

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique & Productique / Construction Mécanique

Présenté par :

SALAMANI Messaoud & BELAID Soufiane

Thème

EVALUATION DE LA QUALITE ET DE LA REPETABILITE DE
POSAGE D'UN MONTAGE D'USINAGE DEDIE A LA
FABRICATION DES AILETTES MOBILES D'UNE TURBINE A GAZ

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
ELHADI ABDELMALEK	MCA	Président
SLAMANI MOHAMED	MCA	Encadreur
ARSLANE MUSTAPHA	Enseignant vacataire	Examineur

Année Universitaire : 2019 / 2020

N° d'ordre : GM/...../2020

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous remercions «Dieu» le tout puissant de nous avoir accordés, le courage, la santé et la volonté afin de réaliser notre travail.

Notre gratitude s'adresse à M. Slamani Mohamed pour son encadrement, son orientation, ses conseils et la disponibilité qu'il nous a témoignée pour nous permettre de mener à bien ce travail.

Je souhaite aussi exprimer ma profonde gratitude à M. Arslane Mustapha pour son aide et ses conseils judicieux.

Je souhaite aussi exprimer ma profonde gratitude au chef département ainsi qu'à tous les enseignants du département de génie mécanique.

Je voudrais également être reconnaissant à M. Slimani Said Directeur d'atelier au sein de la société de Maintenance des Equipements Industriels (MEI), M. Khaled Benaouira et M. fayçal Oudina pour leur orientation et accueil sympathique lors des jours précédant le stage.

Enfin, on remercie tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

Merci à tous.

Sommaire

REMERCIEMENTS -----	
Sommaire -----	
Références bibliographiques -----	
Abréviations -----	
Liste des figures -----	
Liste des tableaux -----	
Introduction générale -----	1
 Chapitre I: Les Turbines	
I.1 Généralités sur les turbines -----	04
I.1.1:Introduction -----	04
I.2 Les éléments d'une turbine à gaz -----	04
I.3 Principe de fonctionnement -----	05
I.4 Domaines d'application -----	06
Appareils fixes -----	07
Appareils mobiles -----	07
I.5 Classification des turbines -----	08
I.5.1 Turbine à gaz Type Frame Heavy Duty -----	08
I.5.2 Turbines à gaz "dérivées de l'aviation" ou "aérodérivées" (Aircraft-DerivativeGas Turbines) -----	10
I.5.3 Turbines à gaz industrielles: -----	10

I.5.4 Petites turbines à gaz-----	11
I.5.5 Micro turbines à gaz-----	12
I.6 Présentation de la turbine à gaz FR 9001-----	12
I.6.1 Généralités: -----	12
I.6.2 Construction de la turbine à gaz FRAME 9001 -----	13
I.6.2.1 Le rotor de la turbine (Structure)-----	13

Chapitre II: Les Ailettes

II.1: Généralités sur les ailettes-----	16
II.2: Classification des ailettes -----	16
II.2.1: Les aubes du rotor (ailette mobile) -----	16
II.2.2: Les aubes du stator (ailette fixé)-----	17

Chapitre III: Fabrication des ailettes

III.1: Usinage-----	20
III.1.1: Fraisage des aubes de turbines -----	20
III.1.1.1: Ébauche de brut quelconque 3D -----	20
III.1.1.2. Usinage en bout d'aube de turbine 5 axes -----	21
III.1.1.3: Usinage en roulant d'aubes de turbine 5 axes-----	21
III.2: Matériau pour réalisation d'aubes: -----	23
III.2.1: Les superalliages-----	23
III.2.2.1: Superalliages à base de nickel -----	24

III.3: Processus de contrôle et de vérification des ailettes -----	24
Applications classiques -----	26
Application 1: Analyse détaillée de la structure interne des aubes de turbines -----	26
Application 2: Inspection automatisée des aubes, du type bonne/mauvaise -----	26
III.4: Montage d'usinage -----	27
III.4.1: Définition -----	27
Objectif du montage d'usinage -----	27
III.4.2: Fonction -----	28
Positionner la pièce-----	28
Maintenir la pièce -----	28
Soutenir la pièce -----	28
III.4.3: Montage modulaire -----	29
III.4.4: Groupement de pièce en panoplie ou en multi-phase -----	30
III.4.5: Processus de conception du montage d'usinage -----	31
III.4.6: Démarche de conception du montage d'usinage-----	31
III.4.7: Description du problème de conception du montage d'usinage-----	32

Chapitre IV: Précision et répétabilité

IV.1 : Précision -----	34
-------------------------------	-----------

IV.2 : Répétabilité -----	35
IV.3 : ISOSTATISME -----	36
IV.3.1 : GENERALITES -----	36
IV.3.2 : DEFINITION -----	37
IV.3.3 : MISE EN POSITION ISOSTATIQUE -----	37
IV.3.3.1 : Notion de Degrés de liberté -----	37
IV.3.3.2 : Elimination des degrés de liberté -----	37
IV.3.3.3 : Normal de repérage -----	38
IV.3.3.4 : Position de la normal de repérage -----	39
IV.3.3.5 : Symbolisation géométrique (La mise en position isostatique) -----	39
IV.3.4 : MISE EN PLACE DES NORMALES DE REPERAGE -----	40
IV.3.4.1 : Sur un parallélépipède -----	40
IV.3.4.1.1 : Appui plan (liaison appui plan) -----	41
IV.3.4.1.2 : Appui linéaire (liaison linéaire rectiligne) -----	41
IV.3.4.1.3 : Appui ponctuel (liaison ponctuelle) -----	42
IV.3.4.2 : Sur un cylindre -----	42
IV.3.4.2.1 : Centrage long et appui ponctuel (liaison pivot glissant +liaison ponctuelle): $L > 2 D$ -----	42
IV.3.4.2.2 : Centrage court et appui plan (liaison linéaire annulaire+ liaison appui plan) : $L \leq 2 D$ -----	43

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

IV.4.2 : Mesure de déplacement :-----	45
IV.5 : Détermination des écarts de positionnement :-----	46
Conclusions générale-----	53

Références bibliographiques

- [01]: Manuel d'exploitation de turbine à gaz type (Taurus 60) par « solar turbine » (sonatrach SP3 lotaya W. Biskra).
- [02]: <http://mobile.lavionnaire.fr/MobTurbElemCompres.php>.
- [03]: JOVANOVIĆ, M.B., 2007. Film cooling through imperfect holes. PhD thesis, Eindhoven University of Technology, the Netherlands.
- [04]: BERNARD GUSTAFHSON, (2001) Experimental Studies of Effusion Cooling, thesis for degree of doctora of philosophy: Department of Thermo and Fluid Dynamics, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden 2001.
- [05]: AZZI ABBES, Investigation numérique appliqué aux aubes des turbines à gaz, thèse de doctorat d'état, faculté de génie mécanique, département de génie maritime, USTOMB, Algérie.
- [06]: développement d'une méthodologie de réduction Des défauts géométriques : application à l'usinage 5-axes de composants de turbomachine Julien CHAVES-JACOB, le 28 septembre 2009, *Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers*.
- [07]: MSM portail de l'industrie suisse Technique d'usinage - Fraisage - Commande numérique CNC www.msm.ch/automtisation/articles/376247/.
- [08]: C*blade S.p.a. forging □□ manufacturing copyright □2007-20014 C*Blade S.p.a
- [09]: Meherwan P. Boyce, *Gas Turbine Engineering Handbook*, second Edition, American Society of Mechanical Engineers Fellow, Institute of Diesel and Gas Turbine Engineers, U.K. ISBN 0-88415-732-6.
- [10]: *New technology used in gas turbine blade materials*, Scientia ET Technica Año XIII, No 36, September 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [11]: Superalliages pour turbine: alliages pour aubes et pour disques GEDEPEON – Perpignan –19 & 20 juin 2003.
- [12]: S. Hagen, P. Hofmann, G. Schanz, L. Sepold, "Interactions in Zry/UO₂ Fuel Rod Bundles with Inconel Spacers at Temperatures above 1200°C; (Post-test Results of Severe Fuel Damage Experiments CORA-2 and CORA-3)", KfK 4378 (1990).
- [13]: Laurent gormet, « Généralités sur les matériaux composites », ECN, Centre Nantes, 2008

[14]: <https://www.nikonmetrology.com/fr/industries/aeronautique/inspection-des-aubes-de-turbine>

[15]: Conception de montages d'usinage modulaire pour le fraisage, thèse de doctorat
Par : Saïd ZIRMI le 14/10/2010.

[16]: INTERNATIONAL STANDARD - ISO 9283 Robots manipulateurs industriels -
Critères de
performance et methodes d'essai correspondantes

[17]: <http://philippe.berger2.free.fr/productique/ressources/isostatisme/isostatisme.ht>.

[18]: Hamel Abdelhamid. - Evaluation pratique des dispersions dans une machine –outil- PFE
– université de tlemcen - 2012 / 2013.

[19]: cours Mr Kara_ali.

[20]: [http://www.prof-mpk.fr/Documents_elevs/Annee_2013_2014/2_TU/Etude_2_fraisage_isostatisme/S45/La mise en position](http://www.prof-mpk.fr/Documents_elevs/Annee_2013_2014/2_TU/Etude_2_fraisage_isostatisme/S45/La_mise_en_position)

[21]: FixQuali , 1 P. BOURDET et A. CLEMENT, "Controlling a complex surface with a 3 axis measuring machine". Annals of CIRP, vol 25/1/1976 pages 354-361

[22]: An investigation of indicators for controlling the quality
of a fixture, D. Duret, A. Sergent, and H. Bui-Minh_, SYMME Laboratory, University of
Savoie, 5 chemin de Bellevue, 74944 Annecy-le-Vieux, France, Received: 2 July 2010 /
Accepted: 1st September 2010

Abréviations

ISO : Organisation standard international.

GE : Générale électrique.

MO: Machine-outil

3D : Trois dimensions

IN : Inconel

CAO : Conception assistée par ordinateur

FAO / CAM : Fabrication assistée par ordinateur

CFAO : Conception et fabrication assistée par ordinateur

2D: Deux dimensions

Liste des figures

Figure 1 : Les éléments de la turbine à gaz.

Figure 2 : Profil de température de la turbine.

Figure 3 : Turbine à gaz avec chambre de combustion annulaire (GE).

Figure 4 Turbine à gaz avec chambre de combustion de type silo (Siemens).

Figure 5 : Coupe longitudinale d'une turbine à gaz aérodérivative .

Figure 6 : Turbine à gaz industrielle (medium size).

Figure 7 : Coupe d'une petite turbine à gaz à flux radial montrant le rotor turbin.

Figure 8 : Schéma d'une micro turbine (Capstone Corporation).

Figure 9 : Principales Sections de L'ensemble de Turbine à gaz MS9001.

Figure 10 : Ensemble de Rotor de compresseur et de Turbine .

Figure 11 : L'aube du rotor .

Figure 12 : la fixation des aubes sur le disque.

Figure 13 : les aubes de rotor et les aubes de stator.

Figure 14 : La fixation d'aube sur le carter de compresseur.

Figure 15 : Ébauche de brut quelconque.

Figure 16 : Usinage en bout d'aube de turbine 5 axes.

Figure 17 : Usinage en roulant d'aubes de turbine 5 axes.

Figure 18 : Usinage en bout en 5 axes d'une aube de compresseur.

Figure 19 : Développement de matériaux d'aube.

Figure 20 : Les différents types de posage.

Figure 21 : Les différents modes de bridage.

Figure 22 : Exemple d'un montage modulaire .

Figure 23 : Groupement de pièces sur le même montage.

Figure 24 : précision de positionnement et répétabilité

Figure 25 : degrés de liberté .

Figure 26 : degrés de liberté par surface

Figure 27 : normal de repérage.

Figure 28 : position de la normal de repérage.

Figure 29 : position du symbole.

Figure 30 : représentation simplifiée pour la mise en position.

Figure 31 : Représentation simplifiée.

Figure 32 : Mise en position sur parallélépipède.

Figure 33: Liaison appui plan

Figure 34: Liaison linéaire rectiligne.

Figure 35 : Liaison ponctuelle.

Figure 36 : Liaison pivot glissant & liaison ponctuelle.

Figure 37 : Liaison linéaire annulaire & liaison appui plan.

Figure 38: Mesure de la qualité de posage de l'ailette sur son montage sur la machine à mesurer tridimensionnelle (MMT)

Figure 39: Évaluation de l'effet de bruit de mesure

Figure 40: Variabilité des composants (α , β , γ) du torseur de petit déplacement en rotation

Figure 41: Variabilité des composants (u , v , w) du torseur de petit déplacement en translation

Liste des tableaux

Tableaux 1 : Types de montage d'usinage

Tableaux 2 : Elimination des degrés de liberté.

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale

La technologie de fabrication mécanique est l'une des ceux le plus dynamique du monde. Avec l'évolution de l'industrie dans ce domaine, les pièces de base sont devenues de plus en plus de formes complexes et de tolérances serrées et par la suite de précision élevée. Leurs fabrications alors, demandent de plus en plus des équipements spéciaux complexes et chers ainsi que le recours à des méthodes de réalisation plus adéquates et adaptées à ce genre de pièces.

Dans le domaine de l'énergie et spécialement les turbines à gaz productrices de l'électricité, les pièces constituant ces turbines deviennent de plus en plus complexes et très difficiles à réaliser. Parmi ces pièces de formes complexes, on trouve les ailettes (aubes). Vu la forme en surfaces gauches des pâles et bandages, elles demandent des montages spéciaux pour leurs usinages.

Un montage d'usinage est un équipement de production qui localise, fixe et maintien la pièce à usiner durant les opérations de l'usinage dans le but d'avoir un bon produit. Un montage doit encore permettre d'avoir la même géométrie pour une succession de pièces identiques, le montage d'usinage varie relativement d'un équipement simple à un autre complexe et chère.

Il est conçu de telle façon à maintenir la pièce à usiner pour réaliser le maximum d'opérations possibles avec une répétabilité mise en position très élevée.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la qualité et la répétabilité de posage d'un montage d'usinage dédié à la fabrication des ailettes mobiles d'une turbine à gaz.

Le présent travail s'articule en cinq chapitres, dans le premier chapitre on donne des généralités sur les Turbines tel que le principe de fonctionnement, la classification des turbines, les domaines d'application et en concluant ce chapitre par une présentation de la turbine à gaz FR 9001 dont son ailette fait l'objet de cette étude. Le deuxième chapitre met l'accent sur les ailettes et leur calcification, tandis que le troisième chapitre est consacré à la fabrication des ailettes, montages d'usinage et isostatisme. Le quatrième chapitre traite les notions de répétabilité et précision dans le contexte des pièces mécaniques. Le cinquième chapitre est consacré à une étude

Introduction générale

expérimentale pour l'évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage d'une ailette sur son montage d'usinage. Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Les Turbines

I.1 Généralités sur les turbines:

I.1.1:Introduction:

Selon le type de fluide, les turbines peuvent être hydrauliques, à vapeur ou à gaz. Dans les turbines à gaz, le fluide de travail provient des gaz de combustion dans des pièces qui contiennent des injecteurs de carburant liquide ou gazeux, ils sont utilisés comme moteurs d'arbre de turbine qui fournissent de l'énergie mécanique et comme élément essentiel des moteurs à turbine à réaction pour créer la propulsion de l'avion.

Les turbines à gaz ont connus au cours dernières années un développement considérable dans des nombreuses applications industrielles. En particulier dans le domaine du transport et de réinjection du gaz.

I.2 Les éléments d'une turbine à gaz:

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, une turbine à gaz est composée de trois éléments (Figure I.1):

- Un compresseur, centrifuge ou plus généralement axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ;
- Une chambre de combustion, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement;
- Une turbine, généralement axial, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion.

