

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-**Mécanique des unités Pétrochimiques...**

Présenté par : HAMOUDA AISSAM
BENIBRAHIM RACHID

THEME

Simulation numérique de l'écoulement à travers les aubes dans une turbine à vapeur mono-étagée à action DRESSER-RAND du Complexe GL1Z d'Arzew par ANSYS CFX R2 2020

Devant le jury :

Mr. HALOUANE
Mr. BETTAYEB
Mr. KHELIFI TOUHAMI
Mr. SAHNOUNE

Yassine
Morad
Md salah
Khaled

MCA
MCA
MCB
MCB

UMBB
UMBB
UMBB
UMBB

Président
Examineur
Examineur
Encadrant

REMERCIEMENTS

.. Nous tenons tout d'abord à remercier le tout puissant ALLAH Qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail et Qui a entendu nos prières.

Nous tenons sincèrement à remercier:

.. Nos parents, pour le soutien sans faille qu'ils nous ont apporté;

.. Nos familles;

.. Monsieur SAHNOUN KHALED. Notre encadreur internes sur FHC pour toutes l'aide ainsi que les nombreux conseils qu'ils nous ont prodigués;

.. Monsieur ABDELHAFID KHOUDJA, du complexe GL1Z ARZEW qui n'a ménagé aucun effort pour nous permettre d'accéder aux informations dont nous avons besoin pour notre étude;

.. Monsieur HAMDOUN du complexe GL1Z ARZEW pour sa prévenance et sa disponibilité;

.. Monsieur BOUDADI chef du Département maintenance de GL1Z sons l'intervention duquel cette étude n'aurait été possible;

.. L'ensemble des employés du complexe GL1Z ARZEW pour l'accueil chaleureux qu'ils nous ont réservés à chacune de nos visites:

.. Tous les étudiants et les professeurs du département transport et Equipment de faculté des hydrocarbures et de la chimie BOUMERDES.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail représentant des années d'études à ma famille, et j'espère que cela en vaut la peine.

D'abord mon cher père ABDELMALEK et ma tendre mère SORIYA qui ont toujours signé présents à chaque instant de ma vie, aussi à mes frères HOUSSEM et ISLAM et ma sœur ZINEB.

Je dédie aussi ce projet à mes meilleurs amis et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'achèvement de ce travail. Et tous ceux qui étaient avec moi merci.

HAMOUDA Aissam

Dédicace

Je tiens c'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail :

À mon support dans ma vie mon père MUSTAPHA et ma source d'amour ma mère KHALIDJA pour leur sacrifice, leur soutien et encouragement durant mon parcours scolaire.

À mes sœurs et ainsi à toute ma famille

À tous mes amis et tous ceux qui ont participé à ma réussite.

BENIBRAHIM Rachid

Résumé

L'objectif de cette étude est de simuler numériquement l'écoulement de la vapeur d'eau à travers les aubes (stator et rotor) d'une sans condensation turbine à vapeur mono étagée à action DRESSER RAND de complexe GL1Z D'ARZEW. Nous sommes intéressés principalement à la détermination des champs d'écoulement, vitesse, température, pression et densité, et comparait les résultats avec les données de documentation de la turbine (fournir par le constructeur). Et aussi calcul quelques valeurs (puissance et le couple.), On utilise l'outil de simulation numérique logicielle ANSYS CFX R2 2020 et les calculs se feront sur cette logicielle, finalement les résultats que nous avons trouvés étaient raisonnables et ils ont satisfait nos besoins parce qu'ils étaient dans la plage de fonctionnement de ça turbine, pour le but général d'aider à estimer les performances mécaniques et analyse l'écoulement sur cette machine. La conception particulière des aubes rend la simulation plus complexe due à la variété des phénomènes induits par cet écoulement

Ce mémoire est de donner en un petit volume ce que nous pensons, à la suite d'années d'expérience pratique, que les ingénieurs et les étudiants en ingénierie veulent savoir sur toutes les informations concernant cette simulation numérique.

Abstract

The objective of this study is to numerically simulate the flow of water vapor through the blades (stator and rotor) of a non-condensing single-stage steam turbine with DRESSER RAND action of the GL1Z D'ARZEW complex. We are mainly interested in determining the flow fields, velocity, temperature, pressure and density, and comparing the results with the turbine documentation data (provided by the manufacturer). And also calculation of some values (power and torque.), We use the ANSYS CFX R2 2020 software numerical simulation tool and the calculations will be done on this software, finally the results that we found were reasonable and they satisfied our needs because they were within the operating range of this turbine, for the general purpose of helping to estimate the mechanical performance and analyze the flow on this machine. The particular design of the blades makes the simulation more complex due to the variety of phenomena induced by this flow

This thesis is to give in a small volume what we believe, as a result of years of practical experience, that engineers and engineering students want to know about all the information concerning this numerical simulation.

خلاصة

الهدف من هذه الدراسة هو محاكاة تدفق بخار الماء عددًا عبر الشفرات (الجزء الثابت والدوار) لتوربين بخاري أحادي المرحلة غير مكثف مع تأثير DRESSER RAND لمركب GL1Z D'ARZEW.

نحن مهتمون بشكل أساسي بتحديد مجالات التدفق والسرعة ودرجة الحرارة والضغط والكثافة، ومقارنة النتائج ببيانات توثيق التوربين (المقدمة أداة المحاكاة الرقمية وسيتم إجراء ANSYS CFX R2 2020 من الشركة المصنعة). وأيضًا حساب بعض القيم (القوة والعزم)، نستخدم برنامج الحسابات على هذا البرنامج، وأخيرًا النتائج التي وجدناها كانت معقولة وكانت تلي احتياجاتنا لأنها كانوا ضمن نطاق تشغيل هذا التوربين، لغرض عام هو المساعدة في تقدير الأداء الميكانيكي وتحليل التدفق على هذه الآلة. التصميم الخاص للشفرات يجعل المحاكاة أكثر تعقيدًا بسبب تنوع الظواهر التي يسببها هذا التدفق

تهدف هذه الأطروحة إلى إعطاء حجم صغير عما نعتقده، نتيجة لسنوات من الخبرة العملية، أن المهندسين وطلاب الهندسة يريدون معرفته عن جميع المعلومات المتعلقة بهذه المحاكاة العددية

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux	VI
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : GENERALITES

I-1) introduction.....	2
I.2) présentation de l'organisme d'accueil GL1Z.....	2
A) Mission du complexe GL1/Z.....	2
B) Situation géographique du complexe GL1/ Z.....	2
C) Description du complexe GL1/Z.....	3
D) Organigramme de l'entreprise.....	4
E) Description des départements.....	4
F) Mission du département maintenance G.....	4
G) Organigramme de département maintenance.....	4
I.3) description du procédés de liquéfaction.....	5
I-3-1) Zone utilité.....	5
I-3-2). Zone procès	8
I-3-3) Zone de stockage et d'expédition.....	8
I-4) Généralités sur la turbine à vapeur	8
1-4-1) Rappel sur mécanique des fluides.....	8
I-4-1-1) Théorème de Bernoulli.....	8
I-4-1-2) Expressions des températures.....	8
I-4-1-3) Expression des pressions.....	8
I-4-1-4) Mesure des pressions.....	9
I-4-1-5) Loi de St Venant.....	9
I-4-1-6) Ecoulement dans une section (écoulement subsonique)	10
I -4-2) Définition de la turbine à vapeur	10
I -4-3) Historique	11
I -4-4) Historique des opération turbine à vapeur DRESSER RAND.....	11
I-5) classification des turbines à vapeur.....	12
I-5-1) Basé sur l'état d'échappement.....	12
a) Condensation.....	12
b) Sans condensation.....	12
c) Extraction automatique et régénérative.....	13
d) Pression mixte.....	13
e) Réchauffer.....	13
I-5-2) Basé sur la conception d'étage	13
a) À action.....	13
b) À Réaction.....	14
c) Mixte à action-réaction.....	15
I-5-3) Basé sur le flux de vapeur.....	16
a) Flux axial.....	16
b) Flux radial.....	16
c) Flux tangentielles.....	16
I-5-4) Basé sur les étages.....	17

a) Etage unique.....	17
b) Multi-étage.....	18
I-6) Applications de turbine à vapeur.....	19
I-7) Centrales thermiques à turbine à vapeur.....	19
I-7-1) Définition de centrale thermique.....	19
I-7-2) Principe de fonctionnement.....	19
I-7-3) Chaudière.....	20
I-7-4) Condenseur.....	20
I-7-5) pompe.....	20
I-8) Les cycles de la turbine à vapeur.....	21
I-8-1) Le cycle de Rankine.....	21
I-8-2) Le cycle de Hirn.....	22
I-9) Conclusion.....	22

CHAPITRE II : ETUDE TECHNOLOGIQUE

II.1) Introduction	23
II.2) les composants principaux d'une turbine à vapeur	23
1) Le rotor	23
2) Les roues	24
3) L'arbre	24
4) Les Aubes	24
5) Les accrochages.....	26
6) La distribution	27
7) Les diaphragmes	28
8) Les paliers.....	28
9) Les étanchéités	28
10) La régulateur de vitesse.....	29
11) Le régulateur WOODWARD.....	30
12) Clapet de régulation.....	30
13) Clapet de sécurité	30
14) Le carter.....	31
15) Système de sécurité.....	31
II.3) le rôle de la turbine à vapeur dresser-rand	31
II-4) construction de la turbine à vapeur	32
II.5) pompe de lubrification d'huile.....	33
II-6) systèmes de lubrification sous pression.....	33
II-7) alignement de la turbine et de la machine d'entraînement.....	34
II-8) Caractéristiques Techniques Générale.....	35
II-9) Conclusion.....	36

CHAPITRE III : SIMULATION NUMERIQUE

III- 1) Introduction.....	37
III- 2) Mode de détente de la vapeur.....	37
III. 3) Les équations d'écoulement.....	38
III -4) profile des aubes.....	38
III -5) les données du problème et les conditions au limites.....	39
III -6) Présentation de ANSYS CFX	40
a) Société ANSYS.....	40
b) ANSYS CFX.....	40
1) CFX-Pré.....	40
2) CFX-SOLVER.....	40
3) Poste CFD.....	41

III -7) Etapes de simulation.....	41
a) Maillage des aubes de rotor	44
b) Maillage des aubes de stator.....	45
c) La solution finale (post CFX)	49
III -8) Conclusion	50

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV-1) Introduction	51
IV-2) Les résultats	51
IV-2-1) Champ de vitesse	51
IV-2-2) Champ de pression	53
IV-2-3) Champ de densité	54
IV-2-4) Champ de température	54
IV-3) comparaison avec les données de turbine	55
IV-4) Calcule des valeurs	56
IV-4.1) calcule le couple	56
IV-4.2) calcul la puissance	56
IV-5) l'estimation des performances mécaniques.....	57
IV-6) Conclusion.....	57

CHAPITRE V : MAINTENANCE DE LA TURBINE

V-1) Introduction	58
V-2) Entretien périodique de la turbine	58
a) Tous les jours.....	58
b) Chaque semaine.....	59
c) Chaque mois	59
d) Tous les ans	59
V-3) Incidents de fonctionnement et remèdes.....	59
V-4) Améliorations possibles	62
a) Etanchéité mécanique.....	62
b) Etanchéité en PTFE.....	63
c) Etanchéité avec INPRO SEALS	64
d) Reverse engineering.....	64
e) Nouveaux diaphragmes et nouvelles tuyères.....	64
f) Nouvelle régulation.....	65
g) Sécurité par manque d'huile.....	65
h) Arrêt à distance.....	65
V-5) Conclusion.....	65
Conclusion générale	66
Références bibliographique	67
Annexes	68

Liste des figures :

<u>Chapitre I :</u>	<u>Chapitre II :</u>
<i>figure I 1 Situation géographique du complexe GLI/ Z2</i>	<i>Figure II 1 rotor de turbine.....23</i>
<i>Figure I 2 expression des pressions.....8</i>	<i>Figure II 2 roue de la turbine.....23</i>
<i>Figure I 3 mesure de pressions.....9</i>	<i>Figure II 3 : arbre de la turbine.....24</i>
<i>Figure I 4 écoulement de vapeur dans une section10</i>	<i>Figure II 4 les aubes de turbine.....24</i>
<i>Figure I 5 écoulement convergent-divergent.....10</i>	<i>Figure II 5 Aubes twistées.....25</i>
<i>Figure I 6 turbine à vapeur10</i>	<i>Figure II 6 Direction du flux vapeur.....25</i>
<i>Figure I 7 les turbines à vapeur HERO.....11</i>	<i>Figure II 7 La conception des aubes.....25</i>
<i>Figure I 8 les types de turbine à vapeur Basé sur l'état d'échappement.....13</i>	<i>Figure II 8 les types de accrochages.....26</i>
<i>Figure I 9 : direction de vapeur sur turbine à action.....13</i>	<i>Figure II 9 Roue en coupe.....26</i>
<i>Figure I 10 turbine de Laval.....14</i>	<i>Figure II 10 Fil de liaison de l'aube.....26</i>
<i>Figure I 11 turbine Curtis.....14</i>	<i>Figure II 11 La distributeur.....27</i>
<i>Figure I 12 direction de vapeur sur turbine à réaction.....15</i>	<i>Figure II 12 tuyère convergente et divergente.....27.</i>
<i>figure I 13 : turbine Râteau15</i>	<i>Figure II 13 les vanne additionnelles (HAND VALVE).....27</i>
<i>Figure I 14 : direction de flux vapeur sur turbine flux axial.....16</i>	<i>Figure II 14 Les diaphragmes.....28</i>
<i>Figure I 15 la direction du flux vapeur dans les turbines radiales.....16</i>	<i>Figure II 15 paliers lisses à billes et patins.....28</i>
<i>Figure I 16 les turbines à vapeur tangentiels.....16</i>	<i>Figure II 16 Anneaux carbone.....29</i>
<i>Figure I 17 turbine simple étage.....17</i>	<i>Figure II 17 labyrinthes.....29</i>
<i>Figure I 18 angle d'Attaque sur les aubes de turbine.....18</i>	<i>Figure II 18 Labyrinthes étagée et non étagés.....29</i>
<i>Figure I 19 la direction et le diagramme des vitesses sur un étage de turbine.....18</i>	<i>Figure II 19 régulateur de vitesse standard.....30</i>
<i>Figure I 20 turbine multi étages.....19</i>	<i>Figure II 20 : régulateur WOODWARD.....30</i>
<i>figure I 21 :un central thermique de turbine à vapeur.....19</i>	<i>Figure II 21 le carter.....31</i>
<i>Figure I 22 les chaudières.....20</i>	<i>Figure II 22 système de sécurité.....31</i>
<i>Figure I 23 condenseur.....20</i>	

Figure I 24 pompe centrifuge.....21	Figure II 23 général description de la turbine à vapeur mono-étagée DRESSER RAND.....32
Figure I 25 cycle de circulation de l'eau dans un central thermique.....21	Figure II 24 schéma typiques d'une turbine lubrifié sous pression.....33
Figure I 26 cycle de Rankine.....22	Figure II 25 un exemple d'alignement de la turbine.....34
Figure I 27 cycle de Hirn(surchauffé).....22	Figure II 26 Méthodes de vérification de l'alignement de l'accouplement.....34

Chapitre III :

figure III 1 : diagramme pression vitesse de turbine à action.....37	figure III 21 schéma général de projet sur ANSYS WORKBENCH.....46
figure III 2 passage de vapeur sur les aubes de turbine..37	figure III 22 la configuration finale de simulation.....46
figure III 3 profile aérodynamique.....39	figure III 23 séparation l'aube de rotor et de stator..46
figure III 4 écoulement autour d'un profile d'aube.....39	figure III 24 Mettre le type de fluide sur la configuration de CFX.....47
figure III 5 boite de BLADEGANE sur WORKBENCH.....41	figure III 25 mettre les pressions de l'entrée et sortie sur la configuration de CFX.....47
figure III 6 Configuration les dimensions des aubes de rotor.....41	figure III 26 mettre le débit massique dans la sortie sur la configuration de CFX.....48
figure III 7 Configuration les dimensions des aubes de stator.....42	figure III 27 condition de débit massique dans l'entrée sur la configuration de CFX.....48
figure III 8 boite de dialogue d'emplacement de point de rotor.....42	Figure III 28 le général mode de configuration physique.....49
figure III 9 Vue auxiliaire des aubes de rotor.....42	figure III 29 la solution finale (solveur).....49
figure III 10 vue 3d des aubes de rotor.....42	
figure III 11 : boite de dialogue d'emplacement de point de stator.....43	
figure III 12 Vue auxiliaire des aubes de stator.....43	
figure III 13 vue 3d des aubes de stator.....43	
figure III 14 boite de dialogue des propriétés du modèle de BLADEGEN.....43	
figure III 15 boite de TURBOGRID sur WORKBENCH.....44	

<i>figure III 16 Les aubes de rotor avant le maillage.....44</i> <i>figure III 17 aubes de rotor maillé.....44</i> <i>figure III 18 Les aubes de stator avant le maillage.....45</i> <i>figure III 19 aubes de stator maillé.....45</i> <i>figure III 20 boite de CFX sur WORKBENCH.....45</i>	
<u>Chapitre IV :</u>	<u>Chapitre V :</u>
<i>figure IV 1 :champ de vitesse.....51</i> <i>figure IV 2: écoulement de vapeur (STEAMLINES vue 3d.....52</i> <i>figure IV 3:diffrent vues de l'écoulement de vapeur52</i> <i>figure IV 4:vue 2d de l'écoulement de vapeur52</i> <i>figure IV 5: champ de pression.....53</i> <i>figure IV 6 :champ de densité.....54</i> <i>figure IV 7:champ de température.....54</i> <i>Figure IV 8 : détails de formules de couple.....56</i>	<i>figure VI 1 réparation de turbine à vapeur.....58</i> <i>figure VI 2 Entretien de turbine.....59</i> <i>figure VI 3 Garniture 28 ST chez crane.....63</i> <i>figure VI 4 rainure spiralée d'étanchéité crane63</i> <i>Figure VI 5 Composant d'une garniture d'étanchéité.....63</i> <i>Figure VI 6 anneau en PTFE.....64</i> <i>Figure VI 7 INPRO SEAL.....64</i> <i>Figure VI 8 construction des aubes et de l'anneau (PRV).....64</i> <i>Figure VI 9 passage vapeur en PVR.....65</i>

Liste des tableaux :

<i>Table I 1 départements de GLIZ.....</i>	<i>4</i>
<i>Table I 2 Pourcentage du composant de MCR.....</i>	<i>7</i>
<i>Table II 1 : Spécifications de vitesse de la turbine.....</i>	<i>35</i>
<i>Table II 2 : Des conditions de fonctionnement.....</i>	<i>35</i>
<i>Table III 1 Conditions aux limites pour notre cas</i>	<i>40</i>
<i>Table IV 1 comparaison avec les données de turbine</i>	<i>55</i>
<i>Table V 1 Causes et remèdes de Perte de puissance.....</i>	<i>60</i>
<i>Table V 2 Causes et remèdes de Consommation de vapeur excessive.....</i>	<i>60</i>
<i>Table V 3 Causes et remèdes de Vibrations.....</i>	<i>60</i>
<i>Table V 4 Causes et remèdes de fuites excessives aux joints d'étanchéité (garniture).....</i>	<i>61</i>
<i>Table V 5 Causes et remèdes si la turbine ne reste pas en alignement.....</i>	<i>62</i>
<i>Table V 6 Causes et remèdes si la vitesse s'accroît excessivement quand la charge diminue.....</i>	<i>62</i>

Introduction générale :

De nos jours, l'industrie moderne est étroitement liée aux progrès technologiques et à la recherche scientifique. Pour rester compétitive sur les marchés internationaux, elle doit continuer à innover. Grâce à l'innovation technologique et à l'adoption de pratiques durables, l'industrie peut continuer à jouer un rôle clé dans la production de biens et services essentiels, ainsi que dans la promotion du développement économique et social. Les logiciels de simulation numérique jouent un rôle crucial dans ce processus, permettant aux ingénieurs et aux scientifiques de modéliser des phénomènes complexes, d'analyser des données et de prédire le comportement des systèmes avant leur mise en service, ainsi que d'estimer les performances.

La simulation numérique est devenue un outil indispensable pour concevoir et optimiser les performances des équipements, en particulier dans le domaine des turbomachines. Elle permet de modéliser le comportement des fluides à l'intérieur, afin d'optimiser la conception et de minimiser les pertes énergétiques. Elle permet également de tester différentes configurations de conception et de prévoir les performances globales de la machine en conditions réelles.

C'est pourquoi notre projet de fin d'étude s'est concentré sur la simulation numérique, à l'aide du logiciel ANSYS CFX R2 2020, de l'écoulement de vapeur d'eau à travers les aubes d'une turbine à vapeur mono-étagée, classée dans la famille des turbomachines de complexe GL1Z d'Arzew. Nous avons cherché à obtenir les champs d'écoulement, de vitesse, de température et de pression pour aider à estimer les performances mécaniques et optimiser le fonctionnement de la turbine, afin d'atténuer et d'améliorer son effet sur la production totale du complexe. Notre étude a été réalisée en cinq chapitres :

- Le chapitre I : présente notre recherche bibliographique, qui comprend quelques généralités sur les turbines à vapeur, ainsi que leur classification et leurs types.
- Le chapitre II : est consacré à la description technologique des turbines à vapeur, mentionnant quelques organes et les caractéristiques techniques de cette turbine en particulier.
- Le chapitre III : traite de la position physique et mathématique du problème, ainsi que des étapes de simulation numérique à l'aide du logiciel ANSYS CFX (le maillage, la configuration physique, etc.).
- Le chapitre IV : porte sur la discussion et l'interprétation des résultats des champs (vitesse, température, pression, etc.) et leur comparaison avec les données de la turbine.
- Le chapitre V : est consacré à la maintenance de la turbine, en abordant les conditions, les problèmes qui peuvent survenir et les solutions.

En conclusion, notre étude a montré l'importance de la simulation numérique dans la conception et l'optimisation des performances des turbines à vapeur. Les logiciels de simulation numérique sont des outils indispensables pour les ingénieurs et les scientifiques, leur permettant de modéliser des phénomènes complexes et de prédire le comportement des systèmes avant leur mise en service. Notre projet de fin d'étude a permis d'obtenir des résultats satisfaisants pour aider à estimer les performances mécaniques de la turbine et à optimiser son fonctionnement.

CHAPITRE I:
GENERALITES

I-1) INTRODUCTION:

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. La turbine à vapeur est une forme de machine thermique qui doit une grande partie de l'amélioration de son efficacité thermodynamique à l'utilisation de plusieurs étages dans l'expansion de la vapeur, ce qui se traduit par un résultat proche du processus de détente réversible idéal. Dans ce chapitre, nous détaillerons tout ce qui concerne la turbine à vapeur en général.

I-2) PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL GL1Z:

GL1Z est une usine affiliée à la compagnie national SONATRACH situé à ARZEW willaya de ORAN a été créé par USA en 1971.

• A) Mission du complexe GL1/Z :

Le complexe GL1/Z a pour mission de traiter le gaz naturel transporté par gazoduc en provenance des champs gazetiers de HASSI R'MEL en gaz naturel liquéfié (GNL) avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline, ce gaz est ensuite transporté dans les méthaniers à destination de l'étranger.

Les clients de SONATRACH en matière du gaz naturel liquéfié sont :

- DISTRIGAZ (Etats-Unis)
- DISTRIGAZ (Belgique)
- G.D.F (France)
- TRANKLINE (Etats-Unis)

• B) Situation géographique du complexe GL1/ Z :

La société américaine BECHTEL a construit le complexe GL1/Z s'étendant sur une superficie de 72 hectares dont 56 hectares occupés par les installations, situé à 40KM à l'ouest d'Oran et à 300KM de la capitale.

