
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

Thème

**ANALYSE DYSFUNCTIONNELLE
DU MOTEUR DE LANCEMENT POUR TURBINE A
GAZ DE MOYENNE PUISSANCE**

Préparé par :

KHELELFA Belkacem

Soutenu publiquement le : **13 / 06 / 2024**, devant le jury composé de :

M. ATHMANI Houari	Maître assistant "A" (Université de Tiaret)	Président
M. ARARIA Rabah	Maître de conférences "A" (Université de Tiaret)	Examineur
M. ASRI Aïcha	Maître de conférences "B" (Université de Tiaret)	Examineur
M. GUEMMOUR Mohamed	Maître de conférences "B" (Université de Tiaret)	Encadrant.

Année universitaire : **2023 - 2024**

Dédicace

Je dédie ce modeste travail A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles de ma vie :

A mes très chers parents qui ont sacrifié toute leur Vie pour me soutenir et

m'encourager à réaliser mes rêves et Ambitions, qu'ils trouvent ici tout

mon amour et ma gratitude.

Spécialement à mon grand frère « Amar »

A mes chers frères et ma sœur

A mes chers amis

A ceux qui m'ont toujours encouragé

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah le Tout-Puissant, mon Créateur, qui m'a donné la force d'accomplir ce modeste travail.

Ce mémoire de fin d'études n'aurait pu aboutir sans la contribution de nombreuses personnes, que je tiens aujourd'hui à remercier avec plaisir et devoir.

Avant tout, je tiens à remercier Monsieur le membre du jury pour sa collaboration lors de l'examen de ce travail et sa participation à la soutenance.

J'adresse tout particulièrement ma reconnaissance à mon directeur de recherche, Monsieur GUEMMOUR MOHAMED BOUTKHIL, pour son encadrement de cette thèse, ses conseils et son aide. Je n'oublie pas non plus les enseignants du département de génie mécanique.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, et je leur exprime ma profonde gratitude et mon respect.

Sommaire

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre 01 : Analyse dysfonctionnelle

1.1 Introduction.....	4
1.2 Analyse dysfonctionnelle	4
1.2.1 Définition	4
1.2.2 Etapes de l'analyse dysfonctionnelle	4
1°. Définir le contexte et les objectifs de l'analyse	4
2°. Décomposer le système en éléments fonctionnels	4
3°. Identifier les modes de défaillance potentiels	4
4°. Analyser les effets des défaillances	5
5°. Évaluer la criticité des défaillances	5
6°. Identifier les causes des défaillances	5
7°. Recommander des actions préventives et correctives	5
1.2.3 Outils pour l'analyse dysfonctionnelle.....	5
1.2.4 L'analyse Préliminaire des Risques (APR)	6
1°. Définition.....	6
2°. Domaine D'application	6
3°. Principe de L'APR.....	6
4°. Recherches des causes	7
5°. Estimation de l'intensité.....	7
6°. Déroulement	8
7°. Limites et avantages.....	8
1.2.5 ARBRE DE DEFAILLANCE	9
1°. Définition.....	9
2°.Domaine d'application.....	9
3°. Principe.....	9
4°. Définition de l'évènement redouté	10
5°. Elaboration de l'arbre	11

6°. Exploitation de l'arbre	12
7°. Exploitation qualitative de l'arbre des défaillances	12
8°. Exploitation quantitative de l'arbre de défaillances	13
9°. Limites et avantages.....	14
1.2.6 AMDEC	14
1°. Historique	14
3°. Définition.....	15
4°. But.....	15
5°. Principe.....	15
6°. Démarche.....	16
7°. Limites de l'AMDEC	18
8°. Avantages de l'AMDEC.....	19
1.3 CONCLUSION	19

Chapitre 02 : Installation pompage

2.1 Introduction.....	21
2.2 Site Industrielle Sp3	21
2.3 Installation de turbopompes.....	27
2.4 Moteur de lancement	32
2.4.1 Introduction	32
2.4 .2 Historique	32
2.4 .3 Constitution de la machine asynchrone	33
2.4.4 Principe de fonctionnement	38
2.4.5 Variateurs de vitesse du moteur asynchrone :(ACS-600).....	41
2.4.5 Modes de défaillances.....	44
2.5 CONCLUSION	45

Chapitre 03 : Etude de cas

3.1 Introduction.....	47
3.2 Arbre de défaillance	47
3.2.1 Définition	47
3.2.2 Rôle des arbres de défaillances	48
3.2.3 Représentation graphique	48
3.2.4 Construction d'un arbre de défaillances	50
3.2.4.1 Principe	50
3.2.4.2 Etapes de construction	51
3.2.5 Avantages et inconvénients	52
3.3 Application.....	53
3.3.1 Identification de l'évènement redouté.....	53
3.3.2 Construction de l'arbre de défaillance	54
3.4 Conclusion	56
Conclusion générale.....	57

Bibliographie

Résumé

Nomenclature et abréviations

APR : L'analyse Préliminaire des Risques

AMDEC : L'Analyse des Modes de défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité.

AdD : L'arbre de défaillance.

E&P : L'activité exploration et production

TRC : L'activité transport par canalisation des hydrocarbures liquides et gazeux

LRP : L'Activité Liquéfaction, Raffinage, Pétrochimie

COM : L'activité Commercialisation.

SP3 : Station de pompage 03.

RTH : Région Transport Haoud El Hamra.

CDHL : Centre de dispatching des hydrocarbures liquides HEH

CNDG : Centre National de dispatching gaz HRM

HRM : Hassi rmel.

SP5 : Station pompage 05.

MAS : Machine asynchrone.

ACS 600 : Variateur de fréquence.

ML : Moteur de lancement.

ACC : Accouplement.

RDA : Réducteur des auxiliaires.

C AXIAL : Compresseur axial.

T : Turbine.

TAG : Turbine à gaz.

RDP : Réducteur de pression.

PCM : Pompe centrifuge multicellulaire (Guignard).

ER : Evènement redouté

Liste des figures :

Figure 2.1 Réseau des principaux pipelines.	22
Figure 2.2 Carte d'emplacement des stations de pompage sur l'oléoduc OZ1 et OZ2	23
Figure 2.3 Photo d'ensemble de la station SP3 OZ1/OZ2 et de la station mitoyenne SP3 LNZ1	24
Figure 2.4 Station OZ1 '28' premier ouvrage réalisé par SONATRACH mise en service en 1966 capacité de transport 21MTA de pétrole.	25
Figure 2.5 Station OZ2 '34' réalisé en parallèle de OZ1 afin d'augmenter la capacité de transport du pétrole mise en service en 2003 capacité de transport 34MTA.....	25
Figure 2.6 Organigramme de la station de pompage SP3	26
Figure 2.7 STATION LNZ1 '12', mis en service 1973, capacité de transport 0.85 MTA de GPL.....	26
Figure 2.8 Centrale électrique, composée de trois turboalternateurs d'une puissance totale de 3.6 MW.....	27
Figure 2.9 Machine asynchrone.....	28
Figure 2.10 variateur de fréquence	28
Figure 2.11 Turbine à gaz TORNADO "Double Corps".....	29
Figure 2.12 : Pompe multicellulaire (Guignard)	30
Figure 2.13 : Turbopompe.....	31
Figure 2.14 Vue éclatée de la machine asynchrone.	34
Figure 2.15 Différentes parties qui constituent le stator de la machine asynchrone ..	36
Figure 2.16 Rotor de la machine asynchrone à cage.	37

Figure 2.17 Principe de fonctionnement d'une MAS.....	39
Figure 2.18 Variateurs de vitesse d'une MAS.	41
Figure 2.19 Caractéristiques du couple en fonction du glissement.....	43
Figure 2.20 Caractéristiques du couple en fonction de la vitesse.	43

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : échelle de cotation de l'intensité des phénomènes dangereux identifiés	7
Tableau 1.2 : Exemple de tableau de type (APR).	8
Tableau 2.1 : Modes défaillance du moteur du lancement.	45
Tableau 3.1 Liste des événements probables	54
Tableau 3.2 : Symboles des évènements dans les arbres de défaillances.....	49
Tableau 3.3 : Symboles des portes dans les arbres de défaillances	49

**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Le présent travail s'inscrit dans un contexte technologique en relation avec l'industrie des hydrocarbures et en particulier le pompage et transport par canalisation. Ce processus nécessite l'exploitation des pompes centrifuges multicellulaires. Ces dernières, sont entraînées par des turbines à gaz de moyenne puissance, dont le lancement est assuré par un moteur électrique triphasé asynchrone.

Notre thème entre dans le cadre de la maintenance préventive en relation avec le diagnostic des machines tournantes à travers l'utilisation des méthodes d'analyse dysfonctionnelle appliquée au moteur électrique.

Le problème traité porte sur la ligne d'arbre de l'une des turbopompes utilisées au niveau de la station pompage 03 (SP3) pour transférer le brut du site de Haoud el Hamra vers d'autres stations. La ligne d'arbre en question, constituée d'une pompe centrifuge multicellulaire (Guignard) entraînée par un réducteur de vitesse lui-même actionné par une turbine à gaz (Tornado). Cette dernière est lancée par un moteur électrique en prise directe sans l'existence d'un organe de transmission de puissance intermédiaire tel que coupleur et embrayage hydraulique. Cette prise directe entre la turbine à gaz et son moteur de lancement maintient ce dernier en mouvement de rotation continu durant le pompage. Ce mode de fonctionnement du moteur de lancement, met les anomalies liées au démarrage du moteur à la tête de nos préoccupations.

L'objectif de notre travail consiste à traiter les problèmes, et les défauts d'ordre mécaniques et/ou électriques qui peuvent survenir ou bien influencer et perturber le démarrage du moteur de lancement. Notre approche était basée sur l'utilisation de la technique de l'arbre de défaillance. Le résultat obtenu peut être mis à la disposition des hommes de maintenance pour les aider à mener des actions de diagnostic pour prévoir les défaillances relatives du moteur de lancement.

Notre mémoire est divisée en 3 chapitres. Le premier chapitre présente les différents outils de l'analyse dysfonctionnelle, le deuxième était consacré en premier lieu à la présentation du site industriel, à l'installation de pompage (pompe, turbine à gaz, le système ACS pour la variation de vitesse, moteur du lancement) et en deuxième lieu aux modes de défaillances du moteur électrique. Le troisième chapitre a fait l'objet du traitement du mode « moteur ne démarre pas » en utilisant l'arbre de défaillance avec analyse qualitative (sans probabilité). Enfin une conclusion a été donnée pour clore notre mémoire.

Chapitre 01

ANALYSE DYSFUNCTIONNELLE

1.1 Introduction

Pour comprendre les causes des défaillances et leur impact sur la fiabilité, on utilise une les méthodes de l'analyse dysfonctionnelle. Ces méthodes trouvent leur intérêt dans de nombreux domaines, tels que l'industrie pétrolière, aéronautique, automobile, nucléaire etc... Elles permettent d'identifier et de comprendre les défaillances potentielles d'un système avant qu'elles ne surviennent. En anticipant ces défaillances, il est possible de mettre en place des mesures préventives et de réduire considérablement les risques d'accidents et d'incidents. Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents outils ou approches de l'analyse dysfonctionnelle, en détaillant ses étapes, ses différentes méthodes et son fonctionnement.

1.2 Analyse dysfonctionnelle

1.2.1 Définition

En maintenance industrielle, l'analyse dysfonctionnelle est une activité technique de la fonction maintenance qui consiste à identifier les conditions (causes) qui peuvent conduire à des modes de défaillances et à prévoir leurs conséquences (effets) sur la sûreté de fonctionnement d'un système technique lors de la phase utilisation. Elle est menée à partir d'informations diverses dont le tri et l'analyse permettent de concevoir un modèle du système étudié [1].

1.2.2 Etapes de l'analyse dysfonctionnelle

L'analyse dysfonctionnelle est un processus structuré qui permet d'identifier les défaillances potentielles d'un système et d'en comprendre les causes. Elle se déroule généralement en plusieurs étapes :

1°. Définir le contexte et les objectifs de l'analyse

La première étape consiste à définir le contexte de l'analyse, c'est-à-dire le système ou le processus à analyser, ainsi que les objectifs de l'analyse. Il est important de préciser les questions auxquelles l'analyse doit répondre et les informations que l'on souhaite obtenir.

2°. Décomposer le système en éléments fonctionnels

La deuxième étape consiste à décomposer le système en éléments fonctionnels. Cela permet d'identifier les différentes fonctions du système et de comprendre les interactions entre les éléments.

3°. Identifier les modes de défaillance potentiels

Pour chaque élément fonctionnel, il faut identifier les modes de défaillance potentiels. Un mode de défaillance est une manière dont un élément peut ne pas fonctionner comme prévu. L'identification des modes de défaillance peut se faire à l'aide de différentes techniques, telles que le brainstorming, l'analyse des données historiques ou l'utilisation de méthodes formelles.

4°. Analyser les effets des défaillances

Pour chaque mode de défaillance, il faut analyser les effets sur le système. Cela permet de comprendre les conséquences de la défaillance sur le fonctionnement du système et sur la sécurité des utilisateurs.

5°. Évaluer la criticité des défaillances

La criticité d'une défaillance est une mesure de la gravité de ses conséquences. Il existe différentes méthodes pour évaluer la criticité des défaillances, telles que l'analyse des risques ou l'analyse multicritère.

6°. Identifier les causes des défaillances

Pour chaque défaillance, il faut identifier les causes potentielles. Cela permet de comprendre les mécanismes qui conduisent à la défaillance et de mettre en place des actions préventives.

7°. Recommander des actions préventives et correctives

La dernière étape consiste à recommander des actions préventives et correctives pour réduire le risque de défaillance. Les actions préventives visent à empêcher que la défaillance ne se produise, tandis que les actions correctives visent à limiter les conséquences de la défaillance si elle se produit.

1.2.3 Outils pour l'analyse dysfonctionnelle

L'analyse dysfonctionnelle est une méthode essentielle pour identifier et comprendre les défaillances potentielles d'un système. Elle permet de mettre en place des actions préventives et correctives afin d'améliorer la fiabilité et la sécurité du système. Les principales méthodes d'analyse dysfonctionnelle sont les suivantes :

- L'analyse Préliminaire des Risques (APR)
- L'Analyse des Modes de défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC).

- L'arbre de défaillance (AdD).

1.2.4 L'analyse Préliminaire des Risques (APR)

1°. Définition

L'analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'usage très général couramment utilisée pour l'identification des risques au stade préliminaire de la conception d'une installation ou d'un projet. En conséquence, cette méthode ne nécessite généralement pas une connaissance approfondie et détaillée de l'installation étudiée. En ce sens [2].

2°. Domaine D'application

Elle est particulièrement utile dans les situations suivantes : Au stade de la conception d'une installation, lorsque la définition précise du procédé n'a pas encore été effectuée. Elle fournit une première analyse de sécurité se traduisant par des éléments constituant une ébauche des futures consignes d'exploitation et de sécurité. Elle permet également de choisir les équipements les mieux adaptés. Dans le cas d'une installation complexe existante, au niveau d'une démarche d'analyse des risques. Comme l'indique son nom, l'APR constitue une étape préliminaire, permettant de mettre en lumière des éléments ou des situations nécessitant une attention plus particulière et en conséquence l'emploi de méthodes d'analyses de risques plus détaillées. Elle peut ainsi être complétée par une méthode de type AMDEC ou arbre des défaillances par exemple. Dans le cas d'une installation dont le niveau de complexité ne nécessite pas d'analyses plus poussées au regard des objectifs fixés au départ de l'analyse des risques.

3°. Principe de L'APR

L'analyse Préliminaire des Risques nécessite dans un premier temps d'identifier les éléments dangereux de l'installation. Ces éléments dangereux désignent le plus souvent : Des substances ou préparations dangereuses, que ce soit sous forme de matières premières, de produits finis, d'utilités... Des équipements dangereux comme par exemple des stockages, zones de réception expédition, réacteurs, fournitures d'utilités (chaudière...), Des opérations dangereuses associées au procédé. L'identification de ces éléments dangereux est fonction du type d'installation étudiée. Il est également à noter que l'identification de ces éléments se fonde sur la description fonctionnelle réalisée avant la mise en œuvre de la méthode. À partir de ces éléments dangereux, l'APR vise à identifier, pour un élément dangereux, une ou plusieurs

situations de dangers. Dans le cadre de ce document, une situation de dangers est définie comme une situation qui, si elle n'est pas maîtrisée, peut conduire à l'exposition de cibles à un ou plusieurs phénomènes dangereux. Le groupe de travail doit alors en déterminer les causes et les conséquences de chacune des situations de dangers identifiés puis identifier les sécurités existantes sur le système étudié. Si ces dernières sont jugées insuffisantes vis-à-vis du niveau de risque identifié dans la grille de criticité, des propositions d'améliorations doivent alors être envisagées [3].

