

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE de TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT de GENIE MECANIQUE
N° ...



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE MECANIQUE
OPTION : FABRICATION &
PRODUCTIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : Hachemi FERHAT

Intitulé

**Conception d'un montage d'usinage pour la
fixation des pièces de formes complexes
(directrice de turbine à gaz).**

Soutenu devant le jury composé de :

Noureddine MENASRI	Enseignant	Université de M'sila	Président
Mohamed SLAMANI	Enseignant	Université de M'sila	Encadreur
A. Malek ELHADI	Enseignant	Université de M'sila	Examineur
Salah AMROUNE	Enseignant	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018.

Dédicaces

Je dédie ce travail à toute ma famille et amis.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie Allah, de m'avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier aussi, tous ceux qui m'ont encouragé et aidé par leurs conseils, pour arriver à finaliser mon travail de mémoire.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et remerciements à mon encadreur Monsieur Dr. Mohamed SLAMANI, pour son aide et ses conseils ainsi que sa confiance durant la réalisation de ce mémoire. Ses efforts et ses conseils m'ont été d'une aide précieuse pour finaliser ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à tous le personnel du staff pédagogique du département de génie mécanique, ainsi que les enseignants pour leurs soutiens.

Enfin un grand merci à ma mère, mon épouse pour leurs soutiens morales et leurs encouragements, mes enfants ZEYD, WISSAME, DJAMILA et YOUSOUF, à tous mes frères et sœurs, et enfin à tous mes amis.

Sommaire

<i>Sommaire</i>	v
<i>Abréviations</i>	viii
<i>Liste des figures</i>	ix
<i>Liste des tableaux</i>	xi
<i>Liste des graphes</i>	xi
<i>Introduction générale</i>	1

Chapitre I: Théorie Et Revue De Littérature

<i>I.1 Pièces de formes complexes :</i>	4
<i>I.2. Usinage des pièces de forme complexe :</i>	4
<i>I.3. Contraintes associées à l'usinage des pièces de formes complexes:</i>	5
<i>I.3.1 : Les contraintes liées aux machines-outils (MO):</i>	5
<i>I.3.2 : Les contraintes liées aux outils de coupe:</i>	6
<i>I.3.3 : Les contraintes liées aux montages d'usinage :</i>	7
<i>I.4 : Montages d'usinage:</i>	7
<i>I.4.1 : Définition et fonction d'un montage d'usinage</i>	7
<i>I.4.1.1 : Définition d'un montage d'usinage :</i>	7
<i>I.4.1.2 : Fonctions d'un montage d'usinage</i>	7
<i>I.4.2 : Les montages modulaires :</i>	8
<i>I.4.3 : Processus de conception du montage d'usinage :</i>	9
<i>I.4.4 : Démarche de conception du montage d'usinage :</i>	10

Chapitre II: Méthodologie

<i>II.1: Problématique concernant l'usinage de la directrice de turbines à gaz</i>	12
<i>II.1.1 : Turbines à gaz :</i>	12
<i>II.1.1.1 : Définition :</i>	12
<i>II.1.1.2 : Principe de fonctionnement</i>	12

<i>II.1.2 : Conception des ailettes</i>	13
<i>II.1.2.1 : Introduction</i>	13
<i>II.1.2.2 : Passage des gaz entre les ailettes fixes (directrices) et les ailettes mobiles:</i>	14
<i>II.1.3 : Matériaux utilisés et techniques de refroidissement :</i>	15
<i>II.1.4 : Problématique de l'usinage de la directrice de turbines à gaz:</i>	15
<i>II.2 : Objectifs :</i>	17
<i>II.3 : Hypothèses</i>	18
<i>II.4 : Méthodologie proposée pour la conception du montage d'usinage:</i>	18
<i>II.4.1 : Volet théorique et conception:</i>	20

Chapitre III: Etude théorique

<i>III.1 : Directrice de turbine à gaz :</i>	23
<i>III.2 : Degrés de liberté et iso-statisme:</i>	23
<i>III.3 : Notion des référentiels pour le positionnement de la pièce dans le référentiel de la machine-outil:</i>	24
<i>III.4 : Choix des éléments technologiques en contact avec la pièce constituant le montage d'usinage:</i>	25
<i>III.5 : Optimisation des efforts de serrage en tenant compte de la stabilité et de l'équilibre de la pièce:</i>	27
<i>III.6 : Lien entre la gamme d'usinage et la conception du montage:</i>	29

Chapitre IV: Conception du Montage d'Usinage

<i>IV.1 : Introduction:</i>	32
<i>IV.2 : Volet de fabrication :</i>	33
<i>IV.3 : Volet contrôle de qualité :</i>	35
<i>IV.4 : Déroulement de la réalisation du montage :</i>	36
<i>IV.4.a : Import du modèle 3D de la pièce :</i>	36
<i>IV.4.b : Modélisation des appuis de référence :</i>	37
<i>IV.4.c : Modélisation des éléments de soutien et les éléments de serrage :</i>	37
<i>IV.4.d : Modélisation de la plaque support :</i>	38
<i>IV.5 : Réalisation du montage:</i>	38
<i>IV.5.1 : Introduction :</i>	38

<i>IV.5.2 : La plaque support :</i>	38
<i>IV.5.3 : Réalisations des supports :</i>	39
<i>IV.5.4 : Réalisations des éléments de positionnement (appuis) :</i>	40
<i>IV.5.5 : Récapitulation du processus de conception :</i>	43

Chapitre V: Simulation de l'usinage

<i>V.1 : Introduction :</i>	47
<i>V.1.1 : 1^{er} cas (poids de la pièce + force verticale)</i>	47
<i>V.1.1.a : Résultats de l'URES :</i>	47
<i>V.1.1.b : Résultats de l'ESTRN :</i>	48
<i>V.1.1.c : Résultats de VON MISES :</i>	49
<i>V.1.2 : 2^{ème} cas (poids de la pièce + forces appliquée suivant 3 axes)</i>	50
<i>V.1.2.a : Résultats de l'URES :</i>	50
<i>V.1.2.b : Résultats de l'ESTRN :</i>	51
<i>V.1.2.c : Résultats de VON MISES :</i>	51
<i>V.2 : Simulation d'usinage :</i>	51
<i>V.2.1 : Simulation à l'échelle macroscopique :</i>	52
<i>V.2.2 : Simulation à l'échelle humaine :</i>	56
<i>Conclusion Générale</i>	63
<i>Annexe :</i>	64
<i>Références bibliographiques</i>	83
<i>Résumé :</i>	85
<i>ملخص:</i>	85
<i>Abstract:</i>	85

Abréviations

MMT : machine à mesure tridimensionnelle

EDM : usinage par électroérosion

CUV : centre d'usinage vertical

MU : montage d'usinage

TG : turbine à gaz

DMG: Deckel Maho Gildmeister

MO: machine-outil

MIP : mise en position

MAP : maintien en position

3D : trois dimensions

GE : General Electric

IN : Inconel

CAO : conception assistée par ordinateur

FAO / CAM : fabrication assistée par ordinateur

CFAO : conception et fabrication assistée par ordinateur

HMI : Human Machine Interface

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I.1-a : pièce complexe.....	5
Figure I.1-b : M-O 5 axes	5
Figure I.2 : Outils NUMROTO	6
Figure I.3 : Outils CERATIZIT	6
Figure I.4 : Outil WALTER.....	6
Figure I.5 : Les différents types de posage.....	8
Figure I.6. : Les différents modes de bridage.....	8
Figure I.7. : Exemple d'un montage modulaire.....	9

CHAPITRE II

Figure II.1 : Turbine à gaz simplifiée.....	12
Figure II.2 : Turbine à gaz industrielle.....	13
Figure II.3 : Enchaînement des étages d'aubes fixes et mobiles.....	14
Figure II.4 : Ecoulement des gaz à travers les étages.....	15
Figure II.5.a : Position de la directrice par rapport au centre de turbine.....	16
Figure II.5.b : Position de la directrice par rapport au centre de turbine.....	16
Figure II.6.a : Position de trois points sur la pale.....	17
Figure II.6.b : Position de deux points sur le grand bandage.....	17
Figure II.6.c : Position d'un point sur la pale.....	17
Figure II.7 : les différents acteurs qui agissent dans l'industrialisation d'un produit mécanique....	19
Figure II.8 : Images de quelques accessoires standards utilisés.....	21

CHAPITRE III

Figure III.1 : Répartition des six points de référence.....	23
Figure III.2 : Position des six appuis.....	24
Figure III.3 : Position du référentiel sur la machine à CN.....	25
Figure III.4 : Eléments technologiques (appuis) utilisés.....	26
Figure III.5 : Elément réglable.....	27

Figure III.6 : Algorithme de choix des éléments de bridage.....	28
Figure III.7 : La position relative tirant-pied d'une bride.....	28
Figure III.8.a : Faces à usiner en position 1.....	29
Figure III.8.b : Faces à usiner en position 1.....	29
Figure III.9.a : Faces à usiner en position 2.....	30
Figure III.9.b : Faces à usiner en position 2.....	30

CHAPITRE IV

Figure IV.1 : Dimensions de la directrice.....	32
Figure IV.2 : Propriétés de masse de la directrice.....	33
Figure IV.3 : Centre d'usinage vertical 5.....	34
Figure IV.4 : Machine d'électroérosion à fil.....	35
Figure IV.5 : Machine de mesure MMT.....	36
Figure IV.6 : Les six points et leurs normales.....	36
Figure IV.7 : Les six appuis en position.....	37
Figure IV.8 : Les éléments de soutien et de serrage en place.....	37
Figure IV.9 : Plaque support avec tous les éléments et accessoires.....	38
Figure IV.10 : Plaque support avec tous les trous.....	39
Figure IV.11 : Différents supports réalisés.....	39
Figure IV.12-a : Différents supports ébauchés par électroérosion.....	40
Figure IV.12-b : Les appuis (en position) en finition par fraisage.....	40
Figure IV.13-a : Montage pour face1 en 3D.....	41
Figure IV.13-b : Montage pour face1 en réel.....	41
Figure IV.13-c : Montage pour face2 en 3D.....	42
Figure IV.13-d : Montage pour face2 en réel.....	42
Figure IV.13-e : Montage pour face2 en exploitation sur machine.....	43
Figure IV.14 : Organigramme du processus de conception.....	45

CHAPITRE V

Figure V.1 : Montage soumis à la simulation de flambage (1 ^{er} cas).....	47
Figure V.2 : Montage soumis à la simulation de flambage (2 ^{ème} cas).....	50
Figure V.3 : Echelles de simulation (en mm).....	51
Figure V.4.a : Extraits de simulation et résultat d'usinage face1 à l'échelle macroscopique.....	54

Figure V.4.b : Extraits de simulation et résultat d'usinage face2 à l'échelle macroscopique.....	56
Figure V.5 : Machine 5 axes de la simulation.....	57
Figure V.6.a : Extraits de simulation et résultat d'usinage face1 à l'échelle humaine.....	60
Figure V.6.b : Extraits de simulation et résultat d'usinage face1 à l'échelle humaine.....	62

Liste des tableaux

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Extrait de la composition chimique de l'alliage.....	32
Tableau IV.2 : Caractéristiques du Centre d'Usinage Vertical (CUV).....	34
Tableau IV.3 : Matériaux utilisés.....	35

Chapitre V

Tableau V.1 : Résultats des déformations dus aux variations des forces appliquées sur les appuis...47	47
Tableau V.2 : Résultats des déformations dus aux variations des forces appliquées sur les appuis...50	50

Liste des graphes

Chapitre V

Graphe V.1 : Déplacements dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.....	48
Graphe V.2 : Déformations dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.....	49
Graphe V.3 : Contraintes de Von Mises dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.....	49
Graphe V.4 : Déplacements dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.....	50
Graphe V.5 : Déformations dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.....	51
Graphe V.6 : Contraintes de Von Mises dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.....	51

Introduction générale

Avec l'évolution de l'industrie dans les domaines énergétique, aéronautique, d'automobile, de fabrication de moules, et autres ; 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.

Cette évolution devait être aussi suivie par une évolution des machines-outils, des outils et des appareils et méthodes de mesure.

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, dans le but d'améliorer le rendement de ces turbines.

Parmi ces pièces de formes complexes, on trouve les directrices (en anglais : Vanes) qui n'ont pas une forme régulière, vu la forme en surfaces gauches des pâles et bandages, et par la suite demandent des montages spéciaux pour leurs usinages.

Un montage d'usinage est un équipement de production qui localise, fixe et maintient 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 coûteux. Il est conçu de telle façon à maintenir la pièce à usiner pour réaliser le maximum d'opérations possibles dans la même position.

L'objectif de ce mémoire est d'apporter une contribution dans le domaine d'étude de conception pour la réalisation de montages d'usinage destinés à la mise en position (MIP) et le maintien en position (MAP) des pièces, tout en basant sur l'expérience de travail dans le domaine, et mettant en compte toutes les difficultés que notre montage peut affronter dès la phase de conception jusqu'à la phase de validation.

Pour cela, ce travail est structuré en cinq (05) chapitres successifs dans un ordre logique :

- Le chapitre I est une théorie et revue de littérature, qui traitera les pièces de formes complexes, l'usinage de ces pièces, et les contraintes associées à l'usinage de ce type de pièces.
- Le chapitre II, exposera la Méthodologie adoptée en but d'achever ce travail, en décrivant la problématique de l'usinage de la directrice, les objectifs recherchés, les hypothèses mises en œuvre et la méthodologie proposée pour cette conception.
- Le chapitre III, sera pour l'étude théorique concernant la directrice, ses degrés de liberté, son isotatisme, son référentiel de positionnement, le choix des éléments technologiques en contact avec la pièce, ainsi que l'optimisation des efforts de serrage.
- Le chapitre IV, présentera la conception du montage et ses éléments constituants.
- Le chapitre V, sera consacré à la validation du montage à travers une simulation au flambage des appuis et une autre simulation d'usinage dans l'environnement de machine pour confirmer l'absence de collisions entre l'outil le montage et la machine.

Après l'analyse de ces cinq chapitres, nous finissons notre étude par une conclusion générale explicite du processus de conception d'un montage d'usinage pour des pièces à géométrie complexe.

Chapitre I

Théorie Et Revue De Littérature

I.1 : Pièces de formes complexes

Les pièces de formes complexes décrites dans ce travail, sont des pièces qui ont des formes libres et difficiles à réaliser, elles figurent de plus en plus dans les domaines aéronautique, énergétique et automobile.

Le recours de ces industries à ce type de pièce est dans le but d'améliorer le rendement des machines constituées par ces pièces.

Ce recours aux pièces de formes complexes, qui est un défi de ces industries, a accéléré d'une manière rapide le développement des logiciels CAO [1].

En effet ces logiciels CAO nous donnent un grand potentiel de modéliser des formes difficiles, mais de l'autre côté, l'usinage de ces pièces va rencontrer des problèmes à les réaliser, surtout lorsque la précision et le coût sont recherchés.

Ainsi le développement et la croissance de la complexité des pièces, ont poussé au développement des machines-outils, des outils, des techniques et stratégies d'usinage et les montages spéciaux qui permettent à fixer ces pièces en vue de leurs usinages.

I.2 : Usinage des pièces de formes complexes

Les géométries complexes introduisent des différents et complexes problèmes de fabrication. Les efforts de recherche ont été concentrés sur le fraisage des surfaces sculptées et l'optimisation des procédures de coupe. Ces problèmes ont été étudiés et des solutions ont été mises en œuvre dans le développement des logiciels de fabrication assistée par ordinateur (FAO), notamment sur la conception de nouveaux produits et plus efficacement les stratégies d'usinage. L'étude des stratégies d'usinage est un aspect important lorsqu'il est nécessaire d'identifier les stratégies d'usinage adéquates pour une surface présentant des caractéristiques de géométrie inhérentes. Ce sujet est encore plus important lorsque les objectifs sont d'augmenter la précision, de diminuer la rugosité de surface et de minimiser les coûts d'usinage [1].

Les formes complexes, appelées aussi formes à surfaces gauches, tels que les moules, les matrices, les pièces d'aéronautique ou d'automobiles ou encore les pièces utilisées dans les turbines à gaz, conduisent sous l'effet de la concurrence à l'élaboration de ces produits au design toujours plus complexe et de meilleure qualité.

La fabrication de ces formes complexes se fait par le processus d'usinage. Cela consiste à réaliser ces pièces par enlèvement de matière et sans déformation en utilisant des machines-outils et des outils de coupe, tout en respectant les formes géométriques et les précisions exigées par le dessin et le cahier de charges [2].

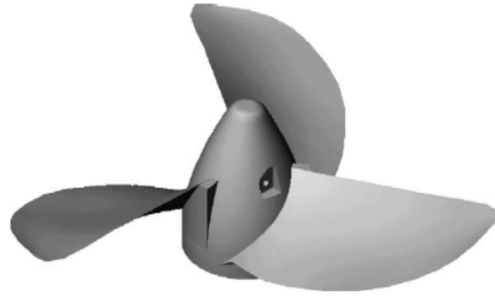


Figure I.1-a : pièce complexe.

I.3 : Contraintes associées à l'usinage des pièces de forme complexes

La réalisation des pièces de formes complexes est soumise à plusieurs contraintes associées qui lui rendent cette réalisation difficile, longue et coûteuse.

Parmi ces contraintes on peut citer :

I.3.1 : Les contraintes liées aux machines-outils (MO)

Pour ces pièces de formes complexes, les machines-outils classiques ne sont plus capables de les réaliser, que ce soit du côté puissance, capacité ou bien flexibilité.

La tendance actuelle pour l'usinage est celle de l'utilisation des machines-outils à 5 axes ainsi que les solutions informatisées conception et fabrication assistée par ordinateur (CAO/FAO ou CFAO).



Figure I.1-b: M-O 5 axes.

Le recours à ce type de machines, est de permettre à l'outil d'aller usiner soit les formes au fond des poches simples ou complexes, soit les coins inaccessibles que par les inclinaisons des différents axes de ces machines.

I.3.2 : Les contraintes liées aux outils de coupe

Malgré la multitude des outils de coupe ainsi que leurs différentes matières et formes, il est toujours difficile d'avoir des outils de coupe qui répondent aux exigences de forme ou de précision des pièces complexes. Le recours à des outils spéciaux, complexes et coûteux, fait toujours une solution pour les fabricants afin de réaliser ces pièces complexes.

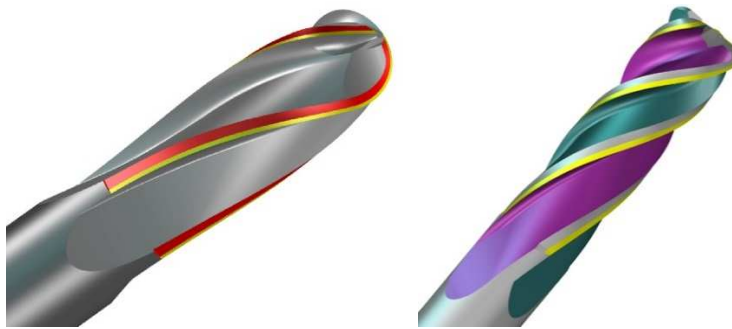


Figure I.2: Outils NUMROTO.

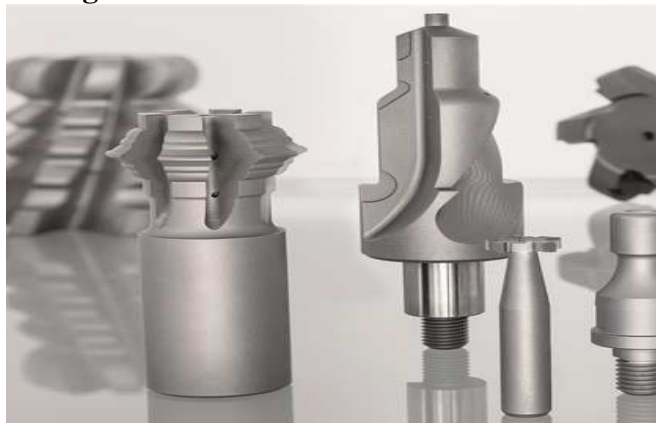


Figure I.3 : Outils CERATIZIT.



Figure I.4 : Outil WALTER.

I.3.3 : Les contraintes liées aux montages d'usinage

La conception et la réalisation du montage sont des étapes importantes et indispensables dans la maîtrise de la qualité des pièces usinées.

Parmi les exigences considérées pour la conception d'un montage on trouve particulièrement l'accessibilité aux différentes surfaces de la pièce pour choisir les surfaces de posage, la conception du bridage et l'optimisation des efforts agissants sur la pièce où la conception des montages d'usinage assistée par ordinateur en proposant différentes approches géométriques, ou à l'aide d'algorithmes génétiques [3].

I.4 : Montages d'usinage

I.4.1 : Définition et fonction d'un montage d'usinage

I.4.1.1 : Définition d'un montage d'usinage

Un montage d'usinage est un dispositif utilisé pour fixer une pièce solidement à la bonne position dans l'espace de travail de la machine-outil et l'y maintenir. Un montage d'usinage doit respecter les contraintes suivantes :

- Garantir un accès libre des outils de coupe aux différentes surfaces à usiner,
- Garantir la qualité de la pièce à usiner,
- Garantir la stabilité de la pièce sous les sollicitations dues aux différents efforts exercés sur la pièce (poids, efforts de coupe, ...),
- Garantir un montage et un démontage aisé et modérément rapide 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.

I.4.1.2 : Fonctions d'un montage d'usinage

Chaque montage d'usinage doit satisfaire les fonctions suivantes :

- **Positionner la pièce** : Afin de respecter l'iso-statisme et assurer le maximum de précision et de stabilité, la pièce doit être positionnée précisément dans l'espace de travail de la machine-outil. Pour cela, le posage sera une combinaison d'appui principal, secondaire et tertiaire qui peut être de type (a) 3-2-1 (plan, linéaire, butée), (b) de type 3-2-1 (plan, centreur, localisation « locating ») ou de type (c) 4-1-1 (pivot, butée, butée) (Figure : 1.5).
- **Maintenir la pièce** : Durant l'usinage, la pièce doit être maintenue en position sur ces appuis pour éliminer tout risque de mouvement dû aux sollicitations mécaniques extérieures comme les efforts de coupe, et le poids de la pièce. Ce maintien est assuré par un bridage qui peut être de mode bride lorsque l'effort de bridage est opposé à l'appui plan principal, 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 1.6).

- **Soutenir la pièce.** Dans certains cas, il est nécessaire d'ajouter des soutiens pour éviter les déformations 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.

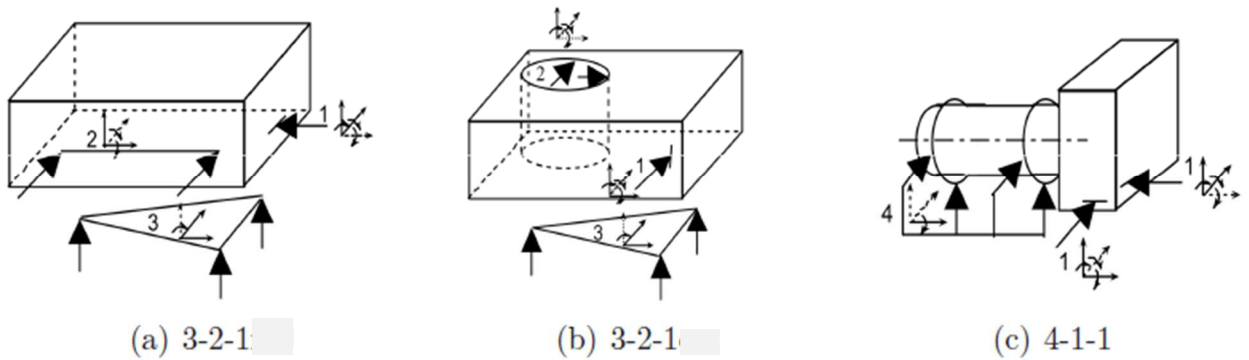


Figure I.5 : Différents types de posage [4]

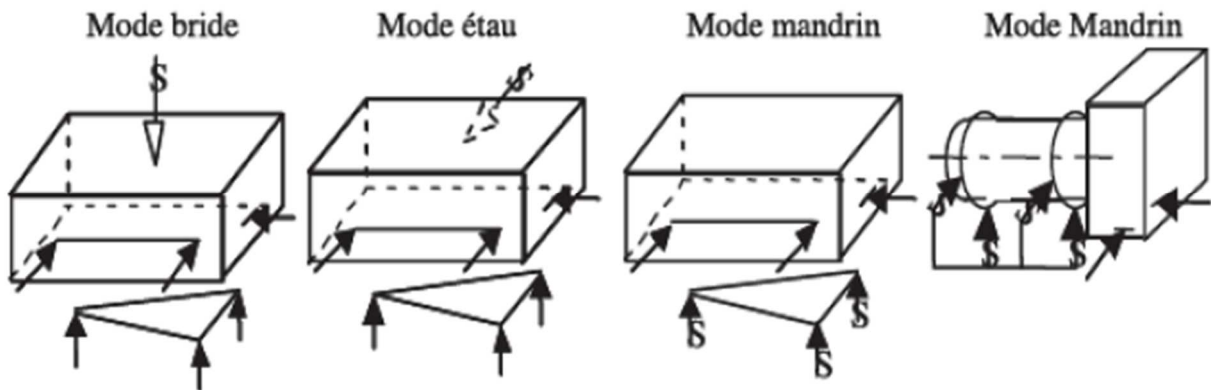


Figure I.6. : Différents modes de bridage [3].

Le premier objectif 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 [3,5].

I.4.2 : Les montages modulaires

Les montages modulaires sont réalisés à partir d'éléments modulaires standards assemblés pour obtenir un porte-pièce désiré. Ils peuvent être aussi conçus et réalisés rapidement (Figure I.7.).

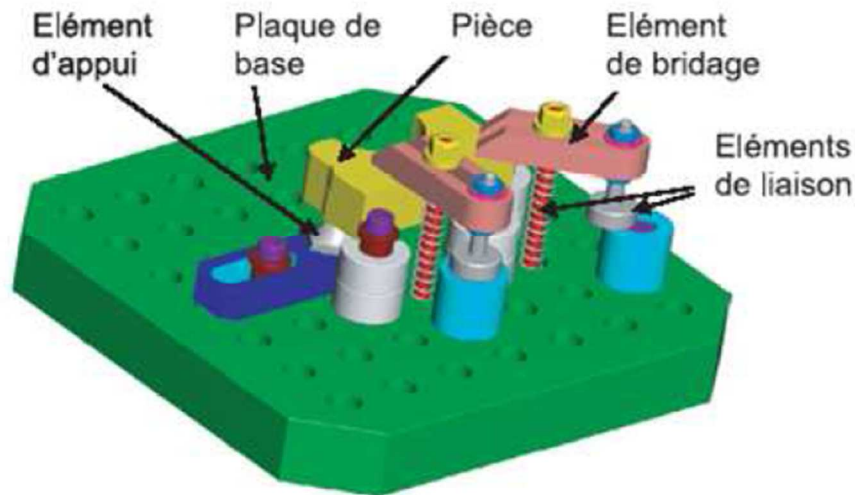


Figure I.7. : Exemple d'un montage modulaire [3]

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 adapté 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 (MMT).
- 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.

I.4.3 : Processus de conception du montage d'usinage

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

- a. Description du problème de conception du montage d'usinage : En général, un problème de conception peut toujours être défini comme un problème d'optimisation qui regroupe 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.

- b.** Analyse pour la conception du montage d'usinage : Tout montage d'usinage devrait subir des différentes analyses :
- Analyse cinématique : Pour être sûr que les composants du montage n'obstruent pas le chemin de l'outil au cours de l'usinage (l'outil peut aisément atteindre les surfaces à usiner).
 - Analyse des forces : Pour vérifier que les forces appliquées par le système de bridage sont suffisantes pour maintenir l'équilibre statique et dynamique.
 - Analyse des déformations : Pour éviter toute déformation non tolérée sous l'influence des forces de coupe ou de bridage.
- c.** 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.
- d.** 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.

I.4.4 : Démarche de conception du montage d'usinage

En général, on trouve quatre étapes pour la conception des montages d'usinage :

1. Sélection des éléments technologiques en contact avec la pièce : où 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.
2. Placement des éléments technologiques en contact avec la pièce : cette étape est consacrée au placement des éléments technologiques tout en respectant le processus de conception.
3. Eléments de liaison : dans cette étape on fait le choix des éléments de liaison pour les éléments d'appui et les éléments de bridage.
4. 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.

Chapitre II

Méthodologie

II.1 : Problématique concernant l'usinage de la directrice de turbines à gaz

II.1.1 : Turbines à gaz

II.1.1.1 : Définition

Une turbine à gaz est un moteur thermique à combustion interne produisant de l'énergie mécanique à partir de l'énergie dégagée par la combustion d'un hydrocarbure (gaz). Cette énergie sera transmise à un générateur qui produira de l'électricité.

II.1.1.2 : Principe de fonctionnement

Le 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, le gaz est injecté dans la chambre de combustion, se mélange à l'air comprimé et s'enflamme ; ces gaz chauds résultants traversent la turbine, composée elle aussi d'un ensemble d'ailettes fixes (directrices) et mobiles, en se détendant, font tourner la turbine ; alors l'énergie thermique se transforme en énergie mécanique (figure II.1).

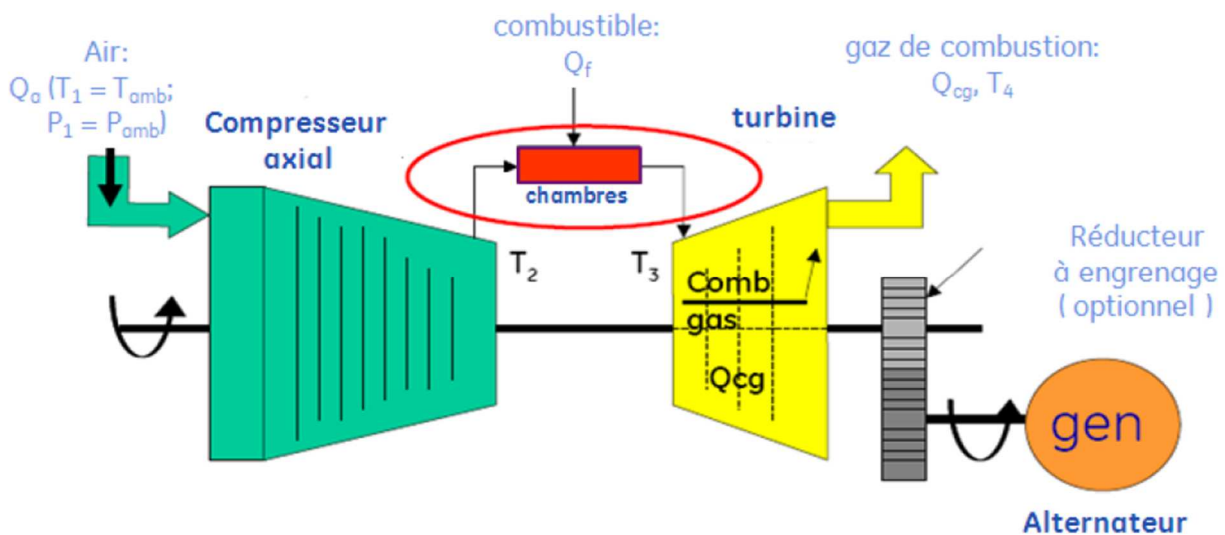


Figure II.1 : Turbine à gaz simplifiée [6]

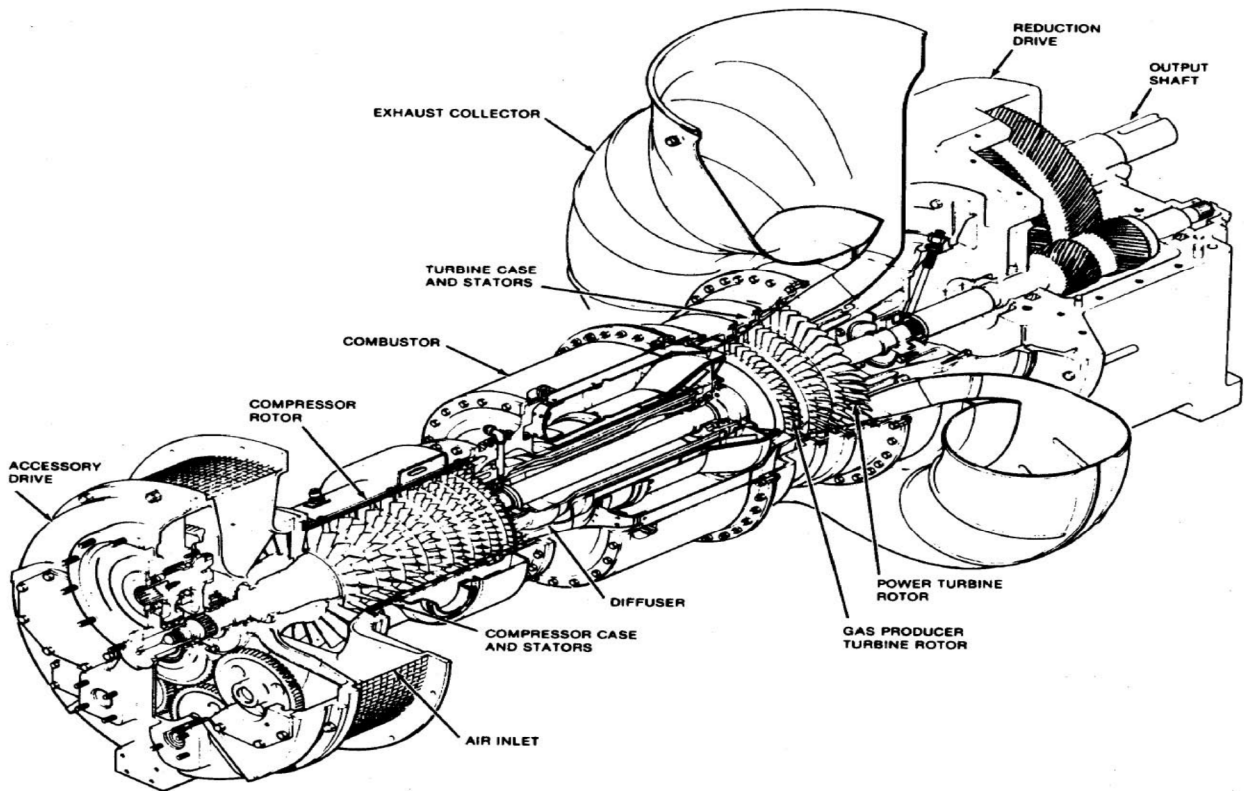


Figure II.2 : Turbine à gaz industrielle [7]

II.1.2 : Conception des ailettes

II.1.2.1 : Introduction

Les ailettes fixes et mobiles des turbines sont l'un des composants les plus importants dans les turbines à gaz, une ailette peut être définie comme étant le moyen de transfert d'énergie des gaz vers le rotor turbine. L'ailette est soumise à des différentes contraintes thermiques, à une corrosion par érosion, et à plusieurs autres paramètres hostiles entravant son bon fonctionnement. Pour pallier à ces

difficultés et travailler normalement dans cet environnement difficile, les ailettes de turbines sont constituées de matériaux qui répondent à ces difficultés, telles que les superalliages, ainsi que leurs positions et orientations.

