

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Construction Mécanique

THEME

Contribution à l'amélioration d'un système d'assemblage d'un ventilateur d'air de la centrale de Ras Djinat

Présenté par :

M. AGNAOU Imad

M. GHERNAOUT Bilal

Promoteur :

Dr. MANSER Belkacem

Encadreur :

M. KLAI Samir

Promotion 2023 - 2024

Résumé

Ce mémoire porte sur l'analyse et l'optimisation d'un système de ventilateur d'air dans une centrale thermique, en se concentrant sur la résolution d'une problématique de maintenance rencontrée à la centrale thermique de Ras-Djinet. L'étude s'est focalisée sur la conception et l'analyse d'une modification du système de ventilateur d'air afin d'optimiser les coûts et le temps de maintenance, tout en préservant la productivité de la centrale.

L'étude commence par une exploration des concepts fondamentaux des assemblages mécaniques, en définissant les différents types d'assemblages et en présentant les techniques les plus utilisées en industrie. Elle se poursuit par une analyse approfondie du fonctionnement d'un ventilateur d'air utilisé dans une centrale thermique, en mettant en évidence la problématique de maintenance rencontrée lors du remplacement des roulements de l'arbre. Le mémoire propose ensuite une nouvelle conception du système de ventilateur d'air, intégrant un système de clavetage et une visserie pour faciliter le démontage et la maintenance. Le logiciel SolidWorks Simulation est présenté comme un outil puissant pour valider la performance de la nouvelle conception et s'assurer que le système répond aux exigences de résistance, de durabilité et de sécurité. Finalement, l'étude et l'analyse des contraintes, des déformations et de coefficient de sécurité ont été présentés et discutés. Les résultats confirment la conformité du système avec les exigences de performance, garantissant sa fiabilité et son intégrité structurelle.

Mots clés : Ventilateur d'air, Centrale thermique, Simulation numérique, SolidWorks, clavetage, visserie.

Abstract

This dissertation focuses on the analysis and optimization of an air blower system within a thermal power plant, specifically addressing a maintenance issue encountered at the Ras-Djinet thermal power plant. The study concentrated on the design and analysis of a modification to the air blower system to optimize maintenance costs and time while maintaining the plant's productivity.

The study begins by exploring fundamental concepts of mechanical assemblies, defining various assembly types and presenting commonly used industrial techniques. It proceeds by thoroughly analyzing the operation of an air blower used in a thermal power plant, highlighting the maintenance challenges encountered during the replacement of the shaft bearings. The dissertation then proposes a new design for the air blower system, incorporating a keying system and screws to simplify disassembly and maintenance. SolidWorks Simulation software is presented as a powerful tool for validating the performance of the new design and ensuring the system meets the required strength, durability, and safety standards. Finally, the study and analysis of stresses, strains, and safety factors are presented and discussed. The results confirm the system's compliance with performance requirements, guaranteeing its reliability and structural integrity.

Keywords: Air blower, Thermal power plant, Numerical simulation, SolidWorks, Keying, Screw.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتصميم نظام مروحة هواء داخل محطة كهربائية حرارية، مع التركيز على حل مشكلة صيانة تم اكتشافها في محطة رأس جنات الحرارية. ركزت الدراسة على تصميم وتحليل تعديل لنظام مروحة الهواء لتحسين تكاليف وصيانة الوقت مع الحفاظ على إنتاجية المحطة.

تبدأ الدراسة باكتشاف المفاهيم الأساسية للتركيبات الميكانيكية، مع تحديد أنواع التركيبات المختلفة وتقديم تقنيات الصناعة الأكثر شيوعاً. تستمر من خلال تحليل شامل لعمل مروحة هواء تُستخدم في محطة كهربائية حرارية، مع تسليط الضوء على تحديات الصيانة التي تم مواجهتها أثناء استبدال محامل العمود. ثم تقترح الرسالة تصميمًا جديدًا لنظام مروحة الهواء، مدمجًا نظام الخوابير والبراغي لتسهيل تفكيك وصيانة النظام. تم تقديم برنامج SolidWorks Simulation كأداة قوية للتحقق من أداء التصميم الجديد والتأكد من أن النظام يلبي معايير القوة والمتانة والأمان المطلوبة. أخيرًا، تم عرض وتحليل الإجهادات والضغطات ومعامل الأمان. تؤكد النتائج الامتثال لنظام متطلبات الأداء، مما يضمن موثوقيته وسلامته الهيكلية.

الكلمات المفتاحية: مروحة الهواء، محطة كهربائية حرارية، المحاكاة العددية، SolidWorks، خابور، براغي.

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier en premier lieu Dieu tout-puissant pour m'avoir accordé la force et la volonté d'accomplir ce travail.

Un immense merci à nos familles, pour leur amour indéfectible, leurs précieux conseils et leur soutien inestimable, tant moral que financier. Grâce à eux, nous avons pu concrétiser nos aspirations académiques et mener à bien nos études.

Notre gratitude s'adresse également à notre promoteur, **Dr BELKACEM MANSER**, et à **Mr. KLAI SAMIR**, pour leur accompagnement constant, leurs directives éclairées et leurs précieux conseils qui ont contribué de manière significative à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions chaleureusement nos collègues et tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'enrichissement de ce travail par leurs suggestions constructives et leurs encouragements.

Un remerciement particulier à l'équipe de la centrale d'électricité Ras-Djinet pour son encadrement précieux et ses précieux conseils.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance aux membres du jury pour leur acceptation de l'évaluation de ce travail et pour l'enrichissement que constituent leurs commentaires et critiques.

Merci...



Dédicace

Je dédie ce travail

A ma très chère mère

Comme un soleil bienveillant qui a réchauffé mon cœur et éclairé mon chemin,
Comme une rose qui s'épanouit malgré les épreuves, toujours belle et parfumée,
Comme un océan profond et paisible, un refuge d'amour et de sécurité

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon amour éternel pour vous, ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles

Je t'aime maman.

À mon très cher père

Pour son amour inconditionnel et son dévouement à notre famille

Pour tous les souvenirs précieux que nous avons partagés, et pour l'avenir que nous construisons ensemble. Que dieu te protège.

À mes chères sœurs

Je veux souhaites a tous les deux une vie pleine de bonheur et succès, et pour ma petite sœur de réussir a l'examen du baccalauréat cette année

À tous mes meilleurs amis

Djigurta, Nadjib, Arezki, Assem, Rayane, Abdo qui ont toujours été là pour moi, Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ceux que j'aime.

Merci !

AGNAOU IMAD



Dédicace

Je dédie ce travail

Aux mémoire de ma mère que dieu l'accueille a son vaste paradis et que son âme repose en paix

Je voudrais également exprimer mon immense gratitude à mon cher père qui a toujours été ma source de force pour affronter les obstacles et que je ne saurai jamais remercier comme il se doit.

À ma chère sœur et mes chers frères pour leur soutien moral et leurs précieux conseils tout au long de mes études.

À tous mes amis spécialement **MALIK** et **MOH AKLI** a leurs soutien et encouragements

Enfin, je dédie ce travail a tous les membres de ma famille et à tous ceux qui ont contribué à ma réussite.

GHERNAOUT BILAL

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	v
Liste des tableaux	vii
Introduction générale	1
Présentation de la centrale de Ras-Djinat	3
Chapitre I : Généralité sur l'assemblage mécanique	7
Introduction.....	7
1. Définition	7
2. Différents types d'assemblages	7
2.1. Assemblage non démontable (permanent)	8
2.2. Assemblage démontable (non permanent)	8
2.3. Assemblage direct	8
2.4. Assemblage indirect	8
3. Procédés de soudage.....	8
3.1. Soudage au gaz ou au chalumeau	9
3.1.1. Soudage oxyacétylénique.....	9
3.1.2. Brasage.....	10
3.1.3. Soudobrasage (Brassage fort).....	10
3.2. Le soudage à l'arc électrique	10
3.2.1. Soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée.....	10
3.2.2. Soudage avec électrode réfractaire type TIG (Tungsten Inert Gas)	11
4. Rivetage	12
5. Boulonnage	13
6. Frettage	14
7. Clavetage.....	14
7.1. Types de clavettes	15
7.1.1. Clavettes parallèles	15
7.1.2. Clavettes parallèles fixées par vis.....	16
7.1.3. Clavettes disques	16
7.1.4. Clavettes inclinées	16

Table des matières

7.1.5. Clavettes tangibles	16
7.2. Dimensionnement	16
7.2.1. Contrainte de cisaillement	16
7.2.2. Pression de matage	17
7.3. Matière première	18
Conclusion	18
Chapitre II : Montage, conception et amélioration d'un ventilateur d'air	19
Introduction	19
1. Contexte et objectif de cette étude.....	19
2. Description technique et fonctionnement	20
2.1. Volute du ventilateur	21
2.2. Cône d'aspiration	21
2.3. Paliers de l'arbre	21
2.4. Arbre.....	21
2.5. Roue mobile	22
2.6. Régulateur de la turbulence.....	22
2.7. Support de palier	22
2.8. Accouplement	22
2.9. Coulisserie de silencieux	23
2.10. Moteur	23
3. Instructions de montage-démontage et maintenance.....	23
3.1. Généralité.....	23
3.2. Montage des paliers à roulement	24
3.2.1. Préparations à mise en place	24
3.2.2. Montage du roulement sur l'arbre.....	24
3.2.3. Montage des logements des roulements.....	24
3.2.4. Graissage des roulements	24
3.2.5. Montage des thermomètres à contact.....	25
3.2.6. Montage des capteurs de vibrations	25
3.3. Montage de la roue mobile.....	25
3.4. Montage de cône d'aspiration	26
3.5. Montage du régulateur de turbulence	26
3.6. Graissage du régulateur de la turbulence	26
4. Problématique du Montage-Démontage et de la Maintenance.....	26

Table des matières

5. Nouvelle Conception : Un montage démontable et facile	26
6. Conception et dimensionnement des pièces modifiées	27
6.1. Arbre.....	27
6.2. Clavette.....	27
6.3. Bague de la roue mobile	28
7. Choix des ajustements des pièces modifiées.....	29
7.1. Ajustement arbre - roue mobile	29
7.2. Ajustement arbre – clavette	29
7.3. Ajustement clavette – bague.....	29
8. Caractéristique mécanique des pièces non modifiées.....	30
8.1. Accouplement	30
8.2. Manchon	30
8.3. Bague.....	31
8.4. Rondelle d'appui	32
8.5. Roue mobile	32
9. Assemblage de toutes les pièces de ventilateur d'air	33
10. Ajustements des pièces non modifiées	33
11. Choix de l'état de surface.....	33
12. Couple moteur	34
Conclusion	34
Chapitre III : Modélisation et simulation du système de ventilateur d'air	35
Introduction	35
1. La Simulation numérique : un outil essentiel pour la validation des conceptions	35
1.1. Définition de la simulation numérique	36
1.2. SolidWorks Simulation : Un Logiciel de Simulation Complet et Intuitif	36
1.3. Gamme SolidWorks simulation.....	36
1.4. Fonctionnalités de SolidWorks Simulation.....	37
1.5. Processus de simulation numérique : une démarche étape par étape.....	38
2. L'Assemblage des pièces : un processus précis et soigné	39
2.1. Étape 1 : Sélection des pièces	39
2.2. Étape 2 : Application des contraintes d'assemblage	39
2.3. Étape 3 : Validation de l'assemblage.....	39
3. Simulation de l'assemblage : une analyse détaillée pour valider la conception.....	40
3.1. Choix des matériaux	40

Table des matières

3.2. Application des conditions aux limites.....	43
3.2.1. Conditions aux limites	43
3.2.2. Application des forces.....	43
3.2.3. Application du couple moteur	44
3.3. Maillage de modèle.....	45
3.4. Résultats et interprétations de simulation	45
Conclusion	48
Conclusion générale	49
Références Bibliographiques	51
Annexes	

Table des figures

Chapitre I

Figure I. 1 : Le Soudage oxyacétylénique [7].....	9
Figure I. 2 : Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée [10].....	11
Figure I. 3 : Soudage à l'arc électrique avec électrode réfractaire – TIG [13]	12
Figure I. 4 : Rivetage [14].....	12
Figure I. 5 : Principe de boulonnage [17]	13
Figure I. 6 : Frettage mécanique [20].....	14
Figure I. 7 : Clavetage [22]	15
Figure I. 8 : Les trois formes de clavettes parallèles [23].....	16

Chapitre II

Figure II. 1 : Schéma d'un ventilateur [26]	20
Figure II. 2 : Arbre du ventilateur d'air [26].	21
Figure II. 3 : La roue mobile du ventilateur [26].....	22
Figure II. 4 : Régulateur de la turbulence [26]	22
Figure II. 5 : Accouplement [26].....	22
Figure II. 6 : Coulisse de silencieux [26].....	23
Figure II. 7 : Moteur électrique de ventilateur [26].....	23
Figure II. 8 : Vues de la partie modifiée de l'arbre	27
Figure II. 9 : Vues de la clavette.....	28
Figure II. 10 : Vues de la bague de la roue mobile.....	29
Figure II. 11 : Vues de l'accouplement	30
Figure II. 12 : Vues du manchon	31
Figure II. 13 : Bague.....	31
Figure II. 14 : Rondelle d'appui	32
Figure II. 15 : Roue mobile.....	32
Figure II. 16 : Vue de l'ensemble de ventilateur d'air.....	33

Chapitre III

Figure III. 1 : Exemple d'une simulation numérique	36
Figure III. 2 : Composants avant assemblage.....	39
Figure III. 3 : Assemblage arbre-clavette	40
Figure III. 4 : Assemblage arbre-clavette-roue.....	40
Figure III. 5 : Sélection de l'arbre	41

Table des figures

Figure III. 6 : Choix de matériau de l'arbre.....	41
Figure III. 7 : Sélection de la clavette.....	42
Figure III. 8 : Choix de matériau de la clavette	42
Figure III. 9 : Sélection de la roue	43
Figure III. 10 : Choix de matériau de la roue	43
Figure III. 11 : Application des conditions aux limites de type pivot fixe au niveau de deux paliers.....	44
Figure III. 12 : Application des forces sur les paliers.....	44
Figure III. 13 : Application de couple moteur	45
Figure III. 14 : Modèle après le maillage	45
Figure III. 15 : Champ de contraintes appliqué sur l'assemblage	46
Figure III. 16 : Champ de déplacement sur le modèle	47
Figure III. 17 : Champ de déformation sur modèle	47
Figure III. 18 : Distribution des coefficients de sécurité sur le modèle	48

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II. 1 : Caractéristiques mécaniques de ventilateur	20
Tableau II. 2 : Caractéristiques mécaniques de l'arbre.....	27
Tableau II. 3 : Caractéristiques physiques de l'arbre	27
Tableau II. 4 : Caractéristiques mécaniques de la clavette	28
Tableau II. 5 : Caractéristiques mécaniques de la roue mobile.....	29
Tableau II. 6 : Caractéristiques mécaniques de l'accouplement	30
Tableau II. 7 : Caractéristiques mécaniques du manchon.....	31
Tableau II. 8 : Caractéristiques mécaniques de la bague	38
Tableau II. 9 : Caractéristiques mécaniques de la rondelle d'appui.....	38

Introduction générale

L'électricité est aujourd'hui omniprésente dans nos vies, rendant la vie sans elle inconcevable. La production d'électricité est ainsi devenue une activité d'envergure mondiale, avec des centrales nucléaires, hydrauliques, solaires et éoliennes qui connaissent un essor important. Néanmoins, les centrales thermiques, qui exploitent les hydrocarbures comme combustible pour la production d'électricité, restent un pilier énergétique pour plusieurs pays, notamment l'Algérie [1]. En effet, les turbines à vapeur, largement utilisées dans les centrales thermiques, contribuent à environ 43% de la production d'électricité en Algérie [2].

C'est dans ce contexte que notre stage au sein de la centrale thermique de Ras-Djinet a permis d'identifier une problématique liée à la maintenance d'un ventilateur d'air, composant essentiel pour le fonctionnement des turbines à vapeur. Le remplacement des roulements de guidage de l'arbre du ventilateur nécessitait un démontage complexe et un transport coûteux vers une unité de maintenance distante, entraînant des pertes de production importantes.

Pour pallier ces difficultés, notre étude s'est focalisée sur la conception et l'analyse d'une modification du système de ventilateur d'air, visant à optimiser les coûts et le temps de maintenance, tout en préservant la productivité de la centrale.

Notre étude se décompose en trois chapitres :

- **Chapitre I** : explore les concepts fondamentaux des assemblages mécaniques, en définissant les différents types d'assemblages (permanents, démontables, directs, indirects) et en présentant les principales techniques utilisées en industrie, telles que le soudage, le rivetage, le boulonnage, le freinage et le clavetage
- **Chapitre II** : se penche sur la conception et le fonctionnement d'un ventilateur d'air, en analysant les différentes pièces constitutives du système, telles que la volute, le cône d'aspiration, les paliers de l'arbre, la roue mobile, le régulateur de turbulence, le support de palier, l'accouplement, la coulisse de silencieux et le moteur. Il présente également la nouvelle conception de l'assemblage arbre-roue mobile, intégrant un système de clavetage et une visserie pour faciliter le démontage et la maintenance.
- **Chapitre III** : se consacre à la simulation numérique du ventilateur d'air modifié à l'aide du logiciel SolidWorks Simulation. Il présente les étapes de l'analyse statique, en décrivant la sélection des matériaux, l'application des conditions aux limites, le maillage du modèle et l'interprétation des résultats. L'objectif est de valider la performance de la nouvelle conception et de s'assurer que le système répond aux exigences de résistance, de durabilité et de sécurité.
- **Conclusion générale** : Le mémoire se termine par une discussion sur les résultats obtenus et les perspectives d'avenir dans le domaine de l'analyse des systèmes de transmission de mouvement.

Introduction générale

En conclusion, cette étude vise à proposer une solution concrète et applicable pour améliorer la maintenance du ventilateur d'air de la centrale thermique de Ras-Djinet. Les résultats de l'étude ouvriront des perspectives d'application dans un contexte industriel et contribueront à optimiser le fonctionnement de la centrale thermique.

Présentation de la centrale de Ras-Djinet

1. Historique

La centrale thermique de RAS DJINET est située en bordure de la mer, à l'est d'ALGER , près de la ville de RAS - DJINET , dans la wilaya de BOUMERDES , elle est construite dans les années **80** par la société allemande SIEMENS , pour alimenter la région centre du pays et renforcer la capacité en énergie électrique du pays . Elle se compose de quatre tranches de type thermiques à vapeur d'une puissance unitaire de **176 MW** (BA) ; la puissance totale des 4 tranches fournie par l'entreprise est de **704 MW**, dont **672 MW** (BU) pour le réseau et **32MW** pour la consommation des auxiliaires. Cette centrale comprend pour chaque tranche [1].

2. Branche thermique :

1.1. Poste d'eau :

a. Condenseur :

Assure la condensation de la vapeur évacué du corps basse pression de la turbine par la circulation de l'eau de mer de refroidissement.

b. Deux pompes d'extraction :

a pour rôle l'extraire des condensât principales à la sortie de condenseur jusqu'à la bêche alimentaire et le maintien constant du niveau d'eau au sein du condenseur.

c. Trois pompes d'alimentation :

(Deux en service et la troisième en secours), elles servent à refouler l'eau de la bêche alimentaire vers la chaudière.

d. Bêche alimentaire :

Elle constitue la réserve d'eau en charge au cours de l'aspiration des pompes d'alimentation.

e. Bêche de réserve :

A pour rôle de compenser les pertes en eau et en vapeur du circuit.

f. Trois réchauffeurs bas pression :

Ce sont des échangeurs de chaleur, leur rôle est d'augmenter la température des condensât lors de son transfert vers la bêche alimentaire.

g. Deux réchauffeurs hauts pression :

Ce sont aussi des échangeurs de chaleur, leur rôle est d'augmenter la température de l'eau lors de son transfert vers la chaudière.

h. Dégazeur :

Sert à séparer les incondensables (oxygène, gaz carbonique ... etc.) contenus dans l'eau

1.2. Chaudière

Pour extraire l'énergie calorifique de combustible et à céder à la vapeur d'eau, donc elle a pour le rôle de transformer l'eau d'alimentation en vapeur à haute pression et à température élevée pour alimenter la turbine ; elle contient principalement :

- a. **la Chambre de combustion.**
- b. **le Combustible et système brûleurs.**
- c. **Les échangeurs de chaleurs** : (l'économiseur, le faisceau vaporisateur, les surchauffeurs et les resurchauffeurs).
- d. **Le réservoir du générateur de vapeur (ballon).**

1.3. Turbine

Transforme l'énergie calorifique contenue dans la vapeur d'eau en énergie mécanique, elle contient :

- a. **Corps haute pression (HP).**
- b. **Corps moyenne pression (MP).**
- c. **Corps basse pression (BP).**
- d. **Soutirages (S1, S2, S3, S4, Ss, S.)** : leur rôle est le réchauffage de l'eau d'extraction et d'alimentation à travers les différents réchauffeurs.

1.4. Alternateur

Transforme l'énergie mécanique qui provient de la turbine en énergie électrique.

✚ Les auxiliaires d'alimentation :

- **Station eau de mer.**
- **Station de traitement des eaux** : (dessalement, déminéralisation, Electrochloration)
- **Station de fuel.**
- **Station de production H₂.**
- **Poste de gaz.**
- **Evacuation de l'énergie** : L'énergie électrique produite est évacuée par l'intermédiaire de la ligne de 225 kV sur le poste ALGER - EST (Boudouaou).

✚ Description :

- **168 MW** sont évacuées à travers un transformateur élévateur principal (TP) : **156kv / 220kv.**
- **8 MW** servent à l'alimentation des auxiliaires du groupe, l'alimentation se fait à travers un abaisseur soutirage (TS) : **15,5kw / 6,3kv.**
- Disjoncteur sert à protéger l'alternateur contre les défauts électriques
- Disjoncteur sert à protéger le groupe contre les défauts extérieurs [2].

2. Organisation du personnel :

La centrale compte **237** agents répartis comme suit :

- **30** cadres
- **117** agents de maîtrise

Présentation de la centrale de Ras-Djinet

- **90** agents d'exécutions

Les taches du personnel s'effectuent selon l'organisation simplifiée ci après.

