



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Electromécanique

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel
Spécialité : Maintenance – Fiabilité - Qualité

Thème

**Analyse de la criticité des équipements dans une centrale
énergétique : Cas de la centrale à cycle combiné de
NAAMA-TOUIFZA**

Présenté et soutenu publiquement par :
Saidane Mohammed Seyf Nouri

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
YAHIAOUI Reda	MCA	Université d'Oran 2	Président
NOUREDDINE Rachid	Prof.	Université d'Oran 2	Encadreur
DAR RAMDANE Mohamed Zouhir	MCB	Université d'Oran 2	Examineur

Année 2022

Remerciements

Toute la Gratitude, tout d'abord à Dieu qui nous a donné la force
Pour terminer ce modeste travail.

Toutes nos infinies gratitudes à notre promoteur, **Monsieur NOUREDDINE Rachid** pour son encadrement et ses aides précieuses.

Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.

Nous tenons à remercier sincèrement corps professoral et administratif du département : Maintenance en Electromécanique pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nos remerciements s'adressent aussi, à tous les travailleurs de la centrale à cycle combiné de NAAMA-TOUIFZA et les ingénieurs diagnostic (Maintenance).

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici l'expression de notre profondes gratitudes et respects.

DÉDICACE

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très
Miséricordieux.

Je dédie ce travail à...

A ma Mère et mon Père Pour tous ses sacrifices, son amour,
sa tendresse, son soutien et sa prière tout au long de mes
études,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon
parcours académique,

A mes amis,

A tous ceux qui m'ont étudié et contribué à mon éducation.

Sommaire

Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Nomenclature	
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Les centrales énergétiques en Algérie	
1. Introduction	2
2. Types de centrales électriques à énergie non renouvelable installées en Algérie...	2
2.1.Centrale diesel	3
2.2.Centrale thermique.....	4
a) Centrale thermique à vapeur	4
b) Centrale thermique à gaz	5
2.3.Centrale à cycle combiné	6
3. Types de centrales électriques à énergie renouvelable installées en Algérie.....	8
3.1. Centrale hydro- électrique	8
3.2. Centrale éoliennes.....	9
3.3. Centrale photovoltaïque.....	10
3.4.Centrale hybride installées en Algérie.....	12
3.5.Parc de production national	13
Chapitre 2 : Notions générales sur la maintenance	
1. Introduction	14
2. La maintenance	14
2.1 Définition	14
2.2 But de maintenance	14
2.3 Les différentes formes de maintenance.....	14
a) La maintenance préventive	15
b) La maintenance corrective	15
c) La maintenance d'amélioration	16
2.4 Missions du service Maintenance	16

2.5	Méthode de Maintenance	17
2.5.1	Le dossier technique de maintenance	17
3.	Gestion de maintenance assistée par ordinateur GMAO	18
4.	Fiabilité des équipements	18
4.1	Définition	18
4.2	Fonction de fiabilité	19
4.3	Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF)	19
4.3.1	Temps moyen de bon fonctionnement	20
5.	Maintenabilité	20
6.	Disponibilité	21
7.	Analyse de La criticité	21
8.	Méthodes d'analyse	22
8.1	AMDEC	22
8.1.1	Définition	22
8.1.2	Type d'AMDEC.....	22
8.1.3	But de l'AMDEC	24

Chapitre 3 : Etude de la centrale à cycle combiné de NAAMA-TOUIFZA

1.	Introduction.....	25
2.	Présentation de la centrale	25
2.1.	Situation Géographique	25
2.2.	Historique	25
2.3.	Description du Central	26
3.	Analyse fonctionnelle du central cycle combiné	28
3.1	Admission d'air	29
3.2	Compresseur	30
3.3	Système de combustion	30
3.4	Turbine	32
3.5	Échappement	32
3.6	Refroidissement	32
3.7	La chaudière de récupération	34
3.8	Turbine à vapeur	35

3.9	L'aérocondenseur.....	36
3.10	Alternateur	38
3.11	Le transformateur	39
4.	Analyse de la criticité des équipements de la centrale	40
4.1.	Etude AMDEC	40
4.2.	Tableau d'AMDEC	41
4.3.	Résultats de l'analyse AMDEC	42
5.	Implantation de l'étude dans le logiciel FAILCAB	43
5.1.	Présentation de FAILCAB.....	43
5.1.1.	Pour lancer FAILCAB.....	44
5.1.2.	Principales fonctionnalités.....	45
5.1.2.1.	Création de formats	45
5.1.2.2.	Saisie de l'arborescence matérielle du produit	45
5.1.2.3.	Création du document AMDEC	46
5.1.2.4.	Grille de saisie	48
5.1.2.5.	Recherche sur champ.....	49
5.1.2.6.	Remplacement automatique.....	50
5.1.2.7.	Enrichissement automatique de l'AMDEC	51
5.1.2.8.	Sélection.....	54
5.1.2.9.	Synthèse	55
5.1.2.10.	Mise en forme avant impression	56
5.2.	Turbine à gaz MS-9001FA dans FAILCAB	56
5.2.1.	Saisie de l'arborescence matérielle du produit	56
5.2.2.	Grille de saisie	57
	Conclusion	59
	Conclusion général.....	60
	Références bibliographiques.....	61

Liste des figures

Figures chapitre 1

Figure 1.1.	Structure de la centrale thermique.....	2
Figure 1.2.	Moteur Diesel.....	3
Figure 1.3.	Centrale thermique.....	4
Figure 1.4.	Principe d'une centrale thermique a flemme (à vapeur).....	5
Figure 1.5.	Turbine à Gaz.....	6
Figure 1.6.	Principe D'une centrale à gaz à cycle combiné.....	7
Figure 1.7.	Schéma d'un cycle combiné.....	7
Figure 1.8.	Centrale hydro- électrique.....	9
Figure 1.9.	Centrale éolienne.....	10
Figure 1.10.	Schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau.....	11
Figure 1.11.	Mix énergétique de la production en Algérie 2015.....	13

Figures chapitre 2

Figure 2.1 :	l'organigramme de maintenance	15
---------------------	-------------------------------------	----

Figures chapitre 3

Figure 3.1 :	Wilaya de Naama.....	25
Figure 3.2 :	Centrale Cycle Combiné.....	25
Figure 3.3 :	Cycle combiné.....	28
Figure 3.4 :	Les filtres d'air.....	29
Figure 3.5 :	Le rotor et le stator.....	30
Figure 3.6 :	Les chambres de combustion.....	31
Figure 3.7 :	la section de turbine.....	32
Figure 3.8 :	Chaudière de récupération.....	33
Figure 3.9 :	Turbine à vapeur.....	35
Figure 3.10 :	Aérocondenseur.....	36
Figure 3.11 :	Fonctionnement de l'aérocondenseur.....	37
Figure 3.12 :	Pompe d'eau.....	37
Figure 3.13 :	Alternateur.....	38
Figure 3.14 :	Transformateur Principal.....	39

Figure 3.15 :	Barre d'outils	44
Figure 3.16 :	Menus sur les versions d'Excel antérieures à 2007	44
Figure 3.17 :	Menu AMDEC	45
Figure 3.18 :	Arborescence matérielle	45
Figure 3.19 :	Création du document	46
Figure 3.20 :	Document AMDEC	47
Figure 3.21 :	Grille de saisie	48
Figure 3.22 :	Recherche sur champ	49
Figure 3.23 :	Remplacement automatique	50
Figure 3.24 :	Enrichissement de l'AMDEC	51
Figure 3.25 :	Boîte de dialogue.....	52
Figure 3.26 :	Tableau enrichissement	52
Figure 3.27 :	AMDEC après enrichissement	53
Figure 3.28 :	Table de sélection	54
Figure 3.29 :	Synthèse	55
Figure 3.30 :	Arborescence MS-9001FA	56
Figure 3.31 :	Grille de saisie MS-9001FA	57
Figure 3.32 :	Tableau AMDEC MS-9001FA	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : les projets des centrales photovoltaïques en Algérie [2011-2022]	11
Tableau 2 : La criticité et influence sur la production.....	21
Tableau 3 : les indices de défaillance.....	40
Tableau 4 : indice de criticité C.....	40
Tableau 5 : Tableau d'AMDEC.....	41

Liste des abréviations

TTR : Temps de réparation.

TBF : Temps de bon fonctionnement.

MTBF : Mean time between Failure, moyenne des temps de bon fonctionnement.

(Moyenne des temps de bon fonctionnement).

MTTR : Mean time to Repair, moyenne des temps techniques de réparation.

(Moyenne des Temps Techniques de Réparation).

F : Fiabilité

M : Maintenabilité

D : Disponibilité

AMDEC : Analyse des Modes des Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité.

Nomenclature

$\lambda(t)$: Taux de défaillance.

$\mu(t)$: Taux de réparation.

$N(t)$: Nombre de systèmes survivants à l'instant t

$F(t)$: Fonction de répartition [%]

N_0 : Nombre d'éléments à l'instant (t_0)

$R(t)$: Fiabilité au temps t [%]

T : variable aléatoire « durée de vie » [heure]

β (beta) : Paramètre de forme de la loi de "weibull"

η (êta) : Paramètre d'échelle de la loi de "weibull"[heure]

λ (lambda) : Taux de défaillance [nombre de défaillance /heure]

γ (gamma) : Paramètre de position de la loi de "weibull"[heure]

Introduction générale

Le monde de l'industrie et de la production d'électricité dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes, en particulier les turbines à gaz. Elles ont connu ces dernières années un développement considérable dans de nombreuses applications industrielles, et en particulier dans le domaine de Production d'électricité, notamment en Algérie.

Le développement des turbines à gaz et leur succès dépendaient de ces améliorations techniques. Des exigences de sécurité élevées, la réduction des coûts d'exploitation, la maîtrise de la disponibilité des équipements et l'augmentation de leur fiabilité font de la maintenance des systèmes un rôle important.

Intervient uniquement lorsque des composants défectueux sont présents pour minimiser le temps de réparation et fournir des diagnostics fiables et faciles à interpréter dans les équipements complexes. Cela signifie mettre en œuvre de toute urgence une maintenance préventive, qui est l'une des méthodes les plus couramment utilisées dans l'industrie aujourd'hui.

Cette dernière est devenue un véritable métier, avec sa propre philosophie et méthodologie. Parmi les facteurs qui favorisent une telle maintenance, on peut citer des exemples d'automatisation, de diagnostic et de surveillance industrielle. Une turbine à gaz (TG), comme toute autre grande machine tournante, nécessite un programme d'inspection planifié, comprenant des réparations et des pièces de rechange, pour obtenir une disponibilité et fiabilité maximales.

Pour cela on a essayé dans ce mémoire sur la base des données et informations récupérées de la direction régionale du centre de production d'électricité cycle combiné de NAAMA; où on a fait notre stage pratique, de faire une étude de maintenance appliquée sur la MS9001FA installé au sein de ce centre et plus particulièrement une étude et applications de la méthode AMDEC sur la turbine à gaz ainsi que son implantation dans le logiciel FAILCAB le Principe de fonctionnement de la turbine à gaz.

Ce mémoire contient trois chapitres :

- **Chapitre 1:** Les centrales énergétiques en Algérie
- **Chapitre 2:** Notions générales sur la maintenance
- **Chapitre 3:** Etude de la centrale à cycle combiné de NAAMA-TOUIFZA

Chapitre 1

Les centrales énergétiques en Algérie

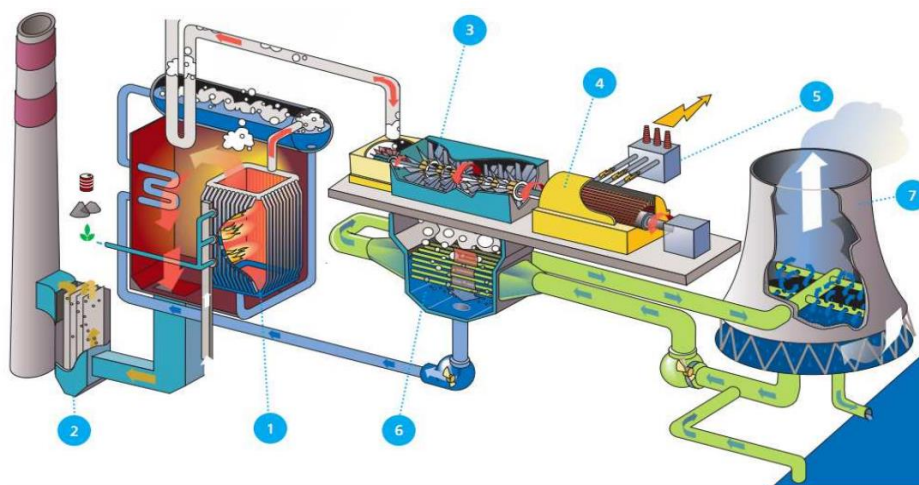
1. Introduction

Le secteur économique de l'énergie occupe une place prédominante dans l'économie de l'Algérie. La production et la consommation d'énergie, y compris dans le secteur de l'électricité, sont tirées des hydrocarbures à plus de 99 %.

Cependant, l'État algérien commence à envisager des solutions écologiques en investissant dans les énergies renouvelables. Selon le Programme algérien de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (PENREE) de 2012, l'Algérie vise une puissance installée d'origine renouvelable de 22 000 MW d'ici 2030. Mais trois ans après ce plan, le rapport annuel du *Global Wind Energy Council* sur l'éolien ne mentionne même pas l'Algérie, et celui de l'Agence internationale de l'énergie sur le solaire annonce seulement que l'Algérie a installé 300 MW. [1]

2. Types de centrales électriques à énergie non renouvelable installées en Algérie

Les centrales quelle que soit le type sont des installations qui transforment la chaleur fournie par une source d'énergie en énergie électrique. Cette dernière est produite par divers moyens, c'est ce qui différencie les centrales (centrale hydraulique, diesel, à charbon, à gaz, à vapeur, etc.).



- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1: Chaudière à vapeur | 5 : Transformateur |
| 2: Electro filtre | 6 : Condenseur |
| 3: Turbine à vapeur | 7 : Tour de refroidissement |
| 4: Alternateur | |

Figure 1.1. : Structure d'une centrale thermique [2]

2.1. Centrale diesel

Les centrales électriques diesel (nommées également groupes électrogènes) sont équipées d'un moteur diesel et d'un alternateur. Opérant en autarcie en tant qu'unités de production d'électricité, elles constituent un choix idéal sur les sites de production éloignés ou pour assurer l'alimentation de secours de grandes banques, d'hôpitaux, d'aéroports ou de villes entières. Certains pays et états insulaires produisent la majorité de leur électricité avec des centrales électriques diesel.



Figure 1.2. Moteur Diesel [3]

Avantages et inconvénients des centrales diesel

- **Avantages**
 - Peuvent être construites près des centres de consommation.
 - Coût de construction faible.
 - Utiles dans les régions éloignées.
 - Électricité disponible rapidement.
- **Inconvénients**
 - Pollution de l'air et de l'eau.
 - Augmentent l'effet de serre.
 - Coûts de production et d'entretien élevés.
 - Risque de fuite de diesel lors de l'utilisation, et durant le transport.
 - Énergie non renouvelable. Bruyantes.
 - Compromettent l'entente de Kyoto.

2.2. Centrale thermique

Une centrale thermique est une centrale électrique qui produit de l'électricité à partir d'une source de chaleur. Cette source peut être un combustible brûlé (tels un gaz naturel, certaines huiles minérales, charbon, déchets industriels, déchets ménager). Les centrales thermiques se répartissent en trois grandes catégories, selon la nature de leurs sources de chaleur.

