



Département : Génie Mécanique

2em Année Master Mécanique, Robotique et Matériaux
Innovants

Rapport de Stage PFA au sein Chez ALTEC

Le sujet sous le nom :

**Optimisation Innovante de L'Espace :
Conception et Test d'Embases Pliables
et Empilables pour les Exigences
Logistiques d'Alstom**



Réalisé par : Kherbech Rachid

Sous encadrement : MOHSINI Ayoub, OUAQDI Oussama

Année Universitaire 2024/2025

Dédicace

À Dieu Tout-Puissant,
Qui m'a accordé santé, force et courage tout au long de ces années d'études.

À mes chers parents,
Aucun mot, aussi puissant soit-il, ne saurait exprimer l'immensité de l'amour, de l'affection, du respect et de la gratitude que je ressens pour vous. Votre présence constante m'a apporté confiance et réconfort. Puisse ce travail être le fruit de votre dévouement et de vos sacrifices, et témoigner de ma reconnaissance et de ma patience. Que Dieu vous accorde longue vie, bonheur et santé, et vous protège pour que vous demeuriez le soleil qui illumine notre existence.

À mes chers frères,
Pour notre complicité et les liens solides qui nous unissent, il m'est difficile de trouver les mots pour exprimer l'attachement fraternel que j'ai pour vous. Je vous souhaite bonheur et courage dans vos vies. Que Dieu vous garde et vous protège.

À toute ma famille,
À ceux qui m'ont soutenu, encouragé, et apprécié mes efforts, à ceux qui ont su créer un environnement favorable, empreint de joie et de bienveillance, propice à la réalisation de ce travail.

À mes amis,
En souvenir des merveilleux moments passés ensemble, de cette amitié qui a illuminé nos années, de nos instants de joie et de peine partagés. Que ce modeste travail soit le témoignage de mon estime et de mon respect pour vous.

À mes chers professeurs,
Vous méritez toute ma reconnaissance pour l'enseignement de qualité et la formation complète que vous nous avez prodigués. Recevez mes remerciements les plus sincères.

Remerciement

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à l'ensemble de l'équipe d'ALTEN pour m'avoir donné l'opportunité d'intégrer leurs rangs en tant que stagiaire. Cette expérience a été non seulement enrichissante d'un point de vue professionnel, mais également inspirante sur le plan personnel.

Je remercie particulièrement mes encadrants, le manager des projets Monsieur **Ayoub Mohnsini** et l'ingénieur responsable du projet « Conception d'emballage des pièces ferroviaires pour Alstom », Monsieur **Oussama Ouaqdi**, pour leur accompagnement constant, leurs conseils avisés, et leur soutien inestimable tout au long de mon projet. Leurs orientations et leur expertise ont été essentiels à la réussite de mon travail.

Mes remerciements s'adressent également à Madame **Karima Matto**, Responsable des Compétences, pour son accueil chaleureux et son suivi, ainsi qu'à Monsieur **Abderrahmane Nafia**, du département des Ressources Humaines, pour sa confiance et son soutien.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers mes collègues **Amine Elmarzouki**, **Zaid**, et **Chaimae**, qui ont contribué à créer un environnement de travail stimulant et agréable, et dont la collaboration et les échanges m'ont permis d'apprendre et de progresser au quotidien.

Merci à tous pour cette expérience formatrice et pour l'esprit d'équipe qui règne chez ALTEN.

Par ailleurs, je souhaite adresser ma profonde gratitude à mon établissement, l'ENSET Mohammedia, pour m'avoir offert une formation de qualité qui a constitué une base solide pour mon parcours. Mes remerciements vont particulièrement à mes professeurs pour leur dévouement et leur transmission des savoirs, ainsi qu'à notre coordinateur de filière, **M. Laidi Zahiri**, pour son suivi rigoureux et son soutien constant tout au long de mon cursus. Leur accompagnement a été précieux pour ma réussite et pour la réalisation de ce stage.

Avant-propos

Nom et prénom de l'étudiant stagiaire de l'ENSET :

Rachid Kherbech

Intitulé du travail :

Conception d'ingénierie d'emballage ferroviaire pour Alstom

Établissement d'accueil :

ALTERN Delivery Center, Technopolis, Rabat

Établissement d'origine :

ENSET Mohammedia

Encadrants professionnels :

- M. Mohsini Ayoub, Ingénieur d'État en logistique et transport, Chef de projet chez ALTERN
- M. Ouaqdi Oussama, titulaire d'un Master 2 en ingénierie mécanique et procédés, Ingénieur d'études et spécialiste des projets techniques

Date de début et de fin de stage :

Du 19/08/2024 au 20/09/2024

Résumé

Ce rapport présente le travail réalisé dans le cadre de mon projet de fin d'année, mené au sein de la société ALTEN Maroc, partenaire d'Alstom Transport, du 19/08/2024 au 20/09/2024.

Ce projet porte sur la conception d'une solution d'embase pliable pour l'emballage et le transport de composants ferroviaires, avec pour objectif d'optimiser l'espace de stockage tout en garantissant la sécurité et la stabilité des charges transportées. Dans ce contexte.

Mon rôle en tant qu'assistant ingénieur dans ce projet est en conception assistée par ordinateur (CAO) a inclus l'élaboration des dessins techniques, la modélisation des composants, et la réalisation de simulations pour évaluer la résistance aux charges, les contraintes, et les facteurs de sécurité dans différentes conditions de transport.

L'étude a permis d'identifier les limitations des embases actuelles et de proposer une solution innovante inspirée de mécanismes pliables, pour améliorer leur fonctionnalité. Les résultats des simulations ont été comparés aux solutions standards, en mettant en évidence les gains en espace et en flexibilité du nouveau design.

Enfin, un processus de fabrication a été élaboré, incluant le choix des matériaux et des méthodes de production, ainsi qu'une application Desktop permettant de calculer automatiquement les dimensions en fonction des spécifications techniques, facilitant ainsi le suivi et la reproductibilité de la solution en production.

Tableau de contents

Dédicace.....	2
Remerciement.....	3
Avant-propos.....	4
Résumé	5
Liste des figures.....	11
Liste des tableaux.....	13
Introduction générale.....	14
Chapitre 1 : ALTEN : Expertise en Ingénierie et Présence Internationale	15
1. Groupe ALTEN	16
2. Les Secteurs Servis par ALTEN	17
3. Réalisations.....	18
3.1. Industrie de la Défense et Aérospatiale	19
3.2. Industrie Aéronautique et Automobile	19
3.3. Industrie Manufacturière et Infrastructures	19
3.4. Réalisations dans le Domaine IT	19
3.5. Projets et Réalisations d'ALTEN au Maroc.....	20
4. Prix et Reconnaissances d'ALTEN	20
5. Centres d'ALTEN au Maroc	21
5.1. Présence et réseau d'ALTEN au Maroc.....	21
5.2. Organigramme de ADC (ALTEN Delivery Centre MAROC)	24
5.3. Présentation CS DCHM – Centre de Service Direction Caisse Habitacle & Matériaux.....	24
5.4. ALTEN Delivery Centre MAROC – Technopolis, Rabat.....	25
5.4.1. Secteurs d'Activité.....	25

5.4.2. Rôle et Importance du Centre de Rabat.....	25
5.4.3. Initiatives de Développement Local	25
5.5. Vision et Perspectives d'Avenir pour ALTEN Maroc	26
Chapitre 2 : ALSTOM : Un Leader Mondial du Transport Ferroviaire	27
1. Groupe ALSTOM	28
2. Filiales d'ALSTOM	28
3. Core Business et Produits	29
4. Présence mondiale	29
5. Innovation et Durabilité.....	29
6. Alstom au Maroc : Un Partenaire Stratégique.....	30
6.1. Secteur de l'Énergie	30
6.2. Secteur du Transport	31
Chapitre 3 : Projet de conception d'emballage des pièces ferroviaires pour ALSTOM	32
1. Présentation du projet.....	33
1.1. Définition de la problématique (Méthode QQOQCP)	33
1.2. Objectif du Projet	34
1.2.1. Généralité.....	34
1.2.2. Contexte	34
1.2.3. Livrables Attendus	35
1.2.4. Impact et Enjeux	35
1.3. Exigence du projet	35
1.4. Organigramme de l'Équipe de projet	36
2. Analyse fonctionnelle.....	37
2.1. Analyse fonctionnelle externe.....	37
2.1.1. Bête à cornes	37
2.1.2. Analyses Fonctionnelles du Besoin	38

2.1.2.1. DIAGRAMME DE PIEUVRE	38
2.1.2.2. Méthodologie d'Analyse Fonctionnelle	39
2.1.2.3. Approche Boîte Noire.....	40
2.2. Analyse fonctionnelle interne.....	40
3. Mon rôle en tant qu'assistant ingénieur mécanique.....	43
Chapitre 4 : Standards techniques d'embases d'Alstom pour l'expédition des composants ferroviaires.....	46
1. Description d'embases Alstom.....	47
1.1. Matériaux.....	47
1.2. Fabrication	49
2. Analyse et vérification de la sécurité des embases d'Alstom	50
2.1. Objective.....	50
2.2. Positionnement des embases	50
2.3. Charges (Loads) appliquées sur les embases	51
3. Simulations	51
3.1. Simulation de l'embase au sol sous charge	53
3.1.1. Les paramètres de la simulation 1	53
3.1.2. Les résultats de la simulation 1	55
3.1.3. Conclusion 1	56
3.2. Simulation de l'embase supérieure sous charge	57
3.2.1. Les paramètres de la simulation 2	57
3.2.2. Les résultats de la simulation 2	59
3.2.3. Conclusion 2	61
3.3. Simulation de les montant vertical de l'embase sous charge	61
3.3.1. Les paramètres de la simulation 3	62
3.3.2. Les résultats de la simulation 3.....	64
3.3.3. Conclusion 3.....	66

3.4. Conclusion Générale sur les Embases d'Alstom.....	67
4. Limites de la conception actuelle	68
4.1. Problèmes identifiés dans la conception actuelle	68
4.2. Impact de ces limitations sur les opérations d'Alstom	69
5. Solution proposée.....	71
Chapitre 5 : Conception et Test d'Embases Pliables et Empilables pour les Exigences Logistiques d'Alstom.....	72
1. Description de la solution repliable	73
1.1. L'idée en générale.....	73
1.2. L'inspiration.....	73
2. Avantage de la solution pliable	74
3. Réalisation et conception le module 3D	74
3.1. Conception des pièces	74
3.1.1. Conception des pièces	74
3.1.2. Assemblage des pièces	76
3.1.3. Mécanisme de pliage.....	76
3.2. Conception du module réel	77
3.2.1. Structure générale.....	77
3.2.2. Conception de montant vertical	78
3.2.3. Conception des barres principale de la base.....	79
3.2.4. Conception de la barre transversale de la base	80
3.2.5. Conception de la barre longitudinale de la base	80
3.2.6. Conception de la pièce ‘cross’ ou Noeud central	81
3.2.7. Conception de la pièce joint universel	81
3.2.8. Assemblage de la nouvelle embase pliable.....	81
3.3. Mécanisme de pliage et optimisation de l'espace.....	86
3.3.1. Présentation du mécanisme de pliage.....	86

3.3.2. Optimisation de l'espace	87
4. Analyse et simulation pour la sécurité du nouveau modèle d'embase	91
4.1. Simulation de l'embase au sol sous charge	92
4.1.1. Les paramètres de la simulation 1	92
4.1.2. Les résultats de la simulation 1	93
4.1.3. Conclusion 1	95
4.2. Simulation de l'embase supérieure sous charge	95
4.2.1. Les paramètres de la simulation 2	95
4.2.2. Les résultats de la simulation 2	96
4.2.3. Conclusion 2	98
4.3. Simulation de les montant vertical de l'embase sous charge	98
4.3.1. Les paramètres de la simulation 3	98
4.3.2. Les résultats de la simulation 3	99
4.3.3. Conclusion 3	101
5. Comparaison de la performance entre le design standard et le nouveau design d'embase	101
5.1. Comparaison les résultats des simulations	102
5.1.1. Tableau de comparaison et résumé des résultats des simulations	102
5.1.2. Représentation visuelle de la comparaison par des graphiques	103
5.2. Optimisation de l'Espace	104
6. Limites de l'Étude et Perspectives de Développement	106
6.1. Analyse des vibrations et des contraintes dynamiques	106
6.2. Détails de fabrication : Soudage et assemblage	106
6.3. Marges d'erreur : Conception vs Réalité	107
6.4. Étude logistique et économique approfondie	107

6.5. Développement d'une Desktop App pour la Gestion des Dimensions	107
6.6. Perspectives :	108

Liste des Figures

- **Figure 1** : Le groupe ALTEN à l'échelle internationale en 2020
- **Figure 2** : Présence et réseau d'ALTEN au Maroc
- **Figure 3** : Croissance d'ALTEN au Maroc
- **Figure 4** : Organigramme de ADC (ALTEN Delivery Centre MAROC)
- **Figure 5** : Structure d'ALSTOM avant 2014
- **Figure 6** : Diagramme de Pieuvre
- **Figure 7** : Diagramme FAST, Fonctions principales
- **Figure 8** : Diagramme FAST, Fonctions contraintes
- **Figure 9** : Diagramme SADT
- **Figure 10** : Exemple d'une embase d'Alstom avec les pièces ferroviaires
- **Figure 11** : Les pièces fixées sur la base de bois OSB
- **Figure 12** : Les fixations et les supports fixés sur la base de bois OSB
- **Figure 13** : Alstom embase avec plaque d'OSB
- **Figure 14** : Bois Oriented Strand Board (OSB)
- **Figure 15** : Profiles carrés creux
- **Figure 16** : Positionnement des embases pendant le transport
- **Figure 17** : Implémentation des infos et ajout de l'acier S235J2G3 dans SolidWorks
- **Figure 18** : Embase d'Alstom avec les pièces du système de climatisation ferroviaire
- **Figure 19** : Dimensions de l'embase d'Alstom
- **Figure 20** : Application des contraintes sur les plaques des pieds et les barres de support de la base
- **Figure 21** : Force de poids appliquée sur les barres de la base pour supporter la charge
- **Figure 22** : Paramètres pour l'application de la charge
- **Figure 23** : Graph du facteur de sécurité de la simulation de l'embase au sol sous charge
- **Figure 24** : Graph du déplacement de la simulation de l'embase au sol sous charge
- **Figure 25** : L'embase supérieure
- **Figure 26** : Fixation des montants verticaux
- **Figure 27** : Application de la force de poids des composants transportés par l'embase
- **Figure 28** : Application de maillage
- **Figure 29** : Graph du déplacement de la simulation de l'embase supérieure sous charge
- **Figure 30** : Graphs des contraintes max et min
- **Figure 31** : Graphs de facteur de la sécurité

- **Figure 32** : Les montants verticaux ciblés de l'embase
- **Figure 33** : Fixation des montants verticaux au niveau du sol
- **Figure 34** : Fixation des montants verticaux au niveau de la tête (jonction mâle)
- **Figure 35** : Application de la force de poids sur les montants verticaux
- **Figure 36** : Paramétrage avant la simulation avec les fixations et les charges appliquées
- **Figure 37** : Application de maillage
- **Figure 38** : Graph du déplacement de la simulation des montants verticaux de l'embase
- **Figure 39** : Graphs des contraintes max et min
- **Figure 40** : Déformation plastique d'après la vue longitudinale et transversale
- **Figure 41** : Graphs de facteur de la sécurité
- **Figure 42** : Image d'une chaise de camping et de son mécanisme de pliage
- **Figure 43** : Conception du montant vertical
- **Figure 44** : Conception de la barre de la base
- **Figure 45** : Conception de la pièce 'cross'
- **Figure 46** : La nouvelle forme de l'embase
- **Figure 47** : Mécanisme de pliage
- **Figure 48** : Assemblage du montant vertical
- **Figure 49** : Description des éléments du montant vertical
- **Figure 50** : Description des éléments du montant vertical (détail)
- **Figure 51** : Plaque pliée et soudée au montant avec les supports des barres pour renforcer la structure
- **Figure 52** : La barre principale de la base
- **Figure 53** : Module 3D d'un assemblage de la barre transversale de la base
- **Figure 54** : Module 3D d'un assemblage de la barre longitudinale de la base
- **Figure 55** : Module 3D d'un assemblage de la pièce cross
- **Figure 56** : Module 3D de la pièce joint universel
- **Figure 57** : Assemblage du nœud central (cross pièce) avec le joint universel
- **Figure 58** : Fixation des barres principales de la base (Middle Bars) aux joints universels
- **Figure 59** : Fixation des joints universels à l'autre extrémité des barres principales
- **Figure 60** : Fixation des montants verticaux aux joints universels des barres principales
- **Figure 61** : Fixation des barres transversales et longitudinales aux montants verticaux
- **Figure 62** : Fixation des barres de support transversales aux barres longitudinales
- **Figure 63** : Présentation de l'ensemble de l'embase assemblée
- **Figure 64** : Mécanisme de pliage du nouveau modèle d'embase d'Alstom
- **Figure 65** : Exemple de scénario de 2 colonnes contenant 3 embases empilées verticalement
- **Figure 66** : Embases pliées en mode de retour
- **Figure 67** : Les barres longitudinales de la base démontées et empilées les unes sur les autres
- **Figure 68** : Les barres transversales et de support démontées et empilées les unes sur les autres
- **Figure 69** : Comparaison des volumes entre design standard et pliable
- **Figure 70** : Fixation de la nouvelle embase au sol
- **Figure 71** : Force de poids appliquée sur la nouvelle embase au sol
- **Figure 72** : Résultats des contraintes pour la nouvelle embase au sol
- **Figure 73** : Résultats de déplacement pour la nouvelle embase au sol

- **Figure 74** : Facteur de sécurité de la nouvelle embase au sol
- **Figure 75** : Fixation de la nouvelle embase supérieure
- **Figure 76** : Force de poids appliquée sur la nouvelle embase supérieure
- **Figure 77** : Résultats des contraintes pour la nouvelle embase supérieure
- **Figure 78** : Résultats de déplacement pour la nouvelle embase supérieure
- **Figure 79** : Facteur de sécurité de la nouvelle embase supérieure
- **Figure 80** : Fixation des montants verticaux
- **Figure 81** : Force de poids appliquée sur les montants verticaux
- **Figure 82** : Résultats des contraintes pour les montants verticaux
- **Figure 83** : Résultats de déplacement pour les montants verticaux
- **Figure 84** : Facteur de sécurité des montants verticaux
- **Figure 85** : Graphe de comparaison des contraintes maximales
- **Figure 86** : Graphe de comparaison des déplacements maximaux
- **Figure 87** : Graphe de comparaison des facteurs de sécurité
- **Figure 88** : Graphe de comparaison des volumes occupés

Liste des Tableaux :

- **Tableau 1** : Carte d'identité ALTEN
- **Tableau 2** : Fiche technique d'ALTEN DELIVERY CENTRE MAROC
- **Tableau 3** : Carte d'identité d'ALSTOM
- **Tableau 4** : Exigence d'Alstom pour ce projet
- **Tableau 5** : Diagramme de bête à cornes
- **Tableau 6** : Les fonctions principales
- **Tableau 7** : Les fonctions contraintes
- **Tableau 8** : Carte d'identité (Propriétés) de l'acier S235J2G3
- **Tableau 9** : Résumé des résultats des simulations
- **Tableau 10** : Comparaison des résultats de toutes les simulations entre le design standard et le nouveau design d'embase
- **Tableau 11** : Résumé et comparaison entre les deux designs dans les deux modes de transport

Introduction générale :

ALTEN, acteur majeur du conseil en ingénierie et en technologies avancées, est fortement engagé dans le secteur ferroviaire à travers sa collaboration avec Alstom, l'un des leaders mondiaux des solutions de transport durable et intelligent. En 2021, Alstom a consolidé sa position dans l'industrie ferroviaire en intégrant Bombardier Transport, augmentant ainsi considérablement sa capacité d'innovation et sa présence géographique, notamment en Amérique du Nord et en Europe. Cette acquisition a permis à Alstom de renforcer son offre dans des domaines clés tels que le matériel roulant, la signalisation et les services, en ligne avec son plan stratégique "Alstom in Motion 2025" qui vise à développer une mobilité plus verte et plus intelligente grâce à des investissements massifs dans la recherche et développement (R&D) pour des solutions comme les trains à hydrogène et les trains autonomes.

Dans ce contexte, ALTEN joue un rôle stratégique en tant que partenaire d'ingénierie pour Alstom, en soutenant le développement et l'optimisation des technologies ferroviaires, en particulier dans la conception et le packaging pour le transport ferroviaire. Ce partenariat permet à Alstom de tirer parti de l'expertise d'ALTEN dans les projets industriels complexes, tout en répondant aux besoins croissants en solutions de transport durable, notamment dans des marchés émergents comme l'Asie, le Moyen-Orient et l'Afrique.

Le projet de fin d'année abordé dans ce document se concentre spécifiquement sur les aspects de conception et d'optimisation des systèmes d'emballage pour le transport ferroviaire, un domaine essentiel pour Alstom dans l'optimisation de la logistique ferroviaire et la réduction des coûts opérationnels.

Chapitre 1 :

Aperçu d'ALTEN : Expertise en Ingénierie et Présence Internationale

1. Group ALTEN :

Fondée en 1988 à Paris, ALTEN est une société française de conseil en ingénierie et technologies. Depuis sa création, l'entreprise a connu une expansion remarquable, notamment à l'international, consolidant sa réputation comme partenaire technologique de confiance pour des solutions d'ingénierie dans divers secteurs. ALTEN a su se distinguer par sa capacité à accompagner ses clients dans la transformation digitale et l'innovation technologique.

	
Caractéristique	Information
Raison sociale	ALTEN
Activité	Ingénierie et Conseil en Technologies
Siège social	40, avenue André Morizet 92513 Boulogne-Billancourt
Date de création	1988
Nationalité	Française
Capital social	35 521 980,90 €
Fondateurs	Simon Azoulay, Laurent Schwarz et Thierry Woo
Forme juridique	Société Anonyme à Conseil d'Administration
Tableau 1 : Carte d'identité ALTEN	

La mission d'ALTEN est de fournir à ses clients des solutions sur mesure en ingénierie et en technologies numériques, visant à améliorer l'efficacité, la qualité et la durabilité des projets. ALTEN se positionne ainsi comme un leader global en offrant des services d'ingénierie et de conseil de pointe, en particulier dans les domaines de la recherche, du développement et de la transformation technologique.

Croissance et Présence Internationale Avec une forte expansion depuis les années 2000, ALTEN est aujourd'hui implanté dans plus de 30 pays, dont le Maroc, et emploie plus de 45 000 collaborateurs à l'échelle mondiale. En 2023, le groupe a atteint un chiffre d'affaires de plusieurs milliards d'euros, consolidant ainsi sa position comme un acteur de premier plan dans le domaine de l'innovation technologique et de l'ingénierie. ALTEN figure également parmi les employeurs les plus attractifs pour les étudiants des grandes écoles, illustrant sa renommée en tant que marque employeur.

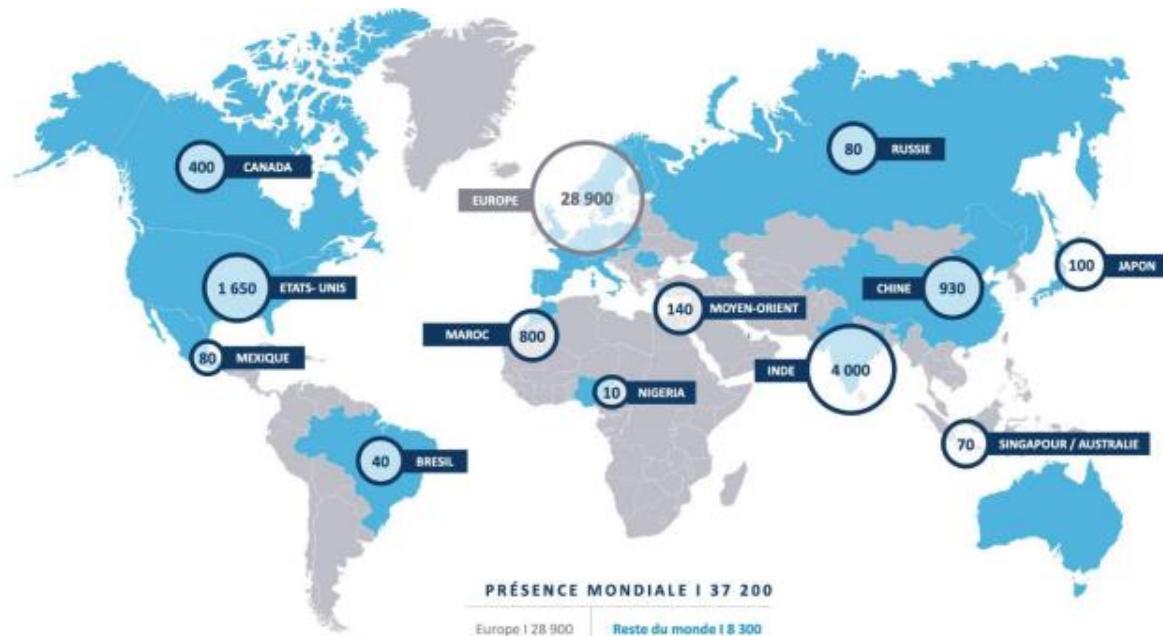


Figure 1 : Le groupe ALTEN à l'échelle internationale en 2020

2. Les Secteurs Servis par ALTEN

ALTEN intervient dans une large gamme d'industries, en fournissant des solutions d'ingénierie adaptées aux besoins spécifiques de chaque secteur. Parmi les secteurs clés, on retrouve :

- **Aéronautique** : ALTEN participe à la conception d'avions, à l'avionique et à l'analyse des structures, garantissant la performance et la sécurité des aéronefs.
- **Automobile** : ALTEN soutient la conception de véhicules, l'électrification et la technologie autonome, répondant ainsi aux exigences d'innovation et de durabilité du secteur automobile.
- **Télécommunications** : ALTEN accompagne les entreprises de télécoms dans l'expansion de leurs réseaux, la mise en place de la 5G et la sécurité numérique.
- **Énergie** : ALTEN intervient dans des projets d'énergie renouvelable, améliore l'efficacité des systèmes de distribution et développe des solutions énergétiques durables.
- **Ferroviaire et Mobilité** : ALTEN soutient l'optimisation des infrastructures ferroviaires grâce à des solutions d'ingénierie, de conception de packaging et d'optimisation des systèmes

La société a adapté ses services à chaque secteur afin de renforcer son rôle de leader dans l'ingénierie multisectorielle.

L'engagement d'ALTEN en matière de recherche et développement est également un facteur clé de son succès. Des initiatives comme le programme "Smart Factor 4.0" illustrent comment ALTEN intègre l'automatisation et la transformation numérique pour optimiser les processus de production. L'utilisation de ces méthodologies garantit qu'ALTEN reste à la pointe de l'innovation technologique, répondant ainsi aux standards industriels les plus exigeants.

Expertise en Projets et Innovation ALTEN regroupe des ingénieurs et des experts en innovation qui se consacrent au développement de projets ambitieux, du design à la mise en œuvre. Grâce à ses connaissances approfondies, ALTEN apporte des solutions technologiques fiables, que ce soit pour des missions de conseil ou pour des projets intégrés à grande échelle.

3. Réalisations

Le groupe ALTEN a mené à bien de nombreux projets ambitieux à l'échelle mondiale, en fournissant des solutions technologiques et des missions d'expertise pour ses clients dans divers secteurs. Ces réalisations témoignent de l'étendue et de la diversité des compétences d'ALTEN, notamment dans les domaines de l'ingénierie, de la mécanique, et des technologies de l'information.

Voici quelques exemples de projets majeurs dans d'autres domaines :

3.1. Industrie de la Défense et Aérospatiale :

Gestion de projet industriel pour un programme de sous-marin : Participation à des programmes de conception et de gestion de sous-marins.

Avion de combat multi-rôle : Adaptation de l'appareil pour des marchés d'exportation.

Assemblage, Intégration et Test (AIT) de satellites : Réalisation de tests pour garantir la performance et la fiabilité des satellites.

Aménagement et conception de minisatellites : Conception de solutions compactes pour l'exploration spatiale.

3.2. Industrie Aéronautique et Automobile :

Conception du futur lanceur européen : Développement des systèmes mécaniques et aérodynamiques pour le lancement spatial.

Roulage Numérique : Tests de véhicules autonomes pour assurer leur sécurité et efficacité en environnement réel.

Système d'aide à la conduite ADAS : Développement de systèmes basés sur caméras pour une nouvelle génération d'assistance à la conduite.

3.3. Industrie Manufacturière et Infrastructures :

Modernisation d'usine en Amérique du Nord : Mise à jour des lignes de production pour la fabrication de camions.

Métro automatique (CBTC) : Développement d'un système de contrôle-commande de trains basé sur la communication (CBTC) pour assurer l'automatisation du métro.

Maintenance du parc nucléaire : Activités de maintenance et modernisation des installations nucléaires pour garantir leur sécurité et longévité.

3.4. Réalisations dans le Domaine IT :

Développement de Solutions IT sur Mesure : Adaptation et développement de logiciels pour des applications spécifiques, en accord avec les besoins clients.

Intelligence Artificielle et Machine Learning : Implémentation de solutions d'IA pour optimiser les processus industriels et améliorer les décisions basées sur les données.

Cybersécurité : Mise en place de stratégies de sécurité pour protéger les infrastructures informatiques contre les cybermenaces.

Big Data et Analyse de Données : Solutions de gestion et d'analyse de grandes quantités de données pour améliorer les performances opérationnelles.

3.5. Projets et Réalisations d'ALTEN au Maroc

Collaborations et Contributions Clés : ALTEN Maroc collabore avec des partenaires de renom, tels qu'ALSTOM dans le secteur ferroviaire, pour apporter des solutions techniques et innovantes. Les projets sont axés sur le développement de systèmes embarqués et sur la modernisation des infrastructures, soutenant ainsi l'expansion des technologies ferroviaires au Maroc.

Impact de l'Innovation et de l'Emploi : Grâce à ses centres au Maroc, ALTEN participe activement à la croissance du secteur technologique marocain, tout en soutenant l'emploi et la formation des jeunes ingénieurs et développeurs, ce qui valorise l'expertise nationale et la place du Maroc comme centre technologique en Afrique.

4. Prix et Reconnaissances d'ALTEN

- **Récompenses pour l'Employeur et l'Industrie** : ALTEN a reçu plusieurs distinctions pour son environnement de travail et ses performances en innovation :
- **Top Employer** : Reconnu comme employeur de choix en France et dans d'autres pays européens, ALTEN se distingue par son engagement envers le développement de carrière.
- **Best Cooperation Partner Award** : Ce prix récompense ALTEN pour sa capacité à accompagner Huawei dans le développement de sa nouvelle ligne de produits.
- **Reconnaissance en Développement Durable** : ALTEN a été reconnu par le CDP pour ses initiatives de réduction de l'impact environnemental, obttenant une note de A- en 2018.

- **Meilleur Employeur au Maroc** : ALTEN Maroc a été classé parmi les cinq meilleurs employeurs au Maroc en 2019, témoignant de son attractivité en tant qu'employeur.

