

Sommaire

Avant propos.....	1
Remerciement.....	2
Dédicace	3
Sommaire.....	4
Liste des figures et tableaux.....	5
I. Cahier des charges.....	6
II. Introduction.....	7
III. Chapitre 1 : Présentation de l'unité d'accueil.....	8
1. Présentation de l'ONE	8
2. Présentation de la CTM	13
IV. Chapitre 2: Etude critique des ventilateurs de la DTM.....	20
1. Analyse de l'existant	20
2. Analyse des couts de l'indisponibilite des ventilateur	24
3. Analyse des causes	27
4. AMDEC	29
5. Plan d'action	68
V. Chapitre 3 : Résolution des problèmes de détecteurs de flammes	44
1. Présentation du bruleur	44
2. Définition des problèmes de détecteurs de flammes	50
3. Analyse des pertes engendrées par les détecteurs	50
4. Proposition de solution	51
5. Etude hydraulique du circuit de refroidissement	52
6. Etude technico-économique de la solution	58
VI. Conclusion générale	62
VII. Annexe	63
VIII. Bibliographie	68

Liste des figures et tableaux

Liste des tableaux

- Tableau 1 : indisponibilité des tranches
- Tableau 2 : répartition des déclenchements
- Tableau 3 : pertes es énergétiques provoqué par les ventilateurs
- Tableau 4 : cout total des indisponibilités
- Tableau 5 : couts provoqué par les pertes énergétiques
- Tableau 6 : répartitions des pertes par type de ventilateurs
- Tableau 7 : QQQCCP
- Tableau 8 : cotation des fréquences
- Tableau 9 : cotation des gravités
- Tableau 10 : cotation des détectabilités
- Tableau 11 : analyse AMDEC
- Tableau 12 : analyse par PARETO
- Tableau 13 : gamme de maintenance du palier coté bout d'arbre
- Tableau 14 : gamme de maintenance du palier coté accouplement
- Tableau 15 : gamme de maintenance de la roue
- Tableau 16 : grille multicritère
- Tableau 17 : calcul du coefficient de perte de charge par EXEL
- Tableau 18 : répartitions des dépenses

Listes des figures

- Figure 1 : organisation de l'ONE
- Figure 2 : organisation du pole production
- Figure 3 : organisation de la CTM
- Figure 4 : schéma technique de la DTM
- Figure 5 : évolution des heures d'arrêts dans la centrale
- Figure 6 : diagramme d'Ishikawa
- Figure 7 : diagramme de Pieuvre
- Figure 8 : décomposition du ventilateur d'air primaire
- Figure 9 : classification selon Pareto
- Figure 10 : photo du bruleur
- Figure 11 : circuit de refroidissement des DF
- Figure 12 : taux de rentabilité interne

Liste des abréviations

DTM division thermique de Mohammedia

TR	tranche
ONE	office nationale de l'électricité
AMDEC	analyse des modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités
MW	kilo-watt
KWh	kilo watt heure
CTM	central thermique de Mohammedia
CND	contrôle non destructive
CsF	cout de substitution fuel
CsCh	cout de substitution charbon
QOQCCP	qui, quoi,ou,qui,comment,combient,pourquoi
FP	fonction principale
FC	fonction de contrainte
Re	nombre de Rynolds
λ	coefficient de perte de charge linéaire
ζ	coefficient de perte de charge singulière
TVA	taux de la valeur ajouté
Pa	prix d'acquisition
VAN	valeur actualise nette
t	taux d'actualisation
TRI	taux de rentabilité interne
FM	contremaitre électromécanicien
F5	aide mécanicien

I. CAHIER DES CHARGES

Dans le cadre de ma formation de master sciences et techniques option : ingénierie mécanique à FST de Fès, je suis amené à effectuer un stage de fin d'étude d'une durée de 4 mois pendant le 4^{ème} semestre.

J'ai pu avoir un accord de l'Office Nationale de l'Electricité pour m'accueillir durant cette période, ce qui va me permettre de profiter du savoir faire et de l'expérience que l'office a développé durant des décennies en servant notre pays en matière de produire, transporter et distribuer l'énergie électrique nécessaire à son développement économique et sociale.

Mon sujet de stage était l'analyse des modes de défaillance des ventilateurs de la division d'exploitation de Mohammedia, les ventilateurs sont des machines aérauliques indispensable dans le processus de production de l'énergie électrique, qui nécessitent une fiabilisation maximale, et par conséquent un rendement optimale du processus

Le plan de mon stage sera comme suite :

1. **Visite du lieu**
2. **Etude bibliographique**
3. **Recensement des problèmes des ventilateurs**
4. **AMDEC**
5. **Résolution des problèmes des détecteurs de flamme**
6. **Etude technico-économique**
7. **conclusion**

II. INTRODUCTION

La maintenance industrielle est un outil primordial pour la garantie d'une disponibilité des équipements ce qui valorise cette fonction qui rend la manipulation du système industriel plus souple. C'est dans cette perspective que se situe mon projet de fin d'études qui vise la maîtrise de la fonction maintenance par le biais de l'application d'un système préventive qui permet de guider la démarche industrielle dans une voie d'augmentation des moyens organisationnels, techniques et d'information.

Véritable pôle industriel et acteur déterminant du secteur énergétique marocain, l'ONE (Office National de l'Electricité) est le seul producteur du pays de l'électricité. L'ONE exerce aussi d'autres activités telles que : la distribution et le transport de l'énergie électrique.

Avec la diversification de sources d'approvisionnements, l'ONE dispose d'une puissance totale de 5 292MW en 2007, lui permettant de satisfaire les besoins du marché national en énergie électrique.

Les ventilateurs industriels sont très présents dans le processus de production de l'énergie électrique, soit pour alimenter la chaudière en air de combustion, le transport du charbon, le refroidissement des équipements, l'étanchéité...etc.

On va effectuer une étude critique sur les ventilateurs de la division thermique de Mohammedia par, puis un dimensionnement d'un système de refroidissement des détecteurs de flammes dans la chaudière au niveau des brûleurs.

Chapitre 1 :PRESENTATION DE L'UNITE L'ACCUEIL

1. Présentation de l'Office National de l'Electricité

L'Office National de l'Electricité (O.N.E) est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière créé par dahir en 1963 et a été investi depuis cette création de l'exclusivité de la production et du transport de l'énergie électrique à travers le royaume .

Les sources de production de l'énergie électrique dont dispose l'ONE sont :

- Production hydraulique :1660 MW(50% de la production totale en 5 / 2009)
- Production thermique : 2200 MW (300 MW en cours de réalisation)
- Parc éolien : 140 MW .
- Parc solaire : 470 MW(en cours à Ain Beni Mathar).

NB :autres producteurs de l'énergie électrique :

- Centrale de JORF et TAHDART 1740 MW .
- Éolien 104 MW.
- Centrale de BNI MATHAR 470 MW
- Liaison interconnexion Maroc – Europe 700 MW
- Liaison Maroc – Maghreb arabe 200 MW (plus 400 MW en cours).

Mission de L'ONE :

Elle consiste a :

- Répondre aux besoins du pays en énergie électrique;
- Gérer et développer le réseau du transport d'énergie (reseau 60 – 225 – 400 kv);
- Planifier, intensifier et généraliser l'électrification rurale;
- Œuvrer pour la promotion et le développement des énergies renouvelables;
- Et, d'une façon générale, gérer la demande globale du secteur de l'énergie électrique.
- satisfaire dans les meilleures conditions techniques et économiques la progression de la demande en énergie, sans cesse croissante ; (le taux d'augmentation et de l'ordre de 7% par an).

- baisser les tarifs Moyenne Tension et Haute Tension pour atteindre des prix de l'énergie électrique compatibles avec les marchés concurrentiels du Maroc .
- assurer au meilleur coût la couverture financière des programmes d'investissements de plus en plus lourds et indispensables au développement de l'économie du pays .

Vision et orientations stratégiques actuelles de l'ONE :

Devant la volonté de désengagement de l'état, l'ONE s'oriente vers une approche plus ouverte et moins monopolisante, qui consiste à avoir recours :

- aux producteurs concessionnaires privés ; (usine siemens de TAHDART ,JORF voir page 2).
- à la coopération par les interconnexions des réseaux électriques avec l'europe et Maghreb arabe voir page 2 ;
- à ce qu'on appelle le financement des programmes d'économies d'électricité consistant à opter pour une politique plus rigoureuse et plus volontariste au niveau de la demande finale tout en mobilisant les consommateurs pour le financement des projets qui sont intéressants sur le plan des économies d'énergie.

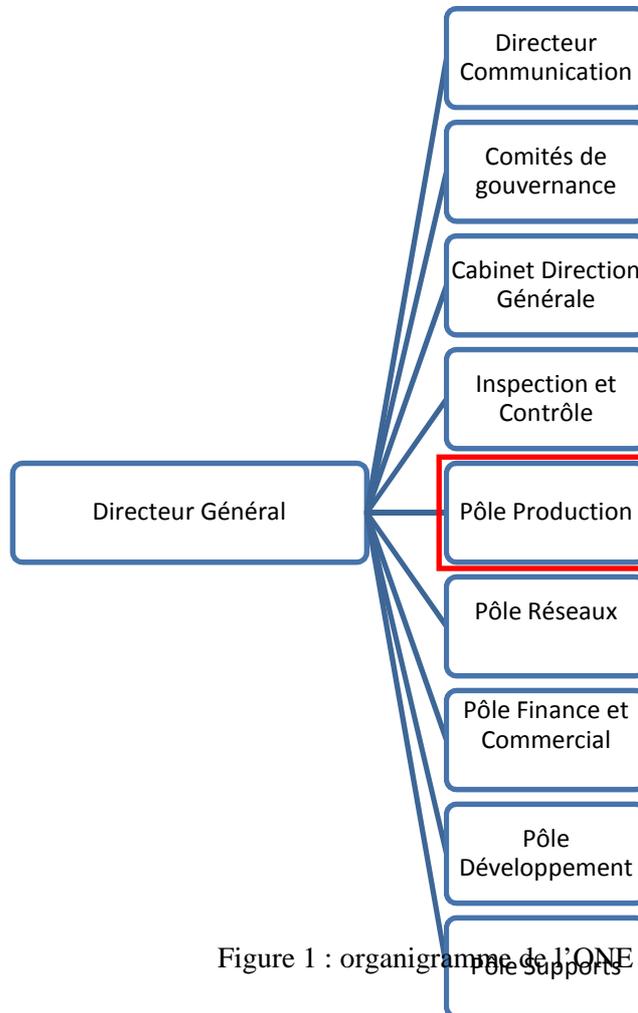
Partant de la vision de constituer de l'ONE un opérateur industriel et de service de premier plan en Afrique dans le domaine de l'énergie, ses orientations stratégiques actuelles sont définies comme suit :



- **Améliorer et enrichir les services offerts à la clientèle :**
 - ✓ Généraliser l'accès à l'électricité en 2012 (le taux d'électrification actuel et de l'ordre de 96 %) ;
 - ✓ Améliorer la qualité du service à la clientèle ;
 - ✓ Se diversifier autour des activités électriques ;
- **Développer l'expertise et mobiliser les compétences :**
 - ✓ Rechercher l'efficacité ;
 - ✓ Mettre en place une gestion anticipative et motivante des compétences ;
- **Améliorer la performance et renforcer l'efficacité :**
 - ✓ Améliorer la performance globale ;
 - ✓ Maîtriser les processus ;
- **Être proactif vis-à-vis de son environnement et du futur :**
 - ✓ Instaurer une gestion dynamique de l'innovation technologique ;
 - ✓ Valoriser les synergies avec le secteur des télécommunications ;(cooperation avec WANA)
 - ✓ Participer à la construction du marché régional de l'électricité ;
 - ✓ Renforcer l'activité Production ;
 - ✓ Accompagner le développement régional et la décentralisation ;(creation des sous directions regionales)

1. Organisation de L'ONE :

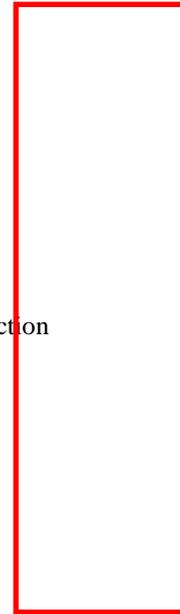
La structuration de l'ONE se présente comme suit :



La DTM fait partie du Pôle Production, dont l'organisation est la suivante :

Pôle Production

Figure 2 : organigramme du Pôle Production



2. Présentation de la CTM

Historique :

Pour satisfaire les besoins constamment en croissance en énergie électrique, l'Office National de l'Electricité a mis en place, depuis 1972 un plan d'action, qui avait pour but la construction des usines hydroélectriques pour subvenir aux besoins en énergie électrique en heures de pleines et de pointes, et des centrales thermiques dans le but d'assurer le besoin en énergie de base.

Parmi les objectifs du plan thermique de l'Office National de l'Electricité figurait le projet de construction de la Centrale Thermique de Mohammedia en quatre tranches de 150 MW chacune.

Fiche signalétique de la CTM :

- **Dénomination** : Centrale Thermique de Mohammedia
- **Siège social** : Mohammedia
- **Forme juridique** : division de l'Office National d'Electricité
- **Début des travaux de construction** : 1978
- **Date de mise en service** : octobre 1981
- **Durée de vie** : 28 ans
- **Objet social** : la production de l'énergie électrique destinée à satisfaire les besoins
- **Capacité de production** : 4 tranches d'une puissance de production unitaire de 150 MW
- **Effectif CTM** : 438 agents dont : - 46 cadres -155 maîtrises -237 exécutions.

Organigramme de la CTM :

Dans le but d'assurer la disponibilité de la production à un coût optimal, l'organisation de la DTM sous la responsabilité du directeur de la centrale, tient à remplir cette fonction, toute en en s'appuyant sur le savoir faire des différents services, ces derniers se regroupent en 3 divisions, notamment la division exploitation, technique, appui gestion (figure3), et le service contrôle de gestion.

➤ **Division Exploitation :**

La division exploitation est chargée du suivi et du maintien de la production de l'énergie électrique au meilleur coût, tout en protégeant le personnel et le matériel. C'est le service qui communique continuellement avec le dispatching national DN pour suivre la courbe de charge journalière. Dans le but d'assurer une production de 24h/24, le service adopte un système d'organisation nommé « les quarts », et elle comporte 6 services notamment :

- **Conduite:** qui a pour objet la bonne conduite les équipements et installations et veille sur l'application des consignes de l'exploitation en vigueur. Elle est aussi chargée de la sécurité dans les tranches et de la détection et de la réclamation des anomalies rencontrées.
- **Mécanique :** assure les travaux mécaniques notamment pour l'atelier machine outils, qui réalise les pièces mécaniques nécessaires pour la maintenance des équipements. D'autres part les ateliers mécanique chaufferie et machine, le premier qui s'occupe de la maintenance de la partie chaudière (ballon jusqu' l'évacuation des cendres), tandis que le 2ème traite la partie condenseur, poste d'eau, la turbine et les auxiliaires.
- **Electrique :** s'occupe de la maintenance des équipements électrique (moteurs électrique, transformateurs, éclairage), ainsi que la partie commande c.à.d. les séquences de démarrage et de sécurité (brûleurs, régulation chaudières et turbine).
- **Chaudronnerie et isolation :** ce service s'occupe du calorifugeage des conduites et des gaines en tôle et en laine de verre, aussi la réparation des charpentes détériorées et tubes percées.
- **Chimie :** le service chimie contrôle et assure la qualité des eaux, il contrôle aussi les combustibles, les huiles, garantit le respect des normes en matière du respect de l'environnement, il traite aussi la partie nettoyage chimique des installations.
- **Gestion Combustibles :** Elle est chargée de la gestion de la manutention charbon (gestion de stock, disponibilité de la manutention du charbon), parc fuel et gas-oil.

➤ **Division Technique :**

Cette division apporte un soutien énorme à l'exploitation, bien évidemment au niveau technique qu'humain, en s'organisant autour de 4 services :

- **Contrôle Performance :** Elle s'occupe de la mise au point de la combustion (réglage des paramètres, des imbrûlés...) en coordination avec la conduite, et du suivi des indicateurs de

performance des tranches (consommation spécifique, disponibilité).