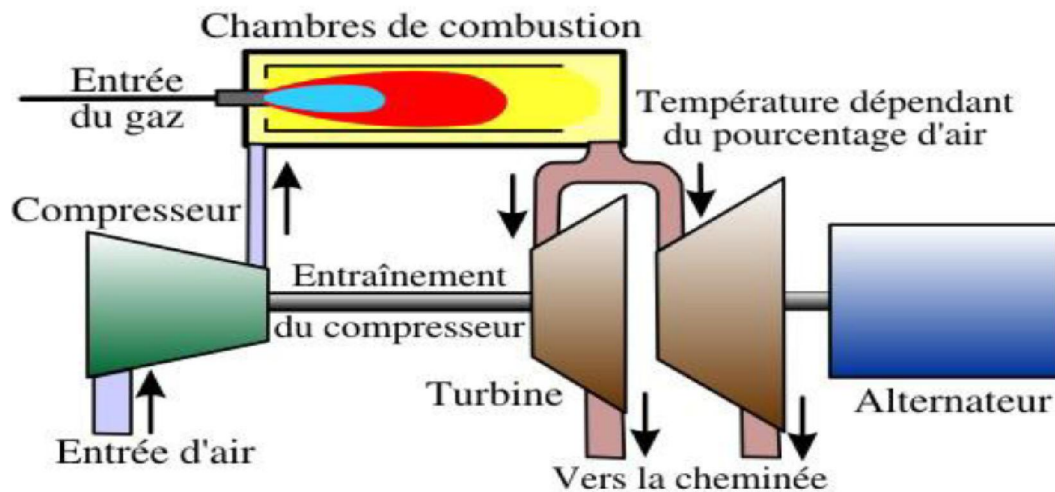


Figure 1 : Les éléments de la turbine à gaz.

I.3 Principe de fonctionnement:

Un compresseur constitué d'un ensemble de roues munies d'ailettes comprime l'air extérieur ambiant à une pression comprise entre 10 et 30 bars environ, du gaz est injecté dans la chambre de combustion ou il se mélange à l'air comprimée et s'enflamme, les gaz chauds se détendent en traversant la turbine transformant l'énergie thermique en énergie mécanique.

Pour atteindre des taux de compression de 20 ou 30, le compresseur est multi étagé, avec parfois une réfrigération intermédiaire destinée à réduire le travail consommé, les rotors axiaux sont constitués d'un empilage de disques, soit montés sur un moyeu central, soit assemblés en tambour sur leur périphérie, les matériaux utilisés vont des alliages d'aluminium ou de titane pour les premiers étages aux alliages d'acier et aux alliages réfractaires pour les derniers étages, qui peuvent supporter des températures atteignant 500 °C.

La chambre de combustion est construite en alliage réfractaire, dans les turbines à gaz, les principales contraintes technologiques se situent au niveau des premiers étages de la turbine de détente, qui sont soumis au flux des gaz d'échappement à très haute température.

Les pièces les plus exposées sont les ailettes (mobiles ou fixes) se trouvant dans les étages de haute pression ou les températures des gaz dépassent les limites des

spécifications du matériau, notamment les aubages du rotor, qui sont très difficiles à refroidir. La figure 2. représente l'effet des trous de refroidissement au niveau de la pale (airfoil), les ailettes sans trous de refroidissement sont disposées où la température des gaz est inférieure à la limite critique du matériau, et de plus, ces aubes sont très sensibles à l'abrasion, il est important donc d'utiliser un combustible très propre (absence de particules et de composants chimiques susceptibles de former des acides), et de limiter la température en fonction des caractéristiques mécaniques des aubages. Les matériaux utilisés pour les aubages de la turbine sont des alliages réfractaires à base de nickel ou de cobalt, et parfois renforcés par des barrières thermiques en céramique ou autres.

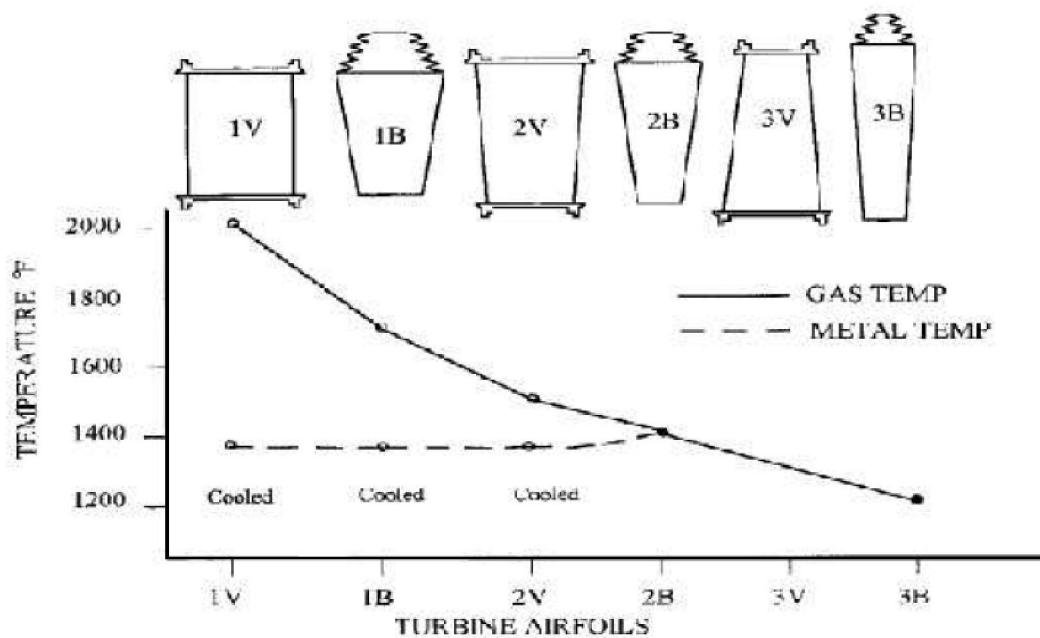


Figure 2 : Profil de température de la turbine.

I.4 Domaines d'application:

Les turbines à gaz ont une très grande utilité dans l'industrie, du fait qu'elles sont des appareils pour la production de l'énergie mécanique. Elles peuvent être utilisées pour l'entraînement des:

Appareils fixes:

Ces appareils sont destinés aux services industriels suivants:

- Transmission électrique, pour la production d'énergie électrique.
- Entraînement des compresseurs.
- Entraînement des pompes.
- Procédés industriels particuliers.

Appareils mobiles:

Du point de vue historique, ces appareils ont été introduits en premier. Ils comprennent les domaines suivants:

- Chemins de fer.
- Propulsion maritime.
- Aviation.
- Traction routière.

Les applications des turbines à gaz découlent directement de leurs avantages spécifiques. Ainsi, la puissance massique élevée se prête bien à la propulsion aéronautique en particulier sur les hélicoptères. La propulsion navale fait également de plus en plus appel aux turbines à gaz notamment pour les navires à grande vitesse. Il existe enfin des exemples d'application à la propulsion ferroviaire et à des véhicules militaires comme des chars d'assaut (XM-1 Abrams ou Leclerc) Par contre, la turbine à gaz est mal adaptée aux véhicules routiers. En effet, les variations de charge et de régime sont trop importantes et trop rapides pour être réalisables avec un rendement correct. De plus, le rendement atteint difficilement 30% pour des moteurs compacts et de faible puissance.

L'autre grand domaine d'emploi des turbines à gaz est la production d'électricité. En effet, il s'agit d'applications à régime constant et à charge relativement constante pour lesquelles le rendement de ces machines est le meilleur. La puissance varie de quelques centaines de kW à près de 300MW.

Les machines les plus puissantes sont en général associées à des turbines à vapeur dans des cycles combinés dont le rendement global tend actuellement vers 60%.

En cycle simple, le rendement est de l'ordre de 30 à 35%. Dans les faibles puissances, le rendement est même inférieur à 30% mais on met alors à profit l'aptitude des turbines à combustion pour la récupération de chaleur dans des applications de cogénération (production simultanée d'électricité et de chaleur).

I.5 Classification des turbines:

La turbine à gaz est classée en cinq grands groupes, où on distingue:

I.5.1 Turbine à gaz Type Frame Heavy Duty:

Ce type constitue la gamme la plus large dans les unités de production de l'énergie ou elle en varie entre 3 MW à 480 MW pour les turbines d'une configuration à cycle simple, les intervalles de service sont environ 100,000 heures (12.5 ans), ces turbines sont conçues pour fonctionner en continu pendant des périodes allant jusqu'à 8000 heures (1 année) avec seulement une petite inspection annuelle.

La température dans la chambre de combustion, et plus particulièrement au niveau des premiers étages des ailettes (mobiles ou fixes) a été augmentée au-delà de 2500°F (1371°C) dans certains types de turbines à gaz et par conséquent l'augmentation de la puissance fournie, et aussi de 50% du rendement. Cette température pourra atteindre 3000°F (1649°C), ce qui va rendre les turbines à gaz plus puissantes et plus efficaces, pour cela un système de refroidissement spécifique par la vapeur suivant un cycle fermé a été prévu dans les designs récents dans le but de maintenir la température des matériaux des aubes inférieure à 1300°F (704°C) et de prévenir les problèmes de corrosion. Comme exemples, la figure 3. et la figure 4. représentent deux configurations différentes pour ce type de turbines, la première appartient à GE ou la chambre de

combustion a une forme annulaire, et la deuxième appartient à Siemens ou la chambre de combustion a une forme de silo.

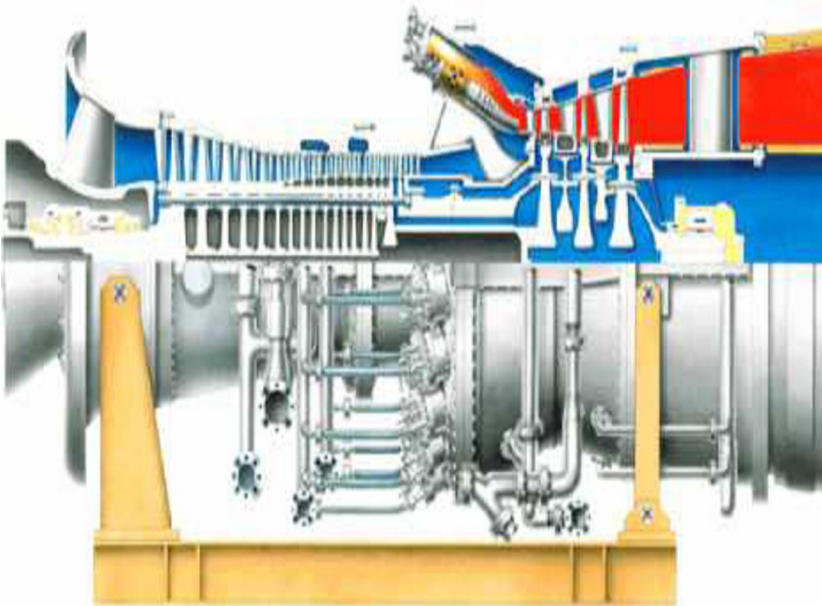


Figure 3 : Turbine à gaz avec chambre de combustion annulaire (GE).

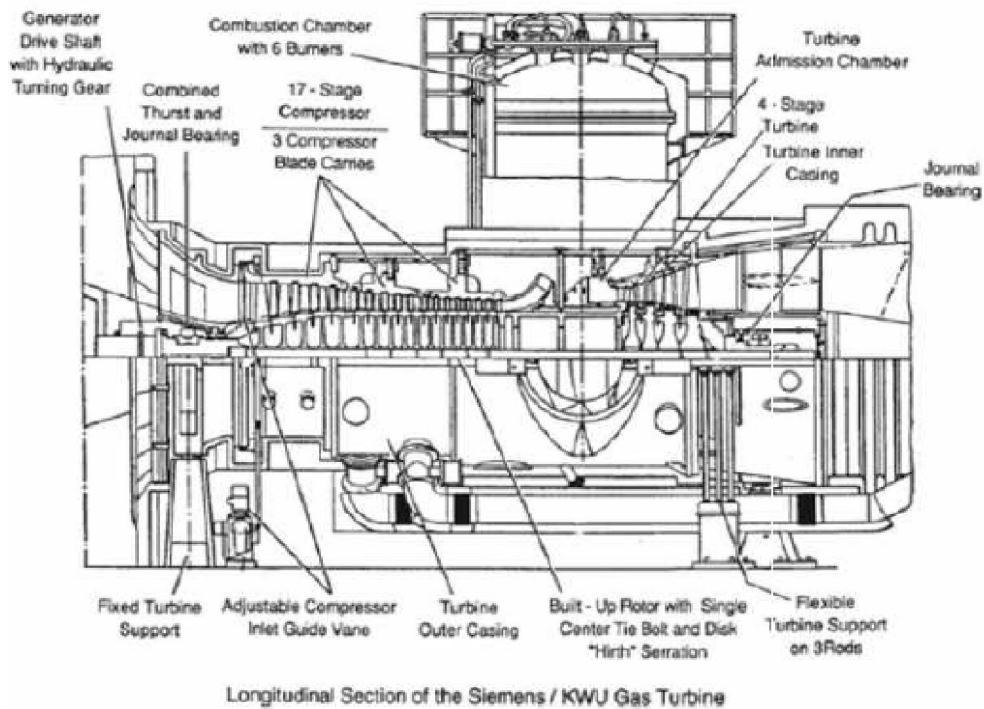


Figure 4 : Turbine à gaz avec chambre de combustion de type silo (Siemens).

I.5.2 Turbines à gaz "dérivées de l'aviation" ou "aérodérivées" (Aircraft-Derivative Gas Turbines):

Ces turbines sont beaucoup plus légères et performantes (η entre 35 et 42 %), mais aussi plus chères, la puissance générée par ces machines aérodérivées est généralement comprise entre quelques centaines de kW et quelques dizaines de MW (de 2.5 MW à 50 MW), correspondant à celles des moteurs aéronautiques (Figure 5), leur efficacité se varie entre 35 % et 45%.

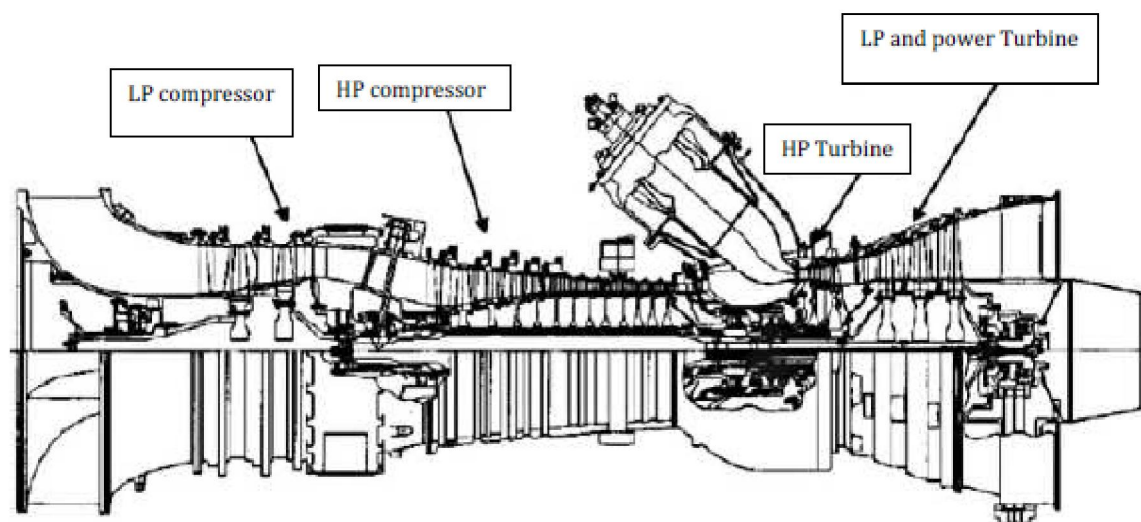


Figure 5 : Coupe longitudinale d'une turbine à gaz aérodérivée .