4°. Recherches des causes

Les causes des différents modes de défaillance ou des événements redoutés centraux peuvent être de plusieurs types : cause humaine, organisationnelle ou technique. Cause interne ou externe au procédé, à l'atelier ou au site.

5°. Estimation de l'intensité

L'intensité de chaque événement majeur identifié lors de l'analyse préliminaire des risques a été cotée selon l'échelle d'intensité ci-dessous. Cette estimation a été réalisée sans tenir compte des mesures de protection envisagées ou existantes.

Tableau 1.1 : échelle de cotation de l'intensité des phénomènes dangereux identifiés

	Niveau d'intensité	Description
Extérieur de site	4	Forte intensité- Effets Directs Extérieurs au site.
	3	Effets directs limités au site.
Sur site	2	Effets directs limités au bâtiment ou à l'unité.
	1	Effet locaux (poste de travail, atelier)

Les critères pris en compte lors de la cotation de l'intensité des phénomènes sont :

- ✓ La nature, les caractéristiques et la quantité de produit.
- ✓ Le volume et les caractéristiques des équipements mis en jeu.
- ✓ La localisation de l'installation par rapport aux limites de l'établissement.
- ✓ La possibilité d'effets dominos connus du groupe de travail...

Ainsi, les phénomènes dangereux côté 4, c'est à dire dont les effets sont susceptibles d'atteindre des enjeux extérieurs à l'établissement directement ou par effets dominos (accident majeur)

feront l'objet d'une analyse détaillée des risques intégrant la modélisation de ces phénomènes dangereux et l'estimation de la probabilité d'occurrence annuelle de ces phénomènes [4].

6°. Déroulement

L'utilisation d'un tableau de synthèse constitue un support pratique pour mener la réflexion et résumer les résultats de l'analyse. Pour autant, l'analyse des risques ne se limite pas à remplir coûte que coûte un tableau. Par ailleurs, ce tableau doit parfois être adapté en fonction des objectifs fixés par le groupe de travail préalablement à l'analyse.

Pour chaque fonction identifiée dans la phase de description des installations, les produits ou équipements sont passés en revue, en examinant les situations de dangers potentielles de manière systématique. Pour cela, il est fait appel à l'expérience et à l'imagination de chacun. L'analyse d'accidents constitue de plus une source d'information à privilégier. Le tableau ci-dessous est donc donné à titre d'exemple.

Tableau 1.2 : Exemple de tableau de type (APR).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
N°	Équipement Ou opération	Évènement initiateur	Évènement Redouté central	Phénomènes dangereux	Effets majeurs	Mesures de prévention	Mesures de production	Intensité

7°. Limites et avantages

Le principal avantage de l'Analyse Préliminaire des Risques est de permettre un examen relativement rapide des situations dangereuses sur des installations. Par rapport aux autres méthodes présentées ci-après, elle apparaît comme relativement économique en termes de temps passé et ne nécessite pas un niveau de description du système étudié très détaillé.

Cet avantage est bien entendu à relier au fait qu'elle est généralement mise en œuvre au stade de la conception des installations. En revanche, l'APR ne permet pas de caractériser finement l'enchaînement des événements susceptibles de conduire à un accident majeur pour des systèmes complexes. Comme son nom l'indique, il s'agit à la base d'une méthode préliminaire d'analyse qui permet d'identifier des points critiques devant faire l'objet d'études plus détaillées. Elle permet ainsi de mettre en lumière les équipements ou installations qui peuvent nécessiter une étude plus fine menée grâce à des outils autre, son utilisation seule peut être jugée

suffisante dans le cas d'installations simples ou lorsque le groupe de travail possède une expérience significative de ce type d'approches [3].

1.2.5 ARBRE DE DEFAILLANCE

1°. Définition

L'arbre de défaillance (ADD) est une méthode déductive, qui fournit une démarche systématique pour identifier les causes d'un événement unique intitulé « événement redouté : ER » Il consiste en une représentation graphique des combinaisons possibles d'événements qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini en mettant en évidence les relations de causes à effets. Il est complété par un traitement mathématique qui permet la combinaison de défaillances simples ainsi que de leur probabilité d'apparition et de quantifier la probabilité d'occurrence d'un événement indésirable. Il est nécessaire que les événements soient indépendants entre eux. Leurs probabilités d'occurrence doivent pouvoir être quantifiées (condition nécessaire seulement dans le cas où l'arbre est destiné à une analyse quantitative). Contrairement à l'approche inductive de l'AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) qui ne cible pas les conséquences des défaillances élémentaires, l'approche déductive de l'arbre de défaillance permet de focaliser exclusivement sur les défaillances contribuant à l'événement redouté. [5]

2°.Domaine d'application

L'analyse par arbre des défaillances est maintenant appliquée dans de nombreux domaines tels que l'aéronautique, le nucléaire, l'industrie chimique... Elle est aussi utilisée pour analyser a posteriori les causes d'accidents qui se sont produits. Dans ces cas, l'événement redouté final est généralement connu car observé. On parle alors d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal étant de déterminer les causes réelles qui ont conduit à l'accident.

3°. Principe

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'événements ou combinaisons d'événements pouvant finalement conduire à cet événement.

Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux événements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté. Les événements de base correspondent généralement à des :

✓ Évènements élémentaires qui sont suffisamment connus et décrits par ailleurs pour qu'il ne soit pas utile d'en rechercher les causes. Ainsi, leur probabilité d'occurrence est également connue.

✓ Évènements ne pouvant être considérés comme élémentaires mais dont les

Causes ne seront pas développées faute d'intérêt.

✓ Évènements dont les causes seront développés ultérieurement au gré d'une nouvelle analyse par exemple.

✓ Évènements survenant normalement et de manière récurrente dans le fonctionnement du procédé ou de l'installation.

✓ Quelle que soit la nature des éléments de base identifiés, l'analyse par arbre des défaillances est fondée sur les principes suivants :

- Ces évènements sont indépendants.
- Ils ne seront pas décomposés en éléments plus simples faute de renseignements, d'intérêt ou bien parce que cela est impossible.
- Leur fréquence ou leur probabilité d'occurrence peut être évaluée.

L'analyse par arbre des défaillances d'un événement redouté peut se décomposer en trois étapes successives :

✓ Définition de l'événement redouté étudié.

✓ Elaboration de l'arbre.

✓ Exploitation de l'arbre.

✓ Il convient d'ajouter à ces étapes, une étape préliminaire de connaissance du système. Nous verrons que cette dernière est primordiale pour mener l'analyse et qu'elle nécessite le plus souvent une connaissance préalable des risques.

4°. Définition de l'évènement redouté

La définition de l'événement final, qui fera l'objet de l'analyse, est une étape cruciale pour la construction de l'arbre. On conçoit que plus cet événement est défini de manière précise, plus simple sera l'élaboration de l'arbre des défaillances. Par ailleurs, s'agissant d'une méthode qui peut se révéler rapidement lourde à mener, elle doit être réservée à des évènements jugés particulièrement critiques.

De manière classique, les évènements considérés peuvent concerner :

✓ Le rejet à l'atmosphère de produits toxiques ou inflammables.

✓ Le risque d'incendie.

✓ Le risque d'explosion.

5°. Elaboration de l'arbre

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'évènement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des évènements élémentaires. L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement suivant : il est nécessaire de respecter certaines règles supplémentaires à observer durant la construction de l'arbre à savoir :

❖ Vérifier que le système est cohérent, c'est-à-dire que :

✓ La défaillance de tous ses composants entraîne la défaillance du système.

✓ Le bon fonctionnement de tous ses composants entraîne le bon fonctionnement du système.

✓ Lorsque le système est en panne, le fait de considérer une nouvelle défaillance ne rétablit pas le fonctionnement du système.

✓ Lorsque le système fonctionne correctement, la suppression d'une défaillance ne provoque pas la défaillance du système. Il peut en effet arriver qu'une défaillance survenant sur un composant annule les effets d'une défaillance antérieure et permet ainsi le fonctionnement du système. Dans un tel cas de figure (système non cohérent), le deuxième composant doit être supposé, dans l'analyse, en fonctionnement lorsque la première défaillance survient.

❖ S'assurer que tous les évènements d'entrée d'une porte logique ont bien été identifiés avant d'analyser leurs causes respectives.

❖ Éviter de connecter directement deux portes logiques

Ne sélectionner que les causes antérieures à l'existence de l'évènement considéré.

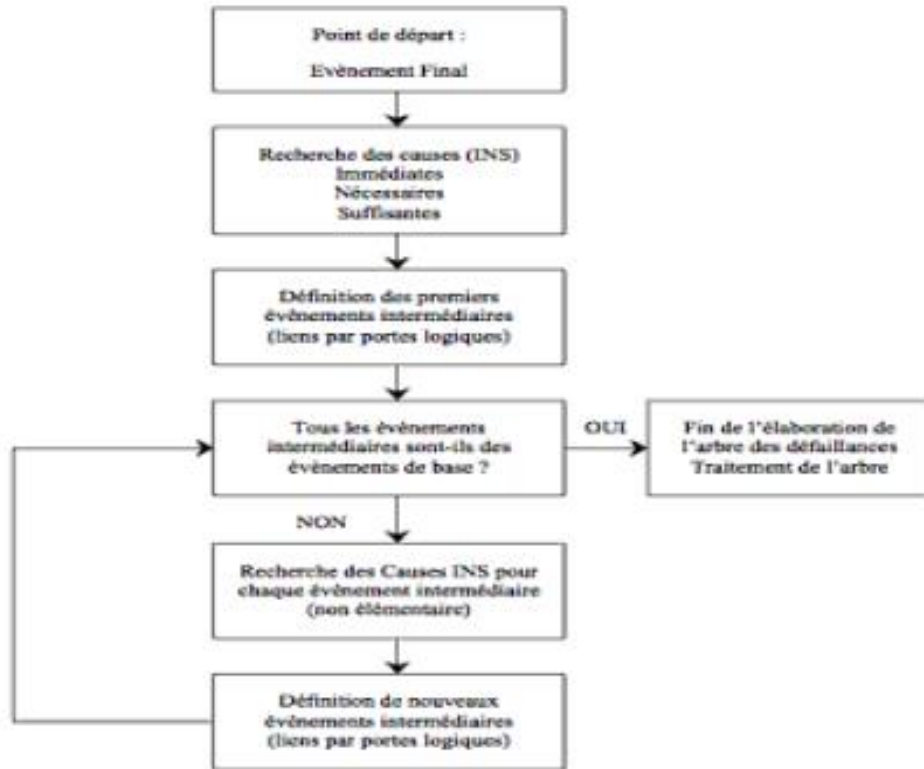


Figure 1.1 : Démarche pour l’élaboration d’un arbre des défaillances.

6°. Exploitation de l’arbre

◆ *Coupes minimales – Réduction de l’arbre* : Une coupe minimale représente la plus petite combinaison d’évènements pouvant conduire à l’évènement indésirable ou redouté. L’arbre réduit est le suivant :

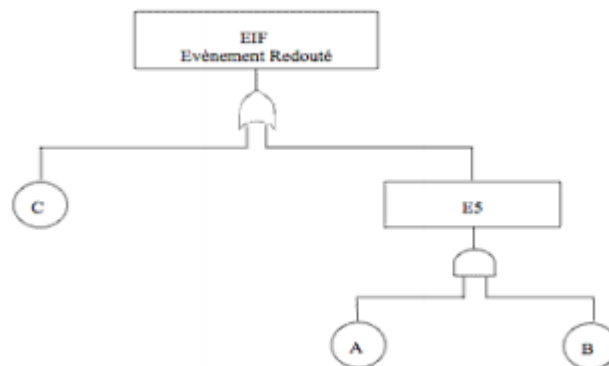


Figure 1.2 : Réduction de l’arbre des défaillances pris en exemple (VILLEMEUR, 1988)

7°. Exploitation qualitative de l’arbre des défaillances

L’exploitation qualitative de l’arbre vise à examiner dans quelle proportion une défaillance correspondant à un évènement de base peut se propager dans l’enchaînement des causes jusqu’à l’évènement final.

Pour cela, tous les évènements de base sont supposés équiprobables et on étudie le cheminement à travers les portes logiques d'évènement ou de combinaisons d'évènements jusqu'à l'évènement final.

8°. Exploitation quantitative de l'arbre de défaillances

L'exploitation quantitative de l'arbre des défaillances vise à estimer, à partir des probabilités d'occurrence des évènements de base, la probabilité d'occurrence de l'évènement final ainsi que des évènements intermédiaires. Il ne s'agit pas d'une démarche qui permet d'accéder avec exactitude à la probabilité de chaque évènement. Elle doit être mise en œuvre dans l'optique de hiérarchiser les différentes causes possibles et de concentrer les efforts en matière de prévention sur les causes les plus vraisemblables. En pratique, il est souvent difficile d'obtenir des valeurs précises de probabilités des évènements de base. En vue de les estimer, il est possible de faire appel à :

- ✓ Des bases de données,
- ✓ Des jugements d'experts,
- ✓ Des essais lorsque cela est possible,
- ✓ Au retour d'expérience sur l'installation ou des installations analogues

À titre d'exemple, appliquons cette démarche à l'arbre en supposant les probabilités des évènements de base connues :

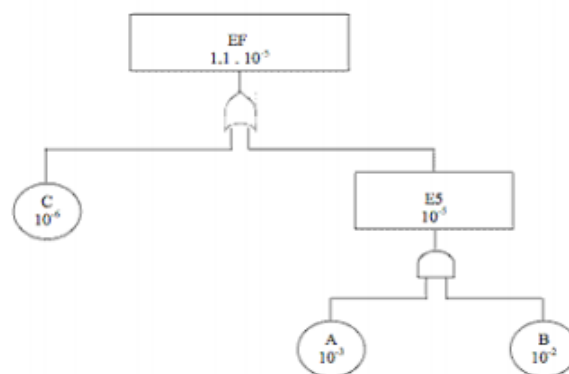


Figure 1.3 : Déterminations de la probabilité de l'évènement final

Cette exploitation quantitative de l'arbre, au même titre que son exploitation qualitative, ne peut être effectuée qu'à partir d'un arbre réduit.

La réduction de la probabilité de cet évènement final peut alors être envisagée de plusieurs manières :

- ✓ En supprimant ou réduisant la probabilité d'occurrence des événements de base,
- ✓ En améliorant la fiabilité du système par l'ajout de portes (ET) entre l'événement final et les événements de base.

9°. Avantages ADD

Le principal avantage de l'analyse par arbre des défaillances est qu'elle permet de considérer des combinaisons d'événements pouvant conduire in fine à un événement redouté. Cette possibilité permet une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents passés qui montre que les accidents majeurs observés résultent le plus souvent de la conjonction de plusieurs événements qui seuls n'auraient pu entraîner de tels sinistres. Par ailleurs, en visant à l'estimation des probabilités d'occurrence des événements conduisant à l'événement final, elle permet de disposer de critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels. L'analyse par arbre des défaillances porte sur un événement particulier et son application à tout un système peut s'avérer fastidieuse. En ce sens, il est conseillé de mettre en œuvre au préalable des méthodes inductives d'analyse des risques. Ces outils permettent d'une part d'identifier les événements les plus graves qui pourront faire l'objet d'une analyse par arbre des défaillances et d'autre part, de faciliter la détermination des causes immédiates, nécessaires et suffisantes au niveau de l'élaboration de l'arbre. Depuis une dizaine d'années, des logiciels informatiques sont commercialisés afin de rendre plus aisée l'application de l'arbre des défaillances. Ces outils se montrent très utiles pour la recherche des coupes minimales, la détermination des probabilités ainsi que pour la présentation graphique des résultats sous forme arborescente [6].

1.2.6 AMDEC

1°. Historique

L'AMDEC a été créée aux États-Unis par la société Mc Donnelly Douglas en 1966. Elle consiste à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences. La méthode a été mise au point par la NASA et le secteur de l'armement FMEA pour évaluer l'efficacité d'un système. Dans un contexte spécifique.