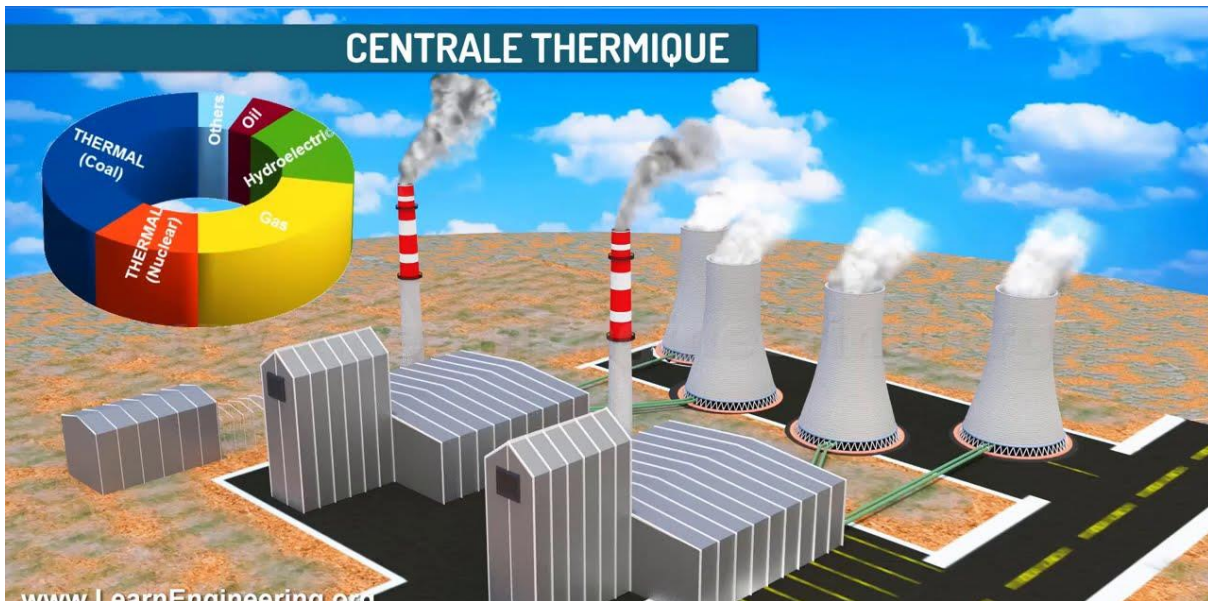


Figure 1.3. Centrale thermique [4]

a) Centrale thermique à vapeur :

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. Ce cycle comprend au moins les étapes suivantes :

- ✓ L'eau liquide est mise en pression par une pompe et envoyée vers la chaudière.
- ✓ L'eau est chauffée, vaporisée et surchauffée.
- ✓ La vapeur est envoyée vers la turbine, où elle se détend en fournissant de l'énergie mécanique.
- ✓ La vapeur détendue est condensée au contact d'une source froide.

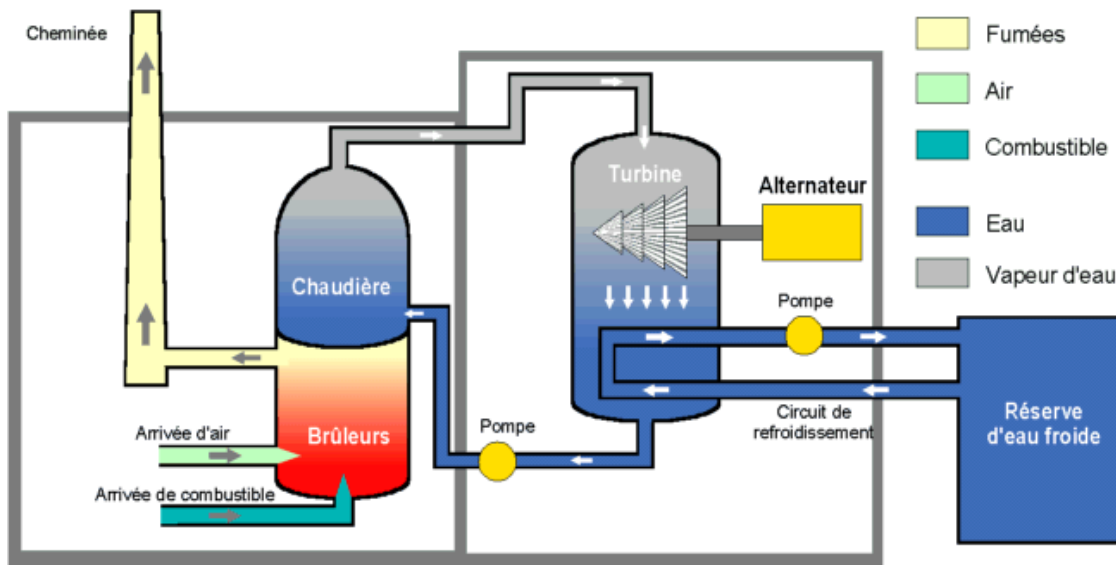


Figure 1.4. Principe d'une centrale thermique à flamme (à vapeur) [5]

Avantages et inconvénients de la centrale vapeur

- **Avantages**

- Peuvent être construites près des centres de consommation.
- Coût de construction faible.
- Technologie simple.
- Temps de construction relativement court.

- **Inconvénients**

- Énergie primaire non-renouvelable.
- Pollution de l'air et de l'eau (effet de serre, précipitations acides).
- Risque de fuites.
- Risque d'accident durant le transport du combustible.
- Compromettent l'entente de Kyoto

b) Centrale thermique à gaz

Les centrales thermiques à flammes utilisent des combustibles chimiques pour produire de la chaleur transformée en énergie mécanique par un cycle moteur thermodynamique, lui-même alimentant un alternateur, les combustibles sont généralement fossiles (charbon, pétrole, **gaz naturel**).

La centrale thermique à gaz joue un rôle peu important, le fluide de travail est généralement de l'air, ce dernier est utilisé pour la combustion de fuel-oil ou le gaz naturel et le gaz de combustion transmettant leur énergie vers les turbines à gaz. Les turbines à gaz sont peu coûteuses à construire, elles ont l'avantage de démarrer très rapidement. Néanmoins leur rendement faible (30 % au mieux) empêche de les utiliser directement pour la production de l'électricité sans valoriser leur chaleur résiduelle. Sauf en appoint lors de pics de demande ou à toute petite échelle.[13]

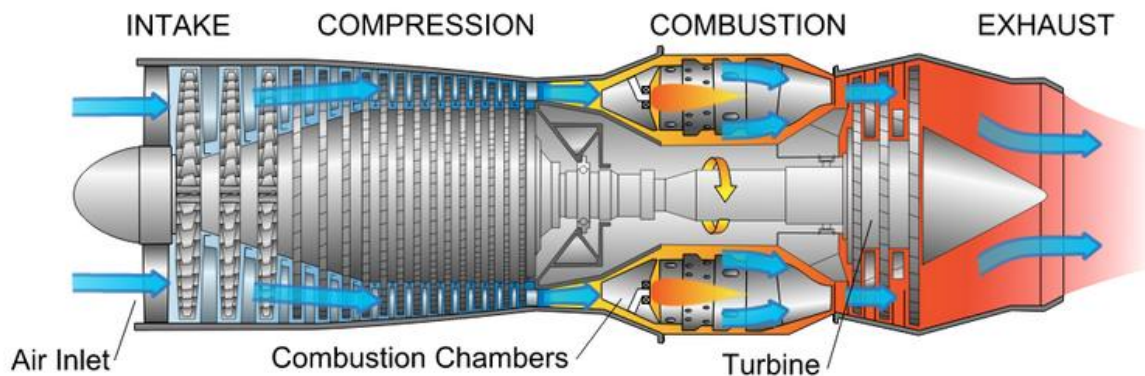


Figure 1.5. Turbine à Gaz [6]

2.3. Centrale à cycle combiné

Les centrales à cycle combiné utilisent le gaz naturel comme combustible dans un système de production d'électricité en deux étapes. Une première turbine et un premier alternateur sont mis en mouvement suite à la combustion du gaz naturel. La chaleur des gaz d'échappement de la première turbine est récupérée pour produire de la vapeur qui actionne une seconde turbine et un second alternateur.

Il reste encore une certaine quantité de chaleur utilisable dans les gaz de combustion après leur passage dans la turbine à gaz. Ces gaz chauds sont récoltés dans une chaudière de récupération où ils servent à chauffer de l'eau sous forme de vapeur. Cette vapeur permet d'actionner une deuxième turbine. Cette turbine à vapeur, comme la turbine à gaz, est couplée à un générateur, qui produit de l'électricité. Son fonctionnement ressemble à celui d'une centrale hydraulique, où c'est une roue à eau qui actionne le générateur.

Les gaz d'échappement des centrales à gaz à cycle combiné sont moins polluants que ceux des centrales à charbon. Néanmoins, ces deux types de centrales libèrent du gaz carbonique dans l'atmosphère, responsable, avec d'autres gaz, du réchauffement climatique.

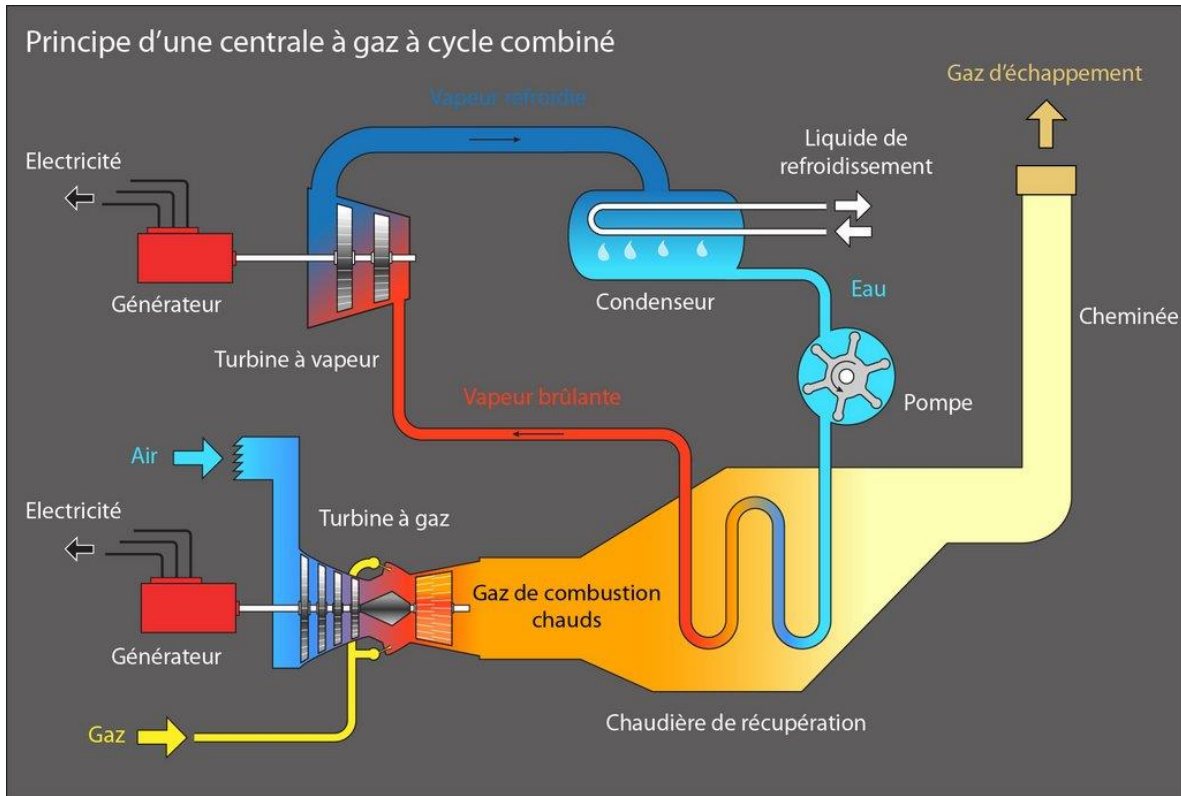


Figure 1.6. Principe d'une centrale à gaz à cycle combiné [7]

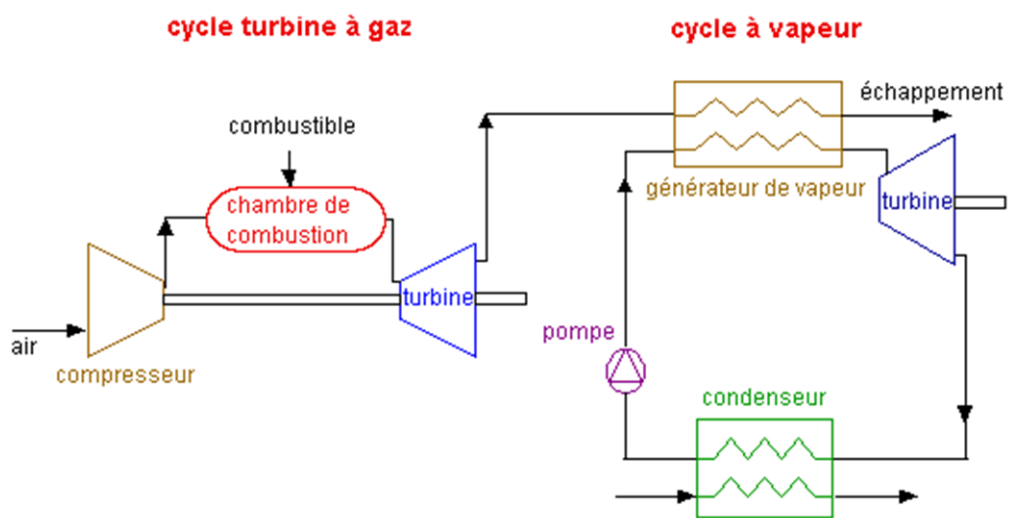


Figure 1.7. Schéma d'un cycle combiné [8]

3. Types de centrales électriques à énergie renouvelable installées en Algérie.

L'Algérie s'est engagée sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile à travers le lancement d'un programme ambitieux pour le développement des énergies renouvelables qui a été adopté par le Gouvernement en février 2011, révisée en mai 2015 et placée au rang de priorité nationale en février 2016. [17]

L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable. Le programme des énergies renouvelables dans sa version actualisée, consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent. [17]

3.1. Centrale hydro- électrique

L'énergie hydraulique est depuis longtemps une solution mise en œuvre dans la production d'électricité (appelée aussi hydro- électricité) car elle utilise une énergie renouvelable. Au pied des barrages qui retiennent de l'eau, on utilise des turbines reliées à des alternateurs. On alimente en eau sous pression les turbines par un système de canalisation et de régulateurs de débit. Il y a différents types de centrales hydro- électriques, notamment les micro-centrales, installées sur des rivières en tête de bassin, certaines avec un fort impact écologique. Il existe également des centrales hydro- électriques de pompage-turbinage qui permettent d'accumuler l'énergie venant d'autres sites de production peu flexibles lorsque la consommation est basse, pour la restituer lors des pics de consommation.

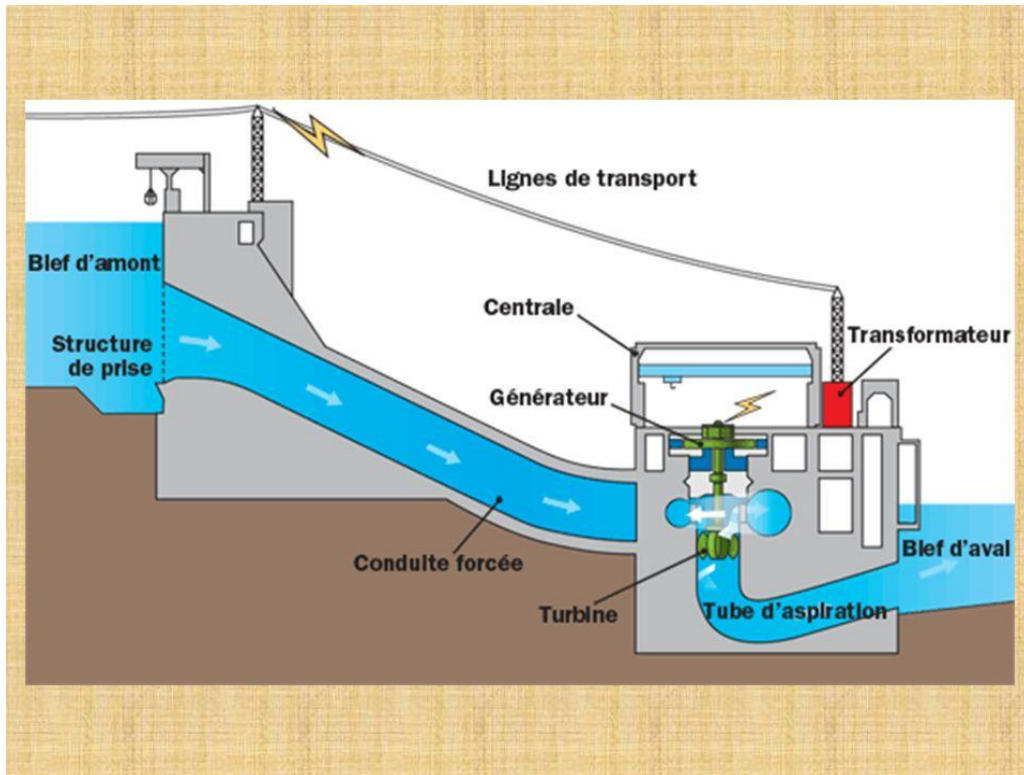


Figure 1.8. Centrale hydro- électrique [9]

3.2. Centrale éoliennes

L'énergie éolienne présente les avantages d'être gratuite inépuisable et non polluante, elle a le défaut d'être irrégulière. Elle est transformée en énergie électrique par des aérogénérateurs (moulin à vent) L'énergie éolienne dépend de l'énergie solaire, en effet les masses d'air proches de la terre sont le mieux chauffées par le soleil, cette air chaude à tendance à se déplacer, ce qui provoque le vent, ces centrales éoliennes sont positionnés idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées.

