

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Université M'hamed Bougara- Boumerdes
جامعة أمحمد بوقرة- بومرداس



Faculté de Technologie
Département : Génie des procédés

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en
Hygiène et sécurité industrielle

Thème :

**La gestion des risques liés au fonctionnement de la
turbine à vapeur de la centrale thermique au Cap Djinat
par la méthode AMDEC**

Préparé par :

- Bouguedah zakaria

Promoteur : Dr. Rim SOUAM

Encadreur : Haouchine houcine

Membres du jury :

Nom & Prénom	Grade	Qualité
Mme Kebbouche	MAA	Président
Mme Korso	MAA	Examineur
Mme Souam	MCB	Promoteur

Année universitaire : 2023 - 2024

Résumé :

Cette étude se concentre sur la gestion des risques industriels liés au fonctionnement de la turbine à vapeur de la centrale thermique de Cap Djinet, une installation stratégique, et cela, en adoptant une approche systématique et structurée. Dans un premier temps, nous avons abordé les différentes notions conceptuelles nécessaires à la compréhension de la gestion des risques industriels. Ensuite, une application de la méthode AMDEC sur une partie importante de la centrale à savoir la turbine à vapeur, nous a permis d'identifier et d'analyser les modes de défaillance de la turbine. Chaque défaillance a été évaluée en termes de criticité, ce qui nous a permis de proposer des mesures correctives adaptées, dans le but d'optimiser les performances de la turbine, de minimiser les arrêts non planifiés et de garantir la sécurité de l'installation pour assurer une production plus sécurisée et efficace.

Mots-clés : turbine à vapeur, AMDEC, risques, gestion, centrale thermique, ,

Abstract:

This study focuses on managing risks associated with the operation of the steam turbine at the Cap Djinet thermal power plant through a systematic and structured approach. Initially, we discussed the various conceptual notions required to understand industrial risk management. Then, we applied FMECA method to identify and analyze the steam turbine's failure modes. Each failure was assessed in terms of criticality, allowing us to suggest appropriate corrective measures in order to optimize the performance of the turbine, minimize unplanned downtime and guarantee the safety of the plant to ensure more secure and efficient production.

Key words: steam turbine, FMECA, risks, management, thermal power plant

الملخص :

تركز هذه الدراسة على إدارة المخاطر الصناعية المرتبطة بعمل توربين البخار في المحطة الحرارية لتوليد الكهرباء في كاب جنات والتي تعتبر منشأة ذات أهمية استراتيجية، وذلك باعتماد طريقة منهجية ومنظمة. حيث قمنا، في خطوة أولى، بتسليط الضوء على مختلف المفاهيم المرتبطة بمجال إدارة المخاطر الصناعية. وفي خطوة ثانية، قمنا بتطبيق طريقة AMDEC بغرض تحديد وتحليل الاعطاب المتعلقة بعمل توربين البخار، اذ قمنا بحساب درجة الحرجية بالنسبة لكل عطب مما مكننا من تقديم جملة من الإجراءات التصحيحية بهدف تحقيق الأداء الأمثل للتوربين، تخفيض حالات التوقف عن الخدمة، وضمان سلامة وكفاءة العملية الانتاجية

الكلمات المفتاحية: المخاطر، إدارة، المحطة الحرارية لتوليد الكهرباء، AMDEC توربين البخار،

DEDICACE

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu, tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Pour que ma réussite soit complète, je la partage avec toutes les personnes que j'aime, je dédie ce modeste travail :

A celle qui m'a tout donné sans rien me demander, la source de mes efforts, flamme de mon cœur, ma vie, mon soutien moral et source de joie et de bonheur : **Mama** que j'adore.

A mon cher père

A mon cher frère Billel et sa femme Nassima

A mes très chères sœur Manel Selma

A Maria la Personne qui m'a soutenu durant cette période difficile et qui a été pour moi une source de motivation.

A mes meilleurs amis : **Fateh, Salim, Seif eddine, Walid**

A tous mes amis qui m'ont aidé de près ou de loin à mener à bien ce travail.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers Dr. SOUAM Rim, ma promotrice. Son soutien inestimable, ses conseils avisés et sa disponibilité ont été d'une aide précieuse tout au long de notre Travail. Son engagement a grandement contribué à mon succès.

Je tiens également à remercier chaleureusement les membres de jury pour leur présence et participation malgré leurs nombreuses obligations et d'avoir consacré du temps à l'évaluation de mon mémoire.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Mr Haouchine Houcine et Mr Kalai Samir pour leur encadrement, leurs précieux conseils, leur assistance et leur soutien lors de mon stage au sein de la centrale thermique Cap Djinet, leur contribution a été essentielle à mon apprentissage et à mon développement professionnel.

Je souhaite également à exprimer ma gratitude envers nos enseignants pour la qualité de leur enseignement et leur dévouement.

Liste des figures

N	Titre	Page
I.1	Tableau matrices des risques de Farmer	7
I.2	Typologie des risques industriels	10
I.3	Processus de La gestion des risques.	14
I.4	Typologie et approche des méthodes d'analyse	20
I.5	Classification des risques	22
I.6	Types d'AMDEC	27
II.1	Station de la centrale thermique de Ras Djanet	39
II.2	Composantes d'une tranche thermique de la centrale de Ras-Djinet.	40
II.3	Constitution générale d'un condenseur par surface.	44
II.4	Vue de face de la pompe d'extraction.	45
II.5	Vue de face de la pompe d'alimentation.	46
II.6	Vue de face du réchauffeur	47
II.7	Vue de face de la bache d'alimentation	48
II.8	Corps Haut Pression HP	48
II.9	Corps MP	49
II.10	Corps BP	49
II.11	Alternateur	50
II.12	Transformateur principal	50
II.13	Turbine	53
II.14	Turbine hydraulique et générateur électrique, vue en coupe	53
II.15	Principe de fonctionnement des centrales hydroélectriques	55
II.16	L'éolienne	53
II.17	Principe de fonctionnement d'une turbine à gaz	56
II.18	Rotor BP d'une turbine à vapeur	57
II.19	Schéma de principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur	58
II.20	Corps HP (coupe longitudinale)	61
II.21	Corps MP	61
II.22	Corps MP (coupe longitudinal)	62
II.23	Corps BP	63

II.24	Corps BP (coupe longitudinale)	64
II.25	La pompe ATLINE	65
II.26	Schéma du circuit d'huile de la turbine et nomenclature	66
II.27	Décomposition de la Turbine à Vapeur de Cap Djinet	69

Liste des tableaux

N	Titre	Page
I.1	Echelles de gravité	5
I.2	Exemple d'une AMDEC Produit dans une société de transport	28
I.3	Exemple d'une AMDEC Processus / Procédé en industrie	28
I.4	Exemple d'une AMDEC Moyen / Machine dans le BTP	29
I.5	Indice de Fréquence « F »	32
I.6	Indice de Gravite <G>	33
I.7	Indice de Non-Détection « D »	34
I.8	Tableau de l'AMDEC	34
II.1	Caractéristiques du générateur de vapeur	41
II.2	Caractéristiques de l'économiseur	41
II.3	Caractéristiques de l'économiseur	42
II.4	Caractéristiques des colonnes de descente et tubes écrans	42
II.5	Caractéristiques de la surchauffeur	43
II.6	Caractéristiques du resurchauffeur	43
II.7	Caractéristiques du désurchauffeur.	43
II.8	Caractéristiques du condenseur	45
II.9	Les caractéristiques des pompes de circulation	46
II.10	Caractéristique technique	59
II.11	Caractéristique du corps HP	61
II.12	Caractéristique du corps MP	63
II.13	Caractéristique du corps BP	64
II.14	Grille de cotation de fréquence.	70
II.15	Grille de cotation de la probabilité d'occurrence.	70
II.16	Grille de cotation de la gravité	70
II.17	Classification de la criticité du risque	71
II.18	Classification des risques et actions correspondantes	72

Liste d'abréviation

AdD : analyses de défaillances

APR : analyses préliminaires des risques

AMDE : analyses des modes de défaillances de leurs effets

AMDEC : analyses des modes de défaillances de leurs effets et de leurs criticités

BP : base pression

BTP : bâtiments et travaux publics

C : criticités

CEI : Commission Électrotechnique Internationale.

D : détectabilités

Etc : Et cetera

F : fréquences

G : gravite

HP : haute pression

HSE : Hygiène sécurité environnementale

HAZOP: Hazard and Operability Study

ICI: Imperial Chemical Industries

ISO: International Organization for Standardization

KV: kilo volte

MP : moyenne pression

MW : méga watts

R & D : Recherche et Développement

TI : Temps d'Intervention

Table des matières

Résumé
Dédicaces
Remerciements
Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des abréviations

Titre	Page
Chapitre I : Le cadre conceptuel de la gestion des risques industriels	
Introduction et problématique	1
Section 1 : Définitions et concepts de base	4
Section 2 : Classification des risques	7
Section 3 : Les risques industriels	9
Section 4 : La gestion des risques	10
Section 5 : Méthodes, Approches et Démarches de la gestion des risques industriels	20
Section 6 : L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)	25
Chapitre II : Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet	
Section 1 : Présentation de la centrale thermique Cap-Djinet	38
Section 2 : Description des différents composants de la centrale	39
Section 3 : Fonctionnement du site de production	51
Section 4 : La turbine à vapeur	52
Section 5 : Analyse des modes de défaillances de la turbine à vapeur de leurs effets et de leurs criticités.	68
Conclusion générale	81

Introduction générale

Introduction et problématique :

Les risques industriels représentent des dangers potentiels associés aux activités de production, de transformation et de manipulation de matières dangereuses dans les installations industrielles. Ces risques peuvent entraîner des accidents majeurs tels que des explosions, des incendies, des fuites de substances toxiques ou des catastrophes environnementales. La gestion des risques industriels est donc essentielle pour protéger les travailleurs, la population environnante et l'environnement.

La gestion des risques industriels repose sur une série d'étapes méthodiques : l'identification des risques, l'évaluation de leur probabilité et de leur gravité, la mise en place de mesures de prévention et de protection, et la surveillance continue. L'objectif est de minimiser les risques et de préparer des plans d'intervention efficaces en cas d'accident.

Parmi les méthodes de gestion des risques, l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est couramment utilisée. Elle permet d'identifier les modes de défaillance potentiels des composants d'un système, d'analyser leurs effets, d'évaluer leur criticité et de proposer des actions correctives pour prévenir les incidents ou atténuer leurs conséquences.

La centrale thermique de Cap Djinat, située en Algérie, joue un rôle stratégique dans la satisfaction des besoins énergétiques du pays. En produisant une source fiable et stable d'électricité, cette centrale soutient l'économie nationale, favorise le développement industriel et améliore la qualité de vie des habitants. Les centrales thermiques sont indispensables pour garantir une fourniture continue d'énergie, surtout pendant les périodes de forte demande.

Au cœur de la centrale thermique de Cap Djinat se trouve la turbine à vapeur, un composant essentiel de la conversion de l'énergie. La turbine à vapeur convertit l'énergie thermique de la vapeur d'eau en énergie mécanique, qui est ensuite transformée en électricité par un générateur. Ce processus commence par la production de vapeur à haute pression, résultant de la combustion de combustibles fossiles comme le gaz naturel, le charbon ou le pétrole. La vapeur ainsi produite est dirigée vers les pales de la turbine, les faisant tourner et transformant l'énergie thermique en énergie mécanique. Cette énergie mécanique est ensuite utilisée pour faire tourner un générateur électrique, produisant ainsi de l'électricité.

La gestion des risques liés au fonctionnement de la turbine à vapeur est cruciale pour assurer son fonctionnement sûr et efficace. Cela inclut l'identification des risques, tels que les défaillances mécaniques, la surchauffe, les vibrations excessives, les fuites de vapeur et les défaillances de contrôle. L'évaluation de ces risques par des méthodes comme l'AMDEC permet d'analyser la criticité des défaillances potentielles et de mettre en place des mesures préventives, telles que l'entretien régulier, l'installation de capteurs de surveillance, et le développement de plans d'urgence.

La gestion des risques industriels, notamment ceux liés au fonctionnement de la turbine à vapeur dans une centrale thermique comme celle de Cap Djinet, est essentielle pour garantir la sécurité et l'efficacité des installations. Une approche systématique et proactive permet de minimiser les dangers et d'assurer une fourniture continue et fiable d'électricité.

De cette présentation découle la problématique suivante : **Comment peut gérer les risques liés à l'activité de la turbine à vapeur de la centrale thermodynamique de Cap Djinet par l'outil AMDEC ?**

Questions de recherche et hypothèses :

En vue de répondre à cette problématique, nous avons envisagé de la décomposer en sous questions :

- Qu'est-ce que la gestion des risques industriels ?
- Qu'est-ce que l'Analyse des Modes de Défaillance de leur Effets et de leurs Criticités ?
- Qu'est-ce qu'une centrale thermodynamique ?
- Qu'est-ce qu'une turbine à vapeur ?
- Existe-il des défaillances au niveau de la turbine à vapeur de la centrale thermique de Cap-Djinet ?
- Quel est l'apport de l'AMDEC pour assurer la performance de la turbine à vapeur ?

Afin de préparer une piste de réponses aux questions précédentes, nous émettons les hypothèses suivantes :

H1 : La turbine à vapeur de la centrale thermique de Cap Djinet contient un ensemble de défaillances qui nécessitent des actions d'amélioration.

H2 : L'AMDEC permet de réduire les défaillances de la turbine à vapeur à un niveau acceptable.

Objectifs :

L'étude actuelle vise à réaliser les objectifs suivants :

- Une présentation succincte mais complète sur la gestion des risques dans le milieu industriel ;
- Une présentation de la méthode AMDEC choisie pour la gestion des risques ;
- Une présentation de la centrale thermique, son activité, ses composantes, ... ;
- Analyse des risques liés au fonctionnement de la turbine à vapeur de la centrale.

Plan de travail :

Afin d'apporter des réponses aux questions que se pose l'étude, et en vue d'atteindre les objectifs fixés, nous avons, dans un premier temps, abordé les notions de base de la gestion des risques depuis la définition, jusqu'aux différentes méthodes utilisées pour gérer les risques dans le milieu industriel, en passant par les démarches et le processus du management des risques.

Dans un second temps, nous avons choisi la méthode AMDEC, qui se veut une méthode complète de gestion des risques, partant de sa définition jusqu'à sa mise en œuvre.

Finalement, nous avons soumis la turbine à vapeur de la centrale thermique de Cap-Djinet à une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités, en essayant de proposer des actions d'amélioration pour réduire les risques modérés à élevés à un niveau acceptable.

CHAPITRE I

Le cadre conceptuel de la gestion des risques industriels

Introduction :

L'application de la gestion des risques aux processus industriels et aux produits n'est pas nouvelle en soi. Elle remonte à plusieurs décennies et s'est traduite notamment par les outils de la sûreté de fonctionnement.

Les grands programmes industriels nécessitent, par leur ampleur, une maîtrise de la complexité qui passe par l'identification des risques et leur quantification dans les termes classiques de performance, de coût et de délai. Longtemps intuitive cette démarche est désormais entrée, un peu partout, dans une phase de formalisation où l'on cherche à mettre en œuvre des méthodes qui soient à la fois conceptualisées et concrètes, c'est-à-dire applicables.

Ainsi, la gestion des risques devient partie intégrante de la gestion du projet en général.

Dans le cadre de ce chapitre, nous essayerons de lever certaines ambiguïtés relatives aux activités relevant de la gestion des risques, c'est-à-dire, définition, synthèse et proposition en vue d'une meilleure compréhension des notions de management : Analyse, acceptation, estimation, évaluation et maîtrise des risques.

Section 1 : Définitions et concepts de base

Le mot « risque » est relativement moderne. Il provient du mot français « risqué ». Ce n'est qu'au milieu du 17^{ème} siècle que les Anglo-Saxons ont adopté le terme « Risk », avant qu'il ne soit fort présent dans le jargon des Assurances [1].

A. Le Danger

La notion de danger définit une propriété intrinsèque à une substance (ex : butane, chlore), à un système technique (ex : mise sous pression d'un gaz), à une disposition (ex : élévation charge), à un organisme (ex : microbes), etc., de nature à entraîner un dommage sur un « élément vulnérable » [2]

A.1. Phénomène dangereux :

Libération d'énergie ou de substance produisant des effets susceptibles d'infliger un dommage à des cibles (ou éléments vulnérables) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières [2]

A.2. Dommage

Effets néfastes d'un événement pour les personnes, la société, ou l'environnement [2].

A.3. Conséquence

Combinaison, pour un accident donné, de l'intensité des effets et de la vulnérabilité des cibles situées dans les zones exposées à ces effets. Elles s'expriment en définissant la nature et la gravité des atteintes portées à celles-ci » [2].

B. Le Risque :**B.1. La définition du risque :**

Définition 01 : Le risque est la combinaison de deux éléments :

- La probabilité d'occurrence d'un événement ou d'une combinaison d'événements conduisant à une situation dangereuse, ou la fréquence de tels événements.
- Les conséquences de cette situation dangereuse [3].

Définition 02 : Le risque est considéré comme *la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux. C'est une espérance mathématique de pertes.*

B.2. Les éléments du risque :

- **La Gravité :**

Le terme gravité (Severity) se dit de l'importance des choses. C'est le caractère de ce qui est important, de ce qui ne peut être considéré avec légèreté, de ce qui peut avoir des suites fâcheuses.

La gravité caractérise globalement l'ensemble des conséquences parmi différentes classes d'importance. Cette classification est effectuée généralement par des experts.

Il convient de définir un nombre pair de classes de gravité par soucis d'éviter la tendance de retenir la position médiane d'une classification impaire. Il convient aussi de choisir des termes révélateurs et distinctifs afin d'éviter les mauvaises interprétations en cas d'audit ou de demande d'avis d'experts. En effet, certains préfèrent tout simplement numéroter les classes de gravité (niveau 0, niveau 1, niveau 2, niveau 3). [2]

Dans le domaine du risque professionnel, la gravité concerne essentiellement les préjudices portés à l'Homme. Ceci amène à définir des échelles de gravité dans la forme suivante :

Gravité	Conséquences pour les personnes ou l'environnement	Conséquences pour le Service
Insignifiant	Eventuellement une personne légèrement blessée	
Marginal	Blessures légères et/ou menace grave pour L'environnement	Perte d'un système important
Critique	Un mort et/ou une personne grièvement blessée graves et/ou des dommages graves pour l'environnement	Dommages graves pour un (ou plusieurs) système(s)
Catastrophique	Des morts et/ ou plusieurs personnes gravement blessées et/ou des dommages majeurs pour l'environnement	Dommages mineurs pour un Système

Tableau I-1 : Echelles de gravité [2]

- **Fréquence :**

La probabilité d'occurrence est la fréquence à laquelle un incident peut se produire durant la durée de vie d'une installation. Elle est évaluée par l'observation et l'expérience, en dressant le bilan des incidents survenus sur des équipements ou des installations similaires.

L'échelle de la probabilité d'occurrence est représentée par un tableau qui indique le nombre d'événements potentiels susceptibles de se produire en une année. Par exemple, une fréquence annuelle de 10⁻¹ signifie qu'un événement a une chance sur 10 de se produire en une année.

Il existe cinq **niveaux** de fréquence :

- ✓ **Faible** : un événement a une chance inférieure à 1 sur 1000 de se produire en une année.
- ✓ **Moyenne** : un événement a une chance comprise entre 1 sur 1000 et 1 sur 100 de se produire en une année.
- ✓ **Élevée** : un événement a une chance comprise entre 1 sur 100 et 1 sur 10 de se produire en une année.
- ✓ **Forte** : un événement a une chance comprise entre 1 sur 10 et 1 sur 1 de se produire en une année.
- ✓ **Très forte** : un événement a une chance supérieure à 1 sur 1 de se produire en une année.

Ces niveaux de probabilité permettent d'évaluer le risque associé à un incident et de prendre des mesures pour le prévenir ou le gérer efficacement.[5]

- **DéTECTABILITÉ :**

La détectabilité (D) est une mesure de la capacité à identifier ou à détecter une défaillance ou un risque avant qu'il ne cause des effets négatifs sur le produit, le processus ou la sécurité. Elle évalue dans quelle mesure un problème potentiel peut être détecté par les contrôles existants.

La détectabilité est une composante importante de la gestion des risques et de la sécurité, car elle permet de prévenir les incidents et les accidents en identifiant les défaillances et les risques avant qu'ils ne se produisent.

Elle est souvent évaluée en fonction de plusieurs **facteurs**, tels que :

- ✓ **Capacité de détection** : La capacité du système de détection à détecter les défaillances ou les risques avant qu'ils ne se produisent.
- ✓ **Rapidité de détection** : Le temps nécessaire pour détecter les défaillances ou les risques.
- ✓ **Précision de détection** : La précision avec laquelle les défaillances ou les risques sont détectés.

- ✓ **Sensibilité** : La capacité du système de détection à détecter les défaillances ou les risques même si elles sont faibles.

La détectabilité est souvent mesurée en utilisant des indicateurs tels que la fréquence de détection, la précision de détection et la rapidité de détection. Elle est essentielle pour garantir la sécurité et la fiabilité des produits et des processus, ainsi que pour réduire les risques de défaillances et d'accidents.

