

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

Etude du comportement vibratoire des pièces minces.
Application aux aubes.

Présenté par : - LAMA A.Y, SAADOUNI B.E et LOUBZA I.

Jury :

Président : NECIB D.

Université D'El-Oued

Promoteur : KHECHANA M.

Université D'El-Oued

Examineur : MANSOURI K.

Université D'El-Oued

2019-2020

Remerciement

Avant tout nous tenons à remercier Dieu tout puissant qui nous a donné la faculté d'atteindre ce niveau. nos vifs remerciements s'adressent à notre aimable encadreur, docteur KHECHANA Mohammed qui, par son expérience et son efficacité nous n'a ménagé aucun effort pour mener à bien ce travail. nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants et camarades du département d'électromécanique qui ont assisté notre formation

Dédicace

Nous dédions ce travail à toute ma famille et mes amis

ملخص

يعني السياق الصناعي الحالي أن نسبة الأجزاء الرقيقة جدًا تتزايد. يشكل تشكيل ما نسميه الجدران الرقيقة في ظل ظروف مقبولة اقتصاديًا تحديًا حقيقيًا. لكي تكون قادرًا على المنافسة ، يمكن للجدار الرقيق أيضًا أن يهتز أثناء التشغيل الآلي ، وهو مصدر محتمل لعيوب السطح. لذلك من الصعب للغاية اختيار ظروف القطع للطلاء الذي يضمن حالة سطح جيدة. يقال أنه أثناء الانتهاء من طحن الشفرات ، يمر المرء عبر مناطق قطع غير مستقرة يتم إنشاؤها بواسطة ترددات الرنين. كان البحث عن قطع مستقر موضوع العديد من الدراسات ، لكن ثبات القطع (طحن الشفرة) سيتم تحديده فقط من خلال تحديد سرعة القطع (ضبط الآلة). يجب أن يستبعد هذا الإعداد بشكل حتمي قيم سرعات الدوران التي تؤدي إلى ترددات الرنين عند الفجر.

لمعرفة سرعات الدوران التي سيتم استبعادها من إعداد الماكينة ، يجب علينا إجراء ميكانيكا الجدران الرقيقة أثناء الطحن وإنشاء معادلات حركة الشفرة ثم تحديد الأوضاع الطبيعية وترددات الرنين من أجل- تجنب الفجر وضمان حالة سطح جيدة.

Résumé

Le contexte industriel actuel signifie que la proportion de pièces de très faible épaisseur augmente. Former ce que nous appelons des parois minces dans des conditions économiques acceptables est un véritable défi. Pour être compétitive, la paroi mince peut également vibrer lors de l'usinage, ce qui est une source potentielle de défauts de surface. Il est donc extrêmement difficile de choisir les conditions de coupe pour la finition qui garantissent un bon état de surface. Ceci dit que lors du fraisage de finition des aubes, on passe par des zones de coupe instables qui sont générées par des fréquences de résonances. La recherche de la coupe stable a fait l'objet de nombreuses études, mais la stabilité de la coupe (fraisage des aubes) ne sera déterminée que si on détermine le régime de coupe (réglage de la machine). Ce réglage doit impérativement exclure les valeurs des vitesses de rotation qui déclenchent les fréquences de résonances de l'aube.

Pour savoir les vitesses de rotation à exclure du réglage de la machine, on doit faire la mécanique des parois minces lors du fraisage et établir les équations du mouvement de l'aube et ensuite déterminer les modes propres et les fréquences de résonance afin de les-éviter et garantir l'aube avec un bon état de surface.

mots clés : Mots clés: Usinage de parois minces, fraisage de aubes, vibration d'usinage

Liste des Figures

Fig.I.1: Un Turboréacteur.

Fig.I.2 : Compresseur haute pression.

Fig.I.3 : Chambre de combustion annulaire.

Fig.I.4 : La turbine.

Fig.I.5 : Une aube turbine.

Fig.I.6 : Exemples d'aubes.

Fig.I.7 : Vocabulaire aéronautique utilisé pour décrire les profils aéronautiques.

Fig.I.8 : Profil symétrique.

Fig.I.9 : Profil porteur.

Fig.I.10 : Profil autostable.

Fig.I.11 : profil de Zhukovsky.

Fig.I.12 : Turbine à gaz Siemens SGT 800-50 MW.

Fig.I.13 : a) Turbine à action.

Fig.I.13 : b) Turbine à réaction.

Fig.I.14 : Aubes de navire.

Fig.I.15 : L'ordre de grandeur de différents paramètres dans chaque élément de la turbine.

Fig.I.16 : Schéma des aubes fixes et mobiles.

Fig.I.17 : Disque de turbine et aubes HP.

Fig.II.1 :Représentation d'une plaque mince.

Fig.II.2 :Blocs représentant le problème d'une plaque BBBL.

Fig.II.3 :.(a) Vue frontale d'une pale d'hélice de fraisage à pincement à cinq axes et (b) Vue latérale d'une pale d'hélice de fraisage à pincement à cinq axes.

Fig.II.4 :Comparaison d'un système de came et de suiveur (a) et d'une opération de fraisage par rotation de l'axe Y (b).

Fig.II.5 :Définition du processus au stade CAM et transformation vers les axes centraux de rotation.

Fig.III.1 : Esquisse du pied.

Fig.III.2: Esquisses du pied et du sommet.

Fig.III.3: L'aube mise à la simulation.

Fig.III.4: *Fenêtre principale d'ANSYS.*

Fig.III.5: Fenêtre produite d'ANSYS.

Fig.III.6: Sauvegarde de la base de données du problème.

Fig.III.7: Copie à imprimer et à sauvegarder .

Fig.III.8: choix du système d'unités.

Fig.III.9 : Définition du type d'élément.

Fig.III.10: Choix du type d'élément.

Fig.III.11: Options du type de l'élément et paramètres de Real constant.

Fig.III.12: *Définition du matériau.*

Fig.III.13: Saisi des propriétés du matériau.

Fig.III.14: Définition du type d'analyse .

Fig.III.15: Résolution du problème courant.

Fig.III.16: Aube maillée en utilisant l'élément Solid186.

Fig.III.17: Déformée modale, mode 1, fréquence : 0.86 Hz.

Fig.III.18 : Déformée modale, mode 2, fréquence : 2.57 Hz.

Fig.III.19: Déformée modale, mode 3, fréquence : 0.98 Hz.

Fig.III.20: Déformée modale, mode 4, fréquence : 3.74 Hz.

Fig.III.21: Déformée modale, mode 5, fréquence : 5.74 Hz.

Fig.III.22: Déformée modale, mode 6, fréquence : 7.30 Hz.

Fig.III.23: Déformée modale, mode 7, fréquence : 8.33 Hz.

Fig.III.24: Flexion de l'aube.

Fig.III.25: Distribution du coefficient de sécurité.

Liste des Tableaux

Tab.III.1. Coordonnées des courbes Spline

Tab III.2. Valeurs des déformations relatives aux différents modes

Sommaire

Remerciement.....	i
Dédicace.....	ii
Résumé.....	iii
Liste des Figures.....	iv
Liste des Tableaux.....	vi
Sommaire.....	vii
Introduction générale.....	x.

Chapitre I :Problématique et recherche bibliographique sur la dynamique des pièces minces lors du fraisage

I.1. INTRODUCTION	1
I.2. DEFINITION DU TURBOREACTEUR.....	1
I.2.1.Fonction des différents organes du turboréacteur.....	2
I.2.1.1.Entrée d'aire.....	2
I.2.1.2.Compresseur.....	2
I.2.1.3.Chambre de combustion.....	2
I.2.1.4.Turbine.....	3
I.2.1.5.Tuyère.....	4
I.2.1.6.La postcombustion.....	4
I.3. DEFINITION D'UNE AUBE.....	5
I.4. FORMES GEOMETRIQUES DES AUBES.....	6
I.4.1. Les profils non porteurs (symétriques).....	6
I.4.2. Profils porteurs (dissymétriques).....	7
I.4.3. Profils autostables.....	8
I.4.4. profil destiné à la transformée de Zhukovsky.....	8

I.5. LIEU DES AUBES.....	9
I.6. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA TURBINE.....	11
I.7. MATERIAUX DES AUBES.....	12
I.7.1. Alliages à base de fer- nickel-chrome.....	13
I.7.2. Alliages de chrome à base nickel.....	13
I.7.3. Alliages à base cobalt.....	14
I.7.4. Les composites à matrice céramique (CMC).....	15
I.8. CONCLUSION.....	17

Chapitre II :Etude du comportement vibratoire d'une paroi mince en alliage léger lors d'une opération de fraisage latéral

II.1. Introduction.....	18
II.2. Stratégie.....	18
II.2.1.Modèle de force de coupe.....	18
II.2.2.Modèle de vibration de l'aube.....	19
II.2.3.Modèle de vibration d'outil.....	20
II.2.4.Modèle d'enlèvement de matière.....	20
II.3.Partie expérimentale.....	22
II.4.Conclusion.....	22

Chapitre III :Simulation de l'aube

III.1. Introduction.....	23
III.2. Conception de l'aube.....	23
III.3. Analyse de l'aube.....	25
III.3.1. Démarches nécessaires pour faire une simulation par ANSYS.....	25
III.3.1.1.Prétraitement.....	25
III.3.1.2. Solution.....	25

III.3.1.3. Post-Traitement.....	25
III.3.2. Commencer le programme.....	26
III.3.2.1. Préliminaires.....	26
III.3.2.2. Les menus.....	26
III.3.2.3. Ligne d'entrée.....	27
III.3.2.4. Barre d'outils.....	27
III.3.2.5. Menu principal.....	27
III.3.2.6. Graphiques Windows.....	27
III.3.2.7. Sauvegarde et ouverture.....	28
III.3.2.8. Dénomination des fichiers générés.....	28
III.3.2.9. Impression et traçage.....	29
III.3.2.10. Sortie du programme.....	29
III.3.2.11. Étape de prétraitement.....	30
III.3.2.11.1. Construire un modèle.....	30
III.3.2.11.2. Définir le type d'élément et les constantes réelles.....	30
III.3.2.11.3. Définir les propriétés des matériaux.....	32
III.3.2.11.4. Construction du modèle.....	34
III.3.2.12. Étapes de la solution.....	35
III.3.2.13. Étape de post-traitement.....	36
III.4. Analyse modale de l'aube.....	36
III.4.1. Caractéristiques de l'aube mise à l'étude.....	36
III.4.2. Maillage de l'aube.....	37
III.5. Analyse statique.....	41
III.6. Conclusion.....	42
Conclusion générale et recommandations.....	46
Références bibliographiques.....	47

Introduction Générale

Le contexte industriel actuel fait que la proportion de pièces comportant de très fines épaisseurs augmente. L'usinage de ce que nous appellerons des parois minces à des conditions économiques acceptables est un véritable challenge. Pour être compétitif, il faut donc obligatoirement réduire les temps d'usinage. Cela peut passer par l'augmentation de l'engagement des outils et/ou par l'augmentation de la vitesse d'avance. Dans les deux cas et sans prendre de précaution particulière, il n'est pas rare que le large spectre fréquentiel excité par l'action de coupe vienne interférer avec les modes propres de la pièce à usiner. La paroi mince peut alors entrer en vibration pendant l'usinage, ce qui est une source potentielle de défauts de surface. Il est donc très difficile de sélectionner des conditions de travail en finition qui garantissent la qualité de surface telles que les aubes des turbines. La stabilité de ce type d'usinage a fait l'objet de nombreuses études : Mais la stabilité, à elle seule, ne garantit pas la qualité de la surface usinée, notamment lorsque l'engagement radial de l'outil est faible. Un fraisage stable peut conduire à des défauts de surface mais aussi à des problèmes relatifs à l'outil ou à la machine. Les vibrations stables peuvent aussi conduire à des défauts dimensionnels et à des défauts de forme de la surface ce qui peut dans certains cas aller jusqu'à détériorer les roulements de broche ou même engendrer de mauvaises conditions d'utilisation des outils . Il est important de disposer d'outils numériques permettant d'orienter rapidement le choix des conditions de coupe à l'intérieur du domaine de stabilité.

Chapitre I : Recherche bibliographique sur les turbines à gaz et les aubes

I.1. INTRODUCTION :

Les aubes sont les organes primordiaux dans divers machines tournantes ou turbomachines, ces dernières ont une utilisation vaste et importante dans le domaine industriel (production de l'électricité), aviation et maritime (propulser des véhicules), par conséquent l'environnement où l'aube se fonctionne diffère l'un à l'autre, dont elle doit supporter à la fois : les températures élevées, les contraintes (mécaniques, thermiques...). Cela conduit à la nécessité d'une étude approfondie de sa géométrie, leurs matériaux...

I.2. DEFINITIONLETURBOREACTEUR :

Le turboréacteur est un système de propulsion par réaction produite par éjection de gaz de combustion d'un carburant. Il a la particularité d'utiliser une partie de l'énergie de ces gaz pour comprimer l'air utilisé comme comburant.

Il est composé de trois parties essentielles : un compresseur, une chambre de combustion et une turbine où s'effectue une partie de la détente des gaz. C'est la turbine qui entraîne le compresseur indispensable au fonctionnement. Les gaz brûlés sont détendus dans la tuyère, qui assure la poussée du moteur.

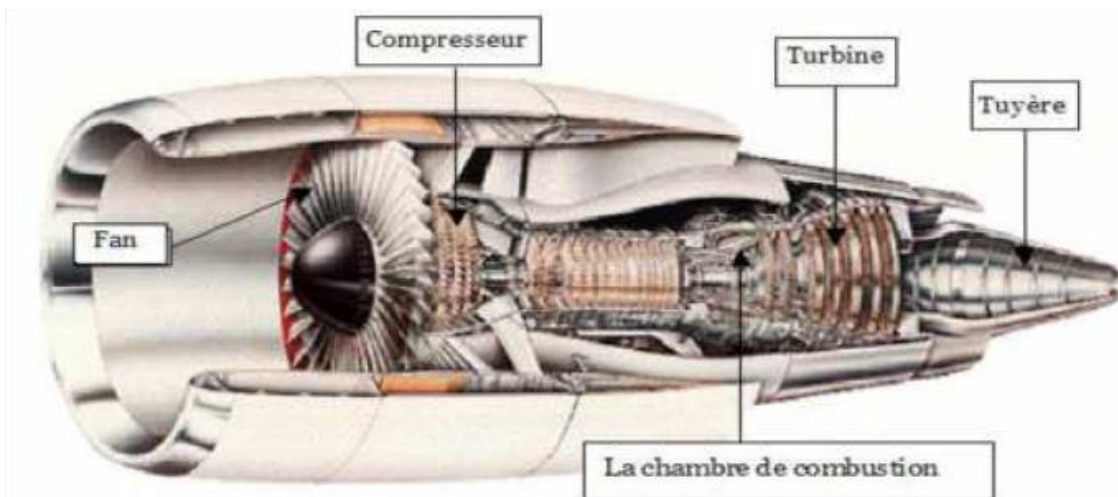


Figure I.1 : Un Turboréacteur

I.2.1.Fonction des différents organes du turboréacteur :

I.2.1.1. Entrée d'air

Son rôle est de transformer l'énergie cinétique des molécules d'air avalées par le réacteur en pression.