- **Logistique Maintenance :** Assure la disponibilité de la logistique de maintenance nécessaire à la mise en œuvre du plan de maintenance de la Centrale au moindre coût.
- **Méthodes :** Se charge de la préparation, l'étude du travail et des offres, gestion des dossiers machines, contrôles de la disponibilité des moyens ... dans le but de garantir des conditions optimale de l'exploitation.
- **CND :** il contrôle les structures métalliques qui sont soumises à des contraintes mécaniques et thermiques, et surtout les éléments de la chaudière et de la turbine.

➤ **Division Appui gestion :**

Bien évidemment quand on parle du support technique, on doit bien mentionner l'apport des ressources humaines et financières, c'est dans ce cadre que la division Appui Gestion, et qui bien sûr renforce les fonctions :

- **Ressources humaines :** assurant tout ce qui est gestion administrative, formation, et carrière du personnel (actuellement 556 agents entre cadres, agent de maîtrises et ouvriers), gestion des moyens généraux.
- **Achat Logistique :** se charge de la procédure achat, depuis l'appelle d'offre (direct, restreint, ouvert) jusqu'à la réception des biens, et veille sur la gestion de stocks et des magasins.
- **Comptabilité :** ce service à pour mission, la tenu de la comptabilité générale dans la DTM, voir la comptabilité fournisseurs et la liquidation des factures après livraison ou sur P.V des travaux, aussi la comptabilité caisse c.à.d. les achats par caisse de la centrale.

- **Qualité sécurité :** veiller sur l'application de la politique qualité et celle de la sécurité.

➤ **service contrôle de gestion :**

Il se charge de :

- ✓ Assure l'élaboration des budgets d'investissement et de fonctionnement.
- ✓ Tableaux de bords de la Direction.
- ✓ Suivi des réalisations budgétaires.
- ✓ Analyse des écarts par rapport à l'objectif.

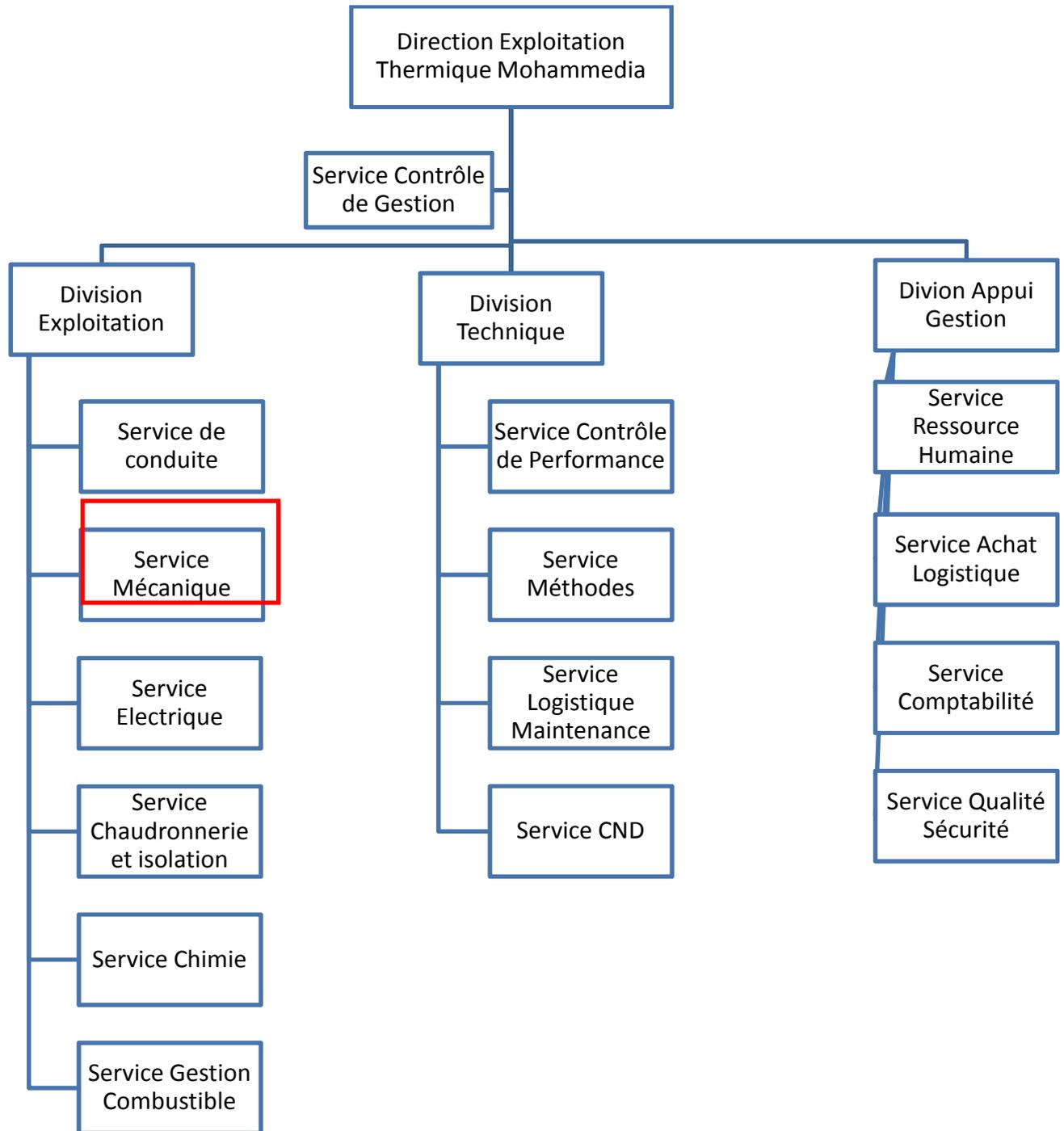


Figure 3 : organigramme de la CTM

Description technique de la D TM :

1. Introduction :

La Centrale Thermique de Mohammedia (CTM) est la deuxième centrale après la centrale de Jorf Lasfar, elle est implantée au sein de la zone de consommation électrique la plus importante du Maroc. elle se situe près de la mer pour les besoins en eaux de réfrigération, mitoyenne de la raffinerie pétrolière SAMIR, pour l'alimentation en fuel-oil, et à faible distance de la voie ferrée pour l'approvisionnement en charbon.

La CTM comporte 4 tranches de 150 MW de puissance en pleine charge chacune, dont deux tranches fonctionnent au fuel-oil et les deux autres fonctionnent au charbon.

Chaque tranche comporte le matériel principal suivant :

- **Une chaudière** à resurchauffe, à circulation naturelle du type suspendu avec ballon. Sa consommation du fuel-oil n°2 est de 32 t/h pour un débit de vapeur surchauffée de 450 t/h à 543 °C et 144 bar et un débit de vapeur resurchauffée de 403 t/h à 542 °C et 32 bar.
- **Une turbine** à six soutirage tournant à 3000 t/mn, et comportant un corps HP-MP à flux opposé et un corps BP à double flux.
- **Un alternateur** de 187,5MVA à 15KV à excitation statique à thyristor alimenté par un transformateur placé en soutirage au borne de l'alternateur et refroidi à l'hydrogène.
- **Un transformateur** principal de 15/225KV de 180 MVA raccordé par câbles au poste d'interconnexion 225 KV .

2. Principe de fonctionnement de la centrale :

Les centrales thermiques ont pour rôle de produire l'énergie électrique à partir de l'énergie calorifique dégagée par une combustion. Celle-ci est réalisée par un générateur de vapeur ou chaudière ; elle permet de transformer l'eau en vapeur et de la surchauffer pour atteindre une haute température et haute pression. Cette vapeur surchauffée se détend ensuite dans le corps haute pression (HP) de la turbine.

Elle revient dans la chaudière pour être resurchauffée et renvoyée pour se détendre dans le corps moyenne pression (MP) et basse pression (BP) de la turbine. Pendant ces détente successives, l'énergie calorifique est transformée en énergie mécanique.

A la sortie du corps basse pression, la vapeur passe dans le condenseur, qui est refroidi et l'eau retourne à l'état liquide.

Un poste de réchauffage de l'eau condensée, le poste d'eau (composé d'un certain nombre d'échangeurs ou réchauffeurs), alimenté en énergie calorifique de réchauffage par la vapeur prélevée par soutirage sur la turbine, permet de réchauffer l'eau avant de la renvoyer dans la chaudière à l'aide des pompes alimentaires.

Le cycle se produit indéfiniment puisque la vapeur et l'eau circulent dans un circuit fermé.

L'énergie mécanique disponible sur l'arbre de la turbine est transmise à un alternateur, qui la transforme en énergie électrique.

Principe de fonctionnement de la tranche :

La production de l'énergie électrique passe par trois étapes de transformation.



- ✓ **1ère transformation :** l'énergie chimique contenue dans le combustible se transforme en énergie calorifique dans la chaudière.
- ✓ **2ème transformation :** l'énergie calorifique produite par la chaudière se transforme en énergie mécanique dans la turbine.
- ✓ **3ème transformation :** l'énergie mécanique produite par la turbine se transforme en énergie électrique dans l'alternateur que l'on excite, celle-ci est ensuite évacuée au réseau à travers un transformateur élévateur.

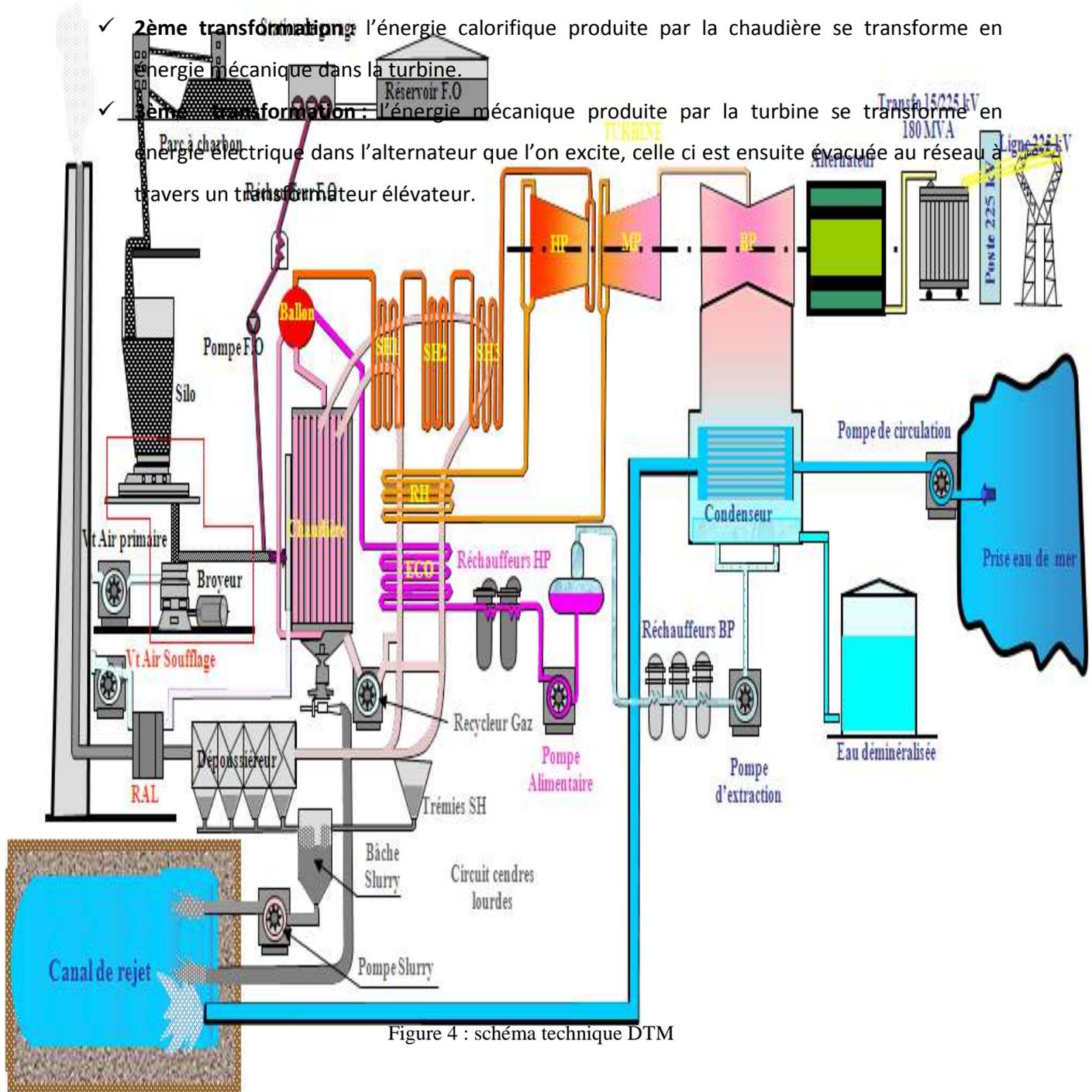


Figure 4 : schéma technique DTM



1. Chapitre 2 : Etude critiques des ventilateurs Analyse de l'existant

La centrale thermique de Mohammedia est constituée de quatre tranches, dont deux marchent en fuel et les deux autres sont mixtes (charbon /fuel).ces tranches développent une puissance de 150 MW dans chaqu'une en régime nominale, mais les défaillances survenus pour les machines critiques influencent directement la production de l'énergie électrique, par conséquent il y'a limitation de charge ou indisponibilité total de la tranche.

Les ventilateurs d'air, ayant un rôle important dans le processus de production de l'énergie électrique, sont siège de défaillances .celles-ci impliquent une indisponibilité des tranches qui peut être chiffrée en terme de manque à gagner

1. Historique des indisponibilités :

Années	Tranches	TR1	TR2	TR3	TR4
2005	Objectifs en disponibilité équivalente annuelle	70	96	92	92
	Disponibilité équivalente réalisée	53,81	78,05	81,51	66,66
2006	Objectifs en disponibilité équivalente annuelle	96	89	85	85
	Disponibilité équivalente réalisée	78,07	71,07	64,48	69,11
2007	Objectifs en disponibilité équivalente annuelle	82	84	53	72
	Disponibilité équivalente réalisée	85,76	88,88	58,54	73,18
2008	Objectifs en disponibilité équivalente annuelle	79,2	83,73	0	74,67
	Disponibilité équivalente réalisée	80,69	85,71	0	70,41
2009	Objectifs en disponibilité équivalente annuelle	89,82	82,12	0	50,43
	Disponibilité équivalente réalisée	92,76	80,01	1,33	42,6

Tableau 1 : indisponibilité des tranches dans les 5 dernières années

Remarque :

La disponibilité prévue ne peut pas être atteinte à cause des panne qui engendre plusieurs heures d'arrêts, les tranche sont affecte principalement par les limitations de charge, visite systématique et de plusieurs problèmes technique tel que :

- ✚ Les percements chaudières
- ✚ Percement tube écran
- ✚ Déclenchements du ventilateur de l'air primaire
- ✚ Equilibrage turbine



2. Déclenchement des tranches

Années	Désignation	TR1	TR2	TR3	TR4	Centrale
2005	Nombre des déclenchements	3	13	7	12	35
	Total heures d'arrêt	36	134	38	102	310
2006	Nombre des déclenchements	8	10	13	2	33
	Total heures d'arrêt	41	71	67	8	187
2007	Nombre des déclenchements	9	9	2	4	24
	Total heures d'arrêt	57	31	13	19	120
2008	Nombre des déclenchements	2	10	0	12	24
	Total heures d'arrêt	29	47	0	73	150
2009	Nombre des déclenchements	8	11	7	15	41
	Total heures d'arrêt	50	57	62	64	233

Tableau 2 : répartition des déclenchements des tranches

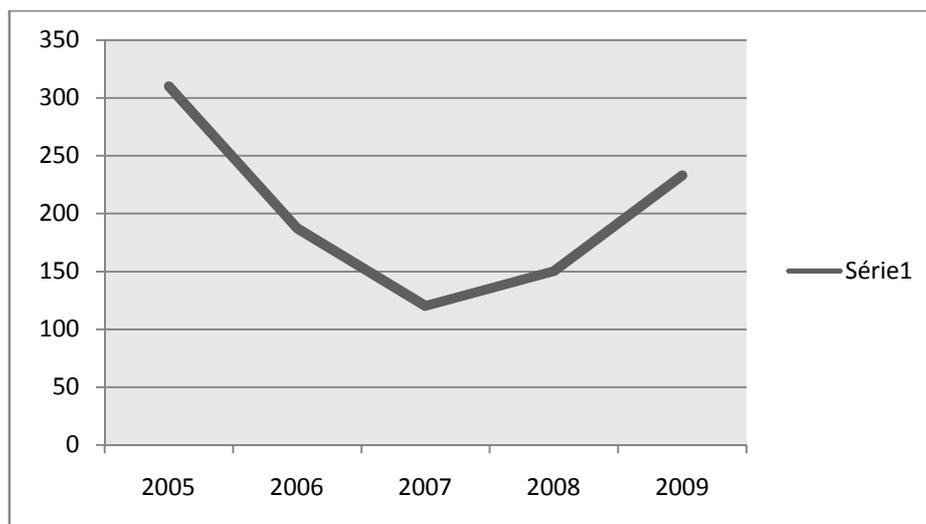


Figure 4 : évolutions des heures d'arrêts du centrale

Remarque :

Plusieurs heures d'arrêts ont été enregistrés sur les 4 tranches durant ces 5 dernières années avec un maximum au niveau de la centrale en 2005 avec 187 heures, on trouve la tranche 2 en premier lieu avec 71 h d'arrêts

3. Analyse des pertes causées par les ventilateurs dans Les 4 tranches



A partir des informations fournies par le service contrôle de performance on a pu tirer les informations concernant les pertes causées par les ventilateurs dans les 5 dernières années au niveau de la centrale.

