

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

Université de Blida 1



Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Fabrication Mécanique

**MODÉLISATION D'UNE CONCEPTION SIMPLIFIÉE DU SAS
QUEST DE LA STATION SPATIALE INTERNATIONALE :
INFLUENCE DU TYPE D'ÉLÉMENT ET PRISE EN COMPTE
DE LA SYMÉTRIE**

Par :

**Mechdouf Ibrahim
Ghenanoua Mohamed Amine**

FerdjaniHicheme U. Saad Dahleb-Blida Promoteur

Année universitaire : 2023 / 2024

REMERCIEMENT :

Chers membres du jury, chers collègues, chers amis,

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de mon mémoire de fin d'études.

Ce travail n'aurait pas été possible sans leur soutien et leur encouragement.

Tout d'abord, je tiens à remercier ma famille pour leur patience, leur compréhension et leur amour inconditionnel. Leur soutien constant m'a permis de me concentrer sur mes recherches et d'atteindre mes objectifs académiques.

Ensuite, je souhaite adresser mes remerciements à la société SIM, où j'ai effectué mon stage de fin d'études. Leur accueil chaleureux, leur expertise et leur encadrement ont été essentiels pour mon apprentissage. Je suis reconnaissant d'avoir eu l'opportunité de travailler au sein d'une entreprise aussi dynamique et innovante.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mon professeur, M. Hichem Ferdjani. Ses conseils éclairés, sa disponibilité et son expertise ont grandement enrichi mon travail de recherche. Je le remercie sincèrement pour sa bienveillance et son accompagnement tout au long de ce processus.

Je suis fier du résultat obtenu et je suis convaincu que cette expérience restera gravée dans ma mémoire. Merci à tous ceux qui ont contribué à cette réussite !

Cordialement,

Dédicace :

À ma chère famille et à mes amis proches,

Je tiens à vous adresser mes plus sincères remerciements pour votre soutien inestimable tout au long de mon parcours académique. Votre présence, vos encouragements et vos sourires ont été mes sources d'inspiration.

À mes parents, qui ont été mes premiers enseignants et mes plus grands supporters, je vous suis infiniment reconnaissant. Votre amour et vos sacrifices ont façonné mon chemin vers la réussite.

À mes frères, sœurs et cousins, qui ont partagé mes joies et mes peines, merci d'avoir été là à chaque étape. Vos rires, vos conseils et vos épaules solides ont allégé mes fardeaux.

À mes amis proches, qui ont égayé mes journées d'études, merci pour nos discussions passionnantes, nos moments de détente et nos fous rires. Vous avez rendu ce parcours mémorable.

Ce mémoire de fin d'études est dédié à vous tous, car c'est grâce à votre présence bienveillante que j'ai pu franchir cette étape avec succès. Votre amitié et votre soutien sont des trésors que je chéris.

Avec toute ma gratitude,

Résumé

Le sas **Quest** est un composant de la station spatiale internationale (ISS). Nous avons élaboré une conception simplifiée du sas en deux versions : sans raidisseurs et avec raidisseurs. Nous avons modélisé la moitié de la structure pour tenir compte de la symétrie. Nous avons simulé, par la méthode des éléments finis (logiciel ANSYS), sa réponse élastique pendant la phase de lancement. Nous n'avons considéré que les forces d'inertie dues à l'accélération. Nous avons également effectué une analyse modale. Nous avons considéré deux types d'élément : linéaire et quadratique. Pour chaque type d'élément nous avons effectué une étude de convergence.

Mots clés : Station spatiale internationale, Sas Quest, Modélisation ANSYS, forces d'inertie, analyse modale, raidisseurs, élément linéaire, élément quadratique.

Abstract

The Questairlock is a component of the International Space Station (ISS). We have developed a simplified design of the airlock in two versions: without stiffeners and with stiffeners. We simulated, by the finite element method, its elastic response during the launch phase. We considered only the inertial forces due to the acceleration. We also performed a modal analysis. The results allowed to quantify the influence of the stiffeners. The software used is ANSYS.

This study is based on the memory of ABDALLAH LILIA named **INFLUENCE OF STIFFENERS ON A SIMPLIFIED DESIGN OF THE QUEST SAS OF THE INTERNATIONAL SPACE STATION.**

Keywords: International Space Station, QuestAirlock, ANSYS modeling, inertial forces, modal analysis, stiffeners.

ملخص

غرفة الضغط . القفل هوائي في ا مبسطاً لقد Quest هي أحد مكونات محطة الفضاء الدولية طورنا تصميم نسختين: بدون تقوية ومع تقوية. قمنا بمحاكاة ، بطريقة العنصر المحدود ، استجابتها المرنة خلال مرحلة ا بإجراء تحليل مشروط. وقد الإطلاق. نظرنا فقط في قوى القصور الذاتي بسبب التسارع. قمنا أيض حددت النتائج تأثير التقوية. البرنامج المستخدم هو

الكلمات الرئيسية: محطة الفضاء الدولية ، ، قوى القصور الذاتي ، تحليل Quest ، نمذجة مشروط ، تقوية ANSYS

Liste des abréviations:

AMS: Alpha magnetic spectrometer.

CSA: Canadian Space Agency.

ELC: Express logistics carrier.

ELM: Experiment logistics module.

EMU: extravehicular mobility unit.

ESA: European Space Agency.

ESP: external stowage platform.

EVA: extravehicular activity.

HPGT: high-pressure gas tank.

ISS: International space station.

ITS: integrated truss section.

JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency.

JEM: Japanese experiment module.

MISSE: Materials International Space Station Experiment

NASA: National aeronautics and space administration.

STS: Space transportation system.

MEF: Méthode des éléments finis.

CAO: Conception assisté par ordinateur

Liste de figures :

Figure 1 : ISS et ses différents modules.....	4
Figure 2 : vue frontale du Quest.....	5
Figure 3 : Le module Quest dans une salle blanche au centre de vol spatial Marshall Etats-Unis	5
Figure 4 : Le module Quest transféré par le bras robotique Canadarm vers sa position d'amarrage , pris durant STS 104.....	6
Figure 5 : Vue du module Quest au bord de la navette spatiale Atlantis ,pris durant STS 104	6
Figure 7 : Differentes vues du Quest avec dimensions	8
Figure 6 : Dessin de définition de Quest	7
Figure 8 : Schéma représentatif du bouclier Whipple.....	9
Figure 9 : vue isométrique du sas d'équipement.....	10
Figure 10 : Vue isométrique du sas d'équipage.....	10
Figure 11 : Vue en perspective de la conception simplifiée du Quest	11
Figure 12 : vue en dessus de SAS Quest	12
Figure 13 : Vues en top de la pièce	12
Figure 14 : Dessin de définition de la moitié de la structure non renforcée	13
Figure 15 : Renforcements du type Raidisseurs /tole.....	14
Figure 16 : Raidissaur du type Omega.....	14
Figure 17 : Profil du raidisseur Omega.....	15
Figure 18 : Profil avec R= 2350 mm.....	15
Figure 19 : Profil avec R= 1185 mm.....	16
Figure 20 : vue en arrière de la pièceassemblé	17
Figure 21 : Dessin technique de la pièce renforcée.....	17
Figure 22 : Graphe de l'accélération de la navette Atlantis par rapport au temps.....	19
Figure 23 : workbenchsystèmes d'analyse.....	23
Figure 24 : éditer les données de materiau.....	24
Figure 25 : propriétés d'aluminium 2219	25

Figure 26 : importation de la géométrie.....	26
Figure 27 : Editer le modèle.....	27
Figure 28 : La géométrie importée dans AnsysMechanical.....	28
Figure 29 : Assignation du matériau à la géométrie	28
Figure 30 : Choisir le système d'unités.....	29
Figure 31 : Types de maillages	30
Figure 32 : Générer un maillage.....	30
Figure 33 : Exemple de maillage.....	31
Figure 34 : Exemple du taille d'éléments de maillage.....	31
Figure 35 : Insertion des condition statique.....	32
Figure 36 : Support fixe.....	33
Figure 37 : Graviatationterreste	33
Figure 38 : Displacementuz =0.....	34
Figure 39 : Résoulutiondu structure statique	34
Figure 40 : Solution trouvé.....	35
Figure 41 : Insertion du déformation totale	36
Figure 42 : Evaluation des résultats.....	37
Figure 43 : étude de la pièce renforcée dans ANSYS.....	38
Figure 44 : Exemple de maillage quadratique de la pièce renforcée dans ANSYS.....	38
Figure 45 : Configuration d'analyse modale	39
Figure 46 : Plage des fréquences de l'analyse modale.....	39
Figure 47 : Résultats de l'analyse modale évalués.....	40
Figure 48 : Structure non renforcée-éléments linéaire , contrainte de von mises.....	42
Figure 49 : Structure non renforcée-éléments linéaires ,déformation totale.....	43
Figure 50 : structure renforcée-éléments linéaire , contrainte de von maises.....	43
Figure 51 : structure renforcée-éléments linéaire , déformation totale	44
Figure 52 : Structure non renforcée-éléments quadratique , contrainte de Von Mises	44
Figure 53 : Structure non renforcée-éléments quadratique ,déformation totale.....	45

Figure 54 : Structure renforcée-éléments quadratique , contrainte de Von Mises.....	45
Figure 55 : Structure renforcée-éléments quadratique , déformation total.....	45
Figure 56 : Structure non renforcée-éléments linéaire , fréquences propres	46
Figure 57 : Structure renforcée-éléments linéaires fréquences propres	46
Figure 58 : Structure non renforcée-éléments quadratiques fréquences propres	47
Figure 59 : Structure non renforcée-éléments quadratiques fréquences propres	47
Figure 60 : Déformation totale par rapport au nombre d'éléments de la structure non renforcée en maillage linéaire.....	49
Figure 61 : courbe représentant la déformation totale par rapport au nombre d'éléments de la pièce non renforcée en maillage quadratique	50
Figure 62 : Prototype de SAS Quest sur solidWorks.....	53
Figure 63 : Dessin technique de prototype de SAS Quest sur solidworks.....	54
Figure 64 : Stock matière pom C.....	55
Figure 65 : Matière Pom C utilisée.....	56
Figure 66 : Code G utilisé.....	58
Figure 67 : Machine CNC GE Fanucseries 21I-T	59
Figure 68 : Outils de la machine CNC.....	60
Figure 69 : Scie LUBAN GB 4250	61
Figure 70 : Dressage de la pièce.....	61
Figure 71 : Chariotage de la pièce	63
Figure 72 : Percage de la pièce	64
Figure 73 : Alésage de la pièce.....	65
Figure 74 : Finition de la pièce	66
Figure 75 : Micrométrie utilisé pour mesurer la pièce.....	67
Figure 76 : Finition surface de la pièce.....	68
Figure 77 : Prototype finale réalisé.....	69

Liste des tableaux:

Tableau 1 : Nombre d'éléments et déformation totale de la pièce non renforcée en maillage linéaire	49
Tableau 2 : nombre d'éléments et déformation totale de la pièce non renforcée en maillage quadratique.....	50

Table de matières:

Introduction

Introduction Générale

La Station Spatiale Internationale (ISS) est la plateforme orbitale de recherche en microgravité la plus importante au monde. Depuis plus de 20 ans, des scientifiques et des chercheurs utilisent l'ISS pour mener des recherches en biologie, physique, biomédecine, matériaux, sciences de la Terre et de l'espace. L'ISS est le plus grand laboratoire orbital jamais construit. C'est une réalisation internationale, technologique, et politique ([2][3]). Elle est le résultat d'une collaboration entre scientifiques et ingénieurs du monde entier. C'est effectivement un des plus grands pas de l'humanité à la découverte de nouveaux horizons.

Le sas principal de l'ISS, nommé Quest, sert d'interface avec le monde extérieur. Il permet aux astronautes d'y entrer ou d'en sortir. Dans son cycle de vie, il y a deux phases : le lancement et la mise en orbite. Dans un premier travail L. Abdallah [1] a réalisé une simulation numérique du Quest lors de la phase de démarrage. Elle s'est intéressée aux forces d'inertie et aux vibrations, en ignorant les effets thermiques. En raison du manque de données et de méthodes informatiques puissantes, elle a simplifié la conception de Quest et l'a modélisé en deux versions : la version sans raidisseurs, appelée structure non renforcée, et la version avec raidisseurs appelée structure renforcée. Pour chaque structure, elle a effectué deux calculs : une analyse statique incluant les forces d'inertie dues à l'accélération, et une analyse modale pour étudier les effets des vibrations.

Son travail contient deux principales insuffisances:

- Elle n'a pas exploité la symétrie de la structure. Elle a donc modélisé la structure entière au lieu de la demi-structure. Par conséquent, elle a été limitée en nombre d'éléments, et n'a donc pas effectué une étude de convergence.
- Elle a utilisé un maillage contrôlé par le logiciel (ANSYS). C'est à dire qu'elle ne connaissait pas le type d'élément utilisé. Ceci ne lui a pas permis d'étudier l'influence de ce paramètre sur les résultats.

Le but de ce travail est de corriger ces insuffisances. En effet, on exploite la symétrie du problème et on ne modélise que la moitié de la structure. De plus, on choisit le type d'élément utilisé : linéaire ou quadratique. On effectue des calculs ainsi que des études de convergence pour chaque type d'élément.

Ce mémoire se divise en plusieurs chapitres:

- Le chapitre 1 présente la Station spatiale internationale et le sas d'exploration. Nous présentons l'histoire de la Station spatiale internationale, ses différents modules et leur assemblage. Nous couvrons également l'histoire du Quest et son fonctionnement.
- Le chapitre 2 comprend : une description détaillée de la tâche. A savoir la conception simplifiée du QUEST avec les deux versions, en utilisant SolidWorks. Nous présentons enfin les dessins de définition.
- Le troisième chapitre est une Introduction à la simulation avec ANSYS pour les deux types de structure : renforcée et non renforcée.
- Le Chapitre 4 est consacré à la présentation et à la discussion des résultats.

Nous concluons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I
Présentation de l'ISS et
du Quest et des
Conceptions avec
Solidworks

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

Introduction

Nous présentons dans ce chapitre:

- D'une manière succincte l'ISS et le QUEST.
- La conception simplifiée de ABDALLAH [1] sans prise en compte de la symétrie.
- Notre conception simplifiée avec prise en compte de la symétrie.

Le logiciel utilisé pour les conceptions est Solidworks.

Présentation de l'ISS et du Quest

ABDALLAH [1] a fait une présentation détaillée du SAS Quest et de L'ISS. Nous nous contentons dans ce chapitre d'une présentation succincte. La Figure 1 ci-dessous présente une photo générale de l'ISS ainsi que de ces différents modules dont le Quest.

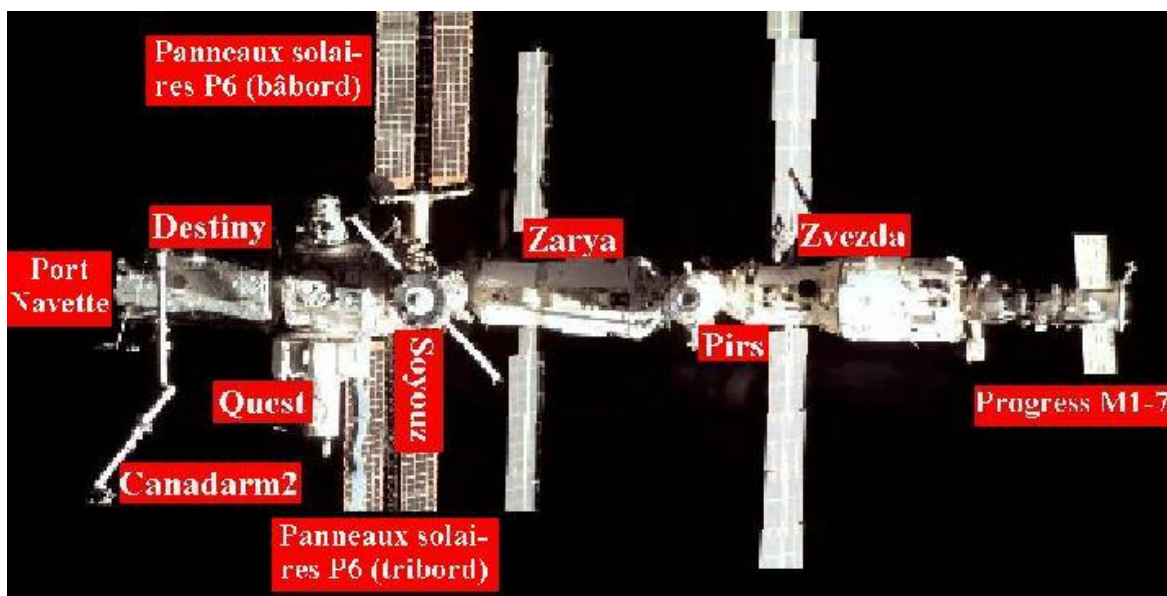


Figure 1 : ISS et ses différents modules

Nous présentons ci-dessous quelques photos du SAS Quest.

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

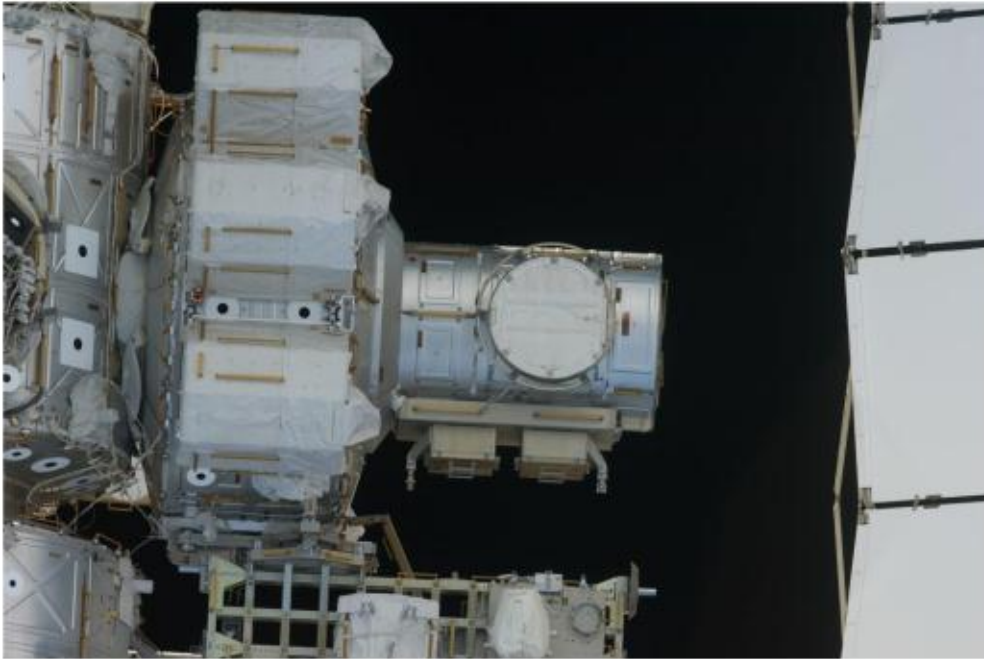


Figure 2 : vue frontale du Quest



Figure 3 : Le module Quest dans une salle blanche au centre de vol spatial Marshall Etats-Unis .

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks



Figure 4 : Le module Quest transféré par le bras robotique Canadarm vers sa position d'amarrage , pris durant STS 104



Figure 5 : Vue du module Quest au bord de la navette spatiale Atlantis ,pris durant STS 104

2.1 : Dimensions du Quest

ABDALLAH [1] a basé sa conception du Quest sur les dimensions trouvées

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

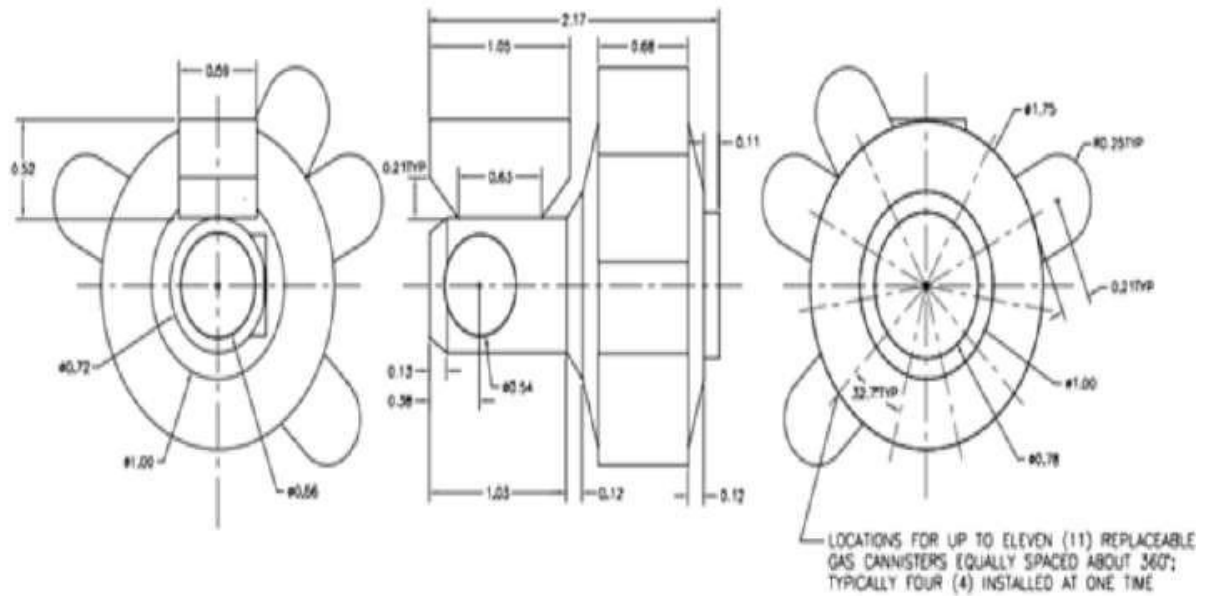


Figure 6 : Dessin de définition de Quest

sur quelques figures du site officiel de la NASA. Nous les présentons ci-dessous:

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

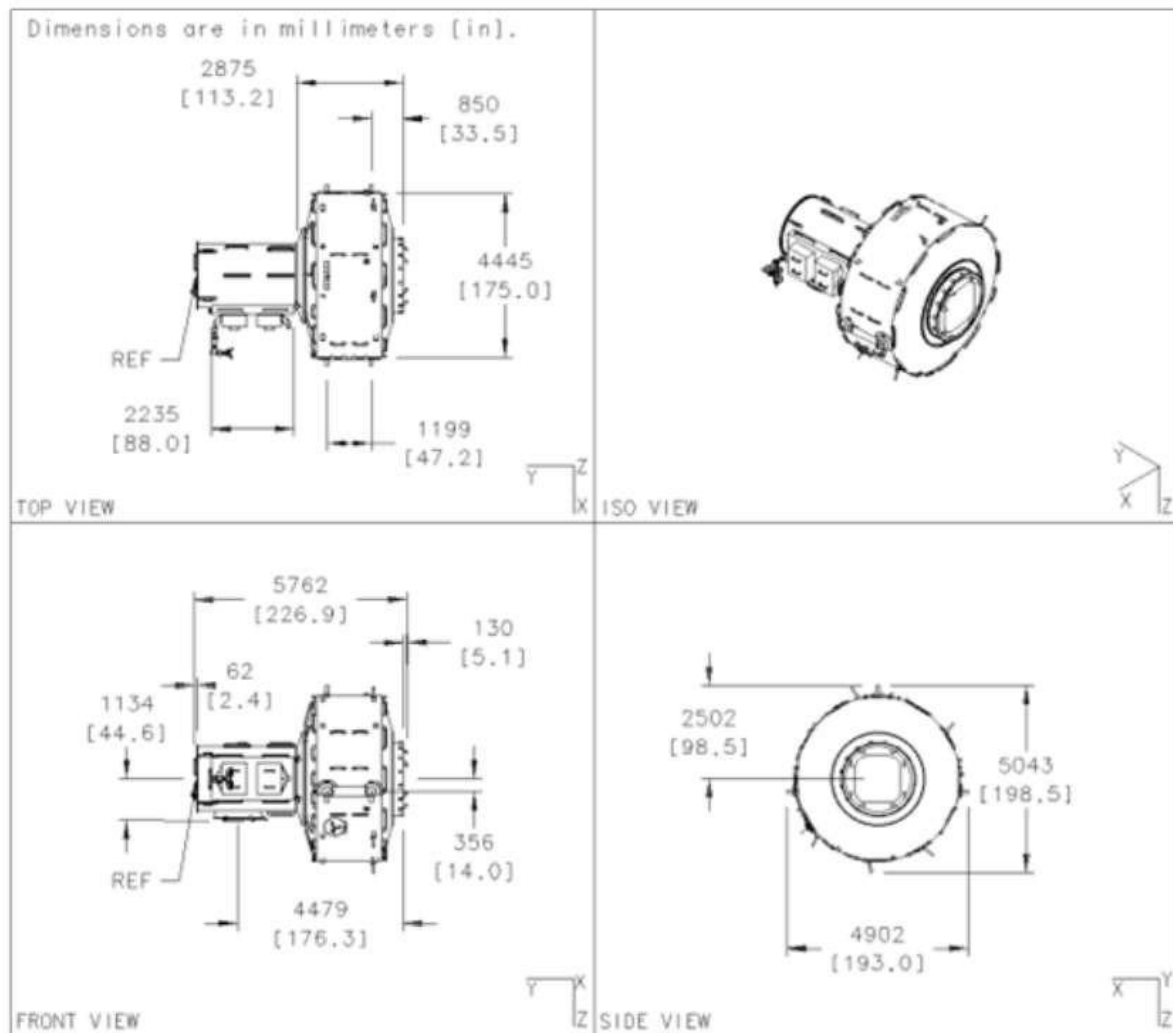


Figure 7: Differentes vues du Quest avec dimensions

2.2 : Matériau constitutif et épaisseur

La structure du Quest est fabriquée avec un alliage d'aluminium 2219. Ce matériau est principalement composé d'aluminium et de cuivre. Il possède les propriétés suivantes [8]:

- Module de Young $E=73,8\text{GPa}$.
- Masse volumique $\rho=2840\text{kg/m}^3$
- Coefficient de Poisson $\nu=0.33$
- Limite élastique 73.8GPa

L'épaisseur utilisée est de 4.8 mm. Elle a été choisie selon le schéma représenté sur la Figure 8 qui représente un revêtement appelé bouclier Whipple. Il est utilisé sur les modules Américains de l'ISS en tant que protection thermique et contre les débris de l'espace et les impacts de micrométéorites. Nous remarquons sur la Figure que la première paroi du bouclier, qui est la paroi du module, prend une valeur de 4.8mm.