II.1.2.2 : Passage des gaz entre les ailettes fixes (directrices) et les ailettes mobiles

Comme illustré dans les figures II.3 et II.4, chaque étage de la turbine se compose d'une rangée d'ailettes fixes formant un anneau, suivi d'une rangée d'ailettes mobiles. Dans la turbine, les ailettes fixes (par leurs formes et la position de leurs pales), dirigent le flux des gaz, suivant des angles optimaux, vers les aubes mobiles du rotor en les entraînant en rotation (transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique). Les ailettes fixes et mobiles assurent un écoulement régulier de gaz.

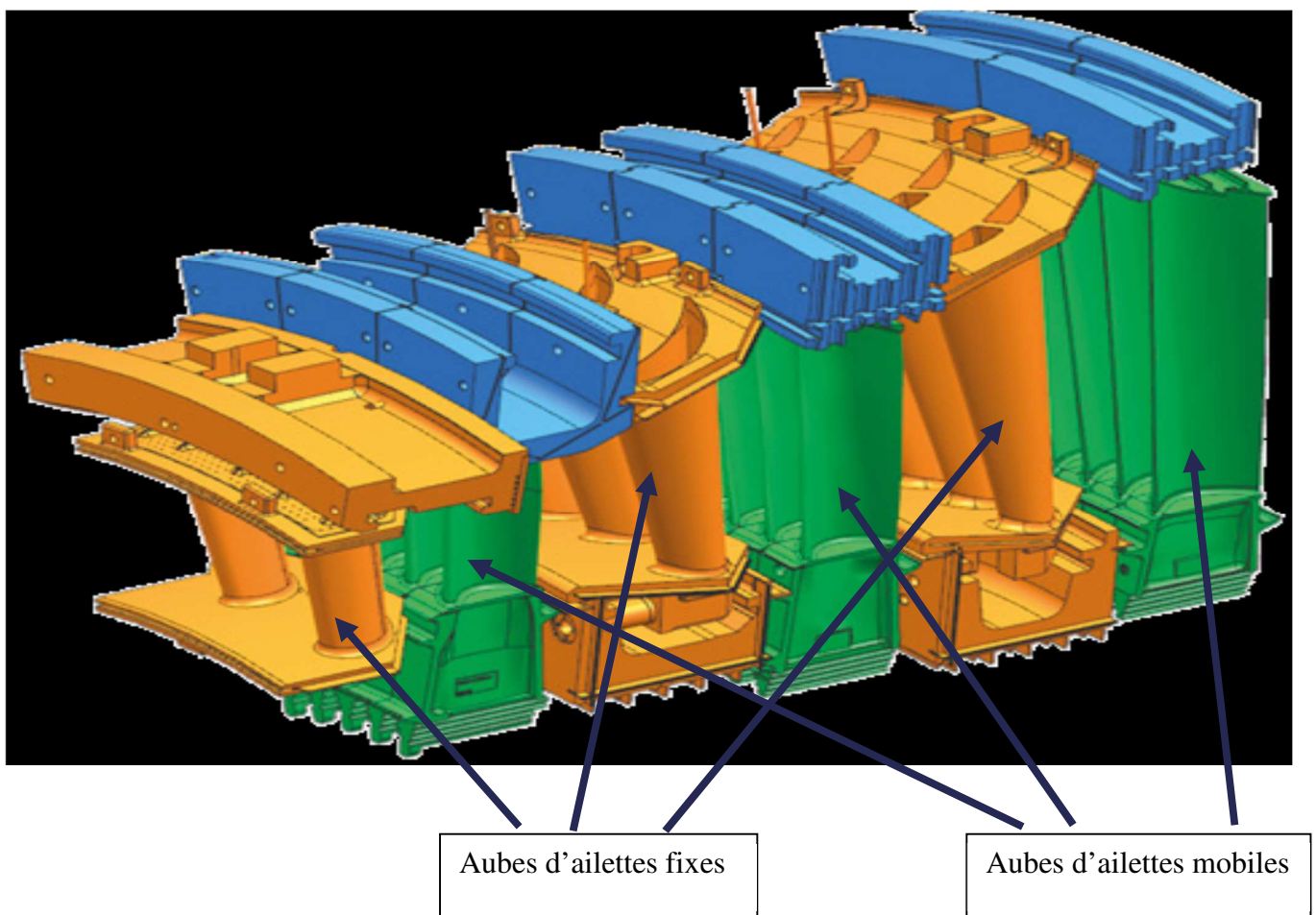


Figure II.3 : Enchaînement des étages d'aubes fixes et mobiles [8]

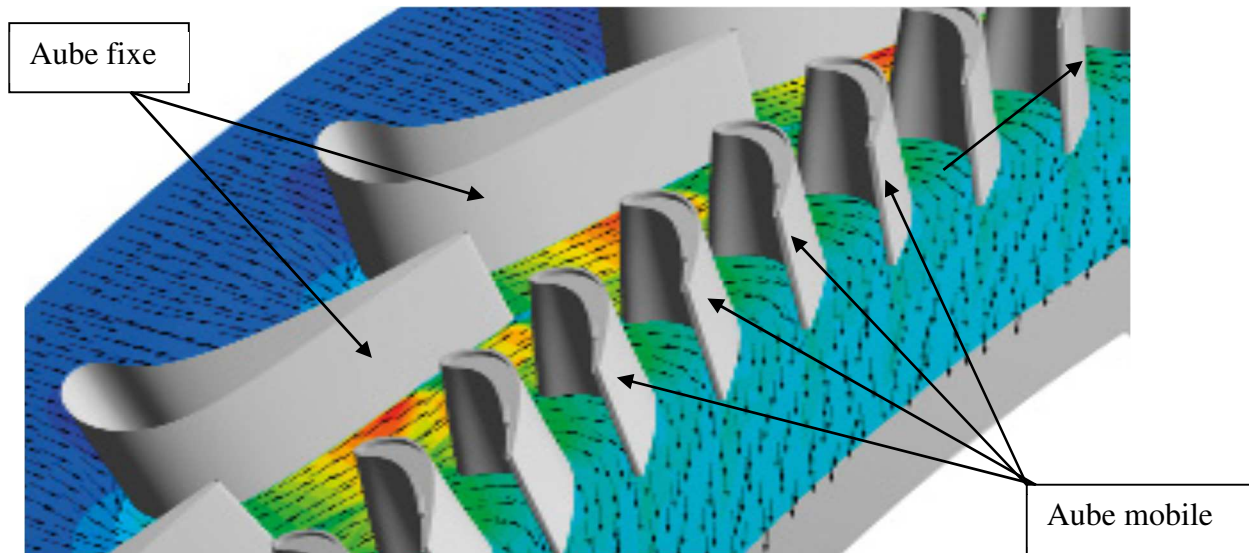


Figure II.4 : Ecoulement des gaz à travers les étages [8]

II.1.3 : Matériaux utilisés et techniques de refroidissement

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 [7,9].

II.1.4 : Problématique de l'usinage de la directrice de turbines à gaz

Vu la forme complexe qui se réfère à la géométrie de forme libre, qui est à son tour représentée normalement sous formes de Bézier, B-splines et NURBS, ainsi que l'emplacement et l'orientation exacts des directrices par rapport au centre de la turbine et qui doivent être bien réparties géométriquement autour de l'axe du rotor de la turbine, ce qui assure un flux d'air homogène à travers chaque étage d'ailettes, tout en influant par conséquent sur la stabilité de toute la machine. Suite à ce qui précède, le processus de production de ces pièces nobles devient

rigoureux, et doit être mis en œuvre depuis l'état brut (Casting), passant par la phase de fabrication (Usinage), jusqu'à l'étape de contrôle.

L'usinage difficile et complexe de ces pièces, spécialement leur mise en position et leur maintien en position, devient alors difficile par les méthodes et moyens standards.

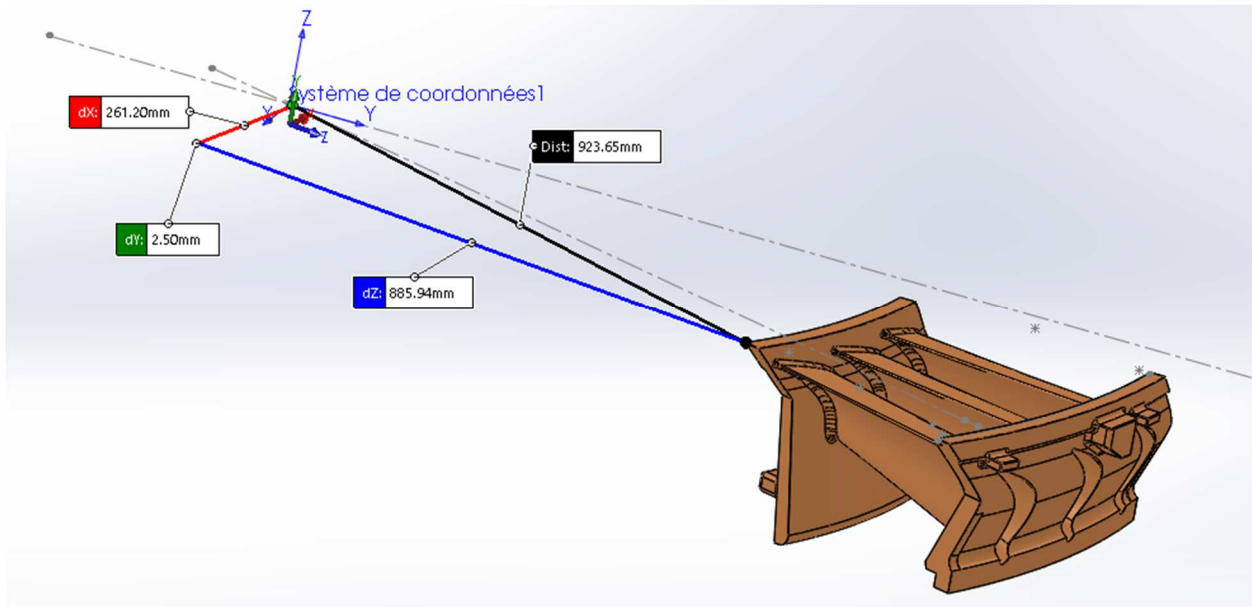


Figure II.5-a : Position de la directrice par rapport au centre de turbine

La mise en position conventionnelle ou classique 3-2-1, la stratégie souvent utilisée pour la conception des montages d'usinage destinés aux pièces de formes régulières, devient inutile devant les pièces à géométrie complexe ou libre (free-form geometry), ou le système de serrage (positions et forces) est basé entièrement sur l'expérience du concepteur et la méthode (trial-and-error).

Avec le développement de la technologie avancée de la simulation numérique, l'analyse par éléments finis (FEA) joue un rôle très important dans le développement des montages d'usinage [10].

Alors, le recours à un montage spécial pour pouvoir usiner ces pièces est devenu obligatoire.



Figure II.5-b : Position de la directrice par rapport au centre de turbine.

II.2 : Objectifs

Ce mémoire a pour objectif de faire une approche pour la conception et la réalisation d'un nouveau montage d'usinage pour la fabrication des directrices (appelées aussi ailettes fixes). Le rôle principale de ce montage est de positionner et maintenir correctement la directrice durant l'usinage. Ce montage d'usinage doit contenir six (06) éléments de positionnement indépendants, qui vont éliminer les six (06) degrés de libertés que l'ailette possède dans l'espace : quatre (04) au niveau de deux pales différentes et deux sur la face interne du grand bandage, ces positions se font sur des faces finies depuis le moulage, et ne vont pas être usinées.

A partir de la figure II.5, les six points qui vont recevoir les appuis du montage sont choisis d'une manière précise par le constructeur (l'erreur au niveau de ces sections doit être à l'ordre de $\pm 0.05\text{mm}$), et qui vont suivre la pièce du moulage à la fabrication et enfin au contrôle final de la pièce ; c'est-à-dire que ces points font l'objet du même référentiel pour tout le processus d'obtention de ces pièces (Moulage- Usinage- Contrôle).

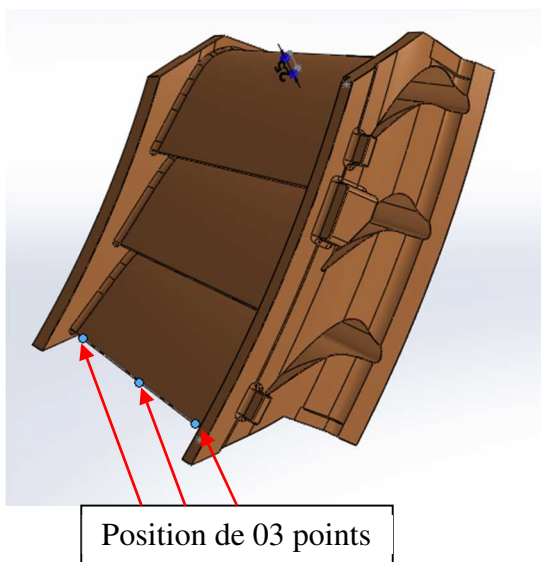


Figure II.6.a : Position de trois points sur la pale.

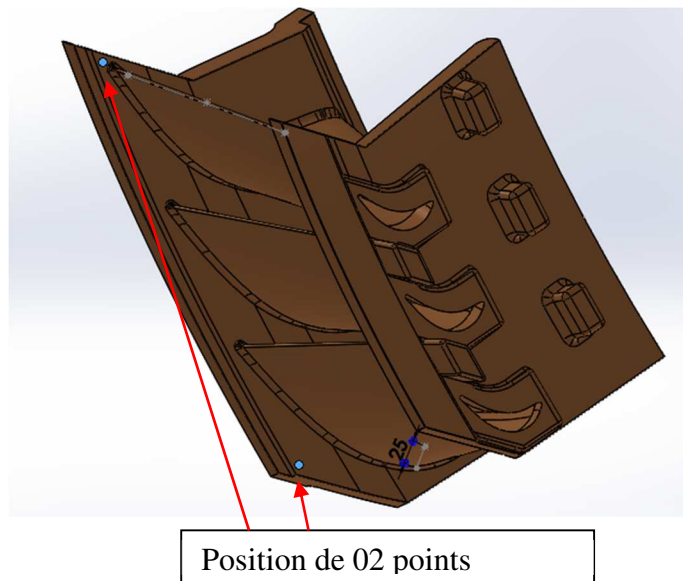


Figure II.6.b : Position de deux points sur le grand bandage.

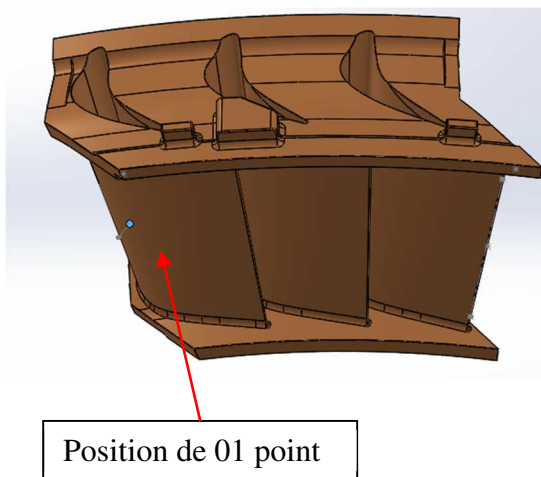


Figure II.6.c : Position d'un point sur la pale.

II.3 : Hypothèses

Avant d'aborder la méthodologie de conception du montage d'usinage, il est nécessaire de préciser quelques hypothèses qui ont été formulées pour la cohérence de l'ensemble :

- Les pièces brutes sont produites par un procédé appelé coulée d'investissement à la cire perdue, qui est une méthode de coulée de haute technicité, de haute rugosité de surface, et de haute précision. Cette méthode est capable de produire des petites pièces avec une géométrie extrêmement complexe avec très peu besoin de finition [11]. Les sections des pales des directrices, où les éléments de positionnement sont situés, sont élaborées d'une attention spécifique, et l'erreur au niveau de ces sections doit être à l'ordre de $\pm 0.05\text{mm}$.
- Les machines-outils où le montage objet d'étude va être réalisé, doivent être de haute performance, stables, robustes, et de précision élevée. A cet effet, il faut que la réalisation de ce montage et les opérations d'usinage sur les directrices doivent dérouler dans de bonnes conditions de stabilité et précision.
- La broche porte outil de ces machines-outils peut porter un palpeur 3D précision (0.01 mm) pour d'éventuels contrôles et mesures intermédiaires, sans démonter la pièce.
- Respecter le référentiel de conception du montage d'usinage, qui est le même que celui fourni par le fondeur avec le modèle 3D.
- Maintenir le référentiel d'usinage coïncidant avec celui de conception, afin d'éviter toutes erreurs issues de transfert des côtes.
- Tous les éléments de positionnement sont des appuis à contacts ponctuels situés au niveau de la pale de la directrice ; ces appuis sont considérés comme des pièces rigides, ainsi que les brides de serrage, et les éléments de soutien.

II.4 : Méthodologie proposée pour la conception du montage d'usinage

L'industrialisation d'un produit mécanique fait intervenir plusieurs acteurs (figure II.7) et services au sein d'une entreprise de production mécanique intervenant d'une manière ou d'une autre sur le produit. Le service marketing étudie les marchés, le service commercial reçoit les commandes et définit les besoins. Le cahier des charges, qui définit les fonctions que doit assurer le produit est transmis au bureau d'études (BE) chargé de concevoir le produit physique. Les systèmes de CAO, le calcul de structures et la simulation sont les outils employés pour définir les formes et les éléments du produit répondant aux fonctionnalités voulues. Le bureau des méthodes (BDM) travaille en même temps que le bureau d'études. Il prévoit le fonctionnement technique de la production et prépare les documents nécessaires à son bon déroulement. La gestion de production (GP) organise les moyens à

mettre en œuvre pour assurer pleinement la production. L'atelier réalise alors le produit en suivant les indications techniques fournies par le bureau des méthodes et les indications d'organisation provenant de la gestion de la production. Fini et assemblé, le produit ensuite peut être livré par le service expédition [1].

A cet effet et afin de concrétiser les objectifs de cette étude en but de voir un produit réel, fiable, et durable ; la méthodologie adoptée pour ce modeste travail a été basée sur trois volets principaux :

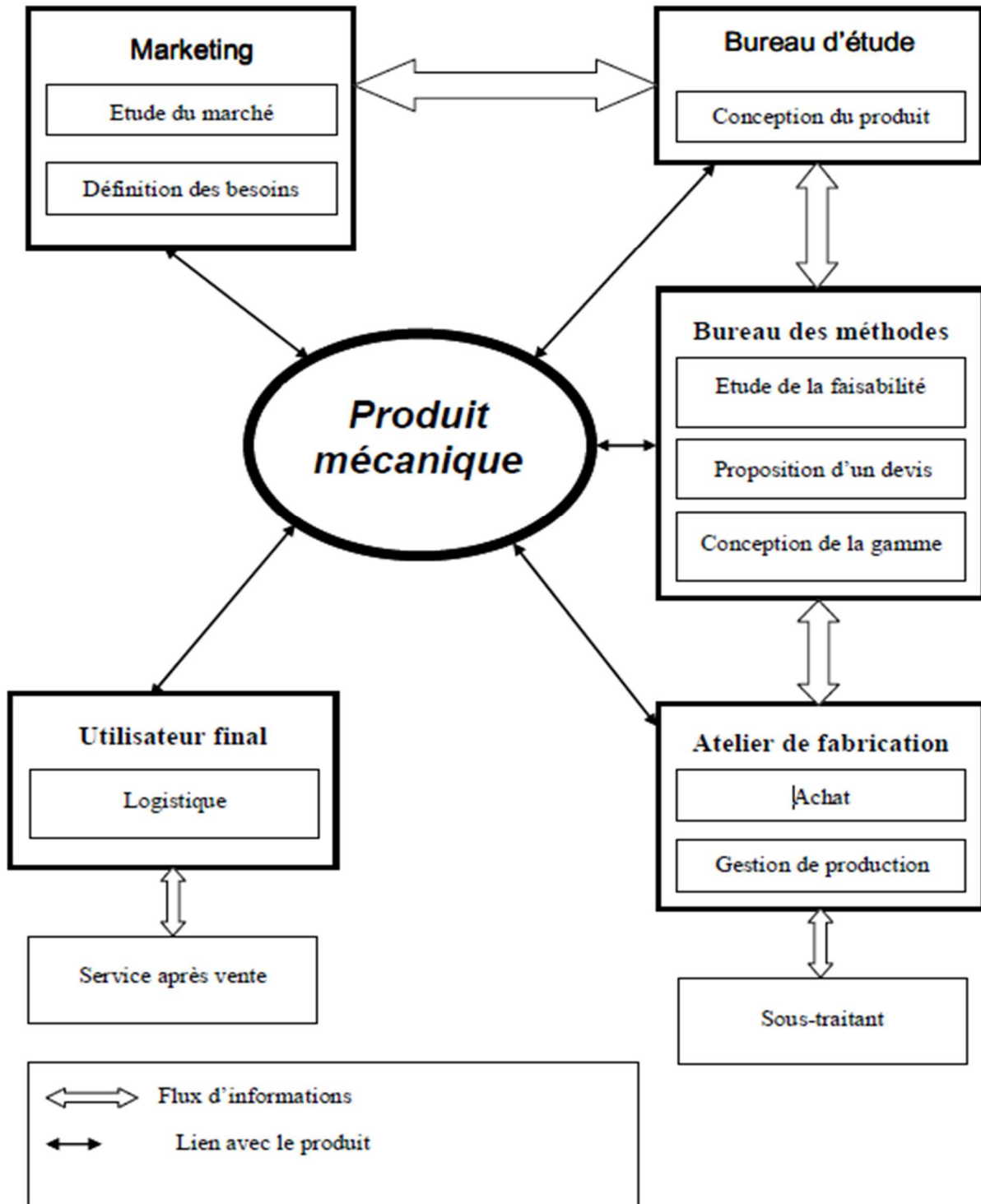


Figure II.7 : Différents acteurs qui agissent dans l'industrialisation d'un produit mécanique [3]

II.4.1 : Volet théorique et conception

Dans ce volet, le concepteur doit tenir en compte les points suivants :

- Il faut que le modèle 3D de la pièce brute (casting) destinée au positionnement et maintien dans le montage d'usinage, soit le même que la pièce réelle brute fournie par la fonderie ; pour cela un contrôle géométrique et dimensionnel unitaire préliminaire (pièce par pièce) doit être effectué par le service contrôle & qualité, en utilisant le modèle 3D, sur les pièces réelles provenant de la fonderie accompagnées d'un dossier technique incluant ce modèle 3D. Pour achever cette étape de contrôle, un montage similaire à ce montage objet d'étude doit être conçu relativement allégé en ce qui concerne les matériaux utilisés, le système de bridage, etc. (mais avec le même référentiel).
- Avoir les coordonnées cartésiennes des points de contacts entre les éléments de positionnements et la partie portant les sections de références qui est dans notre cas les pales et le grand bandage de la directrice, le plan 2D inclus dans le dossier technique doit contenir ces coordonnées cartésiennes.
- Pour les éléments de fixation (clamping), le concepteur peut utiliser la gamme d'accessoires standards fournis en formats 3D par plusieurs constructeurs (voir figure II.8).
- Le concepteur doit choisir des logiciels de conception et de fabrication (CFAO) capables de faire :
 - ✓ La modélisation 3D et la mise en plan 2D.
 - ✓ La simulation des déformations.
 - ✓ L'assemblage des différentes pièces suivant des contraintes géométriques.
 - ✓ La détection des interférences dans l'assemblage.
 - ✓ La fabrication assistée par ordinateur (FAO) ou CAM.
 - ✓ La simulation de l'usinage, pour détecter d'éventuelles collisions.
 - ✓ génération du programme d'usinage ISO (Post-processing).

Suite à cela, le concepteur et par le biais de ses connaissances techniques et expérimentales, sera en mesure de concevoir le montage d'usinage qui répond aux exigences technologiques et fonctionnelles, telles que :

1. Un bon positionnement de la pièce de façon répétable pour la totalité des pièces.
2. Un bon maintien et une bonne stabilité de la pièce durant l'usinage.
3. La facilité du montage et démontage de la pièce dans un délai optimum, avec une accessibilité évidente des jauges, pour vérifier d'éventuels jeux entre la pièce et les éléments de positionnement.

4. Accès libre des outils de coupe aux zones à usiner.
5. Assurer la sécurité de l'opérateur.
6. Possibilité d'accès pour d'autres fonctions, telles que le mesurage intermédiaire.

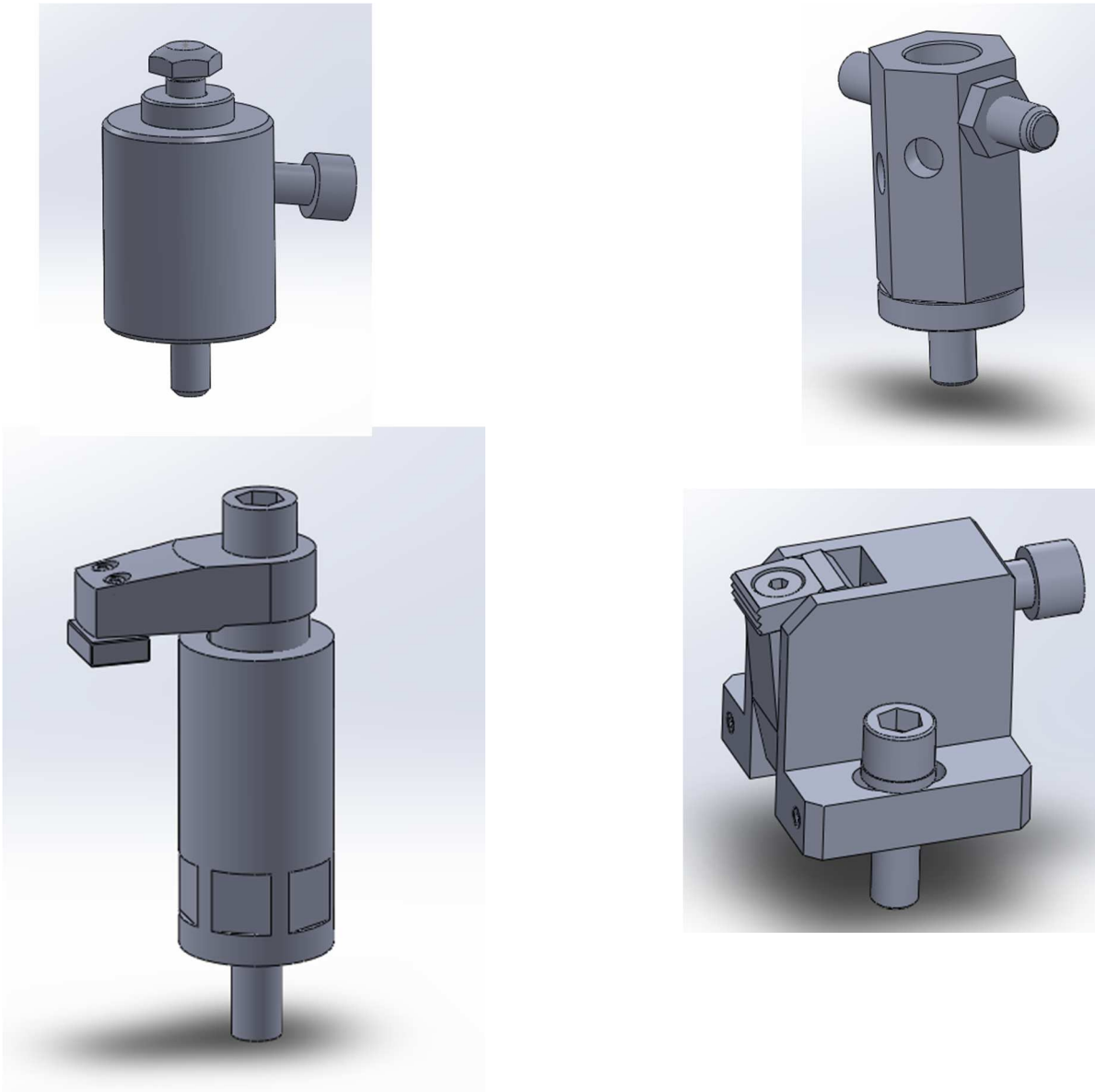


Figure II.8 : Images de quelques accessoires standards utilisés.

Les deux autres volets, qui sont :

- la réalisation du montage et son contrôle.
- L'essai du montage et son contrôle.

Ces deux volets vont être développés par la suite.

Chapitre III

Etude théorique

III.1 : Directrice de turbine à gaz

La directrice de turbine à gaz, dans notre cas est celle de la deuxième rangée, appelée aussi V29 (Vane 2nd stage, Frame 9 de GE), et de forme complexe, possède un emplacement bien précis dans la turbine, et à des distance précises par rapport au centre de la turbine (voir figure II.5). Cette précision de son installation permet une dispersion et une distribution uniforme et bien étudié du flux de gaz brûlé vers l'étage suivant ; alors son usinage doit être précis.

L'usinage précis de ces pièces commencera par une bonne mise en position et un bon maintien sur le montage d'usinage (sujet de notre mémoire).

La mise en position doit respecter la répartition des appuis sur les six points définis au préalable. La figure III.1 ci-dessous montre la position exacte et précise des six points de contact destinés à recevoir les appuis.

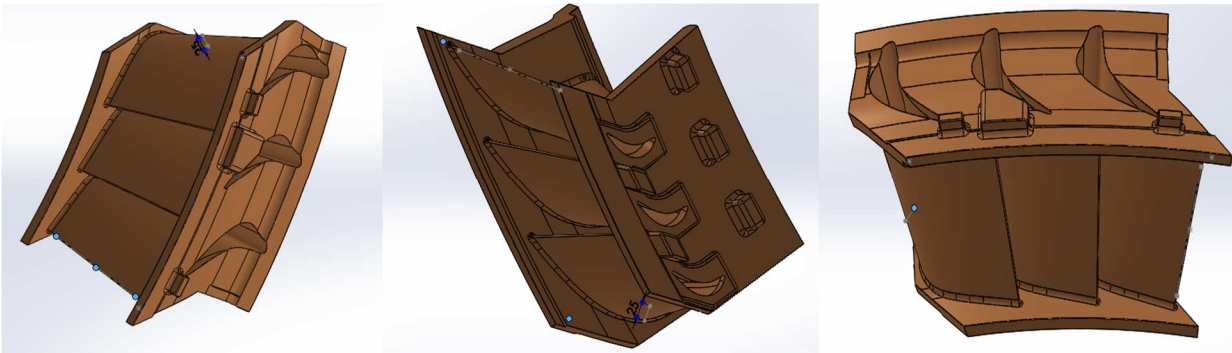


Figure III.1 : Répartition des six points de référence.

III.2 : Degrés de liberté et iso-statisme

A partir de ces points, notre travail va commencer par créer les appuis adéquats afin que le montage soit bien précis.

Puisque notre pièce sera usinée par fraisage sur une fraiseuse à commande numérique 3+2 axes ou 5axes (pièce globalement prismatique), l'iso-statisme adopté pour notre pièce doit annuler les six degrés de liberté. Pour cela un système 3-2-1 pas classique sera appliqué pour ce montage :

- Trois (03) appuis plans : deux (02) appuis sur le bord de fuite de la troisième pale et un (01) appui sur le bord d'attaque de la première pale.
- Deux (02) appuis annulaires sur la face interne du grand bandage.
- Un (01) appui ponctuel au milieu de l'arrête du bord de fuite de la troisième pale (Figure III.2)

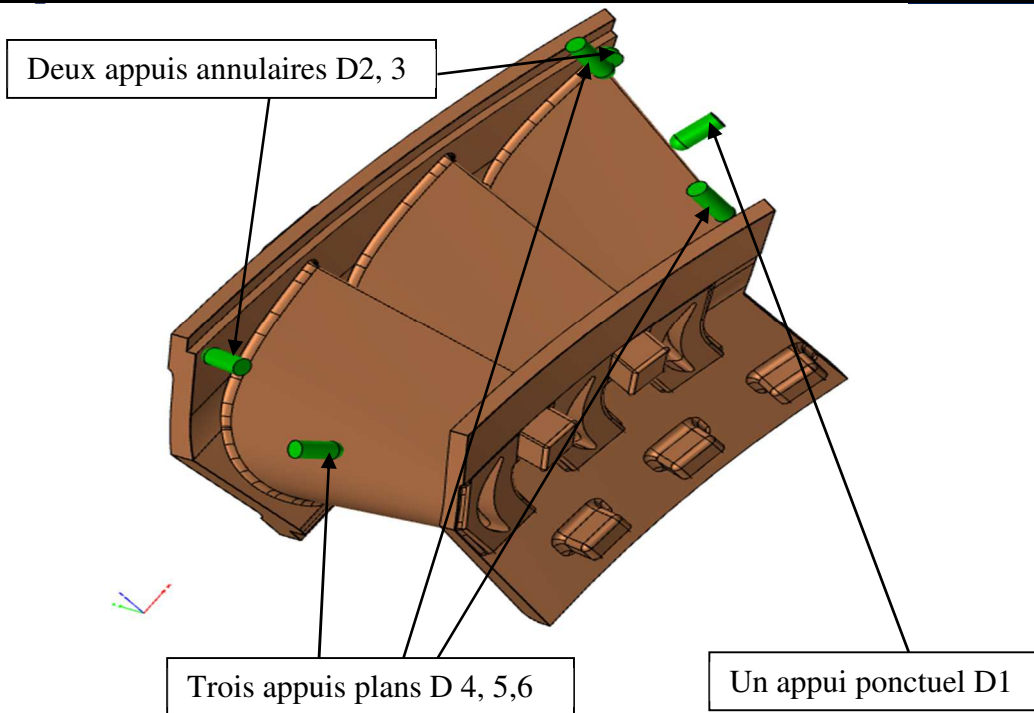


Figure III.2 : Position des six appuis.

Avec cette configuration d'iso-statisme, la pièce est mise en position sur ses points référentiels, éliminant ainsi tous les degrés de liberté, mais pour éviter toute déformation au niveau des pales due au poids de la pièce (≈ 45 Kg) et aux forces de coupe ; on ajoute des cales réglables sous la directrice.

Pour maintenir la pièce en position, un bridage est réalisé de façon à rendre la pièce stable et immobile pendant l'usinage, en utilisant des accessoires standards.

III.3 : Notion des référentiels pour le positionnement de la pièce dans le référentiel de la machine-outil

Toutes les machines-outils à commande numérique possèdent des référentiels fixes (référentiel machine et référentiel porte-outil), et des référentiels variables (référentiels pièce), et d'une manière générale on utilise le référentiel pièce (origine pièce), car cela nous permettra de positionner la pièce n'importe où sur la table [12].

Pour notre pièce, le référentiel du montage sera confondu avec celui de la machine ci-dessous (figure III.3) qu'on va utiliser comme exemple pour la simulation d'usinage.

Ensuite pour usiner toutes les faces possibles en une seule prise de la pièce, on fait appel à des décalages d'origine qu'on règle à l'avance.