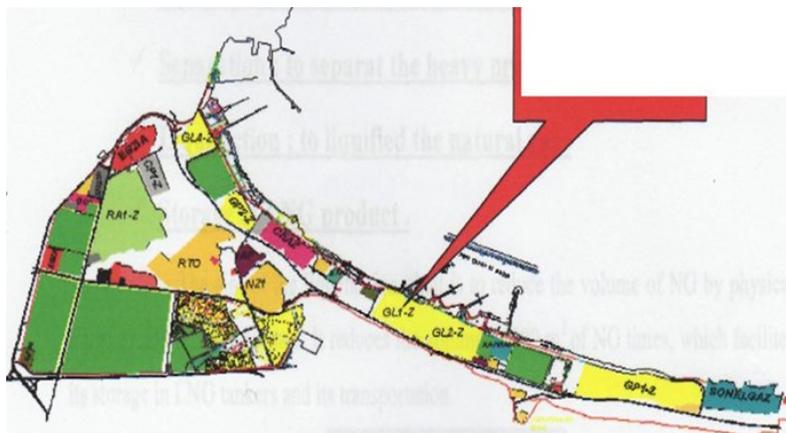


Figure I 1 Situation géographique du complexe GL1/ Z

• **C) Description du complexe GL1/Z :**

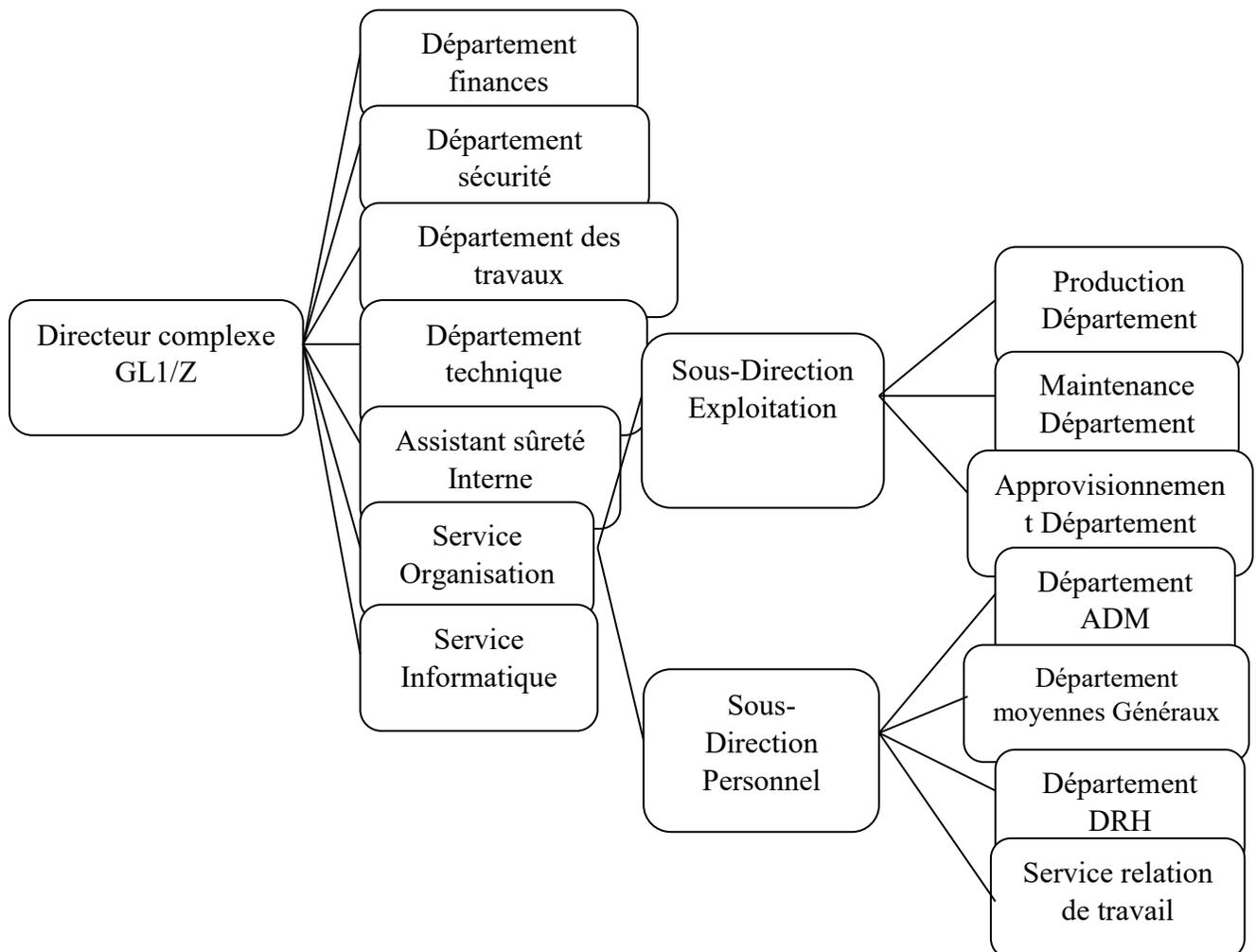
Le complexe GL1/Z se compose de 6 trains de liquéfaction identiques, chacun a une capacité de 9000m cubes de GNL par jour, une capacité de stockage de 300000m cube (03 bacs de 100000m cube chacun) stocké à une température de -162°C à la pression atmosphérique, une pompe d'expédition GNL, un quai de chargement avec deux postes M2 et M1 pour des méthaniers allant jusqu'à 125000 m cube.

Le projet de rénovation a apporté de grandes améliorations sur le plan de la sécurité par l'introduction de l'outil DCS (DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM) de FOXBORO qui est un moyen de contrôle performant et aussi sur le plan de production par l'installation de deux grosses chaudières japonaises IHI et MHI de capacité énergétique égale à 400TN/H.

Le complexe GL1/Z est composé de 3 zones :

1. **Zone Utilités**
2. **Zone procès**
3. **Zone stockage et expédition**

• **D) Organigramme de l'entreprise :**



• **E) Description des départements :**

Code	Désignation	Code	Désignation
I	sécurité	ADM	Administration
F	Finance	A	Approvisionnement
T	Technique	G	Maintenance
M	Moyens généraux	P	Production
R	Ressources humaines	R.T	Rapport actif

Table I 1 départements de GLIZ

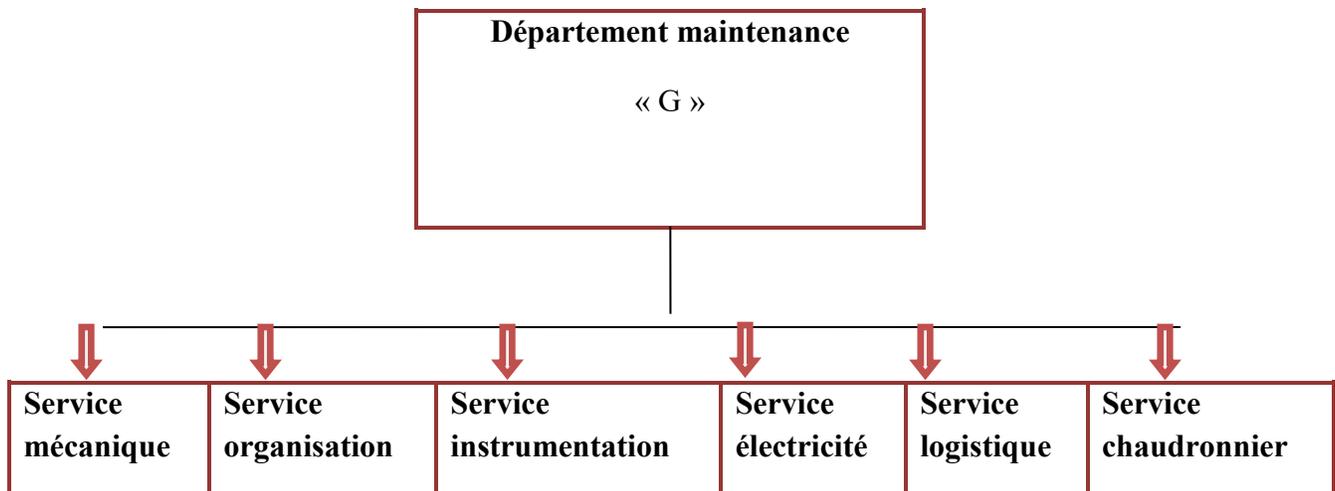
• **F) Mission du département maintenance G :**

Le département de maintenance joue un rôle principal ; ces activités incluent l’entretien du matériel, et a pour objectif :

- Maintenir le matériel industriel en bonne condition.
- Maintenir le matériel en état opérationnel pendant une fraction maximale des temps et réduire les couts d’entretien et les temps d’interruption.

• **G) Organigramme de département maintenance :**

Le département de maintenance est composé de six (6) service :



• **Service organisation et méthodes :**

Il est chargé de coordonner et organiser l’activité des autres services

- **Service mécanique :**

Service mécanique s'occupe de toute la mécanique procède à la maintenance préventive, la révision des régulateurs mécanique et se compose de :

- Section procès
- Section chaudière
- Section utilités
- Section équipements statiques
- Section atelier et graissage

- **Service instrumentation :**

Il assure l'entretien la réparation des instruments électroniques pneumatiques au niveau du complexe

- **Service électricité :**

Qui a pour tâche la réparation de tous le matériel électrique dans le complexe et il est divisé en deux section :

- Section alimentation et distribution.
- Section électricité industrielle.

- **Service chaudronnerie :**

Il travail généralement sur les équipements statiques pour le revêtement des conduites et le soudage

- **Service logistique :**

Il occupe de :

- La peinture et le nettoyage des installations
- Fournir les moyens nécessaires aux autres services de maintenance pour réaliser le travail.

I-3) DESCRIPTION DU PROCEDES DE LIQUEFACTION :

Le complexe GL1/Z utilise un procédé de liquéfaction de type APCI avec une capacité de production théorique de 53220 m³/ jour GNL et cela pour les six trains existant à raison de 8870 m³/jour de GNL pour chaque train.

Avec deux bras de chargement pour charger les méthaniers et une capacité de stockage de 300.000 m³ de GNL, le complexe GL1/Z est composé de trois zones distinctes :

- Zone utilité
- Zone procès
- Zone stockage et expédition

I 3-1) zone utilité :

Cette zone est primordiale pour la production du GNL, elle assure le démarrage et le bon fonctionnement de 06 trains (unités de liquéfaction) par la production et la fourniture des différentes énergies :

Electricité : elle est fournie en grande partie par 03 turbogénérateurs et une source de secours qui est SONELGAZ plus le secoure de GL2/Z.

Vapeur : est fournie par un ensemble de chaudières de différents tonnages réparties comme suit :

.03 chaudières HP de 90 TN/H chacune au niveau des utilités.

.01 chaudière BP de 58 TN/H au niveau des utilités.

.18 chaudières HP de 136 TN/H situées dans la zone du procès.

.06 nouvelles chaudières HP de 400 TN/H (04 chaudières MHI et 02 chaudières IHI) installées depuis la rénovation du complexe. La production de vapeur est utilisée pour le fonctionnement des turbines (Turbogénérateurs, Turbocompresseurs et Turbopompes).

Eau dessalée : elle est fournie par cinq unités de dessalement produisant chacune 45 TN/H utilisée pour la production de la vapeur.

Air : il est fourni par quatre compresseurs et séché par deux sécheurs d'air fonctionnant à tour de rôle.

Eau de mer : elle fournit par six pompes d'eau de mer, et eau es utilisée comme réfrigérant dans les différentes unités ainsi pour la production de l'eau dessalée.

Azote : l'Azote est utilisé comme fluide de sécurité pour les opérations d'inertage lors du démarrage des unités d'exploitation.

I 3-2) Zone de procès :

Le complexe GL1/Z comprend six trains de liquéfaction identique d'une production en parallèle. Chaque train de liquéfaction est composé de huit sections à savoir :

- La section de décarbonatation
- La section de déshydratation.
- La section de démercurisation .
- Le pré-refroidissement.
- La section séparation et tour de lavage (Phase lourde / phase légère).
- La section de liquéfaction.

1) section de décarbonatation :

La fonction de cette section consiste en l'élimination du CO₂ contenu dans le gaz naturel, car CO₂ porté à une basse température de l'ordre de (-70°C) se solidifie et forme des bouchons de glace causant une obstruction des canalisations de service par ailleurs le CO₂ a un comportement assez particulier en matière de corrosion ou la pression partielle du CO₂ contrôle le phénomène de corrosion, pour ce traitement de la décarbonatation il est fait usage d'une amine appelée (MEA) soit le Mono éthanol amine (C₂H₅ONH₂) cette amine a le pouvoir de capter le CO₂ existant dans le gaz naturel. Cette section comporte deux étapes importantes à savoir :

a) l'absorption : L'absorption est un transfert de matière qui consiste à déplacer le CO₂ du gaz naturel vers la MEA et ce dont le but purifier ce gaz.

b) la régénération : La régénération de la MEA est une opération de distillation classique de la MEA qui consiste à purifier cette amine pour être réutiliser dans la section de décarbonatation.

2) section de déshydratation :

Après la section de décarbonatation le gaz naturel est acheminé vers une seconde section de (déshydratation). Cette section consiste à l'élimination de l'eau contenue dans le gaz naturel. Pour cela il est fait usage de deux sècheurs à tamis moléculaires dont un sécheur est en service normal et le second est en régénération.

3) section de démercurisation :

La démercurisation est une opération importante dans le traitement de transformation du gaz naturel. Cette installation consiste à piéger le mercure (Hg) contenu dans le gaz et ce pour éviter que le mercure attaque particulièrement les équipements en Aluminium (Al) comme le cas de l'échangeur principal de la section de liquéfaction. Le démercuriseur est garni d'une charge interne d'un produit à base de carbone et de soufre servant à adsorber le mercure contenu dans le gaz naturel.

4) section de pré - refroidissement :

Avant d'introduire le gaz naturel dans la section de séparation de la tour de lavage, il subit un pré - refroidissement pour que sa température soit portée à (-34°C). Dans deux échangeurs.

5) section de séparation de la tour de lavage :

La séparation est une étape importante dans le cycle de liquéfaction du gaz naturel. Après pré-refroidissement, le gaz est acheminé dans une tour de séparation. A ce stage la séparation est une distillation classique qui sépare le produit en deux phases bien distinctes : produits lourds et produits léger. Le gaz entre dans la tour de lavage au niveau du 9ème plateau ou il aura une séparation entre phase légère et phase lourde par le reflux.

6) section liquéfaction :

Cette section représente la partie la plus importante du procès de la faite qu'elle permet de réaliser l'objectif principal du complexe qui consiste à liquéfier le gaz naturel et ce par l'usage d'un réfrigérant Multi-Composé MCR et sa composition est la suivante :

Composant du MCR	Pourcentage du composant
Azote	3
Méthane	40
Ethane	54
Propane	3

Table I 2 Pourcentage du composant de MCR

I 3-3) Zone de stockage et d'expédition :

Le gaz naturel liquéfié au niveau des six trains est stocké à une pression de 0,3 bar et une température de -162°C dans trois bacs de stockage d'une capacité de 100000 m cube chacun. Le chargement du GNL au bord des Méthaniers est assuré par cinq pompes de chargement et par les bras de chargement.

I-4) GENERALITES SUR LA TURBINE A VAPEUR :

1-4-1) Rappel sur mécanique des fluides :

I-4-1-1) Théorème de Bernoulli :

Il énonce que dans un écoulement de fluide incompressible unidimensionnel, la somme des énergies est constante. On considère ici les pressions et on peut écrire :

$$P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 = Cts \quad \text{I-1}$$

P_s = pression statique ρ = densité du fluide V = vitesse de l'écoulement

I-4-1-2) Expressions des températures :

Il existe différents moyens d'exprimer une même température. \Rightarrow En degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$). [Ou centigrade] \Rightarrow En degré Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) \Rightarrow En degré Rankine ($^{\circ}\text{R}$) \Rightarrow En Kelvin (K)

Il existe aujourd'hui une température absolue, c'est la température à partir du point où cesse l'action moléculaire et où la présence de chaleur interne est nulle. Ce point est le zéro degré absolu. Il est de $-273,15^{\circ}\text{C}$, de $-459,7^{\circ}\text{F}$, de 0°R ou de 0 K .

I-4-1-3) Expression des pressions :

On distingue la pression statique (P_s), la pression dynamique (P_d) et la pression totale (P_t) par rapport à la pression atmosphérique (surpression et dépression).

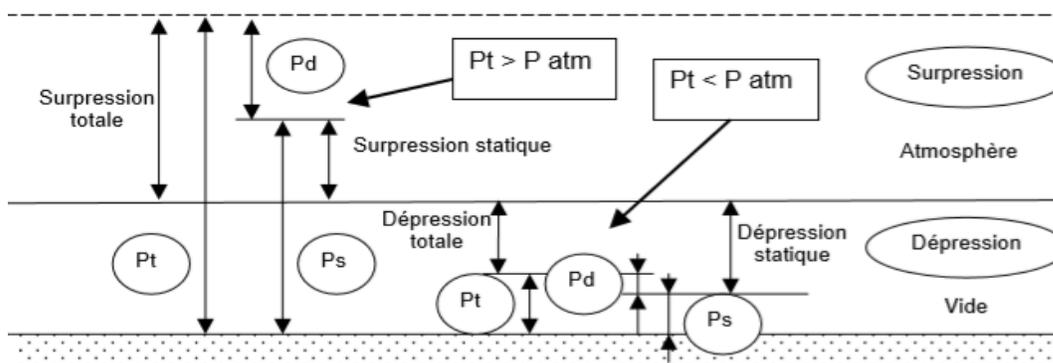


Figure I 2 expression des pressions

- **Pression atmosphérique :** Elle correspond au poids total des couches qui enveloppent la terre. Elle est estimée arbitrairement à 759,6 mm Hg (≈ 760) ou Torr pour une température de 0°C et au niveau de la mer.

- Très variable, dépend de l'altitude, elle n'est pas utilisée en régulation.

- **Pression relative** : Exprimée par rapport à la pression atmosphérique prise comme référence. $0 \text{ Rel.} = 760 \text{ mm hg}$

- D'emploi courant, c'est celle généralement mesurée par les manomètres.

- **Pression absolue** : Exprimée par rapport à un zéro théorique, dit "absolu" et voisin du zéro atmosphérique.

$$P. Abs. = P. ATM + P. Rel. \quad I-2$$

- Précise, seule échelle officielle.

- **Pression différentielle** : C'est la différence entre deux pressions. (ΔP)

- **Vide ou dépression** : Pression relative négative.

I-4-1-4) Mesure des pressions :

Dans un écoulement on peut mesurer la pression statique, la pression totale et la pression dynamique. La pression dynamique, est la différence de la pression totale et de la pression statique.

$$Pd = Pt - Ps \quad I-3$$

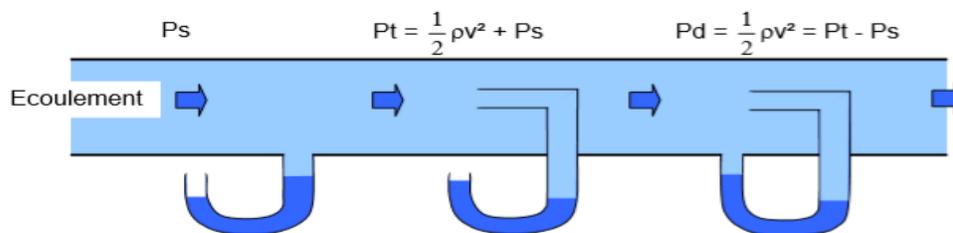


Figure I 3 mesure de pressions

a) Pression statique : C'est la pression d'un fluide au repos dans une canalisation ou une enceinte.

b) Pression dynamique : C'est la pression qui est due à la vitesse dans une canalisation.

c) Pression totale : C'est la somme des pressions statique et dynamique

I-4-1-5) Loi de St Venant :

Le théorème de Bernoulli n'est applicable que pour un écoulement incompressible. Lorsque l'écoulement est compressible, il faut appliquer la loi de St Venant :

$$(Cp \times T) + \frac{1}{2} \rho v^2 = Cts \quad I-4$$

Cp = chaleur spécifique à pression constante

T = température absolue (t° relative en degré Celsius + 273)

Elle permet de déterminer la température d'impact (ou d'arrêt) :

$$Cp \times T1 = (Cp \times T0) + \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \text{d'où : } T1 = T0 + \frac{\rho v^2}{2Cp} \quad I-5 \text{ et } I-6$$

I-4-1-6) Écoulement dans une section (écoulement subsonique) :

Dans un conduit divergent, la pression statique augmente et la vitesse diminue alors que dans un conduit convergent, la vitesse augmente et la pression statique diminue.

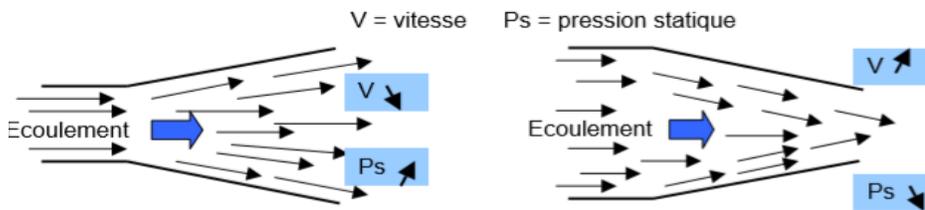


Figure I 4 écoulement de vapeur dans une section

Pour un nombre de Mach = 1, toute augmentation de vitesse est compensée par une réduction de la masse volumique. Le débit ne peut plus augmenter, il s'agit d'un col dit sonique. Lorsque l'on passe la vitesse sonique dans le col de la venturi, les caractéristiques pression vitesse s'inverse.

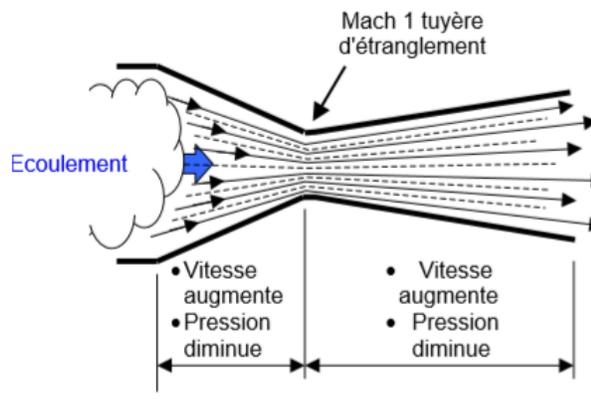


Figure I 5 écoulement convergent-divergent

I-4-2) Définition de la turbine à vapeur :

De manière plus générale, la turbine à vapeur est un moteur thermique rotatif qui convertit l'énergie d'un courant de vapeur d'eau en énergie mécanique. C'est un organe qui permet la détente d'un fluide en transformant son énergie en forme mécanique.

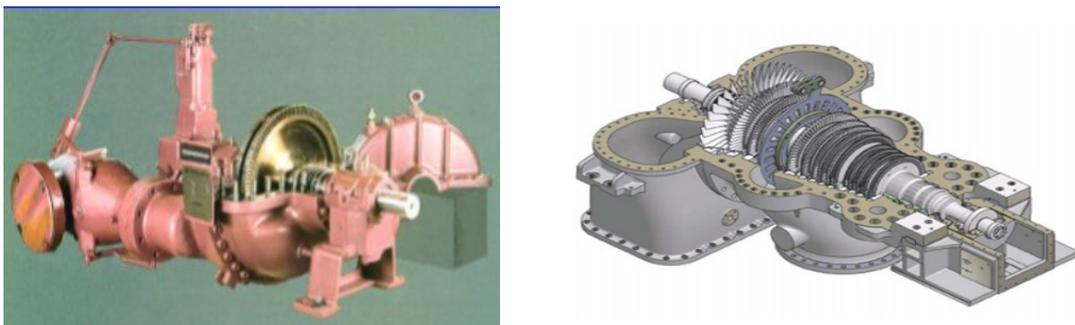


Figure I 6 turbine à vapeur

I-4-3) Historique :

Le premier appareil que l'on peut qualifier de turbine à vapeur à réaction est l'éolipile proposé par Héro d'Alexandrie, au 1er siècle. Dans cet appareil, la vapeur était fournie par un arbre rotatif creux à une sphère rotative creuse. Il a ensuite émergé à travers deux tubes incurvés opposés, tout comme l'eau sort d'un arroseur de pelouse rotatif (Fig. I 7). L'appareil n'était guère plus qu'un jouet, car aucun travail utile n'a été produit.

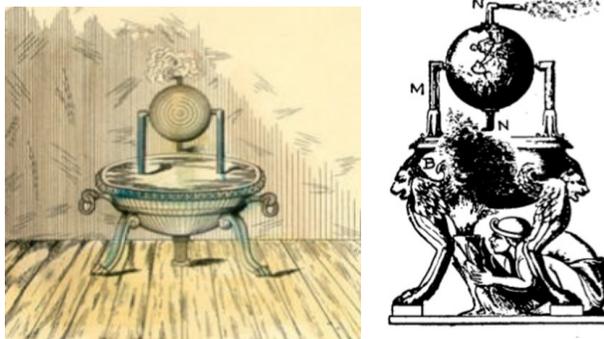


Figure I 7 les turbines à vapeur HERO

Au XVIIIe siècle, des avancées significatives ont été réalisées par des scientifiques tels que Giovanni BRANCA, Samuel MORLAND et Denis Papin. BRANCA a conçu une machine à vapeur utilisant une turbine, tandis que MORLAND et Papin ont fait des expériences sur les dispositifs de propulsion à vapeur.

Cependant, le véritable développement des turbines à vapeur a eu lieu au XIXe siècle. En 1827, l'ingénieur français CLAUDE BURDIN a breveté la première turbine à vapeur à action.

En 1884, Sir Charles Parsons, un ingénieur britannique, a inventé la première turbine à vapeur à réaction pratique. Sa turbine, connue sous le nom de turbine PARSONS, utilisait plusieurs étages de rotors et de stators pour augmenter l'efficacité. Cette invention a révolutionné l'industrie de la production d'électricité en permettant de construire des centrales électriques plus efficaces.

Aujourd'hui, les turbines à vapeur sont utilisées dans diverses applications, allant des centrales électriques aux systèmes de propulsion marins. Elles sont devenues des éléments clés de l'industrie de l'énergie et continuent d'être améliorées pour augmenter leur efficacité énergétique et réduire leur impact sur l'environnement.