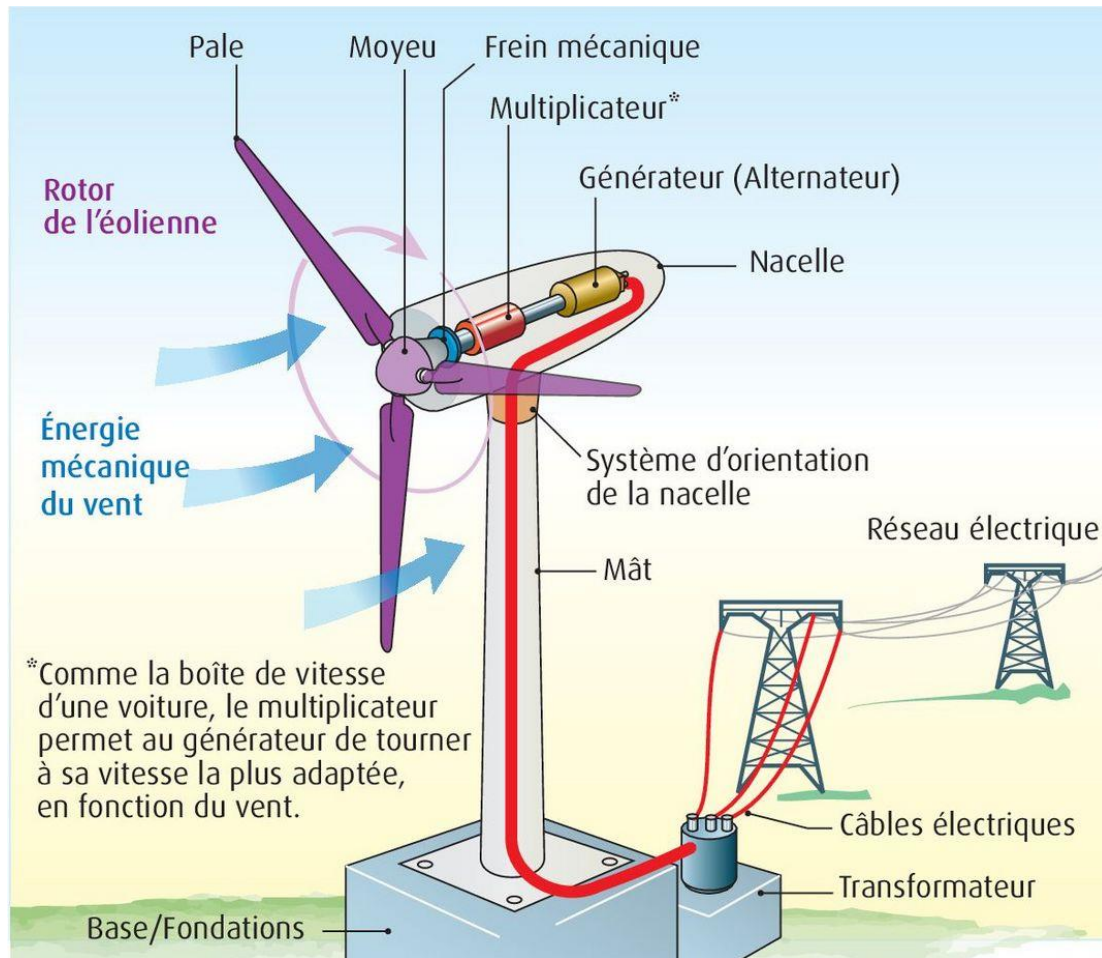
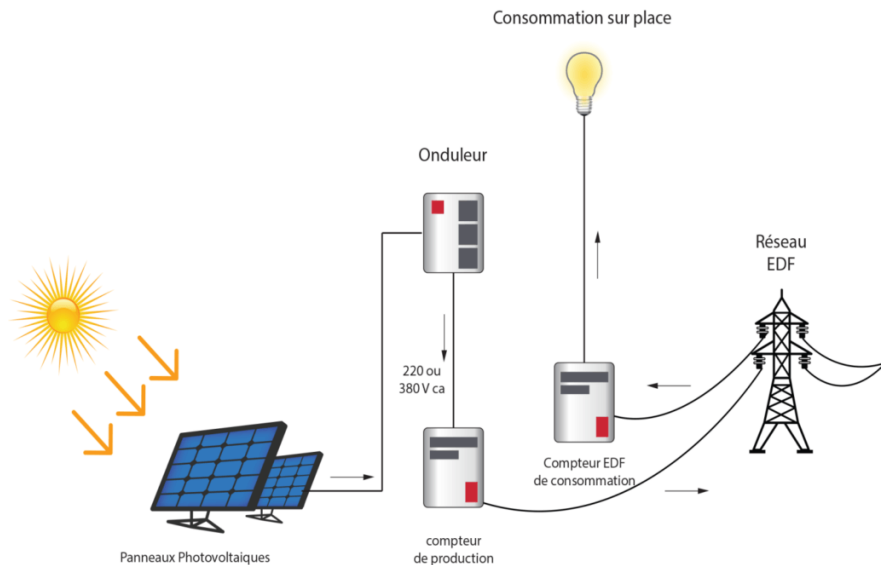


Figure 1.9. Centrale éolienne [10]

3.3. Centrale photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable. Elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque.

Figure 1.10. Schéma d’une installation photovoltaïque connectée au réseau [11]



Liste des centrales photovoltaïque en Algérie :

Site	Puissance (MW)	Site	Puissance (MW)	Site	Puissance (MW)
Naama	25	Medea	20	Tolga	35
Mechria	20	M’sila	44	Touggourt	23
El Bayadh	30	Boussaada	22	Ouargla	39
Tiaret	20	Djelfa	48	Oued Souf	18
Laghouat	20	Ghardaia	20	Biskra	25
Bechar	26	Aflou	16	Mghair	28

Tableau 1 : les projets des centrales photovoltaïques en Algérie [2011-2022] [17]

Avantage et inconvénients de la centrale photovoltaïques

- **Avantage**

Elle ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendre particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.

Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.

Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé. La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux.

- **Inconvénients**

La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologique et requiert des investissements d'un coût élevé.

Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).

Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

3.4. Centrale hybride installées en Algérie

Le système hybride présente un double avantage afin de minimiser les perturbations de l'environnement, grâce à une consommation sur le lieu de production de ressources naturelles renouvelables et une sécurité d'approvisionnement, quelles que soient les conditions météorologiques. Il existe deux types de système de production hybride, système alterné et système parallèle. Le système alterné consiste en une association d'un système éolien, un système photovoltaïque et un groupe électrogène relié par un système de commutation entre les trois permettant d'assurer le passage d'un fonctionnement d'une source à une autre (selon les conditions météorologique jour et nuit). Par contre le système parallèle relie les deux sources (éolienne, photovoltaïque) en même temps à la batterie et le groupe électrogène intervient en secours (quand les batteries sont déchargées).

Avantage et inconvénients de la centrale hybride

- **Avantage**

Diminution de la consommation de carburant et des contraintes d'approvisionnement

Indépendance énergétique et visibilité à long terme du coût de l'énergie.

Durée de vie des groupes électrogènes allongée, maintenance allégée.

Réduction des nuisances sonores et de la pollution de l'air du site.

- **Inconvénients**

Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système.

Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible.

Le personnel, qui s'occupe du fonctionnement correct du système, doit être qualifié.

3.5. Parc de production national

Dans sa politique énergétique, l'Algérie a opté, dès son indépendance, pour le développement des infrastructures électriques et gazières, et l'accès de la population à l'électricité et au gaz naturel ; ces deux vecteurs constituant une priorité qui vise l'amélioration de la qualité de vie du citoyen d'une part, et de la situation économique du pays, d'autre part.

SONELGAZ en tant qu'entreprise publique et outil de l'Etat, assume la mission de service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du gaz.

La production, qu'elle soit assurée par un ou plusieurs producteurs ou par des centrales utilisant de l'énergie renouvelable ou conventionnelle, reste l'un des plus importants segments dans l'architecture globale du secteur électrique. En Algérie, l'énergie électrique est produite, principalement, à partir de gaz naturel. La part de la puissance installée de l'ensemble des centrales utilisant cette énergie primaire dépasse les 96%, le reste des énergies employées se répartit entre le gasoil dans les centrales Diesel et l'eau dans les centrales hydroélectriques.

Le gaz est utilisé dans des centrales thermiques à vapeur, à gaz, ainsi que dans les centrales à gaz et à vapeur appelées centrales à cycle combiné. Le mix énergétique utilisé pour la génération de l'énergie électrique en Algérie est détaillé dans le graphique ci-dessous

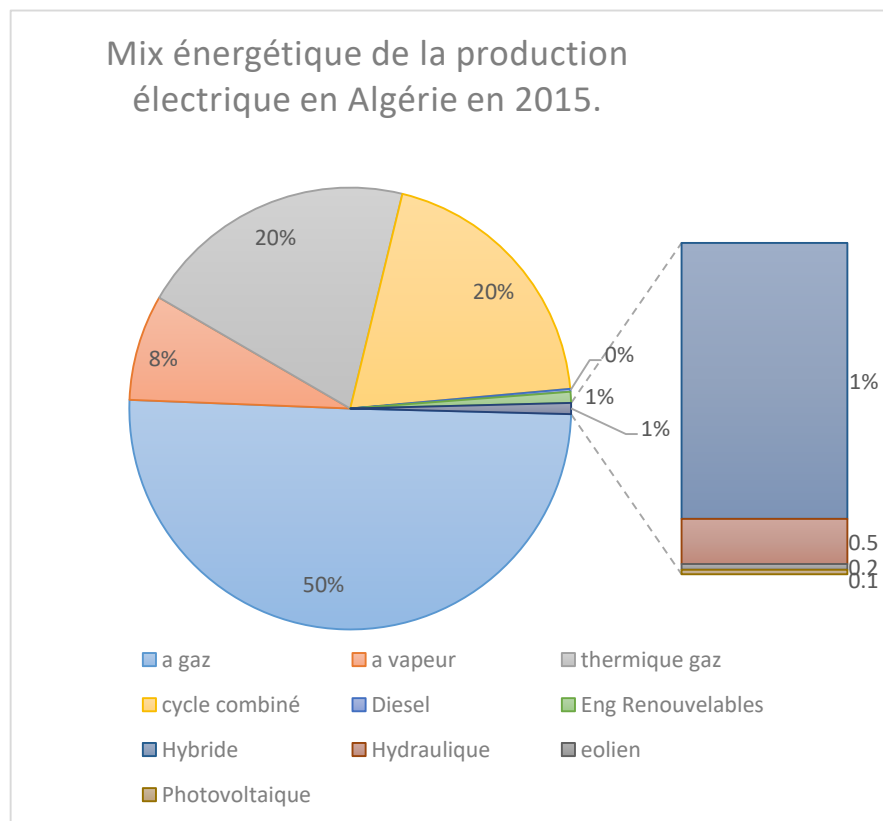


Figure 1.11. : Mix énergétique de la production en Algérie 2015[17]

Chapitre 2

Notions générales sur la maintenance

1. Introduction

Ce chapitre a comme objectif principal de fournir une information de base sur la maintenance, la criticité et les méthodes d'analyse.

2. Maintenance

2.1 Définition

D'après l'AFNOR (NF X 60-010), la maintenance est un ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal. [19]

- **Maintenir** : contient la notion de prévention sur un système en fonctionnement, c'est choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global de possession, c'est maîtriser.
- **Rétablir** : contient la notion de correction consécutive à une perte de fonction.
- **État spécifié ou service déterminé** : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.
- **Coût optimal** qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité.

2.2 But de la maintenance

La maintenance joue un rôle économique essentiel dans l'industrie. Cela se retrouve d'ailleurs dans les dépenses liées à l'entretien.

Le maintien du capital machines ;

- La suppression des arrêts non programmés et des chutes de production (garantie de la capacité de livraison) ;
- L'amélioration de la sécurité et de la protection de l'environnement ;

2.3 Les différentes formes de maintenance

Les différentes formes de la maintenance sont représentées dans l'organigramme suivant. (Figure.)

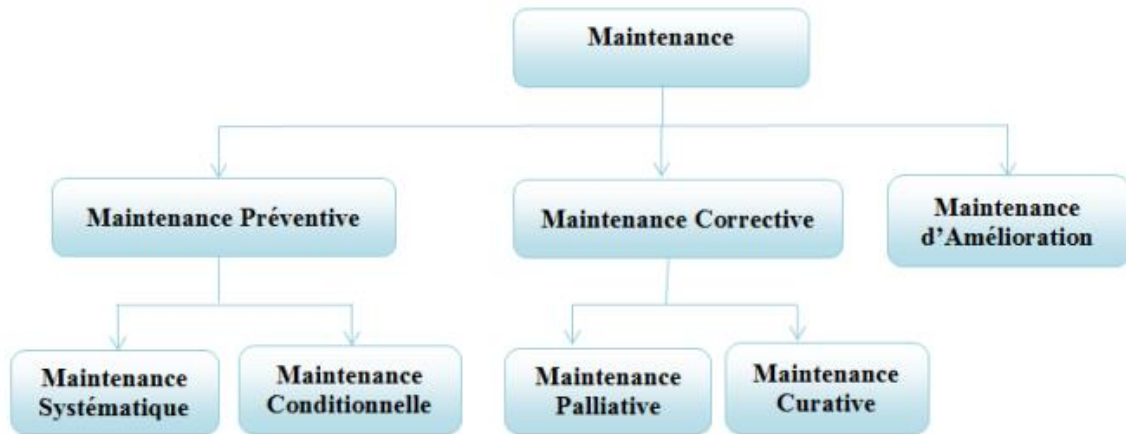


Figure 2.1 : l'organigramme de maintenance

a) Maintenance préventive

La maintenance préventive vise à diminuer la probabilité de défaillance d'un système. Il convient donc d'organiser un système de maintenance visant à minimiser ces arrêts tout en ne devenant pas très onéreux. On aura deux formes de maintenance dite préventive :

- **Maintenance préventive systématique** : Elle est effectuée selon un échéancier établi, selon le temps ou le nombre d'unités d'usages ; ce type de maintenance s'adresse à des éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles classés comme importants pour l'entreprise.
- **Maintenance préventive conditionnelle** : La maintenance préventive conditionnelle convient pour des matériels coûtant chers en remplacement et pouvant être surveillés par des méthodes non destructives (Analyse de vibration, de huile, de la température).

La mise en pratique de cette maintenance nécessite de décomposer les sous-systèmes en éléments maintenable. Ces éléments doivent être visités ou chargés régulièrement.

La périodicité de ses visites s'établira par l'étude des lis de durée de vie. Des programmes d'entretien sont élaborés de façon à préciser le travail à exécuter par l'équipe de maintenance.

b) Maintenance corrective

La maintenance corrective désigne l'élimination d'une avarie ou d'une altération dans le fonctionnement d'un élément matériel, par un des divers moyens que sont la réparation, la restauration à l'état antérieur, et le remplacement de l'élément matériel impliqué.

- **Maintenance palliative** (Concernant principalement les opérations de dépannage) : Activité de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment dépannage, elle est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.
- **Maintenance curative** (Regroupant essentiellement les réparations) : Activité de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications, ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

c) Maintenance d'amélioration

Cette maintenance a pour objectif de réduire toutes les interventions de maintenance et de tendre vers zéro panne. Ainsi on est conduit à réaliser :

- La rénovation des installations et des équipements existants.
- Des modifications concernant le matériel existant suite à plusieurs défaillances de même nature, après réflexion et étude, afin d'éliminer le problème. Ce type de maintenance implique une concertation entre les services (production, bureau d'étude, maintenance,...).
- La mise en conformité des installations et équipements pour répondre aux nouvelles normes de sécurité.

2.4 Missions du service Maintenance

La mission du service maintenance se résume en :

- La maintenance des équipements : actions correctives et préventives, dépannages, réparations et révisions.
- L'amélioration du matériel, dans l'optique de la qualité, de la productivité ou de la sécurité.
- Les travaux neufs : participation au choix, à l'installation et au démarrage des équipements nouveaux.
- Les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, l'environnement et la pollution, les conditions de travail, la gestion de l'énergie...

- L'exécution et la réparation des pièces de rechanges. L'approvisionnement et la gestion stocks (outillages, pièces de rechanges...). Des prestations diverses, pour la production (réalisation de montages, par exemple) ou pour tout autre service.
- L'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules...