2°. Domaine d'application

Cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes où l'on doit respecter les objectifs de fiabilité et sécurité. À la fin des années '70', la méthode fut largement

adoptée par Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler et d'autres grands constructeurs d'automobiles. La méthode a fait ses preuves dans les industries suivantes : spatiale, armement, mécanique, électronique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimie.

3°. Définition

L'Association Française de normalisation (AFNOR) définit l'AMDEC comme étant : "Une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système". La méthode consiste à examiner méthodiquement les défaillances potentielles des systèmes (analyse de mode de défaillance) leurs causes et leurs conséquences sur le fonctionnement de l'ensemble (les effets). Après une hiérarchisation des défaillances potentielles, basée sur l'estimation du niveau de risque de défaillance, soit la criticité, des actions prioritaires sont déclenchées et suivies.

4°. But

Étudier et maîtriser les risques de défaillance d'un produit, d'un procédé de fabrication, d'un moyen ou d'un service. L'AMDEC permet donc : D'identifier les faiblesses potentielles du système : modes vraisemblables de défaillance, causes possibles pour chaque mode, ainsi que la mise en place de procédures d'exploitation, d'utilisation et de maintenance [7].

5°. Principe

Recenser les risques potentiels d'erreur (ou les modes de défaillance) et en évaluer les effets puis en analyser les causes.

L'AMDEC est d'identifier et de hiérarchiser les modes potentiels de défaillance susceptibles de se produire sur un équipement, d'en rechercher les effets sur les fonctions principales des équipements et d'en identifier les causes. Pour la détermination de la criticité des modes de défaillance, l'AMDEC requiert pour chaque mode de défaillance la recherche de la gravité de ses effets, la fréquence de son apparition et la probabilité de sa détectabilité.

Quand toutes ces informations sont disponibles, différentes méthodes existent pour déduire une valeur de la criticité du mode de défaillance. Si la criticité est jugée non acceptable, il est alors impératif de définir des actions correctives pour pouvoir corriger la gravité nouvelle du mode de défaillance (si cela est effectivement possible), de modifier sa fréquence d'apparition et d'améliorer éventuellement sa détectabilité [8].

6°. Démarche

Qu'elle porte sur un produit, un service, un système, un processus, la réalisation d'une AMDEC doit être collective, exhaustive et systématique. L'AMDEC est une démarche normalement collective. Idéalement, les différents participants représentent des points de vue ou expertises divers (conception, fabrication, exploitant...) et ont un pouvoir décisionnel pour engager le cas échéant des mesures correctives. Systématisme et exhaustivité sont assurés par l'examen de chaque mode de défaillance pour tous les composants du système. Pour chaque mode on identifie et évalue :

- ✓ Sa (ses) cause(s) et l'indice de fréquence (classe d'occurrence),
- ✓ Ses effets et l'indice de gravité (classe de sévérité)
- ✓ Les mesures mises en place pour détecter la défaillance et l'indice de détection (classe de probabilité de détection),

On calcule la criticité : (indice de fréquence) \times (indice de gravité) \times (indice de détection) :

- ✓ Si la criticité seuil est atteinte, on engage des actions correctives,
- ✓ Si le but poursuivi est l'amélioration, on traitera en priorité les causes des modes de défaillance présentant les plus fortes criticités [9].

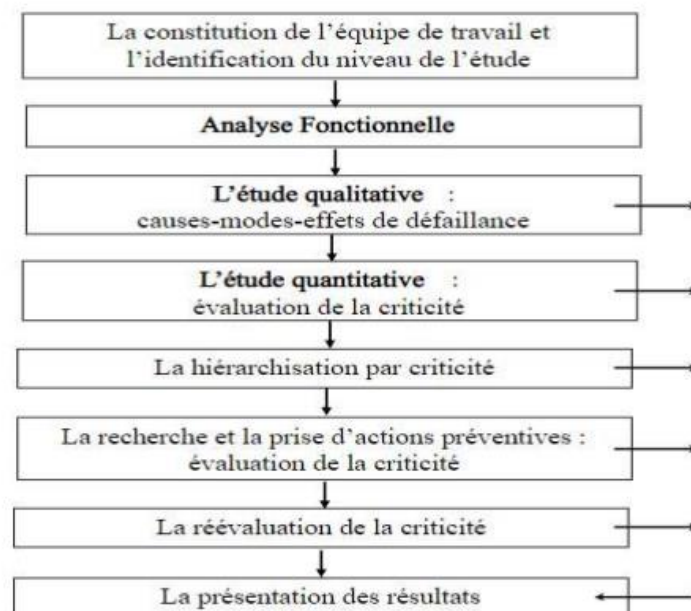


Figure1.4 : la démarche AMDEC.

Etape1 : La constitution de l'équipe de travail

Cette étape consiste à créer un groupe de travail, une équipe regroupant plusieurs secteurs de l'entreprise. En fonction du type d'AMDEC, les secteurs seront différents. Par exemple, Pour une AMDEC-processus, les secteurs invités peuvent être des personnes du service recherche, des achats, du marketing, de la maintenance, de la qualité, des méthodes et de la production. Un animateur compétent est primordial pour réussir avec succès cette AMDEC C'est ce responsable, cet animateur qui construira un tableau tel que celui ci-après avec 7 colonnes (repère et fonction du produit, mode de défaillance potentielle, effet de la défaillance, causes, évaluation (criticité), actions envisagées et mises en place et résultats. Le succès de cette méthode est meilleur lorsque les équipes sont constituées de membres actifs et peu nombreux (des groupes de travail de 6 ou 7 personnes sont efficaces).

• **Etape 2 : L'analyse fonctionnelle**

L'analyse fonctionnelle se décompose en 3 phases :

- Définir clairement le besoin. Concrètement décrire comment le besoin peut être satisfait ou non.

- Définir les fonctions du besoin. Chaque fonction doit répondre à la question : A quoi sert cette fonction ?

La réponse doit être formulée simplement : un sujet et un verbe.

- Etablir l'arbre fonctionnel. C'est un ensemble de fonctions principales, de sous-fonctions ou résultants de fonctions élémentaires.

• **Etape 3 : L'étude quantitative « Evaluation de la criticité »**

Cette étude consiste à identifier toutes les défaillances possibles, déterminer les modes de défaillances, identifier les effets, analyser et déterminer les causes possibles ou probables. L'exhaustivité de l'étude est ce qui garantira son succès. Le but de l'AMDEC est donc de mettre en évidence les points critiques, les éliminer et prévoir un mode de prévention.

• **Etape 4 : Etude quantitative**

C'est une estimation de l'indice de criticité des trois notions cause-mode-effet de la défaillance étudiée. On peut utiliser différents critères pour déterminer l'indice de criticité. En principe la défaillance est jugée plus importante si :

-Ces conséquences sont graves.

-La fréquence est importante.

-Le problème survient et qu'on risque de ne pas le détecter.

Dans la pratique on attribue 3 notes sur une échelle de 1 à 10.

La note **G** : pour la gravité de l'effet (conséquences sur le client).

La note **F** : occurrence probable, fréquence d'apparition.

La note **D** : risque de non-détection

L'indice de criticité **C** s'obtient en multipliant les 3 notes :

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

• **Etape 5 : Hiérarchisation**

Cette étape permet de décider des actions à mener en fonction de leur priorité

La hiérarchie est faite par ordre décroissant et en fonction de la note de criticité : ($C > 100$; $100 > C > 50$; $50 > C > 20$; $C < 20$).

• **Etape 6 : Recherche d'actions préventives et correctives**

Après avoir catégorisé les modes de défaillances en fonction des scores de criticité, le groupe choisira un responsable pour mener les actions correctives et préventives. Dans cette situation on utilise les outils typiques tels qu'Ishikawa, **Pareto**, **brainstorming** et autres travaux de groupe. Le but étant bien sûr d'agir de manière à diminuer les "scores" de chacun des indices (réduire la gravité, l'occurrence et l'inefficacité de détection de la défaillance).

• **Etape 7 : Suivi des actions menées et réévaluation de la criticité**

Pour permettre de vérifier la pertinence des actions menées, un nouveau calcul de la criticité est nécessaire. Ce nouvel indice de criticité, parfois appelé risque résiduel, est donc primordial pour mesurer l'efficacité, la performance des choix.

• **ETAPE 8 : Présentation des résultats :**

A l'issue de l'AMDEC, les résultats sont présentés sous forme de différents tableaux et graphiques.

7°. Limites de l'AMDEC

Si l'AMDEC est un outil très intéressant pour la sûreté de fonctionnement, elle ne permet pas cependant d'avoir une vision croisée des pannes possibles et de leurs conséquences : deux pannes surviennent en même temps sur deux sous-systèmes, quelle est la conséquence sur le système tout entier ? Dans ce cas, des études complémentaires sont nécessaires, par arbres de défaillances ou blocs diagrammes de fiabilité notamment. Par exemple, dans l'aéronautique, les accidents d'avions sont très rarement liés à une seule défaillance ; ils résultent généralement de plusieurs défaillances techniques ou organisationnelles qui se manifestent simultanément. L'AMDEC ne permet pas de tenir compte des phénomènes dynamiques. La qualité d'une AMDEC est liée à l'exhaustivité des modes de défaillance identifiés. Celle-ci est

fortement dépendante de l'expérience des auteurs de l'étude. De plus, l'outil AMDEC ne doit pas devenir une fin en soi. Les actions préconisées doivent être mises en œuvre et un suivi de leur efficacité doit être assuré [7].

8°. Avantages de l'AMDEC

L'AMDEC permet de répondre à ces exigences : délai, coût, qualité. Outil d'analyse préventif, l'AMDEC permet en effet de placer des points de contrôle à différentes étapes de chaque processus afin de délivrer un produit de qualité, qui respecte les attentes du client à tous les niveaux. [7]

1.3 Conclusion

L'analyse dysfonctionnelle est un outil précieux qui permet de cibler les zones à risque de défaillance et de cerner les liens logiques entre les événements précurseurs et les incidents. Cette analyse approfondie éclaire les mécanismes sous-jacents aux défaillances et permet ainsi d'anticiper et de prévenir les accidents. Ce chapitre a exploré les différentes méthodes et outils d'analyse dysfonctionnelle, en mettant en lumière leurs avantages et leurs limites. Nous avons également examiné les applications de cette approche dans divers domaines, illustrant son potentiel d'amélioration de la sécurité et de la fiabilité des systèmes.

Chapitre 02

INSTALLATION POMPAGE

2.1 Introduction

Les sites industriels (SONATRACH) modernes dépendent largement de systèmes de pompage fiables et performants pour assurer une alimentation continue en fluides essentiels. Parmi les différentes technologies de pompage disponibles, les turbopompes se distinguent par leur capacité à gérer de grands débits et des pressions élevées, les rendant idéales pour une large gamme d'applications industrielles. L'objet de ce chapitre est de présenter les modes de défaillances d'un moteur de lancement et pour y parvenir, nous avons mentionné la station de pompage N03 et le système de fonctionnement de la station, turbopompe et leur auxiliaires ainsi que le principe de fonctionnement de chaque composants.

2.2 Site Industrielle Sp3**2.2.1 Description de l'établissement**

La station SP3 de l'oléoduc OZ1/OZ2 relève de la Région Transport de Haoud El Hamra (RTH) de l'activité Transport par canalisation (TRC) du groupe SONATRACH.

2.2.3 Présentation de la société SONATRACH

La Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures, SONATRACH, est la première entreprise d'Algérie et d'Afrique. SONATRACH emploie environ 50 000 salariés (120 000 avec ses filiales) elle est le 12ème groupe pétrolier au niveau mondial, le premier exportateur de GNL et de GPL et le troisième exportateur de gaz naturel. Le groupe SONATRACH a divisé ses activités opérationnelles en 4 activités :

- _ L'activité exploration et production (E&P) ;
- _ L'activité transport par canalisation (TRC) des hydrocarbures liquides et gazeux ;
- _ L'Activité Liquéfaction, Raffinage, Pétrochimie (LRP) ;
- _ L'activité Commercialisation (COM). [10].

2.2.4 Définition de l'activité TRC

SONATRACH, via l'activité TRC, gère un réseau de canalisations d'une longueur totale de plus de 19 000 km intégrant deux gazoducs transcontinentaux, l'un vers l'Espagne via le Maroc, l'autre vers l'Italie via la Sicile. L'activité transport par canalisations, de la SONATRACH est en charge d'acheminer le pétrole brut, le gaz naturel, les GPL et les condensats vers les ports pétroliers, les zones de stockage du groupe et les pays d'exportation (**figure 2.1**).



Figure 2.1 Réseau des principaux pipelines [10].

2.2.5 Description sommaire de Région Transport Haoud El Hamra

En termes d'installations, la Région Transport Haoud El Hamra (RTH) comprend :

- _ Dix (10) oléoducs et deux (2) gazoducs, d'une longueur totale de 3 453km ;
- _ Sept (7) Terminaux départs (HBN, El BORMA, MESDAR et HEH);
- _ Neuf (9) stations de pompage ;
- _ Trois (3) stations de compression ;
- _ Six (6) parcs de stockage de capacité utile totalisant 1 051 923 m³ ;
- _ Un (01) centre de dispatching des hydrocarbures liquides (CDHL) / HEH
- _ Un (01) centre National de dispatching gaz (CNDG) / HRM

Sa mission

- _ La réception des hydrocarbures liquides et gazeux des différents champs d'exploitation ;
- _ Le Comptage et le contrôle de la qualité des produits réceptionnés ;
- _ Le Stockage des hydrocarbures liquides ;
- _ L'expédition des hydrocarbures vers les terminaux marins, les centres de traitements et de consommation. [10].

2.2.6 Description sommaire de l'oléoduc OZ1/OZ2

L'oléoduc OZ1/OZ2 est un ouvrage de transport de pétrole brut composé de deux canalisations parallèles de 28' et 34' de diamètres reliant le parc de stockage de Haoud El Hamra au terminal marin d'Arzew sur une longueur d'environ 820 km. L'ouvrage comporte six (6) stations de pompage interconnectées aux deux conduites et autorisant de ce fait le pompage du produit simultanément dans

les deux pipelines ou alternativement dans l'OZ2 ou l'OZ1 selon le régime d'exploitation établi par l'opérateur [10].



Figure 2.2 Carte d'emplacement des stations de pompage sur l'oléoduc OZ1 et OZ2 [10].

2.2.7 Présentation préliminaire de la station SP3 de l'oléoduc OZ1/OZ2

Les hydrocarbures liquides, tels que les pétroles bruts, sont des produits dits incompressibles et sont transportés par des canalisations en acier, le plus souvent enterrées, appelées oléoducs. Il est toutefois nécessaire de leur fournir une énergie de pression suffisante permettant d'assurer l'écoulement du fluide dans la canalisation. Cette énergie de pression est fournie par des stations de pompage réparties à intervalle régulier le long du pipeline.

Pour assurer le pompage des hydrocarbures, TRC dispose de 79 stations de pompage et de compression, dont 35 stations de pompage pour le brut d'une capacité opérationnelle de 146 millions de tonnes métriques.

La station SP3 est située dans la commune d'EL ATTEUF relevant de la wilaya de Ghardaïa, Latitude : 32° 34 Nord et Longitude : 3° 53 EST. Localisée à environ 40 km au nord-est de la ville de Ghardaïa. Elle assure le pompage sur les pipelines OZ1 et OZ2 simultanément. La SP3 est équipée de six turbopompes permettant de porter la capacité de transport à 11 MTA sur l'OZ1 (un groupe en service et l'autre en réserve) et à 34 MTA sur l'OZ2 (03 groupes en service et un groupe en réserve). La station est mitoyenne de la station de pompage de GPL SP3 de l'oléoduc LNZ1 qui chemine dans le même corridor que l'OZ1/OZ2 [10].

2.2.8 La station de pompage SP3 de l'oléoduc OZ1/OZ2

L'ouvrage OZ1/OZ2 a été réalisé en deux phases, l'OZ1 en 1966 et l'OZ2 en 2003. De ce fait, sous le vocable de station SP3 il faut comprendre dans ce qui suit l'ensemble composé par :

Les équipements de la station SP3 réalisée en phase 1 et associés à la canalisation OZ1 ; Les équipements de la station SP3 réalisée en phase 2 et associés à la canalisation OZ2.

Les deux stations sont interconnectées et forment la SP3. Les activités principales de la station SP3 sont :

- La Réception du pétrole brut à partir des canalisations OZ1 et OZ2 ;
- Le Relèvement de la pression dans les turbopompes ;
- L'expédition du produit via les canalisations OZ1 et OZ2.