I.2.1.2. Compresseur

Entraîné par la turbine, il comprime l'air d'entrée et va graduellement augmenter sa pression.

Chaque étage est constitué d'un disque mobile avec ses aubes, (ROTOR) et d'un disque d'aubes fixes qui ramènent l'écoulement parallèle à l'axe (STATOR).

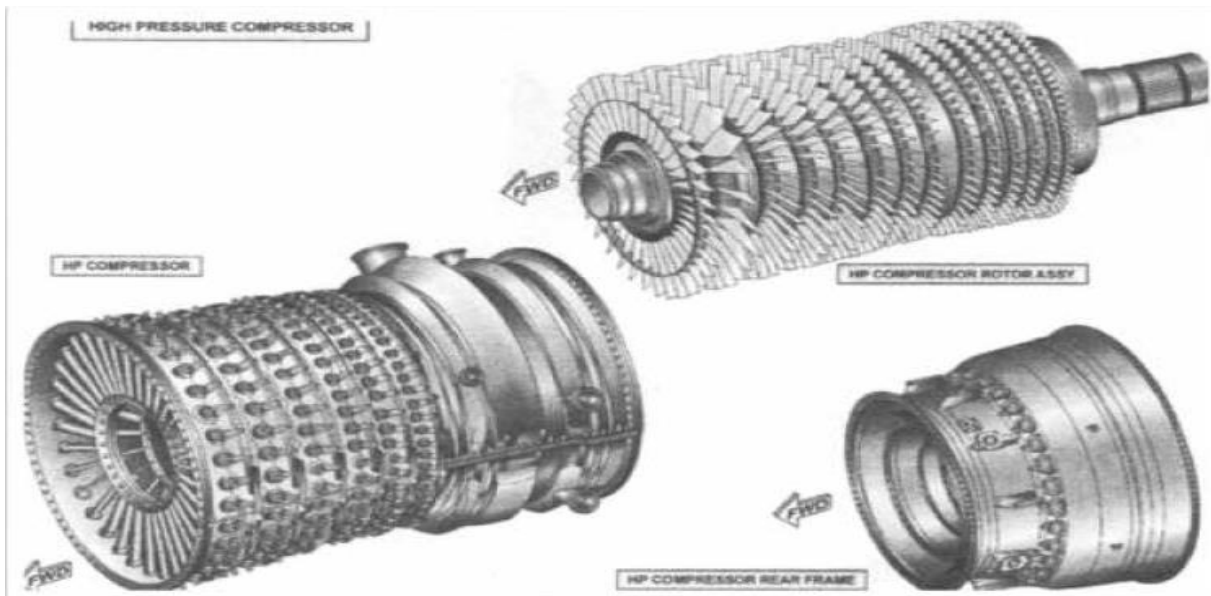


Figure.1.2 : Compresseur haute pression

I.2.1.3.Chambre de combustion

L'air comprimé est envoyé dans les chambres de combustion où il est mélangé à du KEROSENE de manière à constituer un mélange explosif : l'énergie chimique du mélange AIR-CARBURANT est transformée par la combustion en énergie thermique, (élévation de température à pression pratiquement constante).

Les gaz chauds sont violemment éjectés vers l'arrière et la détente de l'air chaud actionne simultanément une turbine (fonctionnant comme un moulin à vent) et qui actionne-t-elle même les compresseurs par le biais d'un axe central.

La turbine est composée de différents étages. Chaque étage est constitué d'un disque mobile avec ses aubes (ROTOR) entraîné par la détente des gaz, d'un disque d'aube fixes (STATOR) redresseur.

On peut atteindre des températures extrêmes qui sont supérieures à la température de la fusion de l'alliage des aubes.

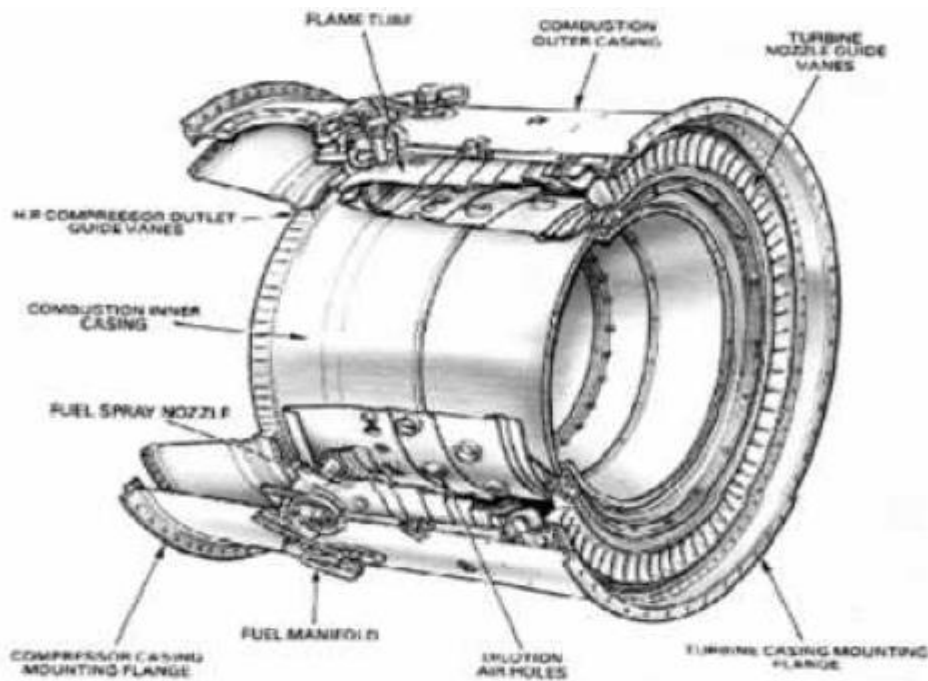


Figure 1.3 : Chambre de combustion annulaire

I.2.1.4. Turbine

La turbine transforme l'énergie cinétique et thermique des gaz en énergie mécanique.

La turbine est reliée au compresseur par un axe central. Lorsque la turbine tourne à cause des gaz d'échappements qui frappent ses ailettes, le compresseur tourne également afin de compresser de l'air.

Le principal rôle de la turbine est donc de faire tourner le compresseur. Il y a donc plusieurs turbines pour assurer la rotation des différents compresseurs.

La turbine et le compresseur sont reliés par un arbre de transmission toujours creux, dont le diamètre peut atteindre celui du disque de l'étage le plus aval du compresseur.

Dans le cas des réacteurs à double corps, les arbres qui relient turbine et compresseur basse et haute pression sont concentriques.

Les aubes des turbines sont exposées d'une part à la température extrême des gaz chauds, et d'autre part à une force centrifuge dues à la rotation.

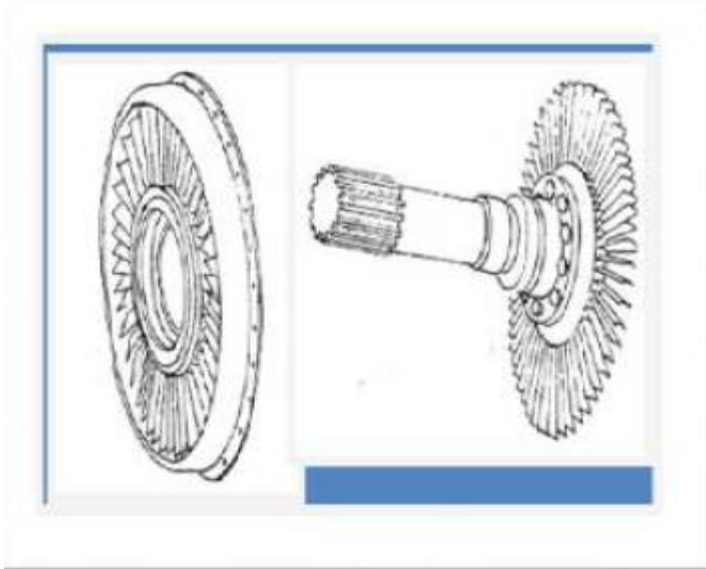


Fig. 1.4 : La turbine



Fig.1.5 : Une aube de turbine à gaz

I.2.1.5. Tuyère

Il s'agit d'un convergent. La masse d'air et les gaz brûlés y sont détendus dans une buse. La tuyère se charge de transformer l'énergie thermique en énergie cinétique. La vitesse d'éjection des gaz est supérieure à la vitesse d'entrée, ce qui provoque la poussée du réacteur.

I.2.1.6. La postcombustion

Généralement, un turboréacteur ne permet pas à un avion de passer le mur du son. Pour dépasser Mach 1, il est en effet nécessaire de disposer d'un surcroît de poussée. Cette poussée additionnelle est fournie par un dispositif particulier appelé la postcombustion.

L'air rejeté après le dernier étage de la turbine contient encore une grande quantité de dioxygène, il est donc possible d'injecter du carburant supplémentaire à cet endroit grâce à une nouvelle série d'injecteurs. La puissance du turboréacteur peut ainsi être multipliée par deux alors que sa consommation en carburant est couramment quatre fois plus importante. La postcombustion produit une flamme énorme en arrière du turboréacteur, génère un bruit effroyable et dégage des quantités importantes de chaleur. [1]

I.3. DEFINITION D'UNE AUBE :

L'aube est une forme aérodynamique très complexe, elle se compose d'une :

- Section de profil d'aile qui a 02 faces : l'intrados et l'extrados, qui reçoit l'action de fluide.
- Joint de queue d'aronde (pied ou sabot) reliant l'aube au disque.
- Jambe (barrière thermique) entre l'aile et la queue d'aronde.



Fig.I.6: Exemples d'aubes.

I.4. FORMES GEOMETRIQUES DES AUBES :

Les profils d'ailes destinés à produire une portance à des vitesses subsoniques ont généralement un bord d'attaque arrondi, une épaisseur maximale placée vers le tiers avant, et un bord de fuite fin sur l'arrière.

- La distance du bord d'attaque au bord de fuite s'appelle la corde (c)
- Le rapport de l'épaisseur maximale du profil ($ép$) à sa longueur s'appelle l'épaisseur relative .

- La ligne moyenne du profil (à mi-distance du dessus et du dessous) est généralement courbée ou "cambrée" dans la direction de la portance désirée. La distance entre la corde et le sommet de la ligne moyenne s'appelle la flèche. ($\frac{ép}{c}$)
- Le rapport de la flèche à la corde s'appelle la cambrure .

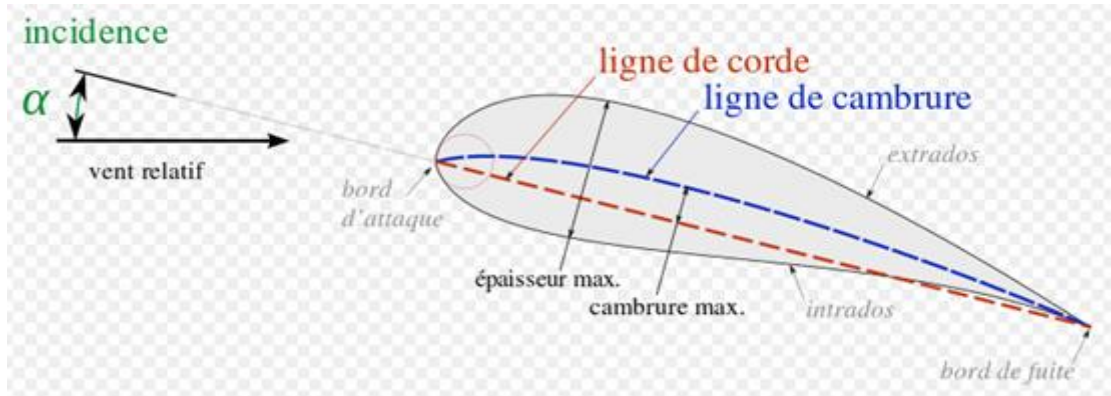


Fig.I.7 : Vocabulaire aéronautique utilisé pour décrire les profils aéronautiques.

La géométrie du profil de l'aube dépend de sa fonction, et selon NACA on peut distinguer les profils suivants :

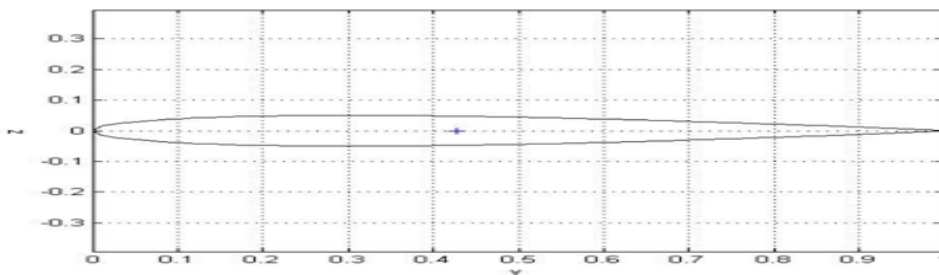
I.4.1. Les profils non porteurs (symétriques) :



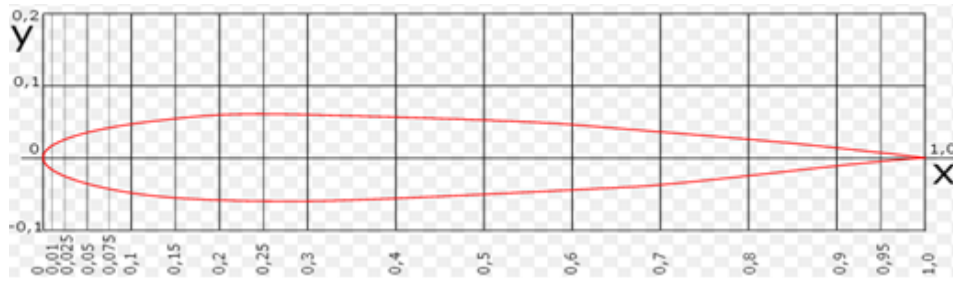
Fig.I.8 : Profil symétrique.

Les profils non porteurs plats et symétriques ont une faible traînée. Ils sont adaptés pour les empennages (stabilisateurs et direction) :

- Profil NACA 0010 (épaisseur maxi. 10% de la corde)



- Profil NACA 0012 (épaisseur maxi. 12% de la corde)



- Profil NACA 0013 (épaisseur maxi. 13% de la corde)

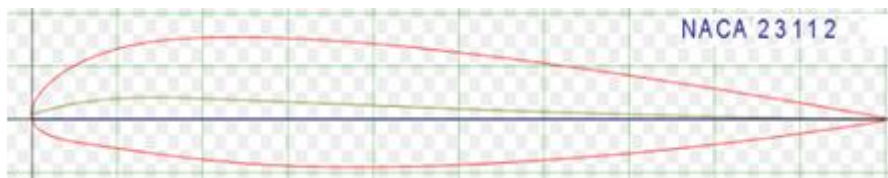
I.4.2. Profils porteurs (dissymétriques) :



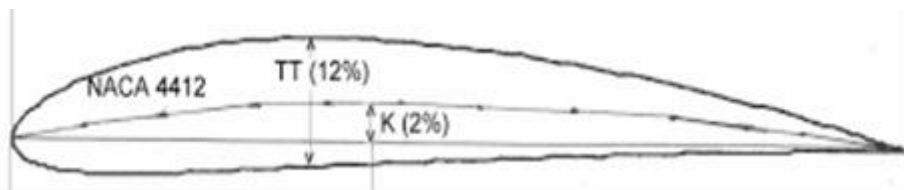
Fig.I.9 : Profil porteur

La géométrie du profil d'aile dépend de sa fonction : Pour les ailes, on utilise des profils porteurs en général non symétriques :

- NACA 23012,



•et parfois cambrés pour les ULM à vitesse lente (exemple : Profil NACA 4412, 12% de la corde cambré).