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

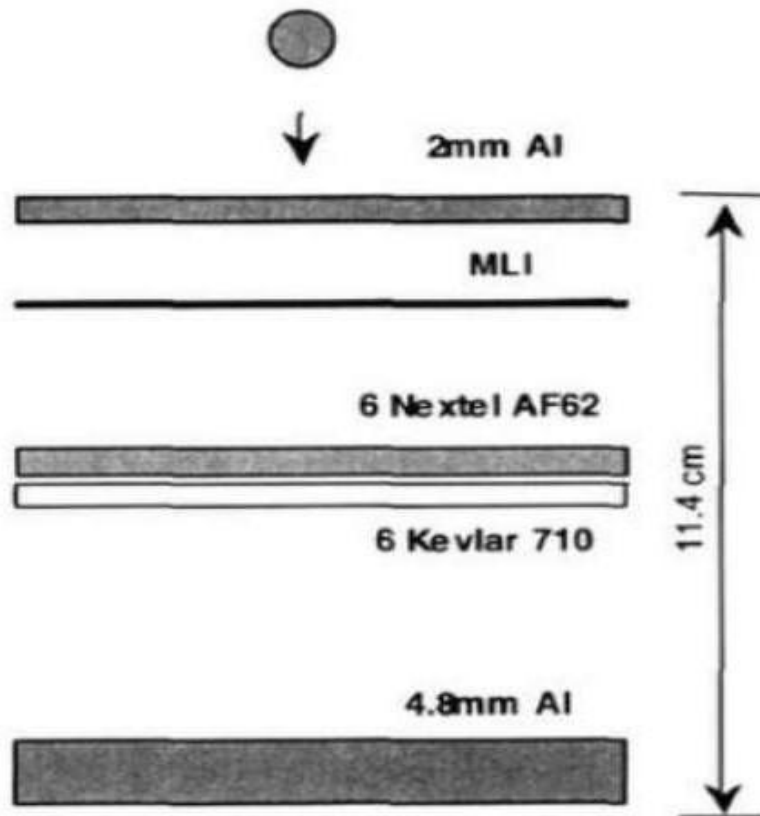


Figure 8 : Schéma représentatif du bouclier Whipple

3. Conception simplifiée de ABDALLAH:

Elle a réalisé deux conceptions simplifiées : une première sans renforcement appelée structure non renforcée, et une deuxième renforcée par des raidisseurs appelée structure renforcée. Nous présentons ci-dessous les deux structures.

3.1 Structure non renforcée:

Les figures 9, 10 et 11 ci-dessous montrent les différentes parties de la structure non renforcée.

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

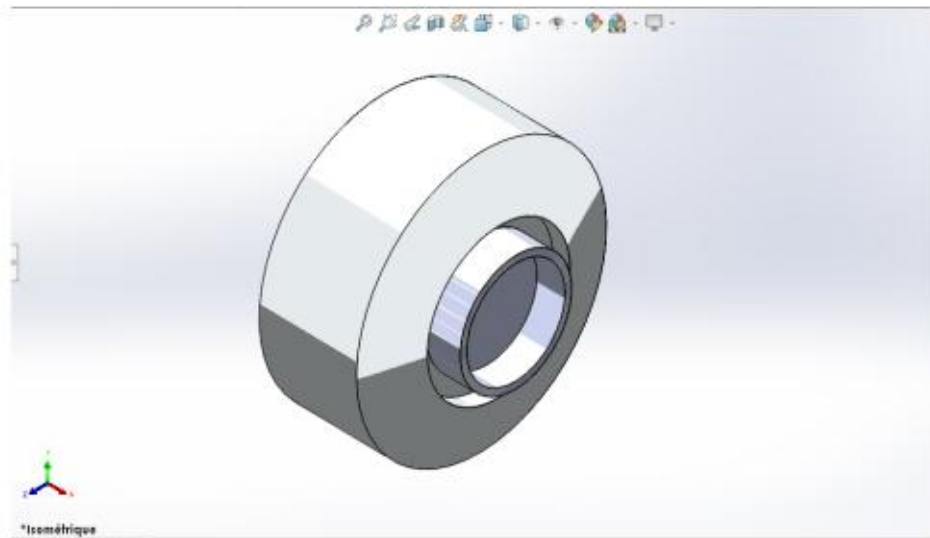


Figure 9 : vue isométrique du sas d'équipement

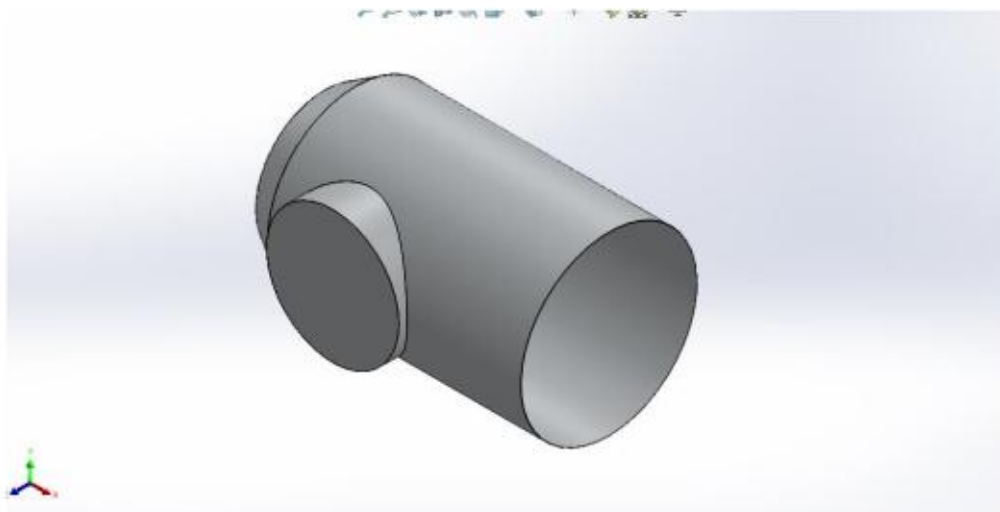


Figure 10: Vue isométrique du sas d'équipage

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

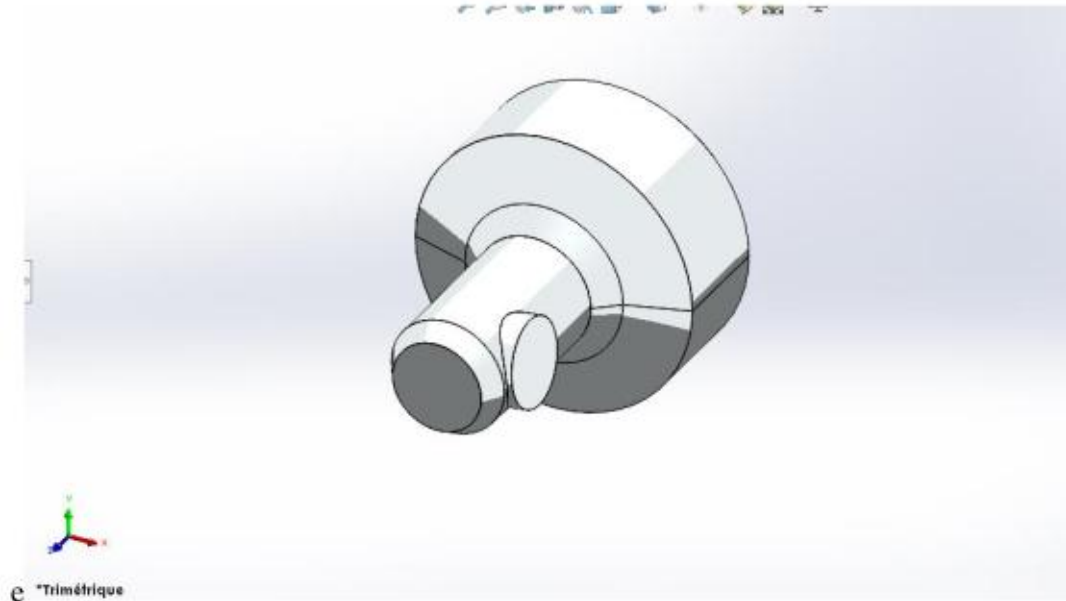


Figure 11: Vue en perspective de la conception simplifiée du Quest .

Nous observons sur les Figures ci-dessus, que la conception simplifiée possède un plan de symétrie.

4. Conception simplifiée avec prise en compte de la symétrie

Nous avons réalisé la même conception simplifiée que Abdellah[1], sauf qu'à cause de la symétrie nous n'avons réalisé que la moitié du Quest. Nous présentons ci-dessous nos deux conceptions renforcée et non renforcée.

4.1 Moitié de la structure non renforcée

Nous présentons ci-dessous le dessin technique de la moitié de la structure, obtenue avec Solidworks.

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

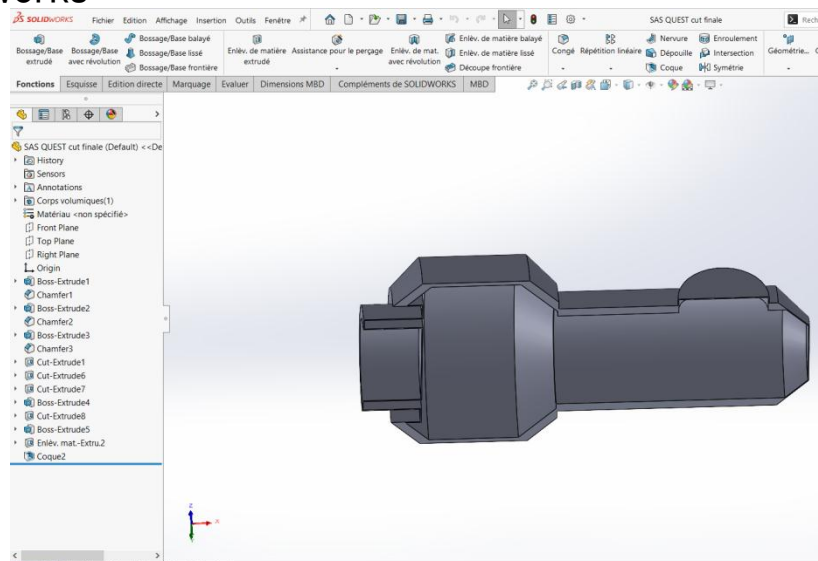


Figure 12: vue en dessus de SAS Quest .

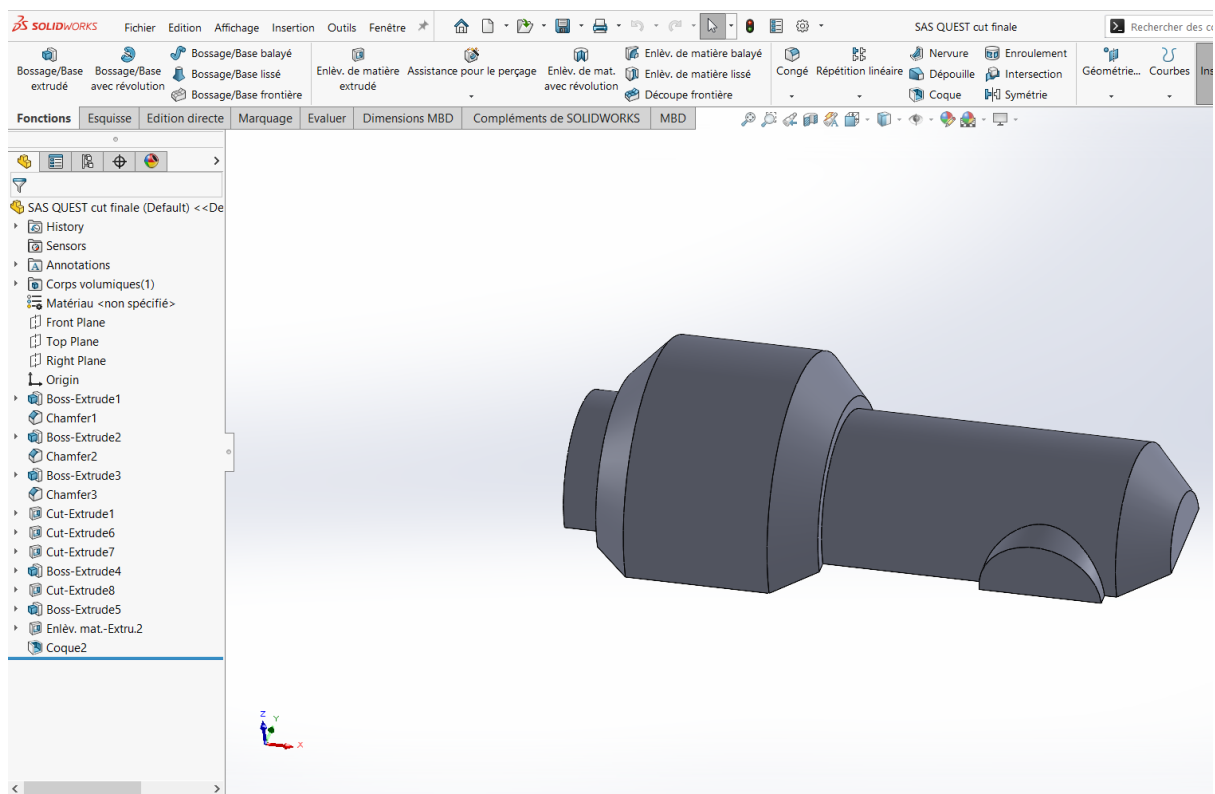


Figure 13: Vues en top de la pièce .

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

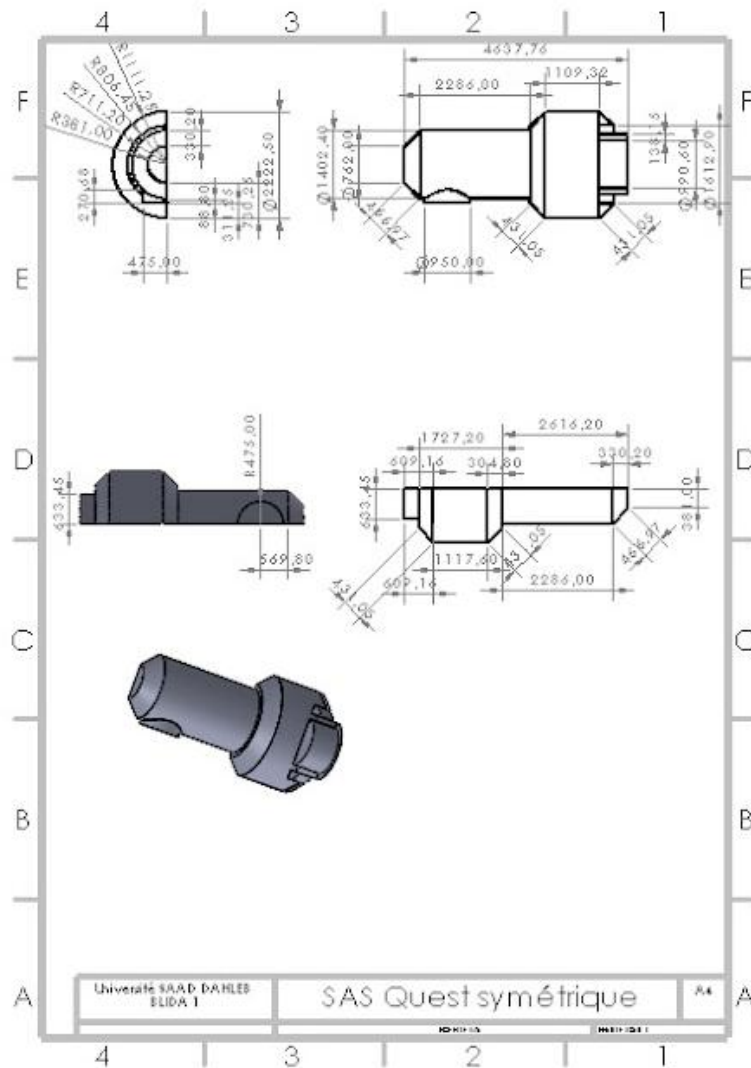


Figure 14 : Dessin de définition de la moitié de la structure non renforcée

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

4.2 Moitié de la structure renforcée :

4.2.1 Raidisseurs :

Un raidisseur est un profilé ajouté à un élément de structure ou à un assemblage pour augmenter sa résistance et sa rigidité. Nous avons utilisé le même type de raidisseur que ABDALLAH. Elle s'est inspirée du modèle raidisseur/tôle (Figure 15), et en utilisant des raidisseurs du type Omega(Figure 16).

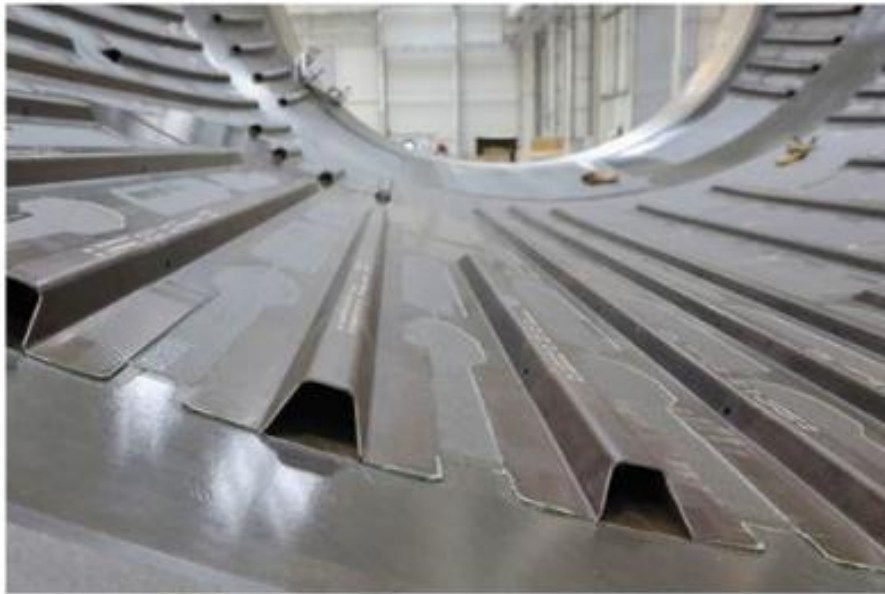


Figure 15: Renforcements du type Raidisseurs /tole



Figure 16 : Raidissaur du type Omega

Nous avons ajouté le profil oméga à la bibliothèque de Solidworks en créant son esquisse d'après ses dimensions normalisées(figure17)[11]

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

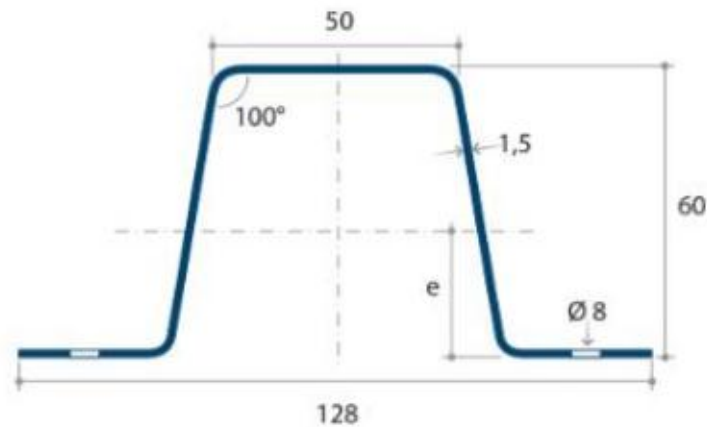


Figure 17: Profil du raidisseur Omega

La structure est circulaire. Dans le but d'assurer une bonne adhérence entre la surface du raidisseur et la surface de la structure, on a modifié le profil de la figure 17, en remplaçant quelques arrêtes par des arcs aux rayons qui correspondent aux rayons de la structure, (rayon du Sas d'équipement = 2350mm, et rayon du Sas d'équipage = 1185mm) (Figure 18 et 19).

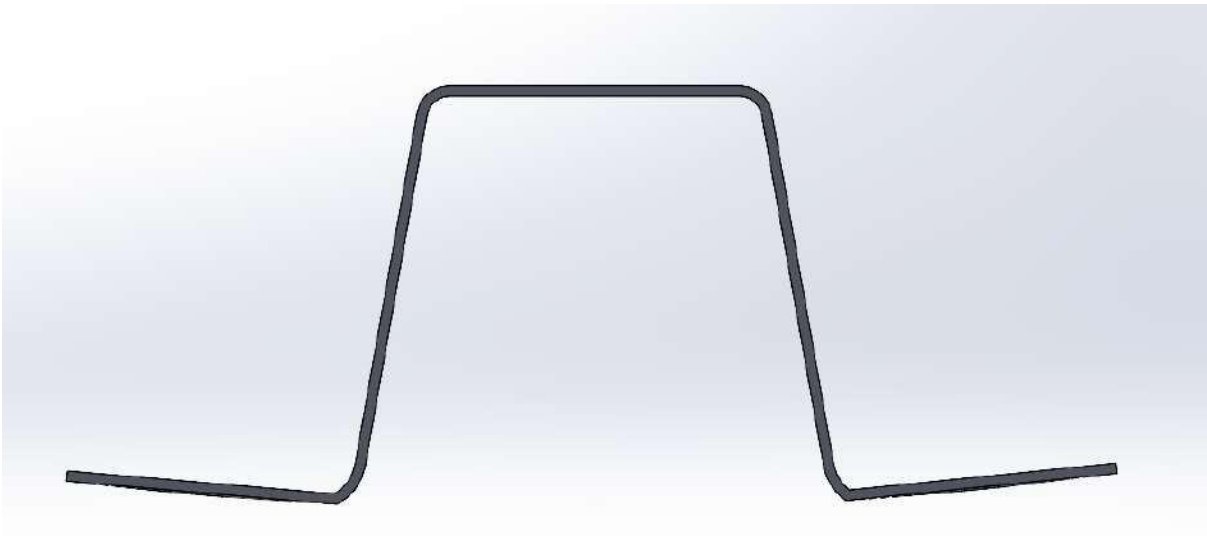


Figure 18: Profil avec R= 2350 mm

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

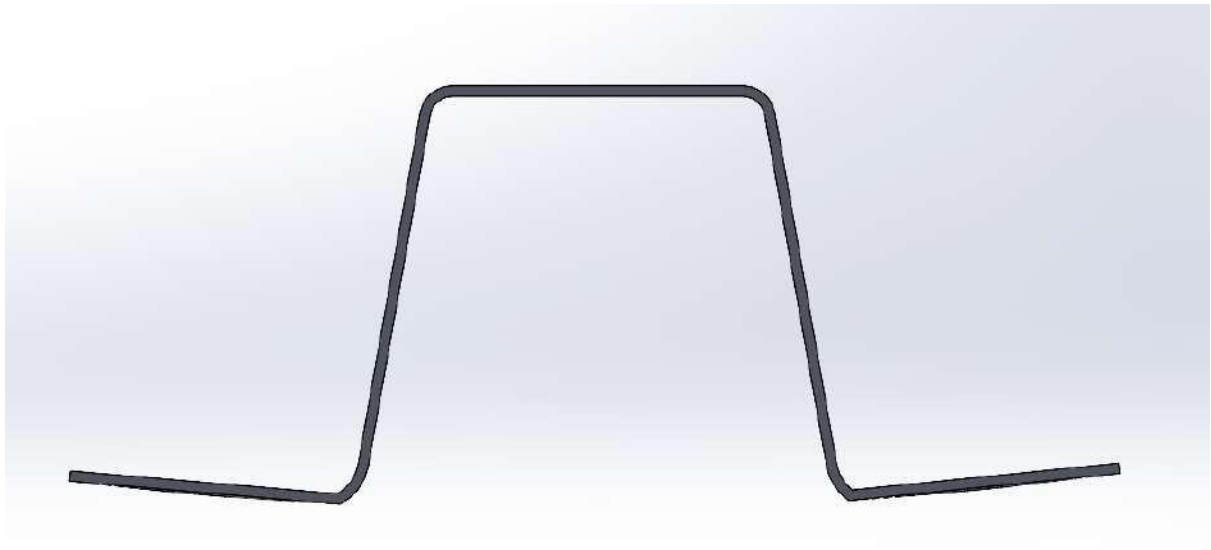


Figure 19: Profil avec $R= 1185 \text{ mm}$

Les figures 20 et 21 ci-dessous montrent la moitié de la conception simplifiée du Quest après renforcement avec les raidisseurs Omega.

Chapitre I : Présentation de l'ISS et du Quest et des conceptions avec Solidworks

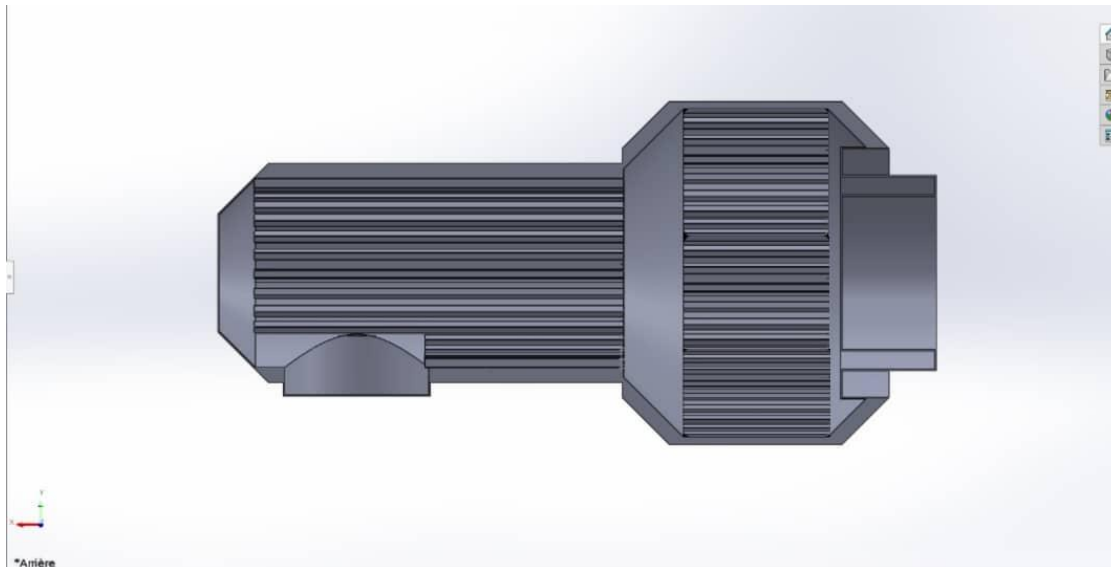


Figure 20 : vue en arrière de la pièceassemblé

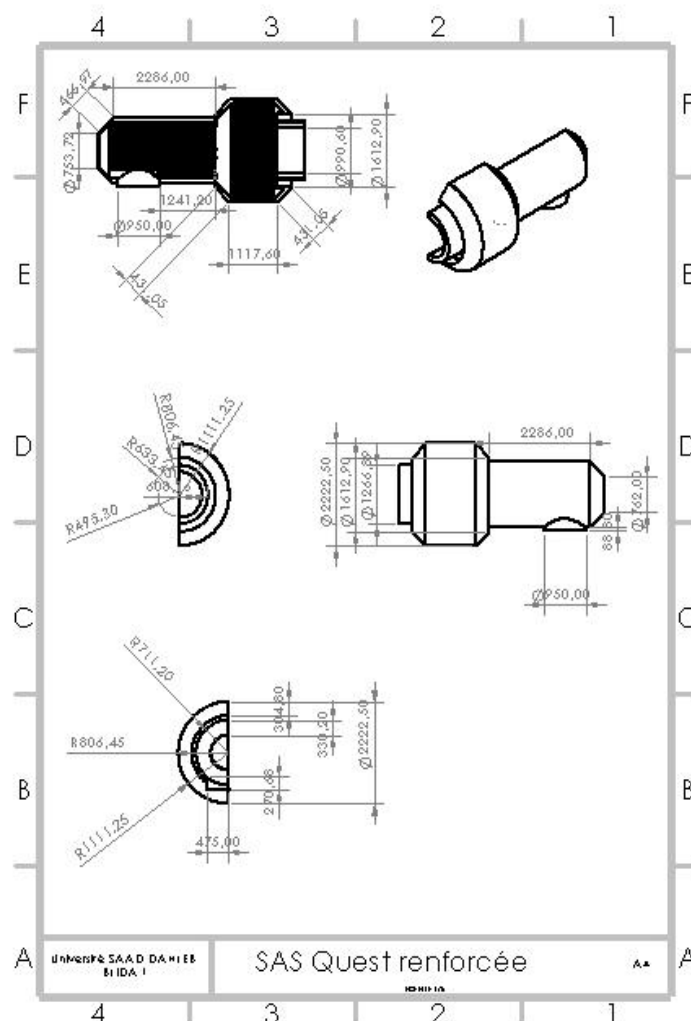


Figure 21: Dessin technique de la pièce renforcée

Chapitre II

Modélisation avec Ansys

Chapitre II :

Modélisation avec ANSYS

Après l'étape de la conception, vient l'étape de la modélisation en utilisant le logiciel Ansys qui se base sur la méthode des éléments finis. Les procédures de modélisation sont identiques pour les deux types de structure : renforcée et non renforcée. On va exposer cette modélisation en détail dans ce chapitre. Cette exposition détaillée pourrait servir de «Guide d'utilisation» pour de futurs utilisateurs.