La station SP3 reçoit l'huile brute en amont de la ligne principale, à une pression d'environ de 5 à 6 kg/cm² et le refoulent en aval avec une pression de 59,7 à 63,3 kg /cm².

Les équipements principaux de la station SP3 sont :

- 02 gares à racleurs « arrivées » et 02 gares à racleurs « départ » ;
- 02 bancs de soupapes de sécurité à l'aspiration de la station et 02 bancs au refoulement ;
- 06 Turbopompes (OZ2) et 04 Turbopompes (OZ1) ;
- 02 bacs de détente de pétrole brut de 4000 m³ chacun ;
- 01 citerne de sloop ;
- Les diverses utilités avec en particulier 02 citernes de gasoil.

Suivant le décret N° 07 -144 du 02 JOUMADA EL OULA 1428 correspondant au 19 Mai 2007 et compte tenu de son classement dans la rubrique 1532, cet établissement comporte une installation classée (IC) soumise à autorisation du ministre compétent(AM).



Figure 2.3 Photo d'ensemble de la station SP3 OZ1/OZ2 et de la station mitoyenne SP3 LNZ1 [10].



Figure 2.4 Station OZ1 '28' premier ouvrage réalisé par SONATRACH mise en service en 1966 capacité de transport 21MTA de pétrole [10].



Figure 2.5 Station OZ2 '34' réalisé en parallèle de OZ1 afin d'augmenter la capacité de transport du pétrole mise en service en 2003 capacité de transport 34MTA [10].

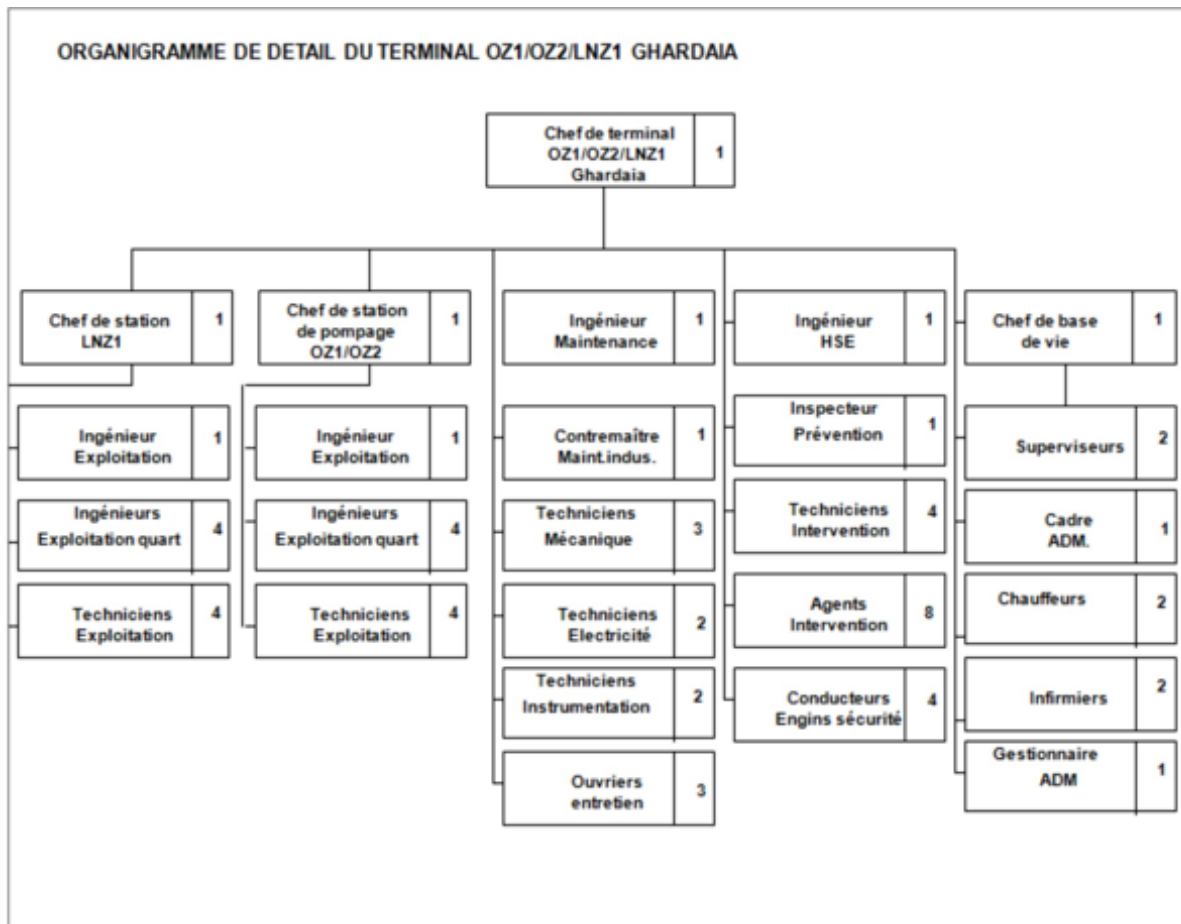


Figure 2.6 Organigramme de la station de pompage SP3 [10].



Figure 2.7 STATION LNZ1 '12', mis en service 1973, capacité de transport 0.85 MTA de GPL [10].

Septembre 1973 : Mise en service de l'oléoduc GPL LNZ1 '12' reliant Haoud El Hamra vers le Terminal d'Arzew sur une longueur de 306 km, pour l'évacuation de la production de Hassi - Messaoud.

Octobre 2006 : Arrêt de la station GPL LNZ1 12''

Février 2009 : Pour des mesures de sécurité, L'oléoduc a été vidangé puis inerté à l'azote ;



Figure 2.8 Centrale électrique, composée de trois turboalternateurs d'une puissance totale de 3.6 MW [10].

2.2.9 But de station de pompage 3

-Le but de station de pompage Sp3 et le pompage de pétrole sur le 2 pipe-ligne OZ1-OZ2 ('28'-'34') simultanément au même temps, réception et l'envoi des racleurs (Pour nettoyage de pipe), La station contient des soupapes aspiration et refoulement (Crachage) Sur le bac de détente Pour la Sécurité des pipes 4000 m³ Pour Chaque bac interconnecté les deux. (Bac incendie contient l'eau pour la sécurité).
-La Station contient 6 Turbopompes installés en parallèle dans 2 sur pipe OZ1 la 3 ème intermédiaire (double affectation OZ1-OZ2).et le reste sur OZ2 la puissance de Chaque turbine est 7.2mw(ISO).
- Le brute et arrivé à partir de Sp1 (HEH) sur SP3 avec une pression de consigne aspiration 6 BAR et refoulé par les pompes centrifuges avec une pression de 67 BAR avec un débit de 3100m³/h pour ce cas vers la station en aval SP5.

2.3 Installation de turbopompes

2.3.1 Machine asynchrone

Le terme de machine asynchrone "MAS" regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre mécanique est différente de la vitesse de rotation du champ tournant. En fait, le fonctionnement moteur de cette machine correspond au cas où elle transformerait l'énergie électrique qu'elle absorbe en énergie mécanique rotationnelle. L'opération inverse correspond au fonctionnement générateur. Entre autres, nous pouvons distinguer deux principaux types de MAS :

- Les machines à induction où une des armatures (le rotor en général) n'est pas alimentée. Les Courants qui y circulent sont induits par l'autre armature.

- Les machines à collecteur (à double alimentation) où l'armature tournante est reliée au réseau par un collecteur. Ceci permet d'apporter ou de prélever de la puissance du rotor sans imposer la fréquence des courants dans celui-ci.

Bien que la MAS fut pendant très longtemps destinée principalement au fonctionnement moteur. Le développement de l'électronique de puissance a permis de montrer les performances très intéressantes de cette machine lorsqu'elle opère en génératrice [11].

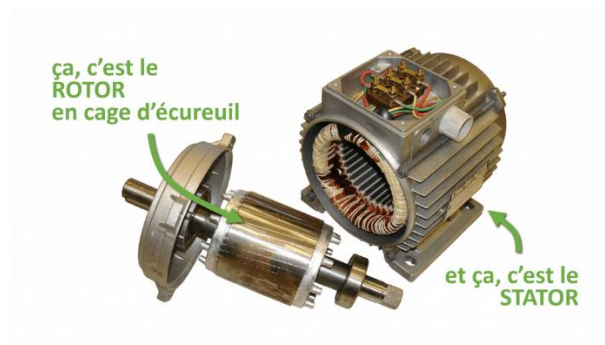


Figure 2.9 Machine asynchrone

2.3.2 Variateur De Fréquence Acs 600

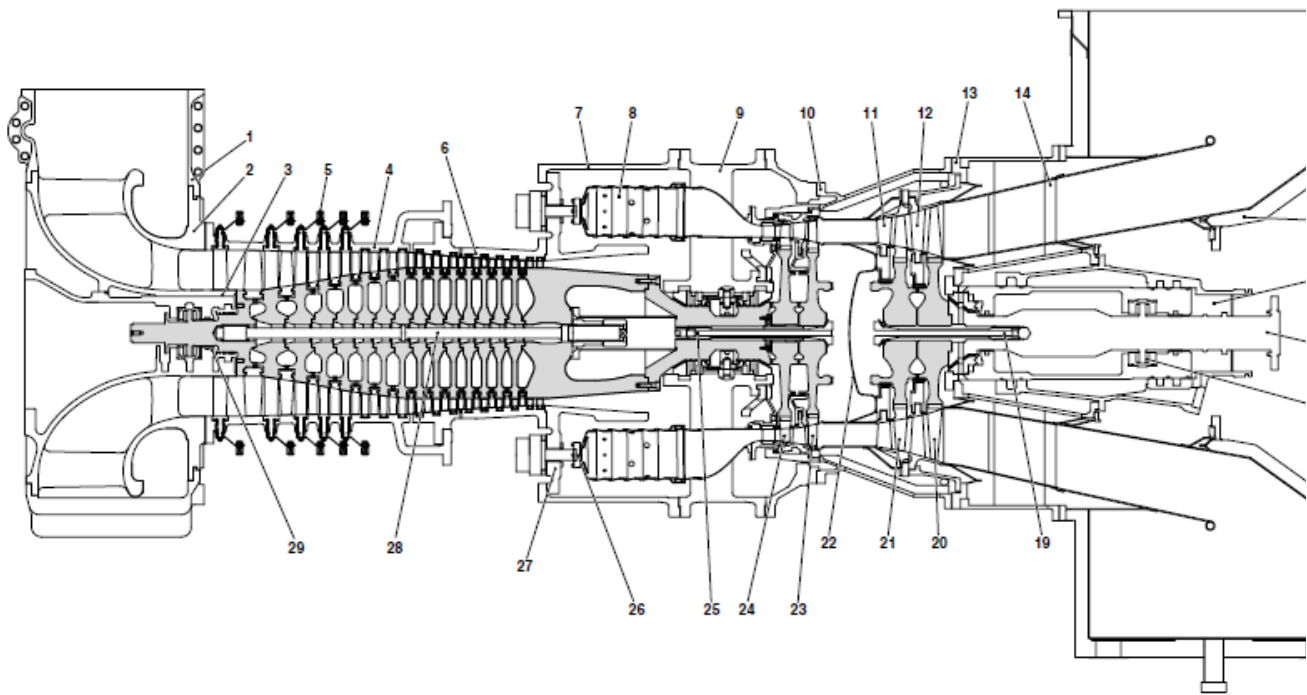
Le variateur de fréquence ACS 600 est un dispositif électronique utilisé pour contrôler la vitesse et le couple des moteurs électriques à courant alternatif (AC). Pour faire varier la vitesse, on doit varier la fréquence de la tension de l'alimentation tout en gardant le rapport v/f constant (flux constant).



Figure 2.10 variateur de fréquence

2.3.3 Turbine A Gaz

La turbine à gaz et du modèle 'Tornado' de ALSTOM POWER. C'est une turbine à gaz industrielle à simple action de haut rendement à arbre double et cycle ouvert sans régénération. La turbine à gaz à combustion interne utilisé le gaz naturel comme carburant donc la turbine pour son démarrage est Fonctionnement nécessite des auxiliaires tell que la pompe de graissage, hydraulique et le moteur de lancement. Au démarrage de la turbine ne peux pas développer son couple de démarrage donc elle utilise pour le lancement un moteur électrique pour décrives les différents phases de démarrage de la turbine avec des niveaux de vitesse variable (3000 tr/min).



VUE EN COUPE - TORNADO (DOUBLE CORPS)

- | | | | |
|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. Carter d'admission d'air 2. Support de palier de compresseur 3. Carter de palier d'admission de compresseur 4. Carter de stator de compresseur basse pression 5. Mécanisme d'aube de stator variable 6. Carter de stator de compresseur haute pression 7. Carter central 8. Chambre de combustion | <ul style="list-style-type: none"> 9. Support de palier de turbine de compresseur 10. Conduite de connexion 11. Ensemble stator étage 1 turbine de puissance 12. Ensemble stator étage 2 turbine de puissance 13. Capot externe de turbine de puissance 14. Ensemble support et diffuseur de turbine de puissance 15. Ensemble échappement | <ul style="list-style-type: none"> 16. Ensemble carter de palier de turbine de puissance 17. Ensemble rotor de turbine de puissance 18. Palier de poussée de turbine de puissance 19. Boulon de tension de rotor de turbine de puissance 20. Aubes de rotor étage 2 turbine de puissance 21. Aubes de rotor étage 1 turbine de puissance 22. Conduites de connexion internes | <ul style="list-style-type: none"> 23. Aubes de rotor étage 2 turbine à co 24. Aubes de rotor étage 1 turbine à co 25. Boulon de tension de rotor de turbine à 26. Dispositif de tourbillonnement de chambre 27. Plaque arrière de carter de pressior 28. Boulon de tension de rotor de comp 29. Palier avant de compresseur |
|---|---|---|---|

Figure 2.11 Turbine à gaz TORNADO “Double Corps”

2.3.4 Pompe Centrifuge

Les pompes centrifuges multicellulaires Guignard sont des pompes hydrauliques qui utilisent la force centrifuge pour transporter des liquides. Elles sont composées de plusieurs étages ou roues à aubes, montées en série, qui augmente progressivement la pression du liquide pompé (3000tr/min) [12].

Caractéristiques principales :

- **Débit élevé** : Ces pompes sont capables de fournir un débit important, les rendant idéales pour des applications exigeantes.
- **Haute pression** : La configuration multicellulaire permet d'atteindre des pressions élevées, ce qui les rend adaptées au pompage de liquides visqueux ou d'eau à de grandes hauteurs.
- **Robustesse et fiabilité** : Les pompes Guignard sont conçues pour une utilisation intensive dans des environnements difficiles. Elles sont réputées pour leur robustesse et leur fiabilité.
- **Polyvalence** : Ces pompes peuvent être utilisées pour une large gamme de liquides, y compris l'eau, les produits chimiques, les hydrocarbures et les boues.
- **Applications** :
 - Les pompes centrifuges multicellulaires Guignard sont largement utilisées dans divers domaines, notamment :
 - **Industrie** : Processus industriels, transfert de liquides, systèmes de refroidissement.