I-4-4) historique des opérations turbine à vapeur DRESSER-RAND :

Dresser-Rand est une société spécialisée dans la conception, la fabrication et la maintenance de turbines à vapeur. Fondée en 1902 par John V. Dreyer et son partenaire ELIHU ROOT, la société a connu une évolution significative au fil des ans.

1902-1950 :

-Dresser-Rand est fondée en 1902 à Bradford, en Pennsylvanie, aux États-Unis.

-Dans les premières décennies, la société se concentre sur la conception et la fabrication de compresseurs et de pompes.

1950-1990 :

-Dresser-Rand connaît une croissance significative et élargit sa présence mondiale en établissant des bureaux et des installations de fabrication dans divers pays.

-La société développe des technologies avancées pour les turbines à vapeur, notamment les turbines à condensation, les turbines à contre-pression et les turbines à récupération de chaleur.

-Dresser-Rand fournit des turbines à vapeur à différents secteurs industriels, tels que l'énergie, l'industrie pétrolière et gazière, la chimie, l'industrie marine et d'autres applications.

1990-2018 :

-La société développe des solutions personnalisées pour répondre aux besoins spécifiques de ses clients, en offrant des turbines à vapeur de différentes tailles et configurations.

-Dresser-Rand se positionne comme un leader mondial dans le domaine des turbines à vapeur et établit des partenariats stratégiques avec d'autres acteurs de l'industrie.

2018-2023 :

-En 2018, Siemens AG acquiert Dresser-Rand, faisant de la société une filiale à part entière.

-La collaboration avec Siemens permet à Dresser-Rand de renforcer ses capacités en matière d'innovation et d'expansion internationale.

-Dresser-Rand continue de fournir des turbines à vapeur de haute qualité et de développer de nouvelles technologies pour répondre aux défis de l'industrie énergétique

I-5) CLASSIFICATION DES TURBINES A VAPEUR :

Les turbines à vapeur sont classées en fonction de nombreux facteurs tels que les conditions d'échappement, la conception des étages, le débit de vapeur, la conception de l'arbre, les types d'entraînement, etc.

I-5-1) Basé sur l'état d'échappement :

a) Condensation :

Les turbines à vapeur à condensation se trouvent le plus souvent dans les centrales thermiques. Dans une turbine à vapeur à condensation, le maximum d'énergie est extrait de la vapeur. Ceci est réalisé en faisant passer la vapeur d'échappement dans un condenseur, qui condense la vapeur d'échappement des étages basse pression de la turbine principale.

b) Sans condensation :

Qui fonctionnent avec de la vapeur qui n'est pas détendue complètement. Elles sont largement utilisées en raffinerie pour entraîner les pompes et la vapeur d'échappement est récupérée pour le chauffage des produits lourds.

c) Extraction automatique et régénérative :

Sont courantes dans toutes les applications. Dans certaines applications, si nécessaire, la vapeur peut être extraite de la turbine avant que la vapeur ne traverse le dernier étage, appelé turbine d'extraction. Comme dans les turbines à contre-pression, la vapeur extraite peut être utilisée pour de nombreux processus industriels, ou elle peut être utilisée pour améliorer l'efficacité du cycle thermodynamique.

d) Pression mixte :

Une haute pression qui sort de la vapeur légèrement surchauffée ou à la limite juste saturée. On prélève une partie de cette vapeur pour le procès et on envoie le reste dans la turbine basse pression du type à condensation.

e) Réchauffer :

Turbine à vapeur dans laquelle on peut extraire une partie de la vapeur à une étape intermédiaire, généralement pour des besoins de chauffage.

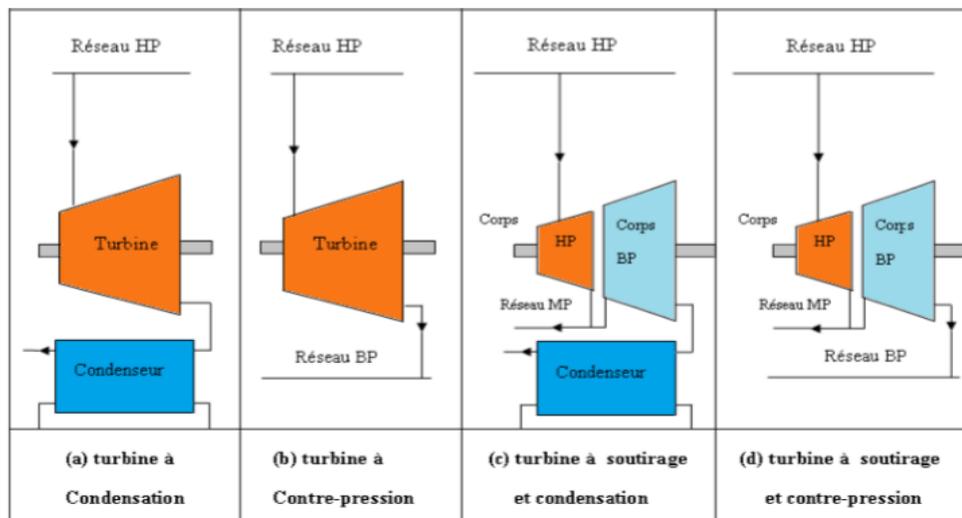


Figure 18 les types de turbine à vapeur Basé sur l'état d'échappement

I-5-2) Basé sur la conception d'étage :

a) À action :

-Les turbines à vapeur de type "action" produisent leur travail par détente de la vapeur au travers des tuyères fixes. Cela crée un jet de vapeur à haute vitesse. La force du jet ainsi obtenue est dirigée sur les aubes qui entraînent le rotor. La rotation des aubes fait diminuer la vitesse de la vapeur.

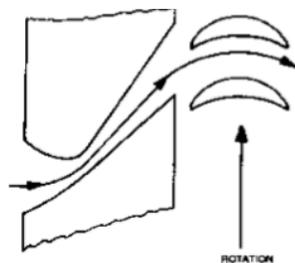


Figure 19 : direction de vapeur sur turbine à action

et on a certains exemples des turbines à action :

- Turbine de Laval :

La turbine à vapeur De-Laval est une turbine à vapeur qui fonctionne selon le principe de l'action impulsienne, une pression et une vitesse à un niveau. La turbine à vapeur a un mouvement de réseau de pales, de sorte que toute la vapeur qui tombe augmentera l'énergie potentielle puis sera convertie par la propulsion des aubes. La rotation résultant de la turbine à vapeur est très élevée et la puissance électrique maximale pouvant être générée est de 1500 kW. Cette turbine est donc généralement utilisée pour un générateur à petite échelle.

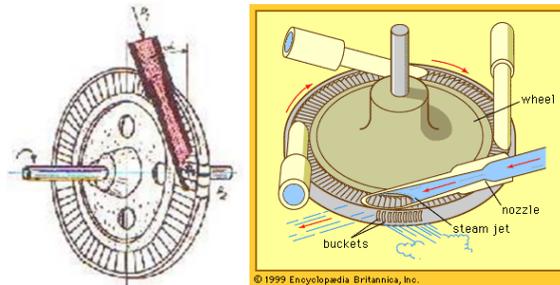


Figure 110 turbine de Laval

- Turbine Curtis :

La turbine Curtis est une turbine à impulsion composée, dont la composition est limitée uniquement à la vitesse. La turbine Curtis, inventée en 1897, diffère considérablement de tout autre type de turbine à vapeur en ce qu'elle permet d'utiliser des vitesses relativement faibles sans introduire de mécanisme compliqué. La roue Curtis est largement utilisée comme premier étage de turbines à vapeur dans diverses turbines à plusieurs étages aujourd'hui. Dans l'étage Curtis, la chute de pression totale se produit dans les buses. La pression dans deux rangées d'aubes reste constante. Le rotor tourne lorsque la vapeur traverse la buse et frappe les aubes de turbine fixées sur le rotor. Le rotor peut être couplé à une unité d'entraînement telle qu'une pompe,



Figure 111 turbine Curtis

b) À Réaction :

-Les turbines à vapeur de type "réaction" produisent leur détente dans les aubes mobiles. Les aubes fixes servent à guider, à redresser la vapeur vers les aubes mobiles suivantes. Les aubes fixes sont assemblées dans une pièce appelée redresseur dans les mono étagées et diaphragmes dans les multi étagées.

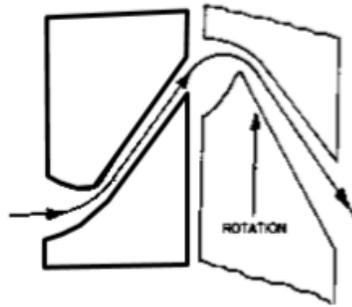


Figure I 12 : direction de vapeur sur turbine à réaction

Il existe des nombreux types des turbines à réaction et les plus connus parmi eux on a :

- Turbine Râteau :

Une turbine râteau est un type spécifique de turbine à vapeur utilisée dans certaines applications industrielles. Elle est également connue sous le nom turbine à réaction râteau. Le terme "râteau" fait référence à la configuration particulière des aubes de la turbine qui ressemblent à un râteau à dents multiples. Fonctionne sur le principe de la réaction. La vapeur haute pression est injectée dans la turbine et passe à travers une série de rangées d'aubes fixes et mobiles. La vapeur exerce une force sur les aubes mobiles, entraînant leur rotation et la production d'un travail mécanique.

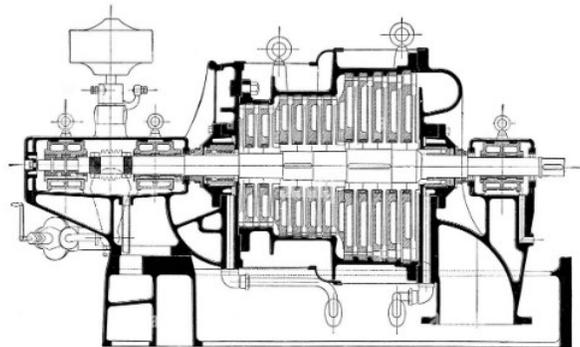


Figure I 13 turbine Râteau

c) Mixte à action-réaction :

-Les turbines dont la conception est purement à réaction sont très rares. Elles partagent la détente entre les étages fixes et mobiles suivant un rapport d'énergie de 50%. De cette façon on bénéficie d'une symétrie entre étages fixes et mobiles, ce qui permet de limiter le nombre de profilés à utiliser.

I-5-3) Basé sur le flux de vapeur :**a) Flux axial :**

La direction du flux est parallèle à l'axe du rotor. C'est le cas pour la majorité des turbines usuelles

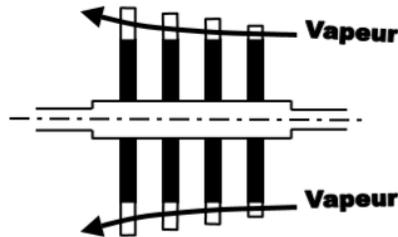


Figure I 14 : direction de flux vapeur sur turbine flux axial

b) Flux radial :

La direction du flux est perpendiculaire à l'axe de la machine, c'est le système qui est utilisé pour certaines turbines à vapeur de puissance. (Turbines à double rotation).

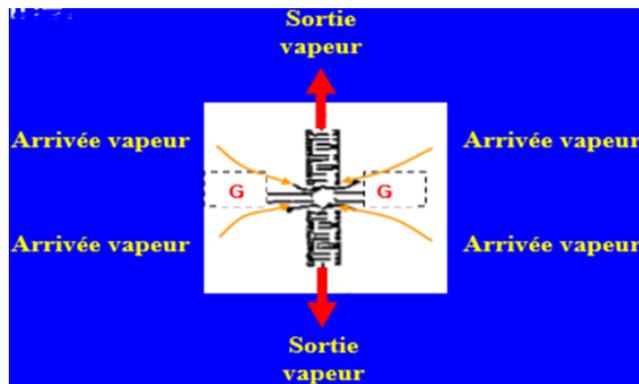


Figure I 15 la direction du flux vapeur dans les turbines radiales

c) Flux tangentiels :

La direction du flux est perpendiculaire à l'axe du rotor de la turbine et dans le même plan que la roue, ce système est utilisé sur les turbines monocellulaires de type Terry pour entraîner des auxiliaires.

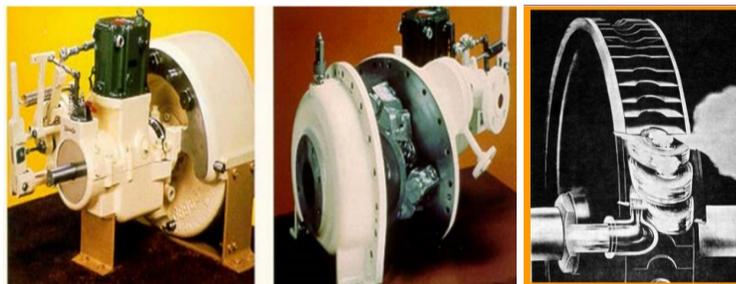
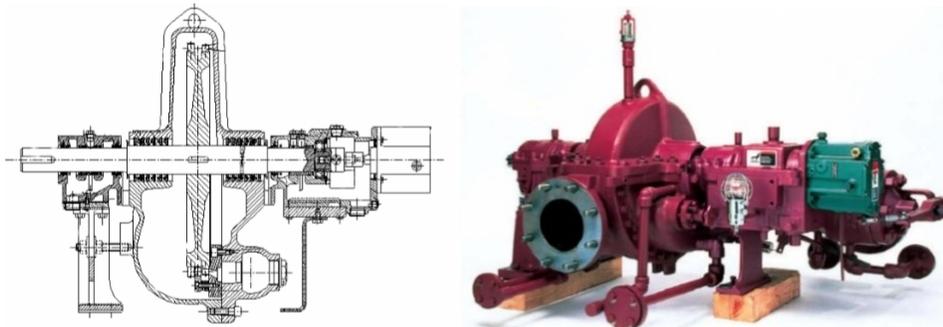


Figure I 16 les turbines à vapeur tangentiels

I-5-4) Basé sur les étages :**a) Etage unique :**

- La chute de pression prend place dans la tuyère.
- La détente de la vapeur augmente au maximum la vitesse du jet de vapeur en sortie de tuyère.
- Une partie de cette puissance pousse dans une direction axiale, créant une force dans le même sens que le jet de vapeur. Il faut donc placer en contrepartie un disque de butée.
- La roue peut avoir une, deux ou trois rangées d'aubes mobiles, cela dépend du ratio vitesse de la vapeur existant dans les tuyères et de la pente de vitesse définie par la courbure des aubes. Une rangée pour la haute vitesse et trois rangées pour une vitesse plus basse.

*Figure I 17 turbine simple étage*

- Le flux de vapeur est dans une direction axiale pour frapper les aubes avec un certain angle. La vitesse de l'impact oblige le rotor à tourner.
- Des aubes sont placées entre chaque étage pour redresser le sens du jet de vapeur et ainsi repasser dans les aubes mobiles suivantes.
- Chaque passage au travers un étage d'aubes mobiles est appelé étage de vitesse.
- La figure I 17 représente un étage de turbine, mais il est bien évident qu'une turbine peut comporter plusieurs étages. Il faut aussi noter que le calage, le nombre, la longueur et la forme des aubes peut varier d'un étage à l'autre et aussi le diagramme de vitesse.

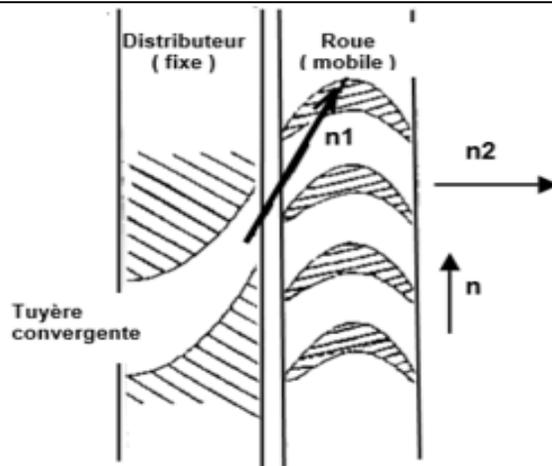


Figure I 18 angle d'Attack sur les aubes de turbine

U = vitesse de rotation de la roue. V = vitesse absolue de l'écoulement. W = vitesse relative de l'écoulement

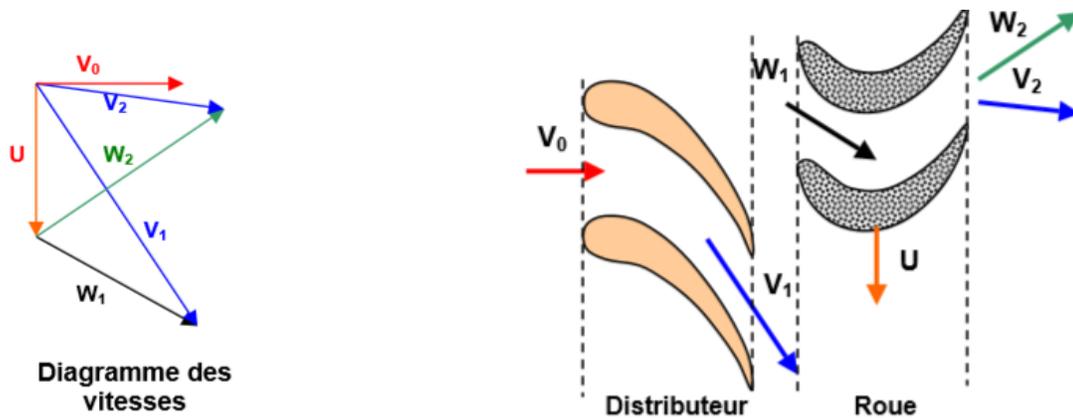


Figure I 19 la direction et le diagramme des vitesses sur un étage de turbine

b) Multi-étage :

- Pour utiliser au mieux l'énergie disponible dans la vapeur, des roues sont ajoutées, créant ainsi plusieurs étages.
- Le principe de fonctionnement est le même que dans les simples étages (mono étagées), la détente se réalise seulement dans les tuyères.
- La majorité des turbines à vapeur utilisent deux étages de vitesse. Une roue Curtis au premier étage et des roues Râteau pour les étages suivants. La roue du premier étage peut avoir une simple rangée d'aubes, cela dépend de la vitesse et des conditions vapeur.
- Les étages fixes (redresseur) contrôlent les chutes de pression et redirigent le jet de vapeur.



Figure I 20 turbine multi étages

I-6) APPLICATIONS DE TURBINE A VAPEUR :

La turbine à vapeur est utilisée dans de nombreuses applications différentes, allant des centrales thermique ou électriques aux navires en passant par les usines chimiques et pétrolières. Dans les centrales électriques, elle est utilisée pour produire de l'électricité à partir de combustibles fossiles. Dans les navires, elle est utilisée pour propulser le bateau à travers l'eau.

I-7) CENTRALES THERMIQUES A TURBINE A VAPEUR :

I-7-1) : Définition de centrale thermique :

Comme le titre l'indique, est le lieu du mécanisme qui convertit l'énergie thermique en énergie électrique.

I-7-2) : Principe de fonctionnement :

Les centrales thermiques à turbine à vapeur utilisent le charbon de lignite, le gaz naturel, le pétrole et les déchets des grandes villes comme combustible. L'eau pompée est envoyée à la chaudière et chauffée. L'eau est d'abord vaporisée puis déshumidifiée en passant par des dispositifs de surchauffeur. La vapeur surchauffée qui en résulte est envoyée à la turbine à vapeur. La vapeur frappe les aubes de la turbine et la fait tourner. L'alternateur relié à la turbine convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. L'énergie électrique de l'alternateur est transmise aux lignes de transport d'énergie via le transformateur élévateur. La vapeur qui accomplit sa tâche dans la turbine à vapeur va aux condenseurs. La vapeur condensée ici devient de l'eau et revient à la chaudière à l'aide de la pompe à eau d'alimentation.

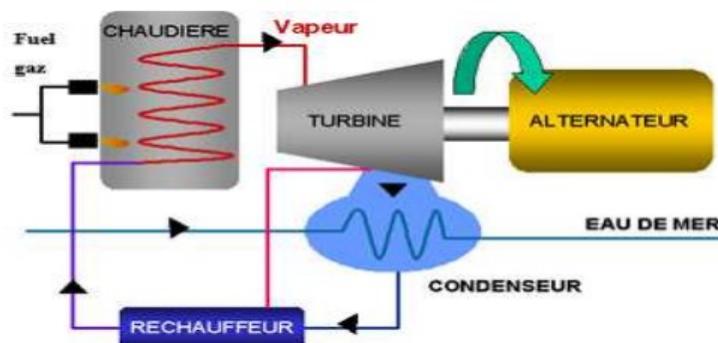


Figure I 21 : un central thermique de turbine à vapeur

I-7-3) Chaudière :

Est un générateur de chaleur produisant généralement de l'eau chaude pour le chauffage. Ce n'est pas la seule utilisation d'une chaudière qui peut produire de la vapeur, le plus souvent pour des applications industrielles. Une chaudière comporte un corps de chauffe avec un circuit d'eau intégré qui récupère la chaleur produite par un brûleur utilisant un combustible gaz,



Figure I 22 les chaudières

I-7-4) Condenseur :

Il est de coutume de designer par condenseur un appareil dont la fonction est de condenser de la vapeur, le réchauffage obligatoire du fluide froid auxiliaire n'étant qu'une conséquence (parfois nuisible). Par opposition aux échangeurs de chaleur (réchauffeurs) où la condensation de vapeur n'est qu'un moyen d'obtenir le but désiré : le réchauffage d'un certain fluide, Nous pouvons classer les condenseurs en deux grandes familles : **Les condenseurs par surface**, sans contact entre la vapeur à condenser et le fluide réfrigérant, une surface d'échange s'interposant entre eux. **Le condenseur par mélange**, comme leur nom l'indique, mélange totale entre la vapeur à condenser et le fluide réfrigérant

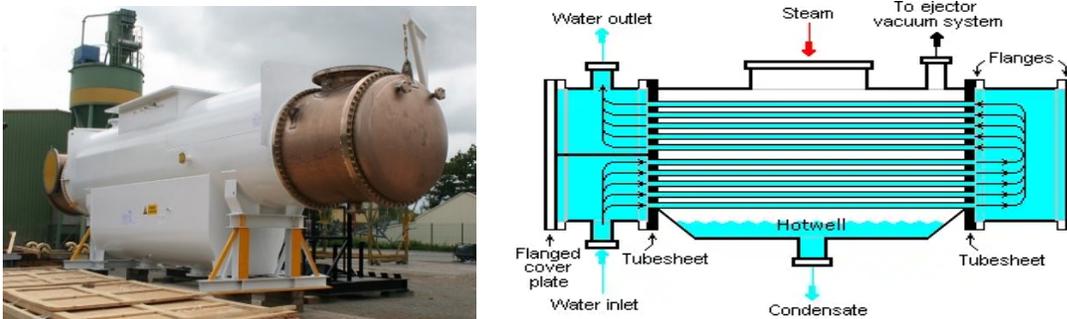


Figure I 23 condenseur

I-7-5) pompe :

Les pompes sont des éléments clés dans les turbines à vapeur, car elles assurent le transfert de l'eau dans le système. Les pompes d'alimentation en eau sont utilisées pour transférer l'eau de la chaudière vers la turbine à vapeur. Elles doivent fournir de l'eau à haute pression et à haute température pour produire de la vapeur à haute pression dans la turbine. Les pompes de condensat sont utilisées pour transférer l'eau de condensation de la turbine à vapeur vers le réservoir d'alimentation en eau. Ces pompes doivent fonctionner à basse pression et à basse

température, ce qui leur permet de récupérer l'eau de condensation à partir de la turbine à vapeur. Les pompes de circulation sont également utilisées pour faire circuler l'eau de la chaudière à travers les tubes de la chaudière, afin d'éviter la surchauffe et la formation de dépôts. Toutes ces pompes sont essentielles pour assurer un fonctionnement efficace et fiable de la turbine à vapeur.



Figure I 24 pompe centrifuge

I-8) LES CYCLES DE LA TURBINE A VAPEUR :

Les machines thermodynamiques fonctionnent avec plusieurs transformations successives et répétitives formant un cycle. Et Des installations industrielles à vapeurs ont en général constitué:

- D'une chaudière • D'une turbine • D'un condenseur • D'une pompe.

L'eau circulant dans l'installation va décrire le cycle ABCDE représenté sur la figure ci-dessous.

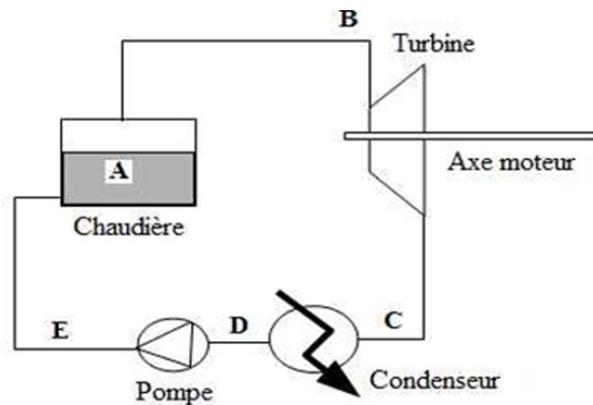


Figure I 25 cycle de circulation de l'eau dans un central thermique

En pratique, on ne considère que le cycle ABCD nommé **cycle de Rankine**.