2.5 Méthode de Maintenance

Comme nous l'avons cité au paragraphe 1.3, les méthodes de maintenance peuvent être classées en trois grandes familles : la maintenance préventive, corrective et d'amélioration. Pour cela un dossier technique de maintenance sera établi.

2.5.1 Dossier technique de maintenance

Pour réaliser les opérations de maintenance sur un système de manutention, il faut disposer d'un certain nombre de documents et en créer d'autres :

a) Dossier technique : Ce dossier doit contenir tous les renseignements nécessaires à une intervention de maintenance. Il est composé des documents suivants :

- L'implantation et la nomenclature des composants : ces données permettent de situer les composants sur le système.
- L'analyse du système : le système est analysé du point de vue fonctionnel
- Les schémas électriques : ils sont indispensables en maintenance. Ce sont essentiellement :
 - i- Le schéma développé du circuit de puissance ;
 - ii- Le schéma développé du circuit de commande
 - iii- Les schémas des borniers et de raccordement d'un éventuel automate ;
 - iv- Les plans, dessins d'ensemble et de définitions

b) Dossier de maintenance :

C'est le carnet de santé de l'équipement. Il permet de suivre dans le temps toutes les défaillances du système. Il comprend :

-L'historique des interventions : c'est un tableau qui indique la nature des interventions et leur date. Il permet de :

- Connaître la nature des défaillances précédentes ;
- Décider des améliorations à apporter ;
- Chiffrer les coûts de maintenance ;
- Opérer les approvisionnements de pièces de rechange.

- Le processus de visite préventive : c'est un document qui indique au vérificateur les opérations de contrôle ou de vérification à effectuer sur l'équipement et la périodicité de ces visites.

- Le compte rendu de visite : il signale les travaux à effectuer sur un équipement et leur urgence.

3. Gestion de maintenance assistée par ordinateur GMAO

C'est le système informatique permettant la gestion des moyens nécessaires à la maintenance et la gestion de la mise en œuvre de ces moyens. Une GMAO doit donc permettre :

- ✓ D'établir l'inventaire des éléments à maintenir,
- ✓ De gérer les interventions de maintenance préventive et corrective sur le plan de la programmation technique et sur le plan financier,
- ✓ De gérer les stocks et les achats,
- ✓ De faire un historique des interventions,
- ✓ De gérer les entreprises sous-traitantes ou cotraitantes,
- ✓ D'apprécier l'état global de santé des éléments maintenus,
- ✓ De prévoir leur remplacement en fonction des durées de vie théoriques et des interventions.

4. Fiabilité des équipements

4.1 Définition

Selon la Norme AFNOR X 60-500, la fiabilité est l'aptitude d'un équipement à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. On suppose en général que l'entité est en état d'accomplir la fonction requise au début de l'intervalle de temps donné. Le concept de fiabilité est traduit souvent dans la pratique comme l'aptitude d'une entité à avoir une faible fréquence de défaillance. $R(t)$: Probabilité que l'entité accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné $(0, t)$.

- **Probabilité** : c'est le rapport $\frac{\text{nombre de cas favorable}}{\text{nombre de cas possible}} < 1$ dans l'hypothèse d'équiprobabilité On notera $R(t)$ la probabilité de bon fonctionnement à l'instant (t) , le symbole "R" a pour origine le mot anglais (Reliability).
- **Fonction requise** : fonction requise pour un composant de « mission » ou « service attendu » pour un système.
- **Conditions d'utilisation** : définir les conditions d'usage revient à définir l'environnement du système et ses variations, ainsi que les contraintes mécaniques, chimiques vibratoires, thermiques etc....
- **Période temps** : c'est la définition de la durée de mission "T", mais à chaque instant (t_i) est associée une valeur de fiabilité $R(t_i)$ décroissante.

4.2 Fonction de fiabilité $R(t)$ – Fonction de défaillance $F(t)$

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. Soit Z la variable aléatoire qui à chaque matériel associe son temps de bon fonctionnement. On choisit un de ces matériels au hasard. Soit les événements A : « Le matériel est en état de bon fonctionnement à l'instant t »

et B : « Le matériel est défaillant à l'instant $t + \Delta t$ » On a alors :

$$p(A) = p(T > t) \text{ et } p(B) = p(t \leq T < t + \Delta t) \quad (\text{II.1})$$

$$p(A \cap B) = t < T < t + \Delta t$$

$$= F(t + \Delta t) - F(t)$$

$$= (1 - R(t + \Delta t)) - (1 - R(t))$$

$$= R(t) - R(t + \Delta t)$$

On en déduit que
$$p(B/A) = \frac{p(A \cap B)}{p(A)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \quad (\text{II.2})$$

On appelle fonction de défaillance la fonction F définie pour tout $t \geq 0$

$$F(t) = P(T \leq t)$$

Le nombre $F(t)$ représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t

4.3 Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF)

- Précédemment le taux de défaillance λ a été défini par des expressions mathématiques à travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimer par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée

de bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances.

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{duree total de bon fonctionnement}} \quad (\text{II.3})$$

4.3.1 Temps moyen de bon fonctionnement

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, Il correspond à l'espérance de la durée de vie t .

$$\text{MTFB} = \int_0^{\infty} R(t) \quad (\text{II.4})$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps

$$\text{MTFB} = \frac{\text{somme des temps de fonctionnement entre les (n) de défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilistaion}} \quad (\text{II.5})$$

$$\text{Si } \lambda \text{ est constant } \text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{II.6})$$

5. Maintenabilité

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. A partir de ces définitions, on distingue :

- **La maintenabilité intrinsèque** : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc).
- **La maintenabilité prévisionnelle** : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.

- **La maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions. L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité)

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention}(n) \text{pannes}}{\text{nombre de pannes}} \quad (\text{II.7})$$

6. Disponibilité

La politique de maintenance d'une entreprise est fondamentalement basée sur la disponibilité du matériel impliqué dans le système de production. Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production
- Etre rapidement remis en bon état s'il tombe en panne

La disponibilité peut se mesurer :

- sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne),
- à un instant donné (disponibilité instantanée),
- à la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$ (disponibilité asymptotique).

7. Analyse de La criticité

Pour évaluer les risques avec plus ou moins succès les entreprises effectuent des analyses de criticité et des processus. Une analyse du degré de criticité évalue et classe les équipements afin de déterminer ceux qui nécessitent une intervention immédiate et ceux qui peuvent attendre. Beaucoup de responsables commettent l'erreur de trop simplifier leur analyse de criticité et ne tiennent compte que de quatre options pour la maintenance de leurs équipements.

Avant	Maintenant	Criticité = Influence sur la production
Critique	Primordial	Variation des performances en % = variation du chiffre d'affaires en %.
	Critique	Temps de fonctionnement = recettes ; temps d'arrêt = pas de recettes
Non-Critique	Semi-critique	Temps d'arrêt = contrainte sur la production ou la conformité
	Non critique	Temps d'arrêt = pas d'effet immédiat sur la production

Tab 2. La criticité et influence sur la production

8. Méthodes d'analyse

8.1 AMDEC

8.1.1 Définition

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets de leurs Criticité) est une technique d'analyse qui a pour but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement de machines par la maîtrise des défaillances. Elle a pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement maximum des machines de production et des équipements industriels.

C'est une méthode participative fondée sur la mise en commun des expériences diverses et des connaissances de chaque participant. Elle trouve toute son efficacité dans sa pratique en groupe de travail pluridisciplinaire.

Il s'agit d'une analyse critique consistant à identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines puis à en rechercher les origines et leurs conséquences. Elle permet de mettre en évidence les points critiques et de proposer des actions correctives adaptées. Ces actions peuvent concerner aussi bien la conception des machines étudiées que leur fabrication, leur utilisation ou leur maintenance.

L'élément de base d'une étude AMDEC est le calcul de la criticité C. En effet, les valeurs de la criticité pour chaque équipement industriel sont calculées par le produit de trois facteurs :

- **F** : La fréquence d'apparition d'une défaillance ;
- **G** : La gravité de la défaillance ;
- **D** : La probabilité de non détection de la défaillance.

$$\text{Avec: } C = F \times G \times D$$

8.1.2 Type d'AMDEC

Il y a plusieurs sortes d'AMDEC, en fonction du stade de la conception : l'AMDEC du concept, l'AMDEC du produit et AMDEC du procédé, (AMDEC de la machine, ...). Toutes ces AMDEC ont la même structure :

➤ **AMDEC PRODUIT / PROJET :**

Son champ d'action est prévu, au départ, pour la conception des produits afin de les fiabiliser, les améliorer ; par exemple, on peut appliquer l'AMDEC dans l'analyse des risques bancaires, surtout dans le domaine « contrepartie ».

➤ **AMDEC PROCESSUS**

L'objectif est de mettre en évidence, les problèmes de défaillance créés par les processus de production...Elle est utilisée pour analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être utilisée aussi pour les postes de travail.

➤ **AMDEC EQUIPEMENTS / MOYENS / MACHINES**

Son extension est facilitée par l'explosion de la démarche qualité – la recherche des 7 zéro afin de fidéliser le client.il s'applique à des machines, des outils, des équipements et appareils de mesure, des logiciels et des systèmes de transport interne.

➤ **AMDEC ORGANISATION**

Bien que la méthode soit moins performante que l'analyse des processus, elle apporte cependant un autre éclairage pour répondre aux attentes du client. Elle s'applique aux différents niveaux du processus d'affaires : du premier niveau qui englobe le système de gestion, le système d'information, le système production, le système personnel, le système marketing et le système finance jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche du travail.

➤ **AMDEC SERVICE**

S'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service corresponde aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.

➤ **AMDEC SECURITE**

S'applique pour assurer la sécurité des opérateurs dans les procédés où il existe des risques pour ceux-ci.

8.1.3 But de l'AMDEC

- Déterminer les points faibles du système et y apporter des remèdes.
- Préciser les moyens de se prémunir contre certaines défaillances. –Étudier les conséquences de défaillances vis-à-vis des différents composants.
- Classer les défaillances selon certains critères.
- Fournir une optimisation du plan de contrôle, une aide éclairée à l'élaboration de plans d'essais.
- Optimiser les tests (choix judicieux de tests) pour solliciter toutes les fonctions du système
- Prendre des décisions de « rétro-conception ».

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (*Failure Mode and Effects Analysis ou FMEA*) est une méthode structurée et systématique pour :

- Détecter les défaillances (et leurs effets) d'un produit ou d'un processus
- 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
- Aide à la conception (spécifications, choix technologiques ou d'architectures, redondances, ...)

Chapitre 3

**Etude de la centrale à cycle combiné
de NAAMA-TOUIFZA**

1. Introduction

Positionner la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, c'est l'objectif du dernier chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de la turbine à gaz **MS-9001FA** de réaliser une étude expérimentale liée à ses analyses fonctionnelles et son étude l'AMDEC.

2. Présentation de la centrale

2.1. Situation Géographique

La centrale thermique au gaz à cycle combiné de NAAMA est situé à TOUIFZA, à la route nationale N°22 éloignée 520 Km sud-ouest d'ALGER, environ de 26 km au nord de la ville de NAAMA, 12 Km de la ville de MECHERIA, 50 Km de BEN AMAR.

Elle s'étend sur une superficie de 31,3 hectares.

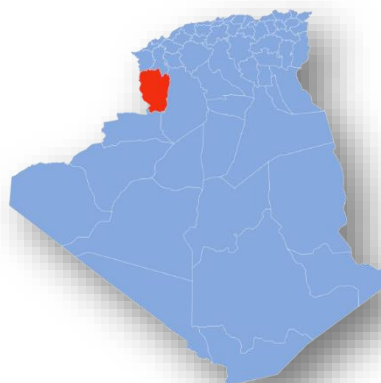


Figure 3.1 : Wilaya de Naama[13]

2.2. Historique

La centrale à cycle combiné de Naama entre dans le cadre du plan d'urgence des 8.400 MW, lancé par Sonelgaz en 2013 qui prévoit, également des centrales similaires dans d'autres wilayas de l'est et de l'ouest du pays, à des fins de renforcer la production nationale, mobiliser les potentialités énergétiques nécessaires pour répondre à la demande grandissante de la population et du développement national.[13]

La Société de Production de l'Electricité, SPE, filiale de Sonelgaz, a annoncé l'attribution provisoire des marchés de réalisation en EPC de six (06) centrales électriques de type Cycle Combiné (CC) suite à l'ouverture publique des plis des offres techniques et financières tenue le 25 juillet 2013.[13]

La centrale CC de Bêlera dans la Wilaya de Jijel, confiée au Hyundai Engineering & Construction, /Daewoo International.

La centrale CC de Djelfa, confiée à Duro Fulgura.

La centrale CC de Kais dans la Wilaya de Khenchela, confiée à GS/Daelim.

La centrale CC de Mostaganem, confiée à Samsung C&T.

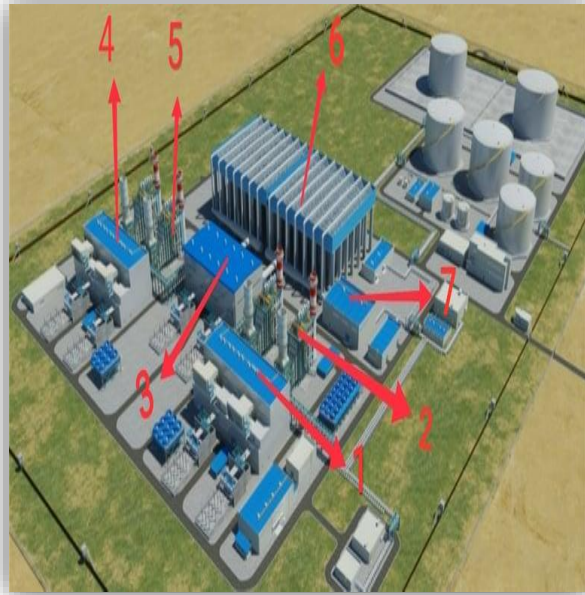
La centrale CC de Oumache dans la wilaya de Biskra, confiée au Hyundai Engineering & Construction, /Daewoo International.

La centrale CC de Naama, confiée Samsung C&T.

L'entreprise coréenne, Samsung C&T Corporation (Construction & Trading Corporation) qui a été confiée la centrale cycle combiné de Naama été fondée en 1938 en tant que société mère du groupe Samsung pour s'engager dans des opérations de vente à l'étranger. Depuis 1995, elle se concentre largement sur les projets mondiaux d'ingénierie et de construction, le commerce et l'investissement, la mode et les centres de villégiature.

2.3. Description de la Centrale

La centrale Cycle Combiné de Naama d'une capacité de 1 163 MW, se compose de 4 turbine à gaz ont la possibilité de fonctionner avec deux types de combustible à savoir : gaz naturel et en gaz oil (fuel), et 2 turbine à vapeur, ces groupes sont divisés en 2 bloc chaque bloc a 2 turbine à gaz et une turbine vapeur (bloc 1 : 10-11-12 , bloc 2 : 20-21-22)



- 1 les deux turbines à gaz 11-12
- 2 les chaudières de récupération des turbines 11-12
- 3 les deux turbines à vapeur 10-20
- 4 les deux turbines à gaz 21-22
- 5 les chaudières de récupération des turbines 21-22
- 6 aérocondenseur
- 7 Le bâtiment de contrôle commande (BCC)

Figure 3.2 : centrale Cycle Combiné[13]

Les quatre turbines à gaz de la centrale peuvent fonctionner en cycle simple ou cycle combiné, chaque turbine équipées d'une chaudière de récupération (HRSG – HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR), ces groupes peuvent fonctionner soit gaz ou bien fuel.

Les deux turbines à vapeur équipé d'un aérocondenseur (ACC – AIR COOLED CONDENSER) destiné à refroidir et condenser de la vapeur avec de l'air frais.

La centrale équipée de 6 groupes électrogène de secours et d'une salle des batteries en cas de coupure de l'alimentation.

L'endroit est équipé de plusieurs réservoirs chacun destiné au stockage d'un liquide particulier eau d'incendie, eau de service, fuel.

Tous ces Equipement permettent d'alimenter le réseau Par l'intermédiaire dès les transformateurs principaux.

Le bâtiment de contrôle commande (BCC) permet le contrôle et la commande à distance des groupes, L'alimentation, le démarrage des groupes.

La protection incendie se compose d'un circuit d'eau incendie avec mousse sous pression et un circuit du dioxyde de carbone pour son efficacité à éteindre les incendies. Il fonctionne en abaissant le niveau d'oxygène dans l'air environnant, en dessous du niveau requis pour prendre feu. L'ensemble des installations est réalisée par un système de détection DEF permettant l'extinction du feu dans les brefs délais.