Le Quest passe par deux phases: phase de démarrage, et phase en orbite autour de la terre. Chacune des deux phases se caractérise par des sollicitations différentes:

- Le Quest est transporté avec la navette Atlantis Pendant . transport il y a une accélération, le calcul est donc dynamique. L'accélération est variable (Figure 22) Nous prenons l'accélération maximale (3g). Nous supposons que la trajectoire est rectiligne verticale au moment où l'accélération atteint sa valeur maximale. Nous prenons aussi en considération les vibrations à travers une analyse modale. Nous ne considérons pas les sollicitations thermiques dues au changement de température en altitude.
- En orbite, il est en mouvement de rotation uniforme autour de la terre. C'est aussi un problème dynamique, à cause de l'accélération centripète.

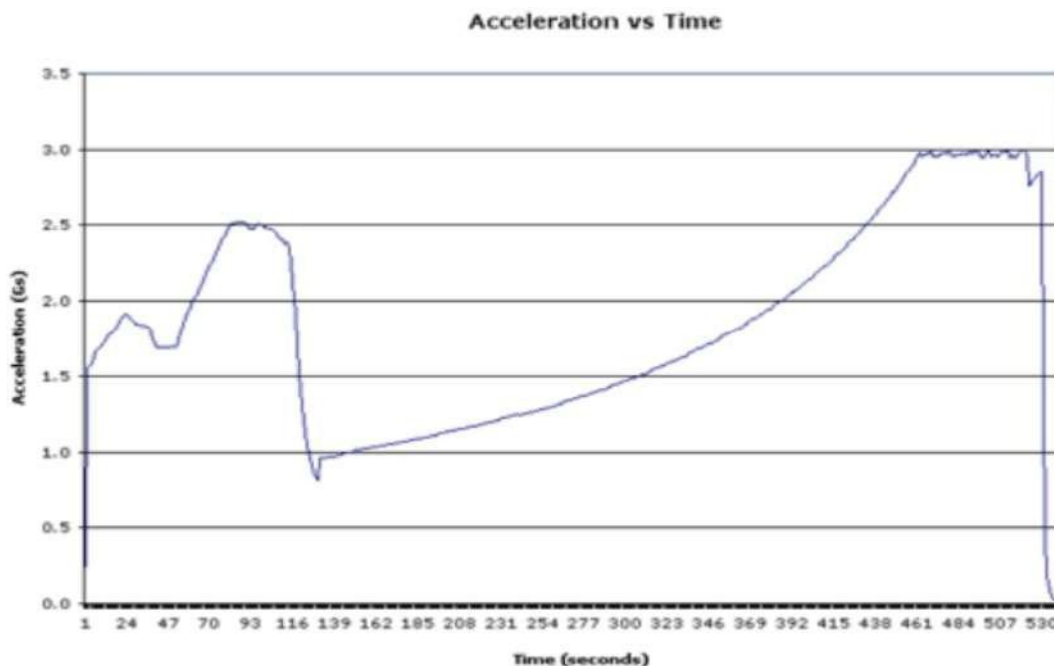


Figure 22: Graphe de l'accélération de la navette Atlantis par rapport au temps

Chapitre II :

Modélisation avec ANSYS

Dans ce travail, nous ne considérons que la première phase.

1 Rappel sur le mouvement relatif–principe d’Alembert:

Dans un référentiel Galiléen, l’équation du mouvement d’un solide de masse M soumis à des forces extérieures de résultante \vec{F} , et en accélération \vec{a} , est donnée par le principe fondamental de la dynamique:

$$\vec{F} = M\vec{a} \quad (1)$$

Par rapport à un référentiel en accélération \vec{a} , lié au solide, celui-ci est en équilibre. L’équation du mouvement(1) sera réécrite de la manière suivante:

$$\vec{F} - M\vec{a} = \vec{F} + F_{inertie} = 0 \quad (2)$$

Chapitre II :

Modélisation avec ANSYS

Où $\vec{f} = -\rho \vec{a}$ est la force d'inertie. C'est le principe de d'Alembert. Pour un milieu continu en accélération \vec{a} par rapport à un référentiel galiléen, les équations du mouvement local, c'est-à-dire la relation entre les contraintes et les forces volumiques en tout point, s'écrit:

$$\text{div} \vec{\sigma} + \vec{f} = \rho \vec{a}, \quad (3)$$

Où $\vec{\sigma}$ est le tenseur contraintes, \vec{f} force volumique, ρ la masse volumique du milieu, et div est l'opérateur divergence. Dans un référentiel en accélération \vec{a} lié au milieu continu, l'application du principe d'Alembert donne:

$$\text{div} \vec{\sigma} + \vec{f} - \rho \vec{a} = \text{div} \vec{\sigma} + \vec{f} + \rho \vec{f} = 0, \quad (4)$$

où $\vec{f} = -\rho \vec{a}$ représente les forces d'inertie volumiques.

Dans notre cas la masse M représente le Quest. Le référentiel non Galiléen représente la navette spatiale. L'accélération est verticale dirigée vers le haut, suivant l'axe z , de module $3g$ ($\vec{a} = 3g \vec{e}_z$) (\vec{e}_z est le vecteur unitaire selon z).

La force volumique est le poids volumique \vec{f} dirigée verticalement ($\vec{f} = -\rho g \vec{e}_z$). La force d'inertie volumique $\vec{f} = -3\rho g \vec{e}_z$. Les équations (4) projetées sur les axes de coordonnées (x, y, z) s'écrivent:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} + \tau_{xy} + \tau_{xz} = 0 \\ \tau_{xy} + \sigma_{yy} + \tau_{yz} = 0 \\ \tau_{xz} + \tau_{yz} + \sigma_{zz} - \rho g - 3\rho g = \tau_{xz} + \tau_{yz} + \sigma_{zz} - 4\rho g = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Où $(\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz})$ sont les composantes du tenseur contrainte et $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$.

On va donc effectuer le calcul dans le référentiel de la navette. Le Quest sera donc fixe (problème statique) avec des forces volumiques de quatre fois son poids volumique. Ce qui revient dans ANSYS à prendre en compte la gravité en multipliant par quatre la masse volumique.

La procédure AnsysWorkbench de l'analyse statique:

Le logiciel Ansys est un pack qui contient plusieurs outils et logiciels pour différentes fonctions. AnsysWorkbench (Version 19.2) est celui qu'on va utiliser dans notre modélisation. Il est au centre de l'environnement de simulation Ansys. Il facilite la saisie des entrées pour la résolution de calculs, et peut diriger l'utilisateur vers les différents outils du pack Ansys, en fonction du système d'analyse choisi.

En lançant AnsysWorkbench, on se trouve devant une interface utilisateur uniforme, en haut se trouvent les options d'enregistrement, d'affichage, et encore plus, à gauche on trouve la boîte à outils qui contient la liste d'une multitude des systèmes d'analyse (Figure 23) qu'on peut modifier. La majorité de l'interface contient un espace vide appelée schéma du projet, où l'on peut voir l'avancement de notre projet (ou de nos projets). En bas de l'écran se trouve la partie où peuvent s'afficher les messages d'erreur.

AnsysWorkbench ne dispose pas de l'option Annuler, donc il est impératif d'enregistrer son projet après chaque étape de la simulation.

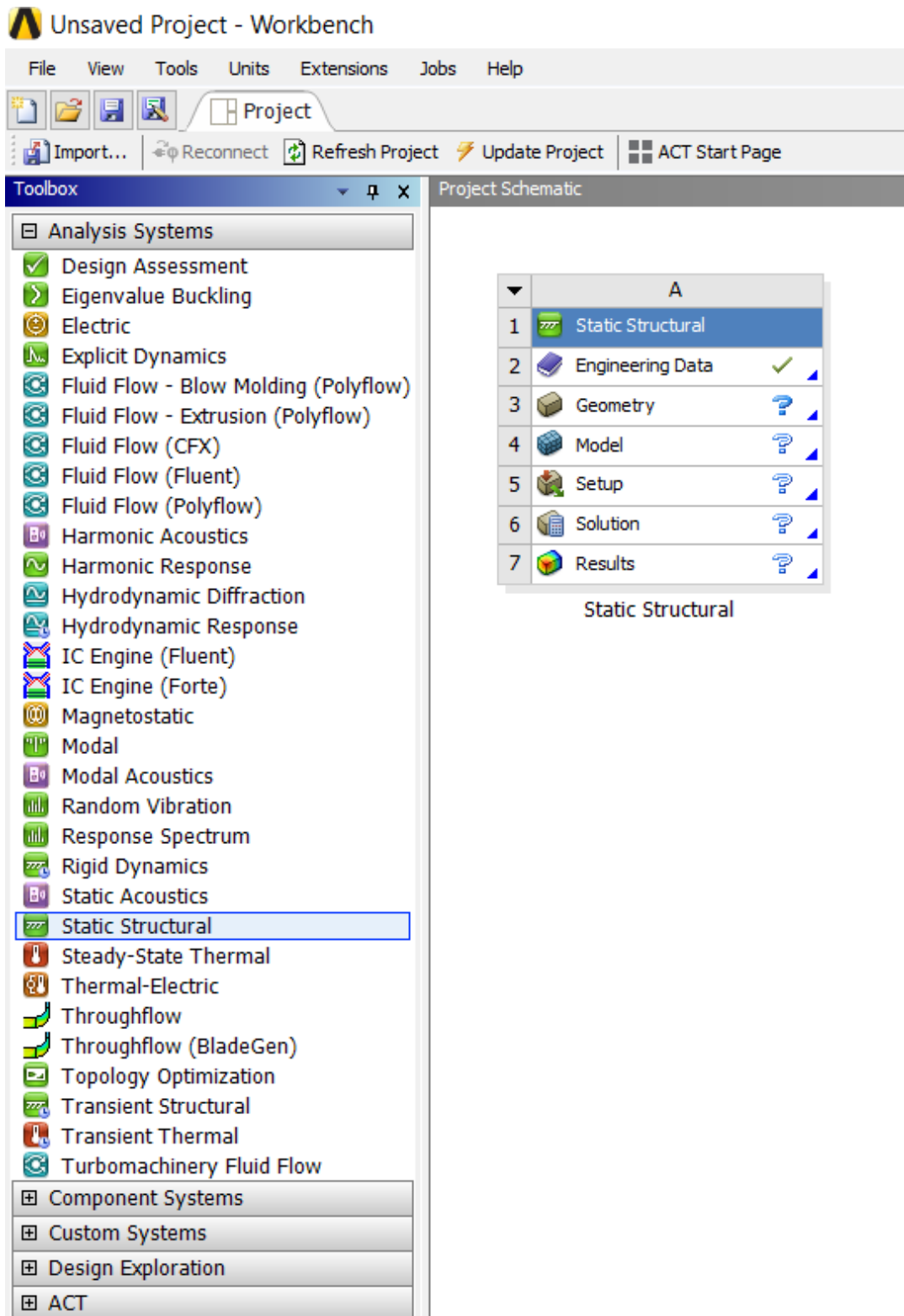


Figure 23: workbench systèmes d'analyse

Simulation du Sas Quest:

La simulation a été réalisée pour deux versions du sas Quest : une sans raidisseurs (structure non renforcée) et une avec raidisseurs (structure renforcée). L'objectif est de comparer l'influence des raidisseurs sur la réponse élastique de la structure pendant la phase de lancement.

3.1 : Choix du matériau :

Maintenant on doit choisir le matériau de notre structure. Avec un clic droit de la souris sur l'étape Données matériaux, on voit apparaître un menu où l'on clique sur éditer. La fenêtre qui apparaît est un tableau de différents matériaux avec leurs propriétés. Dans notre cas, le matériau du Quest n'est pas disponible dans ce tableau. On ajoute donc un nouveau matériau (Aluminium 2219)

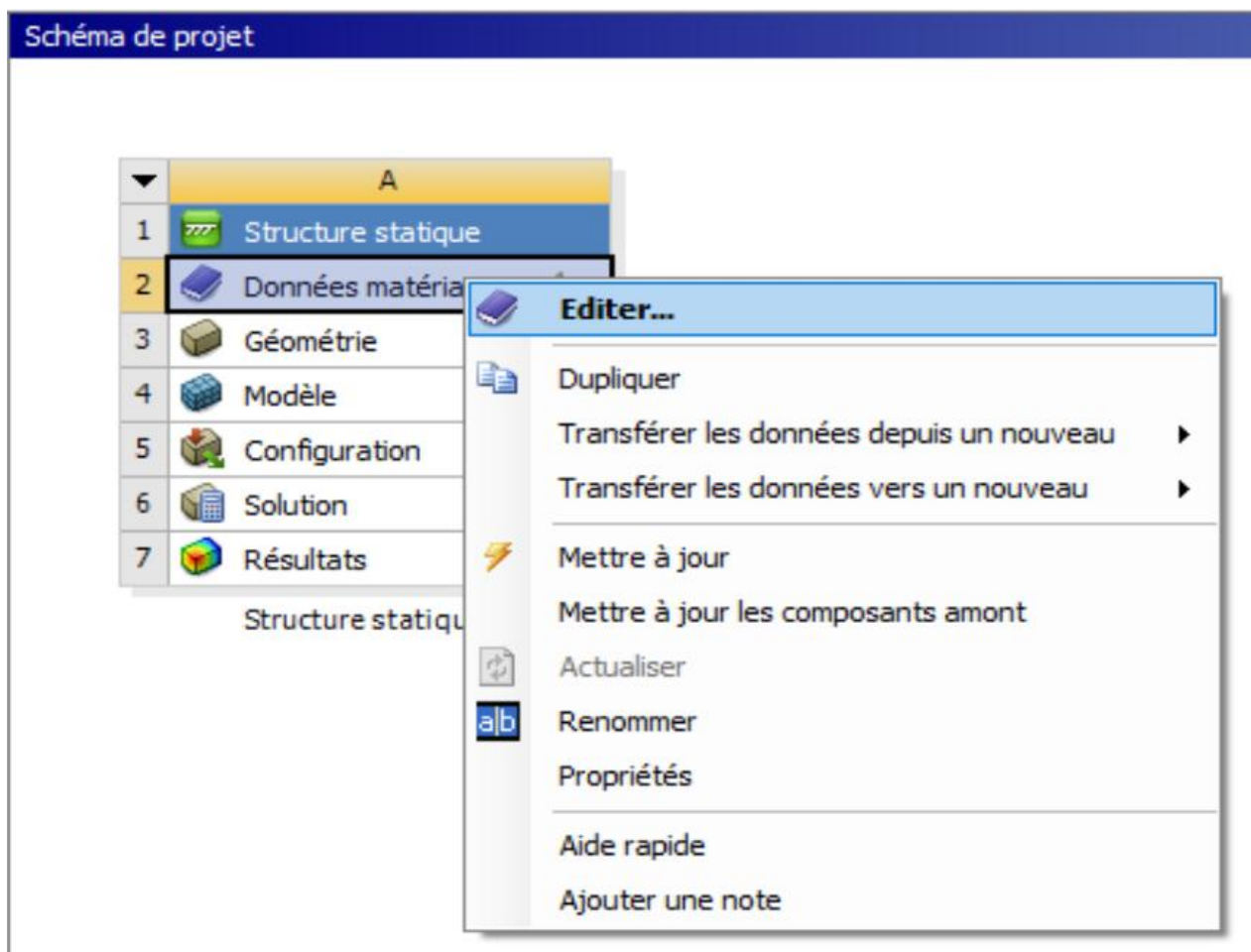


Figure 24 : éditer les données de materiau

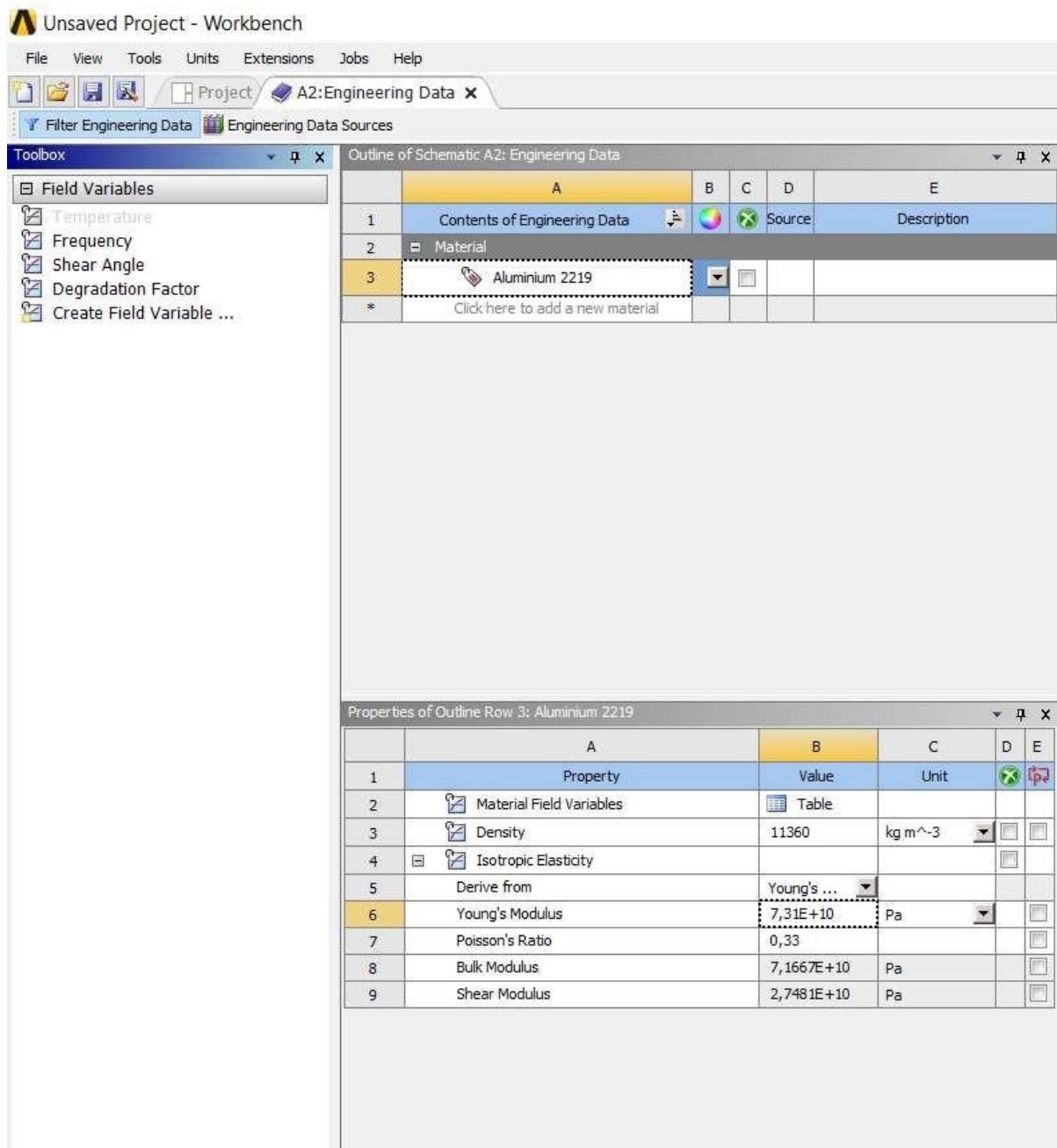


Figure 25: propriétés d'aluminium 2219

On fait entrer la masse volumique, le module de Young et le coefficient de Poisson de l'aluminium 2219, il faut faire attention aux unités

Remarque:

Pour tenir compte des forces d'inertie, on multiplie par 4 la masse volumique. On introduit donc 11360 au lieu de 28400/3

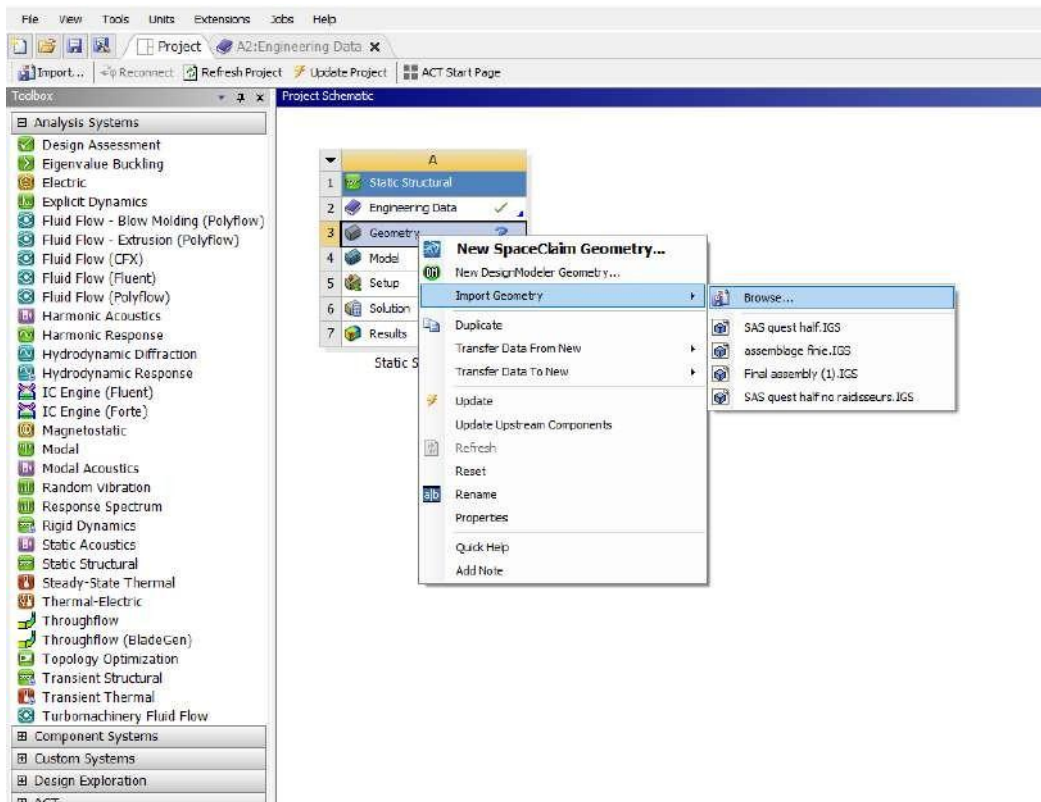


Figure 26 : importation de la géométrie

Ansyes a des logiciels dans son pack qui permettent de faire des conceptions, mais notre conception a été faite avec Solidworks. AnsysWorkbench nous offre la possibilité d'importer des géométries. Dans l'étape de Géométrie, on clique, avec le bouton droit de la souris, sur importer la géométrie dans le menu qui apparait (Figure24).AnsysWorkbench supporte plusieurs formats de fichiers:STEP,IGES...etc.

Quand on voit une icône verte apparaitre devant l'étape Géométrie dans la cellule, on peut passer à la prochaine étape.

L'étape suivante s'appelle Modèle et nous permet de visualiser notre géométrie et insérer les données manquantes.En cliquant sur Modèle puis Editer(Figure26),un nouvel outil s'ouvre qui s'appelle AnsysMechanical, la simulation va se produire dans ce dernier.

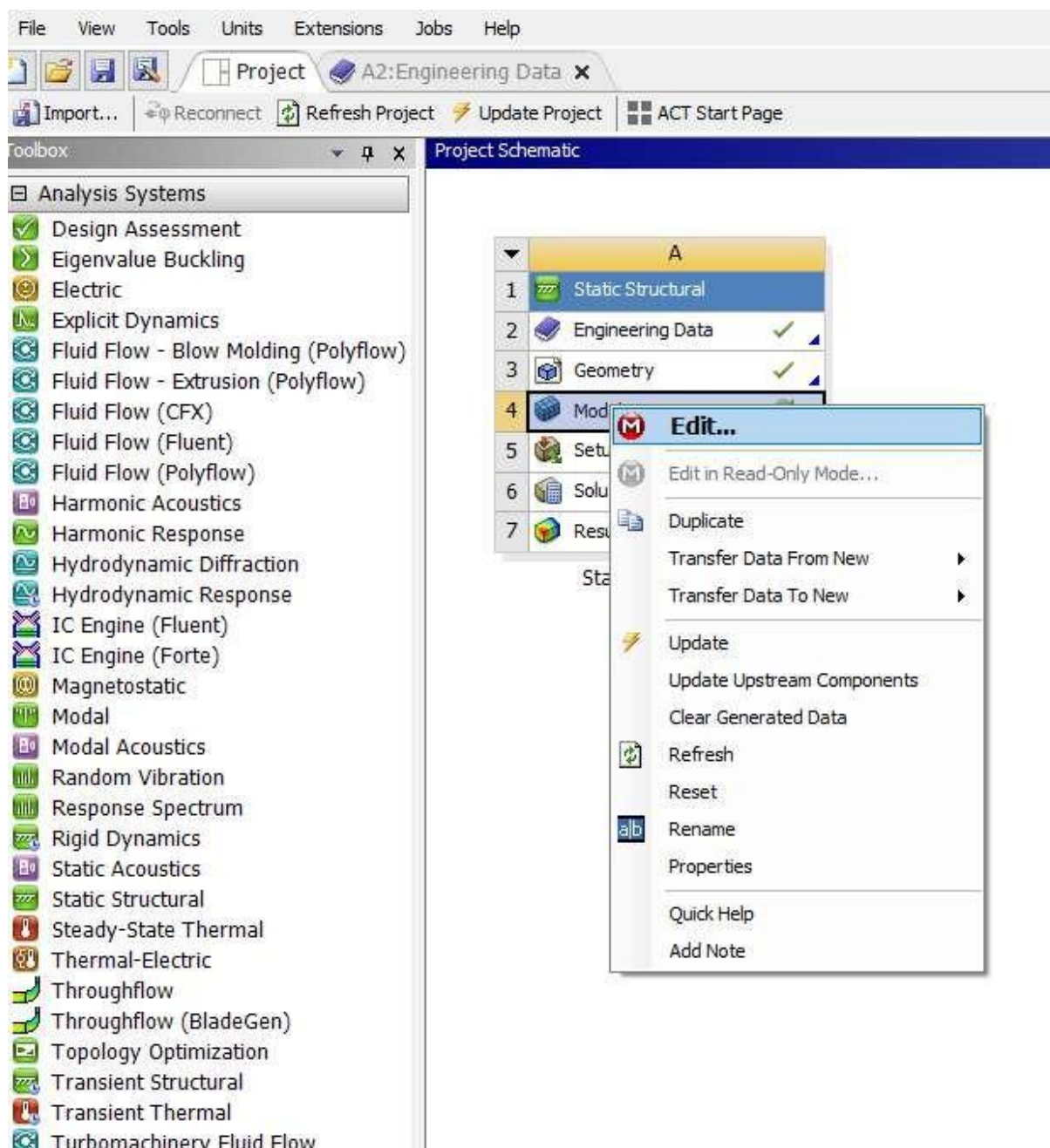


Figure 27: Editer le modèle

Quand la fenêtre d'AnsysMechanical s'ouvre, on peut voir notre géométrie importée. En remarque qu'elle est disposée verticalement (suivant l'axe z) de la même manière que dans la navette spatiale (Figure 28). En haut de la fenêtre se trouve une bande d'options d'affichage, d'unité, de sélection, de résolution et encore plus. On remarque aussi qu'à gauche se trouve les détails du projet, et de son état d'avancement

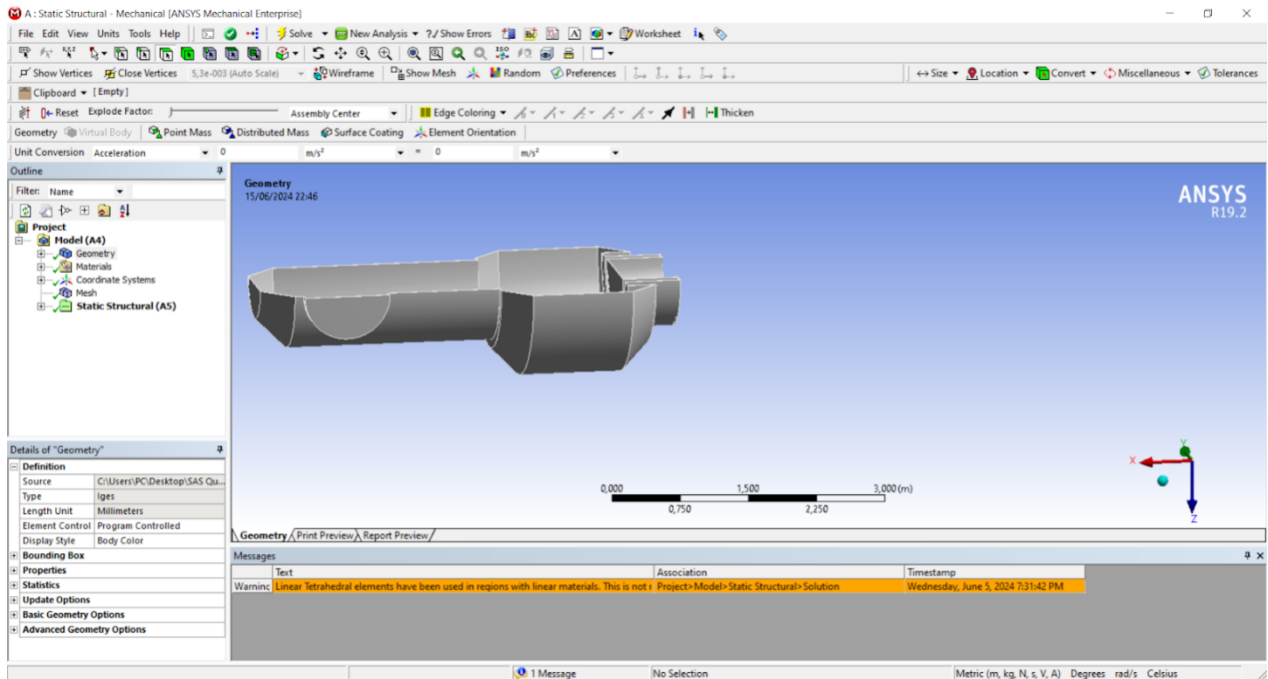


Figure 28: La géométrie importée dans AnsysMechanical

On doit aussi assigner un matériau à la géométrie. On clique sur Géométrie, puis sur les pièces une par une, on voit un tableau de détails avec une icône jaune, on choisit notre matériau aluminium 2219 (Figure 29).