➤ **Service d'exploitation :**

Un personnel d'exploitation assure la continuité du service et travail selon le régime **3x8h**

Il a pour taches principales :

- Démarrage et arrêt des groupes
- Surveillance des équipements
- Veiller au bon fonctionnement du matériel
- Signaler les anomalies par une demande de travaux
- Rétablir la distribution d'énergie en cas d'incidents
- Consigner et déconsigner les organes
- Délivrer les autorisations de travail

➤ **Service de maintenance :**

Le personnel de maintenance a pour taches :

- Préserver les équipements par un entretien adéquat et systématique
- Garantir la longévité du matériel
- Réduire les indisponibilités des groupes afin de maintenir la production

➤ **Service de gestion :**

Le personnel de gestion a pour taches :

- De s'occuper des problèmes administratifs des agents (salaire, congés, primes)
- Approvisionnement en matériel divers
- Gestion du parc autos

➤ **Section de sécurité :**

La section de sécurité doit :

- Veiller au bon respect des consignes par les agents de la centrale
- Contrôle et entretien périodique des équipements de la lutte contre les incendies

3. Rôle de la centrale de RAS - DJINET :

La centrale thermique est composée de différents appareils pour les diverses applications de lois de la thermodynamique qui servent à transformer l'énergie chimique contenue dans un combustible en énergie calorifique dans la chaudière et l'énergie calorifique se transforme en suite en énergie mécanique, cette dernière se transforme en énergie électrique au niveau de turboalternateur, toute ces réactions se déroulent au niveau d'un groupe ou tranche thermique). Ces transformations sont données par le schéma suivant :

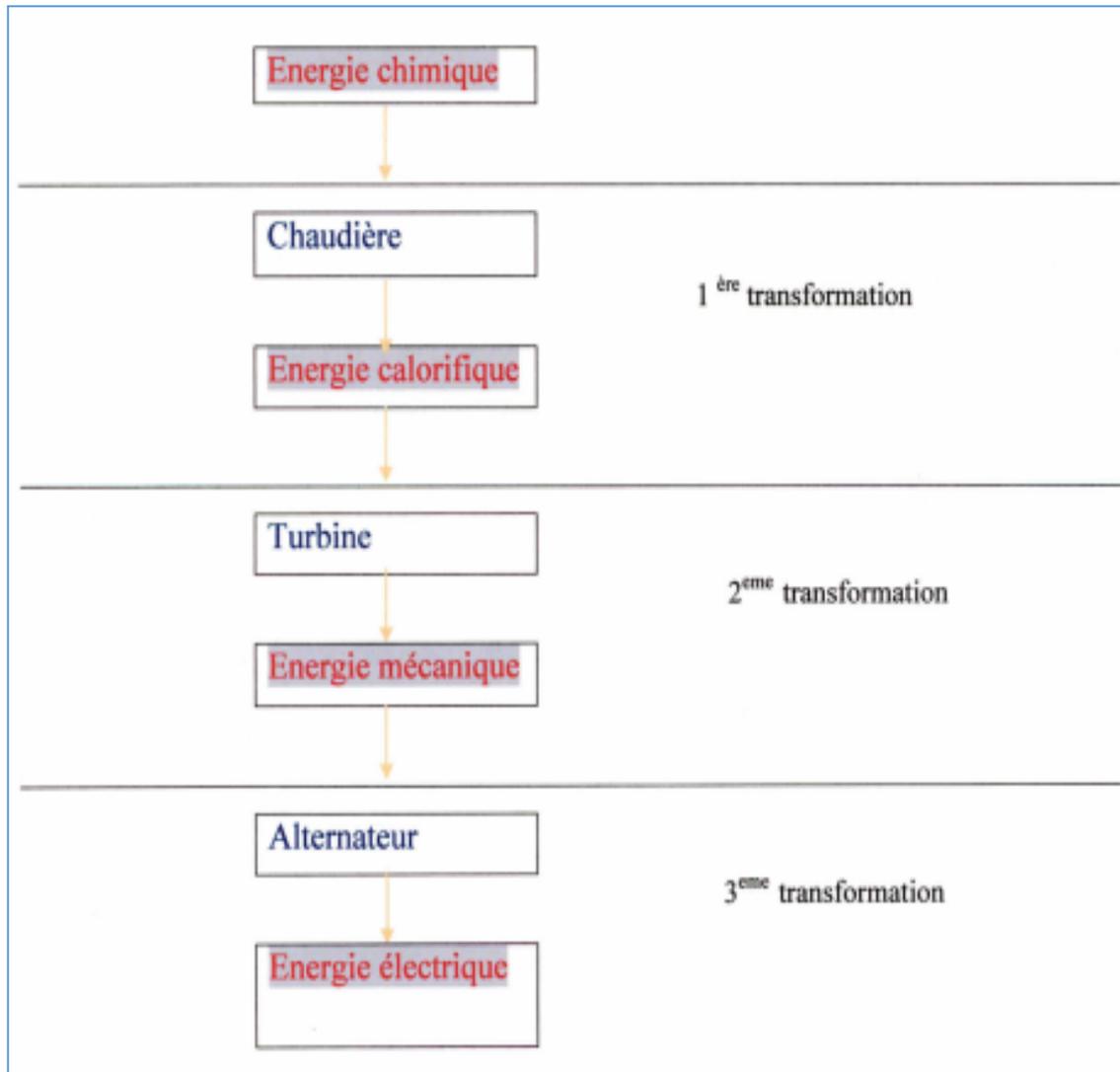


Figure 1 : Différences transformations d'énergie

4. Le principe de fonctionnement :

Dans la centrale thermique l'état de l'eau est en fonction du circuit traversé, elle peut être soit vapeur ou liquide.

a. Circuit liquide :

Dans le condenseur, la vapeur se transforme en liquide par le rabaissement de la température dû au passage de l'eau de mer (refroidissement), cette eau est aspirée par des pompes d'extraction, puis refoulée vers la bache alimentaire en passant par les réchauffeurs (BP) et le dégazeur, l'eau de la bache alimentaire sera destinée, à l'aide de pompes alimentaires, à l'économiseur qui se trouve en fin de parcours, en passant par les réchauffeurs (HP) dont le rôle principale est le réchauffement de l'eau d'alimentation, puis sa conduite vers les écrans vaporisateurs, une partie sera vaporisée, puis le ballon de la chaudière qui se situe dans la partie supérieur du générateur fera la séparation du liquide et de la vapeur.

b. Circuit vapeur :

Après sa séparation, la vapeur est menée par des tubes ascendants, elle parcourt la première surchauffeur, puis passe le premier resurchauffeur et ensuite par la deuxième surchauffeur et elle traverse le deuxième resurchauffeur et enfin elle arrive à la dernière surchauffeur, la vapeur surchauffée quitte la chaudière pour se détendre dans le corps HP de la turbine. Après cette opération (détente) elle est récupérée pour être resurchauffée à nouveau dans deux resurchauffeurs qui servent à stabiliser la température de sortie, la vapeur resurchauffée qui sera détendue dans le corps MP de la turbine et continue sa détente dans le corps BP, à la fin elle est dirigée vers le condenseur où elle se condense

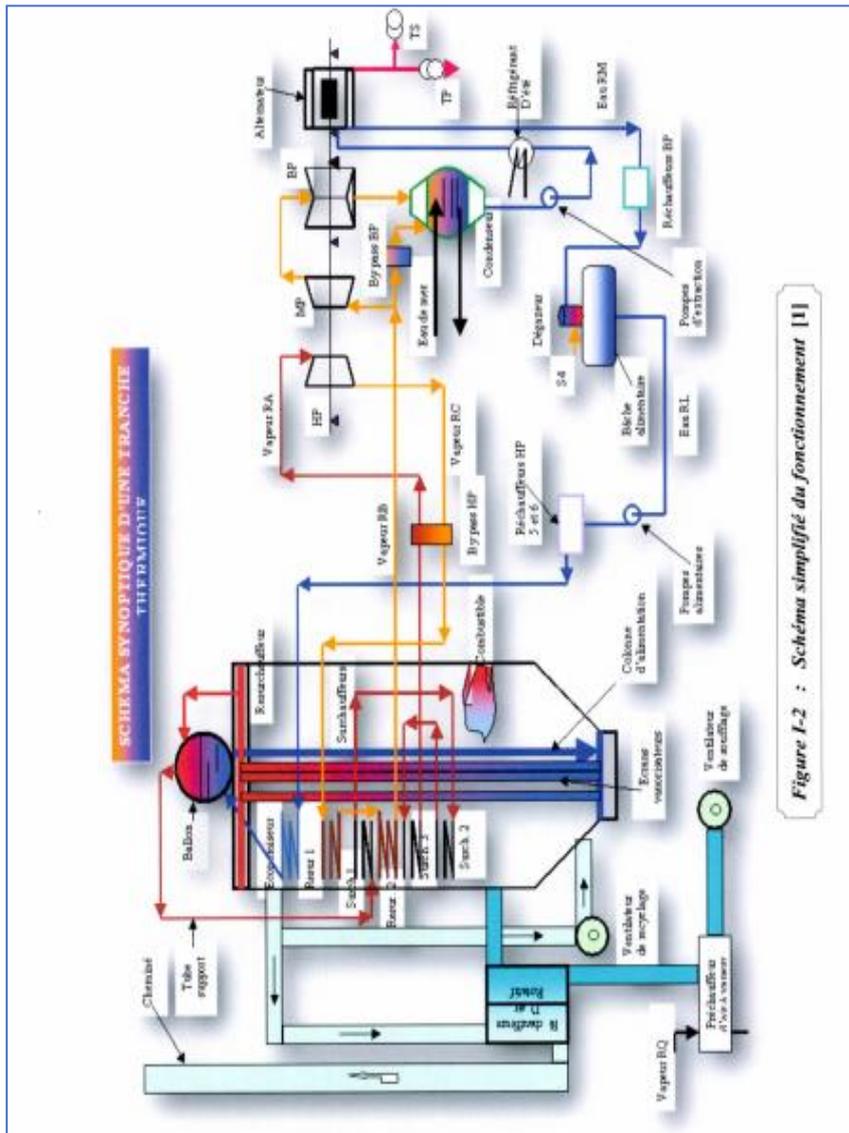


Figure 1-2 : Schéma simplifié du fonctionnement [1]

Chapitre I

Généralité sur l'assemblage mécanique

Introduction

Pour fabriquer un produit, il est nécessaire de réunir tous ses composants, qui peuvent être faits de matériaux et de formes variés, parfois exigeant divers processus d'assemblage. Dans l'industrie, plusieurs techniques sont utilisées pour fixer les éléments d'un produit ensemble.

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps présenter un aperçu des principes fondamentaux des assemblages, Ensuite, nous nous intéresserons aux techniques d'assemblage mécanique utilisées dans l'industrie pour relier les différents éléments d'un produit. Nous définirons les différents types d'assemblage existants, en expliquant les principes des principales techniques employées.

1. Définition

Un assemblage mécanique consiste à lier plusieurs pièces ou produits entre eux. Pour réaliser un assemblage mécanique, on utilise des procédés ou des savoir-faire techniques précis.

Il existe plusieurs types d'assemblages mécaniques : permanent ou démontable, complet ou partiel, direct ou indirect, élastique ou rigide, par obstacle ou par adhérence.

Souvent, l'assemblage mécanique nécessite la déformation de l'une des pièces reliées ou d'un accessoire intermédiaire.

Un assemblage mécanique doit répondre aux exigences techniques imposées par le cahier des charges. C'est pourquoi cette étape de liaison entre deux pièces est très importante. Un mauvais choix dans la technique utilisée ou le matériel choisi peut être fatal pour la pérennité d'une installation.

2. Différents types d'assemblages

Dans le domaine industriel, il existe plusieurs techniques, un assemblage peut être permanent ou démontable, direct ou indirect [3].

2.1. Assemblage non démontable (permanent)

À titre d'exemple, les soudures, les emmanchements forcés, certaines colles et adhésifs, le sertissage, etc., sont des techniques d'assemblage permanent. Dans ce type d'assemblage, pour dissocier les éléments assemblés, il est indispensable de déformer ou de détruire au moins l'une des pièces composant l'assemblage [3].

2.2. Assemblage démontable (non permanent)

La connexion de ce type d'assemblage est conçue pour être démontée sans endommager gravement les pièces, qui peuvent généralement être réutilisées pour former un nouvel assemblage. Cependant, l'élément assurant la connexion peut ne pas être réutilisable. Des exemples de telles connexions comprennent le vissage (vis-écrou), le boulonnage, l'utilisation de goujons, de clavettes, d'arc-boutements, de serre-joints, de goupilles, de coincements de formes coniques, certains types de frettages, etc. [3].

2.3. Assemblage direct

L'assemblage est réalisé sans avoir besoin de pièces intermédiaires ; la forme des pièces en contact est suffisante pour le réaliser. Parmi les techniques utilisées, on trouve le soudage, le frettage, le clinchage, le sertissage, l'emboîtement élastique, etc. [4].

2.4. Assemblage indirect

Pour réaliser cet assemblage, on utilise une ou plusieurs pièces intermédiaires. Parmi les exemples courants, on peut citer : la visserie (vis, écrou, boulon, goujon, filetage, taraudage), le rivet, la clavette, le collage, l'emboîtement (avec tenon, mortaise et cheville), la bague de tolérance, l'anneau élastique, le clou, l'agrafe, etc. [4].

3. Procédés de soudage

Le soudage est une méthode d'assemblage privilégiée pour les constructions impliquant des matériaux métalliques, relevant principalement de la métallurgie. Il assure une continuité métallique à la pièce, lui conférant des caractéristiques d'assemblage équivalentes à celles du métal assemblé (caractéristiques mécaniques, thermiques, chimiques, électriques, d'étanchéité et de durabilité). Cette méthode résiste à des sollicitations élevées, est durable en raison de son insensibilité aux variations de température et aux conditions climatiques, et garantit l'étanchéité de la pièce soudée [5].

Le soudage est largement utilisé dans divers secteurs tels que la production, la construction, la réparation et la maintenance. Dans le domaine de l'acier, il est essentiellement utilisé en mécanique et en construction, où il est le principal moyen d'assemblage. En construction métallique, les éléments sont systématiquement assemblés par soudage lors de la préfabrication en atelier, tandis que sur les chantiers, le boulonnage des éléments préfabriqués est plus courant.

Les différents procédés de soudage se distinguent également par le métal d'apport utilisé pour assembler les deux pièces métalliques :

- Le soudage hétérogène utilise un métal différent ayant un point de fusion plus bas.

3.1.2. Brasage

Dans le soudage au chalumeau, deux techniques connexes doivent être mentionnées, bien qu'elles ne soient pas strictement des techniques de soudage, mais elles sont fréquemment utilisées par les soudeurs : le brasage et le soudobrasage. Le brasage consiste à assembler deux pièces métalliques en utilisant un métal de composition différente. Ce métal fond à une température inférieure à celle des pièces à assembler et se fusionne uniquement au contact du métal de base plus chaud, formant ainsi le joint d'assemblage. Les pièces sont assemblées par recouvrement, similaire à un collage, permettant au métal d'apport de pénétrer entre les deux pièces par capillarité pour créer un joint d'étanchéité [8].

3.1.3. Soudobrasage (Brassage fort)

Il s'agit d'un assemblage offrant une résistance mécanique élevée, avec une température de chauffage dépassant les 950 °C. Principalement utilisé pour les métaux ferreux, il convient également au cuivre, au nickel, au chrome, etc. On peut utiliser un chalumeau butane propane ou un chalumeau oxy-gaz pour ce procédé [9].

Cette méthode permet de déposer du métal d'apport à l'angle formé par deux pièces disposées perpendiculairement l'une par rapport à l'autre, les solidarissant ainsi. Les métaux des pièces soudées peuvent être de natures différentes, par exemple de l'acier et du cuivre, ce qui permet son utilisation dans les rénovations. Il est possible de modifier des éléments existants sans avoir besoin d'utiliser le même type de métal. Le cordon de soudure est constitué de métal d'apport enrobé, qui est un alliage contenant des éléments tels que le cuivre, l'acier, le nickel, le soufre, le plomb, l'étain, le cadmium, etc. [9].

Il existe de nombreux alliages parmi lesquels choisir, en fonction des propriétés recherchées. Par exemple, l'argent et le phosphore peuvent être ajoutés pour augmenter la résistance mécanique.

3.2. Le soudage à l'arc électrique

Les caractéristiques de la charge. On peut distinguer deux types de soudage : soudage avec électrodes fusibles (soudage avec électrodes enrobées, MIG et MAG) et soudage avec électrode réfractaires (soudage TIG)

3.2.1. Soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée

Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées est la méthode de soudage la plus courante. Il s'agit d'une soudure autogène utilisée pour assembler des pièces en acier. Les joints ainsi créés sont très résistants car l'acier est fondu à l'aide d'un arc électrique créé entre les pièces à souder et une électrode fusible qui fournit le métal d'apport. Cela entraîne la fusion des pièces à souder et du métal d'apport [11].

Pour atteindre cette fusion, une température très élevée supérieure à 3000°C est nécessaire. Cette température est obtenue en provoquant un court-circuit entre deux électrodes (la pièce à souder et l'électrode en métal d'apport), créant ainsi un "arc électrique". Cet arc électrique est une sorte d'étincelle continue de forte puissance qui produit à la fois une lumière intense et une chaleur intense [11].

Les applications de cette méthode sont très diverses. La mobilité des équipements et la variété des types d'électrodes permettent d'effectuer des travaux sur différents métaux et alliages, tels que les aciers non alliés ou faiblement alliés, les aciers inoxydables, les fontes, et dans certaines conditions, l'aluminium, le cuivre et le nickel. Tous les types d'assemblage (bord à bord, d'angle, etc.) et toutes les positions de soudage (à plat, en corniche, etc.) sont possibles [11].

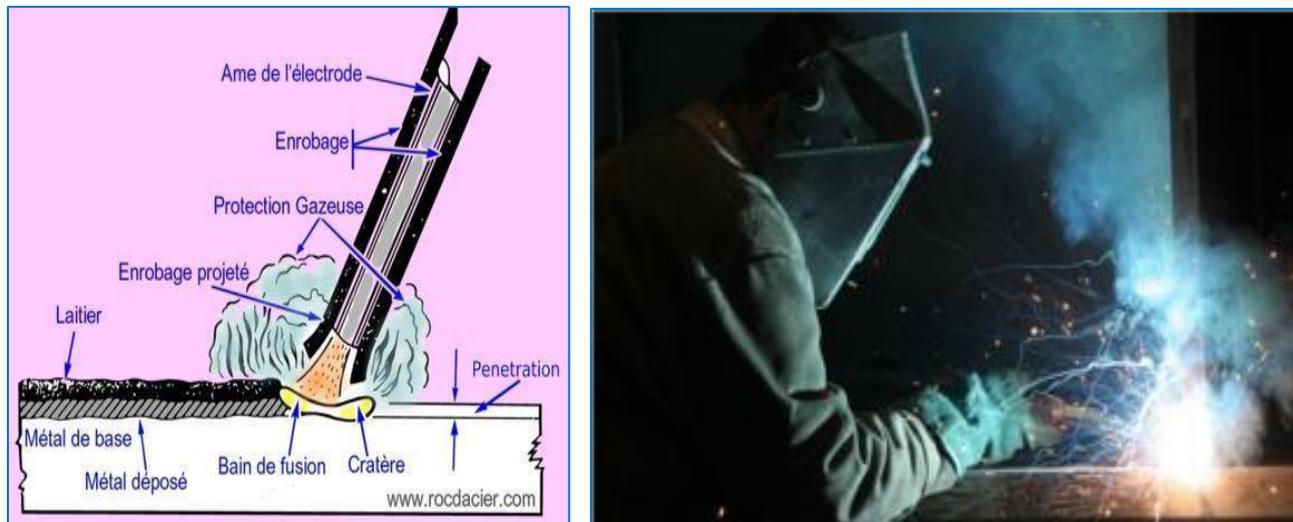


Figure I.2. Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée [10].

3.2.2. Soudage avec électrode réfractaire type TIG (Tungsten Inert Gas)

Il s'agit d'un procédé similaire au soudage à l'arc, mais avec des améliorations significatives en termes de facilité d'utilisation et de qualité de la soudure. Dans cette technique, l'arc électrique et la soudure sont protégés par un gaz, ce qui élimine le besoin d'enrober l'électrode et entraîne une diminution importante des émissions de fumées.

Une électrode en tungstène, un matériau réfractaire et non fusible, permet le passage de l'arc électrique (le tungstène étant un excellent conducteur). La chaleur nécessaire à la soudure est générée par l'arc électrique, transmis au métal de base par l'électrode en tungstène, et le bain de soudure est protégé par un flux de gaz inerte. L'arc électrique ainsi créé est stable, précis, et capable de souder des métaux très réactifs tels que l'aluminium ou le titane. Par exemple, lors du soudage de l'acier inoxydable avec le procédé TIG, la formation d'oxydes de chrome est évitée. Cette formation pourrait entraîner localement une diminution de la concentration en chrome et donc réduire sa résistance à la corrosion. [12].

La soudure est réalisée sous la protection d'un gaz inerte, qui ne présente aucun danger ni risque explosif. Différents types de gaz sont utilisés :

- L'argon pour l'acier,
- Un mélange binaire d'argon et d'hélium pour l'aluminium,
- Un mélange d'argon, d'hélium et d'oxygène.

Pour le soudage des métaux non alliés, comme l'aluminium, l'électrode est en tungstène pur [13].