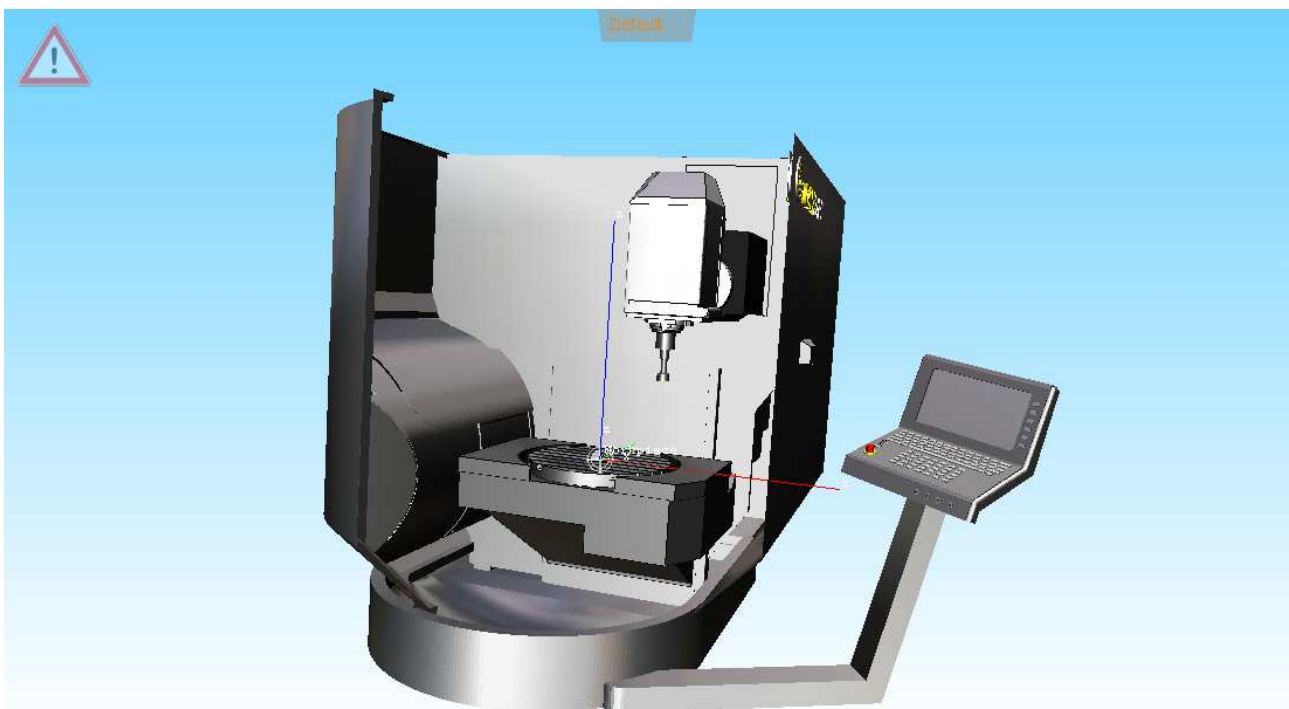
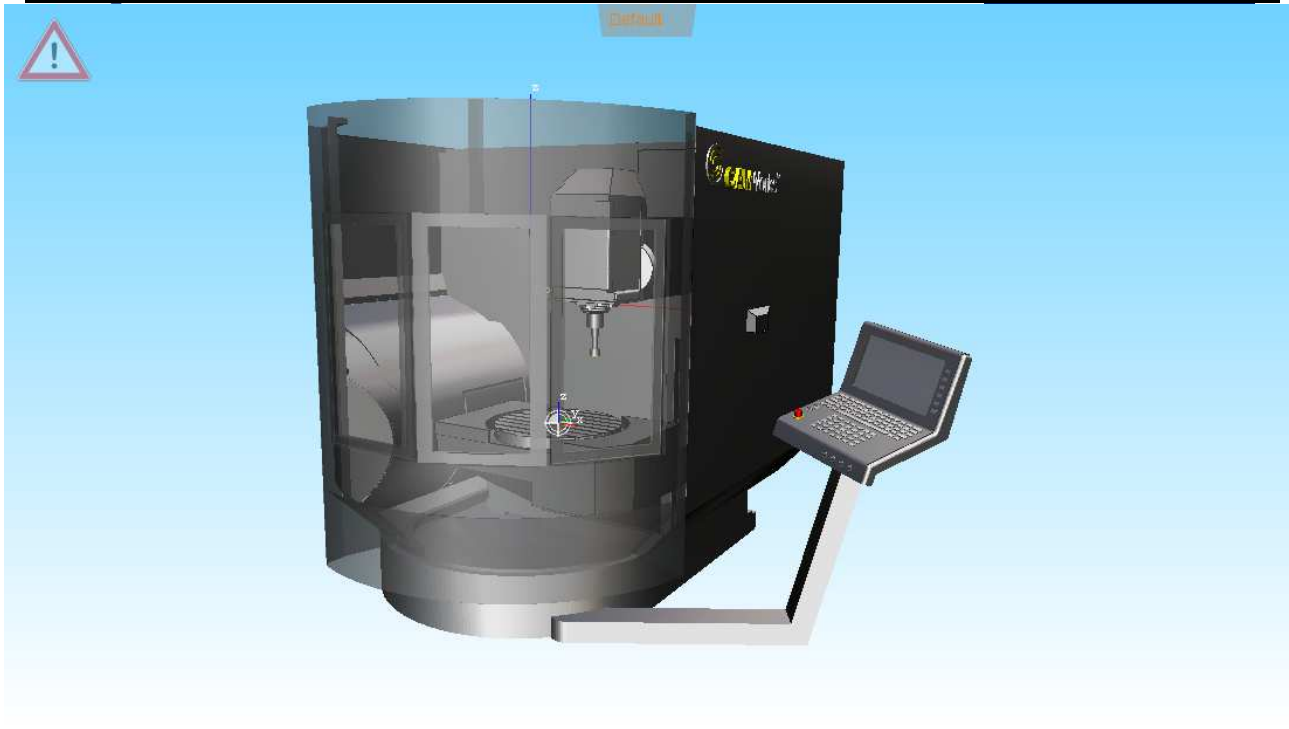


Figure III.3 : Position du référentiel sur la machine à CN.

III.4 : Choix des éléments technologiques en contact avec la pièce constituant le montage d'usinage

Selon le type de la surface d'appui, il existe plusieurs types d'éléments technologiques modulaires pour positionner la pièce. Pour les surfaces d'appui cylindriques on utilise les Vés et les centreurs, pour les surfaces d'appui planes on utilise les réglettes d'appui, et pour les surfaces d'appui brutes ou de mauvaise qualité on utilise les appuis localisés.

Il y a les touches d'appui à contact plan qui sont utilisées généralement lorsque la surface d'appui est une surface de bonne qualité (surface laminée, surface étirée, surface usinée ou surface

finie) et les efforts de bridage sont assez importants. Les touches d'appui à contact bombées sont utilisées quand la surface d'appui est de mauvaise qualité (surface moulée, surface forgée, surface ébauchée) [3].

Le choix des éléments technologiques en contact avec la pièce est essentiellement issu de règles expertes. Ces règles sont formalisées pour répondre aux contraintes de qualité, d'accessibilité et de comportement mécanique. Le résultat final repose sur un compromis entre ces différentes contraintes. Il est essentiellement fonction :

- De la qualité de la surface d'appui,
- Du type d'opérations d'usinage,
- De l'état de la surface d'appui (brute, ébauchée ou finie),
- De l'accessibilité,
- Des caractéristiques mécaniques de la matière de la pièce,
- De la rigidité de la pièce,
- De la direction des efforts encaissés par les points d'appui,
- Du défaut d'orientation de la surface d'appui.

Dans notre projet, puisque les points de contact doivent être des contacts ponctuels, en plus ils se trouvent sur des faces brutes finies, on doit alors tenir compte des formes des appuis choisis, qu'ils soient de forme sphérique ou cylindrique, car le contact avec les surfaces ne sera qu'un contact ponctuel avec leurs génératrices.

Les appuis utilisés dans notre projet, figure III.4, doivent être usinés en position sur la plaque qui sert à soutenir notre montage, et cela pour garder une position exacte de ces appuis.

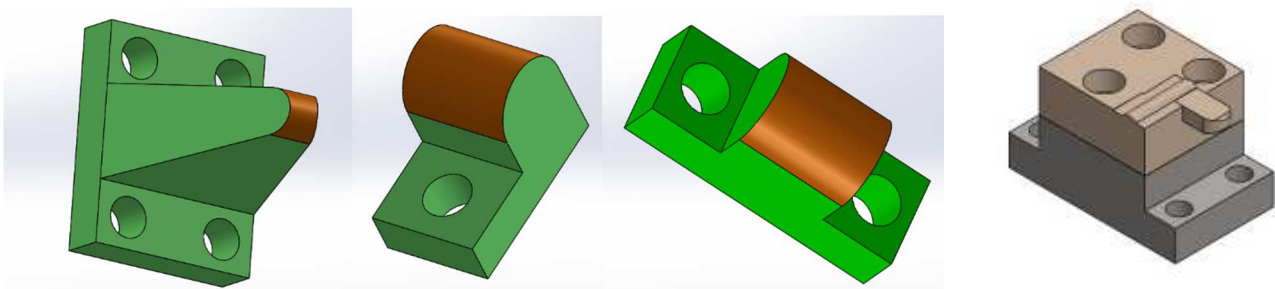


Figure III.4 : Éléments technologiques (appuis) utilisés.

D'autres éléments technologiques (réglables) seront utilisés pour renforcer le soutien de la pièce et supporter les efforts de coupe, sans qu'il y ait des déformations sur la pièce. Ces éléments (figure III.5) sont réglés une fois que la pièce est bien positionnée sur les appuis ponctuels.

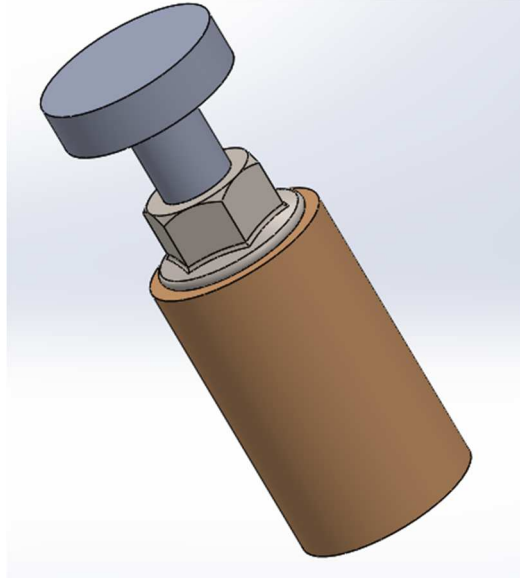


Figure III.5 : Élément réglable.

III.5 : Optimisation des efforts de serrage en tenant compte de la stabilité et de l'équilibre de la pièce

Le choix des éléments technologiques de bridage en contact avec la pièce est essentiellement issu de règles expertes. Ces règles doivent répondre aux contraintes de qualité, d'accessibilité et de comportement mécanique [3].

Le choix technologique des brides dépend essentiellement des paramètres suivants :

- L'étendue et la géométrie de la surface de bridage,
- L'intensité de l'effort de bridage,
- L'espace disponible pour le chargement/déchargement de la pièce,
- Le défaut d'orientation de la surface de bridage.

Pour choisir des éléments de bridage, l'algorithme suivant montre le choix des éléments de bridage :

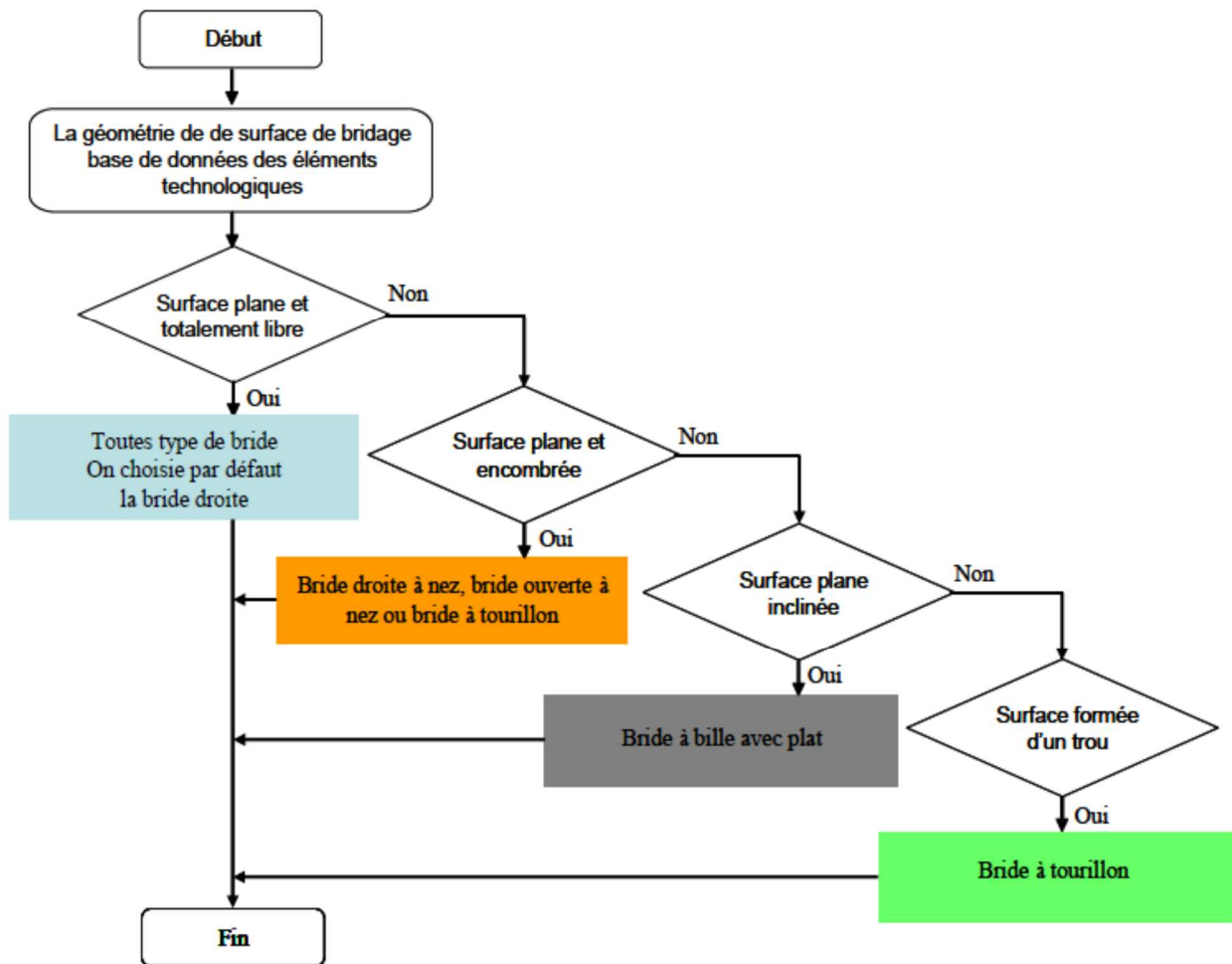


Figure III.6 : Algorithme de choix des éléments de bridage [3]

Pour l'intensité de l'effort de bridage, la position relative entre le pied de bride et le tirant exerçant l'effort de bridage doit être optimisé de façon à obtenir le meilleur rendement de bridage (figure III.7). Il faut avoir la distance X2 supérieur à la distance X1 et la distance X2 la plus grande possible. Le respect de ces conditions nous oblige à choisir les brides dans l'ordre suivant : bride ouverte, bride à tourillon, bride coudée, bride droite et à la fin bride pivotante.

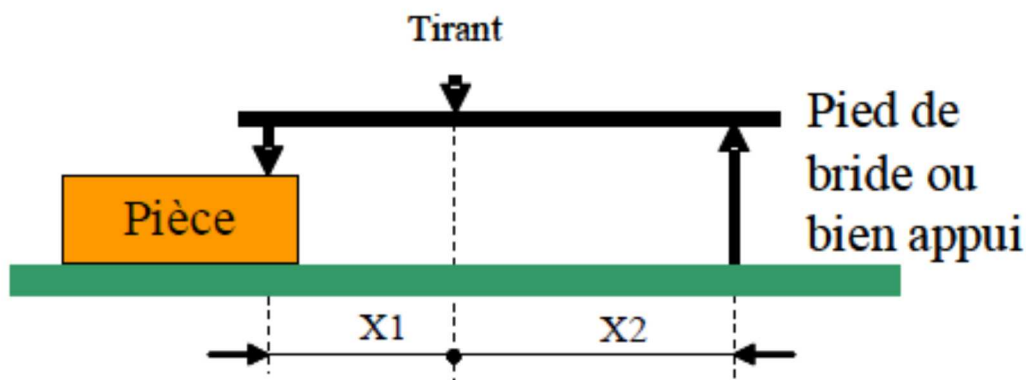


Figure III.7 : La position relative tirant-pied d'une bride [3]

III.6 : Lien entre la gamme d'usinage et la conception du montage

La directrice que nous sommes en train de concevoir son montage d'usinage, comporte plusieurs surfaces à usiner, dans les deux faces. Pour cela nous allons étudier la conception de deux montages différents, qui permettront d'usiner toutes les faces destinées à l'usinage.

Pour cela, les figures ci-dessous III.8-a et III.8-b montrent les surfaces à usinées sur la face1 (en vert), et III.9-a et III.9-b montrent les surfaces à usinées sur la face2 (en rouge).

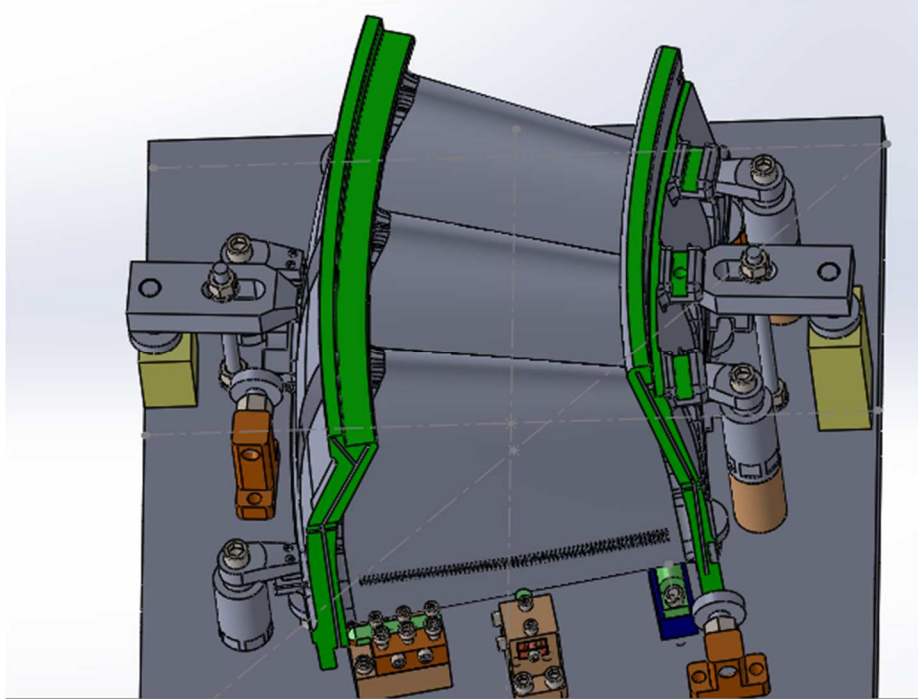


Figure III.8.a : Faces à usiner en position 1.

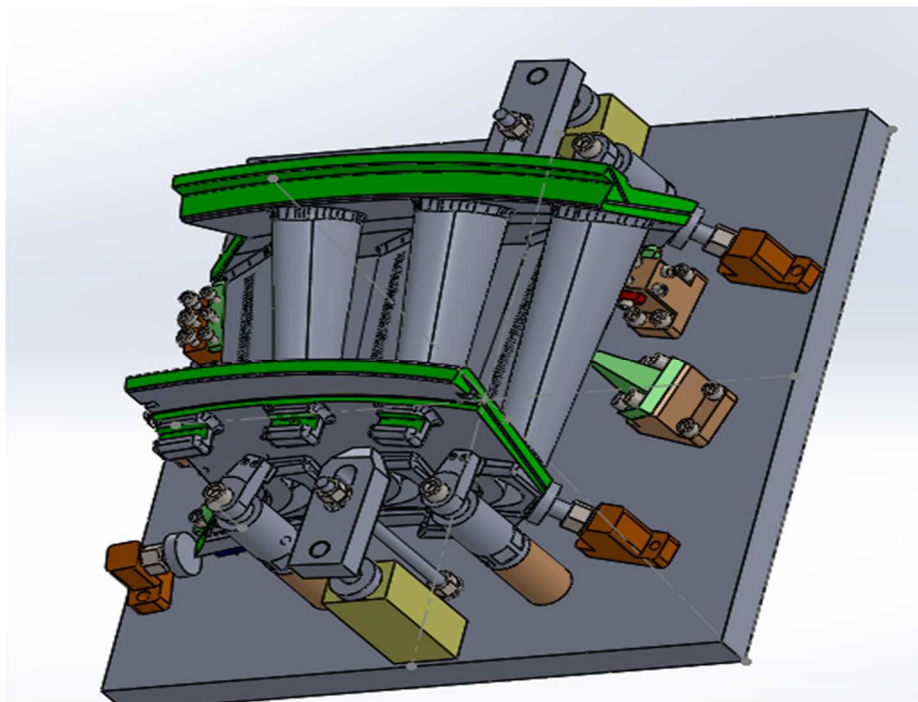


Figure III.8.b : Faces à usiner en position 1.

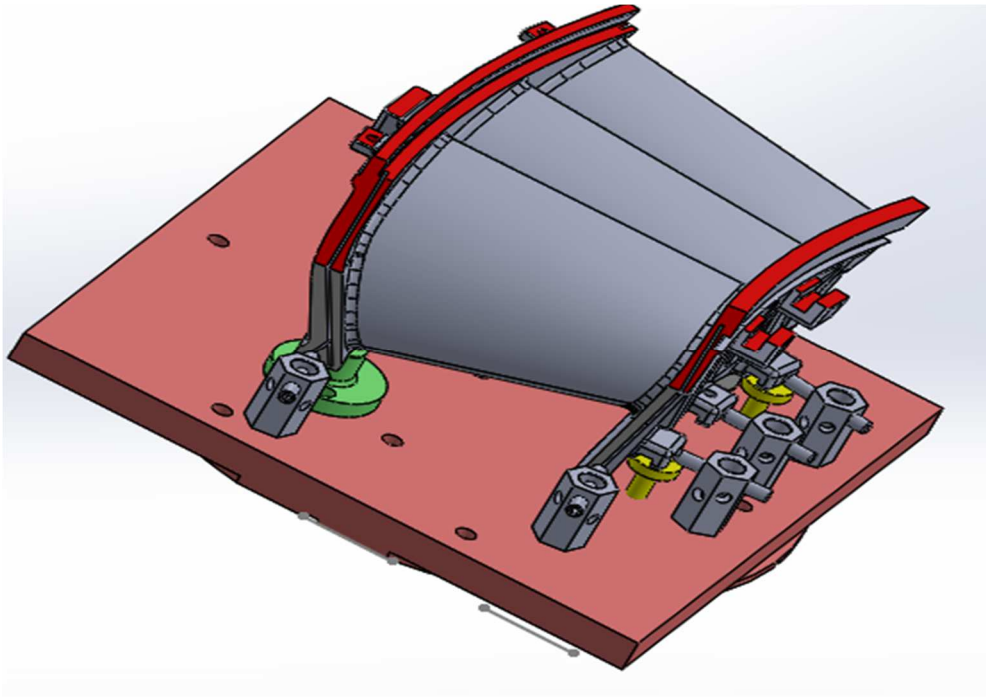


Figure III.9.a : Faces à usiner en position 2.

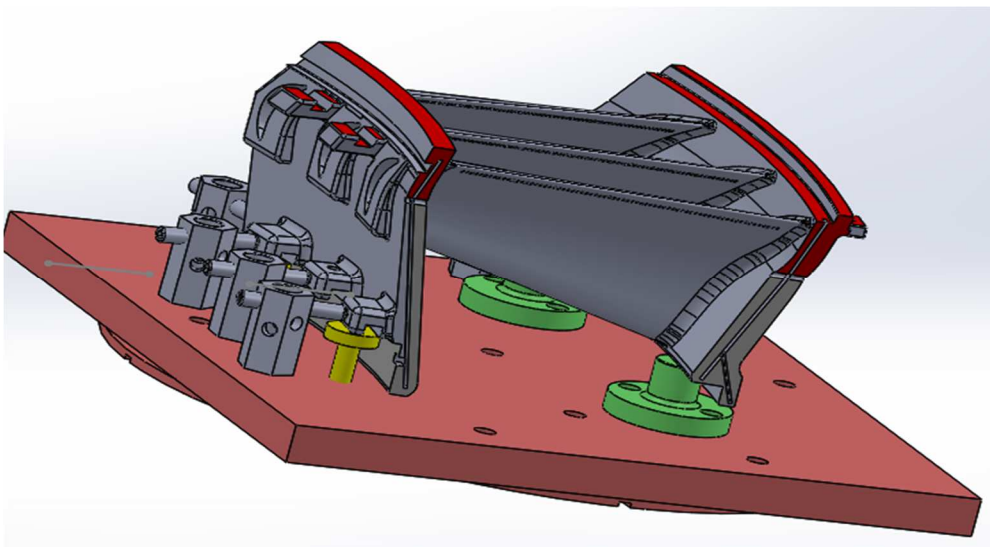


Figure III.9.b : Faces à usiner en position 2.

Ces deux différents montages vont nous permettre d'usiner toutes les surfaces susceptibles d'être usinées seulement en deux sous-phases sur la même machine-outil.

Chapitre IV

Conception et fabrication du montage d'usinage

IV.1 : Introduction

Notre pièce, dont le montage qu'on va construire, est une directrice de la deuxième rangée d'une turbine à gaz. Le matériau constituant cette pièce est un alliage de Nickel, son nom commercial est le GTD222. Le tableau ci-dessous nous donne une partie de sa composition chimique :

Elément %	Ni	Cr	Co	W	Mo	Al	Ti	Al+Ti	Nb	Ta	C	B	Zr	Mn
Maxi	—	22.8	19.5		0.2	1.8	3.5							
Elément %	Si		Fe	Rh	Hf	P	Cu	V	Mg	Pd	Pt			
Maxi	0.04		0.15											
Elément %	Bi	Pb	S	Ag	Se	Sn	Te	Tl	Sb	As	Zn	Hg	Cd	
Maxi														
Elément %	In	Ca	Ga		N									
Maxi														

Ni : Nickel, Cr : Chrome, Co : Cobalt, W : Tungstène, Mo : molybdène, Al : Aluminium, Ti : Titane, Nb : Niobium, Ta : Tantale, C : Carbone, B : Bore, Zr : Zirconium, Mn : Manganèse, Si : Silicium, Fe : Fer, Rh : Rhodium, Hf : Hafnium, P : Phosphore, Cu : Cuivre, V : Vanadium, Mg : Magnésium, Pd : Palladium, Pt : Platine, Bi : Bismuth, Pb : Plomb, S : Soufre, Ag : Argent, Se : Sélénium, Sn : Etain, Te : Tellure, Tl : Thallium, Sb : Antimoine, As : Arsenic, Zn : Zinc, Hg : Mercure, Cd : Cadmium, In : Indium, Ca : Calcium, Ga : gallium, N : azote.

Tableau IV.1 : Extrait de la composition chimique de l'alliage [9]

Les dimensions de la pièce sont illustrées dans la figure IV.1 et les propriétés dans la figure IV.2 ci-dessous.

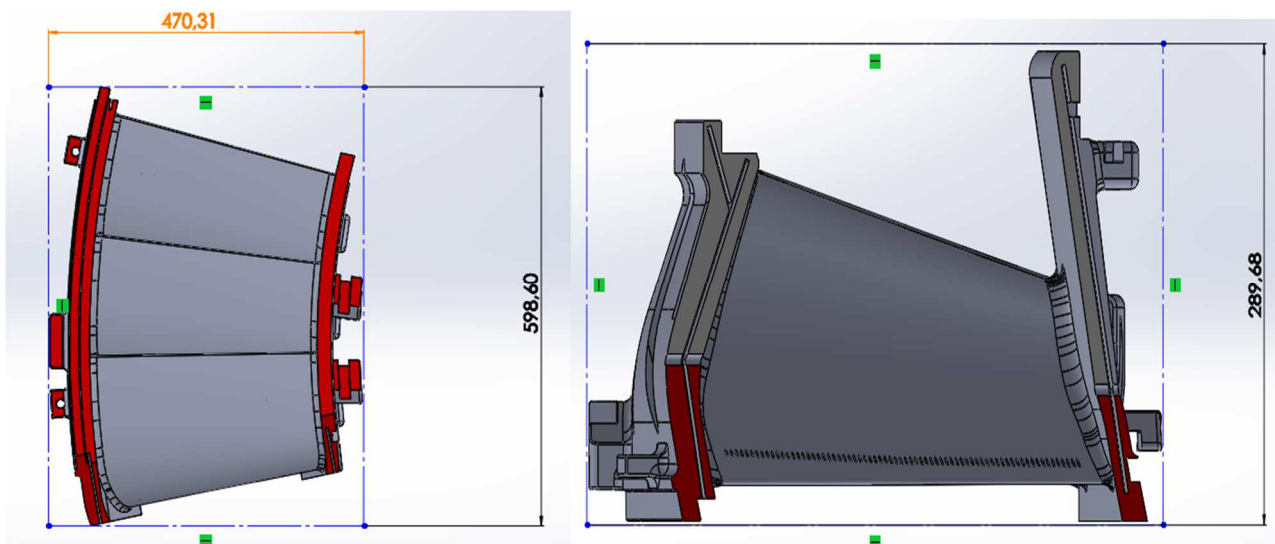


Figure IV.1 : Dimensions de la directrice.

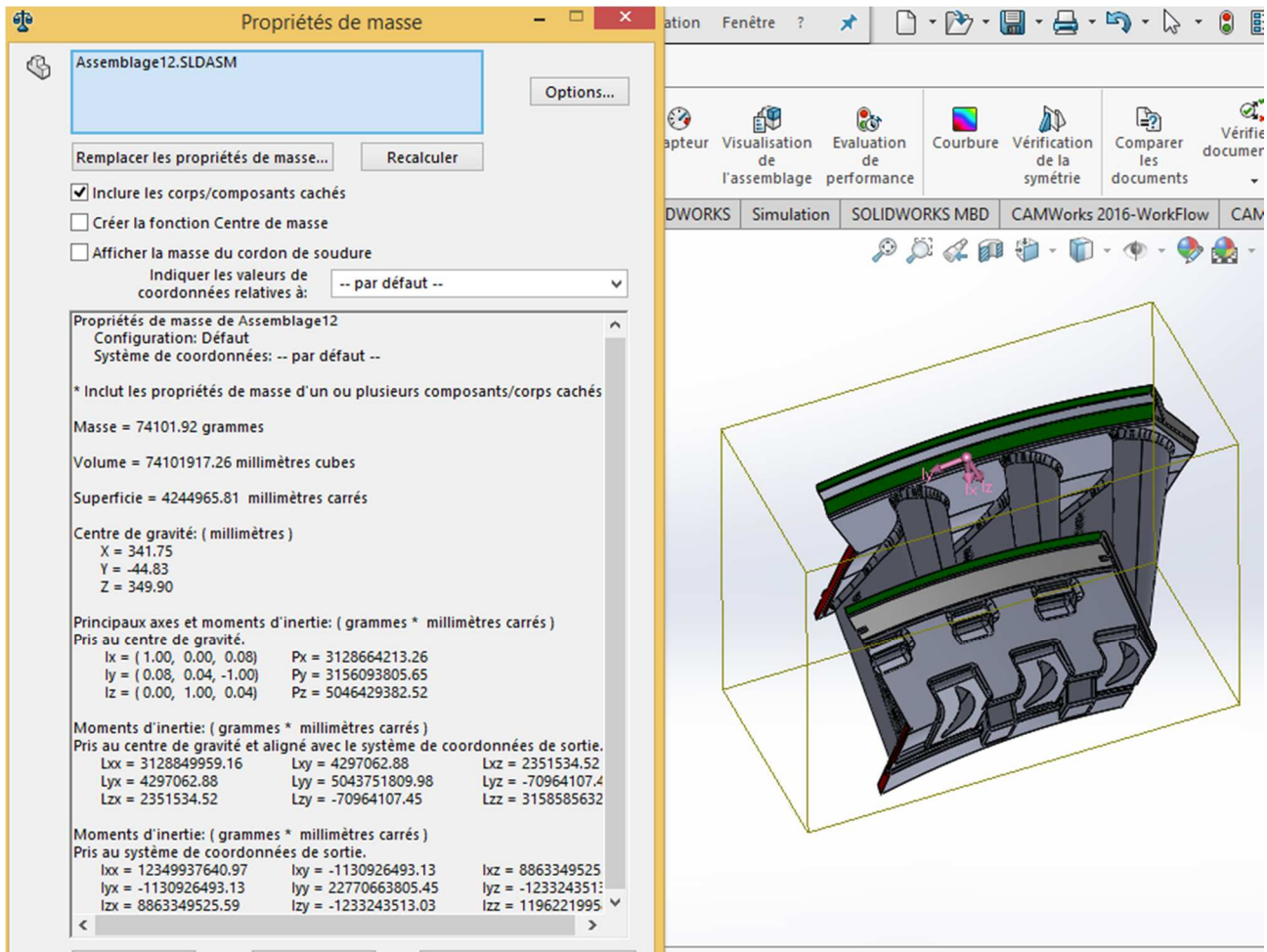


Figure IV.2 : Propriétés de masse de la directrice.

IV.2 : Volet de fabrication

La fabrication d'un produit mécanique est une étape fondamentale dans le processus de développement. Cette étape intervient après la phase de conception du produit et elle a pour but de concrétiser la faisabilité de la fabrication du produit, compte tenu des données commerciales et des objectifs de la politique industrielle de l'entreprise. L'étude de fabrication et d'industrialisation doit être menée conjointement et en constante collaboration entre le bureau d'étude, le bureau des méthodes et la production.

Ce volet de fabrication, se résume souvent dans les équipements et matériels utilisés ainsi que les méthodes utilisées pour réaliser les différents composants de ce montage. Parmi ces équipements utilisés durant la réalisation de ce montage, on peut citer :

- Les machines :
 1. Centre d'usinage vertical à 5 axes de marque DMG (figure IV.3), avec les caractéristiques illustrées dans le (tableau IV.2). Ce CUV a pour objectif de réaliser tous les composants réalisables du MU. Ce CUV peut être programmé suivant deux modes, le premier mode de programmation appelé "Shop Mill" qui se fait directement sur la machine à travers un

pupitre HMI. Le deuxième mode de programmation se fait au moyen d'un logiciel de FAO, si c'est un programme 3 axes et plus, où on génère le programme en code G qui sera injecté dans la machine.

