

Portfolio Technique

Projets de stage et études personnelles

Ce portfolio présente une sélection de projets académiques, industriels et personnels, réalisés dans le cadre de stages et d'études autonomes, avec un accent particulier sur la simulation numérique, l'analyse thermomécanique et la conception mécanique.

Ali Abouelazz

Table des matières

1 Études Personnelles	2
1.1 Étude 1 : Optimisation du refroidissement régénératif d'une chambre de combustion	2
1.1.1 Contexte	2
1.1.2 But de l'étude	2
1.1.3 Paramètres de l'étude	3
1.1.4 Exécution	3
1.1.5 Conclusion	4
1.2 Étude 2 : Prédiction de rupture du réservoir Starship	5
2 Caterpillar : Stage PFE	6
2.1 Objectif	6
2.2 Exécution	6
3 General Electric Vernova	8
3.1 Projet 1 : Station de mesure de raideur	8
3.1.1 Objectif	8
3.1.2 Exécution	8
3.2 Projet 2 : Dimensionnement d'arbre de transmission	9
3.2.1 Objectif	9
3.2.2 Exécution	9
3.3 Projet 3 : Analyse de contrainte chambre à gaz SF6	10
3.3.1 Objectif	10
3.3.2 Exécution	10
4 Alstom (Projet école)	11

1 Études Personnelles

Note

Ces études sont personnelles et ont pour but d'améliorer mes compétences en simulation numérique et analyse thermomécanique.

1.1 Étude 1 : Optimisation du refroidissement régénératif d'une chambre de combustion

1.1.1 Contexte

Pendant leur fonctionnement, les moteurs à fusée, en particulier la chambre de combustion, subissent des températures très élevées. Avec l'augmentation de la température, les propriétés mécaniques des métaux se dégradent, notamment leur limite d'élasticité. Pour remédier à ce problème, il existe deux méthodes qui permettent de contrôler la température de la chambre :

- **Refroidissement ablatif** : consiste en la désintégration des parois intérieures de la chambre, emportant avec elle une partie de la chaleur. Toutefois, cette méthode est destructrice et suppose que le moteur ne sera pas réutilisé.
- **Refroidissement régénératif** : la méthode la plus couramment utilisée. Elle s'effectue par le passage d'un fluide cryogénique à travers des canaux gravés à l'intérieur de la chambre de combustion, permettant une dissipation efficace de la chaleur.

1.1.2 But de l'étude

Évaluer l'effet de la variation de la largeur L et de la hauteur H des canaux de refroidissement rectilignes sur la température maximale du mur intérieur de la chambre de combustion. L'objectif est de trouver un optimum avec comme fonction objective la température maximale du mur intérieur et comme variables d'optimisation L et H , avec :

- L entre 0,8 et 3,0 mm
- H entre 1,5 et 5,0 mm
- Épaisseur du mur gardée constante à 10 mm
- Distance entre le canal et la paroi intérieure gardée constante à 3 mm

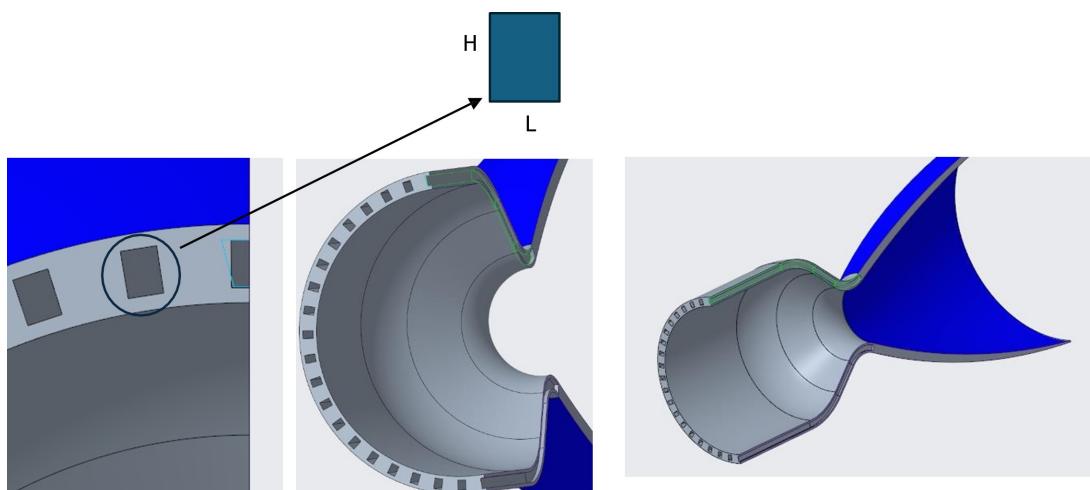


FIGURE 1 – Conception des canaux de refroidissement (CAO assemblage chambre de combustion + tuyère)