I.5.3 Turbines à gaz industrielles:

Ce type de turbines peut générer une puissance de sortie de 2.5 MW à 15 MW, elles sont utilisées largement dans les domaines pétrochimiques pour l'entraînement des compresseurs (Figure 6), l'efficacité de ce type est inférieure à 30%.

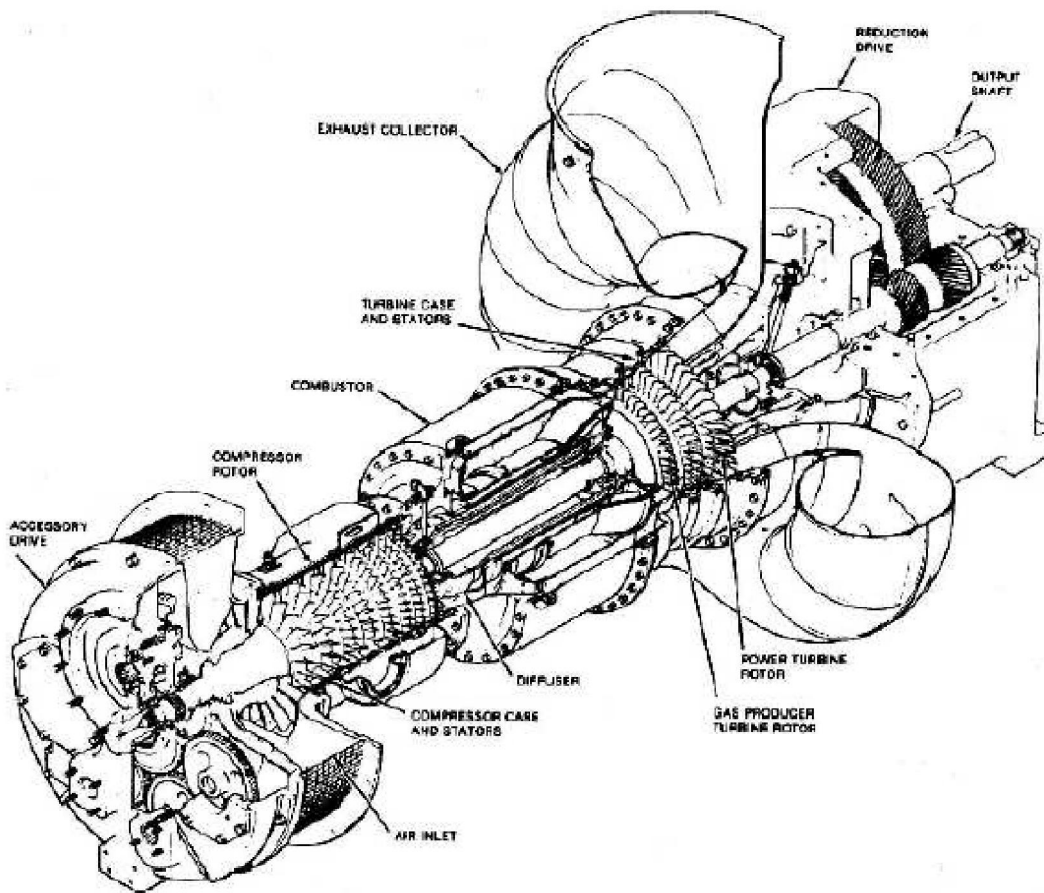


Figure 6 : Turbine à gaz industrielle (medium size).

I.5.4 Petites turbines à gaz:

Ces turbines à gaz sont dans la plage d'environ 0.5 MW–2.5 MW. Elles ont souvent un compresseur centrifuge et une chambre de combustion d'admission radiale (Figure 7). L'efficacité d'une configuration d'une turbine à cycle simple varie d'environ 15–25%.

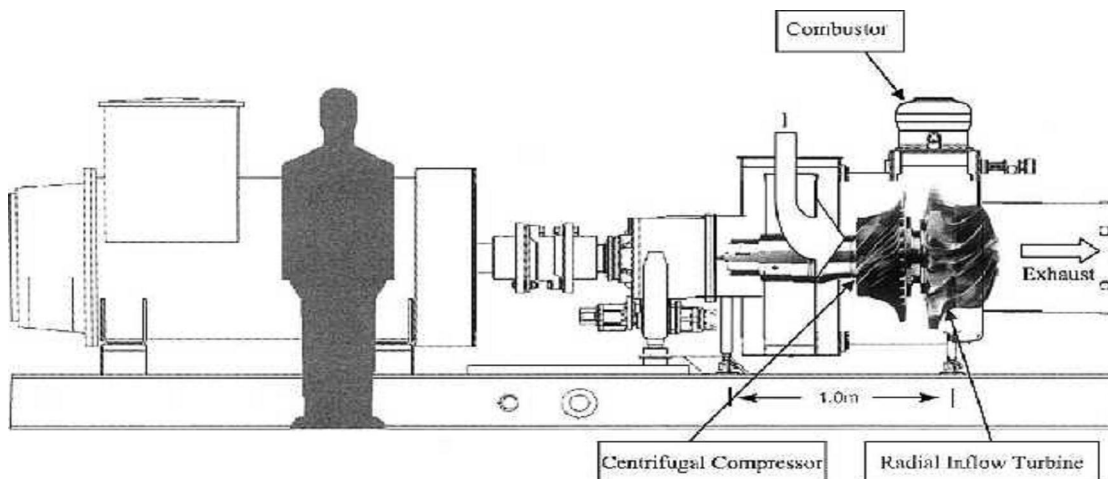


Figure 7 : Coupe d'une petite turbine à gaz à flux radial montrant le rotor turbin.

I.5.5 Micro turbines à gaz:

Ce type de turbine est dans la plage d'environ 20 kW–350 kW, sa croissance a été spectaculaire à partir de la fin des années 1990 (Figure I.1.8), car il y'a une recrudescence dans le marché de la distribution de l'énergie.

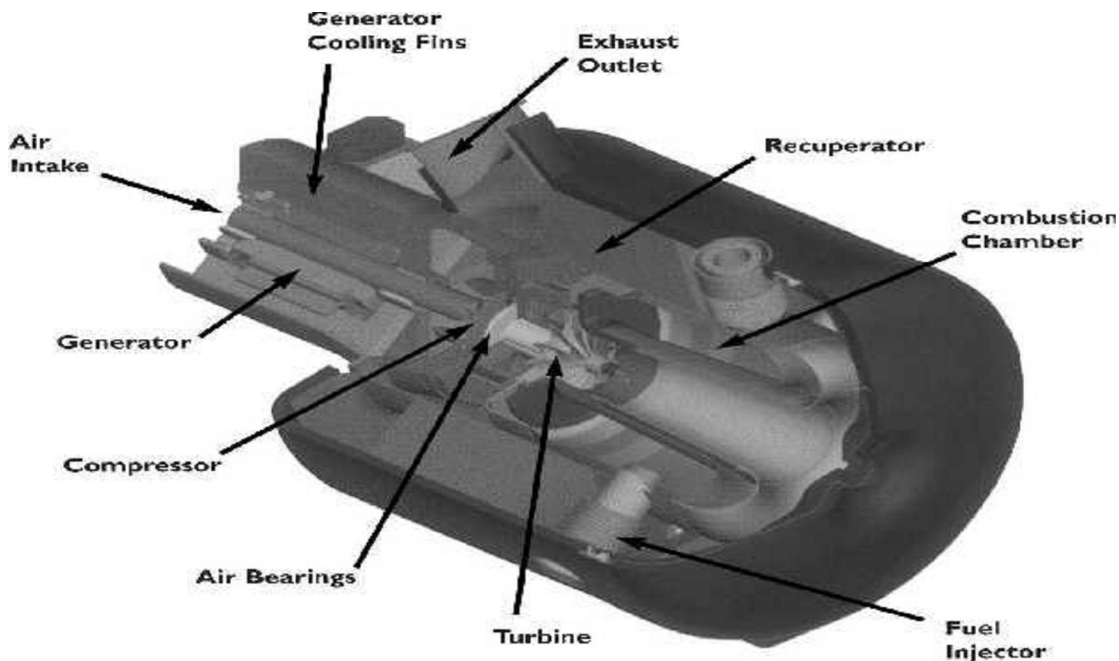


Figure 8 : Schéma d'une micro turbine (Capstone Corporation).

I.6 Présentation de la turbine à gaz FR 9001:

I.6.1 Généralités:

Le MS9001E GE a été introduit en 1970 pour répondre au besoin croissant de 50 Hz turbine à gaz industrielles et de l'utilité des unités ayant une capacité de brûler des nations unies grandes spectre des combustibles. Il était turbine du monde premier gaz supérieure à 100 MW .Le MS9001E a été revalorisé et amélioré à partir des informations accumulées à partir des milliers d'heures de fonctionnement à travers la gamme de produits Le MS9001E est réputé pour son record de fiabilité expérience vaste et State-of-the-art capacités de manutention du combustible, le rendant bien adapté à:

- La production d'électricité (cycle simple ou à cycle combiné).
- La cogénération (traitement à la vapeur ou le chauffage urbain).
- Charge de base, la charge de pointe, une alimentation de secours.

La turbine à gaz est MS9001E cheval de bataille de GE à 50 Hz, prouvée dans jument de 3million d'heures de service d'utilité et de l'industrie, un grand nombre dans les climats difficiles allant jusqu'à partir de la chaleur du désert à l'humidité tropicale de froid arctique.

I.6.2 Construction de la turbine à gaz FRAME 9001

Pour une construction plus simple, un groupe turbine à gaz type 9001 Général Electric comprend les éléments suivants Entrée d'Air, compresseur, système de combustion, turbine et échappement.

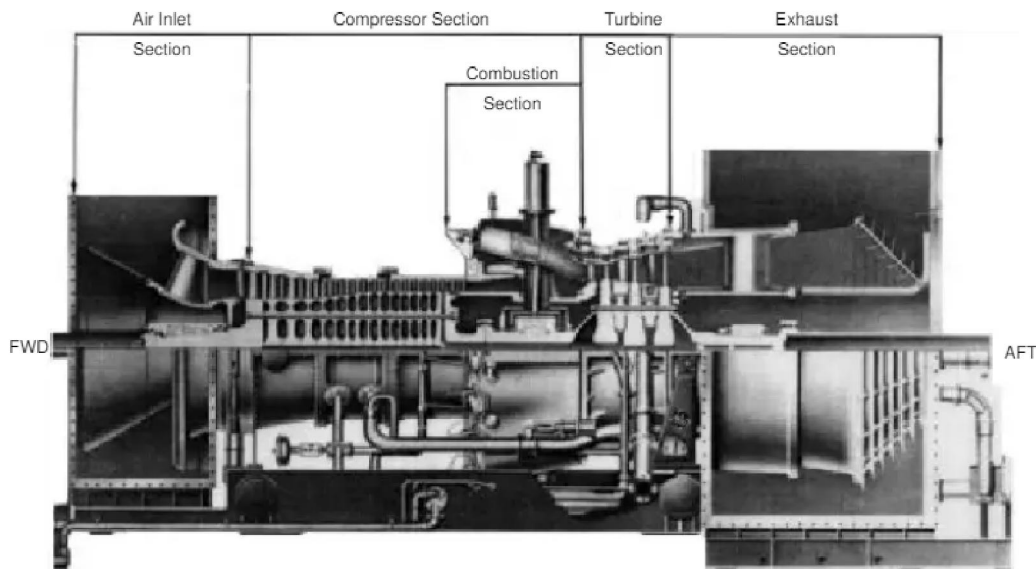


Figure 9 : Principales Sections de L'ensemble de Turbine à gaz MS9001.

I.6.2.1 Le rotor de la turbine (Structure):

Comprend l'assemblage du rotor turbopropulseur (Figure I.10) de deux des colonnes de pôle; des première, deuxième et troisième roues stage turbine à ailettes; et deux de course de la turbine. Les roues sont maintenues ensemble avec "arts". Les positions sélectives des éléments de rotor sont identifiées afin de minimiser les corrections d'équilibrage.

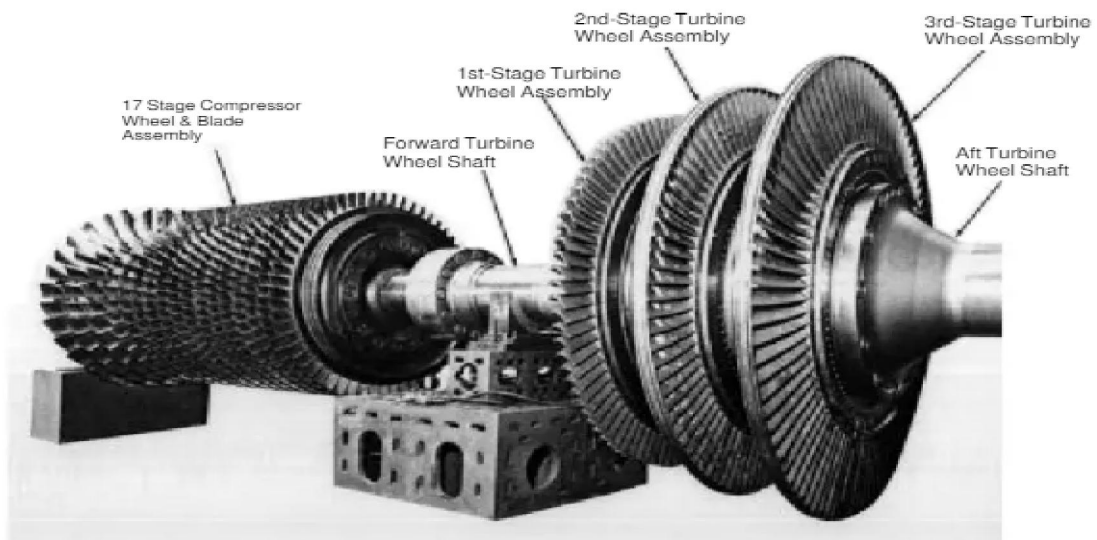


Figure 10 : Ensemble de Rotor de compresseur et de Turbine .

Chapitre II

Ailettes (aubes)

II.1: Généralités sur les ailettes:

L'aube est la partie d'une turbine en forme de cuillère ou de pale sur laquelle s'exerce l'action du fluide moteur. Une turbine comporte plusieurs aubes réparties régulièrement sur son pourtour. La puissance mécanique (résultant de la transformation de l'énergie thermique) est délivrée de façon continue par l'action d'un fluide à énergie élevée, sur les ailettes ou aubes d'une ou plusieurs roues. Les aubes des turbines sont exposées d'une part à la température extrême des gaz chauds, et d'autre part à une force centrifuge de plusieurs tonnes dues à la rotation. Cette accélération tend à arracher les aubes du disque sur lequel elles sont implantées, elles supportent des efforts de trois tonnes et plus par centimètre carré. Ces efforts, qui s'ajoutent aux forces provoquant la rotation et aux vibrations, soumettent la turbine à d'énormes contraintes. Durant leurs utilisations, les aubes de turbines incandescentes sont soumises à un environnement corrosif et à des contraintes mécaniques importantes. En effet, les aubes de turbines sont le siège de phénomènes aérodynamiques très complexes et très importants puisque leur rendement, sur les compresseurs comme sur les turbines, dépend en fait de leur comportement aérodynamique. Leurs extrémités supérieures portent fréquemment une sorte de chapeau, ou cloison jointive avec celle des aubes voisines, de sorte que la turbine paraisse entourée d'un anneau plat. Ce dernier a pour fonction d'empêcher les gaz chauds de s'échapper par l'extrémité supérieure des aubes. Il renforce en conséquence la turbine tout en augmentant son efficacité. Il a toutefois l'inconvénient de peser une certaine masse qui sous effet de la force centrifuge se transforme en contrainte mécanique.