I.4.3. Profils autostables:

Le profil NACA 23112 à double courbure est dit "autostable" car il conserve une très bonne stabilité quel que soit l'angle d'incidence.

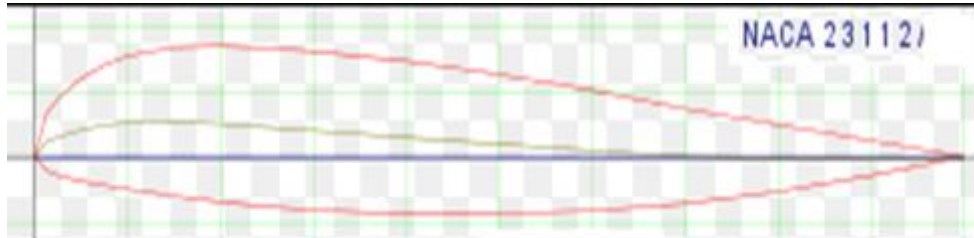


Fig.I.10 : Profil autostable.

I.4.4. profil destiné à la transformée de Zhukovsky :

Il a été étudié par Zhukovsky parce que l'image d'un cercle passant par le point $z = 1$ ou $z = -1$ est une courbe semblable à la section transversale d'une aile ou d'une hélice d'aéronef. Composer avec la fonction Zhukovsky permet de prendre le flux symétrique de fluide au-delà d'un cylindre circulaire et de le transformer en un flux asymétrique passé un tel profil aérodynamique. On peut alors calculer les caractéristiques d'un tel écoulement.

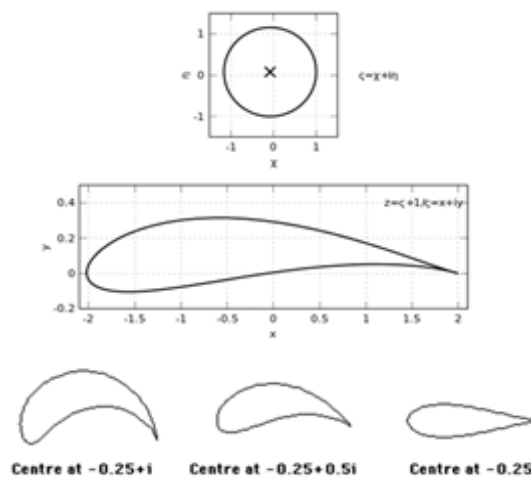


Fig.I.11: profil de Zhukovsky.

I.5. LIEU DES AUBES

Les compresseurs et les turbines sont généralement constitués de plusieurs étages d'aubes qui sont conçues de façon préliminaire pour une aérodynamique optimale, en ignorant les contraintes de conception et structurelles.

Les aubes de compresseurs diminuent de taille de l'étage d'entrée à la sortie pour fournir un débit massique constant à mesure que la densité de l'air augmente en raison de la compression.



Fig.I.12 : Turbine à gaz Siemens SGT 800-50 MW.

Au contraire, dans les turbines elles augmentent de taille de l'étage d'entrée à la sortie pour la même raison que le cas se dilate.

Dans les deux cas, chaque étage est constitué d'un nombre déterminé d'aubes qui sont réparties autour d'un disque de rotor relié à un arbre rotatif.

Ces pièces importantes se trouvent aussi dans les turbines à action et à réaction: moulins à eau doux qui sont largement utilisé dans les barrages, les grandes centrales électriques, les rivières, lacs,....



Fig.I.13 : a) Turbine à action.

b) Turbine à réaction.

D'autre part, elles servent à propulser des géants engins (navires, sous-marins...), dont elles doivent être entièrement immergées dans la mer (environnement salin).

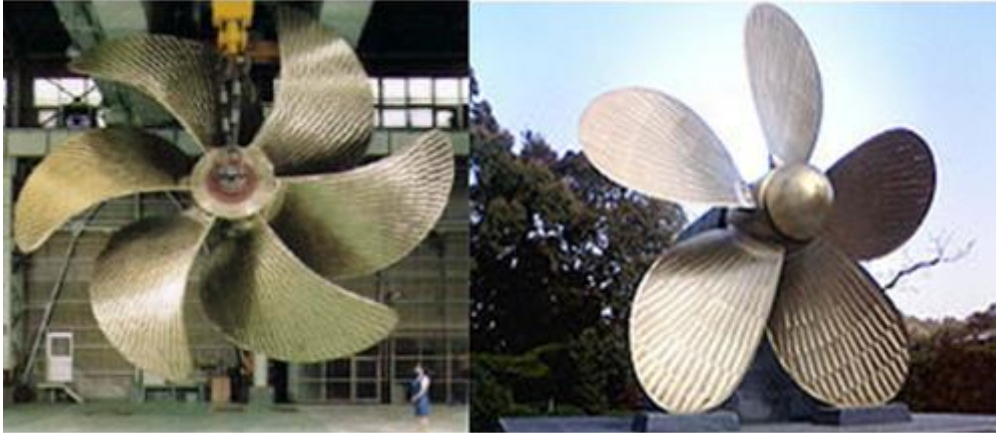


Fig.I.14 : Aubes de navire.

I.6. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA TURBINE:

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue une TAG est composée essentiellement de trois éléments :

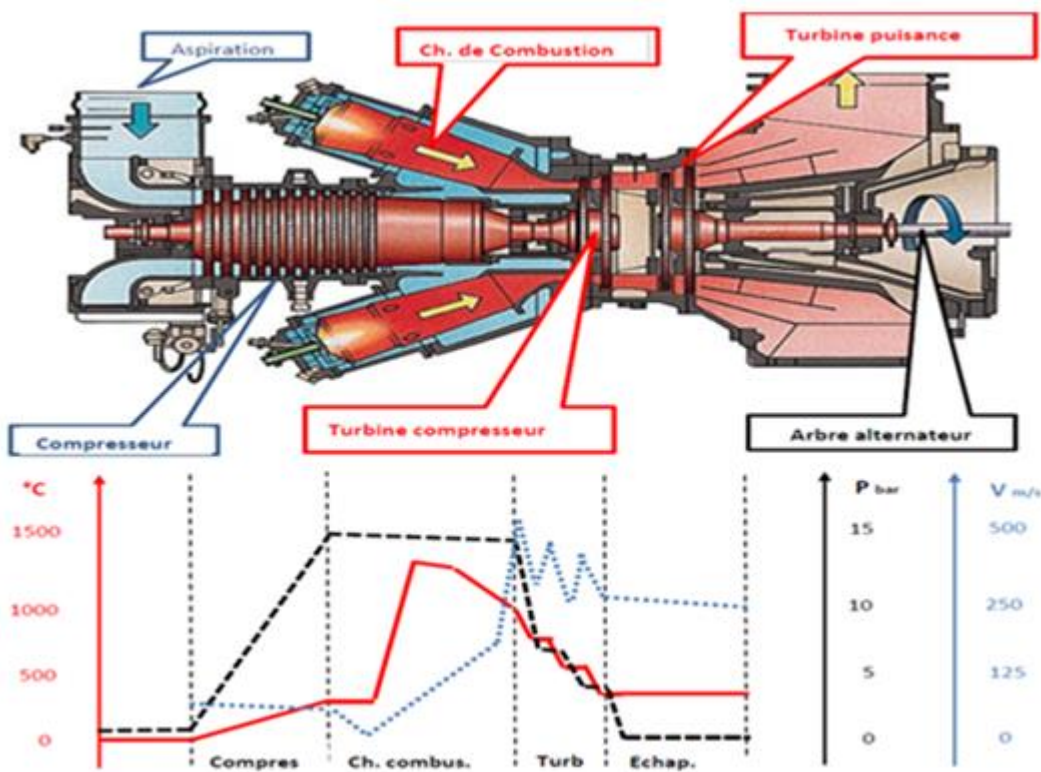


Fig.I.15 : L'ordre de grandeur de différents paramètres dans chaque élément de la turbine.

a. Un compresseur : qui a pour but d'alimenter la chambre de combustion en air comprimé, il comprend de 10 à 15 roues munies d'aubages, la 1^{ère} roue du compresseur aspire l'air extérieur et lui communique une vitesse. Des aubages directeurs divergents transforment cette vitesse en augmentation de la pression statique et ainsi de suite jusqu'à atteindre la pression souhaitée à l'entrée de la chambre de combustion.

b. Une chambre de combustion : Dans cette dernière, le combustible est mélangé à l'air provenant du compresseur et enflammé. Pour limiter la température dans la chambre et suer les aubes de la turbine en aval à des températures de 1000 à 1300°C supportables mécaniquement par les matériaux :

- De l'air est injecté en excès (30%) par rapport à la quantité strictement nécessaire à la combustion (température de flamme gaz naturel 1800°C)
- L'air circule autour de la chambre avant d'y être injecter, de façon à refroidir la paroi intérieure, le combustible peut être gazeux ou liquide pulvérisé (fuel léger), le volume de la chambre étant inchangé, l'augmentation de température entraîne une augmentation correspondante de la pression.

c. Une turbine : En sortie de chambre de combustion, la turbine est composée de plusieurs disques mobiles munis d'aubes profilées, entre les disques de turbine d'autres aubages profilées (aubages directeurs) fixes, réorientent le flux d'échappement pour qu'il attaque les aubes mobiles avec un angle optimum pour générer la portance. Sachant qu'elles sont soumises à des températures très élevées (1000°C), à une force centrifuge considérable (3000 tour/mn), à des effets d'abrasion par les gaz chauds à grande vitesse [2].

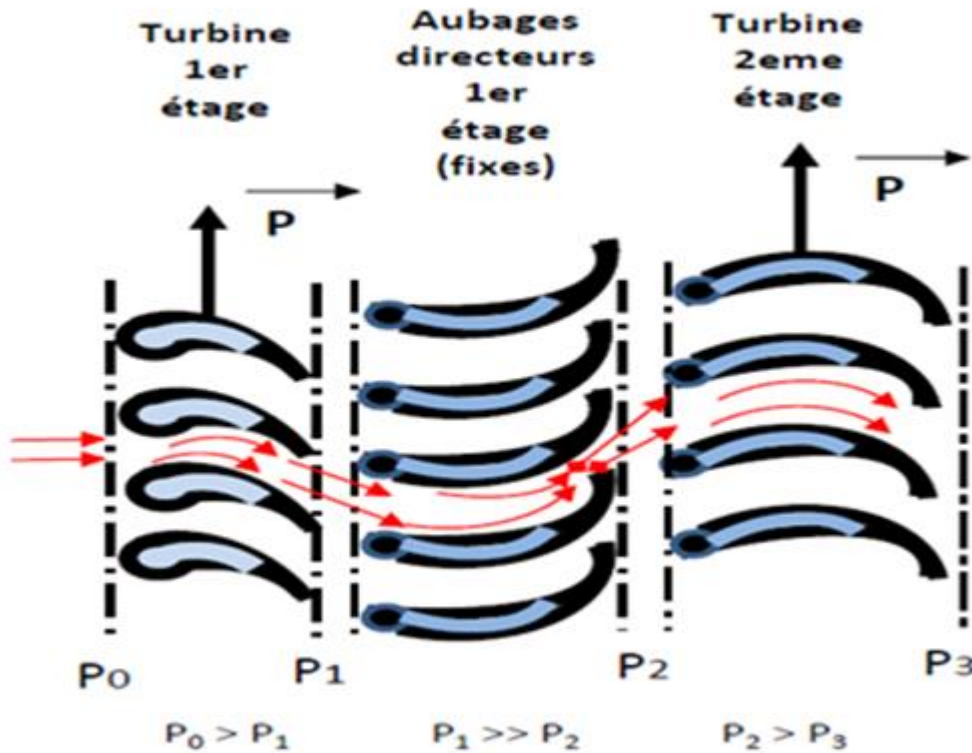


Fig.I.16: Schéma des aubes fixes et mobiles.

I.7. MATERIAUX DES AUBES :

Le choix du matériau des aubes dépend du domaine d'application, cela induit une influence de divers milieux où fonctionne l'aube, étant donné que les aubes dans une turbine à eau sont constamment exposées à l'eau et aux forces dynamiques caractérisées par un jet intense et concentré (pression d'aspiration), en plus, des atmosphères marines, les aubes des navires qui sont entièrement immergées dans un milieu salin, elles ont besoin d'avoir une haute résistance à la corrosion et la force, d'autre côté les parties chaudes de la TAG délivrent des très hautes températures (1300 à 1500°C) si bien que les aubes doivent être résistant à cette chaleur.

Ces matériaux qui sont des alliages au chrome à base de nickel, ou de cobalt ou encore d'une combinaison de ces éléments avec le fer, sont appelés superalliages.

On peut les diviser en trois grandes familles :

I.7.1. Alliages à base de fer- nickel-chrome :

- **Inconel:**

L’Inconel est considéré par l’industrie métallurgique comme faisant partie de la gamme des superalliages, base Nickel. L’inconel un alliage constitué de Nickel, de fer et de Chrome. Parmi les superalliages nous trouvons :

l’Inconel 600, l’Inconel 601, l’Inconel 625 (NiCr22Mo9Nb), et l’Inconel 718 (NiFe38Cr16Nb), l’Inconel 725, l’Inconel X-725, ces derniers offrent des performances exceptionnelles dans des environnements fortement sollicités, ils possèdent une bonne formabilité, bonne résistance à l’oxydation, excellente soudabilité. [3]

I.7.2. Alliages de chrome à base nickel:

Les superalliages à base nickel associent une aptitude remarquable à la mise en œuvre (capacités à être coulés, forgés, traités thermiquement, usinés, soudés, revêtus de couches protectrices...) à des résistances mécaniques à haute température très supérieures à celles de tous les alliages métalliques industriels (aciers, base aluminium, titane, cuivre...).