Puissance du moteur broche	25 KW
Vitesse max de rotation broche	18000 tr/min
Vitesse max linéaire suivant x, y et z	10000 mm/min
Dimensions de la table machine (X x Y) mm	2000 x 750 mm
Course axes linéaires (X, Y, Z) mm	1800, 700, 700 mm
Angle d'orientation de la broche (axe B)	$\pm 105^\circ$.
Angle d'orientation de l'axe C	360°
Commande	Siemens / Sinumerik 840D
Défait de localisation des axes linéaires	0.007 mm

Tableau IV.2 : Caractéristiques du CUV.

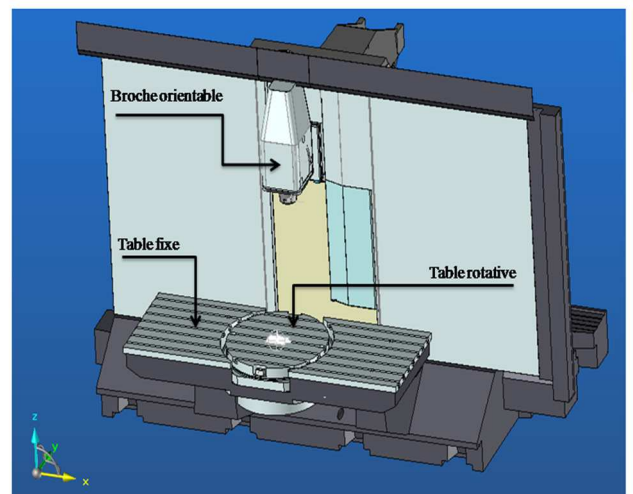
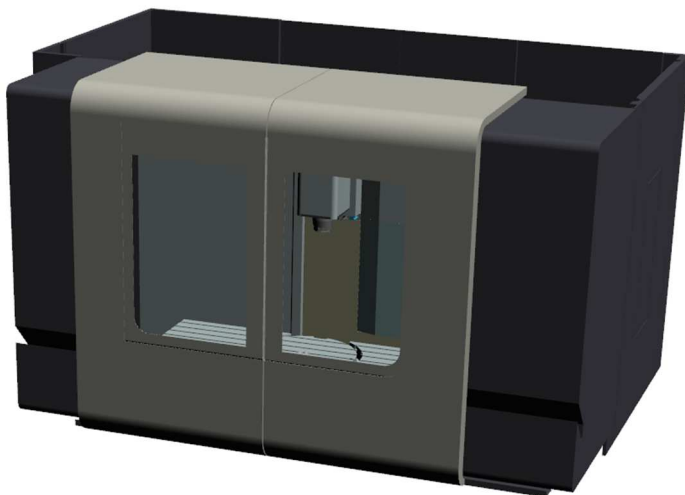


Figure IV.3 : Centre d'usinage vertical 5 axes.

2. Machine d'électroérosion à fil EDM de marque ONA AF35 (figure IV.4). Deux modes de programmation sont aussi disponibles, l'un sur machine et l'autre sur un logiciel de FAO appelé "Esprit".



Figure IV.4 : Machine d'électroérosion à fil.

- Outillages :
Divers outils de coupe sont à utiliser pour l'usinage des différents composants du MU selon les formes à usiner.
- Accessoires et éléments de bridage et fixation standards : ce sont des composants standards de la marque "AutoBlok".
- Matières : les matériaux constituant les différents composants du MU sont récapitulés dans le tableau IV-3 ci-dessous :

Matériaux	composants
GTD222	Ailette fixe (directrice).
Acier ordinaire	Plaque de base et les éléments de liaison.
Acier ordinaire	Les éléments de bridage et de blocage standards
Inconel 718	Les éléments de positionnement.

Tableau IV.3 : Matériaux utilisés.

IV.3 : Volet contrôle de qualité

Le montage d'usinage doit répondre aux critères suivants :

- La précision dimensionnelle et géométrique : notre montage d'usinage doit être soumis à des contrôles dimensionnels et géométriques préalables et à des opérations d'usinage sur des pièces prototypes, avant d'entamer la production. La MMT de la marque «Hexagon» (figure IV.5), est un instrument idéal pour effectuer cette tâche, ainsi qu'un palpé à l'aide d'un palpeur 3D peut être utilisé pour d'éventuelles mesures intermédiaires.



Figure IV.5 : Machine de mesure MMT

- L'état de surface doit être rigoureux pour assurer un bon contact entre les éléments de positionnement et la pièce.
- Pour une durée de vie prolongée, les éléments de positionnement sont d'un matériau (Inconel) qui a une dureté proche de celle de la pièce à usiner, en plus ils sont interchangeables pour une éventuelle déformation.

IV.4 : Déroulement de la réalisation du montage

La directrice qui va être maintenue sur notre montage, est de forme complexe et de grandes dimensions doit être usinée sur deux faces, donc deux montages différents. C'est le premier montage qui est plus délicat, puisque la deuxième face dépendra de la première.

Alors la conception du premier montage doit suivre les étapes suivantes :

IV.4.a : Import du modèle 3D de la pièce

Après création d'un fichier assemblage sur logiciel « SolidWorks », on importe le modèle 3D de la directrice, puis on introduit les coordonnées (X, Y et Z) des six points de référence, ainsi que les lignes normales à ces points par rapport aux différentes faces de la pièce (figure IV.6).

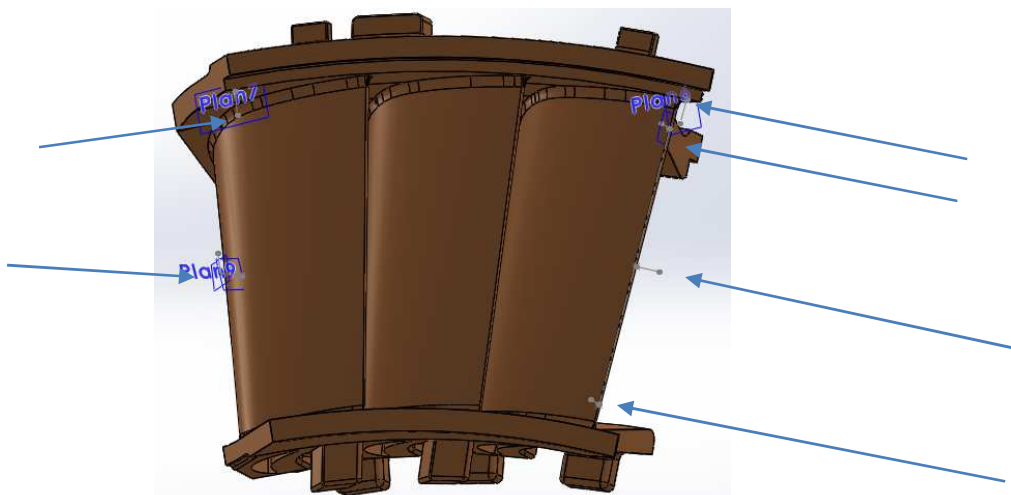


Figure IV.6 : Les six points et leurs normales.

IV.4.b : Modélisation des appuis de référence

Les éléments ou appuis de référence sont modélisés à partir des six points et leurs normales, de façon que le contact avec la surface doit être normal et ponctuel vue la géométrie complexe de la pièce (figure IV.7).

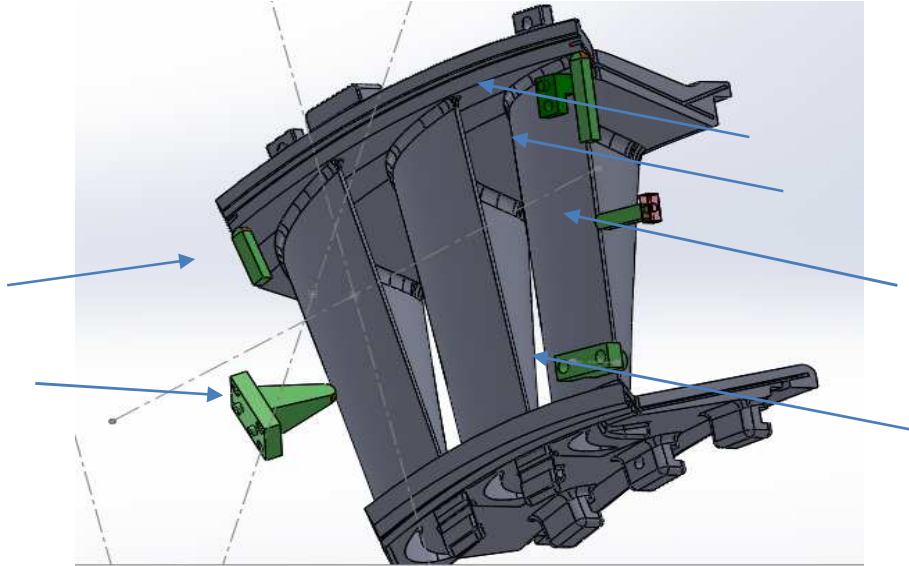


Figure IV.7 : Les six appuis en position.

IV.4.c : Modélisation des éléments de soutien et les éléments de serrage

Les éléments de soutien et les éléments de serrage ont été insérés dans l'assemblage dans des positions de façon qu'ils permettent (figure IV.8) :

- L'accessibilité des outils de coupe et les instruments de mesure.
- Le serrage et le desserrage libres, faciles et rapides.
- Le serrage et le desserrage libres dans la course admissible des parties mobiles telles que les sauterelles et les pistons de serrage.

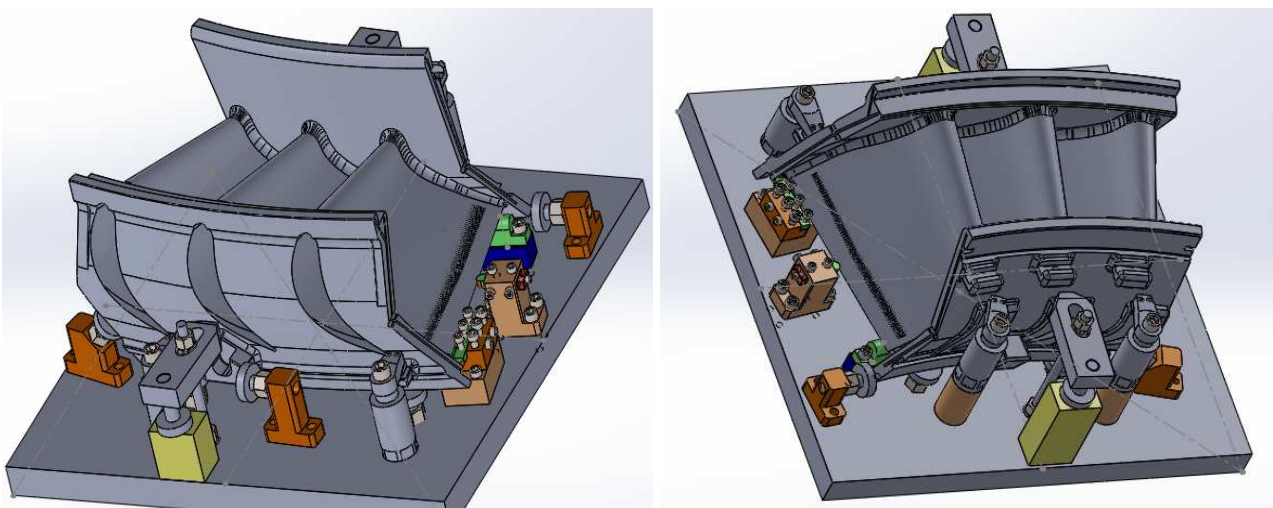


Figure IV.8 : Les éléments de soutien et de serrage en place.

IV.4.d : Modélisation de la plaque support

La plaque est modélisée juste après la mise en place des éléments dans l'étape précédente, et qui doit englober tous les accessoires et composants du montage d'usinage (figure : IV.9), mais à prendre en compte les dimensions de la table de la machine-outil.

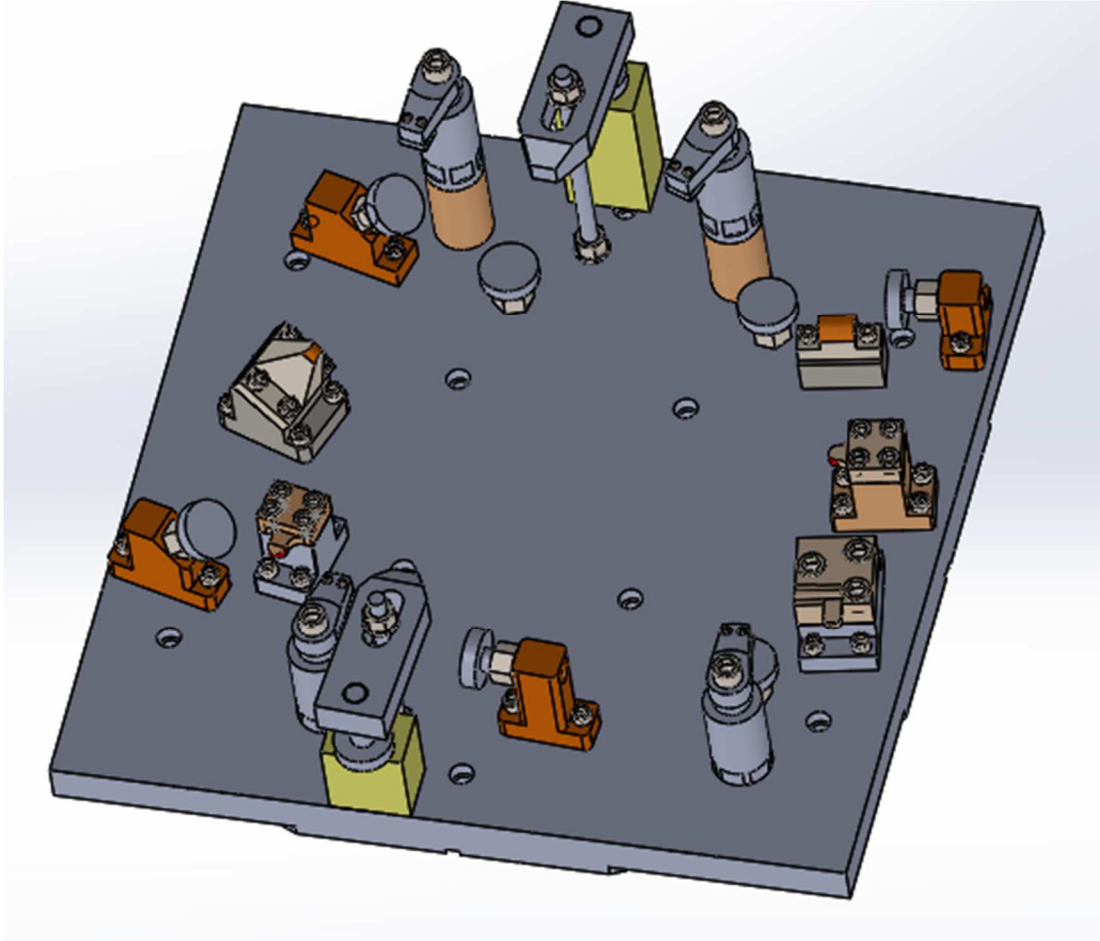


Figure IV.9 : Plaque support avec tous les éléments et accessoires.

IV.5 : Réalisation du montage

IV.5.1 : Introduction

Les deux équipements de fabrication qui ont permis la réalisation de tous les accessoires du montage sont le centre d'usinage vertical à 5 axes et la machine d'électroérosion (sans oublier la phase de préparation des pièces brutes).

IV.5.2 : La plaque support

La figure IV.10 ci-dessous illustre le modèle CAD de la plaque support et les opérations réalisées dessus, avec précision de 0.007 mm de localisation des trous.

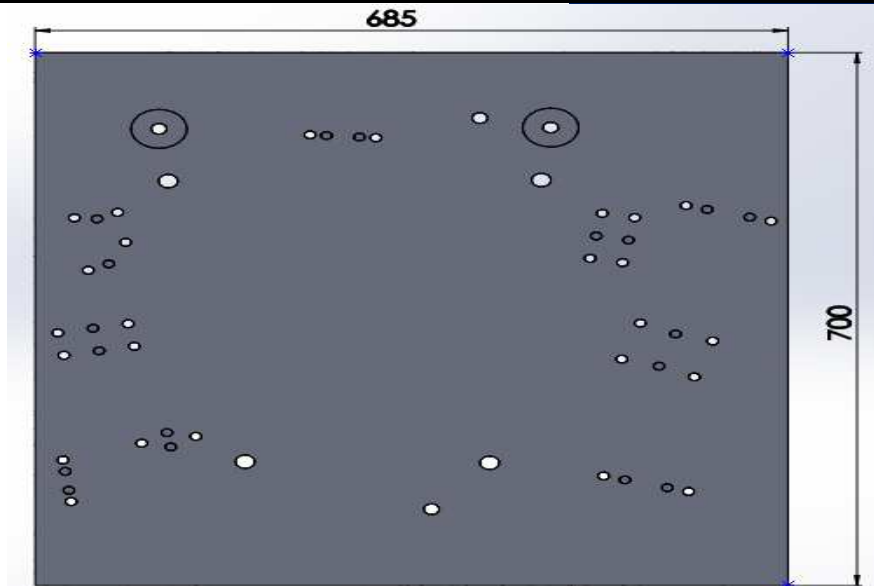


Figure IV.10 : Plaque support avec tous les trous.

Les opérations réalisées sont :

- Surfaçage des deux faces.
- Perçage des trous.
- Taraudage des certains trous.

IV.5.3 : Réalisations des supports

La figure IV.11 ci-dessous illustre des modèles CAD d'éléments qui servent à soutenir les appuis, réalisés sur centre d'usinage et par électroérosion avec une précision de 0.008 mm de localisation.

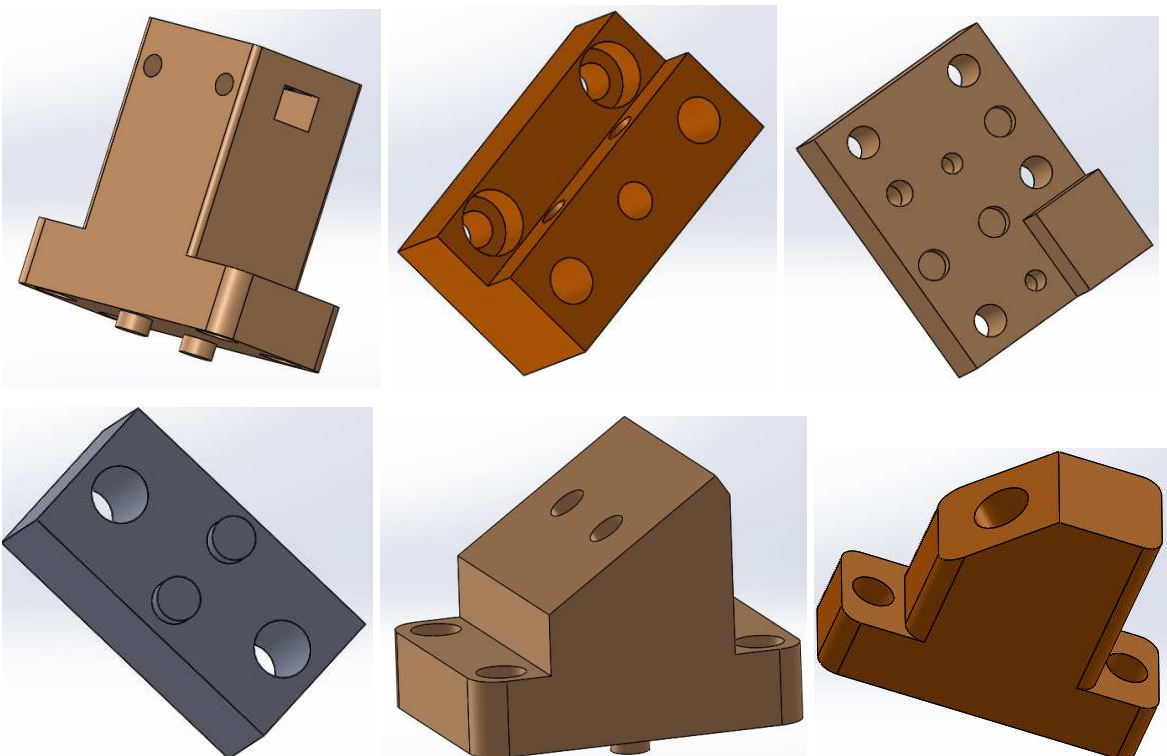


Figure IV.11 : Différents supports réalisés.

Il s'agit des opérations :

- De surfacage.
- De réalisation d'épaulements.
- De contournage des guides.
- De chambrage.
- De perçage.
- Lamage.

IV.5.4 : Réalisations des éléments de positionnement (appuis)

Les éléments de positionnement ou appuis de localisation ou de référence sont réalisés par électroérosion en demi-finition (figure IV.12-a), puis finis sur place dans le montage (figure IV.12-b).

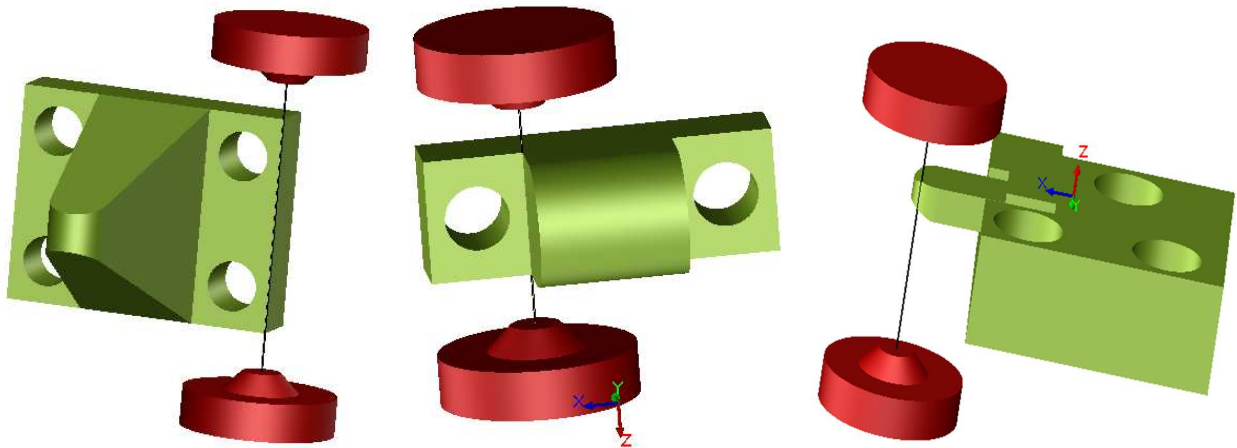


Figure IV.12-a : Différents supports ébauchés par électroérosion.

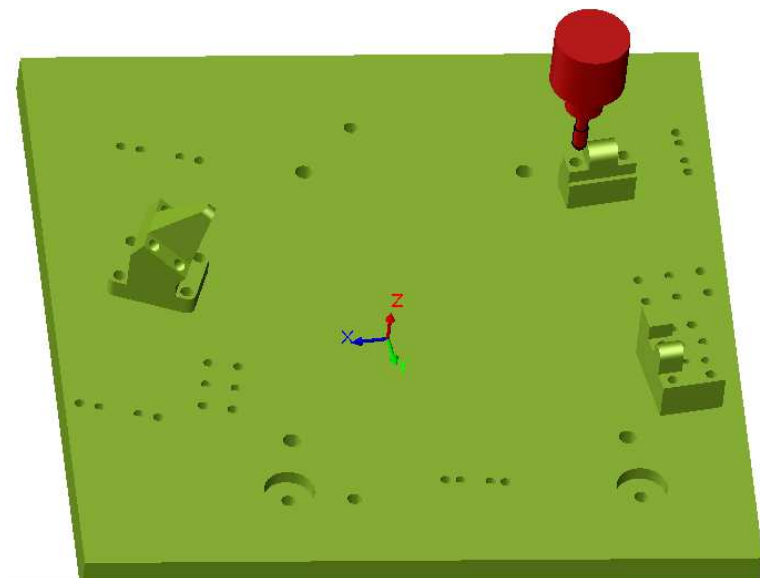


Figure IV.12-b : Appuis (en position) en finition par fraisage.

Les deux montages terminés et prêts pour l'usinage complet de la directrice sur les deux faces, sont illustrés dans les figures IV.13 suivantes :

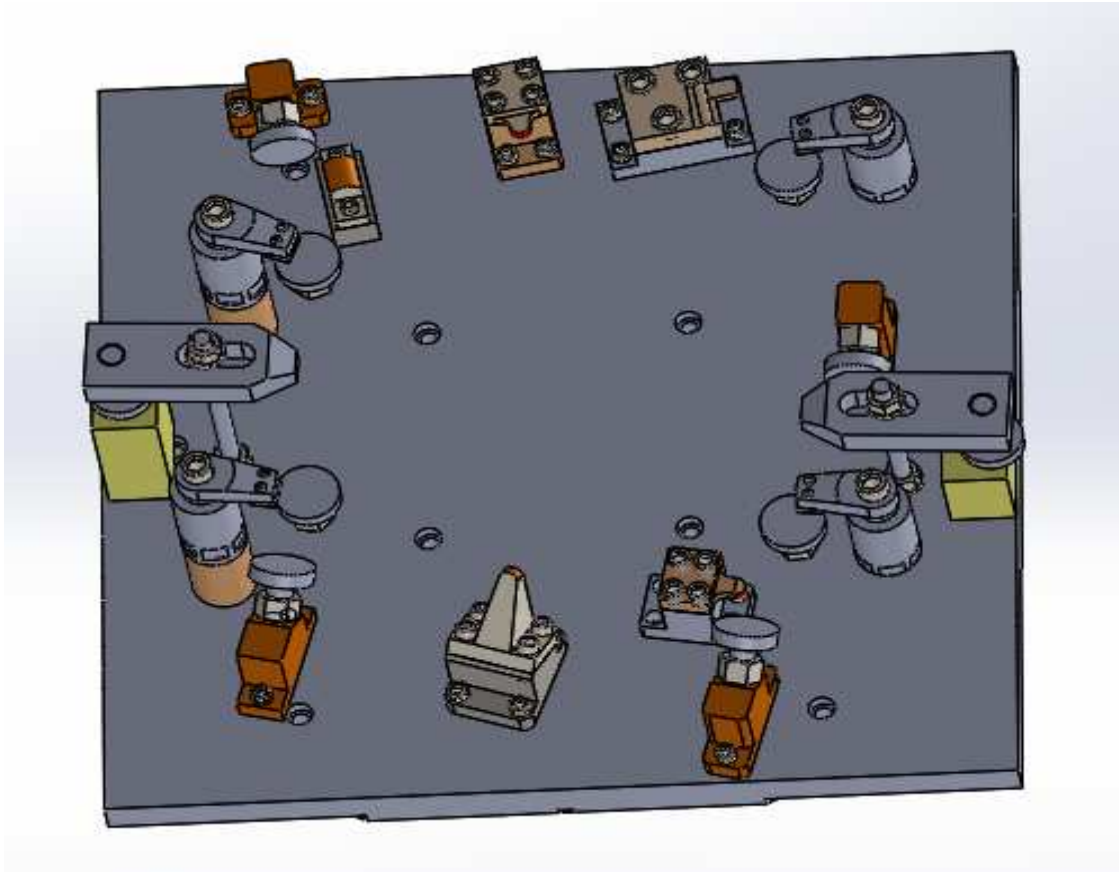


Figure IV.13-a : Montage pour la face_1 en 3D.



Figure IV.13-b : Montage pour la face_1 en réel.

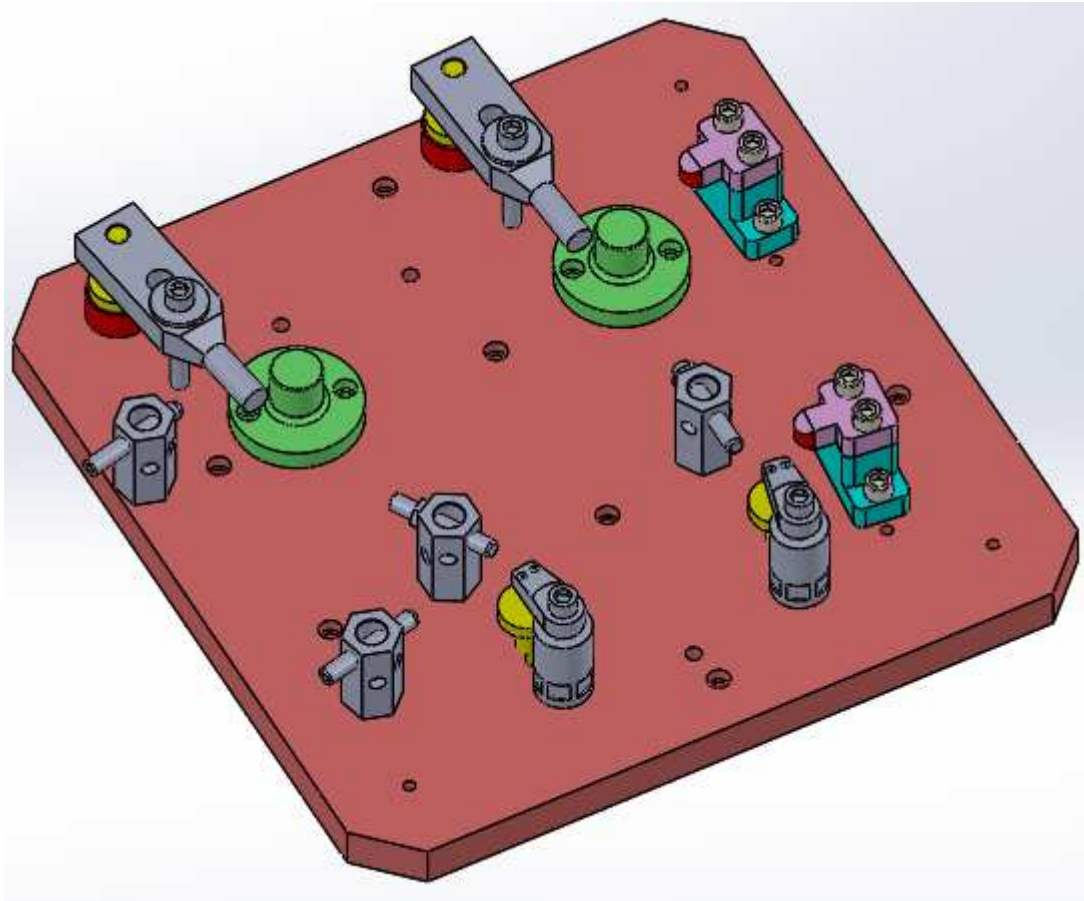


Figure IV.13-c : Montage pour la face_2 en 3D.



Figure IV.13-d : Montage pour la face_2 en réel.



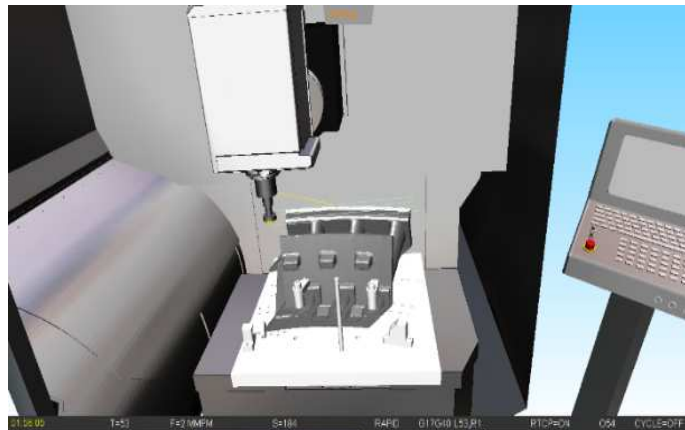
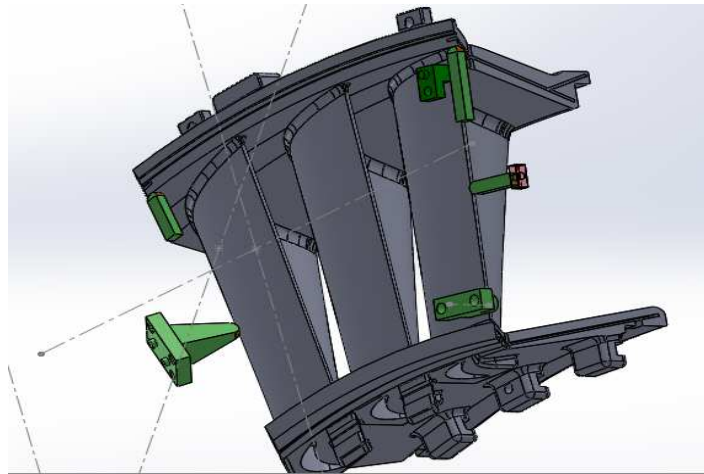
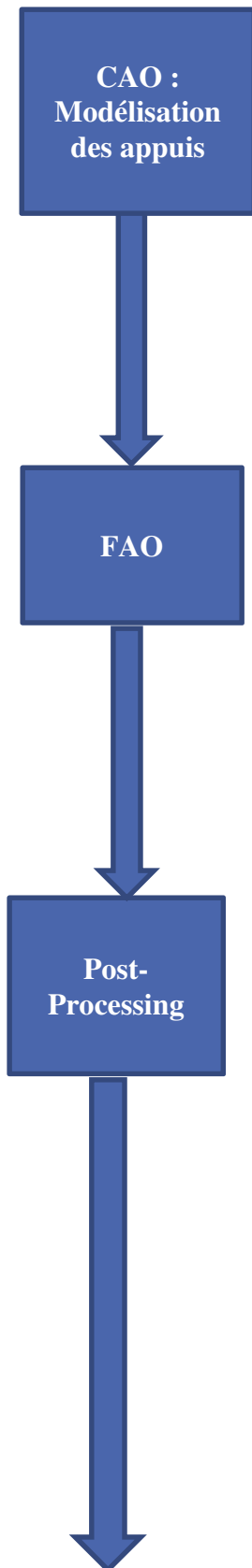
Figure IV.13-e : Photo du montage durant l'usinage de la face_2.

IV.5.5 : Récapitulation du processus de conception

L'algorithme suivant illustre les étapes suivies pour la réalisation du montage :

- a- Partie CAO : Dans cette partie on modélise tous les appuis et accessoires de fixation sur le modèle 3D ; puis l'assemblage de tous ces éléments sur une plaque de base.
- b- Partie FAO : Dans cette partie on simule l'usinage de la directrice sur son montage, afin de voir si le parcours d'outil est libre et qu'il ait accès à toutes les surfaces à usiner sans collision, ainsi que la possibilité d'usiner toutes les surfaces de chaque face en une seule fixation.
- c- Partie Post-Processing (ou génération de programme en code G) : Dans cette partie on génère le programme d'usinage en code G, pour qu'on puisse l'utiliser après assemblage du montage pour l'usinage des directrices.
- d- Partie MOCN : C'est la partie où on passe à l'usinage des appuis, butées et accessoires à usiner ; puis l'usinage de la plaque de base qui sert à supporter la directrice ; et enfin l'assemblage de toutes ces pièces avec les accessoires standards pour former le montage complet.
- e- Partie contrôle : Le contrôle du montage se fait en deux étapes :
 - La première étape se fait par le logiciel CAO, qui consiste à voir si les appuis supportent les efforts soumis à la pièce, et qu'il n'y a pas de déformation.