II.2: Classification des ailettes :

II.2.1: Les aubes du rotor (aillette mobile) :

Comme une aile, une aube est composée d'un bord d'attaque d'une âme et d'un bord de fuite, et son profil est optimisé pour respecter le domaine d'utilisation de l'étage du compresseur auquel elle appartient.

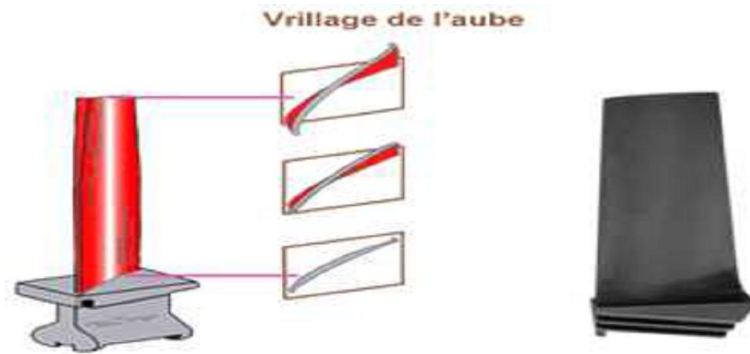


Figure 11: L'aube du rotor [01] .

Il y a différentes technologies de liaison entre le disque (roue) et l'aube suivant les constructeurs et les compresseurs. En voici quelque unes.

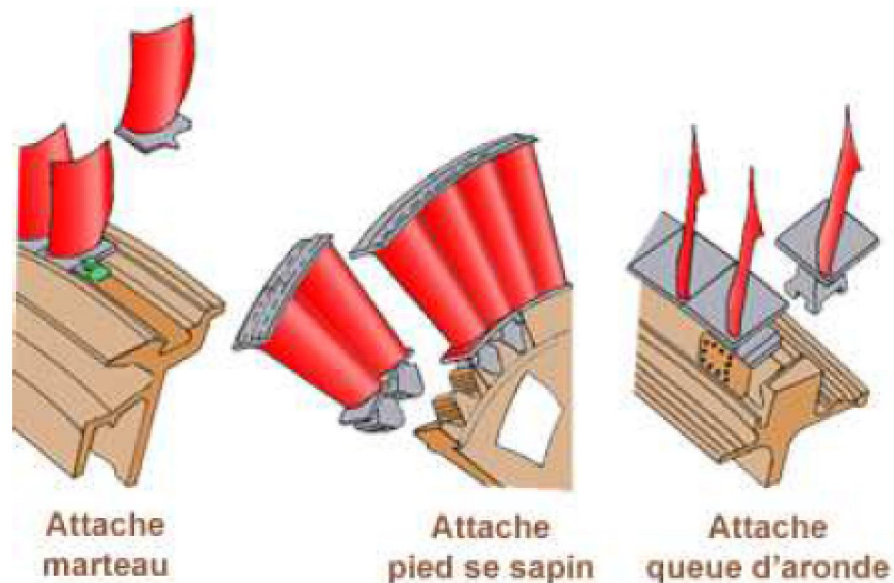


Figure 12: la fixation des aubes sur le disque. [01]

II.2.2: Les aubes du stator (ailette fixé):

Comme les aubes du rotor, les aubes de stator ont une forme de profil d'aile. En outre, l'angle d'attaque des aubes de stator peuvent être fixes ou variables.

Ces aubes à calage variable sont portées par le carter du stator et sont réglables en position autour de leurs axes pour optimiser l'écoulement des gaz. L'angle d'attaque des aubes est contrôlé en fonction des conditions de fonctionnement par un système d'asservissement qui commande le déplacement d'une couronne rotative, extérieure au carter et reliée aux dites aubes par des biellettes respectives. [02].

Le système d'asservissement peut être électrique, pneumatique ou hydraulique, il est commandé par l'unité de commande de carburant.

Ci-dessous en bleu les aubes du stator (redresseur) et en rouge les aubes du rotor.

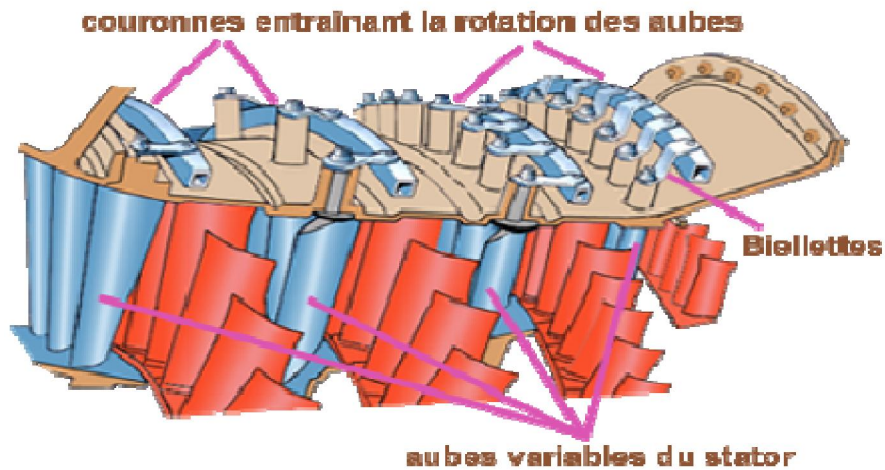


Figure 13: les aubes de rotor et les aubes de stator. [01]

Les aubes de stator peuvent être fixées directement sur le carter du compresseur ou par un anneau de retenue qui est fixé sur le carter de compresseur. La plupart des aubes de stator sont fixées par groupes (5 à 6 aubes) avec un pied en queue d'aronde.

Ci-dessous à gauche les aubes du redresseur (stator) sont fixées directement sur le carter de compresseur, à droite, les aubes sont fixes au carter par une bague de retenue.

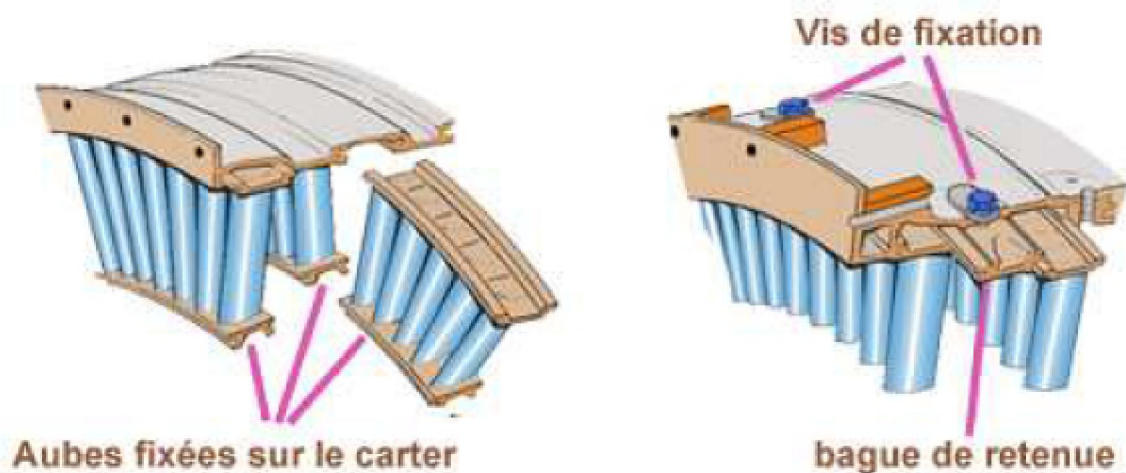


Figure 14: La fixation d'aube sur le carter de compresseur. [01]

Chapitre III

Fabrication des ailettes

III.1: Usinage :

La compétitivité de l'usinage des ailettes de turbines à gaz et à vapeur est un défi car ces pièces regroupent la plupart des caractéristiques les plus difficiles à usiner [06]:

- l'usinabilité des matières dans lesquelles sont faites les pièces est variable (certaines matières nécessitent des plaquettes spécifiques),
- des quantités très importantes de matière doivent être enlevées et de bons états de surface doivent être produits (sans effets négatifs sur les aubes, notamment des contraintes résiduelles),
- la forme des pièces est complexe (certaines aubes demandent une programmation FAO avancée avec les meilleures méthodes), les aubes sont sujettes aux vibrations pendant l'usinage (pièces longues et minces qui demandent des outils avec une coupe légère capables d'absorber les vibrations),
- l'efficacité de la production est importante (production de grands volumes),
- plusieurs outils sont nécessaires et ils doivent être appliqués correctement (du simple surfacage au profilage avec 4 ou 5 axes).

III.1.1: Fraisage des aubes de turbines :

Les aubes des turbines sont fraisées avec une précision de forme de l'ordre du centième de millimètre.

III.1.1.1: Ébauche de brut quelconque 3D :

L'aube de turbine est usinée à partir d'une ébauche librement définie ou quelconque.

La stratégie évite automatiquement les trajets à vide dans les parties en contre-dépouilles. Des profondeurs de coupe régulières et l'avance indépendante des axes de rotation offrent des conditions de coupe constantes. Le serrage des axes de rotation permet d'utiliser des outils de plus grande taille et d'obtenir un débit de copeaux en volume élevé. (Figure III.1).

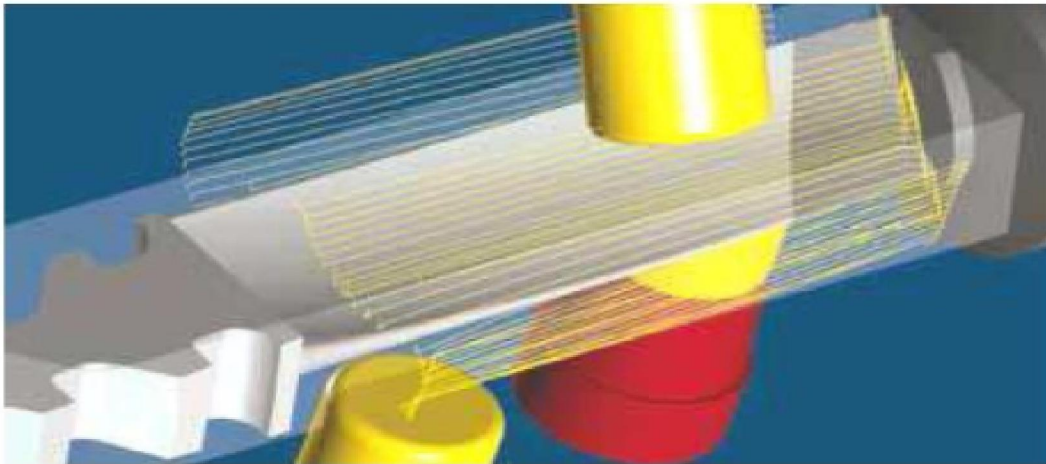


Figure 15: Ébauche de brut quelconque. [07]

III.1.1.2. Usinage en bout d'aube de turbine 5 axes:

Ce cycle permet la finition des surfaces de la pale. Le trajet d'outil hélicoïdal peut être généré comme un usinage simultané 4 axes ou 5 axes. Pour les fraises cylindriques et toriques, l'angle guide est toujours automatiquement corrigé pour ne pas endommager les surfaces et pour que seule la partie coupante de l'outil soit sollicitée (figure III.2). [07]

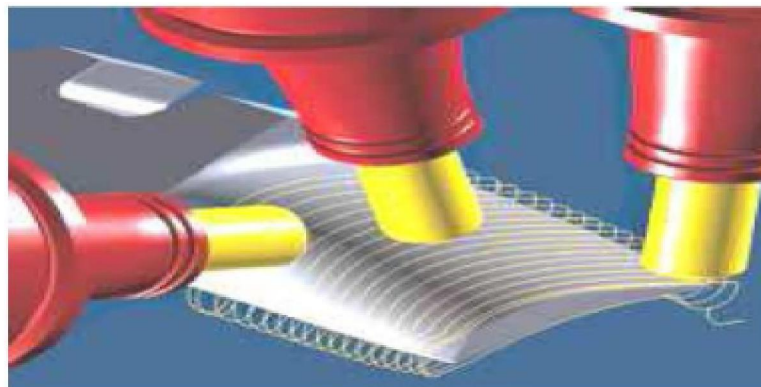


Figure 16: Usinage en bout d'aube de turbine 5 axes. [07]

III.1.1.3. Usinage en roulant d'aubes de turbine 5 axes:

La partie située entre la pale et les surfaces latérales, qui ne peut être fraisée avec l'usinage en bout 5 axes, est usinée avec l'usinage des flancs 5 axes. Les angles guides et d'inclinaison latérale offrent d'excellentes conditions de coupe. Par ailleurs, l'usinage des flancs 5 axes permet de créer rapidement des surfaces latérales légèrement courbées avec l'usinage en roulant (figure 17). [07]

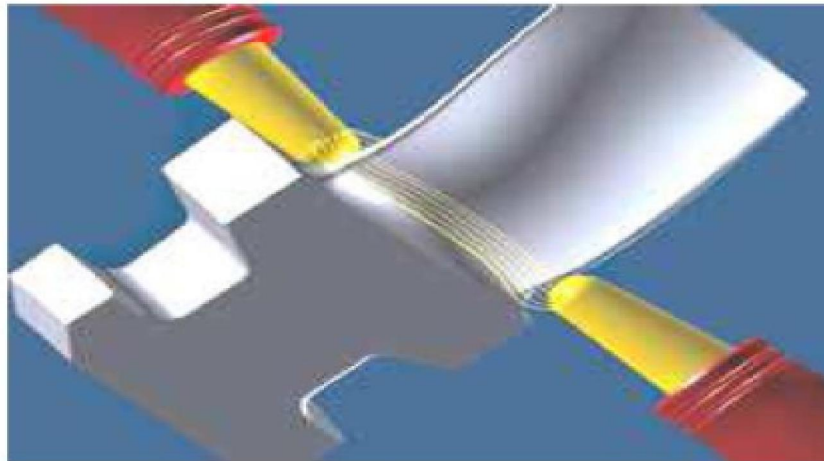


Figure 17: Usinage en roulant d'aubes de turbine 5 axes. [07]

La géométrie des aubes de turbines détermine l'efficacité des moteurs d'avions, des turbines à vapeur ou des turbo chargeurs. La tendance s'oriente clairement vers les profilés minces en matériaux durs. Les aciers fortement alliés sont les matériaux les plus simples qui sont usinés dans les centres de fraisage de Starrag Heckert. Désormais, on serre fréquemment des alliages à base de titane ou de nickel dans les machines. S'ajoute à cela le fait que les aubes sont produites en série (figure 18). [07]

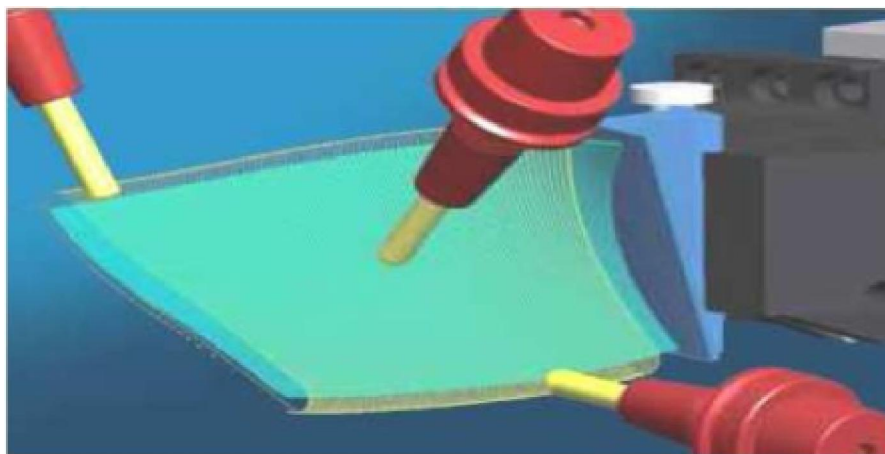


Figure 18: Usinage en bout en 5 axes d'une aube de compresseur. [07]

Lors d'usinage, des défauts apparaissaient jusqu'à présent à la surface: marques de retour, arêtes écrasées ou traces de broutage. Même si toutes les tolérances étaient respectées, on pouvait voir fréquemment sur les anciennes aubes de turbines des «ghostlines» ou des traces de broutage. Une surface aussi impeccable ne pouvait jusqu'à présent être obtenue que par une opération supplémentaire de meulage, un procédé qui est cependant contesté, étant

donné qu'il risque de modifier la géométrie des aubes. Ce sont surtout les surfaces d'amenée d'air qui sont délicates [08].