- **Hastelloy :**

Alliages de Hastelloy résistant à la corrosion : C22, C276 (présente également une excellente résistance à la corrosion par l’eau de mer), et d’autres résistant à la chaleur : S, W, X (bonne résistance à l’oxydation à 1093°C). [3]

- **Nimonic :**

Ces alliages offrent une excellente résistance à l’oxydation lorsqu’ils sont exposés à des températures élevées : alliage 105, 236. [3]

On peut citer quelques alliages développés par SNECMA dans le tableau ci-contre :

Alloy	Ni	Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	C	B	Zr	Hf
N18	Bal.	15.7	11.5	6.5	-	4.35	4.35	-	0.015	0.015	0.03	0.5
NR6	Bal.	15.1	13.8	2.1	4	3.2	4.5	-	0.02	0.01	0.05	0.3
NR3	Bal.	14.7	12.3	3.5	-	3.8	5.5	-	0.02	0.01	0.05	0.3
Astroloy	Bal.	16.6	14.6	5.0	-	4.0	3.5	-	0.028	0.028	0.06	-

Ces derniers donnent une bonne résistance au fluage et à la propagation de fissures à T $\geq 700^\circ\text{C}$. [4]

On peut distinguer aussi les superalliages monocristallins :

Alloy	Ni	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti	Ta	Nb	Hf	d (g.cm ⁻³)
AM1	Bal.	7.8	6.5	2	5.7	5.2	1.1	7.9	-	-	8.60
CMSX-2	Bal.	8	4.6	0.6	8	5.6	1	6	-	-	8.56
PWA1480	Bal.	10	5	-	4	5	1.5	12	-	-	8.70
René N4	Bal.	9.75	7.5	1.5	6	4.2	3.5	4.8	0.5	0.15	8.56

Il existe d'autres développements de superalliages monocristallins à l'ONERA :

- AM3 : superalliage à faible densité pour aubes mobiles.
- MC2 : superalliage à haute résistance en fluage.

Ces deux derniers destinés pour la fabrication des aubes de turbine haute pression des moteurs hélicoptères.

- MC-NG : superalliages pour applications à haute t°, et destinés aux moteurs commerciaux et militaires
- SC16, SCA et SCB : superalliages pour turbines terrestres. [4]

I.7.3. Alliages à base cobalt :

Grâce à leurs excellentes caractéristiques de résistance aux contraintes, l'usure et à la corrosion à température élevée, il est utile dans notre domaine.

- L'alliage 188 : combine une excellente robustesse à fortes températures (1440°C), une superbe résistance aux environnements oxydants et une bonne résistance à la corrosion thermique par dépôt de sulfate, à une facilité de soudage et aux bonnes caractéristiques de formage à chaud et à froid. [3]
- L'alliage L605/25 : est le plus solide des alliages de cobalt, il est largement utilisé dans des environnements à forte température allant jusqu'à 982,22°C, à cause de sa robustesse et de sa durabilité, résistant aux environnements marins, disponible sous forme de rouleau, de feuille et de produit de soudage. [3]
- L'alliage MP35N : possède une très grande robustesse, ténacité, ductilité et remarquable résistance à l'action corrosive de l'eau salée et dans d'autres environnements hostiles. [3]

I.7.4. Les composites à matrice céramique (CMC) :



Fig.I.17: Disque de turbine et aubes HP [6].

Les composites à matrice céramique (CMC), dans lesquels les fibres sont incorporées dans une matrice céramique, sont développés pour être utilisés dans des aubes de turbine [5]. Le principal avantage des CMC par rapport aux superalliages conventionnels est leur légèreté et leur haute température. On a démontré que les composites SiC / SiC constitués d'une matrice de silicium renforcée par des fibres de carbure de silicium résistent à des températures de fonctionnement supérieures de 200 ° à 300 ° F aux superalliages de nickel [7]. GE Aviation a démontré avec succès l'utilisation de telles lames composites SiC / SiC pour la turbine basse pression de son moteur à réaction F414 [8] [9]

Les propriétés exceptionnelles des composites SiC / SiC incluent une stabilité thermique, mécanique et chimique élevée tout en fournissant également un rapport résistance / poids élevé.

- **Propriétés mécaniques :**

Les propriétés mécaniques des CMC, y compris les composites SiC / SiC, peuvent varier en fonction des propriétés de leurs différents composants, à savoir la fibre, la matrice et les interphases. Par exemple, la taille, la composition, la cristallinité ou l'alignement des fibres dicteront les propriétés du composite. L'interaction entre la microfissuration matricielle et le décollement fibre-matrice domine souvent le mécanisme de défaillance des composites SiC / SiC. Il en résulte des composites SiC / SiC ayant un comportement non cassant malgré être entièrement céramique. De plus, les taux de fluage à des températures élevées sont également extrêmement faibles, mais toujours dépendants de ses différents constituants. [10,11].

- **Propriétés thermiques :**

Les composites SiC / SiC ont une conductivité thermique relativement élevée et peuvent fonctionner à des températures très élevées en raison de leur résistance intrinsèquement élevée au fluage et à l'oxydation. La porosité résiduelle et la stœchiométrie du matériau peuvent varier sa conductivité thermique, la porosité croissante conduisant à une conductivité thermique plus faible et la présence de phase Si-O-C conduisant également à une conductivité thermique plus faible. En général, un composite SiC / SiC bien traité peut atteindre une conductivité thermique d'environ 30 W / m-K à 1000 Celsius [10]

- **Propriétés chimiques :**

Comme les composites SiC / SiC sont généralement recherchés dans des applications à haute température, leur résistance à l'oxydation est d'une grande importance. Le mécanisme d'oxydation des composites SiC / SiC varie en fonction de la plage de températures, le fonctionnement dans la plage de température supérieure (> 1000 ° C) étant plus avantageux qu'à des températures inférieures (<1000 ° C). Dans le premier cas, l'oxydation passive produit une couche d'oxyde protectrice dans laquelle, dans ce dernier cas, l'oxydation dégrade l'interface fibre-matrice. [10]

I.8. CONCLUSION:

La complexité de ces pièces astreint le constructeur de faire face à un très large éventail de domaines techniques qui comprend la mécanique des fluides, la mécanique de propulsion, la dynamique des gaz, la thermodynamique, les sciences des matériaux et les procédés de fabrications...

L'ingénieur doit concevoir et dimensionner ces éléments dans le but d'obtenir la meilleure performance avec des solutions de fabrication simple et économique tout en garantissant la durée de vie et la fiabilité avec un minimum de risque .

Chapitre II : Concepts théoriques et expérimentaux du fraisage de l'aube

II.1. Introduction

Le fraisage à commande numérique à grande vitesse permet aux usineurs de fabriquer des produits de haute qualité de surface tout en améliorant la précision. Les industries des diverses domaines (aéronautique, automobile, moules, etc,) bénéficient largement de ces progrès. Des broches de haute vitesse et des tables mobiles plus précises sont de nets avantages pour le dégrossissage des pièces. Mais en contre partie, des vitesses de rotation élevées signifient aussi que le procédé excite les fréquences naturelles du système usinant. Il en résulte du broutement qui peut sévèrement affecter la qualité de la surface usinée. Le phénomène est d'autant plus contraignant lorsqu'il s'agit de l'usinage d'une paroi mince. La faible rigidité de ces pièces favorise la sollicitation de ses modes propres à des fréquences moins élevées que le reste du système. [13]

II.2. Stratégie

Pour maîtriser la dynamique de l'aube au cours du fraisage, on doit savoir les efforts de coupe appliqués sur l'aube.

II.2.1. Modèle de force de coupe

L'usinage de finition est un procédé d'usinage à faible profondeur de passe radiale. Un modèle de force de coupe doit être déterminé. L'engagement de l'arête coupante et l'épaisseur instantanée du copeau permettront de déterminer les composantes radiale et tangentielle tel que présenté ici-bas :[13]

$$F_t = K_{tc}bh + K_{te}b \quad (1)$$

$$F_r = K_{rc}bh + K_{re}b \quad (2)$$

où: F_t et F_r ont respectivement les composantes tangentielle et radiale du vecteur force,

K_{ic} et K_{ie} sont les coefficients spécifiques de coupe, h est l'épaisseur du copeau et b est la profondeur de coupe. L'outil de coupe est modélisé par tranches axiales. Chacune de ses tranches intègre une arête coupante dont l'angle d'hélice est nul. La position angulaire relative entre les tranches reproduit l'angle d'hélice global de l'outil. [13]

II.2.2. Modèle de vibration de l'aube

L'aube est simulée comme une plaque mince. Fig. II.

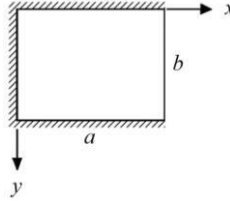


Figure II.1. Représentation d'une plaque mince . [13]

La solution finale obtenue est en parfaite conformité avec l'équation différentielle gouvernant la vibration des plaques minces tel que présenté plus bas :

$$D \left[\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} \right] + \rho \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = F_{(x,y,t)} \quad (3)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (4)$$

où D est la rigidité en flexion de la plaque, W est son déplacement vibratoire local, ρ est sa masse volumique par unité de surface, F est la composante en z de la fonction de force imposée à la plaque, E est le module d'élasticité, h est l'épaisseur et ν est le coefficient de Poisson de la plaque. Les solutions classiques de type Lévy sont utilisées : [13]

$$W(\xi, \eta) = \sum_{m=1}^k Y_m(\eta) \sin m\pi\xi \quad (13)$$

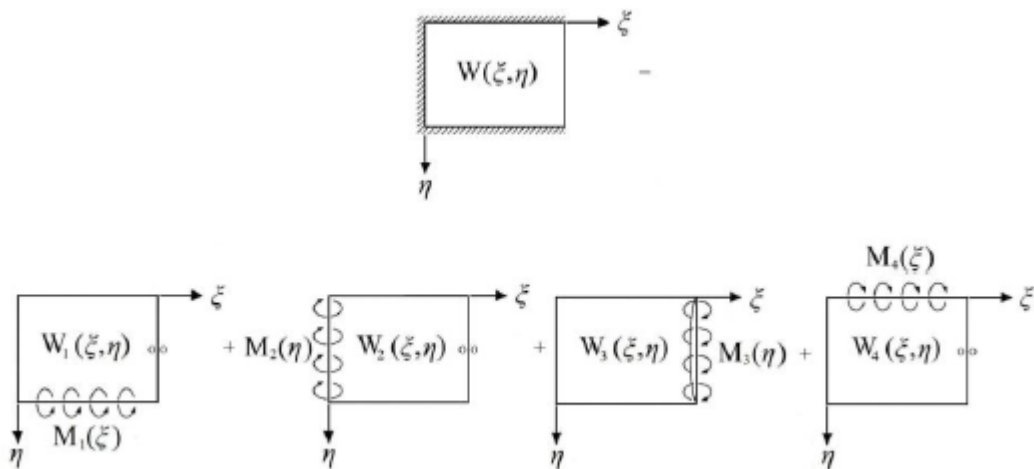


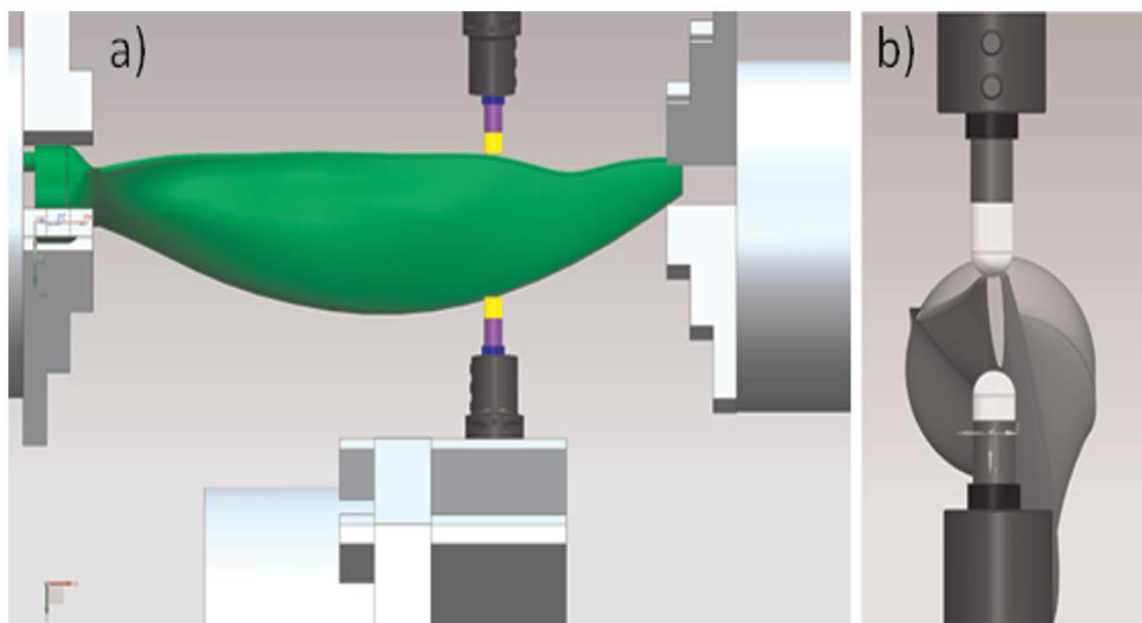
Figure 2. Blocs représentant le problème d'une plaque

II.2.3. Modèle de vibration d'outil

L'outil de coupe vibre durant le procédé d'usinage. La magnitude des vibrations peut se révéler une sérieuse source d'erreurs. Par conséquent, plusieurs modèles ont été développés par des chercheurs afin de prédire l'impact de la flexibilité de l'outil de coupe sur la géométrie des surfaces usinées. D'un point de vue industriel, le système usinant (machine-outil, porte-outil et outil de coupe) avec lequel une pièce spécifique sera fabriquée n'est pas nécessairement connu de l'individu qui élabore la planification de l'usinage de la pièce. Ce dernier est d'autant moins en mesure de connaître les paramètres modaux caractérisant le système usinant. Finalement, dans le contexte de l'usinage de parois minces, la rigidité des outils de coupe est largement supérieure à celle des parois. C'est pourquoi, la solution présentée dans cet article ne considère pas les vibrations de l'outil de coupe, ce dernier étant considéré infiniment rigide. [13]

II.2.4. Modèle d'enlèvement de matière

À chaque itération temporelle de la simulation, la position de l'arête coupante et de l'ensemble de la paroi mince sont calculées. L'immersion de l'outil dans la pièce détermine le volume de matière enlevé à cette dernière et la géométrie de la surface résultante.