I-8-1) : Le cycle de Rankine :

C'est la base des machines utilisant la vapeur d'eau dans les centrales thermiques. Il comprend :

- deux isobares BP et HP • deux isotropes ($Q=0$)

On peut représenter le cycle de Rankine dans un diagramme entropique (Température ~ Entropie T'-S), Il comprend le pompage de l'eau en 1-2, son échauffement en 2-3, sa vaporisation en 3-4 sa détente avec condensation partielle dans la turbine 4-5, et sa condensation dans le condenseur en 5-1 (fig I. 26)

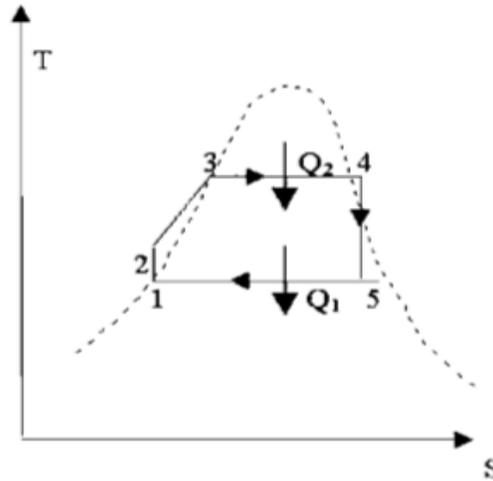


Figure I 26 cycle de Rankine

Avant son entrée dans la turbine. On obtient alors :

I-8-2) : Le cycle de Hirn (avec resurchauffe) :

Représente à la (fig. I 27) dont le rendement est bien meilleur que celui du cycle de Rankine simple.

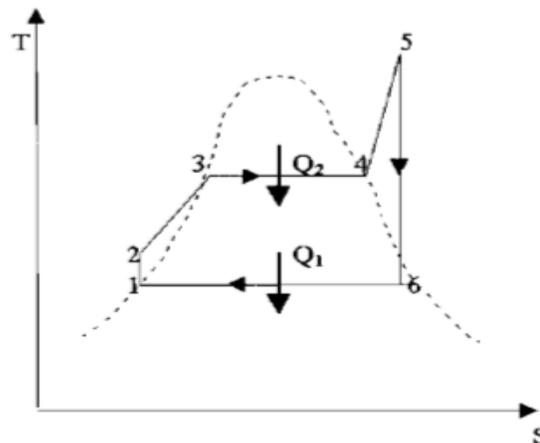


Figure I 27 cycle de Hirn

I-9) CONCLUSION :

Les turbines à vapeur sont classées selon leur mode de fonctionnement, leur utilisation et leur configuration. Dans ce chapitre, nous avons présenté l'organisme d'accueil et avons tenté d'expliquer la turbine à vapeur en général, ainsi que de décrire ses classifications et ses différents types. Nous nous sommes intéressés aux principes de fonctionnement des différents composants rencontrés, en particulier les aubes, pour simuler l'écoulement.

CHAPITRE II :
ETUDE TECHNOLOGIQUE

II-1) INTRODUCTION :

Parmi les différents types de turbines à vapeur, la turbine à action mono-étage DRESSER-RAND se distingue par sa performance et sa fiabilité. Cette turbine est souvent utilisée pour entraîner des pompes de lubrification d'huile. Dans cette description technologique, nous allons présenter en détail le fonctionnement et les composants de cette turbine à vapeur, ainsi que son rôle dans les procédés de notre installation.

II-2) LES COMPOSANTS PRINCIPALES D'UNE TURBINE A VAPEUR :

Toutes les turbines à vapeur sont composées d'un même ensemble de pièces. Que ce soit les mono étagées ou les multi étagées avec soutirage ou à condensation, elles ont toutes besoin des mêmes composants pour fonctionner. Ces ensembles de pièces sont :

1) Le rotor :

Organe essentiel de la turbine, il fait l'objet de beaucoup d'attention et des études poussées l'ont amené à son profil actuel. Le rotor se compose d'ensembles d'arbre et de disque avec des godets. Une extrémité de l'arbre est utilisée pour le couplage à la pompe entraînée et l'autre extrémité de l'arbre sert au régulateur de vitesse et au système de déclenchement de survitesse.



Figure II 1 rotor de turbine

2) Les roues :

Sont constituées d'un disque sur lequel on vient insérer des aubes sur toute la périphérie. Chaque roue est équilibrée seule avant le montage sur l'arbre et l'arbre est équilibré après chaque nouvelle roue d'installée. Pour les rotors forgés, il suffit juste après taillage d'une forme adéquate d'insérer les aubes sur la périphérie des couronnes.



Figure II 2 roue de la turbine

3) L'arbre :

C'est un arbre mécanique robuste et résistant qui transmet la puissance mécanique générée par la turbine à vapeur à l'équipement de sortie, tel qu'un générateur électrique ou une machine tournante. Et généralement fabriqué à partir d'un matériau solide et durable, tel que de l'acier allié ou de l'acier inoxydable, pour résister aux conditions de fonctionnement extrêmes, y compris les hautes températures et les forces de torsion élevées. Il est conçu pour supporter la rotation rapide et continue de la turbine à vapeur, qui est entraînée par la pression de la vapeur produite par la chaudière.



Figure II 3 : arbre de la turbine

4) Les Aubes :

On définit les aubes comme étant des obstacles profilés plongés dans un écoulement formant entre elles des canaux à travers lesquels le fluide circule. Conçues spécialement pour assurer un écoulement capable de fournir un travail mécanique. Une aube de deux faces : l'intrados et l'extrados, la vapeur est déviée dans les canaux du rotor, ce qui provoque une différence de pression sur l'extrados et l'intrados.



Figure II 4 les aubes de turbine

La fonction générale des aubages mobiles est de transmettre la force de travail de la vapeur en couple de mouvement aux roues et disques sur lesquels sont montées les aubes. Dans la pratique, plusieurs aubes sont montées sur chaque étage. Les aubes de chaque étage sont composées de formes différentes. Leur apparente simplicité cache un design et un usinage complexe. Lorsque la hauteur de l'aube devient une part significative du diamètre de la roue, le ratio vitesse vapeur sur vitesse aube influence sur la longueur de l'aubage. Pour contrecarrer cela, des aubes twistées sont utilisées.



Figure II 5 Aubes twistées

La vapeur entre dans le distributeur dans une direction axiale et en ressort dans une direction circumférentielle. Cela forme un flux sous forme de vortex, ou tourbillons qui sont contenus dans le corps de turbine avant d'entrer dans les aubes mobiles.

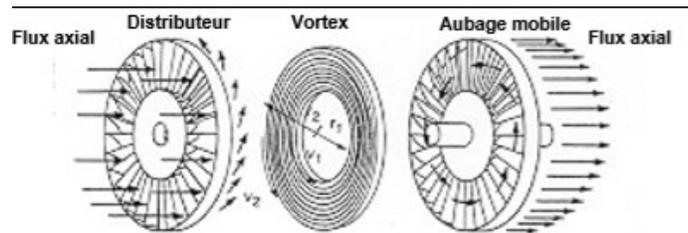


Figure II 6 Direction du flux vapeur

La conception des aubes est très importante pour atteindre une efficacité de turbine élevée. Le profil des aubes a été développé à partir de l'expérience sur le terrain et de recherches en laboratoires. Les aubes doivent être utilisées dans des conditions de température, de pression et de contraintes modérées,

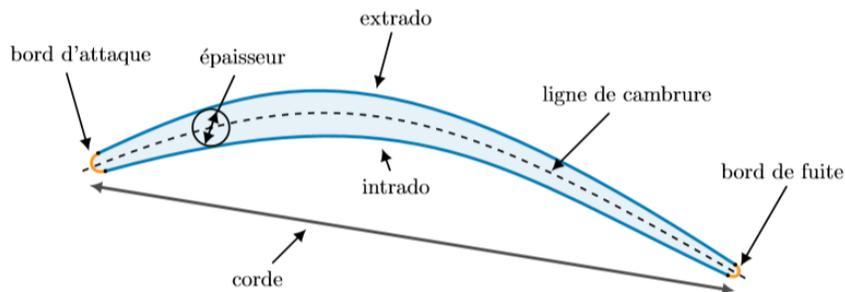


Figure II 7 La conception des aubes

Le contour du profil est défini en 4 zones : (1) le Bord d'Attaque (BA) est la zone d'entrée de l'aube dans le fluide, (2) le Bord de Fuite (BF) est la zone de sortie de l'aube, (3) l'intrado rejoint le BA et le BF du côté où apparaît la sur-pression, et (4) l'extrado, situé en vis-à-vis de l'intrado rejoint le BA et le BF du côté de la sous-pression.

Le terme de corde correspond à la longueur du profil, c'est-à-dire la distance entre le bord d'attaque et le bord de fuite. La ligne de cambrure est la ligne moyenne entre l'intrado et l'extrado. L'épaisseur de l'aube est un paramètre défini localement le long de la ligne de cambrure.

5) Les accrochages :

Pour fixer les aubes sur le rotor, il existe plusieurs moyens d'accrochage. Le choix de cet accrochage est bien sûr fonction de la pression générée par le distributeur ou les diaphragmes

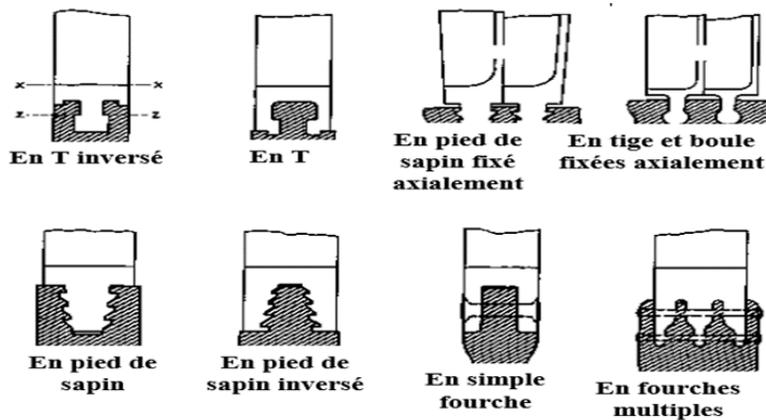


Figure II 8 les types de accrochages

L'aube se compose d'un ancrage, d'une surface portante et d'un tenon. Le tenon devenant le rivet qui maintient la jante.

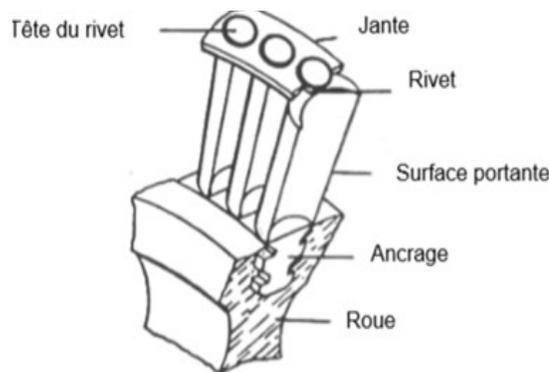


Figure II 9 Roue en coupe

La dernière aube insérée dans une roue s'appelle l'aube de blocage. Elle est maintenue par goupille La jante a pour but de maintenir le sommet de l'aube en place pendant la rotation, et Il suffit pour atténuer les vibrations sur ces roues, de mettre un fil reliant toutes les aubes.

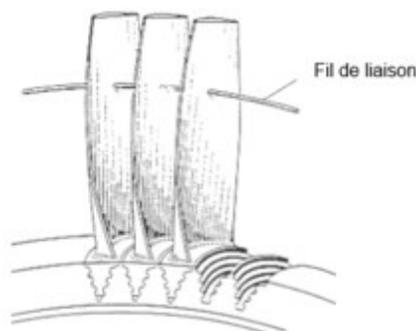


Figure II 10 Fil de liaison de l'aube

6) La Distributeur :

Chaque distributeur est conçu en fonction des besoins client, permettant ainsi d'obtenir le rendement maximum avec les conditions de vapeur données. Ils sont fabriqués en tôle d'acier ou en acier inoxydable pour répondre aux exigences de l'API. Chaque distributeur est indépendant du corps de turbine ce qui facilite son remplacement en cas de modification de caractéristiques de la turbine.

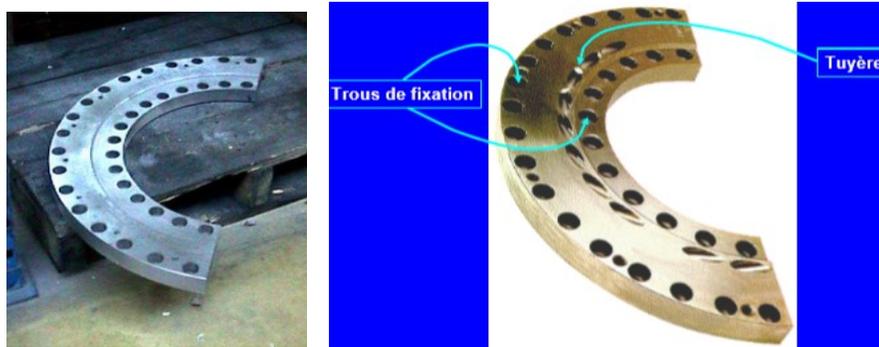


Figure II 11 La distributeur

Le distributeur, ou tuyère, ou bloc tuyères selon la conception de la pièce, est une des pièces principales qui participe au bon rendement de la machine. En effet c'est au travers des tuyères que le flux de vapeur perd de la pression au profit d'une vitesse pouvant atteindre aisément le mur du son (Plus de 400 m/s soit 1440 km/h). La forme de ces tuyères est particulièrement étudiée pour donner le maximum en fonction des conditions vapeur du client.

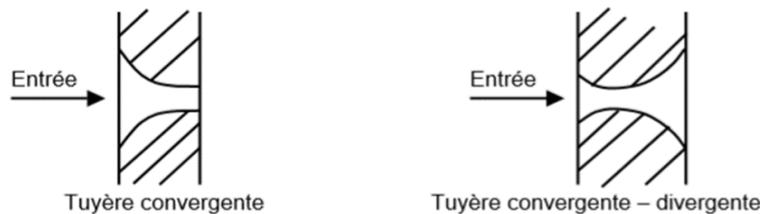


Figure II 12 tuyère convergente et divergente

En addition, sur le distributeur se trouve la possibilité d'ouvrir ou de fermer quelques tuyères. Ces **vannes additionnelles, manuelles** ou **automatiques** permettent une injection de vapeur supplémentaire laissant passer ainsi un débit plus grand lorsque le besoin se fait sentir. Elles ajustent la surface des tuyères à celle la plus proche de la surface nécessaire pour passer le débit vapeur pour une certaine charge, réduisant ainsi le laminage.

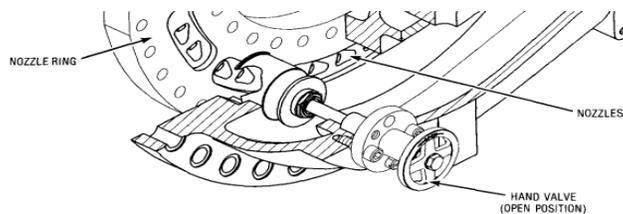


Figure II 13 les vanne additionnelles (HAND VALVE)

7) Les diaphragmes :

Ils sont formés de deux demi disques, assemblés par emboîtement au plan horizontal. Leur fixation est telle que chaque demi diaphragme supérieur reste solidaire du corps supérieur de la turbine lors du démontage. Les sections de passage de la vapeur dans chaque diaphragme sont formées par des aubages en profilé étiré ou par des blocs en coulée de précision assemblés par soudure, Leur utilisation est faite :

- Premièrement pour renverser la vapeur et la mettre de nouveau dans le sens de rotation des aubages mobiles.
- Deuxièmement, en fonction du profil adopté des aubes, modifier la pression et la vitesse de la vapeur lorsqu'elle passe à travers le diaphragme. Ils ont la double fonction de distributeur.

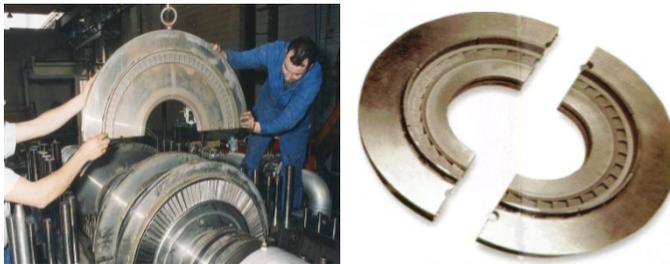


Figure II 14 Les diaphragmes

8) Les paliers :

Il existe une grande quantité de paliers (coussinets), qu'ils soient lisses, à patins ou à billes, et tous ces groupes sont encore eux-mêmes divisés en sous-groupes.



Figure II 15 paliers lisses à billes et patins

9) Les étanchéités :

Il y a deux sortes d'étanchéités à faire sur une turbine à vapeur : Etanchéité pour la vapeur, Etanchéité pour l'huile.

A) Etanchéité pour la vapeur :

Selon les conditions d'exploitation, les garnitures d'étanchéité sont réalisées par des bagues carbone, pour les mono étagées ou les multi étagées basse vitesse, ou par des labyrinthes, pour les turbines haute vitesse et entre les étages.

- Les anneaux carbone sont maintenus par des ressorts et entretoisés par des pièces d'écartement



Figure II 16 Anneaux carbone

Les anneaux de carbone sont donc séparés individuellement par des bagues d'écartement en acier inoxydable. Ces bagues d'espacement sont positionnées dans des rainures annulaires à l'intérieur de la boîte à garnitures. Les anneaux carbonés assurent l'étanchéité axialement entre carbone et pièce d'écartement et radialement le long de l'arbre.

- Les garnitures à labyrinthes sont en fonte ou nickel Ni-RESIST fixées sur le corps de turbine ou sur les diaphragmes. Elles sont maintenues concentriques au moyen de ressorts radiaux.



Figure II 17 labyrinthes

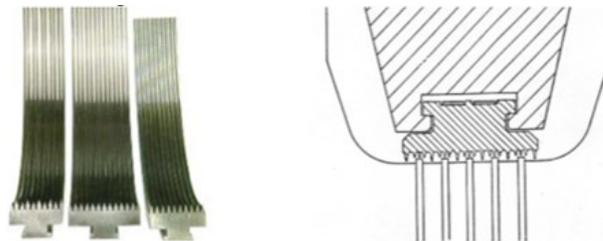


Figure II 18 Labyrinthes étagée et non étagés

B) Etanchéité pour l'huile :

L'étanchéité pour l'huile est plus "facile" à réaliser. Les pressions d'huile n'étant pas très importantes, voir quelquefois nulles, des labyrinthes ou juste un déflecteur sont souvent suffisants.

10) Le régulateur de vitesse :

Le régulateur de vitesse a pour but de maintenir constante la vitesse choisie (consigne) dans la limite du statisme, en ajustant à chaque instant le couple moteur au couple résistant. Une régulation détermine un signal de sortie (débit vapeur) en fonction d'un ou plusieurs signaux d'entrée.

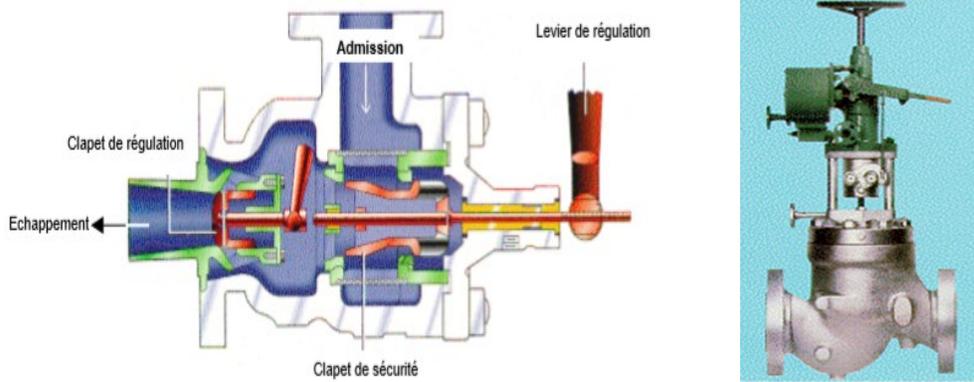


Figure II 19 régulateur de vitesse standard

11) Le régulateur WOODWARD :

Les régulateurs de Woodward sont régulation de vitesse de précision entièrement autonome unités. Ils sont mécaniquement liés au régulateur levier de commande du clapet de la régulation. Chacun est usine régler selon les spécifications du client pour une vitesse spécifique gamme. Les régulateurs de type Woodward PG et UG peuvent être réglés manuellement dans leur plage normale,



Figure II 20 : régulateur WOODWARD

12) Clapet de régulation :

Le clapet du régulation, illustré à la figure II 19 est contrôlée automatiquement par le régulateur de vitesse pour admettre la bonne quantité de vapeur nécessaire pour maintenir la vitesse pour laquelle le régulateur est réglé. Lorsque la turbine est ne fonctionne pas, la vanne est ouverte, sauf si des options été sélectionné pour fermer la vanne lorsque la turbine est déclenchée.

13) Clapet de sécurité :

Illustré à la figure II 19, est automatiquement fermé pour arrêter la turbine sur conditions de survitesse, et manuellement lorsque le levier de déclenchement est déverrouillé. Certains systèmes optionnels pour fermer automatiquement cette vanne et arrêter les turbines sont les suivantes : • Déclenchement de basse pression d'huile - sur les turbines avec un système de lubrification sous pression. • Déclenchement de basse pression d'air - en utilisant l'alimentation en air du client. • Déclenchement solénoïde. • Déclenchement à haute contre-pression.

14) Le carter :

La forme du carter et sa taille sont déterminées pour supporter les conditions de vapeur, les performances (puissance et vitesse) suivant les caractéristiques client. La taille de l'admission ou de l'échappement sont souvent les facteurs limites pour une autre application des turbines à de nouvelles conditions. Les matériaux utilisés sont la fonte, l'acier carbone, l'alliage d'acier au molybdène, l'alliage d'acier au chrome molybdène et l'acier inoxydable.



Figure II 21 le carter

15) Système de sécurité :

Il existe plusieurs systèmes de sécurité sur les turbines à vapeur actuelles. Ces dispositifs sont de plus en plus électriques ou électroniques et ne demandent pas de réglage ni d'attention particulière. Une fois réglés, ils sont généralement sans problème et leur durée de vie ne dépend que de leurs composants.



Figure II 22 système de sécurité

II-3) LE ROLE DE LA TURBINE A VAPEUR DRESSER-RAND:

Le rôle de La turbine à vapeur que nous avons étudié Dresser-Rand mono-étagée c'est l'entraînement d'une pompe de lubrification d'huile (fournir l'énergie mécanique nécessaire pour faire fonctionner cette pompe). Il fonctionne de la même manière que le moteur. Cette turbine fonctionne en utilisant la vapeur pour générer de l'énergie mécanique.

La Source de vapeur : La turbine à vapeur est alimentée par de la vapeur à haute pression et haute température provenant d'une chaudière.

L'arbre de la turbine est connecté à l'arbre d'entraînement de la pompe de lubrification d'huile., qui se met en mouvement pour fournir la lubrification nécessaire à divers équipements ou systèmes dans l'installation.

La turbine à vapeur Dresser-Rand est conçue pour être efficace et fiable, permettant ainsi une production d'électricité continue et une utilisation optimale de l'énergie thermique de la vapeur.