1.1.3 Paramètres de l'étude

Paramètre	Valeur
Combustible/oxydant	Méthane/oxygène liquide
Matériau mur intérieur	CuAgZr
Ratio de mixture O ₂ /combustible	3,6
Pression chambre (MPa)	3
Refroidissant	N ₂ (azote liquide)
Flux massique du refroidissant (kg/s)	1,5
Température d'entrée du refroidissant (K)	70
Ratio de contraction/expansion	9/5,5
Épaisseur du mur (mm)	10
Épaisseur marge canal-mur (mm)	3
Diamètre du col (m)	0,0274

TABLE 1 – Paramètres de simulation

1.1.4 Exécution

Au début, la simulation a été effectuée avec une épaisseur de mur intérieur, une largeur de canaux de refroidissement et une hauteur de 1 mm, 1,8 mm et 3,5 mm, respectivement.

Le maillage a été réalisé avec une inflation au niveau de la couche limite de la chambre de combustion afin de capturer le gradient de température et de vitesse, de même pour les canaux de refroidissement. Un maillage de la partie solide a également été effectué.

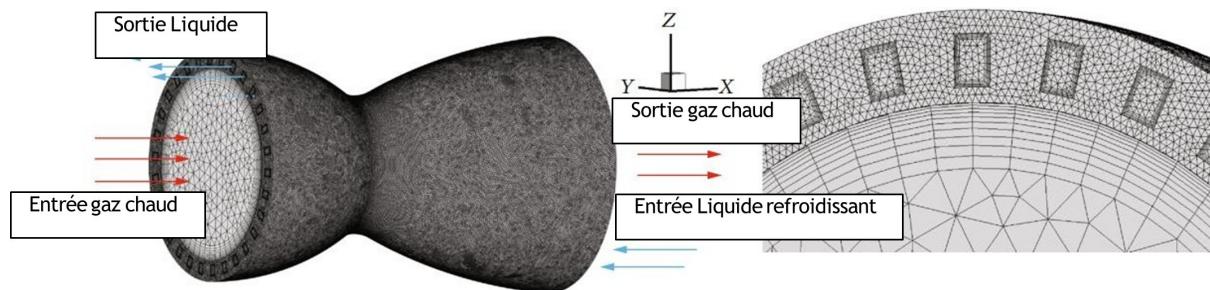


FIGURE 2 – Maillage zone fluide + solide

Après simulation sur ANSYS Fluent + ANSYS Thermal, les résultats suivants ont été obtenus :

Position axiale (mm)	Temp. (K)	γ	Mach	Viscosité (10^{-4} Pa·s)	C_p (J/mol·K)	Pr
0	3448,78	1,1251	0	1,1437	2278,4	0,5649
20,5	3442,70	1,1250	0,192	1,1422	2278,0	0,5651
47,3	3287,31	1,1213	1,000	1,1040	2267,5	0,5716
79,8	2783,91	1,1125	2,332	0,9785	2225,3	0,5940
111,64	2648,67	1,1122	2,635	0,9444	2210,7	0,6000

TABLE 2 – Données thermiques du gaz dans la chambre de combustion sur quelques sections

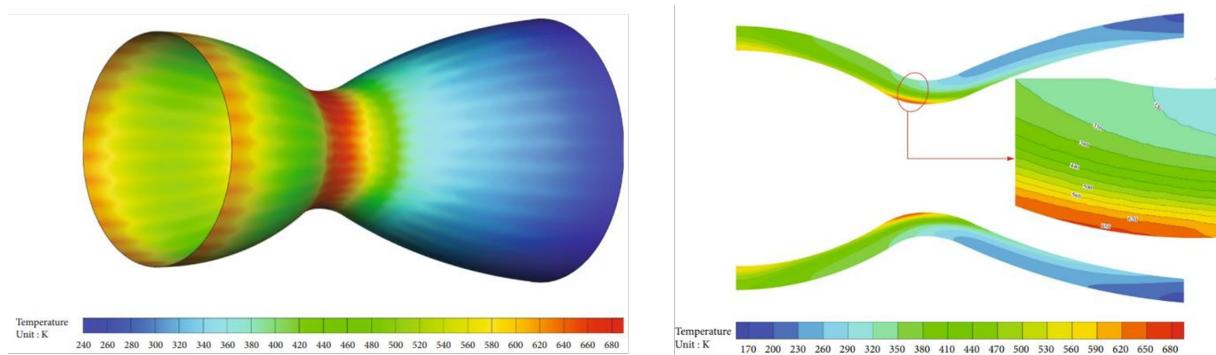


FIGURE 3 – Distribution de température dans le mur de la chambre de combustion (coupe effectuée entre 2 canaux)

Le pic de température est atteint juste avant la section la plus étroite, à proximité de la zone de contraction du col de la chambre de combustion.