D'autre part les bâtiments de servitude (bâtiment administratif, magasins et ateliers) permettent d'assurer le fonctionnement correct et la maintenance de l'ensemble de ces installations.

3. Analyse fonctionnelle de la centrale à cycle combiné

La technologie des cycles combinés date de la fin des années 1970. En France, le premier exemple a été construit en 1980 dans une papeterie. Grâce à une turbine à combustion de 25 MW et une turbine à vapeur de 9 MW, l'installation fournissait la totalité de l'électricité et de la vapeur "process" nécessaire au fonctionnement de la papeterie. [31]

Les centrales à cycle combiné utilisent un système de production d'électricité en **deux étapes**. Une première turbine et un premier alternateur sont mis en mouvement suite à la

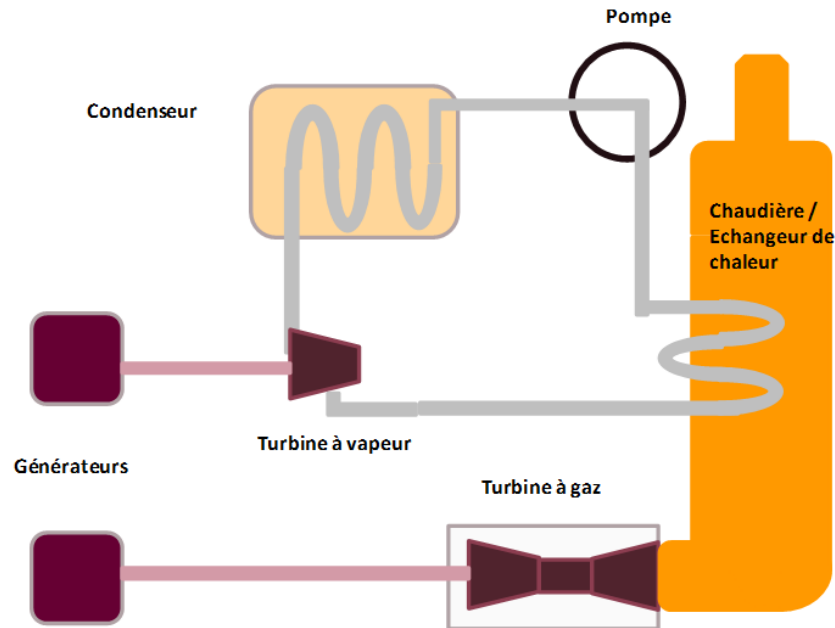


Figure 3.3 : Cycle combiné [12]

combustion du gaz naturel. La chaleur des gaz d'échappement de la première turbine est récupérée pour produire de la vapeur qui actionne une seconde turbine et un second alternateur.

La vapeur est refroidie et réutilisée dans le cycle.

- Première étape

Une première *turbine* et un premier alternateur sont mis en mouvement turbine à gaz :

Une turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion, est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (fuel, gaz...).

La turbine à gaz à arbre unique MS-9001FA est conçue pour fonctionner dans une installation configurée en unité à cycle simple ou cycle combiné. Elle est conçue pour brûler du gaz naturel en tant que combustible principal et du diesel en tant que combustible secondaire.

Les composants sont décrits dans l'ordre de la traversée des équipements par le flux du fluide moteur, c'est-à-dire :

1. Admission d'air
2. Compresseur
3. système de combustion
4. Turbine
5. Échappement

3.1. Admission d'air

Le système d'entrée d'air de la turbine permet d'aspirer, de filtrer et de diriger le flux d'air ambiant vers l'entrée du compresseur. Le système est composé d'un ensemble de filtration de l'air aspiré, d'une gaine suivie d'un silencieux, d'un coude puis d'un caisson d'aspiration.



Figure 3.4 : Les filtres d'air [13]

3.2. Compresseur

La section compresseur à débit axial est composée du rotor compresseur et des corps formant le stator. Le compresseur comporte 17 étages. A l'entrée du compresseur se trouvent les I.G.V. (inlet guide vanes) couronne d'aubes orientation variable et, à la sortie du compresseur, deux rangées d'aubes de guidage fixes dirigent l'air vers le système de combustion.

Dans le compresseur, l'air provenant du système d'admission traverse une succession d'étages constitués chacun par une rangée circulaire d'aubes mobiles (rotor) et une rangée circulaire d'aubes fixes (stator).

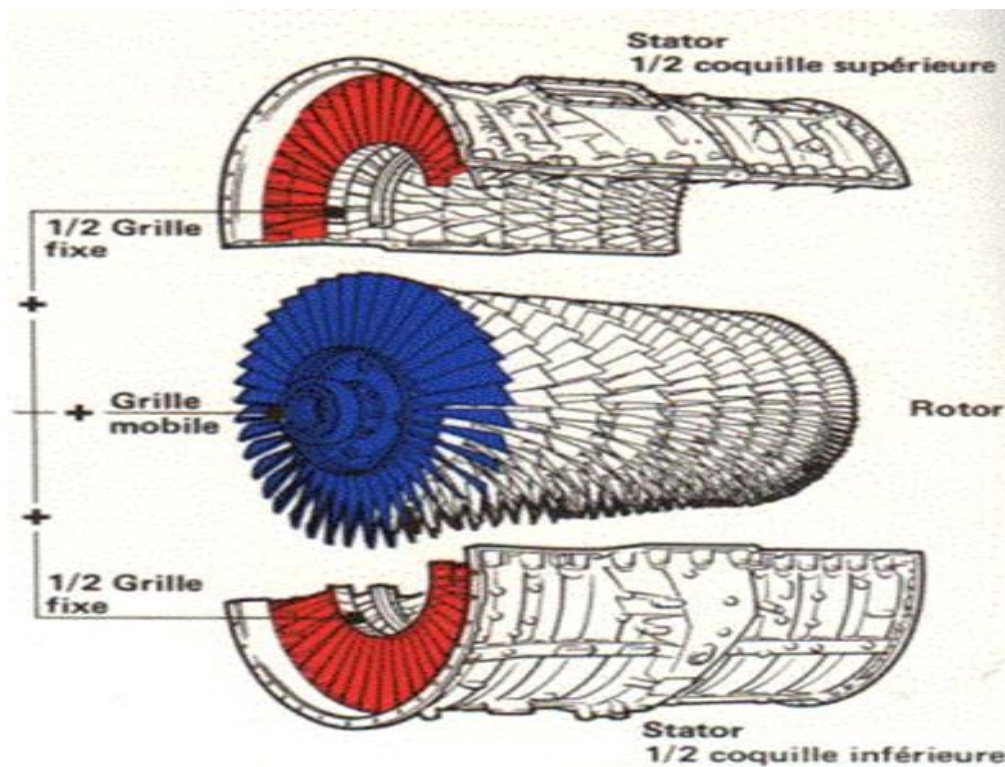


Figure 3.5 : Le rotor et le stator [14]

Les aubes rotor fournissent l'énergie nécessaire à la compression de l'air dans chaque étage, et les aubes stator guident l'air suivant une direction bien définie vers l'étage suivant.

3.3. Système de combustion

Le système de combustion est de type flux inversé avec 18 chambres de combustion installées autour de la périphérie du corps d'échappement compresseur. Les chambres de combustion sont numérotées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre

lorsqu'observées en aval et en partant de la partie supérieure gauche de la turbine. Ce système prévoit également des injecteurs de combustible, un système d'allumage par bougies, des détecteurs de flamme et des tubes d'interconnexion. Les gaz chauds, dégagés du combustible enflammé au sein des chambres de combustion, circulent en direction de la turbine à travers les pièces de transition refroidies par contact.

L'air à haute pression de l'échappement du compresseur est dirigé autour des pièces de transition. Une partie de cet air pénètre dans les orifices du canalisateur de refroidissement par contact afin de refroidir les pièces de transition, puis circule dans le canalisateur d'air. Le reste entre dans l'espace annulaire entre le manchon d'écoulement et le tube de flamme de combustion par les trous dans l'extrémité en aval du manchon d'écoulement. Cet air pénètre ensuite dans la zone de combustion à travers l'ensemble chapeau pour assurer une combustion efficace. Le combustible est acheminé dans chaque chambre de combustion en passant cinq injecteurs conçus pour disperser et mélanger le combustible avec le volume d'air de combustion approprié.

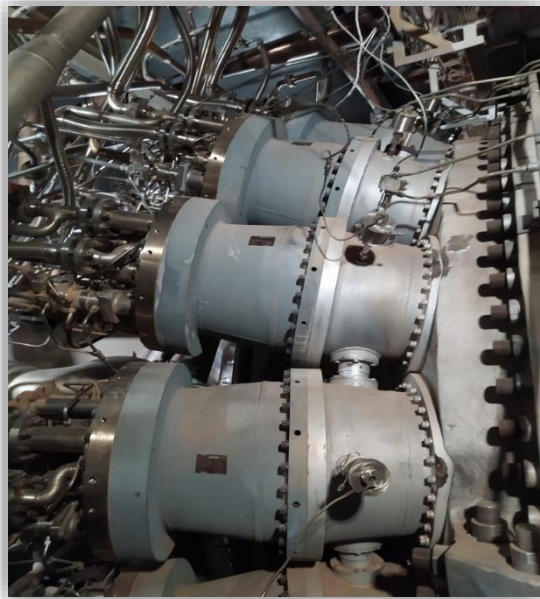
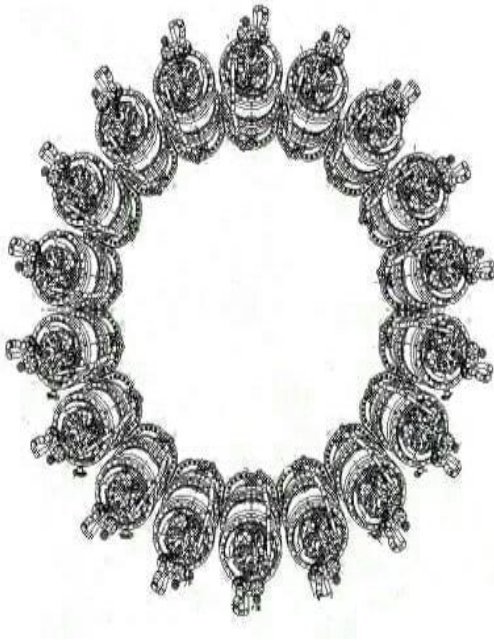


Figure 3.6 : Les chambres de combustion [13]

3.4. Turbine

La section de turbine à trois étages est le secteur dans lequel l'énergie contenue dans le gaz pressurisé à haute température, produit par les sections compresseur et combustion est convertie en énergie mécanique. La turbine à gaz MS9001FA comprend le rotor de turbine, le corps, le caisson d'échappement, le diffuseur d'échappement, les bandages.



Figure3.7 : Section de turbine [13]

3.5. Échappement

Le cadre d'échappement est boulonné sur la bride arrière du corps de turbine. Structurellement, le cadre se compose d'un cylindre extérieur et d'un cylindre intérieur interconnectés par des nervures radiales.

Le diffuseur d'échappement situé à l'extrémité arrière de la turbine est boulonné au cadre. Les gaz qui sortent du troisième étage de la turbine pénètrent dans le diffuseur où la vitesse est réduite par diffusion et où la pression est récupérée. A la sortie du diffuseur, les gaz sont dirigés vers le caisson d'échappement.

3.6. Refroidissement

Le rotor de turbine est refroidi pour maintenir des températures de fonctionnement raisonnables et donc pour assurer une longue durée de vie à la turbine. Le refroidissement est effectué par un flux positif d'air froid prélevé sur le compresseur et déchargé radialement vers l'extérieur par un espace entre la roue de la turbine et le stator, dans le flux principal de gaz. Cette zone est appelée espace interroges.

-Le principe de fonctionnement de la turbine à gaz consiste à soumettre un certain débit d'air, successivement à une compression, une combustion et une détente. L'air aspiré par le compresseur à multiples étages est comprimé jusqu'à environ 10 bars.

A l'échappement de compresseur, une partie de l'air comprimé (air carburant) subit une combustion, la température des gaz chauds obtenue atteint environ 1000°C (température admission turbine). L'élévation de la température permet ainsi de porter au fluide moteur de l'énergie calorifique.



Figure 3.8 : Chaudière de récupération [13]

A la sortie des chambres de combustion les gaz chauds traverse les étages turbine pour transformer l'énergie calorifique ainsi obtenue en énergie mécanique.

- Deuxième étape

Pour passer de cycle simple au cycle combiné la cloison bloquant l'entrée de la chaudière de récupération s'ouvre, fermant la cheminée pour permettre le passage des gaz chauds vers la chaudière de récupération et l'empêcher de sortir de la cheminée.



- La chaleur des gaz d'échappement de la turbine à gaz est récupérée pour produire de la vapeur par *La chaudière de récupération (HRSG)*.

3.7. La chaudière de récupération

La chaudière de récupération (HRSG – HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR), cette dernière produit de la vapeur à 3 niveaux de pression différents, ce qui permet une récupération très poussée de l'énergie thermique contenue dans les gaz d'échappement en limitant au maximum les pertes d'énergie à la cheminée. Les chaudières de récupération sont installées à l'extérieur des bâtiments principaux. La hauteur minimale de chaque cheminée est environ 55 m. La chaudière de récupération de chaleur (HRSG) consiste en un ensemble d'échangeurs tubulaires de chaleur par convection.

1. cheminée	8 .sortie de gaz
2. silencieux vapeur basse pression	9. collecteur des incondensables
3. silencieux dégazeur	10. ballon basse pression
4. silencieux vapeur moyenne pression	11 .ballon moyenne pression
5. silencieux ballon d'éclatement	12. ballon haute pression
6. silencieux vapeur haute pression	13. arrivée des gaz d'échappement
7. silencieux resurchauffé	14. ballon d'éclatement

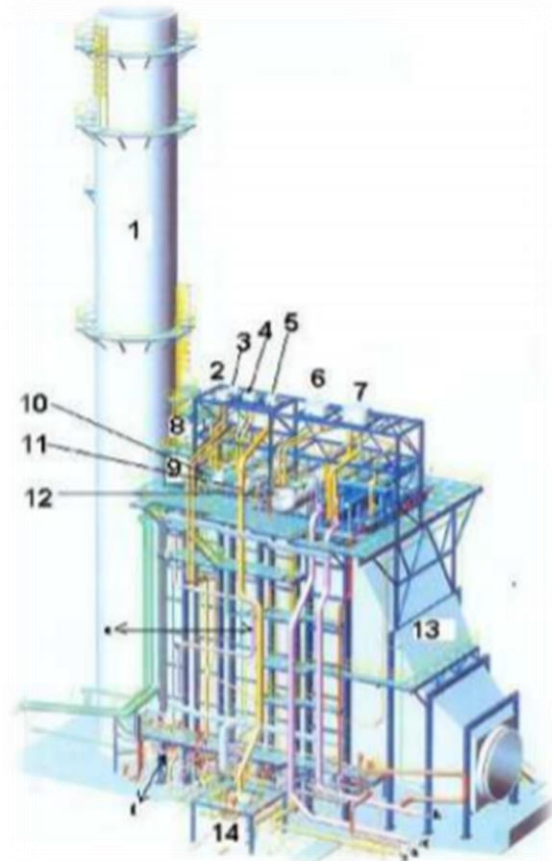


Figure 3.8 : Chaudière de récupération [13]

-La chaudière ou générateur de vapeur, permet de récupérer le plus d'énergie possible des gaz de combustion issus de la turbine à combustion (TAC) pour générer de la vapeur sous pression qui sera utilisée dans la turbine à vapeur (TAV).

La température des gaz à l'entrée de la chaudière est de 650°C et 100 °C à la sortie.

La différence entre ces deux valeurs représente l'énergie des gaz de combustion récupérée grâce à la chaudière De l'eau déminéralisée est injectée dans tuyaux de la chaudière.

Cette eau, une fois chauffée, se transforme en vapeur dans l'un des 3 ballons du circuit. Elle passe ensuite par un système de surchauffeur, qui la transforme en vapeur sèche avant d'arriver dans la turbine à vapeur, la moindre gouttelette d'eau pouvant endommager fortement la turbine

-La vapeur est envoyée vers *la turbine à vapeur*, où elle se détend en fournissant de l'énergie mécanique.

3.8. Turbine à vapeur

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



Figure 3.9 : Turbine à vapeur [13]

- Après que l'eau est chauffé en vapeur, il quitte la chaudière par un tuyau renforcé et se Déplace à la turbine. La turbine est un ensemble de filage de lames, angle pour attraper la Vapeur entrant. La vapeur sous pression traverse d'abord les roues de petit diamètre avant d'atteindre les roues de plus grand diamètre.