5. Centres d'ALTEN au Maroc :

5.1. Présence et réseau d'ALTEN au Maroc



Figure 2 : Présence et réseau d'ALTEN au Maroc

Filiale du groupe ALTEN, créée en 2008 et présente à Fès, Rabat, Casablanca et Tétouan compte aujourd'hui plus de 2 400 collaborateurs.

- **ALTEN Delivery Center Technopolis - Rabat** : Ce centre se spécialise dans les projets de recherche et développement, principalement pour le secteur ferroviaire avec des partenaires comme ALSTOM, mais également pour l'automobile et les télécommunications.
- **ALTEN Maroc Tétouan Shore** : Ce centre est un nouvel ajout à la structure d'ALTEN au Maroc et vise à renforcer les capacités d'outsourcing dans le nord du pays, avec un accent sur l'ingénierie logicielle, le développement d'applications et la maintenance IT.

- **ALTEN Maroc Casablanca** : Situé dans la plus grande ville économique du pays, le centre de Casablanca se concentre sur des services d'ingénierie, notamment dans les systèmes embarqués pour l'automobile et les solutions de mobilité urbaine.

Raison sociale	ALTEN DELIVERY CENTER MAROC -ADCM-
Forme juridique	S.A.R. L
Date de création	Juin 2008
Effectif de Enterprise	Plus de 32 550 collaborateurs
Secteur d'activité	Tertiaire (société de service)
Identifiant fiscal	40176459
Patente	14261940
N° Registre de commerce	29809
Téléphone	05 35 62 24 30
Adresse	<p>Site de Fès : Parc Fès Shore, Route de Sidi Hrazem, Fès, Maroc.</p> <p>Site de Rabat : Technopolis, Hssaine Salé, Bâtiments 4 et 5, Sala Al Jadida, Maroc.</p> <p>Site de Casablanca : Park Casa Nearshore, 10 Route Ahmed Soultan, Sidi Maârouf, Casablanca, Maroc.</p> <p>Site de Tétouan : MM2V+7V7, Martil 93150, Maroc</p>

**Tableau 2 : Fiche technique d'ALTEN DELIVERY CENTRE
MAROC**



Figure 3 : Croissance d'ALTEC au Maroc

ADC Maroc intervient auprès des leaders des secteurs Automobile, Réseaux et Télécommunications ainsi que du Software. L'entreprise incarne des valeurs humaines fortes, une culture de l'excellence et une expertise dévouée à ses clients.

Sa culture d'entreprise est articulée autour de trois piliers partagés par tous ses collaborateurs :

Une culture d'ingénieur : Les équipes partagent une identité commune fondée sur la créativité, l'innovation et la recherche constante de solutions dans un environnement technologique dynamique.

Un investissement dans le capital humain : ADC Maroc s'engage à cultiver les talents, à favoriser le développement individuel, à accroître l'expertise de ses collaborateurs et à leur offrir des opportunités d'épanouissement professionnel.

Une croissance durable : Grâce à un management de qualité, à des équipes compétentes et à une gestion rigoureuse, ALTEC garantit sa solidité financière et sa fidélité à ses engagements, assurant ainsi une croissance pérenne.

5.2. Organigramme de ADC (ALTEN Delivery Centre MAROC) :

Afin d'accompagner ses partenaires à l'internationale et développer des projets pour des grandes entreprises dans divers domaines, ALTEN Delivery Center possède plusieurs directions et services comme montre la figure.

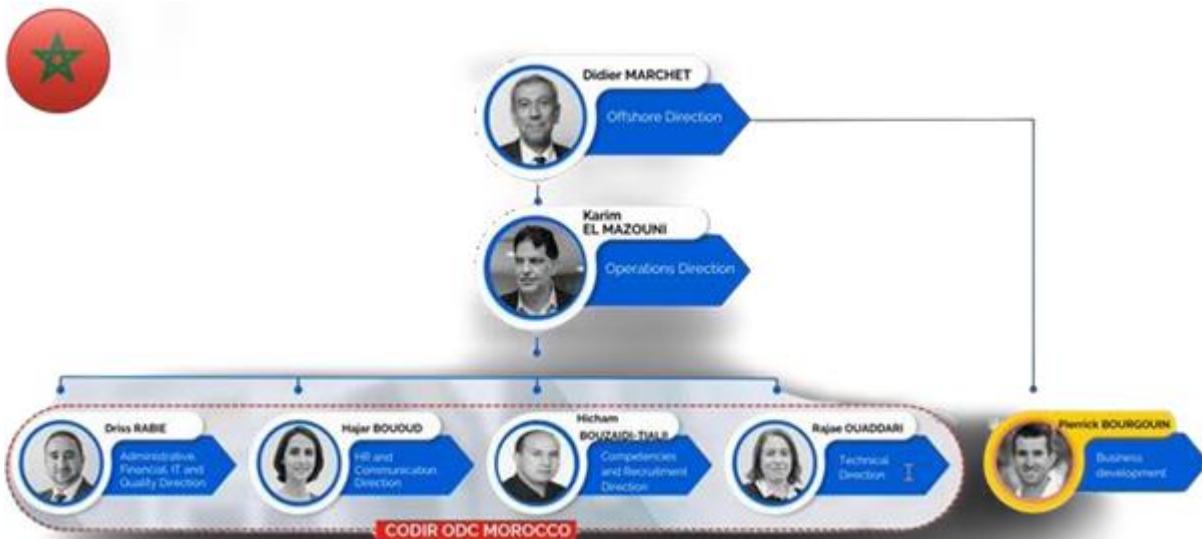


Figure 4 : Organigramme de ADC (ALTEN Delivery Centre MAROC)

5.3. Présentation CS DCHM – Centre de Service Direction Caisse

Habitacle & Matériaux :

Le Centre de Service - Direction Caisse Habitacle & Matériaux, Le Centre accueille le Animateurs en Conduite de Projet (ACP) prenant part à l':

- APVS (Animation des Projets et de la Vie Série)
- IPEM (Ingénierie Projets Emboutissage)
- IVSI (Ingénierie Vie Série et International) ;
- IPFE (Ingénierie Projets Ferrage).

Leur principal rôle est de mettre sous contrôle les activités du sous-système DCHM au regard du planning projet :

- Préparer et organiser les revues techniques ;

- Mettre à jour et diffuser les tableaux de bord sous-système ;
- Animer les revues de robustesse et de gestion des modifications.

Afin d'accompagner ses partenaires à l'internationale et développer des projets pour des grandes entreprises dans divers domaines, ALTEN Delivery Center possède plusieurs directions et services comme montre la figure.

5.4. ALTEN Delivery Centre MAROC – Technopolis, Rabat

Le centre de Delivery ALTEN à Technopolis Rabat, où mon stage a été réalisé, est l'un des piliers de la présence d'ALTEN au Maroc. Inauguré pour répondre aux besoins croissants en ingénierie et en services de conseil, ce centre se concentre sur des projets de R&D et d'innovation.

5.4.1. Secteurs d'Activité :

- **Ferroviaire** : En partenariat avec des leaders comme ALSTOM, ce centre développe des systèmes embarqués et des solutions de gestion pour le secteur ferroviaire marocain et international.
- **Automobile** : Le centre participe au développement des systèmes pour les véhicules intelligents et connectés, en mettant en œuvre des solutions avancées d'électronique embarquée.
- **Télécommunications** : Le centre de Rabat contribue au déploiement des réseaux et des infrastructures numériques pour les opérateurs télécoms.

5.4.2. Rôle et Importance du Centre de Rabat

ALTEN Technopolis Rabat agit comme un hub stratégique pour les activités d'ingénierie d'ALTEN au Maroc, soutenant non seulement les clients locaux mais aussi les projets internationaux. Grâce à une équipe hautement qualifiée, ce centre joue un rôle clé dans l'exécution de projets technologiques et innovants, renforçant la compétitivité du Maroc dans le domaine de l'ingénierie.

5.4.3. Initiatives de Développement Local

Le centre de Technopolis à Rabat contribue activement à l'écosystème technologique marocain, notamment en favorisant l'employabilité des jeunes diplômés en ingénierie. ALTEN Maroc participe également à des initiatives de formation et de développement pour les nouvelles recrues, les intégrant dans un environnement de travail innovant et dynamique.

5.5. Vision et Perspectives d’Avenir pour ALTEN Maroc

Stratégie de Croissance : ALTEN prévoit d’élargir sa présence au Maroc en ouvrant de nouveaux centres et en renforçant les partenariats locaux. L’objectif est de faire du Maroc un centre d’excellence pour l’outsourcing et l’innovation en ingénierie.

Investissement dans les Compétences : ALTEN investit dans le développement des compétences locales à travers des formations continues, des programmes de mentoring, et des projets de R&D, assurant ainsi la croissance de ses centres marocains dans un marché technologique en pleine expansion.

Contributions au Secteur de l’Ingénierie au Maroc : En fournissant des emplois qualifiés et en développant des solutions technologiques, ALTEN Maroc joue un rôle significatif dans la stratégie nationale de développement technologique et d’industrialisation, contribuant à positionner le Maroc comme un acteur clé en ingénierie sur le continent africain.

Chapitre 2 : Aperçu d'ALSTOM : Un Leader Mondial du Transport Ferroviaire

1. Groupe ALSTOM :

ALSTOM est une société anonyme basée en France créée en 1928, et au fil des années, les activités du groupe ont pris du large et ont connu d'énormes diversifications. Actuellement, le groupe est l'un des leaders mondiaux dans le Secteur d'infrastructures de transport ferroviaire. Le Groupe ALSTOM est reconnu dans le monde par l'avance technologique de ses solutions qui optimisent les coûts de possession de ses produits. L'entreprise construit des trains et des métros automatiques offrant la plus grande capacité.



Date de création	1928
Siège social	3 avenue André Malraux, 92300 Levallois-Perret, France
Activités principales	Infrastructures ferroviaires et solutions
Produits et services clés	Trains à grande vitesse, métros, tramways, systèmes de signalisation, maintenance, modernisation, solutions numériques, trains à hydrogène
Présence mondiale	Plus de 60 pays
Effectifs	Environ 35 000 employés dans le monde (en 2022)
Chiffre d'affaires	Environ 15 milliards d'euros (en 2022)

Tableau 3 : Carte d'identité d'ALSTOM

2. Filiales d'ALSTOM :

La Afin de gérer ses activités ALSTOM a créé trois filiales opérantes chacune dans un domaine défini.

- **ALSTOM POWER** : Spécialisé dans la conception, la fabrication et la fourniture des produits en relation avec la production d'électricité, Près de 25% de la capacité mondiale en production d'électricité dépend des technologies d'ALSTOM.
- **ALSTOM GRID** : s'en charge de la conception et la réalisation des équipements nécessaires pour transmettre l'énergie électrique depuis la centrale jusqu'aux utilisateurs. La filiale se positionne dans le podium des trois premiers acteurs dans le secteur.
- **ALSTOM TRANSPORT** : focalise ses travaux autour de trois familles de produits et services, la conception du matériel roulant, fondation des infrastructures ferroviaires, et le service de maintenance des équipements ferroviaires.

3. Core Business et Produits

Alstom est spécialisée dans la conception, la fabrication et la maintenance d'une large gamme de solutions ferroviaires, notamment :

- *Trains à grande vitesse* : Renommés pour leur vitesse, leur confort et leur efficacité énergétique.
- Systèmes de métro et de tramway : Offrant des solutions de mobilité urbaine durables.
- *Signalisation et infrastructures ferroviaires* : Assurant la sécurité et l'efficacité du fonctionnement des réseaux ferroviaires.
- *Services* : Proposant des services de maintenance, de modernisation et de gestion du cycle de vie.

4. Présence mondiale

Alstom est présent dans plus de 60 pays à travers le monde. Cette présence internationale lui permet de collaborer avec divers acteurs, tels que les gouvernements, les autorités de transport et les opérateurs ferroviaires.

5. Innovation et Durabilité

Alstom s'engage à innover et à promouvoir la durabilité dans le secteur ferroviaire. La société investit dans des technologies de pointe, telles que :

- Trains à hydrogène : Des trains zéro émission contribuant à un avenir plus durable.
- Solutions ferroviaires numériques : Des technologies numériques avancées pour améliorer l'efficacité et la fiabilité des opérations ferroviaires.
- Maintenance prédictive : L'utilisation de l'analyse de données pour optimiser les plannings de maintenance et réduire les temps d'arrêt.

En privilégiant l'innovation, la durabilité et la satisfaction client, Alstom continue de façonner l'avenir du transport.



Figure 5 : le structure d'ALSTOM avant 2014

6. Alstom au Maroc : Un Partenaire Stratégique

- Alstom, un leader mondial de la mobilité durable, joue un rôle clé dans le développement du Maroc depuis plus de 40 ans. Avec 9 établissements répartis dans tout le pays, Alstom opère dans divers secteurs, contribuant à l'infrastructure énergétique et de transport du pays.

6.1. Secteur de l'Énergie :

- **Production d'Électricité** : Alstom est impliqué dans l'exploitation et la maintenance de centrales électriques, notamment à Ain Beni Mathar et Jorf Lasfar.

- **Rénovation d'Équipements** : L'entreprise est spécialisée dans la rénovation de turbines et d'alternateurs, comme en témoignent les projets réalisés à Mohammedia.
- **Partenariats Stratégiques** : Alstom collabore avec des acteurs clés tels que l'Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable (ONEE) et l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) pour faire avancer le secteur énergétique marocain.

6.2. Secteur du Transport :

- **Équipements Électriques** : Depuis 1984, Alstom fournit une gamme d'équipements haute tension et très haute tension, notamment des disjoncteurs, des interrupteurs, des transformateurs et des instruments de mesure.
- **Systèmes de Contrôle-Commande** : L'entreprise fournit des systèmes de contrôle-commande avancés pour assurer la fiabilité et la sécurité des réseaux de transport d'électricité.
- **Solutions Ferroviaires** : Alstom contribue à la modernisation du réseau ferroviaire marocain en fournissant des solutions de transport de haute qualité, telles que des trains à grande vitesse et des trains régionaux.
- **Augmentation de Capacité** : L'entreprise joue un rôle dans l'augmentation de la capacité du réseau ferroviaire en mettant en œuvre des systèmes de signalisation avancés.
- **Développement Durable** : Alstom s'engage à promouvoir un transport durable au Maroc en offrant des solutions écologiques et économiquement viables.
- Grâce à sa diversité d'activités, Alstom contribue au développement économique et social du Maroc, favorisant un avenir plus durable et efficace.

Chapitre 3 :

Projet de conception d'emballage des pièces ferroviaires pour ALSTOM

1. Présentation du projet

Ce chapitre vise à définir clairement la portée du projet, en mettant en évidence les objectifs, les besoins, les tâches à accomplir et les contraintes associées. Il s'agit de structurer méthodiquement les étapes du projet pour garantir son bon déroulement. Nous débuterons par une analyse fine de la problématique à l'aide de la méthode QQQQCP, puis nous présenterons les objectifs du projet et une analyse des risques pour assurer sa réussite.

1.1. Définition de la problématique (Méthode QQQQCP)

Avant d'entrer dans les détails techniques, il est essentiel de bien cerner la situation actuelle et les enjeux associés, en répondant aux questions clés de la méthode QQQQCP :

- Quoi ?**

Le problème principal consiste à concevoir des solutions de fixation efficaces pour les pièces fournies par le client. Ces solutions doivent garantir la stabilité et la sécurité des équipements intérieurs des trains, tout en respectant les contraintes liées au transport et au stockage.

- Qui ?**

- L'équipe projet : composée d'un chef de projet, de pilotes projet et d'ingénieurs spécialisés dans le développement de solutions de fixation pour les équipements ferroviaires.
- **ALSTOM** : l'entreprise responsable de la fabrication et de l'assemblage des trains, qui fournit les kits à installer.

- Où ?**

Le problème se situe dans les installations d'ALSTOM, où les équipements intérieurs des trains sont intégrés et assemblés.

- Quand ?**

La durée du projet s'étend du **4 mars 2024** au **20 septembre 2024**.

- Comment ?**

En suivant une méthodologie rigoureuse, comprenant :

- Une analyse approfondie des pièces fournies.
- Le développement de solutions adaptées aux caractéristiques spécifiques de chaque composant.
- La validation des solutions par des tests statiques et dynamiques.
- L'optimisation des designs en fonction des résultats des tests.

- Pourquoi ?**

L'objectif principal est de garantir la **sécurité et la fiabilité** des équipements

intérieurs des trains, tout en assurant une efficacité optimale pendant le transport et le stockage.

1.2. Objectif du Projet :

1.2.1. Généralité :

Ce projet de fin d'études vise à concevoir et optimiser l'agencement des équipements intérieurs des trains pour ALSTOM. Plus précisément, il s'agit de :

- Développer des solutions de fixation sur mesure pour les pièces fournies par le client, regroupées sous forme de kits.
- Assurer une installation sécurisée et efficace des équipements à l'intérieur des trains.
- Garantir la stabilité et la sécurité des équipements pendant le transport et le stockage.
- Intégrer des solutions modulaires et économiques, conformes aux exigences techniques et logistiques d'ALSTOM.

L'objectif principal est de développer des solutions de fixation pour les pièces regroupées en kits, afin de garantir leur installation sécurisée et efficace à l'intérieur des trains. Ces solutions doivent assurer la stabilité des équipements lors du transport et du stockage.

1.2.2. Contexte :

➤ Description des Kits Fournis par le Client :

Les pièces fournies par ALSTOM sont regroupées sous forme de kits. Chaque kit inclut trois types de dossiers :

Dossier des Pièces 3D : Comprend les modèles tridimensionnels des pièces à installer dans les trains.

Dossier des Pièces 2D : Contient les dessins techniques en deux dimensions, détaillant les dimensions et configurations des pièces.

Dossier "Préco" (Préconisations) : Contient un document PDF présentant des informations essentielles sur les pièces, telles que leur matériau, leur poids et leurs dimensions.

➤ **Objectif de Conception et d'Optimisation :**

Le défi majeur réside dans la conception et l'optimisation des solutions de fixation pour les pièces des kits. Ces solutions doivent être adaptées à chaque type de pièce tout en garantissant leur stabilité et sécurité. L'objectif est de créer des fixations pratiques permettant un montage et démontage rapides des équipements intérieurs tout en assurant fiabilité et durabilité.

1.2.3. Livrables Attendus :

Les résultats attendus de ce projet incluent :

- Des solutions de fixation adaptées et détaillées pour chaque type de pièce des kits.
- Des rapports de tests évaluant les performances des solutions proposées.
- Des recommandations pour intégrer ces solutions dans les processus de production et d'assemblage des équipements intérieurs des trains.

1.2.4. Impact et Enjeux :

La réussite de ce projet aura des répercussions importantes sur la capacité d'ALSTOM à fournir des trains de haute qualité, sûrs et fonctionnels. En développant des solutions de fixation efficaces, l'entreprise pourra optimiser ses processus d'assemblage, améliorer la satisfaction client et garantir la fiabilité des équipements intérieurs tout au long de leur cycle de vie.

1.3. Exigence du projet :

L'organisation est la clé pour garantir le succès de tout projet. Faire une liste des exigences est une manière de brainstormer et de définir les catégories sur lesquelles nous travaillerons pour que la conception soit fonctionnelle.

N°	Exigence	Catégorie
1	Empilabilité	Fonctionnalité
2	Mesures standardisées du conteneur	
3	Des solutions simples pour entrer et sortir les pièces de l'emballage	
4	Solutions standardisées entre kits	
5	Roue interchangeable	
6	Le conteneur résiste aux poids lourds	Performance
7	Supports sécurisés	
8	Matériel bon marché	Cout
9	Documentation technique	
10	Documentation technique	Documentation
11	Dessins 2D	
12	Fichiers 3D	
13	Emballage réutilisable	Durabilité
14	Conception pour les vibrations	
15	Conception pour le stress	
16	Règle de 20mm	Sécurité
17	Conteneur renforcé	

Tableau 4 : exigence d'Alstom pour ce projet

1.4. Organigramme de l'Équipe de projet :

Pour garantir une gestion efficace du projet chez Alstom, une structure organisationnelle claire a été mise en place. L'équipe technique a été divisée en deux groupes, chacun sous la responsabilité d'un pilote de projet. Cette organisation vise à optimiser la répartition des tâches et à assurer une exécution fluide des travaux, notamment le traitement des kits de fixation.

Composition de notre équipe :

- **Chef de projet :**
Ayoub MOHSINI
- **Pilote de projet :**
Fouad LEHBIL
- **Équipe d'ingénieurs :**
 - Hicham AMIRI
 - Najlae FLIFLA
 - Taha RHILOUCH

- Idris RAIA
- Yassie ELMADANI
- Zaid IBISK
- Oussama OUAQDI
- Chaimae DADOU
- Rachid KHERBECH
- Amine MERZOUKI

Cette structure collaborative permet de répartir efficacement les tâches et de s'assurer que chaque kit de fixation est conçu et validé dans les délais impartis, en respectant les exigences techniques et les normes de qualité d'Alstom.

2. Analyse fonctionnelle :

L'objectif de notre étude dans ce chapitre est d'analyser en point de vue fonctionnel les systèmes des fixations réaliser, Cette approche méthodique permet de bien comprendre tous les besoins et les contraintes, et de les décomposer en fonctions précises. Comme ça, on facilite grandement le développement de solutions techniques qui correspondent vraiment aux objectifs visés.

2.1. Analyse fonctionnelle externe :

2.1.1. Bête à cornes :

La bête à cornes est un outil de formulation du projet. Son fondamental objectif est de cadrer le contexte dans lequel le projet voit le jour et de préciser le périmètre du projet.

Conception d'emballages pour les pièces des trains.	
À qui rend-il service ?	ALSTOM.
Sur quoi agit-il ?	Les équipements intérieurs des trains.
Dans quel but ?	Concevoir et optimiser l'agencement des équipements intérieurs des trains pour ALSTOM, en se concentrant sur la création de solutions de fixation robustes et efficaces, tout en assurant la facilité de manipulation pour les opérateurs.

Tableau 5 : diagramme de bête à cornes

2.1.2. Analyses Fonctionnelles du Besoin :

2.1.2.1. Diagramme de Pieuvre

L'analyse fonctionnelle du besoin permet de traduire ce dernier en fonctions à réaliser, appelées **fonctions de service**. Le **diagramme de pieuvre** est utilisé pour identifier et illustrer :

- Les éléments du milieu extérieur (EME),
- Les fonctions principales (FP),
- Les fonctions contraintes (FC) du système.

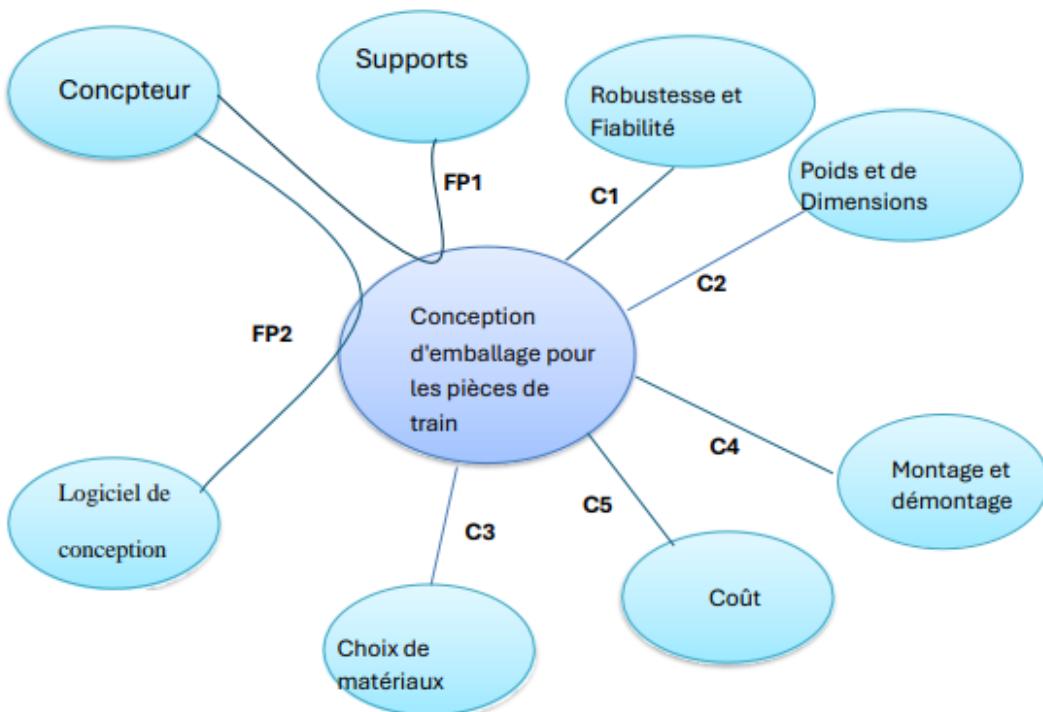


Figure 6 : diagramme de Pieuvre

Avec : FPi : Fonction principale ; Ci : Fonction contrainte.

FP1	Cette fonction principale vise à assurer la conception efficace et optimisée des supports de fixation pour les équipements intérieurs des trains d'Alstom
FP2	Cette fonction principale vise à créer des propositions de conception à l'aide de logiciel SolidWorks

Tableau 6 : les fonction principale

FC1.	Garantir la robustesse des fixations pour résister aux vibrations et aux contraintes mécaniques
FC2	Optimiser les solutions de fixation pour minimiser le poids tout en supportant efficacement les charges des équipements intérieurs.
FC3	Assurer la compatibilité des solutions de fixation avec les matériaux utilisés les équipements fournis par Alstom.
FC4	FC4 Les solutions de fixation doivent être conçues pour permettre un accès facile lors du montage et démontage des équipements
FC5	Réduire les coûts d'emballage en recherchant des matériaux et des solutions économiques

Tableau 7 : les fonction contrainte

2.1.2.2. Méthodologie d'Analyse Fonctionnelle

Conformément à la Norme Française X 50-150, l'analyse fonctionnelle consiste à :

- Recenser,
- Ordonner,
- Caractériser,
- Hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions du système étudié.

Cette démarche est une étape cruciale pour comprendre les fonctions du système. Elle est essentielle pour :

- Identifier les risques de dysfonctionnement,
- Faciliter l'analyse des défaillances futures.

2.1.2.3. Approche Boîte Noire

Le système est d'abord perçu comme une boîte noire, dont la composition interne est inconnue. Cette étape correspond à l'analyse fonctionnelle externe, réalisée en suivant les étapes suivantes :

- Déterminer les **positions d'illustration**,
- Identifier les **éléments du milieu extérieur (EME)**,
- Identifier les **fonctions principales (FP)**,
- Identifier les **fonctions contraintes (FC)**,
- **Valider les fonctions**.

2.2. Analyse fonctionnelle interne :

Après définition des fonctions de services, nous allons entamer l'étape la plus importante dans l'étude, dans la conception, nous utiliserons l'outil de l'analyse fonctionnelle, le diagramme « FAST », pour la recherche et l'étude des solutions technologiques, à partir des fonctions de services définis précédemment.