	DESIGNATION	En MWh	En %
2005	Défaut ventilateur de soufflage	495	5.56
	Débit air de combustion G	270	3.27
	Défaut ventilateur air primaire 3B	1135	13.75
	Défaut ventilateur air primaire 3A	413	5
	Ventilateur air primaire 4A	571	6.92
	Ventilateur air primaire 4B	5373	65.07
	TOTAL	8257	100
2006	Pompage air de combustion T1	65	0.20
	Déclenchement ventilateur soufflage droit T1	48	0.15
	Fuite de gaz par gaine ventilateur de recyclage 2B T2	811	2.45
	Ventilateur de soufflage 2B T2	6649	20.10
	Défaut ventilateur air primaire 3B T3	1006	3.04
	Vibrations ventilateur de soufflage 3A T3	1841	5.56
	Défaut registre ventilateur air primaire 4B T4	7390	22.34
	Ventilateur air primaire 4B T4	7103	21.47
	Ventilateur de soufflage 4B T4	139	0.42
	Coincement FCV42 "Air primaire G" T4	488	1.48
	Ventilateur air primaire 4A T4	7535	22.78
	TOTAL	33083	100
2007	Arrêt ventilateur de soufflage 1A T1	280	1.93
	Arrêt ventilateur de recyclage 1A et présence des vibrations hautes sur 1B T1	561	3.86
	Travaux sur débit air Gauche T2	195	1.34
	Déclenchement ventilateur soufflage 2A T2	94	0.65
	Déclenchement ventilateur de soufflage 4A T3	170	1.17
	Déclenchement ventilateur de soufflage 4B T3	60	0.41
	Fermeture FCV 34 (Aspiration registre Vt Soufflage D bloqué) T4	364	2.50
	Vibrations ventilateur air primaire 4A T4	3334	22.94



	Arrêt ventilateur air primaire 4A suite au montée de la Température du palier T4	195	1.34
	Registre FCV 54 bloqué (Débit air primaire) T4	39	0.27
	Indisponibilité ventilateur air primaire 4B T4	9240	63.58
	Total	14532	100
2008	Arrêt ventilateur de recyclage 1A et présence des vibrations hautes sur 1B T1	359	35.40
	Déclenchement ventilateur soufflage 2A T2	276	27.21
	Déclenchement ventilateur de soufflage 4A	31	3.05
	Déclenchement ventilateur air primaire 4B	170	16.76
	Arrêt ventilateur air primaire 4A	178	17.55
	Arrêt ventilateur air primaire 4A et travaux sur FCV 33	65	6.75
	TOTAL	1079	100
2009	Saturation des registres air FCV33 et FCV34	903	21.6
	Travaux sur ventilateur air 2A (FCV 33)	142	3.39
	Déclenchement ventilateur soufflage 2A	55	1.13
	Défaut ventilateur air primaire 4A	3081	73.69
	TOTAL	4181	100

Tableau 3 : pertes énergétiques provoquées par les ventilateurs

Remarque

Les ventilateurs les qui ont causé la plus grande partie des ces pertes sont :

- Le ventilateur d'air primaire,
- le ventilateur de soufflage
- le ventilateur de recyclage des gaz.

La plus grande quantité de ces pertes a été enregistrée en 2006 avec 33083MWh.

III. Analyse des couts produits par l'indisponibilité des ventilateurs

1. Evolution des arrêts en heurs dans la centrale



Année	T1 +T2 (tranche à Fuel)	T3+T4 (tranche à charbon)	Coûts totale En million de dirhams(MDH)
2005	170	140	18459,00
2006	112	75	10679,85
2007	88	32	6076,80
2008	76	73	9147,15
2009	107	126	14874,30

Tableau 4 : coûts totale des indisponibilités

Cout de substitution CTM

Tranche de Mohammedia fuel :

L'énergie non produite correspondante à 1% d'indisponibilité fortuite est de l'ordre de 12.3GWh.
Elle sera substituée par les turbines à gaz et engendra un surcoût avoisinant 3,1MDH

Coûts de substitution : 3,1 MDH / 12.3GWh = 0,252DH/KWh

Tranche de Mohammedia charbon :

L'énergie non produite correspondante à 1% d'indisponibilité fortuite est de l'ordre de 12.3GWh.
Elle sera substituée par les turbines à gaz et engendra un surcoût avoisinant 7MDH

Coûts de substitution : 7 MDH / 12.3GWh = 0,573DH/KWh

Remarque

le coût globale de l'indisponibilité engendré par les arrêts de la tranche suite au déclenchement est calculé par la formule suivante :

$$C_t = (\text{heurs T1+T2}) * 150 * C_s F + (\text{heurs T3+T4}) * 150 * C_s Ch$$

Avec :



C_t : couts globale des arret en million de dirhams

C_sF : Couts de substitution fuel en DH/KWh

C_sCh : Couts de substitution charbon DH/KWh

150 MW : production de chaque tranches

2. Analyse des pertes énergétiques causées parles ventilateur

année	total des pertes causé par les ventilateurs en KWh	Couts de ces pertes En KDH
2005	8257	4731,261
2006	33083	18956,559
2007	14532	8326,836
2008	1079	618,267
2009	4181	2395,713

Tableau 5 : couts provoqué par les pertes énergétique

Remarque

Le manque à produire en énergie électrique coursés par les arrêts des 4 tranche de la centrale sera compensé par la production de cette énergie par les turbine a gaz ce qui va être plus couteux

3. Répartition des pertes par type de ventilateur

Ventilateur de soufflage	Ventilateur d'air primaire	Ventilateur de recyclage Gaz
11032MWh	1181327MWh	1731MWh
0.92%	<u>98.92%</u>	0.14%



Tableau 6: répartition des pertes par type ventilateur

Conclusion

Le ventilateur de l'air primaire est le responsable de 98% des pertes énergétiques avec 1181327MWh d'énergie perdu il est le principale facteur de l'indisponibilité et des pertes dans la centrale il doit avoir une grand importance de la part du service responsable de la maintenance La faible fiabilité du ventilateur de l'air primaire est du a son environnement de travaille car il transporte le charbon pulvérisé à partir du broyeur vers la chaudière les grains du charbon frappent les aube de la roue du ventilateur et dégage de la matière par effet de l'érosion ce qui engendre un déséquilibre de la roue puis des problèmes de vibration au niveau des paliers.

IX. Analyse des causes :

Q.Q.O.Q.C.C.P. :

Objectifs : Formaliser le descriptif d'un problème, d'une action ou d'une activité.

Principe : Cet outil oblige à un questionnement exhaustif. Il est très précieux pour s'assurer qu'aucune ambiguïté ne subsiste. C'est un anti flou redoutable.

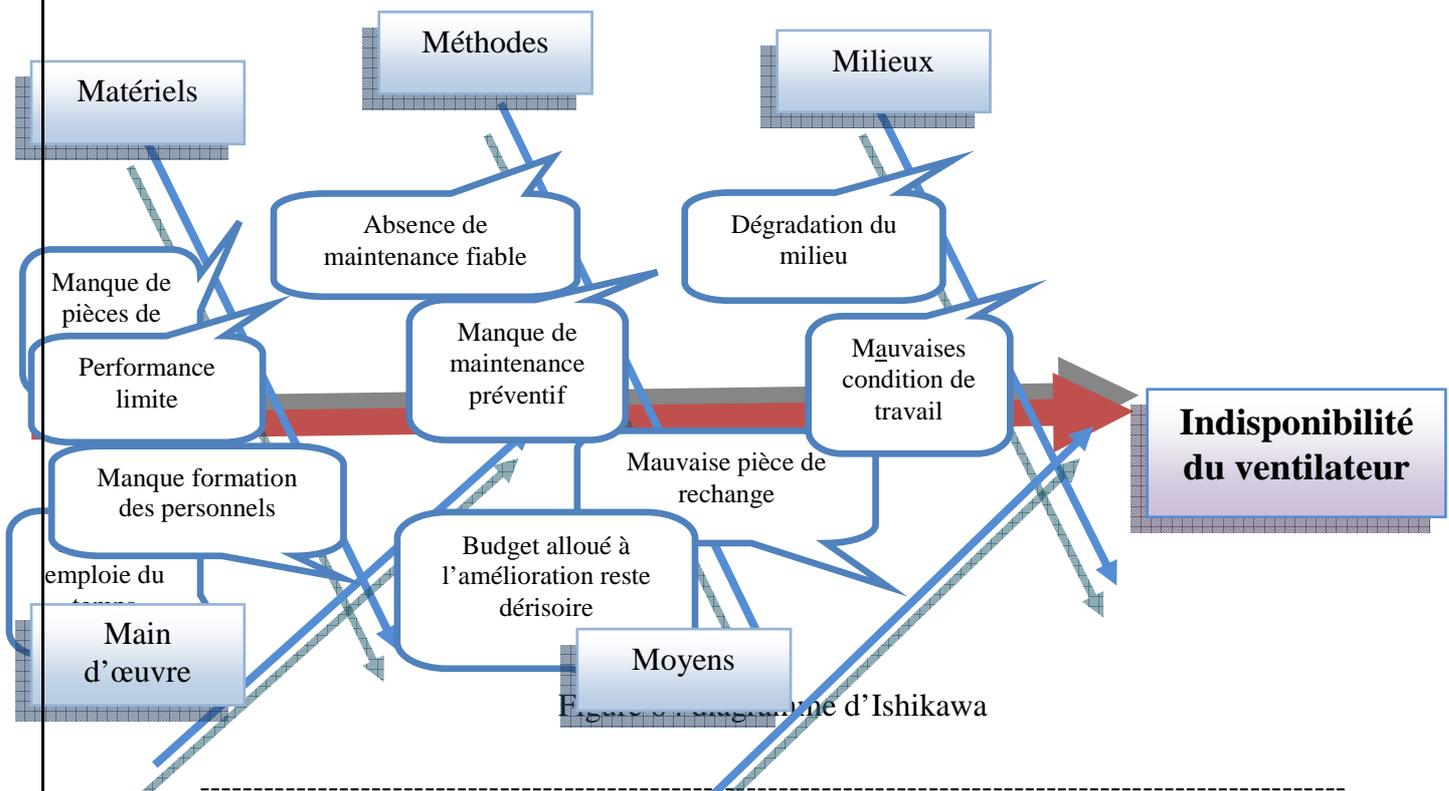
	Description	Précisions
Quoi	Nature du problème	Il s'agit des problèmes sur les VENTILATEUR généralement causé par : Gradient de température; déséquilibre vibration ; défaut d'alignement;
Qui	Sujets concernés par le problème	<ul style="list-style-type: none">• Les personnes concernées : Dans l'ONE c'est le service mécanique ; En dehors c'est le réseau électrique ;• Le responsable : c'est la mauvaise gestion de la maintenance



Où	Localisation du problème	<ul style="list-style-type: none"> • au niveau des ventilateurs ; • L'étendue du problème : l'arrêt de la tranche ; • Le périmètre affecté : tranche, CTM, le réseau nationale d'énergie électrique;
Quand	Période	- A partir de 2005 jusqu'à 2009
Comment	Détection et mesure du problème	<ul style="list-style-type: none"> • Localement : capteurs, vibration, échauffement. • Bloc de commande • Déclenchement de la tranche
combien	Coût du problème	• Le manque à gagner s'élargi sur une fourchette qui atteint une moyenne de 10 M DH par an ;
Pourquoi	Intérêt de traiter le problème	<ul style="list-style-type: none"> • Pour diminuer les pertes améliorer la fiabilité des ventilateurs • Garantir l'alimentation permanente en énergie électrique au réseau nationale

Tableau 7 : QQQCCP

Diagramme causes-effets « Ishikawa » :





Remarque

Le diagramme d'Ishikawa est un outil de qualité très important qui nous permet de générer le un grand nombre de causes qui engendrent un effet bien déterminé , car les cause sont repartis sur les 5M ce qui aide à une visualisation globale du problème.

4. L'ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES DE LEUR EFFETS ET DE LEUR CRITICITES AMDEC :

Présentation de l'AMDEC :

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe, très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant du groupe de travail. Cette méthode fait ressortir les actions à mettre en place.

Cette méthode permet donc de chercher systématiquement :

- Mode de défaillance d'un moyen de production (par exemple : perte d'une fonction, dégradation dans la réalisation d'une fonction, réalisation intempestive de la fonction).
- Causes de défaillance générant les modes de défaillance. ces causes peuvent se situer au niveau des composants du moyen de production ou être dues a des sollicitations extérieures
- Conséquences des défaillances sur le moyen de production, sur son environnement, sur le produit ou sur l'homme
- Moyens de détection pour la prévention et la correction des défaillances

Etape pour l'élaboration de l'AMDEC :

Phase1 : constitution du groupe de travail.

Phase2 : préparation des supports.

Phase3 : décomposition fonctionnelle.

Phase4 : analyse des modes de défaillances et de leurs effets.

Phase5 : hiérarchisation des défaillances.



Phase6 : définition des actions préventive.

a. Constitution du groupe de travail :

L'AMDEC fait appel à l'expérience, pour rassembler toutes les informations que détiennent les uns et les autres, mais aussi pour faire évoluer les conclusions que chacun en tire et éviter que tous restent sur leur a priori.

On a très souvent intérêt à faire cette analyse en groupe de travail.

Les méthodes de travail en groupe doivent être connues et pratiquées afin d'assurer une efficacité optimale en groupe. C'est un critère de réussite essentiel.

Le groupe de travail comporte le chef d'atelier, chef d'équipe et le responsable de la GMAO

b. Préparation et mise au point des fiches de travail :

Avant d'entamer l'étude AMDEC, le groupe de travail doit préparer les documents suivants :

Manuels et dossiers machines, Tableaux AMDEC pour la saisie, Grilles de cotation.

c. Barème de cotation :

L'élaboration d'un barème de cotation permet d'établir un référentiel unique pour l'évaluation des défaillances. Cette cotation diffère suivant les critères suivants :

- Le référentiel de cotation de l'entreprise,
- L'expérience des responsables,
- Le niveau de qualité souhaité.

Le système de cotation permet de :

- Faire ressortir le degré de criticité de chaque type de défaillance par la définition de trois paramètres : la fréquence d'apparition, sa gravité et sa détection,
- Homogénéiser la cotation par l'utilisation du barème,
- Classer les causes de défaillance pour localiser les plus critiques.