FigII.3.(a) Vue frontale d'une pale d'hélice de fraisage à pincement à cinq axes et (b) Vue latérale d'une pale d'hélice de fraisage à pincement à cinq axes. [13]

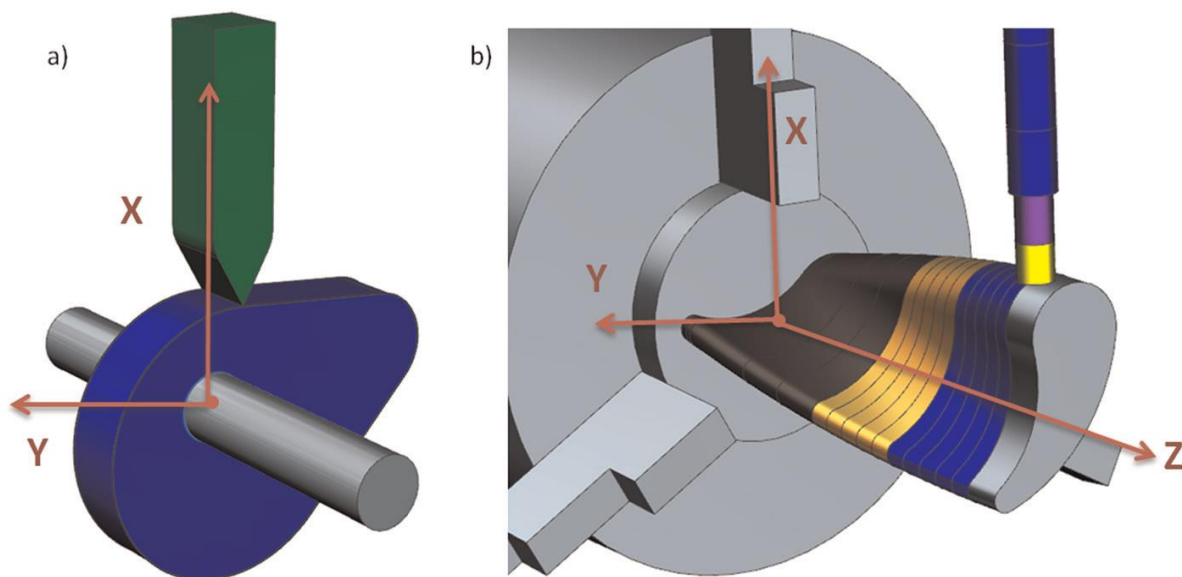


Fig.II.4. Comparaison d'un système de came et de suiveur (a) et d'une opération de fraisage par rotation de l'axe Y (b).

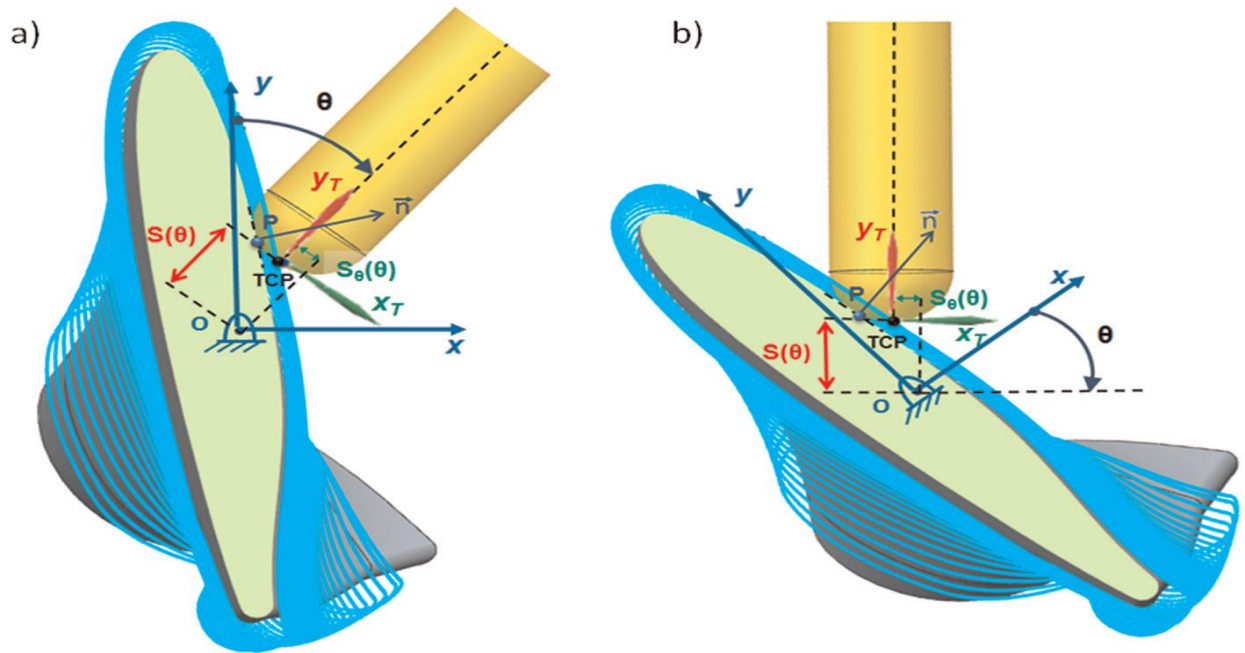


Fig. II.5. Définition du processus au stade CAM et transformation vers les axes centraux de rotation.[13]

La première étape consiste à initialiser les variables : Les paramètres technologiques, les propriétés physiques de l'outil et la géométrie de la pièce. Ensuite, la position de chaque arête coupante de l'outil est définie en fonction du pas de temps discret initial. On vérifie s'il y a contact entre l'outil de coupe et la pièce. Lorsqu'il y a contact, l'épaisseur instantanée du copeau est évaluée et corrigée en fonction des forces de coupe générées et de la position de la paroi. Une fois l'équilibre atteint entre ces trois paramètres, on procède officiellement à l'enlèvement de matière et la nouvelle géométrie de la surface usinée est sauvegardée. [13]

II.3. Partie expérimentale

La partie expérimentale comprend une simulation avec Ansys et programmation avec MATLAB.

II.4. Conclusion

Cette méthode a prouvé que l'étude du comportement dynamique d'une opération de fraisage de finition d'une aube peut être simulé comme celui d'une plaque mince.

Chapitre III : Simulation de l'aube

III.1. Introduction

Ce chapitre sera consacré, dans une première partie à la conception de l'aube, la seconde sera réservé à sa simulation statique et modale .

III.2. Conception de l'aube.

L'aube mise à la simulation est conçue par le logiciel CATIA V5 R20.

En premier lieu, on a commencé par l'esquissage du pied (Fig.III.1).

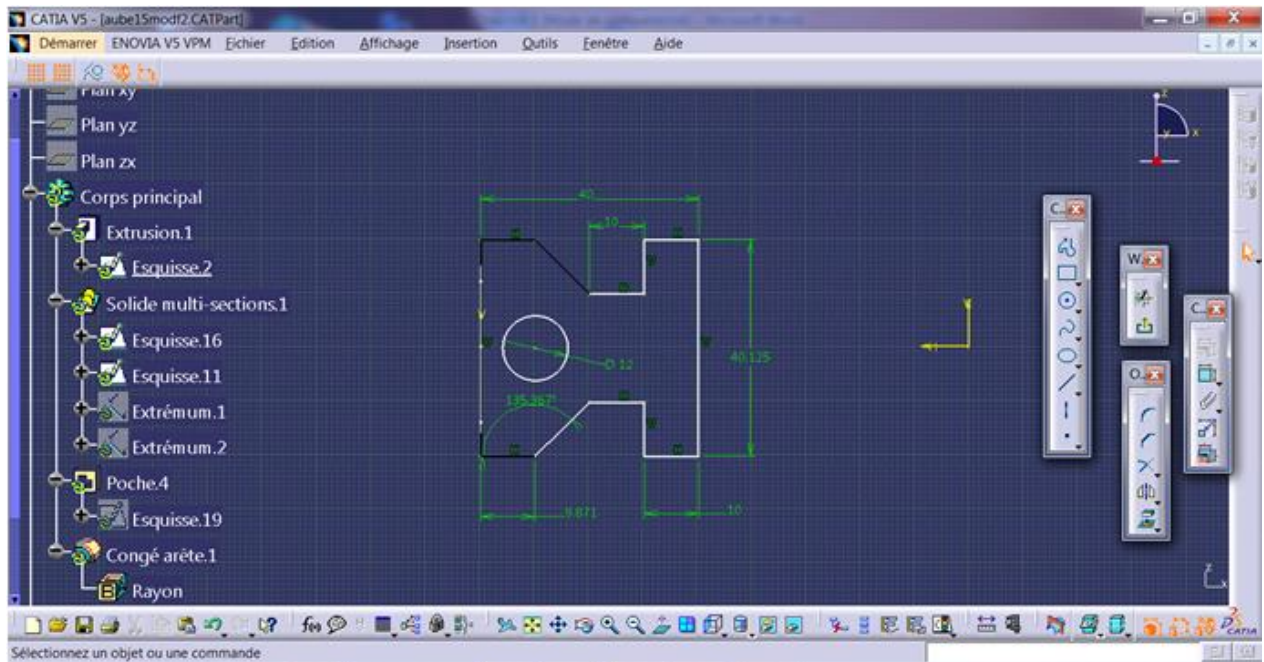


Fig.III.1 Esquisse du pied .

L'obtention du volume du pied est obtenu en appliquant l'opérateur d'extrusion.

Ensuite, le pied et le sommet de l'aube sont construits par deux courbes Spline fermées dont les coordonnées sont illustrées sur le tableau Tab.III.1 .

Spline du pied	X(mm)	-43	-27	-13	12.9	-38	-5.3	-70	-73	-61	-53	-43
	Y(mm)	2	10	12	14.3	13	10	0	-14	-15	-8	2
Spline du sommet	X(mm)	-51.2	-33	-33	-47.7	-56.8	-67.5	-70.2	-63.2	-58	-51.2	-
	Y(mm)	5	10	11	11.3	10.3	5.2	4	-5.8	-2	5	-

Tab.III.1. Coordonnées des courbes Spline

Les deux esquisses sont réalisées, une sur la surface du pied et l'autre sur un plan parallèle et distant de 100 mm .

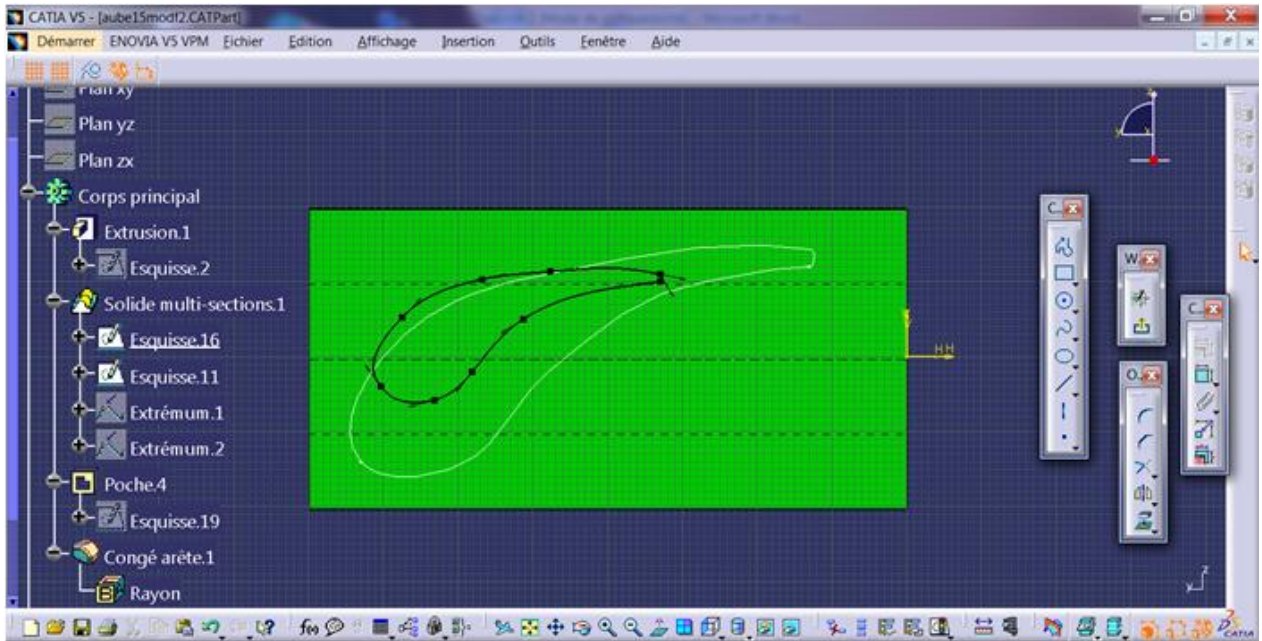


Fig.III.2. Esquisses du pied et du sommet .

Le corps de l'aube est ensuite construit par l'opérateur de lissage multisection. Fig.III.3.

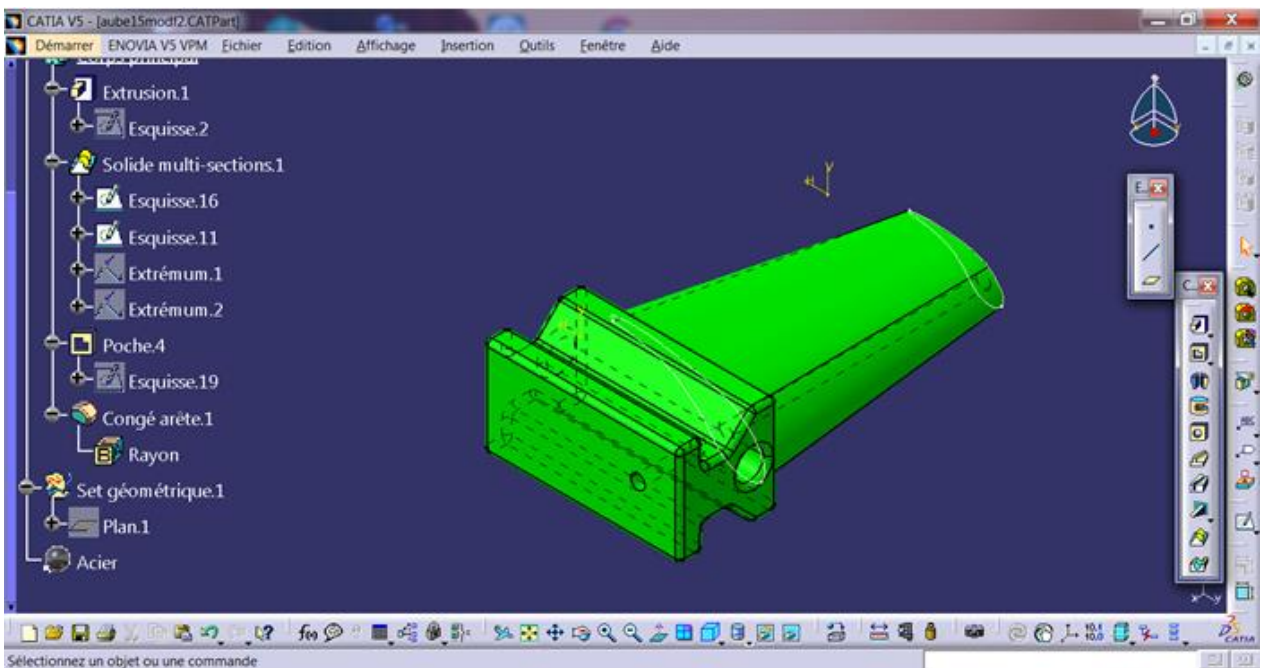


Fig.III.3. L'aube mise à la simulation

III.3. Analyse de l'aube

Après avoir préparé l'aube par le logiciel CATIA, on procède à faire sa simulation par le code ANSYS APDL .

III.3.1. Démarches nécessaires pour faire une simulation par ANSYS :

ANSYS est un logiciel qui utilise les éléments finis pour la simulation afin résoudre numériquement une large variété de problèmes mécaniques. Ces problèmes peuvent être : la statique /dynamique, analyse structurale (linéaire et non linéaire), transfert de chaleur, problèmes de mécanique des fluide, acoustiques et électromagnétiques,...

En premier lieu, on peut ouvrir le logiciel en WorkBench ou en ANSYS launcher.