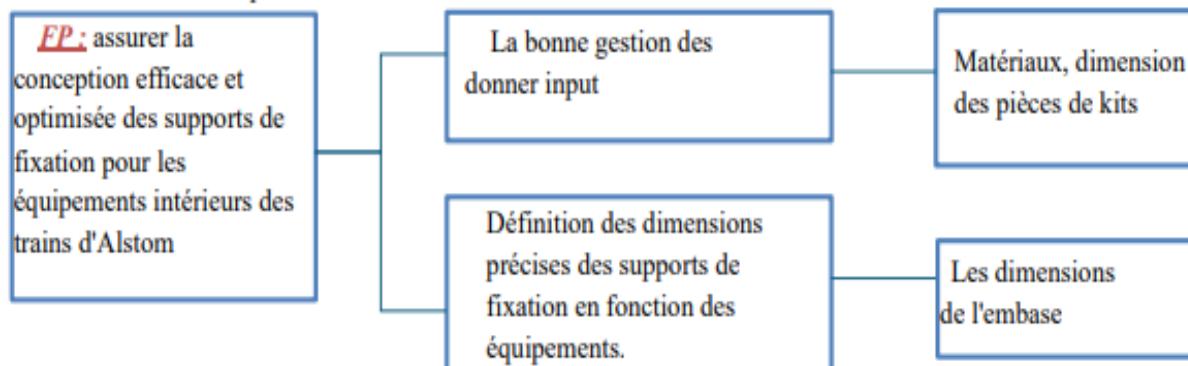


Figure 7 : diagramme de FAST, Fonctions principales

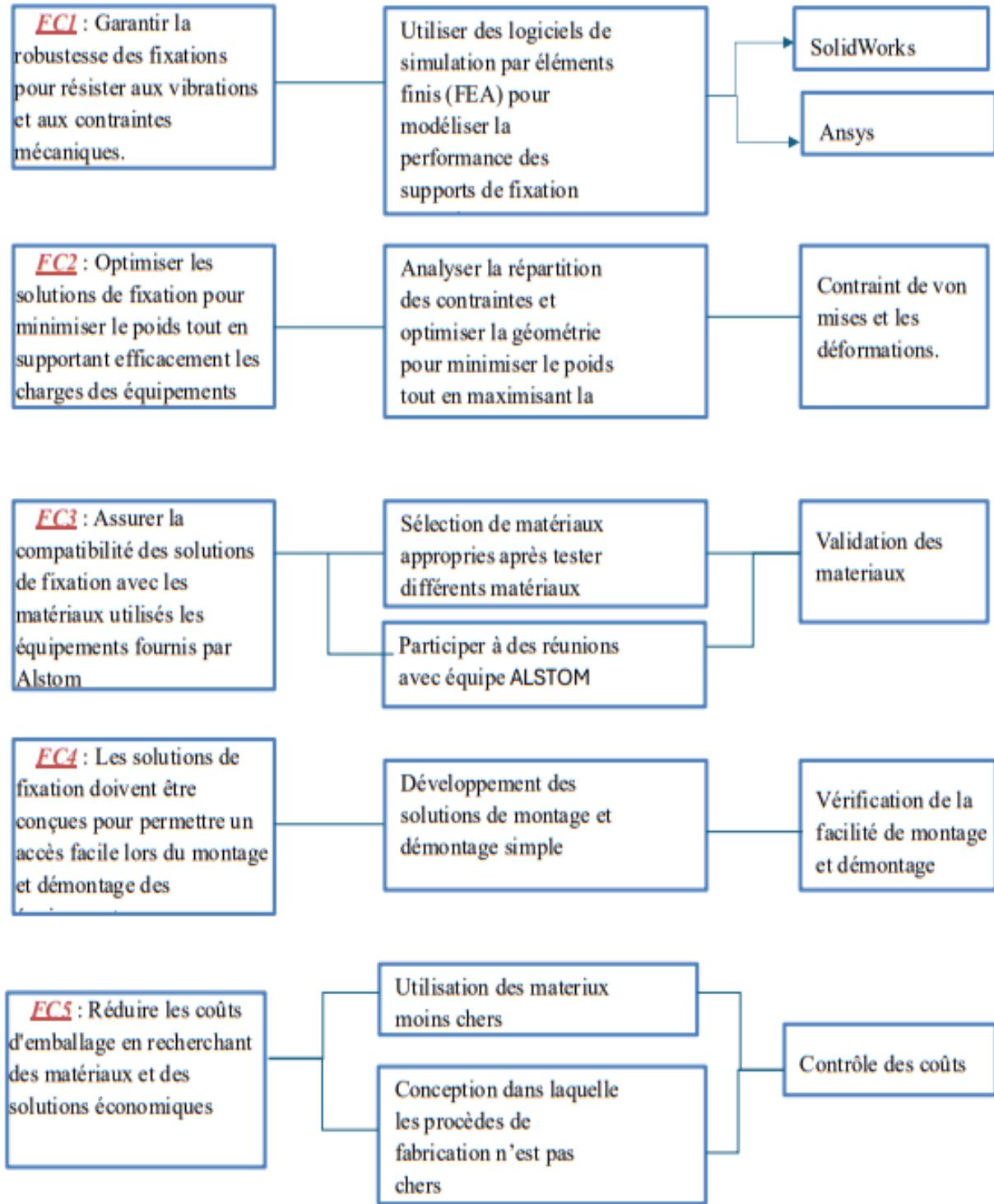


Figure 8 : diagramme de FAST, Fonctions contraintes

Diagramme SADT :

Le diagramme SADT (Structured Analysis and Design Technique) est une méthode structurée pour modéliser les systèmes, en se concentrant sur les fonctions principales et les flux d'information

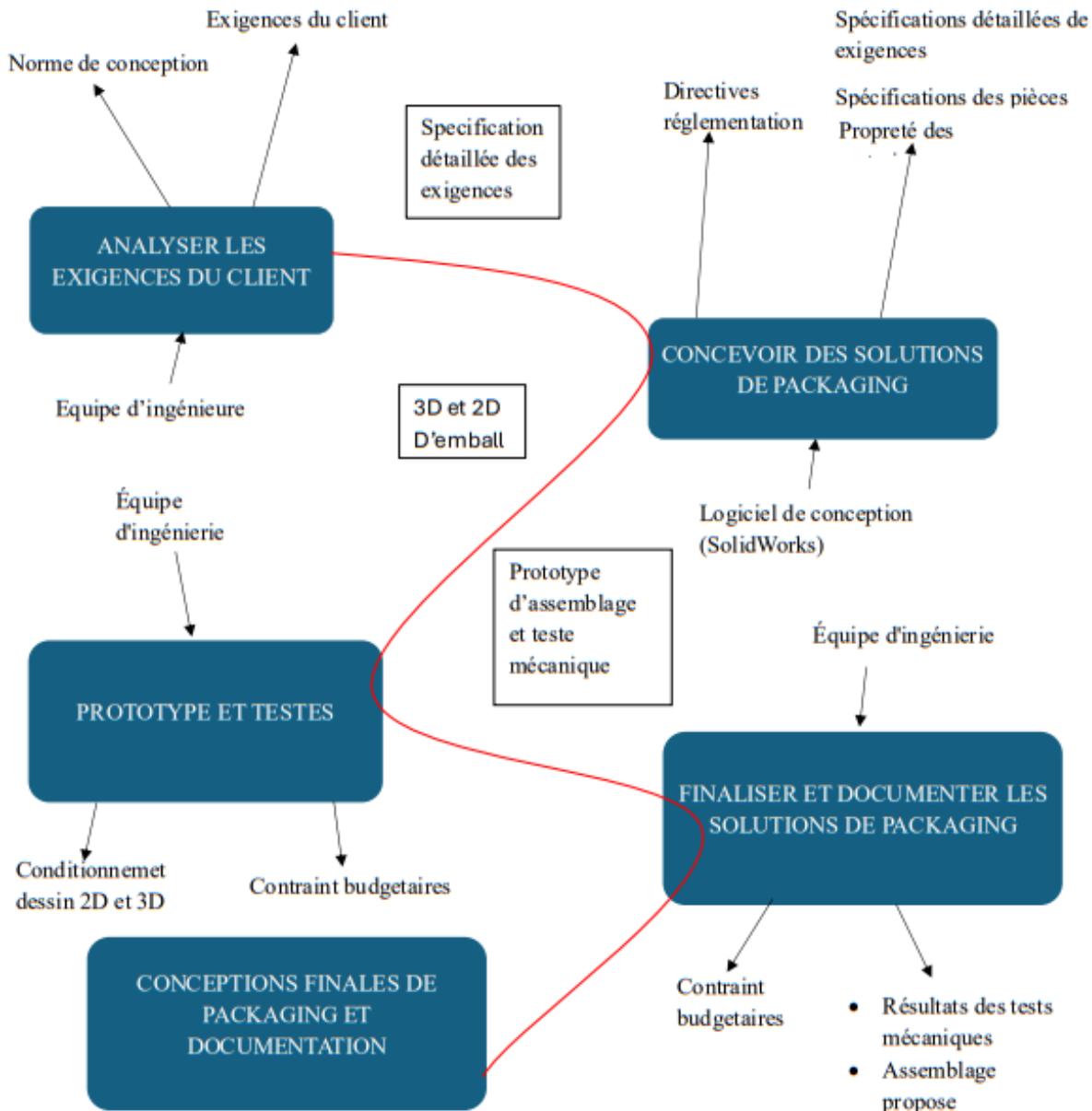


Figure 10: Diagramme SADT

34

Figure 9 : Diagramme SADT

3. Mon rôle en tant qu'assistant ingénieur mécanique :

En tant que centre de livraison pour les pièces ferroviaires d'Alstom, ALTEN a orchestré un projet impliquant plusieurs spécialités, telles que les ingénieurs en mécanique et en génie industriel, ainsi que des professionnels de la chaîne d'approvisionnement, de la logistique et du transport. Mon rôle dans ce projet était au sein du département de génie mécanique, en tant qu'assistant ingénieur en conception, où je faisais partie d'une équipe dédiée aux phases de conception et de test. Cette équipe comprenait des ingénieurs et techniciens, notamment Oussama, Zaid, Lmadani, Chaimae, Idriss, Fouad, et notre chef de projet, Ayoub.

En tant que département de génie mécanique, notre mission principale consistait à utiliser les modèles 3D de composants ferroviaires fournis par Alstom pour concevoir des supports et fixations assurant la stabilité et la sécurité des pièces durant le transport en conteneur. L’“embase”, un modèle de base fourni par Alstom, servait de cadre de référence. Notre tâche était de concevoir des supports sur mesure pour chaque forme de composant, garantissant ainsi leur sécurité pendant le transport. Par la suite, nous effectuions des tests de résistance et de stabilité pour vérifier que l'embase pouvait supporter les charges sans déformation plastique ni défaillance.

En tant qu'assistant ingénieur, mes responsabilités spécifiques incluaient la conception de supports, la conversion de fichiers STP (souvent sans historique de conception) en formats éditables à l'aide de CATIA, et la réalisation de simulations statiques dans SolidWorks. J'ai également conçu des supports et fixations manquants pour améliorer la stabilité de chaque composant. En parallèle, j'ai créé des fichiers 2D avec des spécifications détaillées pour la fabrication, reconstruit et organisé des assemblages, séparé les pièces individuelles pour la fabrication, et géré les fichiers en structurant chaque assemblage avec les composants Alstom, les supports, les fixations, et les dimensions de la nouvelle embase.

Un autre aspect de mon rôle consistait à ajuster fréquemment les dimensions du modèle 3D de l'embase en fonction des composants à transporter. J'ai principalement utilisé SolidWorks pour la conception et les simulations statiques, et CATIA V5 pour accéder et modifier l'historique des pièces, les sous-parties et les esquisses, notamment pour les assemblages complexes. J'ai également utilisé Fusion 360 pour vérifier les résultats des simulations en utilisant la résolution sur cloud, ce qui permettait d'obtenir des résultats plus rapides grâce à une licence éducative.

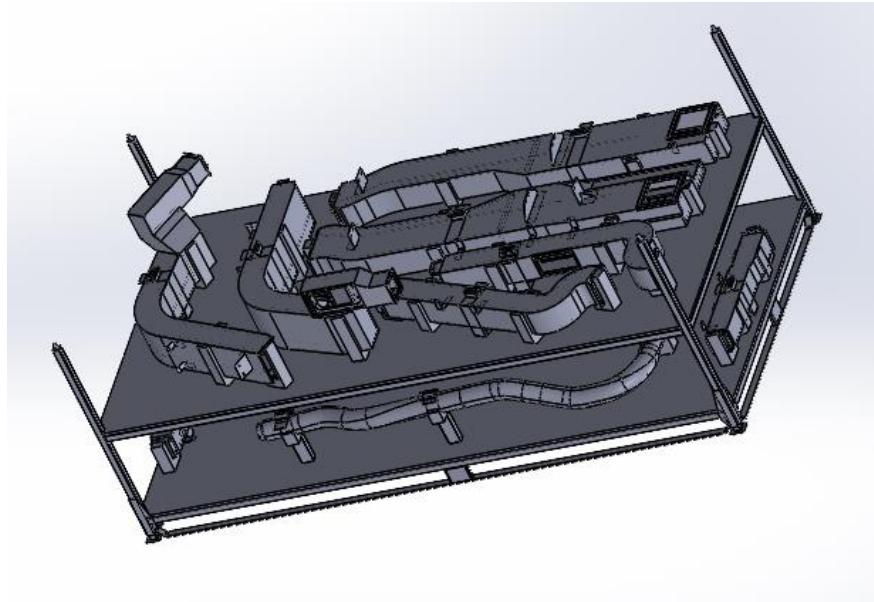


Figure 10 : Exemple d'une embase d'Alstom avec les pièces ferroviaires

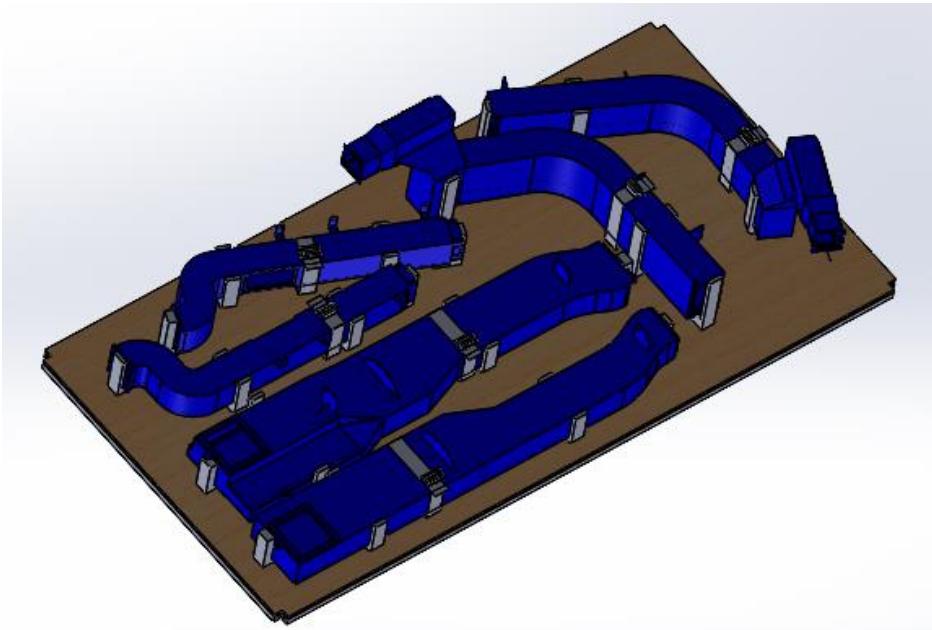


Figure 11 : les pièces fixé sur la base de bois OSB

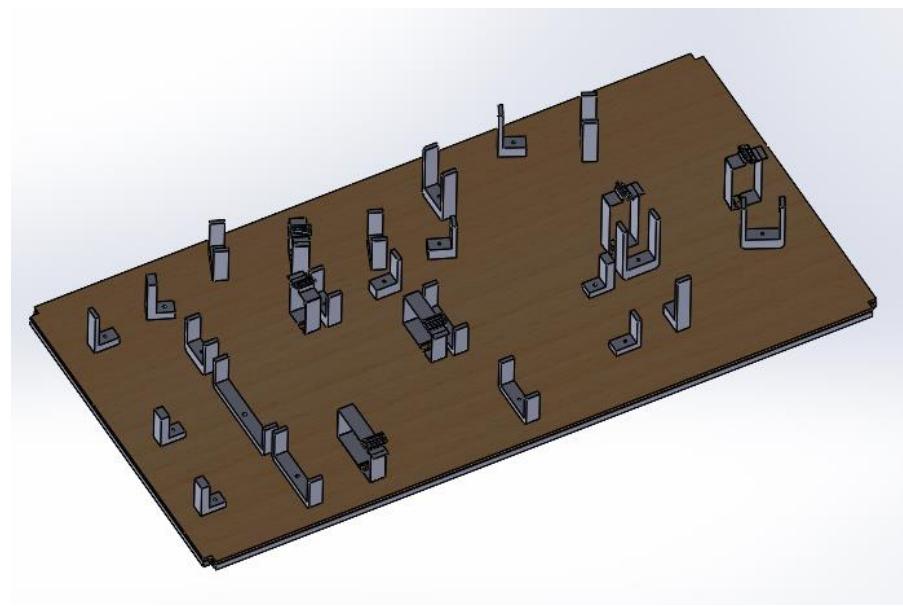


Figure 12 : les fixations et les supports fixé sur la base de bois OSB

Chapitre 4 :

*Standards techniques d'embases
d'Alstom pour l'expédition des
composants ferroviaires*

1. Description d'embases Alstom :

Les embases utilisées par Alstom pour le transport de composants ferroviaires sont constituées de plusieurs éléments clés : des profils creux carrés pour la structure principale, des barres transversales et longitudinales pour la stabilité, ainsi que des plaques d'acier pliées pour renforcer les coins inférieurs. La structure repose sur des montants verticaux (pieds) soudés, supportés par des plaques carrées percées pour permettre la fixation au sol. La partie supérieure est recouverte d'une plaque en bois compressé (OSB), fixée sur la structure en acier. Ce design modulaire permet l'ajout de supports et de fixations pour sécuriser les composants ferroviaires lors du transport.

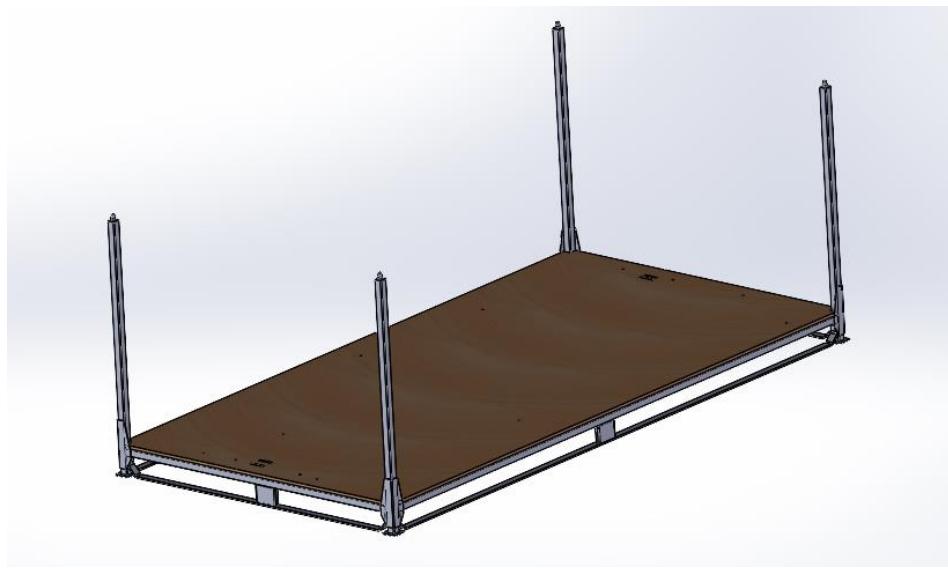


Figure 13 : Alstom embase avec plaque d'OSB

1.1. Matériaux

L'acier utilisé pour cette structure est le S235J2G3, choisi pour ses propriétés mécaniques adaptées aux applications industrielles. Ce matériau présente une résistance élevée avec une limite d'élasticité de 235 MPa, ce qui lui permet de supporter des charges importantes sans déformation permanente. De plus, il offre une bonne résilience aux basses températures, ce qui est crucial pour des conditions de stockage extérieur ou de transport international, notamment en raison de sa capacité à résister aux fractures par fragilisation. Sa bonne soudabilité facilite les assemblages de la structure, et son coût modéré en fait un choix économique pour les projets de grande envergure comme celui-ci. Enfin, l'acier S235J2G3 peut être traité en surface pour augmenter sa résistance à la corrosion, prolongeant ainsi la durée de vie des embases.

Propriété	Valeur	Unité
Module d'élasticité	210 GPa	GPa
Coefficient de Poisson	0,3	-
Module de cisaillement	81 GPa	GPa
Masse volumique	7850 kg/m ³	kg/m ³
Résistance à la traction	355 MPa	MPa
Limite d'élasticité	235 MPa	MPa
Coefficient de dilatation thermique	12 x 10 ⁻⁶	1/K
Conductivité thermique	50 W/(m·°K)	W/(m·°K)
Chaleur spécifique	460 J/(kg·°K)	J/(kg·°K)
Coefficient d'amortissement du matériau	Variable	-
Tableau 8 : Carte d'identité (Propriétés) de l'acier S235J2G3		

L’embase en elle-même est composée de deux parties principales : une base en acier et une plaque supérieure en bois OSB. La base en acier comprend quatre barres longitudinales et quatre barres transversales formant une structure fixe et rigide. Les montants verticaux sont équipés de poinçons mâles en haut et d’orifices femelles en bas, permettant un empilage sécurisé des embases lors du transport. La plaque en bois OSB, légère et résistante, sert de surface modulable pour fixer les composants, tout en restant amovible et remplaçable pour s’adapter aux besoins de chaque chargement.



Figure 14: Bois Oriented Strand Board (OSB)

1.2. Fabrication:

La fabrication de cette embase suit plusieurs étapes précises. Les profils creux en acier sont d'abord découpés aux dimensions requises pour la structure principale, puis soudés pour former l'ossature de base et les montants verticaux. Les plaques en acier sont découpées, pliées et soudées aux coins pour renforcer les jonctions entre les montants et la base. Une barre plate et longue est soudée pour relier les montants verticaux et améliorer la rigidité de la structure. Enfin, la plaque en bois OSB est découpée pour s'adapter à la structure en acier et fixée par des vis, permettant d'ajouter des supports personnalisés pour chaque composant transporté.



Figure 15 : profiles carré creuse

2. Analyse et vérification de la sécurité des embases d'Alstom :

2.1. Objective :

L'analyse et la vérification de la sécurité des embases utilisées par Alstom sont des étapes fondamentales pour garantir la fiabilité et la sécurité des composants transportés. Cette analyse comprend une évaluation approfondie de la conception des embases, en s'assurant qu'elles sont suffisamment robustes pour supporter les charges et résister aux contraintes mécaniques lors du transport. La vérification de la sécurité implique également de s'assurer que les matériaux utilisés, tels que le bois compressé et l'acier, répondent aux normes de résistance et de durabilité. De plus, les systèmes de fixation, comme les vis de fixation de la plaque supérieure, sont vérifiés pour garantir qu'ils maintiennent les composants en place de manière sécurisée tout au long du transport, minimisant ainsi les risques de mouvement ou de dommages. Ces analyses de sécurité permettent d'adapter les embases aux exigences spécifiques des composants d'Alstom, en veillant à ce qu'ils soient bien protégés et stable durant leur acheminement. Simulation pour vérifier la sécurité des embases.

2.2. Positionnement des embases :

Pour simuler les conditions réelles de transport, les simulations prennent en compte la disposition typique des embases, qui sont empilées les unes sur les autres jusqu'à un maximum de trois unités par colonne. L'embase située en bas est fixée au sol par des boulons et des vis, assurant sa stabilité, tandis que les deux embases supérieures sont sécurisées par des sangles fixées au sol et des jonctions mâle-femelle intégrées aux montants verticaux et aux plaques de pieds.

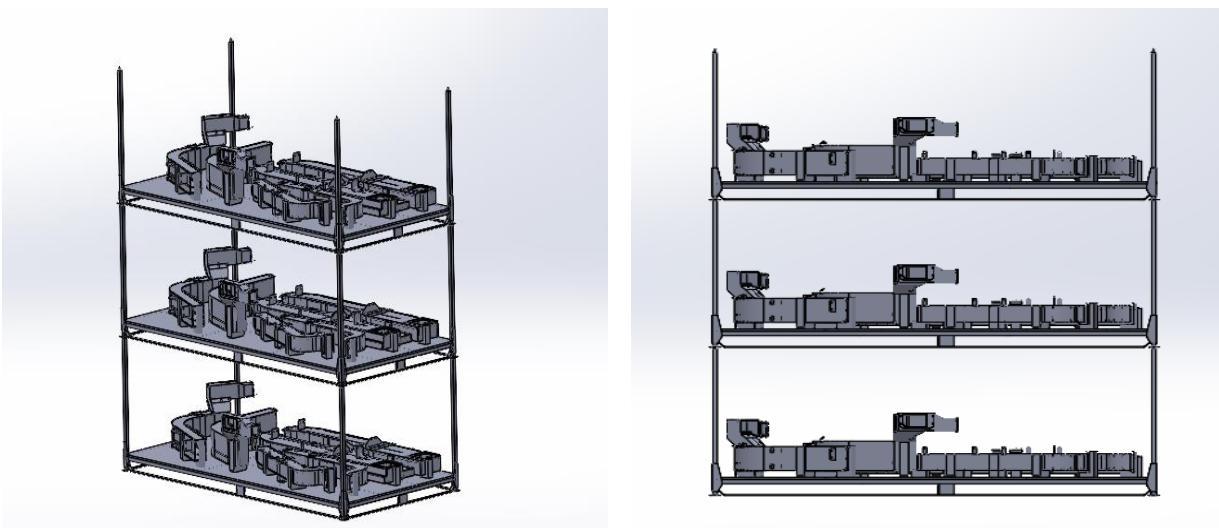


Figure 16 : Positionnement des embases pendant le transport

2.3. Charges (Loads) appliquées sur les embases :

Les charges appliquées diffèrent selon la position de chaque embase dans la colonne.

En général, le poids des pièces ferroviaires transportées par chaque embase varie entre 150 et 250 kg. Quant au poids de chaque embase fabriquée en matériau S235J2G3, il se situe généralement entre 80 et 110 kg.

L'embase inférieure supporte à la fois le poids des composants transportés (entre 150 et 250 kg) ainsi que le poids des deux embases empilées au-dessus, incluant leurs propres composants. Les montants verticaux de cette embase subissent donc une charge combinée représentant la charge cumulée des embases supérieures, tandis que la charge des composants agit directement sur la base.

Pour l'embase intermédiaire, la charge appliquée sur la base inclut uniquement les composants qui y sont transportés. Les montants verticaux, quant à eux, supportent la charge de l'embase supérieure ainsi que ses composants, ce qui reproduit les efforts réels subis lors du transport.

Enfin, l'embase située au sommet de la colonne ne subit que la charge de ses propres composants, appliquée directement sur la base. Les montants verticaux de cette dernière ne supportent aucune charge supplémentaire, puisque la colonne est limitée à un maximum de trois embases empilées.

La charge totale appliquée est donc une combinaison du poids des composants (entre 150 et 250 kg) et de celui des embases (entre 80 et 110 kg chacune, en fonction de leurs dimensions, qui varient en fonction des composants à transporter). Cette configuration de charges permet d'évaluer la résistance de chaque composant de l'embase dans les conditions de transport empilé, en s'assurant que la structure reste stable et sécurisée durant toute la durée de l'expédition.

3. Simulations

Pour assurer la sécurité des embases et ce processus, il faut s'assurer que les embases doivent supporter les charges sans rupture ni déformation. Il faut réaliser des simulations à l'échelle pour calculer les contraintes de van mises et prédire les résultats en réalité. Pour cela, dans ce projet, nous allons utiliser la simulation

d'analyse statique sur SolidWorks, et déterminer les contraintes, la déformation, ainsi que l'aspect le plus important, le FOS (facteur de sécurité) des zones où les charges sont appliquées, ce qui permettra de décider combien la structure doit supporter les charges.

Et pour réaliser ces simulations, il faut, comme première étape, ajouter le matériau acier S235J2G3 dans la liste des matériaux sur SolidWorks et remplir ses propriétés physiques et mécaniques. Ensuite, étant donné que nous avons différents positionnements des embases, il faut déterminer pour chaque positionnement les charges, les parties fixes ou soumises à une certaine contrainte, les surfaces où la force du poids est appliquée, et enfin définir un maillage approprié pour obtenir de bons résultats

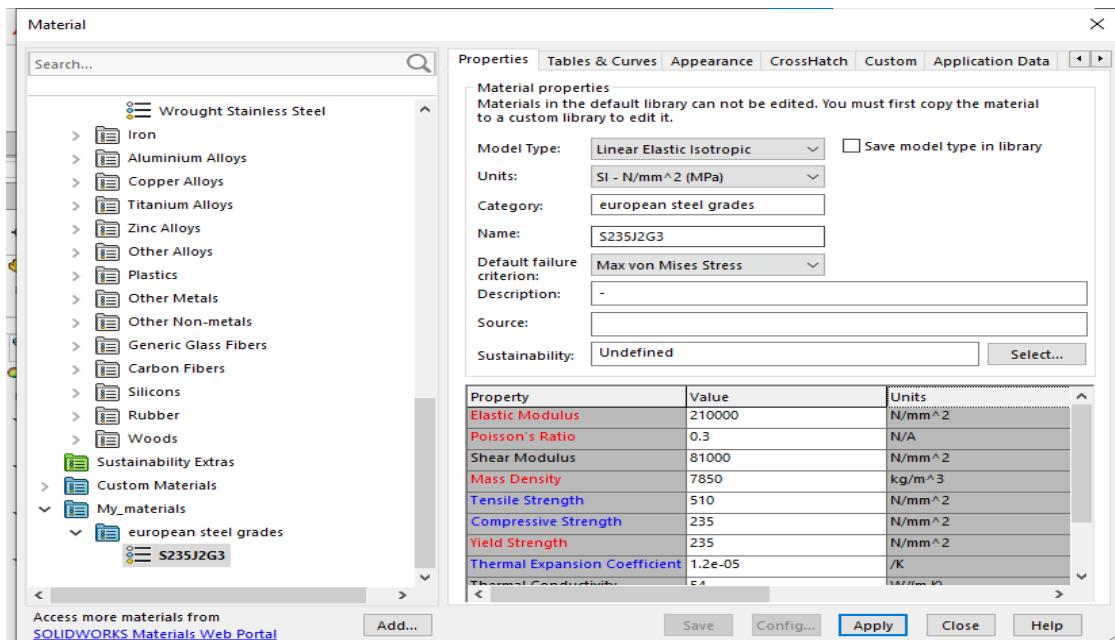


Figure 17 : implémentation des infos et ajouter l'acier S235J2G3 dans SolidWorks

L'embase que nous avons utilisée pour cette simulation est le kit M7015-KIT059, avec des dimensions de 2700 mm × 1200 mm et des montants verticaux de 1300 mm (voir la figure). Les profilés carrés utilisés ont des dimensions de 50 × 50 mm² et une épaisseur de 5 mm, avec des longueurs différentes selon leur emplacement. La masse totale des pièces transportées avec l'embase est de 192 kg. La masse totale de l'embase en acier S235J2G3, avec ces dimensions actuelles, est de 131,2967 kg.

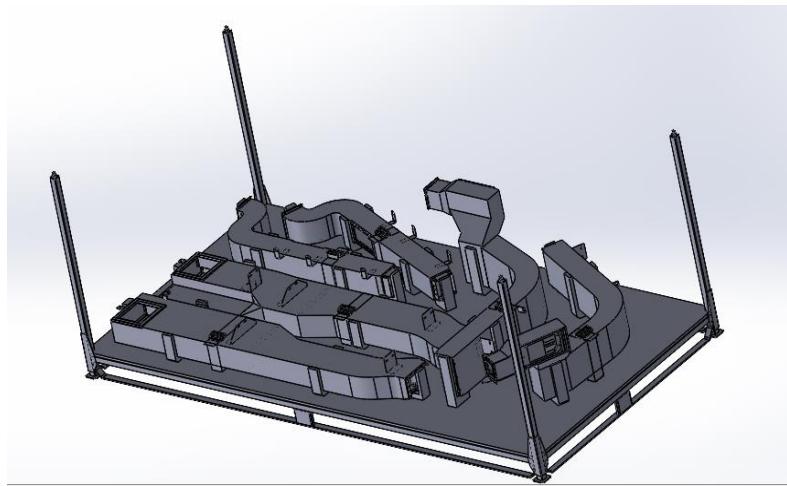


Figure 18 : Embase d'Alstom avec les pièces du système de climatisation ferroviaire.

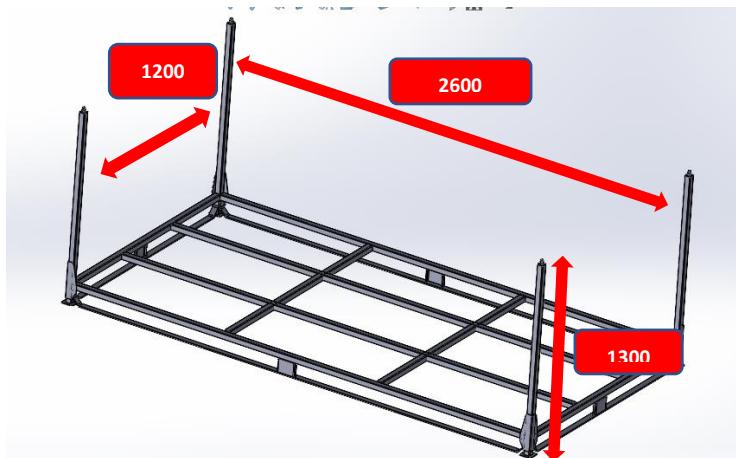


Figure 19 : dimension de l'embase d'Alstom

3.1. Simulation de l'embase au sol sous charge :

Pour sécuriser l'embase au sol, il faut s'assurer que la base doit supporter le poids des pièces transportées par elle, et que les montants verticaux doivent aussi supporter le poids total des embases sur le dessus avec leurs contenants.

3.1.1. Les paramètres de la simulation 1 :

- **Les fixation (contraintes) :**

Les plaques des pieds sont fixées au sol par des boulons, et les barres de support sont attachées au sol, ce qui ajoute plus de stabilité à la base et permet une meilleure répartition de la charge.

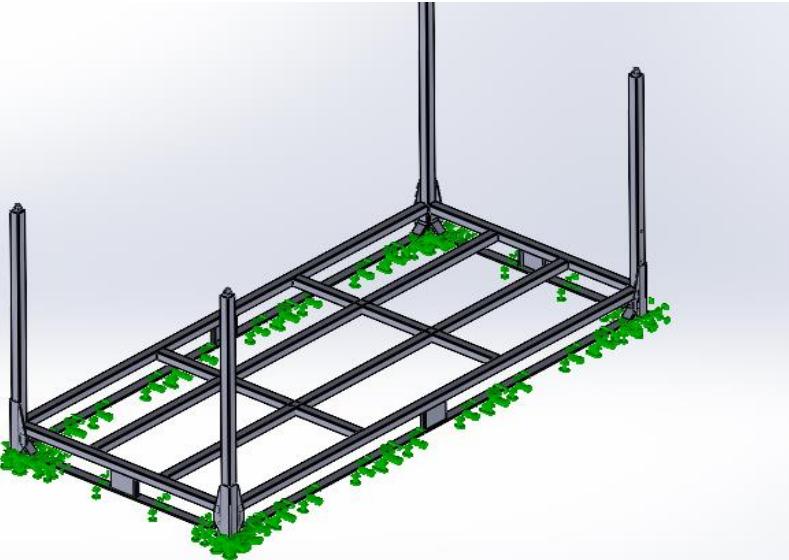


Figure 20 : Application des contraintes sur les plaques des pieds et les barres de support de la base.