Les paramètres utilisés pour l'élaboration du barème sont définis comme suit :

- Fréquence F : représente le risque que la cause potentielle de la défaillance survienne et qu'elle entraîne le mode de défaillance considéré. Cet indice exprime le nombre de défaillance de l'élément sur une période donnée,
- Gravité G : il se réfère à la gravité ou sévérité de l'effet de chaque défaillance, tel que ressenti par l'utilisateur. Donc cet indice est lié à l'effet de la défaillance,



- Détection D : représente la probabilité que la cause ou le mode de défaillance soit décelé par l'opérateur. Cette notion dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable et d'autre par de moyen de détection mis en œuvre au moment de l'étude.

La criticité correspond au produit de ces indices et a pour but d'hierarchiser les défauts potentiels :

$$C = F * G * D$$

Les critères de notation seront estimés à l'aide des tableaux suivants :

Fréquence :

<i>Cotation</i>	<i>Définition</i>
Fréquence très faible : 1	Défaillance pratiquement inexistante, fréquence d'apparition supérieure à 6 mois
Fréquence faible : 2	Défaillance rarement apparue, fréquence d'apparition entre 3 mois et 6 mois.
Fréquence moyenne : 3	Fréquence occasionnellement apparue, fréquence d'apparition entre 1 mois et 3 mois.
Fréquence forte : 4	Défaillance fréquemment apparue, fréquence d'apparition inférieure a un moi.

Tableau 8 : cotation des fréquences

Gravité :

<i>Cotation</i>	<i>Définition</i>
Gravité mineur : 1	Aucune dégradation notable du matériel temps d'intervention inférieure à une 1h.
Gravité significative : 2	Remise en état de courte durée ou une petite réparation inférieure à 3h.
Gravité moyenne : 3	Défaillance nécessitant une intervention de longue durée entre 3h et 5h.
Gravité majeur : 4	Intervention nécessitant des moyens coûteux et mettant en jeu une vie humaine.

Tableau 9 : cotation des gravités

Détection :

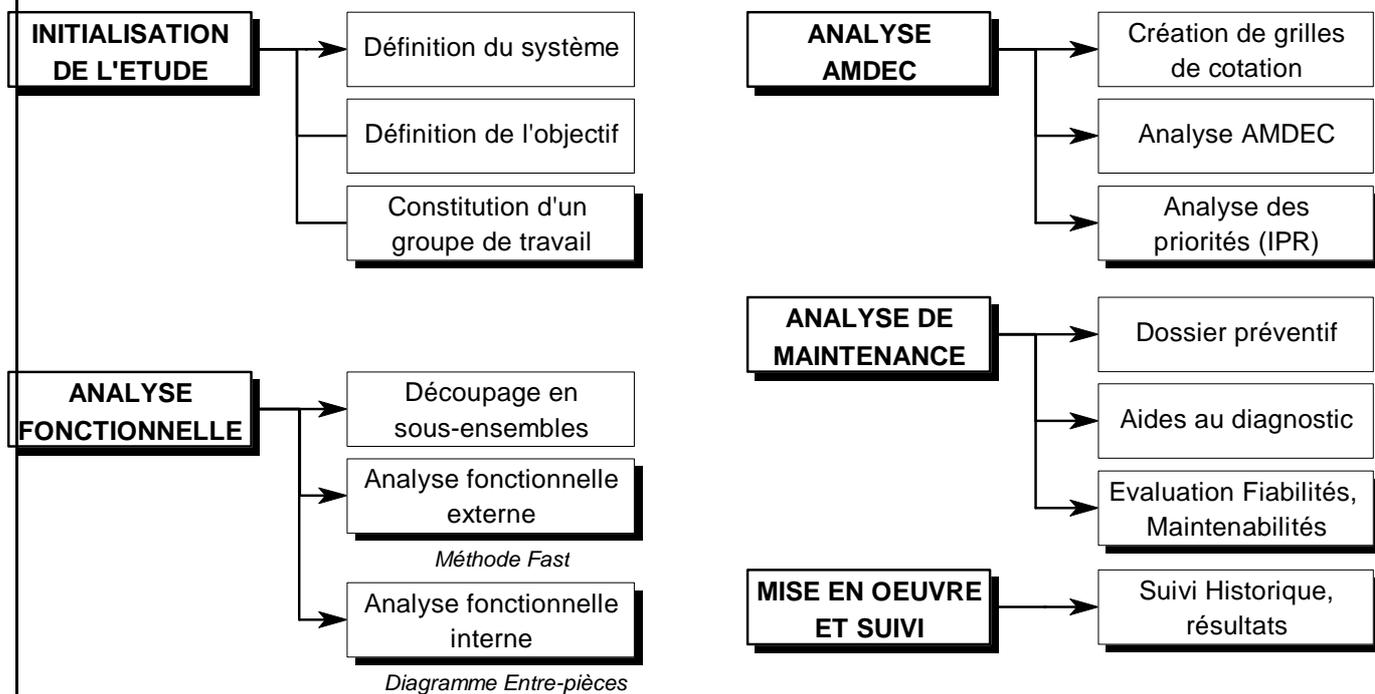
<i>Cotation</i>	<i>Définition</i>
-----------------	-------------------



Détection évidente : 1	Défaillance précocement détectable
Détection possible : 2	Défaillance détectable
Détection improbable : 3	Défaillance difficilement détectable
Détection impossible : 4	Défaillance indétectable

Tableau 10 : cotation des détectabilités

Méthodologie de l'AMDEC



d. Décomposition fonctionnelle :

Pour analyser les défaillances d'un système, il est nécessaire auparavant de bien identifier à quoi doit servir ce système : c'est à dire de bien identifier toutes les fonctions que ce système doit remplir durant sa vie de fonctionnement et de stockage

A partir de l'analyse fonctionnelle, on pourra mener deux études d'aspects différents

- Aspect économique : l'analyse de la valeur
- Aspect technique : l'AMDEC



Cela nous permettra d'aboutir à une synthèse nous donnant une solution fiable sur le plan technique ainsi que sur le plan économique ; l'analyse fonctionnelle est strictement nécessaire pour construire avec rigueur. [2]

1. Constitution d'un groupe de travail :

Nous avons eu recours à la réunion d'un groupe de travail pluridisciplinaire composé du service contrôle de performances, service contrôle et commande, section mécanique, section électrique et service d'exploitation.

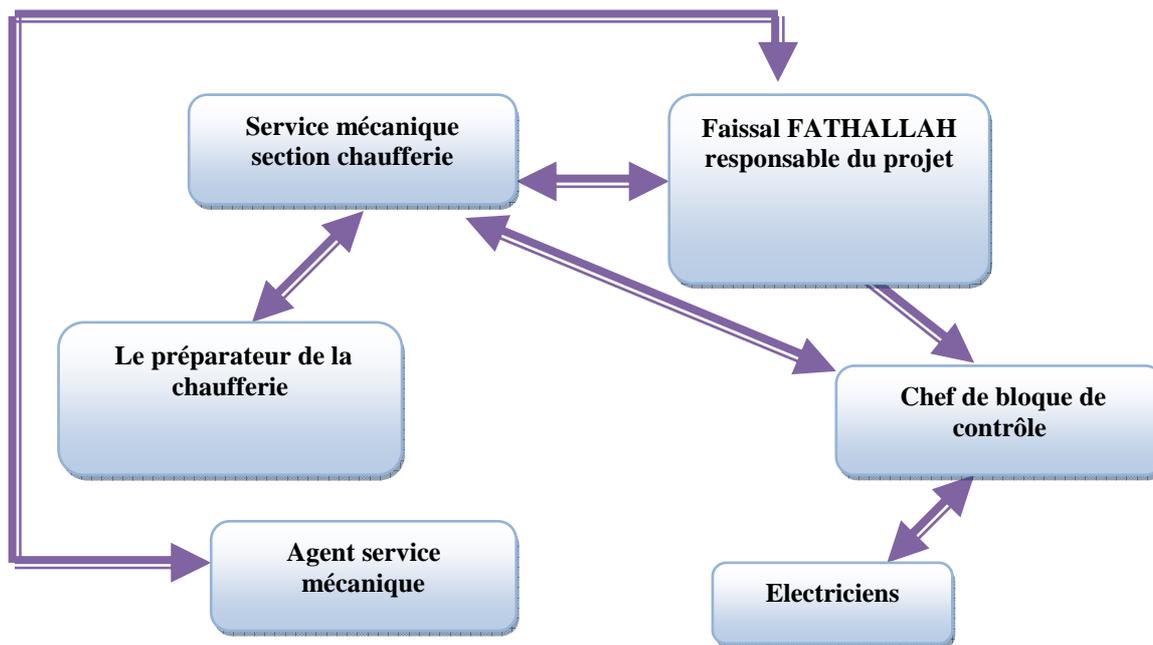


Figure 3.2 : Constitution du groupe de travail

↔ : Relation d'échange d'information

2. Description fonctionnelle :

- Analyse fonctionnelle externe :

Principe de construction :



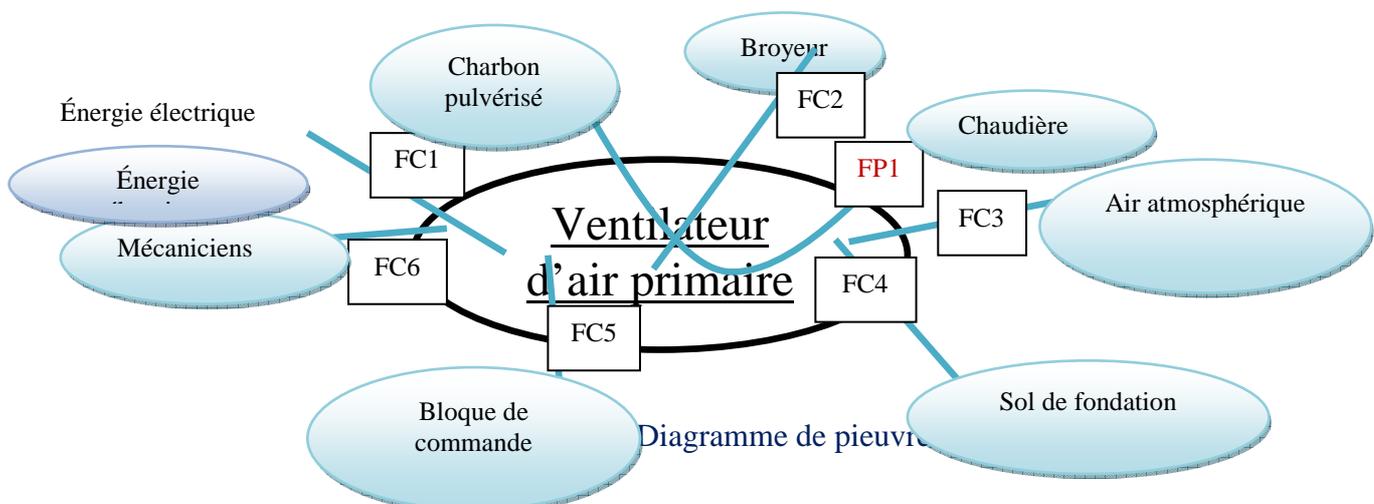
- ✓ Déterminer l'objet à étudier.
- ✓ Déterminer les milieux extérieurs en contact avec le sujet.
- ✓ Identifier à quel milieu extérieur le sujet rend service. Et identifier sur quel milieu extérieur le sujet agit. (fonctions principales, fonctions de contraintes)
- ✓ Identifier tous les critères de valeur associés à chaque FP et à chaque FC,

Principe de construction :

- ✓ Déterminer l'objet à étudier.
- ✓ Déterminer les milieux extérieurs en contact avec le sujet.
- ✓ Identifier à quel milieu extérieur le sujet rend service. Et identifier sur quel milieu extérieur le sujet agit. (fonctions principales, fonctions de contraintes)
- ✓ Identifier tous les critères de valeur associés à chaque FC et à chaque FP, le cahier des charges fonctionnel doit contenir les :

- Les fonctions principales.
- Les fonctions de contraintes.
- Les critères de valeurs.

3. Diagramme de PIEUVRE



Le ventilateur d'air primaire devra réaliser les fonctions suivantes :



Fonctions Principales :

FP1 : transport du charbon pulvérisé vers la chaudière.

Fonctions de contraintes :

FC1 : alimenter le ventilateur en énergie électrique

FC2 : le broyage du charbon

FC3 : supporter le charbon pulvérisé lors du transport

FC4 : supporter le capot du ventilateur

FC5 : commander la marche du ventilateur

FC6 : assurer la disponibilité du ventilateur

Décomposition du ventilateur de l'air primaire

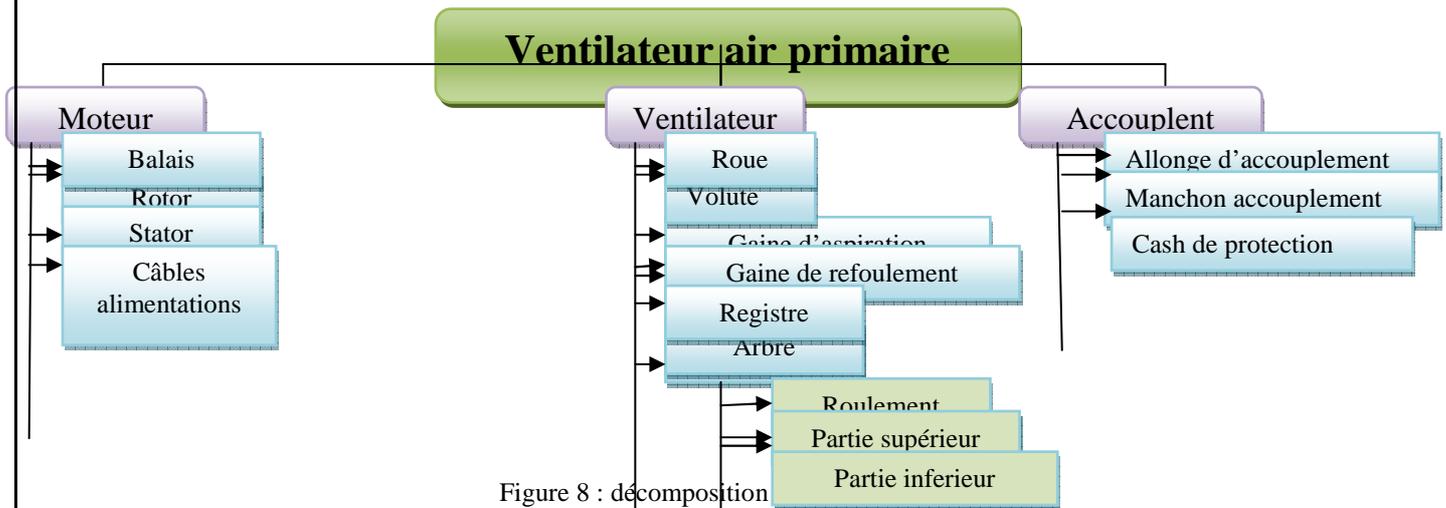


Figure 8 : décomposition

Analyse AMDEC du ventilateur de l'air primaire

Après avoir effectué un brainstorming avec le groupe de travail on a abouti à attribuer à chaque élément sa fréquence d'occurrence, sa gravité et son facteur de non détectabilité.

Ces données nous permis de déterminer la criticité de chaque élément.