Après variation des paramètres L et H en incrément de 0,01 mm (entre 1,5 à 5,0 mm pour la hauteur et 0,8 à 3,0 mm pour la largeur), les résultats suivants ont été obtenus :

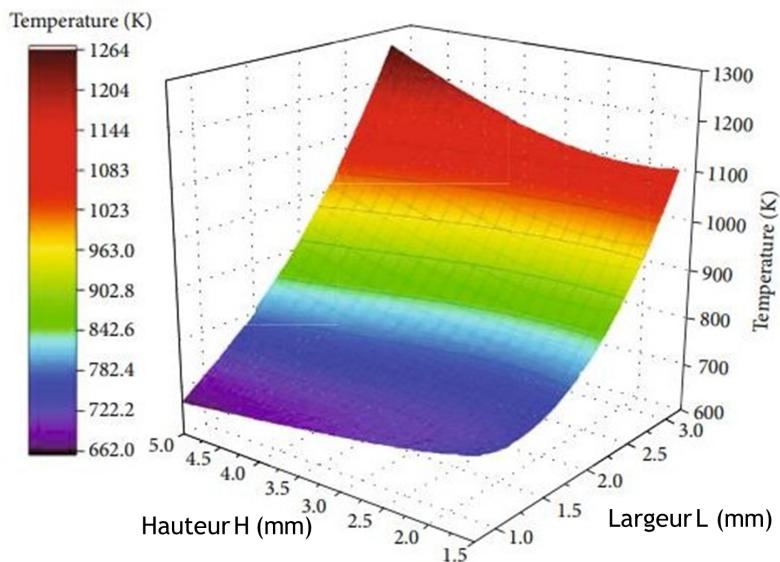


FIGURE 4 – Température maximale de la chambre de combustion en fonction de L et H

1.1.5 Conclusion

Résultat optimal

L'optimum est atteint à $H = 5$ mm et $L = 0,8$ mm, avec une température minimale de **586,6 K**.

Interprétation : Lorsque la largeur des canaux est augmentée, le fluide de refroidissement absorbe une grande quantité de chaleur à l'entrée de la chambre de combustion, en raison de la surface d'échange importante, là où son effet n'est pas pleinement nécessaire. En atteignant le col de la chambre de combustion, où la température est la plus élevée, le fluide de refroidissement a déjà une température importante, ce qui réduit son efficacité à absorber rapidement la chaleur.

Réduire la largeur tout en augmentant la hauteur permet de conserver un flux massique constant et de retarder l'absorption de chaleur jusqu'au col, là où elle est le plus nécessaire.

1.2 Étude 2 : Prédiction de rupture du réservoir Starship

Étant un grand fan du projet de la fusée **Starship** mené par SpaceX, je suis de près, depuis 2019, le développement en détail. Une des grandes phases de ce développement est le test sous pression des réservoirs de LOX (oxygène liquide) et de méthane.

Le but est de remplir le réservoir d'azote liquide cryogénique et d'augmenter la pression dans le réservoir jusqu'à rupture afin d'analyser le mode de défaillance. Anticipant ce test et ayant accès à un plan du réservoir publié par un employé sur internet, avec les cotes et l'épaisseur de la tôle, j'ai reconçu le réservoir et exécuté une simulation de pression hydrostatique pour tenter de prédire la zone de rupture ainsi que la pression critique en utilisant la méthode des éléments finis.

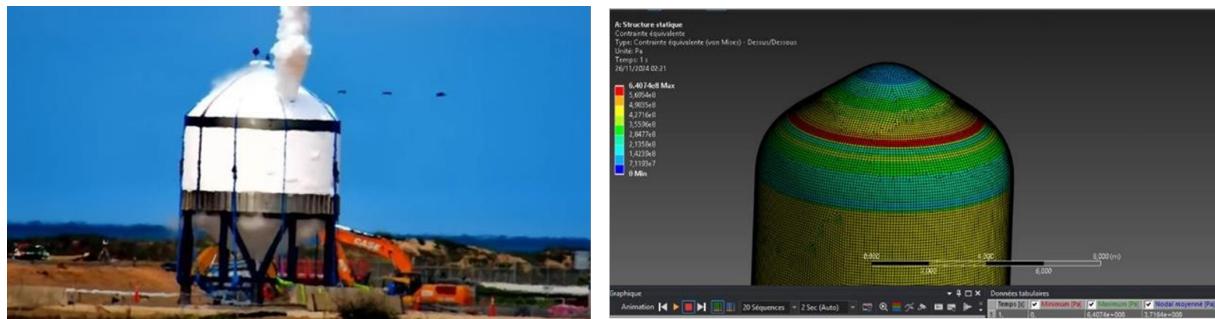


FIGURE 5 – Simulation FEA et prédition de la zone de rupture

Résultats

- **Rupture réelle du réservoir :** 7,6 bar
- **Rupture prédictive :** 8,1 bar
- **Déférence :** Probablement due à la température qui était plus élevée dans les vrais tests (la limite de rupture de l'acier inoxydable augmente lorsque la température diminue)
- **Zone de rupture :** Prédite par la zone rouge (contrainte maximale). Dans le test réel, la rupture s'est produite exactement dans la zone prédictive par la méthode des éléments finis : la fin de l'arc et début de zone linéaire.