II-4) CONSTRUCTION DE LA TURBINE A VAPEUR :

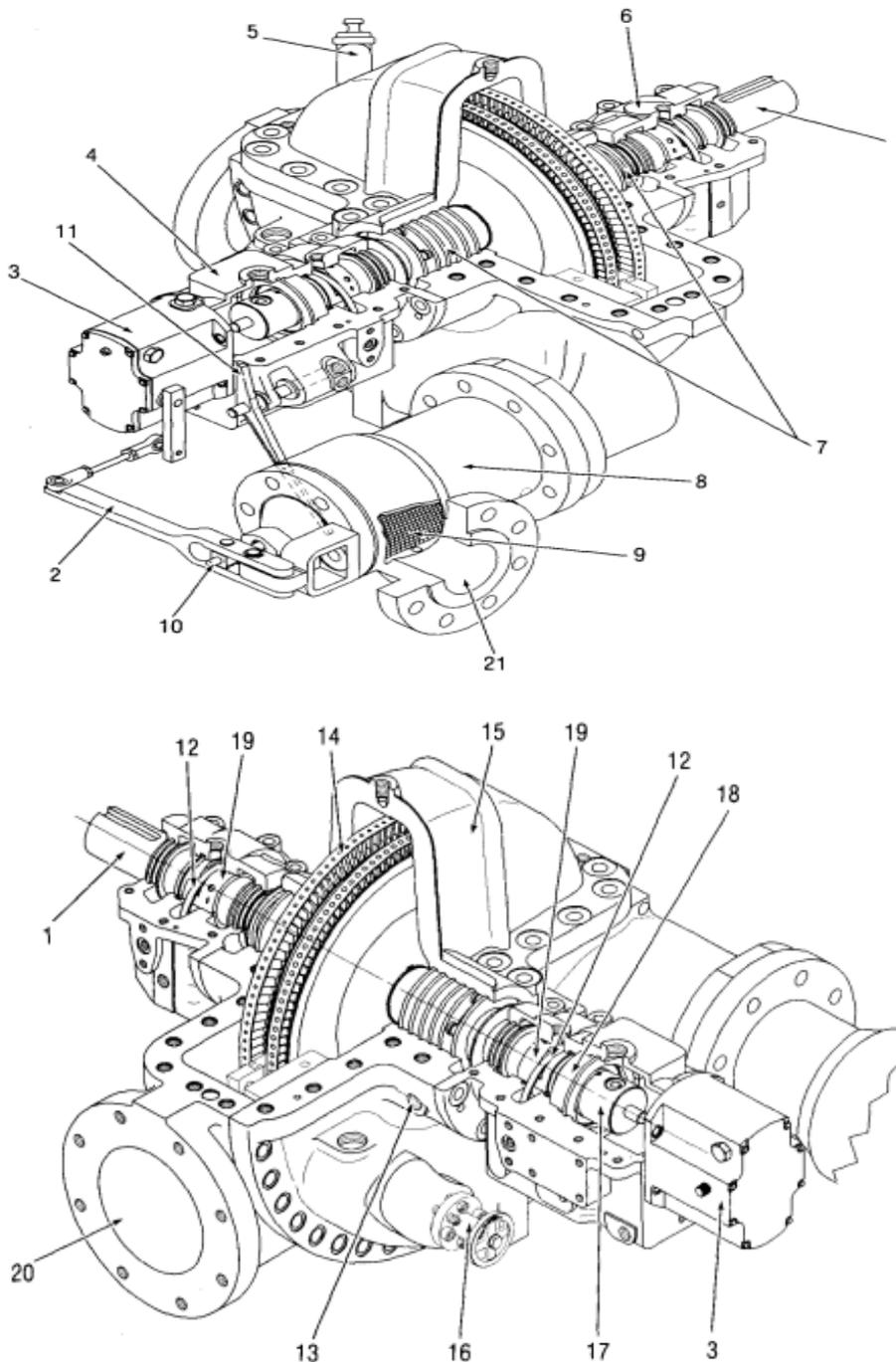


Figure II 23 général description de la turbine à vapeur mono-étagée DRESSER RAND

1. Arbre de turbine 2. Levier du régulateur 3. Régulateur Woodward TG 4. Carter de roulement d'extrémité de vapeur 5. Système de sécurité 6. Carter de roulement d'extrémité d'échappement 7. Anneaux de garniture en carbone 8. Coffre à vapeur 9. Filtre à vapeur 10. Tige de soupape du régulateur 11. Levier de déclenchement

12. Tous les anneaux 13. Fuites de caisses d'emballage 14. Roues de turbine 15. Carter de turbine 16. Vanne manuelle 17. Coupe de survitesse 18. Palier de butée 19. Roulements principaux 20. Échappement 21. Entrée.

II-5) POMPE DE LUBRIFICATION D'HUILE :

Le pompe de lubrification d'huile est un dispositif mécanique qui permet de distribuer de l'huile de lubrification dans les différentes parties d'un moteur ou d'une machine. Il est généralement composé d'un réservoir d'huile, d'une pompe à huile, d'un filtre à huile et de conduites d'huile qui acheminent l'huile vers les différentes parties à lubrifier. La pompe à huile est généralement entraînée par le moteur ou la machine elle-même, et elle aspire l'huile du réservoir pour la distribuer dans les parties à lubrifier. Le filtre à huile permet de retenir les impuretés présentes dans l'huile,

II-6) SYSTEMES DE LUBRIFICATION SOUS PRESSION :

Étant donné que toutes les turbines avec un carter d'engrenage intégré sont lubrifiées sous pression, les turbines avec des systèmes de lubrification sous pression qui n'ont pas de pompe à huile auxiliaire à démarrage automatique, ont des bagues d'huile pour assurer la lubrification des roulements pendant le démarrage et le fonctionnement à basse vitesse. Un diagramme schématique typique de ce système est illustré sur la figure II 24.

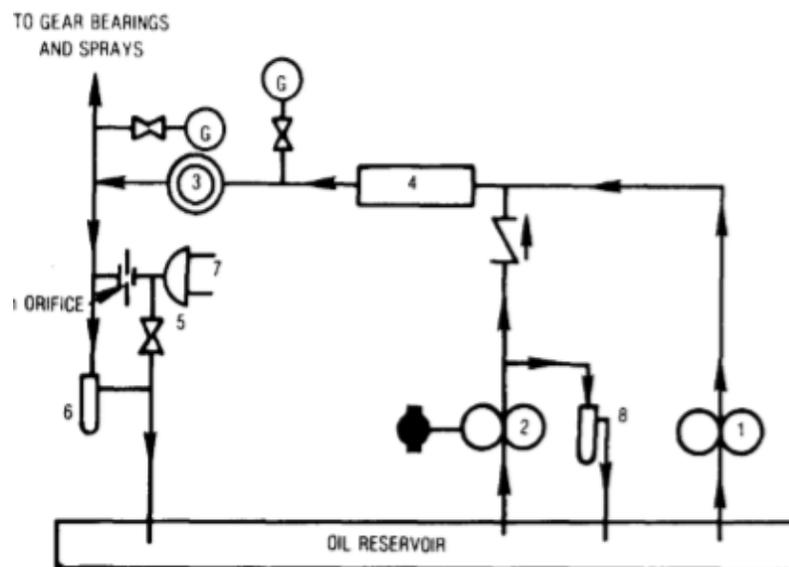


Figure II 24 schémas typiques d'une turbine lubrifié sous pression.

1.pompe à l'huile principale 2. pompe à l'huile auxiliaire 3. filtre à l'huile 4. refroidisseur d'huile 5. vanne d'essai (ouvrez la vanne pour démarrer la pompe à l'huile auxiliaire) 6. régulateur de contre-pression pour maintenir la pression d'huile des roulements 7. pressostat pour le moteur de la pompe à l'huile auxiliaire démarreur 8. soupape de décharge de la pompe à huile auxiliaire.

II-7) ALIGNEMENT DE LA TURBINE ET DE LA MACHINE D'ENTRAÎNEMENT :

L'alignement de l'accouplement doit être correct pour réussir opération. Les accouplements flexibles ne compenseront pas tout désalignement appréciable et usure rapide, bruit,

des vibrations et des dommages peuvent en résulter. Alignement des flexibles les couplages doivent être aussi précis que nécessaire pour accouplements solides. Les procédures impliquent ce qui suit :

- Calcul des effets des changements de chaleur sur la turbine et positions finales de la machine entraînée.
- Aligner la turbine et la machine entraînée sur la fondation à l'aide d'un comparateur à cadran et en suivant les recommandations du fabricant de l'accouplement.
- Vérification de l'alignement final après le scellement, l'installation de la tuyauterie et le démarrage initial. Turbine et entraîné la machine doit être à température de fonctionnement. Faire ajustements à l'alignement si nécessaire

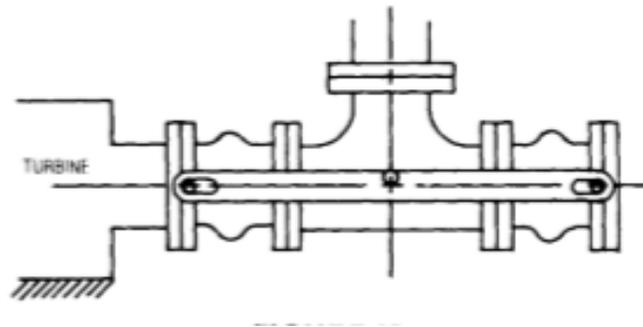


Figure II 25 un exemple d'alignement de la turbine

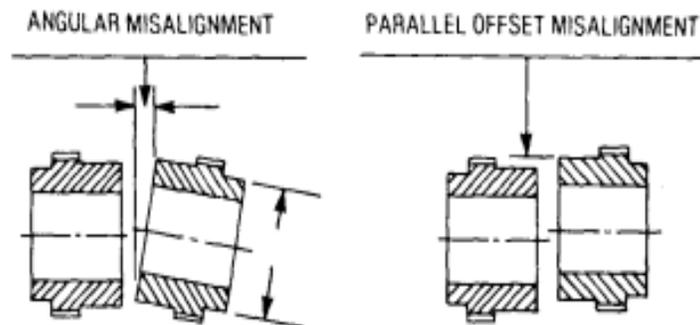


Figure II 26 Méthodes de vérification de l'alignement de l'accouplement

Les lectures obtenues sont utilisées pour évaluer l'alignement et effectuer les ajustements nécessaires et Les mesures de déplacement sont prises à différentes positions autour de l'accouplement à l'aide de jauges d'indication.

II-8) CARACTERISTIQUES TECHNIQUES GENERALE :

- **Turbine à vapeur sans condensation**
- Bechtel pour SONATRACH P.O.NO. :.....20784-K-011 .
- Châssis de turbine :353T.
- Machine entraînée, fournie par le client :pompe à huile de lubrification.
- Classement des turbines :22 HP (16.5 KW) a 3550 RPM
- Matériau du boîtier :.....Acier moulé.
- Nombre d'étages de turbine :1 Curtis.
- Garniture d'arbre :.....5 anneaux de carbone dans chaque cas
- Sentinelle Valve émet un avertissement à.....85 psi (5.86 Bar).
- La soupape de décharge d'échappement commence à s'ouvrir à 100 psi (6.9 Bar). S'ouvre complètement à 110 psi (7.58 Bar G) passer 1479 Lb/Hr (671 Kg/Hr) de vapeur.
- Lubrification des roulements :..... anneau huilé avec TRICO OILERS.
- Poids de la turbine692 kg .
- Poids de rotor61 kg.
- La survitesse mécanique déclenche la turbine à4290 tr/min.
- Taille de la vanne du régulateur :.....11/16"C.
- Régulateur :Woodward par intérim direct TG-13.
- Spécifications de vitesse de la turbine :

maximum RPM	3730
Normal RPM	3550
minimum RPM	3020

Table II 1 : Spécifications de vitesse de la turbine

- Les conditions de fonctionnement :

HP KW	RPM	Conditions de vapeur			Débit de vapeur Lb/HR Kg/HR
		Entrée Psi BAR	Échappement F° C°	psi BAR	
22 16.5	3550	400 27.6	700 371	39 2.7	48.6 29.5
22 16.5	3550	377 26	662 350	39 2.7	
22 16.5	3550	479 33	707 375	39 2.7	

Table II 2 : Des conditions de fonctionnement

Remarque : cette table représente les conditions normales.

- Diamètre de la roue : 482.6 MM.
- Épaisseur : 70 MM.
- Diamètre de l'arbre de transmission :126.7 a .126.8 M
- Nombre des aubes de rotor et stator.....70.
- Couple : $65.07 \leq c \leq 498.94$ N/M

II-9) CONCLUSION :

Les turbines à vapeur sont les machines importantes dans le domaine de la conversion d'énergie. La connaissance des composants et des caractéristiques de la turbine à vapeur, a pour le but d'augmenter notre connaissance technique sur cette machine, et avoir une compréhension claire de son fonctionnement.

Ce chapitre était une tentative de fournir toutes les informations essentielles sur les pièces de la turbine à vapeur et les caractéristiques générales de notre Turbine à vapeur mono étage à action DRESSER-RAND.

CHAPITRE III :
SIMULATION NUMERIQUE

III-1) INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous allons étudier la simulation de l'écoulement dans une turbine à vapeur en utilisant le logiciel CFX. Nous allons examiner les différentes étapes de la simulation, y compris la préparation des données, la configuration du modèle et l'analyse des résultats.

III-2) MODE DE DETENTE DE LA VAPEUR :

Selon le tracé des différents aubages, la détente de la vapeur à travers un étage (aubage fixe + aubage mobile) peut être localisée :

- Dans l'aubage fixe seulement, la vapeur traversant la roue à pression constante. On dit alors que l'étage considéré est à action.

Les turbines à vapeur à action ont un diagramme pression vitesse comme représenté ci-dessous

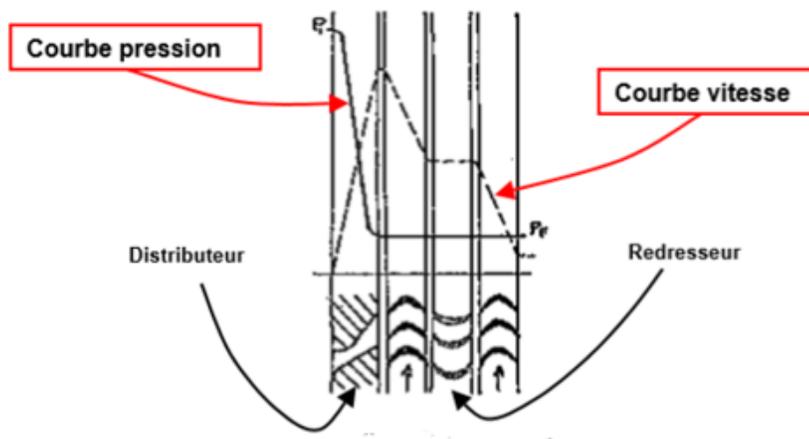


Figure III 1 : diagramme pression vitesse de turbine à action

Dans la turbine à vapeur à action, la vapeur est complètement détendue dans la tuyère à sa pression d'échappement avant d'attaquer les aubes de la roue. On peut apercevoir que la pression initiale P_i chute pour atteindre son minimum à la sortie de la tuyère et reste stable jusqu'à la sortie des aubes mobiles. La pression n'est pas affectée par les aubes mobiles ni par les aubes fixes du redresseur.

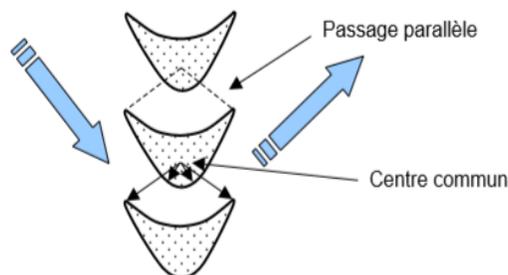


Figure III 2 passage de vapeur sur les aubes de turbine

III -3) LES EQUATIONS D'ÉCOULEMENT :

Les équations d'écoulement décrivent le comportement du fluide (vapeur) à travers la turbine. Ces équations sont basées sur les principes fondamentaux de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie.

Les équations les plus couramment utilisées dans la modélisation de l'écoulement d'une turbine à vapeur :

Équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial(\rho A)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho AV) = 0 \quad \text{III 1}$$

Cette équation exprime que la variation de la masse volumique (ρ) dans une région donnée est égale au taux de variation du débit massique (ρA) plus le flux d'entrée/sortie de masse à travers les surfaces de contrôle, où A est l'aire traversée par l'écoulement et V est la vitesse de l'écoulement.

Équation de conservation de la quantité de mouvement :

$$\rho[(\partial V)/\partial t + (V \cdot \nabla)V] = -\nabla P + \rho g + \Sigma F_i \quad \text{III 2}$$

Cette équation représente la variation de la quantité de mouvement par rapport au temps et à l'écoulement. Elle comprend des termes tels que la pression (P), le poids spécifique (ρg) et les forces (ΣF_i) agissant sur le fluide. Le terme $(V \cdot \nabla) V$ représente l'advection convective du mouvement.

Équation de conservation de l'énergie :

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho EV) = -P(\nabla \cdot V) + \nabla \cdot (k \nabla T) + \Sigma(W_{cv} + Q) \quad \text{III 3}$$

Cette équation décrit la variation de l'énergie totale (E) dans une région donnée. Elle prend en compte des termes tels que le travail effectué sur le fluide (\dot{W}_{cv}), la chaleur ajoutée (\dot{Q}), la diffusion thermique (conduction) avec le coefficient de conduction thermique (k), ainsi que les termes de variation de pression ($\nabla \cdot V$) et de flux d'énergie à travers les surfaces de contrôle.

Ces équations sont généralement résolues numériquement pour obtenir les valeurs de vitesse, de pression, de température et d'autres paramètres d'écoulement à différents points à travers la turbine à vapeur. La résolution de ces équations permet de prédire les performances de la turbine et d'optimiser sa conception.

III -4) PROFIL DES AUBES DE LA TURBINE :

On a quelques éléments importants à connaître sur les aubes de turbine à vapeur :

Matériaux : Les aubes de turbine à vapeur sont généralement fabriquées à partir d'alliages à haute température qui sont capables de résister aux contraintes thermiques et mécaniques auxquelles elles sont soumises. Les matériaux couramment utilisés comprennent les aciers inoxydables à haute teneur en chrome et les alliages de nickel.

Profil aérodynamique : Les aubes de turbine à vapeur sont conçues avec un profil aérodynamique spécifique pour maximiser l'efficacité de la conversion de l'énergie de la vapeur en mouvement rotatif. Ce profil peut varier en fonction de la position de l'aube dans la turbine (aube fixe ou aube mobile) et de la section de la turbine dans laquelle elle se trouve.

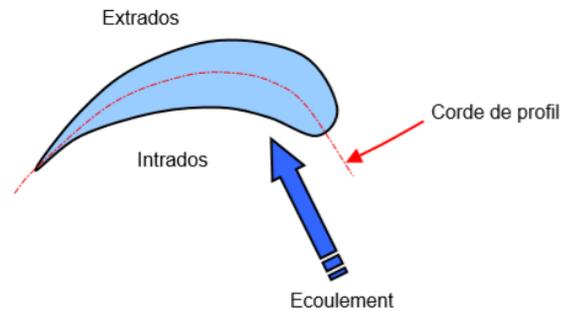


Figure III 3 profile aérodynamique

Propulsion: Le déplacement d'un profil aérodynamique dans l'air produit des forces aérodynamiques et une accélération de la masse

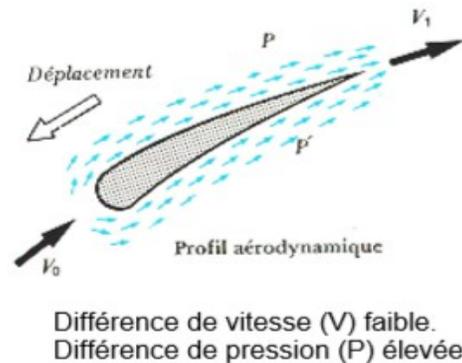


Figure III 4 écoulement autour d'un profile d'aube

Refroidissement : Étant donné que les aubes de turbine sont exposées à des températures élevées, elles sont souvent équipées de systèmes de refroidissement internes pour prévenir les dommages causés par la chaleur. Ces systèmes peuvent inclure des canaux de refroidissement à travers lesquels circule de l'air ou de la vapeur, formant une couche protectrice sur la surface de l'aube.

Fiabilité et durabilité : Les aubes de turbine à vapeur doivent être fabriquées avec une grande précision et une qualité élevée pour assurer leur fiabilité et leur durabilité. Des techniques avancées de fabrication, telles que la coulée sous vide, le forgeage précis, ou la fabrication additive, sont souvent utilisées pour garantir des aubes de haute qualité.

III-5) LES DONNEES DU PROBLEME ET LES CONDITIONS AU LIMITES :

Notre étude est visée à trouver les champs de pression, vitesse, et température, par un traitement numérique de l'écoulement des aubes de turbine à vapeur mono-étagée DRESSER-RAND.

Et cela arrive à suivre certaines étapes et met certaines conditions et Dans le but de bien poser le problème, les conditions aux limites doivent obéir au problème physique et doivent être incorporées sur les frontières d'études., les conditions aux limites sont nécessaires sur toutes les frontières du domaine de calcul on a Le tableau ci-dessous résume tous les conditions d'écoulement pour notre cas :

Conditions aux limites	Entrée (INLET)	Sortie (OUTLET)
Pression total (bar)	27.6	-
Pression statique (bar)	-	2.7
Température-total (c°)	371	371
Débit de vapeur (kg s ⁻¹)	0.0079	0.135

Table III 1 Conditions aux limites pour notre cas

Les conditions aux limites d'une turbine à vapeur dépendent de plusieurs facteurs, notamment de la conception spécifique de la turbine et de ses composants, ainsi que des exigences de fonctionnement spécifiques de l'installation.

III-6) PRESENTATION DE ANSYS CFX :

a) Société ANSYS :

ANSYS est une société internationale spécialisée dans le développement de logiciels de simulation numérique et d'analyse d'ingénierie. Fondée en 1970 par JOHN SWANSON, elle est basée à Canonsburg, en Pennsylvanie, aux États-Unis. ANSYS est considérée comme l'une des principales entreprises dans le domaine de la simulation numérique, offrant une large gamme de solutions pour l'analyse structurelle, l'analyse des fluides, l'électromagnétisme, l'optimisation et d'autres domaines d'ingénierie.

b) ANSYS CFX :

ANSYS CFX est une suite logicielle polyvalente de dynamique des fluides computationnelle (CFD) qui combine un solveur avancé avec de puissantes capacités de prétraitement et de post-traitement.

ANSYS CFX est capable de modéliser : •écoulement permanents et transitoires •Écoulements laminaires et turbulents •Écoulements subsoniques, transsoniques et supersoniques •Transfert de chaleur et rayonnement thermique •Flottabilité •Écoulements non newtoniens •Transport de composants scalaires non réactifs •Écoulements multiphasiques •La combustion •écoulement dans plusieurs référentiels

Les principaux modules de la suite ANSYS CFX :

1) CFX-Pré : Le préprocesseur physique de nouvelle génération, CFX-Pré, est utilisé pour définir des simulations. Plusieurs maillages peuvent être importés, permettant à chaque section de géométries complexes d'utiliser le maillage le plus approprié. Les analyses, qui consistent en la physique des écoulements, les valeurs initiales et les paramètres du solveur sont également spécifiés. Une gamme complète de conditions aux limites, y compris les entrées, les sorties et les ouvertures, ainsi que les conditions aux limites pour les modèles de transfert de chaleur et la périodicité, sont toutes disponibles dans ANSYS CFX à CFX-Pré.

2) CFX-SOLVER : CFX-SOLVER résout toutes les variables de solution pour la simulation pour la spécification du problème généré CFX-PRE.

L'une des caractéristiques les plus importantes d'ANSYS CFX est son utilisation d'un solveur couplé, dans lequel toutes les équations hydrodynamiques sont résolues comme un système unique. Le solveur couplé est plus rapide que le solveur séparé traditionnel et moins d'itérations sont nécessaires pour obtenir une solution de flux convergée.

3) CFD Post: CFD-Post fournit des outils graphiques de post-traitement interactifs de pointe pour analyser et présenter les résultats de la simulation ANSYS CFX. Les fonctionnalités importantes incluent :

- Post-traitement quantitatif
- Génération de rapport
- Ligne de commande,
- Variables définies par l'utilisateur
- Génération d'une variété d'objets graphiques où la visibilité, la transparence, la couleur et le rendu des lignes/faces peuvent être contrôlés
- Syntaxes de puissance.

III-7) ETAPES DE SIMULATION PAR ANSYS 2020 :

1- > Ouvrir WORKBENCH R2 2020

2- > la première étape implique le PRE-TRAITEMENT de l'analyse concerne la modélisation géométrique, ouvrir BLADEGEN pour modéliser les aubes un pour le rotor et deuxième pour stator.