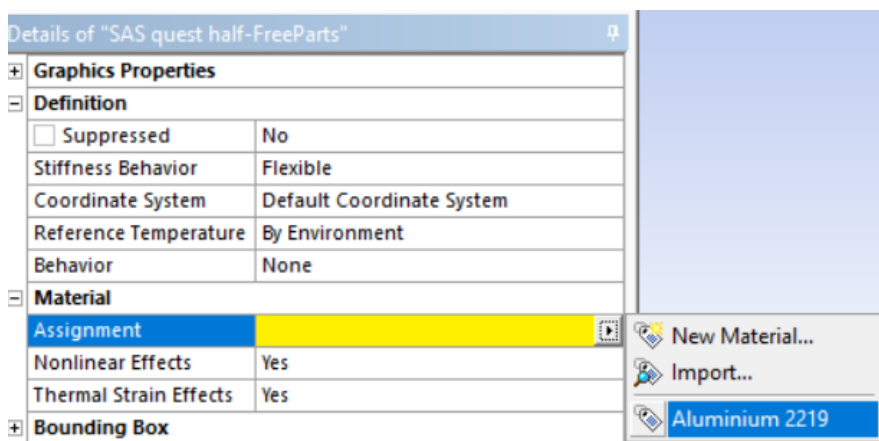


Figure 29: Assignation du matériau à la géométrie

Avant de continuer, on vérifie si on est sur le système d'unités souhaité, en cliquant en haut sur Unités (Figure 30).

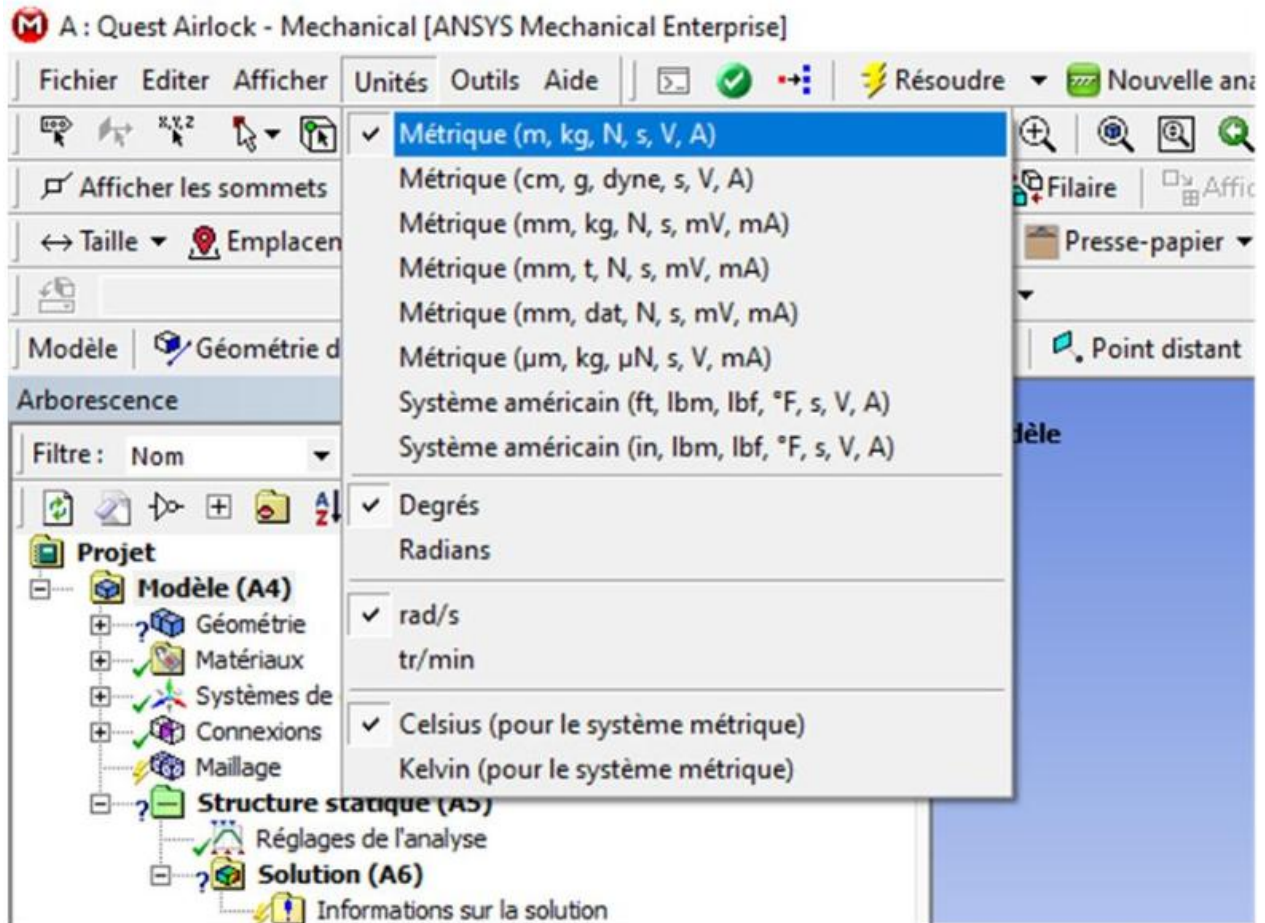


Figure 30: Choisir le système d'unités

Il est essentiel de créer un maillage pour effectuer la modélisation avec n'importe quel projet d'Ansys. Pour ce faire, il suffit de cliquer sur l'option "maillage" dans les détails du projet. Les options sont réglées sur le tableau Détails de maillage (Figure 31). Un maillage linéaire et quadratique ont été sélectionnés.

Programme comportant des éléments prédéfinis et une résolution de 4 pour obtenir un maillage sophistiqué. Ensuite, on sélectionne l'option Générer un maillage en cliquant sur le bouton droit (Figure 32).

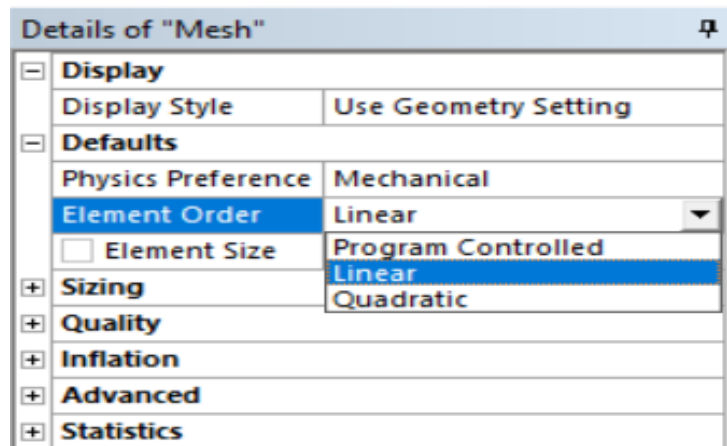


Figure 31: Types de maillages

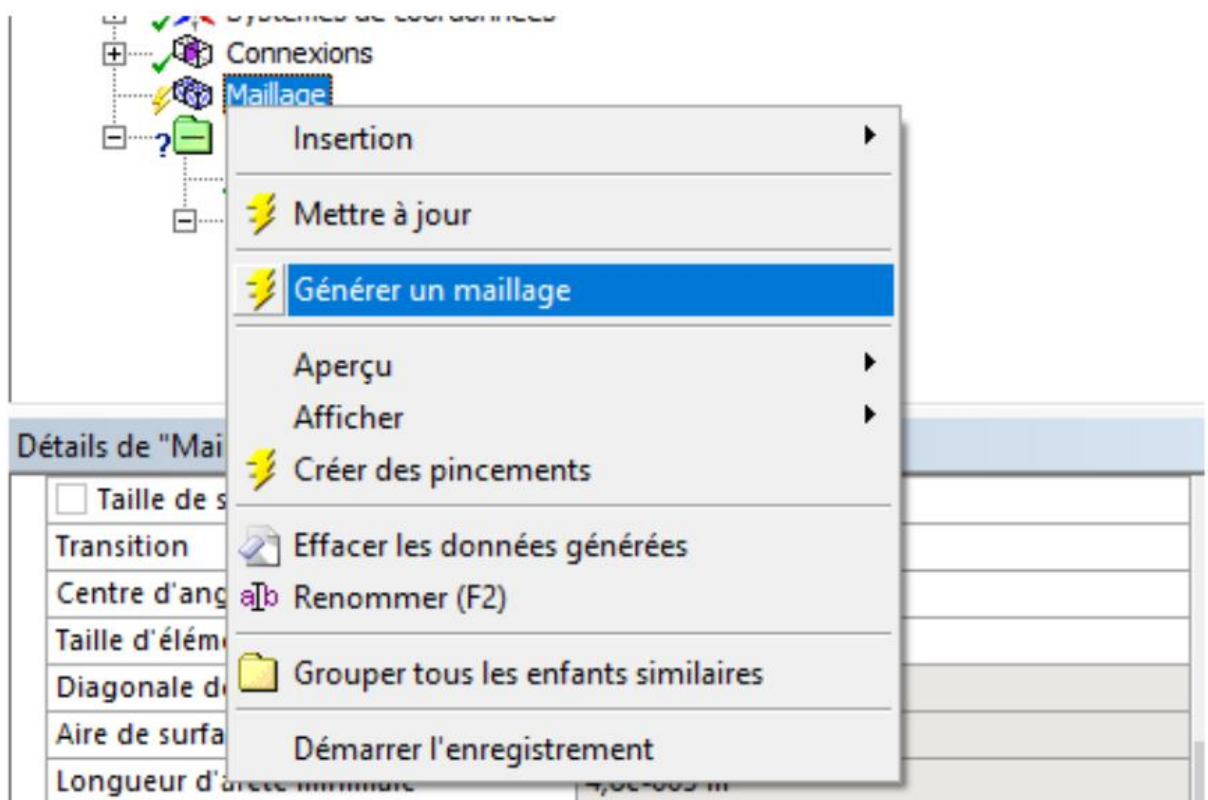


Figure 32: Générer un maillage

Les figures 33, 34 et 35 illustrent le maillage produit.

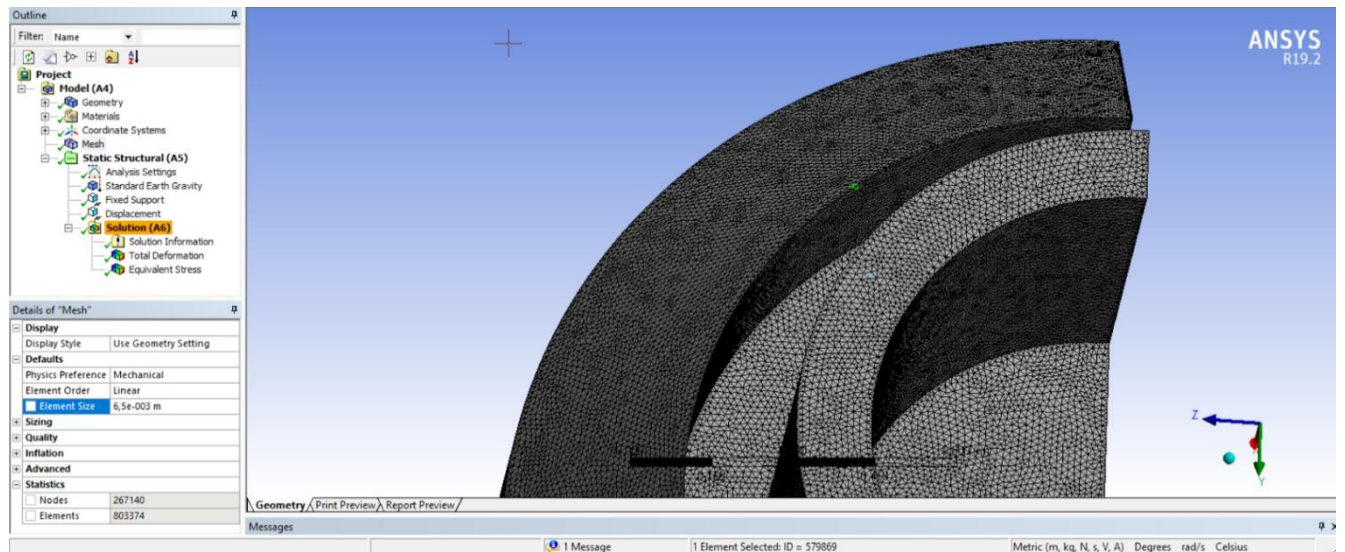


Figure 33: Exemple de maillage

Afin de connaître le nombre d'éléments et de nœuds, il suffit de cliquer sur la rubrique statistique dans le tableau de détails du maillage. Il y a 803374 éléments et 267140 nœuds dans notre maillage de taille d'éléments 0.0065(Figure 34).

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Linear
Element Size	6,5e-003 m
Sizing	
Quality	
Inflation	
Advanced	
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	267140
<input type="checkbox"/> Elements	803374

Figure 34: Exemple du taille d'éléments de maillage

À présent, il est nécessaire d'inclure le chargement extérieur ainsi que les conditions aux limites. Il vous suffit de sélectionner la option Structure statique, puis d'effectuer l'insertion, puis de sélectionner les conditions qui correspondent au cas étudié (Figure 35).

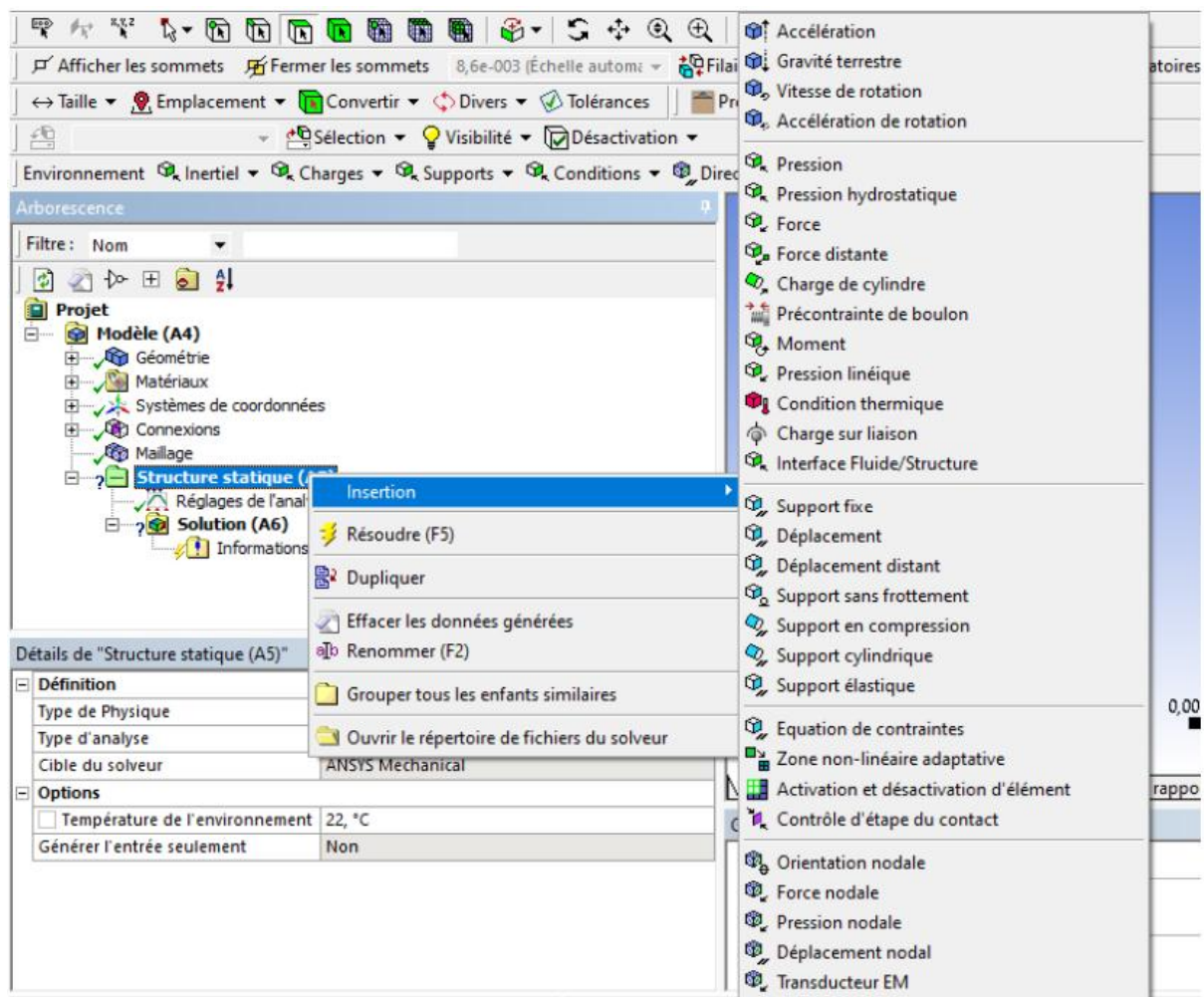


Figure 35: Insertion des condition statique

Pour prendre en considération la gravité, il vous suffit de sélectionner la Gravité terrestre. Les seuls efforts surfaciques sont causés par le contact avec la navette dans les conditions aux limites. On ne connaît pas les détails de ce contact, c'est-à-dire le mode précis de fixation du Quest sur la navette.

Pour faciliter la compréhension, nous avons supposé que sa partie inférieure est encastrée. Afin d'inclure l'encastrement, il suffit de sélectionner la option Structure statique, puis d'effectuer une insertion, puis de choisir un support fixe. La surface concernée est choisie (Figure 36).

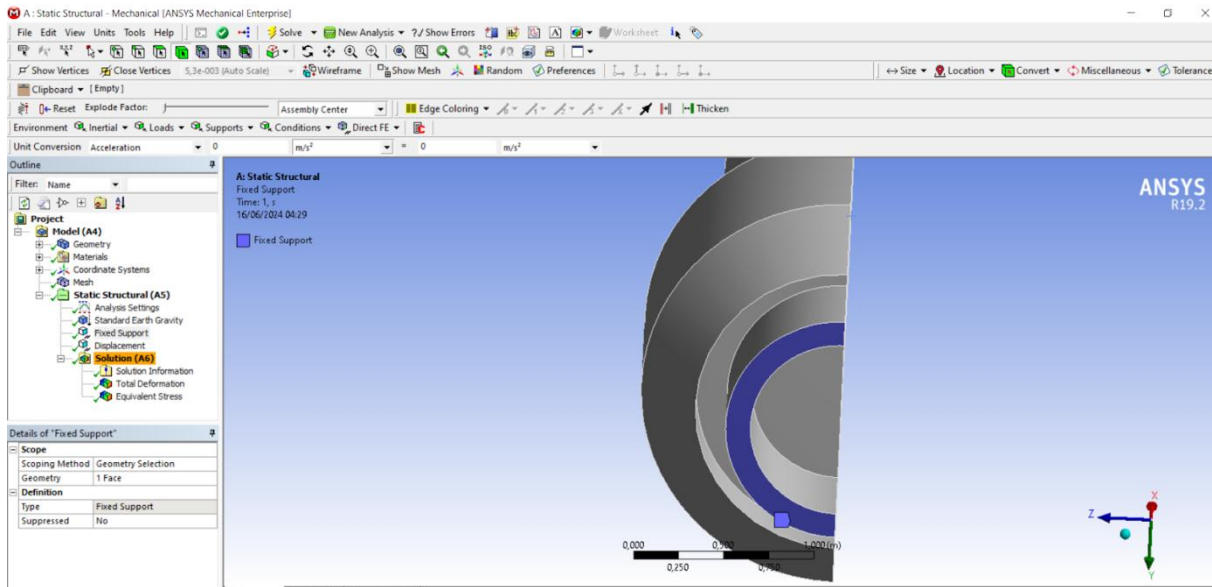


Figure 36: Support fixe

Les conditions aux limites et le chargement volumique sont représentés sur la Figures37

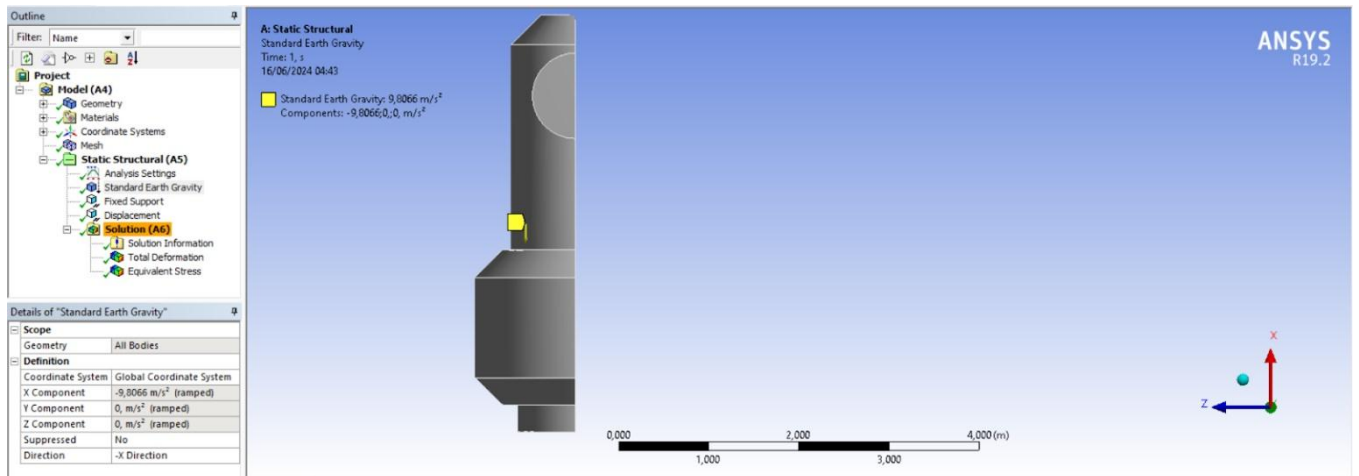


Figure 37: Graviatationterreste

On ajoute le déplacement sur la coque $u_z = 0$ sur le plan de symétrie pour respecter la symétrie de la pièce.

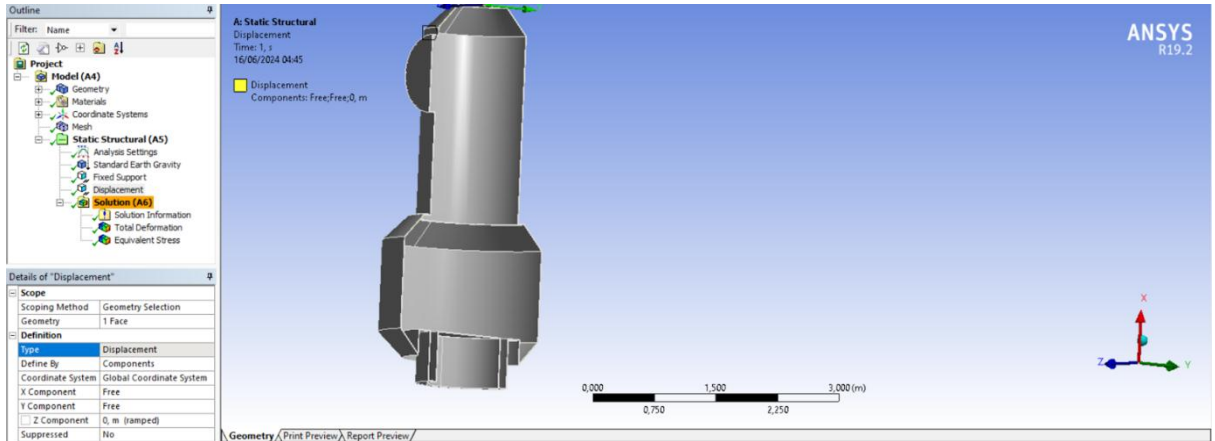


Figure 38: Displacement $u_z = 0$

Après avoir vérifié qu'il y a une icône verte devant chaque étape, il est possible de procéder à la résolution du problème en cliquant sur la bouton Structure statique puis Résoudre (Figure39).