Le fait de voir le test en direct et de prédire exactement la zone de rupture était particulièrement impressionnant et a validé l'approche de simulation utilisée.

2 Caterpillar : Stage PFE

2.1 Objectif

L'objectif de ce projet était d'analyser et d'améliorer la fiabilité du système tensionneur de chaîne du tracteur Caterpillar D5, un sous-ensemble critique du train de roulement, suite à de nombreuses défaillances terrain signalées (fuites hydrauliques, fissurations, usures prématuées). Le travail visait à identifier et quantifier les modes de défaillance réels à partir des données de garantie, comprendre les causes racines liées aux choix de conception, évaluer l'efficacité du système fusible existant et proposer des solutions de redesign robustes, compatibles avec les contraintes industrielles de coût, fabrication et maintenance.

2.2 Exécution

Le projet a été mené selon une approche DMAIC, en commençant par l'analyse détaillée des rapports de garantie afin d'identifier les composants critiques et les modes d'échec dominants. L'efficacité du système fusible a été évaluée par modélisation et simulations par éléments finis (FEA), complétées par un benchmark des systèmes D4, D6 et D7. Plusieurs concepts de redesign ont ensuite été développés en CAO sous Creo Parametric, validés virtuellement sous ANSYS, puis comparés à l'aide d'une matrice de Pugh, conduisant à la sélection d'une solution finale optimisant fiabilité, manufaturabilité et coût, prête pour prototypage industriel.