Eléments	fonctions	Modes défaillance	causes	effets	détections	F	G	D	C
Moteur électrique	Entrainement ventilateur	Echauffement	surcharge	Déclenchement	Bloc commande	2	3	1	6
Câbles électriques	Alimentation moteur	Court-circuit	Usure de l'isolation	incendie	fumée	1	2	1	2
Manchon accouplement	Accouplement Moteur vent	Détérioration des dents Désalignement	Frottement Surcharge Vibration	Jeux intense	Bruit	4	2	3	24
Allonge accouplement	Liaison manchons	Usure Torsion déformation	fatigue	Jeux intense	bruit	2	1	2	4
Palier moteur	Guidage en rotation arbre moteur	Endommagement Usure Grippage	Fatigue -Vibration -Manque de lubrification	Jeux intense	Bruit Echauffement	1	2	2	4



Arbre moteur	Transmettre mouvement	Déformation Usure Flambage Désalignement Torsion	Chocs Frottement Surcharge Vibration	Mauvais fonctionnement -Vibration	Bruit vibration	1	3	2	6
Balais	Commutation courant	usure	frottement	Déclenchement moteur	Bloque commande	1	2	3	6
Roue	Augmenter la vitesse du fluide	Déséquilibre	Usure Erosion	Vibration intense	Bruit échauffement	3	4	4	48
Volute	Isoler la roue	Fuite externe	corrosion	Perte de charge	bruit	2	3	2	12
Registre	Motoriser les volets	Ne reste pas en position. Ne s'ouvre pas	Usure commande	Débit aléatoire	Bloque commande	1	2	2	4
Volets	Régler le débit	Casse Déréglage	Choc avec charbon	Débit aléatoire	Bloque commande	2	1	2	4
Arbre ventilateur	Transmission mouvement	Déformation Usure Flambage Désalignement Torsion	Chocs Frottement Surcharge Vibration	Mauvais fonctionnement -Vibration	Bruit vibration	3	4	2	24
Porte de visite	Inspection roue	fuite	Desserrage boulon	Perte de charge Et fuite charbon	Charbon bruit	2	1	3	6
Palier et Roulement ventilateur coté accouplement	Guidage en rotation	Endommagement -Usure - grippage	-Fatigue -Vibration -Manque de lubrification	-Mauvais fonctionnement -Vibration -Dégradation des roulements	-Bruit Echauffement	4	4	4	64
Palier et Roulement ventilateur coté Bout d'arbre	Guidage en rotation	Endommagement -Usure - grippage	-Fatigue -Vibration -Manque de lubrification	-Mauvais fonctionnement -Vibration -Dégradation des roulements	-Bruit Echauffement	4	4	4	64
Feutre du palier	Etanchéité huile	grillé	Chaleur frottement	Echauffement palier	Fuite d'huile	1	2	4	8
Joint de palier	Etanchéité poussière	endommagé	Corps étranger	Pénétration poussière	Bruit échauffement	2	3	1	6
Sonde température et vibration	Mesure du température et vibration	Usée Endommagé	Vibration casse	Absence de données	Bloque commande	1	1	1	1

Tableau11 : analyse AMDEC



Analyse par diagramme de PARETO

Eléments	criticité	%	% cumulé
Palier et Roulement ventilateur coté accouplement	64	21,8	22
Palier et Roulement ventilateur coté Bout d'arbre	64	21,8	44
Roue	48	16,4	60
Arbre ventilateur	24	8,2	68
Manchon accouplement	24	8,2	76
Volute	12	4,1	81
Feutre du palier	8	2,7	83
Moteur électrique	6	2	85
Arbre moteur	6	2	87
Balais	6	2	89
Porte de visite	6	2	91
Joint de palier	6	2	94
Allonge accouplement	4	1,4	95
Palier moteur	4	1,4	96
Registre	4	1,4	98
Volets	4	1,4	99
Sonde température et vibration	1	0,3	100,00



TOTAL	293	100,00	
-------	-----	--------	--

Tableau 12 : analyse par Pareto

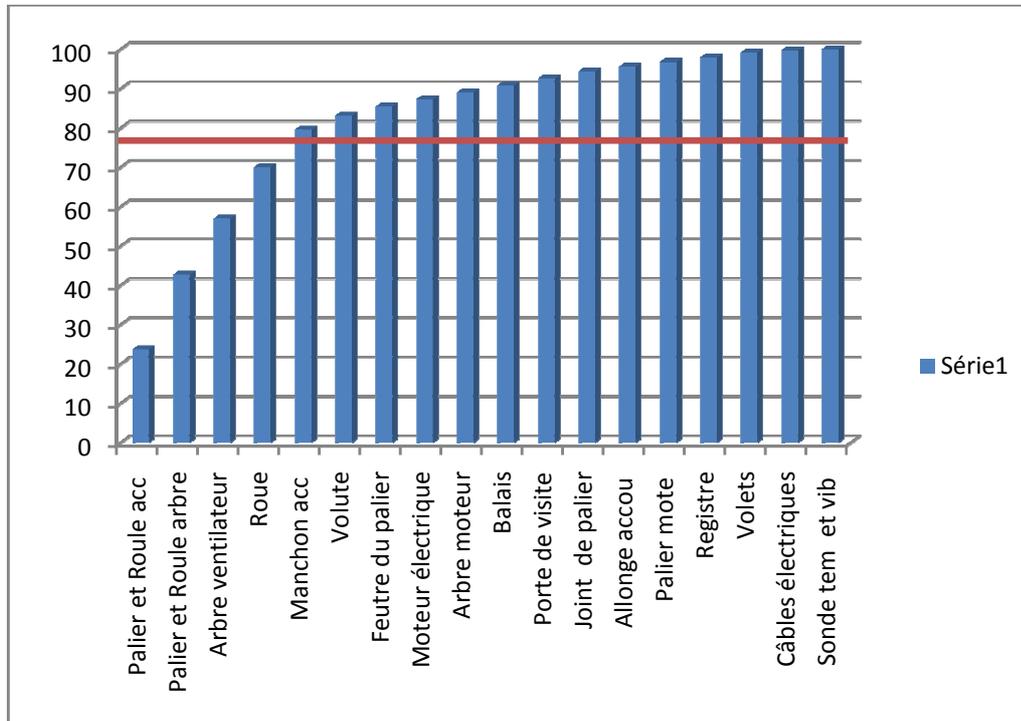


Figure 10 : Classification selon le diagramme de Pareto

Interprétation :

D'après le graphe ci-dessus on constate que les équipements qui ont le plus important influence sur la fiabilité et la disponibilité du ventilateur de l'air primaire sont :

- ✚ **Palier et Roulement ventilateur coté accouplement,**
- ✚ **Palier et Roulement ventilateur coté Bout d'arbre**
- ✚ **Manchon accouplement**
- ✚ **Arbre ventilateur**
- ✚ **Roue**
- ✚ **Volute**

Dont il faudra agir prioritairement en appliquant un programme de maintenance préventive. En faisant appel à la compétence technique des agents de maintenance et à l'expérience des exploitants qui nous sera utile à l'identification des causes de ces défaillances.



5. Plan d'action

Pour remédier aux défaillances provoquées par les éléments les plus critiques, déterminé ci-dessus à l'aide de l'outil AMDEC, nous avons proposé d'établir des gammes de maintenance pour ces éléments, dans le but d'augmenter leur fiabilité par l'élimination des causes de leurs défaillances.

Cela amènera à une meilleure rentabilité et une disponibilité maximale du ventilateur d'air primaire.



Tableau 13 : gamme de maintenance du palier coté accouplement

Maintenance préventive Plan de maintenance		Unité de production : ventilateur d'air primaire		
Gamme du palier coté accouplement				
Codification	Description	Qualification	Nbre	Durée
0010	Consignation	FM	1	0 :30
0011	Nettoyage et dépoussiérage extérieur	F5	2	1h
0012	Dépose de la rallonge d'accouplement	F5	2	2h
0013	Vidange d'huile palier	F5	2	2h
0014	Démontage du circuit d'eau de refroidissement	F5	2	3h
0015	Dépose du chapeau supérieur du palier	F5	2	1h
0016	Extraction du manchon d'accouplement	F5	2	1h
0017	Démontage de l'écrou et extraction du roulement	F5	2	2h
0018	Nettoyage de la soie de l'arbre et remplacement joint	F5	2	0 :30
0019	Emmanchement du roulement âpre chauffage	F5	2	2h
0020	Serrage de l'écrou de freinage	F5	2	1h
0021	Remontage du chapeau supérieur du palier et relevé du pincement entre chapeau et diamètre supérieur du roulement (ajustement $0^{+0,02}$)	F5	2	2h
0022	Remontage de la rallonge	F5	2	1h
0023	Remontage du circuit d'eau de refroidissement	F5	2	1h
0024	Remplacement d'huile	F5	2	1h
0025	Accouplement du ventilateur et moteur	F5	2	2h
0026	Reprise d'alignement	F5	2	1h
0027	Essai	F5	2	1h
0028	Déconsignation	FM	1	0 :30

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Maintenance préventive Plan de maintenance		Unité de production : ventilateur d'air primaire		



Gamme du palier coté bout d'arbre				
Codification	Description	Qualification	Nbre	Durée
0010	Consignation	FM	1	0 :30
0011	Nettoyage et dépoussiérage extérieur	F4	2	1h
0013	Vidange d'huile palier	F5	2	2h
0014	Démontage du circuit d'eau de refroidissement	F5	2	2h
0015	Dépose du chapeau supérieur du palier	F5	2	3h
0016	Démontage de l'écrou et extraction du roulement	F5	2	1h
0017	Nettoyage de la soie de l'arbre et remplacement joint	F5	2	1h
0018	Emmanchement du roulement âpre chauffage	F5	2	2h
0019	Serrage de l'écrou de freinage	F5	2	0 :30
0020	Remontage du chapeau supérieur du palier et relevé du pincement entre chapeau et diamètre supérieur du roulement (jeu 0,02mm)	F5	2	2h
0021	Remontage de la rallonge	F5	2	1h
0022	Remontage du circuit d'eau de refroidissement	F5	2	2h
0023	Remplacement d'huile	F5	2	1h
0024	Reprise d'alignement	F5	2	1h
0025	Essai	FM	1	0:30

Tableau 14 : Gamme de maintenance du palier coté bout d'arbre

Maintenance préventive Plan de maintenance				
		Unité de production : ventilateur d'air primaire		
Gamme de la roue				
Codification	Description	Qualification	Nbre	Durée
0010	Consignation	FM	1	0 :30
0011	Nettoyage et dépoussiérage extérieur	F5	2	1h



0012	Ouverture de la porte de visite	F5	2	0 :30
0013	Contrôle d'excentricité de l'arbre par comparateur (excentricité ne doit pas dépasser 0,02 mm)	F5	2	2h
0014	Contrôle d'équilibrage de la roue	F5	2	3h
0015	Contrôle du jeu entre roue et volute d'aspiration	F5	2	1h
0016	Contrôle du registre d'aspiration	F5	2	1h
0017	Fermeture de la porte de visite	F5	2	0:30
0018	déconsignation	FM	1	0 :30

Tableau 15 : Gamme de maintenance de la roue

IV. Résolution du problème des détecteurs de flammes

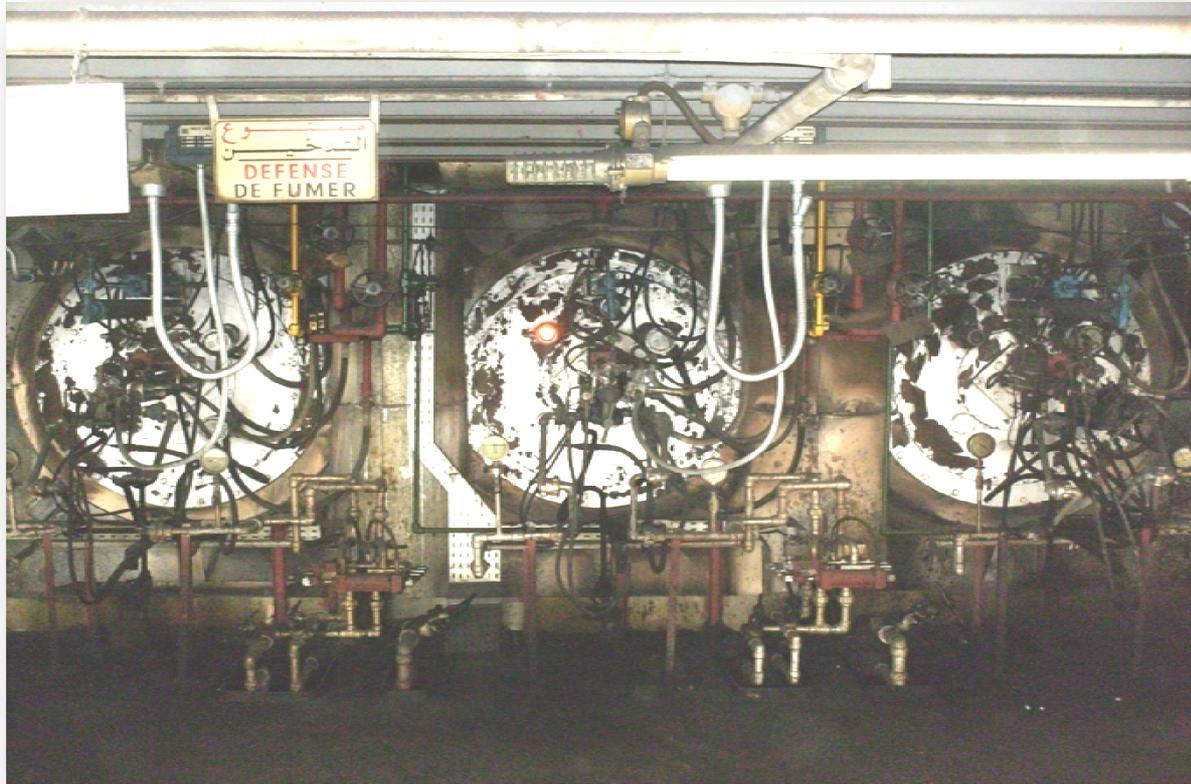
1. Présentation des brûleurs

Les brûleurs sont des dispositifs installés sur les murs du foyer de la chaudière qui reçoivent d'une part le combustible et d'autre part le comburant.

Ils ont pour fonction de mélanger dans des proportions correctes l'air et le fuel oil ou gaz oil pour les brûler et permettre la combustion.

La tranche fuel oil comporte neuf brûleurs disposés en trois étages. Chaque étage comprend trois brûleurs et chaque brûleur est indépendant pour le contrôle commande à distance.

Figure : Photo des trois brûleurs du 2ème étage



Circuit des éléments de combustion

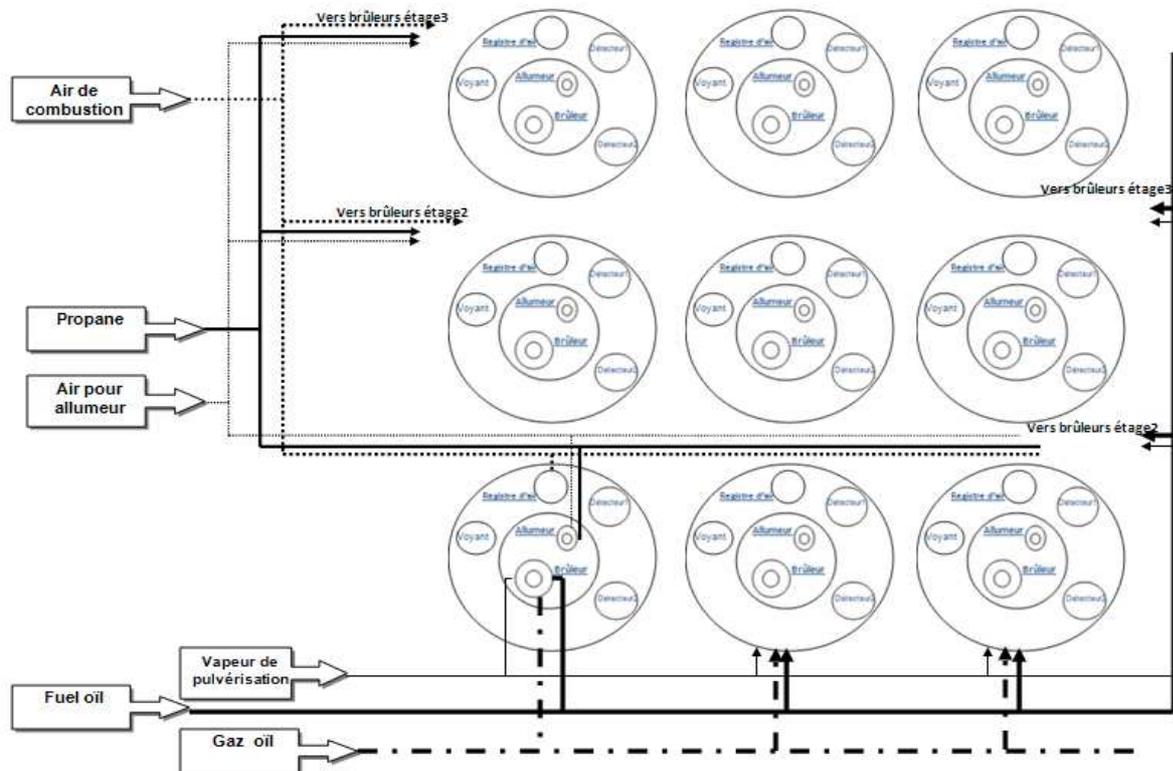


Figure: Schéma synoptique des différents circuits en relation avec les brûleurs

Circuit gaz allumeur (propane)

Le propane est utilisé pour former avec l'air comprimé et l'étincelle la première flamme de faible intensité.