- La deuxième étape se fera sur la machine de mesure tridimensionnelle (MMT), pour contrôler l'exactitude de position des appuis (possibilités d'erreurs dans l'usinage).



S PHASE 200

N10 G0 G52 Z-60

N20 M41 M3 S500

→ **N30 M6 T1D1 S FRAISE D 20**

S FRAISAGE PROFIL

N40 G0 X60 Y30 M7 S530

N50 Z-2

N60 G1 G41 X40 Y2 F80

N70 X40 Y-15

N80 G03 X20 Y-35 R20

N90 G02 X-20 Y-35 R20

N100 G03 X-40 Y-15 R20

N110 G1 Y2

N120 G40 X-60 Y30 F900

N130 G0 G52 Z-60

SCENTRAGE: A B C

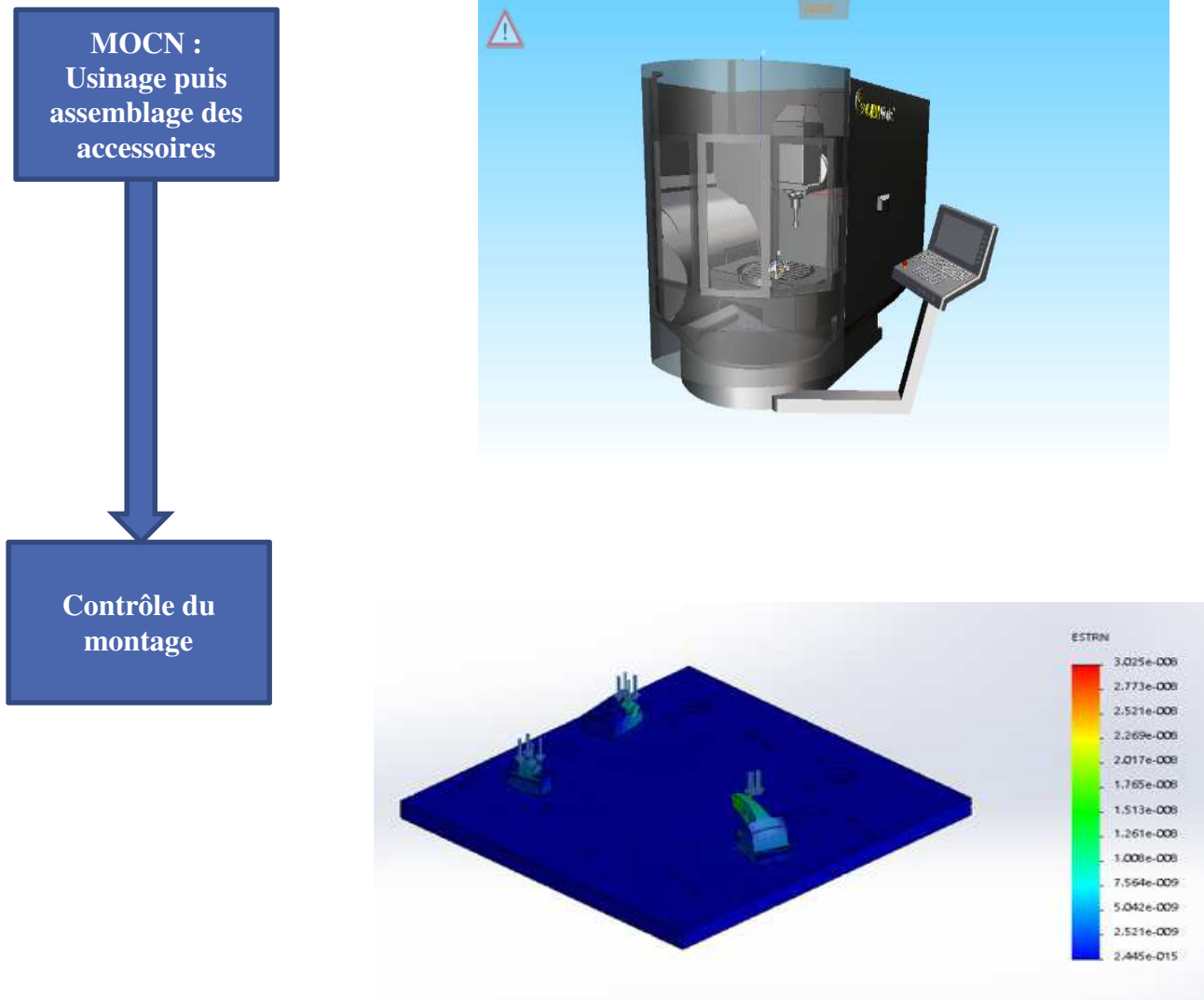


Figure IV.14 : Organigramme du processus de conception.

Chapitre V

Simulation de l'usinage

V.1 : Introduction

Après conception et réalisation des montages pour l'usinage de la directrice, deux cas de simulations statiques au flambage ont été faites sur le montage de la face 1 ; les résultats de cette simulation sont donnés en annexe.

V.1.1 : 1^{er} cas (poids de la pièce + force verticale)

Cette analyse a été faite sur les appuis du montage de la face 1, en appliquant une force verticale (équivalente au poids de la directrice et les forces de coupes, c'est le cas du perçage) répartie sur les trois appuis (Figure V.1).

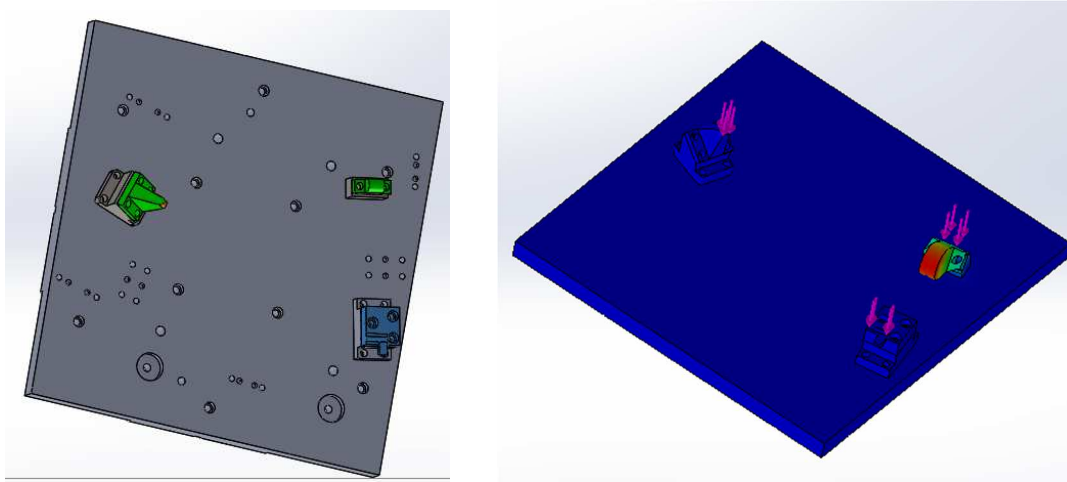


Figure V.1 : Montage soumis à la simulation de flambage (1^{er} cas).

Sachant que la directrice ayant une tolérance de 0.05 mm, donc on a varié les forces verticales sur les appuis pour savoir jusqu'à où on peut aller en efforts, ce qui permet d'augmenter les profondeurs de coupe durant l'usinage, si la machine et les outils de coupe permettent.

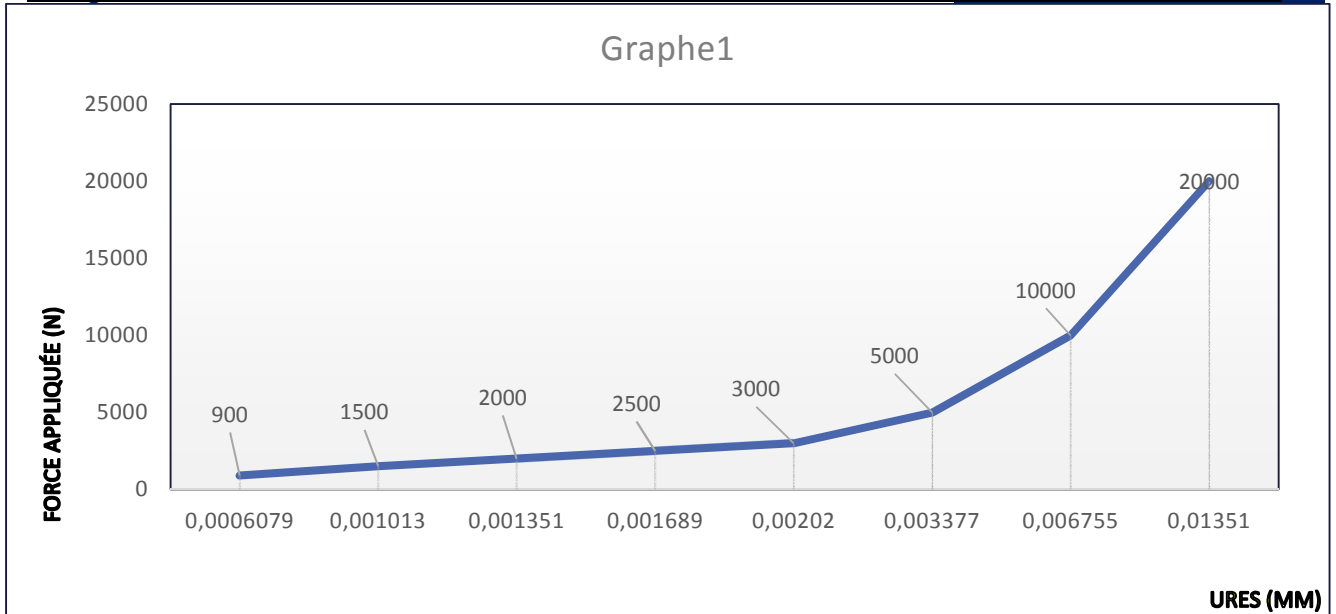
Cette variation de forces est illustrée dans le tableau et les graphes ci-dessous :

Force verticale appliquée (N)	URES (mm)	ESTRN	Von mises (N/m ²)
900	0,0006079	0,000004003	1185000
1500	0,001013	0,000006672	1975000
2000	0,001351	0,000008896	2633000
2500	0,001689	0,00001112	3291000
3000	0,00202	0,00001334	3950000
5000	0,003377	0,00002224	6583000
10000	0,006755	0,00004448	13170000
20000	0,01351	0,00008896	26330000

Tableau V.1 : Résultats des déformations dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.

V.1.1.a : Résultats de l'URES

L'URES est le déplacement résultant dans les trois directions des axes X, Y et Z en mm (voir annexe).



Graphe V.1 : Déplacements dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.

V.1.1.b : Résultats de l'ESTRN

L'ESTRN (en anglais : equivalent strength) est la déformation équivalente suivant les trois axes X, Y et Z (voir annexe).

$$ESTRN=2 [(\epsilon_1+\epsilon_2)/3]^{(1/2)} \tag{14}$$

Avec :

$$\epsilon_1 = 0.5 [(EPSX - \epsilon^*)^2 + (EPSY - \epsilon^*)^2 + (EPSZ - \epsilon^*)^2]$$

$$\epsilon_2 = [(GMXY)^2 + (GMXZ)^2 + (GMYZ)^2] / 4$$

$$\epsilon^* = (EPSX + EPSY + EPSZ) / 3$$

Où :

EPSX : Déformation normale X

EPSY : Déformation normale Y

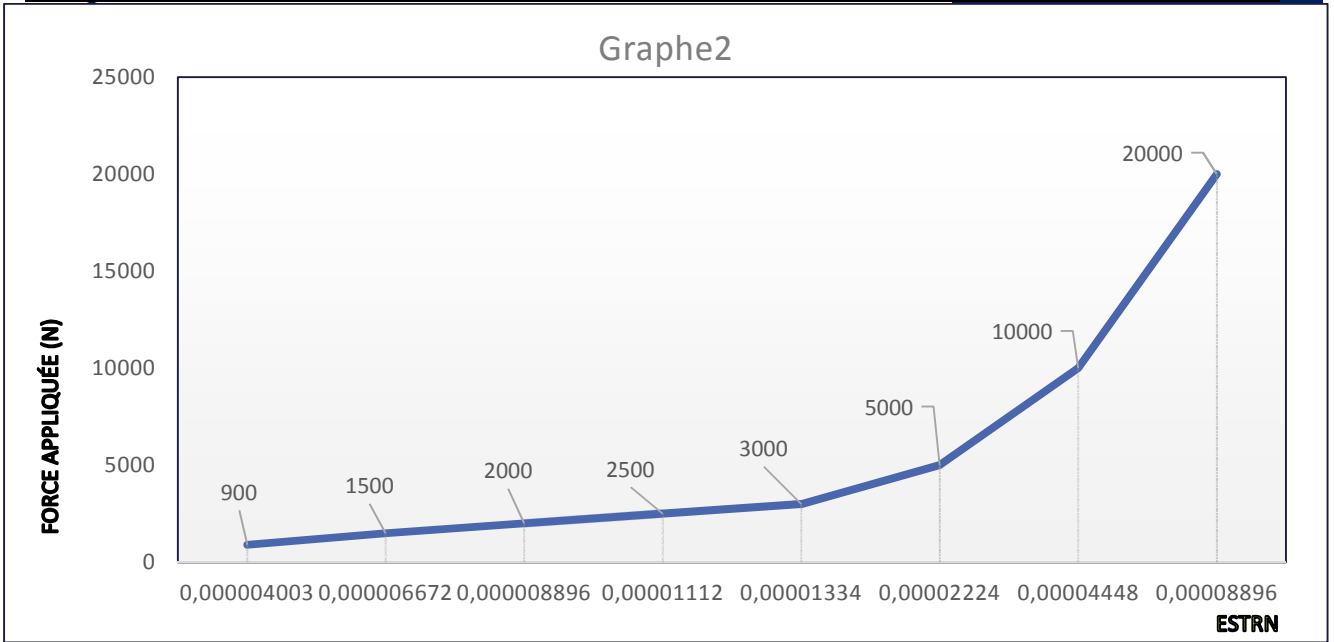
EPSZ : Déformation normale Z

GMXY : Déformation de cisaillement dans la direction Y sur le plan YZ

GMXZ : Déformation de cisaillement dans la direction Z sur le plan YZ

GMYZ : Déformation de cisaillement dans la direction Z sur le plan XZ

ESTRN : Déformation équivalente



Graphe V.2 : Déformations dues aux variations des forces appliquées sur les appuis.

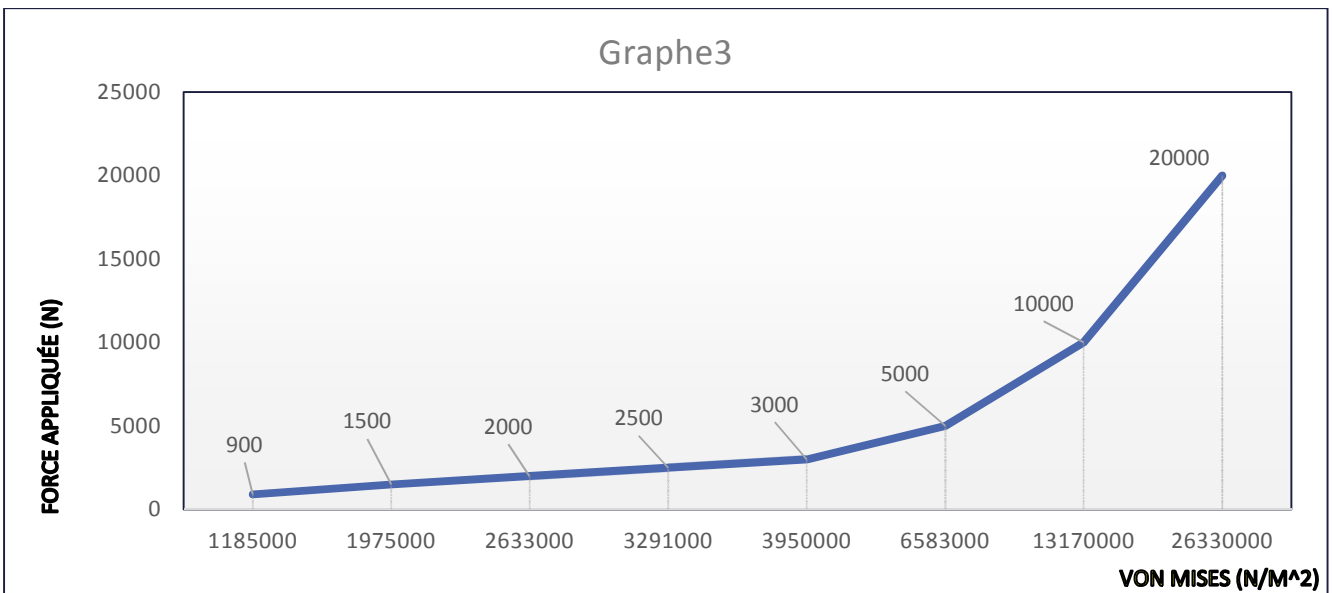
V.1.1.c : Résultats de VON MISES

Le critère de Von Mises est basé sur la théorie de Von Mises-Hencky, connue aussi sous le nom de théorie de l'énergie de distorsion maximale.

En utilisant les contraintes principales $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, la contrainte de Von Mises s'exprime comme suit :

$$\sigma_{\text{Von Mises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2\}^{1/2}$$

La théorie prévoit qu'un matériau ductile commence à céder lorsque la contrainte de Von Mises atteint un niveau égal à la contrainte limite. Dans la plupart des cas, la limite d'élasticité est utilisée comme contrainte limite. $\sigma_{\text{Von Mises}} \geq \sigma_{\text{limite}}$



Graphe V.3 : Contraintes de Von Mises dues aux variations des forces appliquées sur les appuis.

D'après les résultats des différents graphes ci-dessus, on remarque que les appuis peuvent supporter des efforts élevés.

Donc cela permet aux usineurs de mettre des profondeurs de coupes élevées, tout dépend de la puissance de la machine-outil utilisée et des outils de coupe mis en œuvre.

Tous ces résultats sont illustrés en photos dans l'annexe.

V.1.2 : 2^{ème} cas (poids de la pièce + force appliquée suivant 3 axes)

Dans ce cas on a appliqué une force verticale de 450 N (équivalente au poids de la pièce) plus une variation de force suivant les trois axes X, Y et Z (efforts de coupe).

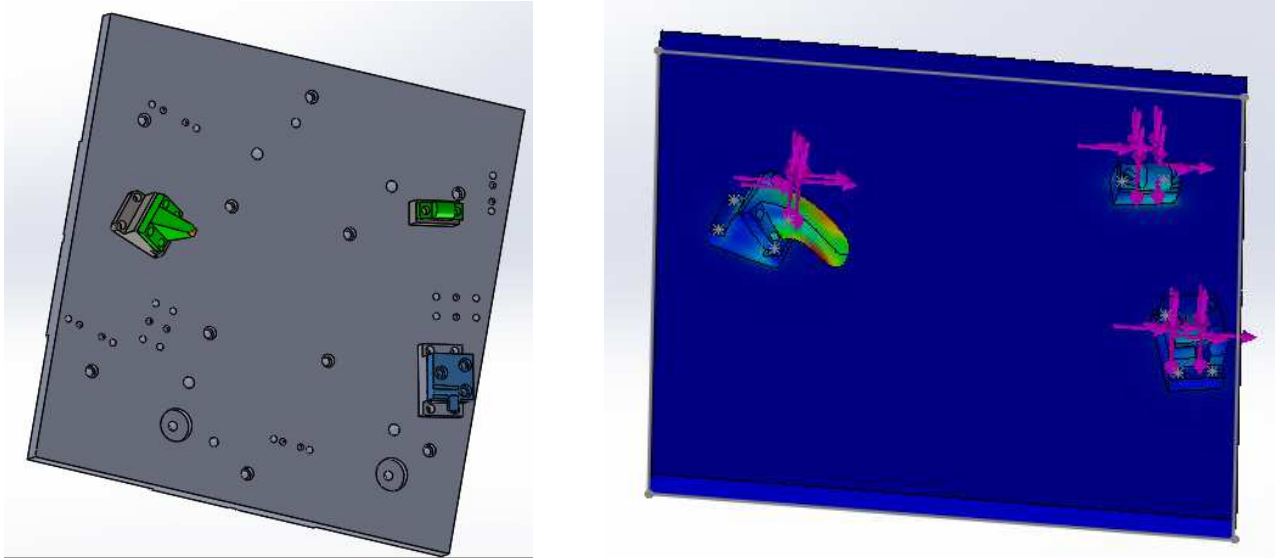


Figure V.2 : Montage soumis à la simulation de flambage (2^{ème} cas).

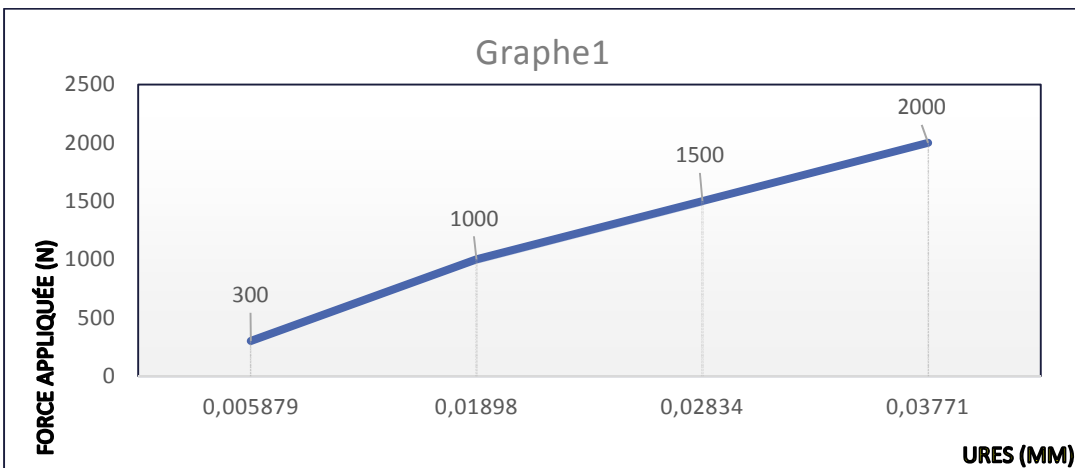
Cette variation de forces est illustrée dans le tableau et les graphes ci-dessous :

Poids de la pièce (N)	Force appliquée suivant 3 axes (N)	URES (mm)	ESTRN	Von mises (N/m ²)
450	300	0,005879	0,00002368	7819000
450	1000	0,01898	0,00007507	24930000
450	1500	0,02834	0,0001118	37150000
450	2000	0,03771	0,0001485	49380000

Tableau V.2 : Résultats des déformations dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.

V.1.2.a : Résultats de l'URES

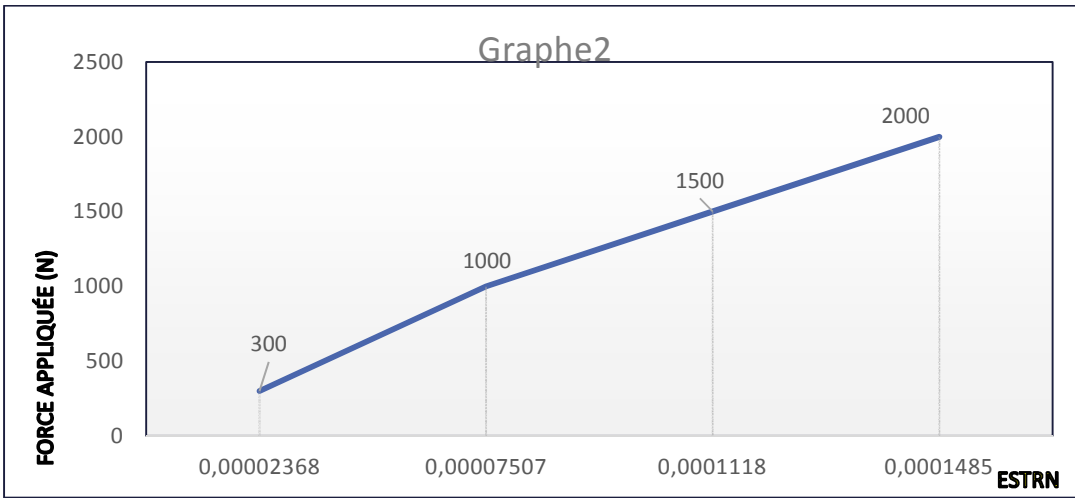
L'URES est le déplacement résultant dans les trois directions des axes X, Y et Z en mm (voir annexe).



Graphe V.4 : Déplacements dus aux variations des forces appliquées sur les appuis.

V.1.2.b : Résultats de l'ESTRN

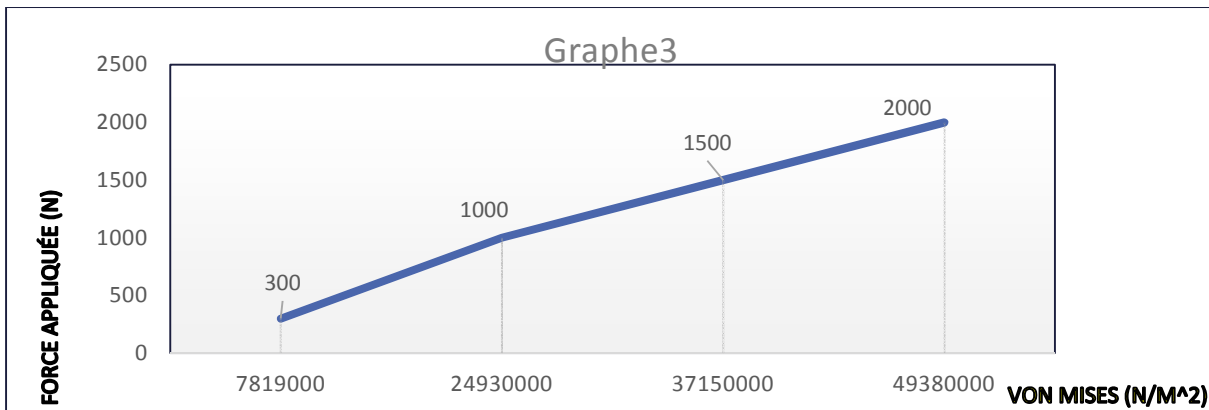
L'ESTRN (en anglais : equivalent strength) est la déformation équivalente suivant les trois axes X, Y et Z (voir annexe).



Graphe V.5 : Déformations dues aux variations des forces appliquées sur les appuis.

V.1.2.c : Résultats de VON MISES

Le critère de Von Mises est basé sur la théorie de Von Mises-Hencky, connue aussi sous le nom de théorie de l'énergie de distorsion maximale (voir annexe).



Graphe V.6 : Contraintes de Von Mises dues aux variations des forces appliquées sur les appuis.

V.2 : Simulation d'usinage

La simulation de l'usinage est très vaste et touche différents niveaux au sein du processus de fabrication.

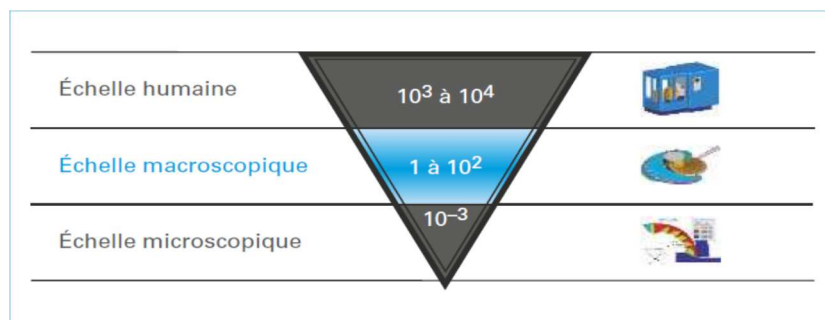


Figure V.3 : Echelles de simulation (en mm) [13]

La simulation d'usinage de la directrice est faite selon deux méthodes distinctes ; simulation à l'échelle humaine et la simulation à l'échelle macroscopique.

V.2.1 : Simulation à l'échelle macroscopique

Dans une approche industrielle, il est intéressant d'observer la pièce de plus près afin de visualiser l'enlèvement de matière et l'état de surface. Le but de cette simulation est de visualiser globalement l'enlèvement de matière pour chacune des phases d'usinage de la pièce, ainsi que l'état de surface à la fin de la simulation.

La génération des trajectoires est réalisée le plus souvent à partir d'un logiciel de FAO. En fonction de la complexité des opérations à réaliser en usinage, il est difficile d'anticiper le comportement de la machine et, plus précisément, le comportement de l'outil coupant pendant ou en dehors de ces phases d'enlèvements copeau. Ainsi, grâce aux outils de simulation embarqués dans ces logiciels, on peut visualiser pas à pas ou de manière continue le déroulement de l'usinage de façon purement virtuelle. Les figures V.3 illustrent quelques extraits de l'usinage de notre directrice pour les deux faces.

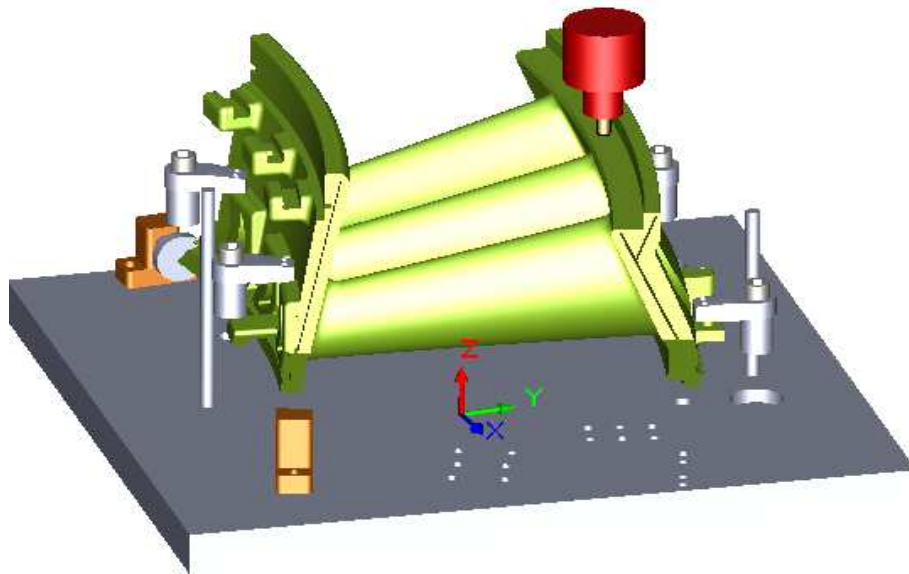


Figure V.4.a_1.

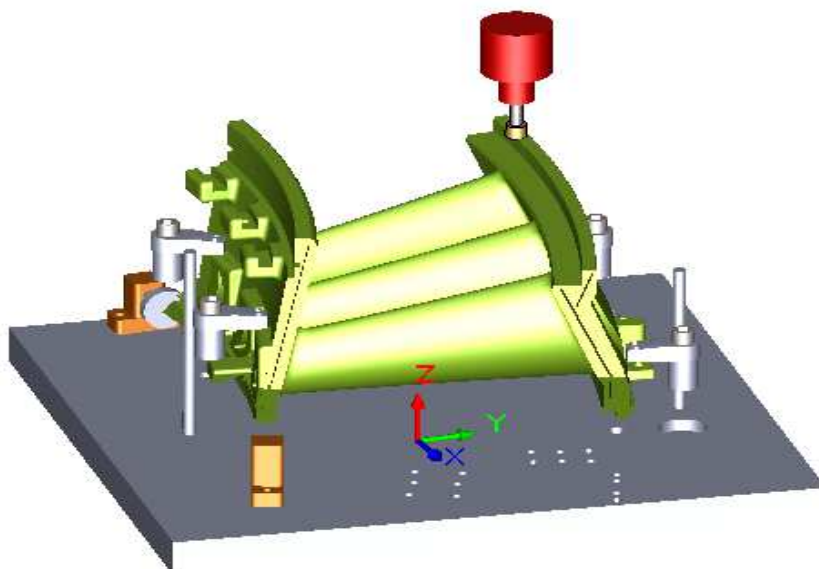


Figure V.4.a_2.

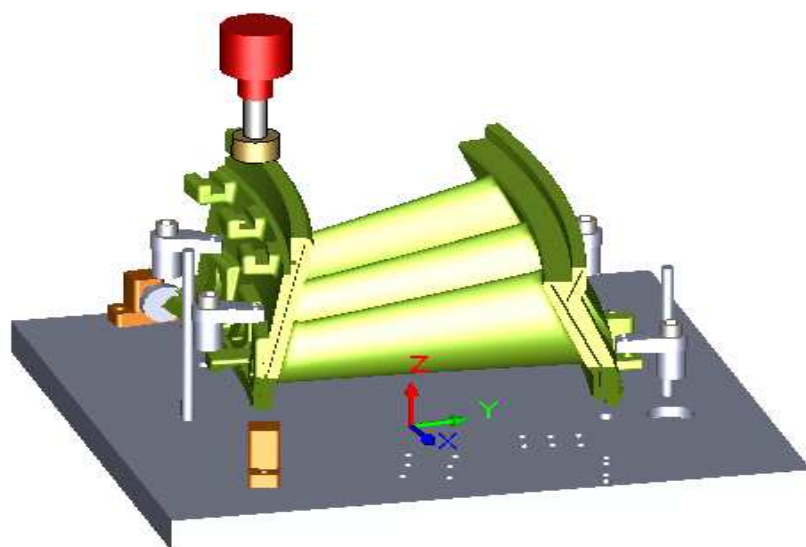


Figure V.4.a_3

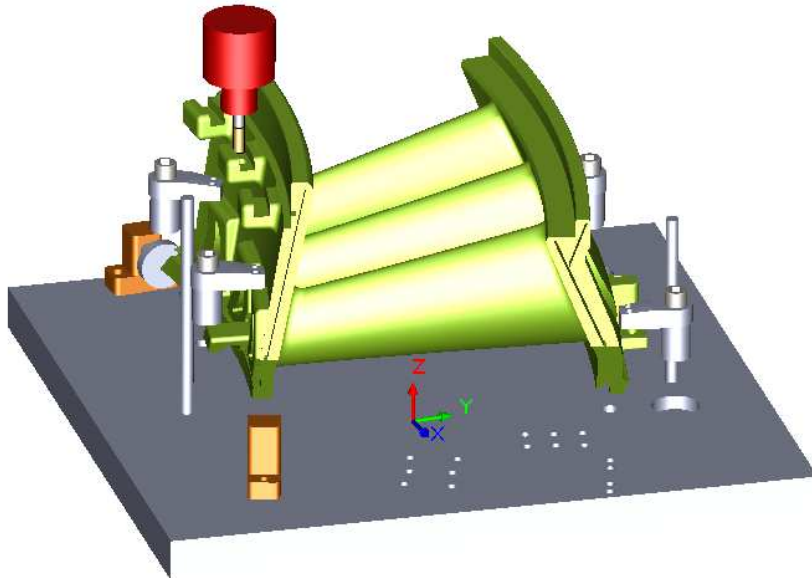


Figure V.4.a_4

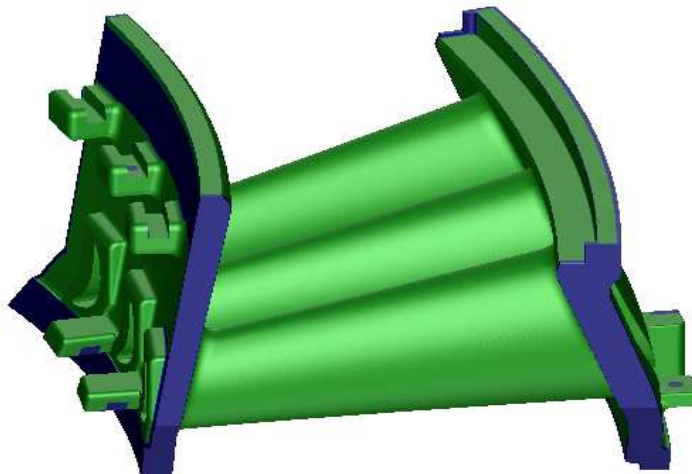


Figure V.4.a_5

Figure V.4.a : Extraits de simulation et résultat d'usinage de la face1 à l'échelle macroscopique.