La vapeur d'eau dans le tuyau est sous haute pression. Quand il entre dans la turbine plus spacieuse, il se dilate pour remplir l'espace disponible et accélère comme il se répand. Cela pousse contre les fans de la turbine, tournant sur son axe.

3.9. Aérocondenseur

- La vapeur utilisée dans la turbine est dirigée vers *l'aérocondenseur (ACC – AIR COOLED CONDENSER)* pour être convertie en eau pour réutilisation.

Aérocondenseur :

L'aérocondenseur est un aéroréfrigérant spécifiquement construit pour condenser de la vapeur, Il se compose de tubes dans lesquels la vapeur circule entourés d'ailettes facilitant l'échange et de gros ventilateurs faisant circuler de l'air frais autour des tubes et au travers des ailettes.

Les tubes de transmission de vapeur sont conçus pour résister à des températures élevées et ont des orifices qui s'ouvrent lorsque la pression augmente.



Figure 3.10 : Aérocondenseur [13]

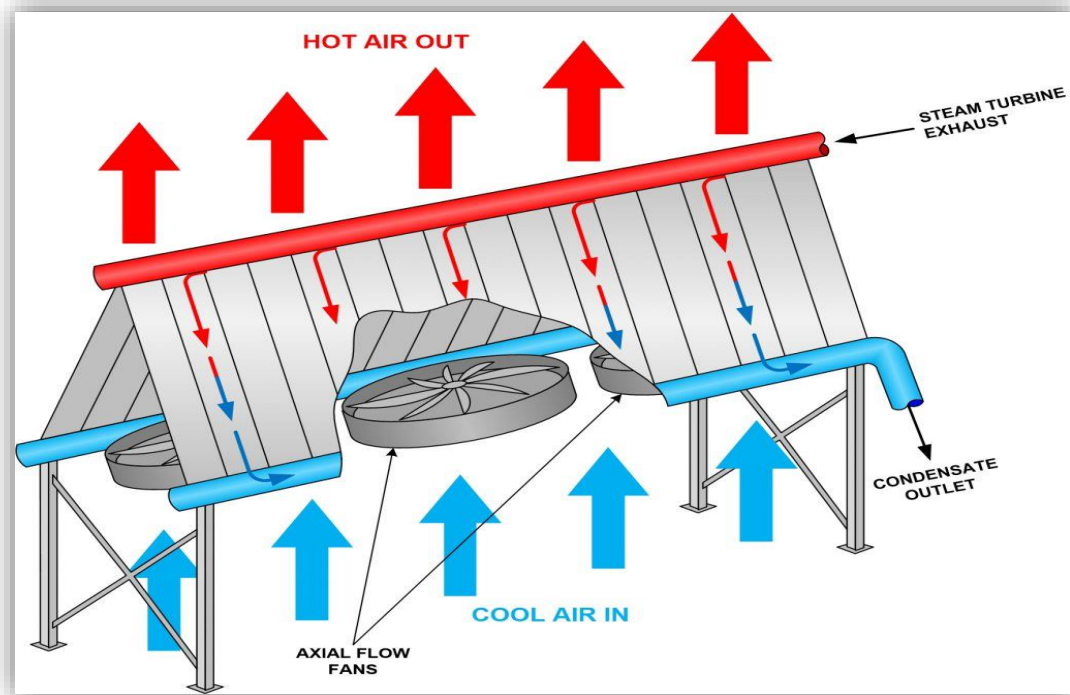


Figure 3.11 : Fonctionnement de l'aérocondenseur [13]

Ensuite, les deux pompes (une en service, la seconde en secours) envoient l'eau dans un réservoir pour la réutilisation.

- Les turbines à gaz et à vapeur sont liées rigidement à un *alternateur* qui convertit l'énergie mécanique en électricité.



Figure 3.12 : Pompe d'eau [13]

3.10. Alternateur

L'alternateur est un générateur permettant de créer un champ magnétique pour fournir de l'électricité, l'énergie électrique est produite sous forme de courant alternatif lorsque le rotor est entraîné par la turbine. L'alternateur est refroidi à l'hydrogène.



Figure 3.13 : Alternateur [13]

Les composants principaux de l'alternateur

-**Le corps** soutient et maintient les composants de l'alternateur. C'est une structure horizontale et cylindrique formée d'une plaque d'acier.

-**Le stator et le rotor** deux éléments essentiels Une bobine fixe et Une source de champ magnétique rotative. Les bornes de la bobine fixe qui fournissent une tension alternative lorsque l'aimant ou l'électroaimant tourne.

-**Le transformateur** principal adapte la tension de sortie de l'alternateur à la tension du réseau.

3.11. Le transformateur

Un transformateur est un convertisseur qui permet de modifier la valeur d'une tension alternative en maintenant sa fréquence et sa forme inchangées. Les transformateurs étant des machines électriques entièrement statiques, cette absence de mouvement est d'ailleurs à l'origine de leur excellent rendement.

Le transformateur est constitué de deux enroulements couplés sur un noyau magnétique. Le côté de la source est appelé le primaire, et a N_1 enroulements de fils (tours). Le côté de la charge est appelé le secondaire et a N_2 enroulements. Le flux ϕ est le flux mutuel.

Il faut remarquer qu'il n'existe aucune connexion électrique entre le primaire et le secondaire. Tout le couplage entre les deux enroulements est magnétique.

Lorsqu'on applique une tension alternative à la source, ceci crée un flux alternatif dans le noyau magnétique. Selon la loi de Faraday, ce flux crée des forces électromotrices dans les bobines. La force électromotrice induite est proportionnelle au nombre de tours dans la bobine et au taux de variation du flux. Selon le rapport du nombre de tours entre le primaire et le secondaire, le secondaire alimente la charge avec une tension différente de celle de la source.

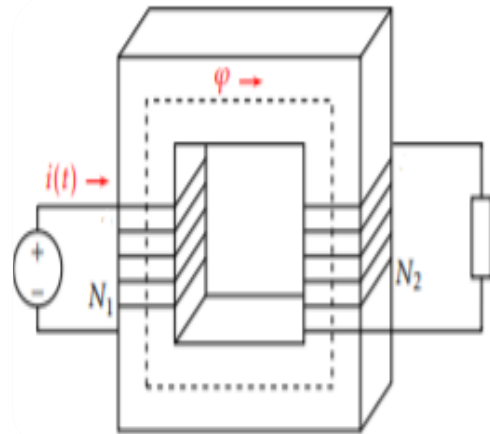


Figure 3.14 : Transformateur Principal[13]

Dans les transformateurs, un fluide diélectrique (huile minérale) est utilisé dans le circuit de refroidissement pour dissiper la chaleur du circuit magnétique et des enroulements.

4. Analyse de la criticité des équipements de la centrale

4.1. Indices AMDEC utilisés

Indice	valeur	Indice de défaillance
Indice de fréquence (F)	1	Moins d'une fois par an
	2	1 fois par an
	3	2 fois par an
	4	3 fois par an
Indice de gravité (G)	1	24 h > TTR h
	2	24 h ≤ TTR < 240 h
	3	240 h ≤ TTR < 340 h
	4	340 h ≤ TTR < 720 h
	5	Sécurité/Qualité : accident provoquant des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention. Où Non-conformité du produit envoyé en clientèle.
Indice de non Détection (D)	1	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant d'éviter les effets sur la production.
	2	Il existe un signe avant-coureur la défaillance mais il y a risque

Tableau 3 : Indices de défaillance [13]

Donc la criticité évaluée par : $C = F * G * D$

Et les seuils utilisés sont :

N°	Niveau de criticité	Action corrective
1	$1 \leq C < 4$ Criticité négligeable	Aucune modification, maintenance corrective
2	$4 \leq C < 8$ Criticité moyenne	Amélioration de la performance de l'élément, maintenance préventive systématique.
3	$8 \leq C < 12$ Criticité élevée	surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle.
4	$12 \leq C < 50$ Criticité interdit	Remise en cause complète de la conception de préventive conditionnelle.

Tableau 4: indice de criticité C[13]

4.2. Tableau AMDEC

AMDEC MACHINE – TURBINE A GAZ MS-9001FA										
Sous-système : turbine à gaz MS-9001FA		DATE : 20/05/2022								
L'élément	fonction	Modes de défaillance	cause	Effet	Détection	Criticité				Action
						F	G	D	C	
les paliers	Guider et supporter l'arbre rotorique	Haute température au niveau palier. Bruit anormal,	Mauvais lubrification d'huile, Desserrage les boulons de fixation,	Echauffement -Blocage d'arbre Rotorique	Bruit échauffement	3	4	1	12	Vérification circuit d'huile Changement les paliers si défaillant.
les aubes	engendre une diminution de la pression du fluide ou détente.	Mauvais combustion Bruit au niveau rotor ou stator	Fissure au niveau les aubes,	vibration	Bruit	2	2	1	4	Changement les aubes
Les tubes de flammes	assurer la combustion correcte du combustible.	Mauvais combustion au niveau des chambres	Manque fixation. Déformation Les tubes de flammes,	échauffement	Bruit échauffement	2	1	2	4	Ouverture la chambre de combustion et fixation les tubes de flammes. Changement Les tubes de flammes
Bougies d'allumage	générer cette étincelle	Manque la flamme au niveau les chambres	Court-circuit au niveau câble, Manque tension d'arrivée sur la bougie d'allumage, Défaut au niveau transformateur d'allumage	pas démarrage de la turbine	visuel	1	2	1	2	Vérifier la tension d'arrivée sur la bougie d'allumage, Changement les câbles de connexion si court-circuit, Changement du transformateur de tension

Pièces de transitions	Pièce de transition pour chambres de combustion	Ecart température au niveau les 1er roue Bruit anormal	Défaillance les thermocouples de température, Manque fixation les Pièces de transitions,	Diminution de température	visuel	2	1	2	4	Changements thermocouples de température pour la 1ère roue fixation les Pièces de transitions
Les Directrices	fixe à écoulement axial qui comporte une paroi tubulaire	Ecart température au niveau caisse d'échappements Fissure au niveau la Directrice 1er ou 2 eme,	Manque les ailettes au niveau la Directrice 1er ou 2 eme, Fissure au niveau les ailettes,	vibration	Bruit	2	1	1	2	Changement les ailettes au niveau la Directrice 1 ^{er} ou 2 ^{eme} .
Les injecteurs	un élément alimenter la chambre de combustion avec l'air et de carburant pulvérisé	Mauvais combustion au niveau des chambres	Fissure au manque fixation pour les d'injecteur	Pas régulation	Indicateur de chaleur	2	2	2	8	Changements Les injecteurs, Nettoyage et fixation

Tableau 5 : Tableau d'AMDEC

4.3.D'après la réalisation des tableaux de l'analyse AMDEC on trouve que nous avons quatre groupes de l'indice de criticité différent :

- **1 er groupe** : l'indice de criticité maximal (12) pour les paliers ce qui implique le 4ème niveau de criticité. Donc les actions corrective à engager sont la remise en cause complète de la conception de la maintenance préventive conditionnelle.
- **2 ème groupe** : l'indice de criticité élevée (8) pour Les injecteurs ce qui implique le 3ème niveau de criticité. De butée nécessitent surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle.
- **3 ème groupe** : l'indice de criticité moyenne (4) pour les aubes et Les tubes de flammes, Pièces de transitions ce qui implique le 2ème niveau de criticité. Dans ce cas nous appliquons amélioration de la performance de l'élément, maintenance préventive systématique.

- **4^{ème} groupe** : l'indice de criticité négligeable (2) pour Bougies d'allumage et Les Directrices ce qui implique le 1er niveau de criticité. Aucune modification, maintenance corrective.

5. Implantation de l'étude dans le logiciel FAILCAB

5.1. Présentation de FAILCAB

Le logiciel FAILCAB regroupe deux outils d'analyse qualitative de sûreté de fonctionnement, l'APR (Analyse Préliminaire de Risques) et l'AMDEC (Analyse de Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité). Il fonctionne sous Microsoft Excel (versions 4, 5, 97, 2000, 2003 et 2007) et bénéficie, par la même, d'une convivialité exceptionnelle et d'une grande ouverture vers d'autres applications.

L'outil AMDEC permet l'élaboration et l'exploitation d'AMDEC suivant des formats spécifiques ou standards (Normes X 60-510, CEI 812-1985 et MIL-STD-1629A). Sa vocation est d'orienter l'utilisateur sur le plan méthodologique tout en le déchargeant d'une grande part de l'activité de saisie. Il permet ainsi d'enrichir automatiquement l'AMDEC à partir de nomenclatures, de listes de modes de panne (de niveau composant ou bloc fonctionnel), de synthèse d'effets, ou de tout autre base de données.

FAILCAB gère automatiquement l'arborescence matérielle ou fonctionnelle des produits en n'imposant aucun format d'analyse. Il favorise la standardisation des termes employés dans l'AMDEC ou l'APR afin de faciliter son exploitation ultérieure. Il permet ainsi d'effectuer des tris multicritères et de générer automatiquement des documents de synthèse tels que des synthèses sur symptômes observables (manuel de gestion des aléas destinés aux opérateurs du produit), synthèses sur anomalies ou synthèses de recommandations par exemple.

Les informations suivantes sont tirées du guide d'utilisation du logiciel FAILCAB :

5.1.1. Pour lancer FAILCAB

Ouvrir sous EXCEL le fichier Failcab.xls. Les fonctionnalités de l'outil sont alors accessibles par les menus "AMDEC" et "APR", celles du tableur restant toujours disponibles.

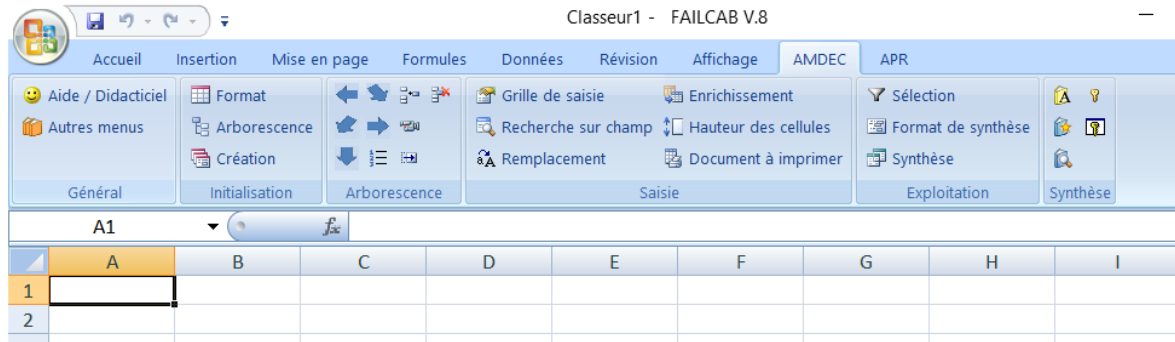


Figure 3.15 : barre d'outils

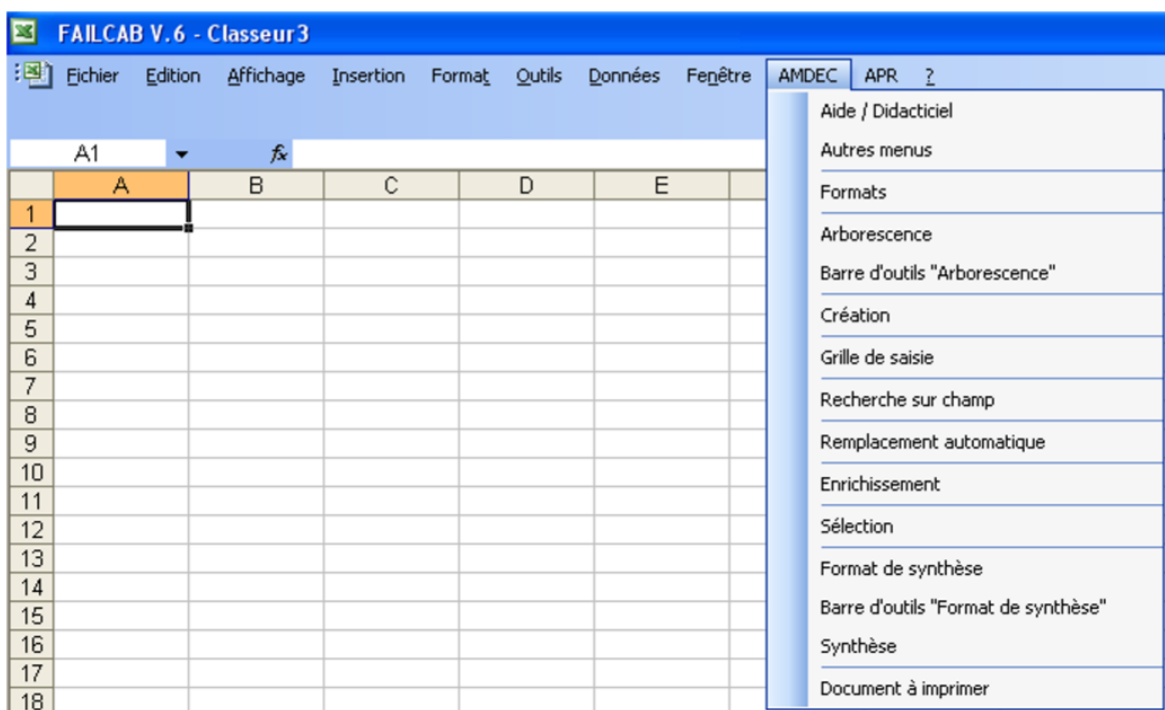


Figure 3.16 : Menus sur les versions d'Excel antérieures à 2007

5.1.2. Principales fonctionnalités

FAILCAB aide l'utilisateur à mener l'AMDEC puis à l'exploiter. Il propose les fonctionnalités suivantes, accessibles à partir du menu AMDEC.