Figure III 5 boîte de BLADEGEN sur WORKBENCH

3- > Configuration les dimension des aubes

> Définir le rayon d'entrée et de sortie au niveau de moyeu et la pointe et les angles : (donné standard)

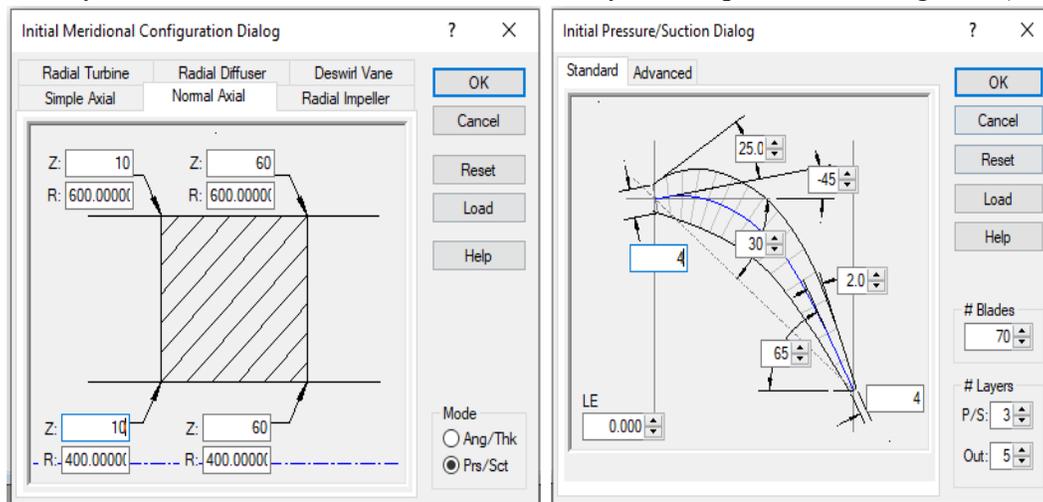


Figure III 6 Configuration des dimensions des aubes de rotor

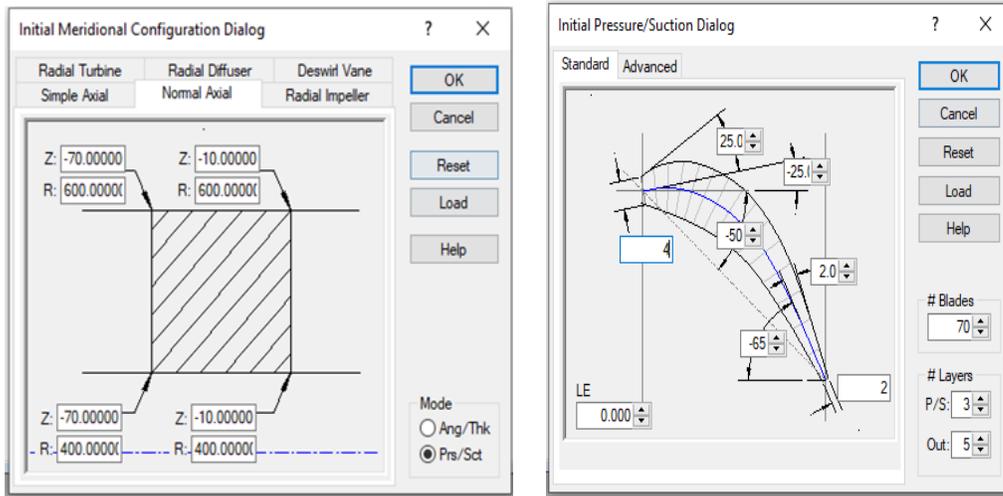


Figure III 7 Configuration les dimensions des aubes de stator

4- > Définir la plage de chemin D'écoulement :

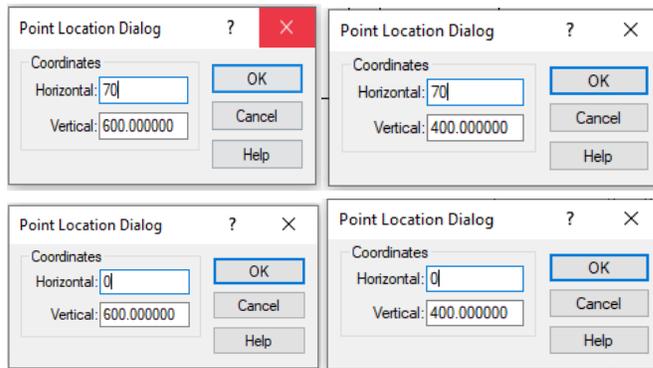


Figure III 8 boite de dialogue d'emplacement de point de rotor

> Donc On trouve :

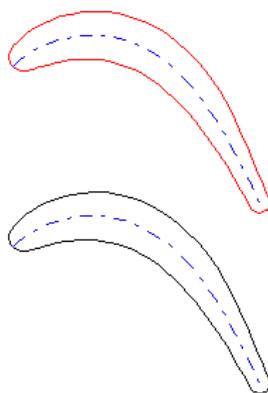


Figure III 9 Vue auxiliaire des aubes de rotor

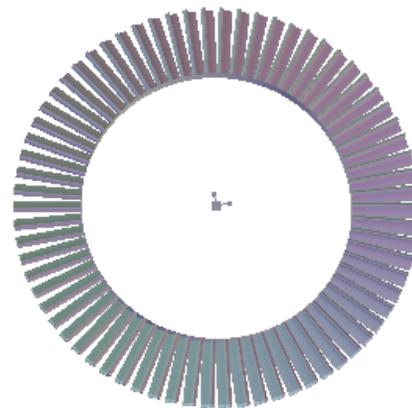


figure III 10 vue 3d des aubes de rotor

>Pour le stator :

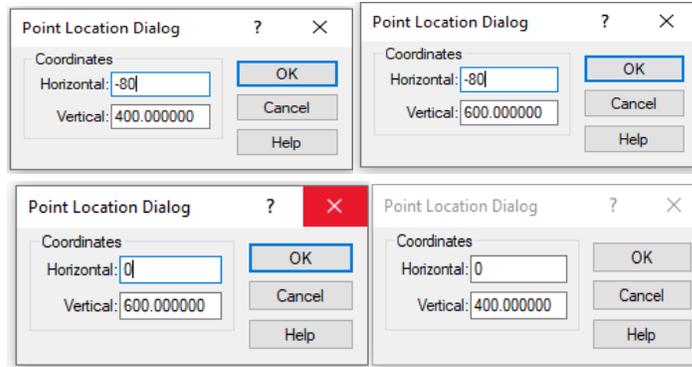


Figure III 11 : boite de dialogue d'emplacement de point de stator

>Et on obtient :

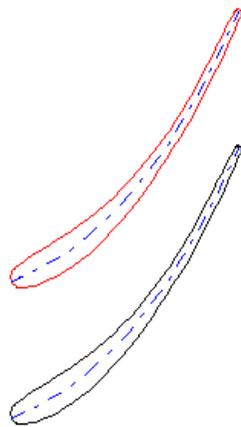


Figure III 12 Vue auxiliaire des aubes de stator

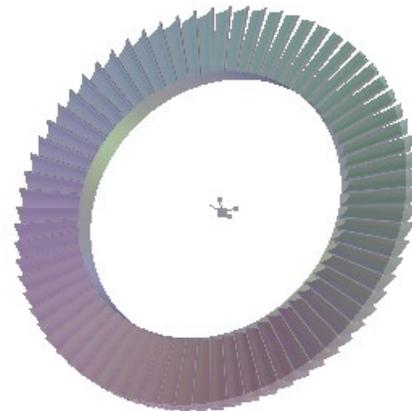


figure III 13 vue 3d des aubes de stator

> Ajouter les propriétés de model (type et unité)

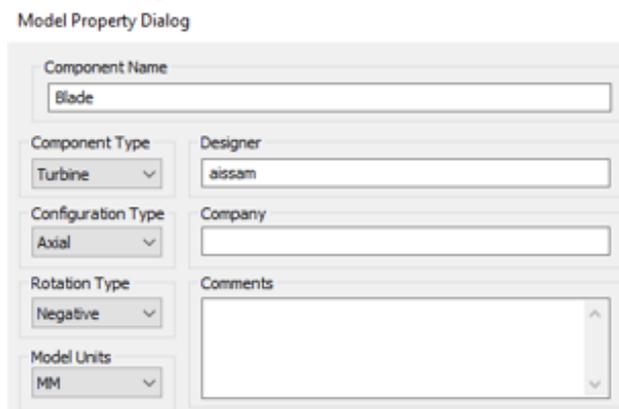


Figure III 14 boite de dialogue des propriétés du modèle de BLADEGEN

5- >Après les conceptions des aubes ouvrir la cellule TURBOGRID et faire une liaison avec les cellules de stator et rotor pour le maillage du domaine fluide.

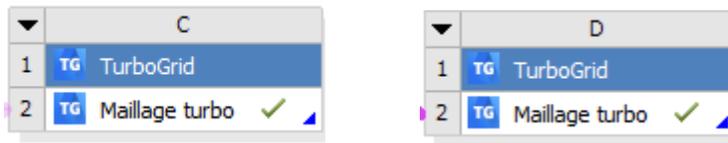


Figure III 15 boite de TURBOGRID sur WORKBENCH

> Une fois la géométrie définie, un maillage est créé pour diviser le domaine en nombre important de volumes fins. Le maillage est défini comme la discrétisation du domaine.

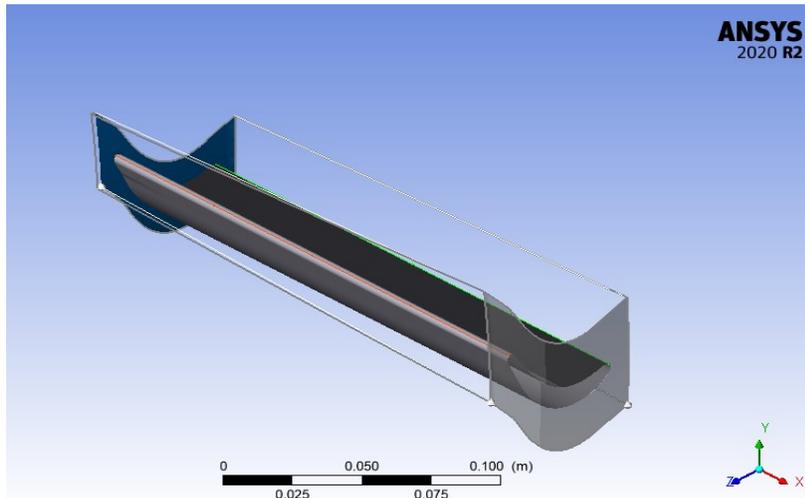


Figure III 16 Les aubes de rotor avant le maillage

a) Maillage des aubes de rotor :

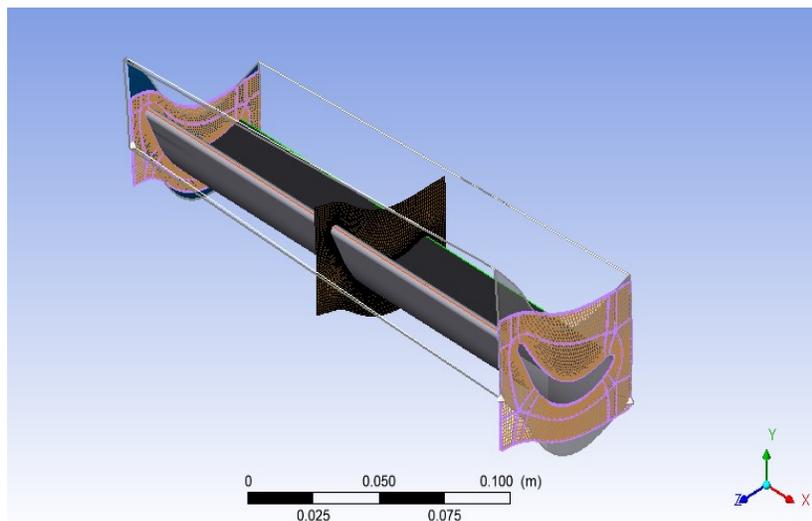


Figure III 17 aubes de rotor maillé

> Et pour les aubes de stator on a :

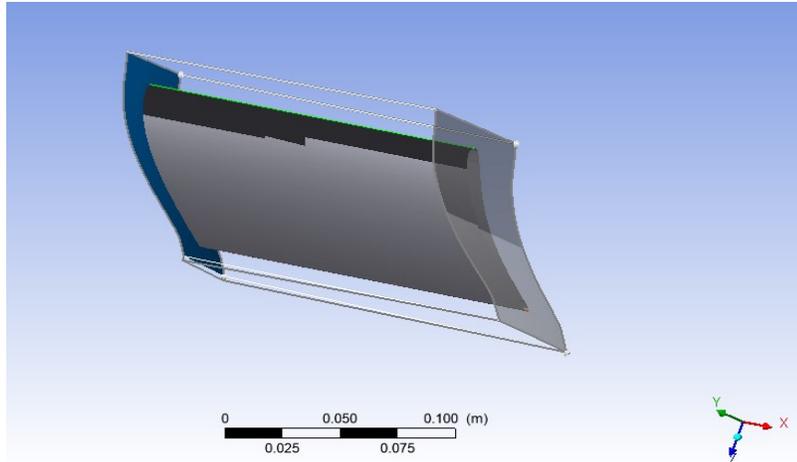


Figure III 18 Les aubes de stator avant le maillage

b) Maillage des aubes de stator :

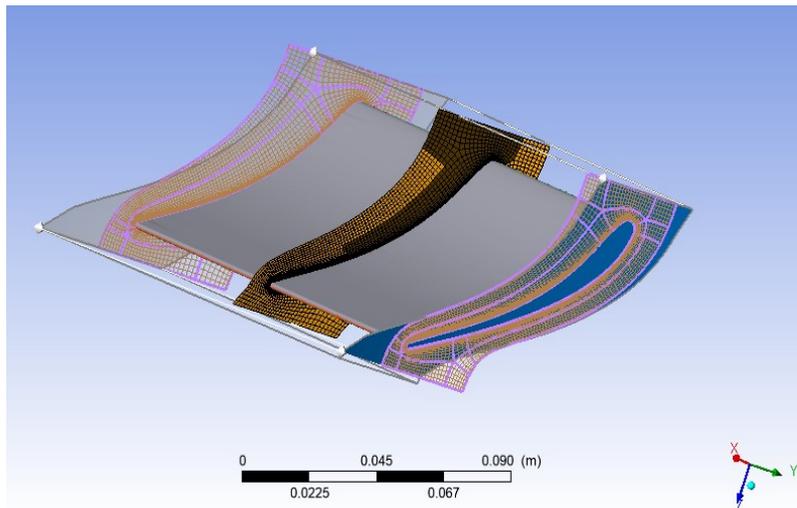


Figure III 19 aubes de stator maillé

C'est un Maillage structuré puisque la géométrie des aubes de cette turbine à vapeur est relativement simple, Ce type de maillage utilise des cellules régulières et alignées pour représenter la géométrie. Il peut offrir une meilleure précision et une meilleure convergence dans certains cas.

6- > ouvrir CFX pour configurer la physique sur le domaine fluide et faire liaison les deux cellules TURBOGRID du rotor et du stator (voir figure III 20 et III 21).

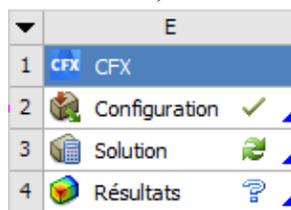


Figure III 20 boîte de CFX sur WORKBENCH

> Et on a le schéma général du projet:

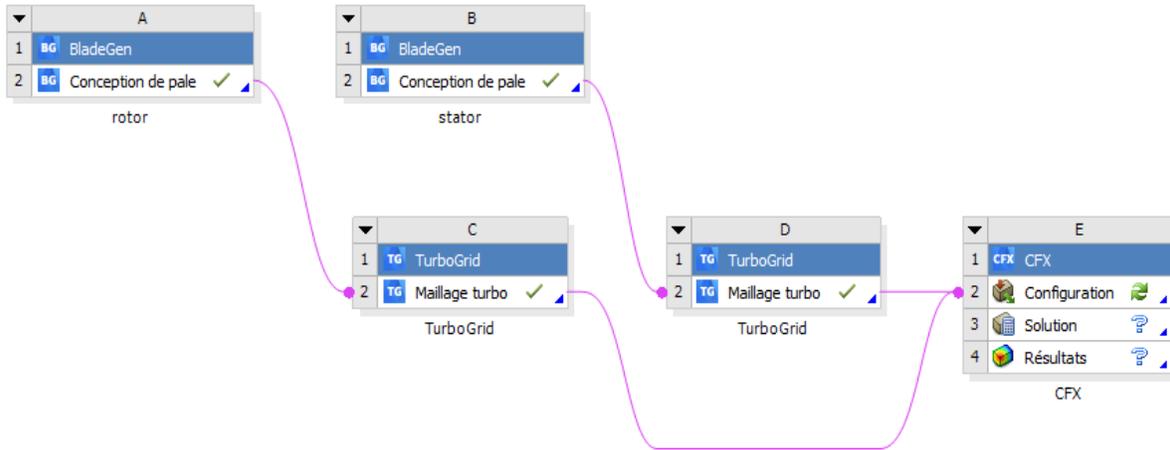


Figure III 21 schéma général de projet sur ANSYS WORKBENCH.

> Ouvrir la configuration :

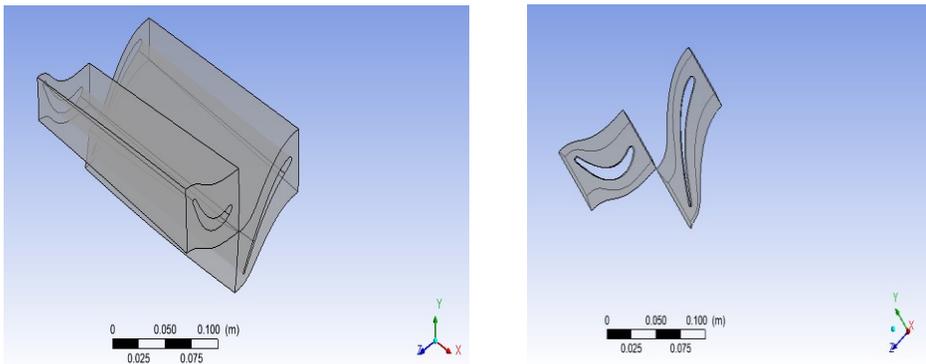


Figure III 22 la configuration finale de simulation

> Sélectionnez le mode turbo qui un moyen simple et rapide pour configurer l'écoulement dans l'étage de la turbine.

> On sépare les composant rotor et stator R1 et S1 comme suit :

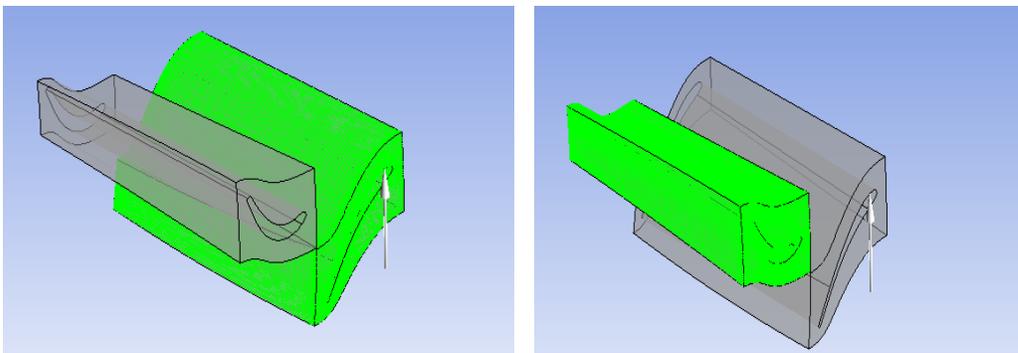


Figure III 23 séparation l'aube de rotor et de stator

> Mettre les paramètres basiques de la turbine (les conditions aux limites).

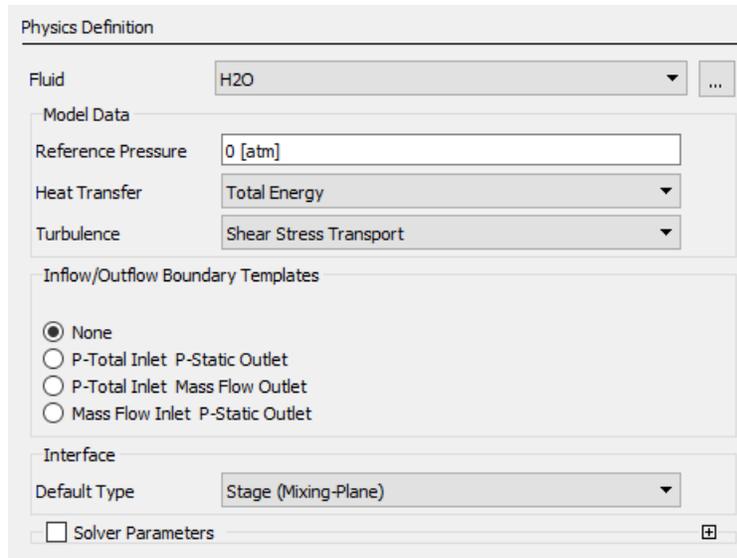


Figure III 24 Mettre le type de fluide sur la configuration de CFX

>Mettre les pressions totales de l'entrée et de sortie. Ainsi que la température totale.

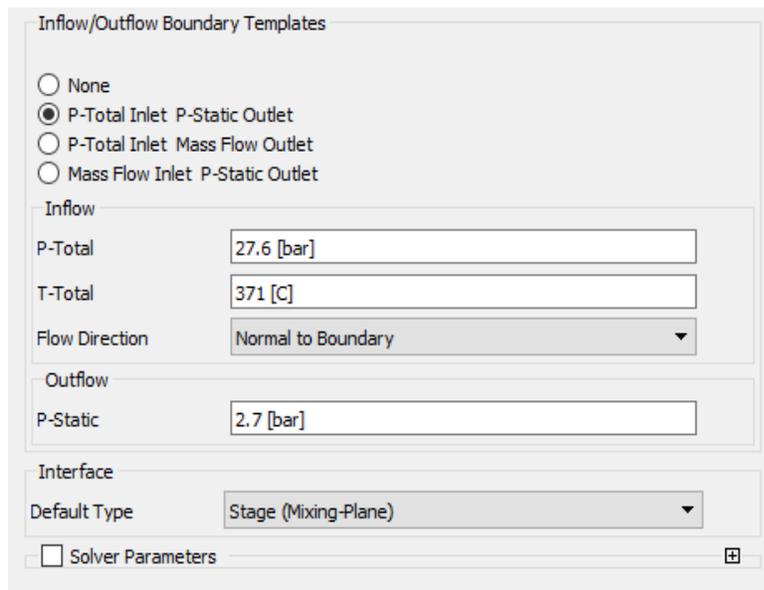


Figure III 25 mettre les pressions de l'entrée et sortie sur la configuration de CFX

>mettre le débit massique dans la sortie.

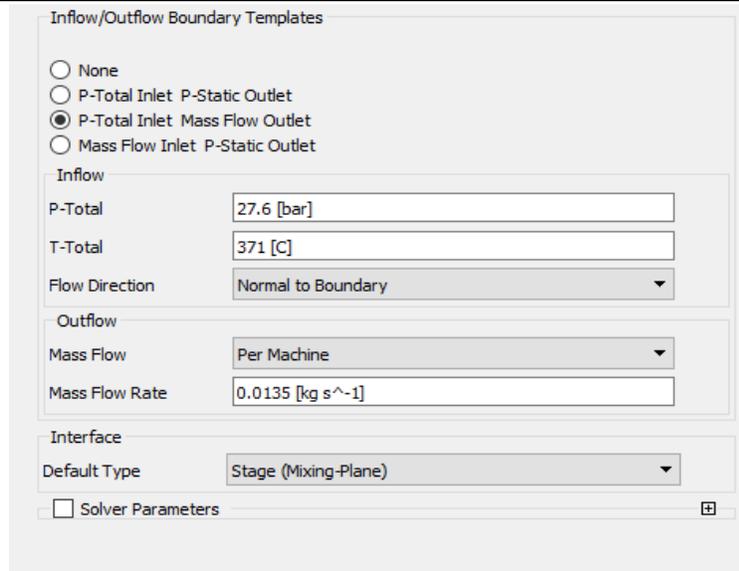


Figure III 26 mettre le débit massique dans la sortie sur la configuration de CFX

> mettre le débit massique dans l'entrée.