Les démarches nécessaires pour utiliser d'ANSYS

III.3.1.1. Prétraitement :

Les étapes principales dans le prétraitement sont :

1. Définir le géométrie du modèle (disque).
2. Définir le type d'élément (Elément poutre, shell, solid,..) et les propriétés du matériau (masse volumique, module de Young, coefficient de Poisson,..).
3. Maillage : Maillage volumique, surfacique, ..

III.3.1.2. Solution :

Attribution des charges, des contrainte, des conditions aux limites et finalement

faire la solution du problème (Résolution des équations) .

III.3.1.3 Post-Traitement :

Une transformation plus ultérieure et visionnement des résultats.

Dans cette étape, on spécifie les résultats qu'on peut voir :

Les déplacements nodaux.

Les forces et des moments pour chaque élément.

Les iso-valeurs pour les contraintes et les déformations.

Les courbes donnant les variations d'un paramètre quelconque en fonction de n'importe quelle autre variable à n'importe quel endroit de la structure. (ici, le disque)

III.3.2. Commencer le programme

III.3.2.1. Préliminaires

Deux façons pour utiliser le code de calcul ANSYS :

La première est à l'aide de l'interface graphique d'utilisateurs (IUG) (Graphical User Interface GUI). Cette méthode suit les conventions de Windows.

La seconde grâce aux fichiers de commande. Celle-ci a l'avantage de résumer l'analyse entière en un petit fichier texte, contenant des commandes et ayant un nombre réduit de lignes. Une trentaine de lignes peut faire un traitement considérable. Cette possibilité permet à l'utilisateur de faire des modifications de son modèle d'une façon plus facile.

La fenêtre principale de l'environnement d'ANSYS permet de sélectionner une commande ou choisir une option pour démarrer avec la création du modèle géométrique. Voir la Fig. III.1.

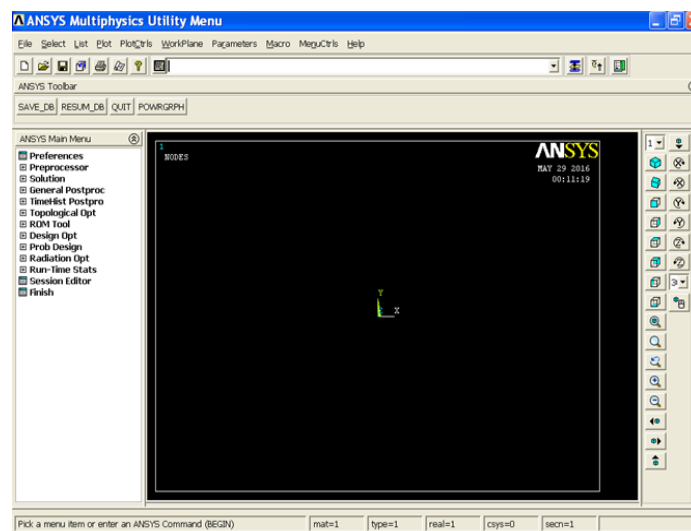


Fig. III.4. Fenêtre principale d'ANSYS

III.3.2.2 Les menus :

Le menu de service [A] contient les fonctions qui sont disponibles dans toute la session d'ANSYS, telle que des commandes de dossier, des choix, des commandes graphiques, et des paramètres.

III.3.2.3 Ligne d'entrée :

La ligne d'entrée [B] montre les messages prompts du programme et laisse saisir les commandes directement.

III.3.2.4 Barre d'outils :

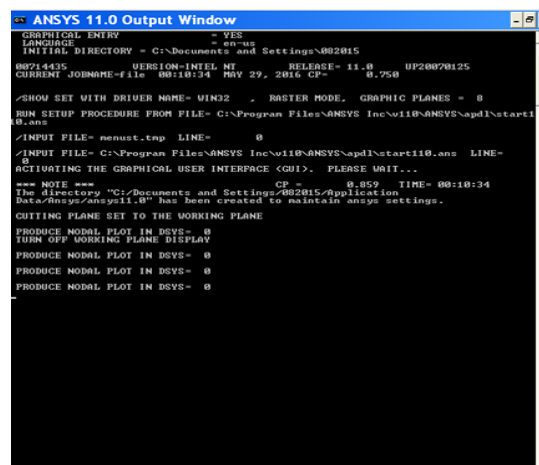
La barre d'outils [C] contient les boutons qui exécutent les commandes utilisées généralement dans ANSYS.

III.3.2.5 Menu principal :

Le menu principal [D] contient les fonctions primaires d'ANSYS, organisées par le préprocesseur, la solution, le post-processeur général, et l'optimiseur de conception.

III.3.2.6 Graphiques Windows :

La fenêtre graphique [E] permet de montrer les diverses étapes lors de la construction du modèle et l'affichage des résultats de l'analyse. La Figure III.2 représente une fenêtre qui montre le texte produit par le code, tel que la liste des données...etc. Elle est habituellement placée derrière la fenêtre de graphiques.



```

ANSYS 11.0 Output Window
GRAPHICAL ENTRY = YES
LANGUAGE = FR-FR
INITIAL DIRECTORY = C:\Documents and Settings\882815
08214435 VERSION-INTEL NT RELEASE= 11.0 UP20070125
CURRENT JOBNAME=File 00:10:34 NOV 29, 2016 CP= 0.750
/SHOW SET WITH DRIVER NAME= WIN32 , RASTER MODE, GRAPHIC PLANES = 0
RUN SETUP PROCEDURE FROM FILE= C:\Program Files\ANSYS Inc\110\ANSYS\apdl\start110.exe
/INPUT FILE= menust.tsp LINE= 0
/INPUT FILE= C:\Program Files\ANSYS Inc\110\ANSYS\apdl\start110.ans LINE= 0
ACTIVATING THE GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI). PLEASE WAIT...
--- NOTE --- CP = 0.859 TIME= 00:10:34
The directory "C:\Documents and Settings\882815\Application
Data\ansys\ansys11.0\" has been created to maintain ansys settings.
CHITTING PLANE SET TO THE WORKING PLANE
PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
TURN OFF WORKING PLANE DISPLAY
PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
  
```

Fig. III.5. Fenêtre produite d'ANSYS.

III.3.2.7. Sauvegarde et ouverture

Il est nécessaire de faire des sauvegardes du modèle pendant les étapes d'une session de travail. Ceci peut être fait à l'aide de : ANSYS Utility Menu choisissez, File → Save as Jobname.db. Le modèle sera archivé dans un dossier appelé le nom du travail (Jobname.db), Figure III.3.

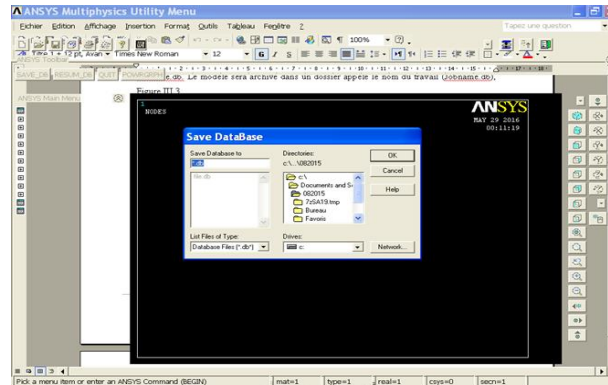


Fig. III.6. Sauvegarde de la base de données du problème

III.3.2.8. Dénomination des fichiers générés

Lors de son lancement ANSYS crée un nombre de fichiers. Ceux-ci sont nommés comme avec les extensions prédéfinies : *.db, *.dbb, *.err, *.out, *.log,..

beam.db - Base de données (binaire). Ce dossier stocke la géométrie, les conditions limites, et toutes les solutions.

beam.dbb - Support de la base de données (binaire).

beam.err - Fichier d'erreur (texte). Liste de toutes les erreurs et les messages d'avertissement.

beam.out - Fichier texte produit par toutes les opérations d'ANSYS. C'est ce qui fait défiler les lignes dans la fenêtre d'output d'ANSYS.

beam.log - Fichier contenant toutes les lignes de commande d'ANSYS .

III.3.2.9. Impression et traçage

ANSYS produit les résultats sous forme de listes et de tableaux. Si on désire sauvegarder les résultats dans un dossier ou pour une analyse ultérieure, au lieu d'employer Plot Résult pour tracer les contraintes, on choisit Liste Résult. Quand la liste apparaît sur l'écran, on choisit le dossier : Save As et on donne un nom de fichier pour stocker ces résultats. N'importe quelle autre solution peut être faite de la même manière. Par exemple, choisissez Nodal Solution de la List Résult du menu pour obtenir des déplacements. Les données de prétraitement et de solution peuvent être classées et sauvegardées à l'aide de List menu dans ANSYS Utility menu. Quand il y a un besoin de sauvegarder rapidement une image de l'écran entier ou du Fenêtre de graphiques courant, de ANSYS Utility Menu choisissez Plot Ctrl → Hard Copy. Il y a deux options, à savoir To Printer voir la Fig. III.4 et To File voir la Fig. III.5.

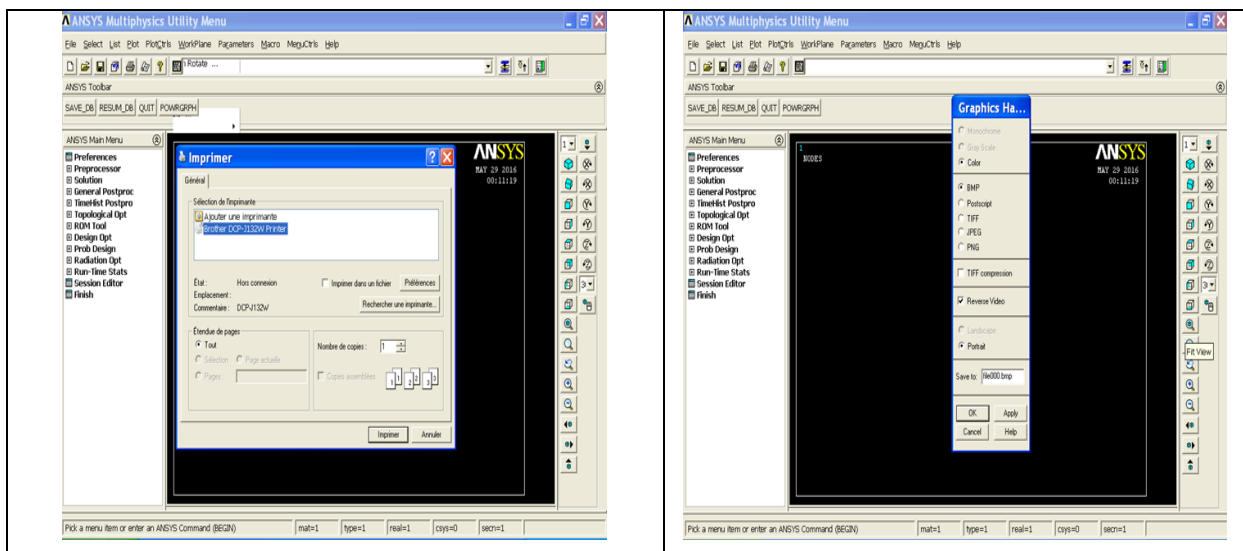


Fig. III.7. Copie à imprimer et à sauvegarder

III.3.2.10 Sortie du programme

Les choix entre les options de sortie : Quit - No Save ou Quit - Save de Utility Menu choisissez File → Exit, permettent de sortir du code ANSYS.

III.3.2.11. Étape de prétraitement

III.3.2.11.1. Construire un modèle

D'abord, un nom de travail et un titre d'analyse doivent être spécifiés. Après, le préprocesseur PREP7 est utilisé pour définir les types d'élément, constantes d'élément réel, les propriétés de matériaux, et la géométrie de modèle. Il est important de se rappeler qu'ANSYS n'assume pas un système des unités pour l'analyse prévue. Excepté dans des analyses de champ magnétique, n'importe quel système des unités peut être employé à condition qu'on lui assure que les unités sont conformes pour toutes les données d'entrée. Les unités ne peuvent pas être placées directement du GUI. Afin de placer des unités comme système des unités international (SI) de l'ANSYS Main Menu, choisissez les unités Preprocessor → Matériel Props → Matériel Library → Select. La Figure III.6 montre la fenêtre en résultant.

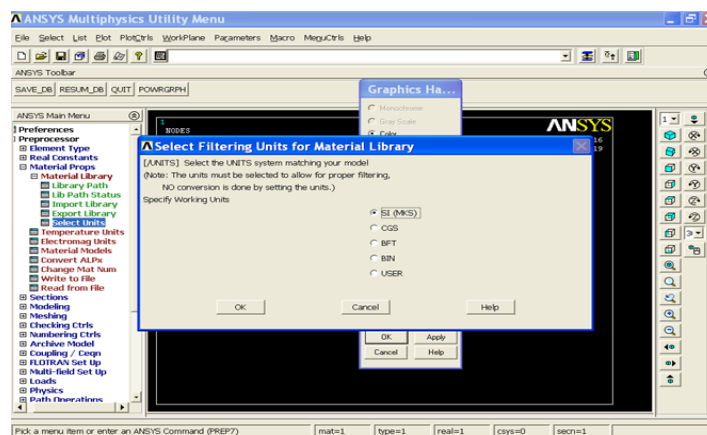


Fig. III.8 choix du système d'unités

III.3.2.11.2. Définir le type d'élément et les constantes réelles

La bibliothèque d'élément d'ANSYS un grand nombre de différents types d'élément. Chaque type d'élément a un nom et un nombre qui préfixe ce nom (Shell93). Pour cela, on doit entrer dans le préprocesseur PREP7 comme suit: De l'ANSYS Main Menu, choisissez Préprocesseur or →Elément Type→Add/Edit/Delete. Dans la réponse, la fenêtre représentée sur la figure III.7 apparaît. Cliquer sur le bouton Add et une nouvelle fenêtre, représentée sur la Figure III.8, apparaît.

Choisissez un type d'élément pour l'analyse en cours, par exemple, le Solid95 et le 8node 183 suivant les indications de la Figure III.8. Les constantes réelles d'élément sont des propriétés qui dépendent du type d'élément, telle que la section, distances entre les nœuds de l'élément choisi. Ce réglage se trouve dans : ANSYS Main Menu commande Preprocessor → Modeling → Create → Elements → Element Attributes.

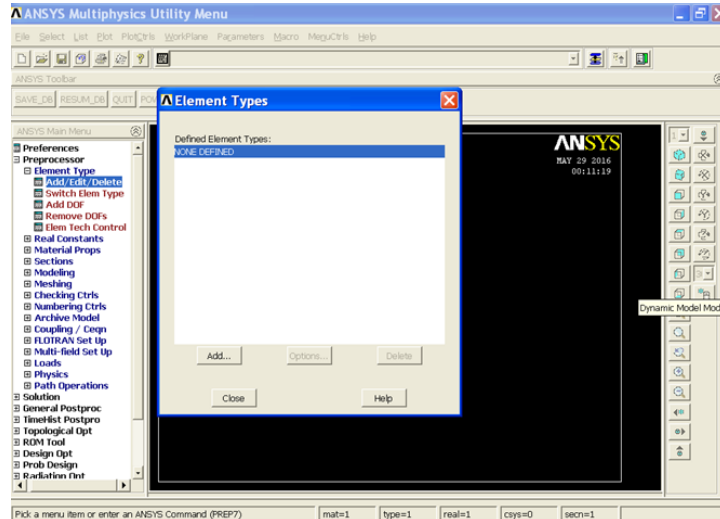


Fig. III.9. Définition du type d'élément.