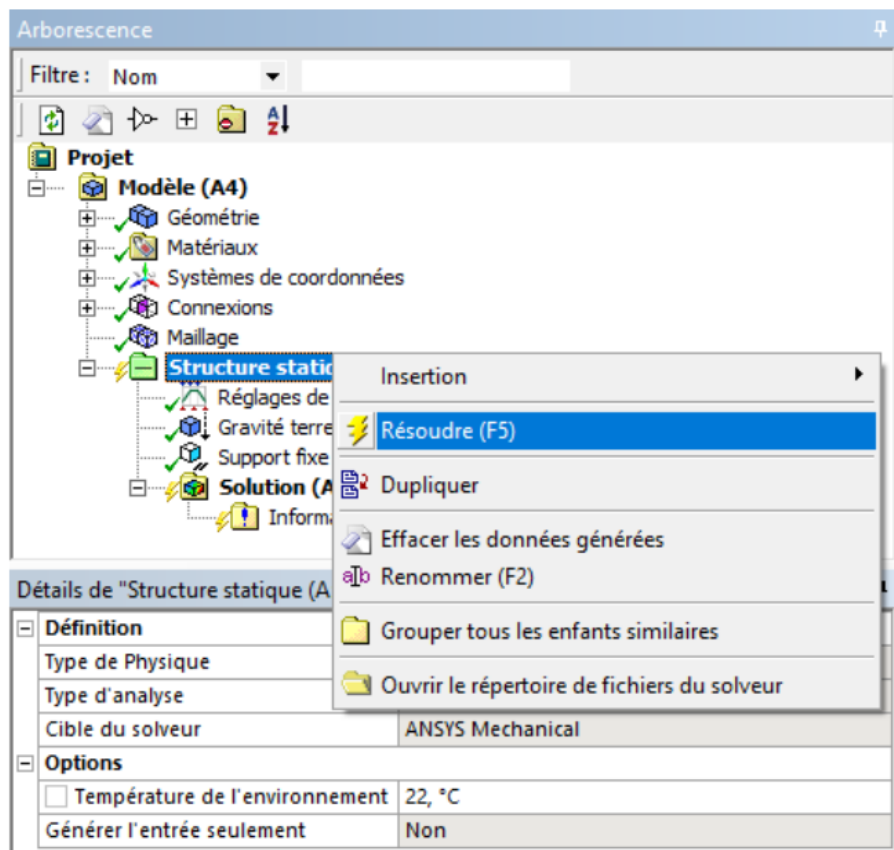


Figure 39: Résolution du structure statique

Maintenant qu'il y a une icône verte devant toutes les étapes, ça veut dire que notre problème est résolu et il nous reste qu'à afficher les résultats désirés (Figure 40).

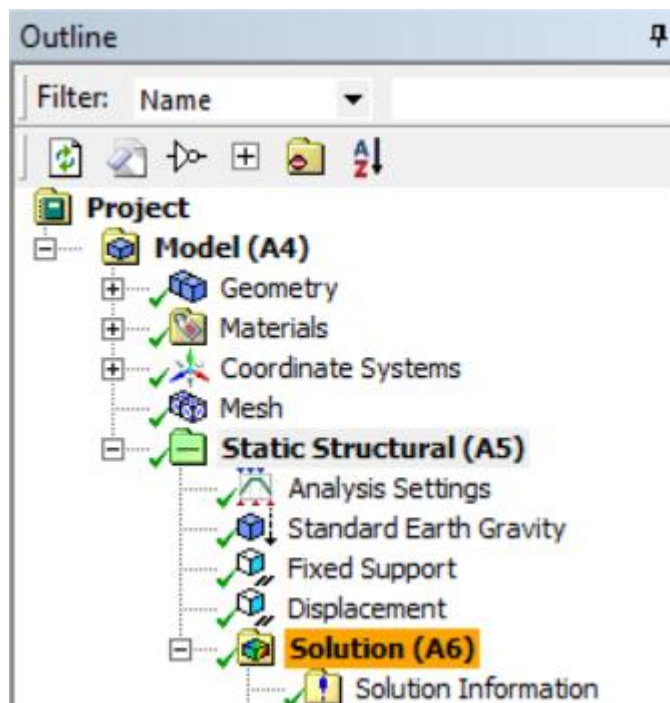


Figure 40: Solution trouvé

Dans la section Solution, on sélectionne l'option d'insertion, puis on sélectionne les résultats que l'on souhaite afficher comme la déformation totale (Figure 41).

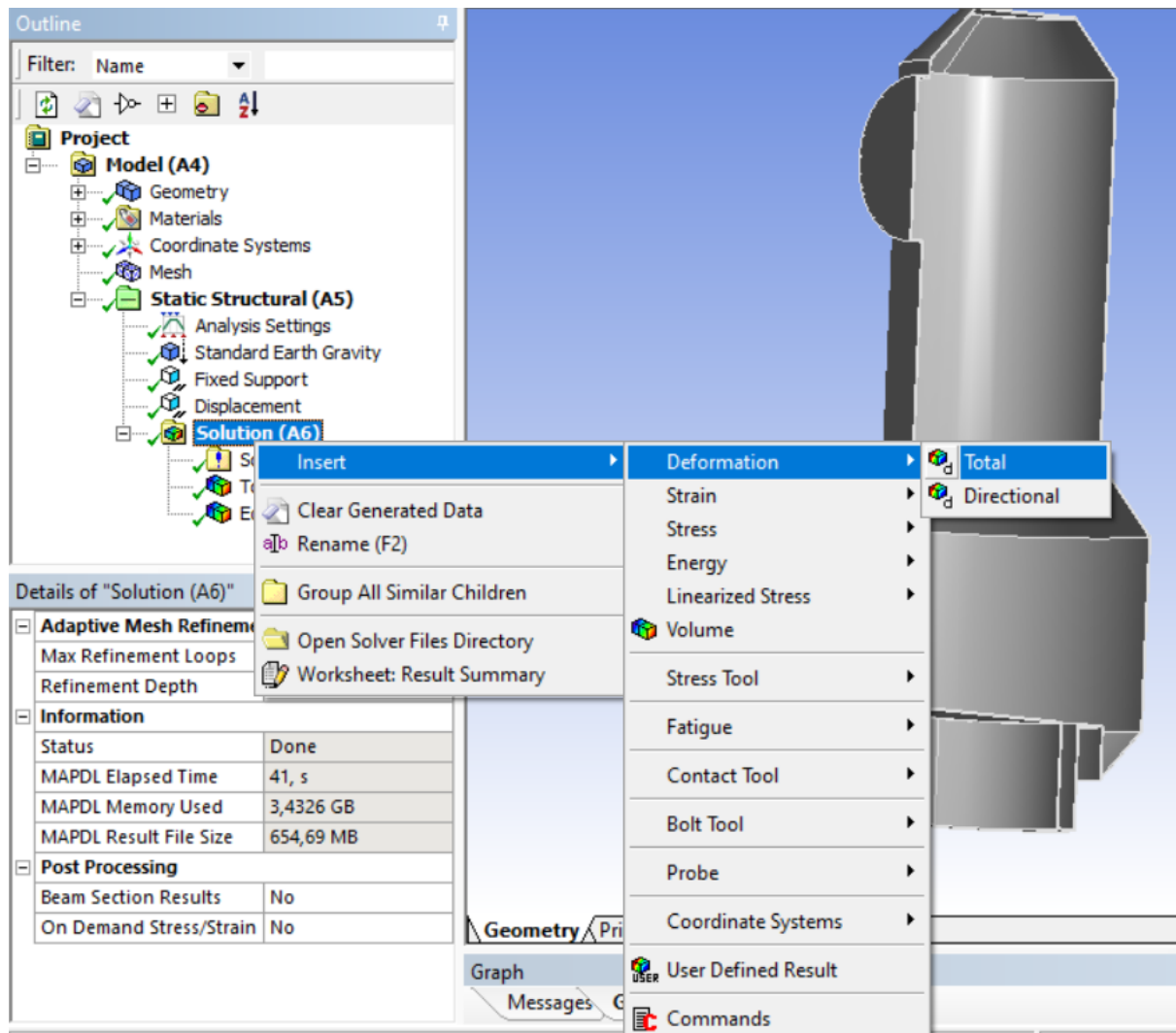


Figure 41: Insertion du déformation totale

Ensuite, on appuie sur chaque résultat et on choisit une option d'évaluation de tous les résultats (Figure 42). Les résultats détaillés seront exposés dans le chapitre suivant.

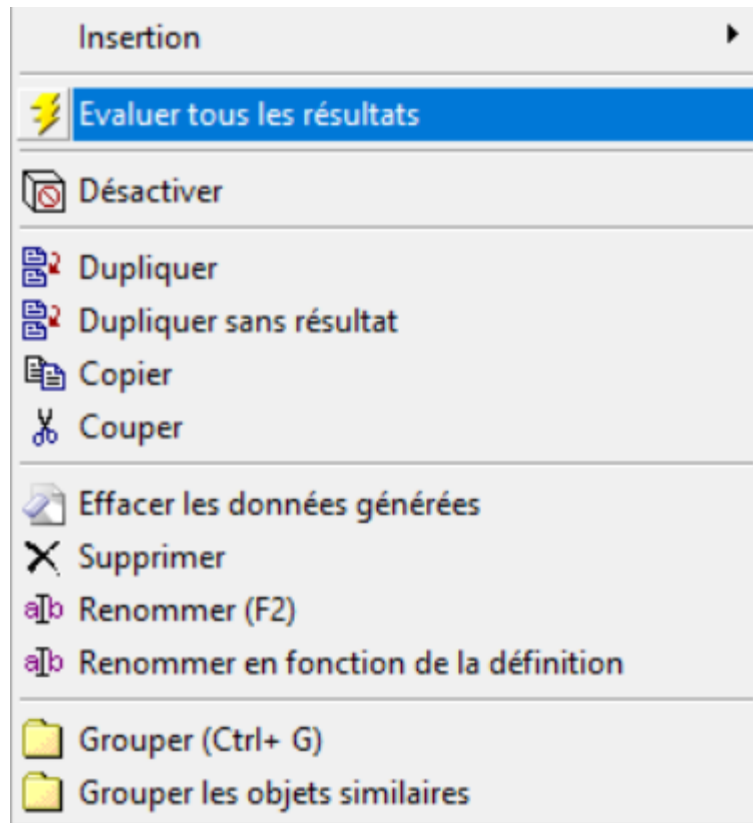


Figure 42: Evaluation des résultats

3.2 Analyse statique de la structure renforcée :

Afin de réaliser l'analyse statique de la structure renforcée, les mêmes étapes ont été suivies. La structure renforcée (Figure 43) a été importée sur Ansys.

Les données de matériaux utilisées pour l'analyse précédente (Masse volumique = $4\rho = 11360\text{Kg/m}^3$) et les mêmes conditions aux limites ont été appliquées.

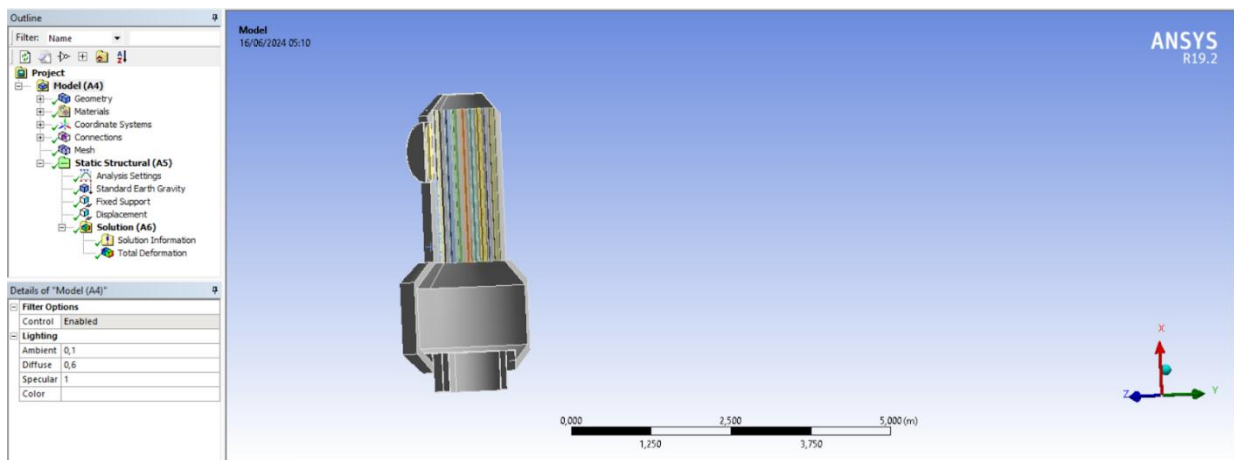


Figure 43: étude de la pièce renforcée dans ANSYS

Details of "Mesh"	
[-] Display	
Display Style	Use Geometry Setting
[-] Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Quadratic
<input type="checkbox"/> Element Size	6,5e-003 m
+ Sizing	
+ Quality	
+ Inflation	
+ Advanced	
[-] Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	1599504
<input type="checkbox"/> Elements	803219

Figure 44: Exemple de maillage quadratique de la pièce renforcée dans ANSYS.

Le processus d'analyse modale à l'aide de l'AnsysWorkbench :

L'analyse modale consiste à identifier les fréquences et les modes de vibration spécifiques d'une structure. Les deux structures élaborées dans le chapitre 2 seront analysées.

4.1 : Analyse modale de la structure non renforcée :

Cette analyse est réalisée en sélectionnant le système d'analyse modale de la boîte à outils. Le matériau et les données sont ajoutés, puis un maillage est créé avec le même nombre.

Les conditions auxquelles cette analyse est limitée sont constituées d'un encastrement sur la surface inférieure de la structure (Figure 45). Ensuite, il est nécessaire de spécifier le nombre maximal de modes que l'on souhaite calculer, dans notre situation, nous avons opté pour 10 modes (Figure 46).

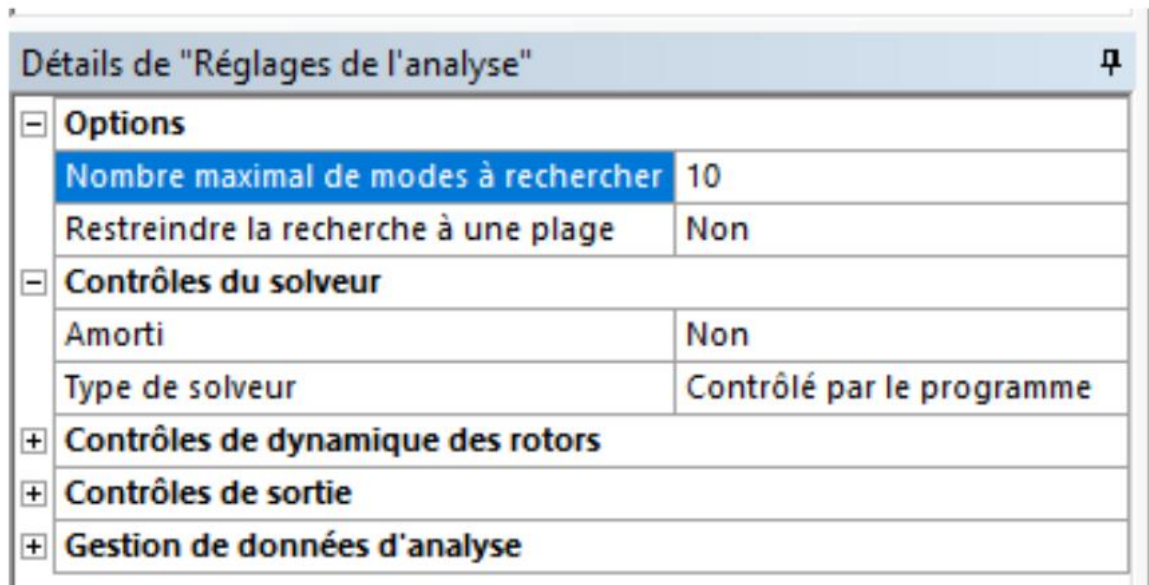


Figure 45: Configuration d'analyse modale

Suite à la résolution, une plage de fréquences est obtenue (Figure 45), et les modes de déplacement sont créés en cliquant droit sur les données tabulaires (Figure 46).

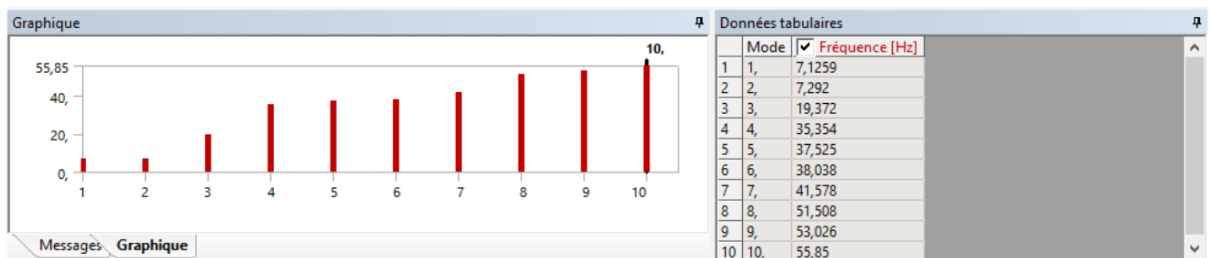


Figure 46: Plage des fréquences de l'analyse modale

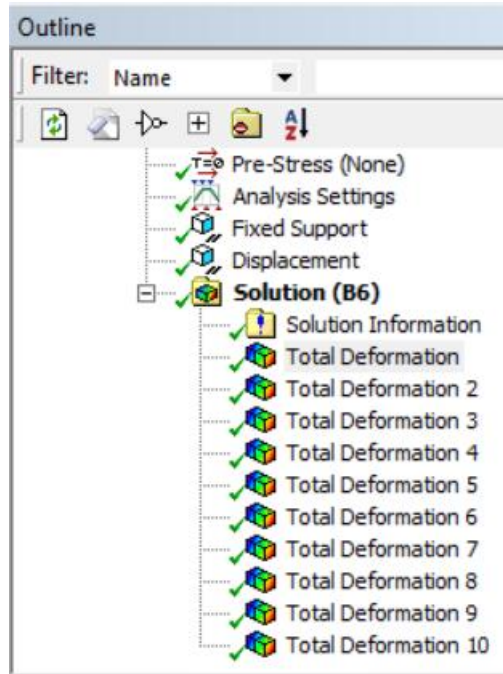


Figure 47: Résultats de l'analyse modale évalués

4.2 : L'analyse modale de la structure renforcée :

On suit les mêmes étapes que celle de la structure non renforcée, à savoir le choix du matériau, l'importation de la géométrie, le maillage et les paramètres.

Dans des conditions limites, dix modes de vibration ont été sélectionnés.

Chapitre III

Résultat et discussion

1. Introduction

Dans ce chapitre, on présentera ce qui suit:

- Les résultats obtenus par nos calculs pour les structures renforcée et non renforcée pour les deux calculs : statique et analyse modale.
- Pour chaque structure on réalise deux types de maillage : linéaire et quadratique. Pour chaque type on effectue une étude de convergence.

2. Résultats obtenus :

Nous avons effectuée pour les deux types de structures, pour chaque type d'élément, et pour chaque analyse, plusieurs calculs, en faisant varier le nombre d'éléments. Nous présentons dans ce paragraphe les isovaleurs de la contrainte de Von Mises et de la déformation totale comme exemples pour un choix particulier du nombre d'éléments.

2.1 Analyse statique

2.1.1 La structure non renforcée-éléments linéaire :

Le maillage contient 59550 éléments linéaires.

On présente la contrainte équivalente de Von Mises. Sa valeur maximale est de 5.15 MPa (Figure 48).

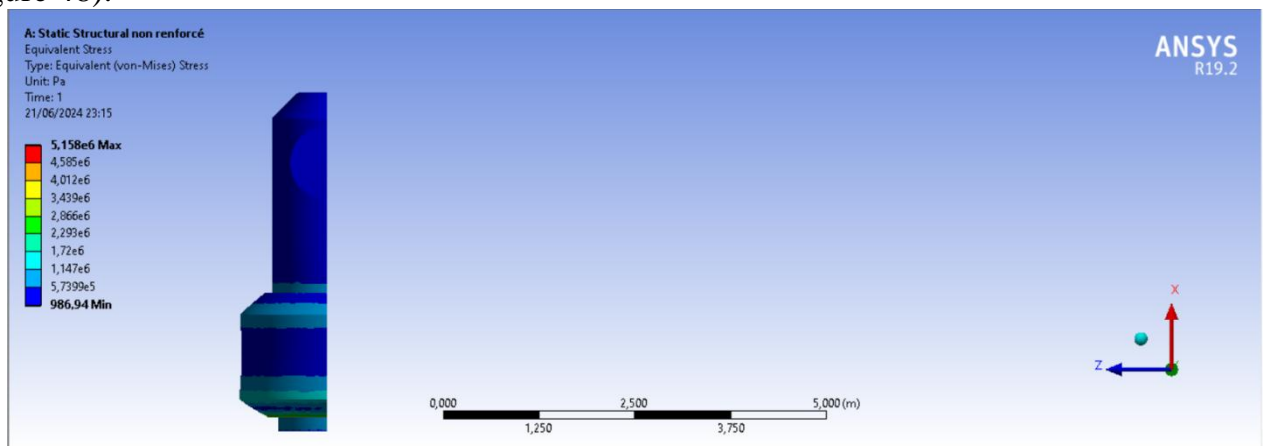


Figure 48 : Structure non renforcée-éléments linéaire , contrainte de von mises

On présente la déformation totale. Sa valeur maximale est de $2,03e-004$ (Figure 49).

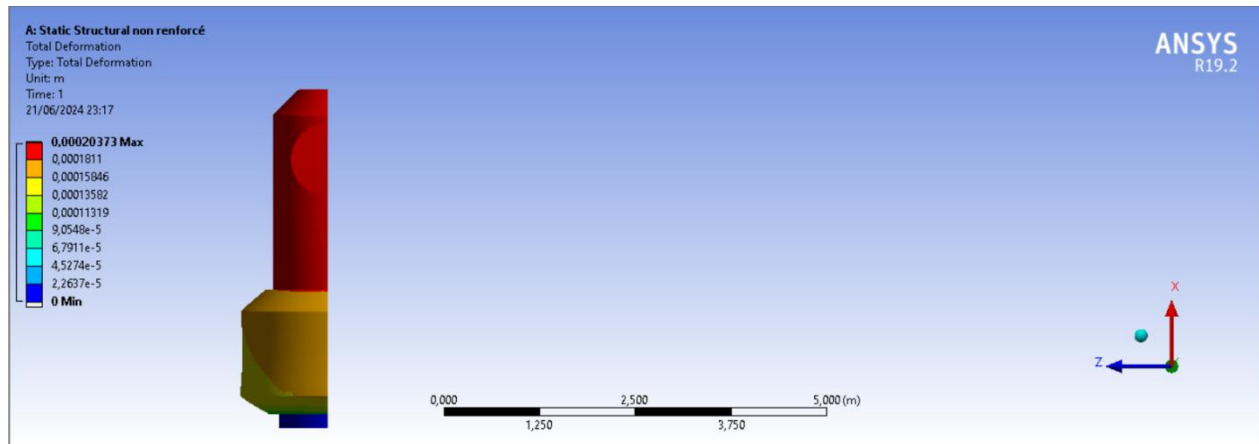


Figure 49 : Structure non renforcée-éléments linéaires ,déformation totale

2.1.2 La structure renforcée-éléments linéaires :

Le maillage contient 176100 éléments linéaires.

On présente la contrainte équivalente de Von Mises. Sa valeur maximale est de $2,46e+007$ Pa (Figure 50).

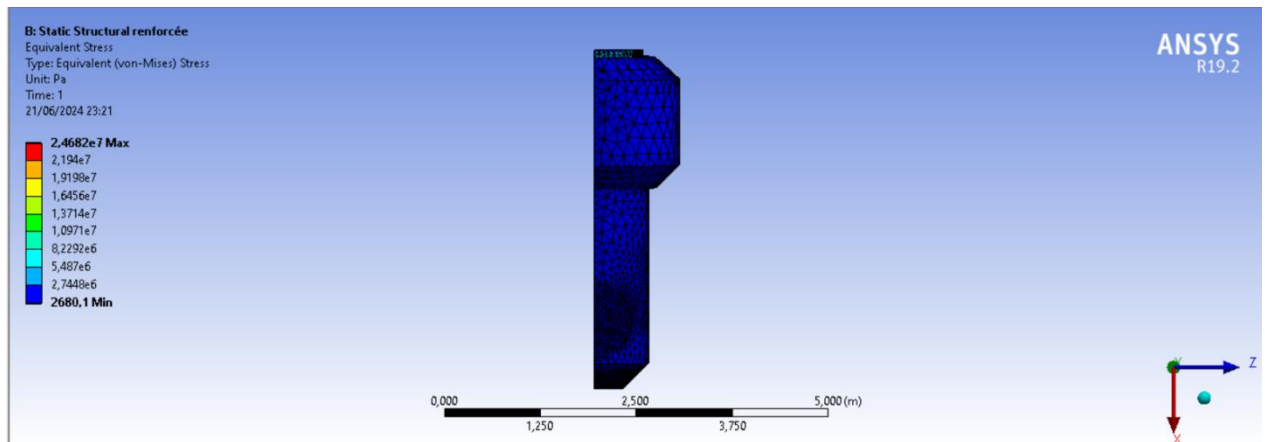


Figure 50 : structure renforcée-éléments linéaire , contrainte de von maises

On présente la déformation totale. Sa valeur maximale est de $4,28e-004$ (Figure 51).

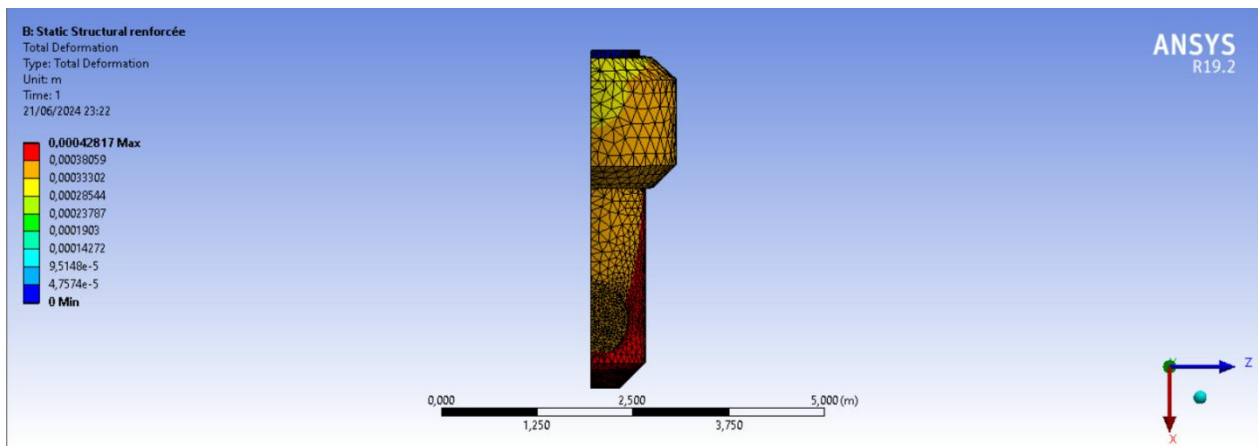


Figure 51 : structure renforcée-éléments linéaire , déformation totale

2.1.3 La structure non renforcée-éléments quadratiques :

Le maillage contient 58972 éléments linéaires.

On présente la contrainte équivalente de Von Mises. Sa valeur maximale est de $3,09\text{e}+007$ Pa (Figure 52).