III.2: Matériau pour réalisation d'aubes:

A partir des années 1970, les alliages à base de Nickel IN 738 ont été largement utilisés dans la fabrication des ailettes vu leurs caractéristiques mécaniques et chimiques, ainsi que leur capacité de supporter les hautes températures et pressions. Des nouveaux alliages dérivés ont apparus, tel que le GTD-111 ou le GTD-222 qui ont été développés et brevetés par GE, pour renforcer et améliorer la résistance à la corrosion des ailettes [9,10].

Par conséquent, différents matériaux et revêtements résistants à la température ont été considérés un certain nombre de plus en plus la température des alliages d'aubes de turbine efficace sont présentés dans la(figure 19). [11]



Figure 19: Développement de matériaux d'aube. [12]

III.2.1: Les superalliages:

Un superalliage ou alliage à haute performance est un alliage métallique présentant une excellente résistance mécanique et une bonne résistance au fluage à haute température (typiquement 0,7 à 0,8 fois sa température de fusion), une bonne stabilité surfacique ainsi qu'une bonne résistance à la corrosion et à l'oxydation. Les superalliages

présentent typiquement une structure cristalline cubique à face centrée de type austénitique. Les éléments d'alliages à la base d'un superalliage sont le plus souvent le nickel, le cobalt et le fer, mais aussi le titane ou l'aluminium. [13]. Le développement des superalliages s'est appuyé à la fois sur des innovations dans les domaines de la chimie et des processus de fabrication, réalisées dans les domaines de l'aérospatial et de l'énergie. Les superalliages trouvent leurs applications habituelles dans les turbines des moteurs d'avion (aubes de turbine des veines chaudes des turboréacteurs), les turbines à gaz, ou les turbines de l'industrie marine.

Les superalliages sont des matériaux métalliques destinés à des usages à haute température comme les zones chaudes des turbines à gaz ou des turboréacteurs. Ils permettent notamment des gains de rendement en offrant la possibilité à ces systèmes de fonctionner à des températures plus élevées. On peut diviser les superalliages en trois familles :

- alliages à base de fer-nickel-chrome;
- alliage à base de nickel ;
- alliage à base de cobalt.

Leur résistance élevée au fluage est due principalement aux trois facteurs :

- refroidissement de la matrice par addition des éléments: molybdène, tungstène, cobalt, niobium, tantale, vanadium ;
- présence d'une phase intermétallique finement précipitée ;
- présence de carbures.

III.2.2.1: Superalliages à base de nickel:

Ils sont connus notamment sous les noms de marques: Inconel (Inco) et Hastelloy (Haynes international). Ils présentent d'ailleurs de très nombreuses nuances dont des alliages super réfractaires utilisés à hautes températures [13].

III.3: Processus de contrôle et de vérification des ailettes:

Les alliages métalliques posent des défis spécifiques à l'inspection des aubes de turbines. Tout manque de précision dans la géométrie d'une pale ou toute erreur de positionnement engendre des pertes énergétiques et peut entraîner une rupture de l'aube. Pour garantir un positionnement et un comportement aérodynamique optimaux de l'aube, on applique des tolérances serrées à la géométrie et à l'alignement des aubes de turbine.

Le refroidissement intérieur par air permet de faire fonctionner les aubes de turbine à des températures extrêmement élevées, de l'ordre de 1000°C. L'inspection de l'épaisseur des parois des aubes est alors capitale pour assurer une résistance optimale et un parfait

équilibrage du refroidissement sur toute la surface aérodynamique des aubes. De plus, les imperfections structurelles, y compris les fissures et les inclusions, peuvent avoir des conséquences néfastes sur la durée de vie des aubes.

Les défis à relever pendant l'inspection des aubes de turbine

- Inspection non destructive: on utilise le scanning laser, les rayons-X et la Tomographie Numérique pour obtenir une image et qualifier la structure interne des aubes de turbine. Les aubes de turbine sont des pièces onéreuses.
- Grande précision de l'inspection: les formes gauches et aérodynamiques des aubes ainsi que les entités géométriques spécifiques exigent une vérification précise. De plus, l'épaisseur des parois internes subit des écarts géométriques serrés.
- Matériaux denses: l'inspection des matériaux denses au moyen d'une puissante source aux rayons-X permet aux rayons-X de traverser l'aube.
- Dispersion des rayons-X: l'inspection des matériaux denses peut entraîner une dispersion des rayons-X, ce qui donne alors des images d'une qualité moindre.
- Inspection rapide: les aubes de turbine sont inspectées à différentes étapes du prototypage et du processus de production: après le moulage, après des usinages spécifiques et après les travaux de finition.
- Reconstruction rapide par Tomographie Numérique: dans un environnement de production, il est important d'obtenir rapidement des résultats d'inspection.
- Échantillons de plus grande taille: les aubes de turbines sont de grandes pièces et nécessitent une cabine d'inspection qui offre suffisamment d'espace.

Traditionnellement, les aubes de turbine sont vérifiées avec des palpeurs par contact à l'aide d'une inspection par MMT. Cependant, les fabricants d'aubes utilisent de plus en plus le scanning laser pour vérifier la forme des surfaces aérodynamiques des aubes et les dimensions des surfaces fraisées, des perçages et des alignements de rainures. Quand il s'agit d'aller voir au cœur de la structure interne, de connaître l'épaisseur des parois et les dimensions des trous de refroidissement, la technologie d'inspection la plus appropriée est celle qui utilise les rayons-X et la Tomographie Numérique.

Si on les compare à l'inspection traditionnelle par contact, les scanners laser LC et XC permettent de capturer plus de données sur les points, avec une vitesse d'acquisition plus élevée, la mesure et l'analyse faisant partie du processus d'inspection automatique. En même temps, la mesure sans contact demande peu, voire pas d'alignement de l'aube et supprime la compensation du palpeur au moment de scanner les surfaces gauches des aubes. En capturant

des milliers de points d'inspection par seconde, le logiciel Focus peut ajuster encore plus précisément les lignes pour déterminer la position des bords des rainures et vérifier les angles entre les rainures. Le scanning laser et le logiciel Focus de traitement par nuage de points sont les pierres angulaires d'un processus d'inspection numérique bien plus rapide et ne reposant pas sur l'opérateur.

Les systèmes aux rayons-X, d'une puissance allant jusqu'à 450kV, sont innovants. Ils sont devenus une nouvelle référence pour la mesure des aubes de turbine et le contrôle non destructif des pièces moulées de petite taille et de taille moyenne. Au cœur de ce puissant équipement se niche une source micro focus de 450kV, offrant une résolution et une précision supérieures et accessible avec un écran plat ou un détecteur de faisceau linéaire courbe (CLA). Le détecteur CLA optimise la collecte des images aux rayons-X en supprimant le phénomène de dispersion qui affecte d'habitude les radiographies 2D des aubes et des autres pièces métalliques. Ce système flexible prend en charge les petites pièces ou les grandes pièces comme les aubes de turbine, les pièces moulées, etc.

Applications classiques

Application 1: Analyse détaillée de la structure interne des aubes de turbines

Il faut non seulement inspecter les surfaces aérodynamiques des aubes, mais aussi vérifier la structure interne des aubes. La micro Tomographie Numérique industrielle cherche les inclusions, les fissures et les autres imperfections de la matière avant qu'on ne mette en œuvre les usinages. Des images précises du profil de l'aube mettent en évidence l'épaisseur exacte des parois internes, sur toute la longueur des parois.

Application 2: Inspection automatisée des aubes, du type bonne/mauvaise

Toute la procédure d'inspection peut être définie et automatisée en amont. On peut alors inspecter automatiquement une série d'aubes de turbine, en appliquant un simple test bonne/mauvaise pour chaque aube inspectée.

III.4: Montage d'usinage :

III.4.1: Définition :

Un montage d'usinage est un outillage utilisé pour fixer la pièce solidement à la bonne position dans l'espace de travail de la machine-outil. La conception du montage d'usinage joue un rôle important pour obtenir une pièce usinée de bonne qualité. Elle s'inscrit au sein d'un processus plus global de fabrication industrielle. Les contraintes que doit respecter un montage d'usinage sont les suivantes [15]:

- Garantir un libre accès des outils de coupe aux surfaces à usiner,
- Garantir la qualité de la pièce à usiner,
- Garantir la stabilité de la pièce sous les sollicitations dues aux efforts de coupe,
- Garantir un montage et un démontage aisé de la pièce,
- Permettre l'évacuation des copeaux et du fluide de coupe,
- Garantir la sécurité de l'opérateur pour la mise en œuvre du montage.

Il existe trois types de montage d'usinage qui sont montrés dans le tableau suivant:

Standard	spécifique	modulaire
. Mandrin (3mors,4mors) . table de fraiseuse . pence . étau . bride	Quand en crée un montage spécial n'est existe pas dans le montage standard.	Par exemple le montage d'un avion il est plus que spécial ou le montage d'un bateau. Il sert pour des séries renouvelables et des montages fixes.

Tableaux 1: Types de montage d'usinage

Objectif du montage d'usinage

L'objectif premier du montage d'usinage est de situer précisément la pièce dans l'espace de travail de la machine-outil par rapport à un référentiel afin d'assurer l'usinage au bon endroit sur la pièce. Cette mise en position ne doit pas être perturbée par les efforts de coupe, de bridage et d'inertie. De plus, les outils de coupe ne doivent pas entrer en collision avec les éléments du montage d'usinage tout au long de leurs trajectoires.

III.4.2: Fonction :

Les fonctions principales que doit remplir le montage d'usinage sont [15] :

Positionner la pièce

Durant l'usinage, la pièce doit être positionnée précisément dans l'espace de travail de la machine-outil. Cette condition est nécessaire pour garantir un bon positionnement des usinages sur la pièce en respectant l'iso statisme et assurant le maximum de précision et de stabilité. Pour cela, le posage est une combinaison d'appui prépondérant, secondaire et tertiaire qui peut être de type 3-2-1r (plan, linéaire, butée), de type 3-2-1c (plan, centreur, locating) ou de type 4-1-1 (pivot, butée, butée) (Figure 20).

Maintenir la pièce

Durant l'usinage, la pièce doit être maintenue en position sur ses appuis pour éliminer tout risque de mouvement dû aux sollicitations mécaniques extérieures comme les efforts de coupe, le poids de la pièce et les forces d'inertie. Ce maintien est assuré par un bridage qui peut être de mode bride lorsque l'effort de bridage est opposé à l'appui plan prépondérant, de mode étau lorsque l'effort de bridage est opposé à l'appui linéaire d'orientation et de mode mandrin lorsque la géométrie d'appui participe aussi au bridage (Figure 21).

Soutenir la pièce

Dans certains cas, il est nécessaire d'ajouter des soutiens pour éviter les déformation et/ou les vibrations indésirables de la pièce durant son usinage. Le soutien est assuré par des éléments réglables afin de ne pas perturber la qualité de la mise en position de la pièce dans l'espace de travail de la machine-outil.

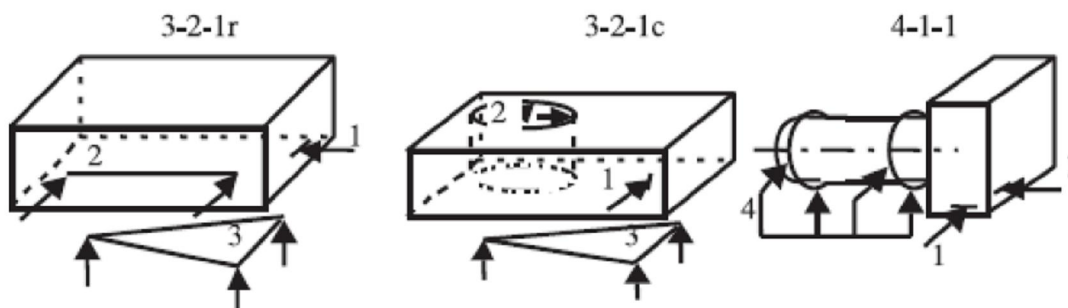


Figure 20: Les différents types de posage.

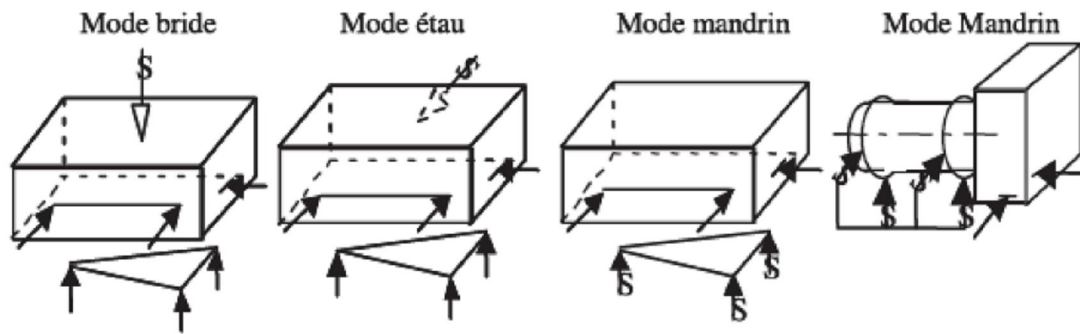


Figure 21: Les différents modes de bridage.

III.4.3: Montage modulaire :

Les montages modulaires (figure 22) sont réalisés à partir d'éléments modulaires standards assemblés pour obtenir un porte-pièce désiré. Ils peuvent être conçus et réalisés rapidement. Comme ces montages sont démontés à chaque campagne d'usinage, il faut, en contrepartie, avoir d'une part un stock d'éléments modulaires suffisant (ce qui représente un coût non négligeable) et d'autre part des opérateurs pour effectuer le montage, le réglage puis le démontage et le nettoyage à chaque lancement de lot.

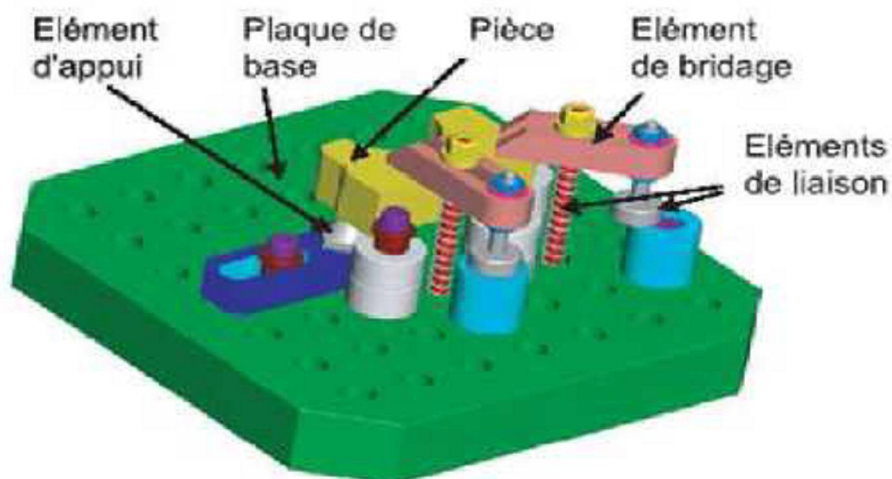


Figure 22: Exemple d'un montage modulaire .