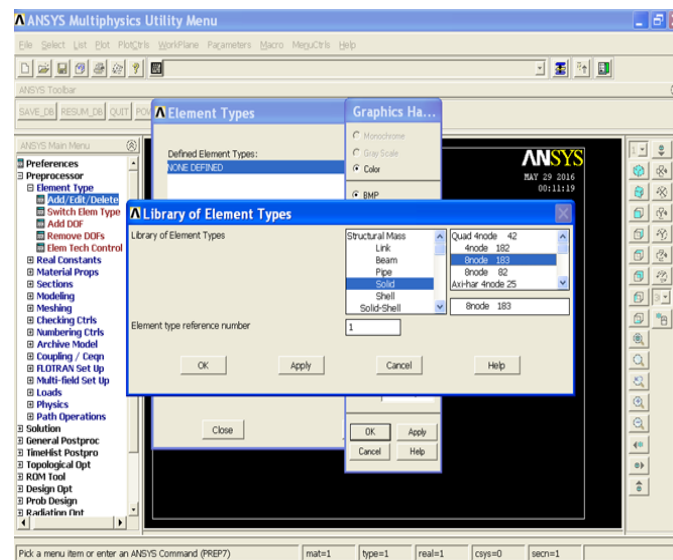


Fig. III.10. Choix du type d'élément.

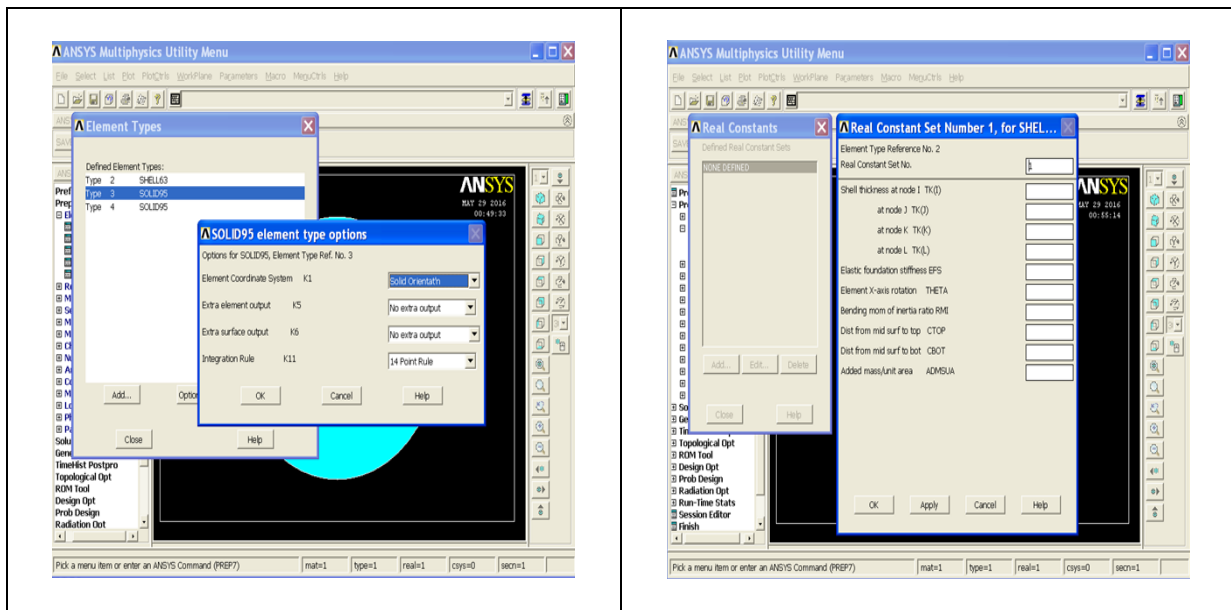


Fig. III.11. Options du type de l'élément et paramètres de Real constant

Les attributs d'élément peuvent être définis selon les exigences du type d'analyse demandé.

III.3.2.11.3. Définir les propriétés des matériaux

Les propriétés des matériaux sont exigées pour la plupart des types d'élément. Les propriétés des matériaux peuvent être linéaires ou non linéaires, isotropes, orthotropes ou anisotropes, température constante ou température variable. Chaque ensemble de propriétés de matériau a un numéro de référence. Le tableau des numéros de référence des matériaux selon les propriétés des matériaux s'appelle le tableau de matériaux. Dans une analyse, il peut y avoir des ensembles multiples de propriétés de matériaux correspondant aux matières multiples employées dans le modèle. Chaque ensemble est identifié avec un numéro de référence unique. Bien que des propriétés des matériaux puissent être définies séparément pour chaque analyse, le code ANSYS permet de stocker une propriété matérielle réglée dans un dossier de matériaux archivé dans la bibliothèque. Chaque ensemble de propriétés matérielles a son propre dossier de bibliothèque. Pour créer un matériau isotrope, ayant une densité, un module de Young et un coefficient de Poisson connus on choisit :

ANSYS Main Menu, Preprocessor → Material Props → Material Models. La fenêtre de la figure III.10 apparaît.

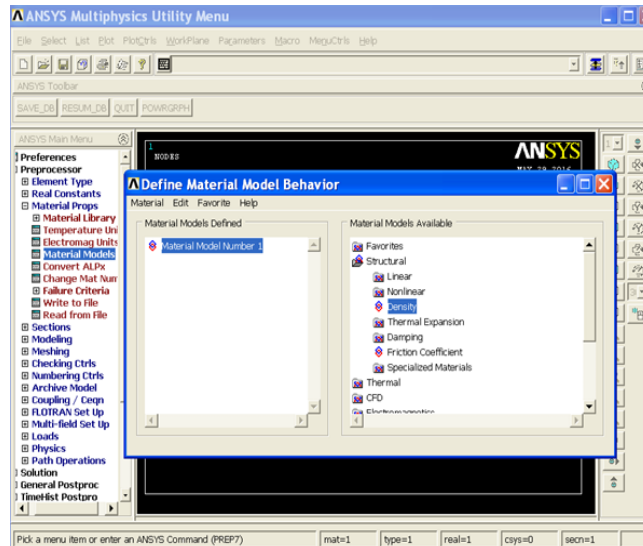


Fig. III.12. Définition du matériau.

Sur la Figure III.10, Si on clique deux fois sur isotrope, une autre fenêtre apparaît pour saisir les valeurs numériques de la densité,....Figure III.11.

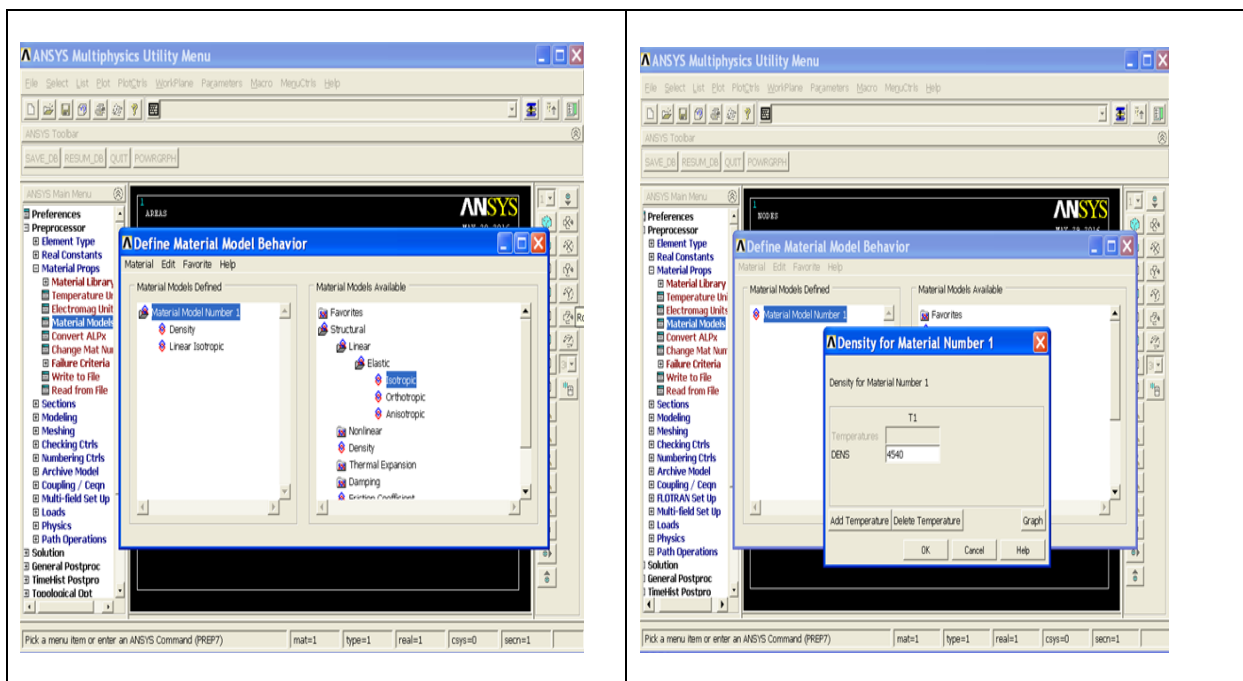


Fig. III.13. Saisi des propriétés du matériau.

III.3.2.11.4. Construction du modèle

a. Création de la géométrie du modèle et maillage.

Pour faire la modélisation d'un solide et génération directe d'un modèle, Ansys offre un module CAO ayant plusieurs entités d'esquisse et opérateurs qui permettent de créer un modèle géométrique. L'étape de maillage peut être engagée par la suite. On peut raffiner une zone bien déterminée à l'aide des contrôles existants.

b. Applications des charges

Les charges peuvent être appliquées en utilisant le préprocesseur PREP7 ou le processeur de SOLUTION.

Indépendamment de la stratégie choisie, il est nécessaire de définir les options de type d'analyse et l'analyse, d'appliquer des charges, de spécifier des options d'étape de charge, et de lancer la solution d'élément fini. Le type d'analyse à employer est basé sur les conditions de charge et la réponse. Par exemple, si des fréquences et des formes de mode sont déjà calculées, puis une analyse modale doit être choisie. Le programme d'ANSYS offre les types suivants d'analyse : statique, harmonique, modal,.... Il est à remarquer qu'on ne peut pas faire n'importe quel type d'analyse sans respecter les pré requis de ce dernier. L'analyse modale, par exemple, est inadmissible pour les modèles thermiques. Les options d'analyse permettent la personnalisation du type d'analyse. Pour définir un type d'analyse et les options d'analyse, utiliser ANSYS Main Menu et choisir Main Menu : preprocessor → Loads → Analysis Type → New Analysis. La fenêtre sur la Figure III.12 apparaît.

seulement un ensemble de résultats peut résider dans la base de données en même temps, alors qu'un certain nombre de résultats peuvent être écrits dans le dossier des résultats. Une fois que la solution a été calculée, les post-processeurs d'ANSYS peuvent être employés pour réexaminer les résultats.

III.3.2.13. Étape de post-traitement

Deux post-processeurs sont disponibles :

a. POST1 :

Le post-processeur général est employé pour réexaminer des résultats à une seule sous étape (étape de temps) au-dessus du modèle entier ou de la partie choisie du modèle. La commande à écrire POST1 exige le choix d'ANSYS Main Menu General post processor.

Ayant d'utiliser des affichages de cette découpe de post-processeur, des formes déformées, et les listes tabulaires pour réexaminer et interpréter les résultats de l'analyse peuvent être obtenues. POST1 offre beaucoup d'autres possibilités, y compris l'évaluation des erreurs, des combinaisons de cas de charge, calculs parmi des données de résultats, et le chemin opérations.

b. POST26 :

Le post-processeur d'histoire de temps est employé pour réexaminer des résultats aux points spécifiques; dans le modèle au-dessus de toutes les étapes de temps. La commande à écrire POST26 est comme suit : à partir de l'ANSYS Main Menu choisir le Time Hist post processor. Représenter graphiquement des résultats contre le temps (ou la fréquence) et les listes tabulaires peuvent être obtenues. Les autres possibilités du POST26 sont d'inclure des calculs arithmétiques et l'algèbre complexe.

III.4. Analyse modale de l'aube

III.4.1. Caractéristiques de l'aube mise à l'étude:

Les caractéristiques de l'aube sont :

Matériau : Alliage d'aluminium	Masse volumique : $\rho = 2770 \text{ kg/m}^3$.
Module de Young : $E = 7.1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$.	Coefficient de Poisson : $\nu = 0.33$.

III.4.2. Maillage de l'aube :

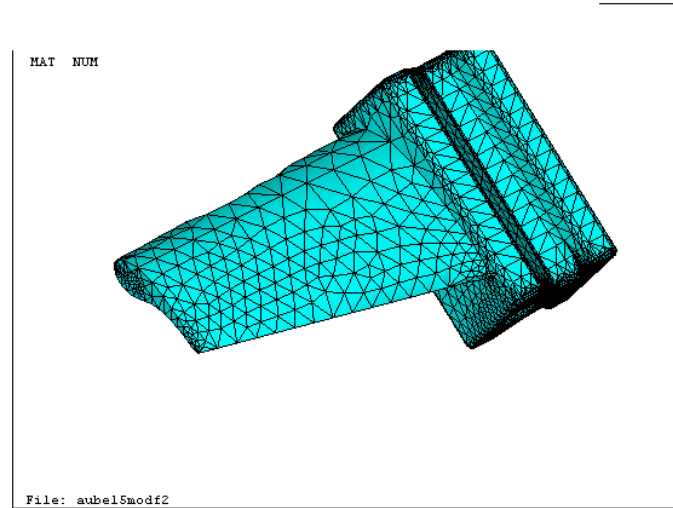


Fig. III.16. Aube maillée en utilisant l'élément Solid186.

Les premières déformées propres de l'aube :

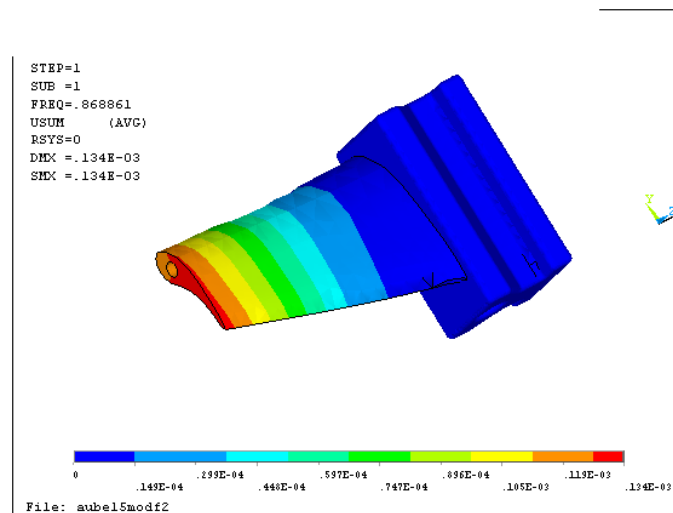


Fig. III.17. Déformée modale, mode 1, fréquence : 0.86 Hz.