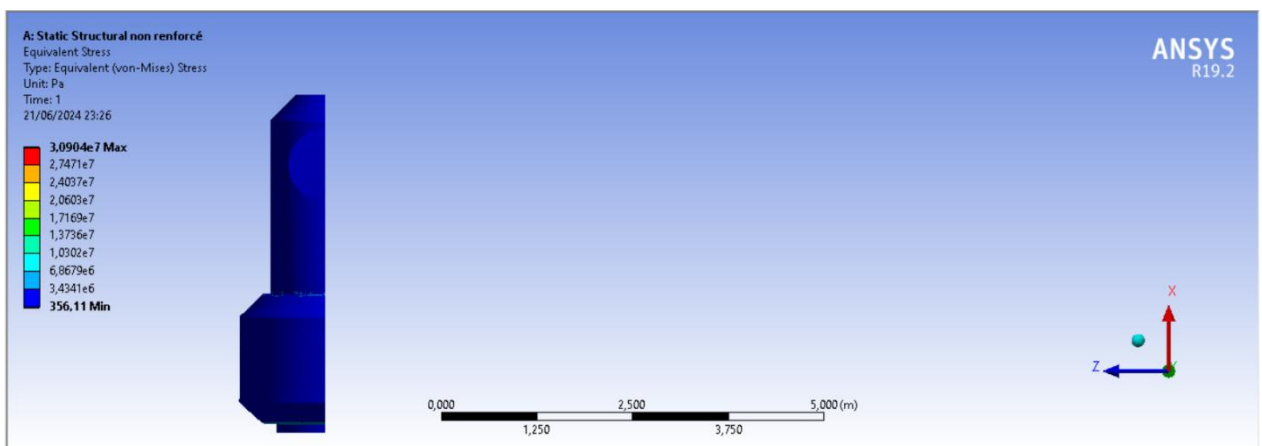


Figure 52 : Structure non renforcée-éléments quadratique , contrainte de Von Mises

On présente la déformation totale. Sa valeur maximale est de $1,20\text{e}-003$ (Figure 53).

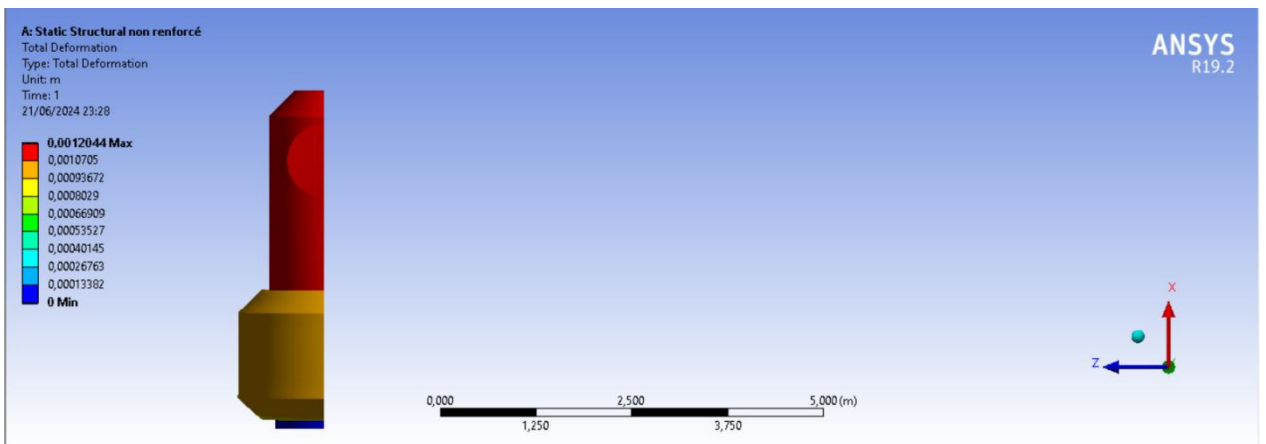


Figure 53 : Structure non renforcée-éléments quadratique ,déformation totale

2.1.4 La structure renforcée-éléments quadratiques:

Le maillage contient 55361 éléments quadratiques.

On présente la contrainte équivalente de Von Mises. Sa valeur maximale est de $1,49e+008$ Pa (Figure 54).

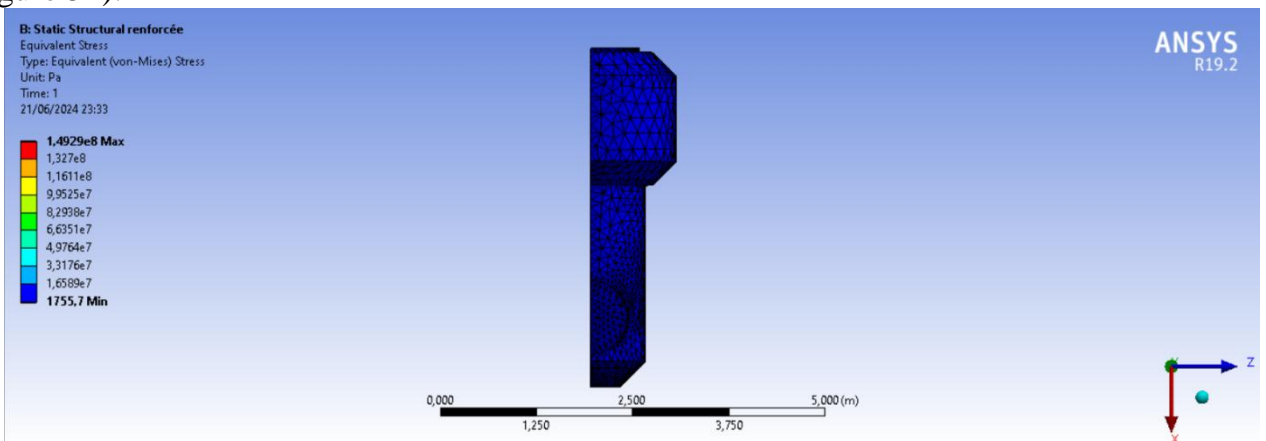


Figure 54 : Structure renforcée-éléments quadratique , contrainte de Von Mises

On présente la déformation totale. Sa valeur maximale est de $2,80e-003$ (Figure 55).

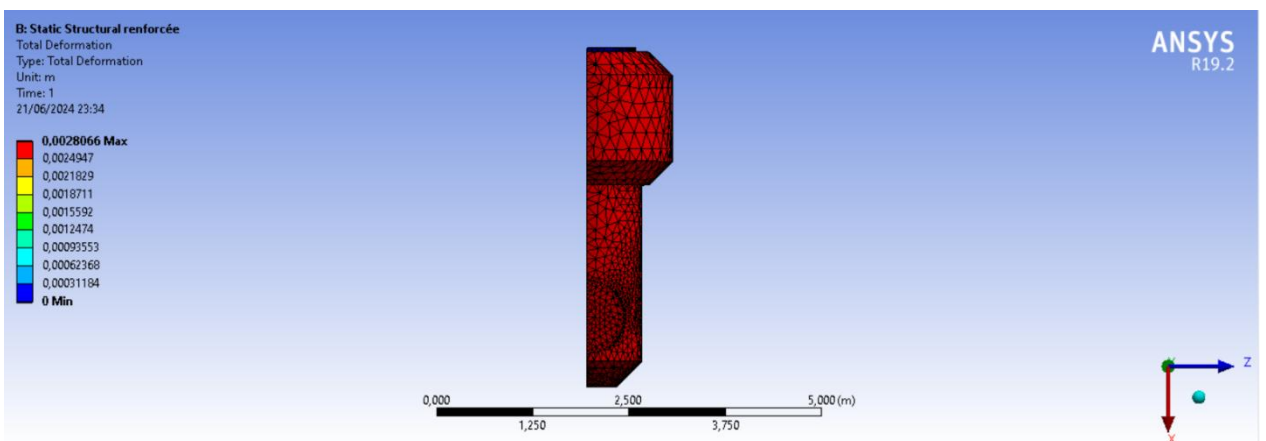


Figure 55 : Structure renforcée-éléments quadratique , déformation total

2.2 Analyse modale

2.2.1 La structure non renforcée- éléments linéaires

Le maillage contient 59550 éléments linéaires.

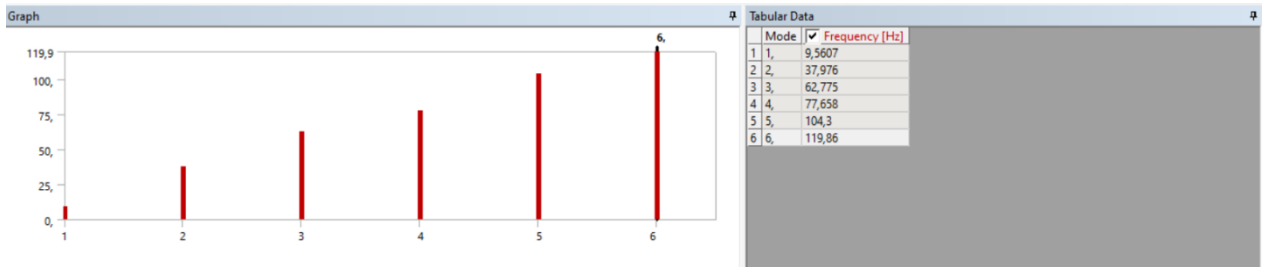


Figure 56 : Structure non renforcée-éléments linéaire , fréquences propres

2.2.2 La structure renforcée linéaire

Le maillage contient 176104 éléments linéaires.

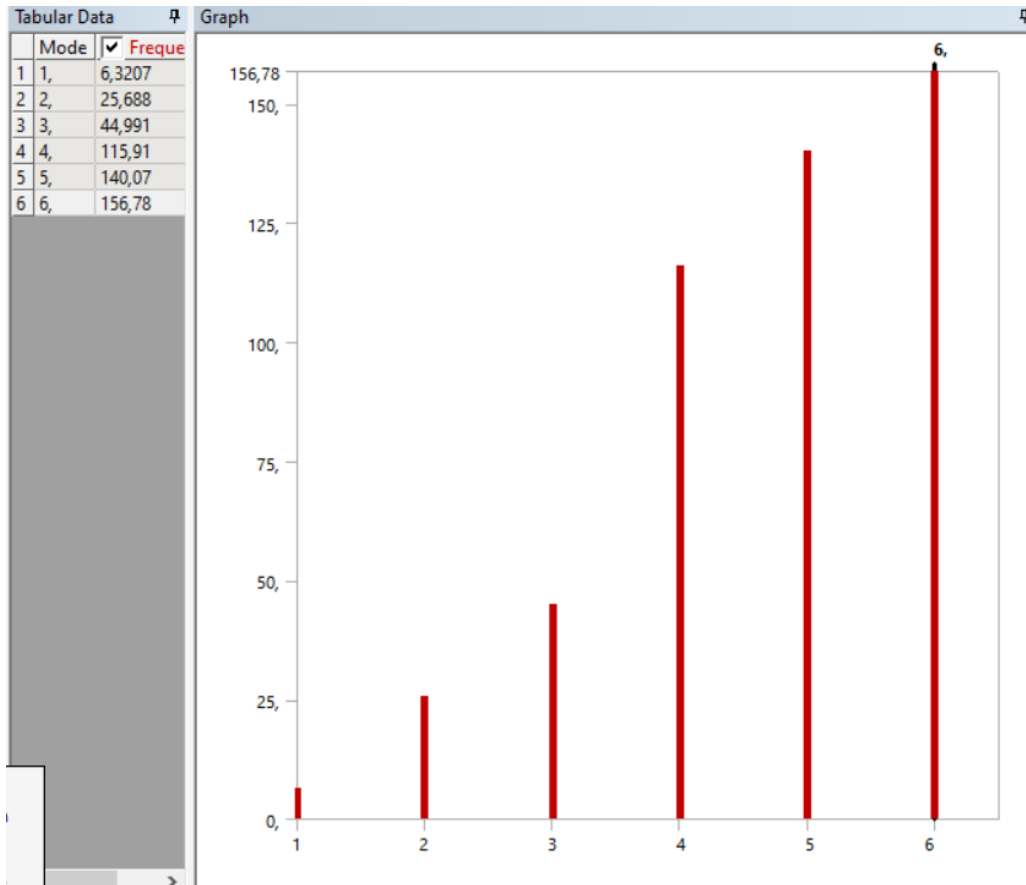


Figure 57 : Structure renforcée-éléments linéaires fréquences propres

2.2.3 La structure non renforcée-éléments quadratiques

Le maillage contient 58972 éléments linéaires.

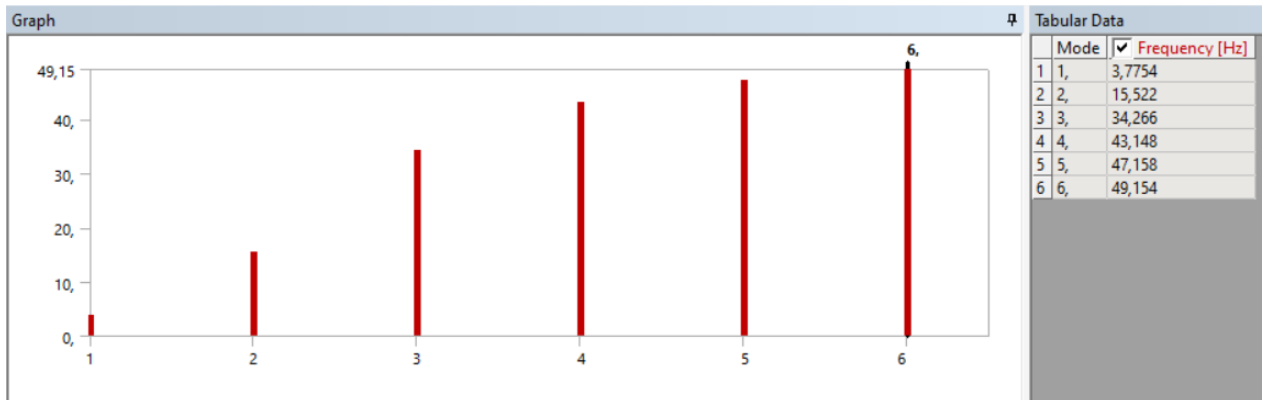


Figure 58 : Structure non renforcée-éléments quadratiques fréquences propres

2.2.4 La structure renforcée-éléments quadratiques:

Le maillage contient 55361 éléments linéaires.

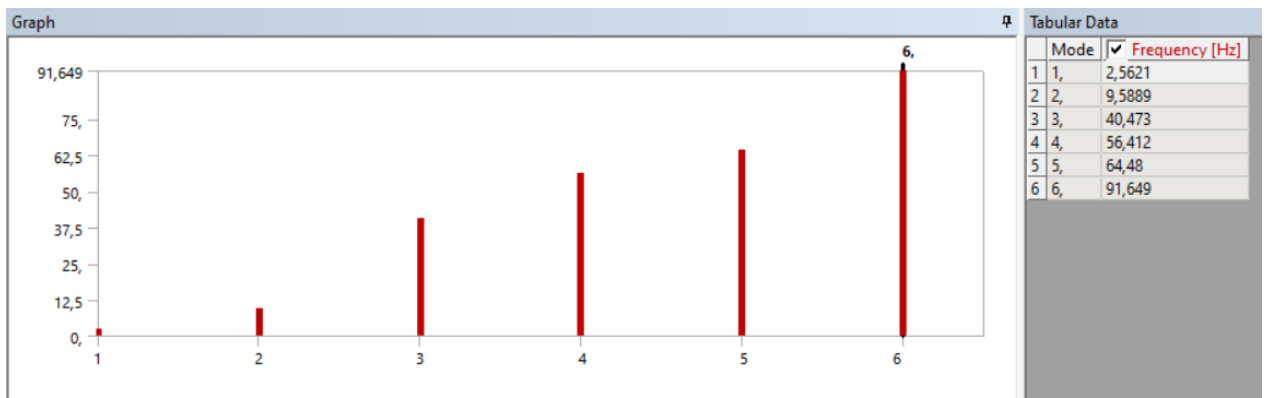


Figure 59 : Structure non renforcée-éléments quadratiques fréquences propres

On récapitule les résultats obtenus dans le Tableau suivant.

	Éléments linéaires			
	Nombre d'éléments	Contrainte de Von	Déformation	Première

		Mises maximale MPa	totale maximale	fréquence propre Hz
Structure non renforcée	59550	5.15	$2.03 \cdot 10^{-4}$	9,5607
Structure renforcée	176100	24.6	$4.28 \cdot 10^{-4}$	6,3207

	Éléments quadratiques			
	Nombre d'éléments	Contrainte de Von Mises maximale MPa	Déformation totale maximale	fréquence propre Hz
Structure non renforcée	58972	30.9	$1.2 \cdot 10^{-3}$	3,7754
Structure renforcée	55361	149	$2.8 \cdot 10^{-3}$	2,5621

Remarques :

- On constate, pour les deux types d'élément, que la contrainte de Von Mises et la déformation totale augmentent pour la structure renforcée et pour les deux types d'élément. C'est logique car la renforcée est plus lourde et est donc plus sollicitée par les forces d'inertie lors du démarrage.
- Par contre si on compare les résultats obtenus pour le même type de structure mais pour des éléments différents, on constate une grande différence. Les contraintes de Von Mises et la déformation totale augmentent d'un ordre de grandeur de 10.
- Pour la première fréquence propre on constate également une grande différence entre éléments linéaire et quadratique. Il y a environ un rapport de 1/3 entre leurs valeurs pour élément linéaire et quadratique.

En conclusion le type d'élément a une grande influence sur les résultats.

3- Étude de Convergence :

Pour la structure non renforcée, et pour chaque type d'élément, et en faisant varier le nombre d'éléments, on présente une les résultats obtenus. Nous avons choisi de présenter la déformation totale.

3.1 structure non renforcée- éléments linéaires:

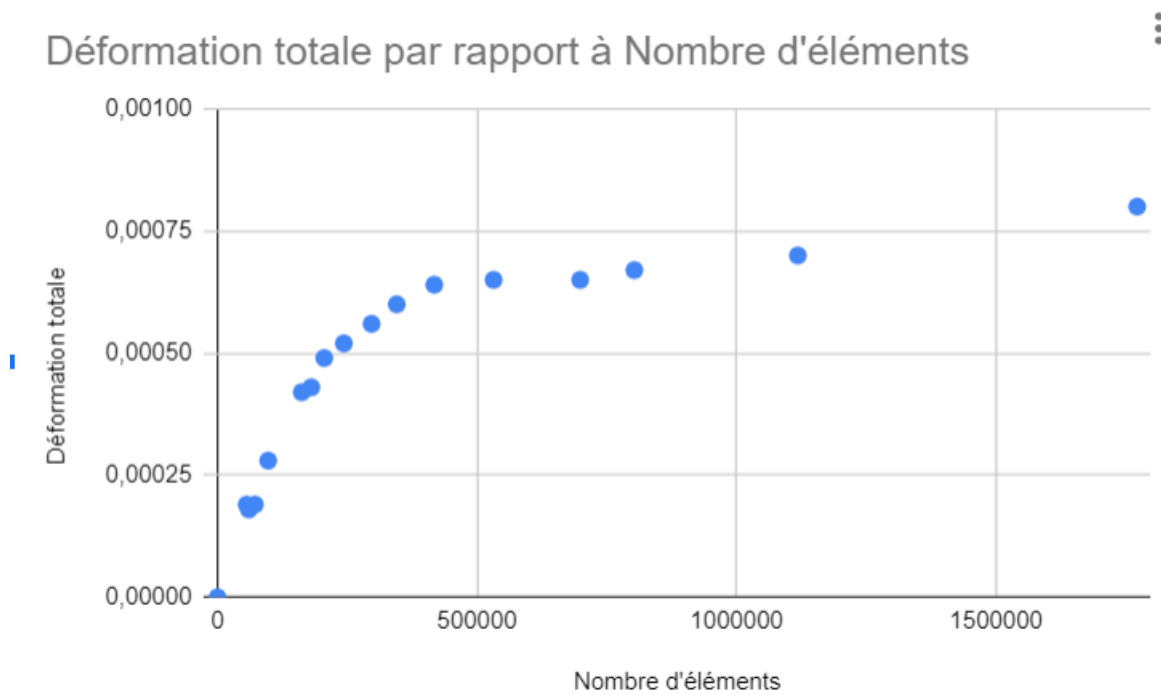


Figure 60 : Déformation totale par rapport au nombre d'éléments de la structure non renforcée en maillage linéaire

Nombre d'éléments	Déformation totale
0	0
1772218	0,0008
803374	0,00067
1118353	0,0007
698879	0,00065
532111	6,50E-04
417703	6,40E-04
345412	6,00E-04
296848	5,60E-04
243507	0,00052
205695	0,00049
180775	0,00043
162277	0,00042
97625	0,00028
56185	0,00019
71911	0,00019
60367	0,00018

Tableau 1 : Nombre d'éléments et déformation totale de la pièce non renforcée en maillage linéaire

3.2 Structure non renforcée, éléments quadratiques :

Déformation Totale par rapport à Nombre d'éléments

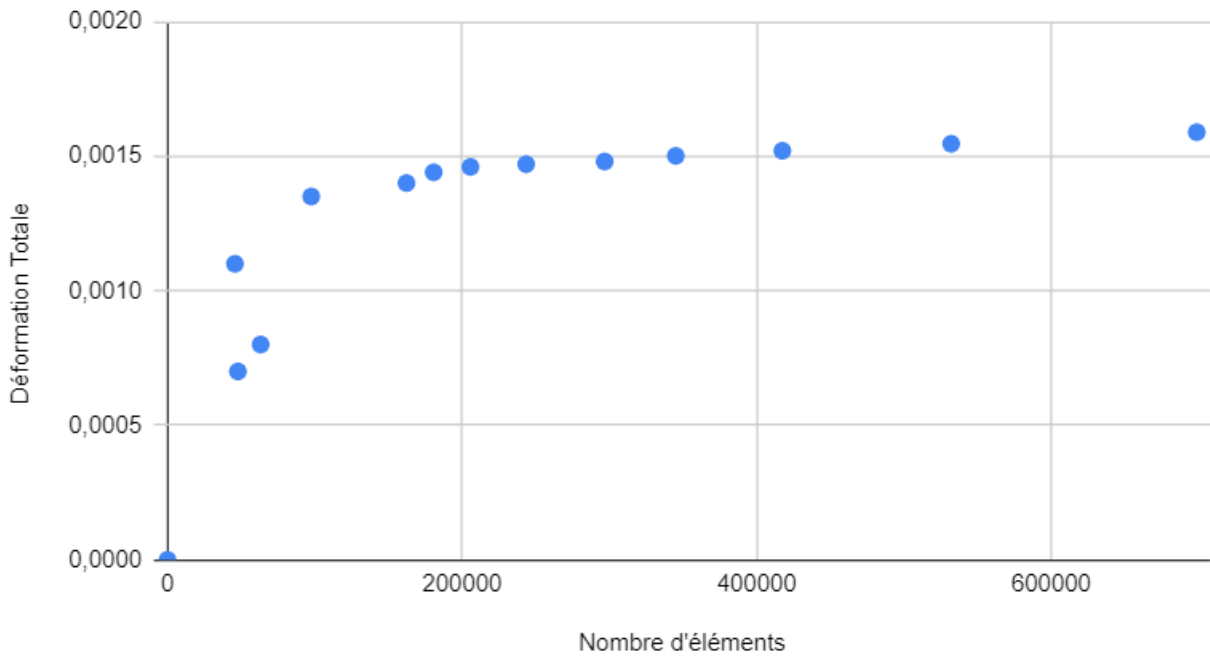


Figure 61 : courbe représentant la déformation totale par rapport au nombre d'éléments de la pièce non renforcée en maillage quadratique

Nombre d'éléments	Déformation Totale
0	0
698828	0,001589
532097	0,001546
417468	0,00152
345097	0,001501
296811	0,00148
243528	0,00147
205690	0,00146
180752	0,00144
162251	0,0014
97606	0,00135
45804	0,0011
63263	0,0008
47804	0,0007

Tableau 2 : nombre d'éléments et déformation totale de la pièce non renforcée en maillage quadratique

Remarque

On constate sur les courbes que la convergence est plus stable pour les éléments quadratiques. De plus le palier de convergence est atteint plus rapidement avec les éléments quadratiques (2000000) que pour les éléments linéaires (500000).

Chapitre IV

Réalisation de prototype

Chapitre IV : Réalisation de prototype

1. Introduction

Les étapes essentielles, allant de la conception assistée par ordinateur (CAO) à la fabrication finale du composant, seront abordées. L'objectif est de fournir un examen approfondi des méthodologies et des ressources utilisées pour générer des composants précis et de qualité supérieure.

2. Conception de la pièce

2.1. Spécifications techniques

La phase initiale consiste à établir les paramètres techniques du composant destiné à la production. Ces paramètres comprennent les mesures, les écarts admissibles, la composition des matériaux et les attributs opérationnels. Dans cette étude, nous illustrerons le processus de production en nous concentrant sur la création d'une bride de fixation, un composant fréquemment utilisé dans les configurations mécaniques.

2.2. Modélisation CAO

Une fois les spécifications établies, le composant est conçu à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Le logiciel SolidWorks a été utilisé pour développer le modèle tridimensionnel de la bride de montage. Le processus de modélisation CAO permet de visualiser le composant, de valider ses mesures et de prévoir les problèmes de fabrication potentiels.

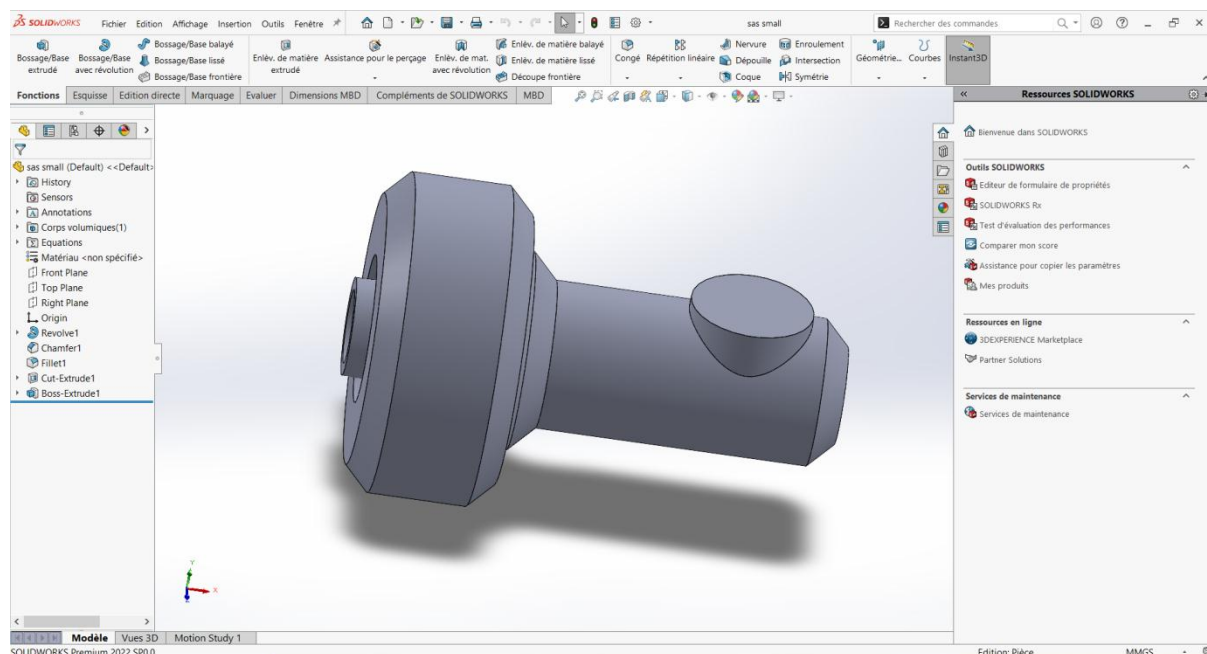


Figure 62 : Prototype de SAS Quest sur solidWorks

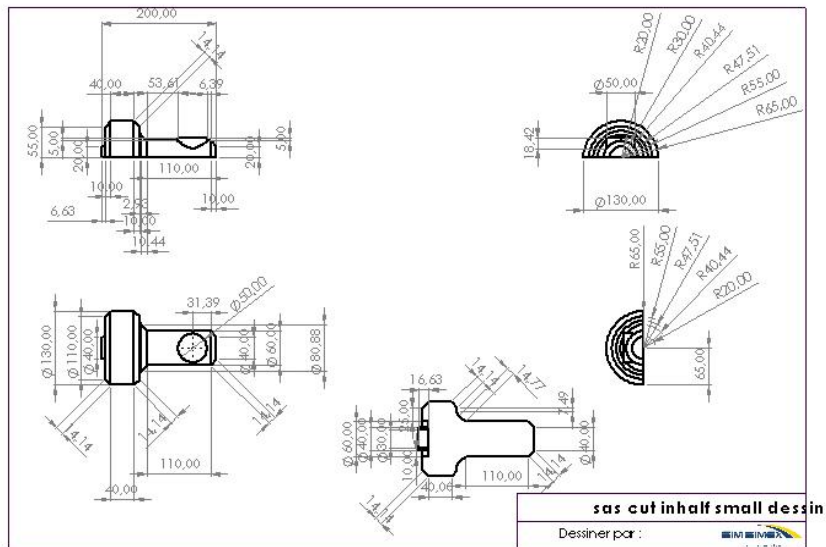


Figure 63 : Dessin technique de prototype de SAS Quest sur solidworks

2.3. Simulation et validation :

Avant de commencer le processus de fabrication, une simulation du composant est réalisée pour valider sa résistance mécanique et sa conformité aux normes techniques. La simulation peut comprendre des examens de contrainte, des évaluations thermiques et des évaluations de l'usure. Les résultats de la simulation permettent d'améliorer la conception avant la production.