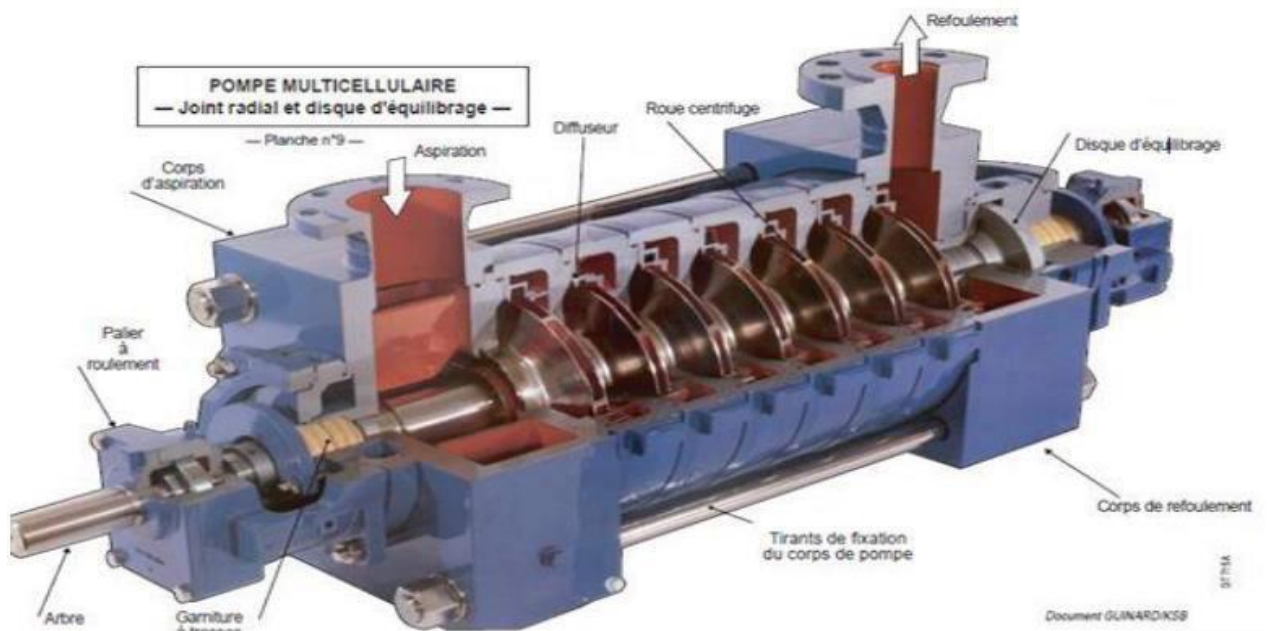


Figure 2.12 : Pompe multicellulaire (Guignard)

2.3.5 Fonctionnement de turbopompe

Suite à un ordre de démarrage provenant de l'ingénieur d'exploitation, l'armoire de contrôle de la Turbine envoie l'ordre de démarrage et la consigne au variateur de vitesse (Convertisseur de fréquence ACS-600 de chez ABB). La Turbine démarre et le moteur fait varier la vitesse de la turbine selon les phases suivantes :

1. Phase de balayage :

- Dans cette phase s'effectue le nettoyage des chambres de combustion pour éliminer toutes traces de poussières.

- Après nettoyage, on procède à plusieurs tentatives d'allumage de la chambre de combustion vue que l'allumage n'aura pas lieu dès la première tentative.
 - L'ensemble de ces opérations dure 4 min.
2. **phase d'allumage :**
Alimentation des bougies d'allumage pour générer la combustion.
 3. **Phase de réchauffage :**
Le moteur de lancement va stabiliser la vitesse de la turbine jusqu'à la propagation de la chaleur.
 4. **Phase d'accélération :**
 - le moteur de lancement va augmenter rapidement la vitesse de la turbine jusqu'à l'auto sustentation (Travail fournit de la turbine consommé totalement par le compresseur).
 - Ensuite en coupe l'alimentation du moteur, la machine tourne jusqu'à la vitesse de service en fonctionnement.
 - La variation de régime de la pompe implique une variation de la consommation du gaz de la turbine (débit de la pompe augmente, consommation des gaz augmente).
 - Enfin, la pompe va aspirer le brut pétrole à 5 Bar et le refouler de 63 Bar.

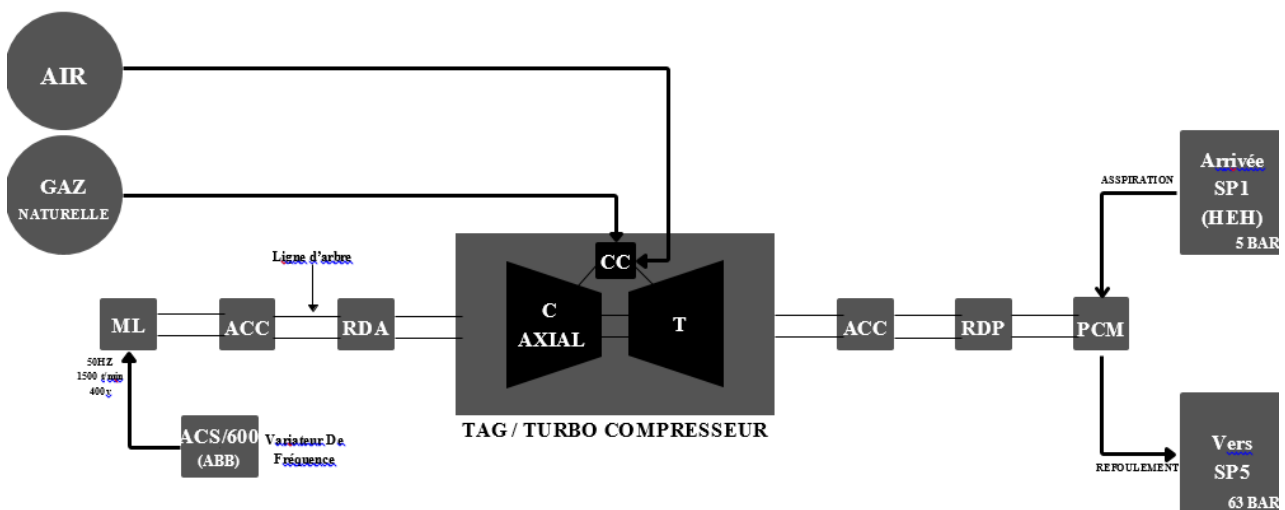


Figure 2.13 : Turbopompe

.ACS-600 : Variateur de fréquence.

ML : Moteur de lancement.

ACC : Accouplement.

RDA : Réducteur des auxiliaires.

C AXIAL : Compresseur axial.

T : Turbine.

TAG : Turbine à gaz.

RDP : Réducteur de pression.

PCM : Pompe centrifuge multicellulaire (Guignard).

HEH : Haoud el Hamra.

SP1/SP5 : Station de pompage 1/5

2.4 Moteur de lancement

1°. Introduction

Longtemps reléguée au second plan par la machine synchrone dans les domaines exigeant une grande puissance, la machine asynchrone a connu une résurgence spectaculaire grâce aux progrès de l'électronique de puissance [11]. Aujourd'hui, elle trône en tant que choix privilégié dans la majorité des applications. Dès que la puissance dépasse quelques kilowatts, les machines asynchrones triphasées s'imposent comme reines incontestées. Elles surpassent leurs homologues monophasés en matière d'efficacité, d'équilibre et de facilité de démarrage.

2°. Historique

1821 : Michael Faraday, inventeur anglais, crée le premier moteur électromagnétique.

1822 : Peter Barlow, scientifique anglais, perfectionne le moteur de Faraday en y ajoutant une roue dentée.

1831 : Michael Faraday pose les bases de l'induction électromagnétique, un phénomène crucial pour le fonctionnement des machines électriques.

1831-1832 : Simultanément, le Russe Friedrich Emil Lenz et l'Américain Joseph Henry mènent des recherches indépendantes qui contribuent à la découverte et à la compréhension de l'induction électromagnétique.

1832 : André-Marie Ampère, physicien français, collabore avec Hippolyte Pixii, constructeur français, pour concevoir la première génératrice à courant continu.

1836 : Hyde Clarke, inventeur anglais, améliore la génératrice de Pixii et Ampère en inversant sa structure et en perfectionnant le commutateur redresseur [11].

1842 : Robert Davidson, ingénieur écossais, développe l'un des premiers moteurs tournants à réactance variable [11].

1848 : Adolphe Froment, horloger et physicien français, met au point des moteurs dont le couple atteint 500 N.m, les rendant potentiellement utilisables dans des applications industrielles.

1860 : La société française "l'Alliance" lance la production industrielle de génératrices complexes.

1865 : Antonio Paccinotti, physicien italien, construit un prototype de machine à courant continu à induit en anneau et collecteur radial, améliorant considérablement son efficacité.

1888 : Nikola Tesla, inventeur d'origine serbe, dépose une série de brevets couvrant son système polyphasé complet (transformateurs, générateurs, moteurs synchrones et asynchrones). Cette période est marquée par une rivalité acharnée entre Tesla et Thomas Edison concernant le choix du courant continu ou alternatif pour la production, la distribution et la consommation d'énergie électrique[11]. En **1889**, Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski, électricien allemand d'origine russe, marque un tournant historique avec l'invention du premier moteur asynchrone à courant alternatif triphasé à cage d'écuréuil. Cette invention révolutionnaire ouvrira la voie à sa production industrielle dès **1891**. Ce bref aperçu historique met en lumière l'engagement sans faille des chercheurs et des ingénieurs dans l'amélioration, le développement et l'invention de nouvelles machines électriques. Guidés par la nécessité de répondre aux besoins croissants des applications industrielles et domestiques, ils ont donné naissance à une multitude de machines allant des "micromachines" aux "macro-machines", comme le soulignent Mermet [13] et Bertotti [14].

3°. Constitution de la machine asynchrone

La **Figure 2.14** illustre la vue éclatée du MAS tout en spécifiant ses différentes parties constitutives telle que :

- 1 - Joint côté entraînement CA, excepté labyrinthe,
- 2 - Couvercle de roulement CA,
- 3 - Ajustages de lubrification,
- 4 - Rondelle d'égalisation,
- 5 - Rondelle de serrage CA ou écrou d'axe,
- 6 - Anneau centrifuge CA,
- 7 - Roulement à billes CA,
- 8 – Joint CA, intérieur,
- 9 - Couvercle de roulement CA, intérieur,
- 10 - Bâti de stator IMB3 avec empilage de tôles et enroulements,
- 11 - Boîte de raccordement, complète,
- 12 - Capot de ventilateur,
- 13 - Anneau de ventilation,
- 14 - Cale de fixation,
- 15 - Ressort de fixation,
- 16 - Ressort de fixation du ventilateur,
- 17 – Ventilateur,
- 18 - Anneau de fixation du ventilateur,

- 19 - Couvercle de fermeture,
- 20 - Couvercle de roulement COA, intérieur,
- 21 - Joint COA, intérieur,
- 22 - Roulement à billes COA,
- 23 - Anneau de fixation du roulement COA,
- 24 - Anneau centrifuge COA,
- 25 - Rondelle de serrage CA ou écrou d'axe,
- 26 - Couvercle de roulement CA,
- 27 - Joint côté entraînement COA, excepté labyrinthe,
- 28 - Couvercle porte-roulement,
- 29 - Bâti de stator sans pieds, complet.

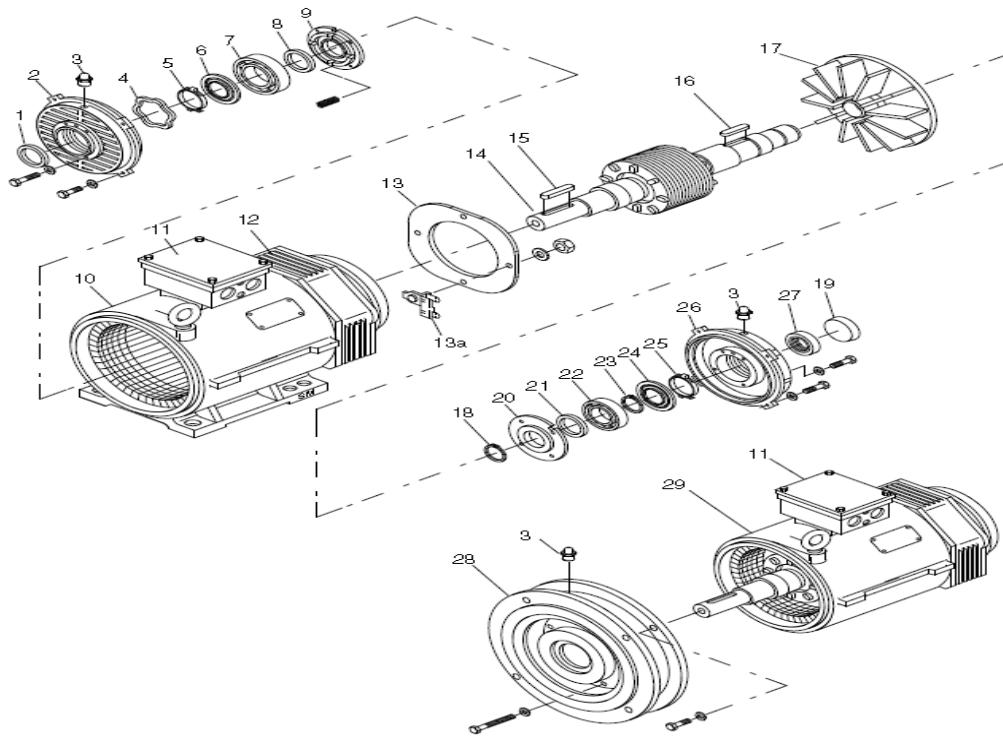


Figure 2.14 Vue éclatée de la machine asynchrone.

La machine asynchrone à cage d'écureuil est constituée de principaux éléments suivant :

- 1. Stator et boîte à bornes
- 2. Entrefer
- 3. Rotor
- 4. Enroulement
- 5. Paliers
- 6. Carcasse et arbre mécanique
- 7. Flasques

8. Ventilateurs

9. Plaque d'identification

Composition et structure

Le stator, composant essentiel de la machine asynchrone, est constitué de tôles d'acier découpées. Pour les petites machines, ces tôles sont découpées en une seule pièce, tandis que pour les machines plus puissantes, elles sont découpées par sections. Ces tôles, recouvertes de vernis pour minimiser les courants de Foucault, sont ensuite assemblées par boulonnage ou soudure pour former le circuit magnétique du stator

Enroulements et disposition

Une fois le circuit magnétique assemblé, les enroulements statoriques prennent place dans les encoches prévues à cet effet. Répartis sur le pourtour du stator, ces enroulements créent $2p$ pôles, alternant entre pôles nord et sud selon l'association magnétique.

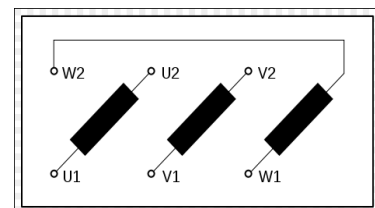
Théorème de Ferraris et implications

D'après le théorème de Ferraris, un cycle magnétique correspond à une fraction de tour du stator. Chaque pôle occupe donc un angle de $2\pi/3$, soit 120° dans notre cas.

Isolation et raccordement

L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier est assurée par des matériaux isolants adaptés à l'utilisation prévue de la machine asynchrone. Enfin, le stator est doté d'une boîte à bornes pour le raccordement à l'alimentation électrique.

❖ Le stator de la machine asynchrone est une structure complexe composée de tôles d'acier, d'enroulements et de matériaux isolants. Sa conception minutieuse permet la création d'un champ magnétique rotatif, élément clé du fonctionnement de ce type de moteur. La **figure 2.15** représente les différentes parties qui constituent le stator d'une machine asynchrone [15].



A-Stator d'une machine Triphasée

B-Stator feuilleté sans bobinage

C- Diagramme de connexion d'un moteur triphasé

Figure 2.15 Différentes parties qui constituent le stator de la machine asynchrone

Entrefer

Le stator et le rotor, les deux éléments principaux de la machine asynchrone, sont séparés par une fine couche d'air appelée **entrefer**. D'une épaisseur minimale de l'ordre du millimètre, l'entrefer permet au rotor de tourner librement par rapport au stator.

- **Champ magnétique perpendiculaire :**

La grande perméabilité magnétique des matériaux ferromagnétiques utilisés pour le stator et le rotor, comparée à la faible perméabilité de l'air dans l'entrefer, permet de supposer que le champ magnétique dans cette zone est **perpendiculaire au stator**, c'est-à-dire **radial**.

- **Grandeurs magnétiques clés :** Deux grandeurs magnétiques fondamentales interviennent dans la machine asynchrone :
- **L'induction magnétique dans l'entrefer :** Une grandeur vectorielle qui représente la densité des lignes de champ magnétique dans l'entrefer.
- **Le champ d'excitation :** Également vectoriel, ce champ est créé par les courants circulant dans les conducteurs du stator, conformément au théorème d'Ampère.
- **Interaction et champ magnétique rotatif :**

L'interaction entre le champ d'excitation du stator et les courants induits dans le rotor génère un **champ magnétique rotatif**, élément central du fonctionnement de la machine asynchrone. Ce champ rotatif entraîne la rotation du rotor, produisant ainsi le couple moteur.

Rotor

Tout comme le stator, le rotor de la machine asynchrone à cage d'écurieil est constitué de tôles d'acier, généralement issues du même matériau que celles du stator. Les enroulements du rotor prennent la forme de barres conductrices, en cuivre pour les gros moteurs et en aluminium pour les plus petits. Ces barres sont court-circuitées à leurs extrémités par deux anneaux, également en cuivre ou en aluminium, appelés "anneaux de court-circuit". La structure du rotor à cage d'écurieil varie en fonction de la taille du moteur et de son application. La **Figure 2.16** illustre les différents éléments d'un rotor à cage d'écurieil : l'arbre, les tôles empilées, les anneaux de court-circuit et les barres d'aluminium formant la cage.