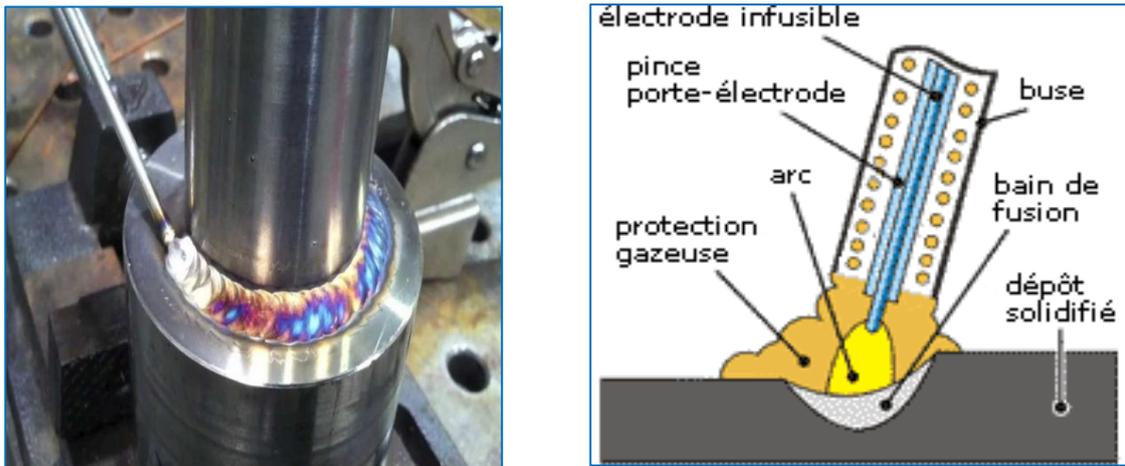


Figure I.3. Soudage à l'arc électrique avec électrode réfractaire – TIG [13]

4. Rivetage

Il s'agit d'un procédé d'assemblage non démontable utilisé pour assembler des pièces métalliques relativement minces. Le rivet, une fois placé à chaud, se contracte pendant le refroidissement, pressant ainsi les deux pièces l'une contre l'autre. Le corps du rivet est soumis à une tension de pose similaire à celle d'un boulon. Certains rivets peuvent être placés à froid à l'aide d'un équipement spécial. Ce procédé est notamment utilisé pour assembler des matériaux difficiles à souder ou des tôles fines ou des poutrelles qui pourraient être déformées par la soudure. On peut utiliser des rivets à simple ou double recouvrement [14].

Les rivets sont des éléments d'assemblage utilisés pour relier plusieurs pièces. Ce sont des tiges en acier, en aluminium, en laiton, en cuivre, etc., dont une extrémité est préparée sous forme de tête normalisée, tandis que l'autre extrémité, appelée rivure, est formée par forgeage après la pose [14].

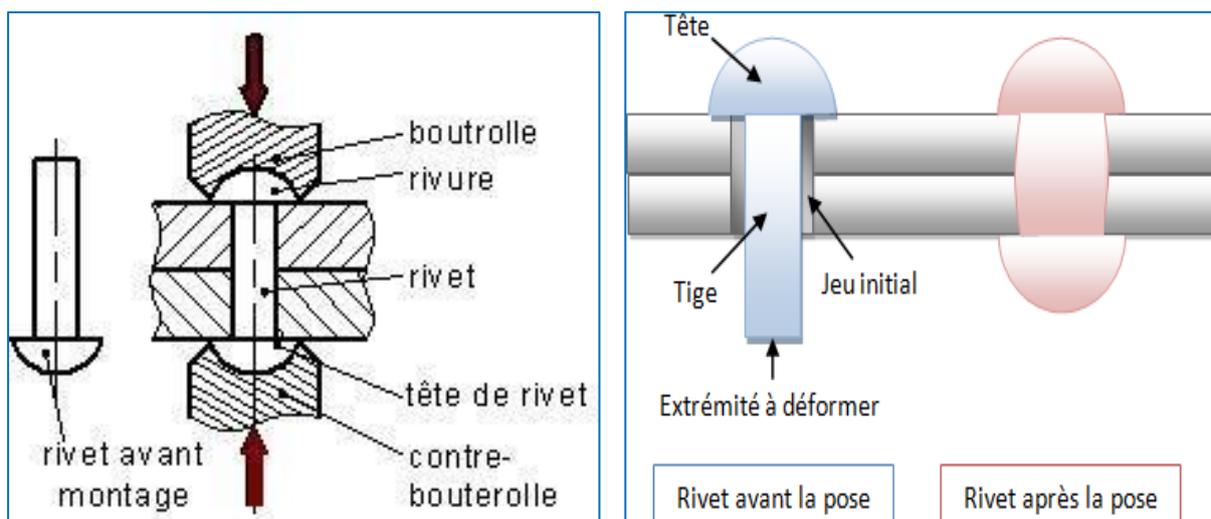


Figure I.4. Rivetage [14]

5. Boulonnage

Le boulonnage est une méthode d'assemblage mécanique démontable utilisée pour créer une liaison de continuité entre des éléments ou pour assurer la transmission intégrale des efforts d'une partie à l'autre d'une construction [15].

En boulonnerie, le terme "vis" désigne un filetage complet, tandis que le terme correct est "corps de boulon" lorsque le filetage est partiel.

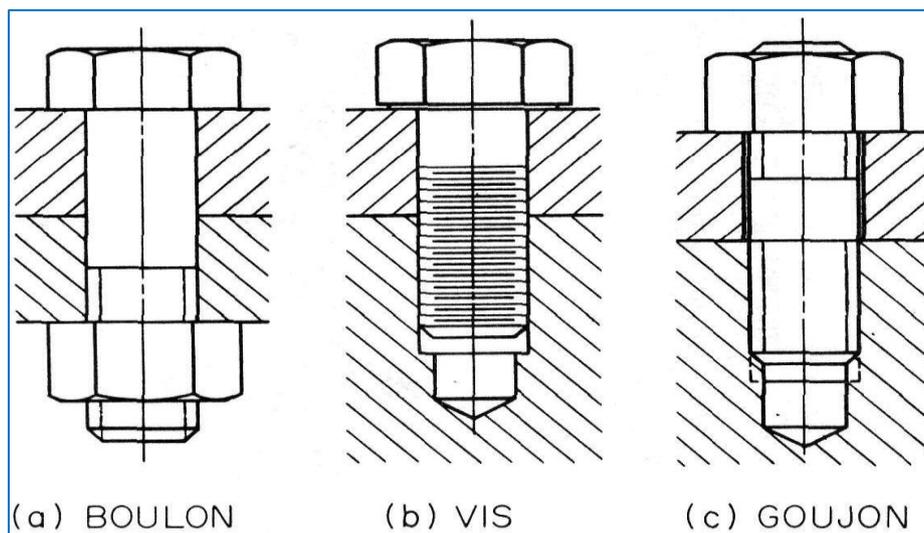
Une vis de fixation, communément appelée vis, est un élément mécanique composé d'une tige filetée et d'une tête, utilisé pour fixer une ou plusieurs pièces par pression. La fixation par vis crée une liaison démontable plane en plaquant précontraint les deux pièces à assembler. Tant que les efforts de traction appliqués sur la liaison ne dépassent pas l'effort exercé par les vis au repos, l'assemblage bénéficie de la raideur des pièces assemblées [15].

a. Vis-écrou

Le système vis-écrou est un mécanisme de transmission du mouvement en translation. Il est composé d'une tige filetée entraînée en rotation autour d'un axe fixe par rapport à la pièce (la vis), et d'une pièce comportant un filetage intérieur, la noix (ou écrou), qui est guidée en translation par rapport au bâti. Lorsque la vis tourne, la noix est entraînée en translation. Ainsi, ce mécanisme utilise le principe de la vis et de l'écrou, c'est-à-dire la liaison hélicoïdale, pour transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation [16].

b. Goujons

Dans certaines situations, l'utilisation d'un boulon peut poser problème en raison de la longueur nécessaire pour sa tige et de l'espace requis pour sa tête. Pour résoudre ce problème, on utilise l'une des deux pièces pour jouer le rôle de la tête en fixant sur cette pièce la tige du boulon, appelée "goujon". Un goujon est une pièce mécanique en forme de tige, partiellement filetée, qui permet d'établir une liaison "complète, rigide et démontable" entre une pièce équipée du goujon et une ou plusieurs autres pièces traversées par le goujon et fixées par un écrou [16].



6. Frettage

Le frettage est un procédé d'assemblage de deux pièces grâce à un ajustement serré. La pièce extérieure est appelée "frette", tandis que la pièce intérieure est dite "frettée". L'assemblage est réalisé avec des tolérances d'usinage qui rendent son montage impossible à la main ou même à la presse. La méthode la plus simple, si elle ne nuit pas au matériau, consiste à chauffer la frette pour la dilater avant de la placer sur l'élément à fretté. À l'inverse, on peut refroidir l'élément intérieur à l'azote liquide ou à la glace carbonique pour le contracter et le placer dans la frette, mais ces méthodes sont plus coûteuses [18].

Dans certains cas, comme pour les outils de frittage ou de forgeage, il est nécessaire de dilater la frette tout en contractant l'élément fretté. Le frettage se pratique le plus souvent sur des pièces de révolution pour lesquelles il est plus facile de contrôler les tolérances d'usinage et les contraintes induites dans les matériaux [19].

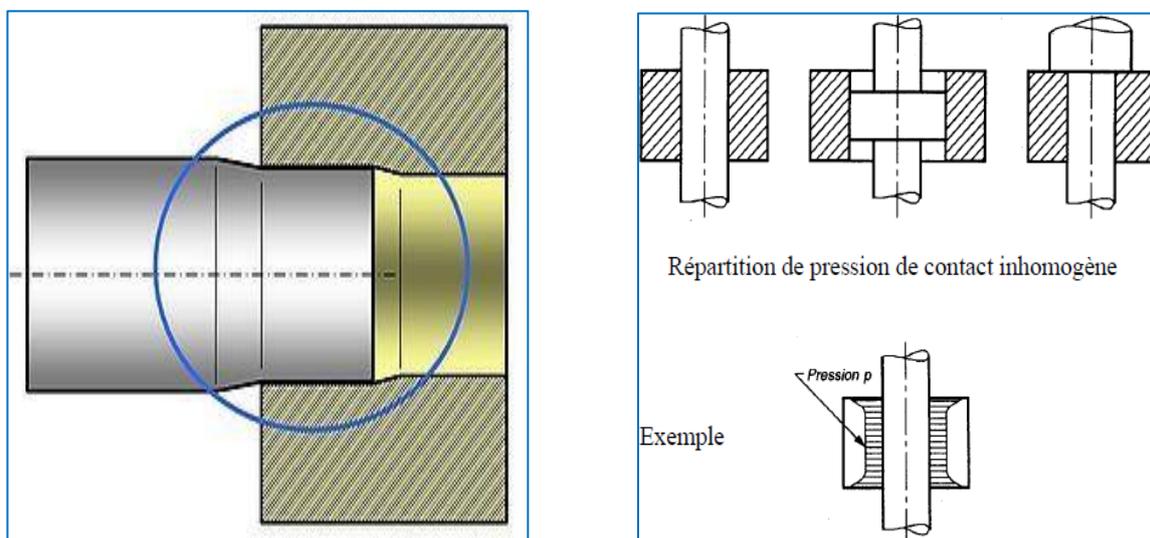


Figure I.6. Frettage mécanique [20].

7. Clavetage

Une clavette est une pièce utilisée pour lier en rotation deux pièces. Les clavetages forcés peuvent être vus comme des liaisons par obstacle, mais la stabilité de la pièce d'assemblage formant l'obstacle (la clavette) est obtenue par coincement, donc par adhérence. Le clavetage peut être transversal ou longitudinal, selon la position de la clavette. La liaison "complète" ainsi obtenue n'est pas adaptée pour transmettre des efforts importants dans toutes les directions [21].

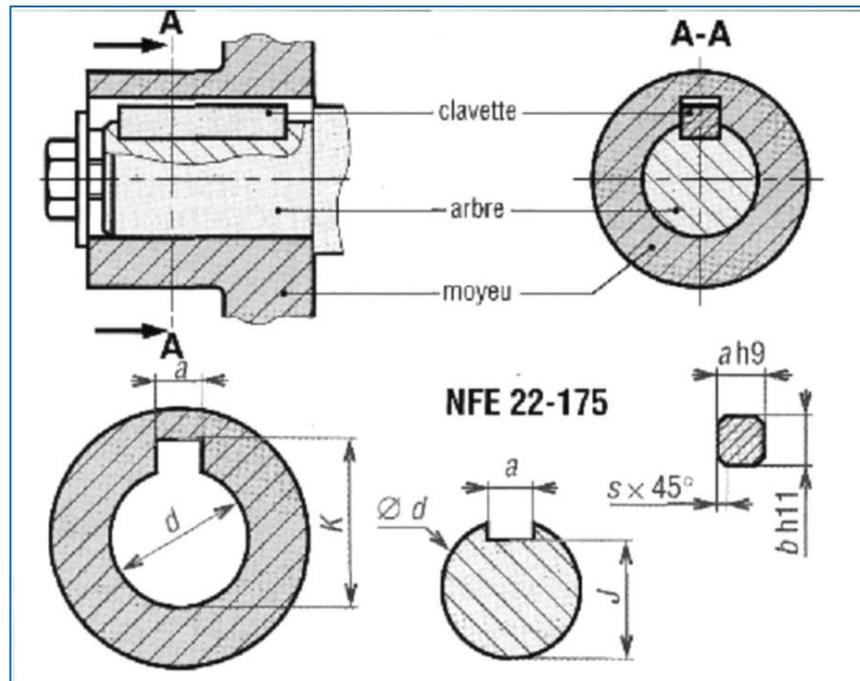


Figure I.7. Clavetage [22]

7.1. Types de clavettes

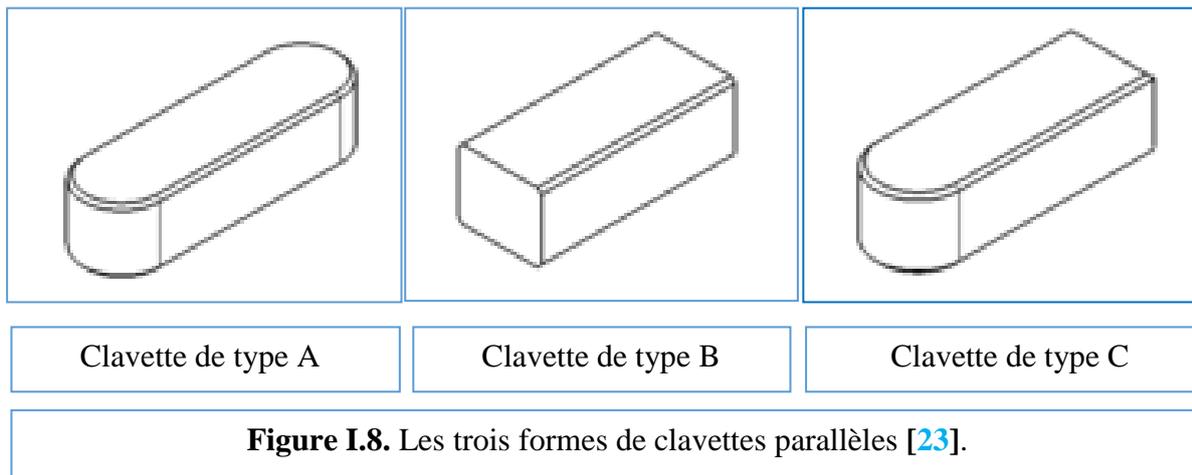
Il existe cinq grandes familles de clavettes :

- clavettes parallèles
- clavettes parallèles fixées par vis
- clavettes disques
- clavettes inclinées
- clavettes tangentielles ou tangibles

Le choix de la clavette dépend du type d'arbre de transmission et du mode d'assemblage envisagé (rainures présentes ou à creuser, caractéristiques de base des pièces à joindre) [23].

7.1.1. Clavettes parallèles

Elles sont utilisées lorsque le diamètre d de l'arbre de transmission est proche de la longueur L ou dimension de la clavette ($L < 1,5d$). Il existe trois formes de clavettes parallèles, désignées de façon standard A (pièces longues, arrondies aux deux extrémités), B (à bouts droits), C (un seul bout arrondi) [24].



7.1.2. Clavettes parallèles fixées par vis

Variantes des précédentes, ce sont des clavettes fabriquées pour une fixation à vis [25].

7.1.3. Clavettes disques

Elles sont employées dans les cas où la circonférence de l'arbre est très réduite. Elles peuvent être choisies si les extrémités du levier sont soumises à des forces relativement faibles. De forme souvent en lune ou demi-lune, elles restent façonnables et ajustables en dimension, ce qui n'est le cas des clavettes parallèles [25].

7.1.4. Clavettes inclinées

Une clavette inclinée est une pièce présentant une surface oblique de 1%. Elle peut être utilisée pour :

- Encastrer, avec un plan mesurable à ses extrémités.
- Enchâsser, avec un plan mesurable à ses extrémités.
- Talonner, avec un plan mesurable près du talon [25].

7.1.5. Clavettes tangibles

Il s'agit de deux clavettes obliques installées à l'intérieur de la tangente d'un arbre cylindrique, l'ensemble étant fixé et maintenu en place par une goupille de serrage [25].

7.2. Dimensionnement

Une clavette se dimensionne selon deux critères : le cisaillement et le matage

7.2.1. Contrainte de cisaillement

Pour qu'une clavette résiste en cisaillement, il faut que la contrainte T soit inférieure ou égale à R_{pg} , la résistance pratique au glissement [25].

- **Surface cisillée S_c**

$$S_c = a \times L \quad (I.1)$$

Avec :

a = largeur de la clavette en mm

L = longueur de la clavette en mm

- **Effort appliqué sur la clavette F**

$$F = \frac{C}{R} \quad (I.2)$$

Avec

C = couple de rotation de l'arbre en N mm

R = rayon de l'arbre en mm

- **Résistance pratique au glissement R_{pg}**

R_{pg} = résistance pratique élastique au glissement (ou cisaillement)

$$R_{pg} = \frac{R_g}{s} \quad (I.3)$$

Avec :

s = coefficient de sécurité (généralement égal à 2)

$R_g = 0,5 \text{ à } 0,8 R_e$ avec R_e = Résistance élastique à la traction

7.2.2. Pression de matage

Pour qu'une clavette résiste au matage, il faut que la pression de matage P_m soit inférieure ou égale à la pression admissible P_a [25].

$$P_m = \frac{F}{S_m} < P_a \quad (I.4)$$

- **Surface matée S_m**

$$S_m = \frac{b}{2 \times L} \quad (I.5)$$

Avec :

b = hauteur de la clavette en mm

L = longueur de la clavette en mm

- **Pression admissible P_a**

Clavetage glissant sous charge : 2 à 20 MPa

Clavetage glissant sans charge : 20 à 50 MPa

Clavetage fixe (cas le plus fréquent) : 40 à 150 MPa [25].

7.3. Matière première

La matière pour clavette métallique se fournit en barreaux. Ce peut être de l'acier normal, de l'inox, du titane, etc.

Le critère le plus contraignant sera retenu pour déterminer les dimensions de la clavette [25].

Conclusion

En conclusion, les différentes techniques d'assemblage mécanique offrent des solutions adaptées à divers besoins en matière de construction et de fabrication. Du soudage à l'arc au rivetage en passant par le boulonnage et le frettage et en fin le clavetage, chaque méthode présente des avantages et des limitations en termes de résistance, de démontabilité, de facilité de mise en œuvre et de coût. Le choix de la technique appropriée dépendra des exigences spécifiques de chaque application, notamment en termes de matériaux, de forces en jeu et de contraintes environnementales.

Chapitre II

Montage, conception et amélioration d'un ventilateur d'air

Introduction

Les ventilateurs sont des dispositifs de compression de gaz produisant des surpressions faibles à modérées. Par exemple, pour de l'air aux conditions ambiantes, la surpression fournie varie généralement de 1500 à 20000 Pa. Les machines centrifuges atteignent leur maximum avec des vitesses périphériques de roue ne dépassant pas 200 m/s. Les ventilateurs axiaux sont utilisés pour les faibles surpressions.

Ce chapitre se penche sur une problématique spécifique rencontrée dans la centrale thermique de Ras-Djinet concernant le remplacement des roulements de guidage de l'arbre du ventilateur d'air. Afin de pallier les difficultés liées à la solution actuelle, nous proposons une nouvelle conception de l'assemblage arbre-roue mobile. Ce chapitre détaille la conception et le dimensionnement des pièces modifiées, y compris l'arbre, la clavette, la bague de la roue mobile et leurs ajustements. Nous examinons également les caractéristiques mécaniques des pièces non modifiées, telles que l'accouplement, le manchon, la bague, la rondelle d'appui et la roue mobile, ainsi que leurs ajustements.

1. Contexte et objectif de cette étude

Les ventilateurs d'air jouent un rôle crucial dans les centrales thermiques en fournissant l'air nécessaire à la combustion. Leur bon fonctionnement est donc essentiel pour la production d'électricité. Cependant, le ventilateur étudié présente une conception qui rend le remplacement des roulements de guidage de l'arbre complexe et coûteux. Ce processus implique le démontage de l'ensemble arbre-roue mobile et son transport vers une unité de maintenance à M'sila, ce qui entraîne des pertes de production et des coûts importants.

Le but de ce chapitre est de proposer une nouvelle conception de l'assemblage arbre-roue mobile, intégrant un système de clavetage et une visserie pour la fixation, permettant un démontage plus facile et plus rapide. Cette modification permettra de réduire les temps d'arrêt de production et les coûts de maintenance.

2. Description technique et fonctionnement

Les ventilateurs à air de combustion (Figure II.1) ont pour rôle d'acheminer l'air de combustion nécessaire vers le générateur de vapeur. Ils aspirent l'air extérieur et l'acheminent aux brûleurs via des préchauffeurs et des réchauffeurs d'air. Chaque générateur de vapeur est équipé de deux ventilateurs, calculés pour garantir ensemble un débit d'air théorique correspondant à la puissance maximale possible de la chaudière, augmenté de 10% pour l'excès d'air et la marge de sécurité. Ces ventilateurs centrifuges à un seul étage sont équipés de moteurs asynchrones à vitesse constante, et chaque ventilateur est équipé d'un silencieux [27].