- **Les charges :**

Les charges dans ce cas de simulation sont appliquées directement sur la base de l'embase. Pour déterminer la force des charges, on peut calculer le poids par :

$$F = P = m \cdot g = 192 * 9.81 = 1883.52N$$

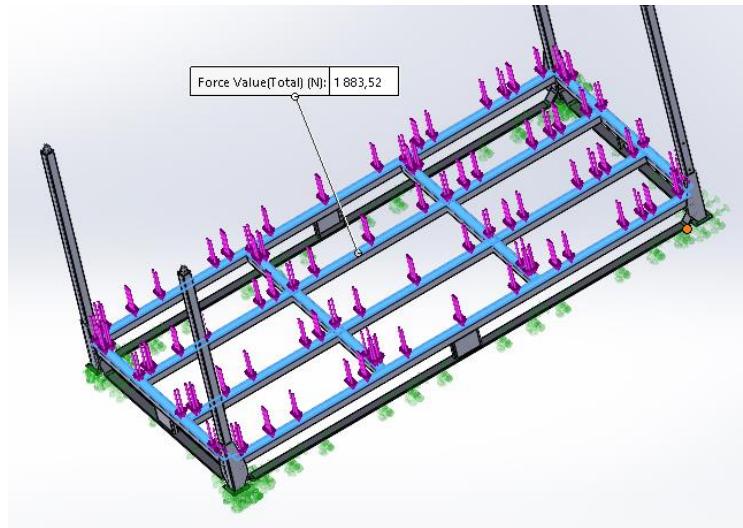


Figure 21 : Force de poids appliquée sur les barres de la base pour supporter la charge.

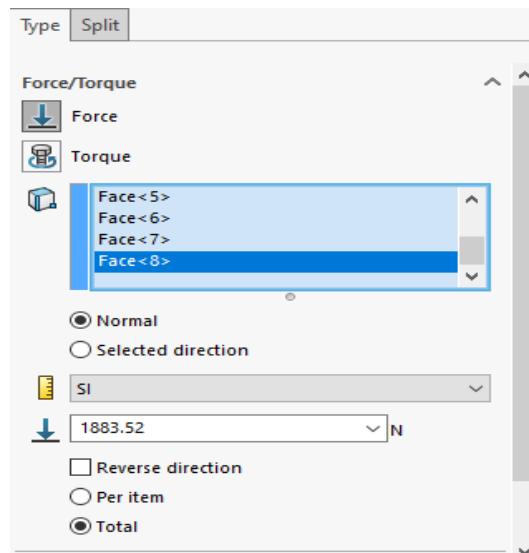


Figure 22 : Paramètres pour l'application de la charge

3.1.2. Les résultats de la simulation 1 :

- **Facteur de sécurité :**

D'après les résultats, le facteur de sécurité est $FOS = 7$, ce qui signifie que la base peut supporter jusqu'à 7 fois la charge appliquée.

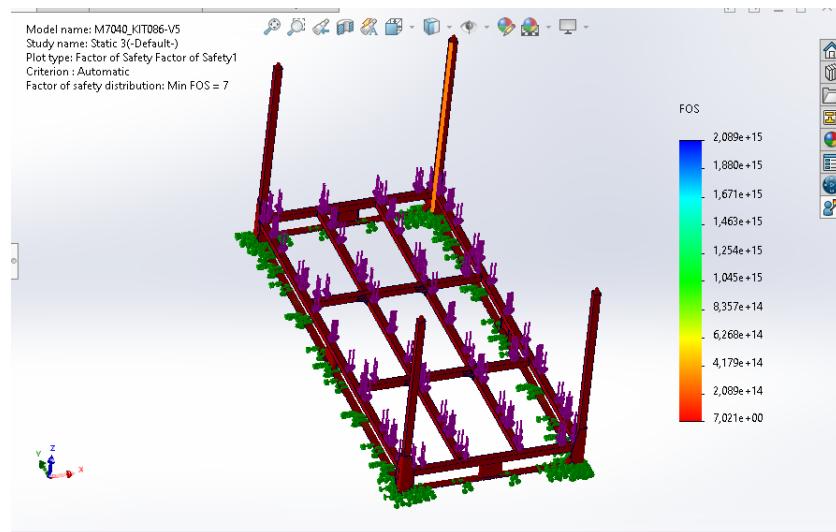


Figure 23 : Graph du facteur de sécurité de la simulation de l'embase au sol sous charge

- **Graphs de déplacement :**

D'après les résultats de la simulation de l'embase au sol sous charge, le déplacement maximal est de **0,239 mm**

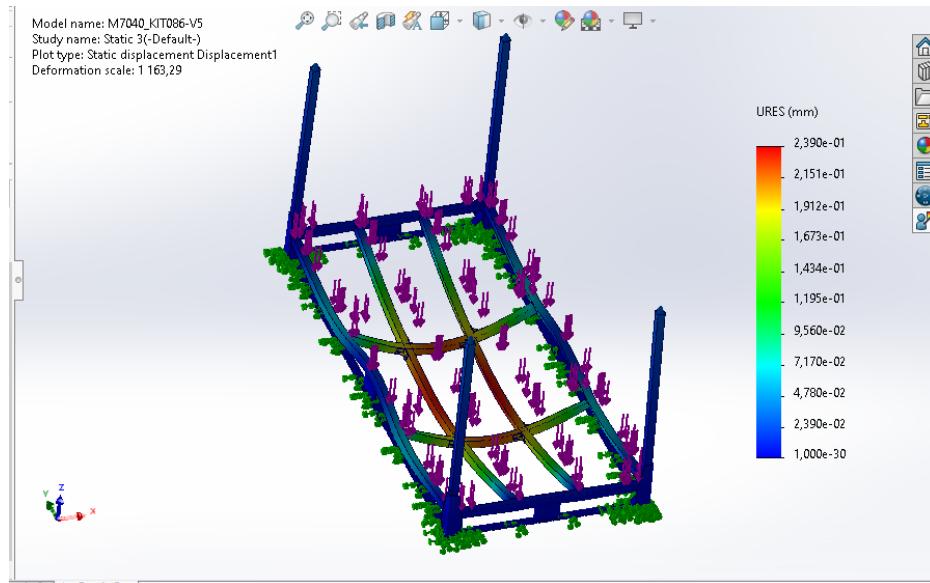


Figure 24 : Graph du déplacement de la simulation de l'embase au sol sous charge

3.1.3. Conclusion 1 :

D'après la simulation de l'analyse statique de la base d'embase sous la charge des composants qu'elle doit transporter, le déplacement maximal de **0,239 mm** indique

une déformation négligeable, garantissant la stabilité structurelle. Avec un **facteur de sécurité (FOS) de 7**, la conception est largement surdimensionnée pour supporter la charge prévue, offrant une marge de sécurité élevée. Cela démontre que l'embase est fiable et durable, parfaitement adaptée pour transporter les composants en toute sécurité, même en cas de contraintes supplémentaires imprévues.

3.2. Simulation de l'embase supérieure sous charge :

Cette simulation a permis de tester la base de l'embase supérieure, capable de supporter la charge appliquée sur elle. La différence réside dans le fait que cette embase est soutenue uniquement par les montants verticaux de l'embase inférieure, sans l'appui des bras horizontaux. Il est donc essentiel de garantir que l'embase peut supporter la charge sans déformation ni rupture dans cette configuration.

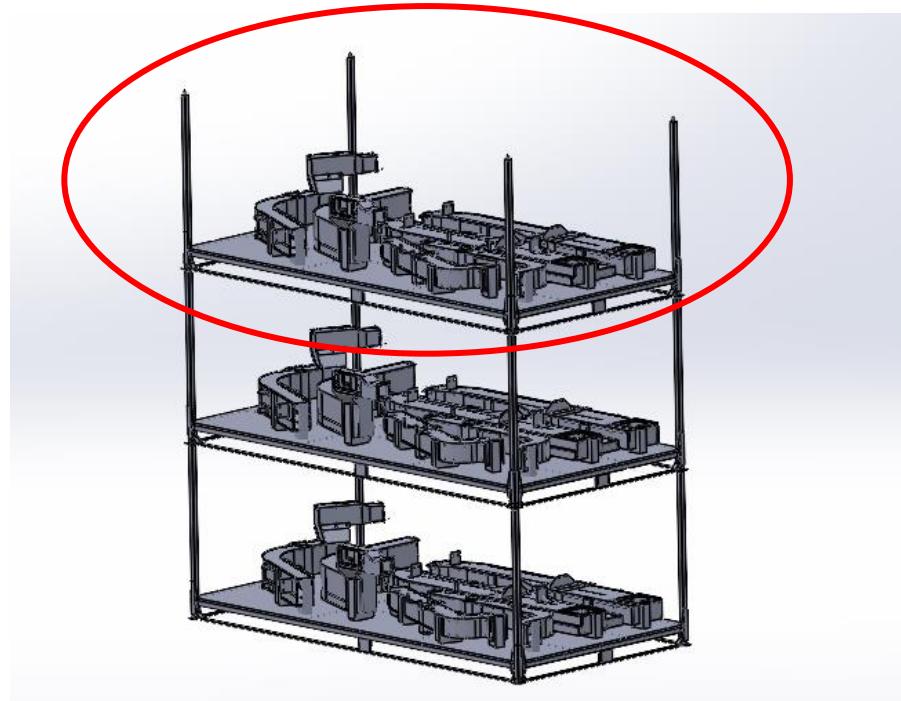


Figure 25 : l'embase supérieure

3.2.1. Paramètre de la simulation 2 :

- **Les fixation (contraintes) :**

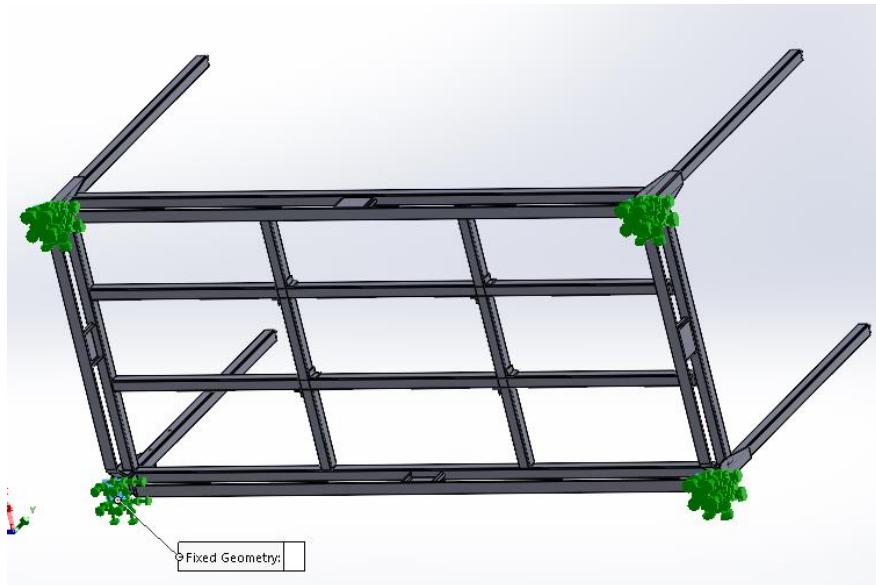


Figure 26 : fixation les montant vertical

- **Les charges :**

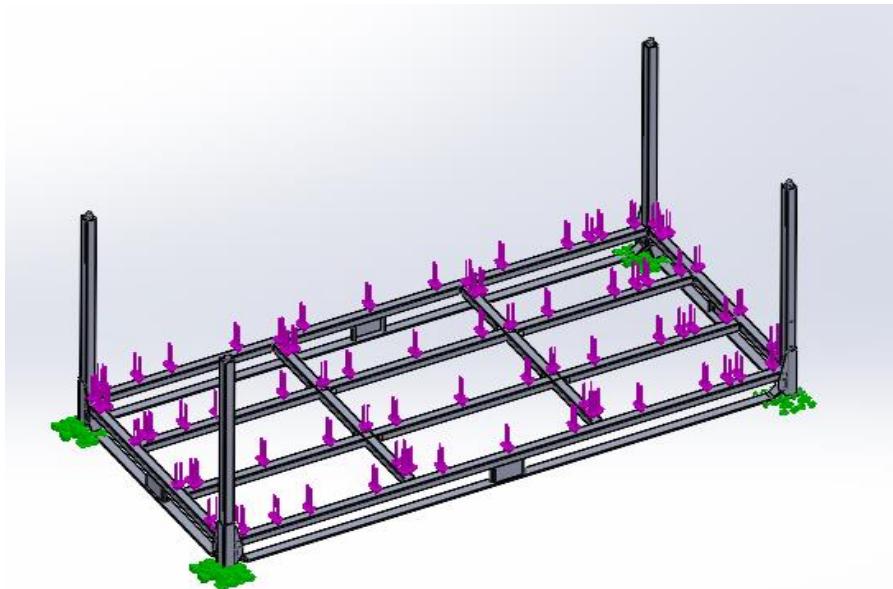


Figure 27 : application de la force de poids des composants transporter par l'embase

- **Application de maillage :**

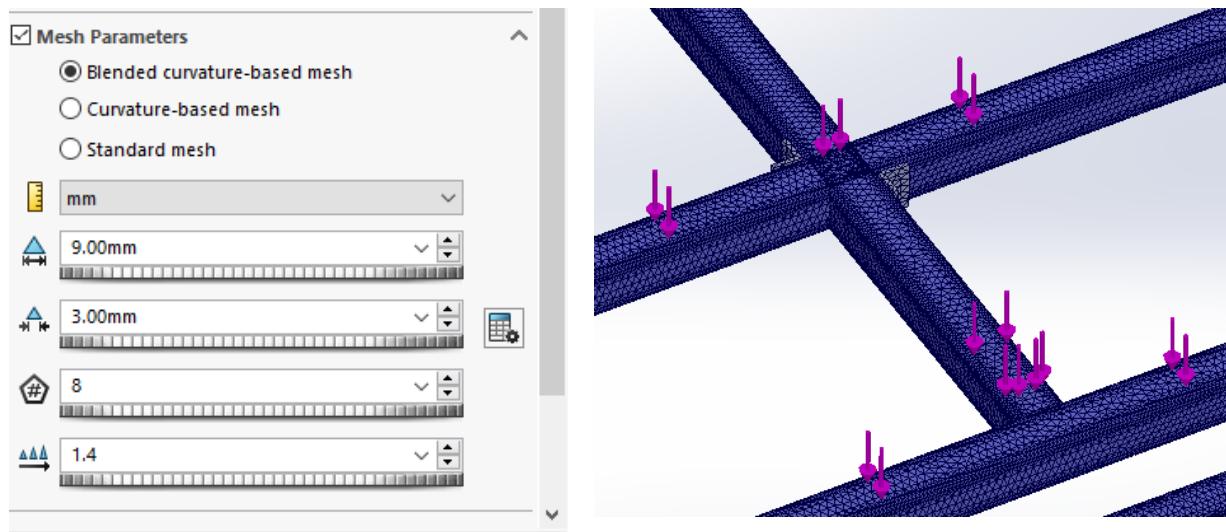


Figure 28 : application de maillage

3.2.2. Résultats de la simulation 2 :

- Graphs de déplacement :

D'après les résultats de la simulation de l'embase supérieure sous charge, le déplacement maximal est de **0,832 mm**

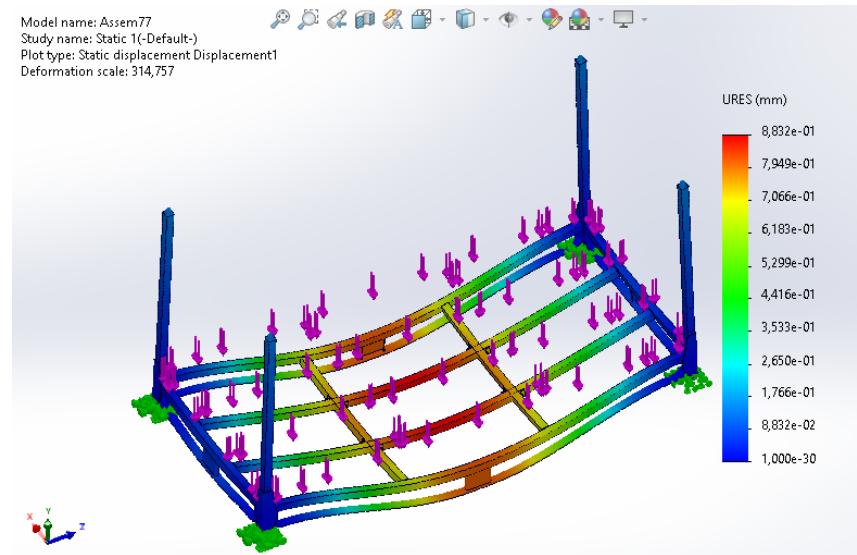


Figure 29 : Graph du déplacement de la simulation de l'embase supérieure sous charge

- **Graphs des contraints :**

D'après les résultats dans le graphique des contraintes, la contrainte maximale est de **54,64 MPa**, et la contrainte minimale est de **0,9303 MPa**,

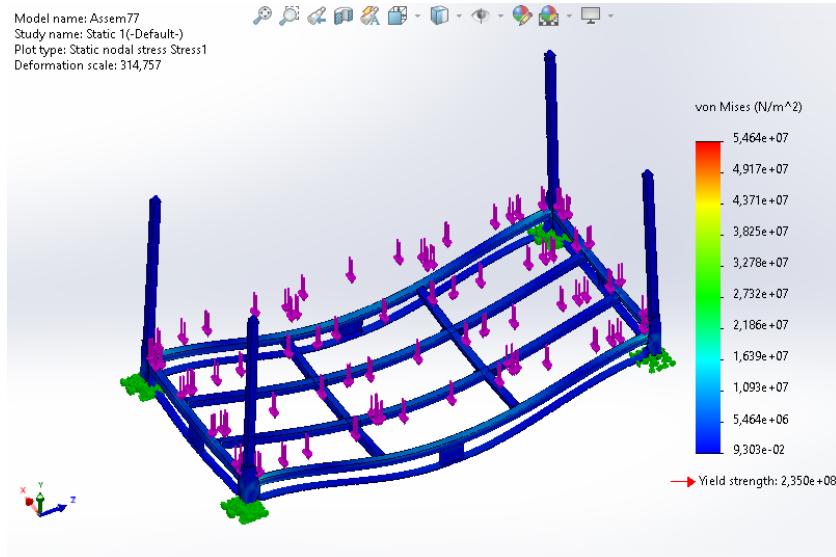


Figure 30 : Graphs des contrainte max et min

- **Graphs de facteur de la sécurité :**

D'après les résultats dans le graphique de facteur de sécurité, la nouvelle valeur dans ce cas est 4.3.

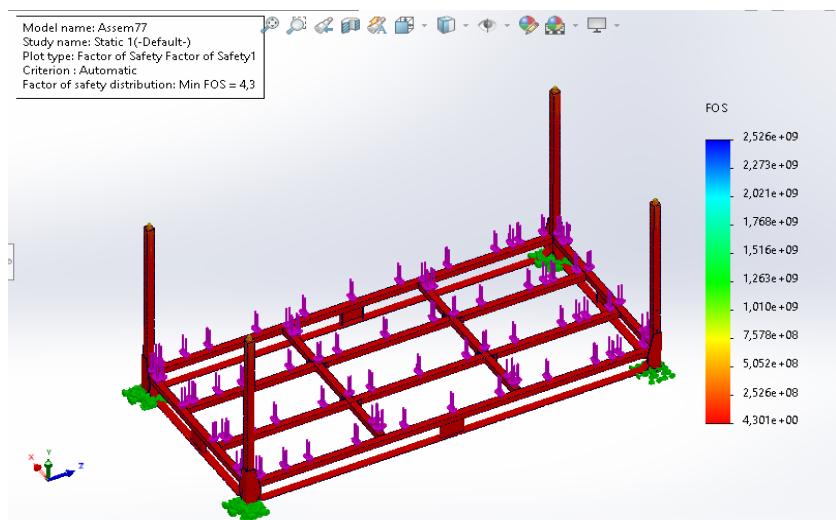


Figure 31 : Graphs de facteur de la sécurité

3.2.3. Conclusion 2 :

D'après les résultats de la deuxième simulation de l'embase supérieure, avec un déplacement de 0,8 mm, des contraintes maximales de 54,640 MPa et minimales de 0,9303 MPa (en N/m²), ainsi qu'un facteur de sécurité (FOS) de 4,3, on peut conclure que l'embase est capable de supporter les charges appliquées sans risque de déformation permanente ou de rupture. Le déplacement reste relativement faible, indiquant une stabilité structurelle adéquate. De plus, le FOS de 4,3 montre que la conception offre une marge de sécurité suffisante, bien supérieure à la contrainte d'élasticité du matériau, garantissant ainsi la fiabilité et la sécurité de l'embase sous les conditions de charge simulées.

3.3. Simulation de les montant vertical de l'embase sous charge :

Cette simulation a permis de tester les montants verticaux de l'embase, capables de supporter la charge appliquée sur elle. Pour garantir que les montants sont bien testés et capables de supporter les charges appliquées, il est nécessaire de considérer dans la simulation les montants verticaux de l'embase inférieure au sol. Ces montants supportent la charge maximale qui sera appliquée pendant le transport.

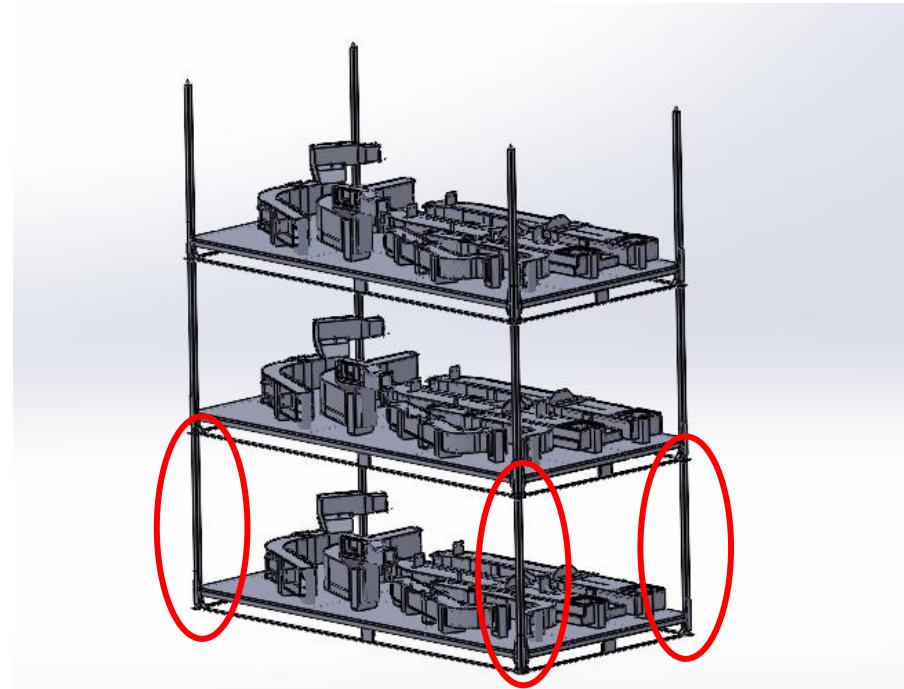


Figure 32 : les montant verticaux ciblé de l'embase

3.3.1. Paramètres de la simulation 3 :

- Les fixation (contraintes) :

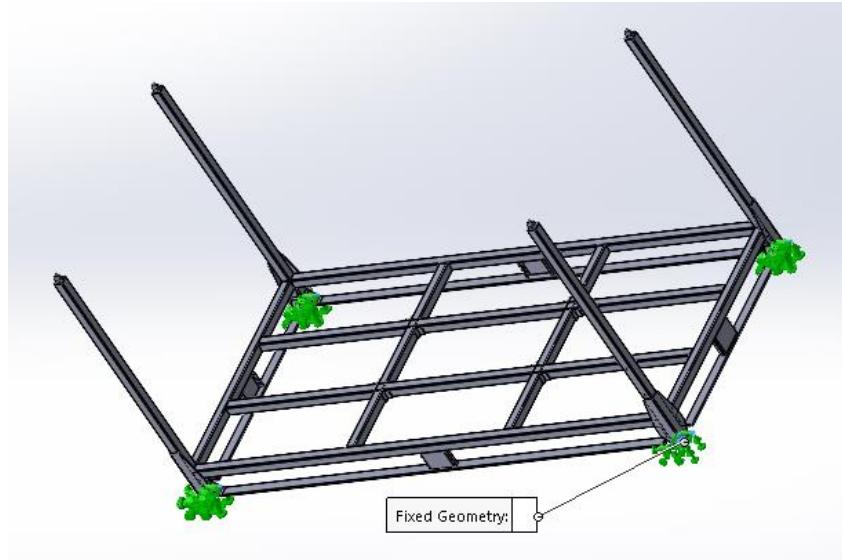


Figure 33 : fixation les montant verticaux au niveau de sol

La deuxième fixation ou contrainte est effectuée au niveau de la tête (jonction mâle), ce qui permet uniquement une translation sur l'axe vertical Z

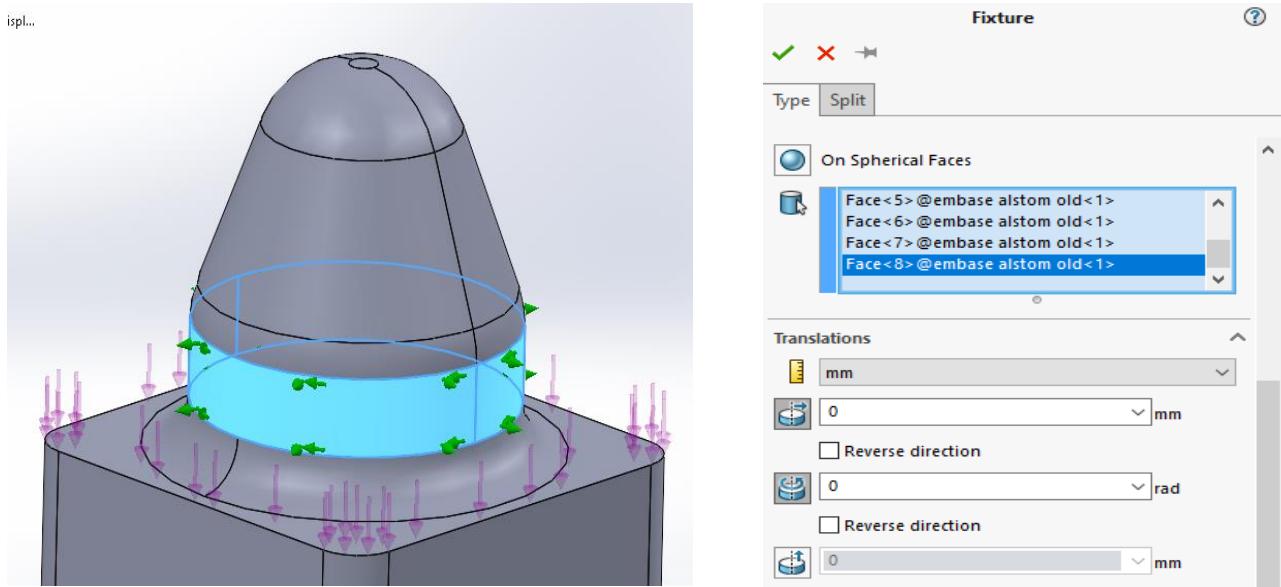


Figure 34 : fixation des montants verticaux au niveau de la tête (jonction mâle)

- **Les charges :**

La force de poids totale appliquée sur les montants verticaux est la sommation de la masse des embases supérieures et de leurs composants transportés par elles, ce qui signifie que :

$$F = P = m \cdot g = (192 + 131) \cdot 2 \cdot 9.81 = 6349.26N$$

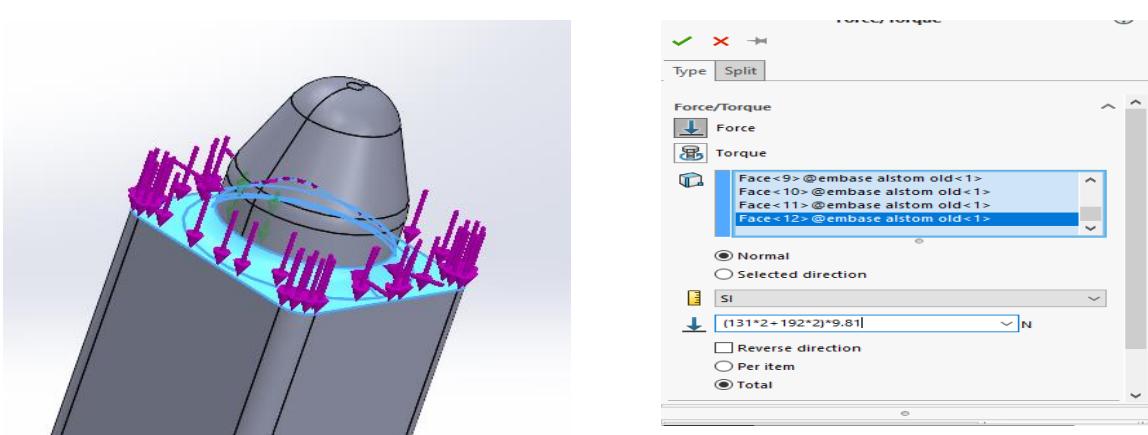


Figure 35 : application de la force de poids sur les montants verticaux

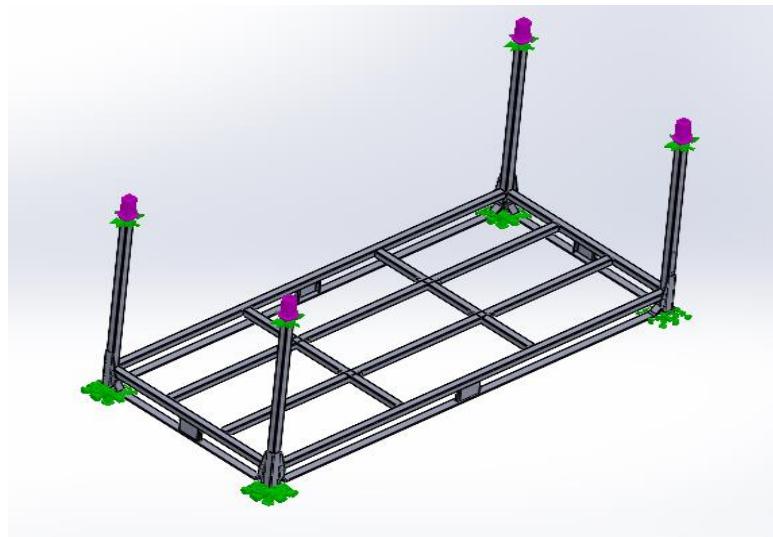


Figure 36 : paramétrage avant la simulation avec les fixations et les charges appliquées.