En résumé, la détectabilité est une mesure de la capacité à identifier ou à détecter des défaillances ou des risques avant qu'ils ne causent des effets négatifs. Elle évalue la capacité des contrôles existants à détecter les problèmes potentiels et permet de prévenir les incidents et les accidents.[5]

C. Matrices des risques de Farmer :

La matrice des risques de Farmer est un outil d'analyse qui permet d'évaluer les risques liés à un projet en fonction de leur probabilité et de leur gravité. Elle est utilisée pour hiérarchiser les risques et prendre des décisions éclairées pour minimiser les impacts négatifs. [6]

Probabilité d'occurrence du risque encouru	Très forte					
	Forte		A surveiller de près			Inacceptable en l'état
	Moyenne			A surveiller de près		
	Faible	Acceptable en l'état				
	Très faible					
Matrice de risques de Farmer		Négligeable	Mineure	Majeure	Dangereuse	Catastrophique
		Gravité du risque encouru				

Figure I.1 : Tableau matrices des risques de Farmer [6]

Section 2 : Classification des risques

Dans la littérature, on trouve plusieurs classifications des risques [7], l'analyse des risques permet de les classer en cinq grandes **familles** :

A. Les risques naturels :

Un risque naturel est la menace que représente un événement intempestif dangereux dû à un phénomène naturel, comme une tempête, une inondation, un séisme, etc., sur les aménagements, les ouvrages et les personnes, avec des effets dommageables, imprévus ou mal prévenus

Les risques naturels incluent :

- **Inondations** : crues de fleuves, saturation des nappes phréatiques, ruissellements de boue, etc.
- **Feux de forêt** : incendies de forêt, feux de broussailles, etc.
- **Séismes** : tremblements de terre, éruptions volcaniques, etc.
- **Cyclones** : tempêtes, tornades, etc.
- **Avalanches** : masses de neige ou de glace en mouvement.
- **Raz de marée** : inondations maritimes, tsunamis, etc.
- **Sécheresses** : périodes prolongées de sécheresse, etc.
- **Astéroïdes** : impacts de corps célestes sur la Terre. [8]

B. Les risques technologiques :

Le risque technologique est la possibilité qu'un aléa d'origine technologique se produise et touche une population vulnérable à ce risque. La réalisation de ce risque est une catastrophe technologique ou catastrophe industrielle

Les risques technologiques incluent :

- **Risques industriels** : accidents liés aux activités d'une usine, tels que les explosions, les incendies, les fuites de produits dangereux.
- **Risques nucléaires** : accidents liés à l'utilisation de l'énergie nucléaire, tels que les accidents de centrales électriques, les fuites de radioactivité.
- **Risques de rupture de barrages** : accidents liés à la rupture de barrages, tels que les inondations, les dégâts causés par les eaux en crue.
- **Risques de transport de matières dangereuses** : accidents liés au transport de matières dangereuses, tels que les accidents de camions, les fuites de produits dangereux.
- **Risques miniers** : accidents liés à l'exploitation du sous-sol, tels que les effondrements de carrières souterraines [9]

C. Les risques de transports :

Le risque de transport est la possibilité qu'un aléa d'origine technologique se produise et touche une population vulnérable à ce risque. La réalisation de ce risque est une catastrophe technologique ou catastrophe industrielle

Les risques de transports incluent :

- **Risques routiers** : accidents liés au transport par route, tels que les accidents de camions, les fuites de produits dangereux.
- **Risques ferroviaires** : accidents liés au transport par chemin de fer, tels que les accidents de trains, les fuites de produits dangereux.

- **Risques maritimes** : accidents liés au transport maritime, tels que les accidents de pétroliers, les fuites de produits dangereux [10]

D. Les risques de la vie quotidienne :

Les risques de la vie quotidienne font référence aux dangers et aux menaces auxquels les individus sont exposés dans leur routine quotidienne, que ce soit à la maison, au travail, sur la route, ou dans d'autres environnements familiaux. Ces risques peuvent être variés et peuvent avoir des conséquences allant de légères blessures à des accidents mortels.

E. Les risques liés aux conflits :

Les risques liés aux conflits sont des menaces sur les personnes, les biens, l'environnement, engendrant une déstabilisation des structures sociales, économiques et politiques

Les risques liés aux conflits incluent :

- **Bombardements classiques et nucléaires** : risques de destruction massive et de dommages graves.
- **Armes chimiques et biologiques** : risques de contamination et de maladies graves.
- **Terrorisme** : risques de violence et de destruction.
- **Espionnage** : risques de violation de la sécurité nationale.
- **Guerre** : risques de destruction massive et de dommages graves [11]

Section 3 : Les risques industriels

A. Définition

Les risques industriels peuvent être définis comme « des situations dangereuses rencontrées dans les activités dites industrielles, dans les usines de production et leurs annexes comme les locaux de stockage des matières premières et des produits finies, les laboratoires de recherche, de mise au point et de contrôle. » [12]

B. Typologie des risques industriels :

Propose une distinction entre deux types de risques : les risques de dommages et les risques de crises qu'il distingue de la manière suivante : les risques de dommages correspondent à des situations qui ont été étudiées et pour lesquelles des mesures de prévention et de protection ont été prises par l'organisation. Les risques de crises, au contraire, correspondent à des situations pour lesquelles il y a eu peu d'anticipation et il n'existe aucune expérience antérieure.

La figure suivante (figure I.2) illustre ces deux typologies de risques industriels.

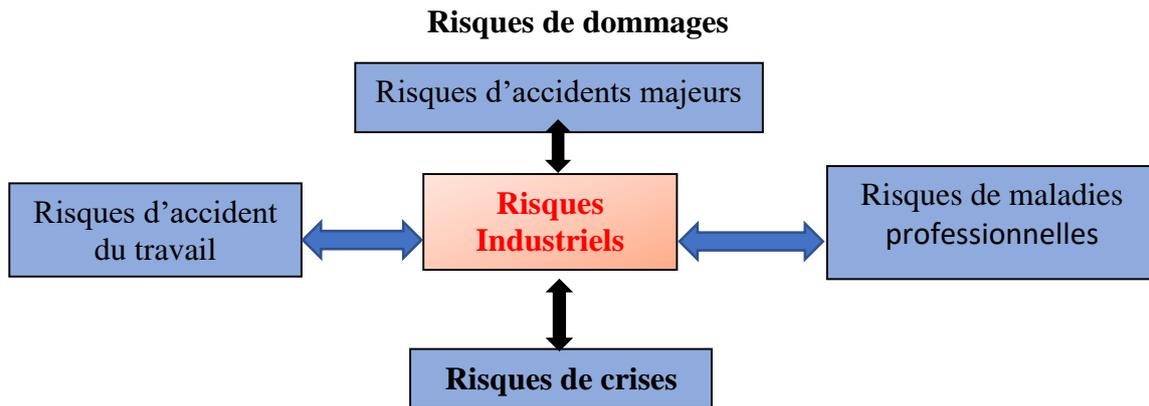


Figure I. 2 : Typologie des risques industriels [13]

Pour notre travail, nous nous concentrerons uniquement sur les risques que nous qualifierons de risques hygiène et sécurité environnementale (HSE) .

- Les dangers liés à l'hygiène industrielle, qui entraînent des maladies professionnelles ;
- Les dangers liés à la sécurité, qui entraînent des dommages aux individus ou aux biens
- Les dangers liés à l'environnement, qui entraînent des accidents majeurs qui affectent l'environnement dans son ensemble (riverains, milieux naturels, installations industrielles voisines, zones résidentielles, etc.).

Section 4 : La gestion des risques

A. Généralités sur la gestion de risque (management des risques) :

La gestion du risque peut être définie comme « *L'ensemble des activités coordonnées en vue de réduire le risque à un niveau jugé tolérable ou acceptable* ». Cette définition, cohérente avec les concepts présentés dans les guides ISO/CEI 51 et 73 s'appuie, ainsi, sur un critère d'acceptabilité du risque.[14]

La gestion du risque fait partie intégrante de la mise en œuvre de la stratégie de toute organisation.

C'est le processus par lequel les organisations traitent méthodiquement les risques qui s'attachent à leurs activités et recherche ainsi des bénéfices durables dans le cadre de ces activités, considérées individuellement ou bien dans leur ensemble.

La gestion du risque devrait être un processus continu d'amélioration qui commence avec la définition de la stratégie et se poursuit avec l'exécution de celle-ci. Elle devrait traiter systématiquement de tous les risques qui entourent les activités de l'organisation, que celles-ci soient passées, présentes ou surtout futures.

Le « management des risques » est une traduction directe de la phCape anglaise « Risk management », généralement employée dans la communauté francophone de la sûreté de fonctionnement.

La commission électrotechnique internationale en 1995 proposait une définition comme suit : « *Application systématique des politiques de gestion, des procédures et des usages aux tâches d'analyse, d'évaluation et de maîtrise du risque* ». [15]

L'ISO dans son guide N° 73 définit le management des risques comme suit : « *Activités coordonnées visant à diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque. Le management du risque inclut typiquement l'appréciation, le traitement, l'acceptation et la communication relatives au risque* ». [4]

Le management des risques constitue une démarche rigoureuse qui s'intègre totalement dans le processus global de management, il a pour but d'accroître les chances de succès de l'entreprise, grâce à une meilleure compréhension et identification des risques encourus, et une meilleure définition des actions visant à s'en prémunir.

A.1. Principes de la gestion des risques :

Les deux **principes** fondamentaux de la gestion du risque sont :

- L'évaluation du risque doit se baser sur la connaissance scientifique et, au final, est étroitement liée à la protection des personnes et des biens.
- Le degré d'effort, de formalisation et de documentation du processus de gestion du risque doit être proportionné au niveau de risque considéré.[2]

A.2. Les enjeux du management des risques pour l'entreprise :

Dans un environnement concurrentiel de plus en plus acharné, la maîtrise des risques devient une priorité primordiale.

Adopter un management des risques et maîtriser tous les aspects d'un processus permet à l'entreprise de :

- Cibler les points faibles de son activité pour faire en sorte de les atténuer, voire qu'elles deviennent des forces ;
- Diffuser la culture risques dans l'entreprise ;
- Prévoir des alternatives face aux risques ;
- L'amélioration des conditions de travail dans les entreprises ;
- Les gains socio-économiques ; ressources humaines. etc.) ;
- D'anticiper pour éviter les nouveaux risques liés aux évolutions techniques et aux changements d'organisation. etc. Ou encore prévenir des risques à effets différés
- (Exposition à des produits chimiques...)
- Le développement d'emplois de qualité ;

- D'améliorer l'efficacité productive de l'entreprise ;
- D'avoir une démarche de prévention pérenne et efficace ;
- D'économiser les coûts directs et indirects des accidents du travail ;
- D'assurer une protection des salariés par les systèmes de sécurité ;
- Une bonne cohésion du personnel.

« La démarche de gestion des risques est la démarche participative qui marque le plus l'esprit dans les entreprises ». [16]

A.3. Les différentes étapes de la gestion des risques :

Le processus du management du risque dans la norme ISO 31000 : 2018 se compose de quatre **activités** clés ci-dessous :

- Communication et consultation ;
- Établissement du contexte ;
- Appréciation du risqué ;
- Surveillance et revue.

L'ISO 31000 propose une approche générale du management des risques. Alors que des pratiques existent déjà, l'objet de cette nouvelle norme n'est pas de balayer les documents métiers qui proposent ces pratiques.

L'étude de leur intégration dans cette « norme chapeau » permettra de positionner les pratiques existantes, et éventuellement de mettre en valeur les aspects non couverts par celle-ci afin d'y porter remède.[17]

B. Les approches de la gestion des risques :

L'approche parfaite en ce qui concerne la gestion des risques n'existe pas ; il faut donc un choix entre les différentes approches afin de savoir laquelle s'adapte le mieux aux objectifs à atteindre et aux caractéristiques de l'entreprise.

B.1. L'approche Bottom-up

Cette approche, dite ascendante consiste en l'identification des risques par les opérations qui sont les plus impliqués dans les processus.

Ces risques sont ensuite soumis à la hiérarchie dont la charge est de déterminer l'importance et la politique de maîtrise de chacun des risques il s'agit donc d'effectuer une remontée des risques du terrain vers les personnes en charge de l'élaboration de la cartographie. [18]

Cette approche s'articule autour des **étapes** suivantes :

- Modélisation des processus de l'entreprise (avec les opérationnels) ;

- Identification des risques inhérents (avec les opérationnels) ;
- Identification des risques liés à la stratégie (avec le directeur de la stratégie) ;
- Mixage des risques majeurs et des risques stratégiques (DG et principaux dirigeants) ;
- Gestion du portefeuille des risques et des opportunités ;
- Évaluation des risques résiduels et identification des risques majeurs (opérationnels) ;
- Pilotage et communication [18]

B.2. L'approche top-down

Top-down ou descendante, comme son nom l'indique, procède de haut en bas ; elle se présente comme l'inverse de la première.

C'est la hiérarchie qui détecte les risques et les soumet pour avis aux collaborateurs opérationnels.

Cette approche s'articule autour des étapes suivantes :

- Déterminer les risques majeurs par partie prenante ;
- Pondérer les risques majeurs pour ne garder que les plus importants ;
- Rattachement des processus clés de l'entreprise aux risques opérationnels et aux risques majeurs ;
- Hiérarchiser les risques ;
- Établir une cartographie des risques (entretiens avec les principaux dirigeants) ;
- Valider les risques (par les principaux dirigeants) ;
- Alimenter le plan d'audit.[18]

B.3. L'approche combinée :

Le cloisonnement des approches demeure relativement conceptuel. Ces deux approches sont chacune un idéal type. Il est illusoire de croire qu'une de deux méthodes doit être à terme entièrement privilégiée.

En effet, l'approche combinée est la méthode qui combine les approches Bottom-up et Top-down. Si un doit prévaloir lors de l'élaboration de la cartographie des risques, une fois mise en place le processus de la maîtrise des risques est heureusement un mélange de ces deux approches.

Selon cette approche, l'identification des risques est faite parallèlement par la hiérarchie et les opérationnels. L'ensemble des risques répertoriés est soumis ensuite à la direction.

Ces derniers surveillent les risques existants, signalent les risques potentiels et établissent le reporting qui est présenté aux dirigeants (bottom up). Quant aux dirigeants, ils fixent les objectifs de gestion des risques et s'assurent du déploiement du système d'échange réciproque ne peuvent être que bénéfiques pour la maîtrise des activités de l'entreprise et les acteurs qui y participent. [18]

B.4. L'approche par le Benchmarking

C'est une approche qui consiste à mener une campagne de collecte des meilleures pratiques en matière d'identification et de gestion des risques. Elle permet à l'audit interne d'avoir une idée générale des risques à prendre en compte.

La mise en œuvre d'un dispositif de management des risques présupposé l'implantation d'une approche « top down » à partir d'un catalogue de risque, qui sera affinée ultérieurement par une approche « bottom-up ». On peut combiner différentes méthodes ou les utiliser l'une après l'autre. [18]

C. Processus de la gestion des risques :

Les différentes approches de la gestion des risques présentes dans la littérature proposent une démarche de prise en compte des risques fondée sur une même structure qui comprend des phases d'analyse, d'évaluation et de maîtrise des risques, comme le maitrise la figure I.3

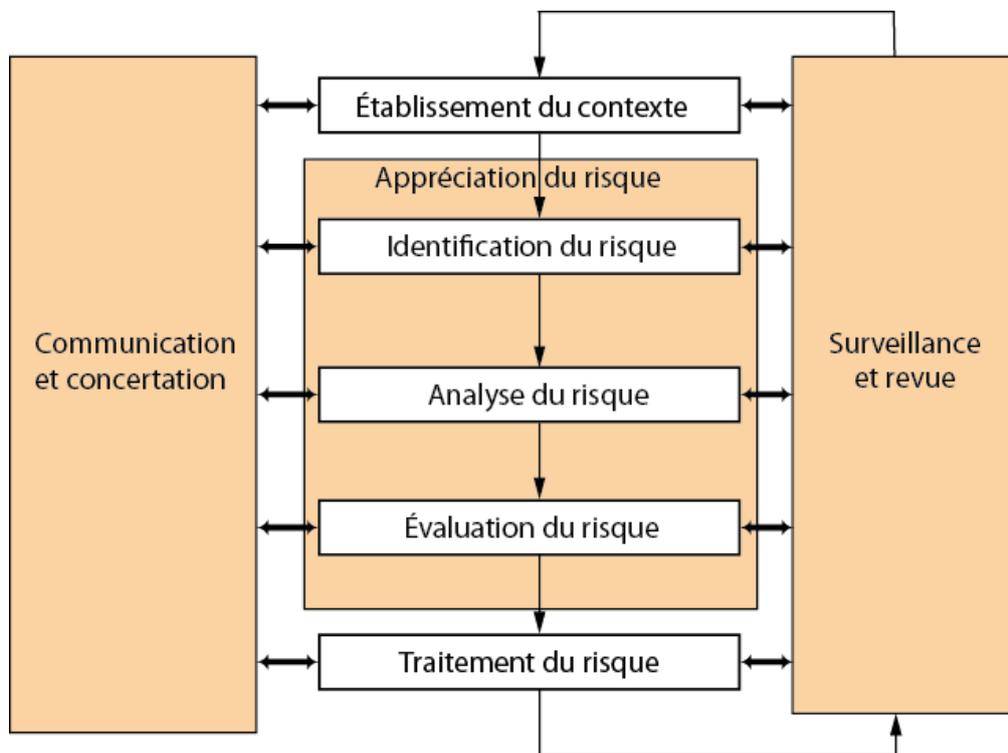


Figure I-3 : Processus de La gestion des risques. [18]

C.1. Communication et concertation :

Cette première étape vise à partager, avec les parties liées, une même vision du dispositif de management des risques à mettre en œuvre, en échangeant les hypothèses de travail communes.

C.2. Établissement du contexte :

Par la prise en compte de l'ensemble des contraintes et opportunités offertes par les évolutions réglementaires (réglementaire, concurrentiel, monétaire, démographique, etc.) et de la flexibilité de l'organisation interne mise en œuvre pour anticiper ces risques environnementaux.

Il permet de définir et d'analyser l'ensemble des paramètres externes et internes au système qu'il faut prendre en compte ainsi que les méthodes qui seront utilisées pour l'identification et l'évaluation, cette étape est divisée en deux tâches.

✓ Analyse des environnements de l'organisme :

Il s'agit-là d'analyser les environnements internes et externes, afin de mieux comprendre le système étudié (projet), aussi il faut identifier les contraintes qui s'exercent sur le système qui peuvent être de diverse origines (politique, économique, socioculturelle, environnementale, et légal).

✓ Référentiel de gestion des risques :

Cette tâche consiste à définir le périmètre de gestion des risques et la méthode utilisée pour l'appréciation des risques dans ce périmètre, y compris la manière dont seront abordées les problématiques complexes liées à l'interdépendance des risques entre eux, à l'enchaînement potentiel des causes et des conséquences.

C.3. Appréciation du risque :

Processus englobant une analyse du risque et une évaluation du risque.

✓ Identification des risques :

Ce que contient l'étape d'identification des risques dépend bien entendu de la définition retenue pour le risque.

Quelle que soit la définition retenue, le risque naît de l'existence de valeurs ou d'éléments d'actifs qui représentent, pour l'entreprise ou l'organisme, un enjeu, c'est-à-dire dont le maintien de certaines qualités est important pour le bon fonctionnement de l'entité.

Selon guide ISO 73 : 2015 Processus de recherche, de reconnaissance et de description des risques.

- L'identification des risques implique l'identification des sources de risques, des événements, de leurs causes et de leurs conséquences potentielles.
- L'identification des risques peut impliquer des données historiques, une analyse théorique, des opinions éclairées et d'experts, et les besoins des parties prenantes.

L'identification des risques comporte les étapes suivantes :

- Identifier les sources de risque ;
- Identifier les domaines d'impact des risques identifiés ;
- Identifier les évènements avec leurs causes et conséquences potentielles qui pourraient affecter la réussite du projet (positivement ou négativement) ;
- Examiner les réactions en chaîne des conséquences particulières ;
- Etudier toutes les sources et/ou conséquences significatives du risque.

✓ **L'analyse de risque**

L'analyse de risque est une méthode utilisée pour faire le point sur la qualité et l'opportunité des mesures de sécurité en place pour contrôler ou éliminer les risques à la santé et à la sécurité à un poste, une machine, une tâche, etc. Et aussi pour cibler où l'on doit faire des efforts de prévention dans le but d'éviter des lésions et des maladies professionnelles. [19]

L'analyse du risque est définie comme « l'utilisation des informations disponibles pour identifier les phénomènes dangereux et estimer le risque ». [4]

L'analyse des risques vise tout d'abord à identifier les sources de danger et les situations associées qui peuvent conduire à des dommages sur les personnes, l'environnement ou les biens.

Dans un second temps, l'analyse des risques permet de mettre en lumière les barrières de sécurité existante en vue de prévenir l'apparition d'une situation dangereuse (barrières de prévention) ou d'en limiter les conséquences (barrières de protection).

Consécutivement à cette identification, il s'agit d'estimer les risques en vue de les hiérarchiser et de pouvoir les comparer ultérieurement à un niveau de risque jugé acceptable.

Son estimation peut être effectuée de manière semi quantitative à partir :

- D'un niveau de probabilité que le dommage survienne ;
- D'un niveau de gravité de ce dommage.

Bien entendu, l'acceptation de ce risque est subordonnée à la définition préalable de critères d'acceptabilité du risque.

Ainsi, la finesse dans l'estimation du risque dépend en partie de ces critères.

L'analyse des risques est utilisée **pour** :

- Identifier et évaluer les risques associés à l'ensemble d'un établissement ;
- Identifier et évaluer les risques à un poste de travail ;
- Identifier et évaluer les risques sur une machine ou un équipement ;
- Identifier et évaluer les risques associés à une tâche ;
- Identifier et évaluer les risques associés à une situation.[19]

L'analyse des risques passe par les **étapes** suivantes :

L'Identification des facteurs de risque : Qui est un processus permettant de trouver, recenser et caractériser les phénomènes dangereux [14].

L'estimation des risques : qui se définit comme un : « *Processus utilisé pour affecter des valeurs à la probabilité et aux conséquences d'un risque. L'estimation du risque peut considérer le coût, les avantages, les préoccupations des parties prenantes, et d'autres variables requises selon le cas pour l'évaluation du risque* ». [18]

L'estimation du risque se définit aussi par la gravité d'un dommage, c'est-à-dire, la gravité de la ou des blessures physiques ou à l'atteinte de la santé physique ou psychique, et la probabilité d'occurrence de ce dommage.

L'estimation du risque permet de comparer entre eux les indices de risques. Elle découle directement des deux premières étapes, réalisées à l'aide d'outils spécifiques, elle quantifie ou donne un résultat chiffré du risque : indice de risque et niveau de danger chiffrés, score du risque.

L'analyse des risques se fait par l'utilisation de **méthodes**, d'outils et d'un système d'évaluation. Il existe un nombre illimité de méthodes et à chacune ses forces et ses faiblesses.

✓ **Évaluation des risques**

L'évaluation du risque fait suite à son estimation et consiste à déterminer si ce risque est tolérable ou non et s'il est possible de mettre en œuvre une démarche de réduction du risque sans augmentation du risque global, ni introduction de risques supplémentaires.

Les mesures de réduction du risque s'appliquent aussi bien sur les risques faibles que sur les risques plus élevés qui peuvent nécessiter une évaluation du risque plus approfondie.[2]

La phase d'évaluation des risques a pour objet de classer ces risques et de les différencier selon leur acceptabilité. L'objectif principal de cette phase n'est donc pas tant l'évaluation des risques, mais l'identification d'un seuil d'acceptabilité.

Le processus de l'évaluation des risques comporte les **étapes** suivantes :

- L'identification des dangers.
- La compréhension de la nature de ces dangers.
- L'évaluation des conséquences (à court et à long terme).
- L'évaluation de la probabilité de leur occurrence. [2]

L'évaluation des risques est le processus consistant à évaluer les risques pesant sur la sécurité et la santé des salariés du fait des dangers présents sur le lieu de travail. L'évaluation des risques est la première étape du processus de gestion des risques qui permet de faire comprendre aux personnes concernées, employeur et salariés, quelles sont les mesures à prendre afin d'améliorer la sécurité et la santé sur le lieu de travail.