Inclinaison des barres : Souvent, les barres sont inclinées de manière uniforme pour minimiser les harmoniques et réduire considérablement le bruit lors de l'accélération du moteur. L'isolation entre les barres et les tôles n'est généralement pas nécessaire car la tension induite aux bornes de chaque barre est faible. De plus, la résistivité de l'alliage utilisé pour la cage est suffisamment faible pour empêcher les courants de circuler dans les tôles magnétiques, sauf en cas de rupture de barre.



Figure 2.16 Rotor de la machine asynchrone à cage.

Enroulements

C'est un circuit électrique dans les encoches du stator qui forme un circuit magnétique après passage de courant. Ces enroulements peuvent être insérés de manières imbriqués, ondulés ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches.

Paliers

Ils permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter du stator grâce à des boulons ou des tiges de serrage. L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone à cage d'écoreuil [16].

Carcasse et arbre mécanique

La carcasse de la machine asynchrone joue un double rôle essentiel :

Support : Elle fournit une structure solide pour les composants internes de la machine, assurant leur stabilité et leur alignement correct.

Protection : Elle forme une enveloppe protectrice contre les agressions extérieures telles que la poussière, l'humidité et les chocs.

L'arbre : Transmission de puissance et rotation

L'arbre, élément central de la machine, assure la transmission de la puissance du moteur et la rotation du rotor :

Transmission : Il transmet le couple électromagnétique produit par le rotor à la charge externe.

Rotation : Il supporte le rotor et permet sa rotation libre grâce aux paliers.

Conception robuste pour des contraintes multiples :

L'arbre est généralement fabriqué en acier moulé ou forgé pour résister aux contraintes mécaniques importantes auxquelles il est soumis :

Efforts de flexion : Force centrifuge, attraction magnétique radiale, etc.

Efforts radiaux et tangentiels : Forces centrifuges

Efforts de torsion : Couple électromagnétique

Support par paliers pour une rotation fluide :

L'arbre est soutenu par un ou plusieurs paliers qui assurent sa stabilité et minimisent les frottements, garantissant une rotation fluide et silencieuse du rotor.

Flasque

Elles servent à positionner les paliers par rapport à la carcasse et protègent les organes internes de la machine.

Ventilateur

La présence d'ailettes de ventilation assurant le refroidissement de la machine lorsque celle-ci fonctionne en charge.

2.4.1 Principe de fonctionnement

Le moteur de lancement c'est un moteur à induction triphasé, alimenté par un système triphasé. Le courant «électrique alimente les enroulements statoriques du moteur, créant un champ magnétique rotatif. La vitesse de rotation de ce champ est appelée vitesse de synchronisme, exprimée en tours par minute (tr/min) et donné par la relation suivante :

$$\Omega_s = f * p / 2 \text{ (tr/min) (2.1)}$$

où :

- Ω_s est la vitesse de synchronisme en tr/min.
- f est la fréquence du réseau d'alimentation en Hz.
- p est le nombre de paires de pôles du moteur. [17]

1°. Induction des courants rotoriques et principe de fonctionnement

Le champ magnétique rotatif du stator induit des forces électromotrices (fém) dans les enroulements du rotor. Ces fém. induites génèrent à leur tour un courant dans le rotor, d'où le nom de "machine à induction". L'interaction entre le champ magnétique rotatif du stator et le courant induit dans le rotor produit un couple moteur qui entraîne la rotation du rotor.

- Le moteur à induction triphasé fonctionne grâce à l'interaction entre un champ magnétique rotatif généré par le stator et les courants induits dans le rotor.

- La vitesse de rotation du rotor est toujours légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme du champ magnétique.
- Ce type de moteur est largement utilisé dans l'industrie en raison de sa simplicité, sa robustesse et son bon rendement.

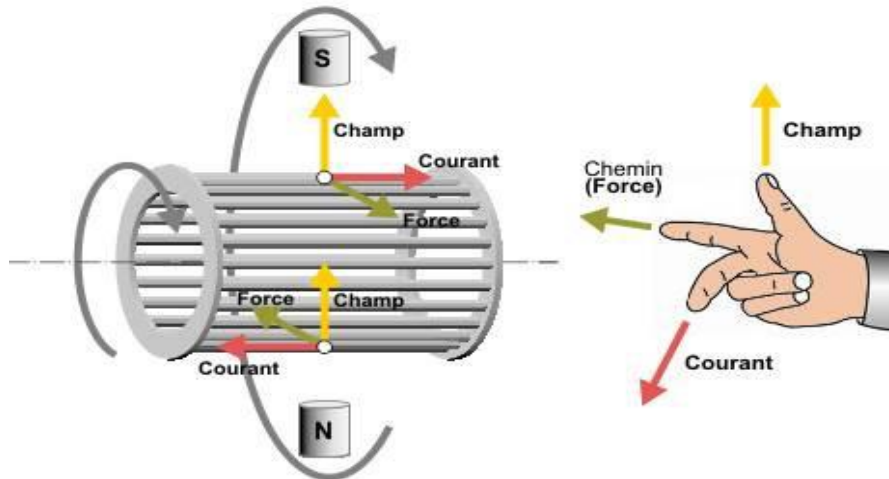


Figure 2.17 : Circuit magnétique d'un cage d'écureuil .

-L'interaction entre le champ magnétique rotatif du stator et le courant induit dans le rotor génère des forces électromagnétiques qui provoquent la rotation du rotor. Ce couple moteur a tendance à réduire la vitesse relative entre le champ magnétique et le rotor, conformément à la loi de Lenz.

-La vitesse de rotation du rotor (vitesse entraînée) est toujours légèrement inférieure à la vitesse de rotation du champ magnétique du stator (vitesse entraînant). Cette différence de vitesse est appelée "glissement". C'est pourquoi les moteurs à induction sont appelés "machines asynchrones".

- Le champ magnétique rotatif du stator induit un courant dans le rotor.
- L'interaction entre le champ magnétique et le courant induit produit un couple moteur.
- Le couple moteur entraîne la rotation du rotor.
- La vitesse du rotor est toujours légèrement inférieure à la vitesse du champ magnétique.
- Ce type de moteur est appelé "asynchrone" en raison de la différence de vitesse entre le rotor et le champ magnétique.

Remarque : Si le rotor tournait à la vitesse synchrone Ω_s , donc aussi vite que le flux, le flux à Travers chacune des bobines rotoriques serait constant. Au rotor, il n'y a plus de f.é.m. induites, donc plus de courant et plus de couple. Le rotor tourne nécessairement à une vitesse Ω inférieure à la vitesse Ω_s du champ.

- Puisque Ω diffère de Ω_s , c'est un moteur asynchrone.
- $(\Omega_s - \Omega)$ est la vitesse de glissement.

2°. Définition du glissement

Le rotor tourne à la vitesse Ω plus petite que la vitesse de synchronisme

- Ω_s On dit que le rotor « glisse » par rapport au champ tournant.
- Ce glissement g va dépendre de la charge. En réalité le glissement 'g' est faible pour un fonctionnement en charge nominale.

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (2.2)$$

- Ω_s [rd/s], N_s [tr/mn] : vitesses de rotation de synchronisme du champ tournant
- Ω [rd/s], [tr/mn] : vitesses de rotation du rotor.
- g : glissement sans unité.
- Avec $g \in]0,1]$
- Si $g=0 \rightarrow \Omega \approx \Omega_s$ Fonctionnement à vide.
- Si $g=1 \rightarrow \Omega = 0$ Fonctionnement à rotor bloqué ou en court-circuit.
- Modes de variation de vitesse d'une MAS
- D'après l'équation (1) la vitesse du rotor est donné par :

$$\Omega = \Omega_s(1 - g) \quad (2.3)$$

Sachant que :

$$\omega_s = 2\pi f_s = p\Omega_s \quad (2.4)$$

$$\omega_r = 2\pi f_r = (\Omega_s - \Omega) \quad (2.5)$$

$$\Omega = \frac{2\pi f}{p} (1 - g) [\text{rd/s}] \quad (2.6)$$

$$\text{Et } N = \frac{60f_s}{p} [\text{tr/mn}] \quad (2.7)$$

ω_s [rd/s] : Pulsation des courants statoriques

f_s [Hz] : Fréquence des courants statoriques

$\omega_r = g\omega_s$ [rd/s] : Pulsation des courants rotoriques

$f_r = g f_s$ [Hz] : Fréquence des courants rotoriques.

P : Nombre de pair de pôles.

En examinant cette formule, on peut distinguer trois modes de variation de vitesse :

- Action sur le nombre de pair de pole p .
- Action sur le glissement g .
- Action sur la fréquence du stator f_s .

3°. Action sur la fréquence

Cette technique nécessite l'insertion d'un convertisseur de fréquence entre le réseau et le stator du moteur. Cette solution est actuellement la plus répandue. Elle permet une grande souplesse de réglage de la vitesse du moteur asynchrone triphasé à cage. Pour conserver les performances du

moteur (couple maximal disponible en permanence quelle que soit la vitesse), nous verrons dans la suite qu'une commande en « U/f » est nécessaire.

2.4.2 Variateurs de vitesse du moteur asynchrone :(ACS-600)

Un variateur de vitesse fournit, à partir d'un réseau alternatif une tension alternative de valeur efficace et de fréquence variables. Le variateur de vitesse utilise la technique de variation de la fréquence des grandeurs électriques statoriques (de la tension d'alimentation). Pour faire varier cette fréquence, la technique MLI (modulation par largeur d'impulsion) est utilisée. Même si la tension d'alimentation du moteur n'est plus sinusoïdale (voir figure ci-dessous), le stator, composé d'enroulements (inductances et résistances), filtre les hautes fréquences du signal. Cette opération s'effectue par les éléments suivants :

Redresseur : Permet de convertir la tension alternative du réseau en une tension continue.

Filtre : Permet de réduire l'ondulation de la tension redressée.

Onduleur : Permet d'élaborer, à partir de la tension continue, une tension alternative de fréquence variable.

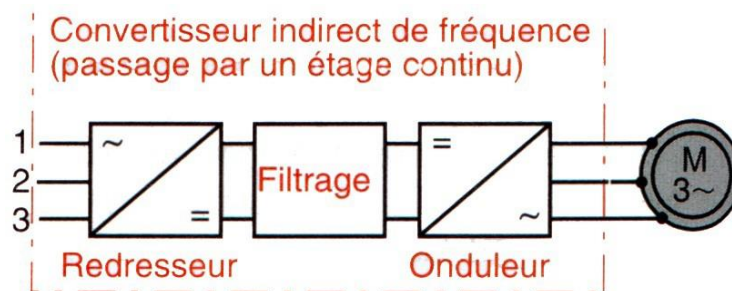


Figure 2.18 : Commande Scalaire.

2.4.2.1 Commande Scalaire : Contrôle V/F

La commande scalaire est la méthode de commande la plus simple et la plus ancienne pour les machines asynchrones. Elle est particulièrement adaptée aux applications qui ne requièrent que des performances moyennes, tant statiques que dynamiques. Son utilisation est répandue dans l'industrie, notamment dans les domaines du pompage, de la climatisation et de la ventilation, grâce aux progrès de l'électronique de puissance et à la disponibilité de variateurs de vitesse économiques.

La commande scalaire consiste à contrôler deux grandeurs essentielles au fonctionnement de la machine :

- **Le module de la tension :** Il correspond à la valeur efficace de la tension appliquée aux bornes de l'induit.

- **La pulsation** : Elle représente la fréquence du courant alternatif alimentant la machine. En agissant sur ces deux paramètres, la commande scalaire permet de réguler la vitesse de rotation du rotor.

1°. Différents types de commande scalaire

On distingue deux grandes catégories de commande scalaire selon la grandeur contrôlée :

- **Commande par le courant** : Le courant fourni à la machine est régulé, ce qui implique l'utilisation d'onduleurs de courant.
- **Commande par la tension** : La tension appliquée à la machine est régulée, nécessitant des onduleurs de tension.

Le choix du type de commande dépend de la topologie de l'actionneur utilisé et des caractéristiques de la charge.

2°. Variation de la vitesse

La variation de la vitesse de rotation du rotor est obtenue en modifiant la pulsation statorique, générée par le régulateur de la commande. Cette approche s'appuie sur le modèle de la machine en régime permanent, où l'on peut considérer une phase du stator et la phase correspondante du rotor comme un transformateur monophasé parfait.

Soit le couple maximal :

$$C_{\max} = \frac{3}{2} \frac{V_s^2}{\Omega_s X_r} = \frac{3}{2} \frac{V_s^2}{\frac{\omega_s}{p} \omega_s L_r} = \frac{3p}{2(2\pi)^2 X_r} \left(\frac{V_s^2}{f_s^2} \right) \quad (2.8)$$

- D'après cette expression, on voit bien que si la fréquence f_s augmente et que le reste est constant, le couple disponible (et en particulier le couple maximum) diminue.
- Pour augmenter la vitesse du moteur tout en gardant un couple disponible constant, il suffit de **garder le rapport V_s/f_s fixe**.

Ainsi, lorsque f_s varie (et donc V_s également puisque V/f est constant), la caractéristique couple du moteur se translate. On obtient alors le réseau suivant :

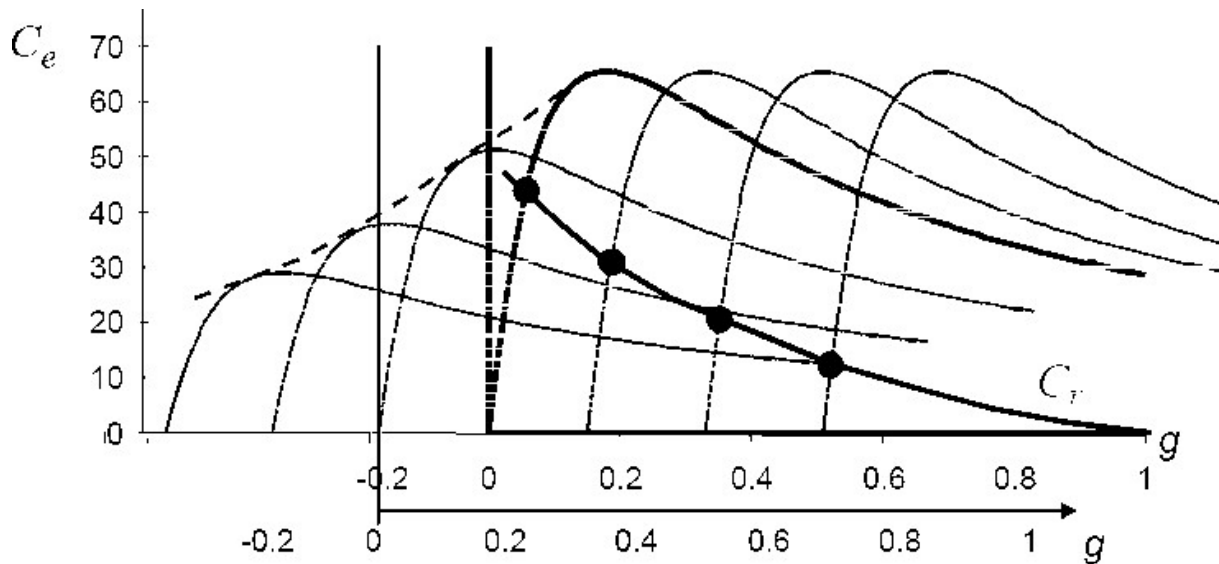


Figure 2.19 Caractéristiques du couple en fonction du glissement.