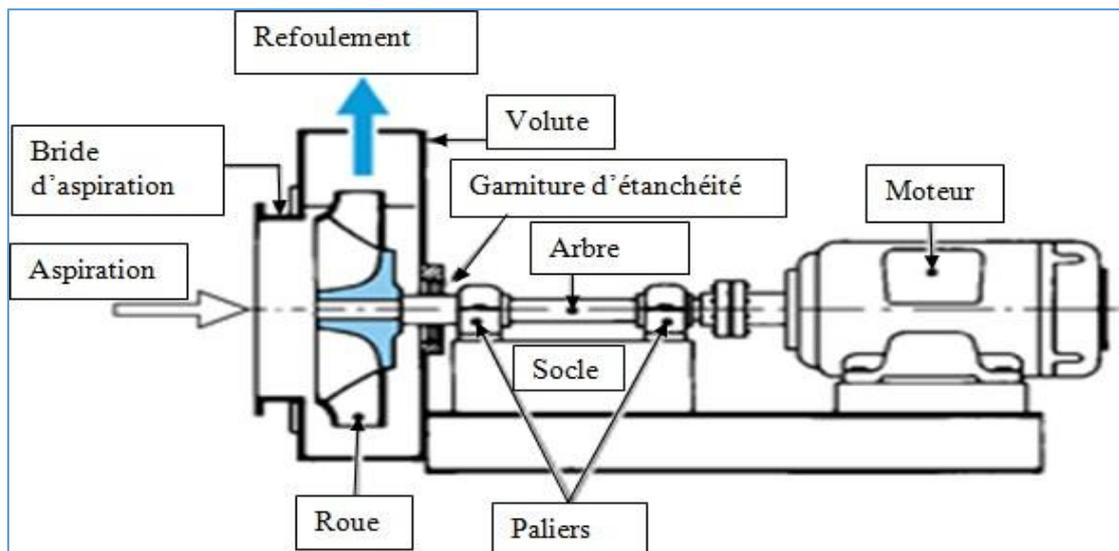


Figure II.1 : Schéma d'un ventilateur [26]

Les caractéristiques mécaniques de ventilateur d'air sont regroupées sur le tableau suivant :

Tableau II.1 : Caractéristiques mécaniques de ventilateur

Propriété	Valeur
Vitesse	985 tr/mn
Température à l'entrée	30 °C
Débit	77.92 m ³ /s
Surpression statique	97.02 mbars
Pression statique à l'entrée	1007.62 mbars
Différence de pression dynamique	2.62 mbars
Densité (entrée)	1.158 kg /m ³
Puissance nécessaire	906 kW
Surpression totale	99.64 mbars

2.1. Volute du ventilateur

La volute du ventilateur en tôle d'acier sera conçue selon une base logarithmique. La paroi circonférentielle sera munie d'une ouverture de visite. La volute sera divisée en deux parties de manière à ce que le retrait de sa partie supérieure permette un démontage et un remontage faciles de la roue mobile et de l'arbre. L'étanchéité de l'arbre rotatif sera assurée par une garniture plate également divisée [26].

2.2. Cône d'aspiration

À travers le cône d'aspiration, le fluide est dirigé vers la roue mobile. Ce cône sera vissé en une seule pièce dans la volute du ventilateur. Sa position sera centrée à l'aide de goupilles coniques de manière à assurer un alignement constant par rapport à la roue mobile. L'étanchéité autour de la roue mobile en rotation sera assurée par des tôles en ruban ayant une forme appropriée du point de vue de la mécanique des fluides [26].

2.3. Paliers de l'arbre

L'arbre sera supporté par deux paliers droits distincts FAG SN 328 R, d'une part dans un roulement à rouleaux articulé FAG 22328 ES.TVPB, exécuté sous forme de palier fixe du côté de la roue mobile, et d'autre part dans un roulement à rouleaux articulé FAG 22328 ES.TVPB, exécuté sous forme de palier de libre mouvement du côté de l'accouplement. Les roulements seront graissés à l'aide d'un disque régulateur de la quantité de graisse. Ce disque vise à éviter un excès de graissage du roulement qui pourrait entraîner une surchauffe inacceptable. Le disque régulateur acheminera la graisse dans l'espace du logement qui présentera une fonte d'écoulement pour permettre à la graisse excédentaire de sortir. La température des roulements sera surveillée à l'aide de thermomètres à contact, déclenchant une alarme ou provoquant l'arrêt automatique du ventilateur en cas de dépassement d'une température limite. Les thermomètres seront équipés de deux points de commutation séparés à réglage continu, avec des contacts inverseurs supportant un courant de commutation maximal de 1 A pour 24 V en courant continu. De plus, une surveillance des vibrations verticales et horizontales est prévue du côté de la roue mobile sur la partie fixe [26].

2.4. Arbre

L'arbre en acier de haute qualité sera conçu pour tourner dans une zone de vitesse sous-critique.

Des tôles de protection seront utilisées pour prévenir tout risque de blessures liées à la rotation de l'arbre et à l'accouplement [26].



Figure II.2 : Arbre du ventilateur d'air [26].

2.5. Roue mobile

La roue mobile, en acier de haute qualité, sera montée sur un siège cylindrique sur l'arbre à l'aide d'un joint à huile à ajustement serré. Ce joint, conçu pour quinze fois le couple nominal, permettra un montage sécurisé. La roue mobile sera équilibrée de manière statique et dynamique [26].



Figure II.3 : La roue mobile du ventilateur [26]

2.6. Régulateur de la turbulence

Le régulateur de la turbulence, situé juste avant l'entrée de la roue mobile, est fixé sur le cône de la volute. Il est composé d'un certain nombre d'aubes dont l'orientation est assurée par une bague à laquelle elles sont articulées. Ce dispositif permet d'ajuster le ventilateur aux besoins du service dans les limites de la puissance de la chaudière. Il maintient un rendement élevé du ventilateur avec peu de pertes ou de modifications de vitesse [26].



Figure II.4 : Régulateur de la turbulence [26]

2.7. Support de palier

Le support de palier est formé d'un ensemble mécano-soudé de profilés en acier, ancré par vissage à une fondation en béton. Il est également relié à la volute par des cornières soudées sur celle-ci. Les paliers droits seront montés sur ce support de palier [26].

2.8. Accouplement

En mécanique, un accouplement de transmission est un dispositif de liaison entre deux arbres en rotation, permettant la transmission du couple. Il peut permettre un certain désalignement (comme un accouplement élastique ou un joint de cardan), autoriser des décalages angulaires (comme un accouplement hydraulique) et peut être temporairement inactif (comme un embrayage ou un crabotage). Les accouplements mécaniques peuvent être de différents types, tels que les accouplements élastiques, les accouplements à membranes, les accouplements à denture métallique ou les accouplements à soufflet [26].



Figure II.5 : Accouplement [26].

2.9. Coulisse de silencieux

Les coulisses sont installées dans la gaine d'aspiration des ventilateurs. Pour faciliter le transport et le montage, chaque coulisse est divisée en quatre parties et est équipée de tôles de guidage de l'air. Elles sont entièrement constituées de tôle d'acier galvanisé à chaud et sont remplies de laine minérale non inflammable, recouverte de tôle perforée [26].

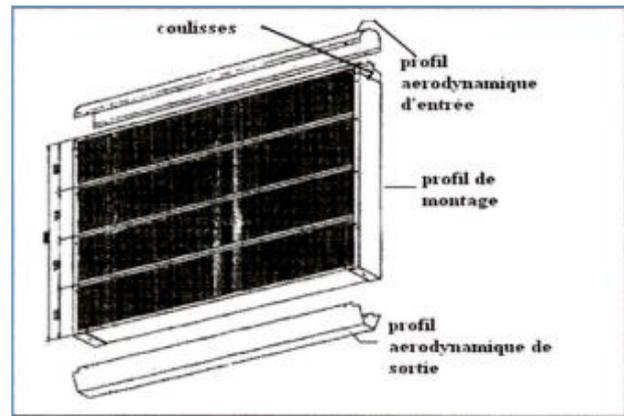


Figure II.6 : Coulisse de silencieux [26].

2.10. Moteur

Le moteur utilisé pour animer l'ensemble ventilateur d'air est un moteur asynchrone caractérisé par :

- Puissance nominale : 1200 kW
- Courant nominal : 139 A
- Tension nominale : 6.3 kV



Figure II.7 : Moteur électrique de ventilateur [26].

3. Instructions de montage-démontage et maintenance

3.1. Généralité

Tout montage et démontage doit être effectué avec les outils appropriés, et parfois avec des dispositifs de montage ou d'arrachage. Lors de la maintenance du soufflage, un soin particulier doit être apporté aux paliers. Si le remplacement des paliers est nécessaire, l'ensemble complet des paliers doit être renouvelé.

3.2. Montage des paliers à roulement

3.2.1. Préparations à mise en place

Un poste de travail sec et exempt de poussière est la première condition pour effectuer les opérations de montage. Toutes les pièces, à l'exception des roulements, doivent être nettoyées avant d'être mises en place. Il est essentiel de vérifier la forme et le respect des cotes des diamètres intérieurs des paliers et des douilles. Le contrôle de la surface des endroits de l'arbre où reposent les paliers est également crucial. Les roulements doivent être déballés juste avant leur montage et, en cas d'interruption du montage, il est nécessaire de protéger les pièces contre l'encrassement.

Le jeu radial des roulements à rouleaux articulés doit être contrôlé à l'aide d'une jauge d'épaisseur. Les lames de la jauge doivent être suffisamment longues pour pouvoir être insérées entre les deux rangées de rouleaux et le chemin de roulement de la bague extérieure, tout en réduisant au maximum les tolérances entre le logement et la bague extérieure. Les roulements ayant le plus grand diamètre de bague extérieure doivent être montés dans les logements présentant les tolérances les plus élevées. En présence de plusieurs logements de roulement, il faut choisir ceux ayant le plus grand diamètre intérieur et les monter du côté de la roue mobile.

3.2.2. Montage du roulement sur l'arbre

Huiler légèrement toutes les surfaces de contact et faire coulisser le disque régulateur de quantité de graissage jusqu'au collier de l'arbre. Déballer le roulement à rouleaux articulés et mesurer le jeu radial des roulements. Chauffer les roulements dans un bain d'huile à environ 80-100°C (ne jamais dépasser 120°C car la stabilité dimensionnelle des roulements peut être altérée). Enfiler les roulements sur l'arbre en utilisant des gants en amiante et serrer les roulements axialement contre le disque régulateur de graissage. Une fois refroidi, remplir entièrement le roulement de graisse.

3.2.3. Montage des logements des roulements

Le montage des logements des paliers commence par la mise en place de bandes de feutre découpées aux longueurs voulues dans les logements inférieurs. Ces bandes de feutre sont immergées dans l'huile chaude pendant quelques minutes, puis l'arbre associé au roulement est mis en place dans les logements inférieurs qui sont ensuite entièrement remplis de graisse. Pour les parties supérieures des paliers, les bandes de feutre sont positionnées avant de mettre en place les couvercles des paliers.

Après avoir légèrement vissé les couvercles des paliers aux logements inférieurs, les deux paliers de roulement assemblés sont finalement fixés sur leur support par visserie. Le démontage des roulements se fait dans l'ordre inverse du montage en utilisant l'outillage approprié.

3.2.4. Graissage des roulements

Pour le graissage des paliers à roulement utilisés pour les ventilateurs, il est recommandé d'utiliser une graisse au savon de lithium ayant un coefficient de pénétration de trois et un domaine d'utilisation de -20 à +140 °C.

Le premier remplissage en graisse du corps en acier doit s'élever à 1,5 kg. Lors du graissage en marche, en raison de la commutation de graisse se produisant au point d'appui, la température monte de 20 à 400 °C au-dessus de l'équilibre thermique normal. Il est essentiel de tenir compte de cela, surtout si la température d'équilibre thermique est de 80 à 90 °C. Dans ces cas, il est nécessaire d'utiliser une graisse dont le pouvoir lubrifiant reste inchangé même aux températures de pointe pendant les graissages d'entretien.

Après l'élimination de la quantité de graisse excédentaire du logement par le disque régulateur, la température revient à son niveau d'équilibre thermique.

3.2.5. Montage des thermomètres à contact

Par l'intermédiaire d'une pièce intercalaire, le palpeur de température est vissé dans le couvercle du logement de manière à ce qu'il touche la bague extérieure du roulement à rouleaux articulés. Les thermomètres seront équipés d'une ligne à distance afin que les appareils indicateurs puissent être vissés à un endroit approprié sur la fondation en béton, permettant ainsi une lecture directe de la température.

3.2.6. Montage des capteurs de vibrations

Les tôles de raccordement pour les capteurs de vibrations doivent être montées sur le roulement côté roue mobile. Ensuite, les capteurs doivent être vissés. La caisse de raccordement pour les capteurs doit être installée sur la fondation en béton à un endroit approprié.

3.3. Montage de la roue mobile

La roue mobile est installée sur l'arbre à l'aide d'un montage hydraulique. Avant son installation sur l'extrémité de l'arbre, les deux surfaces d'appui doivent être nettoyées et huilées. Le trou de passage de l'huile lubrifiante dans l'arbre doit être purgé par soufflage. Ensuite, la roue mobile est glissée sur l'extrémité de l'arbre jusqu'à ce qu'elle atteigne les surfaces prévues. Un outil de montage est utilisé pour serrer la roue à l'aide de l'écrou de calage. La pompe haute pression est alors utilisée pour amener l'huile sous pression entre les surfaces de contact, en utilisant une huile machine de viscosité moyenne. Il est possible de remplir à nouveau le réservoir à huile car la pompe est équipée d'une soupape de retenue. Cette pression supérieure à la pression superficielle dans le joint d'ajustement crée un film d'huile dans le joint, supprimant ainsi le contact direct entre les pièces. La pression exercée sur les bords du joint est maintenue plus élevée que la pression au milieu des surfaces de contact. La pression atteindra 3000 bars, et une fois cette pression établie, la roue mobile peut être glissée sur l'arbre à l'aide de l'écrou de calage. Après l'installation de la roue, la pression doit être réduite à l'aide de la vis d'évacuation d'air sur la pompe à huile. Il est important de laisser la pression axiale s'exercer pendant un certain temps pour que le film d'huile soit complètement éliminé (30 minutes). Cela permet de rétablir complètement le contact à friction sec dans le joint d'ajustement. Après le montage, la roue mobile doit être immobilisée à l'aide d'une rondelle. Pour démonter la roue, il suffit de suivre les étapes dans l'ordre inverse.

3.4. Montage de cône d'aspiration

Le cône d'aspiration est vissé avec la volute. Lors du démontage l'arbre – roue mobile, les tôles d'étanchéité doivent être démontées en de l'ensemble première lieu.

3.5. Montage du régulateur de turbulence

Le régulateur de turbulence est fixé sur le cône d'aspiration. Le levier nécessaire à l'orientation des aubes du cône d'aspiration doit être soudé à un endroit approprié sur la bague de réglage de l'orientation. Les conduites de graissage doivent être disposées en fonction de l'espace disponible. Après le montage, il est important de marquer les rotations des axes des aubes de régulation de turbulence par rapport aux leviers articulés (entaille ou repère sur le rotor) afin de déceler chaque changement involontaire de l'orientation des aubes pendant le fonctionnement du ventilateur d'air.

3.6. Graissage du régulateur de la turbulence

Les paliers des aubes du régulateur de la turbulence doivent être graissés une fois par mois avec de la graisse Molykote BB2, en utilisant environ 10 grammes de graisse par palier d'aubes. Les paliers intérieurs des aubes sont graissés à vie et ne nécessitent donc pas d'entretien. Les rouleaux d'appui radiaux de la bague de réglage de l'orientation doivent être lubrifiés une fois par an, lors d'une révision, avec de la graisse à savon de lithium. Les rouleaux d'appui axiaux sont graissés à vie.

4. Problématique du Montage-Démontage et de la Maintenance

Le stage réalisé au sein de la centrale thermique de Ras-Djinet s'articule autour de l'étude d'une modification d'un ventilateur d'air. La problématique principale réside dans les difficultés rencontrées par le service de maintenance lors du remplacement des roulements de guidage de l'arbre du ventilateur. La solution technologique actuelle, basée sur un emmanchement forcé entre l'arbre et la roue mobile, rend le démontage complexe et nécessite un transport coûteux et chronophage vers l'unité de maintenance de M'sila. Ce processus engendre des pertes de production considérables, pouvant atteindre une vingtaine de jours par tranche de production d'électricité.

5. Nouvelle Conception : Un montage démontable et facile

Pour résoudre la problématique du montage-démontage, nous proposons une nouvelle conception basée sur un montage démontable et facile. Cette conception intègre les modifications suivantes :

1. **Clavetage** : L'utilisation d'une clavette parallèle permet la transmission du mouvement de rotation entre l'arbre et la roue mobile tout en autorisant le démontage.
2. **Épaulement et visserie** : Un épaulement est ajouté à l'arbre pour éviter le mouvement de translation de la roue mobile, et des vis de fixation assurent une connexion solide et facilement démontable.

6. Conception et dimensionnement des pièces modifiées

6.1. Arbre

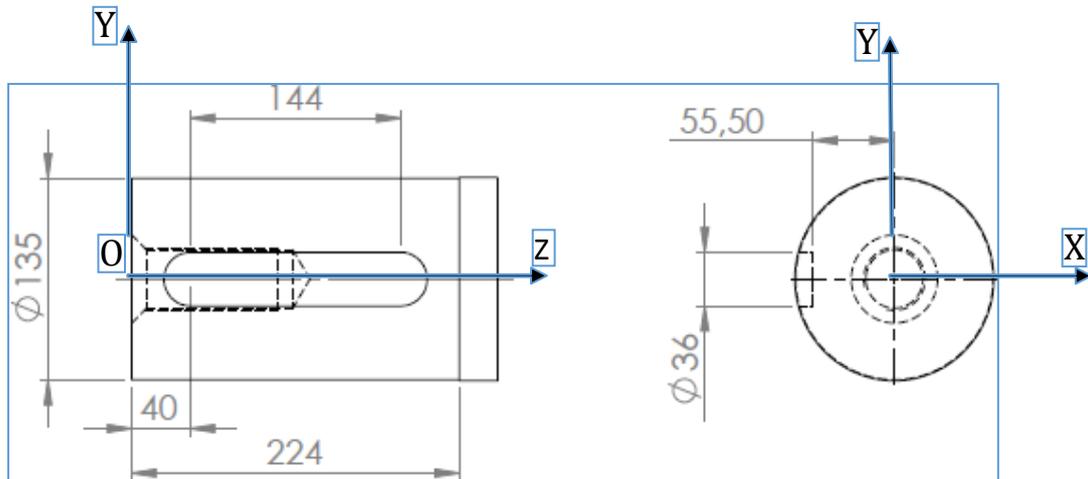


Figure II.8 : Vues de la partie modifiée de l'arbre.

- Matériaux : St50-2 (DIN) équivalant à E295 (NF) caractérisé par :

Tableau II.2 : Caractéristiques mécaniques de l'arbre

Masse volumique	7800 kg/m ³
Coefficient de Poisson	0.28
Limite de traction	470 N/mm ²
Module d'élasticité	210000 N/mm ²
Module de cisaillement	79000 N/mm ²

- Les caractéristiques physiques de l'arbre sont regroupées sur le tableau suivant :

Tableau II.3 : Caractéristiques physiques de l'arbre

Superficie	695760.60 mm ²
Masse	174.6814 Kg
Volume	22395052.05 mm ³

- Les coordonnées du centre de gravité de l'arbre sont :

$$X_G = 0 \text{ mm} \quad Y_G = -0.37 \text{ mm} \quad Z_G = 700.12 \text{ mm}$$

Selon l'application envisagée pour l'arbre en question, certains types de dimensionnement seront prépondérants. Par exemple, pour un arbre de réducteur de forte capacité, la résistance sera le principal critère de calcul, tandis que pour un arbre de turbine de turbocompresseur tournant à haute vitesse, la première vérification se fera à partir de sa vitesse critique.

6.2. Clavette

Les clavettes parallèles, de forme généralement parallélépipédique, sont insérées dans des rainures parallèles, ce qui les rend similaires aux clavettes longitudinales. Comme les fonds

des rainures dans l'arbre et le moyeu sont parallèles, les clavettes longitudinales libres ne suppriment que le mouvement de rotation entre les deux pièces concernées.

Les clavettes parallèles, principalement soumises à un cisaillement, peuvent résister à des charges assez élevées en raison de leur section de cisaillement généreuse.

La clavette est ajustée en fonction de sa largeur dans les deux rainures. Les ajustements utilisés, qui ne sont pas encore normalisés, semblent être de l'ordre de H-h avec l'arbre et G-h avec le moyeu (système de l'arbre normal) en cas de translation relative. Ces ajustements sont plus serrés lorsque aucune translation n'est possible entre les pièces concernées.

Les différents types de clavettes libres sont :

- Clavette à bout droit forme A
- Clavette à bout rond forme B
- Clavette fixé par vis
- Clavette disque

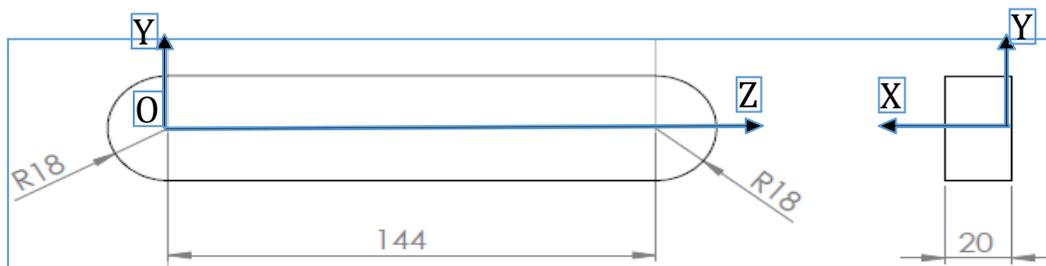


Figure II.9 : Vues de la clavette.