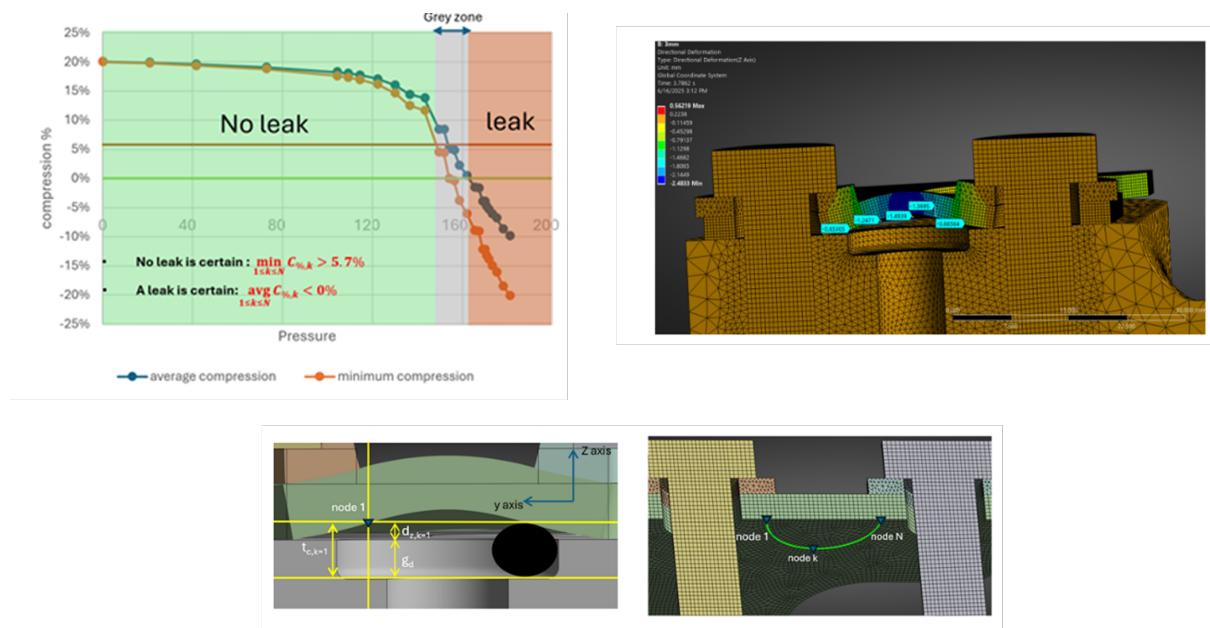


FIGURE 6 – évaluation et re-dimensionnement du système fusible

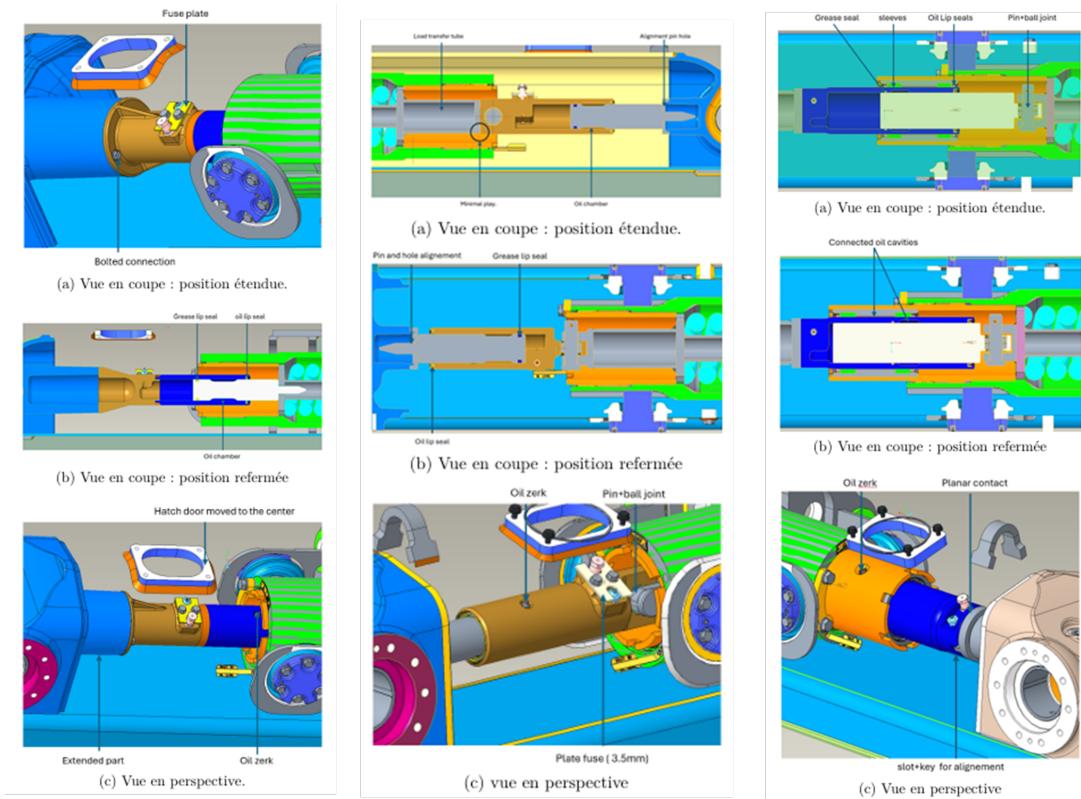


FIGURE 7 – Modélisation CAO des 3 concepts

3 General Electric Vernova

3.1 Projet 1 : Station de mesure de raideur

3.1.1 Objectif

Concevoir (partie mécanique et logicielle) une station de mesure de raideur des couronnes de doigt des nouvelles séries de disjoncteurs live tank. Cette station a pour objectif de s'assurer de la conformité des couronnes de doigt après leur montage dans le carter.

3.1.2 Exécution

Ma responsabilité consiste à élaborer la station dans sa globalité, tant au niveau mécanique que logiciel. J'ai commencé par définir les besoins avec les différentes parties prenantes (service qualité, opérateurs, bureau d'études). Ces besoins ont été traduits en exigences au niveau système, puis décomposés en exigences au niveau des sous-systèmes jusqu'à arriver aux exigences des composants (conception descendante).

Une fois les exigences au niveau des composants définies, j'ai entamé la phase de conception tout en travaillant parallèlement avec mon tuteur à l'identification des simulations nécessaires pour valider les exigences de précision des mesures. Après la validation des dimensions, j'ai réalisé la mise en plan, qui a ensuite été envoyée au service des achats.

La partie logicielle a été développée en parallèle. J'ai créé une interface graphique pour la visualisation de données et le pilotage du détecteur d'effort, puis je l'ai synchronisée avec la base de données du site pour l'enregistrement des données.