Les montages d'usinage modulaires pour le fraisage offrent les avantages suivants :

- Gain de temps incontestable sur l'étude et la réalisation d'un montage, mais aussi sur le temps global de mise en œuvre (délai total de fabrication du montage).

- Flexibilité: modifications faciles et rapides en fonction de l'évolution des pièces.
- Parfaitement adapte aux études réalisées par C.A.O.
- Capacité de bridage étendue.
- Précision liée à la rigidité du système: grande résistance aux efforts de coupe et de bridage.
- Conforme aux adaptations pour palettisation ou cellules flexibles.
- Capacité de brider des pièces en fonction du type de machine: sur centre d'usinage à broche horizontale ou verticale, sur fraiseuses, sur machines à mesurer 3D.
- Grande performance par ses possibilités de prise de pièces.
- C'est un outillage très performant pour la sous-traitance qui permet de réduire les délais de fabrication.

III.4.4: Groupement de pièce en panoplie ou en multi-phase :

Pour les montages d'usinage modulaires on peut grouper un ensemble de pièces sur le même montage, ceci est généralement utilisé pour les pièces de petites dimensions et pour des moyennes et grandes séries. Le montage est dit en panoplie si on est dans la même phase sinon on change de phase et l'on est alors en multi-phase.



Figure 23: Groupement de pièces sur le même montage.

III.4.5: Processus de conception du montage d'usinage :

Le processus de conception du montage d'usinage comprend quatre parties qui sont :

- Description du problème de conception du montage d'usinage:

Un problème de conception dans le cas général peut toujours être défini comme un problème d'optimisation qui englobe trois éléments: les variables de conception, les contraintes de conception et les objectifs de conception. Pour la conception du montage d'usinage la recherche de la solution optimale globale est difficile à obtenir mais l'optimisation des différents paramètres comme les forces de serrage optimales, le placement des points d'appui optimal reste possible. D'une façon générale on cherche une solution pertinente.

- Analyse pour la conception du montage d'usinage:

Chaque montage d'usinage devrait subir à des différentes analyses, cinématiques, de forces et de déformations, pour vérifier si sa configuration répond aux contraintes de conception du montage d'usinage.

- Optimisation dans la conception du montage d'usinage:

Optimiser une conception d'un montage d'usinage c'est la détermination des forces de bridage minimales en statique et en dynamique, la minimisation des déformations et des défauts de mise en position.

- Vérification de la conception du montage d'usinage :

L'objectif de la vérification est de définir, mesurer et optimiser la qualité du montage d'usinage, c.-à-d. la détection de n'importe quelle interférence qui peut se produire pendant la conception entre les différents éléments du montage d'usinage, ainsi que la mise en position, les tolérances, la stabilité de la pièce, l'accessibilité et les forces de bridage minimales.

III.4.6: Démarche de conception du montage d'usinage :

Les quatre étapes suivantes sont les plus couramment utilisées dans la conception des montages d'usinage :

- Sélection des éléments technologiques en contact avec la pièce : Dans cette étape le choix se fait sur les éléments d'appui, les éléments de bridage et la plaque de base qui est le support d'assemblage de tous les éléments précédents.

- Placement des éléments technologiques en contact avec la pièce: Cette étape est consacrée pour le placement des éléments technologiques tout en respectant le processus de conception.

- Éléments de liaison: Dans cette étape on fait le choix des éléments de liaison pour les éléments d'appui et les éléments de bridage.

➤ Assemblage: Positionnement et orientation de tous les éléments technologiques et les éléments de soutien sur la plaque de base, puis la vérification de la solution finale.

III.4.7: Description du problème de conception du montage d'usinage :

Un problème de conception dans le cas général peut toujours être défini comme un problème d'optimisation qui englobe trois éléments: les variables de conception, les contraintes de conception et les objectifs de conception. Pour la conception du montage d'usinage la recherche de la solution optimale globale est difficile à obtenir mais l'optimisation des différents paramètres comme les forces de serrage optimales, le placement des points d'appui optimal reste possible. D'une façon générale on cherche une solution pertinente.

Chapitre IV

Précision et Répétabilité

IV.1 : Précision :

La précision d'une mesure est l'accord (ou la différence) entre le résultat d'une mesure et la vraie valeur du mesura de (la valeur du mesura de n'est en général pas exactement connue).

Ce type de tests concerne l'évaluation de la sensation de notre montage aux vibrations, bruits et autres nuisances dans l'environnement d'usinage. On peut également évaluer le manque de précision de notre instrument de mesure par ce type de test. Pour évaluer la précision, on calcul l'écart entre la position de commande (consigne) et la moyenne des positions atteintes lorsqu'elles s'approchent de la position de commande.

D'après la norme ISO 9283 [16], la précision de positionnement se calcule comme suit :

$$APp = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2}$$

$$APx = (\bar{x} - x_c)$$

$$APy = (\bar{y} - y_c)$$

$$APz = (\bar{z} - z_c)$$

Avec :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j, \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j$$

\bar{x}, \bar{y} et \bar{z} : Sont les coordonnées du barycentre d'un ensemble de points obtenu après la répétition de n fois de la même position.

x_c, y_c et z_c : Sont les coordonnées de la position de commande (consigne).

IV.2 : Répétabilité :

Une mesure est répétable lorsque l'on vérifie la proximité de l'accord entre les résultats des mesures successives du même mesura de, effectuées dans les mêmes conditions de mesure:

- même procédé de mesure,
- même observateur,
- même instrument de mesure, utilisé dans les mêmes conditions
- même emplacement,
- répétition sur une courte période de temps.

La dispersion des résultats permet de quantifier la répétabilité.

Ce type d'évaluation concerne la répétabilité du MU, il exprime la proximité entre les positions atteintes, après n répétitions de la position de commande (consigne).

Pour une position donnée, la répétabilité de positionnement est exprimée par RP_i , laquelle est le rayon de la sphère dont le centre est le barycentre AP_p , voir (figure IV.1), et qu'est calculée comme suit :

$$RP_i = \bar{I} + 3S_i$$

avec:

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_j$$

$$I_j = \sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2}$$

avec:

\bar{x}, \bar{y} et \bar{z} : Sont les coordonnées du barycentre d'un ensemble de points obtenu après la répétition de n fois de la même position.

X_j, Y_j et Z_j : Sont les coordonnées de $j^{ème}$ ème positions atteintes.

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (I_j - \bar{I})^2}{n-1}}$$

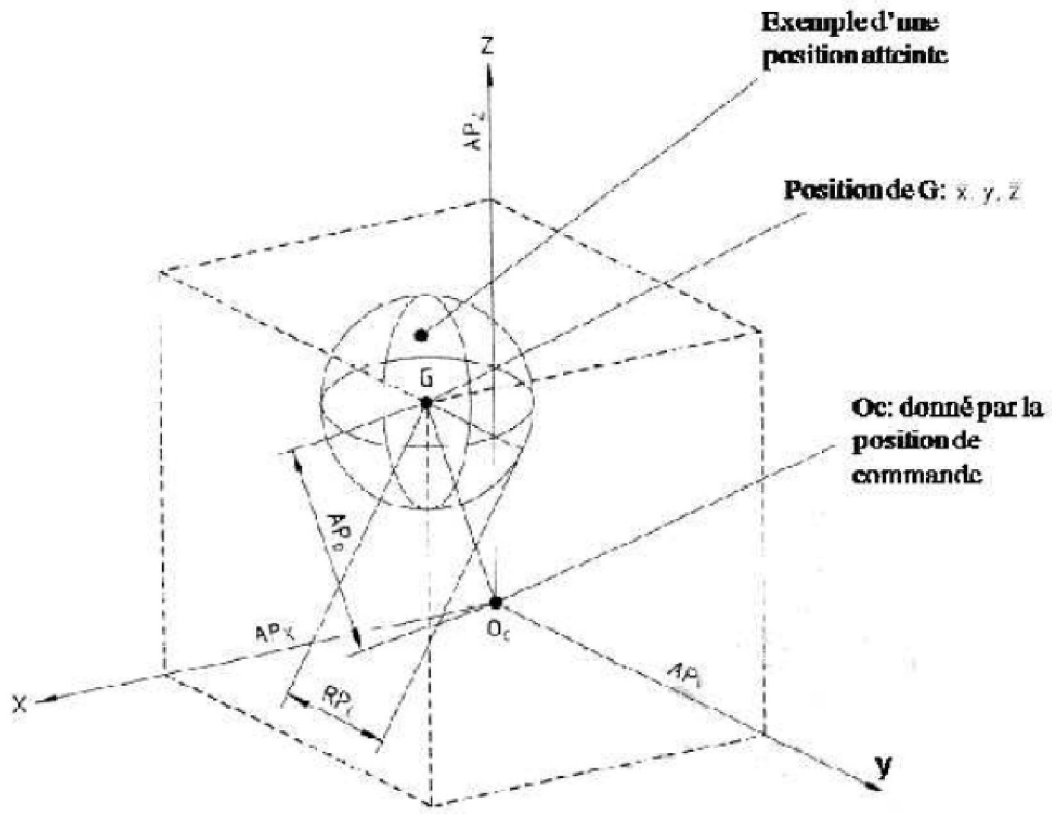


Figure 24 : précision de positionnement et répétabilité [16]

IV.3 : ISOSTATISME :

IV.3.1 : GENERALITES :

La fabrication des pièces unitaires ou en série, l'interchangeabilité, le respect de la cotation et des conditions de fonctionnement imposent le montage des pièces et des outils sur les machines de façon précise, stable et sans incertitude de position. Dans la fabrication en série, les pièces sont démontées, remontées et reprises très souvent en fonction des difficultés et complexités d'usinage. Ces reprises obligent à retrouver systématiquement et identiquement l'égalité d'équilibre des pièces sur les machines pour assurer la précision d'usinage et respecter la cotation du plan de définition. Ce plan exige une cotation sans équivoque pour garantir l'interchangeabilité et l'assemblage des pièces.

Pour permettre d'assurer rigoureusement l'égalité d'équilibre des pièces sur les machines, il faut faire appel à l'ISOSTATISME matérialisé sur les appareillages par des appuis placés de telle sorte que la cotation soit respectée [17].

IV.3.2 : DEFINITION :

C'est l'ensemble des composants qui concourent à la liaison de la pièce et du porte pièce en permettant l'élimination des degrés de liberté (maximum 6). L'ensemble de ces composants doit permettre une remise en position identique après la pose d'une nouvelle pièce sur son porte-pièce pour assurer une bonne précision à l'usinage [17].

IV.3.3 : MISE EN POSITION ISOSTATIQUE :

IV.3.3.1 : Notion de Degrés de liberté :

Un solide libre dans l'espace (cas d'une pièce à usiner avant sa mise en position sur une machine) possède 6 degrés de liberté (figure 25), que l'on définit ainsi, par rapport à un système d'axes orthogonaux :

- 3 translations: T_x, T_y, T_z
- 3 Rotations: R_x, R_y, R_z

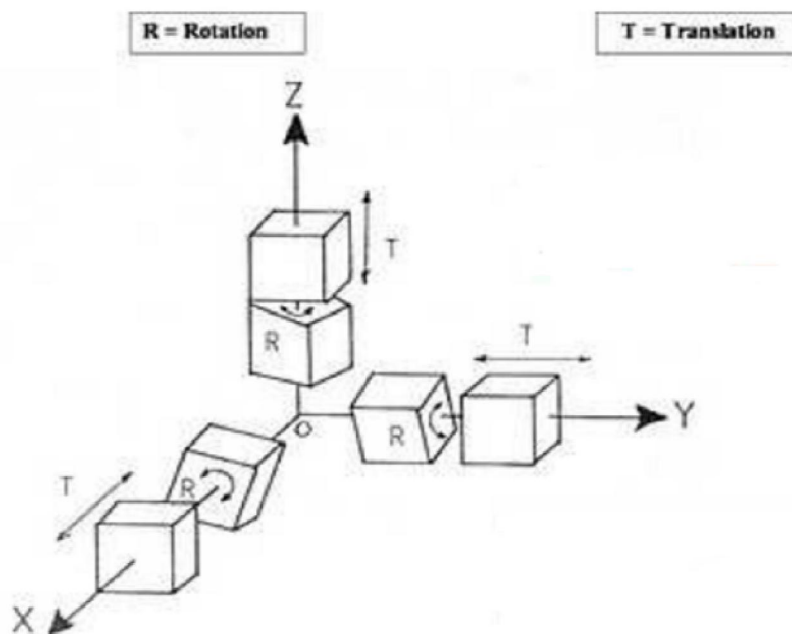


Figure 25 : degrés de liberté .[18]

IV.3.3.2 : Elimination des degrés de liberté :

Si une mise en position est assurée par une seule surface de référence, le nombre de normales affectées à cette référence ne peut être supérieur aux degrés de liberté que la surface peut éliminer (Tableau 2).

	Plan	Cylindre court	Cylindre long	Sphère	Cône
Nombre maximal de degrés de liberté éliminés par surface	3	2	4	3	5

Tableau 2 : Elimination des degrés de liberté.

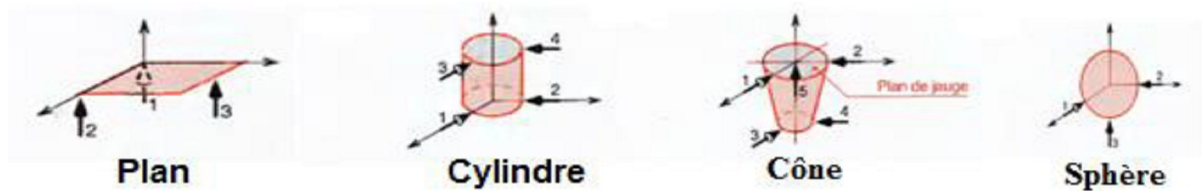


Figure 26 : degrés de liberté par surface [19]

Le nombre de normales de repérage affecté à une surface élimine le même nombre de degrés de liberté que les normales. (Figure 26) Ex : Appui plan (3 normales éliminent 3 mouvements).

IV.3.3.3 : Normal de repérage :

Le contact ponctuel peut être représenté par un vecteur normal à la surface considérée. On appelle normale de repérage.

Le symbole de base est représenté ci-dessous. Si nécessaire, il peut être projeté sous forme d'une surface quadrillée délimitée par un trait fin (cercle) [19].

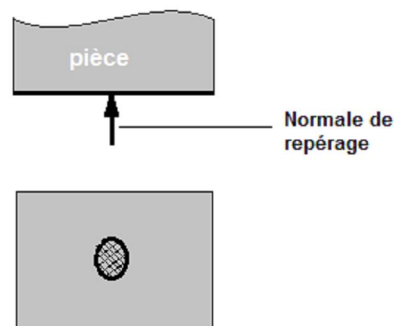


Figure 27 : normal de repérage.

IV.3.3.4 : Position de la normal de repérage :

Le symbole de base est placé, du côté libre de matière, sur la surface spécifiée, ou éventuellement sur une ligne d'attache, s'il n'a pas ambiguïté (figure 28). Le segment de droite est normal à l'appui considéré. [19]



Figure 28 : position de la normal de repérage.

IV.3.3.5 : Symbolisation géométrique (La mise en position isostatique) :

Au stade de l'avant-projet de fabrication le méthodiste doit spécifier pour chaque opération à réaliser la mise en position isostatique de la pièce. On renseigne la façon dont on éliminera les degrés de liberté de la pièce (translations et rotations) sous forme symbolique.