- **Application de maillage :**

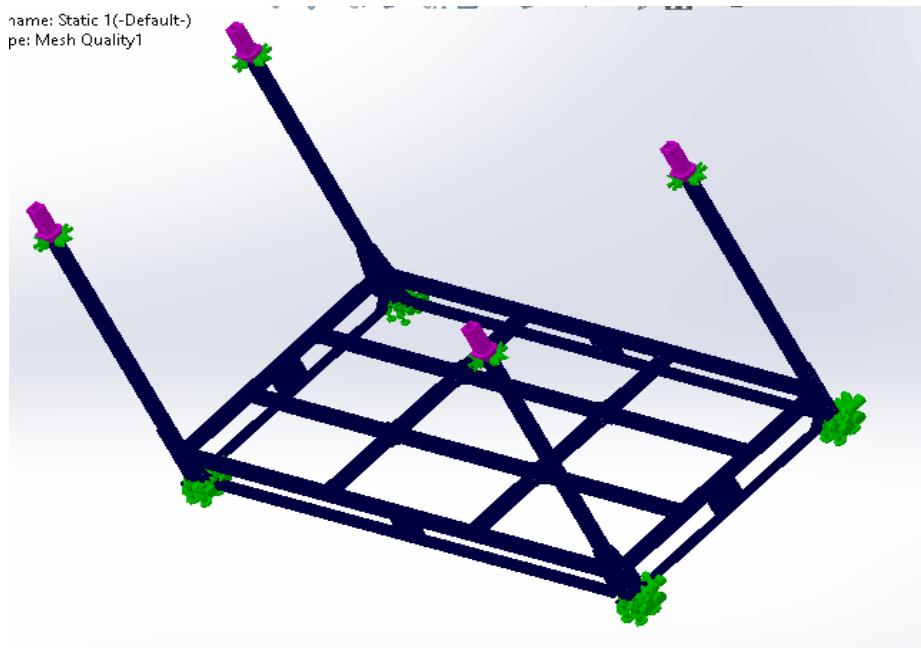


Figure 37 : application de maillage

3.3.2. Résultats de la simulation 3 :

- **Graphs de déplacement :**

D'après les résultats de la simulation les montants verticaux de l'embase sous charge est 1.771×10^{-2} mm (soit **0.01771 mm**), cela signifie que sous l'effet de la force de **6349.26 N** appliquée sur les montants verticaux, la structure se déforme de manière très légère. Ce déplacement est très faible, ce qui indique que la structure reste stable et ne présente pas de déformation significative sous la charge appliquée.

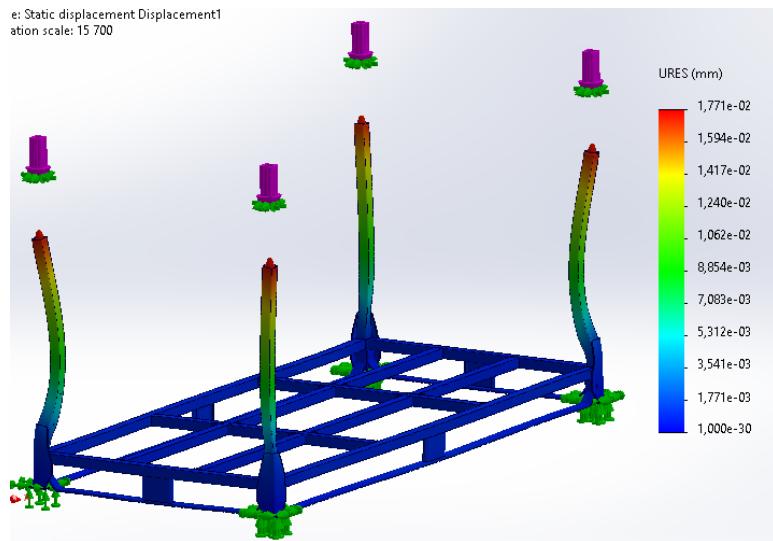


Figure 38 : Graph du déplacement de la simulation de les montant verticaux l'embase

- **Graphs des contraints :**

D'après les résultats, la **contrainte maximale** est de **9,182 MPa**, et la **contrainte minimale** est de **0,00977 MPa**. Cela signifie que la structure reste bien **dans la zone élastique** puisque la contrainte maximale est largement inférieure à la limite d'élasticité de **235 MPa** du matériau **S235J2G3**.

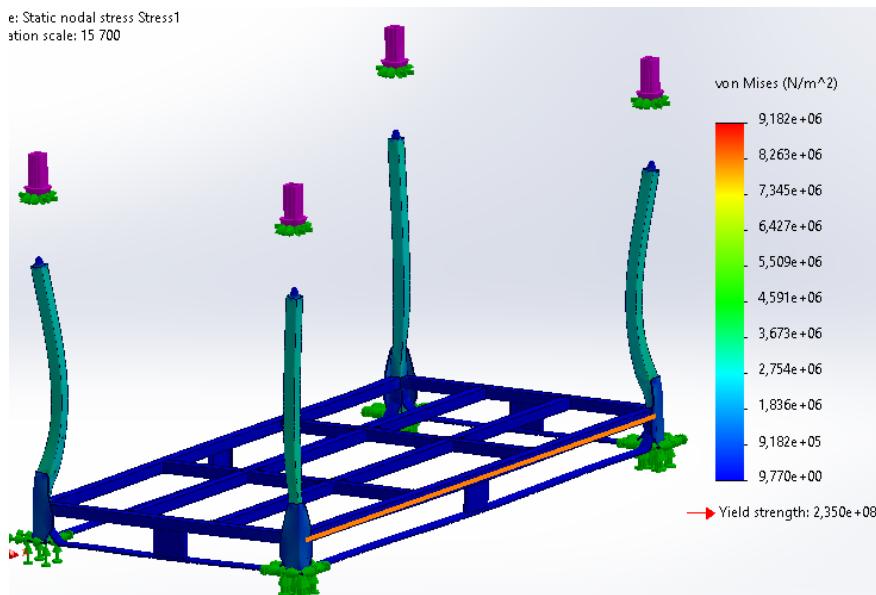


Figure 39 : Graphs des contrainte max et min

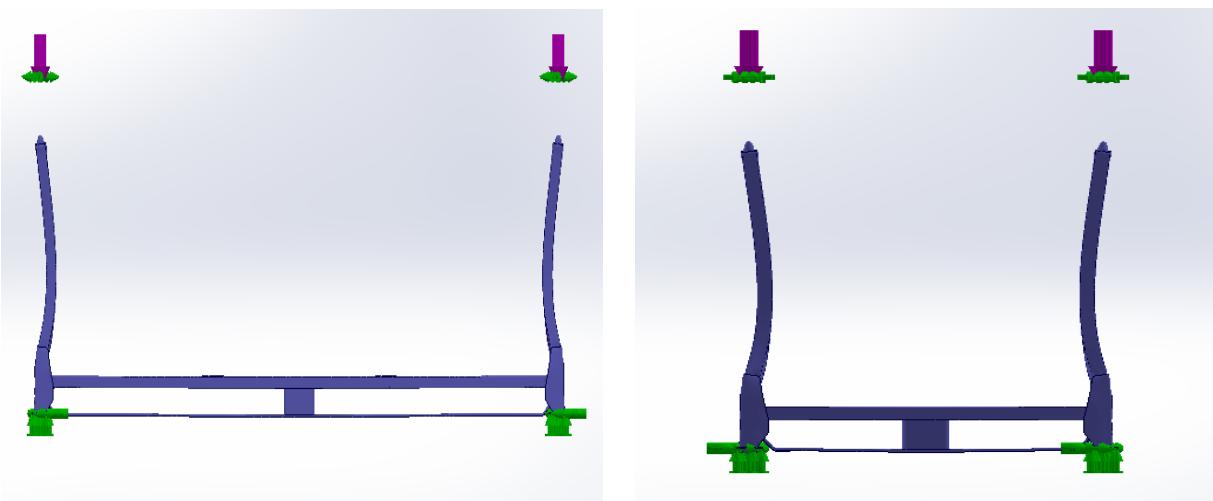


Figure 40 : déformation plastique d'après la vue longitudinale et transversale

- **Graphs de facteur de la sécurité :**

D'après les résultats dans le graphique de facteur de sécurité, la nouvelle valeur dans ce cas est 26

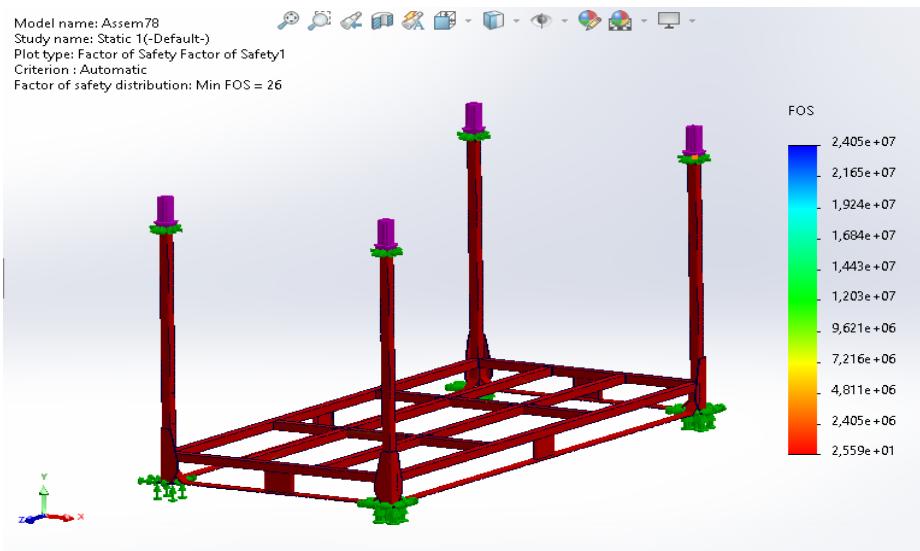


Figure 41 : Graphs de facteur de la sécurité

3.3.3. Conclusion 3 :

Les résultats indiquent que les montants verticaux de l'embase sont **très bien dimensionnés** pour supporter les charges appliquées. Le déplacement de **0.01771**

mm est extrêmement faible, ce qui montre que la structure reste stable et ne subit pas de déformation significative. De plus, la **contrainte maximale** de **9.182 MPa** est bien en dessous de la limite d'élasticité du matériau **S235J2G3** (235 MPa), ce qui signifie que la structure reste dans la **zone élastique** et ne risque pas de subir de déformation plastique. Le **facteur de sécurité (FOS)** de **26** est largement supérieur à la valeur minimale requise, ce qui garantit une **marge de sécurité** importante et assure la **fiabilité** de la structure sous les conditions de charge simulées. En somme, la conception est **solide** et **sûre**, capable de résister aux charges sans compromettre sa stabilité.

3.4. Conclusion Générale sur les Embases d'Alstom

Simulation	Contrainte Max (MPa)	Contrainte Min (MPa)	Déplacement Max (mm)	FOS (Factor of Safety)
Simu 1: Embase au sol	30,14	0.28	0.239	7
Simu 2: Embase supérieure	54.64	0.93	0.832	4.3
Simu 3: Montants verticaux	9.182	0.00977	0.01771	26
Tableau 9 : Résumé des Résultats des Simulations				

Les résultats des simulations effectuées sur les embases d'Alstom démontrent une conception robuste et fiable, parfaitement adaptée aux exigences de transport des composants ferroviaires. Les différentes simulations, incluant les charges appliquées sur la base, les montants verticaux et les embases empilées, confirment que les embases sont capables de supporter des charges importantes tout en maintenant leur stabilité et leur intégrité structurelle.

Les principales conclusions sont les suivantes :

Robustesse de la base : L'embase inférieure, soumise aux charges cumulées des embases supérieures et des composants, a montré une déformation négligeable avec un déplacement maximal de 0,239 mm. Le facteur de sécurité (FOS) de 7 dépasse largement les marges requises, garantissant une grande fiabilité.

Performance des embases intermédiaires et supérieures : Les simulations sur l'embase supérieure et intermédiaire confirment une capacité suffisante à gérer les charges appliquées, avec des contraintes maximales bien en dessous de la limite élastique du matériau (S235J2G3). Le FOS pour ces configurations reste satisfaisant, notamment avec des valeurs de 4,3 pour l'embase supérieure.

Excellente résistance des montants verticaux : Les montants verticaux, soumis aux charges maximales en raison de l'empilage, ont montré une rigidité exceptionnelle avec un déplacement quasi nul de 0,01771 mm. Le facteur de sécurité (FOS) de 26 témoigne de leur surdimensionnement, assurant une marge de sécurité importante même en cas de surcharge ou d'imprévus.

Matériaux et conception optimaux : Le choix de l'acier S235J2G3 et du bois OSB s'avère pertinent pour répondre aux besoins de robustesse, de durabilité et d'économies de coûts. La soudabilité de l'acier et la modularité de la plaque en bois permettent une adaptation facile aux différents composants transportés.

La conception actuelle des embases garantit une stabilité structurelle, une résistance aux charges empilées, et une fiabilité élevée pour le transport sécurisé des composants ferroviaires. Ces performances répondent aux standards industriels d'Alstom et assurent une marge de sécurité suffisante pour prévenir tout risque de défaillance lors de l'utilisation en conditions réelle.

4. Limites de la conception actuelle

4.1. Problèmes identifiés dans la conception actuelle

Dans la conception actuelle des embases ferroviaires utilisées par Alstom, plusieurs problèmes ont été identifiés, principalement liés à l'optimisation de l'espace, à la difficulté de transport, et au coût de fabrication élevé. Ces problèmes ont été révélés à travers des simulations et des analyses pratiques :

➤ **Espace de stockage non optimisé :**

Les embases actuelles, une fois utilisées pour le transport de composants ferroviaires, occupent une grande surface au sol en raison de leur taille et de leur forme fixes. Cela limite la possibilité de maximiser l'utilisation de l'espace dans les entrepôts et lors du stockage sur les sites de production ou d'expédition.

Les simulations ont montré qu'en l'absence de mécanisme de pliage, le volume global occupé par les embases pendant le transport est important, ce qui réduit l'efficacité de l'utilisation de l'espace dans les conteneurs ou les camions.

➤ **Difficulté de transport :**

L'absence de conception repliable empêche d'optimiser le nombre d'embases pouvant être transportées dans un même véhicule. Ainsi, en cas de transport international ou de longue distance, le volume supplémentaire nécessaire pour transporter ces embases représente un surcoût logistique important.

Les embases actuelles, bien qu'efficaces en termes de résistance, ne sont pas adaptées aux contraintes modernes de flexibilité et de réduction des coûts associés au transport.

➤ **Rigidité du design :**

La structure rigide de l'embase actuelle empêche toute modification de sa configuration une fois qu'elle a été produite. Cela limite la possibilité d'adapter les embases aux besoins spécifiques des différents composants ferroviaires transportés. L'impossibilité de replier ou de réduire l'encombrement empêche d'ajuster l'embase en fonction des différentes tailles et configurations des charges.

4.2. Impact de ces limitations sur les opérations d'Alstom

Les limitations identifiées dans la conception actuelle ont plusieurs conséquences directes sur les opérations d'Alstom, tant en termes de coûts que d'efficacité logistique et de flexibilité :

➤ **Coût supplémentaire de stockage :**

L'encombrement important des embases actuelles dans les entrepôts ou les sites de stockage oblige Alstom à utiliser plus d'espace, ce qui peut entraîner un coût additionnel en termes de location d'espaces de stockage ou de gestion de

l'inventaire. Cela limite aussi la capacité à stocker d'autres composants dans les mêmes espaces.

En raison de la taille des embases, il est parfois nécessaire de réserver des zones de stockage spécifiques, augmentant ainsi les coûts d'exploitation.

➤ **Coût élevé de transport :**

Le transport de ces embases, en raison de leur volume, requiert plus de véhicules et augmente la quantité de fret nécessaire, ce qui génère des coûts supplémentaires en termes de carburant, de logistique et de personnel.

Lors des transports internationaux, le coût de l'expédition est également affecté par la nécessité d'utiliser des containers plus grands ou de réduire le nombre d'unités transportées, ce qui impacte négativement l'efficacité économique du processus.

➤ **Perte de flexibilité opérationnelle :**

La rigidité de la conception empêche d'adapter facilement l'embase aux différentes tailles et formes des composants ferroviaires, ce qui peut conduire à des inefficacités dans le processus d'expédition. Par exemple, une embase non adaptée à la forme d'un composant peut nécessiter des ajustements coûteux, soit par la création de supports supplémentaires, soit par des ajustements manuels.

En cas de besoins urgents ou spécifiques, l'incapacité de modifier facilement la configuration des embases pour répondre à des demandes particulières (par exemple, pour un client spécifique ou pour un transport rapide) peut entraîner des retards ou des coûts imprévus.

➤ **Durabilité et coût de maintenance :**

L'utilisation d'un grand nombre de pièces soudées et d'éléments fixes augmente les coûts de maintenance et de réparation des embases. Les pièces usées ou endommagées doivent être remplacées par de nouvelles pièces, ce qui n'est pas seulement coûteux, mais peut également affecter la disponibilité des embases pour des expéditions futures.

Le processus de maintenance des embases rigides prend également plus de temps et nécessite des ressources spécialisées, ce qui constitue un autre facteur de coût.

5. Solution proposée :

La solution proposée consiste à une conception d'embase repliable qui permettrait de résoudre les principaux problèmes identifiés dans la conception actuelle. Cette nouvelle conception vise à optimiser l'espace de stockage et de transport tout en maintenant la sécurité de l'embase sous charge, ce qui est primordial pour Alstom.

La solution d'embase repliable proposée représente une évolution significative par rapport à la conception actuelle. Elle permet de résoudre plusieurs des problèmes liés à l'optimisation de l'espace, aux coûts de transport, et à la flexibilité des opérations, tout en maintenant une sécurité et une robustesse suffisantes pour répondre aux exigences d'Alstom.

Chapitre 5 :

Conception et Test d'Embases Pliables et Empilables pour les Exigences Logistiques d'Alstom

Cette nouvelle conception s'inscrit dans une démarche d'innovation visant à améliorer l'efficacité opérationnelle d'Alstom, tout en offrant une solution durable et rentable. Elle permet non seulement de réduire les coûts et l'empreinte écologique, mais également d'offrir une meilleure adaptabilité pour répondre aux besoins futurs d'Alstom.

1. Description de la solution repliable

1.1. L'idée en générale :

La solution proposée consiste à une conception d'embase repliable qui permettrait de résoudre les principaux problèmes identifiés dans la conception actuelle. Cette nouvelle conception vise à optimiser l'espace de stockage et de transport tout en maintenant la sécurité de l'embase sous charge, ce qui est primordial pour Alstom.

1.2. L'inspiration :

La conception repliable s'inspire de mécanismes utilisés dans des objets tels que les chaises de camping, permettant à l'embase de se replier sur elle-même pour réduire son volume lorsqu'elle n'est pas en service. Le mécanisme de pliage a été conçu pour être simple, mais efficace, en permettant une réduction de l'encombrement tout en conservant la rigidité nécessaire pour résister aux charges pendant le transport ou l'expédition.



Figure 42 : Image d'une chaise de camping et de son mécanisme de pliage

2. Avantages de la solution repliable

La solution proposée présente plusieurs avantages qui répondent directement aux limitations identifiées dans la conception actuelle :

Optimisation de l'espace :

Le mécanisme de pliage permet de réduire le volume de l'embase lorsqu'elle n'est pas utilisée, facilitant ainsi son stockage. Cette réduction d'encombrement optimise l'utilisation de l'espace dans les entrepôts et lors du transport, ce qui permet à Alstom de stocker et de transporter plus d'unités dans les mêmes espaces.

L'analyse de l'optimisation de l'espace démontre un gain substantiel en termes de volume, ce qui permet de réduire la quantité de containers ou de véhicules nécessaires pour le transport. Ce gain d'espace peut également être bénéfique lors du stockage des pièces ou de la gestion des inventaires.

Réduction des coûts de transport :

En réduisant l'encombrement des embases repliées, cette solution permet à Alstom de transporter un plus grand nombre d'unités dans le même espace, ce qui entraîne une réduction des coûts logistiques et du carburant. Cette solution est particulièrement avantageuse pour les expéditions internationales, où chaque centimètre cube compte.

La possibilité de replier l'embase permet d'utiliser moins de véhicules pour un même nombre d'unités, réduisant ainsi l'empreinte carbone liée au transport.

Le design repliable offre également une meilleure polyvalence dans les opérations quotidiennes, permettant à Alstom de réagir plus rapidement aux besoins spécifiques des clients ou des projets.

3. Réalisation et conception le module 3D :

3.1. Conception un prototype :

3.1.1. Conception des pièces :

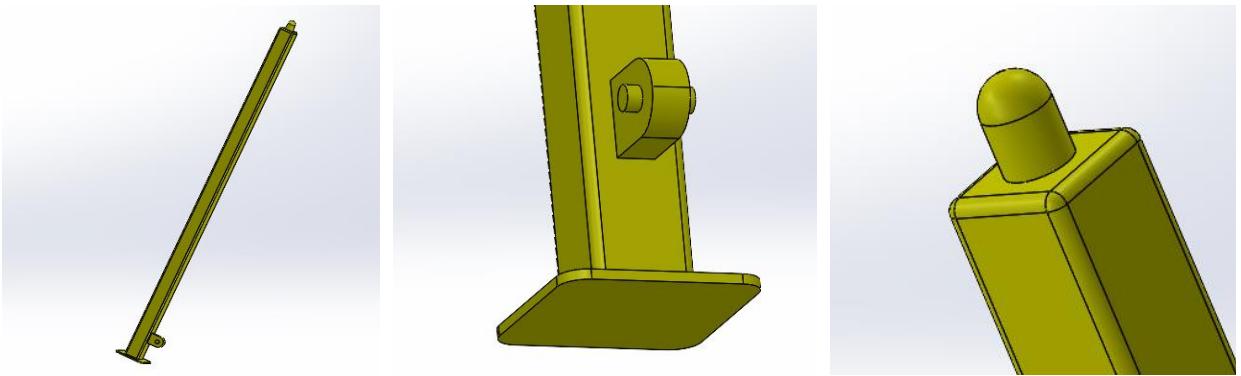


Figure 43 : conception de la montant vertical

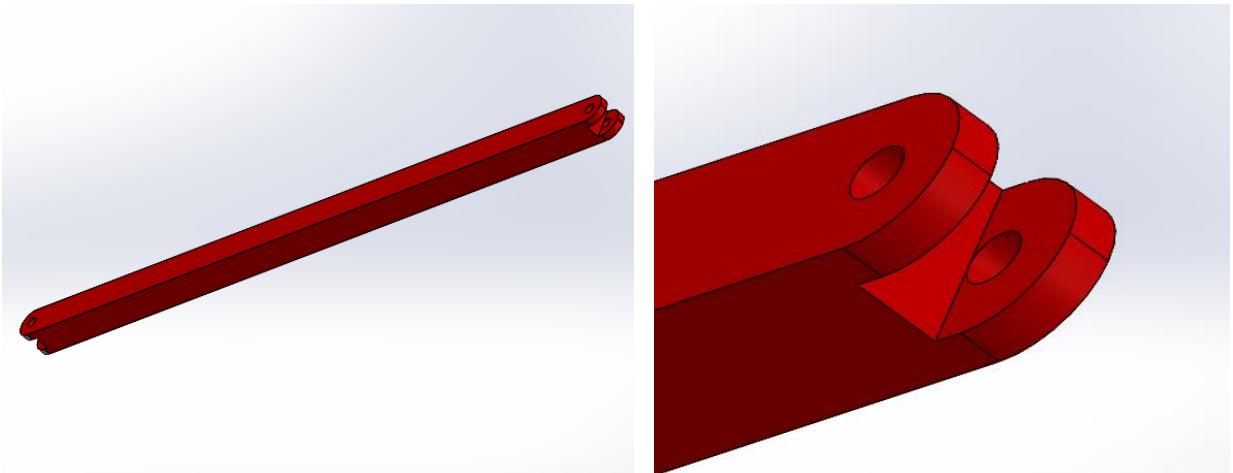


Figure 44 : conception de la barre de la base

Maintenant Conception de la pièce "cross" reliant les barres ensemble.

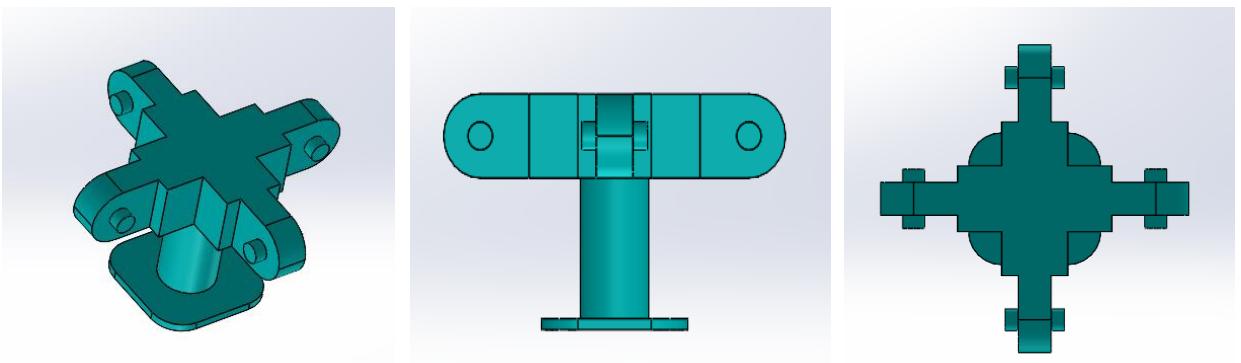


Figure 45 : conception du pièce ‘cross’

3.1.2. Assemblage des pièces :

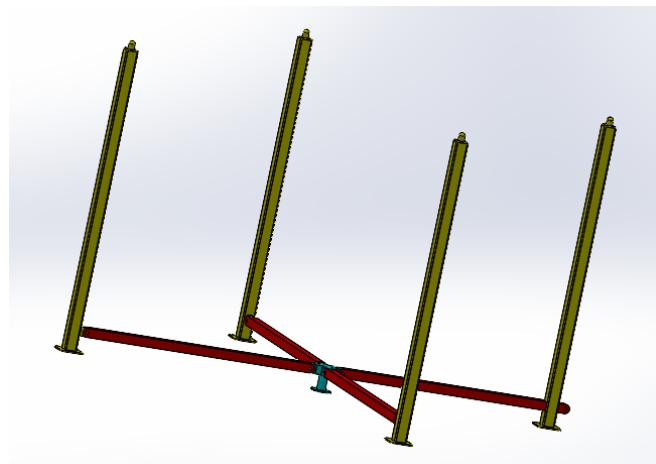


Figure 46 : la nouvelle forme de l'embase

3.1.3. Mécanisme de pliage :

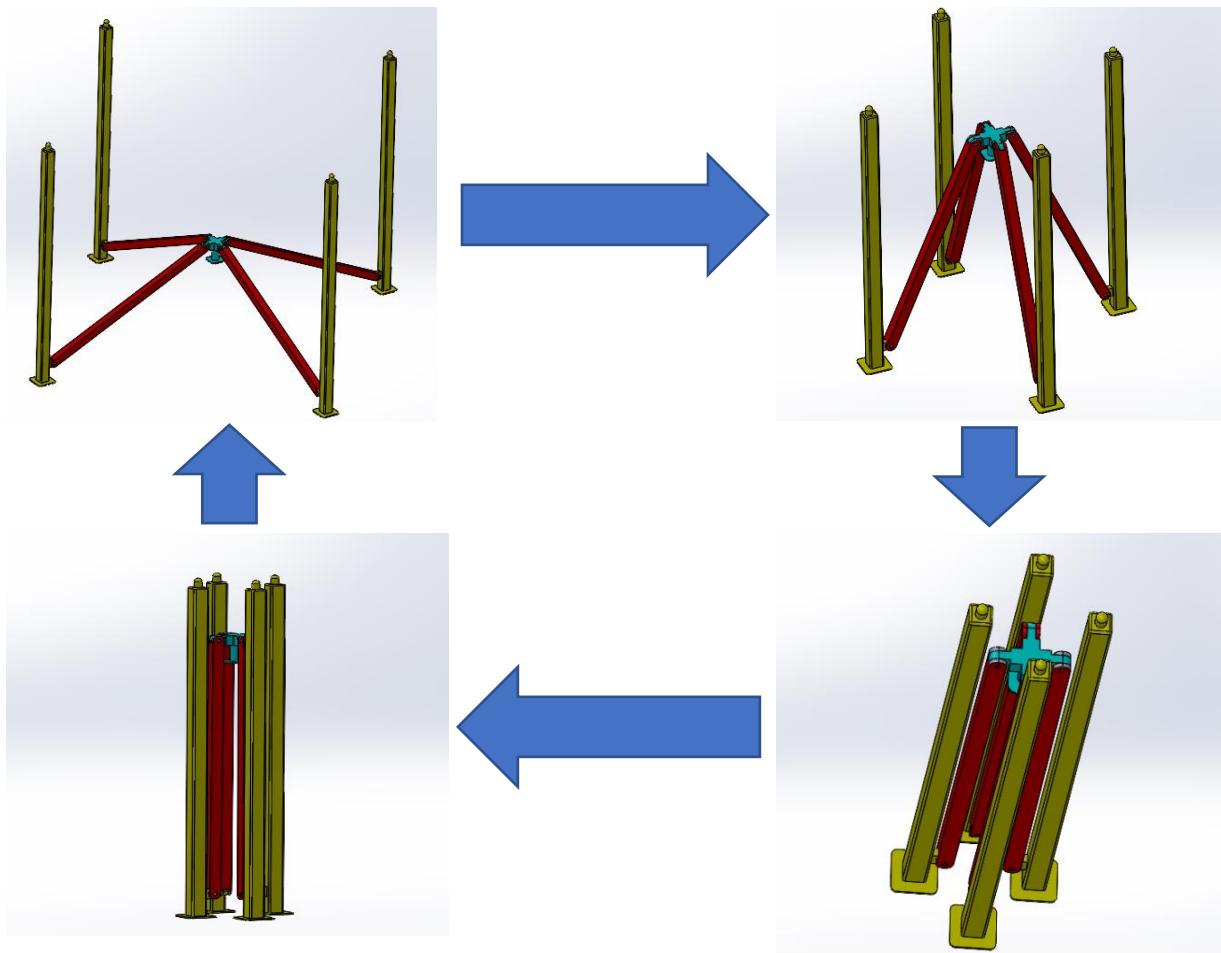


Figure 47 : Mécanisme de pliage

3.2. Conception du module réel :

La nouvelle embase repliable est conçue pour maintenir la robustesse et la simplicité des embases actuelles tout en intégrant un mécanisme innovant de pliage. Le choix des profilés creux carrés comme matériau principal garantit une fabrication simple et économique, grâce à leur compatibilité avec les processus existants, leur rigidité structurelle, et leur capacité à intégrer des mécanismes de pliage tels que des charnières ou des pivots. Cette conception permet de conserver les standards de fiabilité tout en introduisant des fonctionnalités optimisées pour répondre aux besoins d'Alstom en termes de flexibilité et d'espace.