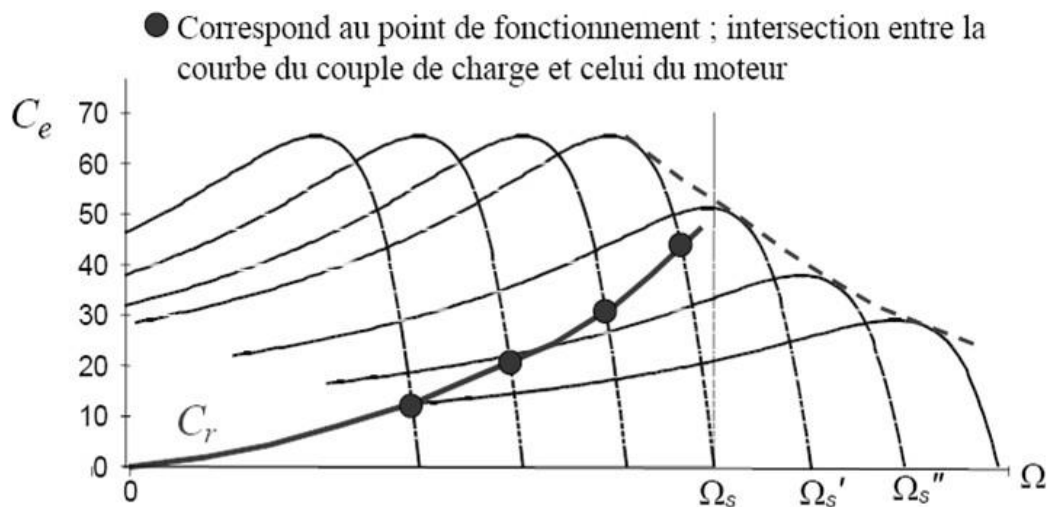


Figure 2.20 Caractéristiques du couple en fonction de la vitesse.

Remarque :

- En réalité, maintenir un rapport V/f constant revient à maintenir un flux magnétique constant dans le stator. Lorsque la tension atteint sa valeur maximale, le rapport V/f commence à diminuer, ce qui entraîne une réduction du couple produit par le moteur. Ce phénomène est appelé "dé fluxage". Ce régime permet de dépasser la vitesse nominale du moteur, d'où son appellation de "régime de survitesse" (partie $\Omega > \Omega_s$ de la **Figure 2.17**).
- Dans la zone linéaire (faibles glissements), les caractéristiques couple-vitesse des machines à induction présentent une similarité avec celles des moteurs à courant continu, où la tension d'induit est le paramètre de réglage de la vitesse. Ainsi, pour faire varier la vitesse d'une machine asynchrone en boucle ouverte, il est nécessaire de modifier la fréquence d'alimentation au stator tout en maintenant le flux constant. [17]

2.4.3 Modes de défaillances

Le mode de défaillance est la façon dont un produit, un composant, un ensemble, un processus ou une organisation manifeste une défaillance ou s'écarte des spécifications.

Le **tableau 2.1**, présente les différents modes de défaillances relatifs au moteur de lancement.

Tableau 2.1 : Modes défaillance du moteur du lancement.

anomalie /défaillance	Causes
-le moteur ne démarre pas	<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'alimentation électrique. - défaillance du variateur de fréquence. - Moteur déclenche sur défaut de surcharge. - Fusibles fondus. - Problème mécanique.
-désalignement	<ul style="list-style-type: none"> -défaillance de l'accouplement entre le moteur et le réducteur de vitesse. - vibration axiale. - Mauvaise accouplement.
-Vibrations excessives	<ul style="list-style-type: none"> - mauvaise conception du support. - fissure des vis de fixation. - déformation du support. - Qualité le métal du rail. -visse anti desserrage. -le dimensionnement du rail. -Desserrage de vis de fixation. -Desserrage du support du moteur. -Cisaillements des pièces. -Détachement du composant du moteur.
-échauffement du roulement	<ul style="list-style-type: none"> -la qualité du roulement. -L'usure prématurée du roulement. à cause du service continue du rotor du moteur (pas d'embrayage). -Mauvaise lubrification.
-Défaut des paliers du moteur	<ul style="list-style-type: none"> -L'usure de roulement jusqu'à la fissure de palier.
-Echauffement excessif des enroulements	<ul style="list-style-type: none"> -Surcharge. -Mauvaise refroidissement du moteur.
-Perte d'isolement	<ul style="list-style-type: none"> -Présence d'humidité au niveau du stator.
-Déséquilibre de la source d'alimentation électrique	<ul style="list-style-type: none"> -Défaillance de convertisseur de fréquence ACS 600
-Echauffement	<ul style="list-style-type: none"> -Court-circuit entre les spires. -Désalignement des spires.
-Mauvais serrage des vises des fixations des bornes	<ul style="list-style-type: none"> -Mauvais contact au niveau de la boîte de jonction du moteur.
-cramage du moteur et de variateur de fréquence ACS 600	<ul style="list-style-type: none"> - Une tension excessive. - Surcharge.
-Défaut de roulement de ventilateur	<ul style="list-style-type: none"> -Vieillessement du roulement.
-Claquage des composants électronique (statique) (stator - diode - teristor)	<ul style="list-style-type: none"> -Courants excessifs. -Surcharge.

- Claquage des composants des cartes de commande	-Sur intensité.
-Éclatement du condensateur électrique	-Echauffement.
-Balourd	-Répartition des masses en mouvement. -Mauvaise équilibrage. -Mauvaise répartition thermique.

2.5 CONCLUSION

En conclusion, Ce chapitre a exploré les différents modes de défaillance d'un moteur de lancement dont le problème le plus important est le fait que le moteur ne démarre pas ,ce problème fera l'objet du chapitre suivant (chapitre 3).La compréhension des modes de défaillance de ces moteurs, et en particulier des stations de pompage et des turbopompes, est essentielle pour garantir la sécurité et le succès de ces dernières.

Chapitre 03

ETUDE DE CAS

3.1 Introduction

Le diagnostic des défaillances des systèmes industriels est un processus essentiel pour assurer la fiabilité, la performance et la rentabilité des systèmes de production. En utilisant des méthodes telles que l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets (AMDE) et la construction d'arbres de défaillance. Dans ce chapitre on va aborder le principe de l'arbre de défaillance en premier lieu, sa construction ainsi que son aspect qualitative en second lieu et enfin l'application de cette méthode afin d'étudier l'un des événements redoutés « le moteur ne démarre pas » comme étude de cas. Les experts peuvent identifier les causes potentielles de dysfonctionnement et mettre en place des solutions pour y remédier. Grâce à cette approche méthodique, il est possible d'anticiper les problèmes, d'optimiser la maintenance et de maintenir un fonctionnement sûr et fiable des systèmes industriels.

3.2 Arbre de défaillance

L'année 1961 marque la naissance de l'analyse par arbre de défaillance, une technique ingénieuse développée par H.A. Watson et M.A. Mearns de Bell Laboratories. Leur objectif initial était d'assister la conception d'un nouveau système d'arme pour les forces aériennes américaines. Rapidement, David Haasl de Boeing a saisi le potentiel de cette méthode et l'a appliquée à l'analyse globale du système. Le succès était au rendez-vous, et lors de la première conférence sur la sécurité des systèmes en 1965, plusieurs articles décrivant l'analyse par arbre de défaillance ont été présentés, comme le souligne Ericson en 1999 [18].

3.2.1 Définition

L'arbre de défaillance (ADD) s'affirme comme une méthode déductive rigoureuse, permettant d'identifier méthodiquement les causes d'un événement redouté (ER). Il se matérialise sous la forme d'une représentation graphique qui cartographie les différentes combinaisons d'événements pouvant conduire à l'événement indésirable prédéfini. Cette représentation met en lumière les relations de cause à effet qui sous-tendent l'ER. L'ADD s'accompagne d'un traitement mathématique qui permet de combiner les défaillances élémentaires et leurs probabilités d'apparition respectives. Ce calcul permet d'estimer la probabilité globale d'occurrence de l'événement redouté. Il est toutefois crucial que les événements constituant l'arbre de défaillance soient indépendants les uns des autres. De plus, la quantification de leurs probabilités d'occurrence est nécessaire, mais uniquement si l'arbre est destiné à une analyse quantitative [19].

Contrairement à l'AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité), qui adopte une approche inductive et ne s'intéresse pas aux conséquences des défaillances élémentaires, l'approche déductive de l'arbre de défaillance permet de :

- **Comprendre les mécanismes qui conduisent à l'événement redouté** en remontant des effets aux causes.
- **Identifier les défaillances critiques** qui contribuent le plus à la probabilité d'occurrence de l'ER.
- **Prioriser les actions préventives** en ciblant les défaillances qui ont le plus impacte.
- **Quantifier le risque global** associé à l'événement redouté.

L'arbre de défaillance s'impose ainsi comme un outil précieux pour la maîtrise des risques et l'amélioration de la sécurité des systèmes complexes.

3.2.2 Rôle des arbres de défaillances

Dans les industries où la sécurité est primordiale, les arbres de défaillances jouent un rôle crucial en tant qu'outils d'évaluation de la conception. Ils permettent d'identifier, dès les phases préliminaires du cycle de vie d'un système, les scénarios pouvant mener à des accidents. Cette identification précoce des risques permet d'éviter des modifications de conception ultérieures, souvent coûteuses et complexes à mettre en œuvre. Au-delà de leur fonction préventive du risque, les arbres de défaillances s'avèrent également précieux pour le diagnostic des défaillances. En effet, ils permettent de prédire les composants les plus susceptibles d'être en cause lors d'une défaillance du système, facilitant ainsi les interventions de maintenance et de réparation.

L'utilisation des arbres de défaillances contribue ainsi à renforcer la sûreté des systèmes à risque, en anticipant les problèmes potentiels et en optimisant les stratégies de maintenance.

3.2.3 Représentation graphique

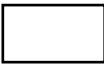



La représentation graphique de l'arbre de défaillance se fait à travers une symbolisation graphique classée en deux types [20]

- Evènements ;
- Portes logiques ;

1°. Evènements

La symbolisation des évènements a pour but de faciliter la désignation entre les différents types d'évènements. (**Tableau 3.1**)

Tableau. 3.1 : Symboles des évènements dans les arbres de défaillances.

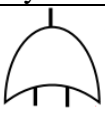
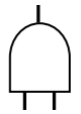
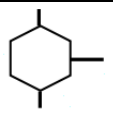
Symbole	Nom	Description
	Evènement Intermédiaire ou final	<i>Evènement du plus haut niveau : sommet d'arbre « évènement redouté », ou évènement intermédiaire résultant d'un évènement redouté.</i>
	Evènement de base	<i>Evènement du plus bas niveau pour lequel la probabilité d'apparition ou d'information est disponible.</i>
	Evènement non développé	<i>Le développement de cet évènement n'est pas terminé, soit parce que ses conséquences sont négligeables, soit par manque d'information.</i>
	Evènement maison	<i>Evènement qui doit se produire avec certitude lors de la production ou de la maintenance. On peut aussi le définir comme un évènement non probabilisé ou (P=1).</i>

2°. Portes logiques

Les portes logiques (ou connecteurs logiques) sont les liaisons entre les différents branches et/ou évènements. Les plus classiques sont : la porte ET et porte OU (Tableau 3.2). Les portes fonctionnent comme suit :

- OU : l'évènement en sortie/supérieur survient si, au moins, un des évènements en entrée/inférieur survient/est présent ;
- ET : l'évènement en sortie/supérieur survient seulement si tous les évènements en entrée/inférieur surviennent/sont présents

Tableau. 3.2 : Symboles des portes dans les arbres de défaillances

Symbole	Nom	Description	Nombre d'entrées
	OU (OR)	<i>L'évènement de sortie apparaît si au moins un des évènements d'entrées apparaît</i>	>1
	ET(AND)	<i>L'évènement de sortie apparaît si tous les évènements apparaissent</i>	>1
	SI (IF)	<i>Sortie générée si l'évènement entrée est présent et si la condition X est réalisée</i>	=1

3.2.4 Construction d'un arbre de défaillances

3.2.4.1 Principe

La construction d'un arbre de défaillance repose sur une démarche méthodique et rigoureuse, guidée par les principes suivants :

1. Définir l'événement redouté :

Le point de départ est l'événement redouté lui-même, représenté au sommet de l'arbre. Il s'agit de l'événement dont on souhaite identifier les causes sous-jacentes. Cet événement doit être unique et clairement défini. [18].

2. Décomposer les événements de haut en bas

L'arbre de défaillance se construit généralement de haut en bas, en divisant l'événement redouté en niveaux successifs d'événements. Chaque événement est considéré comme une conséquence d'un ou plusieurs événements du niveau inférieur, reliés par des portes logiques. Pour chaque événement d'un niveau donné, l'objectif est d'identifier l'ensemble des événements immédiats nécessaires et suffisants à sa survenance. [18].

3. Utiliser des portes logiques pour relier les événements

Les relations entre les niveaux d'événements sont représentées par des liens logiques, principalement des "portes OU" et des "portes ET". Ces portes logiques permettent de définir précisément les relations de cause à effet entre les événements des différents niveaux. La démarche consiste à remonter des effets aux causes de l'événement redouté jusqu'à des événements élémentaires probables et indépendants entre eux, en suivant une logique déductive et booléenne (allant des effets vers les causes). Chaque ligne détaille la ligne supérieure en présentant les combinaisons susceptibles de produire l'événement de la ligne supérieure auquel elles sont rattachées.

4. Décomposer les événements jusqu'aux événements élémentaires

Le processus déductif est poursuivi niveau par niveau jusqu'à ce que les spécialistes impliqués jugent inutile de décomposer davantage les événements en combinaisons d'événements de niveaux inférieurs. Cette décision est généralement prise lorsque les événements atteignent un niveau de détail suffisant ou lorsqu'une valeur de probabilité d'occurrence pour l'événement analysé est disponible. Ces événements non décomposés de l'arbre sont appelés événements élémentaires (ou événements de base).

En résumé, les règles fondamentales de la construction d'un arbre de défaillance se résument à :

1. Partir de l'événement redouté (sommet de l'arbre).
2. Identifier les événements intermédiaires possibles expliquant l'événement redouté.
3. Considérer chaque événement intermédiaire comme un nouvel événement redouté.
4. Identifier les causes possibles de chaque événement au niveau considéré.
5. Descendre progressivement dans l'arbre jusqu'aux événements de base.

En suivant ces principes rigoureux, l'arbre de défaillance se révèle être un outil précieux pour analyser les causes potentielles d'un événement redouté et ainsi identifier les actions préventives nécessaires pour minimiser les risques.

3.2.4.2 Etapes de construction

Etape 01 : Evènement sommet (évènement indésirable)

- Cet événement, souvent désigné comme "sommet" ou "événement redouté", représente le point de départ de l'investigation et revêt une importance capitale pour la qualité des conclusions qui en seront tirées.
- La concision et la précision sont des maîtres-mots lors de la formulation de l'évènement redouté. Le libellé doit être à la fois bref et évocateur, permettant une compréhension immédiate du sujet analysé. Il est recommandé d'associer à l'évènement une description complémentaire apportant des détails précis sur sa nature et ses caractéristiques.
- Cette exigence de clarté s'applique également à tous les éléments qui figureront par la suite dans l'arbre de défaillance. Chaque composant doit être défini de manière claire et concise, afin de garantir une représentation synthétique et intelligible de l'analyse.
- En résumé, la définition précise et rigoureuse de l'évènement redouté est une condition sine qua non pour une analyse par arbre de défaillance réussie. C'est à partir de cette base solide que l'on peut remonter méthodiquement les causes potentielles de l'évènement et identifier les actions préventives nécessaires pour minimiser les risques.

Etape 02 : Evènements intermédiaires

- Cette démarche permet de remonter méthodiquement les causes potentielles de l'évènement redouté, d'identifier les facteurs critiques et d'évaluer le risque global associé à cet événement.
- Les évènements intermédiaires sont des évènements moins globaux.
- Une fois un évènement défini, ils seront liés à l'évènement sommet via un connecteur.
- Ces évènements intermédiaires peuvent être, à leur tour, redéfinis par d'autres évènements intermédiaires plus détaillés.

Etape 03 : Evènements de base, transfert et conditions

- L'analyse par arbre de défaillance peut s'avérer complexe, en particulier pour les systèmes de grande envergure. Il est possible de rencontrer des événements pour lesquels les informations disponibles ne permettent pas une décomposition plus poussée, ou dont le développement ne s'avère pas nécessaire pour l'analyse. Ces événements, appelés **évènements non développés**, représentent des feuilles dans l'arbre de défaillance.

- Pour faciliter la lecture et la validation des arbres de défaillance volumineux, il est possible d'utiliser des portes de transfert. Ces portes signalent que la suite de l'analyse se poursuit sur une autre page, permettant ainsi de décomposer l'arbre en modules plus lisibles.
- Les événements de base constituent les éléments les plus fins de l'arbre de défaillance. Ils représentent les défaillances ultimes, telles que des défaillances électriques, mécaniques ou logicielles, d'un élément du système étudié. Ces événements de base ne peuvent pas être décomposés davantage et constituent les fondations de l'analyse.
- La construction rigoureuse de l'arbre de défaillance est une étape cruciale de la méthodologie. La complétude et la précision de l'arbre conditionnent la qualité de l'analyse qualitative ou quantitative qui sera ultérieurement réalisée. Cette construction est décrite en détail dans plusieurs normes industrielles, telles que la norme CEI 61025.