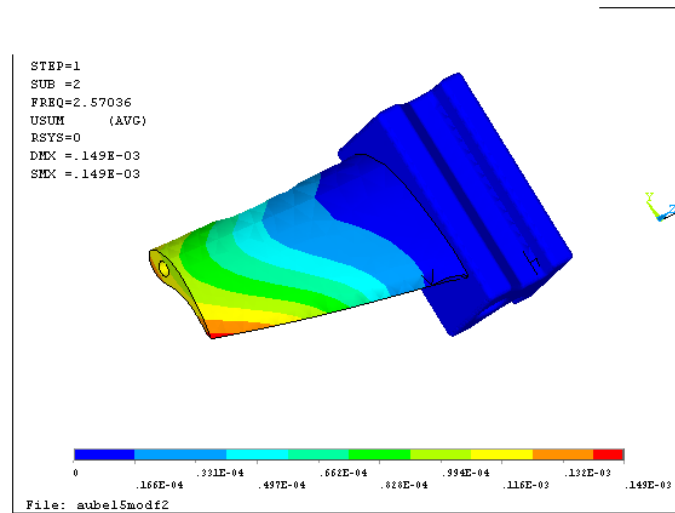


Fig. III.18. Déformée modale, mode 2, fréquence : 2.57 Hz.

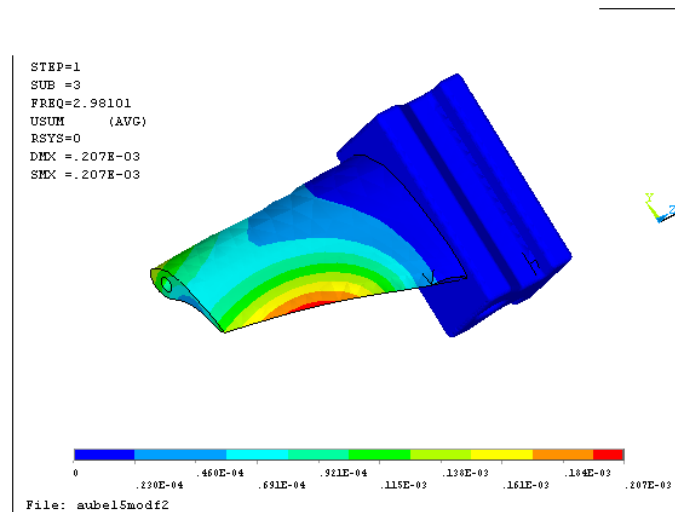


Fig. III.19. Déformée modale, mode 3, fréquence : 0.98 Hz.

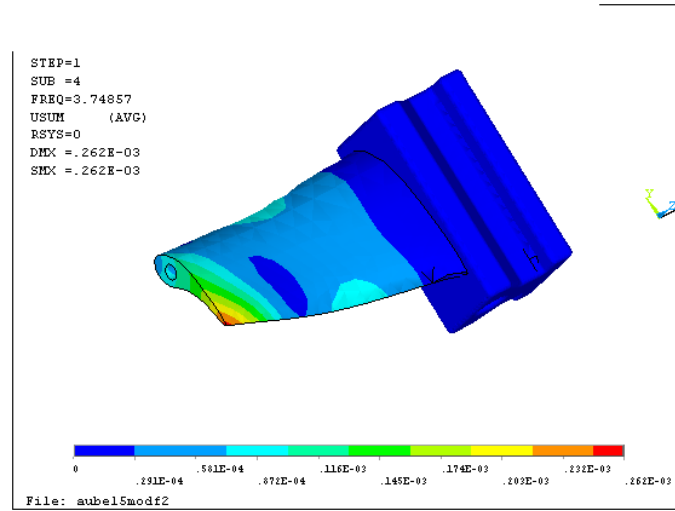


Fig. III.20. Déformée modale, mode 4, fréquence : 3.74 Hz.

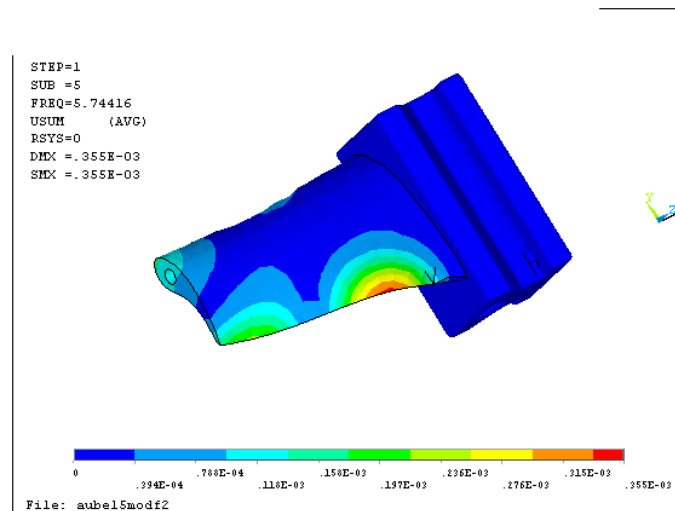


Fig. III.21. Déformée modale, mode 5, fréquence : 5.74 Hz.

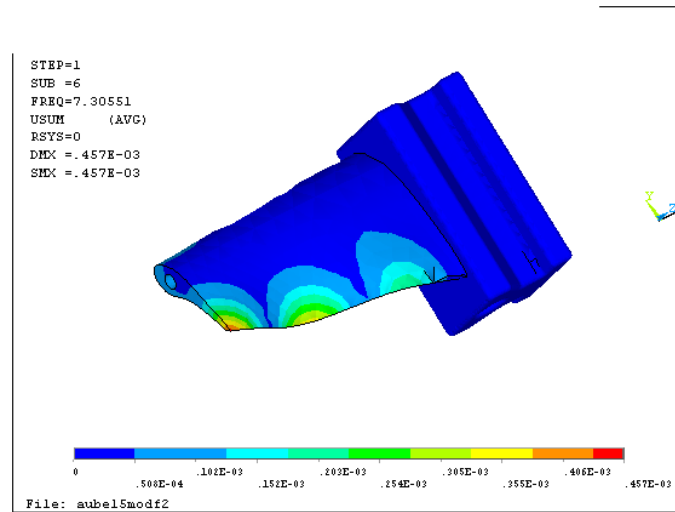


Fig. III.22. Déformée modale, mode 6, fréquence : 7.30 Hz.

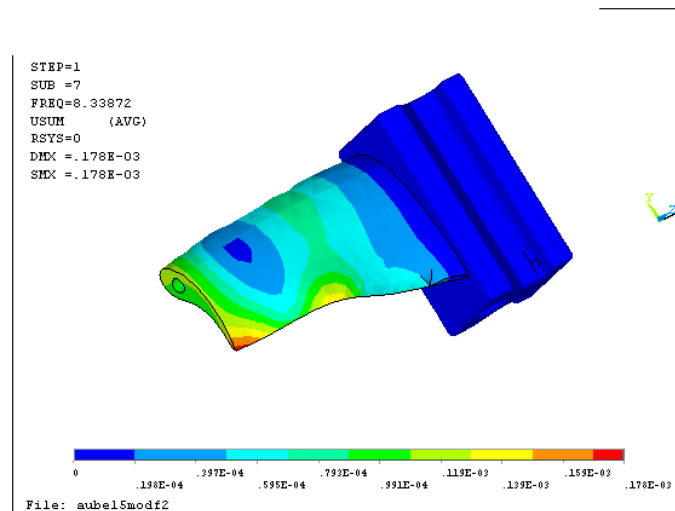


Fig. III.23. Déformée modale, mode 7, fréquence : 8.33 Hz.

Le tableau suivant TAB III.2 récapitule les déformations maximales pour les différents modes

Mode	1	2	3	4	5	6	7
Def.max	0.3e-3	0.14e-3	0.2e-3	0.26e-3	0.35e-3	0.4e-3	0.17e-3

Tab III.2. Valeurs des déformations relatives aux différents modes.

La conclusion qu'on peut tirer de l'analyse modale est que le mode fondamental (mode 1) et les harmoniques associées présentent des déformations et des fréquences très faibles, ce qui ne provoque pas de danger pour l'aube .

III.5. Analyse statique.

L'aube est considérée comme une poutre encastrée-libre, elle est fixée par le pied et libre au sommet . On a appliqué une force de 2500N sur l'extrados. Cette dernière a provoqué un déplacement max. à l'extrémité, sa valeur est une flèche de 0.469 mm . Fig.III.24

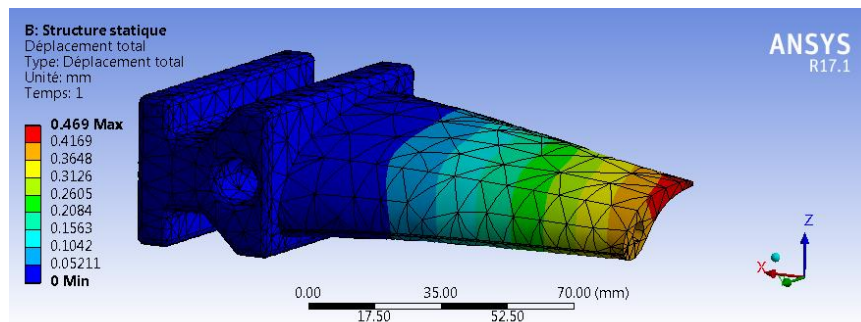


Fig. III.24. Flexion de l'aube

La distribution du coefficient de sécurité Fig.III... montre que l'aube peut être chargée de 3.6 à 15 fois la valeur de la force appliquée.

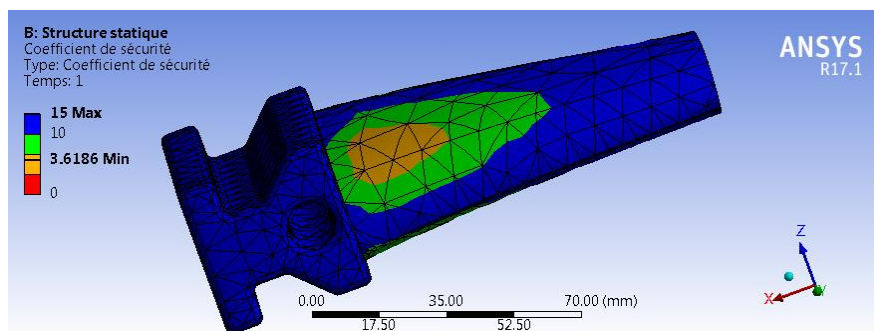


Fig.III.25. Distribution du coefficient de sécurité

III.6.Conclusion

D'après l'analyse modale, les 7 premiers modes de vibrations de l'aube se caractérisant chacun par une fréquence en Hz et une déformée modale en mm. Les déplacements totaux montrent qu'il y a des modes de flexion, de traction et d'autres de torsion . Ces valeurs sont très faibles et ne provoquent pas de risque pour l'aube . De même pour les valeurs de fréquence de résonance, elles sont très basses .

Pour l'analyse statique, la distribution des coefficients de sécurité montre que l'aube peut résister aux charges appliquées .

Néanmoins, une étude dynamique est nécessaire pour s'assurer de la résistance de l'aube au cours de son fraisage .

Conclusion générale et recommandations

La complexité géométrique l'aube matérialisée par sa section variable et son vrillage, rend son obtention par usinage ou par autre procédé une tâche délicate. Dans le cas de l'usinage direct, le recours au fraisage à commande numérique est une tâche inévitable et dans le cas d'obtention par déformation, la préparation des matrices passe par l'application du fraisage à CN qui se présente une autre fois, comme une obligation.

Pour cette raison, on a consacré le premier chapitre à exposer les différents types des aubes : Leurs domaines d'utilisations et conditions de travail, leurs géométries, leurs matériaux,...

Le deuxième chapitre a été consacré à la conception de l'aube, à partir de la connaissance des profils de son intrados et son extrados jusqu'à l'obtention de son modèle 3D qui répond à toutes ses spécifications géométriques et matérielles. Une fois l'objet volumique de l'aube est concrétisé, on a procédé à faire sa simulation numérique .

Alors que l'aube peut être traitée comme une poutre encastree, sa section irrégulière et son pied complexe rendent la recherche de ses déformés modales un tâche très délicate voire impossible analytiquement. Pour cela le troisième chapitre a été réservé à la détermination des champs de déplacements, de déformations et les modes de vibrations libres de l'aube en faisant l'analyse modale avec le code de calcul ANSYS. Ensuite on a fait l'analyse statique .

Ce travail peut être étendu au traitement des vibrations de l'aube au cours de son fraisage en prenant l'effet des forces appliquées lors de l'opération d'usinage, c'est-à-dire en prenant en compte les sollicitations appliquées et la vitesse de rotation de la fraise au cours de son fraisage cela permet de prendre en compte les efforts de coupe appliqués par la fraise et des vitesses de rotation de la pièce et de l'outil. Tous cela peut faire l'objet d'autres études futures.

Références bibliographiques

- [1]. Technique de l'ingénieur.
- [2]. https://www.youtube.com/watch?v=uY-iQYpO_a8 Jul 25, 2015.
- [3]. Jean LEHERVET, Turbine à gaz, complément à la visite AGREPI-Est, 25/04/2014.
- [4]. www.Neonickel.com.
- [5]. Pierre CARON, Superalliages pour turbines: alliages pour aubes et pour disques, GEDEPEON, 19 Juin 2003.
- [6]. Takeshi, Takashi, Kuniyuki, Ken-ichi, and Masato: Development of CMC Turbine Parts for Aero Engines.
- [7]. Jean-Hubert Schmitt, MATERIAUX A HAUTES PERFORMANCES MATERIAUX POUR L'ENERGIE DIMENSIONNEMENT D'UNE AUBE DE TURBINE, 09/12/2014.
- [8]. Hal big, Jaskowiak, Kiser, Zhu: Evaluation of Ceramic Matrix Composite Technology for Aircraft Turbine Engine Application. 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the new Horizons Forum and Aerospace Exposition, June 2013.
- [9]. Ceramic Matrix Composites Allow GE Jet Engines to Fly Longer, 02-11-2015.
- [10]. GE Successfully Tests World's First Rotating Ceramic Matrix Composite Material for Next –Gen Combat Engine |Press Release| GE Aviation, 02-11-2015.
- [11]. Naslain, R, R: SiC-Matrix Composites: Nonbrittle Ceramics for Thermo-Structural Application. International Journal of Applied Technology, 2005.
- [12]. Hincki, Tastsuya, Edgar Lara-Curzio and L Snead: Mechanical properties of purity SiC fiber-reinforced CVI-SiC matrix composites, Fusion science and technology,

2003.

[13]. CHATELAIN J.C, St-Martin S., Mayer R., Henri P. Etude du comportement vibratoire d'une paroi mince en alliage léger lors d'une opération de fraisage latéral. HAL Id: hal-00592735. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00592735>.

[14]. Documentation du logiciel CATIA V5R15

[15]. Documentation du logiciel ANSYS