- Matériaux : S235JR caractériser par :

Tableau II.4 : Caractéristiques mécaniques de la clavette

Module de cisaillement	79000 N/mm ²
Limite de traction	360 N/mm ²
Module d'élasticité	210000 N/mm ²
Coefficient de Poisson	0.28

- Les caractéristiques physiques de la clavette sont : Masse = 968.52 g
- Les coordonnées du centre de gravite de la clavette sont :
 $X_G = 10 \text{ mm}$ $Y_G = 0 \text{ mm}$ $Z_G = 72 \text{ mm}$

6.3. Bague de la roue mobile

- Matériaux : St44-2 (DIN) équivalent à S275JR (NF) caractérisé par :
- Les caractéristiques physiques de la bague de la roue mobile sont : Masse = 86672.28 g
- Les coordonnées du centre de gravite de la bague de la roue mobile sont :
 $X_G = 0 \text{ mm}$ $Y_G = -0.34 \text{ mm}$ $Z_G = 113.15 \text{ mm}$

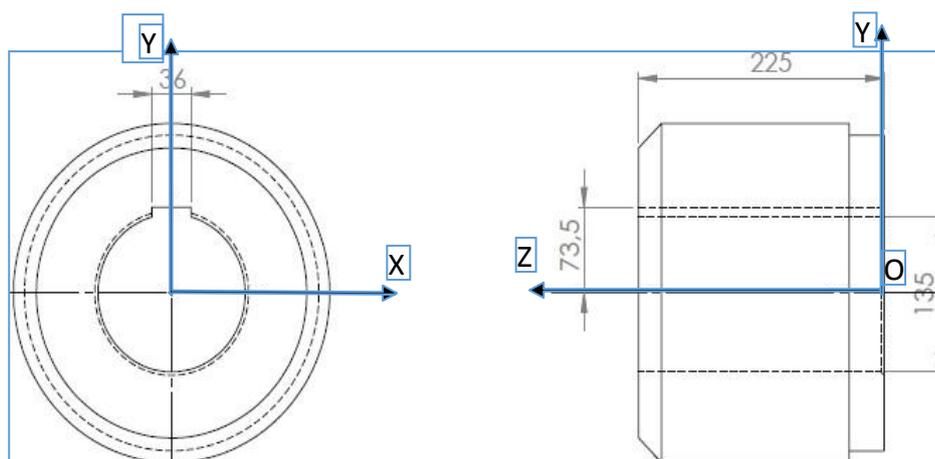


Figure II.10 : Vues de la bague de la roue mobile.

Tableau II.5 : Caractéristiques mécaniques de la roue mobile

Propriété	Valeur
Limite de traction	410 N/mm ²
Limite d'élasticité	275 N/mm ²
Module d'élasticité	210000N/mm ²
Coefficient de Poisson	0.28

7. Choix des ajustements des pièces modifiées

Le choix d'un ajustement entre deux pièces mécaniques dépend principalement de la nature de la liaison entre ces pièces et des solutions technologiques retenues pour réaliser cette liaison. Dans ce qui suit, nous allons décrire les ajustements sélectionnés pour les principales pièces de notre étude, en précisant les critères qui ont motivé ces choix.

7.1. Ajustement arbre - roue mobile

La liaison entre l'arbre et la bague de la roue mobile est de type pivot-glissant à guidage précis, ce qui requiert un ajustement avec un jeu faible, selon [28] l'ajustement recommandé est le **H7h6**.

7.2. Ajustement arbre – clavette

Pour transmettre un mouvement de rotation par clavetage parallèle, il est recommandé de fixer la clavette sur l'arbre de manière serrée et de la laisser juste glisser dans le moyeu [28]. Ainsi, en raison d'un couple moteur assez élevé, nous avons choisi l'ajustement **H7m6** pour les largeurs de la clavette et de son logement dans l'arbre.

7.3. Ajustement clavette – bague

Puisqu'il est recommandé de monter la clavette dans sa rainure de la roue mobile de manière juste glissante, nous avons opté pour l'ajustement **D10m6**.

8. Caractéristique mécanique des pièces non modifiées

Les caractéristiques mécaniques des pièces non modifiées du ventilateur d'air sont fournies dans le document, y compris l'accouplement, le manchon, la bague, la rondelle d'appui et la roue mobile. Leurs ajustements sont également mentionnés, assurant une compatibilité avec les pièces modifiées.

8.1. Accouplement

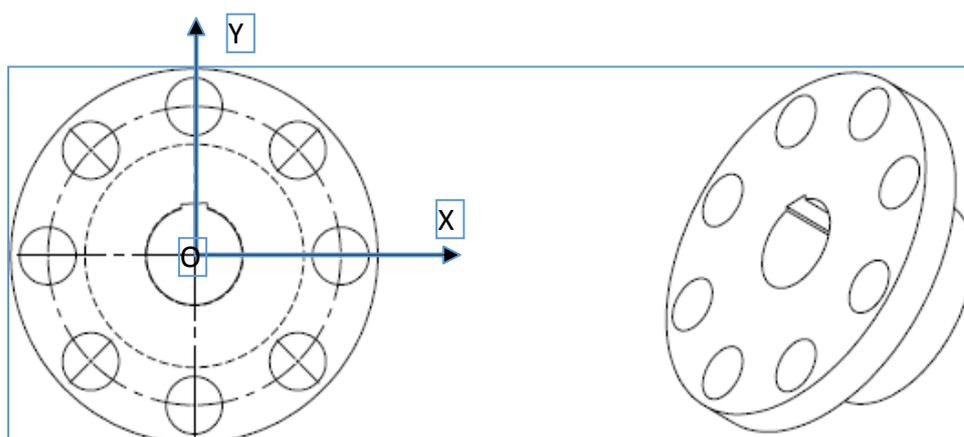


Figure II.11 : Vues de l'accouplement.

- Matériaux : St50-2 (DIN) équivalant à E295 (NF) caractérisé par :

Tableau II.6 : Caractéristiques mécaniques de l'accouplement

Propriété	Valeur
Coefficient de Poisson	0.28
Limite de traction	470 N/mm ²
Limite d'élasticité	275 N/mm ²
Module d'élasticité	210000 N/mm ²
Module de cisaillement	79000 N/mm ²

- Les caractéristiques physiques de l'accouplement sont : Masse = 140052.53 g
- Les coordonnées du centre de gravité de l'accouplement sont :

$$X_G = 0 \text{ mm} \quad Y_G = -0.14 \text{ mm} \quad Z_G = 122.62 \text{ mm}$$

8.2. Manchon

Les manchons permettent de monter les roulements à alésage serré sur des arbres cylindriques. On distingue principalement deux types de manchons :

- Les manchons de serrage, générant le serrage par enfoncement du roulement sur le manchon
- Les manchons de démontage, générant le serrage par enfoncement du manchon dans l'alésage du roulement.

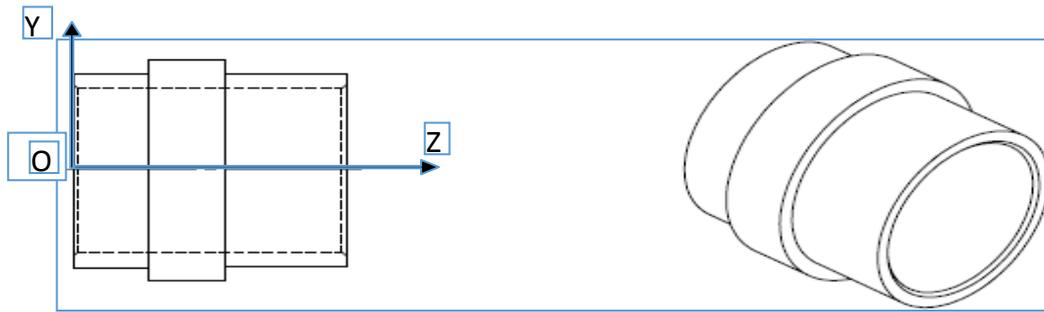


Figure II.12: Vues du manchon.

- Matériaux : St37-2 (DIN) équivalant à S275J (NF) caractérisé par :
Tableau II.7 : Caractéristiques mécaniques du manchon

Propriété	Valeur
Limite d'élasticité	235 N/mm ²
Module de cisaillement	79000 N/mm ²
Limite de traction	360 N/mm ²
Module d'élasticité	210000 N/mm ²
Coefficient de Poisson	0.28

- Les caractéristiques physiques du manchon sont : Masse = 10433.82 g
- Les coordonnées du centre de gravité du manchon sont :

$$X_G = 0 \text{ mm} \quad Y_G = 0 \text{ mm} \quad Z_G = 86.39 \text{ mm}$$

8.3. Bague

- Matériaux : St44-2 (DIN) équivalant à S275JR (NF) caractérisé par :
- Les caractéristiques physiques de la bague sont : Masse = 3147.29 g
- Les coordonnées du centre de gravité de la bague sont :

$$X_G = 0 \text{ mm} \quad Y_G = 0 \text{ mm} \quad Z_G = 35.48 \text{ mm}$$

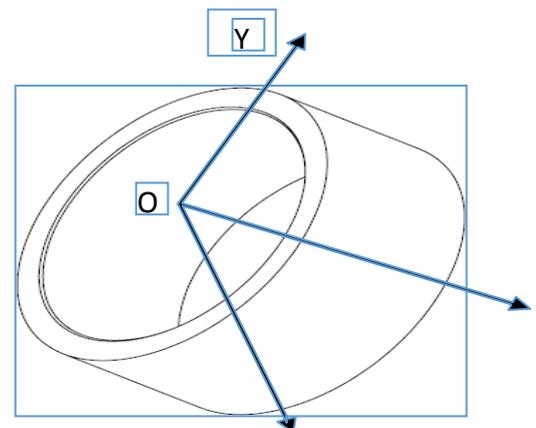


Figure II.13 : Bague

Tableau II.8 : Caractéristiques mécaniques de la bague

Propriété	Valeur
Limite de traction	360 N/mm ²
Limite d'élasticité	235 N/mm ²
Coefficient de Poisson	0.28
Module d'élasticité	210000 N/mm ²
Module de cisaillement	79000 N/mm ²

8.4. Rondelle d'appui

Une rondelle est un disque mince doté d'un trou, généralement situé au centre, et elle est employée pour répartir la pression exercée par une vis.

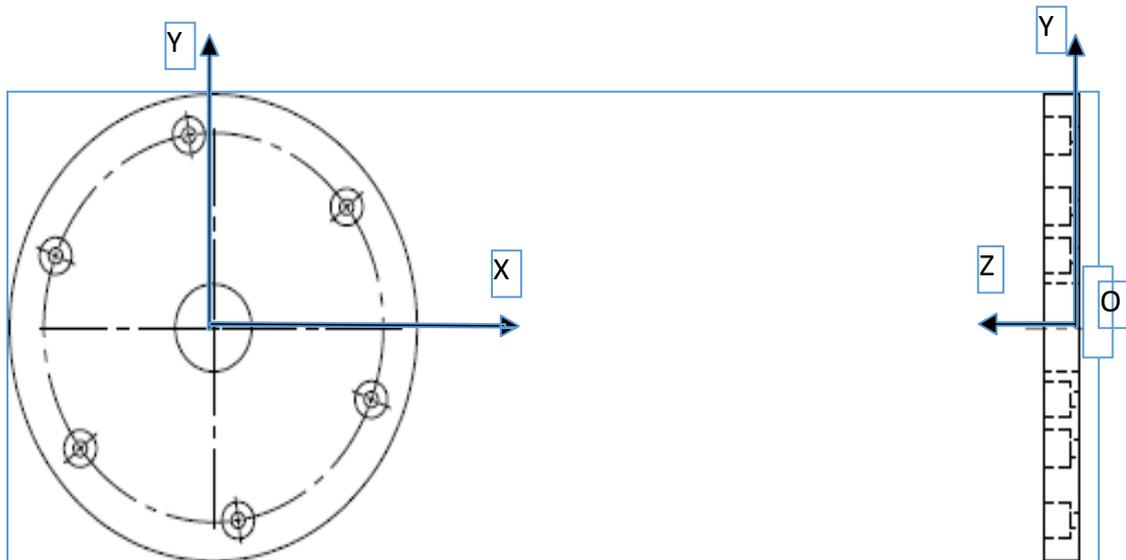


Figure II.14 : Rondelle d'appui.

Tableau II.9 : Caractéristiques mécaniques de la rondelle d'appui

Propriété	Valeur
Limite d'élasticité	235 N/mm ²
Module de cisaillement	79000 N/mm ²
Limite de traction	360 N/mm ²
Coefficient de Poisson	0.28
Module d'élasticité	210000 N/mm ²

- Les caractéristiques physiques de la rondelle d'appui sont : Masse = 7139.19 g
- Les coordonnées du centre de gravité de la rondelle d'appui sont :
 $X_G = 0 \text{ mm}$ $Y_G = -0.15 \text{ mm}$ $Z_G = 10.50 \text{ mm}$

8.5. Roue mobile

- Les caractéristiques physiques de la roue mobile sont : Masse = 1232473.18 g
- Les coordonnées du centre de gravité de la roue mobile sont :

$$X_G = -266.82 \text{ mm}$$

$$Y_G = 151.39 \text{ mm}$$

$$Z_G = 2640 \text{ mm}$$

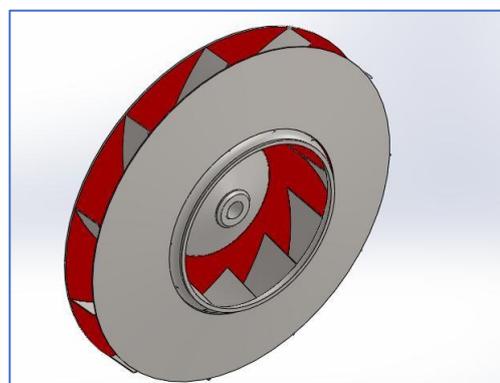


Figure II.15 : Roue mobile

9. Assemblage de toutes les pièces de ventilateur d'air

Pour modéliser les chargements, calculer les réactions au niveau des paliers et déterminer le centre de gravité, toutes les pièces du mécanisme ont été assemblées.

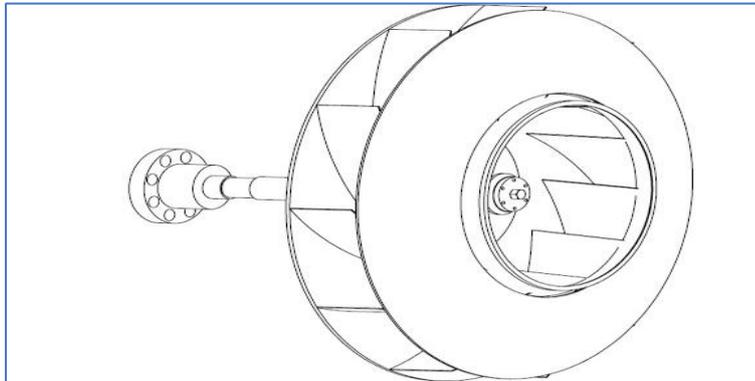


Figure II.16 : Vue de l'ensemble de ventilateur d'air

- Les caractéristiques physiques de l'ensemble de ventilateur d'air sont : Masse = 1572526 g
- Les coordonnées du centre de gravité de l'ensemble de ventilateur d'air sont :
 $XG = 400.43 \text{ mm}$ $YG = 75.92 \text{ mm}$ $ZG = 3173.48 \text{ mm}$

10. Ajustements des pièces non modifiées

Pour les pièces non modifiées, telles que le manchon, les roulements, la bague et l'accouplement, elles sont montées sur l'arbre selon les ajustements précédemment définis lors de la conception antérieure. Les ajustements sont les suivants :

- Ajustement arbre - manchon : **H7k6**
- Ajustement arbre - roulements : **H7m6**
- Ajustement arbre - bague : **H7k6**
- Ajustement arbre - accouplement : **H7k6**.

11. Choix de l'état de surface

La rugosité (l'état) d'une surface affecte sensiblement l'aptitude d'une pièce à effectuer sa fonction [28]. De même, la valeur de la rugosité moyenne arithmétique est conditionnée par le rôle de la surface. A titre d'exemple, les surfaces de contact entre deux pièces, relativement mobiles, doivent être usinées et leurs rugosités doivent être entre 0.02 et 0.8. Alors que, si aucun mouvement relatif n'est possible entre les surfaces des pièces, les rugosités de ces dernières sont à choisir entre 0.8 et 3.2 [28].

A partir de ces recommandations, les rugosités des surfaces de contact entre les trois pièces de notre étude (arbre, clavette et bague de la roue mobile) sont choisies comme suit :

- Assemblage arbre - bague : **Ra = 0.4**.
- Assemblage arbre - clavette : **Ra = 1.6**.

- Assemblage bague - clavette : **Ra = 0.4.**

12. Couple moteur

Un arbre de 135 mm de diamètre, tournant à 994 tr/min, transmet une puissance de 1200 kW à la roue mobile via une clavette parallèle de forme B de longueur L. L'ajustement entre la clavette et la rainure de la bague de la roue est glissant, sans précontrainte après le montage. En revanche, l'ajustement entre la clavette et sa rainure dans l'arbre est serré (36H7m6), créant un précontraint post-montage. Les conditions de fonctionnement étant optimales, aucune variation des efforts n'est à prendre en compte. La clavette est parfaitement parallèle à l'axe de rotation, et la pression est uniformément répartie sur son flanc latéral. Les dimensions transversales de la clavette sont normalisées en fonction du diamètre de l'arbre, avec $a = 36$ mm et $b = 20$ mm pour un diamètre d'arbre de 135 mm.

- *Calcul de couple moteur (C_m)*

Sachant que la puissance à transmettre est liée au couple moteur à la vitesse de rotation nous aurons :

$$P = C_m \times \omega \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N}{60} \quad (\text{II.2})$$

Où :

- P : puissance de moteur (w)
- C_m : couple moteur (N.m)
- ω : vitesse angulaire (rd/s)

Donc :

$$C_m = \frac{60 \times P}{2 \times \pi \times N} \quad (\text{II.3})$$

Par application numérique :

$$C_m = \frac{1200 \times 1000 \times 60}{994 \times 2 \times 3,14} = 11534,173 \text{ N.m}$$

Conclusion

Ce chapitre a présenté une nouvelle conception pour l'assemblage arbre-roue mobile du ventilateur d'air, visant à simplifier les opérations de maintenance et d'accroître l'efficacité de la centrale thermique de Ras-Djinet. Cette nouvelle conception, basée sur un système de clavetage et une visserie, permet un démontage et un remontage plus rapides et moins coûteux.

Le prochain chapitre se concentrera sur la simulation du comportement du ventilateur d'air modifié afin de valider la performance de la nouvelle conception et d'évaluer son impact sur l'efficacité globale de la centrale.

Chapitre 3

Modélisation et simulation du nouveau système de ventilateur d'air

Introduction

L'étude et la simulation du système de ventilateur d'air constituent une étape cruciale dans le processus de développement de ce type d'équipement. Cette étude, qui s'appuie sur des connaissances en mécanique, physique et thermique, vise à garantir la stabilité et la sécurité du système lors de son utilisation dans la centrale thermique de Ras-Djinet.

Ce chapitre se concentrera sur l'analyse numérique du système, réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks Simulation. Nous présenterons tout d'abord les concepts de la simulation numérique, le logiciel SolidWorks Simulation et ses fonctionnalités, ainsi que les raisons de son utilisation dans notre étude.

Ensuite, nous détaillerons les étapes de l'analyse statique d'un modèle réel, en illustrant le processus de simulation du ventilateur d'air. Enfin, nous analyserons et discuterons des résultats obtenus, en mettant l'accent sur les contraintes, les déformations et les coefficients de sécurité des éléments clés du système, tels que la clavette, l'arbre et la roue mobile.

1. La Simulation numérique : un outil essentiel pour la validation des conceptions

La simulation numérique, est une série de calculs effectués sur un ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle aboutit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'il s'était réellement déroulé. Cette représentation peut être une série de données, une image ou même un film vidéo. Une simulation numérique peut représenter des phénomènes physiques complexes dont la description repose sur un modèle mathématique comportant des équations aux dérivées partielles. L'ordinateur résout alors ces équations numériquement en utilisant la méthode des éléments finis. C'est le cas, par exemple, pour la modélisation, appuyée sur la mécanique des fluides, de l'écoulement de l'air ou de l'eau autour d'un avion ou d'un navire [29].

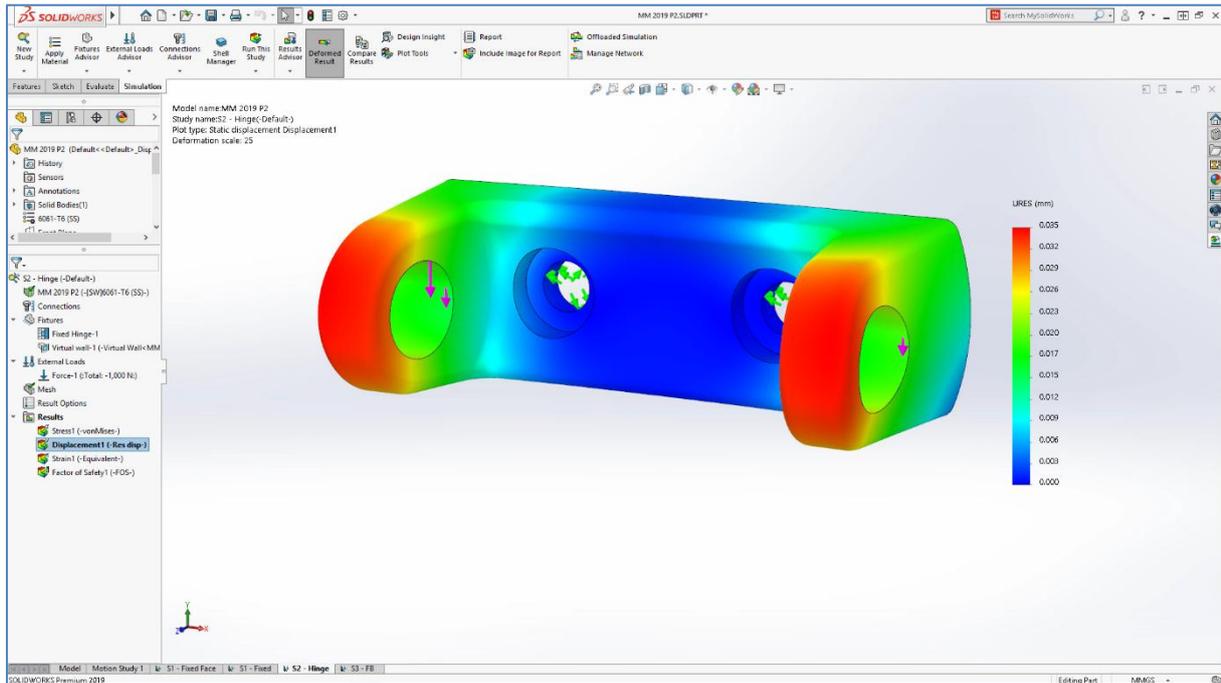


Figure III. 1 : Exemple d'une simulation numérique

1.1. Définition de la simulation numérique

Simulation est une solution d'analyse structurelle intégrale qui permet aux concepteurs et aux analystes de faciliter la commercialisation de produits plus rapidement et à moindre coût, tout en maintenant la qualité et les performances [29].