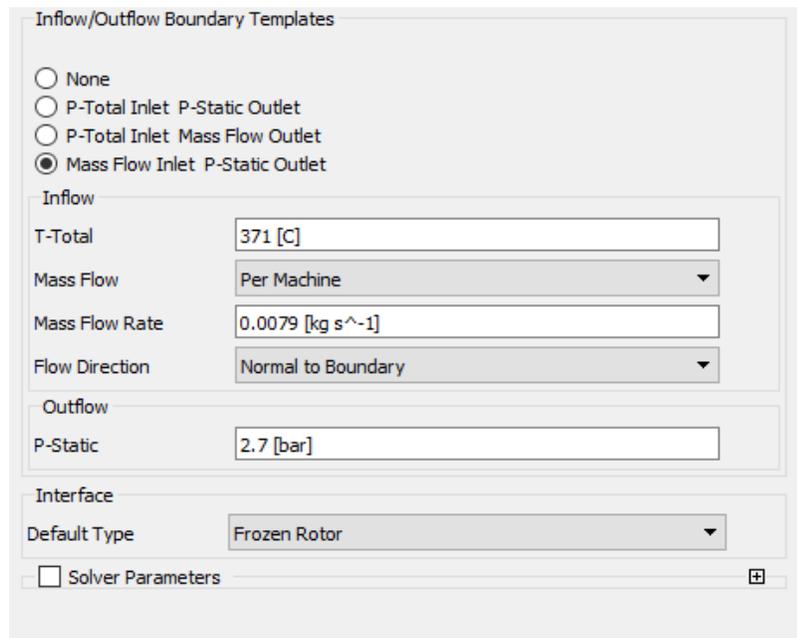


Figure III 27 mettre le débit massique dans l'entrée sur la configuration de CFX

> Résultat final de la configuration des conditions d'interface :

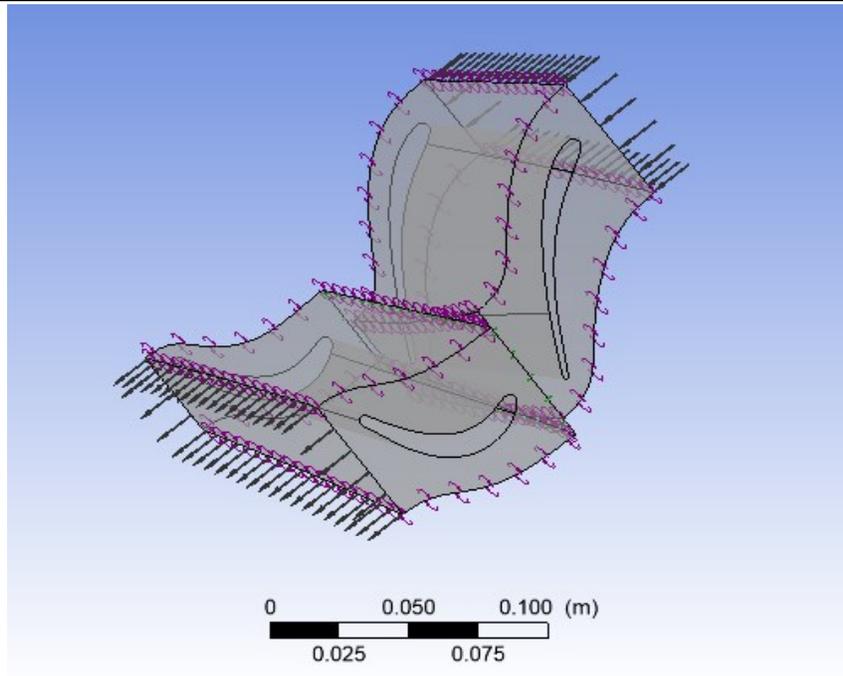


Figure III 28 le général mode de configuration physique

> Finalement la configuration du solveur CFD

c) la solution finale :

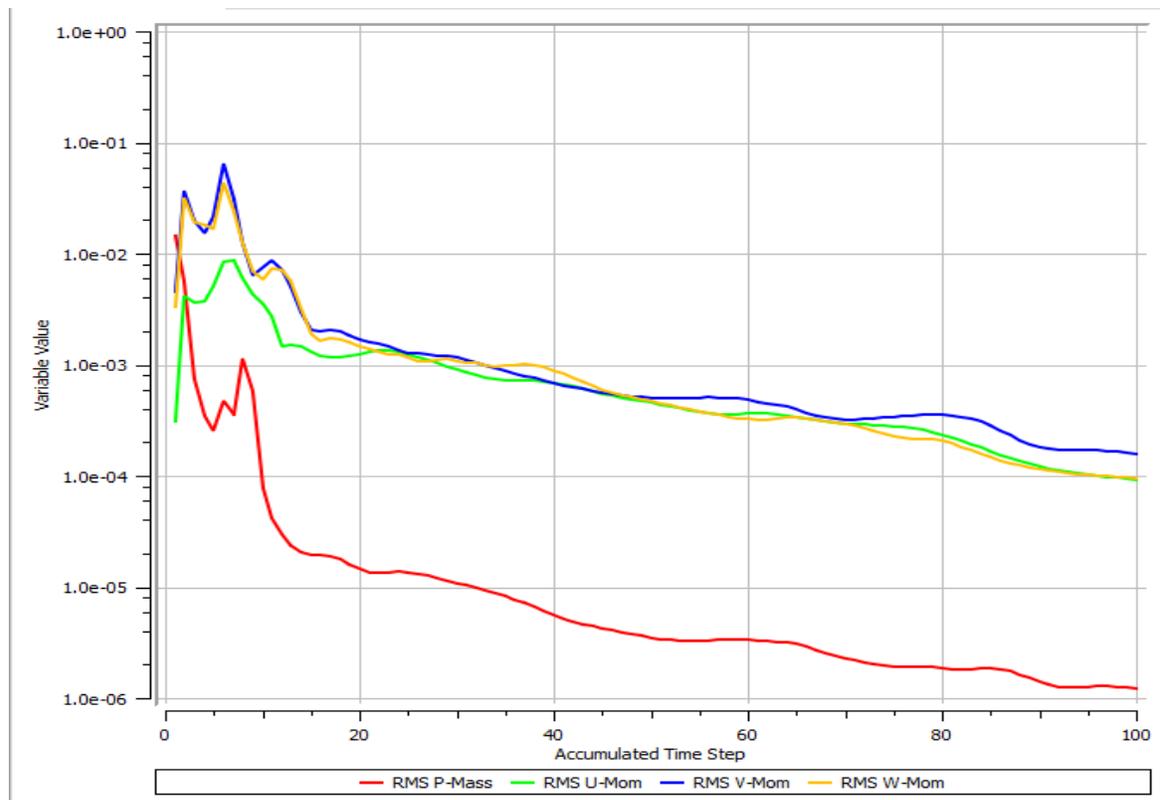


Figure III 29 la solution finale (solveur)

Commentaire :

Cette figure montre l'évolution des résidus de calcul RMS (la condition de convergence est considérée à $\text{RMS}=10^{-4}$) pour différentes variables, telles que les composantes de vitesse (u, v et w) et aussi la pression ($\text{RMS}=10^{-6}$).

Les résidus de calcul RMS sont utilisés pour évaluer la convergence d'une simulation. Ils représentent la différence entre les valeurs calculées et les valeurs réelles ou attendues, et leur diminution indique que le calcul se rapproche de la solution précise.

Cela suggère que notre simulation a atteint un état où les résidus sont suffisamment faibles pour être considérés comme acceptables, indiquant une convergence numérique de la solution. La diminution monotone des résidus est généralement un indicateur positif, car elle suggère que le modèle CFX et les paramètres de calcul ont été choisis de manière appropriée pour se rapprocher de la réalité physique du problème étudié.

III-8) CONCLUSION :

La simulation numérique de l'écoulement de la vapeur à l'aide du logiciel CFX est une technique avancée pour évaluer les performances d'une turbine à vapeur. Dans ce chapitre, nous avons modélisé les aubes de la turbine et nous avons examiné en détail l'écoulement de la vapeur à travers les différentes étapes jusqu'à l'obtention des résultats des champs d'écoulement qu'on va analyser au chapitre suivant

CHAPITRE IV :
RESULTATS ET DISCUSSION

IV-1) INTRODUCTION :

Tout au long de ce chapitre, nous effectuerons une analyse des résultats obtenus par la simulation numérique du chapitre précédent en utilisant l'outil CFD POST, en examinant la variation de plusieurs paramètres. De plus, nous utiliserons des données de simulation pour calculer les paramètres de performance (la puissance et le couple).

IV-2) LES RESULTATS DE SIMULATION :

IV-2-1) Champ de vitesse :

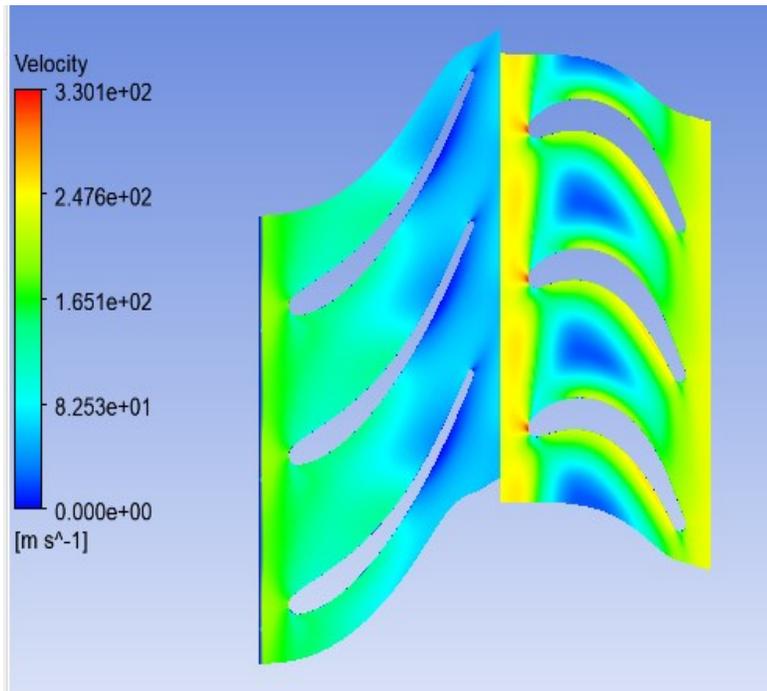


Figure IV 1 : champ de vitesse

Lors de l'observation, il est clair que cette figure représente le champ de vitesse sur trois aubes du rotor et du stator d'une turbine à vapeur. Le domaine de vitesse varie de 0 m/s à 330,1 m/s. Lorsque la vapeur atteint le stator, sa vitesse diminue, mais elle augmente de nouveau lorsqu'elle pénètre dans le rotor.

Nous concluons :

Le champ de vitesse d'une turbine à vapeur est influencé par plusieurs facteurs tels que sa conception, la géométrie des aubes et les conditions de fonctionnement. Pour cette turbine à vapeur en particulier, la vapeur subit une détente complète dans la tuyère de la turbine, également appelée stator. Le stator fixe, dirige la vapeur vers les aubes motrices du rotor en lui donnant de l'élan, car il s'agit d'une turbine à action.

Les lignes de courant (STEAMLINES vue 3D) :

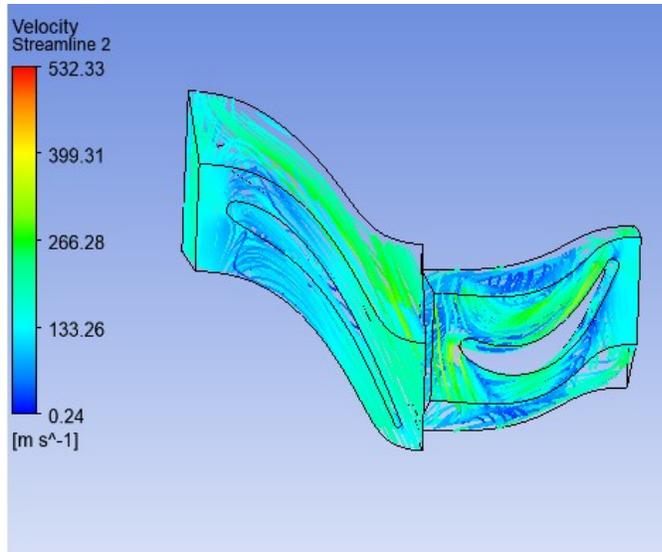


Figure IV 2: écoulement de vapeur (STEAMLINES vue 3d)

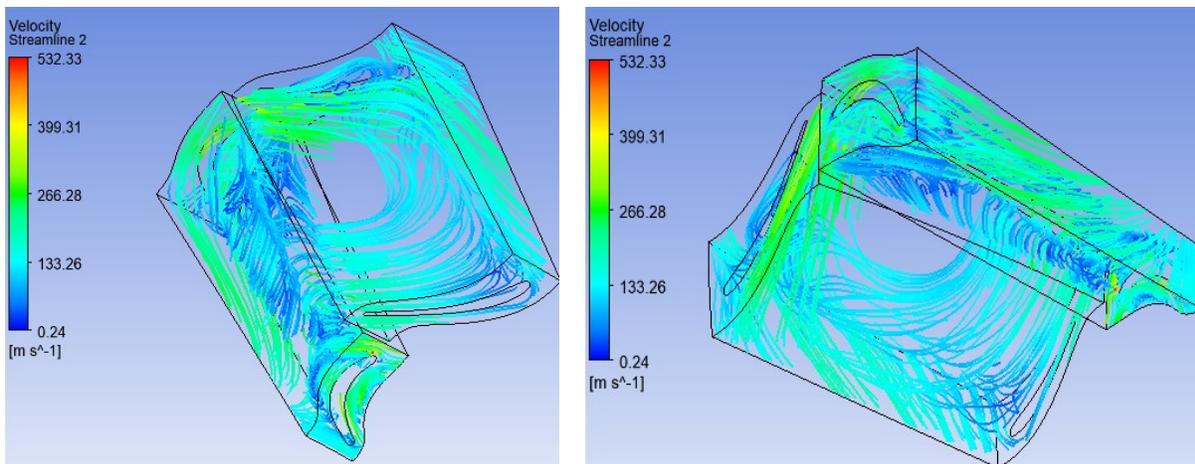


Figure IV 3 : différent vues de l'écoulement de vapeur

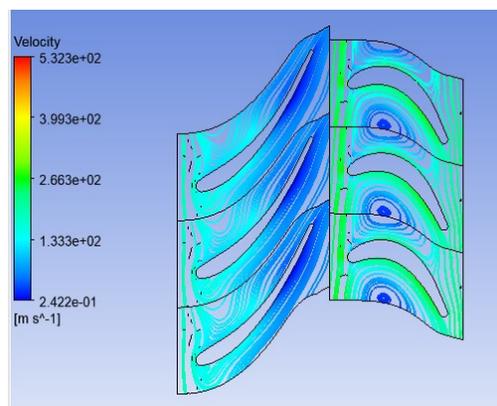


Figure IV 4 : vue 2d de l'écoulement de vapeur

IV-2-2) Champ de pression :

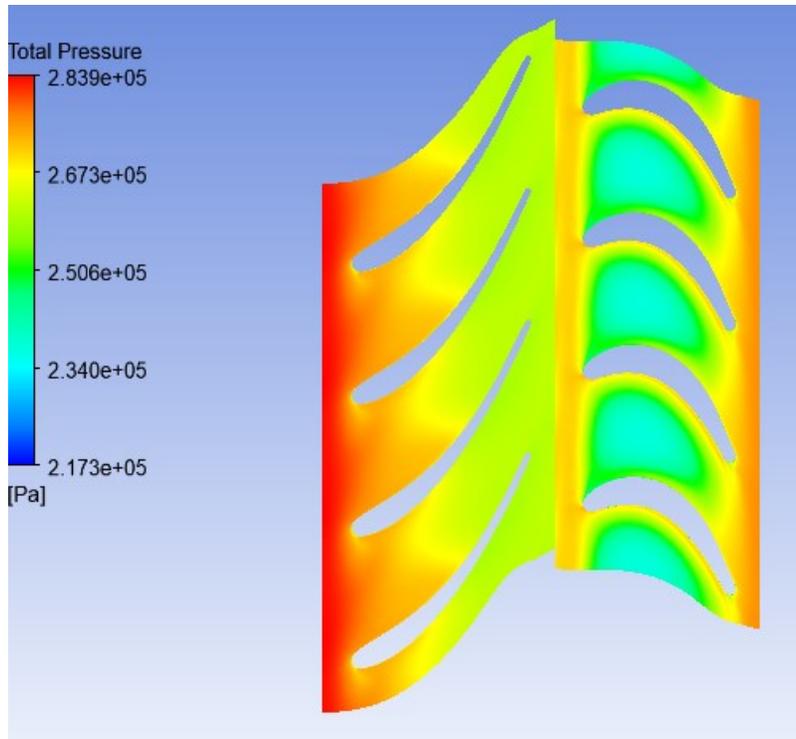


Figure IV 5 : champ de pression

Cette figure représente le champ de pression sur les aubes et où l'on remarque :

La pression varie entre 2.173 bar et 2.839 bar, et la valeur de pression est trop élevée dans l'entrée de stator et diminue progressivement sur le rotor. Dans une turbine à vapeur la pression est une caractéristique importante qui influence le fonctionnement et la performance de la turbine. et aussi La conception et le contour de ces aubes permettent la direction du flux d'air et l'accélération de la vitesse de la vapeur. Cela conduit à une diminution de la pression de vapeur au repos.

Au fur et à mesure que, la pression est plus élevée du côté des aubes de stator où la vapeur est introduite, contrairement au côté des aubes motrices (rotor) où la vapeur est libérée. Cette différence de pression se traduit par une force de réaction qui propulse le rotor en mouvement.

En règle générale la vapeur s'approche des aubes de rotor, elle subit une accélération continue, entraînant une nouvelle baisse de la pression statique. Le mécanisme de conversion de l'énergie cinétique en énergie mécanique par les aubes de rotor se traduit par une perte concomitante de pression dynamique.

La diminution de pression est associée à l'accélération de la vapeur et à la conversion de son énergie cinétique. Le diagramme pression-vitesse de la turbine d'action montre que la pression commence à décroître et atteint son minimum en sortie de stator ; il reste ensuite constant jusqu'à la sortie des aubes mobiles (rotor). Notre simulation confirme ça.

IV-2-3) Champ de densité :

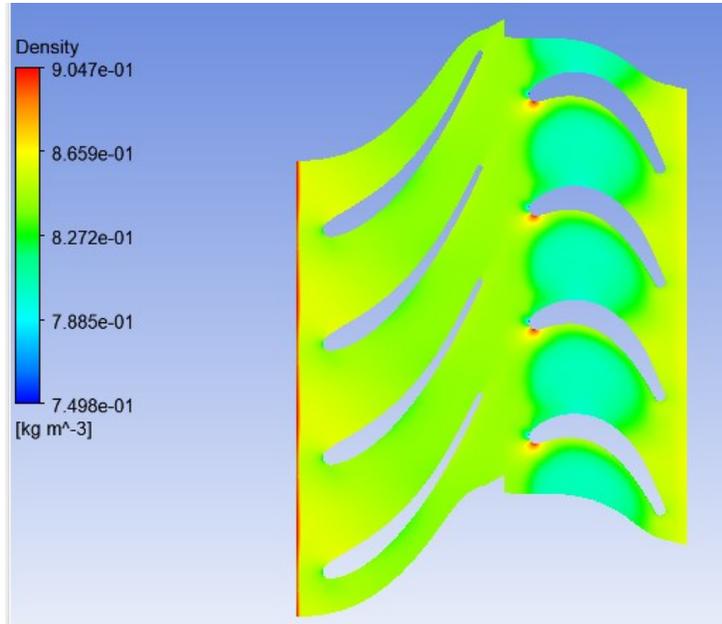


Figure IV 6 : champ de densité

Cette figure représente le champ de densité sur les aubes et où l'on remarque :

La densité varie dans l'intervalle entre 0.7498 kg/m^3 et 0.9047 kg/m^3 , sa valeur reste élevée et presque stable dans les deux aubes de rotor et stator. La densité de la vapeur peut varier en fonction des conditions de fonctionnement de la turbine, telles que la charge ou la vitesse de rotation. Les opérateurs de la turbine surveillent en permanence ces paramètres pour garantir un fonctionnement optimal.

IV-2-4) Champ de température :

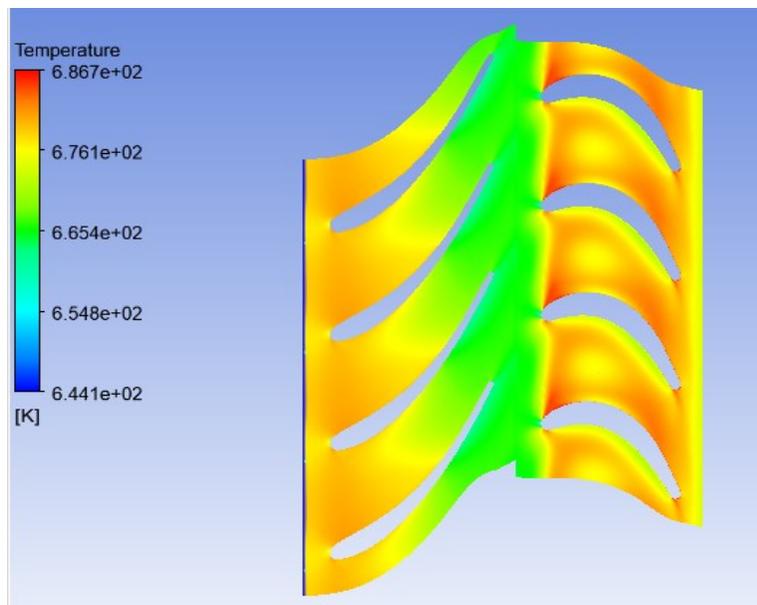


Figure IV 7 : champ de température

Cette figure représente le champ de température sur les aubes et où l'on remarque que le champ de température varie entre 370.85 c° et 412.85 c°. La température monte à l'entrée du stator, modérément à la sortie, et très élevée dans le rotor puisqu'est en mouvement. De plus, plus il y a de mouvement, plus la température est élevée.

Les aubes d'entrée des turbines à vapeur motorisées sont généralement exposées aux températures les plus élevées car elles reçoivent la vapeur à la température d'entrée la plus élevée. Dans cette turbine et à travers les aubes, la température est progressivement réduite.

Lorsque la vapeur se dilate, son volume augmente et sa pression diminue, ce qui exerce une force sur les aubes de la turbine. Cette force mécanique est renforcée par la poursuite de la dilatation de la vapeur. La température de la vapeur est influencée par son degré de réchauffage ou de surchauffe, qui peut être ajusté dans certaines turbines pour améliorer l'efficacité et maximiser la production d'électricité. La température varie généralement du niveau le plus élevé à l'entrée du premier étage, jusqu'à la température la plus basse à la sortie de la turbine, selon les caractéristiques de conception et les conditions de fonctionnement spécifiques.

IV-3) COMPARAISON AVEC LES DONNEES DE TURBINE :

La comparaison entre les données de simulation et les données de la turbine doit être effectuée sur différents paramètres pertinents, en s'assurant que la simulation reproduit fidèlement les performances, ce tableau ci-dessous résume une comparaison entre nos résultats de simulation avec les données de documentation fournie par le constructeur :

Les caractéristique	Résultats de simulation		Donnée de la turbine	
	Min	max	Min	max
Vitesse (RPM)	0	3152,22	3020	3730
Pression (bar)	2.173	2.839	2.7	27.6
Température (c°)	370.85	412.85	350	/

Table IV 1 comparaison avec les données de turbine

Après avoir mis tous les résultats dans un tableau nous pouvons comparer :

- La vitesse simulée se situe à l'intérieur des plages de fonctionnement recommandées par le constructeur et respecte les limites de vitesse maximale, alors nous pouvons considérer que les résultats sont conformes. La vitesse maximum de notre simulation c'est considéré avec les conditions de fonctionnement normales.
- La pression simulée se situe environ les limites minimales dans les données recommandées par le constructeur. La pression de fonctionnement doit être minimal et plus basse à laquelle la turbine peut fonctionner de manière stable et efficace, et assurer un fonctionnement sûr. En dessous de cette pression, la turbine peut rencontrer des problèmes tels que des vibrations excessives, une instabilité du flux de vapeur ou une perte de performance.
- La température simulée se situe à l'intérieur des plages de fonctionnement. La turbine à vapeur est conçue pour fonctionner efficacement dans des plages de température spécifiques, afin de garantir des performances optimales et une durabilité à long terme. Et aussi Pour le résonne d'éviter les problèmes tels que la surchauffe ou le refroidissement excessif, qui pourraient compromettre le bon fonctionnement de la turbine.

La validation des résultats de simulation et la vérification des performances d'un équipement comme une turbine nécessitent souvent des tests réels et des données empiriques.

IV-4) CALCUL DU COUPLE ET DE LA PUISSANCE :

IV-4-1) Calcul du couple :

Le couple d'une turbine à vapeur est une mesure de la force de rotation produite par la turbine en réponse à la vapeur qui la traverse. Il dépend de la puissance de sortie de la turbine, de sa vitesse de rotation et du rendement de la turbine. Le couple de sortie de la turbine est déterminé par la conversion de l'énergie cinétique de la vapeur en énergie mécanique pour faire tourner la turbine.

CFX post permet le calcul du couple par l'expression suivante :

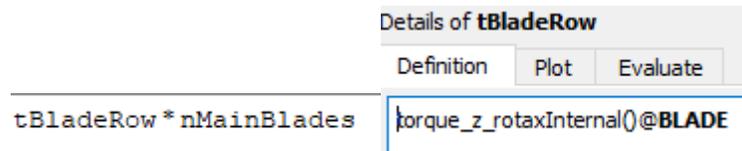


Figure IV 8 : l'expression du calcul de couple dans CFX Post

On obtient la valeur suivante pour le cas de fonctionnement standard de notre turbine :

$$M = -2310 \text{ N.m}$$

IV-4-2) Calcule de puissance maximale de l'arbre :

La puissance d'une turbine axiale dépend de plusieurs facteurs, notamment la vitesse de rotation de la turbine, la densité de la vapeur d'entrée, le débit massique de la vapeur et le rendement de la turbine. La formule générale pour calculer la puissance de sortie d'une turbine axiale est la suivante :

$$P = M \cdot \omega \quad \text{IV 1}$$

M : le couple

ω : la vitesse angulaire (à partir d'une vitesse de rotation de 3550 RPM)

donc on obtient la puissance: $P = -858 \text{ kw}$

Les conditions de la vapeur à l'entrée de la turbine sont très favorables (haute pression 2.7 bar, haute température 350 °C), cela peut entraîner une puissance de sortie plus élevée. Des conditions de vapeur optimales permettent une plus grande différence de pression à travers la turbine, ce qui se traduit par une puissance de sortie plus élevée.

Les pertes énergétiques dans la turbine, telles que les pertes par frottement, les pertes par turbulence ou les pertes par fuite, peuvent réduire la puissance de sortie. Car la simulation CFX parvient à minimiser ces pertes, la puissance de l'arbre peut être plus élevée.

IV-5) L'ESTIMATION DES PERFORMANCES MECANIQUES :

Les résultats obtenus à partir de cette simulation numérique peuvent aider à optimiser la conception de la turbine et à estimer ses performances mécaniques de plusieurs manières :

Notre simulation permet de visualiser et d'analyser le comportement de la turbine dans des conditions de fonctionnement variées. Elles permettent de détecter les zones de turbulence, les zones de faible efficacité, les pertes de charge excessives ou les contraintes mécaniques élevées. Ces informations aident les concepteurs à identifier les problèmes de conception potentiels et à les corriger avant la construction réelle de la turbine.