3. Préparation valid fabrication

3.1. Choix des matériaux

Le choix des matériaux joue un rôle essentiel pour garantir les performances optimales du composant. Dans le cas de la bride de fixation, l'acier inoxydable de type 316 a été choisi pour ses caractéristiques mécaniques supérieures et sa résistance à la corrosion.

Dans notre prototype, on choisit le matériau POM C.



Figure 64 : Stock matière pom C

- **Le POM-C est un plastique technique à la fois solide et durable, ce qui en fait un matériau adapté pour la fabrication de pièces mécaniques.**
- **Le POM-C est également résistant au fluage et à l'hydrolyse, ce qui en fait un matériau également très convoité pour la conception de pièces pour les milieux marins et sanitaires.**

3.2.L'utilisation du POM C:

Construction générale de la mécanique

Création d'un véhicule

Mécanique de haute qualité

Pièces et outils mécaniques personnalisés : engrenages, chaînes, poignées, clips, ressorts, vis, glissière.

Milieu aquatique

Situation sanitaire



Figure 65 : Matière Pom C utilisée

3.3. Les bénéfices de la POM C :

Son caractère solide, rigide et dur.

Élevée stabilité dimensionnelle

Inattention physiologique

Résistance à l'impact élevée.

Résistance à l'hydrolyse

Résistance élevée au fluage.

Points forts du POM-C

3.4. Composition :

Polyoxyméthylène : POM-C

La température varie de -50 à 110 °C.

Non résistant aux UV.

Inflammabilité : inflammable.

Chapitre IV

Réalisation de prototype

Résistance chimique : résistant aux produits de nettoyage, sensible aux produits chimiques à forte teneur,

Résistance aux chocs : extrêmement solide

Contact alimentaire : adapté à la consommation d'aliments

4. Transformation :

Usinage : parfait

Formage infaisable.

Collage : envisageable

Pliage : envisageable

Antibactérien/antimicrobien : Non spécifié

Recycleable

4.1. Génération du G-code

Le modèle CAO est ensuite transformé en G-code, un langage de programmation spécialisé utilisé par les machines CNC pour régir leurs mouvements. Cette transformation est exécutée par l'ingénieur, Le Code G contient des directives méticuleuses pour la fabrication du composant, notamment les trajectoires des outils, les vitesses de coupe et les configurations de profondeur.

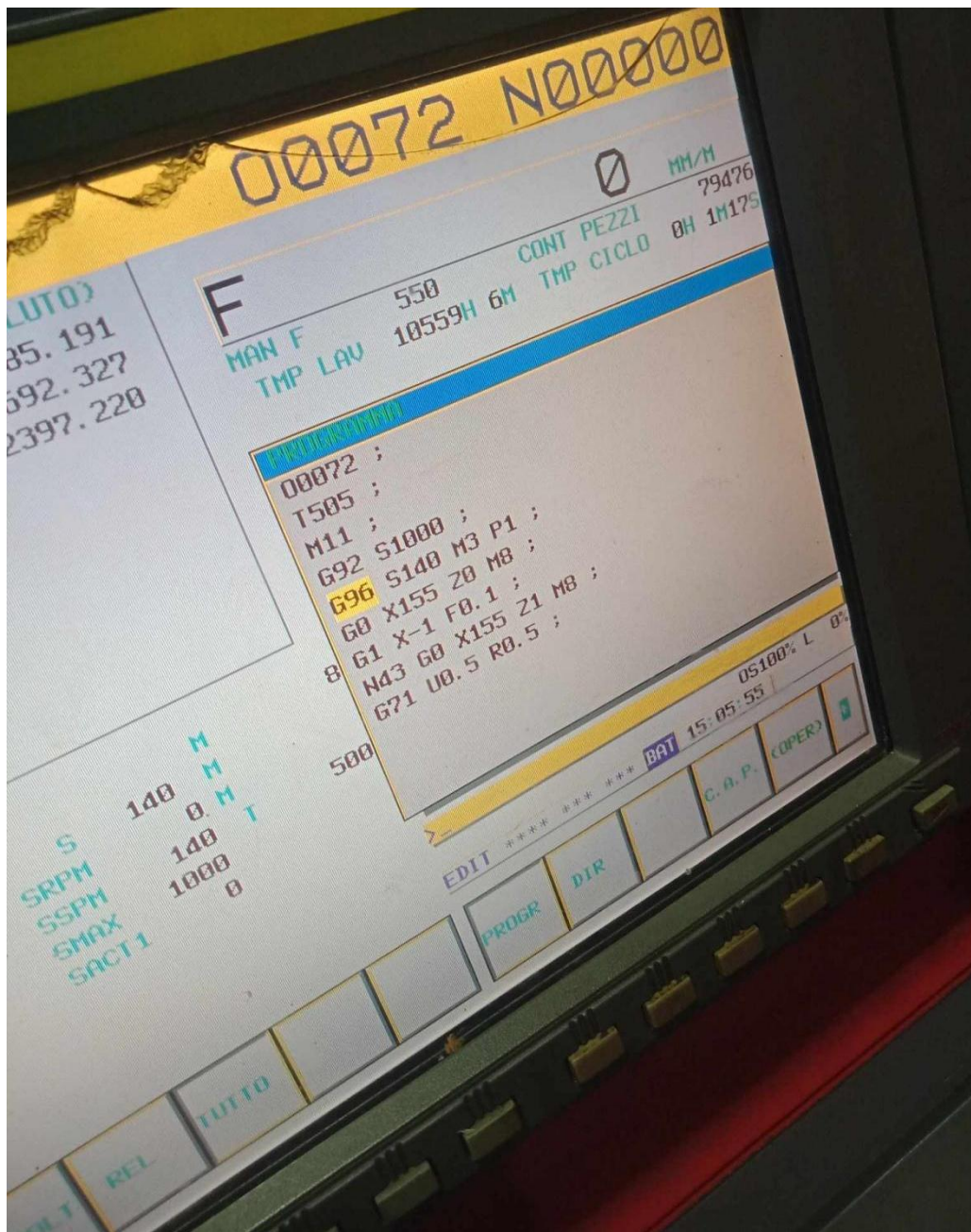


Figure 66 : Code G utilisé



Figure 67 : Machine CNC GE Fanucseries 21I-T

4.2.Montage de la pièce dans la machine CNC :

La machine CNC doit être configurée avec des instruments de coupe appropriés, tout en veillant à ce que la matière première soit fermement positionnée sur la surface de travail. Les paramètres de la machine, notamment la vitesse de la broche et l'avancement de l'outil, sont méticuleusement calibrés en fonction des spécifications du matériau et des exigences de la pièce.



Figure 68: Outils de la machine CNC

5.Fabrication de la pièce

5.1.Processus de fabrication :

5.1.1. Sciage :

Le sciage est un processus de découpe de matériaux de diverses natures. Il s'effectue par enlèvement de matière, à l'aide d'un outil appelé lame. Cette lame est pourvue de dents dont les formes sont conçues pour répondre aux besoins de l'opération en termes de qualité d'exécution et d'intérêt économique.



Figure 69 : Scie LUBAN GB 4250

5.1.2. Dressage :

Le dressage en machine CNC (Commande Numérique par Calculateur) est une opération d'usinage qui consiste à obtenir une surface plane et lisse sur une pièce. Cela se fait en déplaçant un outil de coupe à une seule pointe radialement le long de l'extrémité de la pièce, enlevant une fine couche de matériau. Le dressage CNC offre plusieurs avantages, notamment une précision accrue, une répétabilité élevée

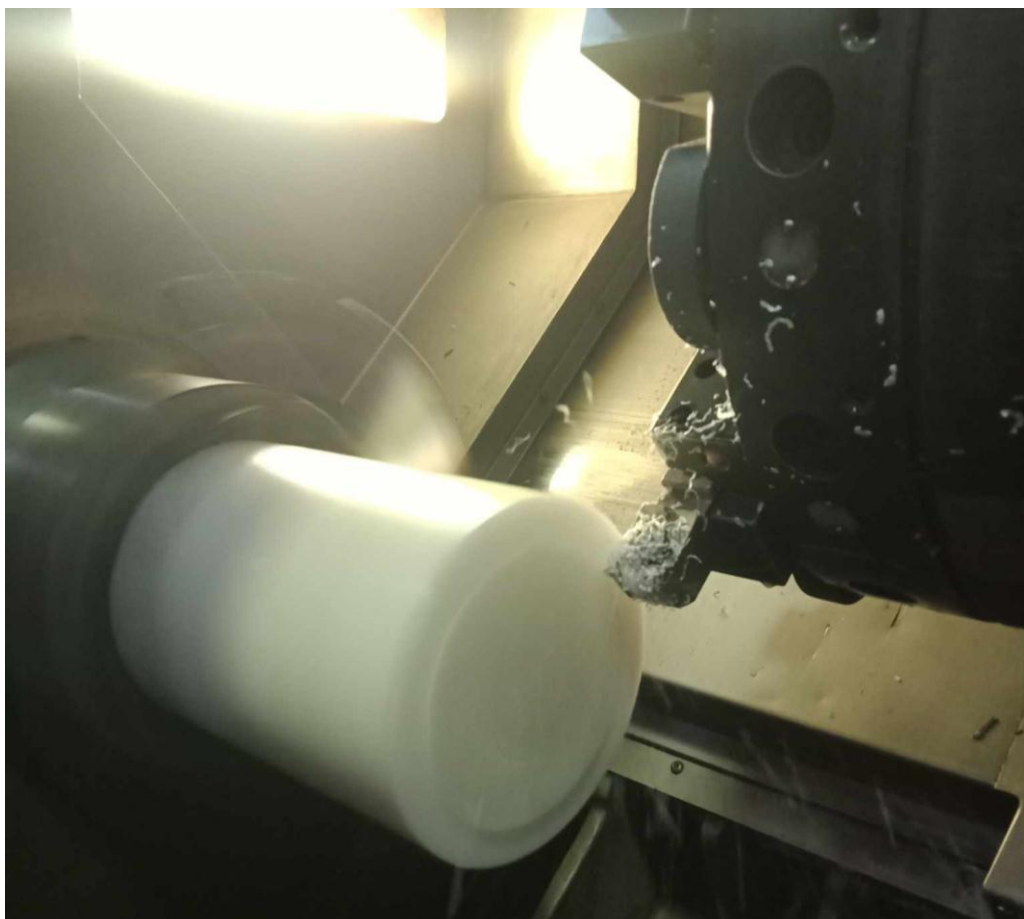


Figure 70 : Dressage de la pièce

5.1.3. Chariotage :

Le chariotage en machine CNC (Commande Numérique par Calculateur) est une opération d'usinage qui consiste à usiner une surface extérieure d'une forme cylindrique ou conique. Cela se fait en déplaçant un outil de coupe suivant un axe parallèle à l'axe de rotation de la pièce

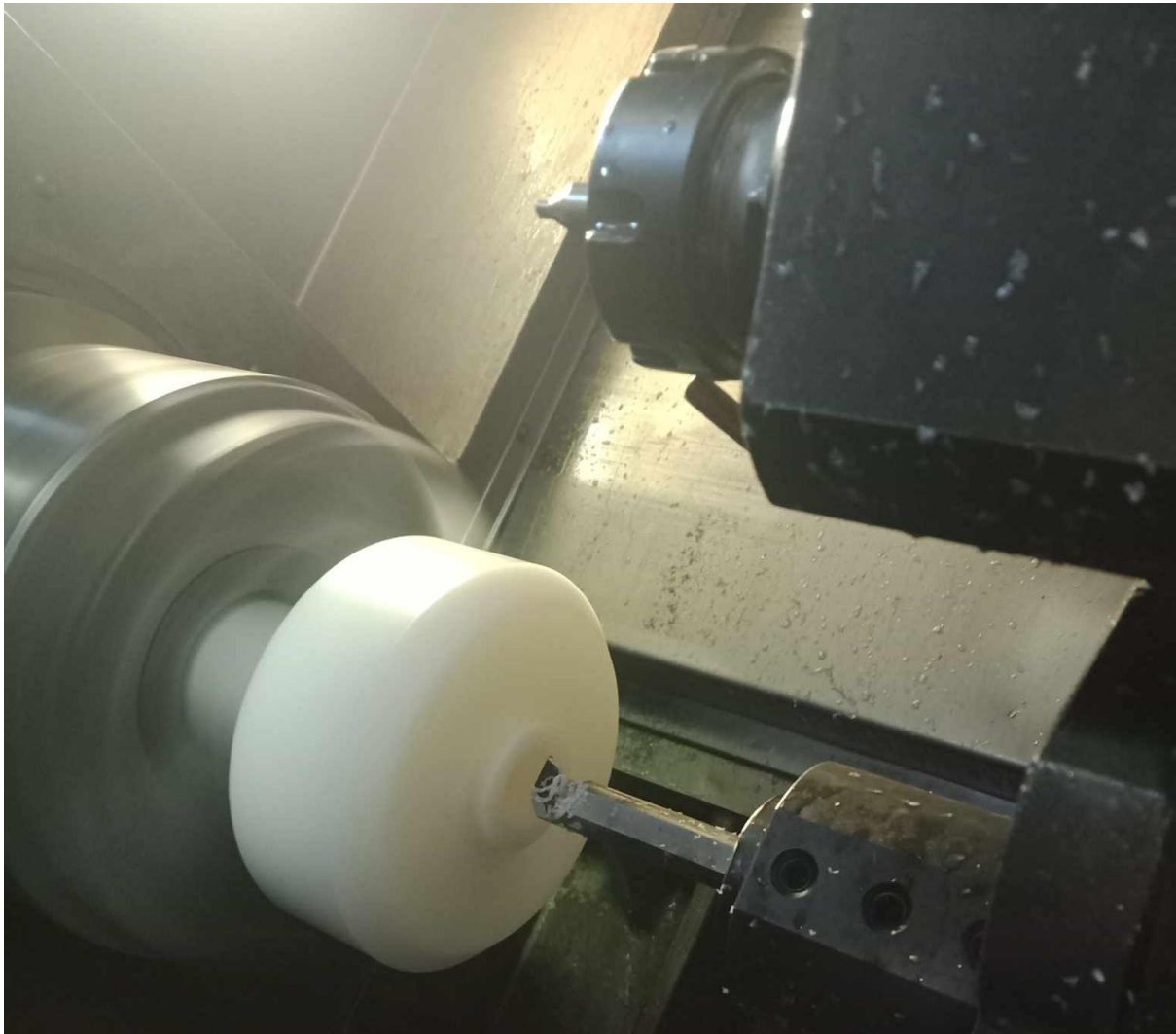


Figure 71 : Chariotage de la pièce

5.1.4. Perçage :

Le perçage CNC est un processus d'usinage qui consiste à créer des trous ronds dans une pièce fixe à l'aide d'un foret rotatif. Ce processus est contrôlé, ce qui permet une grande précision et une répétabilité élevée.

5.1.5. tâche.

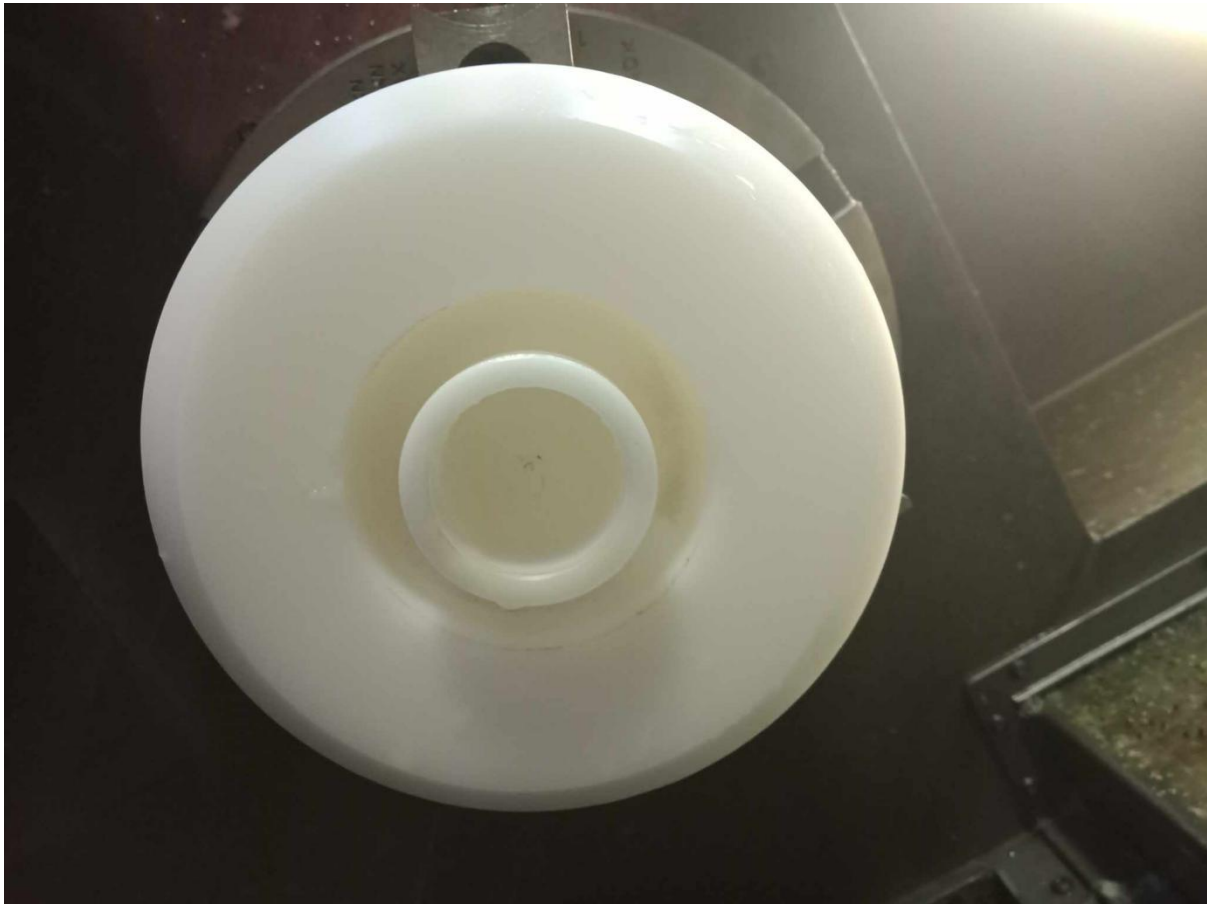


Figure 72 : Percage de la pièce

5.1.6. Alésage :

L'alésage en machine CNC est un processus d'usinage qui consiste à agrandir un trou déjà percé ou coulé dans une pièce. Cela se fait à l'aide d'un outil de coupe spécialement conçu pour cette tâche

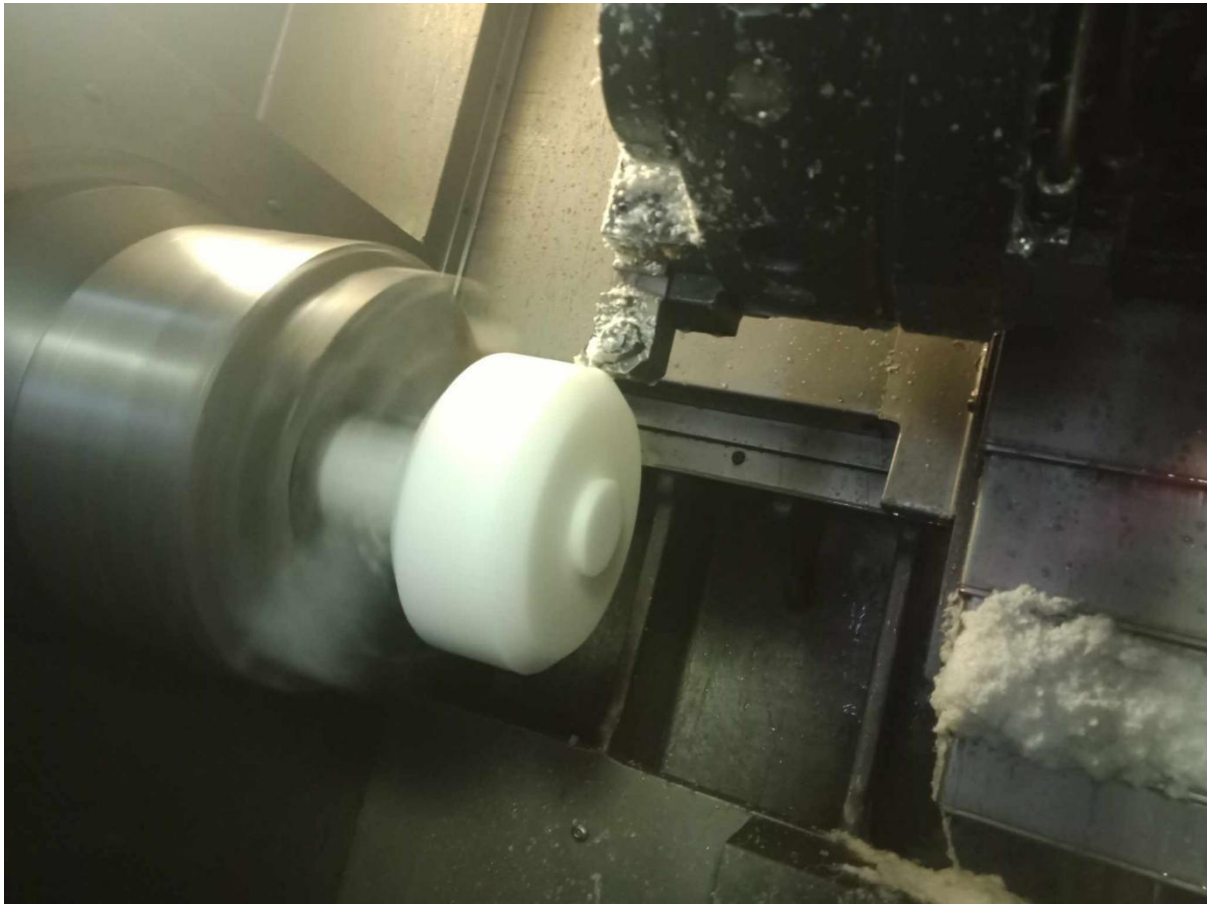


Figure 73 : Alésage de la pièce

5.1.7.Finition :

La finition en machine CNC est une étape cruciale du processus d'usinage qui vise à améliorer la qualité de la surface de la pièce usinée. Elle intervient généralement après l'ébauche, qui est

l'étape d'enlèvement de matière brute.



Figure 74 : Finition de la pièce

5.1.8. Contrôle qualité

Une fois que l'usinage est terminé, la pièce est examinée afin de confirmer sa conformité aux spécifications initiales. Pour mesurer les dimensions critiques et les tolérances, on utilise des instruments de mesure comme des alésomètres et pied à coulisse de hauteur et des projecteurs de profil. Toute anomalie est prise en compte et rectifiée si besoin.

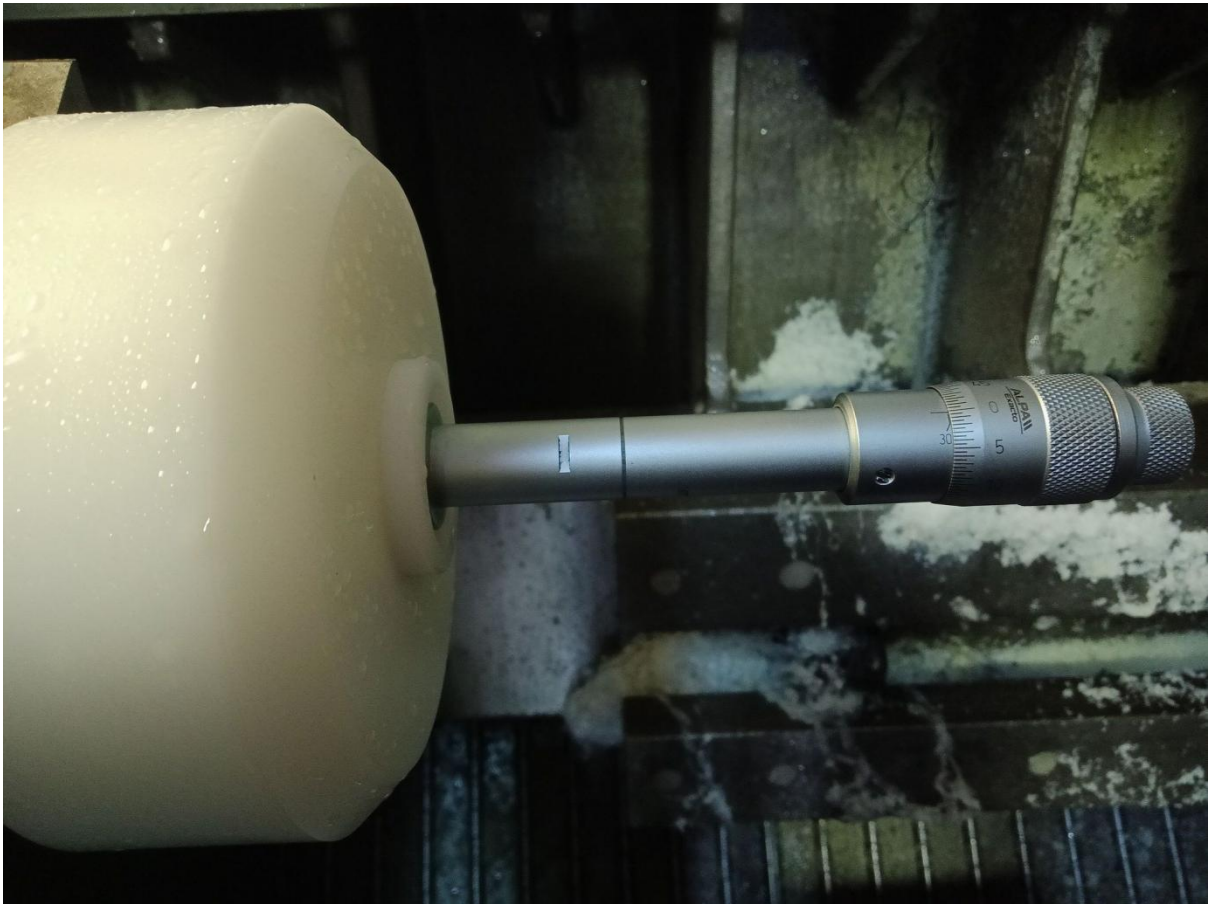


Figure 75 : Micrométrie utilisé pour mesurer la pièce

5.1.9.Finition de surface

L'étape finale consiste à finaliser la surface en effectuant le polissage, le traitement thermique ou l'application de revêtements protecteurs. Un polissage mécanique est effectué sur notre bride de fixation afin d'améliorer son aspect et de diminuer la rugosité de sa surface.