1.2. SolidWorks Simulation : Un Logiciel de Simulation Complet et Intuitif

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) 3D paramétrique développé par Dassault Systèmes. SolidWorks permet aux concepteurs et analystes de créer des modèles 3D de pièces, d'assemblages et de plans de fabrication. Le logiciel utilise une approche paramétrique, ce qui signifie que les dimensions et relations géométriques définissent la forme du modèle [30].

1.3. Gamme SolidWorks simulation

- a. **SolidWorks Simulation Standard** : SolidWorks® Simulation Standard fournit aux concepteurs de produits un environnement de test virtuel intuitif pour la simulation statique linéaire, la simulation de mouvement temporelle et la simulation de fatigue méga cyclique. Concepteurs et ingénieurs peuvent résoudre les problèmes d'ingénierie structurelle courants à l'aide de l'étude statique qui prend en compte une formulation statique linéaire des matériaux et considère que l'ensemble des chargements et déplacements imposés sont statiques (sans variation dans le temps). Avec ces paramètres, les utilisateurs peuvent calculer les contraintes, les déformations, le coefficient de sécurité et les déplacements des composants.

- b. SolidWorks Simulation Professional :** SolidWorks® Simulation Professional offre des fonctionnalités puissantes et conviviales dédiées à la multiphasique séquentielle. Les répartitions de température d'une analyse thermique statique ou transitoire peuvent être intégrées dans une analyse statique linéaire, ce qui permet aux calculs de contraintes de tenir compte des effets de la dilatation thermique. Une analyse de fréquence est utilisée pour déterminer le mode naturel de vibration des produits qui sont soumis à des vibrations dans leur environnement de fonctionnement, afin de limiter la possibilité de résonance qui peut réduire considérablement la durée de vie des composants.
- c. SolidWorks Simulation Premium :** SolidWorks® Simulation Premium comporte trois études avancées : statique non linéaire, dynamique non linéaire et dynamique linéaire. L'étude dynamique linéaire se base sur l'étude de fréquence pour calculer les contraintes dues aux vibrations produites. Ainsi, les ingénieurs peuvent calculer les effets des charges dynamiques, d'impact ou de choc ; des simulations de séismes sont même disponibles pour les matériaux élastiques. L'analyse non linéaire permet aux concepteurs et aux ingénieurs d'étudier le comportement des matériaux complexes, tels que le métal, le caoutchouc et le plastique. Elle permet également de tenir compte des déflexions importantes et du contact glissant au sein des composants [30].

1.4. Fonctionnalités de SolidWorks Simulation

Avec logiciel SolidWorks simulation, il est possible :

- Intégration parfaite dans l'interface du logiciel de CAO 3D SolidWorks
 - Prise en compte des configurations et des matériaux définis dans SolidWorks
 - Préviation des performances basée sur le calcul des contraintes, déformations, déplacements et coefficients de sécurité
 - Estimation de la durée de vie sous diverses charges
 - Analyse de matériaux complexes (métaux, caoutchoucs, plastiques) avec grandes déformations et contact glissant
 - Recherche de solutions optimisées en termes de masse avec les études de topologie
 - Calcul thermique (température, flux de chaleur)
 - Analyse modale (fréquences propres, déformées)
 - Analyse dynamique linéaire et non linéaire (vibrations, impacts, chocs, charges variables)
 - Études paramétriques et d'optimisation
 - Simplification des modèles avec boulons, broches, ressorts, paliers, cordons et points de soudure
 - Simulation des performances des composites
 - Cinématique multi corps avec analyse du mouvement basée sur le temps et les événements
 - Analyse de flambage
-

- Étude des appareils sous pression avec contrainte linéarisée
- Export des résultats au format eDrawings [31].

SolidWorks Simulation propose une large gamme de fonctionnalités, notamment :

1. **Analyse statique linéaire** (test de produits reposant sur des constructions soudées, évaluation des déformations et des contraintes entre les pièces de contact, application de forces et de pressions...)
2. **Simulation non linéaire** (analyse de la déformation due aux surcharges ou les contacts, test des conceptions contenant des matériaux hyper élastiques...)
3. **Analyse structurelle approfondie** (test de la performance structurelle de plusieurs combinaisons de chargement, analyse du comportement des assemblages complexes, détermination des effets d'une chute sur l'intégrité structurelle...)
4. **Analyse dynamique** (étude de contrainte, de déplacement, de vitesse et d'accélération dans le temps, simulation des analyses transitoires, harmoniques, spectrales et aléatoires...) [31].

1.5. Processus de simulation numérique : une démarche étape par étape

Le processus d'analyse des modèles comprend toujours les mêmes étapes de base, quel que soit le type d'analyse ou le modèle.

Les étapes de l'analyse d'un modèle sont :

- a. **Création de l'étude** : Chaque analyse d'un modèle correspond à une étude. Nous pouvons avoir plusieurs études pour un même modelé.
- b. **Application du matériau** : Application au modèle un matériau contenant les informations physique, mécanique, chimique et thermique, etc.
- c. **Application des conditions aux limites (déplacements, forces et charges imposés)** : Les conditions aux limites sont ajoutées afin de représenter le mode de conservation du modèle physique.
- d. **Maillage de modèle** : Le modèle est fractionné en élément fini. Le maillage de modèle dépend du type de géométrie maillée, du type d'analyse à effectuer. SolidWorks Simulation propose des éléments volumiques tétraédriques pour mailler la géométrie des solides et les éléments coques, triangulaires pour mailler celle des surfaces.
- e. **Exécution de l'étude** : Le solveur calcule, les contraintes, les déplacements, les déformations et le coefficient de sécurité dans le modèle.
- f. **Analyse et Interprétation des Résultats** : Examiner les résultats de la simulation pour identifier les zones de contraintes élevées, les déformations importantes et les coefficients de sécurité insuffisants. Ajuster la conception si nécessaire pour améliorer la résistance, la durabilité et la fiabilité du système. [32].

2. L'Assemblage des pièces : un processus précis et soigné

L'assemblage des pièces modifiées du ventilateur d'air, à savoir l'arbre, la clavette et la roue, est crucial pour garantir un bon fonctionnement du système. Le processus d'assemblage utilise des contraintes d'assemblage pour positionner correctement la clavette dans la rainure de l'arbre et l'ensemble arbre-clavette dans l'alésage de la roue.

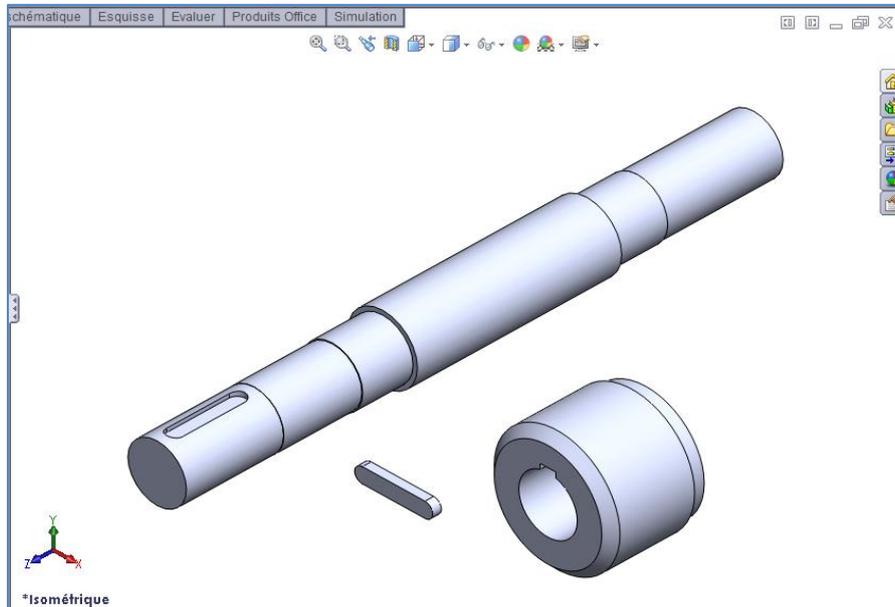


Figure III. 2 : Composants avant assemblage

2.1. Étape 1 : Sélection des pièces

Tout d'abord, nous sélectionnons les trois pièces à assembler (arbre, clavette et roue) à partir de leurs fichiers SolidWorks respectifs (Figure III.2). Nous veillons à ce que les pièces soient correctement positionnées et orientées pour un montage optimal.

2.2. Étape 2 : Application des contraintes d'assemblage

Nous utilisons les contraintes d'assemblage pour garantir un positionnement précis de la clavette dans la rainure de l'arbre (Figure III.3). La même méthode est appliquée pour assembler l'ensemble arbre-clavette dans l'alésage (Figure III.4) de la roue. Cette approche assure un assemblage précis et sécurisé, favorisant un fonctionnement optimal du système dans son ensemble.

En utilisant des contraintes d'alignement et de coïncidence, nous garantissons que chaque élément s'emboîte parfaitement, minimisant ainsi les jeux indésirables et permettant une transmission efficace des forces et des mouvements entre les différentes parties du système.

2.3. Étape 3 : Validation de l'assemblage

Enfin, nous validons l'assemblage. Nous vérifions visuellement que l'arbre et la clavette sont correctement positionnés, puis nous utilisons les outils de mesure pour vérifier l'absence de jeux ou d'interférences. Une simulation du mouvement de rotation de l'arbre permet de

valider le bon fonctionnement de l'assemblage et de confirmer qu'il répond aux exigences de conception.

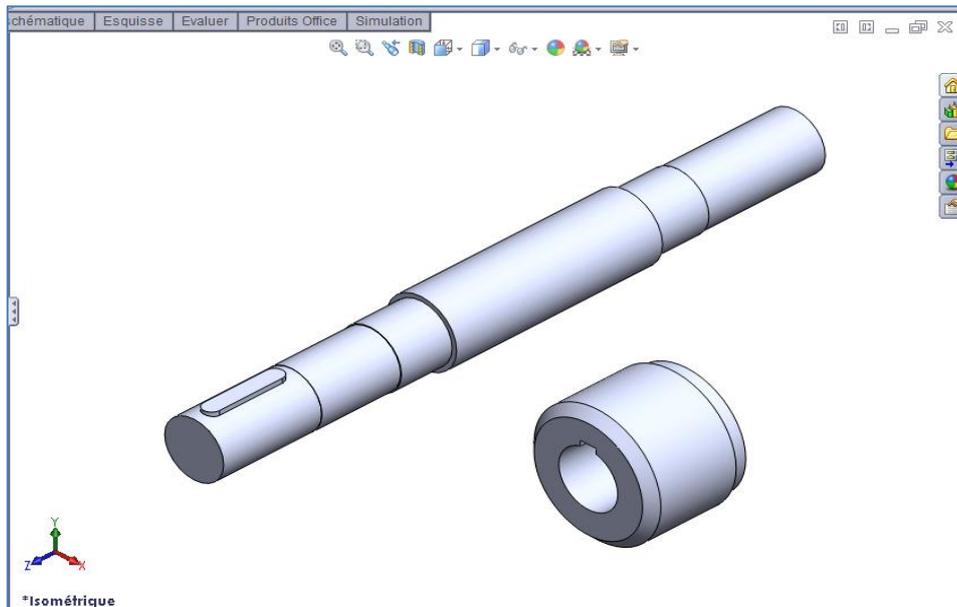


Figure III. 3 : Assemblage arbre-clavette

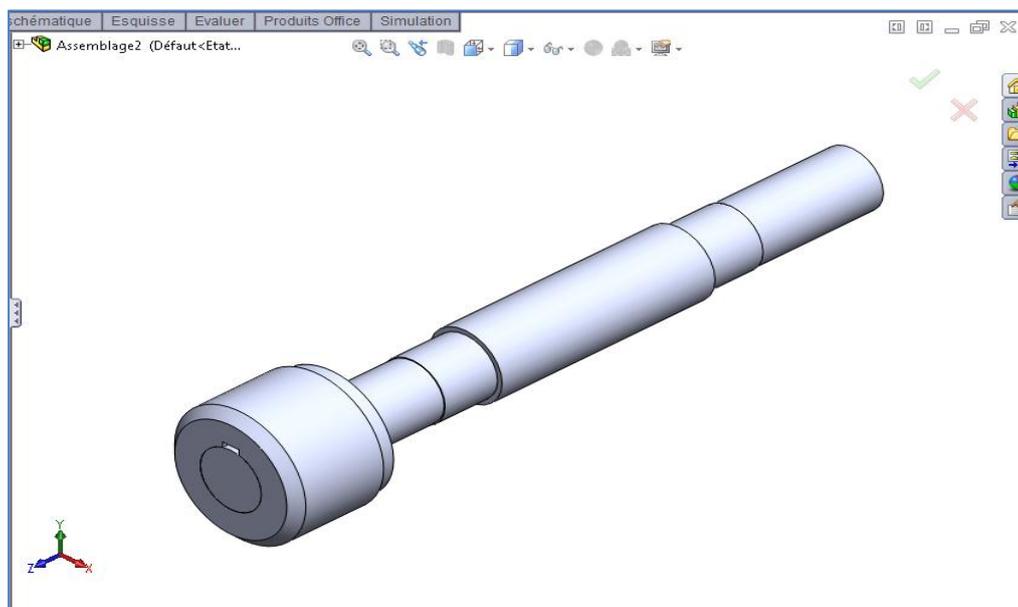


Figure III. 4 : Assemblage arbre-clavette-roue

3. Simulation de l'assemblage : une analyse détaillée pour valider la conception

3.1. Choix des matériaux

Dans cette sous-section, nous détaillerons la sélection méticuleuse des matériaux pour chaque composant du système. Ce processus crucial implique une évaluation rigoureuse des propriétés spécifiques requises pour chaque pièce, afin de garantir des performances

optimales, une durabilité accrue et une sécurité renforcée. Chaque choix de matériau sera justifié en fonction de critères tels que la résistance aux contraintes mécaniques, la résilience aux conditions environnementales et la compatibilité avec les autres éléments du système. En prenant en compte ces facteurs de manière approfondie, nous assurerons l'intégrité structurelle et la fonctionnalité fiable de l'ensemble du système.

- **Arbre** : Acier (E295) - Choisi pour sa résistance aux contraintes de torsion et sa rigidité (Figure 5 et 6).
- **Clavette** : Acier (S235JR) - Choisi pour sa résistance élevée au cisaillement (Figure 7 et 8).
- **Roue** : Acier (S275JR) - Choisi pour sa résistance aux efforts de compression et sa durabilité (Figure 9 et 10).