Si une évaluation des risques n'a pas été réalisée, un processus convenable de gestion des risques ne pourra être mis en place et les mesures appropriées de prévention ne pourront être adoptées.

De plus, les mesures de prévention mises en place suite à une évaluation des risques peuvent servir à diminuer les coûts engendrés par les accidents et les maladies professionnelles.

S'y ajoute qu'une évaluation des risques appropriée s'avérera avantageuse pour les entreprises, vu que les coûts engendrés par les accidents et les maladies seront diminués, de même que le taux d'absence pour cause de maladie.

Des salariés en bonne santé sont plus productifs et efficaces et peuvent ainsi mieux contribuer à la compétitivité des entreprises. L'évaluation des risques mène donc aussi à une meilleure organisation de l'entreprise, ce qui signifie un gain de productivité et une augmentation de la qualité. [2]

L'évaluation des risques passe par les **étapes** suivantes :

Il va de soi que dans toutes les étapes de l'évaluation des risques, la correction avec les salariés concernés reste un point important à ne pas négliger.

- **Etape 1** : identification des risques et des personnes exposées

Cette étape consiste à dépister sur le lieu de travail les sources possibles d'accidents et à identifier les personnes qui peuvent y être exposées.

Il faut donc se rendre sur le lieu de travail et y repérer les éléments pouvant engendrer un dommage, car aussi longtemps qu'un danger n'est pas repéré, le risque y afférent ne pourra être ni analysé, ni géré.

De plus, pour chacun des dangers, il faut identifier les personnes menacées. Il ne suffit pas d'identifier les personnes pouvant entrer en contact quelconque avec le danger.

- **Etape 2** : Evaluer les risques et les classer par ordre de priorité

Dans cette deuxième étape, on évalue les risques liés à chaque danger. On vérifie donc à quel niveau le salarié est exposé au danger. Il faut évaluer dans quelle mesure le danger peut provoquer un accident ou une maladie, le niveau de gravité de cet accident ou de cette maladie et fréquence à laquelle les salariés y sont exposés.

- **Etape 3** : déterminer les mesures de prévention

La troisième étape consiste à déterminer les mesures afin d'éliminer les risques ou, au moins, à les maîtriser. Il faut pouvoir déterminer si un risque peut être éliminé complètement ou dans le cas contraire mettre en place des mesures de façon à le contenir et s'assurer qu'il ne compromet pas la sécurité et la santé des salariés.

Il faut également tenir compte du fait que les risques détectés peuvent s'additionner ou combiner leurs effets. Il est important de prendre en compte, le résultat de l'évaluation des risques et de classer les mesures par ordre de priorité, de manière à appliquer en premier lieu les mesures de prévention qui sont les plus efficaces.

- **Etape 4** : Adopter les mesures de prévention et les mettre œuvre

La quatrième étape consiste à mettre en œuvre les mesures de prévention déterminées auparavant. Il va de soi que toutes les mesures ne pourront être mises en œuvre simultanément : il faut donc établir un ordre de priorité en tenant compte de gravité du risque et de ses conséquences.

Il faut aussi déterminer les personnes pouvant s'occuper de la mise en œuvre, le temps que cela va prendre et déterminer un délai de mise œuvre. Parmi les mesures à réaliser, on pourra ainsi distinguer :

- Les mesures applicables de suite et à moindre frais ;
- Les mesures provisoires à mettre en place en attendant les mesures applicables à plus long terme et plus coûteuses ;
- Les mesures applicables à terme et représentant des frais plus élevés.

- **Étape 5** : contrôle examen réexamen et enregistrement

Après que les mesures de prévention aient été mises en œuvre, il faut contrôler si elles ont été exécutées. Il s'agit non seulement de vérifier si les risques ont pu être éliminés ou écartés entièrement. Ou s'ils ont pu être diminués de façon à pouvoir les maîtriser mais aussi si aucun nouveau risque n'a été créé suite à l'application des mesures.

De plus, il est recommandé de réaliser régulièrement une nouvelle évaluation des risques, afin de déterminer si les risques ont bien pu être éliminés définitivement ou si d'autres risques sont apparus depuis l'évaluation.

Il est indispensable d'effectuer à nouveau une évaluation des risques chaque fois qu'il y'a eu un changement dans l'entreprise. Ce changement peut se situer au niveau organisationnel, au niveau du personnel ou être de nature technique. [2]

D. Traitement des risques

L'objectif de cette étape est de supprimer le risque ou de réduire le niveau de vulnérabilité de l'entreprise :

- Éviter le risque en décidant de ne pas commencer une nouvelle activité ou de supprimer une activité existante ;
- Supprimer la source du risque via des investissements de protection ;
- Changer la probabilité d'occurrence via des investissements de duplication ;
- Partager le risque avec une ou plusieurs parties prenantes (dont transfert par l'assurance).

E. Surveillance et revue

Cette phase passe par la construction d'un système d'information management des risques permettant de suivre le monitoring des risques.

Cette méthodologie se décompose en cinq étapes :

- Identification et analyse des risques (étude de la sinistralité antérieure, simulation de l'impact d'un sinistre majeur sur les objectifs stratégiques, quantification des pertes générées par un sinistre majeur) ;

- Etude des outils de contrôle des risques (contrôle interne, technique et financier des risques) ;
- Choix optimal en termes de combinaison d’outils (basé sur les critères de la minimisation des impacts) ;
- Mise en œuvre des décisions (dont budgétisation) ;
- Reporting, monitoring (tableaux de bord management des risques).[2]

Section 5 : Méthodes, Approches et Démarches de la gestion des risques industriels :

Afin de prévenir les risques associés à un procédé, un certain nombre de méthodologies ont été développées pour procéder à une analyse systématique des risques et de leurs conséquences.

Ces méthodologies servent à mettre en évidence toutes les sources de dangers, à identifier les risques posés par les éléments du système et leurs interactions, à anticiper des dérives et mettre en place des mesures de sécurité (ou barrières dans le cas d’accidents majeurs), pour d’une part éviter que ces déviations apparaissent et d’autre part en limiter les conséquences dans les cas où cette déviation ne pourrait être corrigée.

L’application de méthodes d’analyse de risques permet donc de regrouper un certain nombre de données dans le but de maintenir à tout instant l’installation en sécurité que ce soit en fonctionnement normal ou en marche dégradée

A. Méthodes d’analyse de risque :

L’analyse de risque peut être qualitative ou quantitative. L’analyse qualitative implique généralement l’évaluation « instinctive » d’une situation. Elle se caractérise par des déclarations du type : « Cela me paraît trop risqué » ou « Le rendement de l’opération sera probablement bon ». [20] L’analyse quantitative cherche en revanche à donner des valeurs numériques aux risques, en fonction de données empiriques.

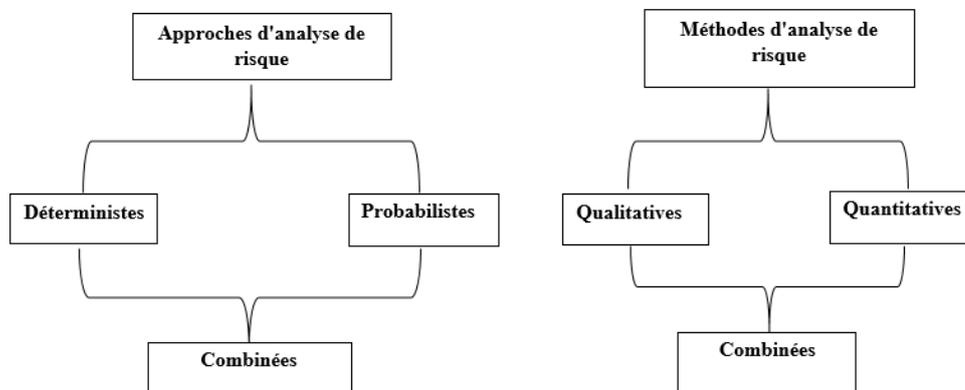


Figure I.4: Typologie et approche des méthodes d’analyse.[20]

A.1. Méthodes quantitatives :

Les analyses quantitatives sont supportées par des outils mathématiques ayant pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et entre autres la sécurité.

Cette évaluation peut se faire par des calculs de probabilités (par exemple lors de l'estimation quantitative de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté) tels que les arbres de défaillances ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les Chaines de Markov, les Réseaux de Pétri, les automates d'états finis, etc.

Les analyses quantitatives ont de nombreux avantages car elles permettent :

- D'évaluer la probabilité des composantes de la sûreté de fonctionnement.
- De fixer des objectifs de sécurité.
- De juger de l'acceptabilité des risques en intégrant les notions de périodicité des contrôles, la durée des situations dangereuses, la nature d'exposition, etc.
- D'apporter une aide précieuse pour mieux juger du besoin d'améliorer la sécurité.
- De hiérarchiser les risques.
- De comparer et ensuite ordonner les actions à entreprendre en engageant d'abord celles permettant de réduire significativement les risques.

L'analyse quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.). Un point très important mérite d'être clarifié, c'est que les résultats de l'analyse quantitative ne sont pas des mesures absolues, mais plutôt des moyens indispensables d'aide au choix des actions pour la maîtrise des risques. Nous citons par exemple l'évaluation par des techniques floues/possibilistes de la subjectivité des experts humains, ou la priorisation de certaines actions de maîtrise par rapport à d'autres par une analyse de type coût/bénéfices [21].

A.2. Méthodes qualitatives :

L'APR, HAZOP restent des méthodes qualitatives même si certaines mènent parfois aux estimations de fréquences d'occurrence avant la classification des risques. La plupart des méthodes revêtent un caractère inductif dans une optique de recherche allant des causes aux conséquences éventuelles. En contrepartie, il existe quelques méthodes déductives qui ont pour but de chercher les combinaisons de causes conduisant à des événements redoutés [21].

B. Les approches de gestion de risque :

On distingue une approche déterministe et une approche probabiliste.

B.1. Approche déterministe

L'approche déterministe a généralement été adoptée dans les domaines à haut risque tels que nucléaire, militaire, transports guidés, où le moindre risque significatif est traqué et réduit à la source. Elle consiste à recenser les événements pouvant conduire à un scénario d'accident en recherchant le pire cas possible et en affectant une gravité extrême à ses

conséquences potentielles. Par conséquent, les sous-systèmes critiques (systèmes de sauvegarde, de protection et de prévention) sont dimensionnés pour éviter toute défaillance dangereuse et organisés rigoureusement selon une stratégie de défense en profondeur [22].

B.2. Approche probabiliste

L’approche probabiliste fait intervenir le calcul de probabilités relatives à l’occurrence d’événements faisant partie du processus de matérialisation d’un scénario d’accident donné.

Il s’agit d’une approche complémentaire qui permet d’analyser le dispositif de défense en profondeur décidé à l’issue d’une approche purement déterministe, ceci a été le cas dans le domaine nucléaire ou les techniques probabilistes viennent appuyer l’approche déterministe.[22]

C. Démarche inductive et démarche déductive

On distingue une démarche inductive et une démarche déductive

C.1. Démarche inductive :

Le principe de ces méthodes consiste à partir d’une cause d’anomalie (défaillance, erreur humaine, agression externe, etc.) et à déterminer les scénarios d’évènements qui en résultent et/ou l’ensemble de ses conséquences possibles.

C.2. Démarche déductive :

Les méthodes d’analyse déductive ont pour finalité la recherche des combinaisons des causes possibles d’un événement redouté [22]

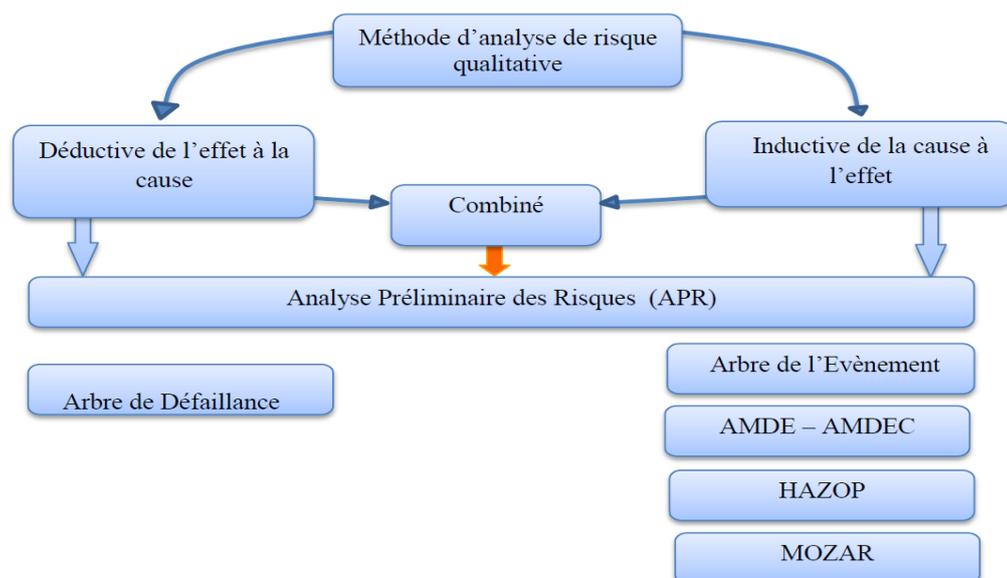


Figure I.5 : Classification des risques [18]

D. Exemples de méthodes de gestion des risques :

Il existe plusieurs méthodes d'analyse et de gestion des risques, nous présentons quelques unes :

D.1. L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) :

L'analyse Préliminaire de Risque (Danger) a été développée au début des années 1960 dans les domaines aéronautique et militaire.

C'est une technique d'identification et d'analyse de la fréquence du danger qui peut être utilisée lors des phases amont de la conception pour identifier les dangers et évaluer leur criticité.

Le but consiste à identifier les entités dangereuses d'un système, puis à regarder pour chacune d'elles comment elles pourraient générer un incident ou un accident plus ou moins grave suite à une séquence d'événements causant une situation dangereuse.

Pour identifier les entités et les situations dangereuses susceptibles d'en découler, l'analyste est aidé par des listes de contrôles (check-lists) d'entités dangereuses, de situations dangereuses et d'événements redoutés. Ces check-lists sont spécifiques au domaine d'étude concerné.

Comme son nom l'indique, cette méthode n'est pas destinée à traiter en détail la matérialisation des scénarios d'accident, mais plutôt à mettre rapidement en évidence les gros problèmes susceptibles d'être rencontrés pendant l'exploitation du système étudié.

Cependant, l'APR peut aussi et même doit être complétée par la plupart des analyses de risques fonctionnelles telles que l'AMDEC ou l'Arbre de Défaillances

D.2. Hazard and Oper ability Study (HAZOP) :

La méthode HAZOP a été développée par la société « Imperial Chemical Industries (ICI) » au début des années 1970. Elle sert à évaluer les dangers potentiels résultants des dysfonctionnements d'origine humaine ou matérielle et aussi les effets engendrés sur le système.

L'objectif de cette méthode est d'identifier les phénomènes dangereux qui mènent à des événements dangereux lors d'une déviation des conditions normales de fonctionnement d'un système [24].

Dans le domaine des risques accidentels majeurs, une estimation a priori de la probabilité et de la gravité des conséquences des dérives identifiées s'avère souvent nécessaire. Dans ce contexte, l'HAZOP doit donc être complétée par une analyse de la criticité des risques sur les bases d'une technique quantitative simplifiée, parmi ces techniques l'arbre de défaillance. [24]

D.3. Arbre de Défaillances (AdD) :

L'analyse par Arbre de Défaillances a été élaborée au début des années 1960 par la compagnie américaine « Bell Téléphone ». Elle fut expérimentée pour l'évaluation de la sécurité des systèmes de tir de missiles. Elle est employée pour identifier les causes relatives aux événements redoutés. En partant d'un événement unique, il s'agit de rechercher les combinaisons d'événements conduisant à la réalisation de ce dernier, elle vise à rechercher les combinaisons des différents événements élémentaires ou défaillances qui peuvent conduire à un événement indésirable Réduire la probabilité d'occurrence de cet événement. [25]

D.4. Arbre des événements (ou des conséquences.) (AdE) :

Elle vise à, rechercher les scénarios possibles d'un événement indésirable et estimer les probabilités d'occurrence de chacun des scénarios.

D.5. Nœud-papillon (BOW TIE) :

Elle permet de bâtir et de visualiser de manière synthétique les scénarios d'accidents, compris majeurs et « catastrophiques ». Mais à l'inconvénient d'être une méthode lourde à mettre en œuvre.

Les **critères** retenus dans la mise en œuvre d'une méthode plutôt qu'une autre dans l'étude d'un système donné, sont :

- Domaine de l'étude.
- Stade de l'étude (spécification, conception, ..., démantèlement).
- Perception du risque dans ce domaine.
- Culture de la Sûreté de Fonctionnement de l'organisation.
- Caractéristiques du problème à analyser.
- Niveau envisagé de la démonstration de la sécurité.
- Savoir-faire des intervenants.
- Nature des informations disponibles (spécifications du système et de ses interfaces, contraintes, etc.).
- Retour d'expérience et base de données disponibles.
- Moyens humains, logistiques et autres.[20]

Section 6 : L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), est une méthode essentielle pour identifier et hiérarchiser les défaillances potentielles dans les systèmes industriels. En détaillant ses principes, étapes et applications, cette section montre comment l'AMDEC contribue à améliorer la fiabilité et la sécurité des opérations industrielles.

A. Définition :

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets de criticités ((failure mode and effects analysis ou FMEA) est une approche qualitative et quantitative pour les études de sureté dans différents domaines.

En effet, cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Les informations obtenues sont utilisées dans le cadre de la maîtrise des risques, avec préoccupation principale l'obtention d'un bon niveau de sureté de fonctionnement du système opérationnel.

Elle permet de :

- Connaître les éléments (fonction et constituants) les plus importants ;
- Découvrir, évaluer et classer les faiblesses, les anomalies et les dysfonctionnements de système ;
- Gérer les points critiques et remettre en cause même la conception du système ;
- Préconiser les mesures correctives ;
- Evaluer les effets de ces mesures pour s'assurer de leur efficacité, et pour les comparer et décider.

Dans cette optique et à la lumière de ces points, l'AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet, elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre des pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et leurs fonctions, disponible parce qu'elle permet d'agir sur les éléments critiques, sécurisant car elle permet de dominer les défaillances et en particulier les défaillances critique et catastrophiques.

La méthode AMDEC est utilisée pour évaluer la sécurité de fonctionnement des produits et des équipements. Ce principe de prévention repose sur la collecte systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs qui pourraient survenir à toutes les étapes de la production d'un produit.

Il s'agit d'une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de vérifier, tout au long de la fabrication du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- Elle repère les différentes façons de défaillance des composants, en étudiant les conséquences sur toutes les fonctions et en analysant les raisons.
- Elle examine l'influence, ou la gravité, de ces types de pannes sur la stabilité du fonctionnement.
- Dans le cadre de la phase de conception, elle est liée à l'analyse fonctionnelle afin de détecter les types de défaillance spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.
- Lorsqu'on étudie des procédures ou des chaînes de production, cela permet de repérer les opérations qui peuvent entraîner la production d'un produit qui ne respecte pas le cahier des charges, ce qui permettra ensuite de réduire les déchets.
- Appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets.[26]

B. Historique :

L'armée américaine a développé l'AMDEC. La référence Militaire MIL-P-1629, intitulé "Procédures pour l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets leurs Criticités, est datée du 9 Novembre 1949.

Cette méthode était employée comme une technique d'évaluation des défaillances afin de déterminer la fiabilité d'un équipement et d'un système. Les défaillances étaient classées selon leurs impacts sur le personnel et la réussite des missions pour la sécurité de l'équipement. Le concept personnel et équipement interchangeables ne s'applique pas dans le monde moderne de fabrication des biens de consommation. Les fabricants de produits de consommation ont établi de nouvelles valeurs telles que la sécurité et la satisfaction client. Ensuite, les outils d'évaluation du risque sont devenus partiellement démodés. Ils n'ont pas été suffisamment mis à jour. [27]

C. But et objectifs de l'analyse :

AMDEC est une méthode structurée et systématique qui permet de :

- Détecter les défaillances (et leurs effets) d'un produit ou d'un processus ;
- Déterminer les points faibles d'un système et d'y remédier ;
- Préciser les moyens de se prévenir contre certaine défaillance ;
- Fournir une optimisation du plan de contrôle une aide éclairée à l'élaboration de plan d'essai
- Classer les défaillances selon certains critères ;
- Définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher ou en détecter les causes ;
- Documenter le processus du développement ;
- Prendre les décisions de retro conception. [26]

D. Organisation de la méthode AMDEC :

Pour appliquer une méthode efficacement, il faut :

- Bien définir et déterminer le produit/processus à analyser, pour bien cadrer l'étude et éviter de s'égarer dans des considérations inutiles.
- Définir la phase de fonctionnement à analyser.
- Capsembler le maximum de donnée technique.
- Définir l'objectif à atteindre et le champ d'intervention possible.
- Etablir un planning
- Faire un hystérique du fonctionnement concernant le sujet à analyser (retour et plaintes des clients, défauts de fabrication, arrêt de production, ...) [29]

E. Types de l'AMDEC :

Il existe principalement trois types d'AMDEC qui sont :

- AMDEC Produit
- AMDEC Processus
- AMDEC Machine

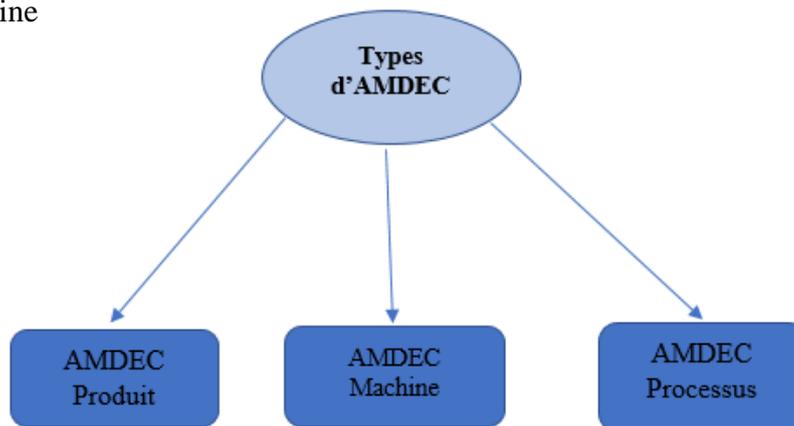


Figure I.6 : Types d'AMDEC [29]

E.1. AMDEC Produit :

L'AMDEC Produit est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise. Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes.

Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'action corrective sur la conception et préventions sur l'industrie. [29]

Fonction à assurer	Mode de défaillance	Causes	Effets	Validation Vérifications
Résistance du pneu	Crevaison, dégonflement	Usure, débris	Instabilité, risque d'accident, véhicule inutilisable	- Mise en place de capteurs de pression - R&D ou achat de pneus plus résistants

Tableau I.2 : Exemple d'une AMDEC Produit dans une société de transport [29]

E.2. L'AMDEC Processus :

Ce type d'AMDEC consiste à analyser les modes de défaillance liés au processus de fabrication. Les choix techniques sont déjà posés et c'est le moment de définir précisément le processus de la fabrication. Avant de réaliser cette AMDEC, opérations nécessaires à la fabrication du produit.

Avant même le choix des machines, l'AMDEC processus a pour but d'évaluer les points critiques du procédé établi suite à cette analyse, des modifications pourront être apportées. C'est aussi l'occasion de d'élaborer le plan de surveillance.

En termes de méthode, l'AMDEC Processus étudie les conséquences que pourraient engendrer certaine défaillance pour l'utilisateur du produit et sur l'environnement de production les défaillances seront recherchées en regardant à description du procédé.[29]

Fonction à assurer	Mode de défaillance	Causes	Effets	Validation Vérifications
Usinage d'une épaisseur de 100mm (+/- 0.05mm)	Épaisseur finale hors calibre	Erreur de réglage de la machine	- Pièce mal dimensionnée, non utilisable - Retard de production - Insatisfaction client	- Assurer un contrôle de réglage de la machine - Réaliser une série "test" avant mise en production

Tableau I.3 : Exemple d'une AMDEC Processus / Procédé en industrie [29]

E.3. L'AMDEC Machine

L'AMDEC machine est aussi appelée AMDEC moyens de production elle concerne l'analyse des défaillances liées aux machines. Alors que l'AMDEC procédé permet d'entrevoir les défauts relatifs au processus de fabrication, l'AMDEC machine permet une analyse une fois que les machines ont été choisies. Comme pour le produit, il est ici possible de mettre en place une AMDEC à différents stades de la conception de cette machine.

En effet, on peut choisir de concentrer la méthode sur les fonctions de ces machines. Concrètement, cela veut dire que l'on considère uniquement ce que l'on attend de la machine : saisir la pièce, tourner la pièce par exemple...L'AMDEC aura pour but de savoir comment les différentes fonctions de la machine ne pourraient pas être satisfaites et donc d'anticiper les productions défectueuses.

Pour finir, les conséquences sur l'utilisateur et l'environnement de production constituent la finalité de cette AMDEC. Suit à cette analyse, on peut alors établir le plan de validation de la machine.

L'objectif est de :

- Modifier la conception ;
- Lister les pièces de rechange ;
- Prévoir la maintenance préventive ;
- Optimiser la maintenance (gammes, procédures, ...) ;
- Optimiser la conduite (procédure, modes dégradés, ...).[29]

Fonction à assurer	Mode de défaillance	Causes	Effets	Validation Vérifications
Fonctionnement d'un vérin hydraulique sur pelleuse	Non fonctionnement	Fuite de liquide hydraulique	- Utilisation impossible de la machine, - chute du godet - Arrêt du chantier	- Capteur de pression et de niveau de liquide hydraulique - Vérifications quotidiennes

Tableau I.4 : Exemple d'une AMDEC Machine dans le BTP [29]

On peut également parler d'autres types d'AMDEC moins connues :

L'AMDEC Sécurité : qui étudiera les potentielles causes conduisant à un accident et assurera donc la sécurité des procédés dans les procédés.

L'AMDEC Flux : qui travaille sur le risque de rupture d'approvisionnement en information ou en matière première.

L'AMDEC Fonctionnelle : relative aux risques de conception.

Pour chacune de ces AMDEC, un rapport sera édité : plan de fiabilisation, plan de surveillance, plan de contrôle qualité, plan de maintenance préventive, plan de sécurisation, etc. [30]

F. Méthodologie de l'AMDEC :

L'emploi des AMDEC crée une ossature qu'il convient de compléter et d'outiller. Pour cela une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. Le groupe AMDEC est tenu de maîtriser la machine et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse.[29]

G. Etapes de la méthode AMDEC dans le milieu industriel :

Dans le domaine industriel, la méthode AMDEC est largement utilisée pour analyser et améliorer les processus, les produits ou les systèmes. Voici les étapes générales de la méthode AMDEC dans ce contexte :[30]

G.1. Constitution du Groupe de Travail :

Le demandeur constitue un Groupe de Travail pluridisciplinaire qui est composé de personnes responsables sur le sujet traité, pouvant apporter des informations nécessaires à l'analyse, grâce à leurs connaissances techniques ou à leurs expériences sur des moyens similaires déjà en exploitation. Le Groupe de Travail comprend impérativement :

- L'investisseur des services Méthodes (responsable du cahier des charges, des aspects techniques, des coûts, de la qualité et des délais),
- Le concepteur du moyen étudié (fournisseur responsable du moyen),
- Un utilisateur du moyen en production,
- Un agent en maintenance chargé de l'entretien du moyen mis en exploitation, L'étude AMDEC est gérée par le pilote (le demandeur ou l'investisseur), assisté par un animateur, personne ayant les compétences méthodologiques et la personnalité requise pour assurer l'organisation, le déroulement et l'animation de l'étude AMDEC Moyen de Production. Le groupe réunit aussi, en fonction des ordres du jour :
- Un spécialiste ou expert d'un sujet traité ponctuellement,
- Les services Qualité, Fiabilité, Sécurité. Essais. Achats. Automatisme, ...

Pour chaque élément du dispositif ou système, il faut déterminer et énumérer dans le tableau AMDEC les éléments suivants :

G.2. Eléments constitutifs :

✓ **Modes de défaillance :**

Un mode de défaillance est la manière dont le dispositif peut s'arrêter de fonctionner ou fonctionner anormalement.

Il est relatif aux fonctions des composants. Pour chaque composant identifié dans la décomposition fonctionnelle, il faut rechercher sur chaque fonction qui lui est associée (il peut y en avoir plusieurs) :

- La perte totale de la fonction,
- L'apparition d'états dégradés de la fonction (performance inférieure à un niveau spécifié),
- La non réalisation de la fonction à l'instant où elle est sollicitée,
- L'apparition de fonctionnement intempestif lorsque la fonction n'est pas sollicitée.

Le mode est la façon, pour chaque composant, d'aboutir à un de ces quatre dysfonctionnements.

✓ **Causes de défaillance :**

Il faut rechercher et décrire les événements susceptibles de conduire au mode de défaillance.

Une cause de défaillance est l'événement initial (souvent une anomalie) pouvant conduire à la défaillance, par l'intermédiaire du mode associé. Il peut y avoir plusieurs causes pour un même mode de défaillance. De même une cause peut provoquer l'apparition de plusieurs modes de défaillance sur plusieurs composants.

Exemples : Sous-dimensionnement, absence de frein d'écrou, manque de lubrifiant, joint mutilé, connecteur dur non encliqueté, vibrations, température, [30]

✓ **Effets des défaillances :**

Pour chaque mode de défaillance, il faut décrire les effets de la défaillance sur le système, qui concernant l'utilisateur du moyen de production. Les conséquences sont relatives :

- À l'arrêt de la production du moyen,
- À la non qualité du produit fabriqué,
- À la sécurité des biens et des personnes.

✓ **Détection :**

Une cause (et/ou un mode) de défaillance étant supposée apparue, on dresse la liste de tout ce qui est prévu pour empêcher cette cause ou ce mode de défaillance d'arriver à l'utilisateur du moyen, c'est-à-dire d'éviter que les effets ne se produisent. Elle est relative aux dispositions

prises pour atténuer voire éviter un arrêt de production, pour assurer la qualité des pièces produites, ou pour traiter des problèmes de sécurité des personnes et des biens.

L'AMDEC est ainsi basée sur la chaîne d'événements suivante : une cause potentielle étant apparue, elle conduit à un mode de défaillance du système, entraînant lui-même un effet pour l'exploitant, s'il n'y a pas de moyen de détection sur le mode ou sur la cause.

Exemples : Contrôle de fermeture de pinces, maintenance préventive, consigne visuelle, capteur automate, capteur de surcourse, calculs de dimensionnement, essais, ...

✓ **Criticité :**

A la fin de cette étape, une analyse d'évaluation des risques est effectuée pour toutes les défaillances précédemment identifiées.

L'évaluation des risques potentiels se traduit par le calcul de la Criticité, à partir de l'estimation des indices de Gravité, de Fréquence et de non-Détection.

La criticité permet :

- De noter l'importance du risque engendré par chaque cause de défaillance,
- Puis de hiérarchiser les défaillances. Cette hiérarchisation sert à prioriser les actions et mener, ainsi, des actions sur celles qui sont égales ou supérieures au seuil retenu.

La criticité est calculé epour chaque cause de défaillance, en effectuant le produit de trois indices : $C = F * G * D$

F, G, D sont définis ci-dessous. Ces indices peuvent également être écrit F', G', et D' (et C') lorsqu'ils sont évalués après des actions correctives.

Indice de Fréquence « F » :

Il représente la probabilité que la cause de défaillance apparaisse et qu'elle entraîne le mode potentiel de défaillance considéré. Il faut donc tenir compte simultanément de la probabilité d'apparition de la cause et de la probabilité que cette cause entraîne la défaillance.

La note F correspond alors à la combinaison de ces deux probabilités. Le barème de cotation varie entre 1 et 5.

Note	FREQUENCE	CRITERES DE SELECTION
1	Pratiquement inexistant	Défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation, au plus 1 défaut sur la durée de vie du machine
2	Rare	Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par an Ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire
3	Occasionnel	Défaillance apparue occasionnellement sur du matériel similaire existant en exploitation, & titre indicatif : 1 défaut par trimestre

4	Fréquent	Défaillance apparue fréquemment sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant sur une exploitation, à titre indicatif : 1 défaut par mois, Ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions ne sont pas réunies pour prévenir la défaillance et il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire
---	----------	---

Tableau I. 5 : Indice de Fréquence « F » [30]

Indice de Gravité « G » :

Les barèmes de cotation, variant de 1 à 5 (cf. Annexe 1), se basent sur les effets provoqués par la défaillance, en terme :

- De Temps d'Intervention (TI) qui correspond au Temps Actif de Maintenance Corrective (diagnostic + réparation ou échange + remise en service),
- De qualité des pièces produites,
- De sécurité des hommes ou des biens. L'indice sanctionne uniquement l'effet le plus grave produit par le mode de défaillance, même lorsque plusieurs effets ont été identifiés.

La note G = 5 est automatiquement attribuée lorsque l'effet peut impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention, ou, lorsque l'effet peut entraîner une non-conformité dans les opérations aval et, éventuellement, un dysfonctionnement pour le client final, si cette non-conformité n'est pas détectée dans le processus. G ne change pas sauf en cas de nouvelle conception.

Note	GRAVITE G	CRITERES DE SELECTION (TI = Temps d'intervention *, Qualité et Sécurité)
1	Mineure	Défaillance mineure, aucune dégradation notable du matériel, <i>à titre indicatif, TI ≤ 3 min</i>
2	Moyenne	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état de courte durée, <i>à titre indicatif, 3 min < TI ≤ 20 min</i>
3	Majeure	Défaillance importante, nécessitant une intervention de longue durée, <i>à titre indicatif, 20 min < TI ≤ 60 min</i> ou Non-conformité du produit, constatée et corrigée par l'utilisateur du moyen
4	Catastrophique	Défaillance grave, à titre indicatif, TI > 60 min, ou Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise), ou Dommage matériel important (sécurité des biens)
5	Sécurité / Qualité	Accident pouvant impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention, ou Non-conformité du produit envoyé en clientèle (l'automobiliste)

Tableau I.6 : indice de Gravite <G> [30]

TI = temps d'intervention ou temps actif de maintenance corrective = diagnostic + réparation + remise en condition initiale

Indice de Non-Détection « D » :

C'est la probabilité que la cause ou le mode de défaillance supposés apparus provoquent l'effet le plus grave, sans que la défaillance ne soit détectée au préalable. Le barème de cotation varie entre 1 et 5.

Note	NON-DETECTION D	CRITERES DE SELECTION
1	Détection totale	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave, provoqué par la défaillance pendant la production
2	Détection exploitable	La cause ou le mode de défaillance sont décelables, mais le risque de ne pas être perçus existe
3	Détection faible	La cause ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables
4	Sans détection	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise

Tableau I. 7 : Indice de Non-Détection « D » [30]

Tous ces éléments sont réunis dans le tableau AMDEC :

Date de l'analyse	AMDEC MACHINE –ANALYSE MODE DE DEFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE					Phase de fonctionnement	Page			
	Système :		Sous-système :				1/...	Nom :		
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Causes de la défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	D	C	

Tableau I.8 : Tableau de l'AMDEC.[30]

G.3. Hiérarchisation des risques :

A partir des indices de criticité, il est possible de hiérarchiser les défaillances et de recenser celles dont le niveau de criticité est supérieur à une limite constante et contractuellement imposée, par exemple par le cahier des charges. Le seuil de criticité varie selon les objectifs de fiabilité ou les techniques traitées.

A titre indicatif on peut citer les cas suivants :

- 12, lorsque les objectifs de fiabilité sont sévères,
- 16, le plus utilisé pour les organes mécaniques,
- 24, sur des composants électriques ou électroniques, où l'indice de non-Détection est presque toujours égal à 4.

Des actions correctives sont engagées pour toutes les causes de défaillance dont C atteint ce seuil. Toute note de G ou de F égale à 4 doit entraîner une action corrective de conception, même si la criticité n'atteint pas le seuil fixé.

La note de G = 5 doit obligatoirement entraîner :

- Une action corrective de conception, si elle existe, afin de rendre la gravité inférieure ou égale à 5 ($G \leq 5$),
- Ou, s'il est impossible de faire disparaître l'effet ainsi noté (la note G restera à 5), une action corrective telle que les notes F de fréquence et D de non-détection soient toutes deux égales à 1 ($F = 1$ et $G = 5$ et $D = 1$).

En résumé un point critique correspond soit à un point dont la criticité des défaillances est supérieure ou égale à un seuil donné, soit à un point où la gravité ou la fréquence des défaillances est supérieure ou égale à 4.

$$(C \geq \text{Seuil}) \text{ ou } (G \geq 5) \text{ ou } (F = 5)$$

Tout point critique doit faire l'objet d'actions correctives pour tenter de l'éliminer. Si un point critique subsiste, il doit être largement justifié par le concepteur et faire l'objet de mesures particulières chez l'utilisateur.

G.4. Actions Correctives :

Après la mise en évidence des risques de défaillance critiques, des Actions Correctives sont décidées et appliquées. Elles ont pour objectif de diminuer la criticité des défaillances. Une diminution de C peut être obtenue :

- En agissant sur la machine, de la conception jusqu'à la mise en exploitation, par une action du Fournisseur dans les domaines :
 - Du respect de la conformité des caractéristiques du produit réalisé par le moyen,
 - Du respect des conditions de travail et de la sécurité des personnes,
 - De la fiabilité,
 - De la maintenabilité intrinsèque,
- En agissant sur la logistique, par une action du Client dans les domaines :
 - De la politique de maintenance,
 - De la formation du personnel exploitant,
 - De l'organisation (pièce de rechange, ...)

Dans tous les cas, une action corrective de conception doit être préférée à une action corrective de logistique.

De même, une action corrective de conception améliorant la fiabilité doit être envisagée avant une action corrective améliorant la maintenabilité.

La diminution de la criticité passe par celle d'un ou de plusieurs indices

- L'amélioration de la note de fréquence, F, s'obtient par une action sur la fiabilité du composant incriminé, ou sur les conditions d'utilisation, ou par une action de maintenance préventive systématique, ... C'est l'action à rechercher en priorité.
- L'amélioration de la note de non-détection, D, s'obtient en agissant sur la validation de la conception (calculs, essais, ...), sur une aide à la supervision, par une maintenance préventive, ...
- L'amélioration de la note de gravité, G, s'obtient par une action sur la maintenabilité ou l'aptitude à diagnostiquer et à réparer plus rapidement. Cela peut aussi entraîner des modifications de conception (suivi de la qualité produite, confinement des risques, ...). Une fois les actions correctives identifiées, le décideur valide la mise en application des actions correctives proposées par le groupe, en tenant compte des délais (dates, ou étapes contractuelles) et des coûts d'investissement, d'exploitation, et de maintenance.[30]

H. Perspectives de l'AMDEC :

Tout d'abord, l'AMDEC permettra de mettre en évidence les points faibles de chaque équipement. En se basant sur ces données, il sera possible de définir des mesures correctives à prendre pour atténuer les points les plus critiques.

Cependant, en dépit de ces aspects, il ne faut pas mettre fin à l'AMDEC. Effectivement, il est essentiel de constamment faire face à des défis pour rendre l'AMDEC pertinent. Après avoir mis en œuvre les mesures correctives, il est essentiel de revoir la pertinence des processus en fonction de nouveaux paramètres. Cela nous donnera l'opportunité de repenser de nouvelles mesures correctives et de revoir celles qui ont déjà été mises en place.[31]

I. La contribution de l'AMDEC dans une approche de gestion des risques :

Si on fait le bilan des expériences réussies ici et là, on trouvera l'AMDEC à pratiquement tous les stades du cycle de vie d'un système. Toutefois, on peut souligner le caractère à peu près incontournable de l'AMDEC à la fin de la conception, à la charnière avec la réalisation ou l'exploitation et la maintenance. En effet, quand le système est décrit de façon précise, les composants choisis, l'AMDEC s'applique à merveille pour compléter la connaissance des fonctionnements (fonctionnements souhaités décrits par la conception) avec les fonctionnements non souhaités, mais inévitables du fait qu'aucun composant n'est infaillible. Il faut bien prendre en compte ce qui peut résulter des défaillances des composants choisis.[31]

Conclusion :

Ce chapitre a exploré en profondeur le cadre conceptuel de la gestion des risques industriels, couvrant les bases, la classification, les spécificités des risques industriels, le processus de gestion des risques, les méthodes employées et l'AMDEC.

Une compréhension solide de ces éléments permet de structurer efficacement la gestion des risques, assurant la sécurité et la résilience des opérations industrielles. En intégrant ces pratiques, les entreprises peuvent anticiper et atténuer les impacts négatifs, protégeant ainsi leurs actifs et leur personnel.

Le deuxième chapitre, quant à lui, va démontrer l'application pratique de l'AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet, mettant en lumière son efficacité pour identifier et atténuer les défaillances potentielles, améliorant ainsi la fiabilité et la sécurité de la turbine.

CHAPITRE II

**Application de la méthode AMDEC à la turbine à
vapeur de la centrale de Cap Djinet**

Introduction :

Ce chapitre se concentre sur l'application pratique l'AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet. En examinant spécifiquement ce cas d'étude, nous explorons comment l'AMDEC est utilisée pour identifier, évaluer et traiter les potentiels modes de défaillance de la turbine. Cette analyse détaillée offre un aperçu concret de la manière dont l'AMDEC peut être implémentée pour améliorer la fiabilité, la sécurité et l'efficacité des opérations dans le domaine de l'énergie.

Nous limiterons notre étude à une partie précise de cette centrale à savoir la turbine à vapeur.

Section 1 : Présentation de la centrale thermique Cap-Djinet

La centrale thermique de Cap-Djanet est une installation de production d'électricité de premier plan en Algérie, cette centrale revêt une importance majeure dans le secteur énergétique du pays. Elle fonctionne à partir de la vapeur d'eau produite grâce à la chaleur dégagée par la combustion de gaz et des technologies de pointe, alimentant un large réseau électrique. Elle joue un rôle crucial dans la fourniture d'électricité à la région et est une composante essentielle du réseau électrique national.

La centrale thermique est située au bord de la mer à 75km à l'est d'Alger, à la périphérie de la ville de Cap Djinet, dans la willaya de Boumerdès, sur une extension d'environ 35 hectares. Le choix du site pour son implantation est basé sur les raisons de proximité des consommateurs importants. Cette dernière est composée de (4) groupes monoblocs d'une puissance unitaire de 168 Mégawatts (MW) totalisant une capacité installée de 672Mega watts. Situés notamment dans la zone industrielle Rouïba - Reghaïa ; la possibilité d'extension et les Conditions de sous-sol favorables ne nécessitant pas de fondations profondes.

La centrale a été construite par un consortium Austro - Allemand (Siemens - Kraftwerk union AG KWU - SGP) qui avaient la responsabilité des études, de la supervision, du montage et du contrôle de l'ouvrage, ainsi que par l'entreprise Espagnole (Dragados) à laquelle a été confiée la réalisation de la prise d'eau de mer. Des entreprises algériennes ont aussi participé à la réalisation de la centrale, telles que ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM, SOGEP et d'autres. La mise en service dès ses quatre groupes turbo - alternateur s'est effectuée de 1986 à 1987. La centrale de Cap Djinet est composée d'une salle de machines dans laquelle se trouvent les principaux éléments de la centrale (générateur de vapeur et groupe turbo - alternateur), une salle de commande et de contrôle, une station de traitement d'eau et stations annexes.[32]



Figure II-1 : Station de la centrale thermique de Cap Djinet [32]

Section 2 : Description des différents composants de la centrale

La centrale est composée des éléments suivants :

- La chaudière (générateur de vapeur)
- Le condenseur
- Les pompes
- Les rechauffeurs
- Dégazeur
- Bâche d'alimentation
- Turbine à vapeur
- Alternateur
- Transformateur principal d'évacuation d'énergie

Comme le montre la figure **II-2**

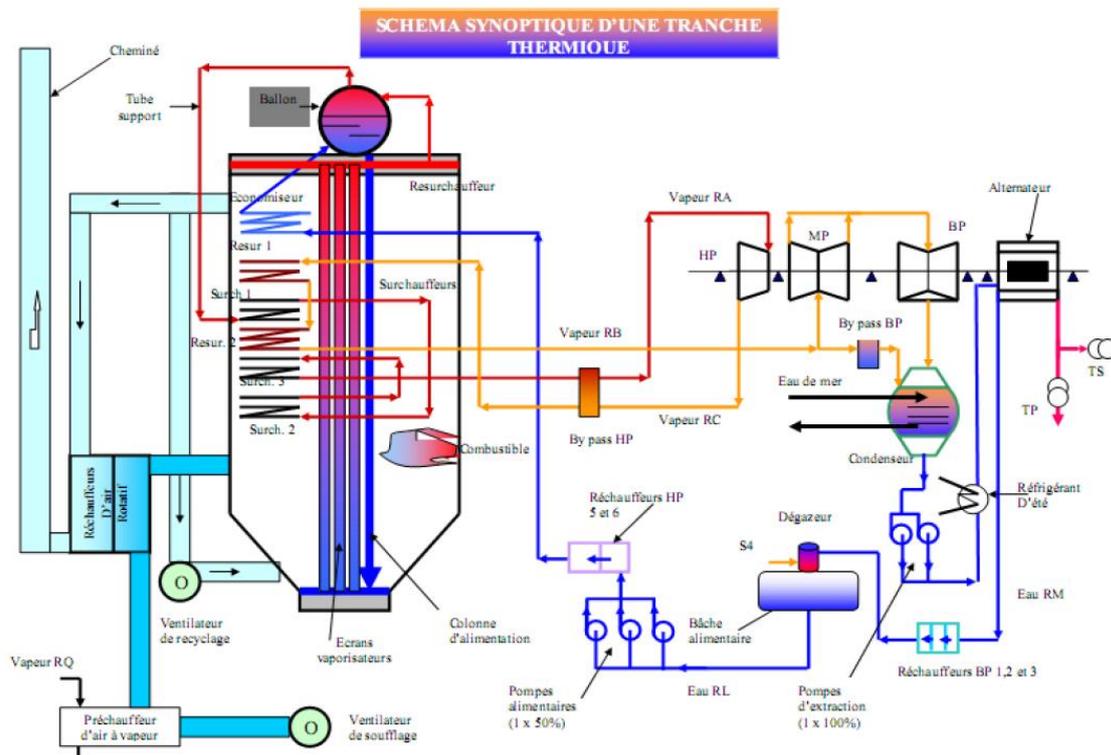


Figure II.2 : Composantes d'une tranche thermique de la centrale de Cap-Djinet.[32]

A. La chaudière (générateur de vapeur) :

C'est l'un des éléments essentiels du circuit thermique. La chaudière utilisée est de type à circulation naturelle, son rôle est de faire passer l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état vapeur surchauffée à haute pression afin d'alimenter la turbine. [33]*

A.1. Description et principe :

La chaudière livrée pour Cap-Djinet est de type « circulation naturelle ». L'eau d'alimentation est refoulée par les pompes d'alimentation directement jusqu'à l'économiseur, l'eau réchauffée est ensuite refoulée dans le ballon de la chaudière.