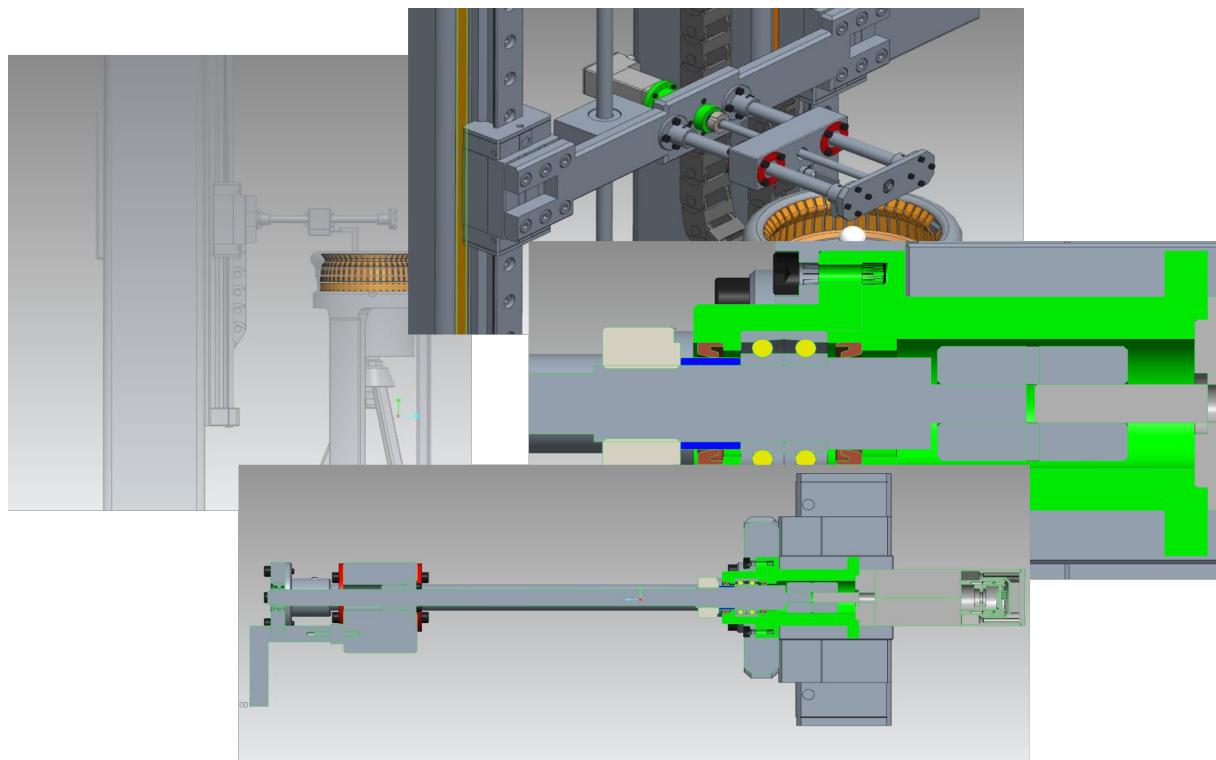


FIGURE 8 – Conception mécanique de la station de mesure

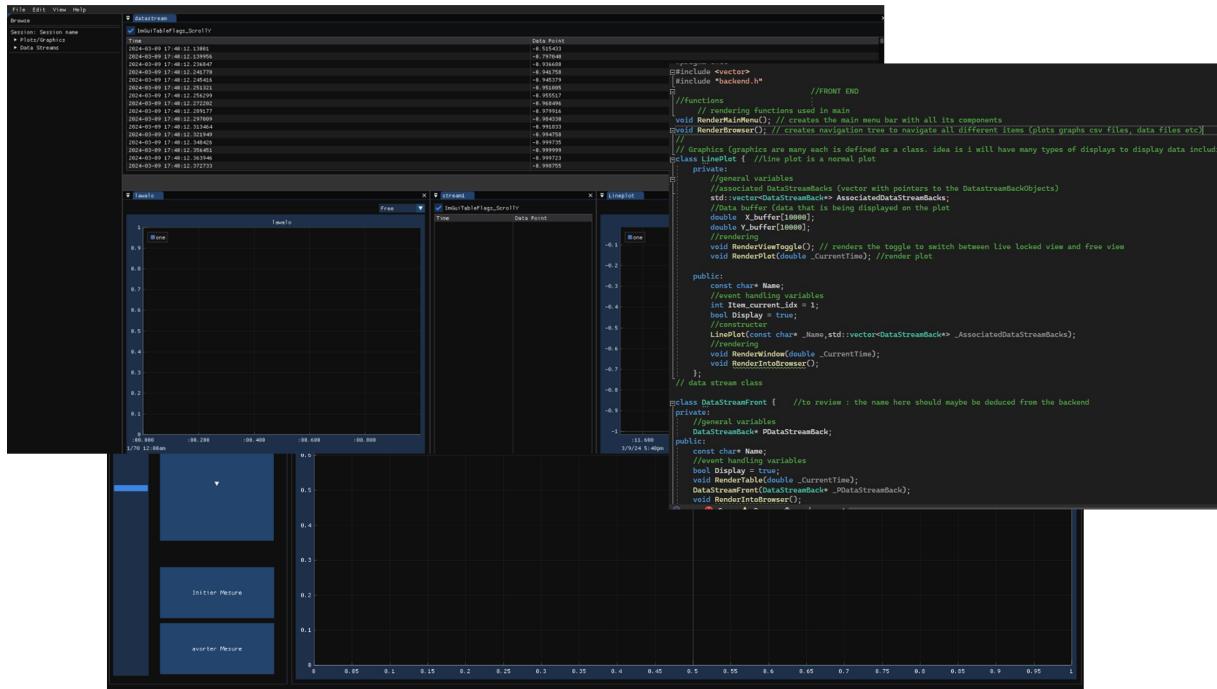


FIGURE 9 – Interface logicielle et système d'acquisition

3.2 Projet 2 : Dimensionnement d'arbre de transmission

3.2.1 Objectif

Dimensionnement d'arbre de transmission de puissance qui a été redésigné, pour l'ouverture des disjoncteurs GCB (Ground Circuit Breaker). L'ancien système étant coûteux et sensible aux défauts de coaxialité.

