prescrites pour éviter les accidents et les défaillances. Par conséquent, l'entretien régulier, les inspections et les tests de sécurité sont essentiels pour assurer leur bon fonctionnement et leur durabilité.

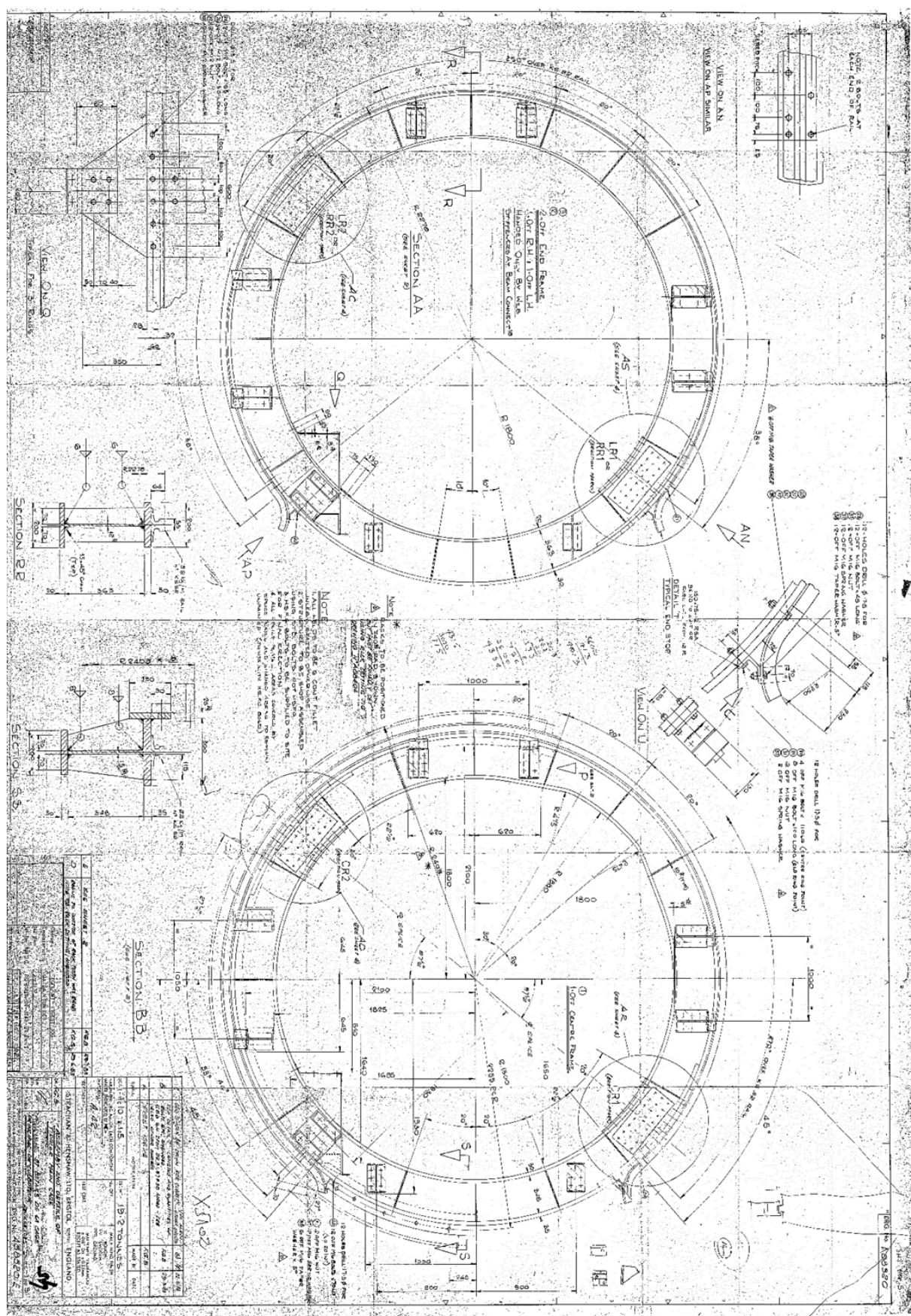


Figure 29 : dessin de définition de basculeur des wagons

5. Analyse AMDEC

L'analyse AMDEC consiste à évaluer l'état de l'équipement en déterminant une note de criticité. Il convient d'identifier les modes de défaillance, les causes potentielles de ces défaillances, ainsi que les effets qu'elles pourraient engendrer. Ensuite, on applique une simple multiplication des valeurs de gravité, de non-détection et de fréquence pour obtenir la note de criticité ($C = F * N * G$). Suite à cette analyse, des mesures correctives sont recommandées afin de remédier les défaillances identifiées et de réduire la probabilité de sa survenue.