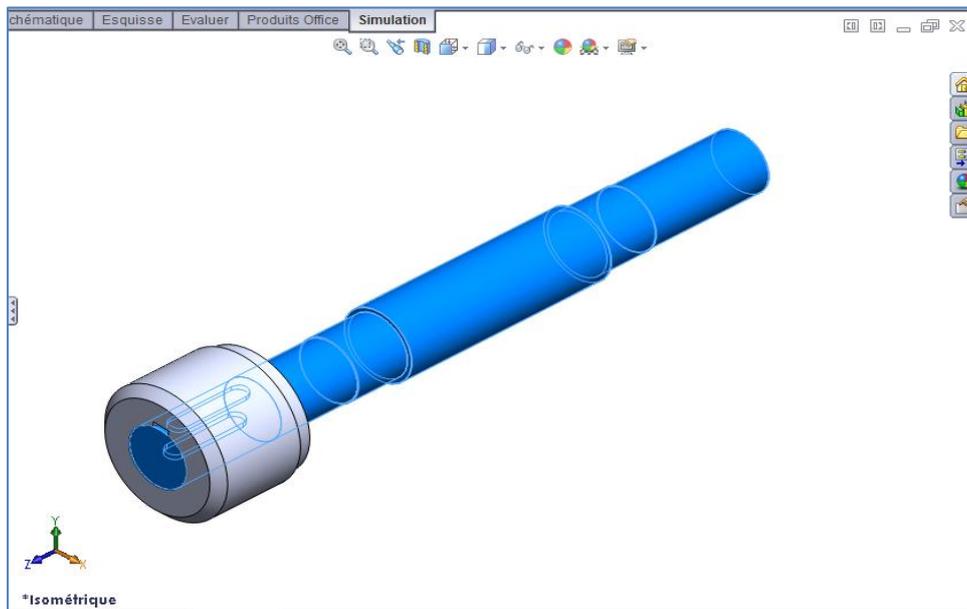


Figure III. 5 : Sélection de l'arbre

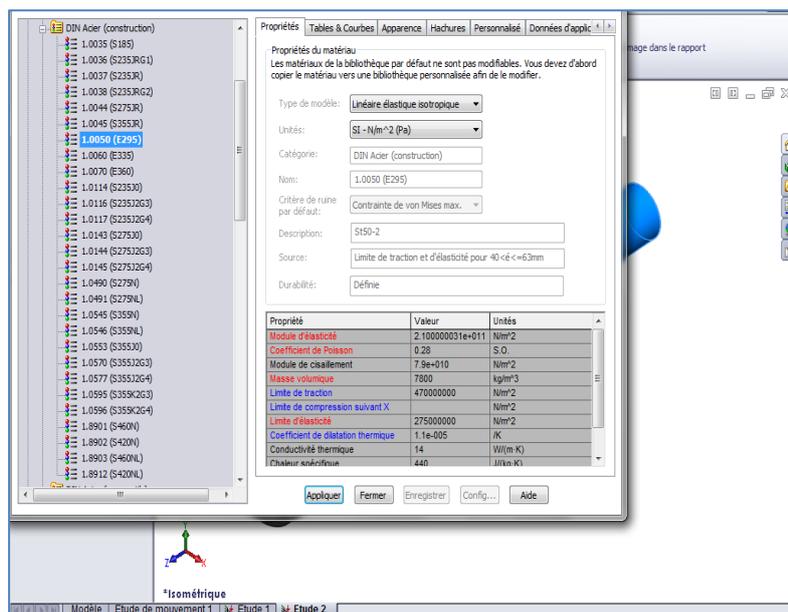


Figure III. 6 : Choix de matériau de l'arbre

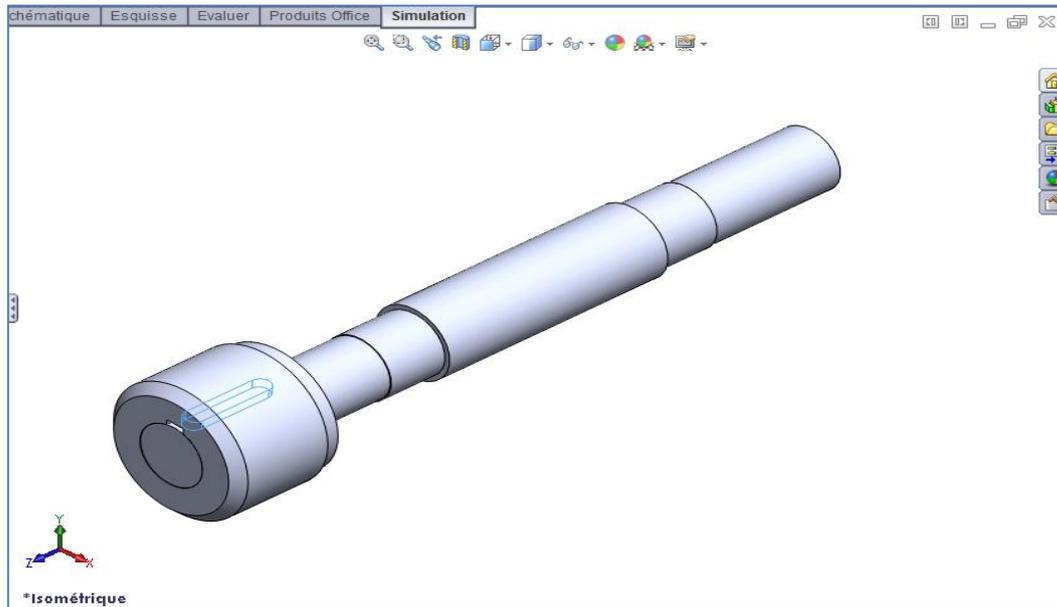


Figure III. 7 : Sélection de la clavette

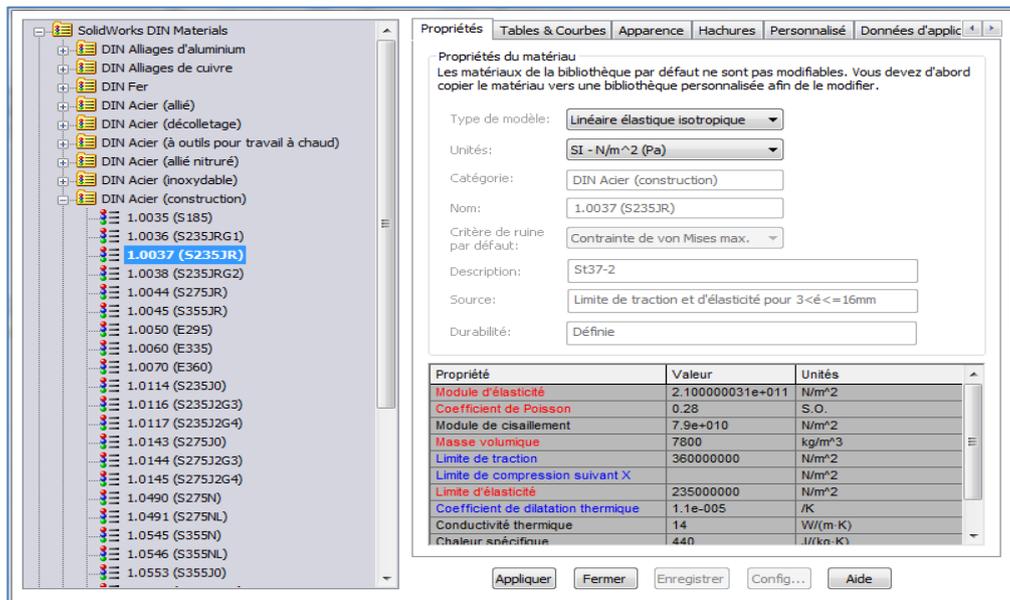


Figure III. 8 : Choix de matériau de la clavette

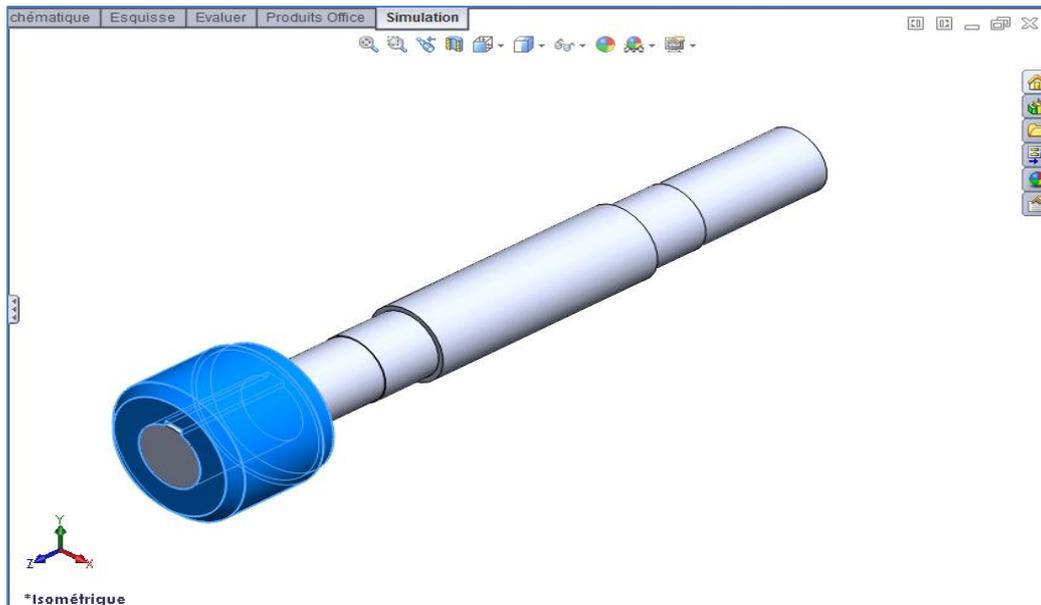


Figure III. 9 : Sélection de la roue

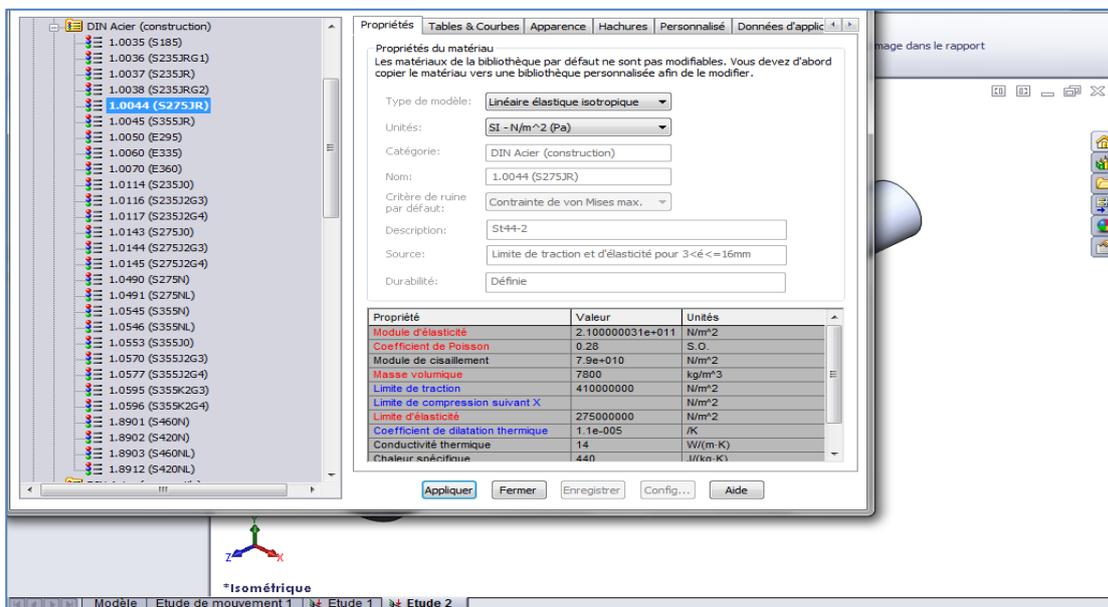


Figure III. 10 : Choix de matériau de la roue

3.2. Application des conditions aux limites

Les charges et les conditions aux limites appliquées au système sont les suivantes :

3.2.1. Conditions aux limites : Deux conditions aux limites de type pivot fixe au niveau de deux paliers (Voir figure III.11).

3.2.2. Application des forces : Les forces sur les paliers sont calculées en utilisant la loi de la force, sachant que la masse d'un palier est de 70 kg et que g est de 10 m/s². Par conséquent, nous appliquons une force égale à 700 N sur chaque palier, comme indiqué dans la figure III.12.

Cette démarche permet de simuler les conditions réelles d'utilisation et d'évaluer la capacité de chaque palier à supporter la charge prévue, tout en maintenant un fonctionnement fluide et efficace du système. La distribution uniforme de la force sur chaque palier assure une répartition équilibrée des contraintes, minimisant les risques de déformation excessive ou de défaillance prématurée des composants.

3.2.3. Application du couple moteur : Après l'application des forces sur les paliers, un couple moteur de 11534,137 N.m est appliqué à l'extrémité de l'arbre (voir figure III.13). Ce couple est généré par le moteur électrique, qui fait tourner l'arbre et transmet sa puissance à travers les paliers.

En appliquant ce couple spécifique, nous pouvons analyser la réponse du système et garantir que les composants, tels que l'arbre et les paliers, sont dimensionnés de manière adéquate pour supporter les forces et les moments résultants. Cela assure un fonctionnement stable et fiable dans diverses conditions de service.

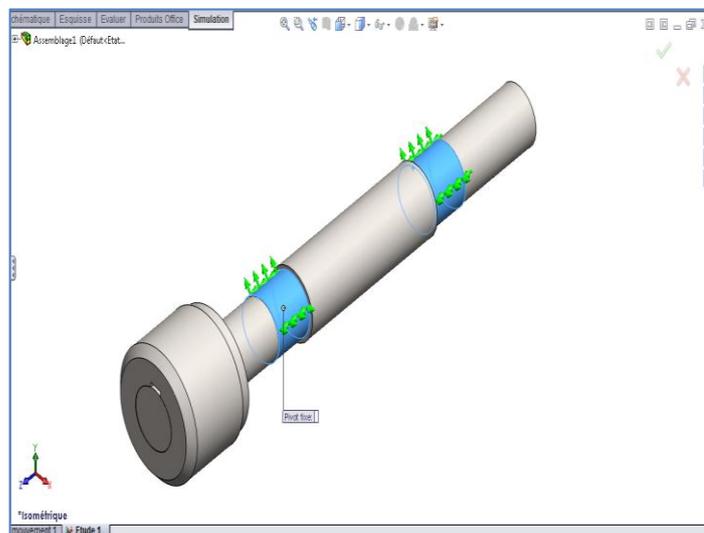


Figure III. 11 : Application des conditions aux limites de type pivot fixe au niveau de deux paliers

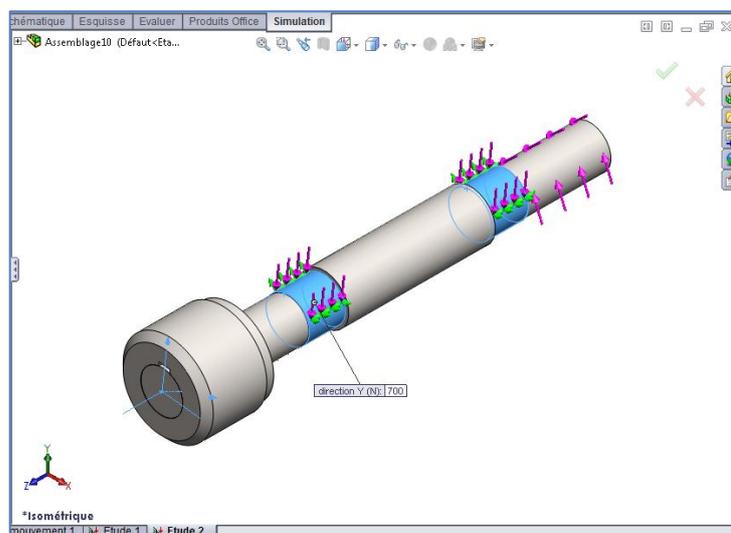


Figure III. 12 : Application des forces sur les paliers

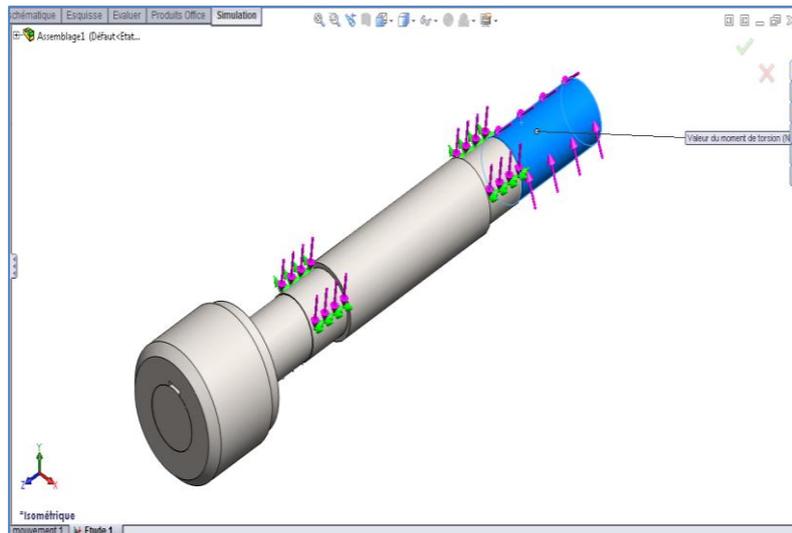


Figure III. 13 : Application de couple moteur

3.3. Maillage de modèle

Une fois les conditions aux limites, les forces et les réactions appliquées à l'assemblage définies, la simulation avance en décrivant le modèle. La figure III.14 montre cet assemblage, maillé à l'aide d'éléments tétraédriques avec une densité moyenne.

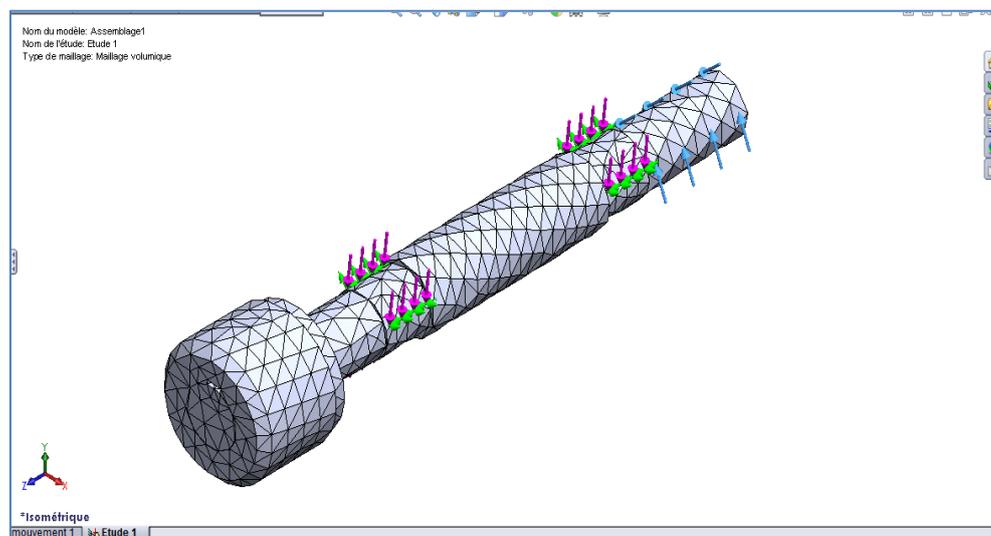


Figure III. 14 : Modèle après le maillage

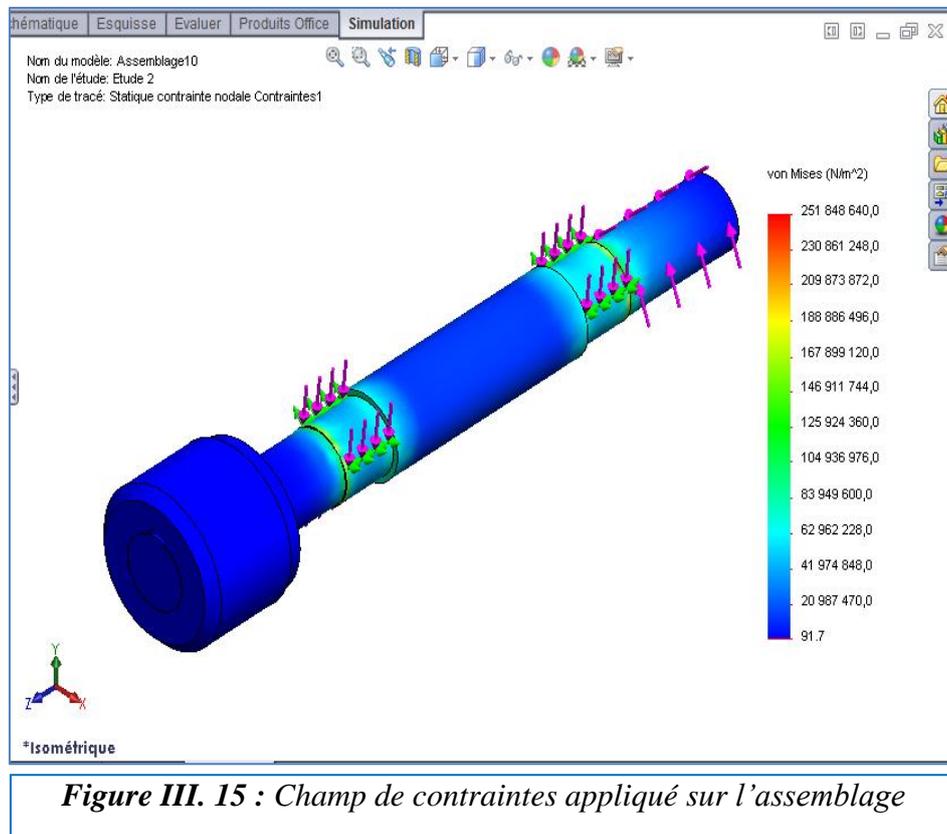
3.4. Résultats et interprétations de simulation

Les charges réparties et les conditions aux limites sont introduites et le modèle est maillé. La dernière étape maintenant est l'exécution de la simulation.

Les principaux résultats de cette étude, à savoir : les champs de contraintes, de déplacements, de déformations et coefficients de sécurités sont présentés et discutés.

a. Champ de contrainte

Le champ de contraintes équivalentes appliqué sur le modèle est illustré à la Figure III.15. Il est notable que les contraintes maximales se concentrent dans les zones d'application des forces, notamment au niveau des paliers. La figure indique également que la contrainte maximale atteint presque 251 MPa, ce qui reste inférieur à la limite élastique du matériau utilisé.



b. Champ de déplacement

Les résultats présentés dans la Figure III.16 montrent le champ de déplacement du modèle sous l'effet des contraintes appliquées. Il est notable que les déplacements maximaux se situent dans la zone de la roue, ce qui est cohérent avec les attentes en raison de la répartition des charges. De plus, la valeur maximale de déplacement est d'environ 2.3 mm, ce qui est négligeable en termes de fonctionnement du modèle. La simulation détermine les déplacements maximaux des pièces et permet de vérifier que les déplacements restent dans des limites acceptables pour le bon fonctionnement du système.

c. Champ de déformation

La Figure III.17 illustre la déformation du modèle sous l'effet des charges et des conditions aux limites appliquées. Selon cette figure, la déformation maximale se produit dans les zones des paliers. Ces zones de déformation maximale correspondent également aux surfaces présentant les déplacements les plus importants, comme indiqué à la Figure III.16. Cependant, cette déformation est de l'ordre de 10^{-4} , ce qui est pratiquement négligeable. Ces observations permettent de conclure que le système proposé résiste efficacement à la charge

du couple moteur sans subir de déformations excessives qui pourraient compromettre son intégrité.

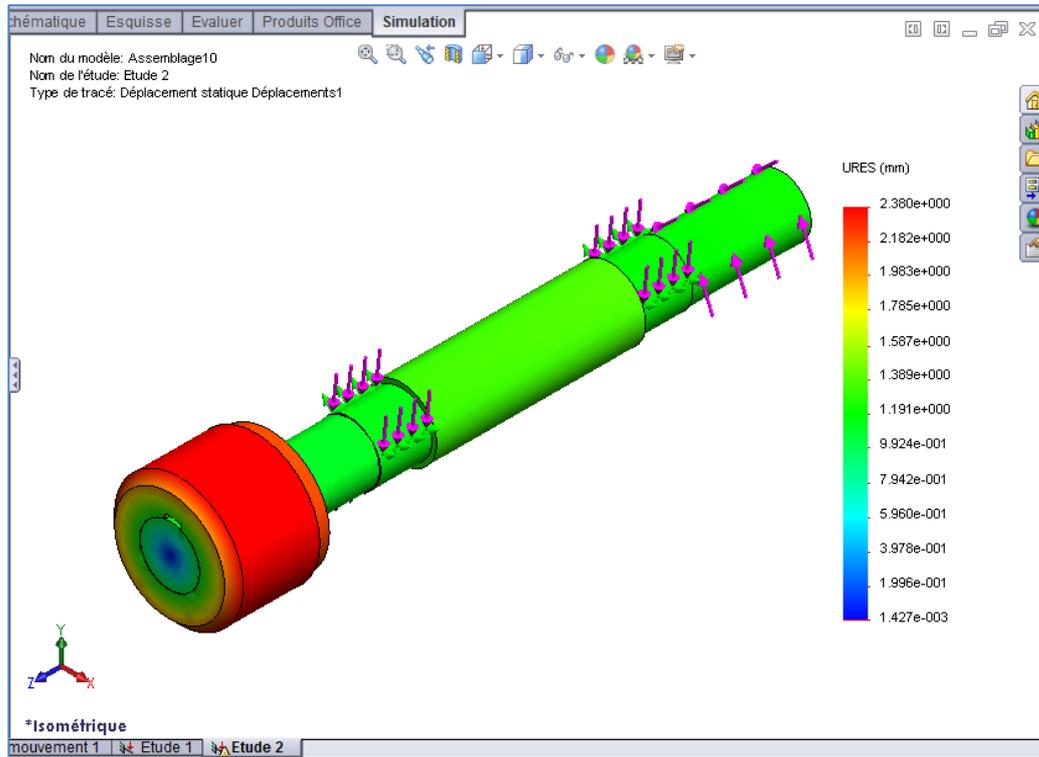


Figure III. 16 : Champ de déplacement sur le modèle

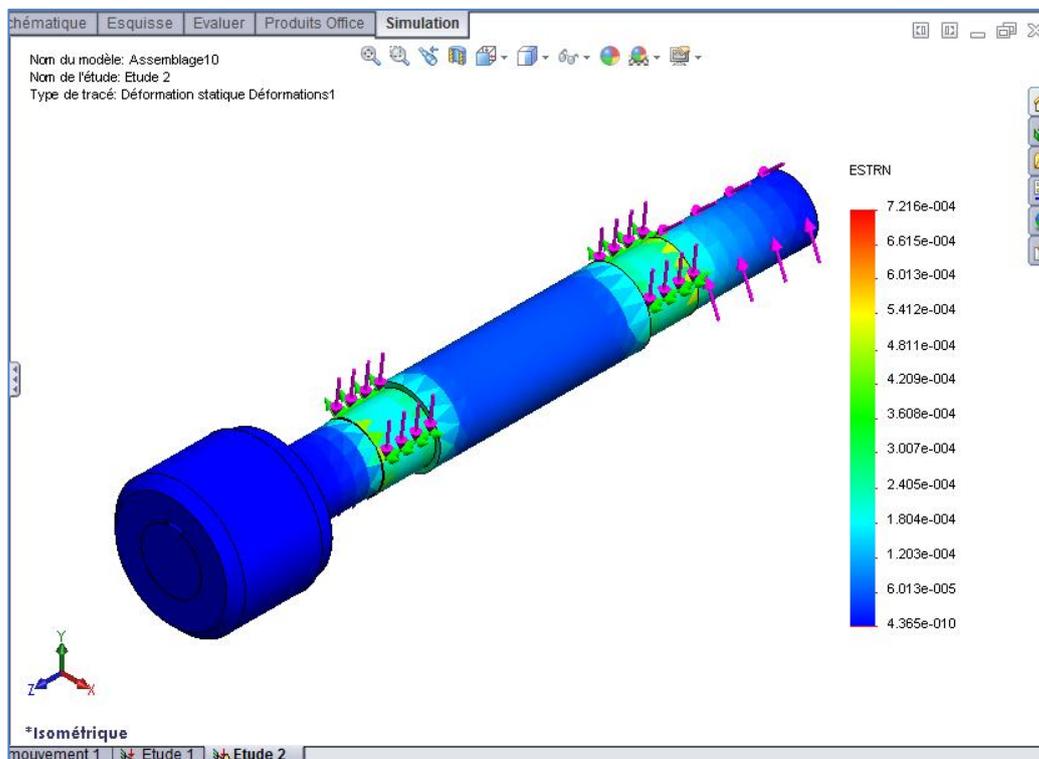


Figure III. 17 : Champ de déformation sur modèle

d. Coefficient de sécurité

Pour vérifier que l'assemblage n'est pas endommagé pendant le fonctionnement du ventilateur, nous présenterons la distribution du coefficient de sécurité. La Figure III.18 illustre cette distribution, définie comme le rapport entre la contrainte maximale appliquée et la limite élastique du matériau. L'analyse des résultats de cette figure révèle que la valeur minimale du coefficient de sécurité est de 1,1. Ainsi, la limite élastique du matériau est 1,1 fois supérieure à la contrainte maximale appliquée. Cela signifie que le modèle ne subit pas de déformations significatives pendant le fonctionnement du ventilateur, garantissant ainsi sa sécurité et une durée de vie prolongée.