Le ballon constitue le réservoir effectif des écrans de la chaudière. Du ballon, l'eau coule par les colonnes de descente jusqu'aux collecteurs des écrans. Les tubes écrans sont étanches au gaz et forment la chambre de combustion. Dans les tubes-écrans se forme un mélange de bulles de vapeur et d'eau, qui a un poids spécifique plus faible que l'eau froide.

Ce mélange monte jusqu'au ballon de la chaudière par gravité et avec une différence de densité (circulation naturelle). Dans le ballon s'opère une séparation de l'eau et de la vapeur et celle-ci est conduite aux surchauffeurs.

A.2. Caractéristiques du générateur de vapeur :

Capacité de vaporisation	540 t/h.
Température de l'eau d'alimentation	246°C
Pression de service	160 bars.
Température de sortie de la fumée	118°C
Température dans le foyer	900°C

Tableau II.1 : Caractéristiques du générateur de vapeur [33]

A.3. Fonctionnement de la chaudière :

Pour simplifier la description du fonctionnement de la chaudière, nous allons d'abord repartir les circuits en deux sections principales : circuit d'eau et circuit de vapeur.

❖ Le circuit d'eau :

Le circuit d'eau est constitué d'un économiseur, d'un ballon chaudière, de colonnes de descente et d'écrans vaporisateurs.

• Economiseur :

L'économiseur a un rôle important au démarrage de la chaudière, il reçoit de l'eau froide sur une surface large de 2080 m² environ, de type tuyauterie en forme de serpentin qui se trouve à la fin de parcours des gaz de combustion qui permet de réchauffer l'eau destinée au ballon de la chaudière. [33]

Caractéristiques de l'économiseur :

Température de l'eau à l'entrée	- 246,3°C.
Température de l'eau à la sortie	284,7°C.
pression de service (entrée)	164,3 bars.
débit de fumée traversant l'économiseur	550 – 650 t/h
débit de l'eau d'alimentation	523 t/h
volume de l'eau :	10,5m ³ .

Tableau II.2 : Caractéristiques de l'économiseur [34]

• Ballon chaudière :

L'eau d'alimentation réchauffée dans l'économiseur arrive au ballon chaudière où elle sera conduite aux écrans vaporisateurs par les colonnes de descente, le volume du ballon chaudière est de 26,9 m³.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Après l'échauffement, un mélange eau-vapeur monte vers le ballon, à l'intérieure il se produit une séparation entre la vapeur et l'eau par des séparateurs cyclones.

Caractéristiques du ballon chaudière :

pression de service :	160 bars.
température :	347,5°C.
volume d'eau :	26,9 m

Tableau II.3 : Caractéristiques du ballon chaudière [34]

- **Colonne de descente et écrans vaporisateurs :**

Les colonnes de descente sont raccordées à la partie inférieure du ballon et conduisent l'eau à la partie inférieure de l'écran vaporisateur.

Caractéristiques des colonnes de descente et tubes écrans :

Surface de chauffe :	1980 m ²
Volume d'eau :	37 m ³ .
Pression de service :	160 bars.

Tableau II.4 : Caractéristiques des colonnes de descente et tubes écrans [33]

- ❖ **Le circuit de vapeur :**

Le circuit de vapeur est constitué de surchauffeurs.

- **Surchauffeur :**

Il existe trois surchauffeurs montés en lignes, séparés en parallèle, on trouve deux désurchauffeurs après le premier et le deuxième surchauffeur qui servent à la protection de ce dernier contre des températures plus élevées et de garder la même température de sortie dans la chaudière.

La vapeur qui sort du ballon de la chaudière passe par les surchauffeurs pour augmenter le rendement de l'installation. Le débit de vapeur surchauffée est : 523,9 t/h.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Caractéristiques du surchauffeur :

Caractéristiques	Surchauffeur 1ère	Surchauffeur 2ème	Surchauffeur 3ème (finale)
Nombre de files	2*128	4*64	2*128
Diamètre extérieur [mm]	38	33,7	33,7
Epaisseur [mm]	3,6 – 4,5	4 – 5	4,5 – 5
Surface de chauffe [m ²]	1565	581	538
Pression de service [bar]	160	150	147,6
Timbre [bar]	172	172	172
Température d'entrée [°C]	360	394	471
Température de sortie [°C]	427	485	540

Tableau II.5: Caractéristiques du surchauffeur [34]

- **Re-surchauffeur:**

Après la première détente de la vapeur dans le corps HP (turbine à haute pression), la vapeur traverse les tubes du resurchauffeur où la température de celle-ci augmente une seconde fois, mais nous garderont la pression de détente constante. La vapeur sera envoyée dans la deuxième partie de la turbine (corps MP et BP). Débit de vapeur resurchauffée est de 467,9 t/h.

Caractéristiques du re-surchauffeur :

Caractéristiques	Resurchauffeur 1ère	Resurchauffeur 2ème
Surface de chauffe [m ²]	1832	929
Volume d'eau [m ³]	18,96	10,11
Pression de sortie [bar]	39	37
Timbre [bar]	48	48
Température d'entrée [°C]	357	436
Température de sortie [°C]	428	540

Tableau II.6 : Caractéristiques du resurchauffeur.[34]

- **Désurchauffeurs:**

Pour stabiliser la température de la vapeur surchauffée qui sort de la chaudière par l'injection des gouttelettes d'eau (pulvérisation), les désurchauffeurs sont disposés entre les surchauffeurs et même entre les resurchauffeurs.

Caractéristiques du désurchauffeur :

Caractéristiques	Désurchauffeur 1ère	Désurchauffeur 2ème
Debit d'eau [t/h]	35,7	4,6
Pression d'entre [bar]	165,4	60

Tableau II.7 : Caractéristiques du désurchauffeur.[34]

B. Le condenseur :

B.1. Présentation du condenseur :

Le condenseur de la turbine fait partie du circuit de condensation et avec le circuit d'eau de circulation et les circuits auxiliaires, il assure la condensation de la vapeur d'échappement de la turbine et sa détente à une contre pression basse.

Il existe deux types de condenseur : condenseur par surface et condenseur par mélange.

Le condenseur de la centrale de Cap-Djinet est un condenseur de type par surface. [35]

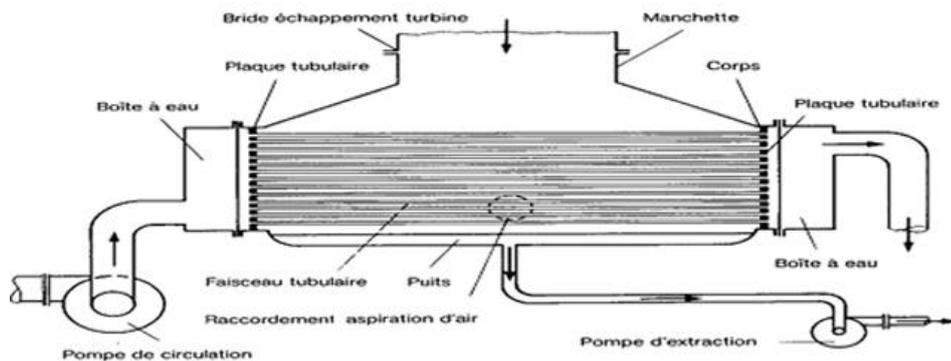


Figure II.3 : Constitution générale d'un condenseur par surface.[35]

B.2. Fonctionnement du condenseur :

Le condenseur utilisé dans l'installation est un échangeur à échange par surface. Il est placé sous la turbine à basse pression. La vapeur se condense au contact des parois des tubes, dans lesquelles passe l'eau de mer de refroidissement.

Les principales fonctions du condenseur sont :

- D'assurer la condensation de la vapeur d'eau évacuée du corps (BP) de la turbine et de réintroduire le condensât dans le circuit eau-vapeur (poste d'eau).
- D'augmenter la chute d'enthalpie de la vapeur détendue en établissant une dépression, afin d'obtenir un rendement de la turbine aussi élevé que possible.
- De dégazer le condensât et d'évacuer les incondensables (en majorité de l'air).
- Reçoit également le condensât des réchauffeurs (BP).
- Recevoir de différentes purges et de la vapeur de contournement (by-pass BP)

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Caractéristiques du condenseur :

Pression dans le condenseur :	0,07 bar absolue.
Surface d'échange :	10101 m ²
Capacité du puits entrée/sortie :	eau de mer 6° à 8°c.
Vitesse de l'eau dans les tubes	1,8 m/s.
Débit vapeur	98,25 kg/s
Débit d'eau de refroidissement :	6500 kg/s (eau de mer).
Nombre de tubes :	14850
La température de sortie	32,9°c

Tableau II.8 : Caractéristiques du condenseur [35]

C. Les pompes :

Il existe dans la centrale de Cap-Djinet deux pompes d'extraction et trois pompes d'alimentation et des pompes de circulation.

C.1.Pompes d'extraction :

Les pompes d'extraction d'eau ont pour rôle d'acheminer le condensât principal à la sortie du condenseur jusqu'à la bêche d'alimentation en passant par les réchauffeurs basse pression, les réfrigérants d'été et les réfrigérants d'hydrogène.



Figure II.4 : Vue de face de la pompe d'extraction.[35]

C.2. Pompes d'alimentation :

Les pompes d'alimentation servent à alimenter le générateur de vapeur (chaudière) avec l'eau nécessaire, en passant par les réchauffeurs haute pression (HP) du poste d'eau (le poste d'eau est l'ensemble des appareils qui transfèrent l'eau du cycle depuis le condenseur jusqu'à la chaudière), et l'économiseur du générateur de vapeur.

Les pompes d'alimentation doivent fournir la quantité d'eau nécessaire pour maintenir le niveau d'eau dans le réservoir de la chaudière entre deux limites bien définies.

Les conditions de fonctionnements des pompes d'alimentation sont:

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

- Aspirer de l'eau chaude.
- Refouler de l'eau à une pression élevée.
- Assurer un débit d'eau important.
- Avoir une grande sécurité de marche pour éviter les très graves conséquences de manque d'eau dans le générateur de vapeur.

La centrale contient trois pompes avec un débit de 261,6 m³/h pour chacune de ces pompes. Ces pompes renvoient l'eau à une forte pression.



Figure II.5 : Vue de face de la pompe d'alimentation. [35]

C.3. pompes de circulation :

Ce sont des pompes de types verticale semi axial ,il ya huit pompes dans la centrale les pompes des circulation assurent la circulation d'eau de mer pour le refroidissement des condensateurs de quatre groupes

Les caractéristiques des pompes de circulation :

Debit	3,6m/s
Hauteur	13,8m
Puissance	576,6 kw
Vitesse	423 t/min

Tableau II.9 : Les caractéristiques des pompes de circulation

D. Les réchauffeurs :

Sont des échangeurs de chaleur, ont pour rôle de réchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière. Cette dernière est assurée par plusieurs soutirages dont chacun correspond à réchauffer.

Il existe trois genres de réchauffeurs :

D.1. Réchauffeurs à Basse Pression :

Il existe 03 réchauffeurs de BP leur rôle est de réchauffer le condensât lors de son transfert dans la bache d'alimentation. Ils sont alimentés par les soutirages qui viennent du corps BP de la turbine. Le débit dans les réchauffeurs est de 114,415 kg/s.



Figure II.6 : Vue de face du réchauffeur [36]

D.2. Les réchauffeurs à Haute Pression :

Il existe 02 réchauffeurs à haute pression, leur rôle est de réchauffer l'eau d'alimentation lors de son transfert dans la chaudière. Ils sont alimentés par des soutirages provenant: l'un du corps MP et l'autre du corps HP.[36]

D.3 .Dégazeur :

Le dégazeur a pour rôle d'éliminer les gaz des eaux. Il contient une chambre de mélange pour les condensats à dégazer, une plaque de dégazeur, un collecteur horizontal, zone de collecte et d'évacuation des incondensables.[36]

E. Bâche d'alimentation:

La bache d'alimentation a pour rôle de réchauffer et de conditionnement de la pression à l'aspiration de la pompe d'alimentation.

C'est un réservoir cylindrique combiné avec un dégazeur. Il reçoit de l'eau à partir des pompes d'extraction, il reçoit également de la vapeur à partir du soutirage (S4) qui vient du corps MP (moyen pression).

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

L'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression du soutirage, en condensant la vapeur qui est prélevée à la turbine.

Le dégazeur et la bache d'alimentation sont protégés par des soupapes de sécurité installées sur la tuyauterie.[36]



Figure II.7: Vue de face de la bache d'alimentation [36]

F. La turbine à vapeur :

La turbine transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en un mouvement de rotation de l'arbre. Le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur. Sa vitesse nominale est de 3000 tr/min.

Cette turbine est une machine à une ligne d'arbres, composée de :

F.1. Corps HP (Haute pression) :

Le corps HP de la turbine est une construction en tonneau, il est équipé d'un étage de réglage pour régularisation par groupe de tuyères. Quatre ensembles combinés vannes d'arrêt/soupapes régulatrices sont associés à autant de groupes de tuyères, ils sont disposés de chaque côté du corps. [37]



Figure II.8 : Corps Haut Pression HP [38].

F.2. Corps MP (Moyenne pression) :

Le corps MP est équipé de deux vannes d'interception et de deux soupapes modératrices disposées symétriquement de part et d'autre du corps. La vapeur resurchauffée véhiculée par les tuyauteries parvient aux soupapes modératrices après avoir traversé les vannes d'interceptions.[37]



Figure II.9 Corps MP [38].

F.3. Corps BP (basse pression) :

Le corps BP est du type à double flux. Il s'agit d'une construction mécano-soudée comprenant une carcasse et une double enveloppe. La vapeur provenant du corps moyenne pression pénètre dans le corps interne de l'enveloppe double en amont des aubages BP par les pipes d'admission disposées de part et d'autre du corps BP. [37]



Figure II.10 Corps BP [38]

G. Alternateur :

L'alternateur de la centrale de Cap-Djinet, est une machine synchrone triphasée transformatrice d'énergie. C'est un alternateur bipolaire à refroidissement direct du rotor et à refroidissement indirect de l'enroulement du stator avec de l'hydrogène. Son rôle est de transformer l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique. [38]



Figure II.11 : Alternateur [39].

H. Transformateur principal d'évacuation d'énergie :

Le courant électrique fournit par l'alternateur est trop pour pouvoir être transporté par les lignes aériennes du transport haute tension. Des transformateurs ont pour fonction d'élever cette tension jusqu'à 225 KV ; c'est l'organe qui adapte la tension de l'alternateur à la tension du réseau pour pouvoir évacuer l'énergie produite vers le réseau national a travers des lignes aériennes.

Chaque alternateur est raccordé par des gaines à un transformateur élévateur de 15.5 KV a 220 KV d'une puissance de 220 MW à travers un disjoncteur coupleur. Les transformateurs élévateurs ont un poids de 140 tonnes (sans les radiateurs) et leur réfrigération est assurée par une circulation forcée d'huile, laquelle est elle-même refroidie par l'air [39]



Figure II.12 : Transformateur principal [39]

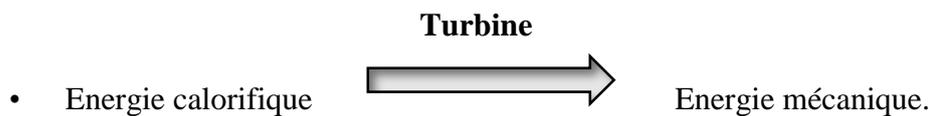
Section 03 : Fonctionnement du site de production :

Avant de décrire le fonctionnement de la centrale, il sera bon de rappeler les différentes transformations énergétiques qui ont servi à la production de l'énergie électrique. En gros, on a trois transformations :

1. Transformation de l'énergie contenue à l'état latent dans le combustible (énergie chimique) en énergie calorifique :



2. Transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.



3. Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.



L'eau déminéralisée est aspirée à la bêche d'alimentation qui est alimentée par le condenseur, et par l'eau d'appointe après distillation, elle est acheminée successivement par les pompes d'extraction et d'alimentation et réchauffée par les réchauffeurs HP et BP (voir figure 3.2).

Au moyen de vapeur des soutirages, l'eau d'alimentation en sortant des réchauffeurs HP va être évacué dans la chaudière et particulièrement dans l'économiseur, l'eau se réchauffe par convection par le biais des fumées résultantes de la chambre de combustion, elle est ensuite canalisée dans le ballon.

A la sortie de l'économiseur, l'eau est encore à l'état liquide, pour avoir de la vapeur, il faut encore la chauffer. Alors, du ballon, l'eau descend vers les écrans vaporisateurs.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Au contact de la flamme des brûleurs, l'eau devient une vapeur et monte naturellement jusqu'au ballon du fait de la différence de densité entre l'eau et la vapeur.

Dans le ballon s'opère une séparation de l'eau et de la vapeur, puis celle-ci est transmise aux surchauffeurs par les tubes supports.

A la sortie de surchauffeur finale, la vapeur est acheminée vers la turbine pour subir la détente, la vapeur d'échappement en partie détendue est refroidie dans la partie HP de la turbine, et ramenée à la chaudière pour une resurchauffe.

A la sortie des resurchauffeurs, la vapeur poursuit sa détente dans le corps MP puis dans le corps BP, d'une part qui entraîneront la rotation d'un arbre de transmission reliant la turbine à l'alternateur, et d'autre part la vapeur détendue est conduite au condenseur. La condensation de la vapeur s'effectue à vide à la température 33°C et à la pression de 0,05 bar.

Les pompes d'extraction aspirent l'eau du puits du condenseur et la refoulent à travers le réfrigérant d'alternateur, et les trois réchauffeurs BP jusqu'à la bêche d'alimentation, qui effectue le dégazage physique de l'eau d'alimentation, et un nouveau cycle peut recommencer.[33]

Section 04 : La turbine à vapeur

La turbine est devenue de nos jours très employée dans notre civilisation industrielle, elle trouve trois principaux domaines d'applications : elle est d'abord très répandue dans le domaine de la motorisation, en particulier la motorisation des avions (turboréacteur) ; elle est également utilisée dans la production d'électricité (centrales électriques) ; et elle joue le rôle primordial dans l'exploitation de pétrole et de gaz naturel.

Dans cette partie du travail, on va présenter les différents types des turbines, leur principe de fonctionnement, leurs avantages et leurs inconvénients. La turbine étudiée dans cette thèse sera présentée par la suite, on s'intéressera à son fonctionnement, aux différents composants qui la constituent.

A. Définition d'une turbine :

Une turbine est un dispositif rotatif destiné à utiliser l'énergie cinétique d'un fluide liquide comme l'eau ou d'un gaz (vapeur, air, gaz de combustion), pour faire tourner un arbre solidaire des pales de la turbine.

L'énergie du fluide est partiellement convertie en énergie mécanique pour entraîner un alternateur, une pompe ou tout autre récepteur mécanique rotatif. [40]



Figure II.13 : Turbine [40]

B. Différents types des turbines :

On peut diviser les turbines en quatre catégories principales : Turbine hydraulique, l'éolienne, la turbine à gaz, la turbine à vapeur

B.1. Turbine hydraulique :

❖ Définition :

C'est une machine tournante qui produit une énergie mécanique à partir d'eau en mouvement (cours d'eau ou marée) ou potentiellement en mouvement (barrage).

Elle constitue le composant essentiel des centrales hydroélectriques destinées à produire de l'électricité à partir d'un flux d'eau. Elle a été inventée par Benoît Fourneyron en 1832, qui installa sa première machine à Pont-sur l'Ognon.

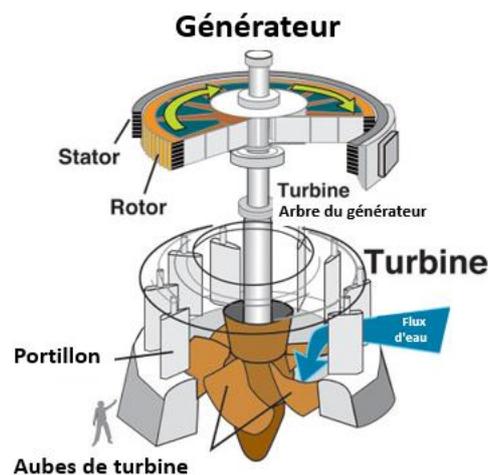


Figure II.14 : Turbine hydraulique et générateur électrique, vue en Coupe [40]

❖ Principe fonctionnement de la turbine hydraulique :

L'eau accumulée dans les barrages ou dérivées par les prises d'eau, constitue une énergie potentielle disponible pour entraîner en rotation la turbine d'une génératrice.

L'énergie hydraulique se transforme alors en énergie mécanique.

Cette turbine accouplée mécaniquement à un alternateur l'entraîne en rotation afin de convertir l'énergie mécanique en Énergie électrique.[40]

La puissance disponible résulte de la conjonction de deux facteurs :

- Hauteur de la chute d'eau,
- Débit de la chute d'eau.