Le tableau suivant représente l'AMDEC de culbuteur à wagon pour la partie de commande

Tableau 19 : AMDEC de partie commande

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités									
	Culbuteur à wagons Sous-ensemble : Partie commande				Evaluation de Criticité				Les actions correctives
Les éléments	Fonction	Modes	Causes	Effets	G	F	N	C	
Pignon d'attaque	Transmettre le mouvement du réducteur à la couronne dentée	Usure des dents	Manque de lubrification Désalignement Surcharge	Blocage de rotation de virole	3	2	2	12	Changement de pignon d'attaque Graissage de pignon Remise d'alignement
Servo-frein	Assurer le freinage du virole	Blocage Freinage incomplet	Surcharge Usure des patins	Perte de contrôle ou de freinage de virole	4	2	2	16	Changement des patins Eviter les surcharges

Tableau 19 : AMDEC partie commande

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités									
	Culbuteur à wagons Sous-ensemble : Partie commande				Evaluation de Criticité				Les actions correctives
Les éléments	Fonction	Modes	Causes	Effets	G	F	N	C	
Moteur électrique	Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation	Détruit de bobinage	Température élevée	Arrêt de rotation					Nettoyage des ventilateurs du moteur
		Brulage du moteur	Surcharge		4	2	1	8	Mesure de vibrations
Les panneaux de commande	Permet de manipuler la machine	Refus des commandes	Pas alimentation	Perdu le contrôle De la machine					Vérifier de câblage électrique
			Fusibles endommager		3	2	2	12	Vérifier les fusibles et les câbles de connexion
Réducteur de vitesse	Réduire la vitesse du moteur	Détruit des dents	Para-huile détruit	Blocage de rotation de culbuteur					Changement des para- huiles
		Fuite d'huile	Température élevée		3	2	2	12	Nettoyage de réducteur
Couronne denté	Transmettre du mouvement de rotation de pignon denté vers la virole rotative	Usure	Manque de lubrification	Mauvais alignement					Graissage de couronne
		Fissure	Surcharge	Vibration	2	2	1	4	Serrage des boulons de fixation
		Cisaillement	Fatigue de matériaux	Surchauffe					Eviter les surcharges

Nous allons maintenant introduire le tableau AMDEC de système de supportage

Tableau 21 : AMDEC de système de supportage

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leurs criticités									
	Culbuteur à wagons Sous-ensemble : Système de supportage				Evaluation de Criticité				Les actions correctives
Les éléments	Fonction	Modes	Causes	Effets	G	F	N	C	Changement périodique des paliers
Les Galets de supportage	Supporter la virole	Usure	Surcharge	Blocage de rotation de virole	3	2	1	6	Graissage des paliers
		Échauffement des paliers	Manque de lubrification	Dérapage					Respecter les limites de charge
		Cisaillement	Paliers défectueux						
Les rails	Guider les wagons en translation	Déformation	Surcharge	Dérapage de trajet	2	1	1	2	Respecter les limites de charges
		Usure	Fatigue des matériaux	Vibration					Nettoyage des rails
		Cisaillement							
La virole Rotative	Contenir les wagons	Fissure	Surcharge	Chute des wagons	3	1	2	6	Eviter les surcharge
		Usure	Fatigue des matériaux						Surveillance périodique de l'état de virole
		Cisaillement							
Couronne lisse	Guider la virole en rotation	Usure	Surcharge	Dérapage de trajet	3	2	1	6	Graissage
		Déformation	Fatigue de matériaux	Vibration					Eviter les surcharges
		Fissure							

6. hiérarchisation des défaillances

Pour plus de clarification en regroupant les défaillances en trois catégories comme il est montré le tableau suivant

- Priorité 1 : La criticité est supérieure à 12 (Défaillance critique)
- Priorité 2 : La criticité varie entre 9 et 12 (Défaillance à surveiller ou réparer)
- Priorité 3 : La criticité inférieure à 3 (Défaillances négligeable)

Tableau 20 : Hiérarchisation des défaillances

Hiérarchisation des défaillances		
Classe	Eléments	Valeur de criticité
Priorité 1	➤ Le servo-frein	$C > 12$
Priorité 2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pignon d'attaque ➤ Le réducteur de vitesse ➤ Les panneaux de commandes 	$9 \leq C \leq 12$
Priorité 3	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le moteur électrique ➤ La couronne dentée ➤ Le système de supportage 	$C < 9$

Le but de la hiérarchisation des défaillances d'un système est de prioriser les défaillances en fonction de leur criticité et de leur impact potentiel sur le système. Cela permet de concentrer les ressources et les efforts sur les défaillances les plus critiques, afin de les prévenir, de les éviter ou de les traiter en priorité.