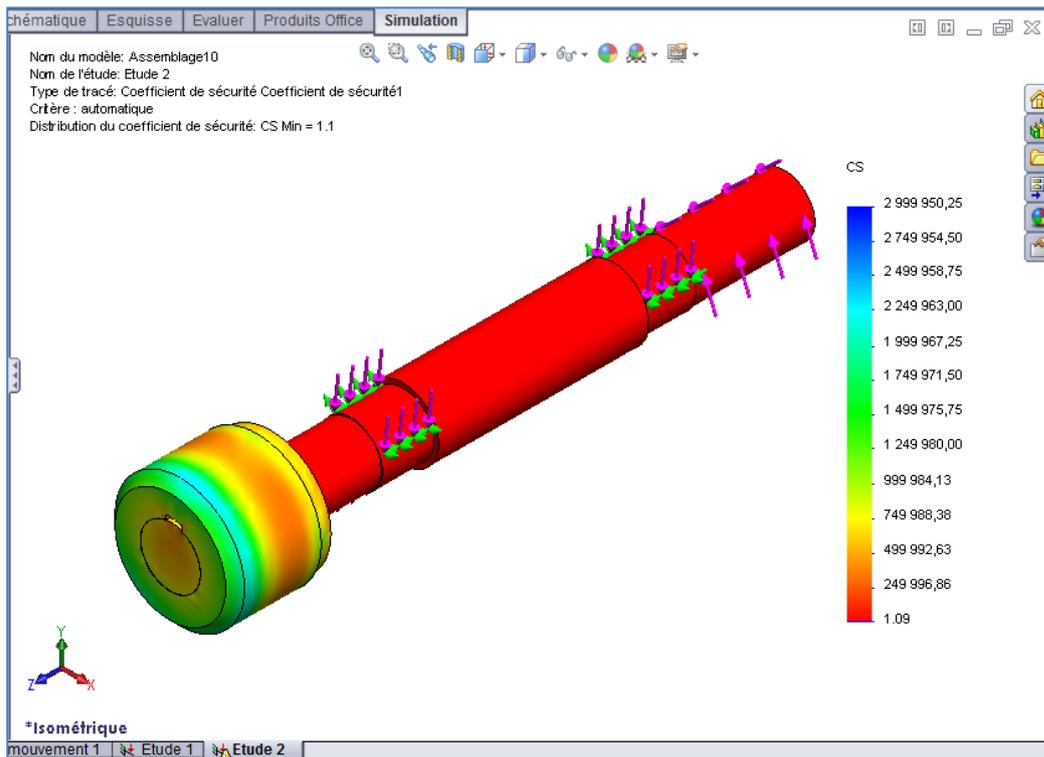


Figure III. 18 : Distribution des coefficients de sécurité sur le modèle

Conclusion

La simulation numérique du nouveau système de ventilateur d'air a permis de valider la conception et de s'assurer que le système répond aux exigences de performance, de résistance et de fiabilité. Les résultats de la simulation montrent que le système modifié est capable de supporter les charges et les conditions d'utilisation réelles sans défaillance.

L'intégration d'un montage démontable et facile, basée sur le clavetage et la visserie, a amélioré considérablement la maintenance et réduit les temps d'arrêt de production. La centrale thermique de Ras-Djinet bénéficiera ainsi d'un ventilateur d'air plus fiable et plus performant, contribuant à l'amélioration de son rendement global.

Conclusion générale

Ce mémoire a exploré la conception et l'optimisation d'un système de ventilateur d'air dans le contexte d'une centrale thermique, en mettant l'accent sur la résolution d'une problématique de maintenance rencontrée à la centrale thermique de Ras-Djinet. L'étude a mis en lumière les aspects critiques de la conception et de la simulation, en utilisant le logiciel SolidWorks Simulation pour valider la nouvelle conception du ventilateur d'air.

Le mémoire a abordé trois aspects clés :

- 1. Généralités sur l'assemblage mécanique :** Le premier chapitre a présenté une description complète des assemblages mécaniques, en soulignant leur importance dans la fabrication industrielle. Il a ensuite détaillé les différents types d'assemblages (permanents, démontables, directs, indirects) et les principales techniques utilisées, telles que le soudage, le rivetage, le boulonnage, le frettage et le clavetage.
- 2. Conception et constitution d'un ventilateur d'air :** Le deuxième chapitre a présenté le ventilateur d'air étudié, en décrivant ses différents composants et leur rôle dans son fonctionnement. Il a ensuite détaillé la problématique de maintenance rencontrée, notamment la difficulté de remplacer les roulements de l'arbre. Afin de résoudre ce problème, une nouvelle conception du système a été proposée, intégrant un système de clavetage et une visserie pour faciliter le démontage et la maintenance.
- 3. Simulation numérique du nouveau système :** Le troisième chapitre a présenté le logiciel SolidWorks Simulation comme un outil puissant pour la modélisation et la simulation des systèmes mécaniques. Il a décrit ses fonctionnalités, les étapes de la simulation et les paramètres clés à prendre en compte. La simulation du nouveau système de ventilateur d'air a permis d'analyser les contraintes, les déformations et les coefficients de sécurité, démontrant ainsi sa capacité à supporter les charges et les conditions d'utilisation réelles sans défaillance.

En conclusion, ce mémoire a mis en évidence l'importance de la conception et de la simulation dans l'ingénierie des systèmes mécaniques, en particulier pour les équipements utilisés dans des environnements exigeants. L'utilisation de SolidWorks Simulation a permis de valider la nouvelle conception du ventilateur d'air, de garantir sa fiabilité et d'optimiser le processus de maintenance.

Notre stage au sein de la centrale thermique de Ras-Djinet a été une expérience enrichissante qui nous a permis de mettre en pratique et de renforcer nos connaissances acquises tout au long de notre formation, tout en nous familiarisant avec la conduite des projets d'étude et en explorant le milieu professionnel. Au cours de ce stage, nous avons été chargés d'étudier et d'améliorer le mécanisme de ventilateur d'air pour en rendre le fonctionnement plus maintenable. Ce projet de fin d'études nous a offert l'opportunité de

développer nos compétences en modélisation en utilisant une méthodologie numérique, devenue essentielle dans le domaine de l'ingénierie moderne.

Les résultats obtenus démontrent l'efficacité du logiciel SolidWorks Simulation pour l'analyse des contraintes et la validation des conceptions. Sa capacité à simuler des conditions de charge variées et à identifier les points critiques permet de prendre des mesures préventives et d'optimiser la performance des systèmes mécaniques.

Afin de poursuivre l'étude et d'améliorer encore la conception du ventilateur d'air, plusieurs perspectives s'ouvrent :

- 1. Analyse dynamique :** Une analyse dynamique du système, tenant compte des vibrations et des charges variables, permettrait d'obtenir une compréhension plus complète du comportement du ventilateur sous conditions de fonctionnement réelles.
- 2. Optimisation de la conception :** Le modèle du ventilateur pourrait être optimisé en termes de dimensionnement et de choix des matériaux. Une analyse de sensibilité pourrait être réalisée pour identifier les paramètres ayant le plus grand impact sur la performance du système.
- 3. Intégration de la nouvelle conception :** La nouvelle conception du ventilateur d'air pourrait être intégrée à une simulation plus globale de la centrale thermique, permettant d'évaluer son impact sur le rendement global du système de production d'électricité.
- 4. Prototype et test :** La fabrication d'un prototype du ventilateur modifié permettrait de valider expérimentalement les résultats de la simulation numérique et d'identifier d'éventuelles adaptations nécessaires.

Ces perspectives ouvrent des voies de développement intéressantes, permettant d'améliorer la performance, la fiabilité et la durabilité des systèmes de ventilateur d'air dans les centrales thermiques.

Références Bibliographiques

- [1] Documentation de la centrale thermique de Ras-Djinat
- [2] Algérie Eco. (2020, 21 octobre). Production de turbines à gaz et à vapeur : inauguration d'un complexe algéro-américain à Batna. Disponible à l'adresse : <https://www.algerie-eco.com/2020/10/21/production-de-turbines-a-gaz-et-a-vapeur-inauguration-dun-complexe-algero-americaain-a-batna/>
- [3] Université de Jijel. (Date inconnue). Techniques d'assemblage. Disponible à l'adresse : <http://elearning.univ-jijel.dz/mod/book/view.php?id=28945>
- [4] Techniques de l'Ingénieur. (Date inconnue). Assemblage direct. Disponible à l'adresse : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mechanique/assemblage-mecanique/assemblage-direct-3024>.
- [5] Metaletech. (2020, 30 mars). Procédés de soudage en construction métallique. Disponible à l'adresse : <https://metaletech.com/2020/03/30/procedes-de-soudage-en-construction-metallique/>
- [6] Matériel Soudure. (Date inconnue). Guide des différents types de soudage. Disponible à l'adresse : <https://materiel-soudure.4mepro.com/content/140-guide-les-differents-types-de-soudage>
- [7] Soudeurs.com. (Date inconnue). Site web dédié au soudage. Disponible à l'adresse : <https://Soudeurs.com>
- [8] Université de Msila. (Date inconnue). Chapitre 4: Soudage Oxyacétylénique. Disponible à l'adresse : https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/269698/mod_resource/content/1/Chapitre%2004-SOUDAGE%20OXYACETYLENIQUE.pdf
- [9] Umicore Brasage. (Date inconnue). Principes de base du brasage fort. Disponible à l'adresse : <https://www.umicore-brasage.fr/entreprise/principes-de-base-brasage-fort/>
- [10] GT Outillage. (Date inconnue). Comment souder à l'arc à l'électrode enrobée (SAE). Disponible à l'adresse : <https://www.gt-outillage.com/comment-souder-a-larc-a-lelectrode-enrobee-s-a-e-e/>
- [11] Rocdacier. (Date inconnue). Cours de soudage à l'arc à l'électrode enrobée. Disponible à l'adresse : https://www.rocdacier.com/cours-soudage-arc-electrode-enrobee/#google_vignette
- [12] Artizono. (Date inconnue). Guide de soudage TIG. Disponible à l'adresse : <https://artizono.com/fr/guide-de-soudage-tig/>
- [13] BIL-IBS. (2003, juin). Soudage TIG de l'aluminium. Disponible à l'adresse :

Références Bibliographiques

https://www.bil-ibs.be/sites/default/files/publicaties/metallerie_fr/200306_51a13_fiche_dinfo_aluminium_p3_soudage_tig.pdf

[14] Emile-Maurin. (Date inconnue). Rivetage. Disponible à l'adresse : <https://fixation.emile-maurin.fr/custom/images/rtf/rivetage-fix-ldoc24.pdf>

[15] Techniques de l'Ingénieur. (Date inconnue). Définition de boulon. Disponible à l'adresse : <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/boulon>

[16] Université d'Oran. (Date inconnue). Chapitre 2: Les assemblages. Disponible à l'adresse : http://tele-ens.univ-oeb.dz/moodle/pluginfile.php/220921/mod_resource/content/1/Chapitre%2002.%20Les%20a-ssemblages.pdf

[17] CISC-ICCA. (Date inconnue). Assemblages, boulons et boulonnage. Disponible à l'adresse : <https://www.cisc-icca.ca/faq-items/assemblages-boulons-et-boulonnage/?lang=fr>

[18] Sous-Traiter.fr. (Date inconnue). Frettage : technique d'assemblage mécanique. Disponible à l'adresse : <https://www.sous-traiter.fr/frettage-technique-dassemblage-mecanique/>

[19] WikiFab. (Date inconnue). Encyclopédie : Frettage. Disponible à l'adresse : <https://wikifab.org/wiki/Encyclop%C3%A9die:Frettage>

[20] Techniques de l'Ingénieur. (Date inconnue). Définition de frettage. Disponible à l'adresse : <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/frettage>

[21] H7G6. (Date inconnue). Clavettes parallèles. Disponible à l'adresse : <https://www.h7g6.fr/data/article/5/clavettes-paralleles>

[22] Mabéo Industries. (Date inconnue). Clavettes : caractéristiques dimensionnelles et références. Disponible à l'adresse : <https://www.mabeo-industries.com/document/A-756964-mabeo-experts-clavettes-caracteristiques-dimensionnelles-et-references>

[23] Le Parisien. (2021, 18 décembre). Fiche pratique : Clavettes. Disponible à l'adresse : <https://www.leparisien.fr/guide-shopping/bricolage-jardin/fiche-pratique-clavettes-18-12-2021-OLZU5HRX4RGNVL4CS5PALFJECA.php>

[24] Bensaada. (Date inconnue). Tolerances et ajustements (27 pages). Disponible à l'adresse : <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/5%20Tolerances%20et%20ajustements%2027%20pages.pdf>

[25] " GUIDE de dessinateur industriel ". Andé CHEVALIER - (2004).

[26] " kwu, service de formation professionnelle" : (Manuels technique cap-djinet).

[27] Ziehl-Abegg. (Date inconnue). Centrales électriques. Disponible à l'adresse : <https://www.ziehl-abegg.com/fr/secteurs-dactivite/centrales-electriques>

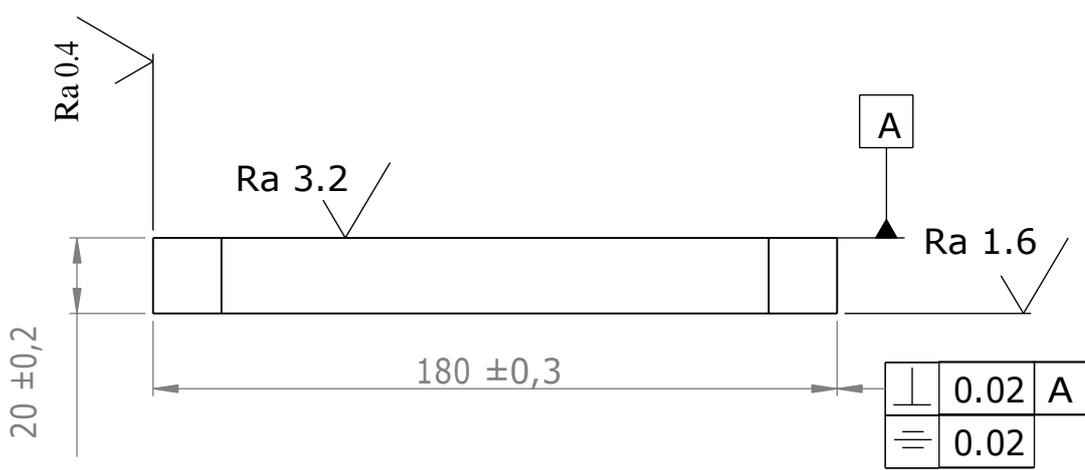
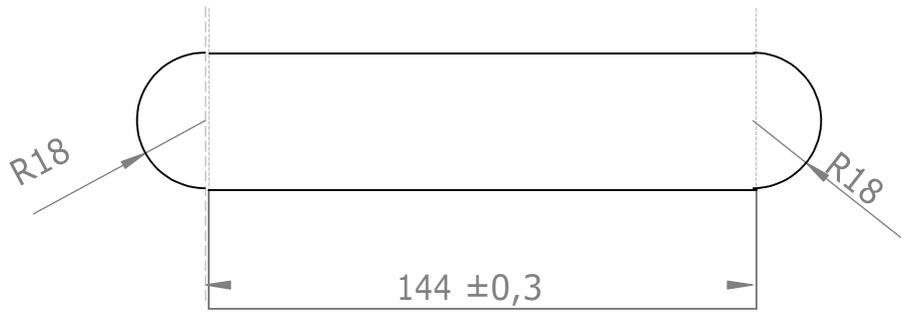
[28] H7G6. (Date inconnue). Les ajustements. Disponible à l'adresse : <https://www.h7g6.fr/data/article/21/les-ajustements>

[29] EC2 Modélisation. (Date inconnue). Simulation numérique. Disponible à l'adresse : <https://www.ec2-modelisation.fr/presentation/simulation-numerique>

Références Bibliographiques

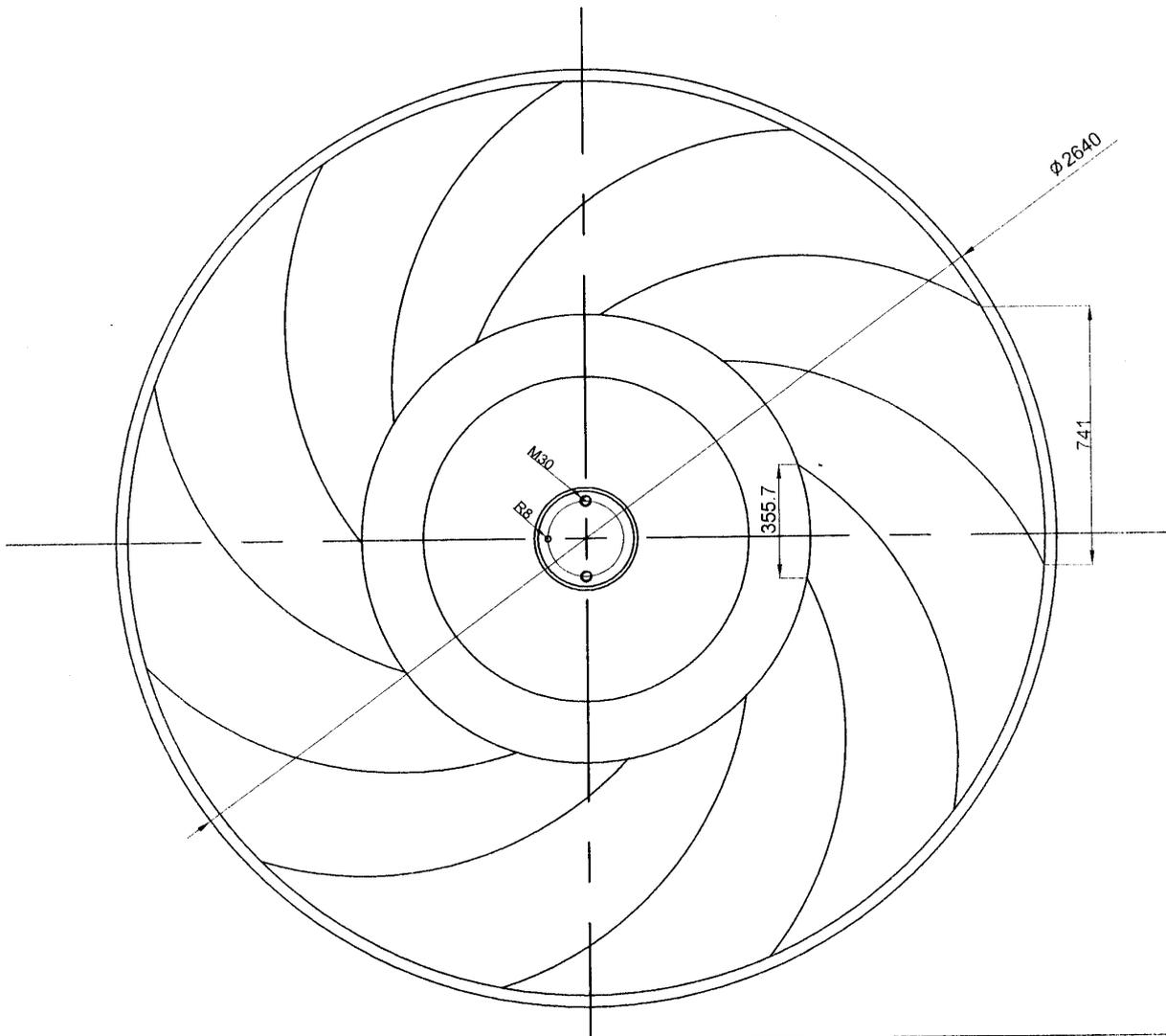
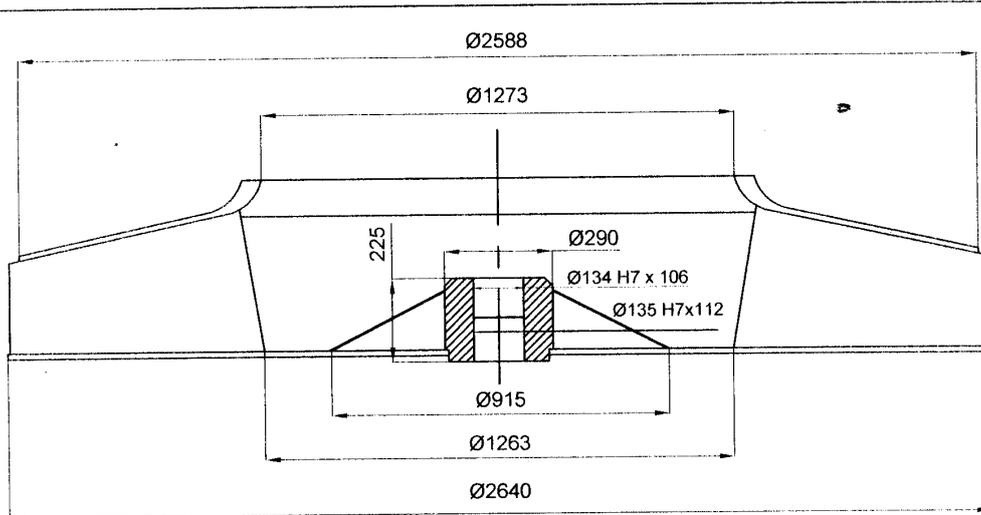
- [30] Zone Industrie. (Date inconnue). Logiciel de CAO 3D Solidworks. Disponible à l'adresse : <https://www.zoneindustrie.com/Produit/Logiciel-de-CAO-3D-Solidworks-12497.html>
- [31] Visiativ. (Date inconnue). Solidworks pour la simulation. Disponible à l'adresse : <https://www.visiativ.com/famille-produits/solidworks-pour-la-simulation/>
- [32] Solidworks. (Date inconnue). Solidworks Simulation. Disponible à l'adresse : <https://www.solidworks.com/fr/product/solidworks-simulation>

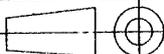
Annexes



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:				FINITION:	CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
NOM	SIGNATURE	DATE				TITRE: Clavette	
AUTEUR	GH.BILAL	10.06.2024					
VERIF.							
APPR.							
FAB.							
QUAL.				MATERIAU: St 235 JR		No. DE PLAN 11	A4
				MASSE: 0.9 Kg		ECHELLE: 1:5	FEUILLE 1 SUR 1

Annexe : n° 2



B.Y	ROUS DU VENTILATEUR DE SOUFLAGE Ø=2640mm	18/09/2011	Echelle
	NG	Materiau : St 44.2 Norme DIN	
Centrale thermique Ras Djinet			Feuille No.