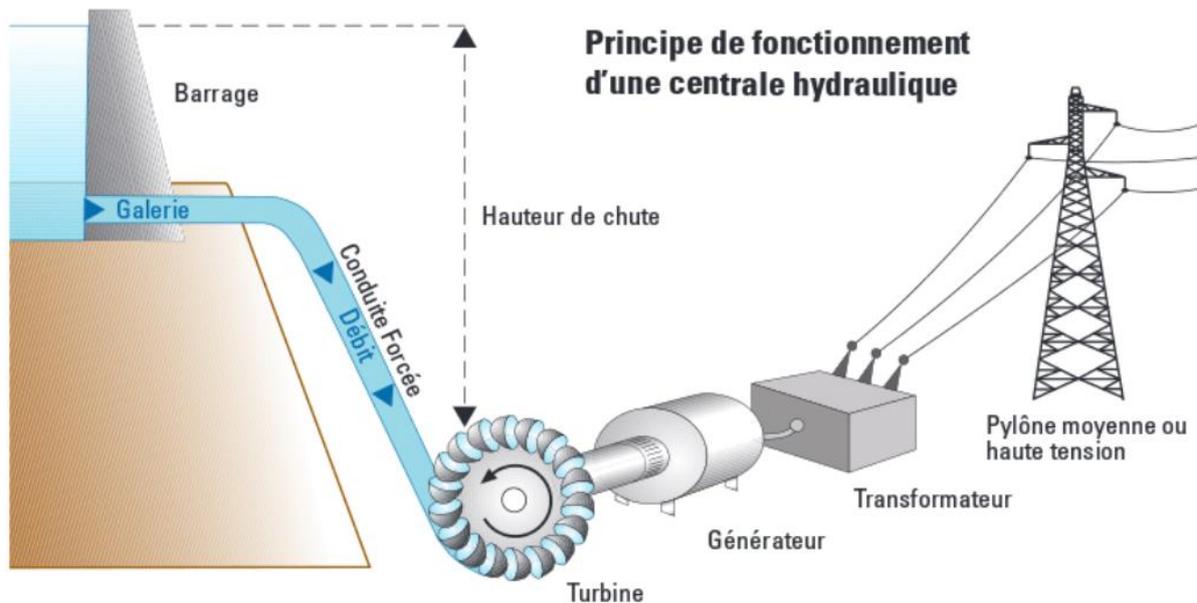


Figure II.15 : Principe de fonctionnement des centrales hydroélectriques [40]

❖ Avantages des turbines hydrauliques :

- Haute efficacité mécanique.
- Bon contrôle de l'inclinaison des aubes.

❖ Inconvénients des turbines hydrauliques :

- Égratignures et fissures des aubes dues aux solides en suspension dans l'eau.
- La corrosion avec le temps.

B.2. L'éolienne

❖ Définition :

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, laquelle est ensuite le plus souvent transformée en énergie électrique. Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs, tandis que les éoliennes qui pompent directement de l'eau sont parfois dénommées éoliennes de pompage ou pompe à vent. [40]

❖ Principe fonctionnement de L'éolienne :

Les éoliennes fonctionnent sur le même principe que les moulins. Le vent fait tourner les pales (les bCap) placées au sommet d'un mât.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Ce mouvement entraîne la rotation d'un axe central (le rotor) relié à un générateur. L'énergie mécanique du vent est ainsi transformée en électricité.

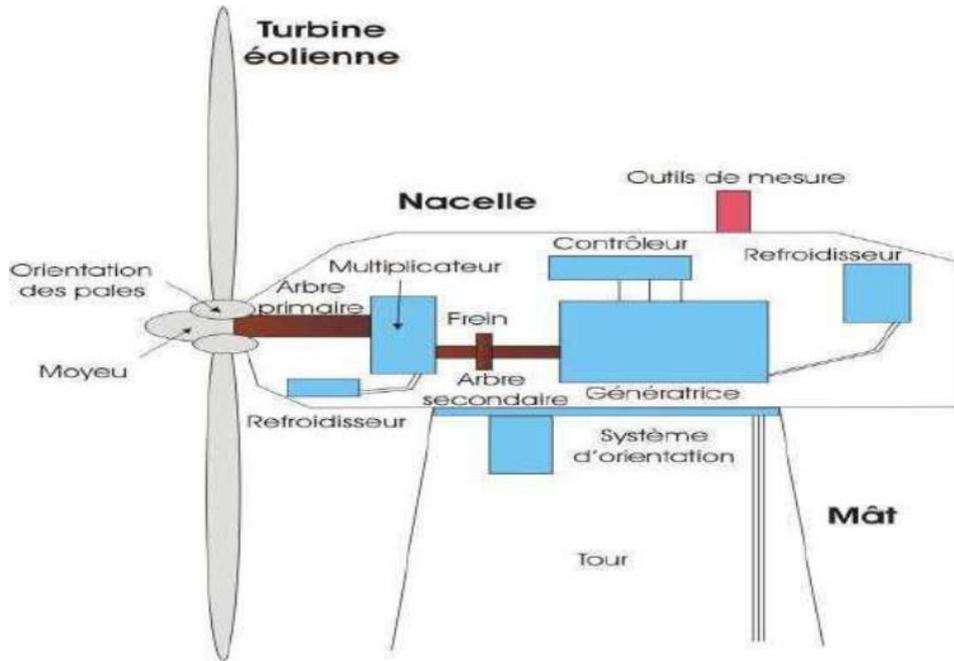


Figure II.16 : L'éolienne [40]

❖ Avantages des éoliennes :

- Energies renouvelable.
- Disponible toute l'année.
- Installation démontable.
- Sans déchet et sans risque majeur.
- Technologies bien maîtrisées.

❖ Inconvénients des éoliennes :

- Impact sur le paysage.
- Fonctionne seulement si le vent souffle.
- Installation à durée de vie limitée (20-30 ans).
- Rendement Moyen (20-60%).

B.3. Turbines à gaz :

❖ Définition :

La turbine à gaz est un dispositif rotatif, elle utilise un écoulement gazeux à partir d'une combustion de carburant pour produire de l'énergie mécanique.

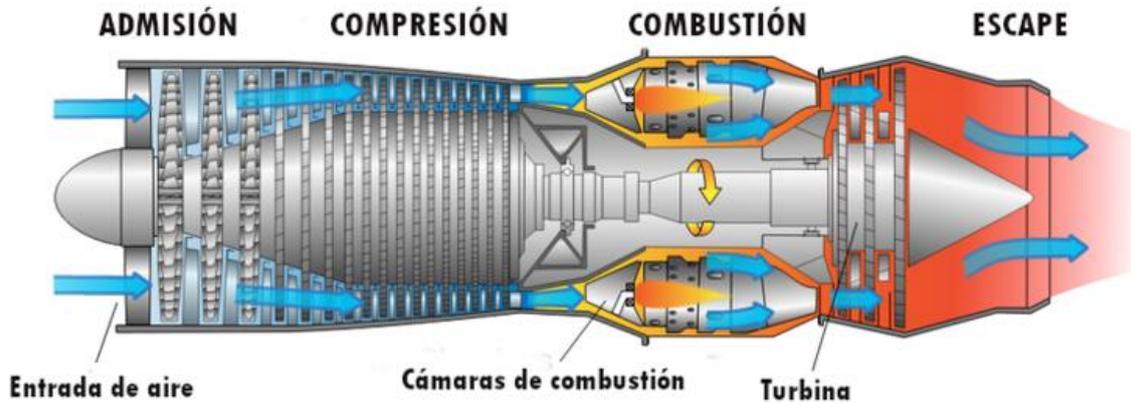


Figure II.17 : principe fonctionnement d'une turbine à gaz [40]

❖ **Principe de fonctionnement :**

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- Elle extrait de l'air du milieu environnant.
- Elle le comprime à une pression plus élevée.
- Elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion.
- Elle achemine l'air à pression et à température élevées vers la section de la turbine, qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre ; ceci sert, D'un côté, à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement et, de l'autre côté à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine.
- Elle décharge à l'atmosphère les gaz d'échappement à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus.

❖ **Avantage des turbines à gaz :**

La turbine à gaz représente des avantages remarquables :

- Simplicité d'installation.
- Génération simultanée d'électricité et de chaleur utilisable soit directement, soit indirectement dans les procédés industriels.
- Possibilité de fonctionnement avec différents combustibles.
- Grande sécurité de fonctionnement.
- Entretien facile.
- Marche régulière.
- Valeur d'émission favorable sans équipement.

❖ Inconvénients des turbines à gaz :

- Mauvais rendement : moins de 30% de l'énergie calorifique contenue dans le carburant est transformée en énergie mécanique.
- Faibles pressions de travail.
- Régimes souvent beaucoup trop élevés.
- Coût de fabrication élevé.
- Importante consommation de carburant.
- Mal adaptée aux faibles puissances.
- Bruyante par la vitesse des gaz.
- Nécessite des réducteurs coûteux.

B.4. Turbine à vapeur :

❖ Définition :

La turbine à vapeur est une machine tournante qui extrait l'énergie thermique de la vapeur et l'utilise pour produire un travail mécanique de rotation de l'arbre de sortie.

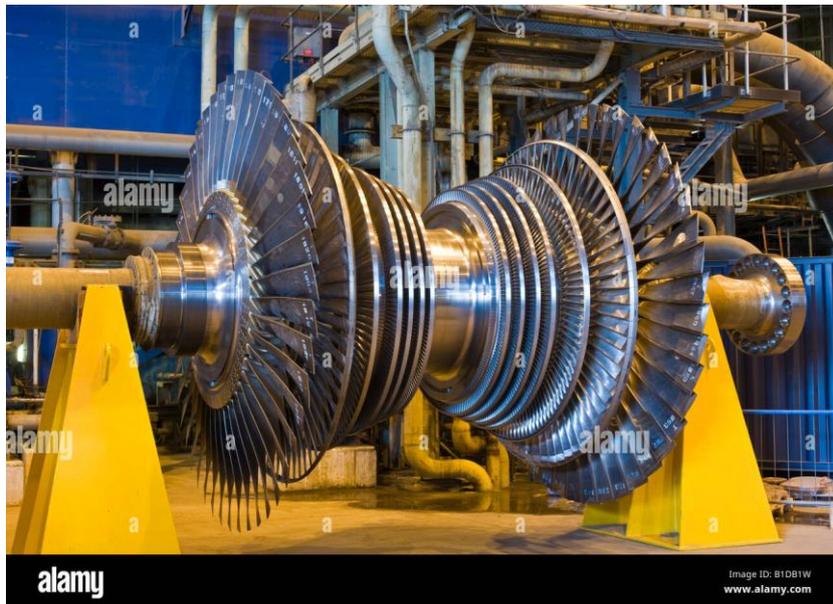


Figure II.18 : rotor BP d'une turbine à vapeur [37]

❖ Principe de fonctionnement :

La turbine est composée d'un stator et d'un rotor. La vapeur admise dans la turbine par la vanne d'admission est détendue dans la tuyère ou sur une rangée de tuyères en parallèle (appelée distributeur ou aubages fixes et dont leur fonction est d'assurer tout ou partie de la détente et de modifier la direction de l'écoulement sortant de l'étage précédent), avec une température élevée (jusqu'à 680°C pour certaines machines) et une pression élevée (jusqu'à 250 bars pour les plus "grosses" turbines).

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

A la sortie de la tuyère la vapeur est animée d'une très grande vitesse. Elle vient alors frapper les ailettes d'une roue qu'elle entraîne en rotation en lui cédant une partie de l'énergie thermique qu'elle possède au rotor et donc baisser en pression et en température. Donc à la sortie de la dernière roue, on aura la pression et la température la plus basse. Et plus elles seront basses et plus le rotor aura récupéré l'énergie mécanique nécessaire pour faire tourner l'équipement qui lui est accouplé. [37]

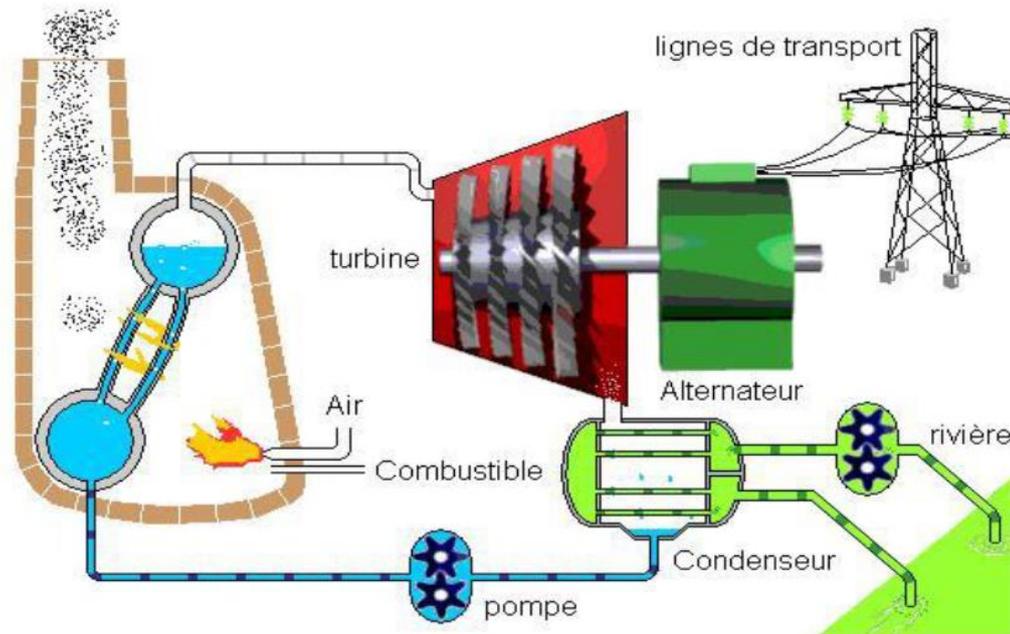


Figure II.19 : Schéma de principe de fonctionnement d'une turbine à vapeur [40]

❖ Avantages des turbines à vapeur :

- Rendement élevé
- Performances constantes et durables
- Durée de vie espérée de 35 à 50 ans
- Disponibilité élevée
- Autres produits Siemens de haute technicité disponibles (source unique)
- Conception éprouvée.
- Consommation de vapeur garantie avec tolérance de fabrication nulle. [40]

❖ Inconvénients des turbines à vapeur :

- Les turbines à vapeur présentent les désavantages suivants :
- Nécessité d'un raccord permanent à une source de vapeur fiable.
- Nécessité d'une vapeur de très haute qualité et du contrôle de la qualité de l'eau d'alimentation.
- Possibilité d'endommager les équipements lorsque la vapeur transporte des impuretés (compris de l'eau) et méthodes de démarrage du système particulières.

❖ **Etude de la turbine à vapeur utilisée dans la centrale de Cap-Djinet :**

Le fonctionnement de la turbine consiste à convertir la vapeur surchauffée à haute température et pression générée par la chaudière en une énergie mécanique (rotative). Cette dernière est accessible à l'arbre de la turbine, ce qui entraîne l'action d'un alternateur qui effectue la transformation en énergie électrique.

a) Type de la turbine utilisée dans la centrale de Cap-Djinet :

La turbine utilisée dans la centrale de Cap Djanet est turbine à condensation. C'est une turbine dont l'échappement se fait dans un condenseur à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

b) Emplacement de la turbine utilisée dans la centrale de Cap-Djinet :

La turbine est située au poste d'eau (réchauffeur), car la turbine dite à condensation et à soutirage, la détente complète de la vapeur à la sortie du corps BP est inférieure à la pression atmosphérique, dont les soutirages basse pression sont pris du corps BP pour réchauffer la condensation principale. [37]

c) Le rôle de la turbine utilisée dans la centrale de Cap-Djinet :

La turbine joue un grand rôle dans l'installation thermique, elle fait la liaison avec la chaudière par régulation pour recevoir la vapeur en provenance de la chaudière à travers les soupapes de réglage de débit vapeur pour faire tourner celle-ci à une vitesse de 3000 tr/min pour assurer l'équilibre entre alternateur et le réseau électrique c'est-à-dire., (synchronisation), et grâce au système d'excitation dont l'excitatrice accouplé dans le même arbre avec l'alternateur

d) Caractéristiques techniques de la turbine utilisée dans la centrale de Cap-Djinet :

Longueur	16.125m
Largeur	13m
Poids	500 10 ³ Kg
Puissance	176 MW
Pression	138,2 Bar
Température Vapeur	535°C
Vitesse	3000 Tr/min

Tableau II.10 : Caractéristique technique [37]

e) Principe de fonctionnement de la turbine utilisée dans la centrale de Cap-Djinet :

La vapeur admise dans la turbine par la vanne d'admission est détendue dans une ou plusieurs tuyères. À la sortie de la tuyère la vapeur est animée d'une très grande vitesse.

La vapeur vient alors percuter les ailettes de la roue de la turbine qu'elle met alors en rotation.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

A la sortie de la roue, la vapeur ressort avec encore une grande vitesse : elle peut être réutilisée après être passée dans une chambre d'inversion qui lui redonne une orientation correcte vis-à-vis de l'aubage. Puis elle est évacuée par la tubulure d'échappement.

A vitesse constante la puissance fournie par la turbine est égale à celle consommée par la machine entraîne.

Toute variation de la puissance consommée, entraîne une variation de la vitesse de rotation si l'on ne modifie pas la puissance motrice de la turbine [37]

f) Constitution de la turbine utilisée dans la centrale de Cap-Djinet :

f.1. Corps HP

❖ Description et fonctionnement du corps HP :

Le corps est de type tonneau à double enveloppe extérieur et intérieur. L'admission de la vapeur dans le corps HP se fait par deux vannes à fermeture rapide et quatre soupapes de réglage, les vannes à fermeture rapide (toute ou rien) ont un rôle primordial, elles permettent d'isoler la turbine en fermant l'admission de la vapeur en cas d'incident survenant lors de la marche du groupe.

En fonctionnement normal, elles sont ouvertes. Les soupapes de réglage règlent le débit de vapeur admis à la turbine en fonction de la charge. La vapeur admise est amenée par quatre tuyauteries, deux dans le haut et deux dans le bas du corps, cette vapeur est guidée par des rallonges et la boîte à tuyères dans l'enveloppe interne où elle subit détente et augmentation de vitesse. Ensuite, elle traverse la roue de tête, après avoir passé par neuf roues la vapeur sort de l'enveloppe interne et entre dans l'enveloppe externe. L'échappement de la vapeur se fait par deux tubulures à travers deux clapets à fermeture rapide vers la resurchauffe.[37]

❖ Palier d'extrémité

Le palier d'extrémité palier porteur à deux coins d'huile est monté en tête de la machine, il supporte le rotor et le corps HP et renferme les équipements suivants :

- Coussinet porteur de rotor HP
- Pompe à huile principale
- Convertisseur de vitesse hydraulique
- Convertisseur de vitesse électrique.

❖ Palier arrière

Le palier arrière ou palier radial et butée est monté entre le corps HP et MP il sert à supporter les enveloppes et les rotors des corps HP et MP et encaisser axial s'exerçant sur le rotor. [37]. Le palier arrière contient les équipements suivants :

- Palier combine porteur et de butée
- Capteur de vibration de l'arbre
- Capteur de vibration du palier
- Dispositif de déclenchement du détecteur d'usure butée

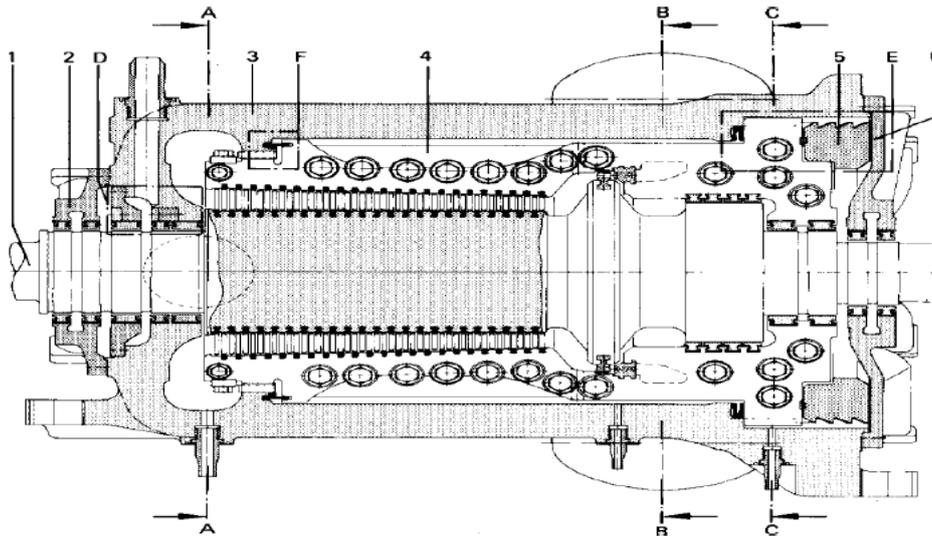


Figure II.20 : corps HP (coupe longitudinale) [37]

1-rotor 2-pièce de l'extrémité de boîte étanche.

3-enveloppe externe 4- enveloppe interne 5-couvercle

❖ **Caractéristiques du corps HP :**

Corps	À simple flux
Débit vapeur	138 bars.
Température vapeur	535 C.
Etage de réglage à action	1.
Etage à réaction	23
Poids	4910 kg.

Tableau II.11 : Caractéristique du corps HP [37]

f.2 Corps MP :



Figure II.21 : corps MP [37]

❖ Description et fonctionnement du corps MP :

Le corps MP est équipé de deux vannes d'interception et de deux Soupapes modératrices dispersées symétriquement de part et d'autre du corps. La vapeur resurchauffée véhiculée par les tuyaux parvient aux soupapes modératrices sa près avoir traversée les vannes d'interceptions.

A partir des soupapes modératrices la vapeur s'écoule dans le corps de la turbine vers les demi-cops supérieurs et inférieurs. Elle s'écoule dans l'enveloppe interne par les pipes d'admission bridées au centre de l'enveloppe externe. Cette disposition qui se traduit par des directions d'écoulement opposées dans les deux sens, permet d'équilibrer les efforts axiaux.

L'admission de vapeur au milieu du corps soustrait les pattes d'appui et les paliers à l'influence de la température d'admission de la vapeur.[37]

❖ Paliers :

Le corps MP est disposé entre les corps HP et BP. Il sert à supporter l'enveloppe du corps MP et les rotors des corps MP et BP.