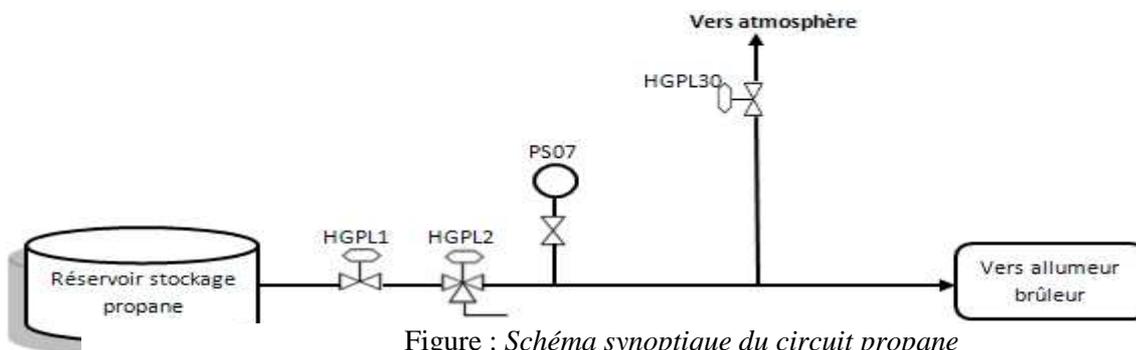


Figure : Schéma synoptique du circuit propane

Avant d'atteindre les brûleurs avec une pression de 1.8 bars, il traverse deux vannes tout ou rien. L'une d'elle est la vanne générale propane (HGPL1) et l'autre (HGPL2) a trois voies. Si la HGPL1 est ouverte, la HGPL2 est ouverte dans le sens de laisser circuler le propane vers le brûleur. Dans le cas contraire, la HGPL2 est ouverte de telle façon de laisser échapper le propane vers l'atmosphère.



Un capteur de pression PS07 vient après les deux vannes et génère une alarme en cas d'une chute de pression du propane à 0.7bar.

II.1.2. Circuit air comprimé

L'air comprimé est aspiré par des ventilateurs de soufflage vers la tranche avec une pression de 7 bars. Il subit une détente de pression à 0.8 bars avant d'attaquer le brûleur pour se mélanger avec le propane.

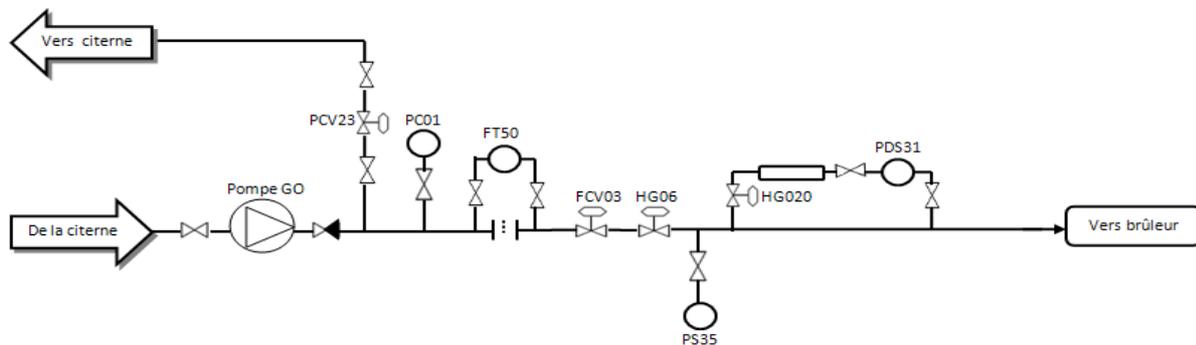


Figure: Schéma synoptique du circuit air comprimé

II.1.3. Circuit gaz oil (GO)

Le gaz oil est destiné pour l'allumage des brûleurs pendant le démarrage à froid des tranches.

Figure: Schéma synoptique du circuit gaz oil



Il est

stocké dans des citernes, et est refoulé par une pompe d'alimentation GO vers le collecteur principal. Un capteur de pression régule via un régulateur PI la pression du, dit collecteur en agissant sur une vanne régulatrice de pression PCV23 assurant ainsi sa recirculation vers les citernes de stockage.

Un transmetteur de débit permet à l'opérateur de contrôler le débit exact du G.O consommé.

Le débit consommé par les brûleurs est réglable grâce à une vanne régulatrice de débit FCV03.

Une vanne tout ou rien est installée juste après la FCV, C'est une vanne de sécurité appelée localement vanne générale gaz oil (V.G.G.O), qui doit être ouverte pour laisser passer le GO aux brûleurs.



Vient ensuite un capteur de pression PS35 qui déclenche une alarme lors de la chute de pression du GO dans le collecteur indiquant la présence d'une très basse pression GO (10bars).

II.1.4. Circuit fuel oil (FO)

Le fuel oil (FO) constitue le combustible principal des tranches n°1 et n°2 de la centrale.

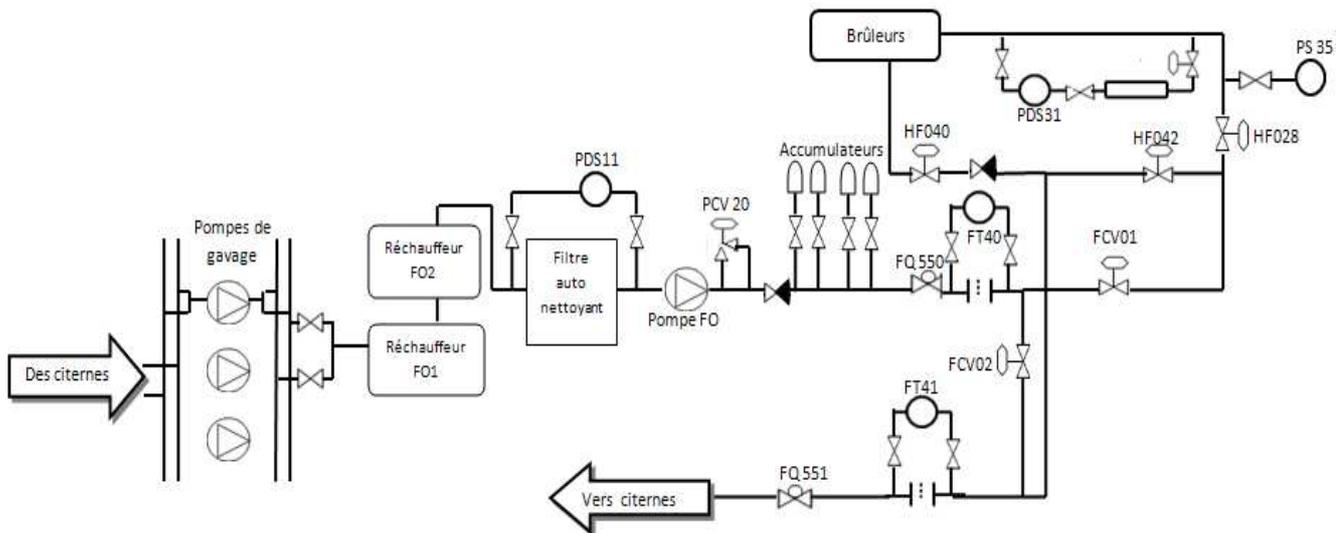


Figure : Schéma synoptique du circuit fuel oil

Stocké dans des citernes, le F.O est chauffé préalablement à une température de 70°C par l'intermédiaire d'un réchauffeur de fond pour faciliter son extraction. De la citerne, le F.O est aspiré par des pompes de gavage et est refoulé vers l'un des deux collecteurs mis en service puis circule vers les tranches.

Une fois il atteint la tranche, le FO est réchauffée à l'aide de deux réchauffeurs FO à travers lesquels il atteint une température de 120°C. Il passe par la suite par un filtre autonettoyant. Ce dernier est lié à un pressostat différentiel PDS11 qui génère une alarme lors de l'encrassement du filtre.

Le FO est refoulé par une pompe dite d'alimentation FO vers les brûleurs avec une pression comprise entre 10 à 15 bars pour être brûlé dans le foyer. Mais avant, il traverse une partie du collecteur où est relié quatre accumulateurs sous pression d'azote et contenant du FO, puis un compteur FQ550 et un débitmètre FT40.



Il existe une vanne régulatrice de débit FCV02 placée avant le FCV01. Elle permet la recirculation de 25% du débit FO allant aux brûleurs puis se ferme.

Vient ensuite la vanne régulatrice de débit FO ; FCV01 qui permet grâce à une régulation électropneumatique de faire circuler le débit FO nécessaire pour être mélangé avec l'air afin d'assurer une bonne combustion.

Avant d'ouvrir la vanne générale tout ou rien du FO (V.G.F.O), la vanne tout ou rien (HF042) dite de petite recirculation est ouverte. Mais une fois on la ferme, la V.G.F.O s'ouvre et la vanne tout ou rien de la grande recirculation s'ouvre et ne se ferme qu'après l'allumage du premier brûleur.

Un capteur de pression PS34 est placé après la vanne générale du FO (V.G.F.O) permettant l'enclenchement d'une alarme indiquant une basse pression du FO (3bars).

II.1.5. Circuit vapeur de pulvérisation

La vapeur de pulvérisation a pour rôle de diviser le combustible FO en particules fines assurant un meilleur contact avec l'oxygène comburant.



Figure: Schéma synoptique du circuit vapeur de pulvérisation

provient du transformateur de vapeur. Elle attaque un réchauffeur qui lui permet d'acquérir des calories avant d'atteindre la vanne régulatrice de pression PCV15 permettant la régulation de pression de la vapeur pulvérisée et arrive enfin aux brûleurs avec une pression de 7bars.

Circuit air de combustion

Il est utilisé principalement comme comburant pour sa combustion avec le gaz oil ou le fuel oil.

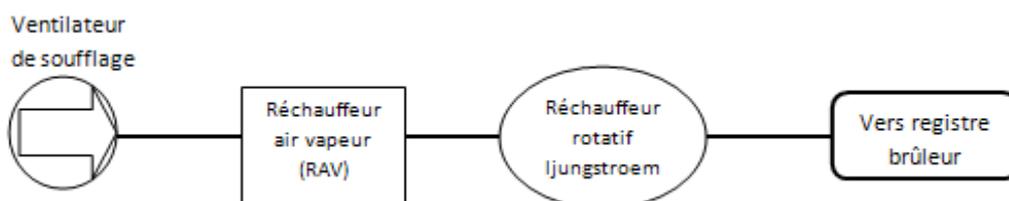


Figure : Schéma synoptique du circuit air de combustion



Il est aspiré par les deux ventilateurs de soufflage et réchauffé dans un premier lieu par la vapeur dans les réchauffeurs d'air ensuite par le réchauffeur rotatif Ljungstroem avant d'être pénétré dans le foyer de la chaudière à travers les registres des brûleurs.

❖ Détecteurs de flamme UV

Chaque brûleur comporte deux détecteurs de flamme qui sont sensibles aux rayonnements UV émis par la flamme.

Ils sont composés d'un système d'auto-vérification composé d'une bobine, d'une palette et d'un ressort de rappel. Le cycle d'auto-vérification se répète à un intervalle tellement bref et a pour objet de créer un obstacle entre les UV et leur zone de détection permettant le contrôle du bon fonctionnement du détecteur et d'une photocellule composée d'un corps en verre rempli d'un gaz qui s'ionise s'il est frappé par des UV, ce qui confirme la présence de flamme. [1]

2. Définition des problèmes des détecteurs de flammes

La centrale thermique de Mohammedia est composée de quatre tranches, les deux tranches (1 et 2) fonctionnent en fuel et les autres (3 et 4) au charbon, chaque tranche en fuel est équipée par 9 brûleurs frontaux et chaque tranche en charbon est équipée par 16 brûleurs frontaux. Chaque brûleur est doté de deux détecteurs de flammes, le refroidissement de ces détecteurs était assuré par des ventilateurs boosters.

Pour augmenter le rendement de ces détecteurs, on a abouti à les remplacer par d'autres de nouvelle génération. Par vieillissement des anciens ventilateurs, les détecteurs ne sont plus refroidis et ont enregistré des défaillances dues aux brûlures des composants électroniques.

3. Analyse des pertes engendrées par les détecteurs

Les problèmes de fonctionnement du système d'air de refroidissement des détecteurs de flammes ont causé des défaillances remarquables, entraînant la détérioration de 12 détecteurs et 8 amplificateurs pour chaque tranche par année.

Sachant que chaque détecteur de flamme vaut 1700 DH et celui de l'amplificateur est 800 DH.

Les pertes annuelles engendrées par les changements de détecteurs de flamme sont :

$$P_1 = (12 \times 1700 + 8 \times 800) \times 4 = 107,2 \text{ KDH}$$



En plus, la défaillance d'un détecteur provoque une marche aveugle du système automatisé, ce qui engendre l'arrêt de la tranche, c'est-à-dire une indisponibilité de celle-ci.

Pour chaque détecteur, le temps de mise en marche après défaillance est de 2 heures, l'indisponibilité totale des tranches à cause de ces détecteurs chaque année est d'environ
D=8 heures

Le cout de annule de cette indisponibilité est :

$P_2=(NT*150MW*D*PK)$ Avec :

- NbTr : Nombre de tranche
- D: indisponibilité annuelle
- PK : prix (1KWh=0,6 DH)

Application numérique : $P_2=4*150*8*0,6*1000=2880$ KDH

Le cout global des pertes annuelles est : $P_T=P_1+P_2=3000$ KDH

4. Proposition de solution :

Pour remédier à ces défaillances il faut investir en une solution qui va augmenter la fiabilité des détecteur de flammes, c'est-à-dire proposer un procédé permettant de débiter l'air nécessaire à leurs refroidissement et par conséquence prolonger leur durée de vie.

Il y'a deux solution à étudier :

- ✚ La première solution est d'effectuer le refroidissement par l'air comprimé sèche provenant d'un compresseur, nécessaire au refroidissement du détecteur de flamme.
- ✚ La deuxième solution est d'utiliser des ventilateurs pour assurer le débit d'air.

Pour faire le choix entre ces deux solutions on va les évaluer à l'aide d'une grille multicritère.

Grace à un brainstorming effectué avec les bureaux de méthodes on a aboutis à l'établissement des critères qui sont les suivantes :

- Le cout.
- La fiabilité.
- La maintenabilité.
- La consommation d'énergie

Pour le niveau de satisfaction de ses critères on a choisis 3 niveaux :

- Le premier est **bon** avec une valeur de **3**
- Le deuxième est **moyen** avec une valeur de **2**
- Le troisième est **moins bon** avec une valeur de **1**

Parce que le critère du cout est plus important on va la pondérer par 2.