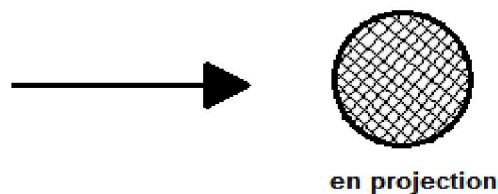


Figure 29 : position du symbole.

Chaque symbole de base élimine un degré de liberté. Pour une mise en position isostatique il faut éliminer les 6 degrés de liberté de la pièce : 3 translations et 3 rotations. On admet, pour les pièces de révolution travaillées en tournage, une mise en position hypostatique (5 degrés de liberté éliminés).

Généralement on distingue, pour les diverses opérations d'usinage, deux catégories principales de pièces :

- pièces comportant des surfaces planes ;
- pièces comportant des surfaces de révolution (cylindriques, coniques, etc.)

Selon des deux catégories la mise en position a été établie par conséquent [19].

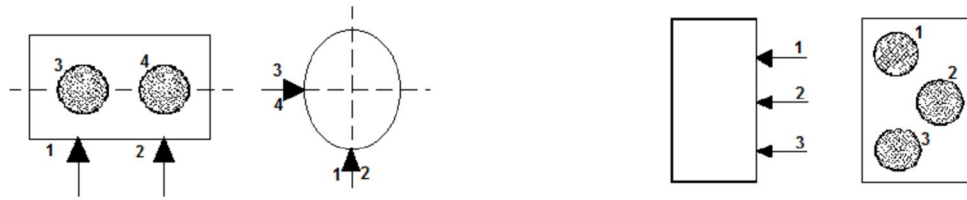


Figure 30 : représentation simplifiée pour la mise en position.

- a) d'un axe.
- b) d'un plan.

Dans certaines situations on peut simplifier plus la représentation des normales, à condition qu'aucune ambiguïté d'interprétation n'existe.

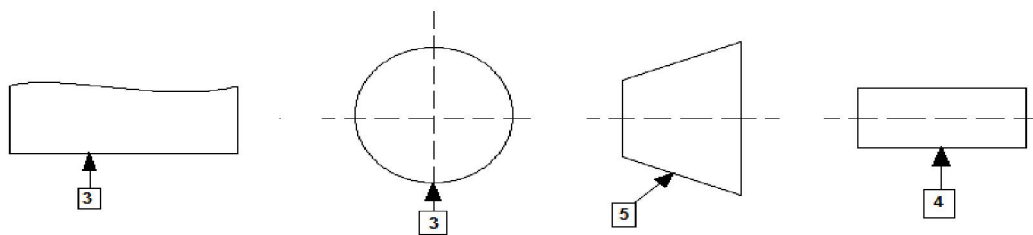


Figure 31 : Représentation simplifiée.

- a) plan et sphère, 3 normales.
- b) cône, 5 normales.
- c) cylindre, 4 normales.

IV.3.4 : MISE EN PLACE DES NORMALES DE REPERAGE :

IV.3.4.1 : Sur un parallélépipède :

Il faut placer 6 normales de repérages créant ainsi un appui plan, un appui linéaire et un appui ponctuel [20].

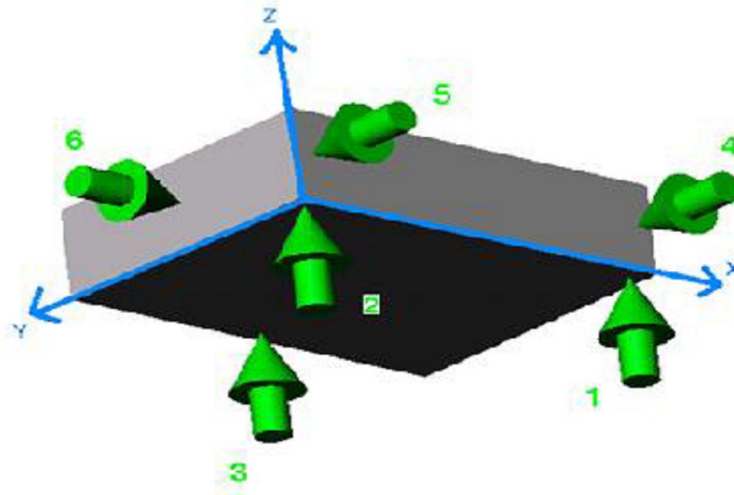


Figure 32 : Mise en position sur parallélépipède.

IV.3.4.1.1 : Appui plan (liaison appui plan) :

On élimine trois degrés de libertés, une translation et deux rotations. Les trois points ne sont pas alignés, ils forment un triangle et ils sont éloignés le plus possible les uns des autres [20].

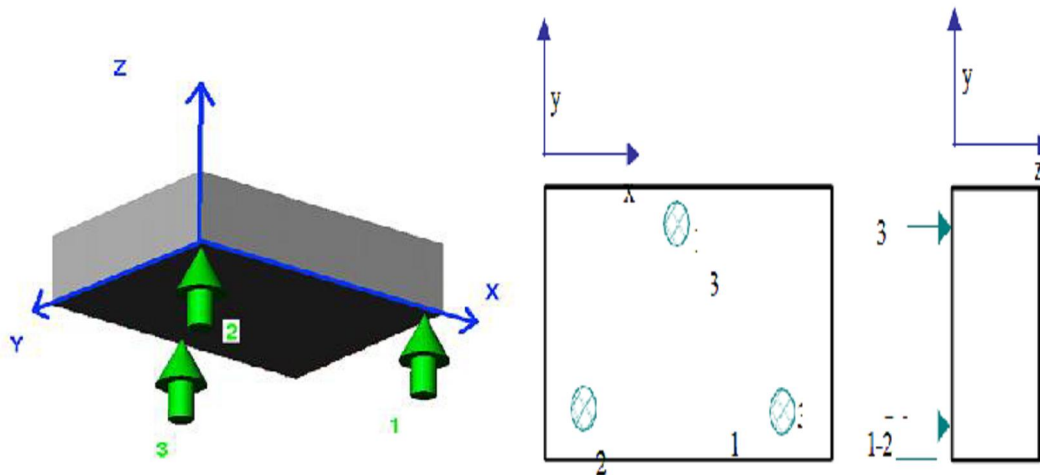


Figure 33: Liaison appui plan.

IV.3.4.1.2 : Appui linéaire (liaison linéaire rectiligne) :

On élimine deux degrés de liberté, une translation et une rotation.

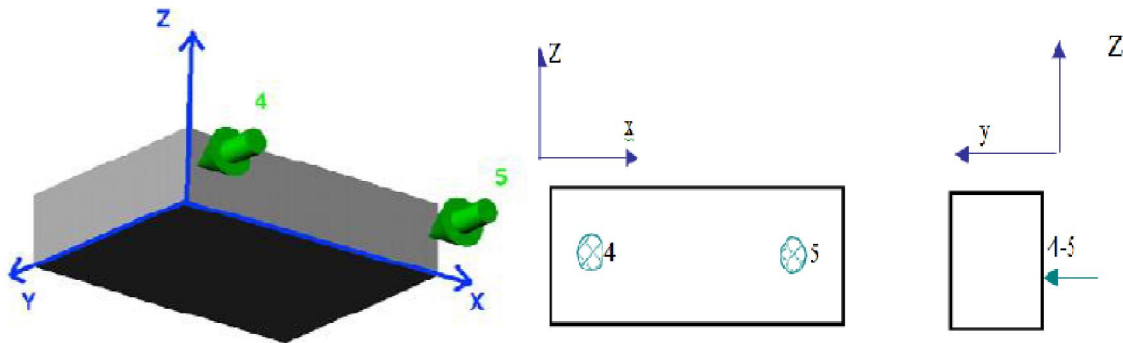


Figure 34: Liaison linéaire rectiligne.

IV.3.4.1.3 : Appui ponctuel (liaison ponctuelle) :

On élimine un degré de liberté, une translation.

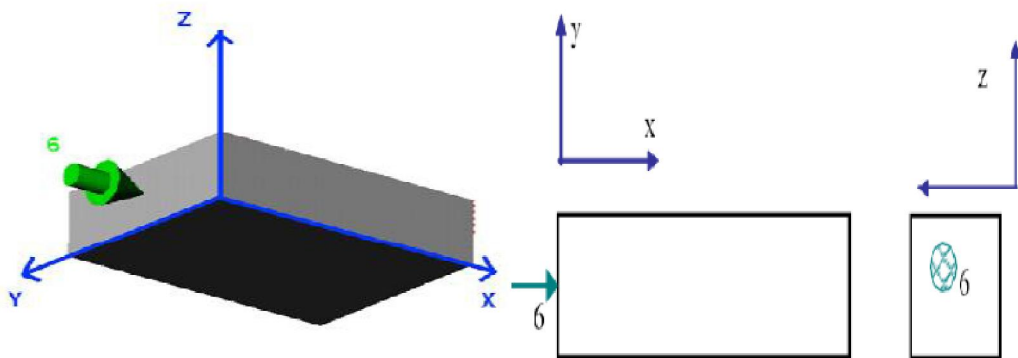


Figure 35 : Liaison ponctuelle.

IV.3.4.2 : Sur un cylindre :

Il faut placer 5 normales de repérages créant ainsi :

Soit un centrage long et un appui ponctuel. (Liaison pivot glissant + liaison ponctuelle), soit un centrage court et un appui plan. (Liaison linéaire annulaire + liaison appui plan) [20].

Remarque :

On considère que la mise en position se fait sur un cylindre court si $L < D$.

En tournage il n'y a que 5 normales de repérage car la rotation suivant Z est obligatoire.

IV.3.4.2.1 : Centrage long et appui ponctuel (liaison pivot glissant + liaison ponctuelle): $L > 2 D$

On élimine 2 rotations et 3 translations.

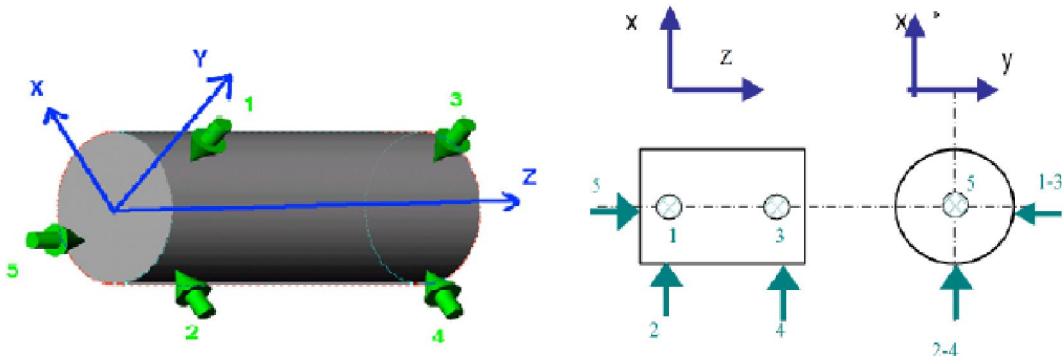


Figure 36 : Liaison pivot glissant & liaison ponctuelle.

IV.3.4.2.2 : Centrage court et appui plan (liaison linéaire annulaire+ liaison appui plan) : $L \leq 2 D$

On élimine 2 rotations et 3 translations. [20]

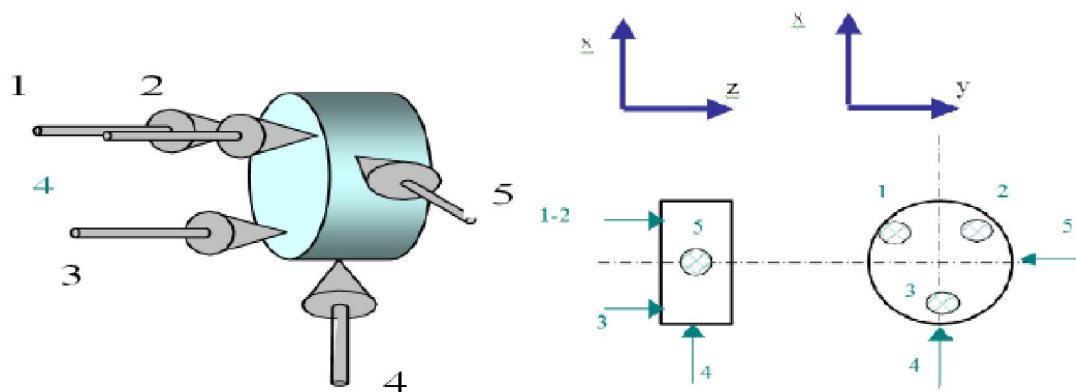


Figure 37 : Liaison linéaire annulaire & liaison appui plan.

Chapitre V

Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

La méthode proposée ci-après ne remet pas en cause les moyens de mesure mais elle remplace le balançage manuel de la pièce permettant une mesure directe du défaut à contrôler par un balançage par le calcul.

Par idéal, lors de métrologie dimensionnelle, le posage de la pièce sur son montage ne devrait pas avoir d'influence perturbatrice. Pourtant bien souvent, il y a un risque important d'imputer à la mesure d'une caractéristique de la pièce un complément d'écart provenant en réalité d'un mauvais posage [22].

Pratiquement, si l'on prend une pièce et qu'on la monte plusieurs fois de suite sur le montage d'usinage ou sur le montage de contrôle, il faut que la pièce soit toujours positionnée de la même manière (en translation et en orientation). Si ce n'est pas le cas, cela peut provenir principalement :

- de la déformation de la pièce ;
- du frottement qui interrompt le glissement pour venir en appui ;
- du système d'ablocage engendrant des efforts qui vont faire bouger la pièce lors du serrage ;
- et du choix « judicieux » des surfaces (ou points) d'appui réalisant l'interface « pièce-montage ». Plus particulièrement, le nombre de points d'appui ne doit pas être surabondant.

IV.4.2 : Mesure de déplacement :

Dans cette recherche, le déplacement d'une pièce sur un montage d'usinage par rapport à une position cible à plusieurs reprise est étudié. Si les déplacements sont faibles (par rapport à son dimension géométrique), la transformation géométrique passe d'une position cible à une position réelle (ou vice inversement) peut être modélisé par un torseur de petits déplacements (SDT). [21]

$$\{D\} = \{\vec{\Omega}_{S/R} \quad \vec{D}_0\} = \begin{Bmatrix} \alpha & \mu_0 \\ \beta & \theta_0 \\ \gamma & \omega_0 \end{Bmatrix}$$

Un déplacement global peut être défini par six-scalaires. Notez que le déplacement de translation (en mm) est modélisé par un champ de couple. L'endroit où il est exprimé doit être clairement indiqué.

$$\vec{D}_{P_i} = \vec{D}_0 + \vec{\Omega}_{S/R} \wedge \vec{OP}_i$$

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

Il peut être réécrit sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} u_{P_i} \\ v_{P_i} \\ w_{P_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ w_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 0 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 0 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} x_{P_i} \\ y_{P_i} \\ z_{P_i} \end{bmatrix}$$

La mesure de la qualité de localisation dépend de ces six scalaires de magnitude. Le choix des points de contact de la paire pièce-fixation influencera fortement cette mesure.