L'embase repliable conçue est une structure modulaire composée de plusieurs pièces principales, chacune jouant un rôle clé dans la stabilité, la flexibilité et la fonctionnalité globale. Voici les éléments principaux et leur agencement :

3.2.1. Structure générale

- L'embase est conçue avec des profilés creux carrés (40x40 mm ou 34x34 mm, épaisseur 3 mm) pour maximiser la simplicité de fabrication, la robustesse et la légèreté.
- Elle est composée de pièces principales démontables (assemblages), tandis que les sous-composants de chaque pièce principale sont soudés et fixes.

Pièces principales

1. Croix (Cross) :
 - Deux profilés en croix pour connecter les barres centrales.
 - Intègre des goupilles pour attacher les joints universels.
 - Une tôle métallique est soudée en dessous pour assurer un contact stable avec le sol si l'embase est posée.
2. Barre longitudinale de la base :
 - Constituée de deux profilés longs (2000 mm), reliés par un petit profilé central.
 - Intègre des goupilles mâles pour la connexion aux montants verticaux.
 - Une tôle métallique en dessous permet la fixation au sol.
3. Barre transversale de la base :
 - Même structure que la barre longitudinale, mais sans tôle de fixation inférieure, et avec une longueur de 1200 mm.
4. Barre centrale de la base (Middle bar) :
 - Profilé unique connecté aux joints universels des montants verticaux et de la croix.

- Longueur ajustée en fonction des dimensions globales de l'embase.
5. Montant vertical (Leg) :
- Profilé principal de 1500 mm avec :
 - Une goupille mâle en haut pour connecter aux embases empilées.
 - Une plaque métallique en bas avec une goupille femelle pour la fixation au sol.
 - Deux profilés latéraux formant des joints pour attacher les barres longitudinales et transversales.
 - Un joint universel pour connecter les barres au niveau des angles.
6. Tôle pliée à 90° :
- Ajoutée sur les montants verticaux pour renforcer la connexion avec les joints latéraux.
7. Joint universel (Universal joint) :
- Responsable de la flexibilité avec deux degrés de liberté (2 DOF) pour permettre un pliage efficace de l'embase.

3.2.2. Conception du montant vertical :



Figure 48 : Assemblage du montant vertical

Les pièces adjoint ou les pièces d'assemblage du montant vertical :

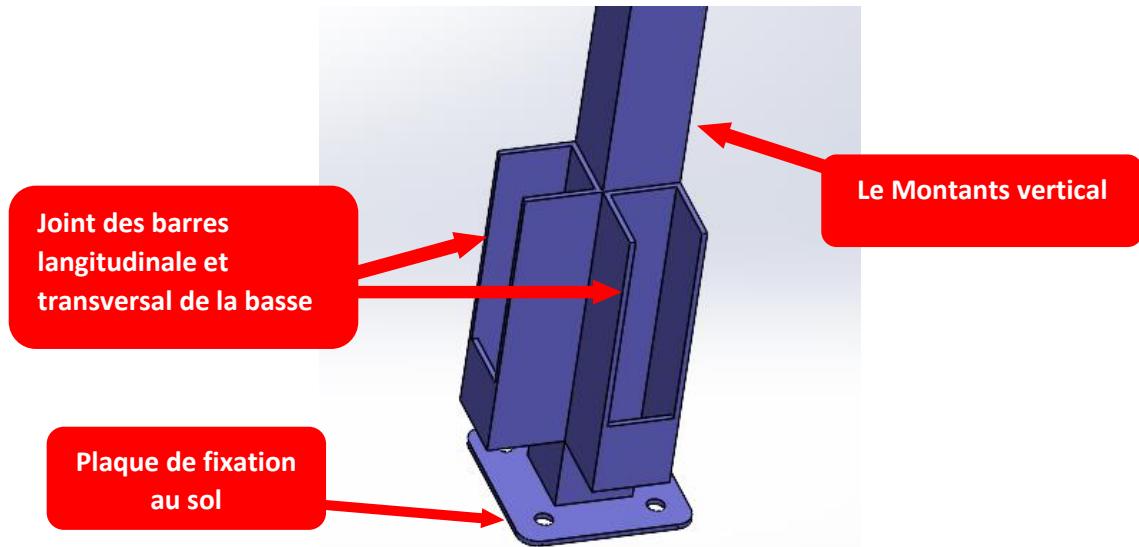


Figure 50 : description des éléments du montant vertical

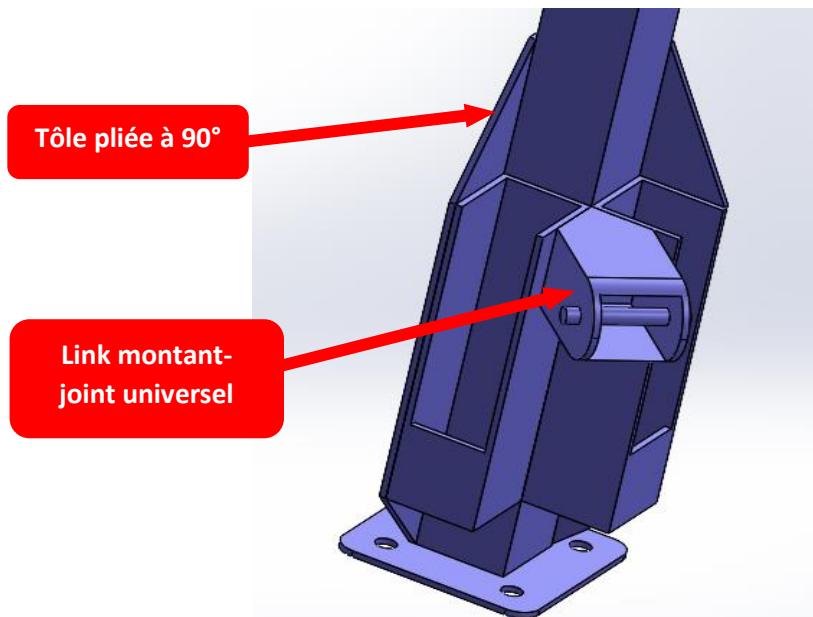


Figure 51 : description des éléments du montant vertical

La Plaque pliée et soudée au montant avec les supports des barres pour renforcer la structure.

3.2.3. Conception des barres principale de la base :

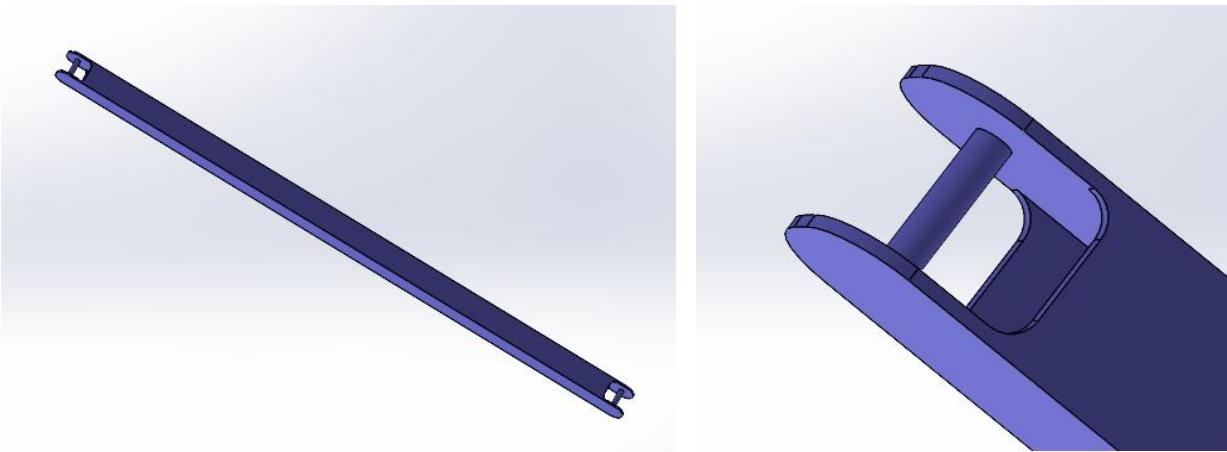


Figure 52 : la barre principale de la base

3.2.4. Conception de la barre transversale de la base :

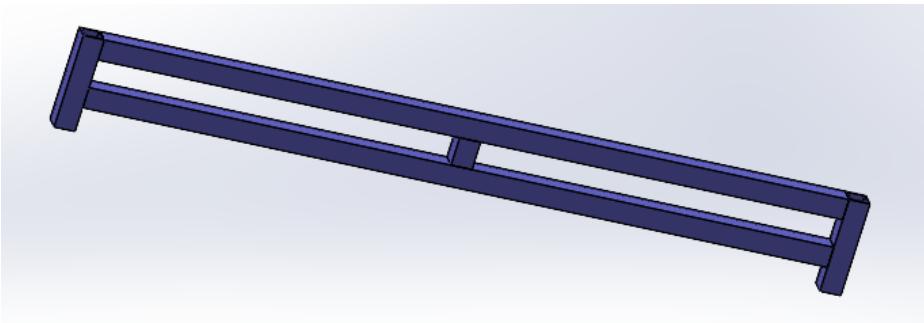


Figure 53 : module 3D d'un assemblage du barre transversale de la base

3.2.5. Conception de la barre longitudinale de la base :



Figure 54 : module 3D d'un assemblage du barre longitudinale de la base

3.2.6. Conception de la pièce ‘cross’ ou Noeud central :

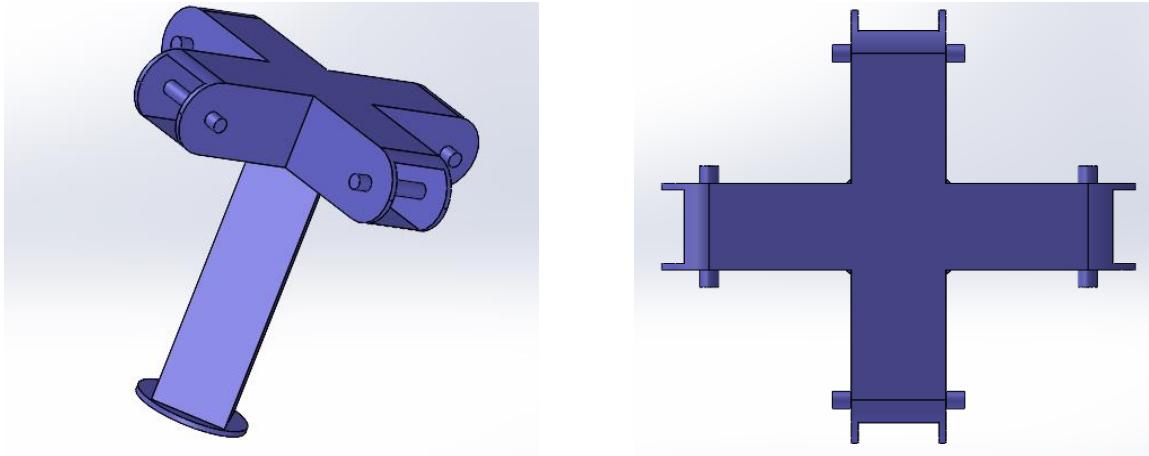


Figure 55 : module 3D d'un assemblage du pièce cross

3.2.7. Conception de la pièce joint universel :

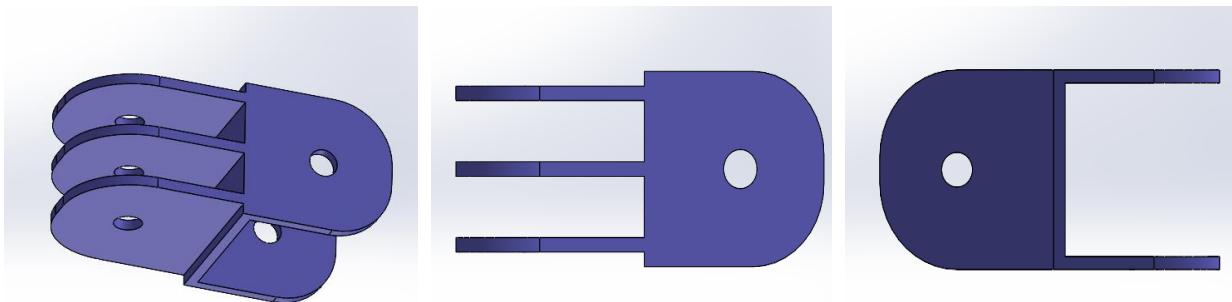


Figure 56 : module 3D de la pièce joint universel

3.2.8. Assemblage de la nouvelle embase pliable :

Première étape : Assemblage du nœud central (cross pièce) avec le joint universel
Pour commencer, le nœud central ou cross pièce est assemblé avec les joints universels qui permettront d'articuler les barres centrales (middle bars). Ce processus implique :

- La fixation des goupilles des joints universels aux emplacements prévus sur les profilés en croix.
- L'utilisation des joints pour créer une articulation fluide et sécurisée entre la croix centrale et les barres adjacentes.

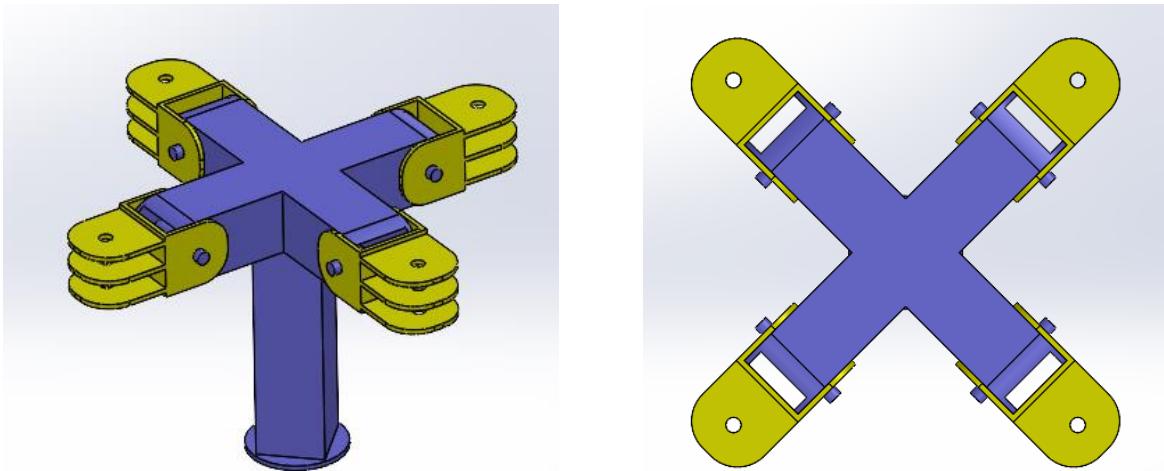


Figure 57 : Assemblage du nœud central (cross pièce) avec le joint universel

Deuxième étape : Fixation des barres principales de la base (Middle Bars) aux joints universels

La deuxième étape consiste à connecter les barres principales de la base aux joints universels déjà fixés au nœud central (cross pièce) :

- Les middle bars sont alignées avec les joints universels situés sur les côtés du nœud central.
- Les extrémités des barres principales sont insérées dans les connecteurs des joints universels.
- Les goupilles sont fixées pour assurer une connexion solide et permettre une articulation fluide.
- Une fois fixées, les barres principales doivent pivoter librement autour des joints pour garantir la fonctionnalité du mécanisme de pliage.

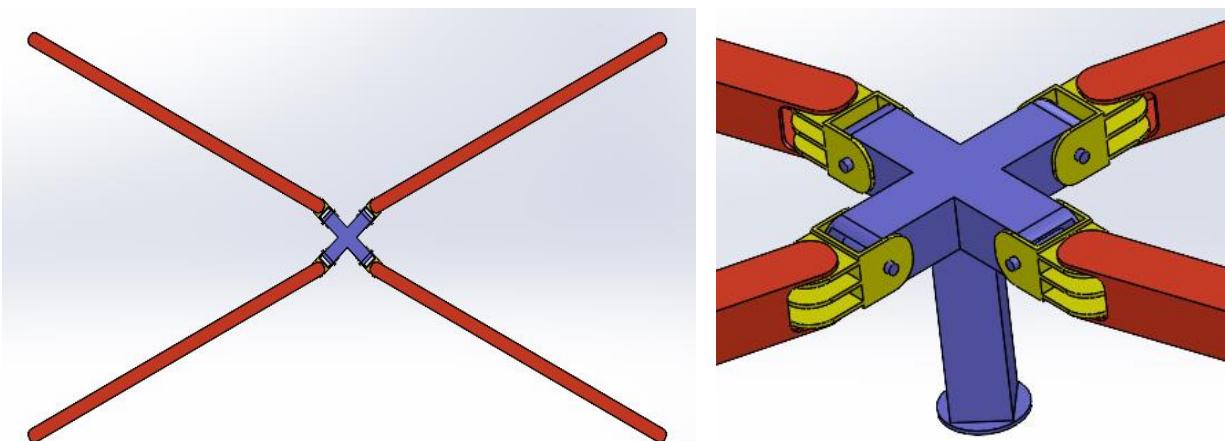


Figure 58 : Fixation des barres principales de la base (Middle Bars) aux joints universels

Troisième étape : Fixation des joints universels à l'autre extrémité des barres principales de la base (Middle Bars)

- Positionner les joints universels à l'extrémité opposée des middle bars déjà connectées au nœud central.
- Vérifier que les goupilles des joints universels sont prêtes pour l'assemblage.
- Insérer les extrémités des middle bars dans les connecteurs des joints universels.
- Fixer les goupilles pour verrouiller la connexion de manière stable.
- Une fois connectés, les joints universels doivent permettre un mouvement fluide pour maintenir le mécanisme de pliage fonctionnel.

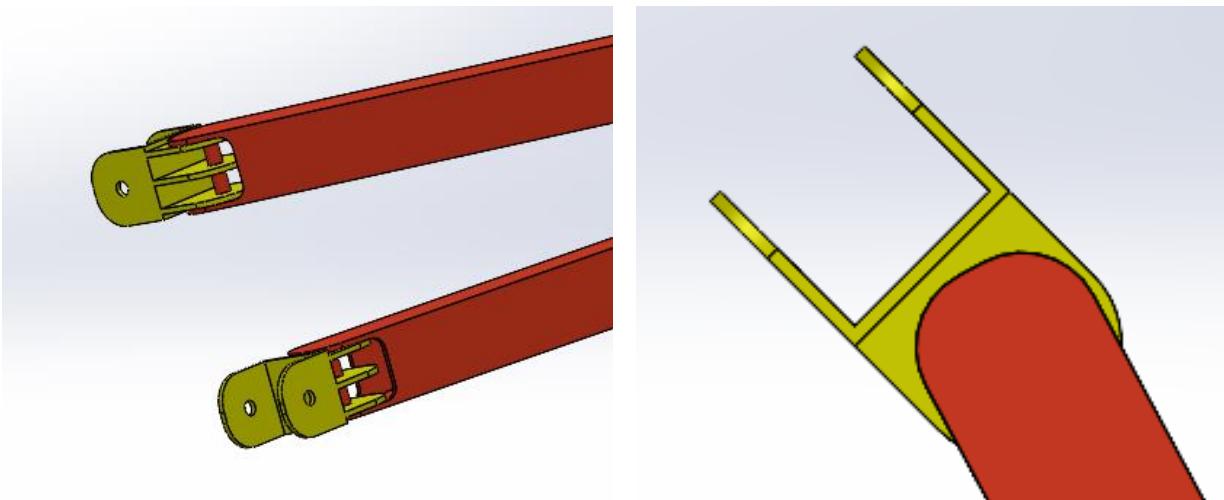


Figure 59 : Fixation des joints universels à l'autre extrémité des barres principales de la base (Middle Bars)

Quatrième étape : Fixation des montants verticaux (Legs) aux joints universels des barres principales de la base (Middle Bars)

- Placer chaque montant vertical aligné avec les joints universels situés aux extrémités des middle bars.
- Insérer la partie inférieure des montants verticaux dans les connecteurs des joints universels.
- Fixer solidement les goupilles pour maintenir les montants en place tout en permettant une articulation fluide.
- Vérifier que chaque montant est correctement fixé et peut pivoter sans contrainte grâce aux joints universels.
- S'assurer que les montants restent alignés verticalement pour garantir la stabilité de l'embase.

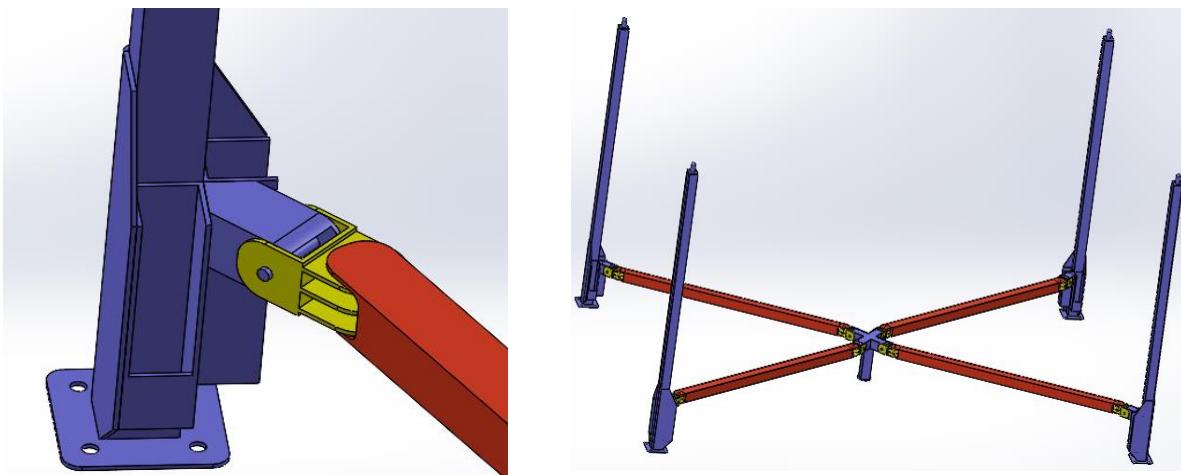


Figure 60 : Fixation des montants verticaux (Legs) aux joints universels des barres principales de la base (Middle Bars)

Cinquième étape : Fixation des barres transversales et longitudinales aux montants verticaux (Legs)

- Aligner les barres transversales et longitudinales avec les joints des montants verticaux (points de connexion prévus sur les côtés des montants).
- Insérer les extrémités des barres transversales et longitudinales dans les joints des montants verticaux.
- Fixer solidement chaque connexion à l'aide de vis ou de goupilles, selon la conception.
- S'assurer que les barres longitudinales et transversales sont bien fixées et ne présentent aucun jeu ou désalignement.
- Vérifier que l'ensemble forme une base rigide et stable, tout en permettant une répartition uniforme des charges.

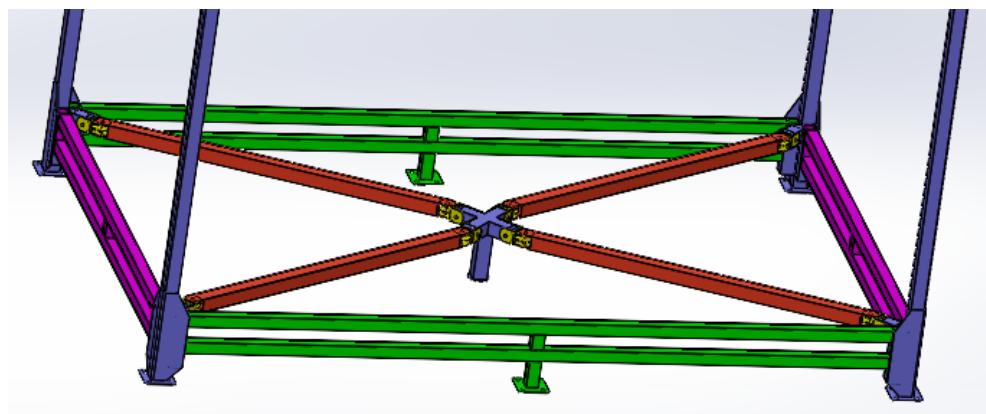


Figure 61 : Fixation des barres transversales et longitudinales aux montants verticaux (Legs)

Sixième étape : Fixation des barres de support transversales aux barres longitudinales

- Placer les barres de support transversales sous les barres principales (middle bars), en les alignant perpendiculairement aux barres longitudinales.
- Utiliser les points de fixation prévus sur les barres longitudinales pour connecter les barres de support transversales.
- Fixer solidement à l'aide de vis ou de boulons pour garantir une connexion rigide.
- Vérifier que les barres de support transversales sont correctement fixées et apportent un soutien supplémentaire aux barres principales, réduisant ainsi le stress causé par les charges appliquées.
- S'assurer que l'ensemble de la base est parfaitement aligné et stable.

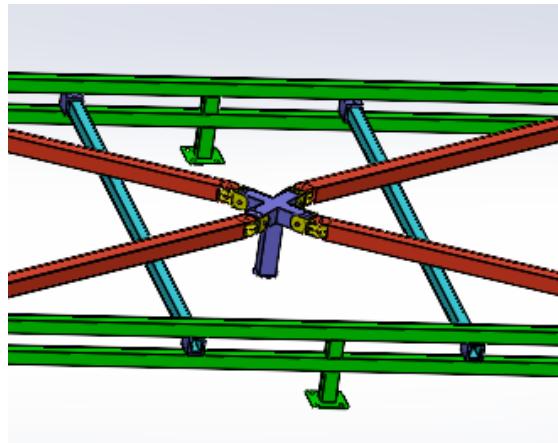


Figure 62 : Fixation des barres de support transversales aux barres longitudinales

Dernière étape : Présentation de l'ensemble de l'embase assemblée

Une fois toutes les pièces principales et sous-assemblages connectés, voici la structure finale de l'embase repliable :

- Base complète et articulée : Les barres longitudinales, transversales, et de support sont solidement fixées aux montants verticaux et aux joints universels, formant une structure rigide mais flexible grâce au mécanisme de pliage.
- Montants verticaux connectés : Les montants verticaux sont solidement attachés aux joints universels des barres principales, assurant une stabilité verticale et permettant l'empilage sécurisé.

- Croix centrale et mécanisme de pliage : La croix centrale connectée aux barres principales via les joints universels forme le point pivot du mécanisme de pliage, offrant une articulation fluide pour réduire l'encombrement.
- Support renforcé : Les barres de support transversales ajoutées sous les barres principales garantissent une résistance accrue aux charges, assurant une répartition uniforme du poids.

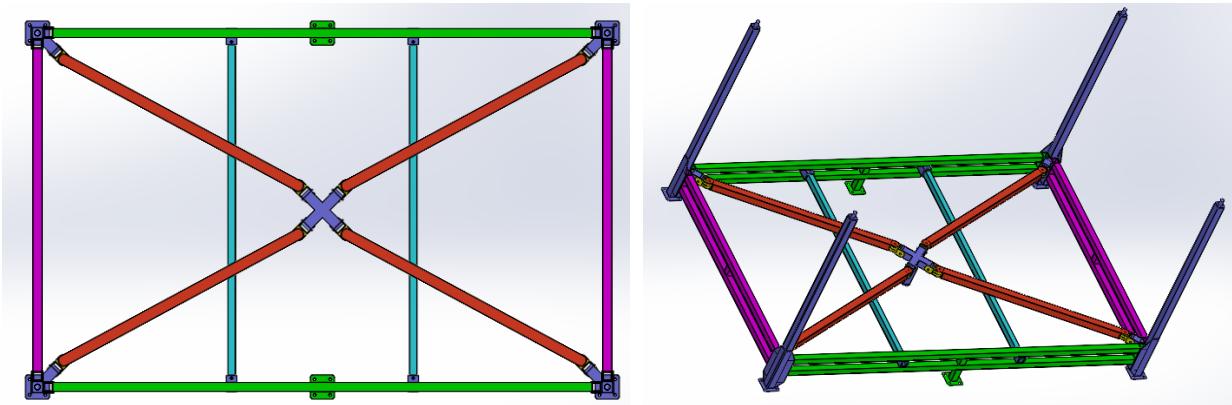


Figure 63 : Présentation de l'ensemble de l'embase assemblée

3.3. Mécanisme de pliage et optimisation de l'espace

3.3.1. Présentation du mécanisme de pliage

Le mécanisme de pliage de la nouvelle embase repliable permet de réduire considérablement l'encombrement lorsqu'elle n'est pas utilisée. Voici les étapes principales du processus de pliage :

- a. **Retrait des barres de support transversales** : Les barres de support transversales sont dévissées des barres longitudinales pour libérer la structure.
- b. **Démontage des barres transversales et longitudinales** : Les barres transversales et longitudinales sont retirées des joints femelles des montants verticaux, libérant complètement la base.
- c. **Reconfiguration de la structure principale** : La structure de l'embase est ajustée, passant d'une forme rectangulaire à une forme carrée.
- d. **Pliage final des montants verticaux** : Les montants verticaux sont repliés autour des joints universels jusqu'à ce que leurs bases se rencontrent, formant une structure compacte.

Ce mécanisme permet un pliage rapide et efficace, optimisant l'espace occupé par l'embase lors de son stockage ou de son transport retour.



Figure 64 : Mécanisme de pliage de nouveau modèle d'embase d'Alstom

3.3.2. Optimisation de l'espace

Pour démontrer les avantages de la nouvelle conception, nous allons examiner un scénario concret de transport et de retour des embases. Ce scénario illustre les différences entre l'ancienne conception fixe et la nouvelle conception repliable, en mettant en lumière les économies d'espace significatives.

Exemple de scénario : Transport et retour d'embases

- Situation de transport : Lors d'une expédition, les embases sont empilées pour maximiser l'utilisation de l'espace dans le camion ou le conteneur. Chaque colonne contient 3 embases empilées verticalement. Deux colonnes sont placées côté à côté dans l'espace de transport, avec une distance de sécurité de 200 mm entre elles pour éviter tout contact ou instabilité durant le trajet.
Les dimensions d'une embase non repliée sont 2204x1404x1206 mm³, ce qui constitue la base du calcul de l'espace total occupé par les deux colonnes.
- Situation de retour : Après utilisation, les embases sont renvoyées au dépôt ou à l'usine.
 - Pour l'ancienne conception, les embases conservent leur forme fixe, occupant le même volume que lors de leur expédition initiale.
 - Pour la nouvelle conception, les embases peuvent être repliées grâce à leur mécanisme innovant. Cette capacité à se replier réduit

considérablement leur encombrement, ce qui permet d'économiser de l'espace lors du retour.

Cette comparaison met en évidence les avantages logistiques et économiques de la nouvelle conception, notamment dans les cas où l'espace de transport est limité ou coûteux.

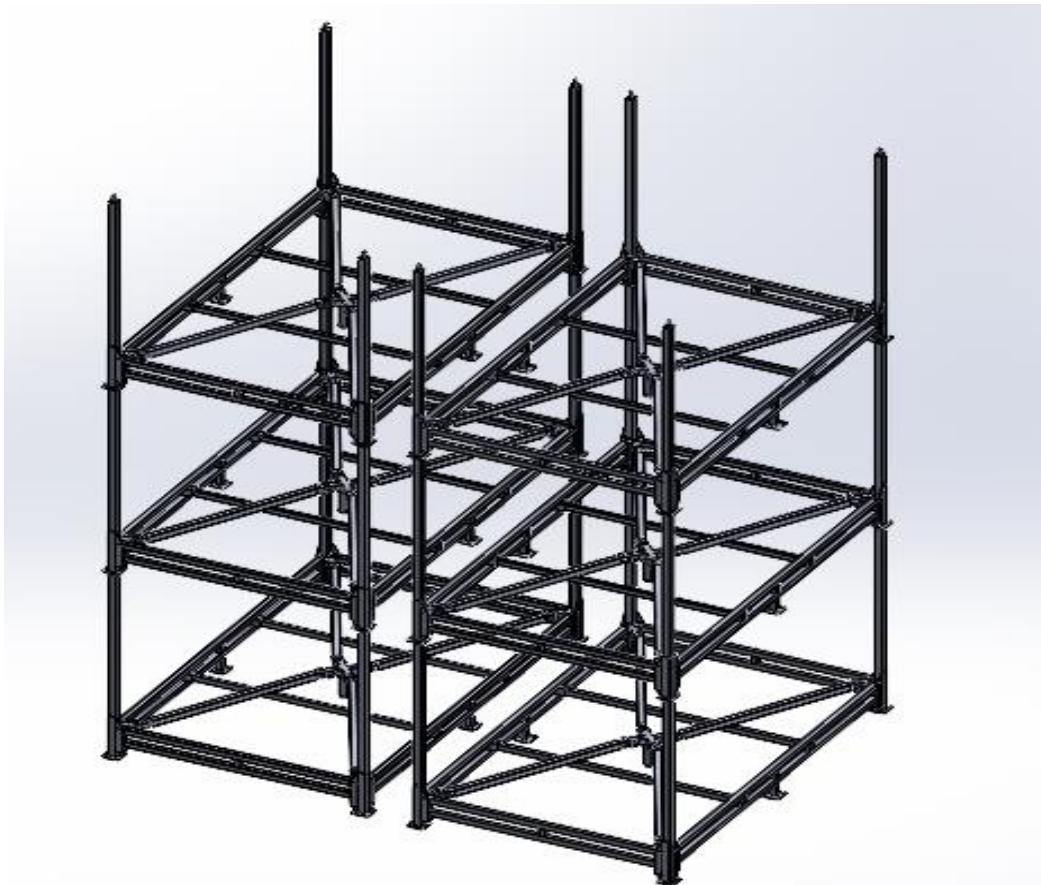


Figure 66 : Exemple de scénario de 2 colonnes contient 3 embases empilées verticalement

Pour démontrer les avantages de la nouvelle conception, voici une comparaison entre l'ancienne et la nouvelle embase lors du transport et du retour :

A. Volume de transport initial (configuration empilée) :

- Une colonne d'embases contient 3 unités empilées, chaque embase ayant un volume de 2204x1404x1206 mm³.
- Pour deux colonnes, avec une distance de sécurité de 200 mm entre elles, le volume total est :

$$V_{\text{total (ancienne et nouvelle)}} = 2204 \times (1404 \times 2 + 200) \times 1206 \times 3 = 23986008576 \text{ mm}^3$$

B. Volume lors du retour (standard modèle) :

Le volume occupé par le modèle standard d'embase reste identique : 23,986,008,576 mm³.

C. Volume lors du retour (nouvelle modèle) :

- Le nouveau modèle d'embase, repliée, se décompose en plusieurs parties :
 - Partie pliée principale : 350x350x1290 mm³.
 - Barres longitudinales (2) : 154x2000x60 mm³.
 - Barres transversales (2) : 1200x154x34 mm³.
 - Barres de support transversales (2) : 40x34x1350 mm³.
- Le volume total d'une embase repliée est :

$$\begin{aligned} V_{\text{embase repliée}} &= 158025000 + 36960000 + 12566400 + 3672000 \\ &= 211223400 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- Pour deux colonnes contenant 3 embases chacune :

$$V_{\text{total (nouvelle)}} = 211223400 \times 6 = 1267781200 \text{ mm}^3$$

D. Gain d'espace :

- Différence entre les volumes standard et nouveau :
- $$\Delta V = 23986008576 - 1267781200 = 22718227376 \text{ mm}^3$$
- Pourcentage d'espace économisé :

$$\text{Économie} = \frac{\Delta V}{V_{\text{ancien}}} \times 100 = 94.71\%.$$

E. Démonstration des embases pliables en mode de retour :

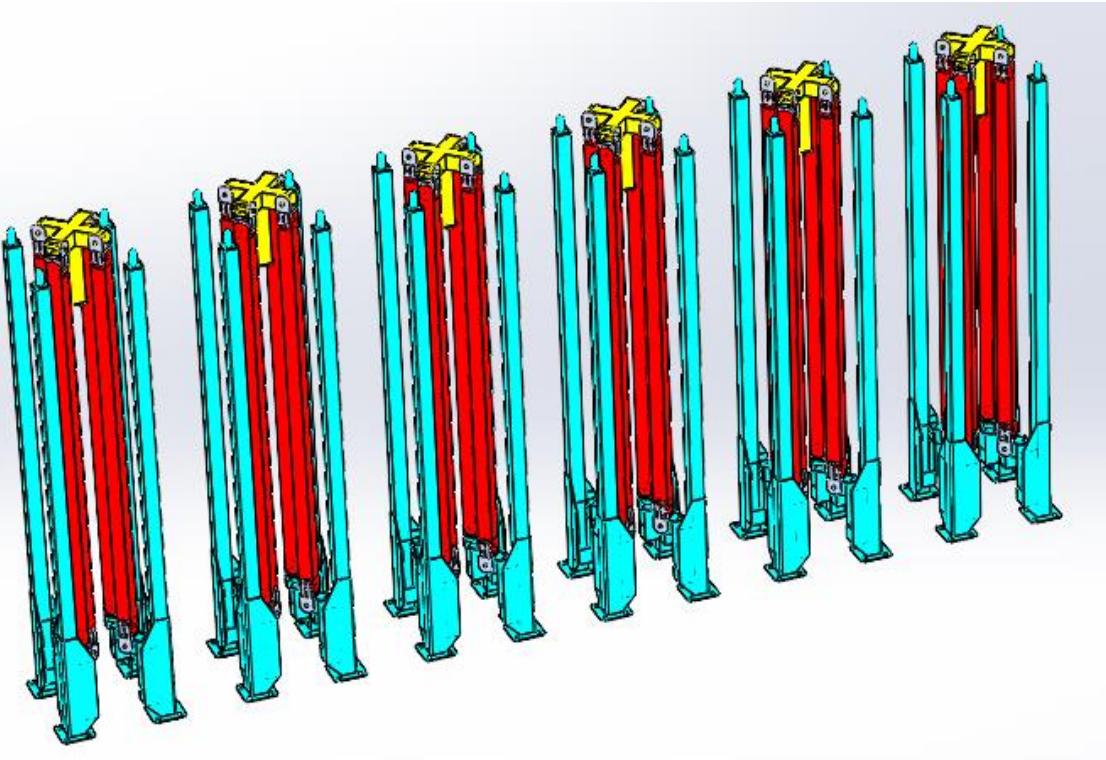


Figure 67 : les embases du scénario plié en mode de retour

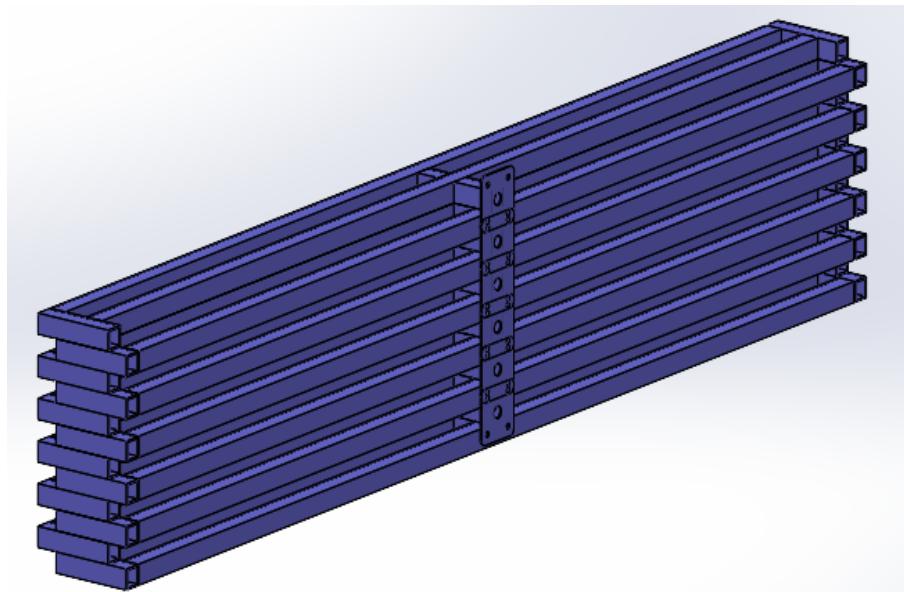


Figure 68 : Les barres longitudinales de la base démontée et empilées les unes sur les autres.

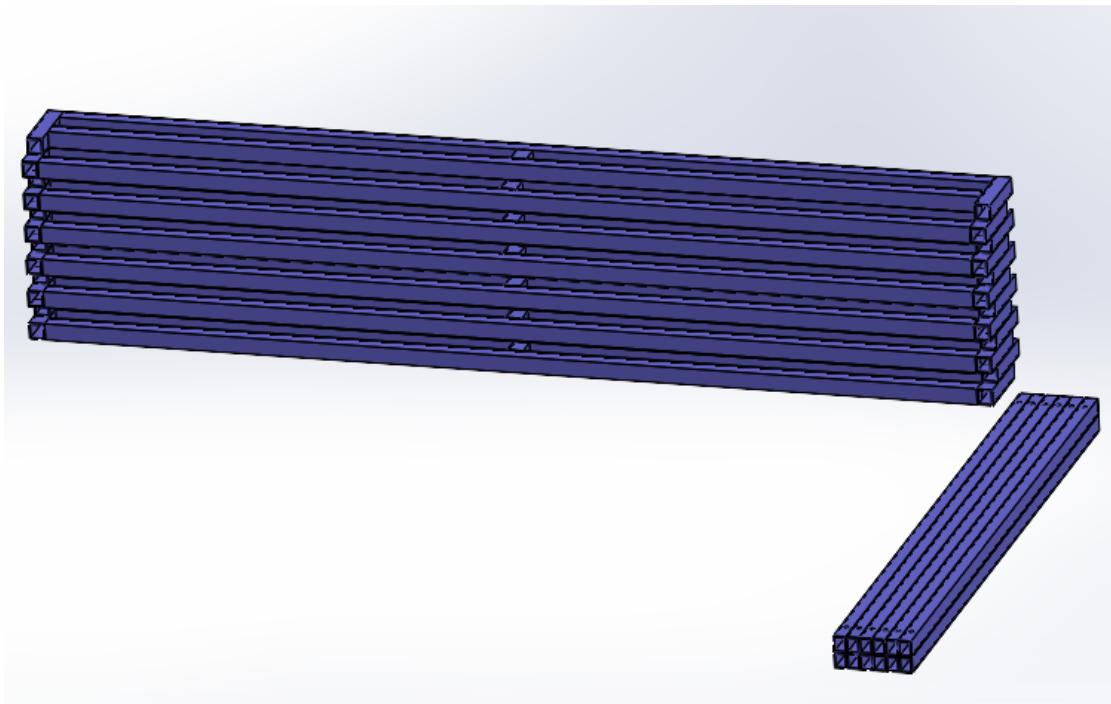


Figure 69 : Les barres Transversale de la base et du support démontée et empilées les unes sur les autres.

F. Conclusion :

La nouvelle embase repliable offre une réduction spectaculaire de **94.71 %** de l'espace occupé lors du retour, comparée à l'ancienne conception. Cette optimisation permet de transporter davantage d'embases dans un même volume, réduisant ainsi les coûts logistiques et l'empreinte environnementale liés au transport.

4. Analyse et simulation pour la sécurité du nouveau modèle d'embase :

Même si la nouvelle conception repliable de l'embase apporte des avantages considérables en termes d'optimisation de l'espace et de gestion logistique, sa sécurité structurelle sous charge reste un critère fondamental pour valider son utilisation. En effet, une embase pliable économiquement avantageuse n'aura aucune valeur si elle ne peut pas garantir la sécurité des composants qu'elle transporte.

Dans cette section, nous allons effectuer une série de simulations pour évaluer la résistance du nouveau modèle face aux charges statiques, comme celles

rencontrées dans des conditions réelles de transport. Ces simulations permettront de vérifier si la nouvelle conception respecte les exigences de sécurité, notamment en termes de contrainte maximale, de déplacement, de déformation, et de facteur de sécurité (FOS). Enfin, nous comparerons les résultats obtenus avec ceux du modèle d'embase d'origine afin de déterminer si la nouvelle conception constitue une alternative viable et fiable pour répondre aux besoins d'Alstom.

Les simulations seront réalisées en fonction des différentes positions typiques des embases lors du transport, tout en conservant les mêmes charges qu'auparavant. La seule différence ici est la masse propre de la nouvelle embase, qui est de 96 kg au lieu des 131,3 kg de l'embase d'origine.

4.1. Simulation de l'embase au sol sous charge :

La base de l'embase inférieure supportera une charge totale de 192 kg pour les composants transportés, avec les supports de toutes les plaques fixées au sol.

4.1.1. Paramètre de la simulation 1 :

- Fixation ou les contraintes :**

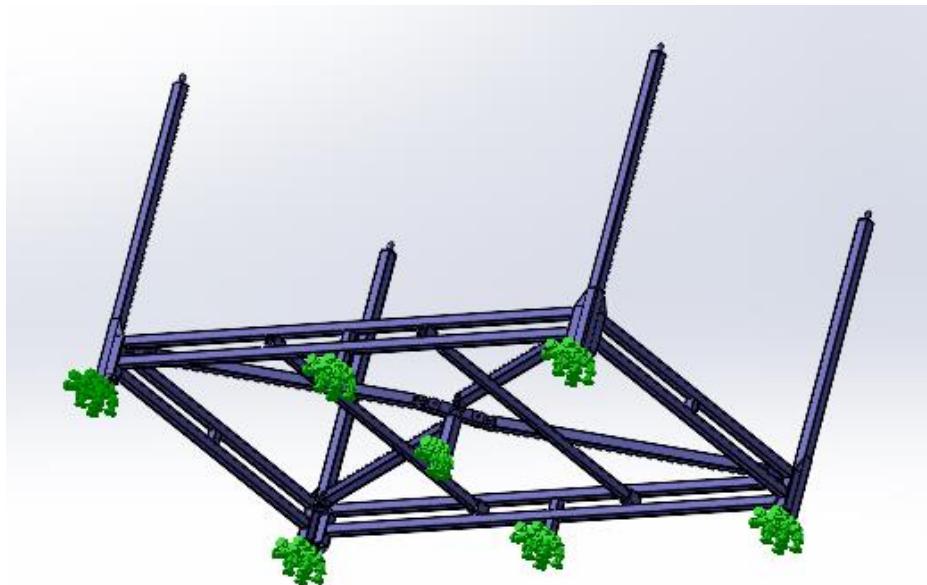


Figure 70 : fixation de la nouvelle modele d'emabse au sol

- Force de poids appliquée :**

$$F = P = m \cdot g = 192 * 9,81 = 1881,53 \text{ N}$$

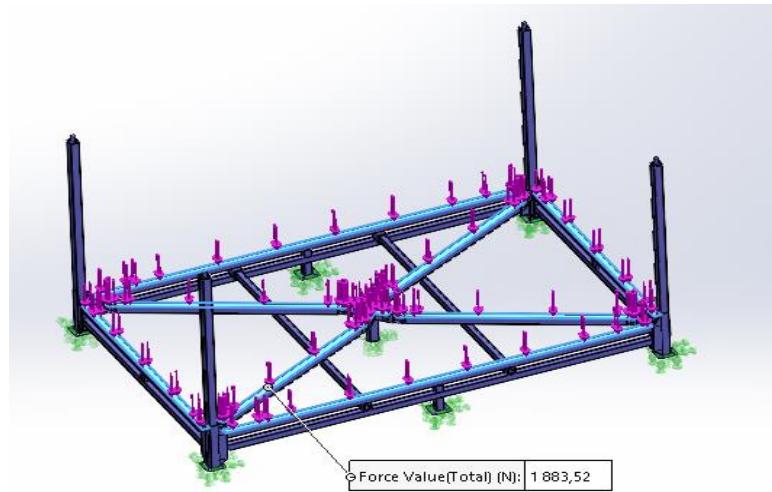


Figure 71 : la force de poids appliquée sur la nouvelle modele d'emabse au sol

4.1.2. Résultats de la simulation 1 :

- **Résultats des contraints**

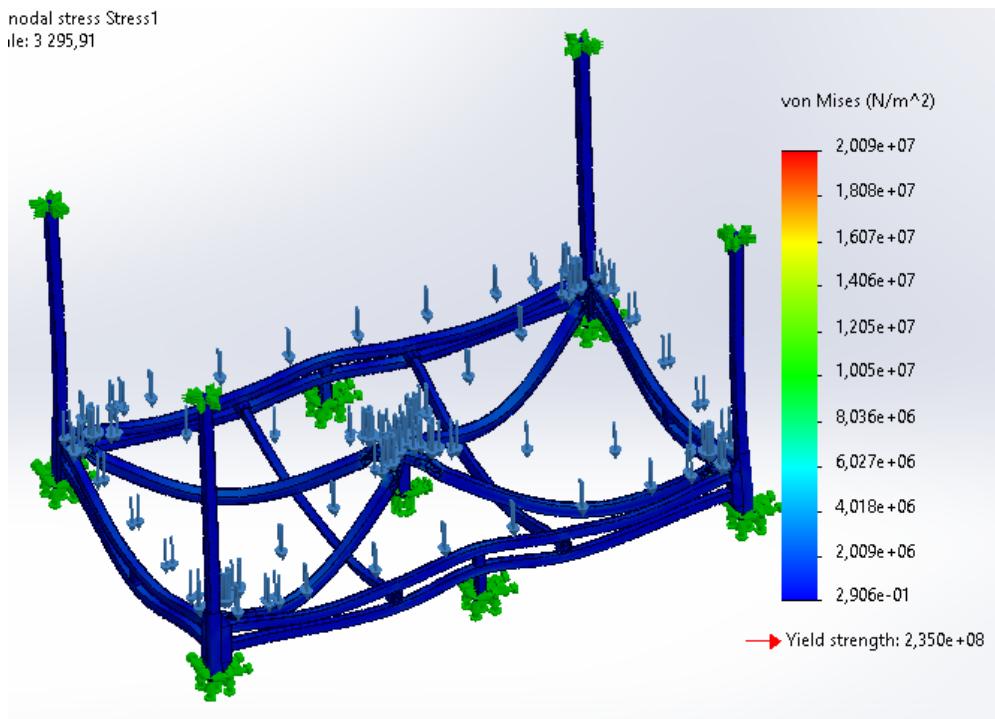


Figure 72 : résultats des contraintes par la force de poids appliquée sur la nouvelle modele d'emabse au sol

Contrainte max = 20,09 MPa

Contrainte min = 0.2906 MPa

- **Résultats de déplacement :**

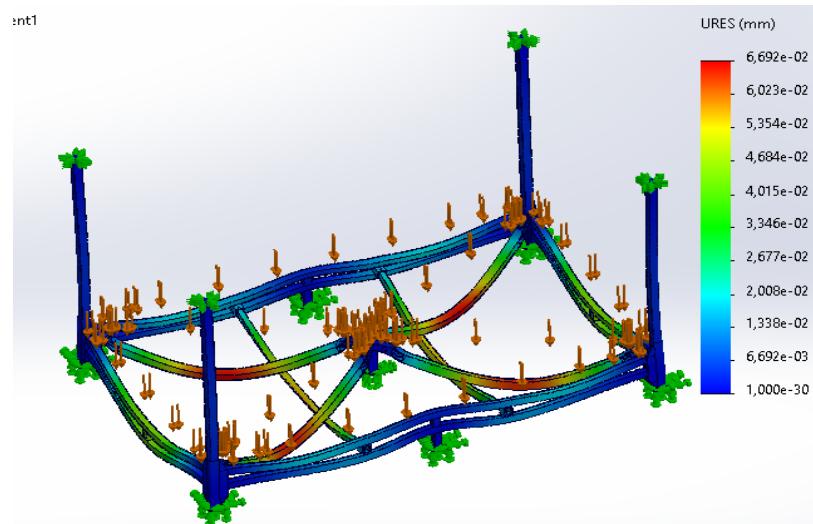


Figure 73 : résultats de déplacement par la force de poids appliquée sur la nouvelle modèle d'emabse au sol

Basons sur les résultats de la simulation le déplacement maximal est 0.06692 mm

- **Résultats du facteur de sécurité :**

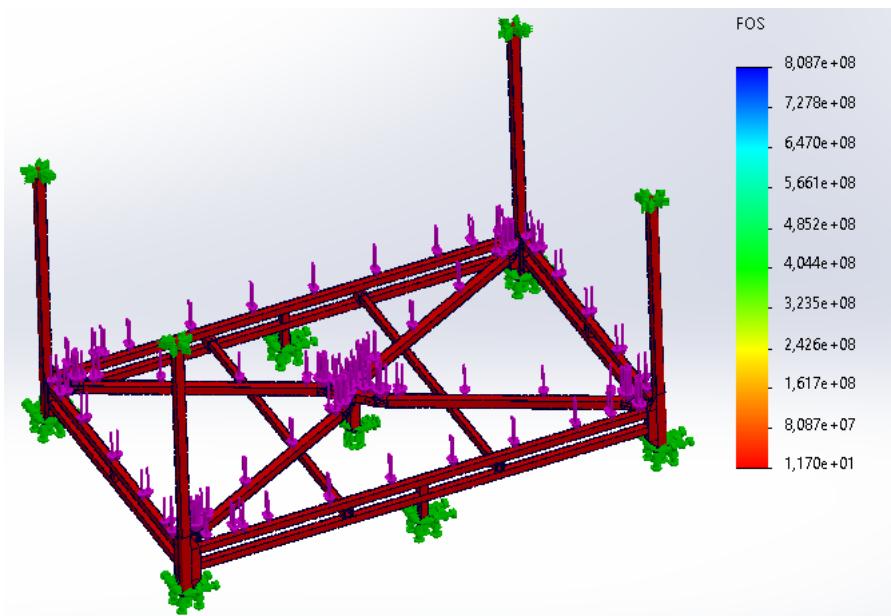


Figure 74 : résultats de facteur de sécurité de la nouvelle modèle d'emabse en cas de positionnement au sol

Le facteur de sécurité minimale dans ce cas de positionnement d'embase au sol est FOS = 12

4.1.3. Conclusion 1 :

La simulation statique du nouveau modèle d'embase repliable confirme sa sécurité et sa robustesse. Avec une contrainte maximale de 20.09 MPa, largement inférieure à la limite d'élasticité du matériau S235J2G3 de 235 MPa, un déplacement maximal de seulement 0.06692 mm et un facteur de sécurité (FOS) élevé de 12, la structure démontre une excellente résistance sous charge. Ces résultats prouvent que, malgré sa légèreté (96 kg contre 131,3 kg pour l'ancienne embase), la nouvelle conception garantit une performance structurelle supérieure tout en offrant les avantages logistiques du pliage.

4.2. Simulation de l'embase supérieure sous charge :

Dans cette simulation, l'embase supérieure est analysée sous l'effet du poids des composants qu'elle transporte, soit une charge totale de **192 kg**. Contrairement à l'embase inférieure, les seules fixations qui soutiennent l'embase supérieure sont les **montants verticaux** de l'embase située en dessous. Ces montants jouent un rôle critique en transmettant les charges directement à la structure inférieure, ce qui rend cette configuration particulièrement intéressante à tester pour évaluer la rigidité et la stabilité de la nouvelle conception.

4.2.1. Paramètre de la simulation 2

- **Fixation ou les contraintes :**

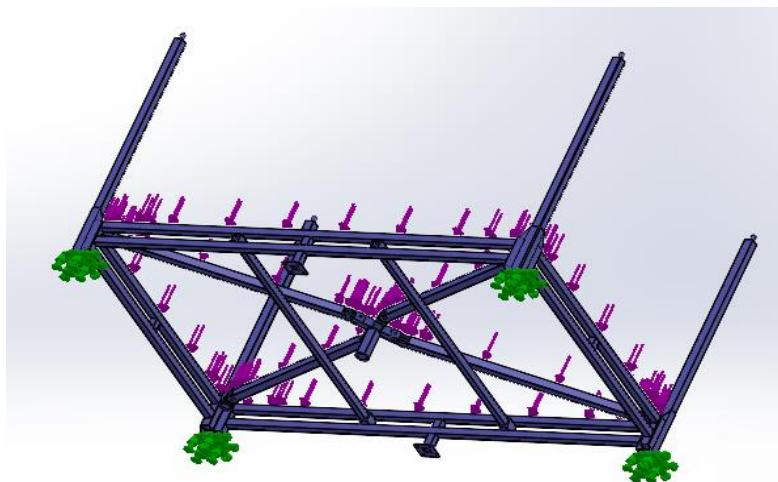


Figure 75 : fixation de la nouvelle modele d'emabse superieure

- Force de poids appliquée :

$$F = P = m \cdot g = 192 * 9,81 = 1883,53 \text{ N}$$

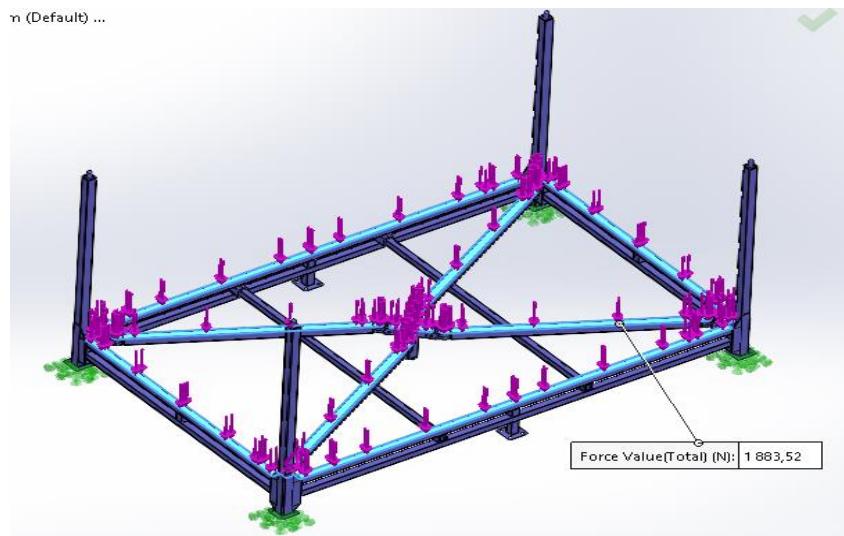


Figure 76 : la force de poids appliquée sur la nouvelle modele d'emabse superieure

4.2.2. Résultats de la simulation 2 :

- Résultats des contraints

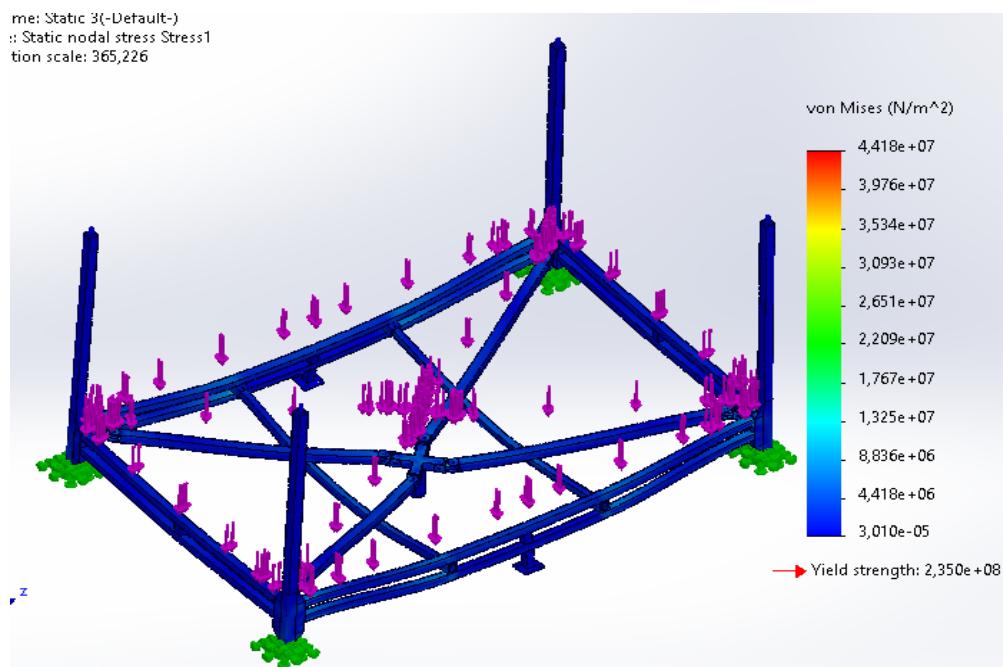


Figure 77 : résultats des contraintes par la force de poids appliquée sur la nouvelle modele d'emabse superieure

Contrainte max = 44.18 MPa

Contrainte min = 0.0000301 MPa

- **Résultats de déplacement :**

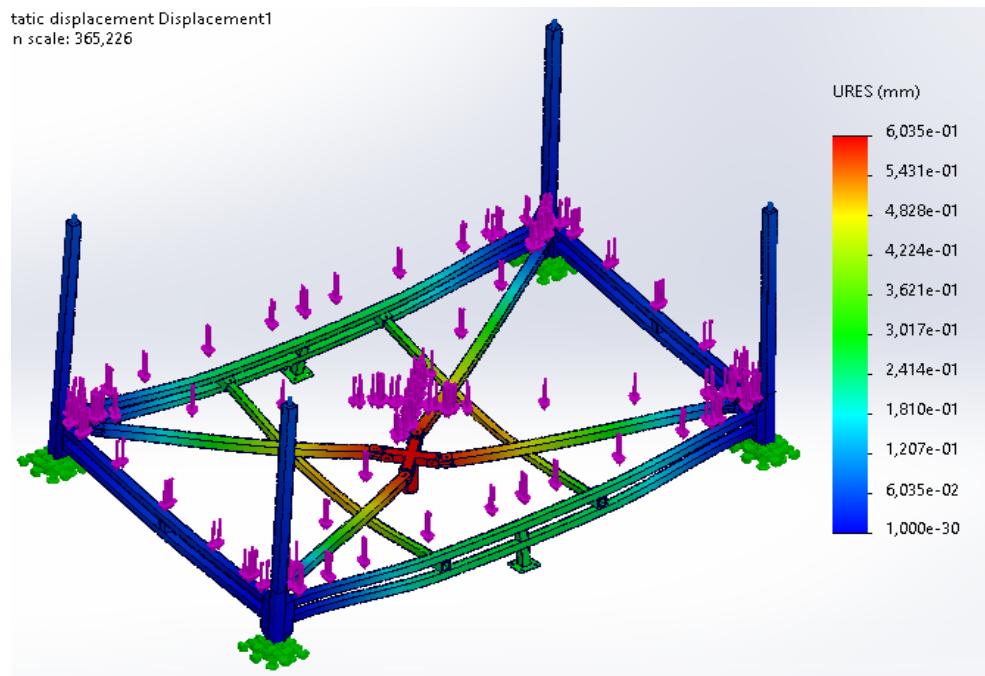


Figure 78 : résultats de déplacement par la force de poids appliquée sur la nouvelle modele d'emabse superieure

Basons sur les résultats de la simulation le déplacement maximal est 0.6035 mm

- **Résultats du facteur de sécurité :**

Le facteur de sécurité minimale dans ce cas de positionnement d'emabse au sol est FOS = 5,3

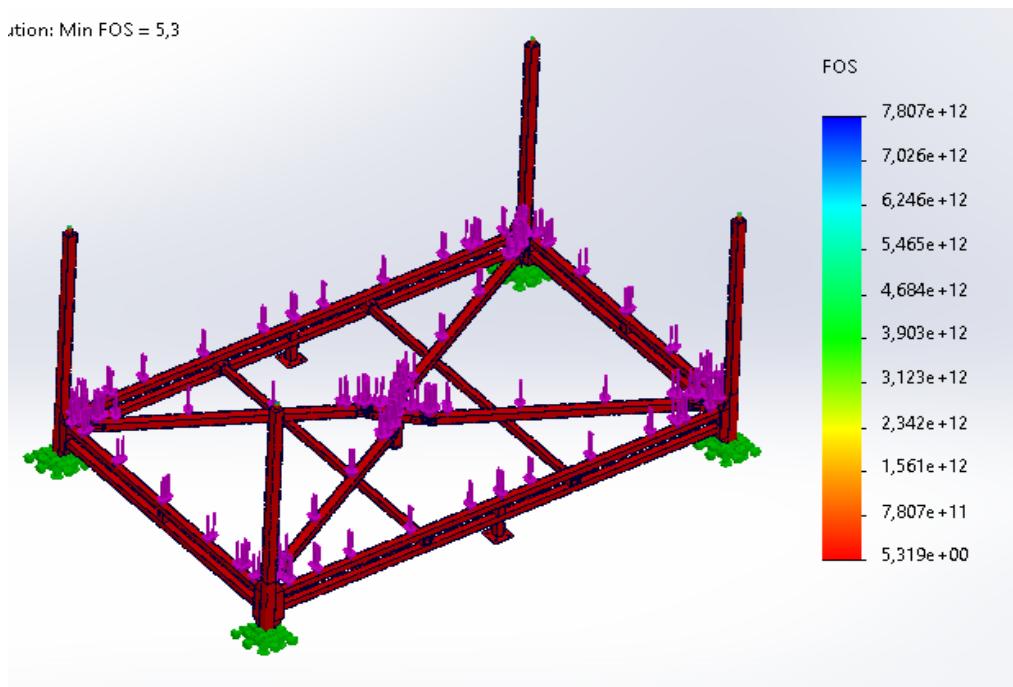


Figure 79 : résultats de facteur de sécurité de la nouvelle modèle d'embase supérieure

4.2.3. Conclusion 2 :

La simulation statique de l'embase supérieure sous charge confirme la fiabilité de la nouvelle conception dans cette configuration critique. Avec une contrainte de Von Mises maximale de 44.18 MPa, bien en dessous de la limite d'élasticité du matériau 235 MPa, la structure reste dans la zone élastique sans risque de déformation permanente. Le déplacement maximal observé est de 0.6035 mm, ce qui est faible et garantit une bonne rigidité sous les charges appliquées. De plus, un facteur de sécurité (FOS) de 5.3 indique que la conception peut supporter jusqu'à 5.3 fois les charges appliquées avant d'atteindre sa limite élastique. Ces résultats démontrent que la nouvelle embase, malgré sa légèreté et sa modularité, offre une excellente résistance et stabilité structurelle dans cette configuration.

4.3. Simulation des montants verticaux sous charge :

Les montants verticaux de l'embase inférieure seront soumis à une charge combinée représentant la masse des embases supérieures (96 kg chacune) et de leurs composants (192 kg par embase).

4.3.1. Paramètre de la simulation 3 :

- Fixation ou les contraintes :

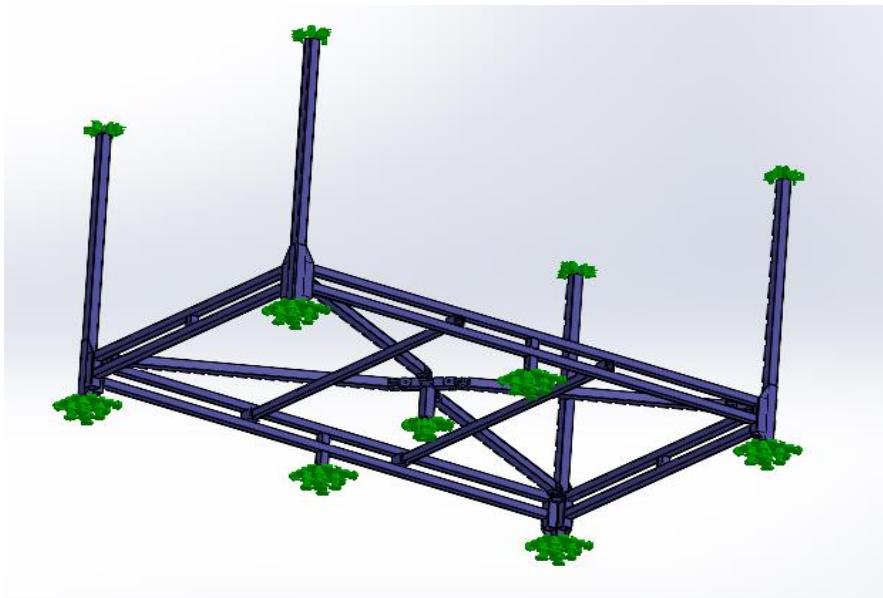


Figure 80 : fixation de l'embase

- Force de poids appliquée :

$$F = P = m_{total} \cdot g = ((192 + 95) * 2) * 9,81 = 5630.94 \text{ N}$$

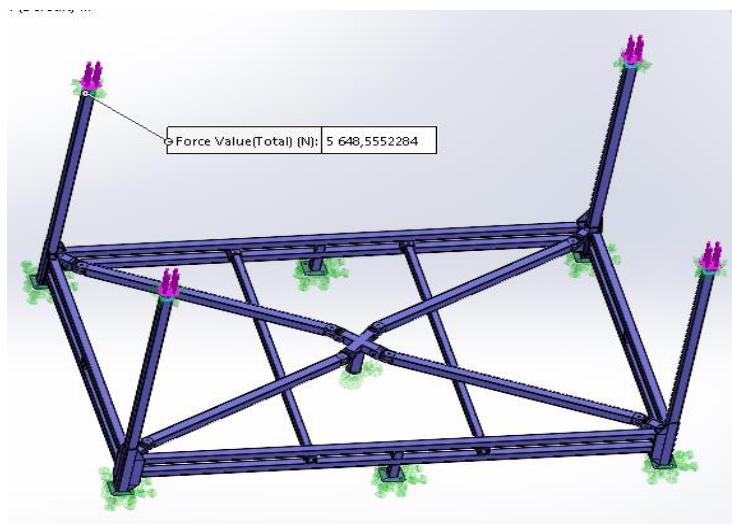


Figure 81 : la force de poids appliquée sur les montants verticaux d'emabse au sol

4.3.2. Résultats de la simulation 3 :

- Résultats des contraints

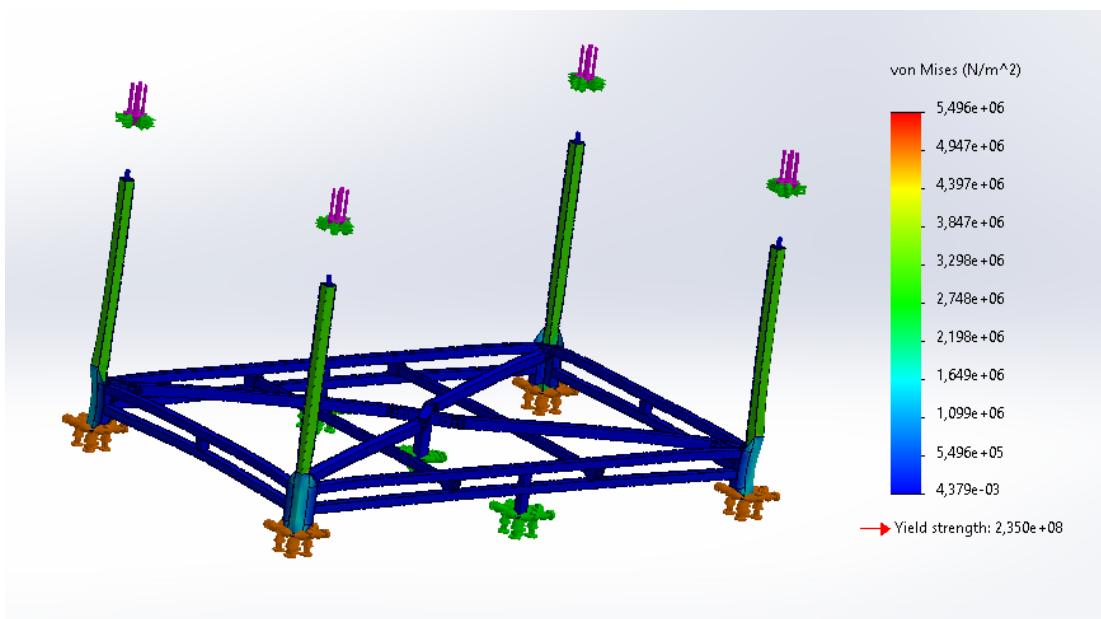


Figure 82 : résultats des contraintes par la force de poids appliquée sur les montants verticaux

Contrainte max = 5.496 MPa

Contrainte min = 0.004379 MPa

- **Résultats de déplacement :**

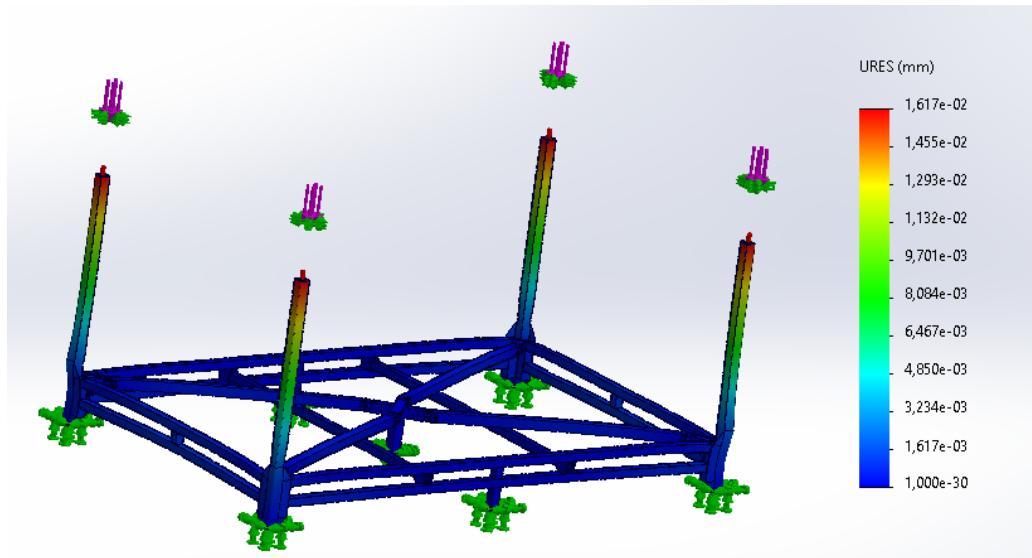


Figure 83 : résultats de déplacement par la force de poids appliquée sur les montants verticaux d'emabse au sol

Basons sur les résultats de la simulation le déplacement maximal est 0.01617 mm

- Résultats du facteur de sécurité :

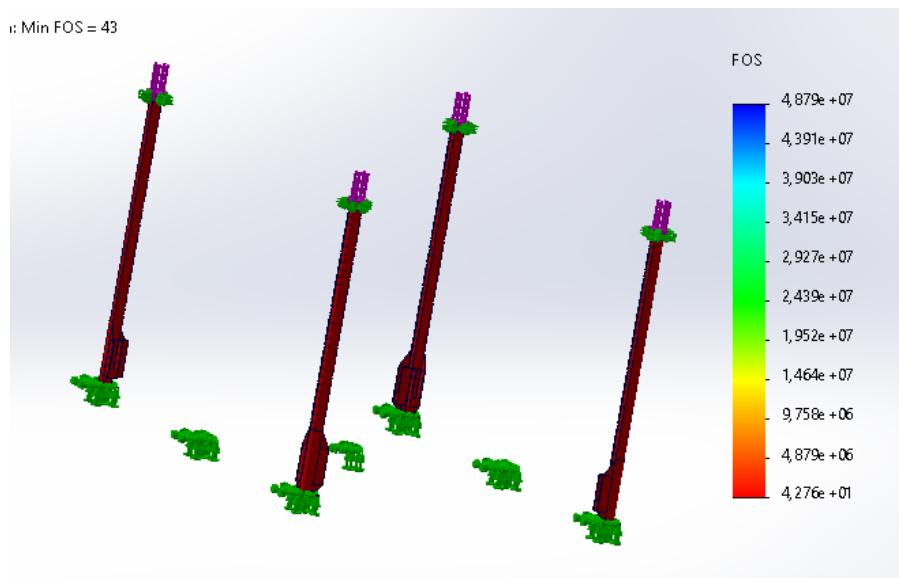


Figure 84 : résultats de facteur de sécurité des montants verticaux d'emabse

Le facteur de sécurité minimale dans ce cas de positionnement d'emabse au sol est $FOS = 43$

4.3.3. Conclusion 3 :

Les résultats de la simulation statique des montants verticaux confirment leur robustesse et leur capacité à supporter les charges appliquées dans cette configuration. Avec une contrainte de Von Mises maximale de 5.496 MPa, bien en dessous de la limite d'élasticité du matériau, les montants verticaux restent dans la zone élastique, garantissant l'absence de déformation plastique. Le déplacement maximal observé est extrêmement faible 0.01617 mm, démontrant une excellente rigidité structurelle. Enfin, un facteur de sécurité (FOS) exceptionnellement élevé de **43** confirme que les montants verticaux peuvent supporter les charges appliquées avec une marge de sécurité considérable. Ces résultats valident la fiabilité des montants verticaux dans la conception de l'embase repliable, garantissant stabilité et sécurité dans des conditions de charge réelles.

5. Comparaison de la performance entre le design standard et le nouveau design d'embase

Dans cette section intitulée "Comparaison de la performance entre le design standard et le nouveau design d'embase", nous analysons la performance des deux

designs à travers une comparaison des résultats des simulations statiques effectuées. Ces analyses sont très importantes pour comprendre la capacité de chaque design à répondre aux exigences structurelles et mécaniques lors du transport de charges.

La comparaison se concentre sur deux aspects principaux :

Résultats des simulations d'analyse statique et l'espace optimiser lorsque par la nouvelle embase

5.1. Comparaison les résultats des simulations :

Nous avons effectué trois simulations statiques, nommées :

- Simulation 1 (Simu 1) : Embase au sol sous charge.
- Simulation 2 (Simu 2) : Embase supérieure sous charge.
- Simulation 3 (Simu 3) : Montants verticaux sous charge.

5.1.1. Tableau de comparaison et résumé des résultats des simulations

Simulations	Critère	Standard design	Nouveau design
Simulation 1	Contrainte max (MPa)	30.14	20.09
	Contrainte min (MPa)	0.28	0.2906
	Déplacement max (mm)	0.239	0.06692
	Facteur de sécurité (FOS)	7	12
Simulation 2	Contrainte max (MPa)	54.64	44.18
	Contrainte min (MPa)	0.93	0.0000301
	Déplacement max (mm)	0.832	0.6035
	Facteur de sécurité (FOS)	4.3	5.3
Simulation 3	Contrainte max (MPa)	9.182	5.496
	Contrainte min (MPa)	0.00977	0.004379
	Déplacement max (mm)	0.01771	0.01617
	Facteur de sécurité (FOS)	26	43

Tableau 10 : Comparaison des résultats de toutes les simulations entre le design standard et le nouveau design d'embase

Ces simulations visent à évaluer les contraintes maximales et minimales, les déplacements maximaux, ainsi que le facteur de sécurité (FOS) de chaque design

sous des conditions spécifiques. Analyse des contraintes maximales et minimales, du déplacement maximal et du facteur de sécurité (FOS) pour chaque simulation (Simu 1, Simu 2, et Simu 3). Identification des avantages structurels ou limitations des deux designs.

5.1.2. Représentation visuelle de la comparaison par des graphiques :

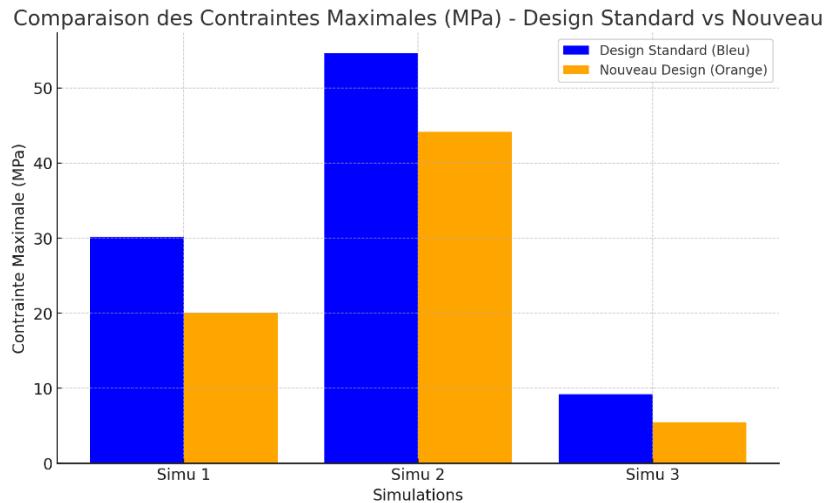


Figure 85 : graphe de comparaison des contraintes maximal par MPa

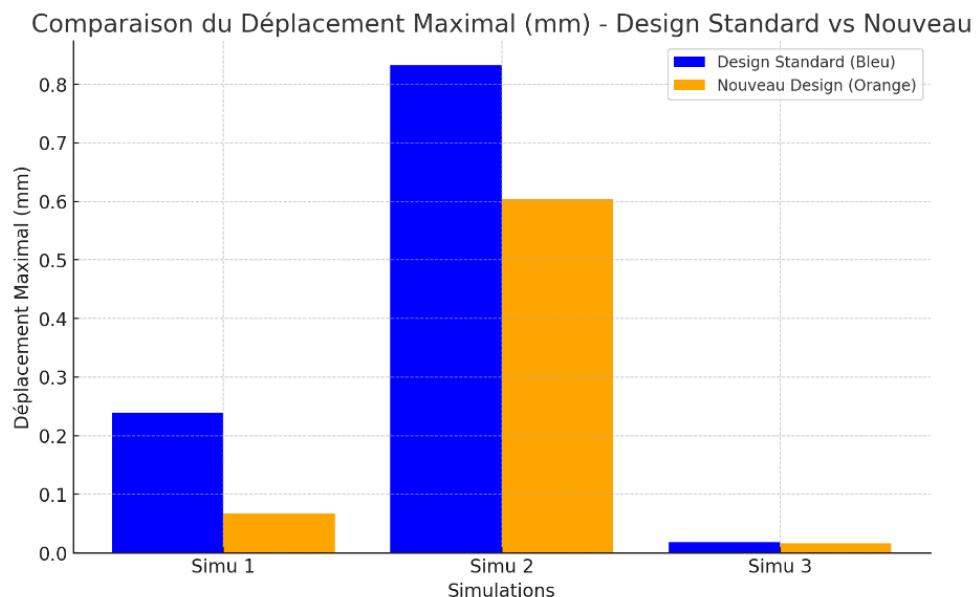


Figure 86 : comparaison des déplacements maximal par mm

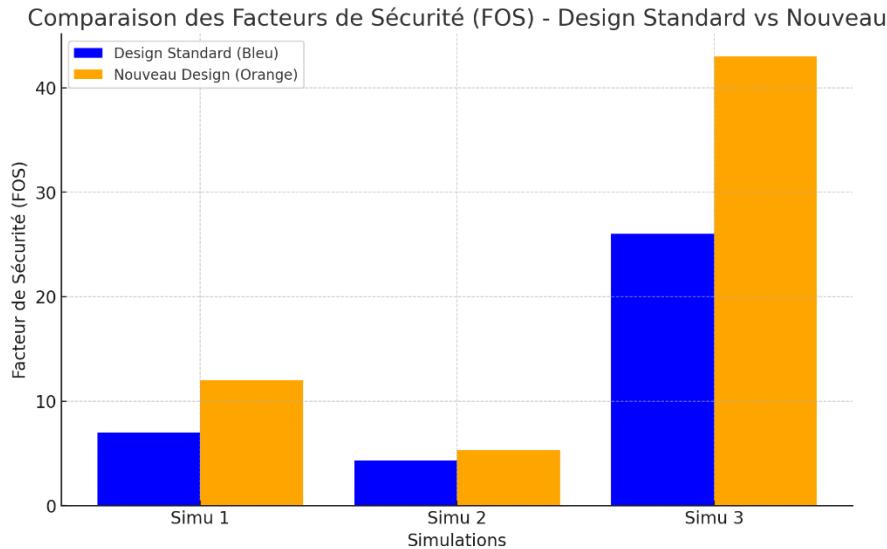


Figure 87 : graphe comparaison des résultats de facteur de sécurité FOS

Les graphiques ci-dessus illustrent la comparaison entre le design standard et le nouveau design de l'embase pour trois critères principaux : déplacement maximal, contrainte maximale et facteur de sécurité (FOS), pour chaque simulation (Simu 1, Simu 2, Simu 3).

Ils permettent d'observer :

- Déplacement maximal : Le nouveau design montre des déplacements plus faibles dans toutes les simulations, confirmant une rigidité accrue.
- Contrainte maximale : Les contraintes maximales du nouveau design sont inférieures à celles du design standard, reflétant une meilleure résistance mécanique.
- Facteur de sécurité (FOS) : Le FOS du nouveau design est nettement supérieur dans chaque simulation, garantissant une sécurité structurelle accrue.

Ces résultats soulignent l'amélioration apportée par le nouveau design en termes de performance mécanique et de sécurité, tout en maintenant ses avantages en termes d'optimisation de l'espace et de modularité.

5.2. Optimisation de l'Espace :

Dans cette section, nous analysons l'optimisation de l'espace offerte par le nouveau design pliable de l'embase. En réduisant significativement le volume occupé lors

du retour, le nouveau design présente un avantage logistique majeur, permettant de diminuer les coûts de transport et d'améliorer l'efficacité de l'entreposage.

Pour illustrer cette optimisation, nous comparons le volume occupé par une embase standard et une embase pliable dans deux cas distincts :

- En mode expédition : Les deux designs occupent le même volume, car ils sont utilisés dans leur forme complète pour transporter des composants.
- En mode retour : Le design pliable permet de réduire considérablement le volume occupé en repliant ses principales composantes.

	Dimensions ($L \times l \times H$)	Forme	Mode Expédition (m^3)	Mode Retour (m^3)
Design Standard	$2.204 \times 1.404 \times 1.206$	Forme pliable	3.73	3.73
Nouveau Design	$2.204 \times 1.404 \times 1.206$	Forme fixe	3.73	0.1843

Tableau 11 : résumé et comparaison entre les deux designs dans les deux modes de transport

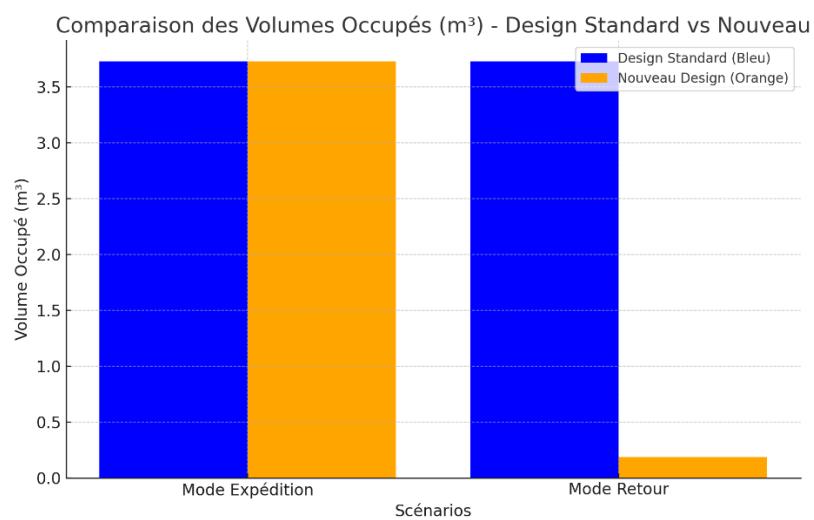


Figure 88 : Représentation visuelle de la comparaison de l'espace occupé par graph

Le graphique ci-dessus illustre la comparaison des volumes occupés (en m³) entre le design standard et le nouveau design de l'embase dans deux scénarios :

- Mode Expédition : Les deux designs occupent le même volume de 3,73 m³, car ils sont utilisés dans leur forme complète pour transporter des composants ferroviaires.
- Mode Retour : Le nouveau design pliable occupe un volume considérablement réduit de 0,1843 m³, contre 3,73 m³ pour le design standard, soulignant son efficacité logistique.

Cette réduction drastique du volume occupé lors du retour représente une optimisation majeure pour les opérations de transport et de stockage, rendant le nouveau design beaucoup plus avantageux sur le plan logistique.

6. Limites de l'Étude et Perspectives de Développement

Bien que ce projet de recherche sur la conception d'une embase ferroviaire repliable représente une avancée prometteuse pour l'optimisation logistique et économique, certaines dimensions n'ont pas été approfondies dans cette étude initiale. Une analyse complète nécessiterait d'explorer les aspects suivants :

6.1. Analyse des vibrations et des contraintes dynamiques :

Les simulations réalisées dans ce projet ont principalement pris en compte les charges statiques. Cependant, les embases utilisées dans des environnements ferroviaires sont soumises à des vibrations importantes, notamment lors des transports routiers et ferroviaires. Une étude approfondie de l'impact des vibrations sur la structure repliable, combinée à une analyse en fatigue, permettrait de garantir la durabilité et la sécurité des embases sur le long terme.

6.2. Détails de fabrication : Soudage et assemblage

Le choix des matériaux et les principes de conception mécanique ont été abordés, mais une étude détaillée des procédés de fabrication, tels que le soudage, le traitement de surface, et les méthodes d'assemblage, reste à approfondir. En particulier :

- Identifier les meilleures pratiques pour le soudage des composants en acier (S235J2G3) afin de minimiser les risques de déformation ou de fissuration.
- Évaluer les tolérances de fabrication et les ajustements nécessaires pour maintenir la qualité des assemblages.

6.3. Marges d'erreur : Conception vs Réalité :

La modélisation numérique utilisée dans ce projet est basée sur des hypothèses idéalisées qui ne reflètent pas toujours la complexité des conditions réelles. Une analyse des marges d'erreur entre les résultats théoriques des simulations et les performances réelles après fabrication (par exemple, déformation, contraintes résiduelles, ou rigidité structurelle) serait essentielle pour valider la fiabilité du design.

6.4. Étude logistique et économique approfondie :

Bien que l'idée de réduire l'espace occupé par les embases lors des retours à vide soit économiquement intéressante, une étude logistique plus détaillée est nécessaire pour évaluer :

- L'impact exact sur le coût du transport et du stockage à l'échelle industrielle.
- Les bénéfices économiques à long terme par rapport aux coûts initiaux de développement et de fabrication des embases repliables.
- Une comparaison chiffrée avec les solutions alternatives actuellement utilisées par Alstom ou d'autres acteurs industriels.

6.5. Développement d'une Application Desktop pour la Gestion des Dimensions :

Une des améliorations majeures de ce projet a été le développement d'une application desktop dédiée à la gestion des dimensions des différentes parties de l'embase. Cette application a été spécifiquement conçue pour faciliter la tâche des fabricants en leur fournissant une interface claire et intuitive afin de déterminer rapidement les dimensions de chaque pièce à partir des spécifications de longueur (L) et de largeur (l) de l'embase.

L'application permet à l'utilisateur (le fabricant) de saisir directement les dimensions globales de l'embase (longueur et largeur) requises pour la fabrication, qui sont ensuite utilisées pour calculer automatiquement les dimensions des autres pièces nécessaires à l'assemblage. Cette automatisation repose sur un système d'adressage préalable, où chaque partie de l'embase est identifiée par des dimensions fonctionnelles spécifiques liées à la longueur et à la largeur globales de l'embase.

Objectifs Principaux

A. Interface Simplifiée :

L'application a pour objectif de rendre le processus de conception plus accessible et plus rapide. L'interface utilisateur est simple et intuitive, permettant au fabricant d'entrer les dimensions

globales sans confusion. Une fois ces données saisies, l'application génère instantanément les dimensions des différentes pièces (comme les montants verticaux, les supports, etc.).

B. Gestion des Pièces Multiples :

Étant donné que la nouvelle conception de l'embase comporte de nombreuses pièces, l'application permet de gérer cette complexité en offrant une vue d'ensemble claire des différentes parties. Chaque pièce est accompagnée de son nom, de ses dimensions exactes, et de son emplacement dans l'assemblage.

C. Calcul Automatique :

Le cœur de l'application repose sur un script Python qui, une fois les dimensions de l'embase saisies, calcule automatiquement les dimensions spécifiques de chaque composant de l'embase. Cela élimine les erreurs humaines et accélère le processus de conception, assurant que les pièces correspondent exactement aux besoins du modèle de l'embase.

D. Visualisation des Dimensions :

L'application inclut une fonctionnalité qui affiche les images des différentes parties avec leurs dimensions correspondantes. Cela aide à mieux comprendre la structure de l'embase et permet aux utilisateurs de visualiser rapidement les proportions et les relations entre les différentes pièces.

E. Réduction des Erreurs :

L'application vise également à réduire les erreurs potentielles liées à la gestion manuelle des dimensions. Grâce à son interface graphique, elle permet de présenter les dimensions de manière claire, avec une correspondance directe entre les entrées (longueur et largeur de l'embase) et les résultats (dimensions des pièces). Cela permet d'éviter toute confusion liée à la multitude de pièces et de dimensions impliquées dans la fabrication.

Technologies Utilisées

L'application est construite sur un environnement de programmation Python, avec une interface graphique utilisateur (**GUI**) développée à l'aide de bibliothèques telles que **Tkinter**, facilitant l'interaction avec l'utilisateur. Le script Python utilise les principes d'adressage et les relations fonctionnelles des dimensions pour générer automatiquement les données nécessaires à la fabrication.

6.6. Perspectives :

Ces pistes d'amélioration offrent des opportunités pour transformer cette recherche en une étude exhaustive et directement applicable dans un contexte industriel. En impliquant des experts en mécanique, logistique, et économie, ainsi qu'en réalisant

des tests sur prototypes, il serait possible de valider et d'améliorer davantage ce concept. Ces développements futurs pourraient renforcer l'impact positif de ce projet sur les processus logistiques et industriels d'Alstom.