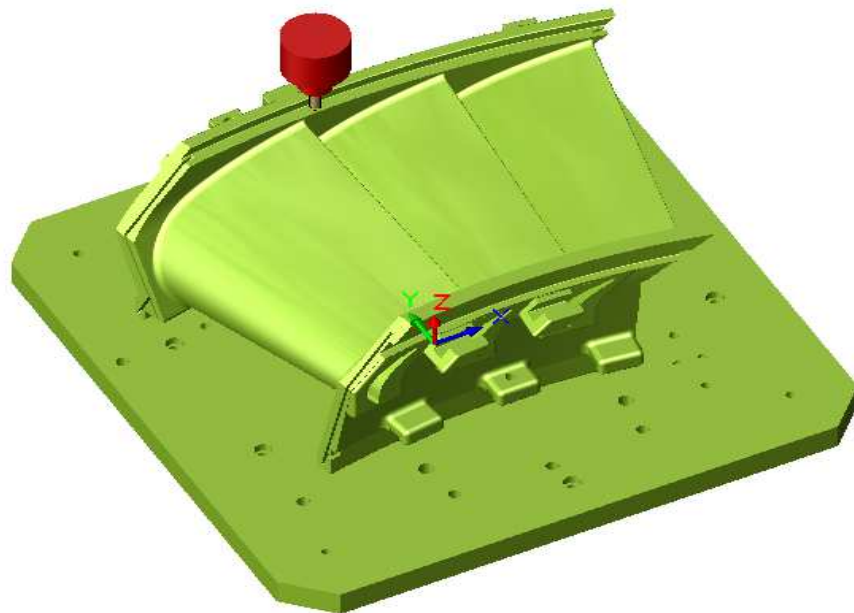


Figure V.3.b_1

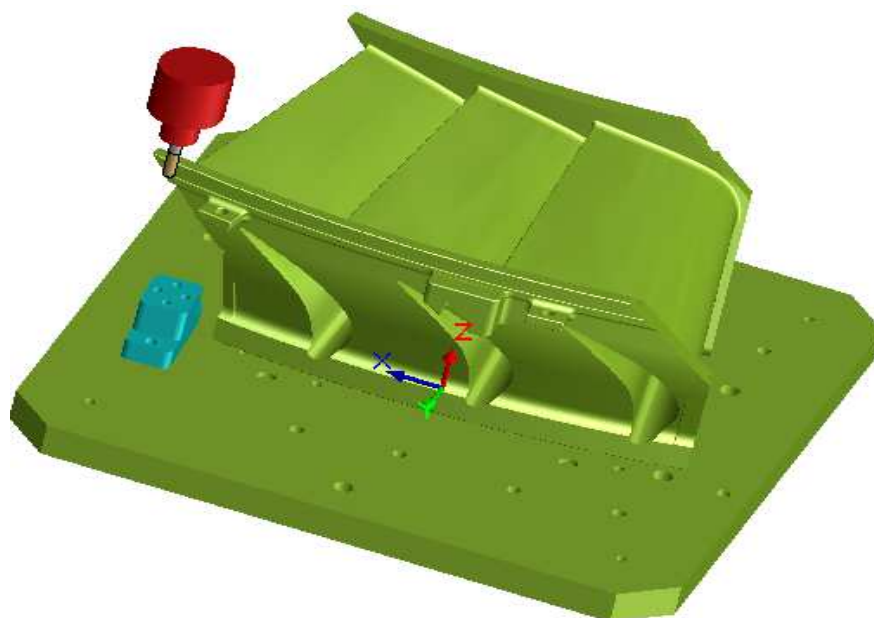


Figure V.4.b_2

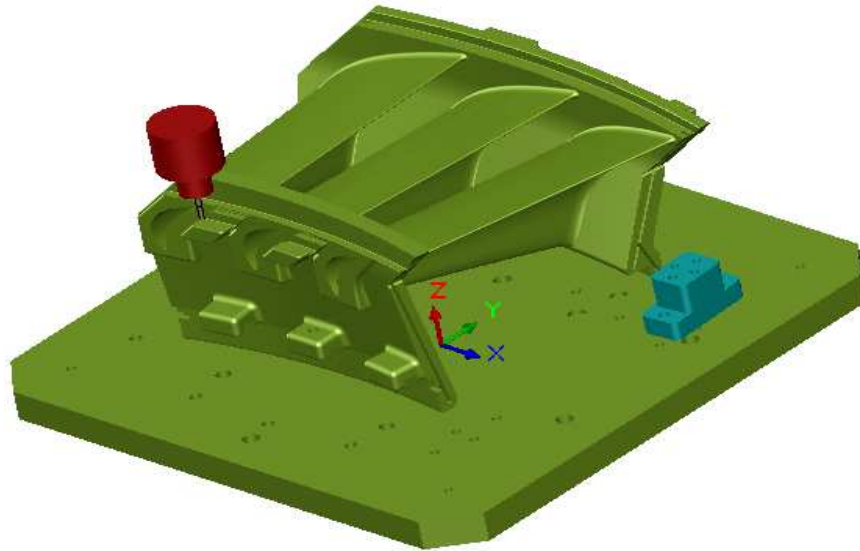


Figure V.4.b_3

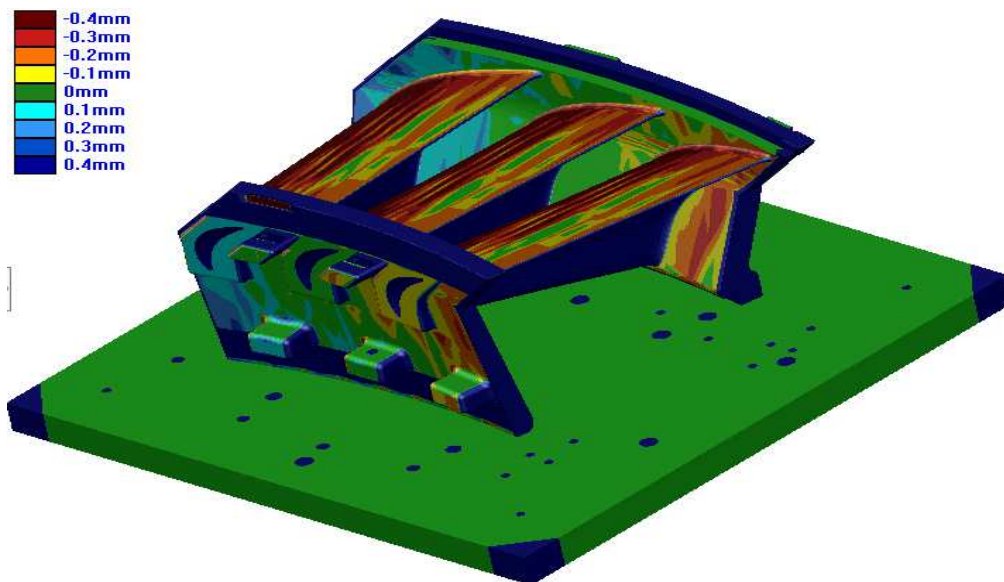


Figure V.4.b_4

Figure V.4.b : Extraits de simulation et résultat d'usinage de la face2 à l'échelle macroscopique.

V.2.2 : Simulation à l'échelle humaine

Une opération d'usinage sollicite des moyens mécaniques souvent complexes et onéreux, qui nécessite donc une vigilance accrue pour préserver les machines. D'un point de vue industriel, les entreprises possédant un centre d'usinage souhaitent tout d'abord sécuriser leur production et préserver leurs machines afin d'éviter les collisions matérielles des composants mécaniques mis en jeu. L'intérêt de simuler une opération d'usinage à l'échelle humaine permet effectivement de détecter d'éventuelles collisions pendant le processus.

La vision recherchée est une simulation globale de l'environnement de production où l'objectif est de s'imprégner du comportement du moyen de production :

- Mouvement des axes ;
- Position de la pièce sur la table ;
- Encombrement de la zone de travail [13]

Dans cette étape, nous allons voir des extraits d'usinage des deux faces de la directrice sur une machine 5 axes (figure V.4).

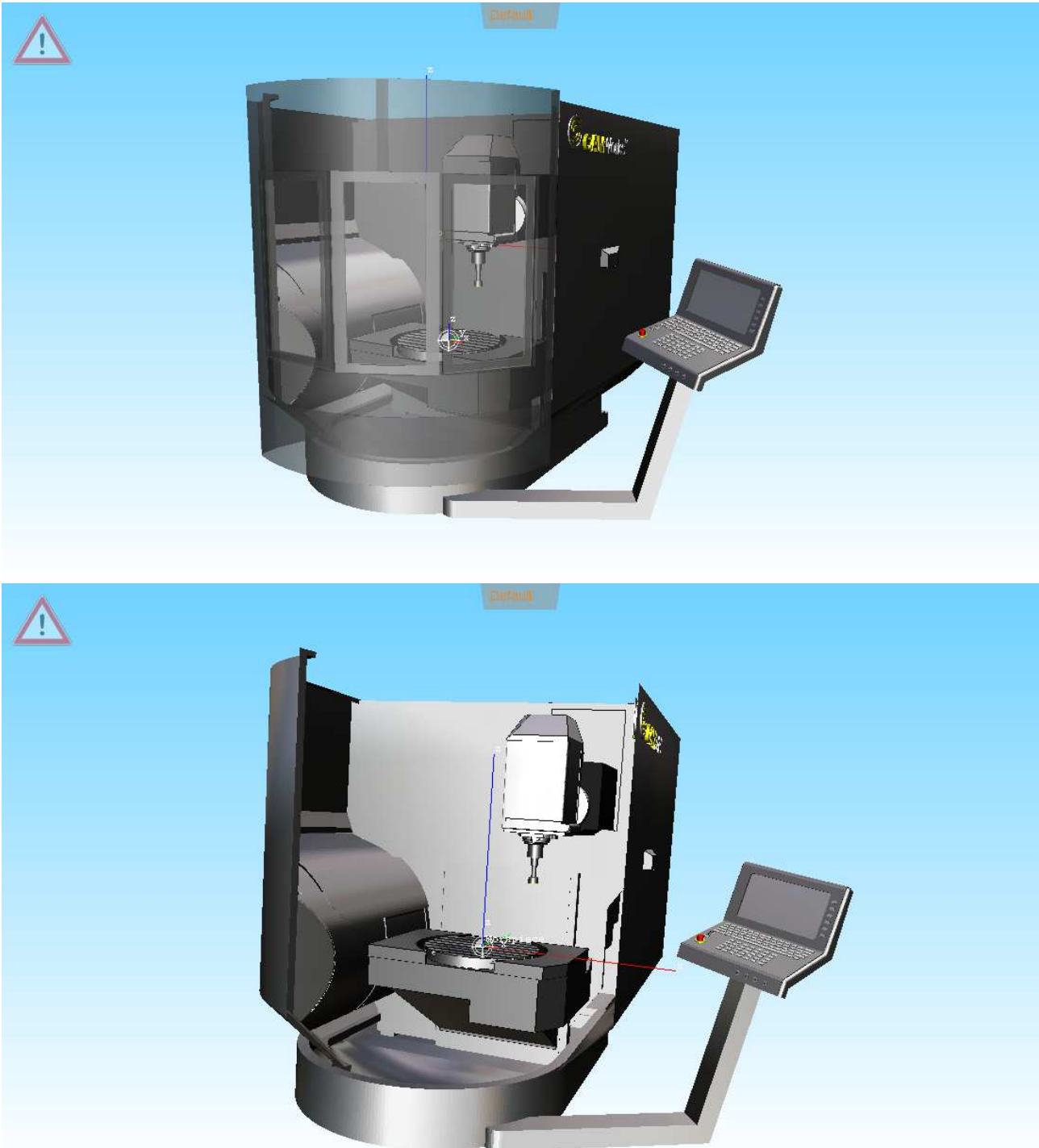
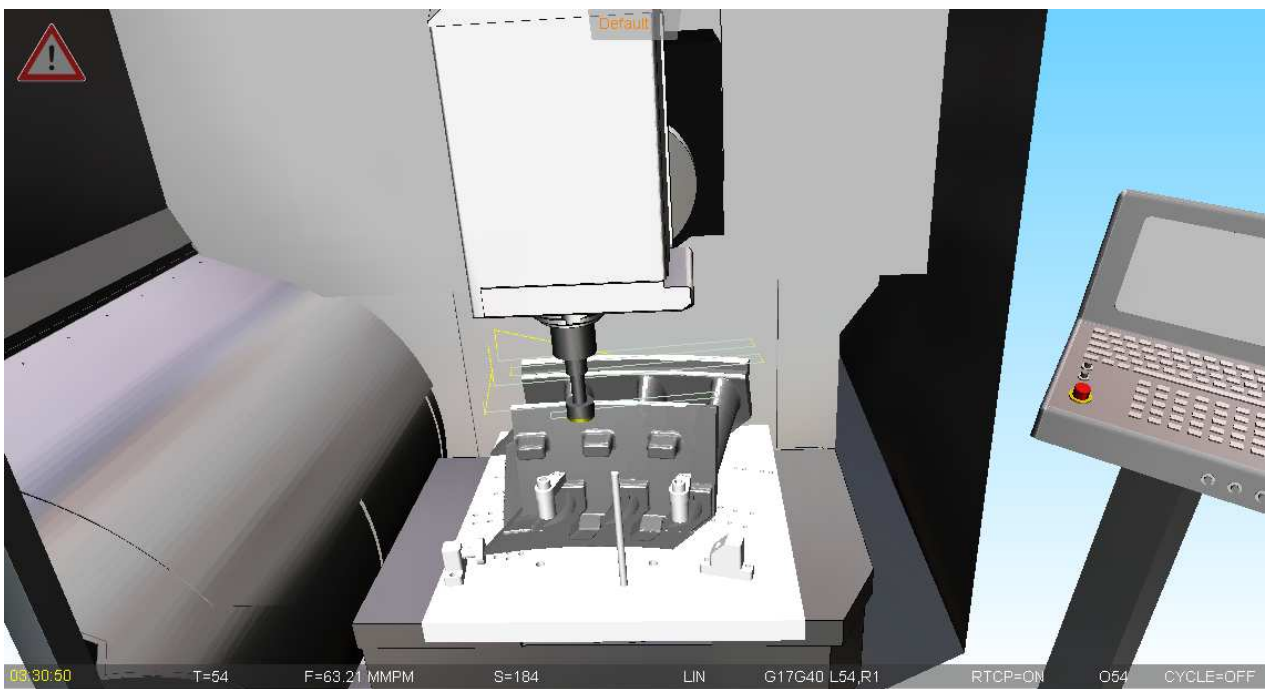
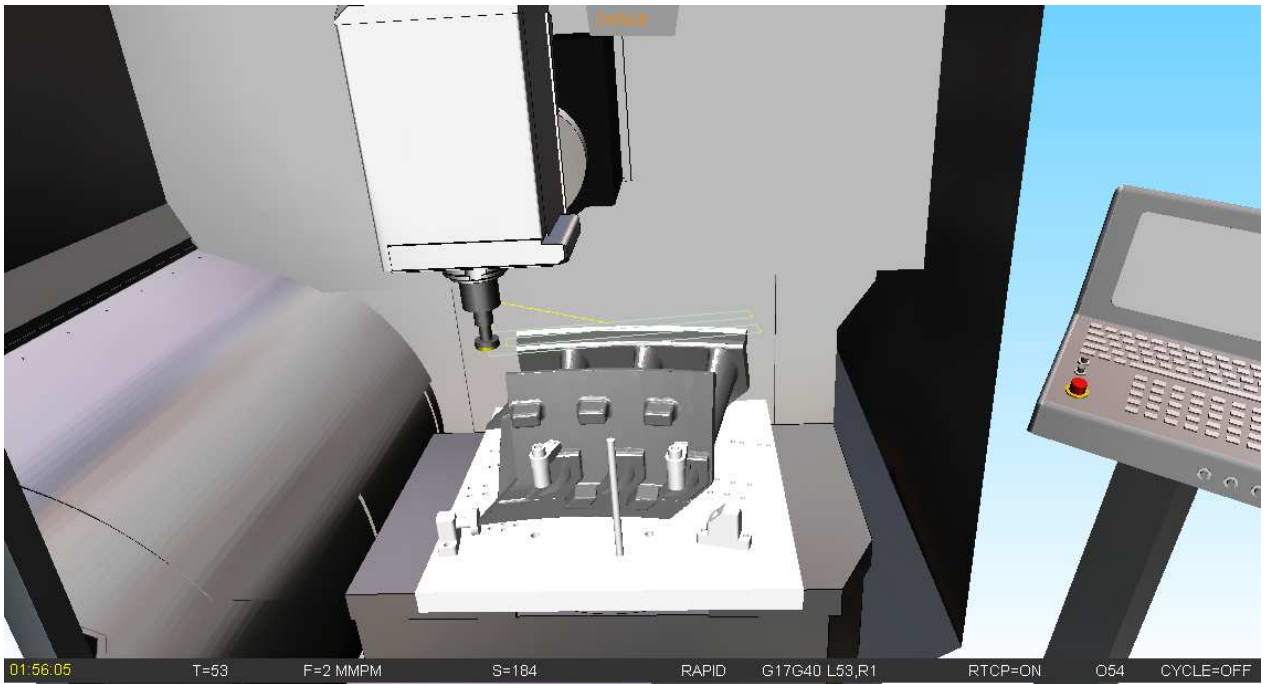
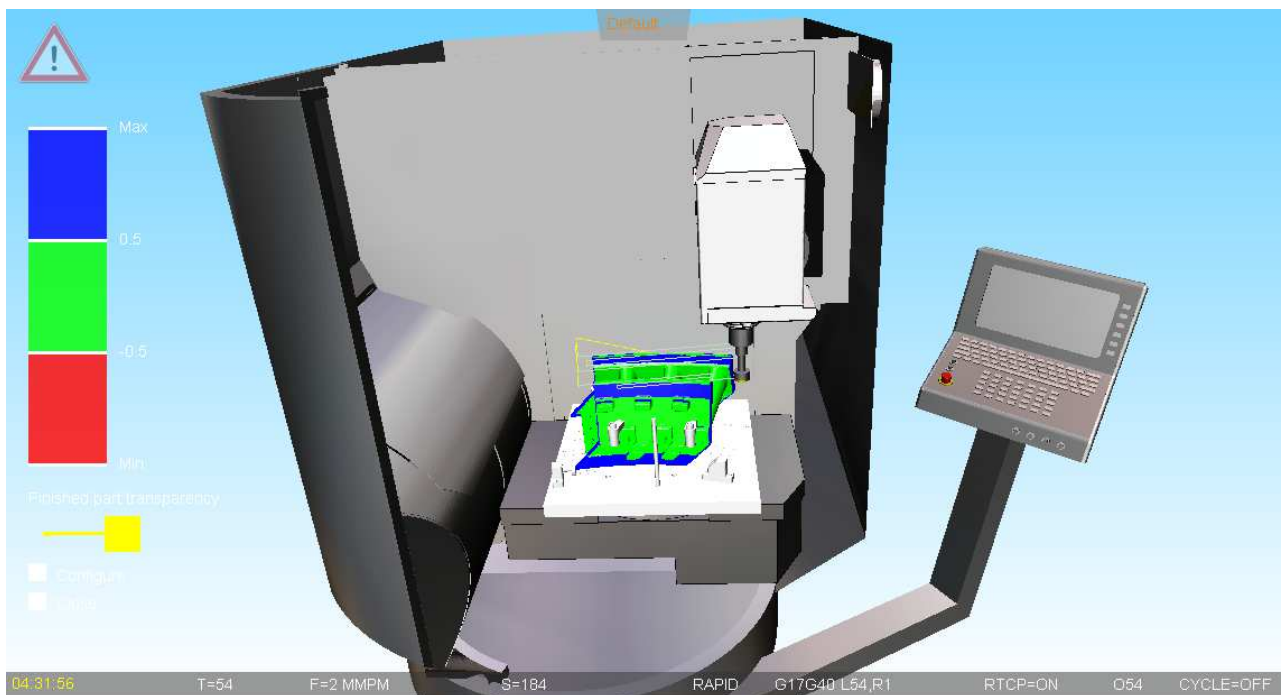
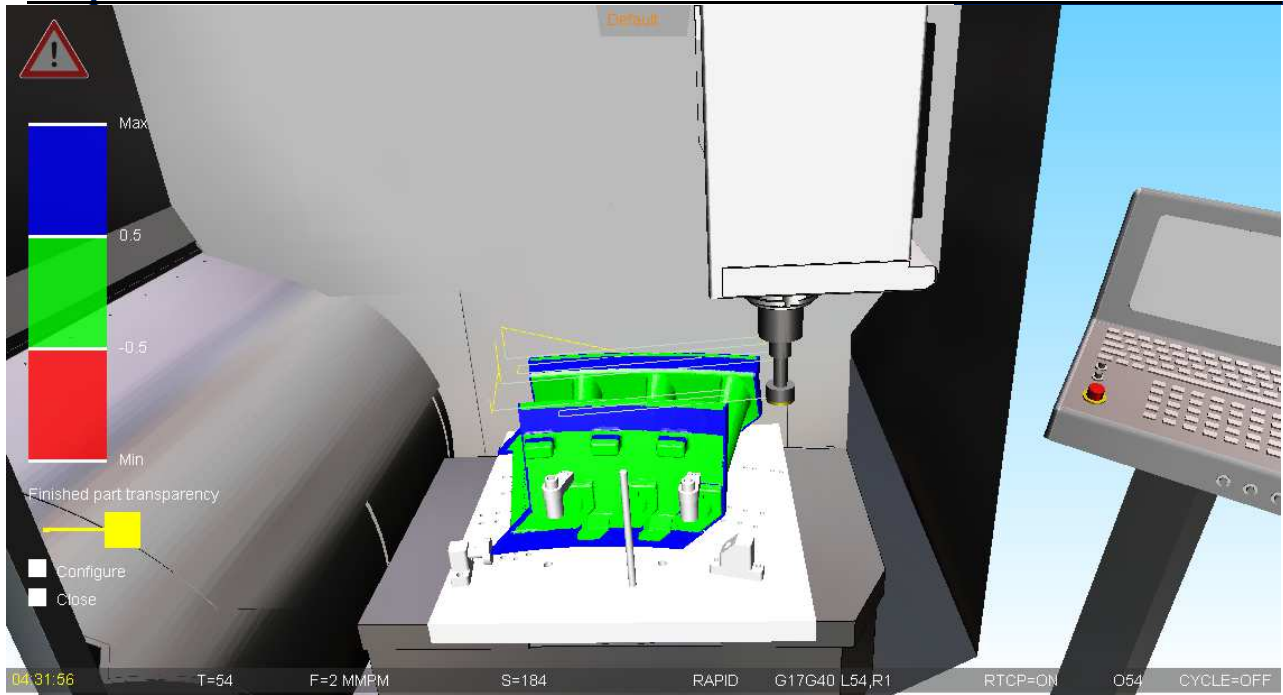


Figure V.5 : Machine 5 axes de la simulation.





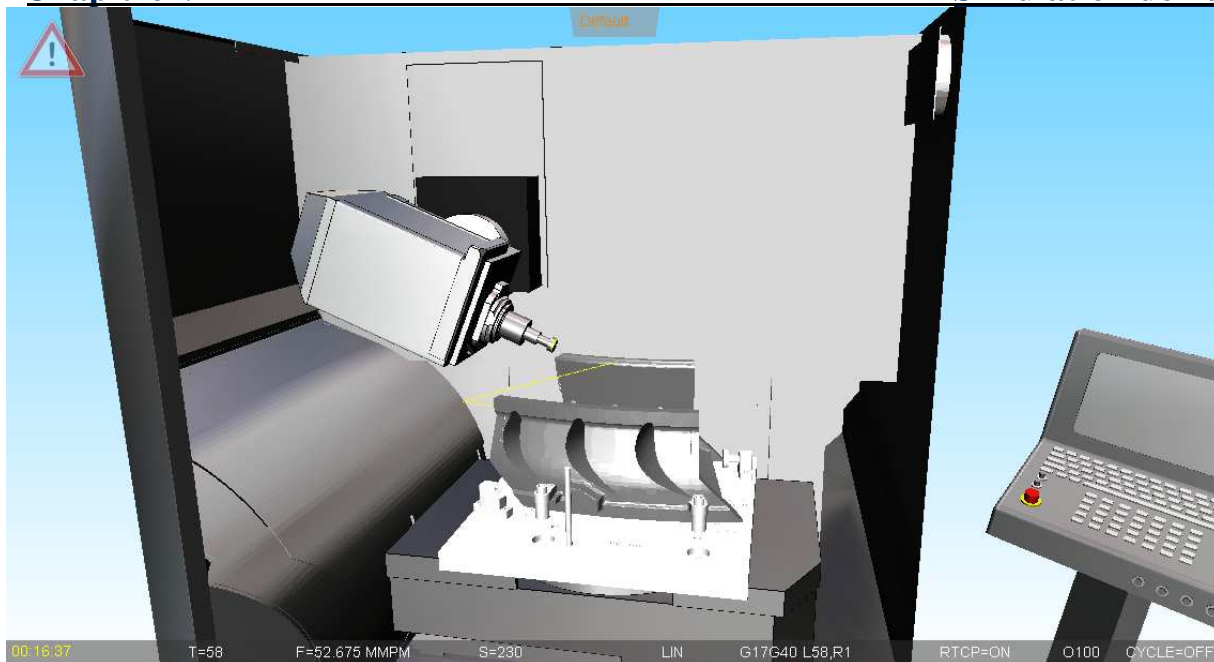
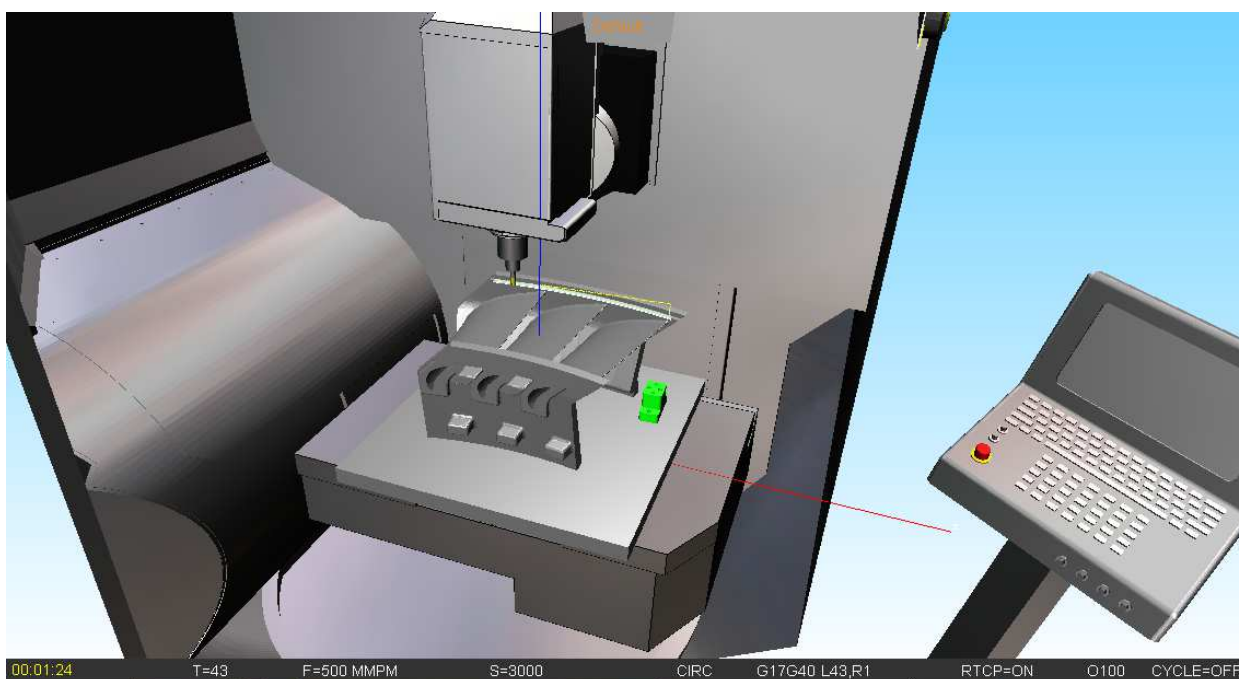
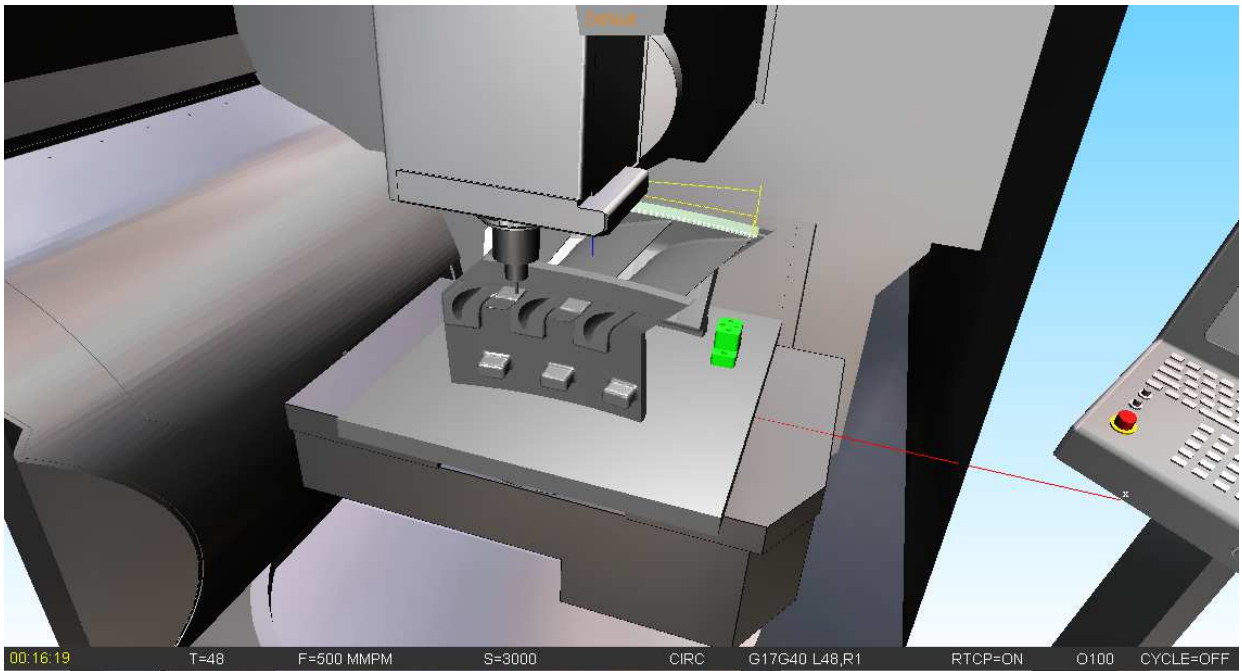
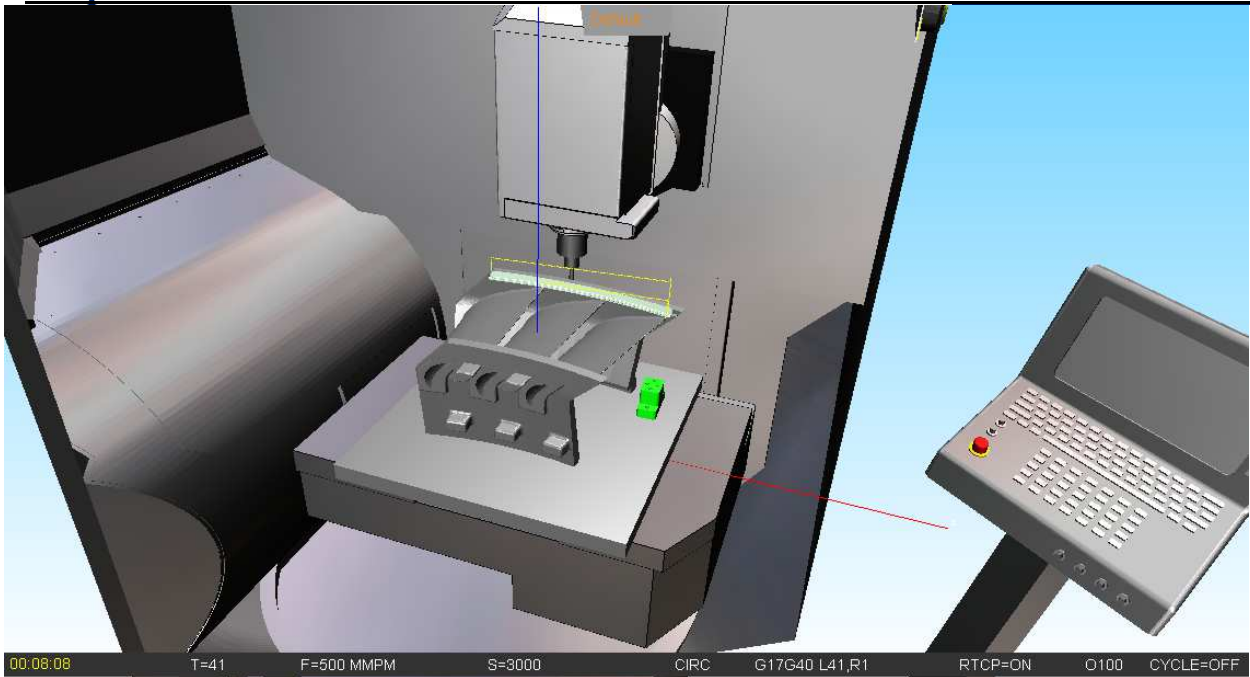


Figure V.6.a : Extraits de simulation et résultat d'usinage face1 à l'échelle humaine.