3.2.2 Exécution

J'ai dimensionné un nouveau design d'arbre en commençant par simuler les différentes propositions faites par un collègue. J'ai itéré sur les différentes dimensions et apporté des modifications mineures afin d'atteindre le facteur de sécurité demandé sans le dépasser. Le redesign visait à simplifier les usinages et surtout à diminuer la quantité de matériau, ce qui représentait un coût important pour l'entreprise.

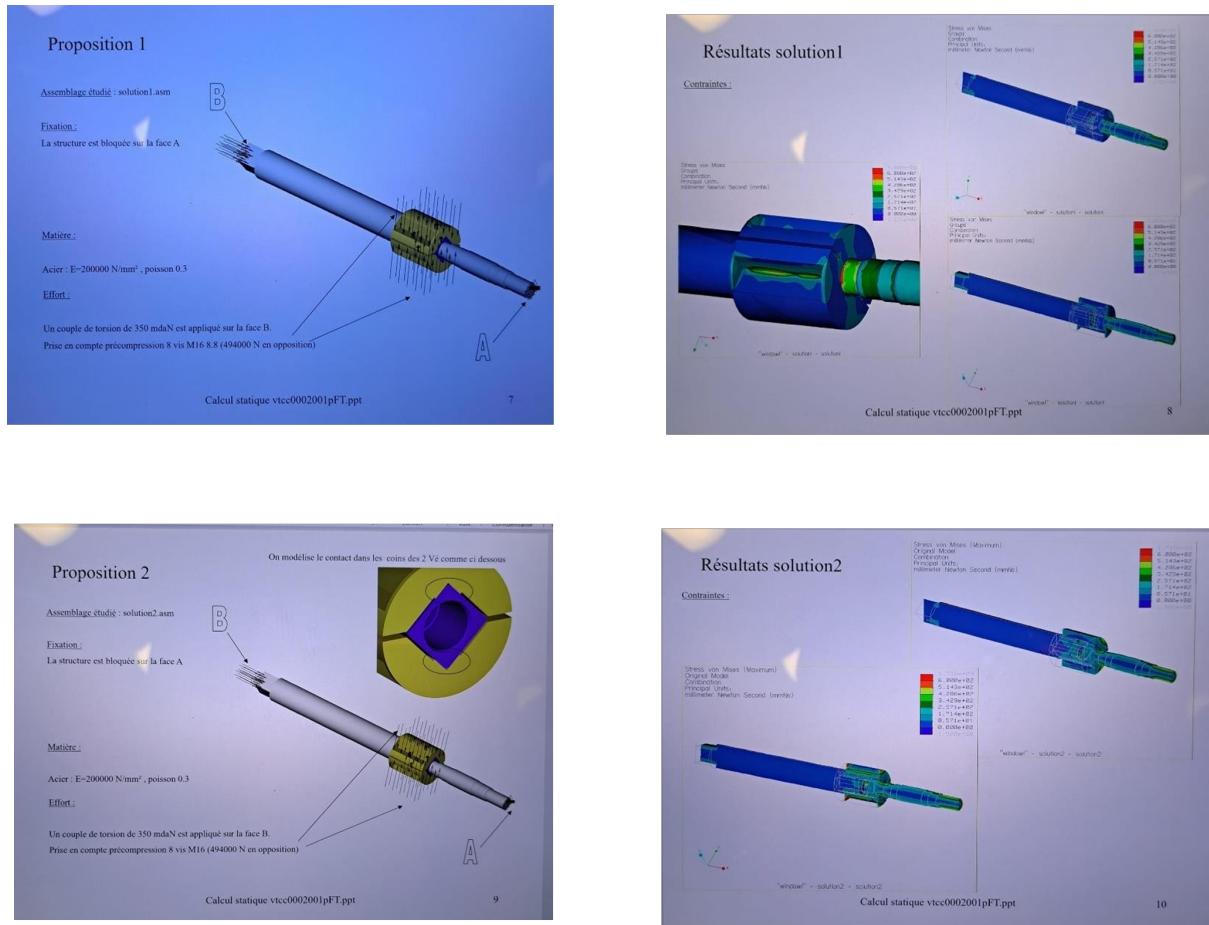


FIGURE 10 – Analyse FEA du design initial

3.3 Projet 3 : Analyse de contrainte chambre à gaz SF6

3.3.1 Objectif

Déterminer la contrainte mécanique dans la chambre à gaz due à la pression de gaz SF6, qui a été augmentée afin d'augmenter la durée de vie des tulipes. L'objectif est de s'assurer que le facteur de sécurité reste au-dessus de 5 selon le cahier des charges (CDC 912625/CODAP).