La hiérarchisation des défaillances permet également de guider la prise de décision pour distribuer les ressources de manière efficace et optimale, en se concentrant sur les défaillances ayant le plus grand potentiel de causer des dommages importants, des risques pour la sécurité ou des perturbations significatives dans le fonctionnement du système. Cela contribue à améliorer la fiabilité, la sécurité et les performances globales du système.

En règles générales, on tendra vers une diminution de des actions de maintenances correctives au profit d'actions préventives, Mais il faut savoir qu'on ne peut pas tout prévoir cela signifie que les action correctives et préventives vont être complémentaire et que la part de préventives que l'on va adopter peut se déterminer à partie des considérations économiques.



Après avoir établi les tableaux AMDEC pour les différents composants de culbuteur à wagons, nous avons proposé quelques actions d'atténuation dans la section qui suit

Tableau 21 : Liste des actions d'atténuation

La criticité des éléments	Actions d'atténuation
Basse	Surveillance avec Réalisation des maintenances préventives
Modéré	Entretien systématique de système
Élevée	Maintenance préventive Maintenance corrective Contrôle contenu
Très élevée	Développement de plan de maintenance Surveillance particulière

8. Analyse des résultats

On a remarqué que la majorité des défaillances rencontrés dans ce système sont dus aux surcharges et à cause de manque de lubrification. Pour éviter ce genre des problèmes il est recommandé de faire un contrôle systématique de l'usure et assurer la lubrification de tous les composants mécaniques. Pour être sûr que l'usure ne se propage plus et que les défaillances n'altèrent pas le fonctionnement de culbuteur et il faut respecter les normes de charge maximale. Tous ces règles va aideront à améliorer les performances et la disponibilité de basculeur des wagons

Aussi pour augmenter la disponibilité de culbuteur à wagons il faut veiller à l'application des actions de maintenance préventive (systématique ou conditionnelle) avec une surveillance périodique stricte sur les sous-systèmes ayant une criticité supérieure ou égale à 9.

C'est pourquoi il est nécessaire de faire ces actions de façon périodique

- Réaliser un plan de maintenance pour planifier et organiser toutes les interventions
- Respecter les normes de sécurité et de charge maximal
- Assurer les maintenances préventives de façon périodique pour diminuer le risque des pannes
- Refaire l'étude AMDEC systématiquement
- Tenir en stock de sécurité de pièces de rechange a première nécessité.
- Prenez soin l'état de machine en effectuer les réparations et les nettoyages
- Vérification de sécurité : vérifiez régulièrement les composants de sécurité de l'équipement, tels que les freins, les gardes de sécurité. Réparez ou remplacez les composants défectueux immédiatement.

9. Réalisation de plan de maintenance

Le plan de maintenance préventive est une meilleure méthode pour minimiser le taux des défaillances et garder les équipements en bon état de fonctionnement, il a comme rôle principale augmenter la disponibilité des machines et diminuer les temps d'arrêts.

Le plan de maintenance de culbuteur à wagons est présenté comme suit :

- Développer le calendrier de maintenance préventive de basculeur qui tient compte les tâches de maintenance nécessaires et leurs fréquences comme il est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 22 : Plan de maintenance préventive de culbuteur à wagons

Les actions de maintenances	Fréquence
Changements des patins de freinage	Lorsqu'ils atteignent une épaisseur de 2 mm à 3 mm
Changement d'huile de réducteur hydraulique	Entre le 20000 et 30000 heures de fonctionnement
Graissage des engrenages et des galets	Chaque mois
Nettoyage des rails, ventilateur du moteur et des composants exposer aux poussières	Chaque mois
Vérification de l'état de virole rotative contre le fissure et l'usure	Chaque trois mois
Changement des para-huiles et des roulements	Chaque six mois
Remplissage les fusibles et vérification des circuit électriques	Chaque six mois

- Noter toutes les interventions dans le document historique de machine pour faciliter l'évaluation de l'état de machine et prévenir les défaillances fréquentes aussi pour aider les techniciens aux diagnostics de l'équipement.
- Pour rendre le plan de maintenance plus efficace il est nécessaire de fournir les pièces de rechanges et ça se fait à l'aide de stock qui doit contenir tous les composants nécessaires pour effectuer les réparations.