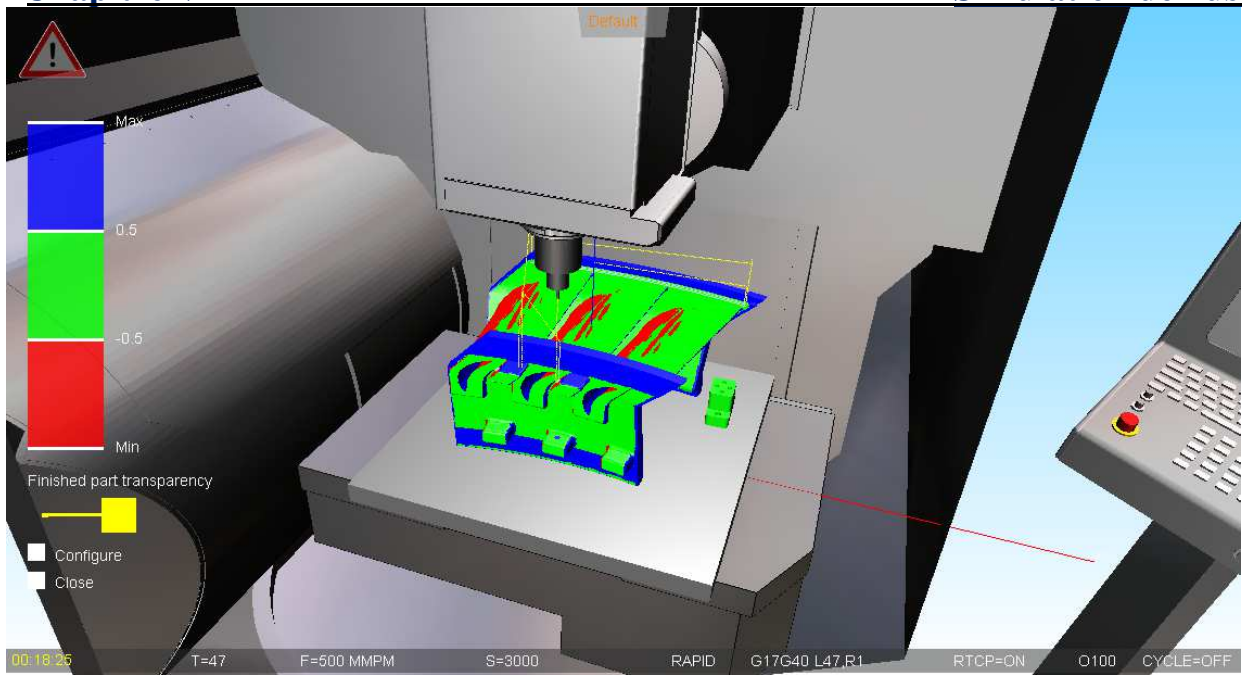


Figure V.6.b : Extraits de simulation et résultat d'usinage face1 à l'échelle humaine.

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons donné une synthèse de conception d'un montage d'usinage d'une pièce complexe appartenant à une turbine à gaz à la base de Six-Points d'iso-statisme. Ce montage d'usinage est destiné à la mise et le maintien en position pour l'usinage de la face de démarrage la plus importante pour la suite d'usinage de cette pièce « directrice ».

La méthodologie proposée s'appuie essentiellement et en grande partie sur l'expérience du concepteur. Ce travail est fondé sur quatre principaux volets :

- Volet théorique.
- Volet conception et fabrication.
- Volet contrôle qualité.
- Volet simulation.

L'apport essentiel de cette étude, est l'implémentation du processus de conception en suivant les étapes de réalisation, et d'avoir des résultats satisfaisants par ce montage.

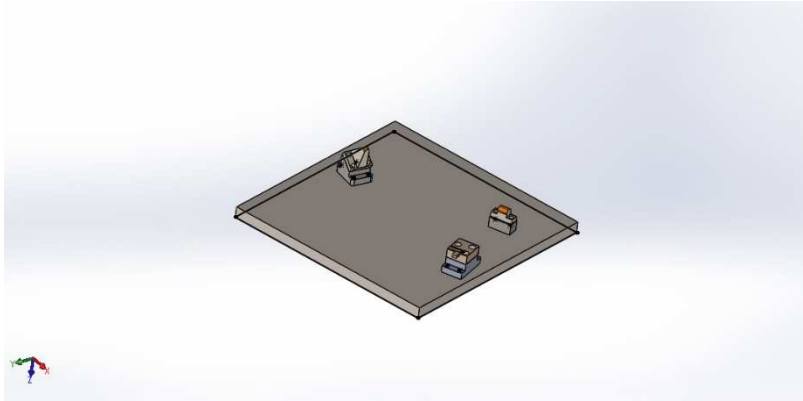
La simulation d'usinage, nous a permis de visualiser les étapes d'usinage de cette directrice, et voir aussi les éventuels défauts, collisions et accès des outils de coupe pour les différentes opérations d'usinage, ainsi que les états de surfaces théoriques générés.

La deuxième simulation concernant le flambage des appuis, est une manière de voir si ces appuis résistent au poids et aux efforts de coupe générés lors de l'usinage, sur le montage.

Comme conclusion, la conception et la réalisation d'un montage d'usinage, notamment pour les ailettes de la partie chaude et pour plusieurs types de turbines à gaz est considérée comme la première et la plus importante étape du processus, qu'il faut mettre en œuvre.

Les contrôles de précision, de répétabilité et de reproductibilité montrent à quel point ce montage présente une grande stabilité. De plus, les pièces usinées sur ce montage sont conformes aux spécifications des constructeurs, ce qui montre l'efficacité et la fiabilité de ce montage d'usinage développé.

Annexe:



Description

Simulation des appuis

Date : mercredi 21 Mars 2018

Concepteur : H. FERHAT

Nom d'étude : Static 1

Type d'analyse : Static

Sommaire

Description 64

Hypothèses 65

Informations sur le modèle *Erreur !*

Signet non défini.

Propriétés de l'étude 65

Unités 65

Propriétés du matériau 66

Actions extérieures 67

Définitions des connecteurs

Erreur ! Signet non défini.

Informations sur le contact 68

Informations sur le maillage 68

Détails des capteurs

Forces résultantes 67

Résultats de l'étude 70

Conclusion

Hypothèses

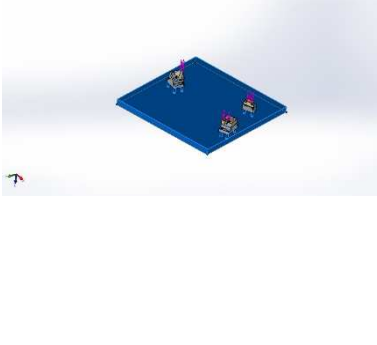
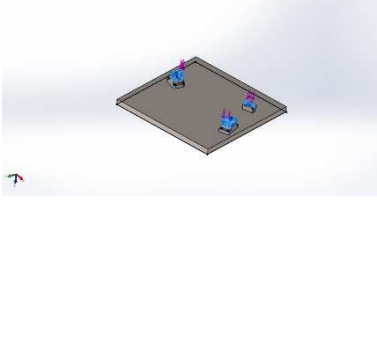
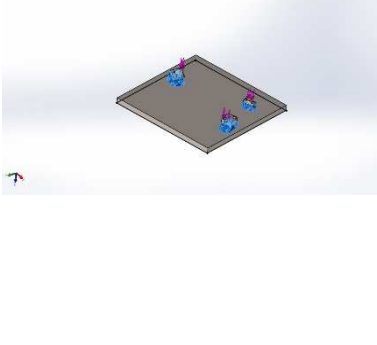
Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Static 1
Type d'analyse	Static
Type de maillage	Maillage volumique
Effets thermiques:	Activé(e)
Option thermique	Inclure des chargements thermiques
Température de déformation nulle	298 Kelvin
Inclure la pression du fluide calculée par SOLIDWORKS Flow Simulation	Désactivé(e)
Type de solveur	FFEPlus
Stress Stiffening :	Désactivé(e)
Faible raideur :	Désactivé(e)
Relaxation inertielle :	Désactivé(e)
Options de contact solidaire incompatible	Automatique
Grand déplacement	Désactivé(e)
Vérifier les forces externes	Activé(e)
Friction	Désactivé(e)
Méthode adaptative:	Désactivé(e)
Dossier de résultats	Document SOLIDWORKS (E:\PFE\Eléments du PFE\Face1_2ème variante)

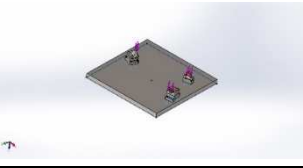
Unités

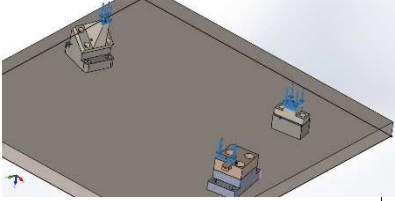
Système d'unités :	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	mm
Température	Kelvin
Vitesse angulaire	Rad/sec
Pression/Contrainte	N/m ²

Propriétés du matériau

Référence du modèle	Propriétés	Composants
	<p>Nom : Acier allié Type de modèle : Linéaire élastique isotropique Critère de ruine par défaut : Contrainte de Von Mises max. Limite d'élasticité : 6.20422e+008 N/m² Limite de traction : 7.23826e+008 N/m² Module d'élasticité : 2.1e+011 N/m² Coefficient de Poisson : 0.28 Masse volumique : 7700 kg/m³ Module de cisaillement : 7.9e+010 N/m² Coefficient de dilatation thermique : 1.3e-005 /Kelvin</p>	<p>Corps volumique 1(Boss.-Extru.1) (Pièce1^Plaque2-1)</p>
Données de la courbe : N/A		
	<p>Nom : Nickel Type de modèle : Linéaire élastique isotropique Critère de ruine par défaut : Inconnu Limite d'élasticité : 5.9e+007 N/m² Limite de traction : 3.17e+008 N/m² Module d'élasticité : 2.1e+011 N/m² Coefficient de Poisson : 0.31 Masse volumique : 8500 kg/m³ Module de cisaillement : 7.9e+010 N/m² Coefficient de dilatation thermique : 1.7e-005 /Kelvin</p>	<p>Corps volumique 1(Dégagement M121) (butee_D6^face1_6points-1), Corps volumique 1(Enlèv. mat.-Extru.5)(sou-assemblage-butée-sup-D3-6pt-2/bute 3-6pt-1), Corps volumique 1(Boss.-Extru.3) (supp2_D4^face1_6points-1)</p>
Données de la courbe : N/A		
	<p>Nom : Acier allié inoxydable Type de modèle : Linéaire élastique isotropique Critère de ruine par défaut : Inconnu Limite d'élasticité : 2.41275e+008 N/m² Limite de traction : 4.48082e+008 N/m² Module d'élasticité : 1.9e+011 N/m² Coefficient de Poisson : 0.26 Masse volumique : 7300 kg/m³ Module de cisaillement : 7.8e+010 N/m² Coefficient de dilatation thermique : 1.5e-005 /Kelvin</p>	<p>Corps volumique 1(Boss.-Extru.2)(sou-assemblage-butée-sup-D3-6pt-2/supt D3-1), Corps volumique 1(Dégagement M122) (supp1_D4^face1_6points-1), Corps volumique 1(Boss.-Extru.2) (supp_butee_D6-1)</p>
Données de la courbe : N/A		

Actions extérieures

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités : 1 face(s) Type : Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	0.00106618	0.00288674	-900.001	900.001
Moment de réaction(N.m)	0	0	0	0

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités : 3 face(s) Référence : Arête < 1 > Type : Force Valeurs : ---, ---, 900 N

Forces résultantes

Forces de réaction

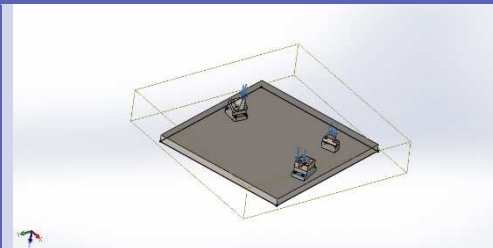
Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	0.00106618	0.00288674	-900.001	900.001

Moments de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N.m	0	0	0	0

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé :	Maillage standard
Transition automatique :	Désactivé(e)
Boucles automatiques de maillage :	Désactivé(e)
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément	25.9702 mm
Tolérance	1.29851 mm
Qualité de maillage	Haute

Informations sur le contact

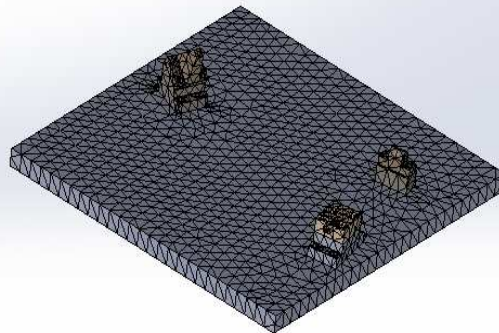
Contact	Image du contact	Propriétés contact
Contact global		Type : Solidaire Composants : 1 Options : Maillage compatible

Informations sur le maillage

Informations sur le maillage - Détails

Nombre total de nœuds	35737
Nombre total d'éléments	22296
Aspect ratio maximum	20.625
% d'éléments ayant un aspect ratio < 3	87.6
% d'éléments ayant un aspect ratio > 10	0.148
% d'éléments distordus (Jacobien)	0
Durée de création du maillage (hh ; mm ; ss) :	00 :00 :06
Nom de l'ordinateur :	INTELLINFO

Nom du modèle:Plaque2
 Nom de l'étude:Static 1(-Défaut-)
 Type de maillage:Maillage volumique

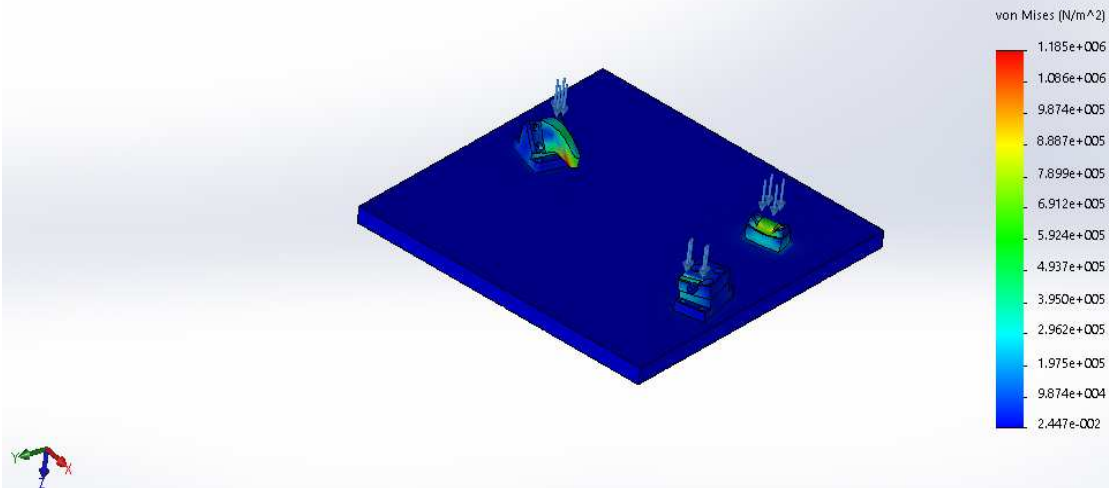


Remailler les pièces en échec avec un maillage incompatible	Désactivé(e)
--	--------------

Résultats de l'étude

Nom	Type	Min	Max
Contraintes1	VON : contrainte de Von Mises	0.0244656 N/m ² Nœud : 21248	1.18488e+006 N/m ² Nœud : 33613

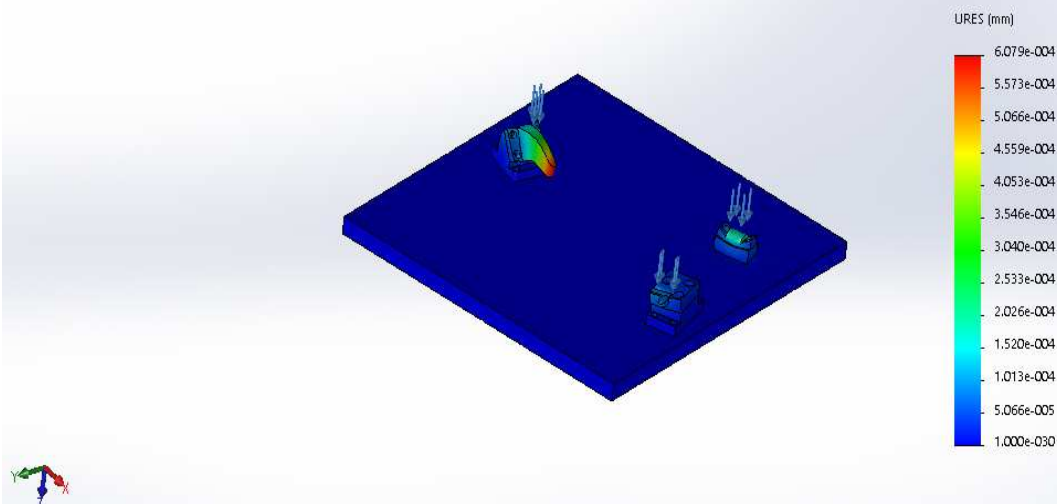
Nom du modèle:Plaque2
Nom de l'étude:Static 1(-Défaut-)
Type de tracé:Static contrainte nodale Contraintes1
Echelle de déformation: 163960



Plaque2-Static 1-Contraintes

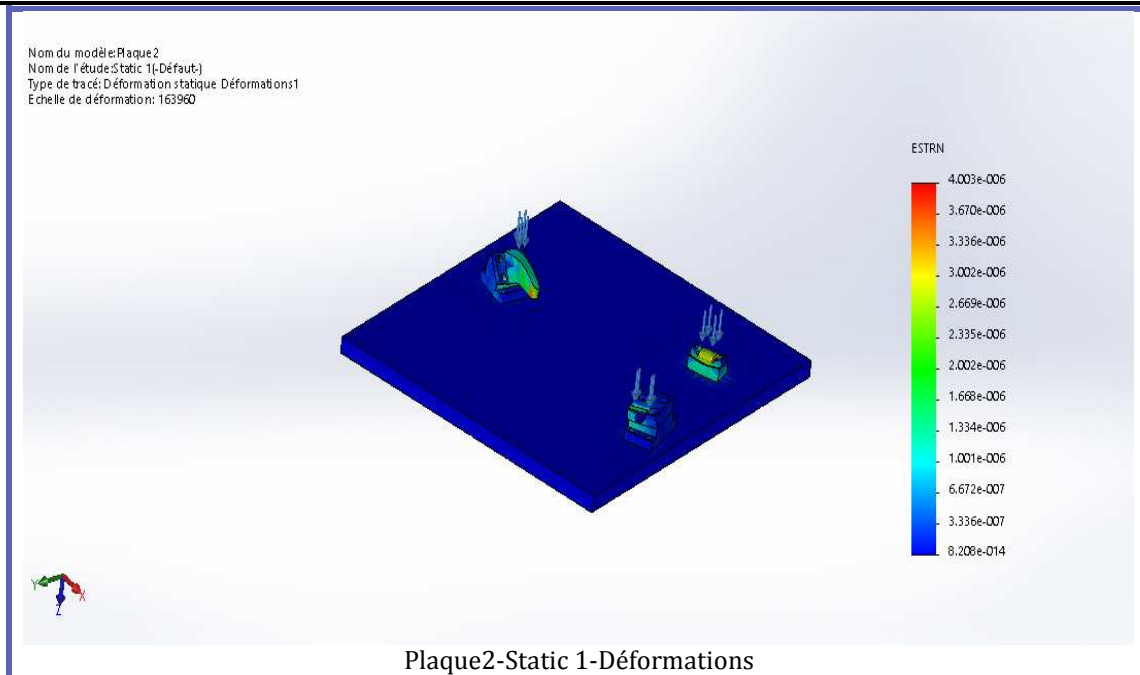
Nom	Type	Min	Max
Déplacements1	URES : Déplacement résultant	0 mm Nœud : 1048	0.000607912 mm Nœud : 33615

Nom du modèle:Plaque2
Nom de l'étude:Static 1(-Défaut-)
Type de tracé:Déplacement statique Déplacements1
Echelle de déformation: 163960



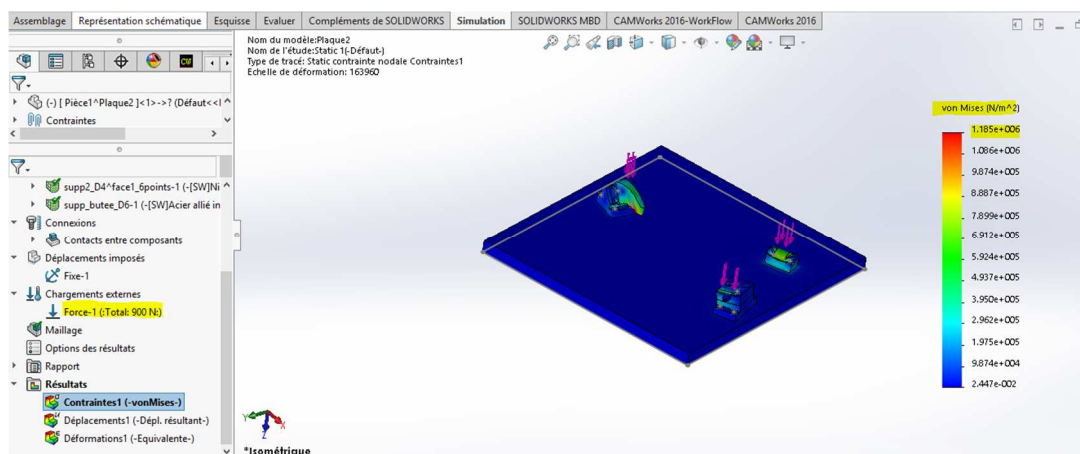
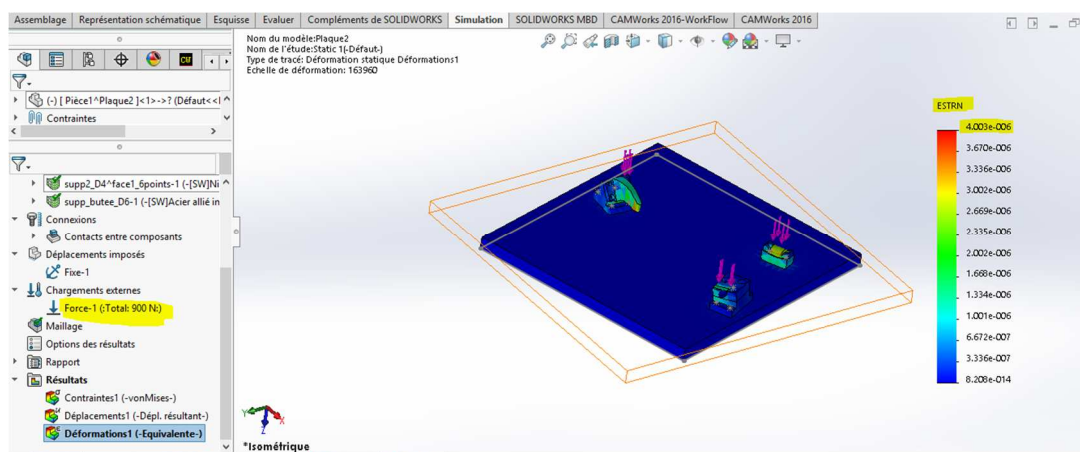
Plaque2-Static 1-Déplacements

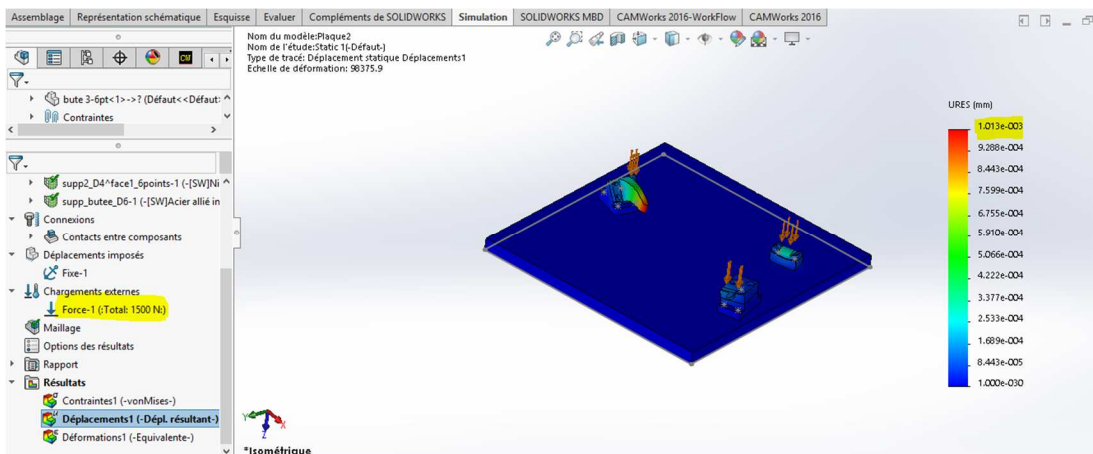
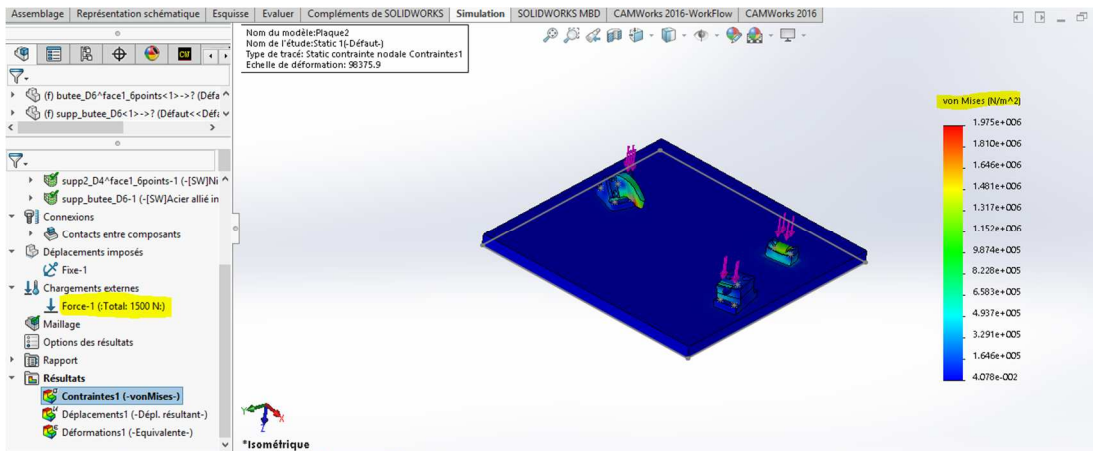
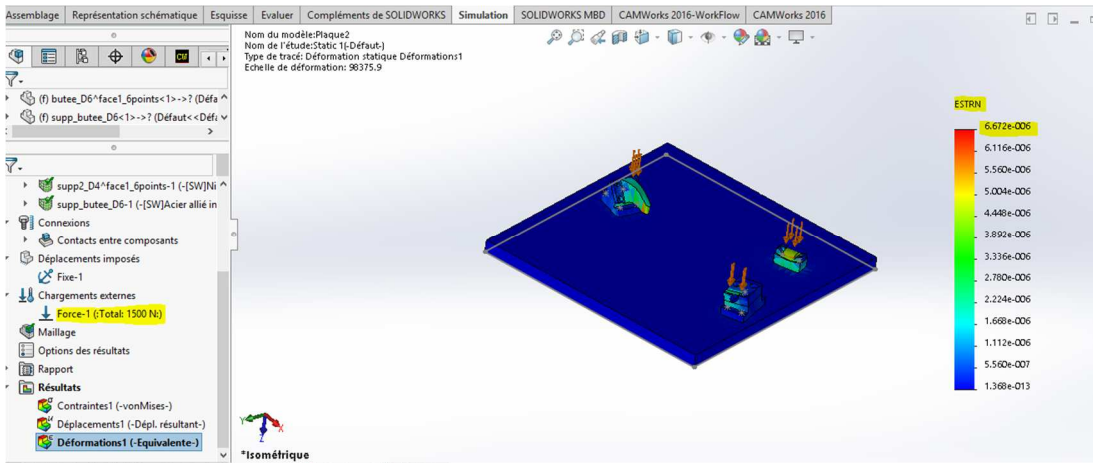
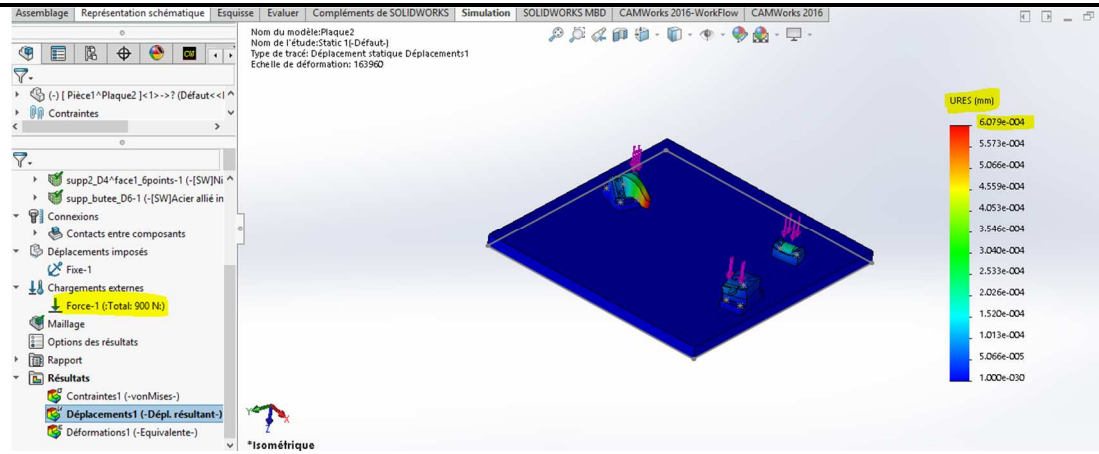
Nom	Type	Min	Max
Déformations1	ESTRN : Déformation équivalente	8.20819e-014 Elément : 7736	4.00324e-006 Elément : 13781

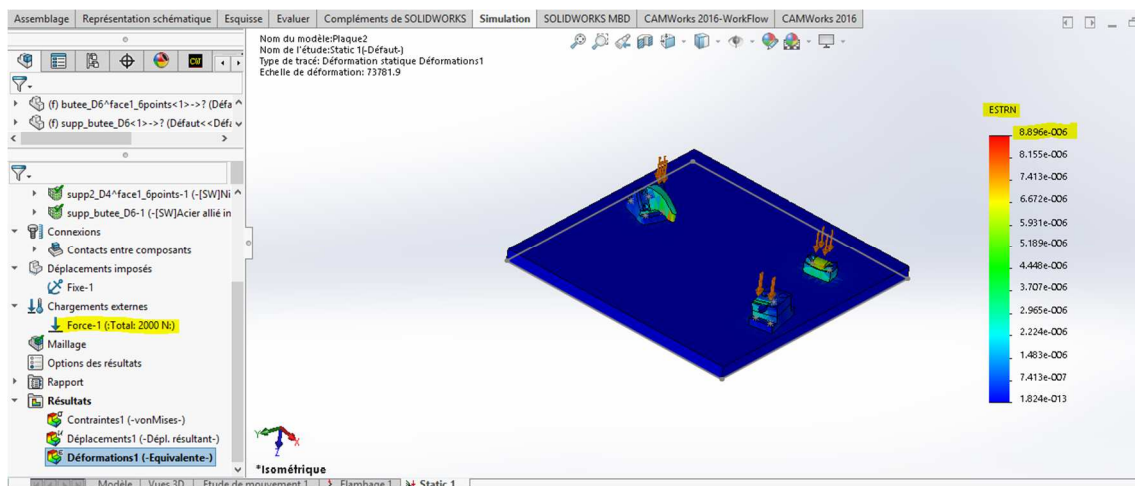
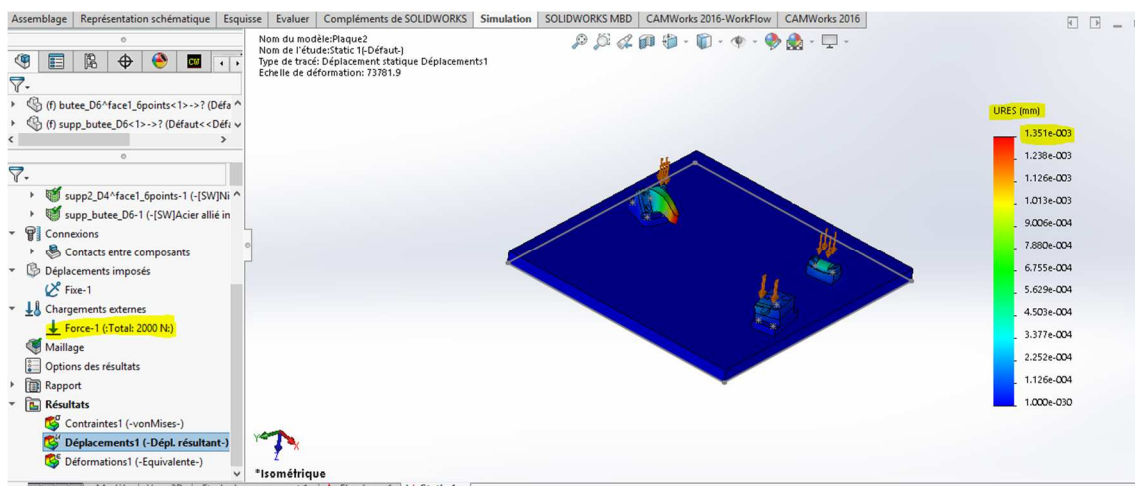
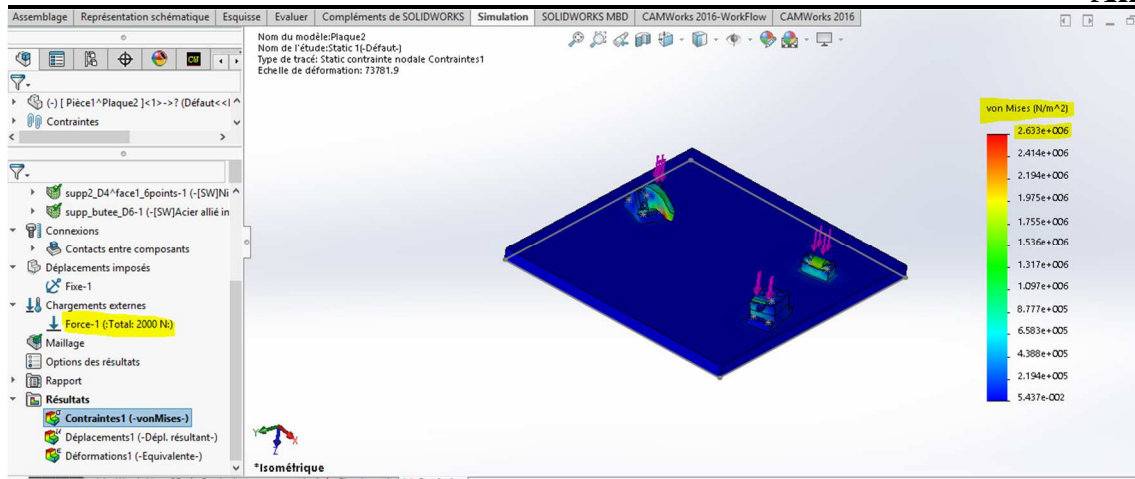


Résultats des différents efforts appliqués sur les appuis :