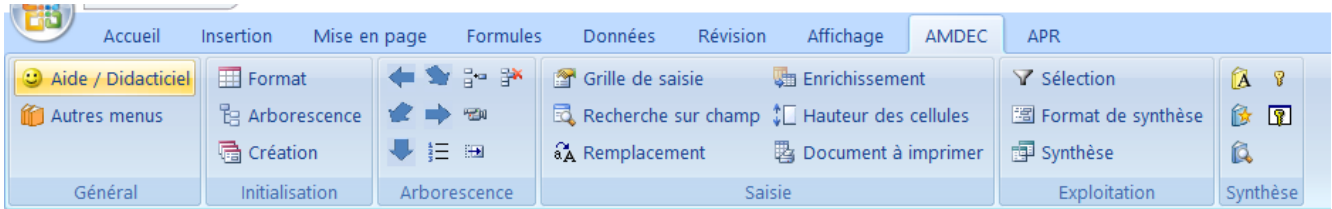


Figure 3.17 : menu AMDEC

5.1.2.1. Création de formats

La commande "Formats" du menu AMDEC permet de créer des formats de divers documents (AMDEC, Nomenclatures, Listes de modes de pannes...) en langue française ou anglaise.

5.1.2.2. Saisie de l'arborescence matérielle du produit

La commande "Arborescence" du menu AMDEC permet de saisir la décomposition matérielle du produit comme dans l'exemple ci-dessous.

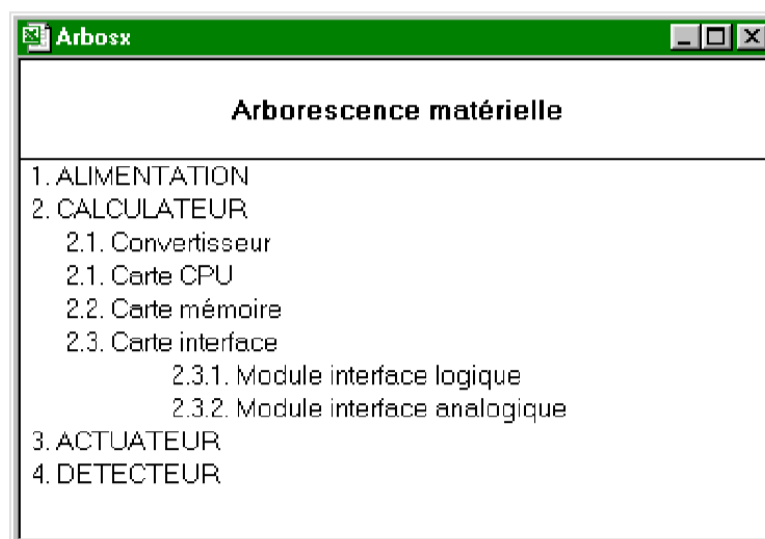


Figure 3.18 : Arborescence matérielle

5.1.2.3. Création du document AMDEC

La commande "Création" du menu AMDEC permet de créer l'AMDEC à partir d'un format de document et de l'arborescence matérielle du produit.

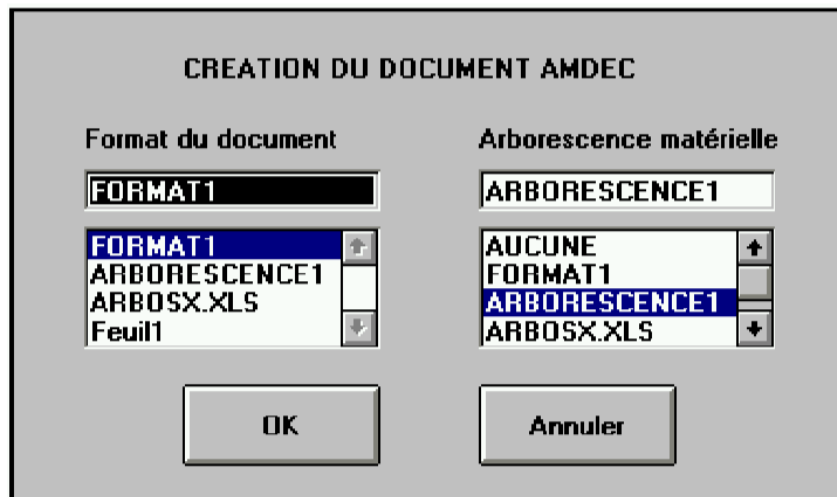


Figure 3.19 : Création du document

L'action sur le bouton OK conduit à la création d'un document tel que celui présenté ci-après.

Numéro	Bloc fonctionnel	Composant	Mode de défaillance	Taux de panne	Effets au niveau équipement	Effets au niveau système	Criticité	Observations
# 1. ALIMENTATION								
# 2. CALCULATEUR								
# 2.1. Convertisseur								
# 2.1. Carte CPU								
# 2.2. Carte mémoire								
# 2.3. Carte interface								
# 2.3.1. Module interface logique								
# 2.3.2. Module interface analogique								
# 3. ACTUATEUR								
# 4. DETECTEUR								

Figure 3.20 : document AMDEC

5.1.2.4. Grille de saisie

La commande "Grille de saisie" du menu AMDEC permet d'afficher une grille à renseigner qui reprend les différents champs de l'AMDEC (voir exemple ci-dessous).

2.3.1. Module interface logique		N° de ligne :	
Numéro	<input type="text"/>	2	Insérer Supprimer Recopier Rétablir Précédent Suivant Fermer
Bloc fonctionnel	Bloc a	3	
Composant	Résistance RNR	4	
Mode de défaillance	C.C.	5	
Taux de panne	0	6	
Effets au niveau équipement	Dissipation thermique	7	
Effets au niveau système	Propagation de panne si non détectée	8	
Observable		9	
Criticité	2	10	
Observations	Implantation d'une surveillance	11	
		12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	

Figure 3.21 : Grille de saisie

L'utilisateur peut alors :

- . Insérer ou supprimer des fiches aux emplacements désirés,
- . Renseigner ou modifier une fiche puis la recopier dans le document APR,
- . Rétablir la fiche dans son état initial, tant que celle-ci reste sélectionnée.

5.1.2.5. Recherche sur champ

La commande "Recherche sur champ" du menu AMDEC permet de visualiser les informations préalablement saisies dans les cellules de la colonne sélectionnée. Elle ressemble à celle du menu APR, mais les informations affichées sont limitées à la partie de l'arborescence dans laquelle se trouve la cellule sélectionnée.

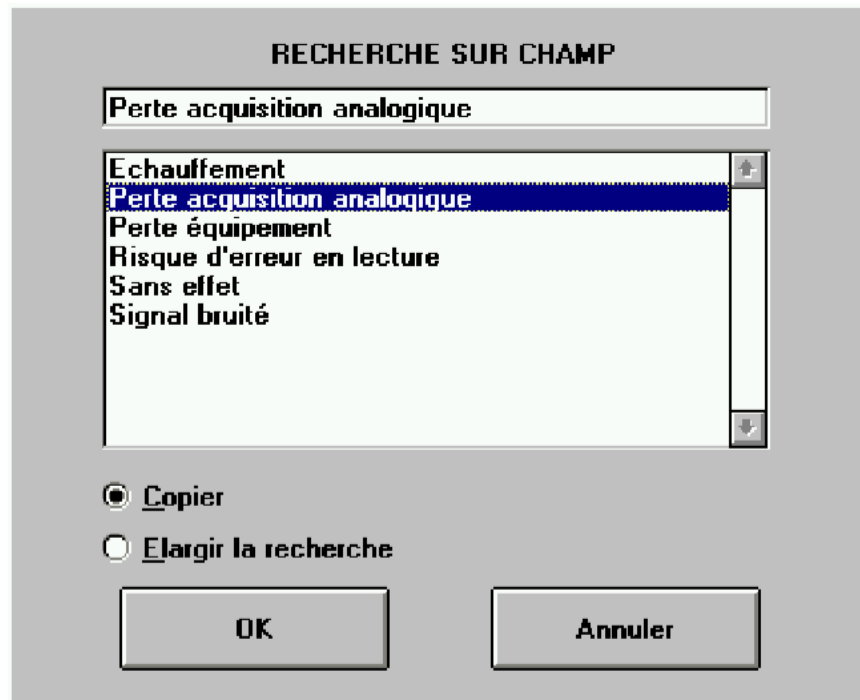


Figure 3.22 : Recherche sur champ

L'utilisateur peut cependant élargir la recherche en remontant progressivement dans l'arborescence.

5.1.2.6. Remplacement automatique

Identique à celle du menu APR, la commande "Remplacement automatique" du menu AMDEC permet de modifier des termes suivant différents critères, comme le montre la boîte de dialogue suivante.

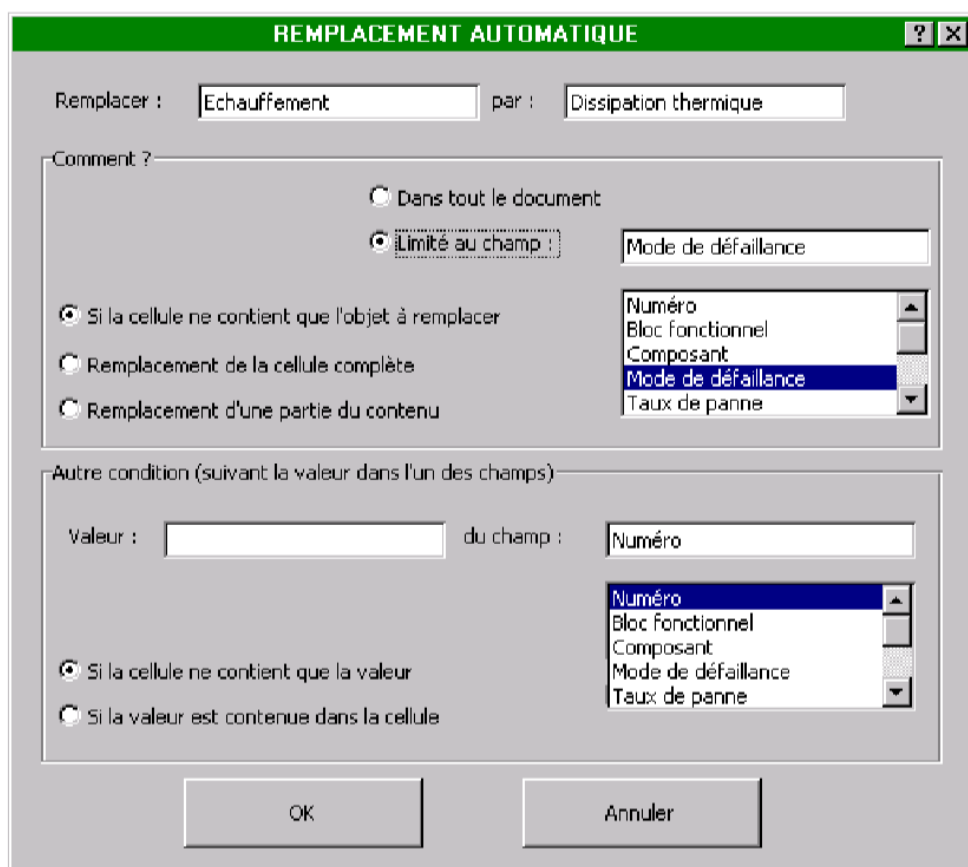


Figure 3.23 : Remplacement automatique

5.1.2.7. Enrichissement automatique de l'AMDEC

La commande "Enrichissement" du menu AMDEC permet d'enrichir automatiquement l'AMDEC à partir de diverses bases de données.

Cet enrichissement peut s'effectuer à partir de :

- . Nomenclatures (liste de composants, de blocs fonctionnels, de taux de panne ...),
- . Listes de modes de panne (de niveau composant ou bloc fonctionnel),
- . Synthèse des effets (de l'équipement au système),
- . Toute autre base de données importée sur Excel.

De la même manière que pour la commande "Création", l'activation de la commande "Enrichissement" entraîne l'affichage d'une boîte de dialogue dans laquelle l'utilisateur précise les documents concernés parmi l'ensemble des documents ouverts.



Figure 3.24 : Enrichissement de l'AMDEC

L'action sur le bouton OK entraîne l'affichage d'une seconde boîte de dialogue dans laquelle l'utilisateur retrouve les champs des deux documents sélectionnés.

Définir la correspondance entre les champs sources et les champs de destination

SOURCE		AMDEC
1 - Référence dans l'arborescence	<input type="checkbox"/>	Numéro
2 - Elément	<input checked="" type="checkbox"/>	Bloc fonctionnel
3 - Bloc fonctionnel	<input checked="" type="checkbox"/>	Composant
4 - Repère sur schéma	<input type="checkbox"/>	Mode de défaillance
5 - Composant	<input type="checkbox"/>	Taux de panne
6 - Taux de panne	<input type="checkbox"/>	Effets au niveau équipement
7 - Observations	<input type="checkbox"/>	Effets au niveau système
	<input type="checkbox"/>	Criticité
	<input type="checkbox"/>	Observations

CHAMP(S) D'ACTIVATION : [séparés par ;]

Figure 3.25 : boîte de dialogue

Il indique alors la correspondance entre les champs du document source et ceux de l'AMDEC ainsi qu'un ou plusieurs champs d'activations, avant de lancer l'enrichissement. La recopie des informations des champs sources vers les champs à enrichir s'effectue alors à chaque fois que la correspondance entre les champs d'activation des deux documents peut être établie. Ainsi dans cet exemple, l'enrichissement s'effectue de la manière suivante :

Référence dans l'arborescence matérielle	Elément	Bloc fonctionnel	Repère sur schéma	Composant	Taux de panne	Observations
2.3.1.	Interface logique	Bloc a	R1	Résistance RNR		
			R2	Résistance RER		
			D1	Diode signal		
		Bloc b	C2	Condensateur CKR		
			D2	Diode ZENER		
			Q1	Transistor de commutation		
2.3.2.	Interface analogique	Bloc a	U1	Quartz		
			R1	Résistance RNR		
			C1	Condensateur CKR		
		Bloc b	Q1	Transistor linéaire		
			R5	Résistance RJR		
			R6	Thermistance RTH		
			Q1	Transistor linéaire		

Figure 3.26 : Tableau enrichissement

Numéro	Bloc fonctionnel	Composant	Mode de défaillance	Taux de panne	Effets au niveau équipement	Effets au niveau système	Criticité	Observations
# 2.3. Carte interface								
# 2.3.1. Module interface logique								
	Bloc a	Résistance RNR Résistance RER						
	Bloc b	Diode signal Condensateur CKR Diode ZENER Transistor de commutation Quartz						
# 2.3.2. Module interface analogique								
	Bloc a	Résistance RNR Condensateur CKR						
	Bloc b	Transistor linéaire Résistance RJR Thermistance RTH Transistor linéaire						

Figure 3.27 : AMDEC après enrichissement

Le champ d'activation correspond ici à la référence dans l'arborescence matérielle (1). Les informations situées dans les champs Bloc fonctionnel (3) et Composant (5) ont été recopiées dans l'AMDEC aux différentes positions de l'arborescence indiquées dans le document source.

L'exemple suivant montre comment s'effectue cette même opération avec plusieurs champs d'activation. Il concerne un enrichissement à partir d'une liste de modes de pannes.