IV.5 : Détermination des écarts de positionnement :

Un modèle CAO est créé pour initialiser les points de mesure M_i sur la pièce. Le premier emplacement de la pièce sur le support (ou l'emplacement théorique obtenu par un modèle CAO) sera utilisé comme référence (0), il correspond à: [22]

$$\overrightarrow{OM_{i0}} = (x_{i0}, y_{i0}, z_{i0}) .$$

Un nouvel emplacement de pièce, défini après chaque démontage et remontage de la pièce sur le support, est mesuré à l'aide du même programme (six points de mesure M_1 à M_6). La k ème mesure de l'emplacement de la pièce est indiquée comme suit: [22]

$$\overrightarrow{OM_{ik}} = (x_{ik}, y_{ik}, z_{ik})$$

Le k ème emplacement de la pièce se compare à la référence 0 comme suit:

$$\overrightarrow{D_{M_{i0k}}} = \overrightarrow{M_{i0}M_{ik}}(x_{ik} - x_{i0}, y_{ik} - y_{i0}, z_{ik} - z_{i0})$$

laisser

$$\overrightarrow{\delta_{ik}} = \overrightarrow{n_i} \cdot \overrightarrow{D_{M_{i0k}}}$$

$$\overrightarrow{\delta_{ik}} = n_{ix}(x_{ik} - x_{i0}) + n_{iy}(y_{ik} - y_{i0}) + n_{iz}(z_{ik} - z_{i0})$$

avec

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

$$\overrightarrow{D_{OK}} = \overrightarrow{D_{M_iOK}} + \overrightarrow{OM_{i0}} \wedge \overrightarrow{\Omega_k}$$

$$\vec{n}_i \cdot \overrightarrow{D_{OK}} = \vec{n}_i \cdot \overrightarrow{D_{M_iOK}} + \vec{n}_i \cdot \overrightarrow{OM_{i0}} \wedge \overrightarrow{\Omega_k}$$

$$\vec{n}_i \cdot \overrightarrow{D_{OK}} - (\vec{n}_i \cdot \overrightarrow{OM_{i0}} \wedge \overrightarrow{\Omega_k}) = \overrightarrow{\delta_{ik}}$$

$$\{D_K\} = \left\{ \overrightarrow{\Omega_{k,S/R}} \quad \vec{D}_{0k} \right\}_0 = \begin{Bmatrix} \alpha_K & \mu_{0k} \\ \beta_K & \theta_{0k} \\ \gamma_K & \omega_{0k} \end{Bmatrix}_0$$

Il est résolu en utilisant un système de 6 équations (i = 1 à 6):

$$\begin{bmatrix} n_{xi} & n_{yi} & n_{zi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{0k} \\ \theta_{0k} \\ \omega_{0k} \end{bmatrix} - \begin{vmatrix} n_{xi} & x_{i0} & \alpha_K \\ n_{yi} & y_{i0} & \beta_K \\ n_{zi} & z_{i0} & \gamma_K \end{vmatrix} = \overrightarrow{\delta_{ik}}$$

Où $u_{ok}, v_{ok}, w_{ok}, \alpha_k, \beta_k, \gamma_k$ sont inconnus.

Donc,

$$n_{xi}\mu_{0k} + n_{yi}\theta_{0k} + n_{zi}\omega_{0k} + g_{o_{ix}}\alpha_K + g_{o_{iy}}\beta_K + g_{o_{iz}}\gamma_K = \overrightarrow{\delta_{ik}} \quad (A)$$

Le côté gauche de cette équation (A) $\{Pi\} \{D\}$ est un produit d'un SDT et d'un torseur de coordonnées plückériennes de la ligne normale en un point i [21-22].

De la forme matricielle, les équations suivantes sont obtenues: [22]

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \mu \\ \nu \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{0,x1} & g_{0,y1} & g_{0,z1} & n_{x1} & n_{y1} & n_{z1} \\ g_{0,x2} & g_{0,y2} & g_{0,z2} & n_{x2} & n_{y2} & n_{z2} \\ g_{0,x3} & g_{0,y3} & g_{0,z3} & n_{x3} & n_{y3} & n_{z3} \\ g_{0,x4} & g_{0,y4} & g_{0,z4} & n_{x4} & n_{y4} & n_{z4} \\ g_{0,x5} & g_{0,y5} & g_{0,z5} & n_{x5} & n_{y5} & n_{z5} \\ g_{0,x6} & g_{0,y6} & g_{0,z6} & n_{x6} & n_{y6} & n_{z6} \end{bmatrix}$$

Cette équation matricielle peut être réécrite sous une forme simple:

$$[A] [\alpha] = [\delta]$$

Cette égalité présente un système d'équations linéaires, la résolution de ce système d'équations par moindre carrée donne les composants du torseur des petits déplacements

$$[\alpha] = [A]^{-1}[\delta]$$

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage



Figure 38 : Mesure de la qualité de posage de l'ailette sur son montage sur la machine à mesurer tridimensionnelle (MMT)

Dans ce travail, la méthode de torseurs de petits déplacements expliqués précédemment est appliquée pour évaluer la répétabilité de posage d'une ailette mobile d'une turbine à gaz sur son montage d'usinage. Les six points théoriques (six points de références) sont tirés du model CAO. Un programme d'inspection basé sur les six points théorique est développé et appliqué sur une MMT pour mesurer la répétabilité de posage de l'ailette (Fig. V-1). Un nouvel emplacement de l'ailette, défini après chaque démontage et remontage de l'ailette sur le support, est mesuré à l'aide du même programme (six points de mesure M1 à M6).

Nous posons comme hypothèse que la pièce se comporte comme un solide indéformable.

Pour estimer les bruits de des mesures, une série de mesure pour chaque configuration du montage a été effectuée dix fois sur une MMT sans démontage de l'ailette.

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

Les résultats présentés sur la figure V-2 montrent que le bruit de mesure est minime. Par conséquent, il est négligé dans les calculs suivants. Ce bruit peut être dû à de nombreuses sources telles que, opérateur, matériel, méthode, machine et environnement, etc...

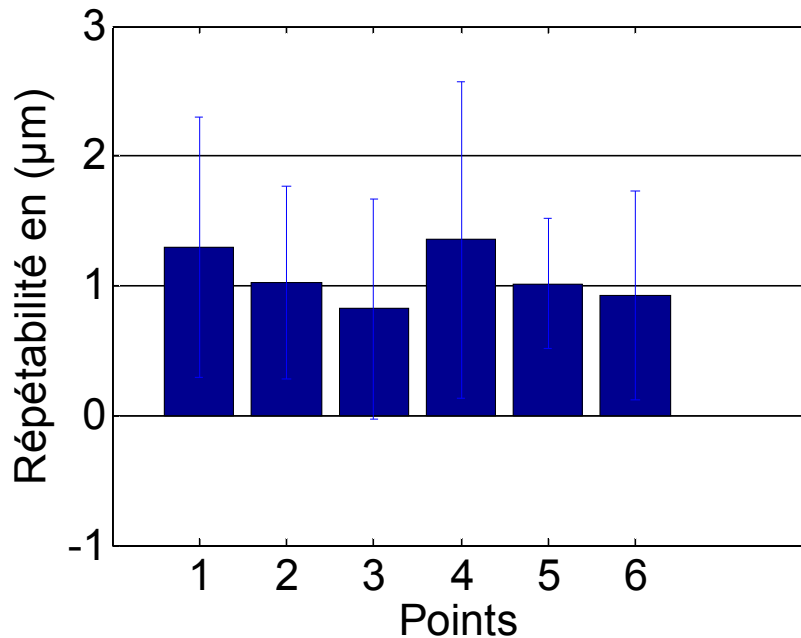


Figure 39 : Évaluation de l'effet de bruit de mesure

Comme mentionné ci-haut, pour chaque nouvel emplacement de la pièce (ordre chronologique), les coordonnées de 6 points sur la pièce sont mesurés et les erreurs δ_i et les vecteurs normaux η_i pour chaque point sont calculés.

Partant des six points mesurés et les six vecteurs normaux, on construit une matrice A de dimension 6×6 .

Pour le premier test la matrice A est :

$$A = \begin{bmatrix} 9.4867 & -164.2684 & 26.6237 & -0.9984 & -0.0562 & 0.0088 \\ -168.3495 & -48.0502 & 431.9514 & -0.3825 & 0.9228 & -0.0464 \\ 0.6266 & 124.5317 & -130.6822 & 0.9990 & -0.0343 & -0.0279 \\ -142.4385 & 405.0594 & 39.8998 & -0.1906 & 0.0296 & -0.9812 \\ 145.3252 & -319.1498 & 31.7336 & -0.2000 & 0.0064 & 0.9798 \\ 77.5174 & -596.3054 & -8.3496 & 0.1071 & -0.0000 & 0.9943 \end{bmatrix}.$$

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

De cette matrice, on va calculer le déterminant associé. Si ce déterminant est nul, cela veut dire que le rang du système n'est pas égal à 6, le mécanisme conserve des degrés de liberté, il ne joue pas son rôle de montage.

Nos résultats montrent que la matrice A est de plein rang ($r = 6$) et donne un bon déterminant ($3.56 \times 10^{+5}$).

Le vecteur d'erreur entre la position mesurée et la position théorique δ_i pour chaque point est calculé et projeté selon la normale. Pour le premier test le vecteur δ_1 est :

$$\delta_1 = [-0.0007 \quad 0.0006 \quad 0.0024 \quad 0.0026 \quad 0.0102 \quad 0.0185].$$

Après la résolution de système d'équation linéaire, les six inconnus composants (α , β , γ , u , v , w) du SDT sont obtenus :

$$\text{SDT}_1 = [-0.0009 \quad 0.0002 \quad -0.0001 \quad -0.0323 \quad -0.0942 \quad 0.1923].$$

La qualité d'un montage d'usinage est certifiée par la variabilité des inconnues. Puisque le test de posage est répété trois fois, la variabilité des composants (α , β , γ , u , v , w) est exprimée par un écart-type expérimental.

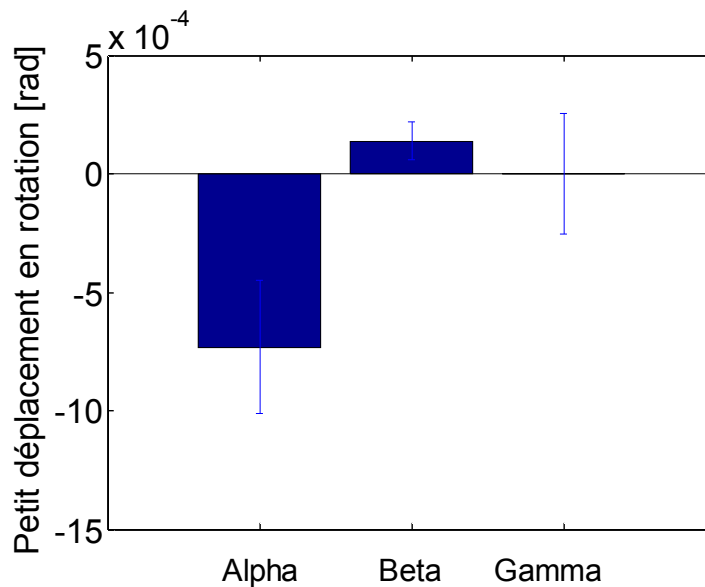


Figure 40 : Variabilité des composants (α , β , γ) du torseur de petit déplacement en rotation

Les figures V-3 et V-4 montrent les écarts-types de translation et de rotation des différentes pour les trois tests de posage de l'ailette sur son montage.

Chapitre V: Évaluation de la qualité et de la répétabilité de posage

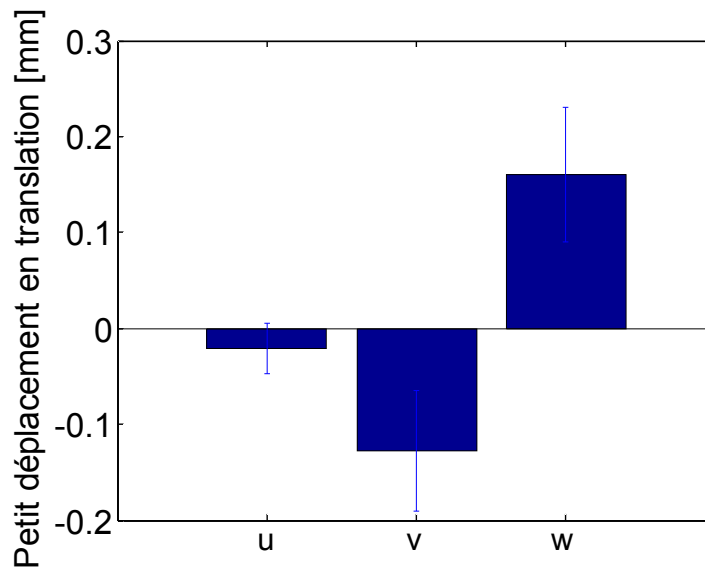


Figure 41 : Variabilité des composants (u, v, w) du torseur de petit déplacement en translation

Figures V-40 et V-41 montrent que l'effet de l'effort de serrage sur la répétabilité de posage est très important. Cet effet est très amplifié sur les composants du torseur de petit déplacement en translation sur les directions z et y. L'effet de l'effort de serrage sur la stabilité de la pièce en rotation autour des axes y et z sont négligeables, par contre la composante α est très sensible aux efforts de serrage (Fig. V-40).

Conclusions General

Conclusions générale

La précision du montage d'usinage doit être la plus parfaite possible et le posage de la pièce sur son montage ne devrait pas avoir d'influence perturbatrice, car les défauts de celui-ci s'ajoute à ceux de la machine-outil et se répercute sur la pièce finale.

Durant l'usinage de précision, si l'on prend une pièce et qu'on la monte plusieurs fois de suite sur le montage d'usinage, il faut que la pièce soit toujours positionnée de la même manière (en translation et en orientation). La quantification et l'estimation de ces erreurs de posage sont primordiales pour choisir le meilleur montage qui répond aux critères de répétabilité, reproductibilité, précision et stabilité.

Dans ce travail, les erreurs de posages ont été évaluées expérimentalement en se basant sur le concept de torseur de petits déplacements.

Cette étude nous permet également de confirmer que l'effet de bruits de mesures est faible.

Les résultats montrent que l'effet de l'effort de serrage sur la répétabilité de posage est significatif. Il serait utile de quantifier plus précisément ces efforts de serrage et de les intégrer dans l'indicateur qui permet d'estimer la qualité des localisations de pièce sur un montage.

Résumé

Le marché actuel nécessite plus de variétés de produits et, par conséquent, l'équipement et les processus devraient être plus flexibles. La fabrication des pièces industrielles est un processus complexe pouvant faire intervenir des étapes multiples et variées selon la forme et la taille de la pièce, le matériau et l'usage auquel elle est destinée.

Les montages d'usinage jouent un rôle essentiel dans la production de produits de haute qualité et compétitifs lors de la fabrication, de la mesure ou de l'assemblage. Trouver des méthodes pour évaluer la qualité des montages d'usinage, qui peut dépendre des erreurs de la pièce, des erreurs de fixation, des influences de la force de serrage, du frottement, etc., sont nécessaires pour améliorer la qualité du produit.

Dans ce travail, nous proposons une méthode pour évaluer la qualité de montages d'usinage en fonction de la répétabilité de localisation de la pièce en utilisant le concept de torseur de petits déplacements.

La méthode proposée et appliquée pour évaluer la qualité et la répétabilité de posage d'un montage d'usinage dédié à la fabrication des ailettes mobiles d'une turbine à gaz.

Mots clés : Montage d'usinage, torseur de petits déplacements, Répétabilité de localisation, ailette

Abstract

The current market requires more varieties of products and therefore equipment and processes should be more flexible. The manufacturing of industrial parts is a complex process that can involve multiple and varied stages depending on the shape and size of the part, the material and the use for which it is intended.

Machining fixtures play an essential role in the production of high-quality and competitive products during manufacturing, measurement or assembly. Finding methods to assess the quality of machining fixtures, which may depend on part errors, fixture errors, influences of clamping force, friction, etc., are necessary to improve the quality of the product.

In this work, we propose a method to evaluate the quality of machining fixtures according to the repeatability of localization of the part based on the Small Displacement Torsor (SDT) concept.

The proposed method is applied to assess the quality and workpiece localization repeatability in a machining assembly dedicated to the manufacture of the turbine blade.

Keywords: Machining fixture, Small Displacement Torsor, Localization repeatability, Blade

ملخص