Une fois l'arbre de défaillance construit, deux types d'exploitation qualitative peuvent être menés afin d'obtenir une vue claire et structurée des événements et de leurs enchaînements [18]:

1. Identification des scénarios critiques : Cette étape consiste à identifier les combinaisons d'événements les plus redoutées, celles qui ont la plus forte probabilité de conduire à l'événement redouté.
2. Analyse des combinaisons de défaillances : Cette analyse vise à examiner en détail les différentes défaillances qui peuvent mener à l'événement redouté, en identifiant les facteurs critiques et les points de fragilité du système.

En conclusion, l'analyse par arbre de défaillance s'appuie sur une construction rigoureuse et une exploitation méthodique pour identifier les causes potentielles d'un événement redouté, évaluer les risques associés et mettre en place des actions préventives adéquates.

3.2.5 Avantages et inconvénients

En tant que méthode déductive, l'arbre des défaillances possède des avantages qui le mettent dans une position favorable à son utilisation. Cependant, d'autre part étant assujéti à un certain nombre de contraintes il possède aussi des inconvénients [19].

Avantages

- ADD combine des d'évènements qualitatifs et une méthode mathématique rigoureuse basée sur des calculs de probabilités. L'analyse donne des résultats quantitatifs précis et fiables.
- Fait apparaitre les conditions les plus critiques et donne instantanément le résultat d'une amélioration en terme de réduction du risque.

- Peut prendre en compte les probabilités de défaillance humaine (à travers les fonctions ET, Si).
- Donne une vue claire et structurée des évènements et des enchainements.

Inconvénients

- Un peu complexe et consommatrice de temps
- Deux groupes de travail différents peuvent construire des analyses différentes...
- Résultat à utiliser avec précaution en analysant les hypothèses utilisées.
- Incertitude sur certaines probabilités d'occurrence d'évènements élémentaires.

3.3 APPLICATION

3.3.1 Identification de l'évènement redouté

L'identification précise de l'évènement redouté constitue le fondement de l'analyse par arbre de défaillance. Cet événement, souvent désigné comme "événement sommet" ou "événement cible", représente la situation critique que l'on cherche à éviter. Il correspond généralement à un événement indésirable aux conséquences négatives en termes de sécurité industrielle, d'impact environnemental ou de pertes économiques. Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de définir l'évènement redouté de manière spécifique pour chacune des missions ou fonctions du système étudié. Cette approche permet de prendre en compte la diversité des contextes d'utilisation et les enjeux propres à chaque mission. En considérant les modes de défaillances exposés dans le chapitre précédent, seuls ceux en relation avec les défaillances du moteur de lancement seront traités :

- **ER1 : Le moteur ne démarre pas**
- **ER2 : Désalignement**
- **ER3 : Vibrations excessives**
- **ER4 : Défaillances des paliers du moteur**
- **ER5 : Echauffement excessif des enroulements**
- **ER6 : Perte d'isolement**
- **ER7 : Déséquilibre de la source d'alimentation électrique**
- **ER8 : Echauffement**
- **ER9 : Mauvais serrage des vises des fixations des bornes**
- **ER10 : Cramage du moteur et de variateur de fréquence ACS 600**
- **ER11 : Défaut de roulement de ventilateur**
- **ER12 : Claquage des composants électronique (statique) (stator - diode - teristor)**
- **ER13 : Claquage des composants des cartes de commande**

- **ER14 : Éclatement du condensateur électrique**

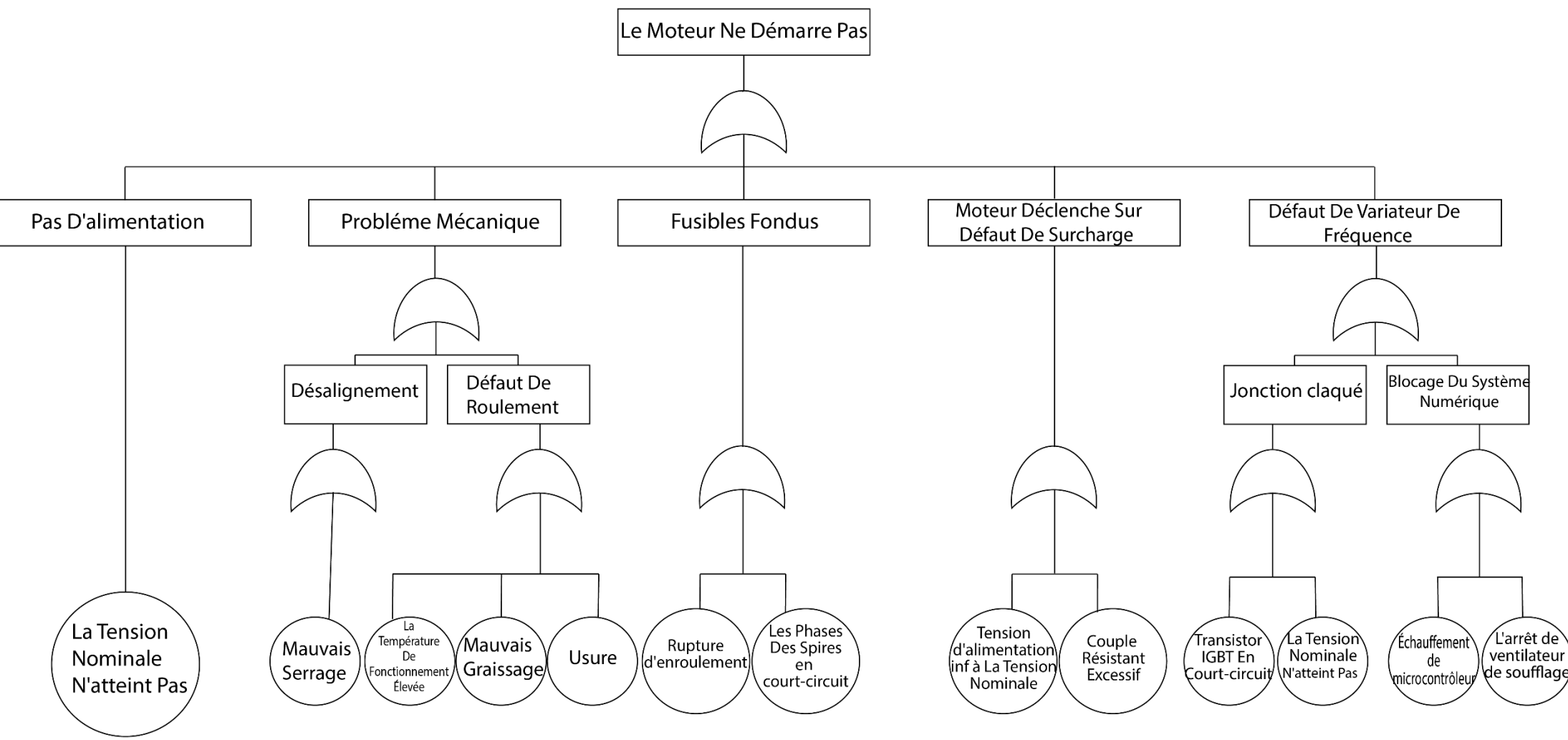
Chaque événement redouté nécessite la construction d'un arbre de défaillance qui développera ses événements indésirables prédéfinis en mettant en évidence les relations de causes à effets. Dans ce qui suit, on s'intéressera à ER1. Les différents événements recensés pour l'événement redouté « **Le moteur ne démarre pas** » sont regroupés dans le **Tableau 3.3**.

Tableau 3.3 Liste des événements probables

Evénements redouté	Evénement probable
Le moteur ne démarre pas	Pas d'alimentation électrique.
	Défaillance du variateur de fréquence.
	Moteur déclenche sur défaut de surcharge.
	Fusibles fondus.
	Problème mécanique

3.3.2 Construction de l'arbre de défaillance

- Afin d'identifier tous les événements possibles et probables générateurs de l'événement redouté ER1, nous avons adopté une démarche déductive.
- Chaque événement de rang ($n-1$) est déduit d'une manière logique de l'événement n jusqu'à la fin de l'opération et au dernier événement dit « événement de base ».



3.4 CONCLUSION

Les défaillances des systèmes industriels peuvent avoir de graves conséquences sur la sécurité des travailleurs, sur l'environnement et sur la qualité des produits. Il est essentiel pour les entreprises de mettre en place des programmes de maintenance préventive et de surveillance des équipements pour éviter ces défaillances. De plus, il est impératif d'investir dans la formation et la sensibilisation des employés pour qu'ils puissent identifier et signaler les problèmes potentiels avant qu'ils ne provoquent des accidents. Au terme de ce chapitre nous avons diagnostiqué le moteur de lancement par la technique de l'arbre de défaillance dans le cadre qualitative. Enfin, une culture de la sécurité et de la qualité doit être intégrée à tous les niveaux de l'entreprise pour prévenir les défaillances des systèmes industriels.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce mémoire, qui synthèse le projet de fin d'études de mon cursus universitaire au sein de département de génie mécanique de la faculté des sciences appliquées de l'université de Tiaret, le fait de traiter une problématique issue du milieu professionnel et industriel il m'a donné l'occasion d'acquérir et de renforcer mes connaissances sur les réalités de la maintenance industrielle. A ce propos, J'ai choisi la division TRC du groupe Sonatrach et en particulier la station de pompage 03 car elle joue un rôle crucial dans le transport par canalisation des hydrocarbures.

Au niveau de cette station, j'ai analysé un problème qui traite avec la défaillance du moteur électrique marque ABB utilisé pour le lancement de la turbine à gaz marque TORNADO d'entraînement de la pompe centrifuge multicellulaire marque GUIGNARD. Le traitement des défaillances du moteur électrique de lancement a été abordé à travers son diagnostic par une méthode inductive à savoir l'arbre de défaillance (ADD). Cependant, le diagnostic des défaillances par l'arbre de défaillance à été effectué dans un cadre qualitative.

L'objectif de l'analyse ADD a été atteint étant donné que l'ensemble des causes externes et internes pouvant mener à l'évènement redouté « le moteur ne démarre pas » ont été identifiées. A partir de là, nous pouvons connaitre l'emplacement du dysfonctionnement et ses origines.

En conclusion, la prévention des défaillances du moteur électrique de lancement est une tâche cruciale pour la station de pompage. En investissant dans la maintenance préventive, la surveillance du moteur, la formation des hommes de maintenances et en instaurant une culture de la sécurité et de la qualité, la station de pompage peut réduire les perturbations du pompage du pétrole brute, et son incidence sur la production nationale.

En fin de compte, on espère que ce mémoire servira de références pour les hommes de maintenance, pour améliorer le niveau de qualité des activités techniques sur le site de la ligne de pompage.

Bibliographie

- [1] Kharouati Aicha «Contribution à l'étude de la sûreté de fonctionnement des systèmes instrumentés intelligents». Mémoire de doctorat UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA.2021
- [2] Benhania Abdelhamid et Aboub Adel. « Analyse des risques industriels d'une station de service». Mémoire de master académique UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [3] Mazouni, Mohamed Habib, and Habib Hadj Mabrouk. "Méthode et Formalisme de base pour l'Analyse Préliminaire des Risques dans le Transport Ferroviaire." Sixth International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control, STA'2005. 2005.
- [4] PDF résumé non technique de l'étude de dangers. EMC avril 2019. Dossier d'autorisation environnementale. Réf : A1804.087 - Pièce 10 RNT – Ver 2.
- [5] Benida , Osmani « Etude des défaillances des garnitures mecaniques pour pompescentrifuges multicellulaires». Mémoire de master académique Université Ibn Khaldoun de Tiaret Faculté des Sciences Appliquées. (2020)
- [6] Mortureux, Yves. Article, Technique de l'ingénieur "Arbres de défaillance, des causes et d'événement." le 02 sept. 2020.
- [7] École des HEC - 1994 - Reproduction strictement interdite. L AMDEC. Sous la direction du prof. Joseph Kélada. École des Hautes Études Commerciales Centre d'études en qualité totale.
- [8] ZWINGELSTEIN. G, se 4005 Évaluation de la criticité des équipements (Méthodes analytiques), base documentaire : méthodes d'analyse des risques, date de publication :10/07/2014.
- [9]Mazouni, Mohamed Habib, and Habib Hadj Mabrouk. "Méthode et Formalisme de base pour l'Analyse Préliminaire des Risques dans le Transport Ferroviaire." Sixth International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control, STA'2005. 2005.
- [10] zidelmal-mellakh "Étude du programme de graissage des équipements de la station SP3 avec élaboration d'une application informatique" Projet professionnel de fin de formation Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur spécialisé En mécanique pétrolière.
- [11] Wikipédia, moteur asynchrone.
- [12] guide acs 600
- [13] E. Merabet, "Commande floue adaptative d'une machine asynchrone double étoile", Mémoire de Magister de l'Université El-Hadj Lakhdar de Batna, Algérie, Novembre 2008
- [14] L. Berkani, L. Abbache, "Commande par Mode de Glissement d'un Moteur Asynchrone Double Etoile", Mémoire de Master de l'Université A. Mira de Bejaïa, Algérie, juin 2013.
- [15] Articles universitaires correspondant aux termes P. Mayé, Aide-mémoire électrotechnique, Paris, Dunod 2006.
- .

[16]R. Merad, “*Outils de diagnostic appliqués à la machine asynchrone triphasé à cage d’écureuil*”, Mémoire de Magister de l’Université de Constantine, Algérie 2006.

[17]Prof CHAOUCH Souad L3 ELM, Matière «Commande des Entraînements Electromécaniques», Université Batna 2, 2022

[18]C.ERICSON,« Fault Tree Analysis, A History From The Proceeding Of The 17th International System Safety Conference », Washington, 1999.

[19]W.E. VESELY, F.F.GOLDBERG, N.H. ROBERTS, D.F. HAASL, "Fault tree handbook", NUREG report 0492, 1981.

[20]A.KHEDHER, « Méthodes Du Diagnostic-Cours», Institut supérieur des sciences appliquées et technologies de GAFSA, 2018.

CEI 61025 : Analyse arbre de pannes : Norme CEI/IEC 61025 second édition 2006-12 (International Electro technical Commission).

ملخص

أصبحت تشخيصات الماكينة ضرورية لتحسين التكاليف ووقت التشغيل. ويندرج في إطار المراقبة الاستباقية. بالنسبة للألات الدوارة، يضمن التشخيص الدقيق والسريع للأعطال ربحية أفضل للعمليات. وفي الواقع، فإن اكتشاف الأعطال في مرحلة مبكرة يساعد على تجنب الأعطال الكبرى، والتي تكون مكلفة وتسبب التأخير. تظهر الأساليب الاستقرائية كحل فعال لتحسين توافر المنشآت. حاولنا في هذا العمل تقديم تشخيص يعتمد على إحدى الطرق الاستقرائية وهي شجرة الأعطال المطبقة على محرك إطلاق توربين غازي

الكلمات المفتاحية: التشخيص، المراقبة الاستباقية، التوفر، شجرة الأخطاء

ABSTRACT

Machine diagnostics have become essential to optimize costs and operating time. It falls within the framework of proactive surveillance. For rotating machines, precise and rapid diagnosis of failures ensures better profitability of operations. Indeed, detecting failures at an early stage helps avoid major breakdowns, which are costly and cause delays. Inductive methods are emerging as an effective solution to improve the availability of installations. In this work, we tried to present a diagnosis based on one of the inductive methods namely the fault tree applied for a gas turbine launch motor.

Keywords: diagnosis, proactive monitoring, availability, fault tree.

RESUME

Le diagnostic des machines est devenu essentiel pour optimiser les coûts et le temps d'exploitation. Il rentre dans le cadre de la surveillance proactive. Pour les machines tournantes, un diagnostic précis et rapide des défaillances, permet de garantir une meilleure rentabilité des opérations. En effet, détecter les défaillances à un stade précoce permet d'éviter des pannes majeures, coûteuses et sources de retards. Les méthodes inductives s'imposent comme une solution efficace pour améliorer la disponibilité des installations. Dans ce travail, nous avons essayé de présenter un diagnostic basé sur l'une des méthodes inductives à savoir l'arbre de défaillance appliquée pour un moteur de lancement d'une turbine à gaz.

Mots clés : diagnostic, surveillance proactive, disponibilité, Arbre de défaillance.