5.1.2.8. Sélection

La commande "Sélection" du menu AMDEC s'utilise comme celle du menu APR mais la table de sélection comporte une ligne supplémentaire qui permet à l'utilisateur de préciser si des champs doivent être renseignés par l'outil au moment de la sélection (entrer un signe +).

Référence dans l'arborescence	Numéro	Bloc fonctionnel	Composant	Mode de défaillance	Taux de panne	Effets au niveau équipement
						Echauffement

	+	+				
--	---	---	--	--	--	--

ENTRER + POUR REMPLIR LES COLONNES CORRESPONDANTES AVANT SELECTION
(Chaque cellule vide sera remplie par le contenu de la cellule non vide immédiatement supérieure)

DEFINIR LES CRITERES DE SELECTION PUIS APPUYER SUR LE BOUTON

Critère unique par cellule se rapportant au champ de la colonne

Condition ET entre critères d'une même ligne

Condition OU entre critères de lignes différentes

Opérateurs de comparaison : = , > , < , >= , <= , <>

Caractères génériques : un : ? plusieurs : *

Figure 3.28 : table de sélection

Ainsi dans l'exemple précédent, tous les modes de panne conduisant à un échauffement seront renseignés avec, pour chacun d'eux, le nom du composant et celui du bloc fonctionnel correspondant. Les critères de sélection apparaissent sur la partie droite de la feuille de résultats.

5.1.2.9. Synthèse

Identique à celle du menu APR, la commande "Synthèse" du menu AMDEC permet de réaliser automatiquement un document de synthèse, tel que celui présenté ci-dessous, à partir d'un format prédéfini par l'utilisateur.

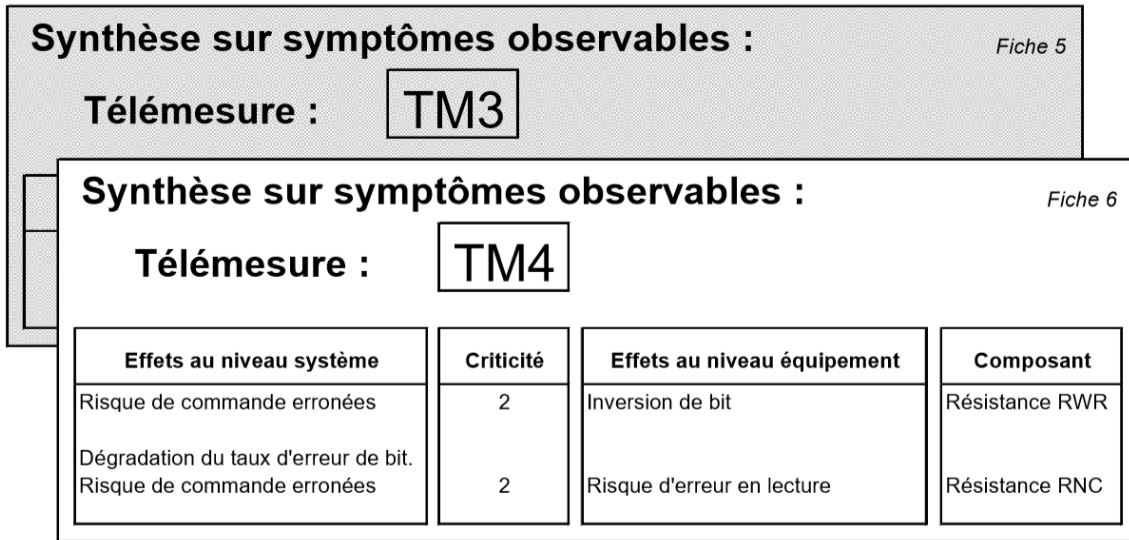


Figure 3.29 : Synthèse

Le format de synthèse utilisé dans cet exemple est le suivant :

Il a été créé à partir de la commande "Format de synthèse" qui permet de générer une feuille de format vierge que l'utilisateur renseigne au moyen de la barre d'outils "Format de synthèse", déjà présentée dans la partie APR.

Lors de la synthèse, la table de sélection est proposée à l'utilisateur pour limiter éventuellement la synthèse à une partie de l'AMDEC. Celui-ci doit préciser si des champs doivent être renseignés par l'outil au moment de la sélection (entrer un signe +).

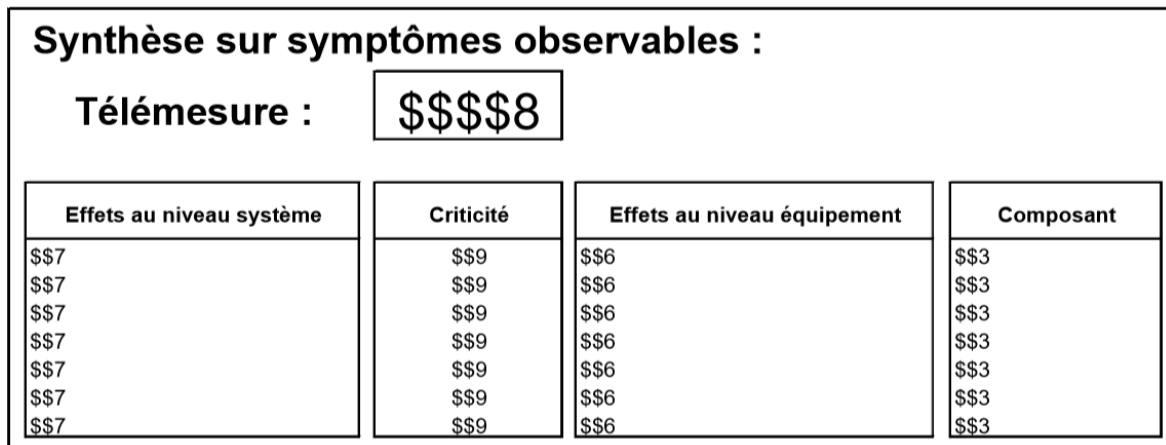


Figure 3.29 : Synthèse

5.1.2.10. Mise en forme avant impression

La commande "Document à imprimer" du menu AMDEC génère un document similaire au document d'analyse (feuille active) dans lequel les noms des différents champs sont rappelés en tête de chaque page. Un saut de page est inséré systématiquement entre chaque élément de l'arborescence. Un en-tête spécifique peut être ajouté par l'utilisateur, au moyen de la commande "Mise en page" du tableur, avant d'exécuter l'impression du document.

5.2. Turbine à gaz MS-9001FA dans FAILCAB

5.2.1. Saisie de l'arborescence matérielle du produit

La commande "Arborescence" du menu AMDEC permet de saisir la décomposition matérielle (TG MS-9001FA) comme dans l'exemple ci-dessous.

	A
1	Arborescence
2	1. Turbine à gaz
3	1.1. Compresseur axial
4	1.1.1. Les paliers
5	1.1.2. Les aubes
6	1.2. Section combustion
7	1.2.1. Les tubes de flamme
8	1.2.2. Bougies d'allumage
9	1.2.3. Pièces de transitions
10	1.2.4. Les Directrices
11	1.2.5. Les injecteurs
12	1.3. Section Turbine
13	1.3.1. Les roues
14	1.3.2. Les paliers
15	

Figure 3.30 : arborescence MS-9001FA

5.2.2. Grille de saisie

La commande "Grille de saisie" du menu AMDEC permet d'afficher une grille à renseigner qui reprend les différents champs de l'AMDEC (voir exemple ci-dessous).

1.1.1. Les paliers		N° de ligne :	
Composant	# 1.1.1. Les paliers	2	<input type="button" value="Insérer"/> <input type="button" value="Supprimer"/> <hr/> <input type="button" value="Recopier"/> <input type="button" value="Rétablir"/> <hr/> <input type="button" value="Précédent"/> <input type="button" value="Suivant"/> <hr/> <input type="button" value="Fermer"/>
Mode de fonctionnement	Guider et supporter l'arbre rotorique	3	
Mode de défaillance	Haute température au niveau palier.Bruit anormal,	4	
Causes de défaillance	Mauvais lubrification d'huile, Desserrage les boulons de fixation,	5	
Effets au niveau équipement	-Blocage d'arbre Rotorique	6	
Moyens de détection	Bruit échauffement MARKVI	7	
Fréquence	3	8	
Gravité	4	9	
Probabilité	1	10	
Criticité	12	11	
Actions correctives	Vérification circuit d'huile Changement les paliers si défaillant.	12	
		13	
		14	
		15	
		16	
		17	
		18	
		19	
		20	
		21	
		22	
		23	
		24	
		25	
		26	
		27	
		28	
		29	
		30	

Figure 3.31 : Grille de saisie MS-9001FA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Composant	Mode de fonctionnement	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets au niveau équipement	Moyens de détection	Fréquence	Gravité	Probabilité	Criticité	Actions correctives
1											
2	# 1. Turbine à gaz										
3	# 1.1. Compresseur axial										
4	# 1.1.1. Les paliers	Guider et supporter l'arbre rotorique	Haute température au niveau palier Bruit anormal	Mauvais lubrification d'huile, Desserrage les boulons de fixation,	Echauffement -Blocage d'arbre Rotorique	Bruit échauffement	3	4	1	12	Vérification circuit d'huile Changement les paliers si défaillant.
5	# 1.1.2. Les aubes	engendre une diminution de la pression du fluide ou détente.	Mauvais combustion au niveau rotor ou stator	Fissure au niveau les aubes,	vibration	Bruit	2	2	1	4	Changement les aubes
6	# 1.2. Section combustion										
7	# 1.2.1. Les tubes de flamme	assurer la combustion correcte du combustible	Mauvais combustion au niveau des chambres	Manque fixation. Déformation Les tubes de flammes,	échauffement	Bruit échauffement	2	1	2	4	Ouverture la chambre de combustion et fixation les tubes de flammes. Changement Les tubes de
8	# 1.2.2. Bougies d'allumage	générer cette étincelle	Manque la flamme au niveau les chambres	Court-circuit au niveau câble, Manque tension d'arrivée sur la bougie d'allumage, Défaut au niveau transformateur d'allumage	pas démarrage de la turbine	visuel	1	2	1	2	Vérifier la tension d'arrivée sur la bougie d'allumage, Changement les câbles de connexion si court-circuit, Changement du transformateur de tension
9	# 1.2.3. Pièces de transitions	Pièce de transition pour chambres de combustion	Ecart température au niveau les 1er roue Bruit anormal	Défaillance les thermocouples de température, Manque fixation les Pièces de transitions,	Diminution de température	visuel	2	1	2	4	Changements thermocouples de température pour la 1ère roue fixation les Pièces de
10	# 1.2.4. Les Directrices	fixe à écoulement axial qui comporte une paroi tubulaire	Ecart température au niveau caisse d'échappements Fissure au niveau la Directrice 1er ou 2 eme,	Manque les ailettes au niveau la Directrice 1er ou 2 eme, Fissure au niveau les ailettes,	vibration	Bruit	2	1	1	2	Changement les ailettes au niveau la Directrice 1er ou 2 eme.
11	# 1.2.5. Les injecteurs	un élément alimenter la chambre de combustion avec l'air et de carburant pulvérisé	Mauvais combustion au niveau des chambres	Fissure au manque fixation pour les d'injecteur	Pas régulation	Indicateur de chaleur	2	2	2	8	Changements Les injecteurs,Nettoy age et fixation
12	# 1.3. Section Turbine										
13	# 1.3.1. Les roues										
14	# 1.3.2. Les paliers										

Figure 3.32 : Tableau AMDEC MS-9001FA

6. Conclusion

- Les centrales à cycle combiné sont surtout connues pour leurs rendements élevés, leur économie en énergie primaire et leur moindre niveau de pollution. A titre de comparaison, une centrale classique au gaz naturel à un rendement de l'ordre de 38% alors qu'une centrale à cycle combiné au gaz naturelle a un rendement de l'ordre de 58%. En fin les centrales à cycle combinée ont un bilan environnemental meilleur
- L'application de la méthode AMDEC, nous a permis d'apporter des explications et de proposer des solutions qui contribuent à améliorer le plan de maintenance et à identifier les éléments les plus ciblés par les pannes.

Conclusion générale

La stratégie de maintenance est l'une des fonctions qui contribuent à améliorer la prospérité des entreprises et des institutions économiques et industrielles. Par conséquent, la stratégie de maintenance la plus appropriée doit être choisie pour contrôler à la fois les coûts de maintenance, la disponibilité, l'outil de production et la qualité des produits et des services.

Notre stage pratique, à la centrale à cycle combiné de NAAMA-TOUIZA, nous a permis de suivre les performances des turbines et de suivre les tâches et interventions périodique de maintenance effectuées.

Dans le cadre de ce mémoire nous avons collecté les données techniques et les fiches d'historiques de la turbine à cycle combiné MS 9001 FA qui est considéré comme équipement stratégique. Le traitement de ces données nous a permet de connaître les sous-systèmes et les composants les plus vulnérables aux dysfonctionnements, et de développer un plan de maintenance, basé sur une étude AMDEC – Turbine MS-9001 FA pour réduire ces arrêts pour pannes et améliorer ses performances.

Nous avons aussi implanté la méthode AMDEC - Turbine MS 9001 FA dans le logiciel FAILCAB et évalué son efficacité.

Enfin, nous avons présenté des recommandations pour améliorer le plan de maintenance préventive de la turbine. Ces recommandations sont principalement basées sur la réduction de l'occurrence des pannes et donc la réduction de criticité.

Références bibliographiques

- [1] [Énergie en Algérie — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)
- [2] [Fig2.1 Schéma d'une centrale thermique \[2 \] | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)
- [3] [Centrale diesel \(riverglennapts.com\)](#)
- [4] Comment fonctionne une centrale thermique? GOOGLE
- [5] [Fonctionnement d'une centrale thermique à flamme - Paperblog](#)
- [6] Turbojet engines. (Image source: [Mech4Study](#))
- [7] SimplyScience: Une centrale à gaz, comment ça marche?
- [8] Cours en ligne et simulateur de thermodynamique appliquée > Technologies > Systèmes > Cycles combinés
- [9] [Les barrages hydroélectriques - ppt video online télécharger \(slideplayer.fr\)](#)
- [10] [La conversion de l'énergie mécanique en électricité - Manuel numérique max Belin](#)
- [11] [Photovoltaïque raccordé au réseau en Tunisie - Somabe](#)
- [12] [Quelle place pour les Centrales à Cycles Combinés Gaz dans le mix énergétique français ? \(sia-partners.com\)](#)
- [13] Documentation de La centrale Cycle Combiné de Nâama-touifza (Des photos ont été prises)
- [14] [cla.vidal.free.fr LES COMPOSANTS D'UNE TURBINE A GAZ](#)
- [15] : ‘‘Analyse métrologique de la composition du gaz combustible et de son impact dans la centrale 1227 MW, SKH ‘‘ Ingénieur Boumad Abderrahmane Fethi.
- [16] : ‘‘Calcul et dimensionnement de l'alimentation de secours des pompes d'huile turbine au sein de des pompes d'huile turbine au sein de la centrale de la centrale de la centrale de Cap-Djinet ‘‘ Melle Dj. BALOUL et Melle R. AMI
- [17] : ‘site officiel Ministère de l'énergie et des mines algérienne
- [18] : MANSOURI Naïma ‘‘Maintenance industrielle’’ Université de Batna 2 – 2021
- [19] [Strategie de Maintenance Industrielle.pdf \(legtux.org\)](#)
- [20] : Mohamed SOUSSAN & Tarik DIB ‘‘ Etude critique et propositions d'amélioration de la gestion de la maintenance - cas de l'adduction EL KANSERA’’ 2011-2012

- [21] Pr. Joseph Kélada, « L'AMDEC ». 1994
- [22] Douaba Nadji, Berouba Slimane Thème (Analyse Analytique FMD et AMDEC D'un Compresseur) Université Ouargla 2016-2017.
- [23] Polycopie FMD 2013 (Fiabilité Maintenabilité Disponibilité).
- [24] Hathat Abdelkader Deblaoui Hicham. Thème (Etude Analytique FMD D'une Tu3bine à Gaz 990) Université Ouargla 2015.
- [25] Boukhrissi Meriem Thème (AMDEC Application a La STEPD Ain Elhoutz) Université Tlemcen 2015.
- [26] AMDEC Processus
- [27] A. Villemeur, Sûreté de Fonctionnement des systèmes industriels - Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Edition EYROLLES 1988.
- [28] A. Pagès & M. Gondran, Fiabilité des systèmes - Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Edition EYROLLES 1980.
- [29] Norme internationale CEI 812, Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes— Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDEC), 1985.
- [30] Norme internationale UTE C 20-318 ou CEI 1025, Analyse par Arbre de Panne (AAP), édité par l'Union Technique de l'Electricité 1990.
- [31] [Cycle combiné — Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_combin%C3%A9)