Le corps de palier renferme les équipements suivants [37] :

- Capteur de vibration de l'arbre
- Capteur de vibration du palier porteur
- Vireur hydraulique

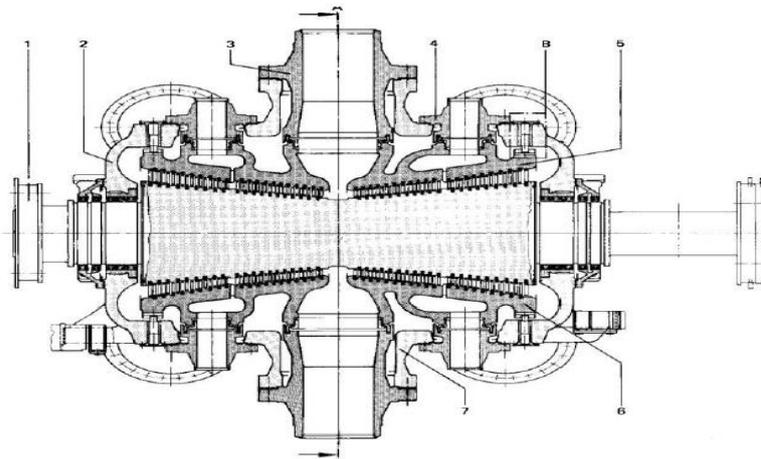


Figure II-22 : corps MP (coupe longitudinale) [37]

- | | |
|--|--|
| 01-rotor | 2-demi-corps supérieure enveloppe |
| 3-pipe d'admission | 4 -pipe soutirage |
| 5 demi corps supérieurs enveloppe interne | 6- demi corps inférieurs enveloppe interne |
| 7- demi corps inférieurs enveloppe externe | |

❖ **Caractéristique du corps MP :**

Pression admission :	35.9bar.
Température admission :	535C.
Débit vapeur :	467.9 T/h.

Tableau II.12 : Caractéristique du corps MP [37]

f.3. Corps BP :

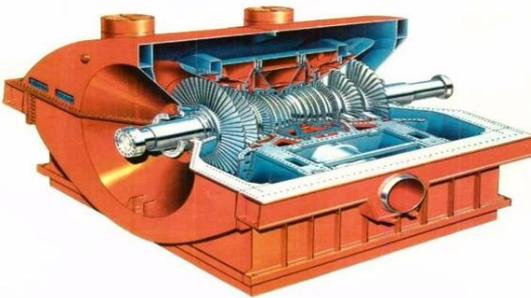


Figure II.23 : Corps BP [37]

❖ **Description et fonctionnement du corps BP :**

Le corps BP est du type à double flux. Il s'agit d'une construction mécano-Soudée comprenant une carreuse et une double enveloppe.

La vapeur provenant du corps MP pénètre dans le corps interne de l'enveloppe double en amont des aubages BP par les pipes d'admissions disposées de part et d'autre du corps BP.

Des compensateurs sont montés sur les gaines de vapeur pour éviter la déformation des enveloppes sous l'effet des dilatations thermiques. [37]

❖ **Paliers :**

Le corps du palier arrière est disposé entre le corps BP et l'alternateur, il sert à supporter le rotor du corps BP, il remplace les équipements suivants [37] :

- Capteur de vibration du corps de palier
- Palier porteur
- Capteur de vibration de l'arbre
- Indicateur de dilatations différentielles

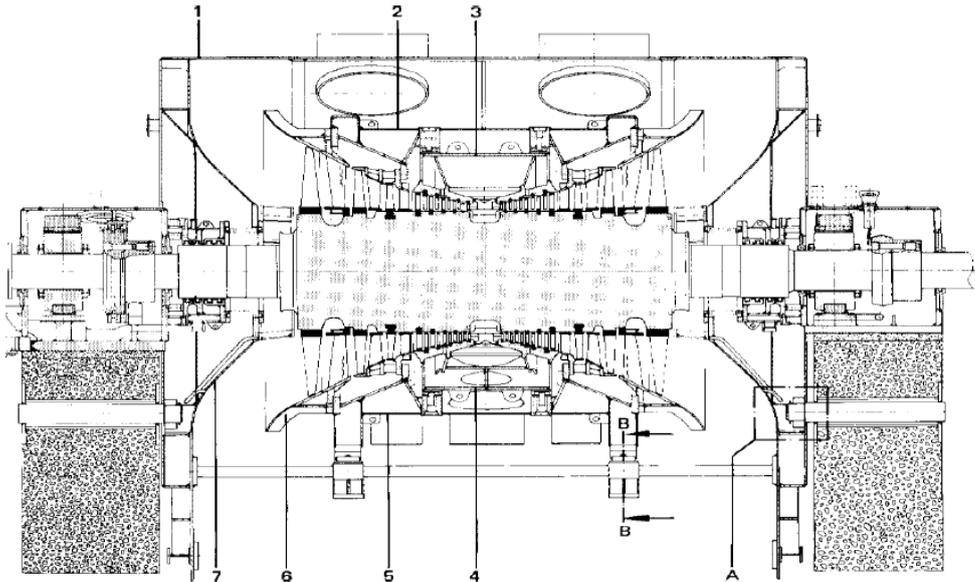


Figure II-24 : corps BP (coupe longitudinale) [37]

❖ **Caractéristique du corps BP**

Pression	5.5 Bar.
Température admission vapeur	282 C
Débit vapeur	406T/h
Hauteur de l'ailette du dernier étage :	676.3mm.
Poids du corps BP équipée :	168103kg

Tableau II.13 : Caractéristique du corps BP [37]

f.4. Le Rotor :

C'est le moyen de transmission de l'énergie mécanique fournie par les aubes. Les rotors HP et MP sont monoblocs, usinés avec leurs disques et leurs accouplements dans une seule pièce forgée. Le rotor BP est réalisé avec les disques et l'accouplement emmanchés à chaud.

La transmission du couple de l'arbre de la turbine à l'arbre de l'altérateur fait, au moyen d'un accouplement qui permet aussi le réglage de la position des 02 rotors. La vitesse critique d'un Système des rotors est développée dans la gamme de 850 à 2730 tr/mn. Pendant le démarrage, Il faut passer cette gamme en continue sans arrêt. [37]

f.5. Le Stator :

C'est le moyen de canalisation et d'étanchéité de la vapeur, il est réalisé en 02 pistons coupés par un plan de joint horizontal, il est supporté par la caisse de commande d'un côté et par la caisse BP de l'autre, dans les corps internes, il y a la disposition de diaphragmes qui portent les aubages fixes

f.6. L'enveloppe calorifuge :

L'enveloppe extérieure est calorifugée pour éviter la dispersion de la chaleur vers l'extérieur.

f.7. Le Vireur :

On retrouve le vireur hydraulique et le vireur manuel

Le vireur hydraulique a pour fonction de faire tourner la ligne d'arbre à une vitesse suffisante avant le démarrage et l'arrêt du groupe turbo-alternateur

Pendant le virage la ligne l'arbre est entraînée par une roue à aubes a deux couronnes actionnées par de l'huile motrice fournie par la pompe de premier secours, franchit un organe d'arrêt et pénètre dans le corps porte-buses en amont des busses qui guident le jet d'huile Jusqu'aux aubes.

Le vireur est mis en service à une température d'huile supérieure ou égale à 30 C et à une pression d'huile de soulèvement supérieur à 100bars. Il se met hors service à une vitesse supérieur à 240v/m. [37]

Le vireur manuel qui permet de faire tourner la ligne d'arbre manuellement. Il est composé essentiellement d'une couronne dentée taillée sur la roue à aube et d'un cliquet qui engrène dans cette couronne la tige placée sur le levier.

Pour faire tourner la tige d'arbre, il faut ôter le couvercle, faire basculer le dispositif de verrouillage et place la tige sur le levier le vireur est ainsi prêt à être actionner.

f.8. Pompe ATLINE :

La pompe ATLINE monté sur l'arbre de la turbine, elle commence son fonctionnement à partir d'une vitesse de 2000T / min .et une fois la vitesse de la turbine atteint 2790T/min les autres pompes vont s'arrêter et c'est elle qui assure le graissage et le refroidissement des paliers.



Figure II-25 : La pompe ATLINE [37]

f.9. Lubrification turbine :

L'huile de graissage et de distribution est prélevée d'un grand réservoir (la caisse à huile).

A l'arrêt de la turbine, et pendant les phases de démarrages, la source d'huile de la turbine est constituée par 02 pompes de démarrage, entraînée par deux moteurs à courant alternatif, une pompe en service l'autre en réserve.

La pompe aspire l'huile du réservoir est le refoule à travers l'éjecteur de graissage en passant par un réfrigérant d'huile permettant de régler la température de l'huile entre 38°C et 42°C, ensuite par les différents paliers et retourner à la caisse d'huile.

Dans le circuit de graissage il y a un piquage pour l'alimentation des pompes de soulèvement, ainsi le graissage du vireur.

Une pompe à courant alternatif et une autre à courant continu servent de secoure en cas de non disponibilité des pompes de démarrage.

A la vitesse nominale de la turbine, la pompe de démarrage s'arrête et la pompe principale (ATTELEE) constitue la source d'huile de la turbine, elle est installée en tête du palier avant corps HP elle est entraînée par le rotor corps HP. L'aspiration de la pompe principale est alimentée par l'éjecteur d'alimentation, elle assure le graissage et génère les différentes huiles de régulation de la turbine.[37]

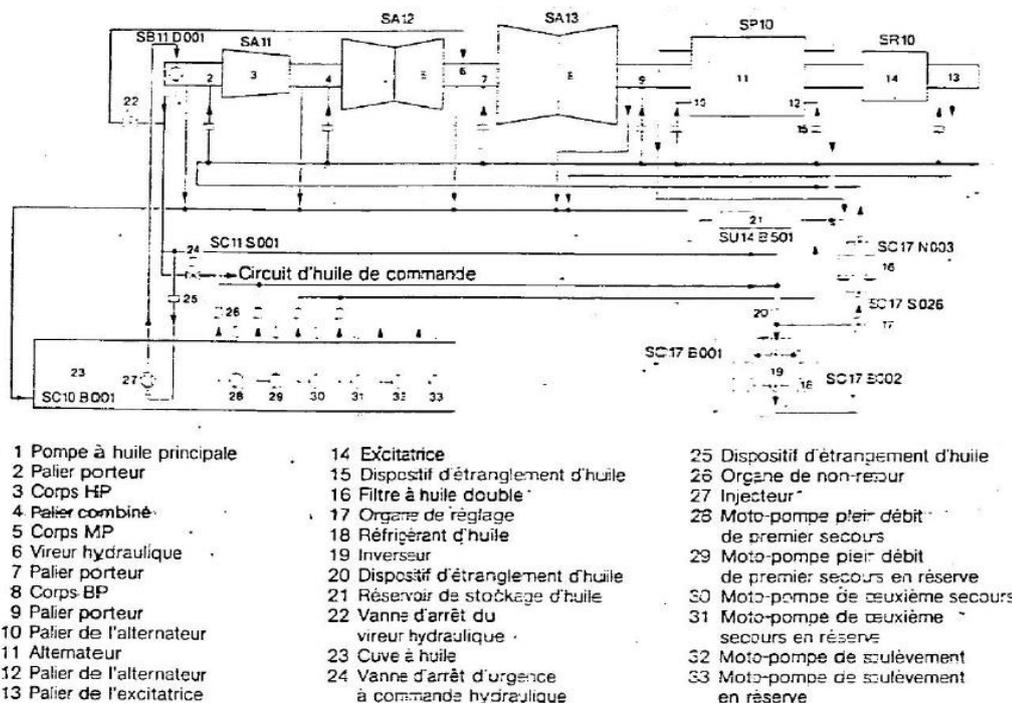


Figure II-26 : Schéma du circuit d'huile de la turbine et nomenclature [37]

Le circuit de distribution d'huile turbine alimente : contient un circuit de régulation, de sécurité et un circuit de graissage et soulèvement

- **Circuit de régulation** qui alimente les soupapes régulatrice admission vapeur corps HP, et les soupapes modératrices corps MP
- **Circuit de sécurité** qui alimente les vannes à fermeture rapide, les soupapes d'interception, les clapets HP, les clapets de soutirage et le système de sécurité turbine. Aubages
- **Circuit de distribution d'huile** qui est composé des éléments suivants : une pompe principale, une pompe auxiliaire, une pompe de graissage à courant alternatif, une pompe de secours, une caisse à huile, des réfrigérants à huile et des filtres à huile.

Pompe principale : C'est une pompe centrifuge entraînée par l'arbre de la turbine. Elle est munie d'un clapet anti-retour, cette pompe assure l'alimentation du circuit pendant la marche du groupe, Elle tourne à une vitesse allant de 2500 à 2800 tr/min

Pompe auxiliaire ou pompe de démarrage : Cette pompe assure l'alimentation du circuit pendant le démarrage ou à l'arrêt du groupe.

Elle est en relation avec la pompe principale du point de vue pression, quand la pompe principale atteint une pression suffisante la pompe s'arrête. En cas de perte de pression, soit à la suite d'une défaillance de la pompe principale, soit au déclenchement de la turbine, elle se met en service automatiquement en marche.

Elle est secondée par une pompe identique de réserve. Les deux pompes sont immergées dans la caisse à huile, elles sont entraînées par des moteurs électriques à courant alternatif.

Chaque pompe est munie d'un clapet anti-retour au refoulement. [37]

Pompe de graissage à courant alternatif : Elle est placée à un niveau plus bas que la caisse à huile est reliée directement à celle-ci par une tuyauterie de liaison. Cette pompe peut assurer le graissage des paliers et l'alimentation du circuit de soulèvement.

Elle démarre automatiquement en cas de baisse de pression suite à une défaillance de la pompe principale ou les deux pompes de démarrage elle est munie d'un clapet anti-retour au refoulement et un jeu de vannes pour l'isolement. [37]

Pompe de secours : Elle est placée à un niveau plus bas que la caisse à huile, elle est reliée directement à la caisse à huile par une tuyauterie de liaison.

Cette pompe peut assurer le graissage des paliers est l'alimentation du circuit de soulèvement, elle est entraînée par un moteur à courant continu, qui est alimenté par des batteries. Elle peut être démarrée manuellement ou automatiquement suite à une baisse de pression dans le circuit de graissage. [37]

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

La caisse à huile : Est située à un niveau plus bas que la turbine, sa capacité varie en fonction de la conception. Chaque caisse à huile est équipée des éléments suivants :

- Un aspirateur des buées
- Des tamis
- Indicateur de niveau transmis en salle de commande.
- Un piquage pour le contrôle du point bas de la caisse
- Un piquage pour l'épurateur alfa-Laval
- Un circuit de remplissage (tuyauterie et vannes)

Les réfrigérants d'huile : Leur rôle de réfrigérants d'huile de graissage est de maintenir à la température souhaitée. Ils sont du type à faisceau tubulaire.

La température d'huile est réglée par une vanne motorisée commandée à partir de la salle commande, elle est placée sur la tuyauterie d'eau de refroidissement à la sortie des réfrigérants.

Ils sont généralement au nombre de deux une en service est le deuxième en réserve. La permutation des réfrigérants peut se faire en service à l'aide d'une vanne à trois voies, mais il faut procéder au remplissage du réfrigérant avant de procéder à l'opération de permutation.

Les réfrigérants sont équipés de vannes d'isolement et de robinets de désaération et de vidange. L'indication de température à la sortie des réfrigérants est indiquée localement et transmise en salle de commande. [37]

Les filtres d'huile : Deux filtres d'huiles placées sur le circuit de commande et régulation un en service et l'autre en réserve. Leur permutation se fait de la même façon des réfrigérants.

Section 05 : Analyse des modes de défaillances de la turbine à vapeur de leurs effets et de leurs criticités.

La turbine à vapeur est un équipement clé dans de nombreuses centrales électriques et installations industrielles. Son bon fonctionnement est essentiel pour assurer la production d'énergie de manière fiable et sûre.

L'application de la méthode AMDEC à une turbine à vapeur permet d'identifier les modes de défaillance potentiels, d'évaluer leurs effets et leur criticité, et de mettre en place des actions préventives pour réduire les risques.

A. Processus de la méthode AMDEC :

Le processus AMDEC se déroule en plusieurs étapes :

- **Décomposition du Système :** Diviser le système en sous-systèmes et composants spécifiques.
- **Identification des Modes de Défaillance :** Lister les modes de défaillance possibles pour chaque composant.
- **Analyse des Effets :** Évaluer les conséquences de chaque mode de défaillance.
- **Évaluation de la Criticité :** Utiliser des critères de fréquence, gravité et détectabilité pour calculer la criticité de chaque mode de défaillance.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

- **Développement des Actions Correctives** : Proposer des mesures pour réduire la probabilité ou l'impact des défaillances.
- **Documentation et Suivi** : Consigner les résultats de l'AMDEC et suivre l'implémentation des actions correctives.

B. Décomposition de la Turbine à Vapeur de Cap Djinet :

Pour appliquer la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet, nous devons d'abord décomposer la turbine en sous-systèmes et composants spécifiques. Voici une décomposition détaillée :

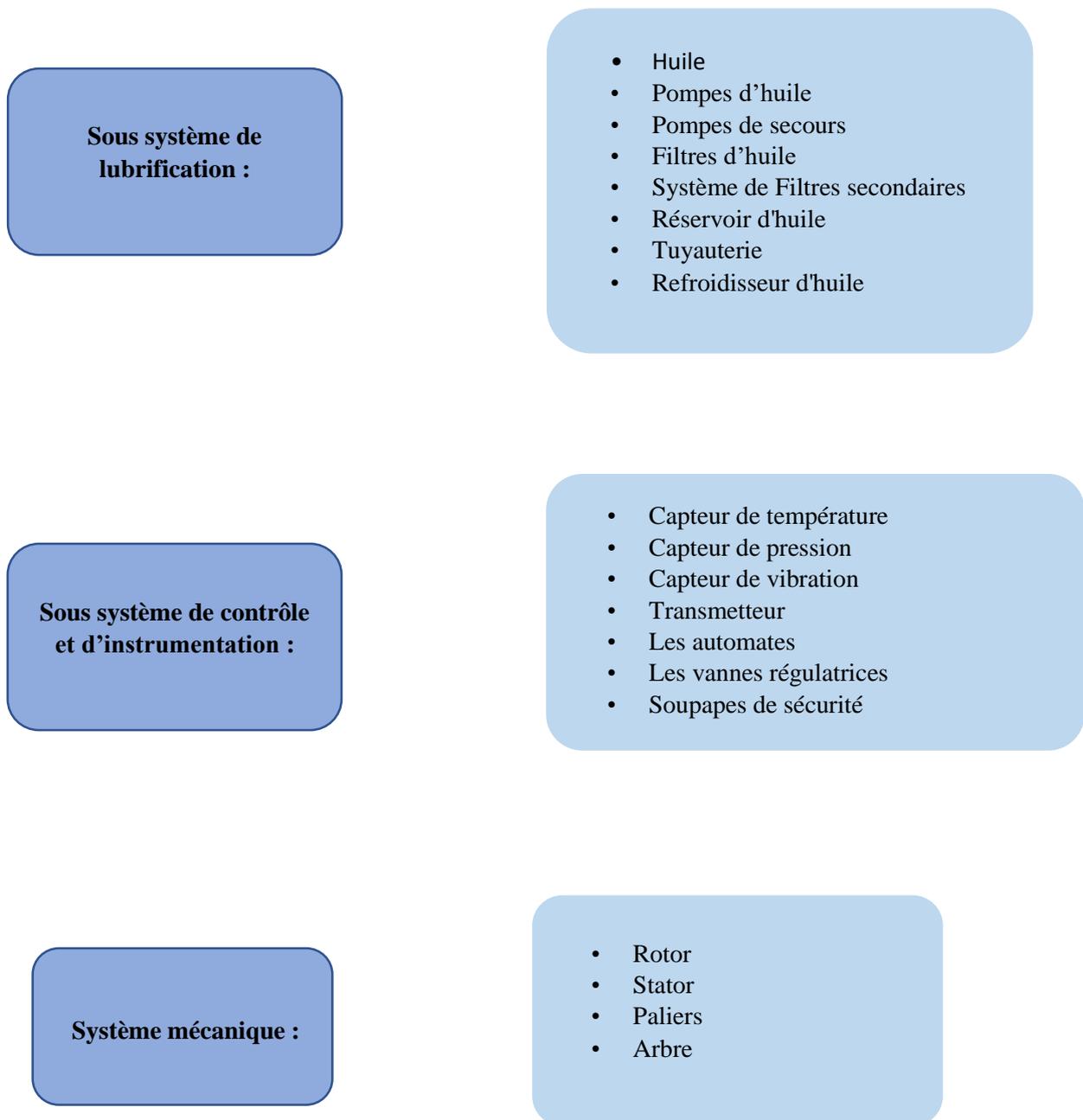


Figure II.27 : Décomposition de la Turbine à Vapeur de Cap Djinet

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

C. Grille de cotation :

L'indice de fréquence (f) : Relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance, cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance. La fréquence F allant de 1 jusqu'à 5 :

	Niveau de fréquence F	Définition des niveaux
1	Fréquence très faible	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par an
2	Fréquence faible	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par semestre
3	Fréquence moyenne	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par trimestre
4	Fréquence forte	Défaillance très fréquente : plusieurs défaillances par mois
5	Fréquence très forte	Défaillance très fréquente : plusieurs défaillances par semaine

Tableau II.14: Grille de cotation de fréquence.

L'indice de détection (D) : Relatif à la possibilité de détecter la défaillance (le couple : Mode-Cause de défaillance) avant qu'elle ne produise l'effet. La détection D est évaluée de 1 pour une défaillance détectable, à 5 pour une défaillance indétectable.

	Niveau de non détection : D	Définition des niveaux
1	Détection très facile	Défaillance Toujours détecté
2	Détection facile	Défaillance détecté la plupart du temps
3	Détection moyenne	Défaillance détectée occasionnellement
4	Détection difficile	Défaillance Rarement détecté
5	Détection très difficile	Défaillance Presque jamais détecté

Tableau II.15: Grille de cotation de la probabilité d'occurrence.

L'indice de gravité (G) : il se réfère à la gravité de l'effet de chaque défaillance, tel qu'elle a été ressentie par l'utilisateur. Doc cet indice est lié à l'effet de la défaillance.

	Niveau de gravité : G	Définition des niveaux
1	Gravité mineure	Défaillance mineure : -arrêt de production inférieur à 2 mn, -aucune dégradation notable du matériel
2	Gravité significative	Défaillance significative : -arrêt de production de 2 à 20 mn, -remise d'état de courte durée ou une petite réparation sur place nécessaire
3	Gravité moyenne	Défaillance moyenne : -arrêt de production de 20 mn à 1 heure, -changement du matériel défectueux nécessaire
4	Gravité majeure	Défaillance majeure : -arrêt de production de 1 à 2 heures, -intervention importante sur sous ensemble, -production de pièces non conformes non détectées
5	Gravité catastrophique	Défaillance catastrophique : -arrêt de production supérieur à 2 heures, -intervention nécessitent des moyens coûteux

Tableau II.16: Grille de cotation de la gravité

Tableau de calcul de la criticité du risque :

Effectivement, la méthode d'analyse utilisée consiste à combiner les paramètres de gravité, de fréquence et de détectabilité pour évaluer la criticité de chaque risque identifié. Cette évaluation de la criticité est obtenue en multipliant les trois paramètres ensemble

$$\text{Criticité (C)} = \text{Gravité (G)} \times \text{Fréquence (F)} \times \text{Détectabilité (D)}$$

Une fois que la criticité de chaque risque a été calculée, il est possible de les hiérarchiser en fonction de leur niveau de criticité. Les risques ayant les scores de criticité les plus élevés sont considérés comme les plus critiques et nécessitent une attention prioritaire. Cela permet de déterminer les risques les plus importants à prendre en compte dans la mise en place de mesures de prévention, de réduction ou d'élimination (Tableau II.15).