3.3.2 Exécution

La contrainte a été appliquée aux parois intérieures afin de simuler une pression statique de $p = 1.6 \text{ MPa}$. Matériau utilisé : A-S7G03.

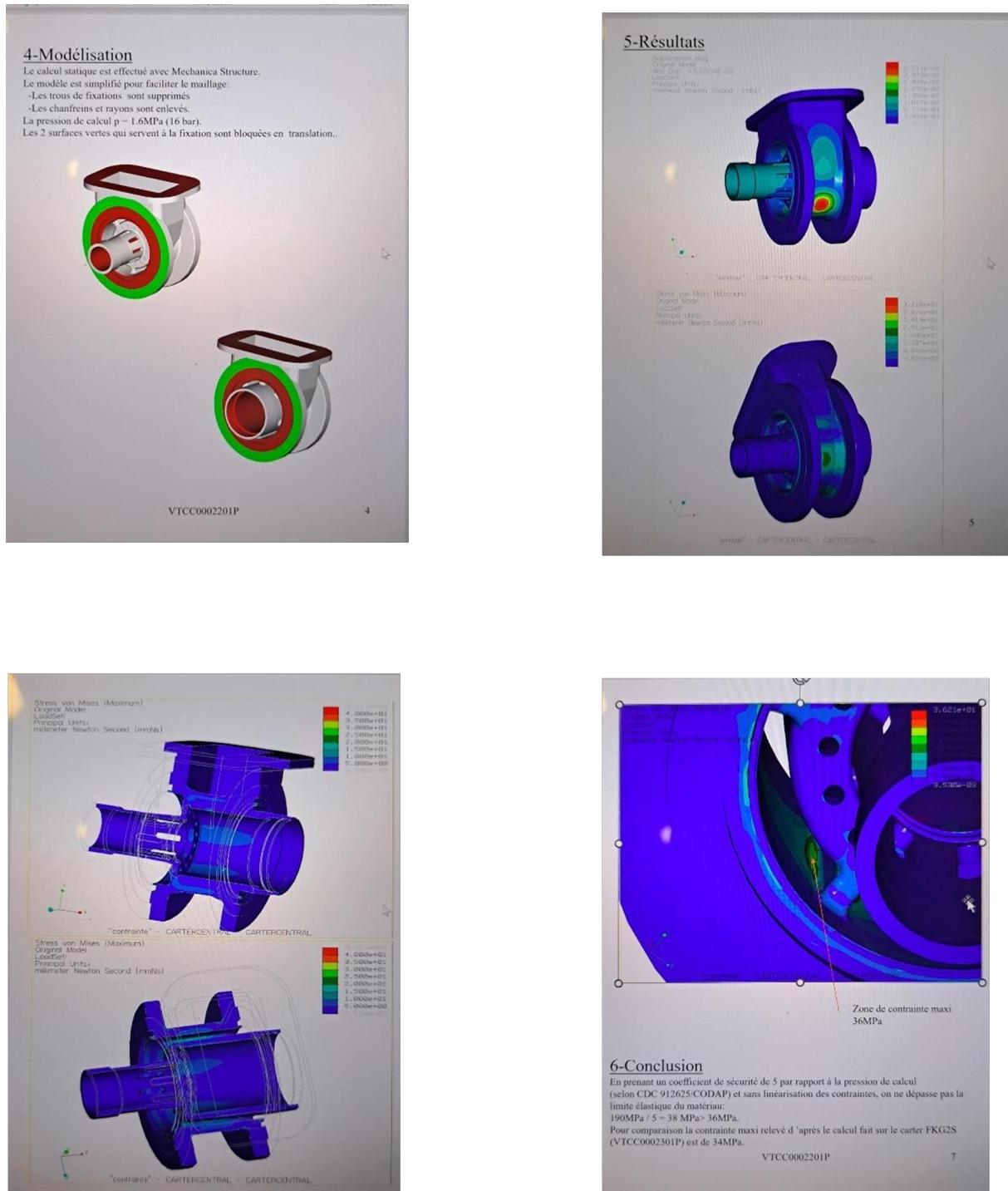


FIGURE 11 – Modèle FEA de la chambre à gaz

4 Alstom (Projet école)

Le projet est bien décrit sur mon CV. Malheureusement, je ne peux pas afficher le travail en raison de la signature d'un engagement de confidentialité.