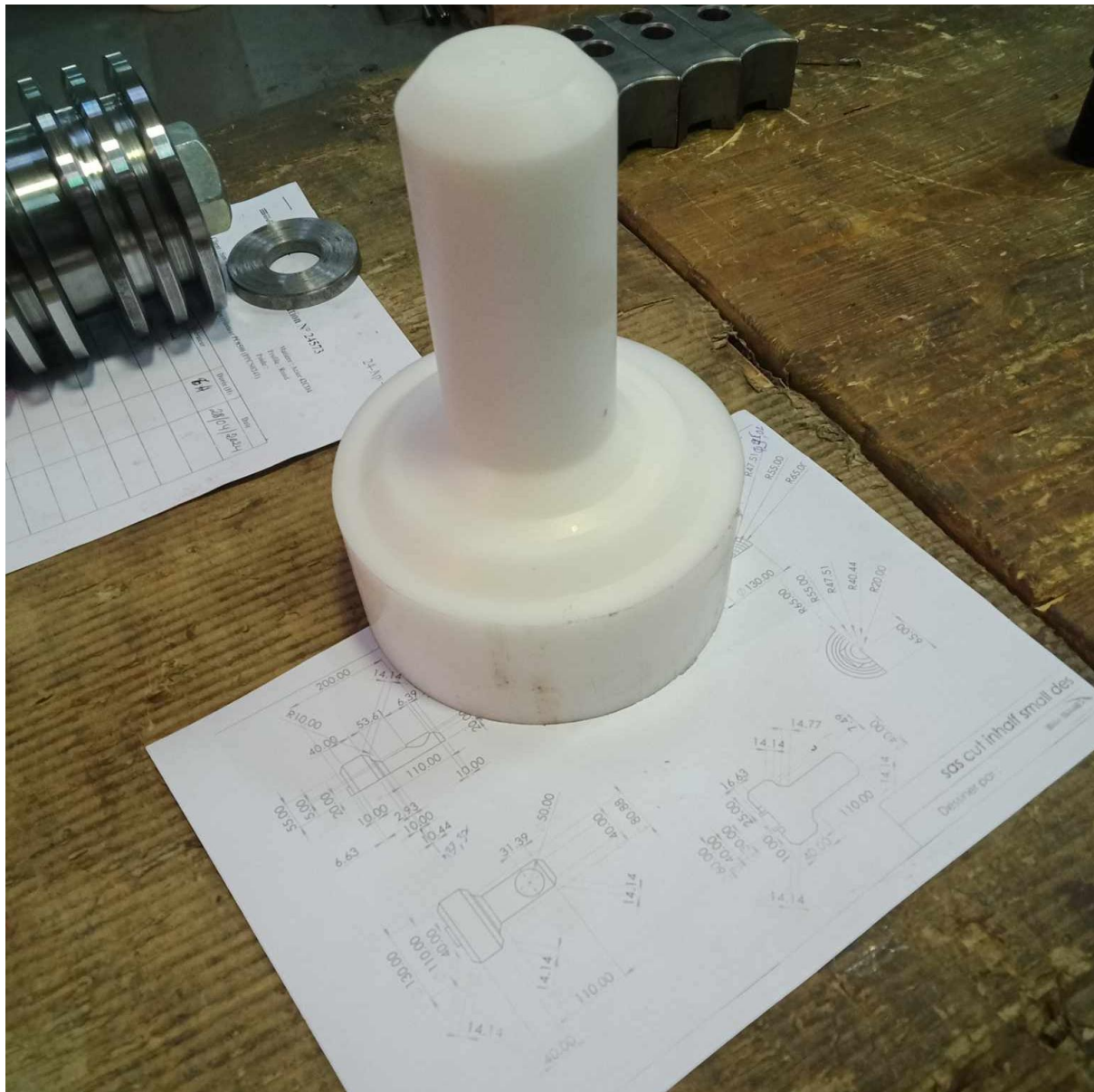


Figure 76 : Finition surface de la pièce

6. Conclusion

L'assemblage d'une pièce à l'aide d'une machine CNC nécessite plusieurs étapes essentielles, depuis la conception initiale jusqu'à la finition finale. Les progrès technologiques dans le domaine de la CAO/FAO et l'utilisation de machines CNC permettent de fabriquer des pièces avec une précision et une efficacité exceptionnelles. Ce chapitre a donné une explication approfondie de ce processus en utilisant l'exemple d'une bride de fixation, soulignant les aspects techniques et les meilleures méthodes à adopter pour obtenir des résultats optimaux.

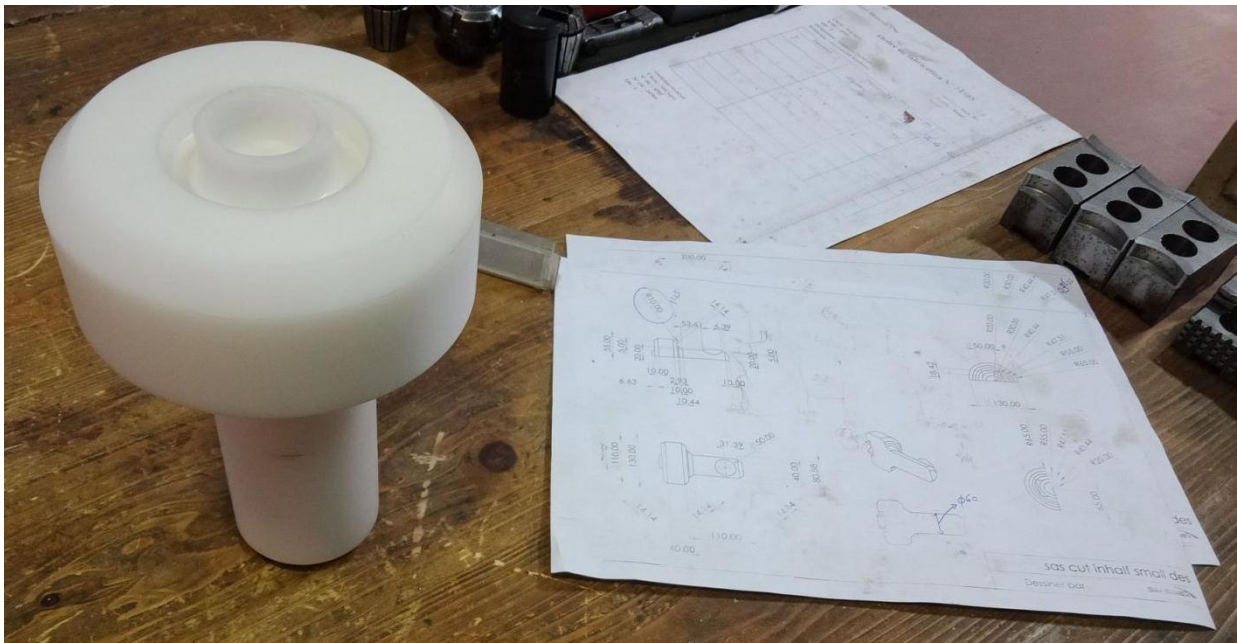


Figure 77 : Prototype finale réalisé

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce mémoire a été consacré à une conception simplifiée du sas Quest de la station spatiale internationale, et de la simulation de son comportement durant la phase de lancement. On a utilisé les logiciels SolidWorks pour la conception et Ansysworkbench pour la modélisation en éléments finis.

Nous avons repris la modélisation simplifiée de ABDALLAH [1], en ne modélisant que la moitié de la structure pour tenir compte de la symétrie. Afin d'étudier l'influence des raidisseurs, nous avons modélisé une structure non renforcée (sans raidisseurs) et une renforcée (avec raidisseurs). Nous avons également étudié l'influence du type d'élément sur les résultats. Les éléments considérés sont le linéaire et le quadratique. Nous avons également réalisé une étude de convergence pour les deux types d'éléments avec comme paramètre la déformation totale.

Les résultats ont montré :

- Une contrainte de Von Mises et une déformation totale plus importantes dans le cas de la structure renforcée. Cette augmentation s'explique par l'augmentation de la masse de la structure renforcée qui la rend plus sensible aux forces d'inertie.
- Une grande sensibilité par rapport au type d'élément. Plus particulièrement nous avons constaté, pour l'élément quadratique, une augmentation de la contrainte de Von Mises et de la déformation totale et une diminution des fréquences propres.
- La convergence est plus stable et plus rapide pour les éléments quadratiques.

Les principales insuffisances de ce travail sont :

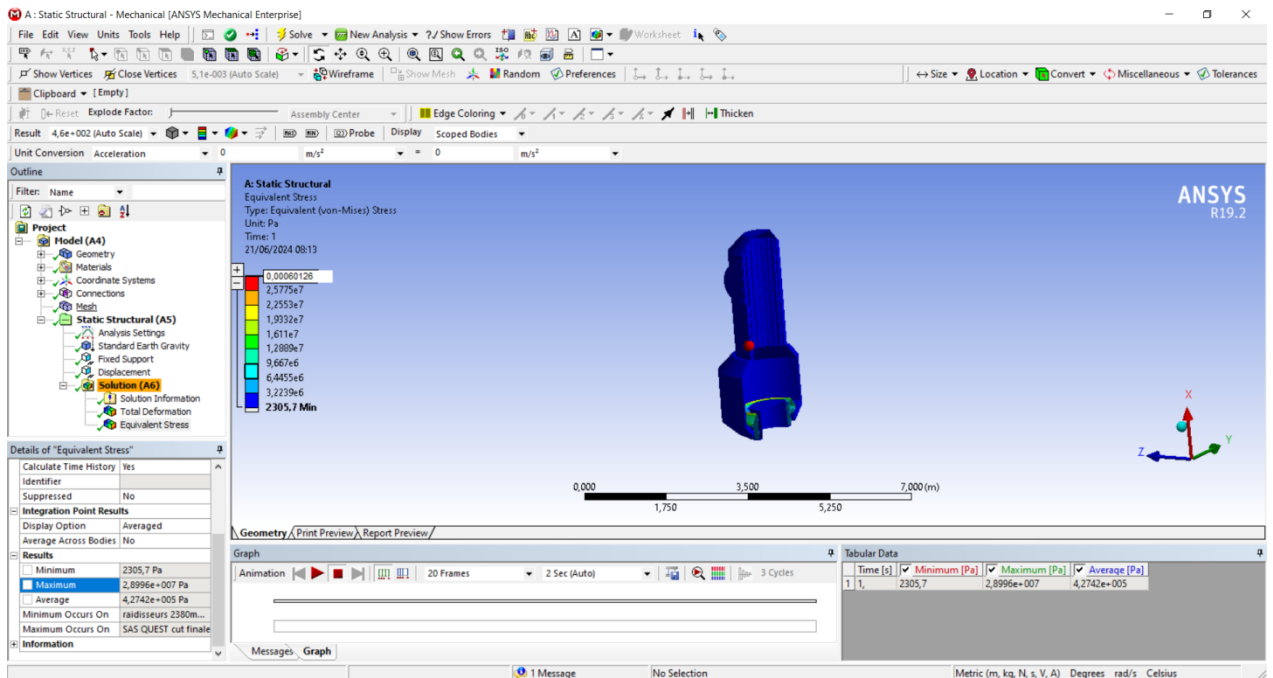
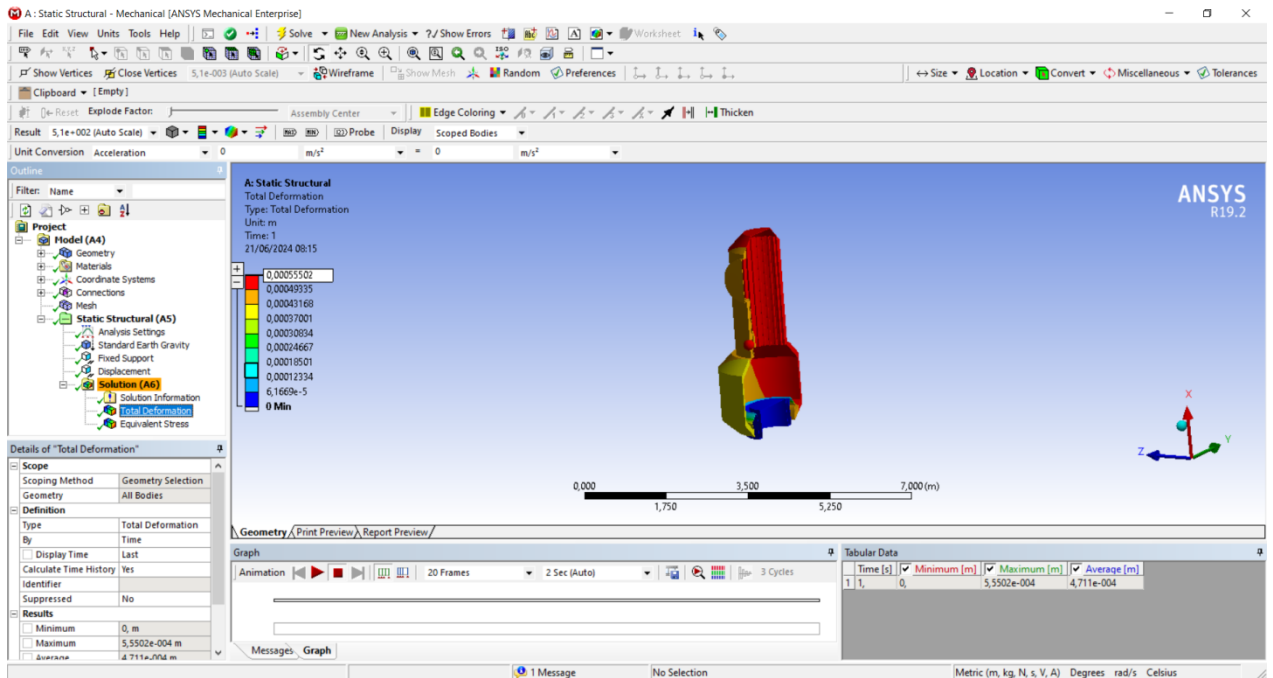
- Notre conception simplifiée n'est pas suffisamment réaliste par manque de données
- Le mode de fixation du Quest à la navette n'étant pas connu dans le détail, nous l'avons simplifié en supposant que la surface inférieure de la structure est parfaitement collée à la navette.
- La phase en orbite n'a pas été considérée.

Comme perspective à court terme, nous proposons une étude du comportement de la conception simplifiée dans la phase en orbite.

Sur un plan personnel, ce travail nous a permis d'améliorer nos compétences ainsi que notre formation. Plus précisément, et grâce à ce travail nous avons acquis les compétences suivantes : Compléter la maîtrise de SolidWorks. Apprendre à utiliser le calcul avec éléments finis à travers le logiciel Ansys.

Apprendre à faire la recherche sur un sujet précis, ainsi qu'évaluer les références disponibles.

Annexe



Références

Bibliographiques

- [1] L. ABDALLAH, “VERIFICATION DE LA RESISTANCE D’UNE CONCEPTION SIMPLIFIÉE DU SAS QUEST DE LA STATION SPATIALE INTERNATIONALE”, Master, Université de Blida 2022.
- [2] Anatomie du complexe orbital ISS, <http://claudelaflleur.qc.ca/ISS-point2.html>
- [3] International Space Station Transition Report. NASA, Janvier 2022.
- [3] NASA. « International Space Station Basics ».
- [4] NASA [Figure], 2001. «Le module Quest dans une salle blanche au centre de vol spatial Marshall, Etats Unis » Disponible sur : https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast06jul_1
- [5] NASA [Figure], 2001. « Le module Quest transféré par le bras robotique Canadarm vers sa position d’amarrage, pris durant STS 104 ». Disponible sur : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:ISS_Quest_airlock.jpg
- [6] NASA [Figure], 2001. « Vue du module Quest au bord de la navette spatiale Atlantis, pris durant STS 104 ». Disponible sur : <https://www.nasa.gov/feature/space-station-20th-sts-104-brings-quest-joint-airlock-to-the-space-station>
- [7] NASA [Figure], 2001. On-Orbit Assembly, Modeling, and Mass properties Data Book, Volume I.
- [8] Azomaterials, 2012. “Aluminum/ Aluminum 2219 Alloy (UNS A92219). Disponible sur: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6616>
- [9] [Figure].Eric L. Christiansen. NASA, 2003. « Meteoroid/Debrisshielding ».
- [10] SALEM.H, 2017. Modélisation et analyse de couplage structure/structure dans les véhicules spatiaux [Thèse de doctorat]. Université de science et technologies d’Oran.
- [11] JORISIDE [Catalogue]. Pannes et lisses (Les profiles galvanisés) MR 130/119.
- [12] Garan Ron. « The orbital perspective ». Editions Bk, 2015. 259 p.
- [13] International Space Station Transition Report. NASA, Janvier 2022.
- [14] NASA. « International Space Station Basics ».
- [15] Gifts of speech [En ligne]. « Interview with Russia Magazine by Valentina Terechkova 1998 ». Disponible sur : <http://gos.sbc.edu/t/tereshkova.html>
- [16] Nasa Spaceflight [Figure], 2000. « Module de base de Mir-2». Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mir-2#/media/Fichier:ISS_Zvezda_module.jpg

- [17] EncyclopediaAstronautica [En ligne]. Mark Wade. Disponible sur : <http://www.astronautix.com/i/iss.html>
- [18] Capcomespace [Figure]. « Configuration de l'année 1987 de Freedom ». Disponible sur : <http://www.capcomespace.net/dossiers/ISS/historique.htm>
- [19] Capcomespace [Figure]. « Configuration de l'année 1988 de Freedom ». Disponible sur : <http://www.capcomespace.net/dossiers/ISS/historique.htm>
- [20] Capcomespace [Figure]. « Configuration de l'année 1989 de Freedom ». Disponible sur : <http://www.capcomespace.net/dossiers/ISS/historique.htm>
- [21] Capcomespace [Figure]. « Configuration de l'année 1990 de Freedom ». Disponible sur : <http://www.capcomespace.net/dossiers/ISS/historique.htm>
- [22] EncyclopediaAstronautica [En ligne]. Mark Wade. Disponible sur : <http://www.astronautix.com/i/iss.html>
- [23] Issnationallab [En ligne]. Nasa. Disponible sur : <https://www.issnationallab.org/about/isstimeline/>
- [24] Russianspaceweb [En ligne]. Alain Chabot, 2021. « Prichal to open door for future space stations ». Disponible sur : http://www.russianspaceweb.com/iss_node.html#2020
- [25] Skynews [En ligne]. 2022. « NASA plans to take International Space Station out of orbit in January 2031 by crashing it into 'spacecraft cemetery' ». Disponible sur : <https://news.sky.com/story/nasa-plans-to-take-international-space-station-out-of-orbit-in-january-2031-by-crashing-it-into-spacecraft-cemetery-12530194>
- [26] <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/station-spatiale-chinoise-stationspatiale-chinoise-devoile-grandeur-nature-63869/>
- [27] NASA [En ligne]. Mark Garcia, 2021. « International Space Station Facts and Figures ». Disponible sur : <https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>
- [28] Wermac [En ligne]. Werner Solken, 2022. « Spherical and Cylindrical Pressure Vessels ». Disponible sur : <https://www.wermac.org/equipment/pressurevessel.html>
- [29] NASA [Figure], 2021. « l'ISS prise par l'équipage du vaisseau Crew Dragon Endeavour en 2021 ». Disponible sur : <https://Figures.nasa.gov/details-iss066e081311>
- [30] Gary Meader [Figure], 2021. « L'orbite de l'ISS par rapport à l'équateur ». Disponible sur : <https://www.duluthnewstribune.com/astro-bob-night-vigil-with-the-space-station>

[31] NASA [Figure], 2019. « Vue sur la forme cylindrique des modules pressurisés de l'ISS ». Disponible sur : <https://www.nasa.gov/Figure-feature/the-forward-end-of-the-international-space-station-0>

[32] NASA [En ligne]. Mark Garcia, 2021. « New Solar Arrays to Power NASA's International Space Station Research ». Disponible sur : <https://www.nasa.gov/feature/newsolar-arrays-to-power-nasa-s-international-space-station-research>

[33] NASA [Figure], 2011. « Illustration des différents segments de la poutre de la station spatiale internationale ». Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/External_stowage_platform#/media/File:Truss_breakdown.png

[34] NASA [Figure], 2008. « Zoom sur les panneaux solaires de l'ISS ». Disponible sur : [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_system_of_the_International_Space_Station#/media/File:Earth_horizon_and_International_Space_Station_solar_panel_array_\(Expedition_17_crew,_August_2008\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_system_of_the_International_Space_Station#/media/File:Earth_horizon_and_International_Space_Station_solar_panel_array_(Expedition_17_crew,_August_2008).jpg)

[35] NASA, 2015. « Reference guide to the international space station ».

[36] NASA [Figure], 2009. « Vue sur une palette logistique express (ELC2) ». Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/ExPRESS_Logistics_Carrier#/media/Fichier:STS129_EV_A3_MISSE-7_on_ELC-2.jpg

[37] NASA, 2015. « Reference guide to the international space station ».

[38] NASA STS 88 [Figure], 1998. « Zarya, le premier module de l'ISS, photographié durant STS 88 ». Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Zarya_\(Station_spatiale_internationale\)#/media/Fichier:Zarya_from_STS-88.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Zarya_(Station_spatiale_internationale)#/media/Fichier:Zarya_from_STS-88.jpg)

[39] NASA [Figure], 2021. « Vue éclatée de l'ISS ; configuration de 2021 ». Disponible sur : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS_configuration_2021-07_en.svg

[40] NASA [En ligne]. Mark Garcia, 2022. « Space Station Assembly ». Disponible sur : https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/space-station-assembly

[41] Spider Seds [En ligne]. Hartmut Frommert, 1995. « International Space Station: Assembly Flight Sequence ». Disponible sur : <http://spider.seds.org/shuttle/iss.html>

[41] NASA humanspaceflight [En ligne]. Kim Dismukes, 2004. « Space Station Extravehicular Activity ». Disponible sur : <https://web.archive.org/web/20090403213449/http://spaceflight.nasa.gov/station/eva/outside.html>

- [42] Flight Global [En ligne]. Tim Furniss, 2001. « Addition of Quest airlock milestone for International Space Station ». Disponible : <https://www.flightglobal.com/addition-of-quest-airlock-is-milestone-for-international-space-station-/38944.article>
- [43] NASA [Figure], 2009. « Vue frontal du Quest ». Disponible sur : <https://archive.org/details/s127e006484>
- [44] NASA, 2015. « Reference guide to the international space station ».
- [45] Eric L. Christiansen. « Meteoroid/Debris shielding ». NASA, 2003.
- [46] NASA [Figure], 2001. « Le module Quest dans une salle blanche au centre de vol spatial Marshall, Etats Unis » Disponible sur : https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast06jul_1
- [47] SpaceFacts, 2022. « STS 104 Data ». Disponible sur : <http://www.spacefacts.de/mission/english/sts-104.html>
- [48]. NASA, 2001. « STS 104 Press Kit ».
- [49] NASA [Figure], 2001. « Le module Quest transféré par le bras robotique Canadarm vers sa position d'amarrage, pris durant STS 104 ». Disponible sur : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:ISS_Quest_airlock.jpg
- [50] NASA HumanSpaceflight [En ligne]. Kim Dismukes, 2001. « STS-104 PAYLOADS International Space Station Assembly Flight 7A ». Disponible sur : <https://web.archive.org/web/20010827023840/http://spaceflight.nasa.gov/shuttle/archives/sts104/cargo/>
- [51] NASA [Figure], 2001. « Vue du module Quest au bord de la navette spatiale Atlantis, pris durant STS 104 ». Disponible sur : <https://www.nasa.gov/feature/space-station-20th-sts104-brings-quest-joint-airlock-to-the-space-station>
- [52] NASA [Figure], 2013. « Astronaute utilisant le sas Quest pour sortir de la station spatiale ». Disponible sur : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS-36_EVA2_h_Chris_Cassidy_leaves_the_Quest_airlock.jpg?uselang=fr
- [53] Holschuh et Newman, « Handbook of Bioastronautics », Chapitre 6 : Extravehicular Activity (EVA). Springer, 2021.
- [54] NASA [En ligne]. Robert Lewis, 2015. « Space Suits and Exploration Operations ».
- [45] NASA, 2020. International Space Station Spacewalk, June 26, 2020 [Vidéo]. YouTube. Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=KIK_bLnqmas

- [56] NASA [Figure], 2017. « Deux astronautes entrain de pratiquer la pré-respiration avant une sortie extra véhiculaire ». Disponible sur : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS50 EVA2 \(a\) inside the Quest airlock.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS50_EVA2_(a)_inside_the_Quest_airlock.jpg)
- [57] NASA [Figure], 2001. « Deux astronautes dans la partie sas d'équipage du Quest, se préparant pour effectuer le premier EVA à travers Quest ». Disponible sur : <https://www.nasa.gov/feature/space-station-20th-sts-104-brings-quest-joint-airlock-to-the-space-station>
- [58] Capcomespace [Figure]. « L'armature du Quest ». Disponible sur : http://www.capcomespace.net/dossiers/ISS/USA/elements_usa_04.html
- [59] NASA [Figure], 2014. « Boîtes à outils et réservoirs du Quest, montrés par des flèches ». Disponible sur : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS-41 EVA-1 \(k\) Quest.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS-41_EVA-1_(k)_Quest.jpg)
- [60] NASA, 2018. « Eva office extravehicularactivity (EVA) airlocks and alternative ingress/egressmethods document ».
- [61] Eric L. Christiansen. NASA, 2003. « Meteroid/Debrisshielding ».
- [62] [Figure].Eric L. Christiansen. NASA, 2003. « Meteroid/Debrisshielding ».
- [63] Aubert et Duval [En ligne]. 2022. Alliages d'aluminium 2219. Disponible sur : <https://www.aubertduval.com/fr/nuance/667/>
- [64] Zipay et al. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. « Structural Verification of the First Orbital Wonder of the World - The Structural Testing and Analysis of the International Space Station (ISS) ».
- [65] Azomaterials, 2012. “Aluminum/ Aluminum 2219 Alloy (UNS A92219). Disponible sur: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6616>
- [66] NASA [Figure], 2010. « AIRLOCK, LIFE SUPPORT MODULE, ESA, DOCKING COMPARTMENT, CUPOLA ». Disponible sur : https://www.nasa.gov/mission_pages/station/multimedia/scalemodel/
- [67] NASA [Figure], 2001. On-OrbitAssembly, Modeling, and Mass properties DataBook, Volume I.
- [68] SALEM.H, 2017. Modélisation et analyse de couplage structure/structure dans les véhicules spatiaux [Thèse de doctorat]. Université de science et technologies d'Oran.
- [69] JORISIDE [Catalogue]. Pannes et lisses (Les profils galvanisés) MR 130/119.