Tableau II.17 : Classification de la criticité du risque

 Risque acceptable ($C \leq 10$)  Risque à mitiger ($10 < C \leq 30$)  Risque majeur ($30 < C \leq 125$)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25	27	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
3	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125

Source : Elaborer par nous

La criticité (C) :

Le résultat du produit $G \times F \times D$ nous donnera une valeur qui correspond à la criticité du risque. Après avoir quantifié les risques, nous allons les classer en fonction de leur criticité. Cela nous aide à identifier les risques les plus importants et à prendre les mesures nécessaires pour les gérer de manière appropriée.

Dans le tableau (II.17) nous avons déterminé les actions prioritaires à entreprendre en fonction de la criticité du risque identifié.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Tableau II.18 : Classification des risques et actions correspondantes

Cotation	Type de risques	Actions
$C > 30$	Majeur	Éliminer une menace spécifique, généralement en éliminant la cause de la menace
$10 < C \leq 30$	À Mitiger	- mettre en place des actions de réduction - élaborer des procédures
$C \leq 10$	Acceptable	- accepter les conséquences, pas d'autre action - élaborer un plan d'urgence

Source : Elaborer par nous

D. Tableau AMDEC :

Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

Processus : Turbine à vapeur

Revu par : Bouguedah zakaria

Le : 26/05/2024

Élément	Analyse des modes de défaillances actuelles							Recommandations						
	Mode de défaillance potentielle	Effets de la défaillance potentielle	Gravité	Causes possibles de la défaillance	Fréquence	Contrôles actuels du processus	Déteçtabilité	Criticités	Recommandations	Porteur de l'action	Gravité	Fréquence	Déteçtabilité	Criticités
L'huile	Mauvais Qualité	Perte de lubrification, surchauffe	4	Entrer d'eau	3	Vérification de la qualité d'huile trimestriel	2	24	Traitement d'huile (purification) changement d'huile disponibilité de alpha avale	Service diagnostique machine	2	2	2	8
Pompes à l'huile	Panne de la pompe	Perte de lubrification, surchauffe	5	Usure, panne électrique, blocage	3	Capteur de pression, surveillance visuelle	2	30	Remplacement régulier, maintenance préventive	Technicien Lubrification	2	2	2	8
Pompe de secours	Panne	Arrêt de la lubrification en cas de défaillance principale	5	Usure, défaillance mécanique	2	Capteur surveillance visuelle	2	20	Tests réguliers, maintenance préventive	Technicien Lubrification	2	2	1	4
Filtre à huile	Colmatage du filtre	Circulation d'huile réduite, contamination	4	Accumulation de débris	4	Capteur de pression différentielle	3	48	Nettoyage/Remplacement périodique du filtre	Technicien Lubrification	2	2	1	4

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Réservoir d'huile	Fuite d'huile	Niveau d'huile bas, perte de lubrification	4	Joint défectueux, corrosion	2	Inspection visuelle, capteur de niveau d'huile	2	16	Réparation des fuites, remplacement des joints	Technicien Lubrification	2	4	1	8
Tuyauterie	Fuite, Obstruction	Perte ou réduction de lubrification	4	Dépôts, corrosion, fissures	3	Inspection visuelle, capteur de débit	3	36	Nettoyage régulier et inspection des tuyauteries	Technicien Lubrification	2	2	2	8
Refroidisseur d'huile	Insuffisance de refroidissement	Surchauffe de l'huile	4	Défaillance du ventilateur ou du radiateur	3	Capteur de température	3	36	Maintenance et vérification régulières	Technicien Lubrification	2	2	2	8
Système de filtration secondaire	Défaillance du filtre secondaire	Contamination de l'huile	3	Usure, colmatage	2	Analyse de l'huile, surveillance de la pression	3	18	Remplacement régulier du filtre	Technicien Lubrification	2	1	2	4
Capteur de température	Valeur incorrecte	Mauvaise régulation de la vapeur	5	Usure ou défaut de fabrication	3	Alerte du système de contrôle	2	30	Maintenance préventive et remplacement périodique	Maintenance instrumentation	2	1	2	4
Capteur de pression	Lecture incorrecte	Surpression ou dépression	5	Défaillance matérielle	3	Surveillance par contrôleur	3	45	Inspection et calibration régulières	Maintenance instrumentation	2	2	2	8
Capteur de vibration	Défaillance du capteur	Capteur Non-détection des vibrations excessives, risque de panne mécanique	5	Usure, défaillance électronique	3	Surveillance par contrôleur	2	30	Remplacement régulier, tests de calibration, surveillance continue	Maintenance instrumentation	2	2	1	4
Les vannes régulatrices	Blocage ou dysfonctionnement	Contrôle inadéquat du débit de vapeur	4	Usure mécanique, contamination	3	Surveillance de position	3	36	Nettoyage et inspection réguliers, remplacement des vannes usées.	Maintenance instrumentation	2	2	2	8

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

transmetteur	Rupture sur la chaîne de mesure	Perturbation sur régulation hydraulique turbine	4	Court de circuit vibration	3	Alarmes	3	36	Vérification et étalonnage, changement	Maintenances instrumentation	2	2	2	8
Les automates	Panne de l'automate	Perte de contrôle automatique, arrêts non planifiés	4	Surcharge, défaillance électronique	2	Surveillance par contrôleur	3	24	Surveillance continue, mise à jour des logiciels, redondance des systèmes	Maintenances instrumentation	2	2	1	4
Soupapes de sécurité	Dysfonctionnement	Risque de surpression	5	Mécanisme bloqué, corrosion	2	Test de fonctionnement régulier	3	30	Test et inspection réguliers des soupapes, remplacement des soupapes défectueuses	Maintenances instrumentation	2	2	2	8
Rotor	Déséquilibre	Vibrations élevées	5	Usure, dépôt de calcaire	2	Surveillance vibratoire	2	20	Rééquilibrage	Maintenance	1	2	2	4
Paliers	Fissures	Rupture	4	Fatigue du matériau	2	Inspection visuelle, ultrasons	3	24	Remplacement du rotor	Maintenance	2	1	3	6
	Usure	Bruit, friction	5	Lubrification insuffisante	3	Surveillance de la température	3	45	Lubrification régulière	Opérateur	1	2	2	4
Arbre	Déformation	Alignement incorrect	5	Surchauffe, surcharge	2	Analyse vibratoire	3	30	Remplacement du palier	Maintenance	2	2	2	8
	Fissures, rupture	Arrêt de la turbine, dommages sévères	4	Surcharge, fatigue	3	Contrôle par ultrasons, radiographie	3	36	Renforcement, remplacement	Maintenance	1	3	2	6
Stator	Corrosion des aubages	Perte d'efficacité, dommages structurels	4	Contaminants dans la vapeur	3	Bruit	3	36	Traitement de la vapeur pour éliminer les contaminants, inspection régulière.	Ingénieur Contrôle	2	2	1	4

E. Résultats et discussions :

Les risques modères concernent :

L'huile, pompe à l'huile, pompe de secours, réservoir d'huile, système de filtration secondaire, capteur de température, capteur de vibration, automates, soupapes de sécurités, rotor, paliers, arbre. Ou la criticité varie entre **16** et **30**

Les modes de défaillances relatifs ont ces éléments sont nombreux les plus importants restent la mauvaise qualité de l'huile, panne de la pompe, valeur incorrecte du capteur, défaillance du capteur, panne de l'automate, dysfonctionnement de la pompe fissure du palier, déformation de l'arbre

Les causes de ces principales défaillances résident dans : Entrer d'eau dans l'huile, Usure, panne électrique de la pompe, blocage Usure défaillance mécanique de la pompe ,Joint défectueux corrosion de réservoir ,Usure colmatage système de filtration secondaire, Usure ou défaut de fabrication capteur de température ,Usure, défaillance électronique capteur de vibration ,Surcharge, défaillance électronique automates ,Mécanisme bloqué corrosion soupapes de sécurités ,Usure, dépôt de calcaire rotor ,Fatigue du matériau paliers ,Surchauffe, surcharge arbre

Ces principales défaillances ont pour **effets** :

- Perte de lubrification, surchauffe
- Arrêt de la lubrification en cas de défaillance principale
- Niveau d'huile bas, perte de lubrification
- Contamination de l'huile
- Mauvaise régulation de la vapeur
- Capteur Non-détection des vibrations excessives, risque de panne mécanique
- Perte de contrôle automatique, arrêts non planifiés
- Risque de surpression
- Vibrations élevées
- Rupture
- Alignement incorrect

Pour corriger ces défaillances on recommande une série **d'actions** afin de réduire la criticité à un niveau acceptable il s'agit notamment de :

Pour l'huile :

- Effectuer des analyses régulières de l'huile pour détecter les impuretés.
- Remplacer l'huile contaminée.
- Traitement d'huile (purification) disponibilité de alpha avale

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C = 24$ à $C = 8$

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Pour la Pompe à huile :

Il est crucial de mettre en place une maintenance préventive régulière, y compris des inspections fréquentes et le remplacement de la pompe avant qu'elle n'atteigne la fin de sa durée de vie prévue.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C=30$ à $C'=8$

Pour la pompe de secours :

Tests réguliers, maintenance préventive

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C=20$ à $C'=4$

Pour le réservoir d'huile :

Réparation des fuites, remplacement des joints

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C=16$ à $C'=4$

Pour le système de filtration secondaire :

Remplacement régulier du filtre

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C=18$ à $C'=4$

Pour le capteur de température :

- Étalonnage régulier des capteurs.
- Tests fréquents pour s'assurer de leur bon fonctionnement.
- Remplacement immédiat des capteurs défectueux.
- Maintenance préventive et remplacement périodique

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C=30$ à $C'=4$

Pour le capteur de vibrations :

- Étalonnage régulier des capteurs vibratoires.
- Tests fréquents pour s'assurer de leur bon fonctionnement.
- Remplacement immédiat des capteurs défectueux.
- Remplacement régulier, tests de calibration, surveillance continue

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C=30$ à $C'=4$

Pour les automates :

Surveillance continue, mise à jour des logiciels, redondance des systèmes

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 24$ à $C^*= 4$

Pour les soupapes de sécurités :

- Test régulier des soupapes de sécurité.
- Vérification et re-calibration périodique.
- Remplacement des soupapes défectueuses.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 30$ à $C^*= 8$

Pour le rotor :

Remplacement du palier

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 30$ à $C^*= 8$

Pour les paliers :

- Maintenance préventive régulière.
- Vérification de la lubrification.
- Remplacement des paliers usés ou défaillants.
- Surveillance constante des vibrations.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 24$ à $C^*= 6$

Les risques majeurs concernent :

Filtre à huile, Tuyauterie, Refroidisseur d'huile, Capteur de pression, les vannes régulatrices, transmetteur, Paliers, Arbre, Stator Ou la criticité varie entre 36 à 48

Les **modes de défaillances** relatifs ont ces éléments sont : Colmatage du filtre, Fuite, Obstruction de tuyauterie, Insuffisance de refroidissement de refroidisseur d'huile, Lecture incorrecte du capteur de pression, Blocage ou dysfonctionnement des vannes régulatrices, rupture sur la chaîne de mesure de transmetteur, Usure des paliers, Fissures, rupture d'arbre, Corrosion des aubages du stator

Les **causes** de ces principales défaillances résident dans : Accumulation de débris sur le filtre

- Dépôts, corrosion, fissures de la tuyauterie
- Défaillance du ventilateur ou du radiateur du refroidisseur d'huile
- Défaillance matérielle du capteur de pression
- Usure mécanique, contamination des vannes régulatrices
- Court de circuit vibration de transmetteur
- Lubrification insuffisante du palier
- Surcharge, fatigue d'arbre
- Contaminants dans la vapeur du stator

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Ces principales défaillances ont pour **effets** :

- Circulation d'huile réduite, contamination
- Perte ou réduction de lubrification
- Surchauffe de l'huile
- Surpression ou dépression
- Contrôle inadéquat du débit de vapeur
- Perturbation sur régulation hydraulique turbine
- Bruit, friction
- Arrêt de la turbine, dommages sévères
- Perte d'efficacité, dommages structurels

Pour corriger ces défaillances ou recommander une série **d'actions** afin de réduire la criticité a un niveau acceptable il s'agit notamment de :

Pour le filtre à huile :

- Mettre en place un programme de remplacement régulier des filtres
- Une surveillance continue de l'état des filtres pour éviter les obstructions.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 48$ à $C^*= 4$

Pour la tuyauterie :

- Utiliser des matériaux résistants à la corrosion.
- Effectuer des inspections régulières des tuyaux.
- Réparer ou remplacer immédiatement les joints défectueux.
- Nettoyage

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 36$ à $C^*= 8$

Pour le refroidisseur d'huile on recommander

- Nettoyer régulièrement le refroidisseur.
- Effectuer une maintenance des circuits de refroidissement pour garantir une bonne circulation de l'eau.
- Surveiller les températures de l'huile pour détecter tout dysfonctionnement.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 36$ à $C^*= 8$

Pour le capteur de pression :

- Tester régulièrement les capteurs et remplacer immédiatement tout capteur défaillant
- Vérifier le câblage pour s'assurer qu'il est en bon état

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 45$ à $C^*= 8$

Pour les vannes régulatrices :

- Maintenance préventive régulière.
- Nettoyage des vannes pour éviter les obstructions.
- Remplacement des vannes en cas d'usure.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 36$ à $C^*= 8$

Pour le transmetteur :

- Maintenance régulière et test des émetteurs.
- Gestion des interférences pour assurer des signaux clairs et corrects.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 36$ à $C^*= 8$

Pour les paliers :

- Maintenance préventive régulière.
- Vérification de la lubrification.
- Remplacement des paliers usés ou défailants.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 45$ à $C^*= 4$

Pour l'arbre :

Renforcement, remplacement

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 36$ à $C^*= 6$

Pour le stator :

- Effectuer des inspections régulières pour détecter l'usure ou la déformation.
 - Ajustement et maintenance préventive.
 - Remplacement des composants usés ou déformés.

Ce qui a pour effet de réduire la criticité de $C= 36$ à $C^*= 4$

Conclusion :

L'application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale thermique de Cap Djinet a permis d'identifier et de gérer efficacement les risques potentiels liés à son fonctionnement. La centrale thermique de Cap Djinet, essentielle pour la production d'électricité en Algérie, comporte des composants clés, dont la turbine à vapeur joue un rôle central.

Chapitre II Application de la méthode AMDEC à la turbine à vapeur de la centrale de Cap Djinet

L'analyse AMDEC a détaillé les modes de défaillance potentiels de chaque composant de la turbine et leurs impacts. Grâce à cette évaluation systématique, des mesures préventives et correctives ont été mises en place, améliorant ainsi la sécurité et la fiabilité de l'installation.

Cette approche a, non seulement, renforcé la performance opérationnelle de la centrale mais aussi assuré une fourniture continue et stable d'électricité.

Conclusion générale :

Notre projet de fin d'études a mis en évidence l'importance cruciale de la gestion des risques dans le fonctionnement optimal des turbines à vapeur, notamment celle de la centrale thermique Cap Djinet. En utilisant la méthodologie AMDEC, nous avons pu identifier de manière précise les potentielles sources de défaillance et évaluer leurs impacts sur la fiabilité et la performance de la turbine.

L'objectif principal de notre étude était d'améliorer la compréhension des facteurs influençant la fiabilité de la turbine, tout en élaborant un plan de maintenance stratégique pour minimiser les risques associés. Nous avons ainsi focalisé notre attention sur les éléments critiques tels que les filtres à huile, les capteurs de pression et les paliers, nécessitant une gestion rigoureuse pour éviter des défaillances majeures et assurer la continuité de la production d'énergie.

En déployant des stratégies de maintenance préventive, des techniques de surveillance avancées et des actions correctives ciblées telles que le nettoyage périodique et le remplacement des filtres, l'inspection régulière et l'ajustement des capteurs, ainsi que la lubrification systématique, notre approche vise à garantir la disponibilité optimale et la durabilité de la turbine à vapeur de la centrale thermique Cap Djinet. Ces efforts sont essentiels non seulement pour assurer la sécurité opérationnelle, mais aussi pour répondre aux normes strictes de qualité et de performance exigées dans le secteur énergétique.

Ceci nous permet d'accepter les hypothèses de l'étude émises en introduction générale.

En conclusion, l'amélioration continue de la gestion des risques et l'application proactive des pratiques de maintenance sont des piliers fondamentaux pour maintenir la compétitivité et la fiabilité des infrastructures énergétiques comme celle de Cap Djinet. Nos conclusions offrent une base solide pour des initiatives futures visant à renforcer l'efficacité opérationnelle et la robustesse de cette centrale thermique

Références bibliographiques

- [1] **[Flanagan & Norman, 93]** Flanagan.R , Norman.G, «risk management and construction», Edition Blackwell Science Ltd, 1993
- [2] mémoire fin d'étude : Gestion des risques par l'analyse préliminaire au sein de complexe GL1/K Sonatrach- Wilaya de SKIKDA Filière : Electromécanique Spécialité : Maintenance des installations industrielles Par : BERRAR ABDERRAOUF 2017
- [3] **[AFNOR, 00]** « Application ferroviaires : Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FMDS) » FN EN 50126, Paris, janvier 2000.
- [4] : **[ISO, 02]** « Management du risque – vocabulaire – principes directeurs pour les inclure dans les normes ISO », ISO/CEI Guide 73,2002.
- [5] : APPORT DE LA LOGIQUE FLOUE Á L'ANALYSE DE CRITICITÉ DES RISQUES INDUSTRIELS MAGISTÈRE EN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE Option : Gestion du Risque Par Nouhed ACHOURI Ingénieur en Hygiène et Sécurité Industriel 2009
- [6] : **[GT Aspects sémantiques du risque, 97]** « Vocabulaire lié au risque à travers une analyse bibliographique », Institut de protection et de sûreté Nucléaire (IPSN),1997.
- [7] : **[NF EN 50126.(janvier 2000)]** Application ferroviaire : Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FMDS), Paris : AFNOR
- [8] : https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/risques_naturels_et_technologiques/88674
- [9] : <https://www.bouchesdurohne.gouv.fr/contenu/telechargement/40211/228676/file/les%20risques%20technologiques.pdf>
- [10] : <https://www.cotes-darmor.gouv.fr/contenu/telechargement/8312/49955/file/Le>
- [11] : https://side.developpement-durable.gouv.fr/CENT/doc/SYRACUSE/65869/risques-lies-aux-conflits-les?_lg=fr-FR
- [12] : **[Nichan, 06]** Nichan Margossian, « Risque et accidents Industriels majeurs », Edition
- [13] : **[Wybo, 04]** Wybo, J,L«Mastering risks of damage and risk of crisis ; The role of organisational learning », International Journal Of Emergency Management, Vol2, n° 1-2,22-34,2004
- [14] : <https://www.erudit.org/en/journals/agr/2013-v81-n1-2-agr07235/1091796ar.pdf>
- [15] : CEI 300-3-9, Gestion de la sûreté de fonctionnement, 1995.
- [16] : mémoire fin d'étude le thème : La contribution du management des risques sur la performance des compagnies d'assurances UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
- [17] : Gilles. Motet. « Les cahiers de la sécurité industrielle, la norme ISO3100 ,10QUESTIONS ».Ed FonCSI Toulouse, 2009, P2.
- [18] : mémoire fin d'étude le thème :Gestion des risques par l'analyse préliminaire au sein de complexe GL1/K-Sonatrach- UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA
- [19] : H. Djidjelli & S. Abada, « Etude des risques technologiques liés au levage et manutention », thèse de master, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2019.
- [20] : MOKRANE.K, Z.A.e, Analyse des risques et modélisation des conséquences d'un transformateur, Université des sciences et technologies d'Oran 2014.

- [21] : <https://fr.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/>
- [22] : <https://theses.hal.science/tel-00338938/preview/These-Mazouni.pdf>
- [23] : Les Échos 09/05/2007 "La gestion des risques s'installe aussi dans les entreprises de taille moyenne
- [24] : Whitty, Steve; Foord, Tony. "Is HAZOP worth all the effort it takes?". Archived from the original on 2 April 2015. Retrieved 5 March 2015. Potential problems with HAZOPs (authors sell HAZOP expertise, so presumably some promotional intent, but the issues described are genuine/recognisable)
- [25] : <https://theses.hal.science/tel-03405942/>
- [26] : <https://urbest.io/blog/fr/comment-utiliser-methode-amdec/>
- [27] : site web : <https://scientecal.com/methode-amdec/>
- [29] : <http://neumann.hec.ca/sites/cours/6-510-96/AMDEC.pdf>
- [30] : Présenté par : AMIRA Messaoud BOULECHEFAR Aissam Optimisation et amélioration de la maintenance par la fiabilité Cas d'une turbine d'une centrale électrique Université Mohammed Seddik Ben Yahia – Jijel
- [31] : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03944571/document>
- [32] : Mémoire fin d'étude : Etude et programmation des cycles thermodynamiques d'une turbine à vapeur. Présenté par : BRIKI Farid UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU FACULTÉ DE TECHNOLOGIE DÉPARTEMENT DE GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
- [33] : KWU service de formation professionnel, Référence de la section 5505, la chaudière (document interne de la centrale thermique de Cap-Djinet).
- [34] : KWU service de formation professionnel, Référence de la section 5512, circuit d'eau et de vapeur (document interne de la centrale thermique de Cap-Djinet).
- [35] : KWU service de formation professionnel, Référence de la section 5522, condenseur (document interne de la centrale thermique de Cap-Djinet).
- [36] : Rial Islam, Amara Said. Automatisation de la mise en marche, arrêt et protection du circuit AIR/FUMEE de la chaudière par un API, Mémoire fin d'étude Master 2, Université de Boumerdes promotion 2015/2016.
- [37] : KWU service de formation professionnel, Référence de la section 5520, turbine a vapeur (document interne de la centrale thermique de Cap-Djinet).
- [38] : KWU service de formation professionnel, Référence de la section 5521, alternateur (document interne de la centrale thermique de Cap-Djinet).
- [39] : KWU service de formation professionnel, Référence de la section 5526, transformateur (document interne de la centrale thermique de Cap-Djinet).
- [40] : Etude Analytique De La maintenance Préventive D'une Turbine à Gaz GE10/2 Présenté par : TOUMI ouail AKERMI Saïd maintenance industriel UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2018-2019