10. conclusion

A l'aide de méthode AMDEC on a évaluer l'état de basculeur et on a mettre en valeur les points faibles de système, cette méthode d'analyse nous facilite la détection des défaillances présentes et leurs causes ce que nous permet de guider la prise de décision pour choisir les actions nécessaires selon la criticité de chaque panne. En conclusion l'AMDEC est une grande évolution dans le domaine de maintenance grâce à son efficacité, facilité, exhaustivité et leur focalisation sur la prévention des défaillances.

Conclusion générale

Ce projet consiste à appliquer la méthode AMDEC (Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités) sur un cas réel. Pour cela, nous avons choisi le sécheur granulateur de TSP et le culbuteur à wagons installé dans le groupe chimique tunisien (Usine m'dhilla) ces deux équipements jouent un rôle important dans la production de triple super phosphate et même dans l'industrie minière. Malgré leurs importances ils souffrent des plusieurs problèmes de fonctionnement, est notre rôle est de détecter ces pannes en identifier leurs causes pour minimiser leurs taux de défaillances.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté le groupe chimique tunisien et définir la maintenance en précisant leur importance, nous avons introduit la méthode AMDEC, ses applications, son histoire et comment l'appliquer. Puis nous avons décrit le sécheur granulateur et le culbuteur à wagons pour donner une idée sur les équipements étudiées.

Le deuxième et le troisième chapitre représentent la démarche d'application de la méthode AMDEC sur les composants de sécheur-granulateur et de culbuteur à wagons, nous avons proposé à la fin de chaque chapitre un plan d'actions de maintenance pour éviter les pannes imprévues est diminuer le cout de maintenance.

Les privilèges de la méthode AMDEC résident dans sa capacité à identifier et à évaluer les risques liés aux défaillances, à prioriser les actions de réduction des risques et à favoriser une approche proactive de la prévention des défaillances, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité et de la fiabilité des équipements.

On peut classer cette méthode d'analyse une des meilleurs outils de sureté de fonctionnement et de qualité mais elle présente des difficultés comme la nécessité des expertises et des données précises aussi elle ne prend pas en compte les facteurs humains ou les défaillances systémiques plus complexes

Dans certains cas, il est nécessaire d'utiliser une autre méthode d'analyse complémentaires afin d'effectuer une évaluation plus approfondie des défaillances, comme la méthode RCA (Root Cause Analysis)

Liste des références

- <http://www.gct.com.tn/accueil/>
- <http://www.gct.com.tn/chaine-de-valeur/production-du-gct/>
- <http://frightmachinery.com/1h-granulation-dryer-4.html>
- M. BOUSSEROUEL ; S. BENKADDOUR ; Application de méthode AMDEC afin d'établir un plan de maintenance dédié à un système de production (cas système MPS 500du laboratoire MELT ; Juin 2019
- Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effect analysis : FMEA from theory to execution. ASQC Qualité Press
- Abdul Rahman, A. R., & Rajkumar, R. (2016). Implementation of FMEA for process

Résumé

Les systèmes de production sont devenus très importants de nos jours, soit de point de vue Entreprise ou Client ; c'est pour ça que toutes les entreprises cherchant à satisfaire leurs clients donnent à la sûreté de fonctionnement une grande considération dans la prise de décision. Dans ce manuscrit, nous avons introduit la méthode AMDEC, qui fait partie de la sûreté de fonctionnement et qui a pour but la création des plans de maintenance des différents systèmes, et nous l'avons appliqué sur un cas réel qui sont le sécheur granulateur de TSP et le culbuteur à wagons installés au groupe chimique tunisien usine M'dhilla. Par la suite, nous avons proposé des actions de maintenance correctives et préventives afin d'aider les ingénieurs responsables de la maintenance de prendre les bonnes décisions en cas de dysfonctionnements ou de problèmes techniques, voire améliorer la performance de des deux systèmes.

Mots clés : AMDEC, Maintenance, défaillances, plan de maintenance, disponibilité

Abstract

Production systems have become very important nowadays, both from a business and customer perspective. That's why all companies seeking to satisfy their customers give significant consideration to operational reliability in their decision-making process. In this manuscript, we introduced the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method, which is part of operational reliability and aims to create maintenance plans for different systems. We applied this method to a real case study, specifically the TSP granulator dryer and wagon tippler at the Tunisian Chemical Group's M'dhilla plant. Furthermore, we proposed corrective and preventive maintenance actions to assist maintenance engineers in making the right decisions in the event of malfunctions or technical issues, and even to improve the performance of both systems.

Keywords : FMEA, Maintenance, Failures, Maintenance Plan, availability