La grille multicritère sera comme suit :

critère	pondération	ventilateur	compresseur
cout	2	3	1
fiabilité	1	1	3



maintenabilité	1	2	1
Consommation d'énergie	1	3	1
SOMME		12	7

Tableau 16 : grille multicritères

A l'aide de la grille multi critères on abouti au choix de l'utilisation des **ventilateurs** pour le refroidissement du détecteur de flammes

5. Etudes et dimensionnement

Pour faire le dimensionnement et le choix du ventilateur, il faut d'abord évaluer les pertes de charge dans le circuit aéraulique qui correspond à la dissipation de l'énergie lors de l'écoulement,

Ces pertes de charges sont de deux types :

- Régulières : provoqués par la viscosité du fluide c'est-à-dire le frottement entre les couche fluide, et l'adhérence entre le fluide la surface extérieur de la conduite de l'écoulement.
- Singulières : provoqués par les changements brutales de section et lors de la traversée des composants (coudes, vannes, point de dérivation...etc.)

Calcul des pertes de charge et équilibrage du réseau

Le circuit d'air de refroidissement des détecteurs de flammes est comme de suite :

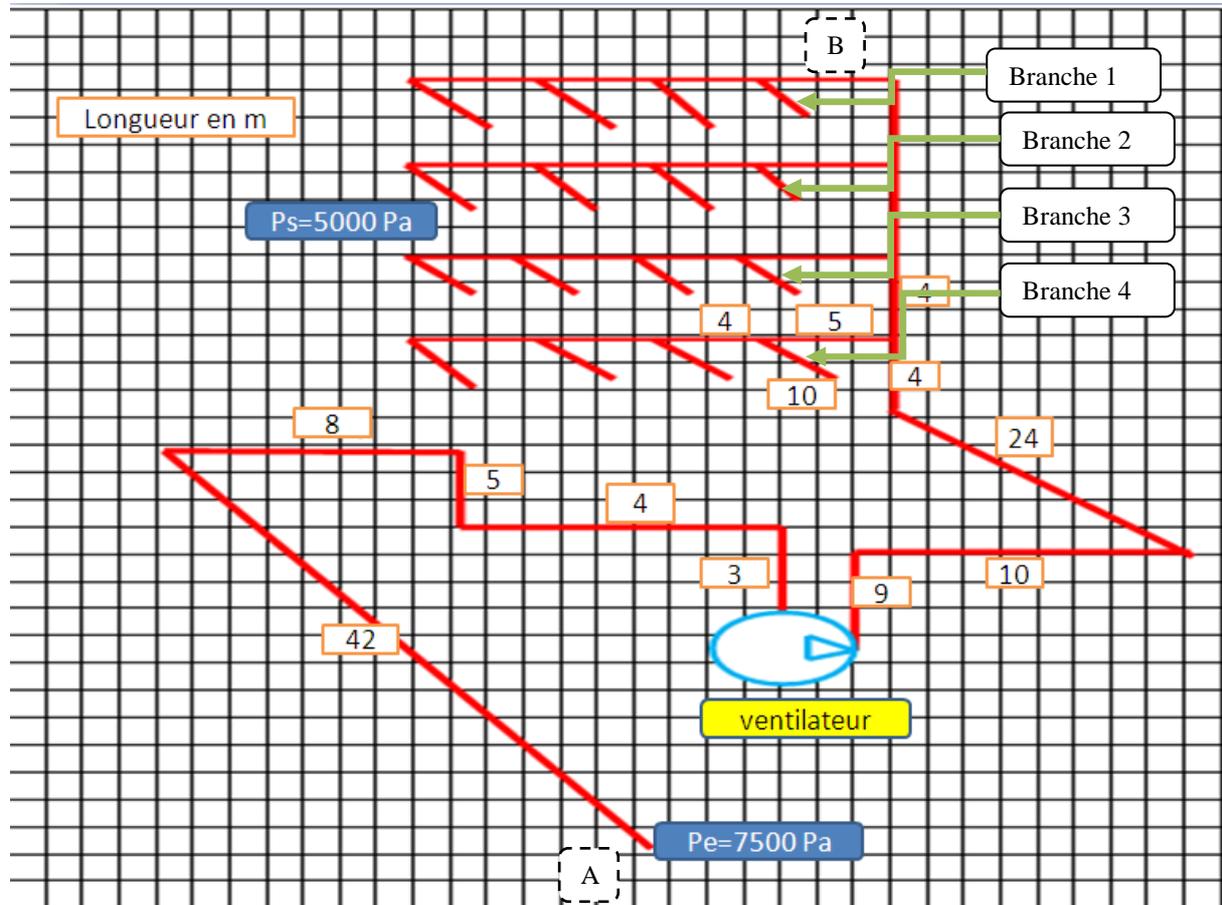
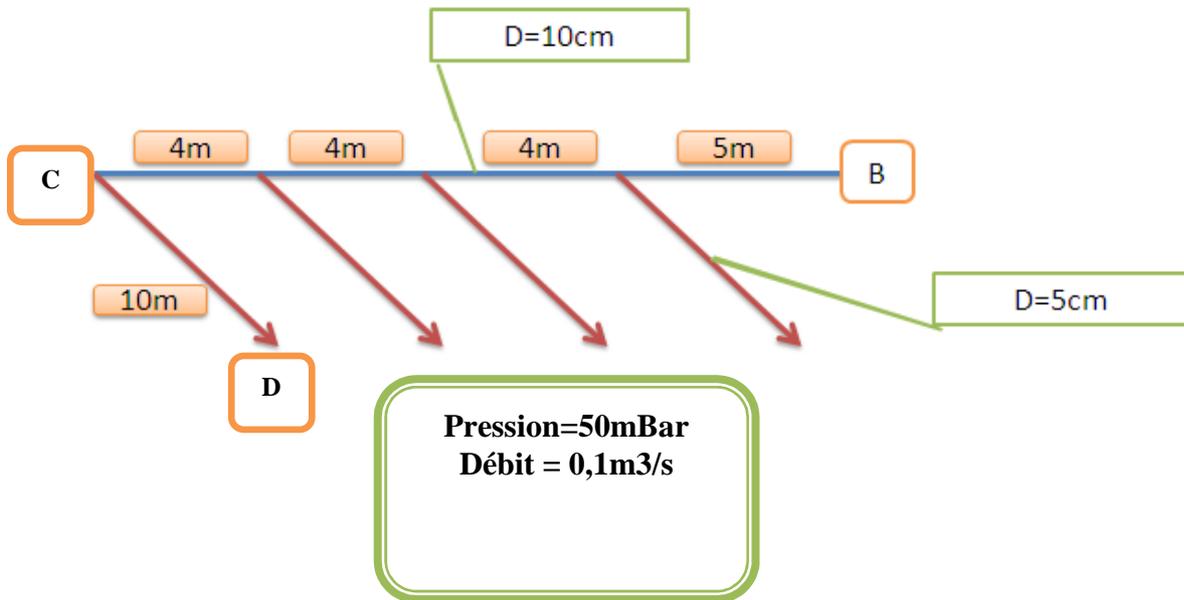


Figure 11 : le circuit d'air de refroidissement des détecteurs de flammes

Avec

- $P_s=5000\text{Pa}$: la pression dans le foyer de la chaudière (chambre de combustion)
- $P_e=7500\text{Pa}$: la pression dans les gains de refoulement du ventilateur de soufflage

La branche racine AB a une section de 30cm, les branches BC de 10 cm et les branches CD de 0.5cm.



Par raison de symétrie les pertes de charges totale dans le circuit est :

$$\Delta P_T = \Delta P_{AB} + \sup(\Delta P_{BC} + \sup \Delta P_{CD})$$

Calcul des vitesses dans les 3 branches $U_i = Q_i / S_i$

- $Q_1 = 1,47 \text{ m}^3 / \text{s}$
- $Q_2 = 0,36 \text{ m}^3 / \text{s}$
- $Q_3 = 0,1 \text{ m}^3 / \text{s}$

A partir des débits et des sections on calcule les vitesses dans chaque branche

- $U_{AB} = 5,25 \text{ m}^3 / \text{s}$
- $U_{BC} = 12 \text{ m}^3 / \text{s}$
- $U_{CB} = 12,8 \text{ m}^3 / \text{s}$

Calcul du nombre de REYNOLD

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu}$$

- $Re_1 = 45700$
- $Re_2 = 73200$
- $Re_3 = 60000$

Les trois nombres de Reynolds sont supérieurs à 3000 ce qui signifie que le régime d'écoulement dans les trois conduites est turbulent [3]



Calcul du coefficient de perte de charge λ

Le coefficient λ pour les écoulements turbillions est déterminé par la corrélation de Colbrook

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \text{LOG}_{10} \left(\frac{2,51}{R\sqrt{\lambda}} + \frac{\epsilon_r}{3,71} \right)$$

Avec $\epsilon_r = \epsilon_a / D$ est la rugosité relative (la rugosité absolue de l'acier est $\epsilon_a = 0,15 \text{mm}$)

- $\epsilon_{r1} = 0,0005$
- $\epsilon_{r2} = 0,0015$
- $\epsilon_{r3} = 0,003$

la valeur initiale de λ est donnée par l'approximation de Blasius (valable pour les conduite lisse)

$$\lambda_0 = 0,316 \text{Re}^{-1/4}$$

Après calcul on trouve :

- $\lambda_{AB} = 0,02304$
- $\lambda_{BC} = 0,03138$
- $\lambda_{CD} = 0,03931$

Désignations	Branche1	Branche2	Branche3
ϵ/D	0,0005	0,0015	0,003
Re	45700	73200	60000
λ_0	0,021612651	0,019211413	0,020190602
λ_1	0,023039532	0,03138061	0,03930459
λ_2	0,023042668	0,031389089	0,039315168
λ_3	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_4	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_5	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_6	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_7	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_8	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_9	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_{10}	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_{11}	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_{12}	0,023042675	0,031389094	0,039315173
λ_{13}	0,023042675	0,031389094	0,039315173

Tableau 17: résultats des calculs de Lambda par le programme EXCEL



$$\Delta P_{AB} = \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum \xi_i \right) \frac{\rho U^2}{2}$$

Avec

ξ_i = coefficient de perte des charges singulières

ξ_i (coude) = 0,1

ξ_i (dérivation) = 0,32

Application numérique :

- $\Delta P_{AB} = 0,16 \text{ mBar}$
- $\Delta P_{BC} = 0,15 \text{ mBar}$
- $\Delta P_{CD} = 0,76 \text{ mBar}$

Alors les pertes de charge totales dans le circuit est :

$\Delta P_T = 1,1 \text{ mBar}$

Pression totale de la machine à installer

On applique la relation de Bernoulli généralisé entre l'entrée et la sortie du circuit :

$$(p_s + 1/2 \rho U_s^2 + \rho g Z_s) - (p_e + 1/2 \rho U_e^2 + \rho g Z_e) = \Delta P_m - \Delta P_T \quad [4]$$

Avec

- $1/2 \rho U^2$: pression dynamique
- $p_s + \rho g Z_s$: pression motrice

$$\Delta P_m = (p_s + 1/2 \rho U_s^2 + \rho g Z_s) - (p_e + 1/2 \rho U_e^2 + \rho g Z_e) + \Delta P_T$$

Avec :

- $p_s = 50 \text{ mBar}$ (pression dans le foyer de la chaudière)
- $p_e = 40 \text{ mBar}$ (pression dans les gains de refoulement du ventilateur de soufflage)

Application numérique

$\Delta P_m = 11,16 \text{ mBar}$

Puissances de la machine.

Puissance utile

$$\dot{W}_u = \Delta P_m \dot{V} = 11160 * 1,47 = 16,4 \text{ KW}$$

Puissance absorbé $\dot{W}_a = \frac{\dot{W}_u}{n}$ avec n : rendement mécanique $n = 0,7$

$$\dot{W}_a = 9,64 \text{ KW}$$

Détermination de point de fonctionnement

Pour la détermination du point de fonctionnement on doit déterminer l'expression des pertes de charges dans la branche racine $\Delta P_T = f(\dot{V}^2)$

On a $\Delta P_T = \alpha \dot{V}^2$

A partir de des données suivante qui correspond à notre débit $U_1 = 5,25 \text{ m}^3/\text{s}$ et $\Delta P_T = 1100 \text{ Pa}$

On conclut que $\alpha = \frac{\Delta P_T}{\dot{V}^2}$

Application numérique :

$$\alpha = 43500$$



Ce qui donne $\Delta P_T = 43500 \dot{V}^2$

on peut exprimer cette relation en fonction de la hauteur manométrique, car la caractéristique du ventilateur est exprimé par celle-ci. $\Delta P = \rho g \Delta H$

$$\Delta H(\text{mm}) = 51,32 \dot{V}^2$$

débit volumique	hauteur manométrique
1	51,32
2	205,28
3	461,88
4	821,12
5	1283
6	1847,52

Pour un débit de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ on a $\Delta H = 60 \text{ mm}$

Puissances de la machine.

Puissance utile

$$\dot{W}_u = \Delta P_m \dot{V} = \rho g \Delta H \dot{V} = \text{KW}$$

Puissance absorbé $\dot{W}_a = \frac{\dot{W}_u}{n}$ avec n : rendement mécanique $n = 0,7$

$$\dot{W}_a = 9,64 \text{ KW}$$

(Voir cuve caractéristiques et plans dans annexe)

6. Etude technico-économique de la solution

Chaque projet d'investissement devrait être précédé d'une étude qui met en évidence des critères sur lesquelles on pourra se baser afin de le réaliser.

L'objet de ce chapitre est l'évaluation de l'opportunité d'investir dans les nouveaux matériels et de mettre en évidence leur utilité en vue d'assurer la réalisation des gains dans les délais les plus brefs.

I. Calcul des indicateurs de décision

1. Capital investi

Estimation	Qté	Travaux à réaliser	Prix /HT	PrixU/HT
Devis Mohtarif	7	Châssis	80000	560000
Cde 6/42003	7	Rouet	8000	56000



2023104	7	Paliers vides	10000	70000
	7	Arbre, roulement et clavette	3000	21000
204214	7	Accouplement	2000	14000
	7	Boulonneries	1000	7000
	7	Peinture	2000	14000
	7	Coudes et manchettes	2000	14000
GHAZI	7	Travaux sur site	20000	140000
	12	Moteurs électriques	15000	180000
TOTAL			128000	896000

Tableaux 18 : répartition des dépenses de l'installation

Le capital investi (I) est donné par la formule suivante:

$$I = Pa * (1 + TVA) = 896000 * 1,2 = 1075,2 \text{ KDH}$$

Avec:

Pa : Prix d'acquisition de la machine hors taxe. TVA : 20%

Calcul des dépenses annuelles

Les dépenses annuelles seront les couts de maintenance de ces installations et le cout de l'énergie nécessaire à leur alimentation.

Pour leur maintenance il faudra un équipe composé de :

- 1 technicien avec un salaire mensuel de 8000DH
- 2 manœuvres avec un salaire mensuel de 5000DH

Le cout annuel de la maintenance est : $D_1 = (8000 + 5000) * 12 = 156 \text{ KDH}$

Les machines à installer absorbent une puissance de 6,4KW et marche 24/24

Donc, le cout de l'énergie nécessaire à leur alimentation est :

$$D_2 = 6,4 * 30 * 12 * 0,6 * 7 = 231,98 \text{ KDH}$$

Les dépenses annuelles totale sont : $D = 387,98 \text{ KDH}$

Calcul de la valeur actuelle nette (VAN) :

2.1 définition



La Valeur Actuelle Nette d'un projet d'investissement est égale à la différence entre la valeur actuelle des rentrées nettes de trésorerie associées au projet et la dépense initiale du projet, l'actualisation étant faite à un taux « t » choisi par l'entreprise.

La Valeur Actuelle Nette peut être représentée par l'expression suivante

$$VAN = \sum_p^n \frac{R - D}{(1 - t)^p} - I$$

Avec

- R : les recettes annuelles
- D : les dépenses annuelles
- t : le taux d'actualité
- I : la capitale investie

Tout projet d'investissement ayant une valeur actuelle nette positive est rentable

Résultats du calcul de l'investissement sont les suivants:

les depesnes annuel sont les charge d'exploitatuin de ces 7 ventilateurs $D=387,98\text{KDH}$

les recette annuele par cette investissement n'est que les pertes engendrées par les defaillances des detecteurs de flammes $R=3000\text{KDH}$.

$$VAN = \sum_p^3 \frac{R-D}{(1+t)^p} - I = (3000-387,98) * \sum_p^3 \frac{1}{(1+0,1)^p} - 1075,3$$

$$VAN=886,32\text{KDH} > 0.$$

$n=3$ (<< durée de vie prévu pour ces installations)

L'indicateur approuve la rentabilité de ce projet d'investissement.