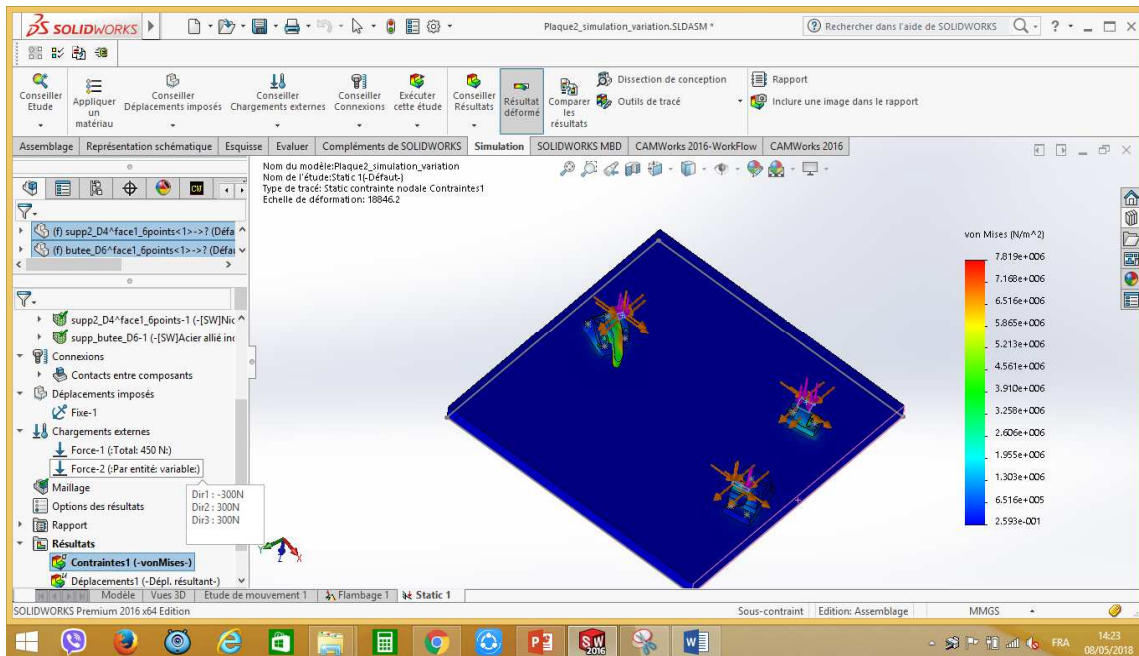
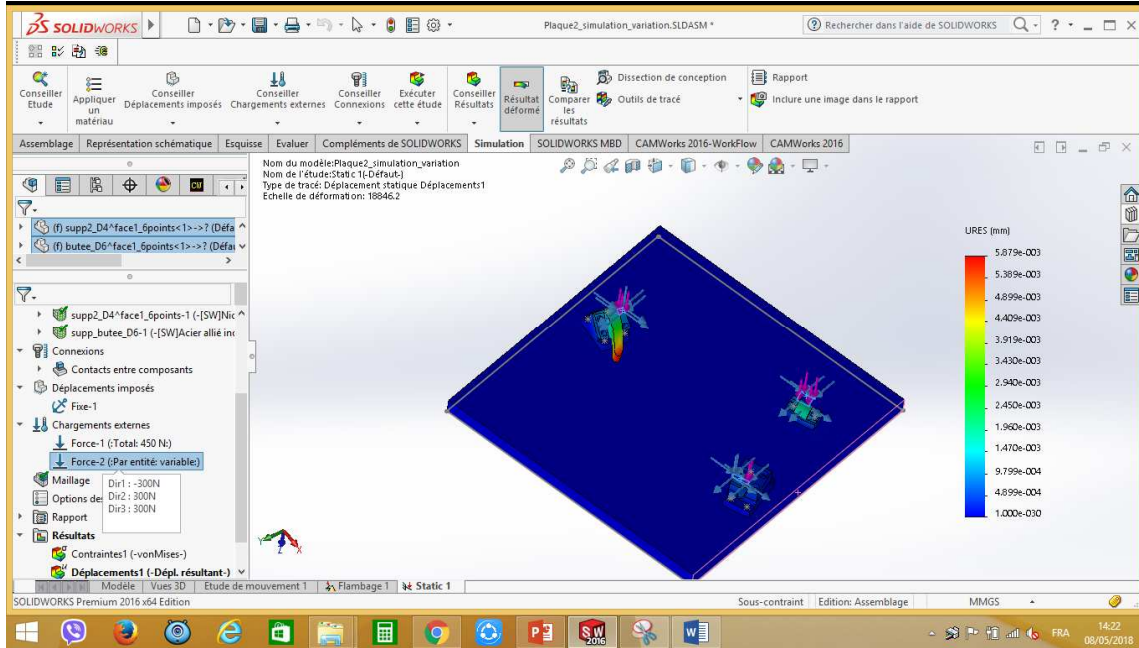
Cas 1 :

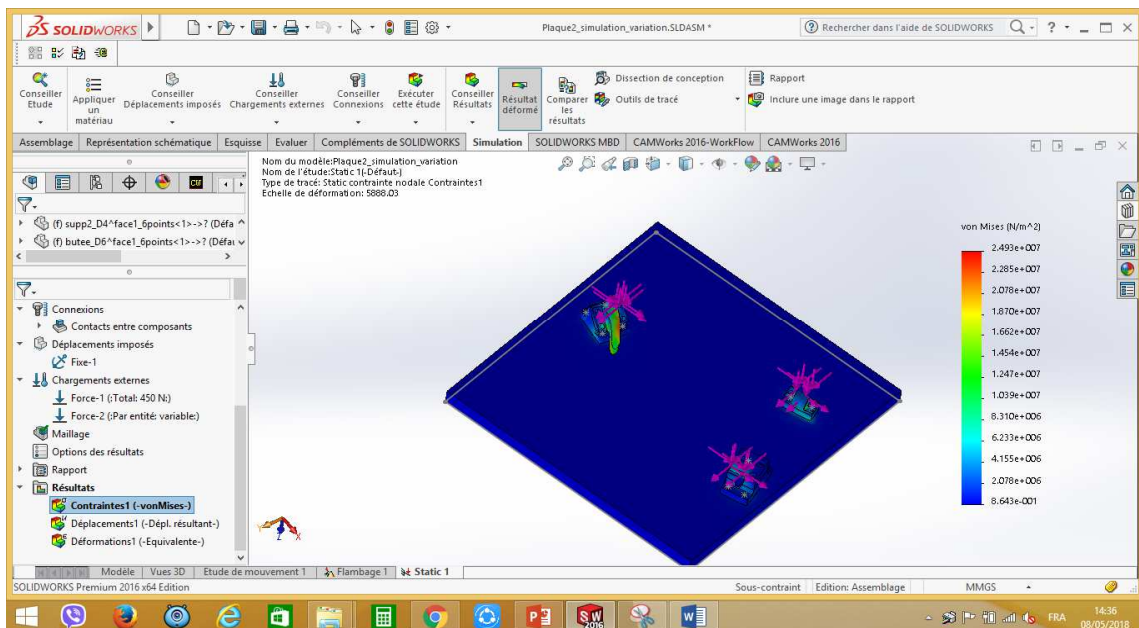
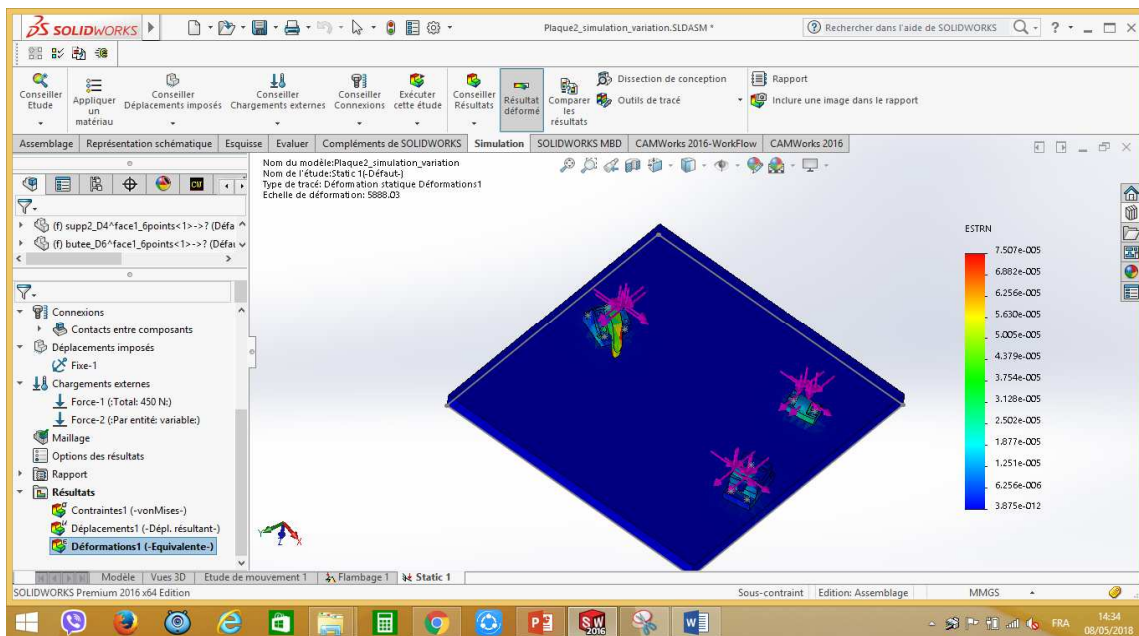
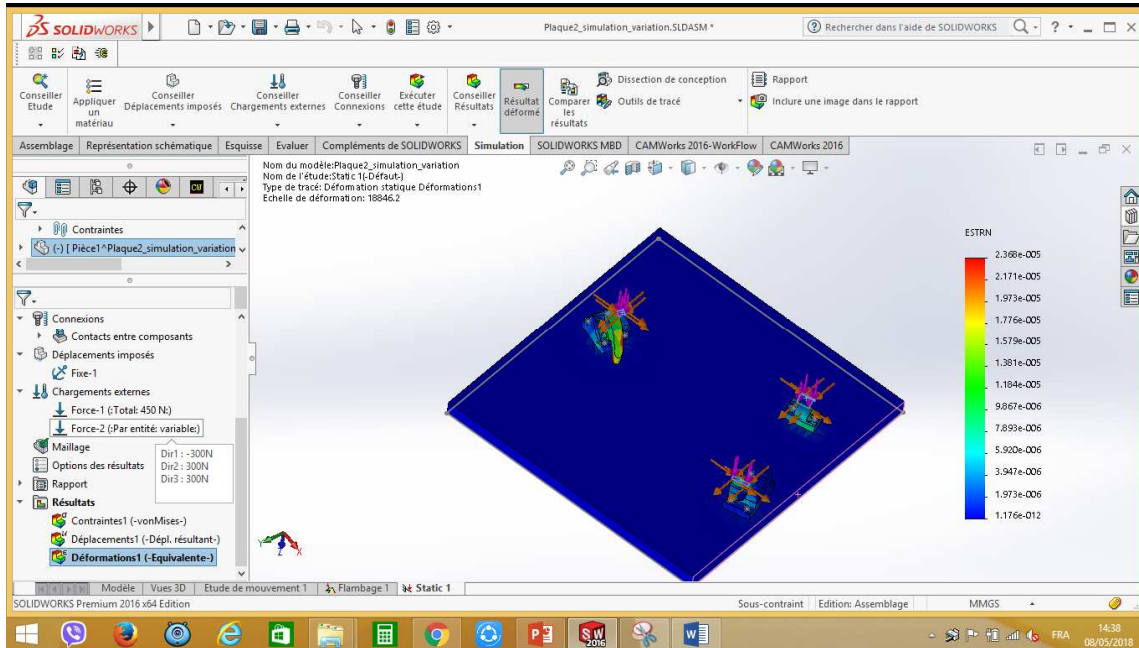




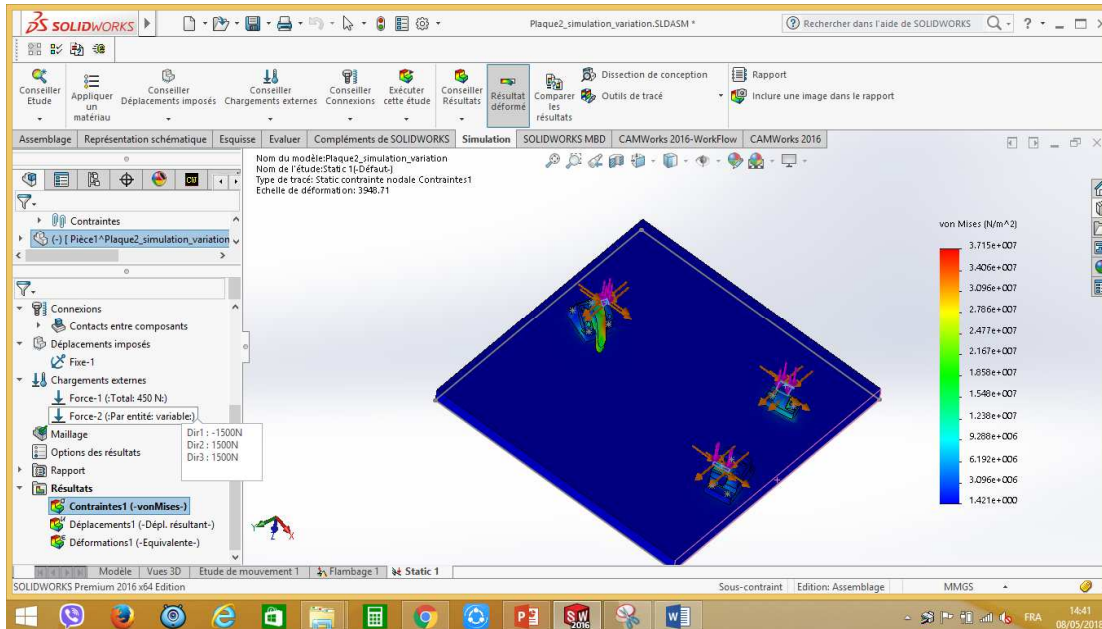
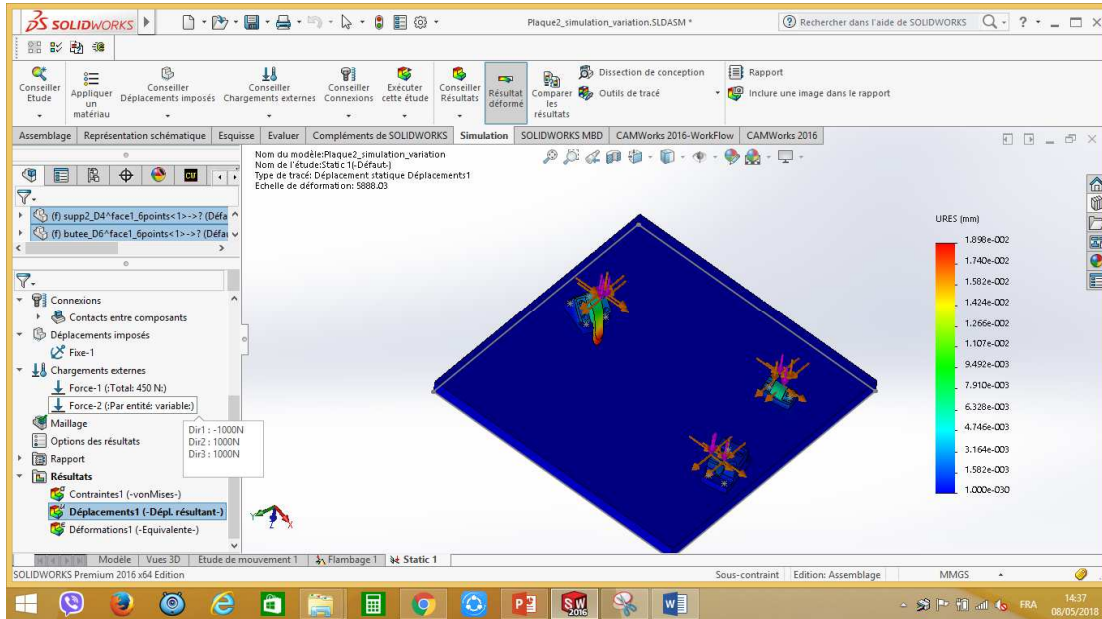


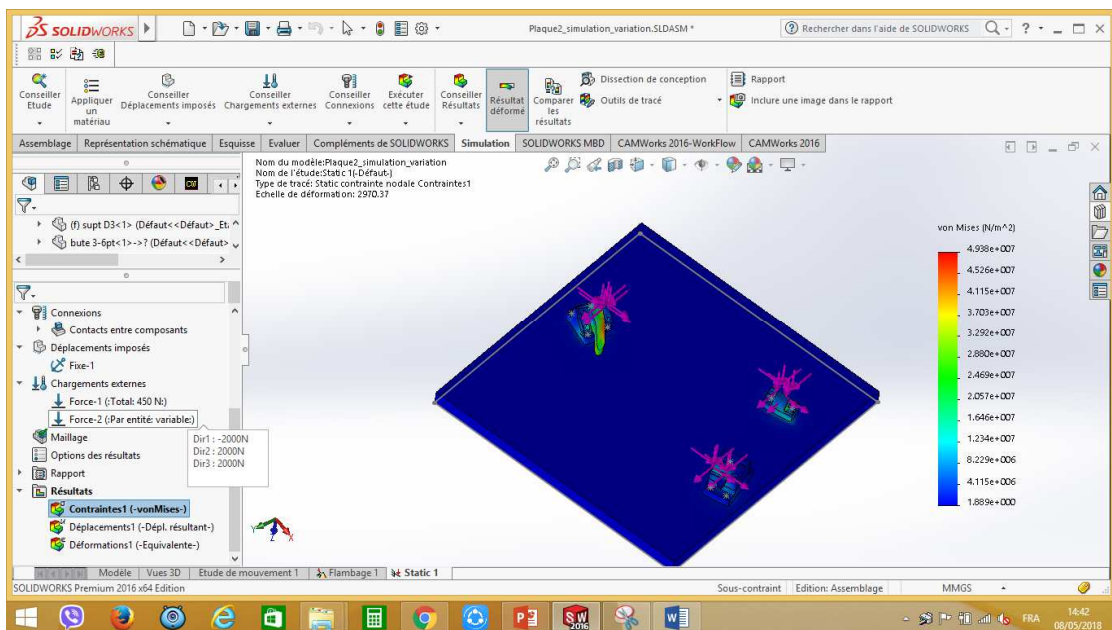
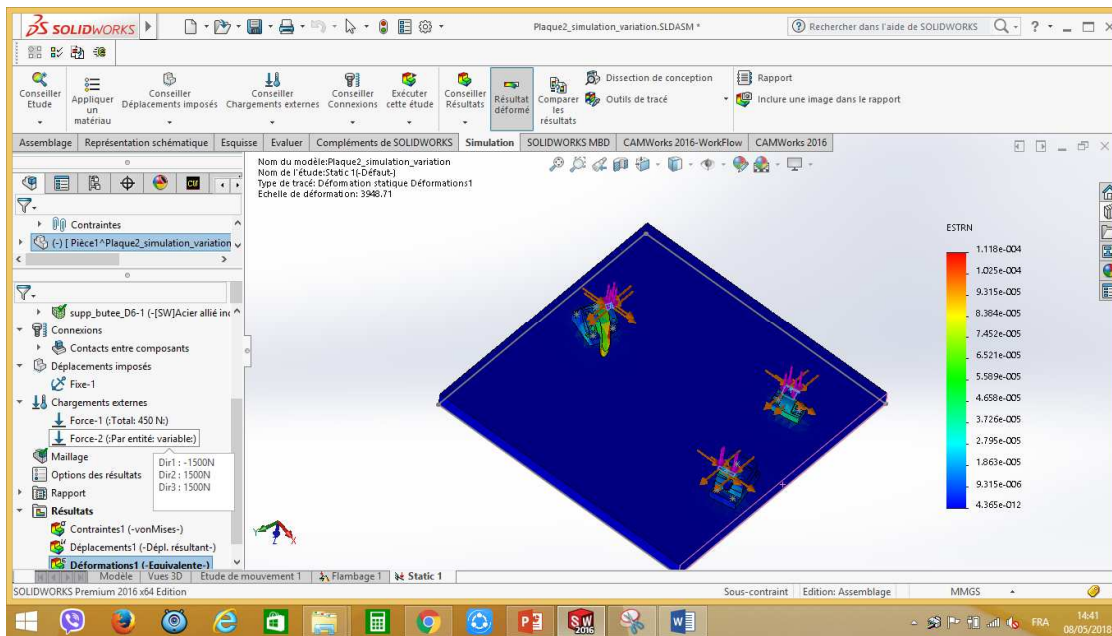
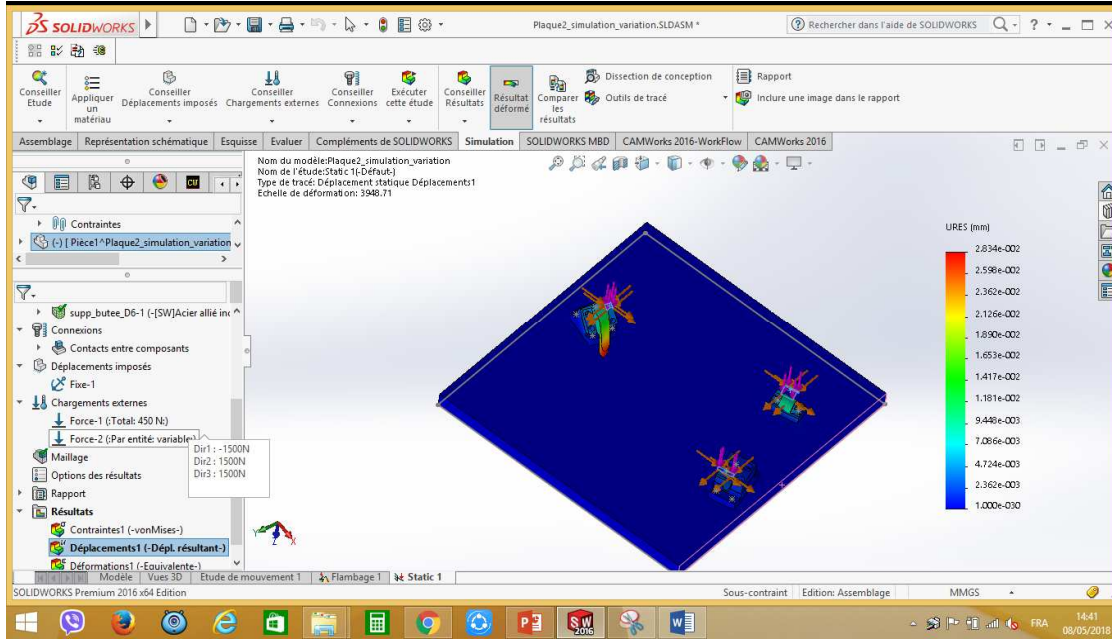
Cas 2 :

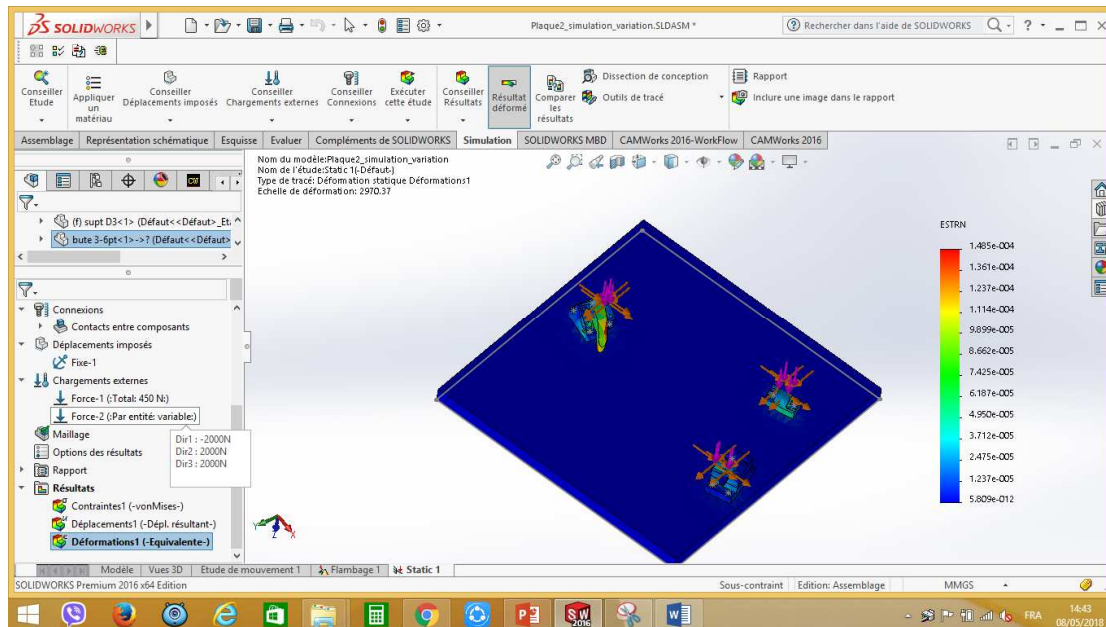
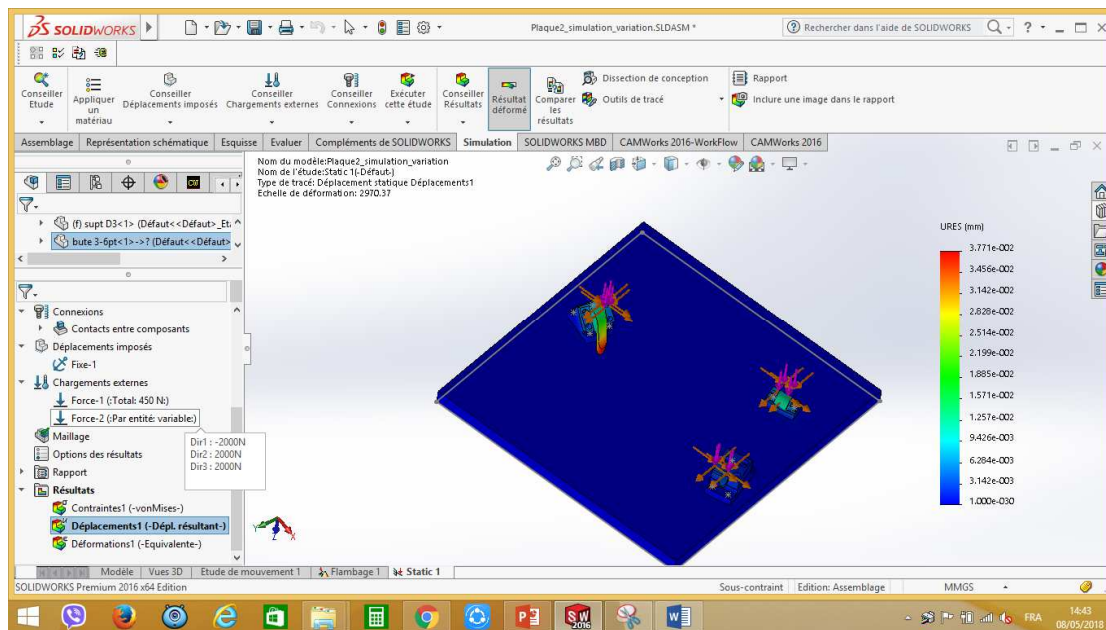




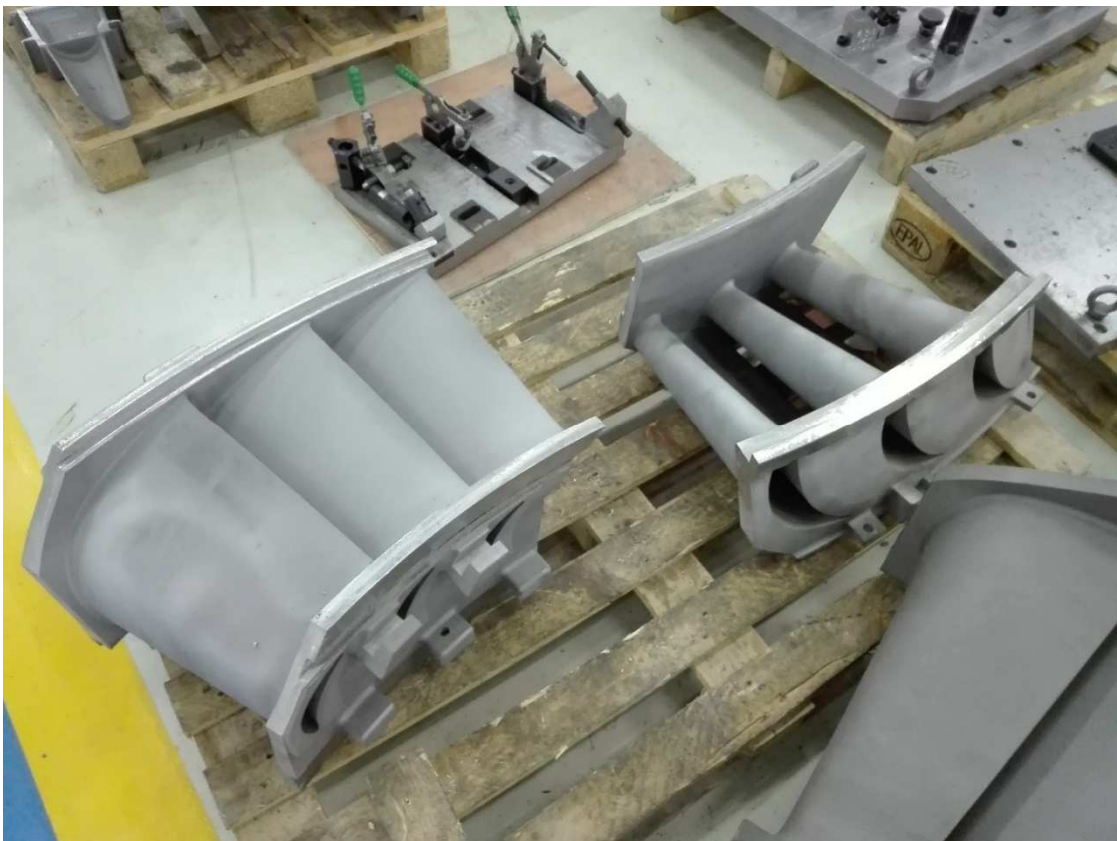
Variation du déplacement URES







Photos de pièces réalisées sur ce montage :



Références bibliographiques

- [1] A.M. Ramos, C. Relvas, J.A. Simo, *The influence of finishing milling strategies on texture, roughness and dimensional deviations on the machining of complex surfaces.*
Journal of materials processing technology 136 (2003) 209-216.
- [2] Sonia Djebali, *Optimisation Globale du Processus d'Usinage des Surfaces Gauches*, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse 3 Pau Sabatier, 2014.
- [3] Saïd Zirmi, *Conception de montages d'usinage modulaire pour le fraisage*, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 2010.
- [4] Sajid Ullah Butt, *Design and modelling of a fixturing system for an optimal balancing of a part family*, Arts et Métiers Paris Tech, 2012.
- [5] Mustapha Arslane, *Conception et Réalisation d'un Montage d'usinage à la base du Principe de Six-Points*, Thèse de Master Académique, Université de M'sila, 2017.
- [6] Michel Molière, *Turbines à gaz stationnaires : Avancées technologiques*, Conférence à l'Université Pierre & Marie Curie, Paris, 8 Octobre 2013.
- [7] 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.
- [8] Venlo B.V. Spikweien, *New Parts Manufacturing Equivalent to GE MS9001E*,
Sulzer Turbo Services 36 NL-5943 AD Lomm, the Netherlands.
- [9] *New technology used in gas turbine blade materials*, Scientia ET Technica Año XIII, No 36, September 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- [10] Y. Wang, X. Chen and N. Gindy, *Deformation Analysis of Fixturing for Workpiece with Complex Geometry*, Key Engineering Materials Vols. 291-292 (2005) pp 631-636, 2005.
- [11] Tony Giampaolo, *Gas Turbine Handbook: Principles and Practices*, third Edition, MSME, PE.

- [12] SIDOBRE Daniel, *Machines-Outils à Commande Numérique*, Université Paul Sabatier LAAS-CNRS, 2007.
- [13] Fikret KALAY, *Simulation numérique de l'usinage*, Techniques de l'ingénieur, 10 oct. 2010.
- [14] Logiciel CAD/CAM SOLIDWORKS, 2016.

Résumé :

Dans l'industrie, les pièces deviennent de plus en plus complexes et précises. Alors leur fabrication nécessite des montages spéciaux, qui malgré leurs difficultés de design et leurs coûts, doivent assurer la mise en position, le maintien en position, la rigidité, la précision ainsi que la répétabilité pour toute la série de pièce, sans qu'il y est détérioration ou usure pendant la fabrication de la série.

C'est pour cette raison que la conception de ces montages spéciaux doit être faite d'une manière précise performante et en même temps économique.

Dans ce mémoire, nous allons contribuer à une conception spéciale pour le maintien, en vue d'usinage, d'une pièce complexe se trouvant dans une turbine à gaz.

Cette pièce appelée ailette fixe ou directrice, possède la particularité d'être mise en position sur des appuis à des endroits très précis qu'on appelle « six points ». En respectant cette mise en place pour le démarrage d'usinage, nous pouvons ainsi garantir l'exactitude des dimensions recherchées.

Mots clés : montage d'usinage spécial, ailette, pièce complexe, conception des montages, simulation.

ملخص:

في الصناعة، أصبحت الأجزاء أكثر تعقيدا ودقة. وبالتالي فإن تصنيعها يتطلب تركيبا خاصا، والتي على الرغم من صعوبة تصميمها وكذلك تكاليفها، يجب أن تضمن: التموضع الدقيق، المسك الجيد، الصلابة، والدقة وكذلك التكرار لجميع سلسلة القطع المصنعة، دون تأكل أو اتلاف خلال تصنيع سلسلة.

وعلى هذا فان تصميم هذه التركيبات الخاصة يجب أن يتم بطريقة دقيقة وفعالة وفي الوقت نفسه اقتصادية.

في هذه المذكرة، سوف نقوم بالمساهمة في تصميم تركيب خاص لتصنيع قطعة معقدة توجد في توربينة الغاز.

هذه القطعة تسمى العنفة الثابتة، والتي تتميز بشرط وضعها على دعائم في أماكن محددة جدا تسمى "ست نقاط". من خلال تراجم هذا الإعداد لبدء تشغيل القطع، يمكننا ضمان دقة الأبعاد المطلقة.

الكلمات المفتاحية: تركيب تصنيع خاص، عنفة، قطعة معقدة، تصميم تركيبات لتصنيع، محاكاة.

Abstract

In the industry, parts become more and more complex and precise. Then their manufacture requires special fixtures, which despite their design difficulties and their costs must ensure the positioning, the holding in position, the rigidity, the precision and the repeatability for all the parts, without it there is deterioration or wear during the manufacturing.

For this reason, the design of these special fixtures should be made in a precise and efficient way and economical at the same time.

In this thesis, we will contribute to a special design to machine a complex part located in a gas turbine.

This piece called vane or nozzle has the distinction to be placed in position on supports in very specific place called "six points". By respecting this set-up for machining start-up, we can guarantee the accuracy of the required dimensions.