Permet d'explorer différentes configurations et paramètres de conception de la turbine, tels que la géométrie des aubes l'angle d'inclinaison, les dimensions, etc. En variant ces paramètres dans les modèles numériques, il est possible de trouver la combinaison optimale qui maximise les performances mécaniques de la turbine, tels que le rendement, la puissance produite ou la durabilité.

IV-7) CONCLUSION :

En conclusion, l'étude de simulation numérique d'une turbine à vapeur à l'aide du logiciel ANSYS CFX a permis d'obtenir des résultats précis et détaillés sur le fonctionnement de la turbine. Les simulations ont permis de tracer les champs de vitesse, de pression et de température de la vapeur à travers la turbine, et d'analyser l'efficacité de la turbine ainsi que les facteurs qui pourraient affecter son fonctionnement. Les résultats ont montré que la turbine fonctionnait dans les limites spécifiées par le constructeur, ce qui est un indicateur de sa fiabilité et de sa performance. Les simulations ont également permis d'identifier des zones de faible pression et des zones de haute température qui pourraient poser des problèmes en termes de fiabilité et de durabilité de la turbine.

CHAPITRE V:
MAINTENANCE DE LA
TURBINE

V-1) INTRODUCTION :

Le maintien de la performance optimale d'une turbine à vapeur est essentiel pour garantir son fonctionnement efficace et fiable. Les turbines à vapeur sont des équipements critiques dans les installations industrielles, et leur mauvais fonctionnement peut entraîner des perturbations coûteuses dans les opérations de production. La turbine à vapeur de marque DRESSER-RAND est une machine de haute qualité, conçue pour une efficacité énergétique élevée et une longue durée de vie. Cependant, comme tout équipement, elle nécessite une maintenance régulière pour garantir son bon fonctionnement. Dans ce chapitre, nous aborderons les différentes étapes du processus de maintenance d'une petite turbine à vapeur DRESSER-RAND, en mettant l'accent sur les procédures de maintenance préventive et corrective, ainsi que sur les outils et les techniques de diagnostic modernes utilisés pour surveiller et évaluer la performance de la turbine. Nous examinerons également les bonnes pratiques de maintenance pour assurer la fiabilité et la durée de vie de la turbine, ainsi que les considérations de sécurité importantes à prendre en compte lors de l'exécution des travaux de maintenance.



Figure V 1 réparation de turbine à vapeur

V-2) ENTRETIEN PERIODIQUE DE LA TURBINE :

Un entretien préventif de la turbine est essentiel pour obtenir des performances et une durée de vie optimum.

Ci-dessous ont listés les besoins généraux et les périodes d'entretien recommandés de la turbine à vapeur DRESSER RAND. Comme des conditions de services et d'environnement inhabituelles peuvent affecter la fiabilité de l'équipement, ces périodes doivent être ajustées aussi bien en temps qu'en contenu de façon à s'adapter à vos nécessités spécifiques.

a) Tous les jours :

- 1) Inspection visuelle de la turbine pour déterminer les traces de détérioration externe.
- 2) Vérification du niveau d'huile dans :
 - le Réservoir -paliers et Régulateur Woodward.
- 3) Vérifier les niveaux de vibration. Chaque opérateur devrait se fixer un certain nombre d'emplacement pour les vérifications et reconnaître au toucher le niveau de vibration normale de la machine dont il a la charge.

b) Chaque semaine :

- 1) Vérifier le fonctionnement de la pompe à huile auxiliaire (pour les turbines qui en sont équipées).
- 2) Vérifier le fonctionnement de tous les dispositifs d'arrêt à distance, par l'huile ou par air.
- 3) Prélever une petite quantité d'huile du groupe et faire une analyse. Déterminer s'il est nécessaire de procéder à un changement d'huile. Si le groupe est équipé d'un filtre, changer la cartouche en même temps que l'on change l'huile.
- 4) Graisser les tringleries

c) Chaque mois :

- 1) Vérifier le dispositif de déclenchement par survitesse.

d) Tous les ans :

- 1) Arrêter la turbine et accomplir les vérifications suivantes Démontez et nettoyez le filtre vapeur ; le remplacer tous les trois ans.
- 2) Vidanger le régulateur Woodward, le nettoyer et le remplir avec une huile neuve.
- 3) Démontez le corps supérieur de la turbine et :
 - . Détartrez les roues de turbines, les aubes et les tuyères,
 - Vérifier les anneaux d'étanchéité carbone,
- 4) Démontez la soupape siffleuse et vérifiez son fonctionnement en utilisant la pression d'air
- 5) Sur les turbines équipées d'un système de lubrification sous pression, nettoyez à fond le réservoir d'huile



Figure V 2 entretien de turbine

VI-3) INCIDENTS DE FONCTIONNEMENT ET REMEDES :

Le tableau suivant indique les incidents et remèdes pour des turbines qui ont fonctionnées normalement et qui progressivement laissent apparaître des incidents de fonctionnement.

1-Perte de puissance :

Causes	Remèdes
Vannes manuelles insuffisamment ouvertes	Après que le mécanicien ait vérifié les vannes manuelles et la charge de la turbine, il vérifiera qu'elles sont ouvertes pour la charge demandée.
Le clapet du régulateur n'ouvre pas suffisamment	Régler le tringlerie comme il est recommandé
Le filtre de vapeur est encrassé	Nettoyez le filtre et recherchez la source du corps étranger, il peut être nécessaire de souffler la conduite de vapeur avec de l'air comprimé. Cela doit être fait de toute façon avant d'effectuer le premier démarrage
Quelques tuyères sont bouchées	En soulevant le rotor, cela peut être contrôlé avec un morceau de fil de fer.

Table V 1 Causes et remèdes de Perte de puissance

2-Consommation de vapeur excessive :

Causes	Remèdes
La charge est plus importante que prévue	Si la turbine est surchargée l'on doit diminuer la charge ou augmenter la puissance.
La vitesse est en-dessous de la normale	Vérifiez la pression et la contre-pression de la vapeur. Assurez-vous que la vanne du régulateur est complètement ouverte. Vérifiez que la vanne manuelle s'ouvre comme prévu.
Usure et dommage des tuyères et des aubes	L'efficacité d'une turbine est considérablement affectée par ces conditions difficiles. Les buses et/ou les aubes doivent être remplacées ou réparées dès que possible

Table V 2 Causes et remèdes de Consommation de vapeur excessive

3-Vibrations :

Causes	Remèdes
Manque d'alignement avec l'arbre entraîné	Vérifiez l'alignement lorsque la turbine est chaude. Si l'embrayage de la turbine est un embrayage à engrenages et que l'un des

	engrenages passe à la vitesse supérieure, réalignez les roulements de cet engrenage sous charge.
Déséquilibre	. Retirez les dépôts des aubes. Pour éviter la formation de couches inégales de rouille, assurez-vous que la turbine est complètement vidangée de son eau si elle n'est pas utilisée pendant une période prolongée. Une partie manquante d'une lame ou d'une bande de raccordement peut provoquer de fortes vibrations.
Frottements	Corriger la position axiale du rotor. Régler la butée à la demande. Soyez certain que la machine entraîne n'exerce pas de poussée sur l'arbre de la turbine
Déformation de l'arbre	Peuvent être exercée par des paliers trop chauds. Les joints d'étanchéité trop serrés ou des dégâts mécaniques

Tableau V 3 Causes et remèdes de Vibrations

4-fuites excessives aux joints d'étanchéité (garniture) :

Causes	Remèdes
Usure très avancée ou anneaux de carbone cassés	Remplacer les anneaux de carbone Les anneaux de carbone doivent avoir un léger jeu sur l'arbre quand celui-ci est froid, car les anneaux se dilatent beaucoup moins que l'acier quand il sont chauds.
Anneaux de carbone remplis de boue ou de débris transportés par la vapeur.	Les anneaux doivent être libres de se déplacer axialement. Le côté de l'anneau qui entre en contact avec l'entretoise de l'anneau doit s'adapter Parfait pour ceux qui ont besoin d'une surface de contact très propre et lisse.
Pression de vapeur excessive à l'échappement	Les boîtes d'étanchéité sont faites pour une contre-pression déterminée. Une contre-pression excessive occasionne des fuites ce

	qui justifie la présence d'eau dans l'huile de lubrification des paliers.
--	---

Table V 4 Causes et remèdes de fuites excessives aux joints d'étanchéité (garniture)

5-la turbine ne reste pas en alignement :

Causes	Remèdes
Contraintes bridées pour le collecteur d'échappement	Un bon joint de dilation et un support correct sont nécessaires
Contraintes exagérées dans les tuyauteries de vapeur	Les contraintes seront éliminées par l'utilisation des supports et crochets corrects, et aussi par l'utilisation de colliers ou de bandes pour la tuyauterie vapeur. Un joint de dilatation doit être monté, près de la turbine, sur la tuyauterie d'échappement.
Les supports de la turbine sont chauds conséquence d'un calorifugeage défectueux	Maintenir le calorifugeage derrière ces supports, mais les laisser dégagés pour une bonne ventilation

Table V 5 Causes et remèdes si la turbine ne reste pas en alignement

6-la vitesse s'accroît excessivement quand la charge diminue :

Causes	Remèdes
Fuite de vapeur au clapet de régulation non étanche ou fuite à proximité du clapet	Peut-être corriger par remplacement du clapet et de son siège autrement la turbine continuera à recevoir de la vapeur même quand le clapet sera en position fermé
Le régulateur répond lentement conséquence de pièce usées ou grippées	Eliminer les causes de grippage du clapet et examiner toutes les articulations de la tringlerie pour détecter les signes de grippage , déformation ou d'usure
Le régulateur ne ferme pas complètement le clapet	Ajuster la tringlerie

Table V 6 Causes et remèdes si la vitesse s'accroît excessivement quand la charge diminue

V-5) AMELIORATIONS POSSIBLES :**a) Etanchéité mécanique :**

Cette garniture sèche remplace les labyrinthes ou les anneaux carbone. Elle crée une région à haute pression qui forme une barrière au débit vapeur lorsque la turbine tourne. Cette étanchéité réduit les fuites à un point tel

que le condenseur de buée n'est plus nécessaire. Cette étanchéité diminue la consommation de vapeur ainsi que le coût de maintenance.

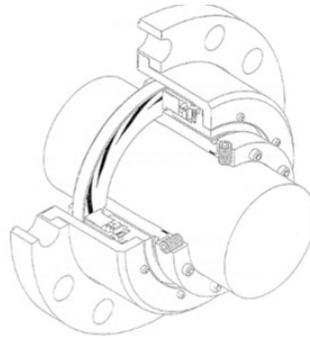


Figure V 3 Garniture 28 ST chez crane

En condition de service normal, les garnitures spiralées pompent et poussent la vapeur vers le fond des spirales. La rotation du siège a pour effet de faire pénétrer la vapeur dans la rainure spiralée, la conduisant vers le centre où elle rencontrera la piste de friction continue.

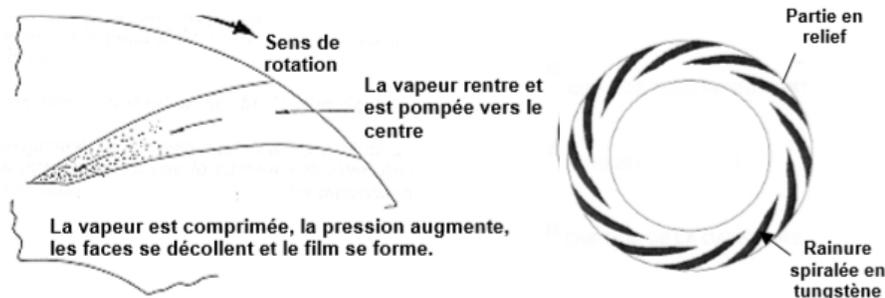


Figure V 4 rainure spiralée d'étanchéité crane

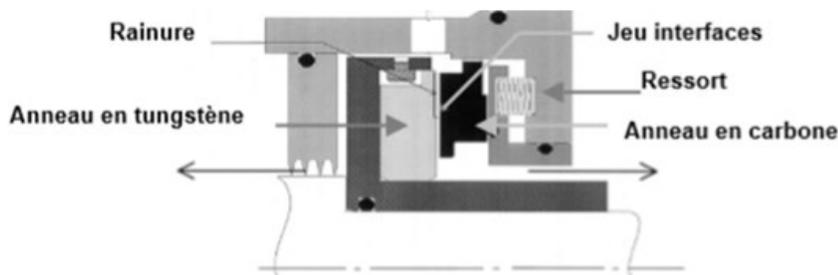


Figure V 5 composant d'une garniture d'étanchéité

b) Etanchéité en PTFE :

On peut remplacer les labyrinthes existants par de nouveaux dans lesquels une rainure a été faite. Dans cette rainure, un anneau en PTFE (POLYTETRAFLUOROETHYLENE) vient s'insérer. Le coefficient thermique du PTFE est deux fois celui de l'acier. Cela permet aux anneaux d'être montés avec un jeu minime à froid. Le remplacement par de telles garnitures se fait juste par remplacement des anciennes, il n'y a aucun usinage à effectuer. Permet une bonne étanchéité même à l'arrêt.

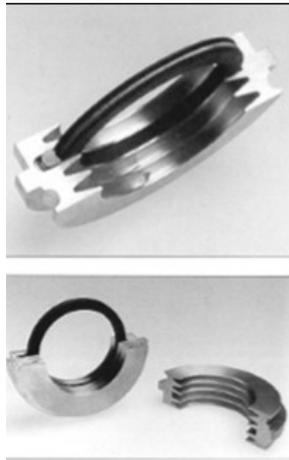


Figure V 6 anneau en PTFE

c) Etanchéité avec INPRO SEALS :

Les INPRO SEALS sont des étanchéités mécaniques optionnelles qui renforcent l'étanchéité contre les fuites d'huile et l'entrée des poussières ou de vapeur dans le carter de palier.



Figure V 7 INPRO SEAL

d) Reverse engineering:

Modification de pièces existantes d'une autre marque que Dresser Rand par du matériel Dresser Rand. Nous pouvons après étude, Ces modifications peuvent être aussi augmentées en remettant certaines pièces comme les tuyères, les diaphragmes, les aubes, la ou les vannes de contrôle plus en rapport avec les conditions de fonctionnement actuelles.

e) Nouveaux diaphragmes et nouvelles tuyères :

Ces deux pièces sont construites en utilisant la méthode innovante du "PRV", "PROFILED RING AND VANE" (aube et anneau profilés). Les composants situés sur le passage vapeur sont en acier inoxydable type 405



Figure V 8 construction des aubes et de l'anneau (PRV)

La forme des aubes est découpée avec un jet d'eau sous pression pour permettre en toute sécurité, un positionnement précis des blocs tuyères.

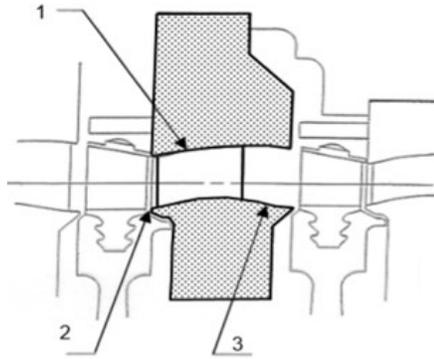


Figure V 9 passage vapeur en PVR

f) Nouvelle régulation :

Sur les turbines à vapeur dont la régulation est encore assurée par de la tringlerie, (généralement sur les turbines mono étagées), on peut remplacer ce système par un régulateur électronique de type TG 13 ou similaire.

g) Sécurité par manque d'huile :

Sur les turbines possédant une lubrification sous pression, si cette dernière venait à diminuer, il faudrait arrêter la machine. Pour cela, on peut installer sur la ligne du circuit d'huile d'alimentation du cylindre d'huile de la vanne de sécurité d'admission vapeur, une électrovanne d'arrêt trois voies. Lorsque l'électrovanne est sous tension, la pression d'huile est maintenue dans le cylindre d'huile de la vanne de sécurité. La mise hors tension de l'électrovanne, crée une décharge d'huile vers le réservoir et la chute de pression qui en résulte provoque l'arrêt de la turbine par déclenchement et fermeture instantanée de la vanne de sécurité d'admission vapeur.

h) Arrêt à distance :

Il existe des moyens simples pour permettre à une turbine de s'arrêter à distance. Le faire à distance doit cependant être fait avec précaution. Il faut s'assurer d'abord que tous les éléments du système soient prêts à stopper. Si toutes les conditions sont requises, l'arrêt à distance peut se faire. Sur les petites turbines à vapeur, sur lesquelles peu d'instruments sont installés, on peut rajouter des systèmes qui par l'intermédiaire d'air sous pression viendront pousser la tringlerie (tout comme le ferait la masse de survitesse).

V-6) CONCLUSION :

La maintenance planifiée est cruciale pour maintenir des performances optimales sur le long terme et assurer une durée de vie prolongée de la turbine. Malgré les avancées scientifiques, la recherche n'a pas apporté de nouvelles informations significatives sur les propriétés de la vapeur, mais a permis une amélioration considérable de l'efficacité des turbines tout en simplifiant leur construction.

Les turbines de secours doivent être régulièrement mises en marche pour éviter les problèmes associés à l'inactivité de l'équipement et garantir leur disponibilité en cas de besoin.

CONCLUSION GENERALE :

Conclusion générale :

Les turbines à vapeur sont des équipements importants dans de nombreuses industries, notamment dans les installations pétrochimiques. L'efficacité et la fiabilité de ces turbines sont donc essentielles pour garantir un fonctionnement optimal des installations. Dans ce mémoire de master, nous avons étudié une turbine à vapeur de marque Dresser RAND qui entraîne une pompe de lubrification dans une installation pétrochimique. Nous avons présenté les composants et les caractéristiques techniques de la turbine, et nous avons utilisé ces caractéristiques pour effectuer une simulation numérique de l'écoulement de la vapeur dans un étage de la turbine à l'aide du logiciel ANSYS CFX.

Nous avons tracé les champs de vitesse, de pression et de température pour comprendre l'écoulement de la vapeur dans la turbine. Les résultats de notre étude ont montré que les champs de vitesse, de pression et de température étaient dans la plage des valeurs précisées par le constructeur. Nous avons également analysé les résultats pour comprendre l'efficacité de la turbine et les facteurs qui pourraient affecter son fonctionnement.

Enfin, nous avons présenté les étapes de maintenance de la turbine, ainsi que les précautions nécessaires pour garantir son bon fonctionnement. Nous avons souligné l'importance de la surveillance régulière de la turbine pour détecter tout dysfonctionnement potentiel, ainsi que l'importance de la lubrification et de la propreté des composants. Les étapes de maintenance préventive et corrective ont été présentées en détail, en mettant en avant les consignes de sécurité et les bonnes pratiques à respecter.

En conclusion, ce mémoire de master a permis d'approfondir notre compréhension de la turbine à vapeur DRESSER RAND et de son fonctionnement dans une installation pétrochimique. Nous avons présenté les caractéristiques techniques de la turbine, ainsi qu'une analyse approfondie de l'écoulement de la vapeur dans un étage de la turbine. Les résultats de notre étude ont montré que la turbine fonctionnait dans les limites spécifiées par le constructeur, ce qui est rassurant pour l'efficacité et la fiabilité de l'installation., et peut être utilisée comme base pour des recherches futures dans ce domaine. Les résultats et les recommandations de ce mémoire pourraient être utilisés pour améliorer les performances et la durée de vie des turbines à vapeur, contribuant ainsi à l'optimisation des processus industriels. En fin de compte, nous espérons que cette étude contribuera à une meilleure compréhension des turbines à vapeur et à leur rôle crucial dans les installations pétrochimiques, et que ces connaissances pourront être appliquées dans d'autres domaines pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire l'impact environnemental.

Liste des Références :

- [1] <https://instrumentationtools.com/>
- [2] DIENIS Patrick Le service Formation Clients dresser rand Coordinateur formation
- [3] @computationalmechanical2679
- [4] M. Bailly Bordas Thermodynamique Technique 2b. machines thermiques et frigorifiques.
- [5] R. Thibaut Mécanique appliquée. TOME 1 Mécanique des fluides et thermodynamique
- [6] Mécanique appliquée TOME 2 Machines motrices et réceptrices
- [7] G. BRUHAT, Thermodynamique, Edition Masson
- [8] J.P. LONCHAMP, Thermodynamique et introduction à la physique statistique, Edition Eyrolles
- [9] J.M.SMITH et H.C. VAN HESS, Introduction to chemical engineering thermodynamics, Edition Mc Graw- HillR. Thibaut.
- [10] R. VICHNIEVSKY, Thermodynamique appliquée aux machines, Edition Masson.
- [11] P Van Wylen G Sonntag R E Desrochers Techniques (1985)
- [12] Machines hydrauliques, aérodynamiques et thermiques (1969)
- [13] J. DehoveP. NardinM. Zeghmati Applied Surface Science (1999)
- [14] Filtration Industry Analyst (2006)
- [15] Turbomachinery International (1996)
- [16] H. V. NaikV. D. Kalyankar Soldagem e Inspecao (2021)
- [17] M. SabriAdven Immanuel Sibarani[...]H. S. Geubrina IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020)
- [18] Wojciech Kosman Energy (2010)
- [19] Michael PersichilliTimothy Held[...]Edward Zdankiewicz16th International Symposium, Compressor Users-Manufacturers (2011)
- [20] Ansys Fluent Theory Guide ANSYS Inc., USA (2021)
- [21] Ansys Inc. ANSYS Inc., USA (2020)
- [22] Ramon Jaramillo Dynamic Meshes (2009)
- [23] Pierre DEVALAN Fonctions et composants mécaniques (2009)
- [24] Larry W. Lake Journal of Petroleum Technology (1988)
- [25] O. Rakotoarinala International Journal of Advanced Research (2022)

ANNEXES

Annexe A : fiche technique de la turbine

Turbine Data Sheet

UE-25696

Serial No.: DD3216,D3217,D3218

Turbine Frame: 353T

Driven Machine, Supplied by Customer: Lube Oil Pump

Turbine Rating: 22 HP (16.5 KW) at 3550 RPM

Rotation Viewed From Governor End of Turbine: Clockwise

Casing Material: Cast Steel

Number of Turbine Stages: 1 Curtis

Shaft Packing: 5 Carbon Rings in each case

Sentinel Valve sounds a warning at 85 psig (5.86 Bar G)

Exhaust Relief Valve starts opening at 100 psig (6.9 Bar G);

opens fully at 110 psig (7.58 Bar G) to pass 1479 Lbs/Hr (671 Kg/Hr) of steam

Oil: SAE 10

Bearing Lubrication: Ring Oiled with Trico Oilers

Speed Specifications of the Turbine

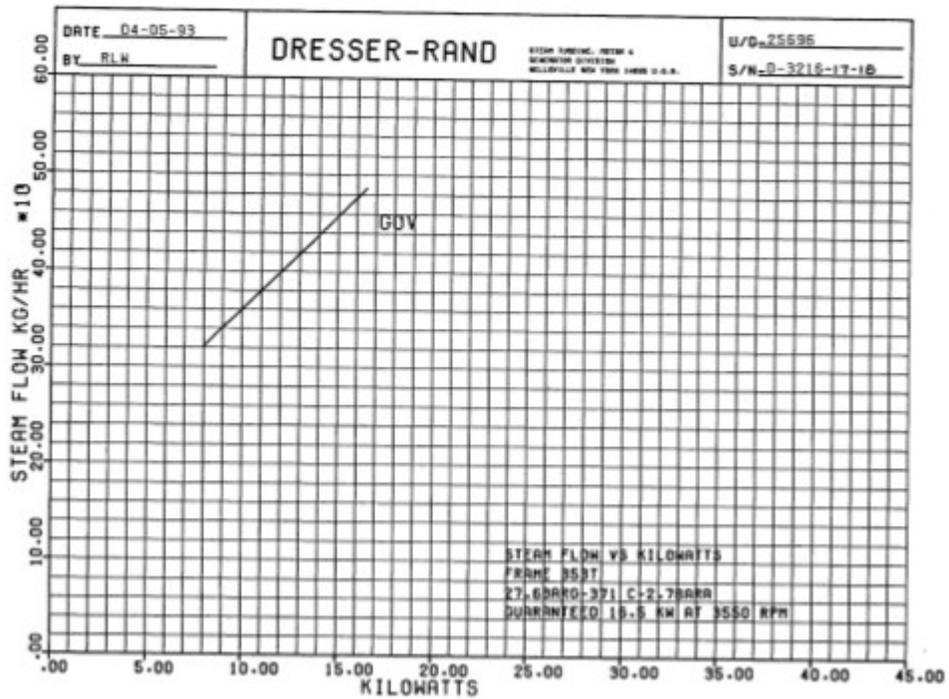
maximum RPM	3730
normal RPM	3550
minimum RPM	3020

OPERATING CONDITIONS

HP KW	RPM	Steam Conditions			Steam Rate Lb·HP·Hr Kg·KW·Hr
		Inlet psig Bar G	Exhaust °F °C	Exhaust psig Bar A	
22	3550	400	700	39	48.6
16.5	3550	27.6	371	2.7	29.5
22	3550	377	662	39	-----
16.5	3550	26	350	2.7	-----
22	3550	479	707	39	-----
16.5	3550	33	375	2.7	-----

▪ This row represents normal conditions.

Annexe B : variation de flux de vapeur avec la puissance .



Annexe C : dimension de la turbine