Taux de Rentabilité Interne (TRI) :

Le taux interne de rendement d'un projet d'investissement est le taux « x » pour lequel la valeur actuelle des rentrées nettes de trésorerie associées au projet est égale à la dépense initiale d'investissement; ce taux interne de rendement peut être calculé à partir de l'équation suivante:

$$I = \sum_{p=1}^n Cp(1+x)^{-p}$$

Le caractère rentable ou non d'un projet dépend, dans le cas où ce critère est retenu, de la position relative du taux interne de rendement du projet et du taux minimum de rentabilité ou taux



de rejet que l'entreprise a l'habitude d'exigé de ses investissements. Tout projet dont le taux interne de rendement est supérieur à ce taux de rejet est rentable. Ce taux est fixé pour notre cas à 80%.

Soit « x » le taux de rentabilité qu'on cherche, ce dernier sera l'intersection entre l'axe des abscisses et l'axe des coordonnées de la figure ci-dessus :

Donc le projet d'investissement est intéressant. [3]

Le calcul du taux de rentabilité pour notre investissement est :

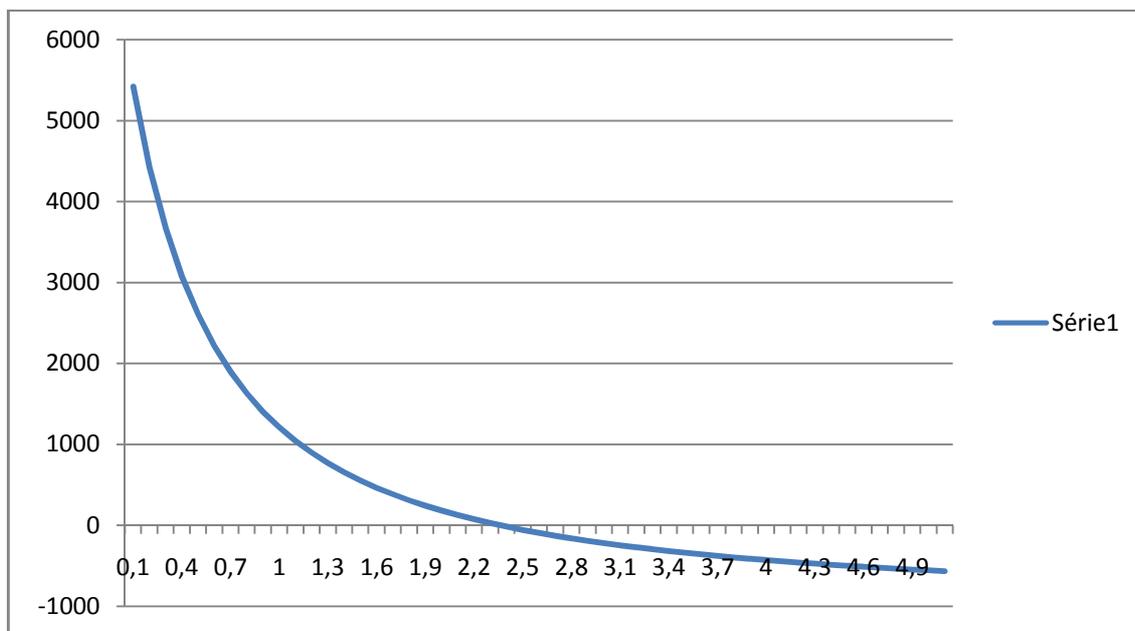


Figure 12 : taux de rentabilité interne

TRI=220 % (> 80 %)

Conclusion

Les deux indicateurs approuvent la rentabilité de ce projet d'investissement elle peut être entreprise.



V. Conclusion générale

Au cours de cette étude critique des ventilateurs de la centrale thermique de Mohammedia, nous avons tout d'abord montré l'impact des indisponibilités des différents ventilateurs sur la marche normale des tranches. A l'issue de cette étude d'indisponibilité nous avons conclu que les ventilateurs d'air primaire des tranches à charbon sont les plus défaillants.

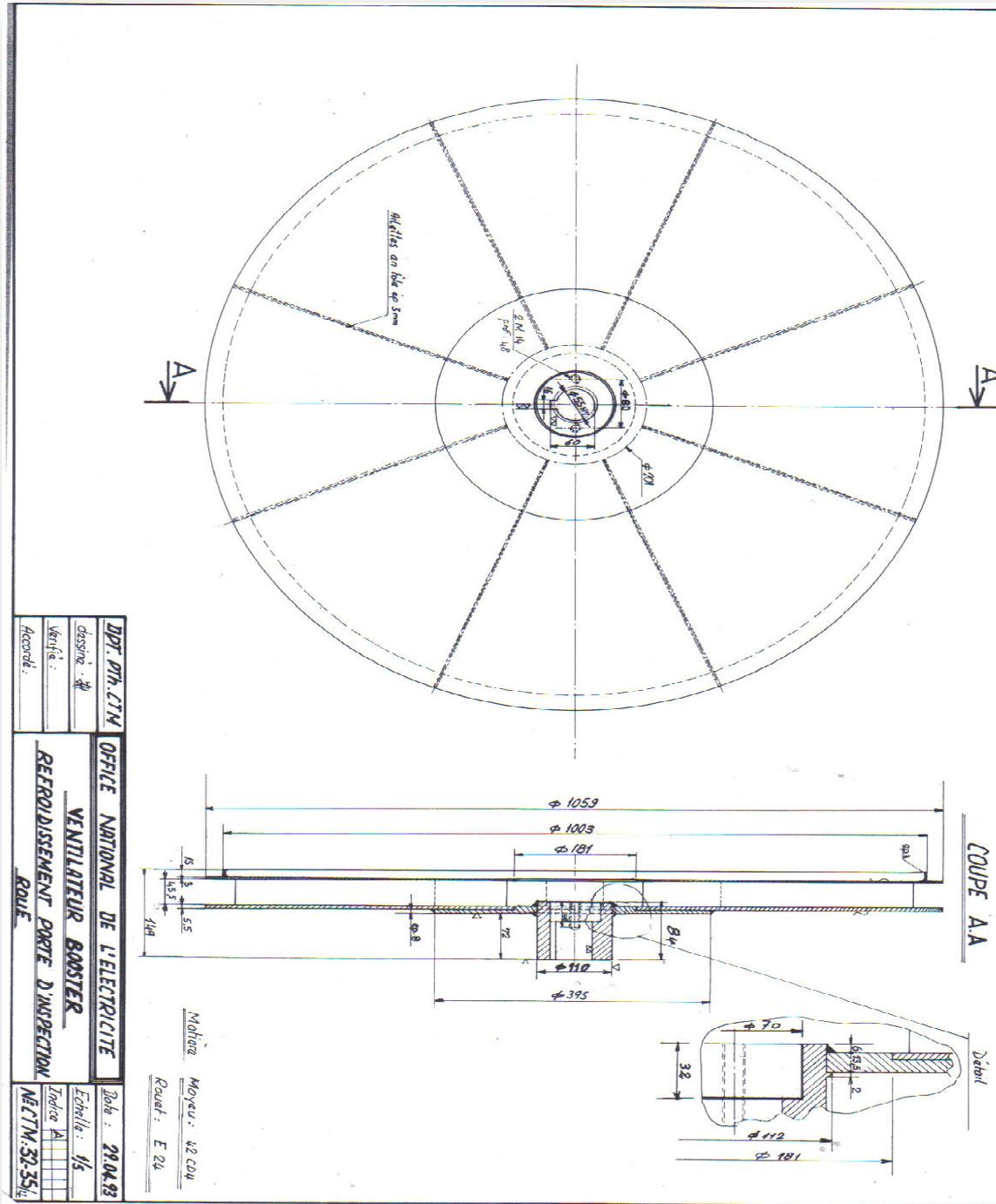
Ensuite, nous avons adopté une démarche normalisée AMDEC que nous avons appliqué au ventilateur d'air primaire. Cette méthode nous a permis de travailler dans un cadre de groupe pluridisciplinaire et de bénéficier des expériences et des connaissances des participants.

Ainsi, nous avons élaboré un plan d'action pour définir une maintenance adéquate pour chaque élément du ventilateur d'air selon le critère de criticité des défaillances. Ce plan d'action comporte une élaboration des gammes de maintenance pour les trois éléments les plus critiques de ce dernier. Puis, nous avons abordé une étude sur les détecteurs de flammes, qui ont provoqué des pertes importantes soit au niveau des pièces de rechange soit au niveau de la disponibilité des tranches, et nous avons assisté techniquement la réalisation d'un projet pour la fiabilisation de ces appareils. Cette étude a comporté principalement deux parties :

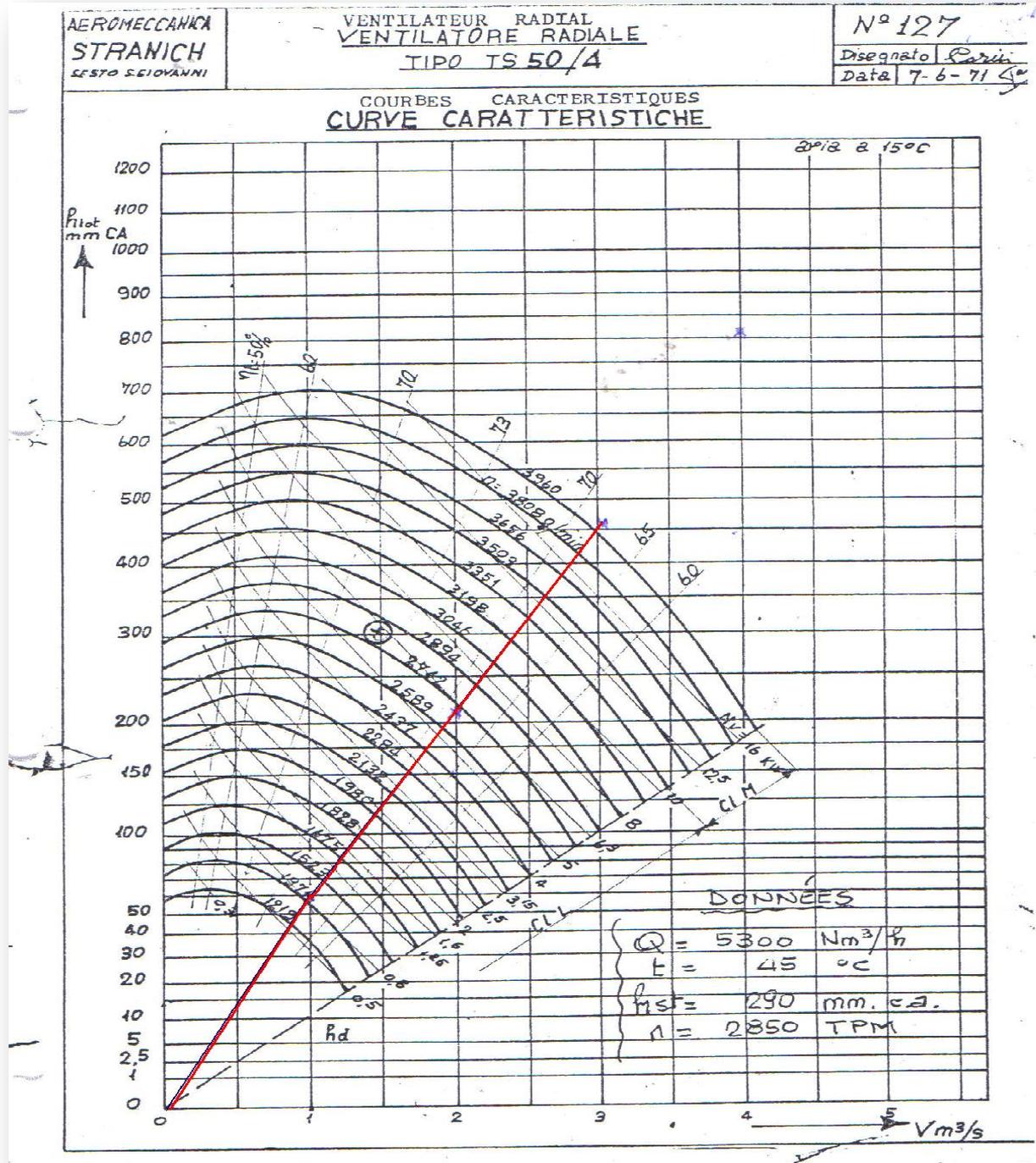
- la première partie a concerné la détermination des caractéristiques de la machine à installer pour assurer le débit et la pression nécessaires à la refroidissement des détecteurs de flammes, par la détermination des pertes de charges dans le circuit et l'application de l'équation de Bernoulli généralisée.
- La deuxième partie a concerné une étude technico-économique du projet, afin d'évaluer sa rentabilité, nous avons utilisé les critères de la valeur actualisée nette (VAN) et du taux de rentabilité interne (TRI), ces deux indicateurs ont bien indiqué la rentabilité de ce projet d'investissement.

VI. Annexe

Plan de châssis et volute du ventilateur



Cuve caractéristique du ventilateur



Fiche technique du ventilateur



AS		AEROMECCANICA STRANICH S.p.A		SPEC. TEC. 2720	
20099 SESTO SAN GIOVANNI (MILANO) ITALIA		VIA G. DI VITTORIO, 300-302		N° 10 PAG. 1/3	
TEL. 02/2401751 2 3 - 2470149				DATA 1-2-85 REV.	
				N° COMANDE. CV-507/83	
FICHE TECHNIQUE VENTILATEUR					
1	Comande Client: VARIE / GZ / 24433				
2	Installation: BOOSTER				
3	Lieu: MOHAMMEDIA				
4	N° Comande: CV-507/83				
5	VENTILATEUR TYPE: TS 50/4				ITEM
6	Quantité 4				
7	CARACTERISTIQUES DE FONCTIONEMENT				
8	Lieu d'installation	à l'extérieur <input checked="" type="checkbox"/> couvert <input type="checkbox"/> dans bâtiment <input type="checkbox"/>			
9	Fonctionnement	continu <input checked="" type="checkbox"/> discontinu <input type="checkbox"/> par intervalles <input type="checkbox"/>			
10	Fluid	AIR			
11	Corrosion/Abrasion				
12	Poussieres type	gr/mc			
13	Composants chimiques	HORAIRE - ANTIHORAIRE			
14	Débit	Nmc/h 5300 mc/h			
15	Masse volumique asp.	kg/mc 1,287			
16	Temperature asp.	°C 23 (PROJET 45°C)			
17	Pression statique	mmCE 290			
18	Pression dynamique	mmCE 25			
19	Pression total	mmCE 315			
20	Puissance abs. à °C	kW 6,4			
21	Puissance abs. à 20°C	kW			
22	Vitesse de rotation	t/m 2850	PD2 2,2	kgm2	
23	Demarrage	<input checked="" type="checkbox"/> bouche ouverte <input type="checkbox"/> bouche fermée			
24	Curve caractéristique	N° 127			
25	Spectre sonore	N°			
26	Fiche technique moteur	N°			
27					
28					
29					
30	CARACTERISTIQUES DE CONSTRUCTION				
31	Materiaux	Roue CORTEN Pavillon Fe Arbre Stator Fe Chassis Fe Caisson d'asp.			
32	Accouplement direct	<input type="checkbox"/> manchon elastique type <input type="checkbox"/> manchon à denture type <input type="checkbox"/> coupleur hydraulique type <input type="checkbox"/> coupleur mecanique type			
33	Carter de protection	<input type="checkbox"/> manchon <input type="checkbox"/> transmission <input type="checkbox"/> arbre			

VII. Bibliographie



- [1] Documentation technique de l'ONE.
- [2] la pratique de la maintenance préventive – Jean Héng – édition DUNOD
- [3] Revue techniques de l'ingénieur
- [4] cours des turbomachines –FST Fès - professeur ROUGI

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES