

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

Thème :
**ETUDE ET REALISATION
D'UNE PLATEFORME DE LEVAGE ELECTRIQUE**

Promoteur : Mr. ABADA Mourad

Réalisé par :

CHELBI Aymane Abdelhamid

GUESMIA EL HADI

Promotion : 2024/2025

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu notre Dieu de nous avoir donné le courage et la patience dans la réalisation de notre travail jusqu'à sa fin.

Au terme de ce modeste travail nous tenons à remercier vivement :

Nos parents pour la confiance qu'ils nous ont accordé, leurs conseils, leurs soutiens, et pour tous les efforts qu'ils ont fournis pour nous durant notre parcours.

Notre encadreur Mr ABADA Mourad pour son aide, son orientation, ses conseils et sa disponibilité.

Mr Ketfi Omar pour son aide et sa disponibilité.

Comme, nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

À ceux qui ont illuminé notre chemin et donné un sens à notre parcours,

Aujourd'hui, Nous prenons notre plume pour vous exprimer toute la profondeur de nos sentiments et la gratitude qui emplit notre cœur.

À nos professeurs, guides bienveillants qui ont su éveiller notre curiosité et nourrir nos esprits, Nous vous remercier pour ces précieuses connaissances transmises avec passion et dévouement. Votre patience et vos encouragements ont été des piliers essentiels dans notre réussite.

À nos chers camarades de classe, compagnons de galère et de joie, c'est ensemble que nous avons affronté les défis, partagé les rires et essuyé les larmes. Votre amitié et votre soutien inconditionnel resteront à jamais gravés dans notre mémoire.

À mes parents Rachid et Zohra, à mon frère Abdelmalek et mes sœurs, à mon frère et mon ami Nassim, à ma deuxième famille TAURAS, vous avez été mes anges gardiens, mes remparts face à l'adversité, mes sources inépuisables d'amour et de réconfort. Vos sacrifices et votre soutien indéfectible ont été les fondations sur lesquelles j'ai pu bâtir mon avenir.

(CHELBI Aymane Abdelhamid)

À mes parents BRAHIM et FATMA ZOHRRA, à mon frère REMZI et ma sœur, à mon frère et mon ami Riad Goual, Et tout cela grâce à ma fiancée qui sera ma future femme vous avez été mes anges gardiens, mes remparts face à l'adversité, mes sources inépuisables d'amour et de réconfort. Vos sacrifices et votre soutien indéfectible ont été les fondations sur lesquelles j'ai pu bâtir mon avenir.

(GUESMIA EL HADI)

À tous ceux qui ont croisé notre chemin, nous ont encouragé, inspiré, aidé, on vous dédie ce modeste ouvrage en tant que témoignage de notre reconnaissance et de notre admiration.

Avec toute l'émotion qui nous habite, je vous adresse nos plus sincères remerciements.

Avec un amour infini,

(CHELBI AYMANE ABDELHAMID, GUESMIA EL HADI)

Résumé

Cette étude porte sur la conception et le développement d'une plateforme élévatrice électrique adaptée à diverses applications dans les domaines de la maintenance industrielle et de la construction légère. Dans un contexte où le travail en hauteur exige des solutions efficaces, sûres et rapides, les plateformes élévatrices électriques apparaissent comme une alternative innovante aux méthodes traditionnelles.

L'objectif principal de cet article est de concevoir un système répondant aux exigences de sécurité, de robustesse et de performance tout en étant simple d'utilisation. Cette approche s'appuie sur une étude bibliographique des articles et publications professionnelles antérieurs, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des principes mécaniques et électriques du levage.

La solution proposée repose sur un mécanisme électrique permettant de régler la hauteur de la plateforme verticalement à l'aide de câbles. Les tests ont démontré que l'appareil peut soulever des objets lourds de manière stable et offre une bonne résistance aux contraintes mécaniques.

La plateforme est adaptée à divers domaines, tels que la maintenance industrielle légère et les petits chantiers, contribuant ainsi à améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations en hauteur.

Mots clés :

Plateforme de levage, système électrique, motorisation, construction légère, maintenance industrielle, levage par câbles

Abstract

This study focuses on the design and development of an electric lifting platform suitable for various applications in the fields of industrial maintenance and light construction. In a context where working at height requires efficient, safe, and fast solutions, electric lifting platforms emerge as an innovative alternative to traditional methods.

The main objective of this work is to design a system that meets safety, robustness, and performance requirements while remaining easy to use. This approach is based on a literature review of previous professional articles and publications, thus contributing to a better understanding of the mechanical and electrical principles of lifting.

The proposed solution is based on an electric mechanism that allows vertical height adjustment of the platform using cables. Tests have shown that the device can lift heavy objects in a stable manner and offers good resistance to mechanical stresses.

The platform is suitable for various fields, such as light industrial maintenance and small construction sites, thereby helping to improve safety and efficiency in elevated operations.

Keywords:

Lifting platform, Electric system, motorization, light construction, industrial maintenance, cable lifting.

المخلص

تتناول هذه الدراسة تصميم وتطوير منصة رفع كهربائية مخصصة لتطبيقات متعددة في مجالات الصيانة الصناعية والبناء الخفيف. في ظل الحاجة إلى حلول فعالة وآمنة وسريعة للعمل في الأماكن المرتفعة، تظهر المنصات الرافعة الكهربائية كبديل مبتكر عن الطرق التقليدية.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تصميم نظام يستوفي متطلبات الأمان والمتانة والأداء، مع الحفاظ على سهولة الاستخدام. وتعتمد هذه المقاربة على دراسة نظرية لمقالات و منشورات مهنية سابقة، مما يساهم في فهم أفضل للمبادئ الميكانيكية والكهربائية لعملية الرفع.

تعتمد الحلول المقترحة على آلية كهربائية تتيح ضبط ارتفاع المنصة عمودياً باستخدام كابلات. وقد أثبتت الاختبارات أن الجهاز قادر على رفع الأجسام الثقيلة بشكل مستقر، ويتميز بقدرته الجيدة على مقاومة الضغوط الميكانيكية.

المنصة مناسبة لمجالات متعددة، مثل الصيانة الصناعية الخفيفة والمواقع الإنشائية الصغيرة، مما يساهم في تحسين السلامة وكفاءة العمليات في الأماكن المرتفعة.

الكلمات المفتاحية:

منصة رفع، نظام كهربائي، تشغيل آلي، بناء خفيف، صيانة صناعية، رفع بالكابلات

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Différents Types D'échafaudages.....	6
I.1. Différents Types D'échafaudages	7
I.1.1 Echafaudage simple	7
I.1.2 ÉCHAFAUDAGES ÉLECTRIQUE.....	11
I.1.2.1 LES TYPES D'ÉCHAFAUDAGES ÉLECTRIQUE	12
I.2 MON TYPE D'ÉCHAFAUDAGES ÉLECTRIQUE	14
I.2.1 Structure et matériaux.....	14
I.2.2 Système de levage électrique.....	14
I.2.3 Plateforme de travail.....	15
I.2.4 Sécurité intégrée	15
I.2.5 Avantages de l'échafaudage électrique	16
I.3 Conclusion	16
Chapitre II : Étude le comportement de modèle d'échafaudage..	18
II.1 Introduction	19
II.2 échafaudage à un étage	19
II.2.1 introduction.....	19
II.2.2 Pour le système: échafaudage de type 'cadre tubulaire'	24
II.2.3 Élément de treillis.....	25
II.3 Conclusion.....	29
Chapitre III : Eléments structurels de notre propre type et une	
étude appliquée	30
III.1 Introduction.....	31
III.2 Choix le modèle de tube	32
III.3 Paramètre de tube.....	33
III.3.1 Choix le type de soudage	34
III.3.2 Procédé du soudage à l'arc électrique avec une électrode enrobée....	34
III.3.2.1 Principe du procédés	34
III.3.2.2 Avantages et inconvénient	36

III.3.2.3	Domaine d'application.....	36
III.3.3	Type de baguettes électrode.....	37
III.4	Définition de la tôle choisie.....	38
III.5	Choix de moteur.....	39
III.5.1	Paramètre de moteur.....	40
III.6	Choix le modèle de câble.....	40
III.6.1	Paramètre de câble.....	40
III.6.2	Étapes de choix du diamètre.....	41
III.7	Choix de poulie.....	41
III.7.1	Paramètre de poulie.....	42
III.8	Choix le modèle de Roue.....	43
III.8.1	caractéristiques de la roue.....	44
III.8.2	système de freinage.....	44
III.8.3	utilisation.....	44
III.9	Application.....	45
III.9.1	Données générales du projet.....	45
III.9.2	Propriété géométrique de la section 50 x 30 1.5 mm.....	46
III.9.3	Moments d'inertie (M^4).....	47
III.9.4	Flambement autour de l'axe faible (I_y).....	48
III.9.5	La charge appliquée réelle par montant.....	48
III.9.6	Vérification sécurité flambement.....	48
III.9.7	Charge critique ajustée avec vibration.....	49
III.9.8	Taux d'utilisation corrigé (avec vibration).....	49
III.9.8.1	Application numérique.....	49
III.9.9	Contrainte de compression simple (/ tube rectangulaire).....	50
III.9.10	La force appliquée sur la surface de levage.....	51
III.9.10.1	Charge totale.....	51
III.9.10.2	Calcule de la pression appliquée sur la surface.....	51
III.9.11	Moments.....	53

III.9.11.1 Application	54
III.9.12 Résultat final – Réactions verticales avec moments repris	54
III.9.12.1 Vérification	55
III.10 Dessin de la structure	56
III.10.1 Modèle 3D de la structure	56
III.10.2 Modèle 3D de chaque étage	57
III.10.3 Dessin technique (Châssis + 1ère 2tage + 2ème étage + la table	62
III.11 L'étude économique de notre projet	66
Conclusion générale	67
III.10.4 Résultats de simulation (Simulation sur SolidWorks)	77

Liste des figures

Figure 1 : La construction des pyramides égyptiennes	1
Figure 2 : la construction de temples et d'aqueducs	2
Figure 3 : construction médiévale	2
Figure 4 : l'essor des échafaudages métalliques durant la révolution industrielle.	3
Figure 5 : échafaudage en acier tubulaire	3
Figure 6 : les échafaudages roulants	4
Figure 7 : l'échafaudage modulaire	4
I-Figure 8 : L'échafaudage roulant	7
I-Figure 9 : l'échafaudage pliant	8
I -Figure 10 : l'échafaudage pour escalier	9
I -Figure 11 : L'échafaudage classique	10
I -Figure 12 : Echafaudage suspendu	10
I -Figure 13 : Échafaudage double	11
I -Figure 14 : Échafaudage électrique et traditionnelle	12
I -Figure 15 : Plateformes élévatrices à ciseaux	12
I -Figure 16 : Nacelles élévatrices mobile	13
I-Figure 17 : Echafaudage suspendu électrique	13
II-Figure 18 : Système à un degré de liberté	20
II-Figure 19 : : Diagramme du corps Libre du système	21
II-Figure 20 : échafaudage de type 'cadre tubulaire '	21
II-Figure 21 : fréquences naturelles D'un élément de treillis	22
II-Figure 22 : Coté treillis d'un échafaudage	25
II-Figure 23 : un élément de treillis	26
II-Figure 24 : Elément de poutre	28
III -Figure 25 : tube en acier rectangulaire	32
III -Figure 26 : les zones de la soudure	33

III -Figure 27 : Installation pour soudage à l'électrode enrobé	35
III -Figure 28 : les électrodes enrobées	37
III -Figure 29 : une tôle d'acier en 3mm	38
III -Figure 30 : moteur électrique 400kg	39
III -Figure 31 : câble galvanisé	40
III -Figure 32 : une poulie	42
III -Figure 33 : Roue pivotante avec frein	45
III -Figure 34 : l'aire de la section	46
III-Figure 35 : le repère utilisé	47
III-Figure 36 : Schéma d'explication	52
III-Figure 37 : Modèle 3D de la structure	55
III-Figure 38 : modèle 3D de châssis	56
III-Figure 39 : modèle 3D de 1er étage	57
III-Figure 40 : modèle 3D de 2eme étage	58
III-Figure 41 : modèle 3D de la table	59

Liste des tableaux

III-Tableau 01 : dimensions de tube	32
III -Tableau 02 : paramètres de tube	33
III -Tableau 03 : Intensités moyennes et poids	37
III -Tableau 04 : Caractéristiques mécaniques de la tôle	38
III -Tableau 05 : Caractéristiques thermiques de la tôle	39
III -Tableau 06 : Paramètre de moteur	40
III -Tableau 07 : Choix du diamètre du câble	41
III -Tableau 08 : caractéristiques de la roue	44
III -Tableau 09 : système de freinage	44
III -Tableau 10 : Données générales du projet	45
III -Tableau 11 : Vérification sécurité flambement.....	49
III -Tableau 12 : Type de sollicitation avec γ dyn recommandé	49
III -Tableau 13 : Elément avec Valeur calculée	51
III -Tableau 14 : Signification des Réactions	52
III -Tableau 15 : Résultat final – Réactions verticales avec moments repris	54
III -Tableau 16 : cout de revient	66

Liste des symboles et des abréviations

II-

- M : masse supportée par l'échafaudage (kg)
- K : la rigidité latérale de l'échafaudage (N/m)
- W : fréquence naturelle (Hz)
- T : énergie cinétique (J)
- U : énergie de déformation $\frac{1}{2} kx^2$ (J)
- V : énergie potentielle de gravite : $-MgY$ (J)
- Y : déplacement vertical de la masse M (m)
- We : travail effectuée par les forces externes (J)
- y : déplacement latéral du système (m)

III-

- D poulie : diamètre minimale de la poulie (mm)
- M : moment de flexion transmis par la poulie (N/m)
- T : Couple transmis à l'axe (torsion) (N/m)
- r : Rayon (m)
- τ : contrainte de torsion (MPa)
- J : Moment polaire d'inertie (MPa)
- FS : Facteur de sécurité
- r : Rayon (mm)
- da : diamètre d'un arbre plein (mm)
- Re : module de young (MPa)
- B ext : largeur extérieure (mm)
- H ext : hauteur extérieure (mm)
- B int : largeur intérieure (mm)
- H int : hauteur intérieure (mm)
- e : épaisseur (mm)

F appliquée : la charge appliquée (N)

F_{cr} : Charge critique (N)

Kl : la rigidité à chaque étage (N/m)

A : l'aire de la section (mm^2)

δ^T : Contrainte de compression simple (MPa)

P : la pression (N/m^2)

R : Force verticale dans le poteau (N)

M : Moment (N.m)

Introduction générale

Introduction générale

1-L'échafaudage

L'échafaudage est un équipement de travail constitué d'éléments installés temporairement et servant à créer des postes de travail en hauteur et à permettre l'accès à ces postes de travail et la livraison des produits et matériaux nécessaires à la réalisation des travaux.

2-L'historique d'échafaudages :

a-Égyptiens : les premières traces d'échafaudages remontent à l'Égypte ancienne. De simples plates-formes, généralement en bois, étaient utilisées pour construire des pyramides.



Figure 1 : La construction des pyramides égyptiennes

b-Grecs et Romains : Les Grecs et les Romains ont perfectionné ces structures et les ont utilisées pour construire des temples et des aqueducs. À l'époque, l'échafaudage était essentiellement une plate-forme en bois soutenue par des colonnes.



Figure 2 : la construction de temples et d'aqueducs

***Moyen Âge** : Au Moyen Âge, les échafaudages étaient utilisés pour construire des cathédrales et des châteaux. Les matériaux sont encore principalement le bois et la corde.

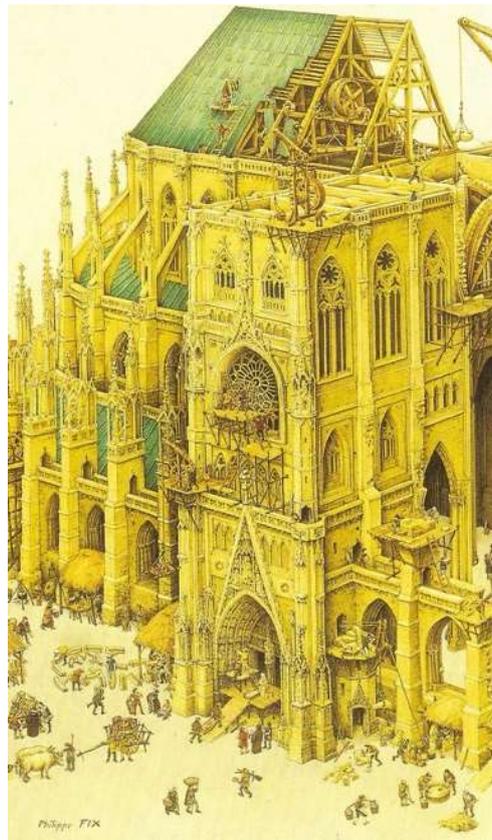


Figure 3 : construction médiévale

L'ère industrielle : l'arrivée des métaux

* **19ème siècle** : Avec la révolution industrielle, le métal, notamment l'acier, remplace progressivement le bois. L'échafaudage devient plus solide et plus durable.

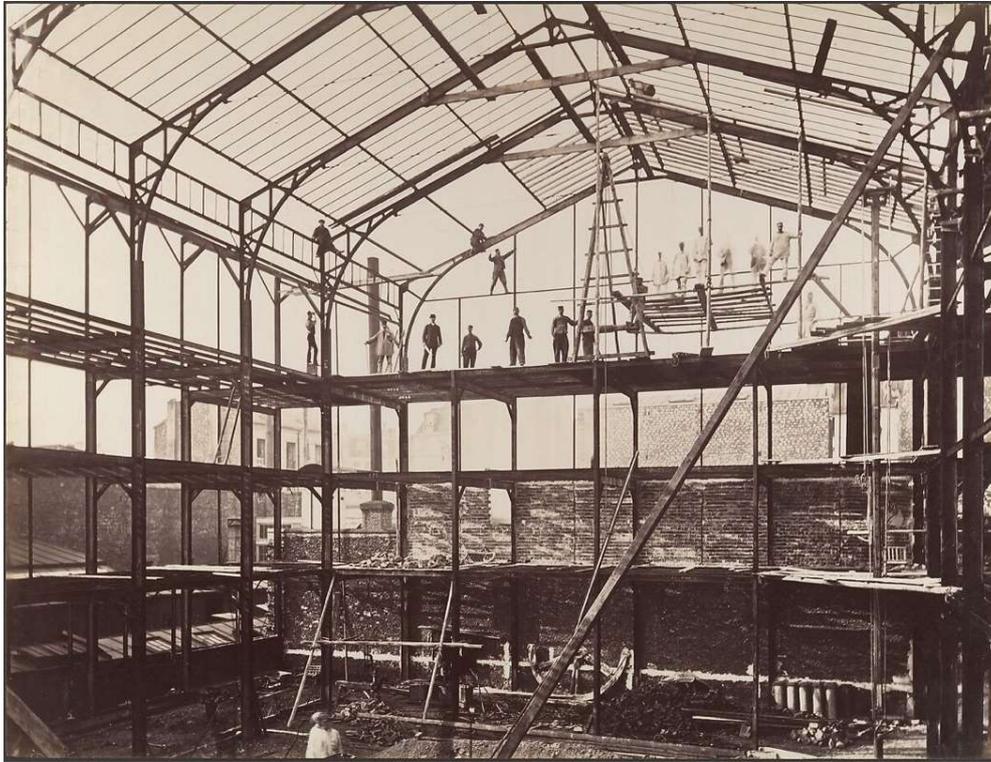


Figure 4 : l'essor des échafaudages métalliques durant la révolution industrielle

* **Début du 20e siècle** : les échafaudages en acier tubulaire ont été largement adoptés. Ils sont plus faciles à monter et à démonter.

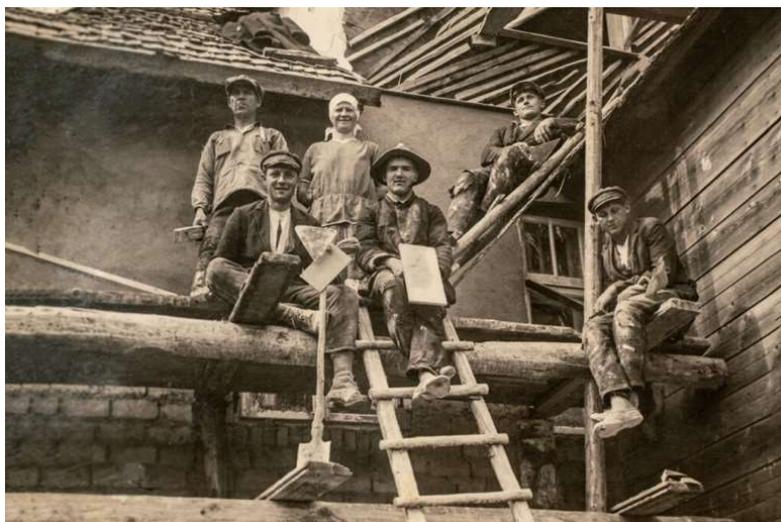


Figure 5 : échafaudage en acier tubulaire

* **Milieu du 20ème siècle** : Les échafaudages roulants apparaissent, offrant une plus grande mobilité sur les chantiers.



Figure 6 : les échafaudages roulants

* **Fin 20ème siècle** : Développement de systèmes d'échafaudages modulaires permettant une grande souplesse d'utilisation.



Figure 7 : l'échafaudage modulaire

-Echafaudage électrique : l'avenir de la construction

***21e siècle :** les échafaudages électriques sont le dernier ajout à ce développement. Ils sont équipés de moteurs électriques qui facilitent le levage et le déplacement de la plateforme. Ils offrent aux travailleurs une plus grande sécurité et une meilleure ergonomie.

Chapitre I
Différents Types D'échafaudages

I.1. Différents Types D'échafaudages

I.1.1 Echafaudage simple

a- Les échafaudages mobile

1- Échafaudage roulant

L'échafaudage roulant est une structure temporaire conçue pour faciliter l'accès aux zones surélevées lors de travaux de construction, de rénovation ou d'entretien. Grâce à ses roulettes, il peut être facilement déplacé d'un endroit à un autre sur le chantier.

Les échafaudages roulants sont principalement constitués des éléments suivants :

- D'un ou des plateaux (*constituant le plan de travail*),
- Des garde-corps,
- Des échelles d'accès au(x) plateau(x),
- De contreventements
- Des stabilisateurs (*pour éviter que l'échafaudage ne se mobilise*),
- De roues pour déplacer l'échafaudage.

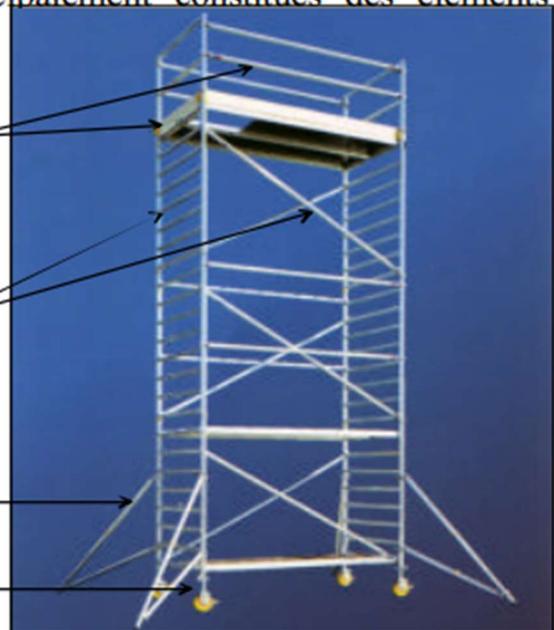


Figure 8 : échafaudage roulant

2- Échafaudage pliant

C'est l'un des modèles les plus populaires du fabricant. Il a une bonne capacité de stockage et est très pratique. Cependant, il doit être utilisé avec beaucoup de prudence et uniquement sur de courtes périodes.



Figure 9 : l'échafaudage pliant

3- Échafaudage pour escalier

Le modèle est conçu comme un escalier, c'est-à-dire que sa forme monte ou descend en suivant la forme des marches. Donc, logiquement, cela permet de travailler dans les escaliers. Ce type d'échafaudage est idéal pour les travaux de rénovation des murs au-dessus des marches, car travailler dans les escaliers comporte des risques de déséquilibre et de chutes.



Figure 10 : l'échafaudage pour escalier

b- Échafaudage fixe

Les échafaudages fixes sont principalement en trois types : classique, suspendu et double.

1- L 'échafaudage classique

également appelé échafaudage fixe, est un modèle classique dans le secteur de la construction. On le retrouve le plus souvent dans la construction extérieure. Il est fabriqué sur mesure et peut atteindre des dizaines de mètres. Les échafaudages fixes disposent d'une base sécurisée, permettant aux travailleurs de travailler pendant des semaines sans risque.



Figure 11 : L'échafaudage classique

2- Echafaudage suspendu

Comme son nom l'indique, c'est un modèle particulier. En effet, les échafaudages suspendus sont maintenus en place par des attaches afin qu'ils ne reposent pas au sol. Sa réalisation nécessite des connaissances spécifiques et n'est utilisée que dans quelques ouvrages.

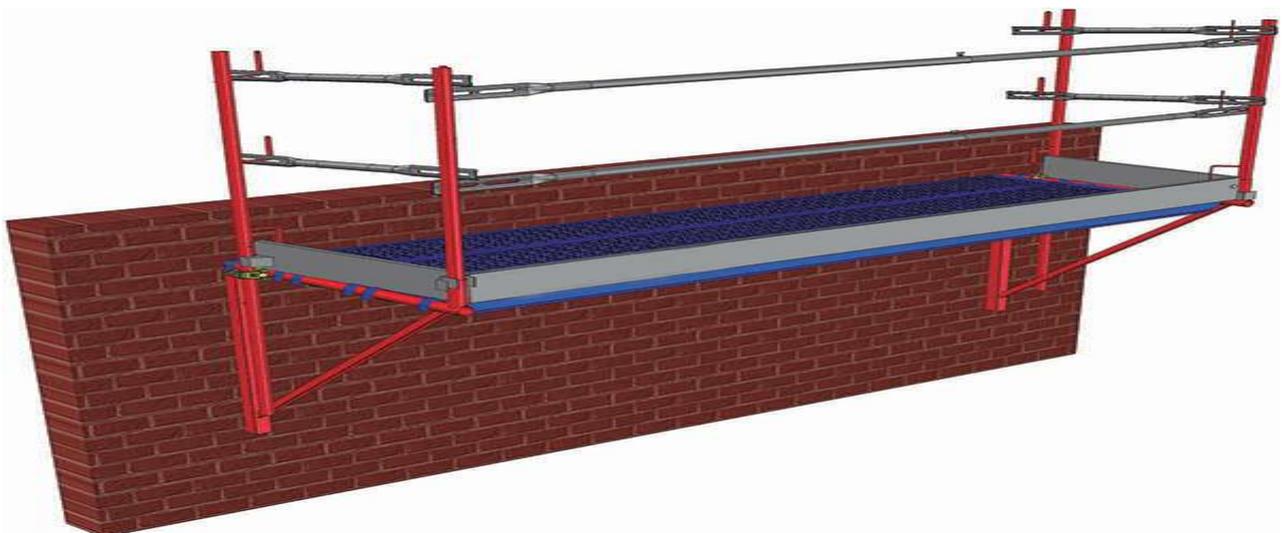


Figure 12 : Echafaudage suspendu

3- Échafaudage double

Ce modèle est plus durable et plus robuste que les échafaudages traditionnels. Il comporte deux rangées de montants, séparées par des registres. Cette dernière lui apporte un meilleur soutien. La première rangée de colonnes de ce modèle est fixée près du mur (20 à 30 cm), tandis que la deuxième rangée de colonnes est placée un peu plus loin, environ 1,5 mètre.



Figure 13 : Échafaudage double

I.1.2 ÉCHAFAUDAGES ÉLECTRIQUE

L'échafaudage électrique est un équipement de levage idéal pour la construction de bâtiments ou la manutention de matériaux. Principalement utilisé dans la construction, les opérations spéciales, la décoration et le nettoyage intérieurs et extérieurs, etc. Les élévateurs d'échafaudages électriques ont les caractéristiques d'un mouvement flexible, d'un démontage pratique et d'une large gamme d'applications. Grâce à la fonction de contrôle à distance, il peut éviter aux travailleurs d'aller et venir du travail pendant le processus de construction, réduire l'effort physique et réduire les risques. L'efficacité d'un échafaudage électrique est équivalente à celle de 10 échafaudages manuels ordinaires.



Figure 14 : Échafaudage électrique et traditionnelle

I.1.2.1 LES TYPES D'ÉCHAFAUDAGES ÉLECTRIQUE

1. Plateformes élévatrices à ciseaux

Une nacelle à ciseaux mobile est une machine qui élève des personnes et des équipements à une hauteur de travail spécifique. Son nom vient de sa structure : la plateforme est soutenue par des bras articulés qui s'ouvrent et se ferment comme les lames d'une paire de ciseaux, permettant une montée et une descente verticales.



Figure 15 : Plateformes élévatrices à ciseaux

2. Nacelles élévatrices mobile

Une nacelle mobile électrique est une nacelle élévatrice qui se déplace sur roues et possède un bras articulé qui lui permet d'atteindre des hauteurs considérables. Il est alimenté par une batterie électrique.



Figure 16 : Nacelles élévatrices mobile

3. Echafaudage suspendu

L'échafaudage suspendu électrique est une plateforme de travail suspendue à un point fixe à l'aide de câbles et déplacée verticalement à l'aide d'un système de treuil électrique. Il permet d'accéder aux zones difficiles d'accès et d'effectuer des travaux en toute sécurité.



Figure 17 : Echafaudage suspendu électrique

I.1.3 MON TYPE D'ÉCHAFAUDAGES ÉLECTRIQUE :

Plateforme de levage électrique

L'échafaudage motorisé est une structure temporaire conçue pour fournir une plate-forme de travail aérienne. La différence avec l'échafaudage traditionnel est que l'échafaudage motorisé est capable d'ajuster la hauteur de la plate-forme de travail verticalement à l'aide d'un système motorisé. Ils offrent une solution plus efficace, plus sûre et souvent plus rapide pour une large gamme de travaux aériens dans la construction, la maintenance, l'industrie et d'autres domaines. Voici une description détaillée et précise de ses caractéristiques générales :

I.1.3.1 Structure et matériaux

Matériaux robustes

Les échafaudages électriques sont généralement fabriqués en acier ou en aluminium à haute résistance et sont conçus pour supporter de lourdes charges, notamment le poids des travailleurs, des outils et des matériaux. L'acier présente la plus grande résistance lorsqu'il est soumis à de lourdes charges, tandis que l'aluminium est préféré pour sa légèreté et sa résistance à la corrosion.

Construction modulaire

Elles peuvent être modulaires, permettant d'assembler et de configurer différentes hauteurs et tailles de plates-formes en fonction des besoins spécifiques du projet. Cette modularité facilite également le transport et le stockage.

I.1.3.2 Système de levage électrique

Moteur et mécanisme

Le cœur de l'échafaudage électrique est son système de levage électrique. Il se compose d'un ou plusieurs moteurs électriques (généralement alimentés par un secteur), d'un câble en acier à haute résistance .

Poulies et guides

Un système sophistiqué de poulies et de guides assure un mouvement vertical fluide et stable de la plate-forme. Des capteurs de position et des systèmes de sécurité sont intégrés pour contrôler la hauteur et éviter les surcharges ou les mouvements brusques.

Commandes

L'opérateur contrôle le mouvement de la plateforme à partir d'un panneau de commande, généralement situé sur la plateforme elle-même, ou parfois au sol pour un contrôle à distance. Les commandes comprennent généralement des boutons pour monter, abaisser la plate-forme.

I.1.3.3 Plateforme de travail

Surface antidérapante

La plate-forme est conçue avec une surface antidérapante pour assurer la sécurité des travailleurs. Il peut être équipé d'une base pour éviter la chute des outils et des matériaux.

Tailles variables

La taille de la plate-forme peut varier selon le modèle et l'application, offrant suffisamment d'espace pour un ou plusieurs travailleurs et leur équipement. Parfois, des extensions peuvent être ajoutées pour augmenter la surface de travail.

Garde-corps de sécurité

Un garde-corps robuste et conforme aux normes de sécurité entoure la plate-forme pour éviter les chutes. Ces garde-corps peuvent être fixes ou amovibles pour faciliter le passage.

I.1.3.4 Sécurité intégrée

Limiteurs de charge

Ils empêchent de dépasser la capacité de charge maximale de l'échafaudage, assurant ainsi la sécurité de la structure et des opérateurs.

Arrêt d'urgence

Des boutons d'arrêt d'urgence sont situés à des endroits stratégiques (sur la plateforme et sur la base) pour arrêter immédiatement le mouvement en cas de problème.

Systemes de prévention des chutes

Intégrez des dispositifs tels que des freins de sécurité automatiques ou des systèmes d'arrêt de rupture de câble pour éviter que la plate-forme ne tombe de manière incontrôlée.

Capteurs de position et de niveau

Ces capteurs garantissent que la plate-forme est stable et de niveau lors des déplacements et à l'arrêt.

Protection contre les surcharges et les courts-circuits : Le système électrique est protégé contre les surcharges et les courts-circuits, garantissant un fonctionnement sûr Mobilité (pour certains types)

Roues et freins

Certains échafaudages électriques sont équipés de roues pivotantes avec système de freinage pour faciliter leur déplacement sur le chantier. Utilisez des stabilisateurs ou des pieds réglables pour assurer la stabilité pendant l'utilisation.

Facile à transporter

les modèles pliables ou modulaires sont faciles à transporter et à ranger.

I.1.3.4 Avantages de l'échafaudage électrique

Sécurité améliorée

le système de sécurité intégré réduit considérablement le risque d'accident par rapport aux échafaudages conventionnels.

Efficace et gain de temps

Le réglage rapide et facile de la hauteur permet aux travailleurs de se positionner exactement là où ils doivent être, réduisant ainsi la charge de travail et augmentant la productivité.

Ergonomie

Pas besoin de monter et descendre des échelles ou des structures fixes, ce qui réduit la fatigue des travailleurs.

Polyvalence

Convient à une large gamme d'applications et de hauteurs de travail.

Facilité d'utilisation

Les commandes sont généralement intuitives et faciles à maîtriser.

En conclusion, les échafaudages électriques représentent une évolution significative dans le domaine des équipements de travail aérien. Sa conception robuste, son système de levage motorisé, ses fonctions de sécurité avancées et sa polyvalence en font un outil essentiel pour de nombreux projets, améliorant l'efficacité et la sécurité des travaux aériens.

Chapitre II

Étude le comportement de modèle d'échafaudage

II.1 Introduction :

Ce chapitre examine quelques modèles simples d'échafaudages à un ou plusieurs étages.

Pour les petites actions, comportement d'échafaudage

Il peut être considéré comme linéaire et le changement d'énergie potentielle de la charge gravitationnelle peut être ignoré. Par contre, lorsque le déplacement est important, des effets non linéaires se produiront.

Ceci doit être pris en compte lors de la formulation des équations du mouvement.

Dans la première partie de ce chapitre nous étudierons le comportement statique et dynamique d'un modèle d'échafaudage à un étage et nous verrons l'impact des effets non linéaires sur les fréquences propres.

Systematique.

Dans la deuxième partie nous étudierons le comportement dynamique de certains modèles d'échafaudages multicouches nous utiliserons des méthodes d'approximation pour prendre en compte les effets non linéaires ;

Rigidité structurelle.

II.2 échafaudage à un étage :

II.2.1 introduction :

L'échafaudage est une structure simple à deux côtés :

Côté cadre et côté treillis.

Leurs modèles structurels seront donc

Il se compose d'un cadre parfait et d'un treillis parfait.

Pour un échafaudage monocouche, le mouvement latéral peut être représenté par le mouvement latéral d'un système de degrés de liberté, comme le montre la figure 18.

La masse M représente la masse du support d'échafaudage, et la raideur K du ressort représente la raideur latérale de l'échafaudage, qui est assurée par les supports côté treillis et le cadre rigide côté cadre.

Il y a deux comportements : statique et dynamique

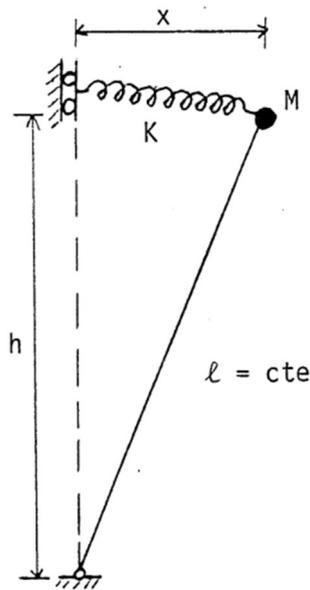


Figure 18 : Système à un degré de liberté

a-Comportement statique :

La figure 19 représente le diagramme du corps libre du système

De la figure 18 ; l'équilibre des moments nous donne :

$$\sum M_o = (K x) h - (M g) x = 0 \quad (1)$$

$$X (K h - M g) = 0$$

$$K h = M g$$

M : masse supportée par l'échafaudage

K : la rigidité latérale de l'échafaudage

Cette équation représente la condition de Le stabilité statique

Qui se produit lorsque

$$M.g / K.h = 1$$

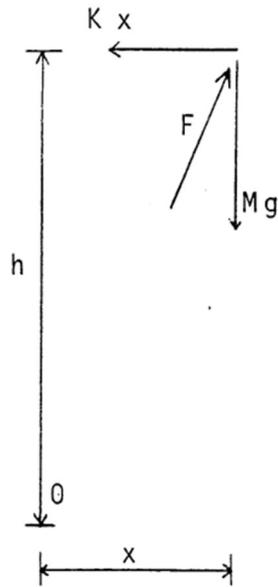


Figure 19 : Diagramme du corps Libre du système

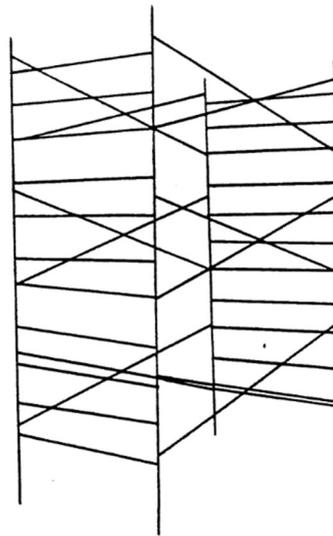


Figure 20 : échafaudage de type 'cadre tubulaire'

b-Comportement dynamique :

Il y a comportement dynamique linéaire et non linéaire

b-1- comportement linéaire :

Linéarité : s'il décrit par des équations différentielles linéaires d'ordre fini à coefficients constants.

Système linéaire : Un système est linéaire s'il est décrit par des équations différentielles linéaires d'ordre fini à coefficients constants

Pour des petits déplacements, l'équation du mouvement du système De la figure 18 s'écrit :

$$M \ddot{x} + K x = f \quad (1)$$

Vibration libre : non amorti

Le système ne perd pas de l'énergie, les vibrations sont dites no amorti dans le cas contraire ils sont dits amortis.

Pour les vibrations libre, $f=0$

La solution générale de l'équation du mouvement :

$$x=C_1 \cos wt + C_2 \sin wt \quad (1)$$

En introduisant cette équation dans l'équation du mouvement et en remplaçant f par zéro,

on obtient :

$$(-M w^2 + k) (C_1 \cos wt + C_2 \sin wt) =0$$

Pour que cette équation soit vérifiée pour tout temps, il faut que le

Terme : $(-M w^2 + k) = 0$ s'annule, soit :

$$W^2/(K/M) =1$$

K : rigidité latérale

M : masse au sommet d'un échafaudage ou matrice de masse

W : fréquence naturelle

D'après cette dernière équation, on voit que la fréquence naturelle du système est constante et ne s'annule pas lorsque la charge est égale à la charge critique d'instabilité

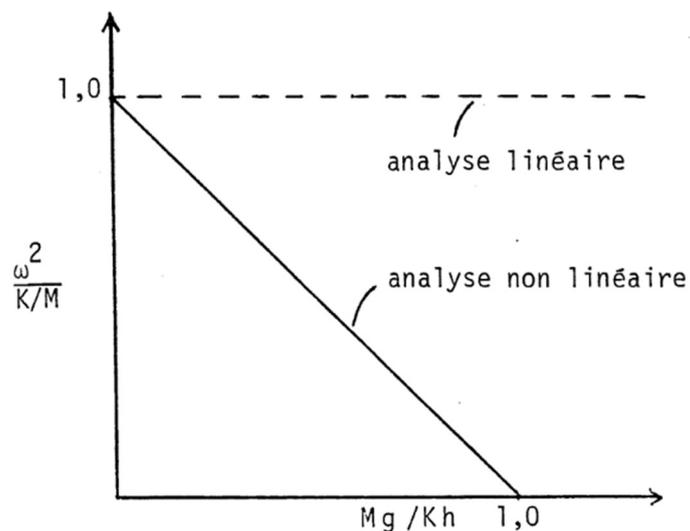


Figure 21 : fréquences naturelles d'un élément de treillis

b-2- Comportement non linéaire :

Non linéarité : la plupart systèmes physique ne sont pas linéaire en effet de nombreuse situation conduisent à la non linéarité

Pourront être rencontres lors des applications dans une situation de non linéarité. il sera possible d'étudier le comportement du système sur une plage réduite par rapport au domaine d'utilisation.

Systemes non linéaires :

Un système non linéaire est un système qui n'est pas linéaire, c'est-à-dire (au sens Physique) qui ne peut pas être décrit par des équations différentielles linéaires à coefficients constants



H : opérateur transmittance du système

$$\text{Si : } e_1(t) \rightarrow s_1(t) = H.e_1(t)$$

$$\text{et } e_2(t) \rightarrow s_2(t) = H.e_2(t)$$

$$\text{alors : } e_3(t) = e_1(t) + e_2(t) \rightarrow H.(e_1(t) + e_2(t)) \neq s_1(t) + s_2(t)$$

$e(t)$: le signal d'entrée

$s(t)$: le signal de sortie

II.2.2 Pour le système : échafaudage de type ‘cadre tubulaire’

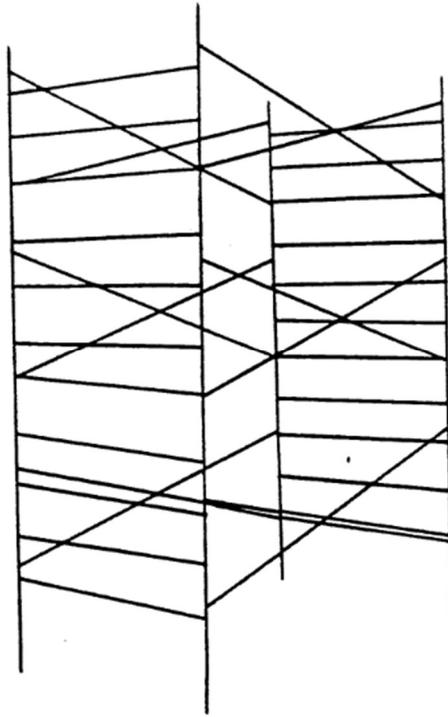


Figure 20 : échafaudage de type ‘cadre tubulaire’

L'équation du mouvement : utilisant la formulation de Lagrange :

Système 1 degré de liberté :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{x}} \right) - \frac{dT}{dx} + \frac{dU}{dx} + \frac{dV}{dx} = \frac{dWe}{dx} \quad (1)$$

T : énergie cinétique

U : énergie de déformation $\frac{1}{2} kx^2$

V : énergie potentielle de gravite : $-MgY$

Y : déplacement vertical de la masse M

We : travail effectue par les forces externes

Pour les vibrations libres comme dans le cas présent We est nul ($We=0$)

Pour déterminer l'énergie potentielle de gravite, il faut d'abord déterminer l'expression du déplacement vertical de la masse M qui va dépendre du type de

modèle structurale étudié. Des sections suivantes, on traitera l'exemple d'un élément de treillis et celui d'un élément de poutre.

Système 1 degré de liberté :

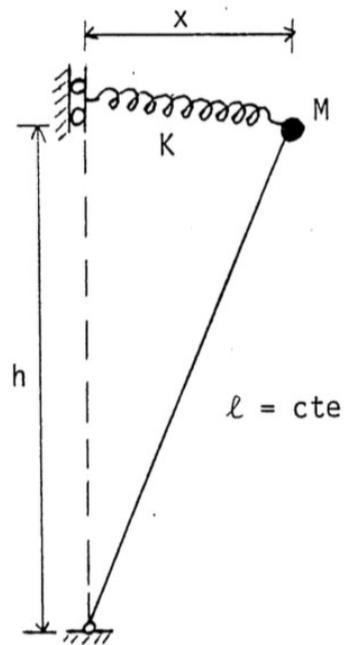


Figure 18 : Système à un degré de liberté

II.2.3 Elément de treillis :

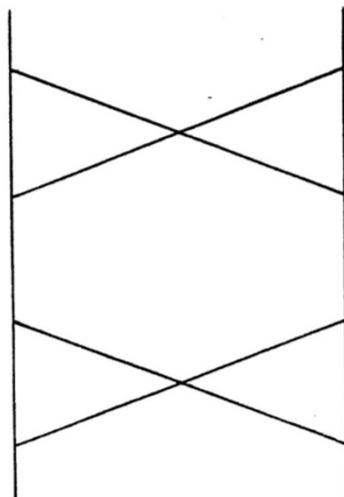


Figure 22 : Coté treillis d'un échafaudage

La figure 23 représente un élément de treillis à déplacement latéral linéaire, et son équation est :

$$y = \frac{\delta}{h} x \quad (1)$$

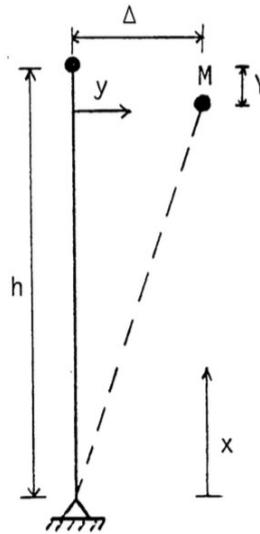


Figure 23 : un élément de treillis

Le déplacement vertical Y est égal à :

$$Y = \frac{1}{2} \int_0^h \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx = \frac{1}{2} \frac{\delta^2}{h} \quad (1)$$

En substituant Y par sa valeur dans l'équation de mouvement (la formulation de Lagrange) et en effectuant le développement nécessaire, l'équation de mouvement devient :

$$\delta + \frac{K}{M} \left(1 - \frac{M g}{K h} \right) \delta = 0$$

= équation représente le mouvement en vibrations libres d'un système

***la fréquence naturelle** est donnée par l'équation suivante :

$$W^2 = \frac{K}{M} \left(1 - \frac{M g}{K h} \right) \quad \frac{w^2}{K/M} = 1 - \frac{M g}{K h} \quad (1)$$

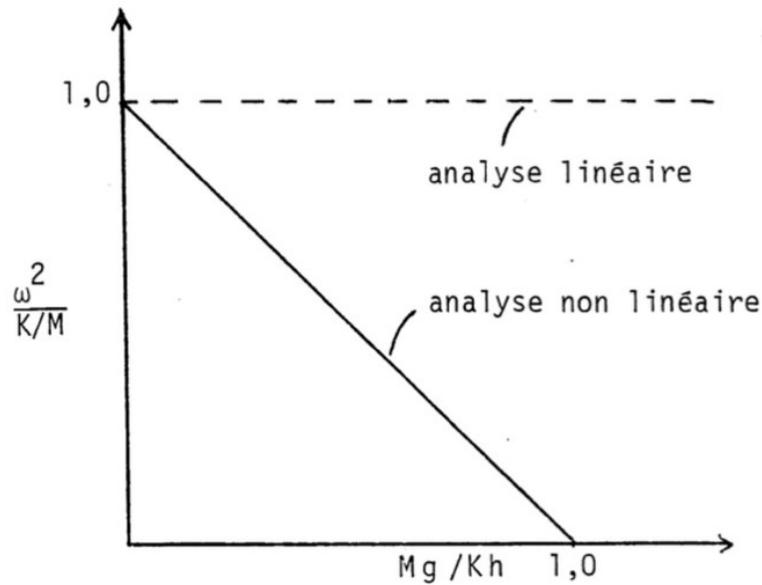


Figure 21 : fréquences naturelles d'un élément de treillis

On normalise la fréquence naturelle au carré par (K/M) on obtient :

On remarque que, contrairement au cas du comportement linéaire, la fréquence propre du système n'est pas constante, et elle

Varie en fonction de la charge appliquée au système. Lorsqu'une charge instable critique est atteinte, la fréquence est annulée.

Par conséquent, nous pouvons conclure qu'en considérant les effets non linéaires, nous pouvons baser le changement sur la fréquence propre.

Fonction de la charge pour prédire l'instabilité statique de la structure.

La figure 21 illustre l'influence des effets non linéaires sur les fréquences naturelles des cellules du réseau.

II.2.4 Elément de poutre :

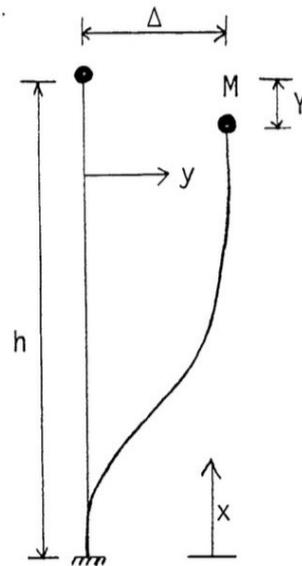


Figure 24 : Elément de poutre

Le déplacement latéral s'écrit sous la forme polynomiale suivante :

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \quad (1)$$

Les conditions aux limites sont :

$$y(0) = 0, \quad y(h) = \delta, \quad \frac{dy}{dx}(0) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dx}(h) = 0$$

$$a_0 = a_1 = 0, \quad a_2 = \frac{3\delta}{h^2} \quad \text{et} \quad a_3 = -\frac{2\delta}{h^3}$$

L'équation de déplacement latéral devient :

$$y = \frac{3\delta}{h^2} x^2 - \frac{2\delta}{h^3} x^3$$

Le déplacement vertical du système peut s'écrire en fonction de son déplacement latéral ; on a

$$Y = \frac{1}{2} \int_0^h \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx = \frac{1,2}{2} \frac{\delta^2}{h} \quad (1)$$

II.3 Conclusion :

L'étude précédente faite sur quelques modèles d'échafaudages à un étage a permis d'observer l'influence des effets non linéaires sur le comportement d'une structure. En effet, on a remarqué que pour des grands déplacements, la variation de l'énergie potentielle de gravité entraîne des effets non linéaires qui, lorsque pris en considération dans la formulation des équations de mouvement, engendrent une baisse de la fréquence naturelle en fonction de la charge appliquée à la structure.

L'étude d'un élément de treillis et d'un élément de poutre nous a montré que leurs charges d'instabilité respectives sont différentes et partant du fait que les échafaudages sont composés d'un côté cadre qui peut être représenté par des éléments de poutre et d'un côté treillis, on peut dire que l'instabilité des échafaudages peut se produire pour une charge se situant entre la charge d'instabilité d'un cadre parfait et celle d'un treillis parfait.

Chapitre III

Eléments structurels de notre propre type et une étude appliquée

III.1. Introduction

Ce chapitre examine en détail les éléments structurels essentiels à la conception et à la construction de notre plateforme élévatrice électrique. Cette étude repose sur une sélection rationnelle des composants mécaniques et électromécaniques afin de garantir la robustesse, la fiabilité et la sécurité du système.

Nous aborderons d'abord le choix des tubes de la structure, en tenant compte de leurs paramètres géométriques et des efforts qu'ils doivent supporter. Nous aborderons ensuite les procédés de soudage adoptés, les types de baguettes de soudage utilisées et les caractéristiques des tôles utilisées pour former les différents composants de la plateforme.

Nous concentrons également sur le choix du moteur électrique, composant central du système de levage, en fonction de la puissance, du couple et des conditions de fonctionnement requis. Nous analysons également le rôle des câbles, poulies et roues de levage pour garantir une transmission de puissance fiable et un déplacement efficace de la plateforme.

Enfin, nous démontrons l'application concrète de toutes ces options à travers l'exemple de notre propre plateforme élévatrice électrique, vérifiant ainsi la cohérence entre théorie et pratique.

III.2 Choix le modèle de tube

Le tube en acier de construction rectangulaire 50×30×1,5 est un profilé en acier creux avec une section transversale rectangulaire et les dimensions suivantes :

50 mm : Largeur extérieure du côté long du rectangle

30 mm : Hauteur extérieure du petit côté du rectangle

1,5 mm : épaisseur de la paroi du tube

Acier de construction : Acier couramment utilisé pour les structures (généralement de type S235 ou S355 selon la norme EN 10025)

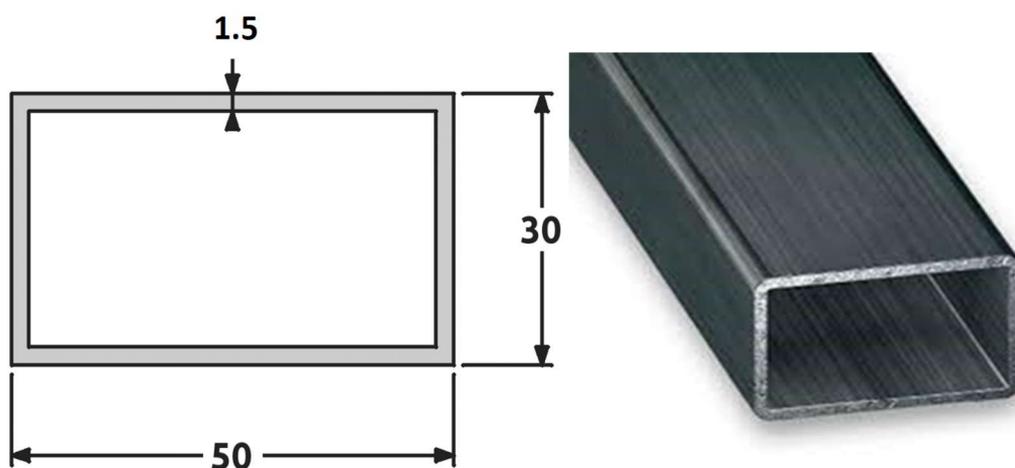


Figure 25 : tube en acier rectangulaire

Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Épaisseur (mm)	Longueur (mm)
50	30	1,5	6000

Tableau 01 : dimensions de tube

Utilisation :

Structure métallique légère

Cadre et châssis

Meubles en métal

Garde-corps, portails, etc.

Avantages :

Bonne résistance mécanique

Facile à souder, percer et couper

Léger et rigide

III.3 Paramètre de tube

Rectangulaires finis à froid (1)



Dimensions extérieures		Epaisseur	Masse linéique	Aire de la section	Moment d'inertie		Rayon de giration		Module élastique		Module plastique		Module d'inertie de torsion	Module de torsion	Surface latérale par mètre	Longueur nominale par tonne	Surface ext. à peindre par tonne
H	B	T	M	A	I _{zz}	I _{yy}	i _{zz}	i _{yy}	W _{elzz}	W _{elyy}	W _{plzz}	W _{plyy}	I _t	C _t	As	L _n	A _p
mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m	m/t	m ² /t
30	20	1,5	1,128	1,35	1,59	0,840	1,08	0,788	1,06	0,840	1,32	0,993	1,83	1,40	0,095	887	89,08
30	20	2	1,480	1,74	1,94	1,02	1,06	0,765	1,29	1,02	1,65	1,24	2,29	1,71	0,093	676	67,89
30	20	2,5	1,819	2,09	2,21	1,15	1,03	0,742	1,47	1,15	1,92	1,44	2,68	1,95	0,091	550	55,24
30	20	3	2,146	2,41	2,41	1,25	1,00	0,720	1,60	1,25	2,15	1,61	2,99	2,13	0,090	466	46,82
40	20	1,5	1,350	1,65	3,27	1,10	1,41	0,815	1,63	1,10	2,07	1,27	2,74	1,91	0,115	741	88,39
40	20	2	1,776	2,14	4,05	1,34	1,38	0,793	2,02	1,34	2,61	1,60	3,45	2,36	0,113	563	67,18
40	20	2,5	2,189	2,59	4,69	1,54	1,35	0,770	2,35	1,54	3,09	1,88	4,06	2,72	0,111	457	54,51
40	20	3	2,589	3,01	5,21	1,68	1,32	0,748	2,60	1,68	3,50	2,12	4,56	3,00	0,110	386	46,09
40	27	1,5	1,498	1,86	4,04	2,20	1,47	1,09	2,02	1,63	2,47	1,89	4,63	2,69	0,129	668	88,04
40	27	2	1,973	2,42	5,06	2,73	1,45	1,06	2,53	2,03	3,15	2,39	5,91	3,36	0,127	507	66,84
40	27	2,5	2,435	2,94	5,93	3,18	1,42	1,04	2,96	2,36	3,75	2,85	7,05	3,93	0,125	411	54,16
40	27	3	2,885	3,43	6,65	3,55	1,39	1,02	3,32	2,63	4,28	3,24	8,06	4,42	0,124	347	45,71
40	30	1,5	1,609	1,95	4,38	2,81	1,50	1,20	2,19	1,87	2,64	2,17	5,52	3,02	0,135	622	87,82
40	30	2	2,121	2,54	5,49	3,51	1,47	1,18	2,75	2,34	3,37	2,77	7,07	3,79	0,133	471	66,62
40	30	2,5	2,620	3,09	6,45	4,10	1,45	1,15	3,23	2,74	4,03	3,30	8,47	4,46	0,131	382	53,93
50	30	1,5	1,794	2,25	7,54	3,42	1,83	1,23	3,01	2,28	3,70	2,60	7,60	3,83	0,155	557	87,51
50	30	2,5	2,929	3,59	11,3	5,05	1,77	1,19	4,52	3,37	5,70	3,98	11,7	5,72	0,151	341	53,60

Tableau 02 : paramètres de tube

III.3.1 Choix le type de soudage :

Définition de soudage

Le soudage est l'opération consistant à assembler deux ou plusieurs pièces continues d'un assemblage métallique afin d'assurer la continuité entre les pièces continues de l'assemblage métallique et d'assurer la continuité de l'assemblage entre les pièces à assembler.

L'opération peut être comparée à une opération locale de production métallurgique et à une opération locale de traitement thermique, la structure cristalline résultante dépendant de la composition chimique et du traitement thermique produit. De cette façon, la soudure est divisée en plusieurs zones, voir Figure.

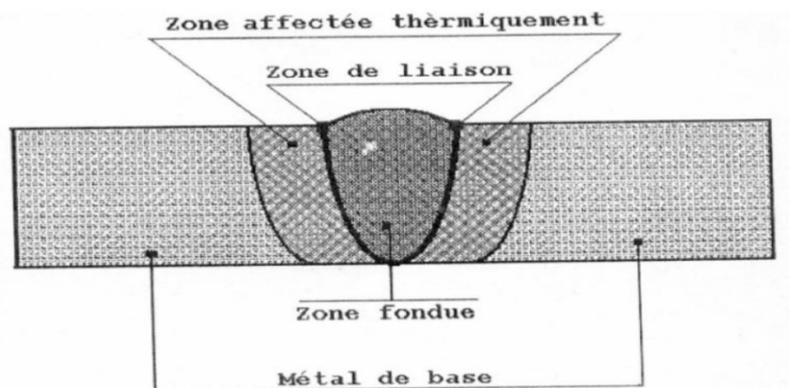


Figure 26 : les zones de la soudure

Métal de base (MB) : Le matériau de base est la partie du composant qui ne subit aucun effet thermique.

Zone affectée par la chaleur (ZAT) : La zone affectée par la chaleur est la zone où la température se situe entre le solidus et une température inférieure mais suffisamment élevée pour permettre des réactions ou des transformations à l'état solide et modifier la structure du matériau parent.

Zone de liaison (ZL) : Cette zone correspond à la limite de fusion du matériau parent

Zone de fusion (ZF) : Elle est obtenue lorsque le matériau de base fond et se solidifie avec la participation du métal d'apport.

III.3.2 Procédé du soudage à l'arc électrique avec une électrode enrobée

Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée est réalisé à l'aide d'un arc électrique créé et maintenu entre le noyau métallique de l'électrode et la pièce à usiner. L'énergie thermique de l'arc fait fondre localement le noyau métallique des pièces à assembler et l'électrode pour former un bain de fusion. Après refroidissement, la soudure est recouverte d'un laitier protecteur.

Le générateur fournit un courant continu ou alternatif d'une intensité allant de 30 à 400 ampères, en fonction de différents paramètres tels que le diamètre de l'électrode, la nature du revêtement, la position de soudage, le type d'assemblage, la taille et la nuance des pièces à assembler. La tension en circuit ouvert du générateur (où) doit être supérieure à la tension de démarrage (en particulier pour le courant alternatif). Sa valeur doit être comprise entre 40 et 80 volts.

III.3.2.1 Principe du procédés

L'électrode enrobée est placée et serrée sur une pince porte-électrode qui est connectée à l'une des bornes de sortie électrique du poste de soudage. Le fil de terre est connecté au générateur et placé sur la pièce à souder. L'arc est créé en frottant l'extrémité généralement recouverte de graphite de l'électrode contre la pièce et en déplaçant la pointe de l'électrode de quelques millimètres à mesure que l'arc se développe. Cet arc doit ensuite être maintenu pour garantir que la pointe de l'électrode et la pièce à souder restent à une distance constante la plus petite possible pour éviter les défauts d'arc.

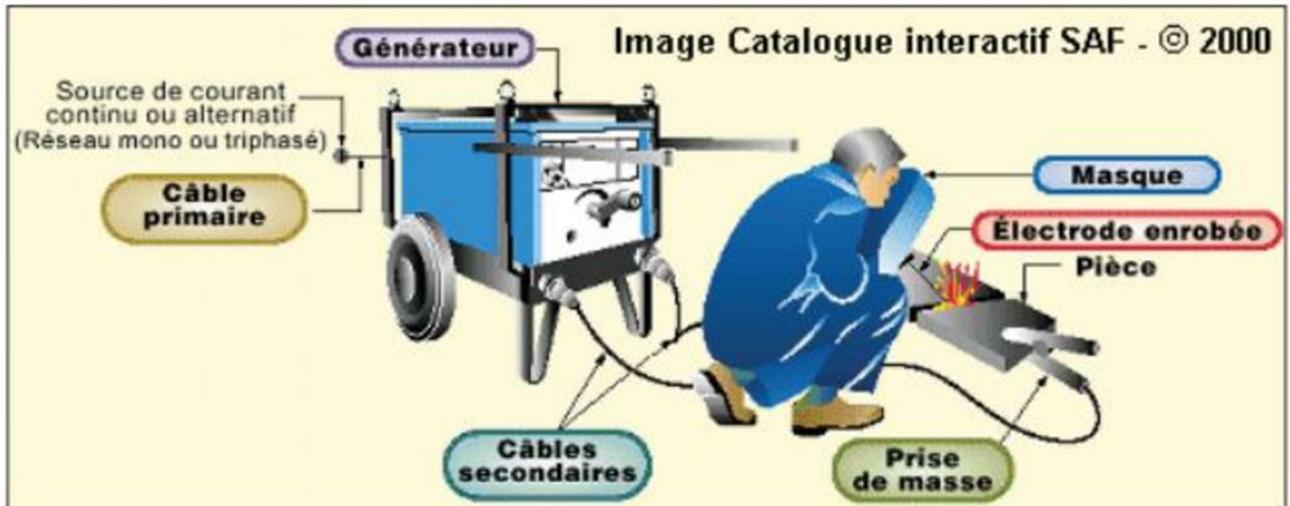


Figure 27 : Installation pour soudage à l'électrode enrobé

a- Paramètres de soudage à l'électrode enrobée :

Intensité du courant (Ampérage, A) :

* Dépend du diamètre de l'électrode et du type de métal.

* Par exemple :

- Ø 2,5 mm → 70 à 100 A

- **Ø 3,2 mm → 90 à 130 A** (mon type) (2)

b- Type de courant et polarité (CC+, CC-, CA) :

*Dépend du type d'électrode:

* Électrodes rutile : souvent en **courant alternatif (CA)** (mon type) ou courant continu positif (CC+).

* Électrodes basiques : préférer CC+. (2)

c- Diamètre de l'électrode :

Choisi selon l'épaisseur de la pièce :

* Pièce fine → petite électrode (ex. 2,0 mm)

* Pièce épaisse → **plus grosse électrode (ex. 3,2 ou 4,0 mm)**

d- Angle de l'électrode :

*Généralement entre 20° et 30° par rapport à la verticale, en mode « poussée » ou « traction ». (2)

III.3.2.2 Avantages et inconvénient

Avantages

- * Le soudage à l'arc peut être effectué dans des espaces ouverts et fermés ;
- * Le soudage peut être effectué à tous les points et positions accessibles ;
- * Le soudage peut être effectué dans des zones étroites et limitées, inaccessibles aux autres méthodes de soudage ;
- * Comme les deux extrémités de l'alimentation électrique de la machine à souder peuvent être étendues, le soudage à longue distance est possible ;
- * L'équipement de soudage est léger et portable ;
- * Il existe différents types d'électrodes enrobées adaptées aux propriétés mécaniques et chimiques d'une large gamme de matériaux. Par conséquent, le joint soudé peut également avoir les mêmes propriétés que le matériau parent.

Inconvénient

- * Les taux de dépôt de métal et l'efficacité du soudage à l'arc à l'électrode enrobée sont inférieurs à ceux de nombreuses méthodes de soudage à l'arc. La baguette de soudage se présente sous la forme d'une tige et est coupée en certaines longueurs, donc lorsque la baguette de soudage est consommée, le soudage doit être arrêté.
- * Suivant chaque passe de soudage, il faut nettoyer la scorie formée sur le métal de soudage ;

III.3.2.3 Domaine d'application

1. Applications légères

- Maintenance industrielle légère
- Construction légère

2. Applications intensives :

- Fabrication intensive ;
- Construction industrielle ;

III.3.3 Type de baguettes électrode

Les électrodes enrobées ou baguettes de soudage sont constituées d'un noyau métallique et d'un enrobage.

NB : Lors du soudage, le métal d'apport de l'électrode possède les mêmes propriétés que le métal de base, assurant ainsi une parfaite continuité métallurgique.

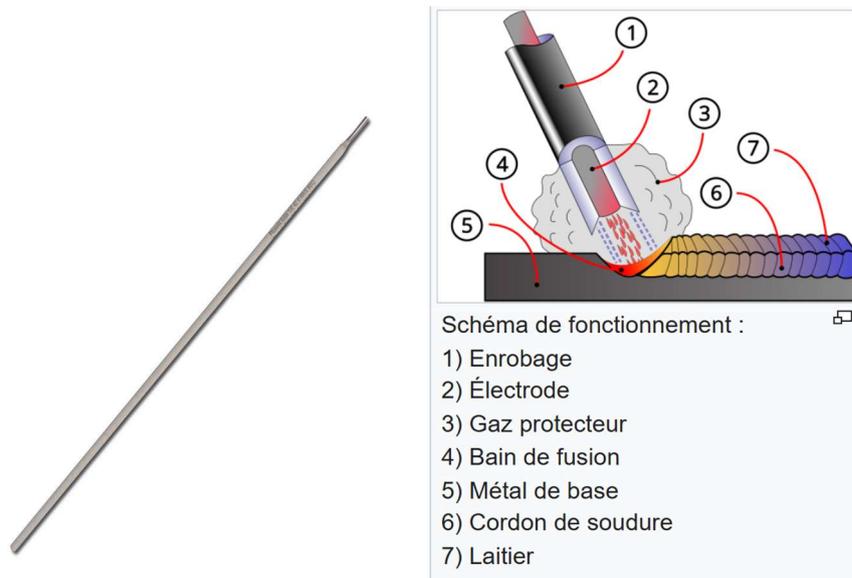


Figure 28 : les électrodes enrobées

Le type d'électrode choisi :

Type de courant : D.C(-) / A.C.

Intensités moyennes et poids :

Produit code	Diametre*longeur (mm) / (inch)		Courant pour Soudure (A)	Poids g/100pcs
3010100127	2.50 x 350	3/32 x 14	60-110	1850
3010100130	3.20 x 350	1/8 x 14	90-140	2940
3010100136	4.00 x 350	5/32 x 14	110-180	4250
3010100139	4.00 x 450	5/32 x 18	110-200	5460

Tableau 03 : Intensités moyennes et poids

III.4 Définition de la tôle choisie

La plaque d'acier de 3 mm est un produit plat laminé à partir d'un alliage de fer et de carbone (acier) d'une épaisseur de 3 mm, avec des propriétés mécaniques et chimiques spécifiques en fonction de sa nuance et du procédé de fabrication.

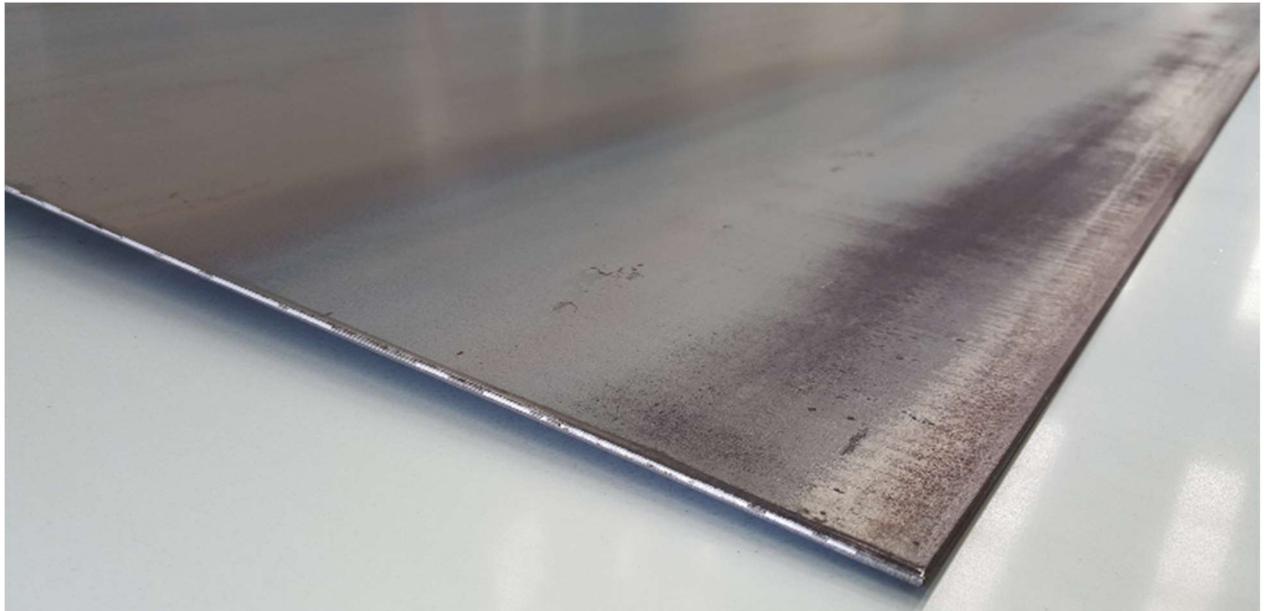


Figure 29 : une tôle d'acier en 3mm.

a) Paramètres géométriques :

1. **-Epaisseur** : 3mm
2. **-largeur et longueur** : variables selon les formats standards ou découpe sur mesure (exemples standards : 1000x2000mm, 1250x2500mm, 1500x3000mm).

b) Caractéristiques mécaniques de la tôle :

propriété	Densité Kg/m ³	Masse surfaccique Kg/m ²	Limite d'élasticité (Re) MPa	Résistance à la traction (Rm) MPa	Module d'élasticité (E) GPa	Allongem ent à la rupture
Valeur typique pour acier S235	7850	23.55 (densité* 0.003 m)	235	360-510	210	26

Tableau 04 : Caractéristiques mécaniques de la tôle

c) Caractéristiques thermiques de la tôle :

Conductivité thermique	Coefficient de dilatation thermique	Point de fusion
50	$12 \times 10^{-6} / \text{k}$	1450-1520°C

Tableau 05 : Caractéristiques thermiques de la tôle

d) Caractéristiques de surface :

- Brut (laminé à chaud ou laminé à froid)
- possibilité de traitements : galvanisation, peinture, revêtements anti-corrosion

III.5 Choix de moteur :

Dans notre projet, la sélection du moteur est une étape clé pour garantir les performances et la sécurité du système. Après des études techniques et une évaluation des besoins de puissance et de charge, nous avons choisi ce type de moteur, car la masse totale que nous voulions soulever ne dépassait pas 300 kg, et pour des raisons de sécurité nous avons choisi un moteur de 400 kg.



Figure 30 : moteur électrique 400kg

III.5.1 Paramètre de moteur

Capacité de levage	400kg
Tension	220/230V ~ 50HZ
Courant	3.3A
Puissance d'entrée	850W
Hauteur de levage	10m = 2cables 20m = 1cable
Vitesse de levage	5m /min = 2cables 10m/min = 1cable

Tableau 06 : Paramètre de moteur

III.6 Choix le modèle de câble

Le câble galvanisé est un câble en acier dont les fils sont recouverts de zinc à l'aide d'un procédé de galvanisation. Ce traitement peut efficacement l'empêcher d'être corrodé par l'humidité ou l'environnement extérieur.



Figure 31 : câble galvanisé

III.6.1 Paramètre de câble

La sécurité est de la plus haute importance lors du levage d'une charge de 400 kg composée de structures métalliques et de corps humains. Un facteur de sécurité élevé doit alors être appliqué, comme c'est souvent le cas dans le domaine du levage de personnes.

Exigences de supervision pour le personnel de levage :

*Facteur de sécurité minimum recommandé : 10

*Des câbles certifiés et correctement dimensionnés doivent être utilisés pour éviter tout accident.

III.6.2 Étapes de choix du diamètre

Poids total estimé :

- Structure métallique : ~100 kg (exemple)
- Personne : ~200 kg (2 personnes par exemple)
- Marges diverses : +100 kg

$$\text{Total} = 400 \text{ kg} \times 9,81 = 3924 \text{ N} \approx 4 \text{ kN}$$

On va utiliser deux câbles, et on va répartir la charge en deux

$$4 \text{ KN} / 2 = 2 \text{ KN}$$

Avec un facteur de sécurité de 10 : (7)

$2\text{kN} \times 10 = 20 \text{ KN}$ de résistance minimale à la rupture.

Choix du diamètre du câble :

Diamètre du câble(mm)	Charge de rupture (KN)
4	[10-14] (insuffisant)
5	[15-20] (limite basse)
6	[22-25] recommandé
8	[26-35] surdimensionné

Tableau 07 : Choix du diamètre du câble

On a choisi un diamètre de 6 mm à partir du tableau

III.7 Choix de poulie

Une poulie est un composant mécanique constitué d'une roue rainurée montée sur un arbre ou un support qui peut changer de direction ou transmettre une force à l'aide d'un câble, d'une corde ou d'une chaîne. Il est principalement utilisé pour soulever ou déplacer des charges tout en réduisant la force requise. Selon leur configuration (simple, double, avec poulie), les poulies peuvent également augmenter la force appliquée.

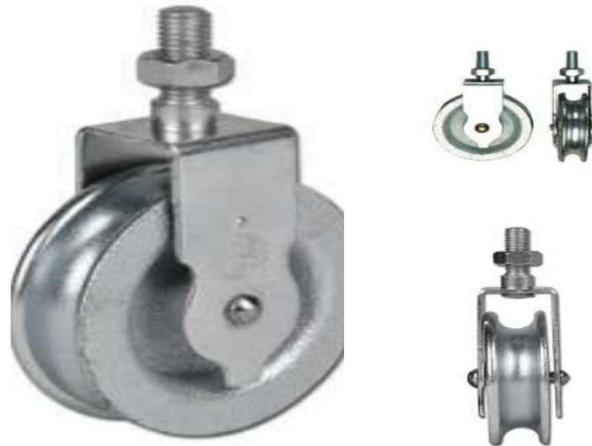


Figure 32 : une poulie

III.7.1 Paramètre de poulie

Pour soulever une charge de 400 kg, le choix de la poulie dépend de plusieurs critères : la charge à soulever, le type de mouvement, l'environnement dans lequel elle est utilisée et la sécurité.

Données de base :

1. **Charge utile (m)** = 400 kg
2. **Poids (P)** = $m \times g = 400 \times 9,81 = 3924 \text{ N} \approx 4 \text{ kN}$
3. **Facteur de sécurité (FS)** = 10 (présence humaine)
4. **Câble utilisé** = acier galvanisé de $\text{Ø } 6 \text{ mm}$

a) Choix du diamètre minimal de la poulie

$$D_{\text{poulie}} \geq K \cdot d_{\text{câble}} \quad k = 15 \text{ à } 20 \quad (6)$$

$$15 \text{ pour acier souple} \quad D_{\text{poulie}} \geq 15 \times d = 15 \times 6 = 90 \text{ mm}$$

Donc on va choisir une poulie de 90 mm de diamètre (Rayon = 0.045 m)

b) Calcul du moment de flexion transmis par la poulie

$$M = F \cdot r = 3924 \times 0.045 = 176.58 \text{ N/m} \quad (6)$$

c) Couple transmis à l'axe (torsion)

$$T = F \cdot r = 176.58 \text{ N/m (même valeur que M ic)} \quad (6)$$

d) Diamètre minimale de l'axe selon la contrainte de torsion

On vérifie maintenant que l'arbre peut supporter ce couple

Formule de contrainte de torsion $\tau = \frac{T.r}{J}$ (6)

Pour un arbre plein de diamètre da

*Moment polaire d'inertie $J = \frac{\pi \cdot da^4}{32}$ (6)

* Rayon $r = \frac{da}{2}$

Donc $\tau = \frac{T.16}{\pi.da^3}$

Prenons un acier courant par exemple S235 qui accepte environ

$$J = \frac{Re}{\sqrt{3}} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 136 \text{ MPa}$$

Calcul de diamètre minimal de l'arbre

$$da^3 \geq \frac{16.T}{\pi.\tau_{adm}} = \frac{16.176,58}{\pi.136.10^6}$$

$$da^3 \geq \frac{2825.28,28}{427256600,9} = 6,61 \times 10^{-6}$$

$$da \geq \sqrt[3]{6,61.10^{-6}} = 0,018 \text{ m} = 18 \text{ mm}$$

III.8 Choix le modèle de Roue

Roue pivotante avec frein, diamètre 100 mm

Il s'agit d'une roue industrielle montée sur un joug rotatif avec une plaque fixe. La roue a un diamètre de 100 mm et une largeur de 32 mm et est constituée d'une bande de roulement en polyuréthane injectée sur un moyen en plastique dur. Il est équipé d'un frein à pédale agissant sur une pédale pour immobiliser le chariot ou l'équipement auquel il est attaché.

III.8.1 caractéristiques de la roue

Diamètre	100 mm
Largeur de la bande de roulement	32 mm
Type de roue	Polyuréthane (rouge) Sur moyen plastique rigide (jaune)
Support	Platine fixe avec 4 trous de fixation
Fixation	Par platine vissable (classique pour équipements roulants)

Tableau 08 : caractéristiques de la roue

III.8.2 système de freinage

Type de frein	Frein à pédale mécanique
Fonctionnement	En appuyant sur la pédale métallique (située derrière le volant), le système plaque une pièce métallique contre le volant pour le bloquer, empêchant ainsi tout mouvement.
Effet	Ce frein arrête uniquement la rotation des roues. On parle souvent de freinage simple, et non de freinage complet qui arrête les roues et les fait patiner.

Tableau 09 : système de freinage

III.8.3 utilisation

Utilisé pour

- 1- Chariots de manutention
- 2- Meubles industriels
- 3- Tables roulantes
- 4- Equipements d'atelier
- 5- Echafaudage motorise



Figure 33 : Roue pivotante avec frein

III.9 Application

III.9.1 Données générales du projet

Elément	Spécifications
Hauteur de levée	5m
Dimension de plateforme	1.18 x 0.86 m
Hauteur totale	6.5 à 7 m (avec châssis)
Matériau recommandé	Acier S235 (structurel)
Environnement d'utilisation	Intérieur Sol plat Zone industrielle
Système de levage	Moteur électrique avec câble
Charge maximale	400 kg
Vitesse de levage	5m/min
Profile utilisés	Tube rectangulaire 50mm x 50mm ; Épaisseur : 1.5 mm
Poids de châssis	37.42 kg
Poids de 1ère étage	26.91 kg
Poids de 2ème étage	28.41 kg
Poids de table	39.94 kg
Poids totaux de la structure	132.68 kg

Tableau 10 : Données générales du projet

III.9.2 Propriété géométrique de la section 50 x 30 1.5 mm

A : l'aire de la section transversale (représente l'aire de la section du tube)

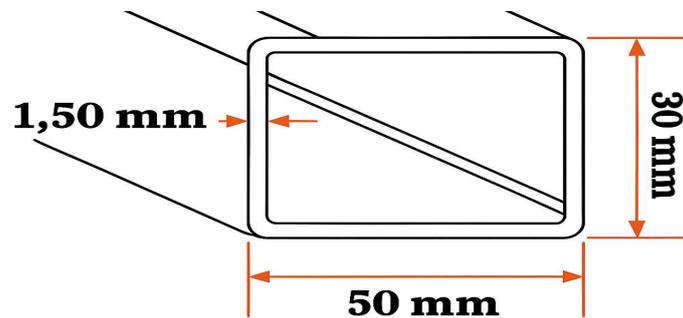


Figure 34 : l'aire de la section

$$A = (B_{\text{ext}} \cdot H_{\text{ext}}) - (B_{\text{int}} \cdot H_{\text{int}}) \quad (5)$$

$$A = (50 \cdot 30) - (47 \cdot 27)$$

$$A = (1500) - (1269)$$

$$A = 231 \text{ mm}^2$$

B_{ext} = largeur extérieure

H_{ext} = hauteur extérieure

B_{int} = largeur intérieure

H_{int} = hauteur intérieure

e = épaisseur

Soit $B_{\text{int}} = B_{\text{ext}} - 2e$ et $H_{\text{int}} = H_{\text{ext}} - 2e$

III.9.3 Moments d'inertie (M⁴)

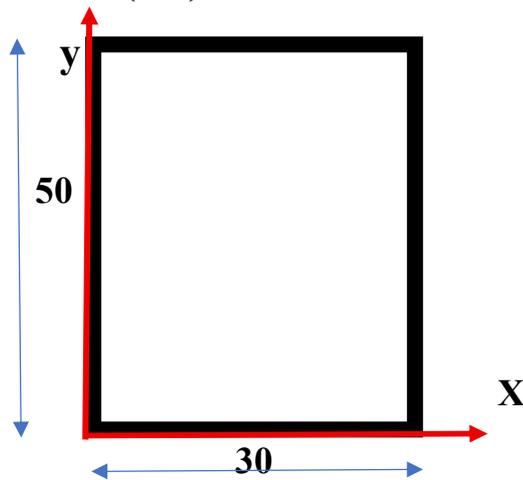


Figure 35 : le repère utilisé

a- I_y (flexion dans la direction large : axe fort)

$$I_y = \frac{B \text{ ext. } H \text{ int}^3}{12} - \frac{B \text{ int. } H \text{ int}}{12} \quad (5)$$

$$I_y = \frac{50 \cdot (30)^3}{12} - \frac{47 \cdot (27)^3}{12}$$

$$I_y = \frac{1350000}{12} - \frac{925101}{12}$$

$$I_y = 112500 - 77091,75$$

$$I_y = 35408,25 \text{ mm}^4 = 3,54 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

b- I_x (flexion dans la direction étroite : axe faible)

$$I_x = \frac{H \text{ ext. } B \text{ ext}^3}{12} - \frac{H \text{ int. } B \text{ int}}{12} \quad (5)$$

$$I_x = \frac{30 \cdot (50)^3}{12} - \frac{27 \cdot (47)^3}{12}$$

$$I_x = \frac{3750000}{12} - \frac{2803221}{12}$$

$$I_x = 312500 - 233601,75$$

$$I_x = 78898,25 \text{ mm}^4 = 7,89 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

III.9.4 Flambement autour de l'axe faible (Iy)

On utilise la formule d'Euler

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(Kf \cdot L)^2} \quad (4)$$

$$E = 210 \text{ GPa} = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

L = 2 m pour chaque étage

Kf = 2 cas de flambement (encastre – libre)

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,54 \cdot 10^{-8}}{(2 \cdot 2)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{7,34 \cdot 10^4}{16}$$

$$F_{cr} = 4585,66 \text{ N}$$

La force supportée par chaque poteau

III.9.5 La charge appliquée réelle par montant (poteau)

Charge totale

$$F = 400 \cdot 9,81 = 3924 \text{ N}$$

Répartition sur 4 montants

$$F \text{ appliquée} = \frac{3924}{4} = 981 \text{ N}$$

$$981 < 4585,66 \quad \text{OK}$$

III.9.6 Vérification sécurité flambement

$$\text{Taux d'utilisation} = \frac{\text{charge réelle}}{\text{charge critique}} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\text{Application numérique} \quad \text{Taux d'utilisation} = \frac{981}{4585,66} \cdot 100 = 21,39 \%$$

Taux d'utilisation	Interprétation	Action
0-60%	Très sécurisé	Aucun renfort nécessaire
60-80%	Sécurisé mais optimisé	Vérification fine recommandée
80-100%	Limite de sécurité proche	Risque si imprécisions
>100%	Non sécurisé	Risque de flambement / rupture

Tableau 11 : Vérification sécurité flambement

Donc 21 % structure largement stable de sécurité 79 %

III.9.7 Charge critique ajustée avec vibration

$$F_{cr \text{ vibration}} = \frac{F_{cr}}{\gamma_{dyn}} = \frac{4585,66}{1,3} = 3527,43 \quad (4)$$

Type de sollicitation	γ_{dyn} recommandé
Structure fixe (pas de vibration)	1,0
Vibration modérée (électrique, déplacement)	1,3
Vibration importante (machines, chocs)	1,5-2,0

Tableau 12 : Type de sollicitation avec γ_{dyn} recommandé

III.9.8 Taux d'utilisation corrigé (avec vibration)

$$\text{Taux corrigé} = \frac{F \text{ appliquée}}{F_{cr \text{ vib}}} = \frac{981}{3527,43} = 27,81\%$$

Donc 27,81% est sécurisé.

Calcul K

$$Kl_1 = \frac{3EI}{L^3} \quad (\text{encastree en bas, libre en haut \{2\text{eme etage}\}) \quad (7)$$

$$Kl_2 = \frac{12EI}{L^3} \quad (\text{Double encastrement \{chassis et 1ere etage}\}) \quad (7)$$

Avec **KI** la rigidité à chaque étage.

III.9.8.1 Application numérique

$$\begin{aligned} \text{a. } K \text{ châssis} &= \frac{12 \cdot E \cdot I_y}{L^3} \\ &= \frac{12 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,54 \cdot 10^{-8}}{2^3} = \mathbf{11151 \text{ N/m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } K \text{ 1ère étage} &= \frac{12 \cdot E \cdot I_y}{L^3} \\ &= \frac{12 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,54 \cdot 10^{-8}}{2^3} = \mathbf{11151 \text{ N/m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } K \text{ 2ème étage} &= \frac{3 \cdot E \cdot I_y}{L^3} \\ &= \frac{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,54 \cdot 10^{-8}}{2^3} = \mathbf{2787,75 \text{ N/m}} \end{aligned}$$

Les 4 poteaux agissent en parallèles donc on multiplie par 4

K châssis Totale = 4 . 11151 = 44604 N/m = 44,60 KN/m

K 1ère étage Totale = 44,60 KN/m

K 2ème étage = 4 . 2787,75 = 11151 N/m = 11,15 KN/m

III.9.9 Contrainte de compression simple (/ tube rectangulaire)

$$\delta^T = \frac{F}{A} \tag{7}$$

F : charge appliquée réelle globale

A : l'aire de la section

La condition : $\delta^T < 235 \text{ MPa}$

235 MPa : la limite d'élasticité de tube

$$\delta^T \text{ Totale} = \frac{3924}{231} = 16,99 \text{ MPa}$$

$\delta^T < 235 \text{ MPa}$ (très inférieur)

Donc pas de problème de compression.

$$F \text{ Poteau} = \frac{F \text{ totale}}{4}$$

$$F \text{ Poteau} = \frac{3924}{4} = 981 \text{ N}$$

$$\delta_{\text{poteau}} = \frac{F_{\text{poteau}}}{A}$$

$$\delta_{\text{poteau}} = \frac{981}{231} = 4,25 \text{ MPa}$$

$$\delta_{\text{poteau}} = 4,25 < 235 \text{ MPa}$$

Donc pas de risque de rupture par compression simple.

III.9.10 La force appliquée sur la surface de levage

$$\text{Surface totale} \quad S_{\text{surface}} = L \cdot l$$

$$S_{\text{surface}} = 1,18 \cdot 0,86$$

$$S_{\text{surface}} = 1,0148 \text{ m}^2$$

III.9.10.1 Charge totale

$$F = m \cdot g = 400 \cdot 9,81 = 3924 \text{ N}$$

III.9.10.2 Calcule de la pression appliquée sur la surface

$$F = P \cdot S \tag{7}$$

$$P = \frac{F}{S} = \frac{3924}{1,0148} = 3866,77 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

a- Cas 1 : cette charge est uniformément répartie sur les 4 poteaux

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = \frac{F_{\text{totale}}}{4}$$

$$F_{\text{poteau}} = \frac{F_{\text{totale}}}{4} = \frac{3924}{4} = 981 \text{ N}$$

Element	Valeur calculée
Surface	1,0148 m ²
Masse appliqué	400 kg
Force total (F)	3924 N
Pression Moyenne (p)	3866,77 Pa
Force par Poteau (x4)	981 N

Tableau 13 : Elément avec Valeur calculée

b- Cas 2 : Charge ponctuelle excentrée

* équilibre des forces

$$\Sigma F_y = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = F \text{ totale}$$

* équilibre des moments selon deux axes (souvent le centre de la surface)

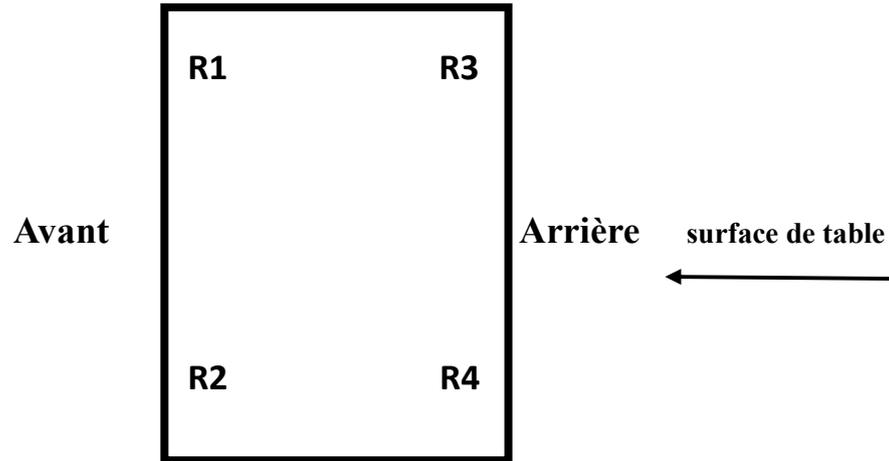


Figure 36 : Schéma d'explication

Réaction	Signification
R ₁	Force verticale dans le poteau avant gauche
R ₂	Force verticale dans le poteau avant droit
R ₃	Force verticale dans le poteau arrière gauche
R ₄	Force verticale dans le poteau arrière droit

Tableau 14 : Signification des Réactions

On à

4 poteaux rigide

La plateforme est un cadre fermé (avec une tôle) châssis soudé

Les appuis peuvent transmettre des moments (pas seulement des forces verticales)

La charge est toujours appliquée : $x = 0,30$ m depuis R₁ (bord gauche)

$$y = 0,20 \text{ m depuis } R_1 \text{ (bord avant)}$$

Dimensions : $L = 1,18 \text{ m}$

$$l = 0,86 \text{ m}$$

Charge : $m = 400 \text{ kg}$

$$F = 3924 \text{ N}$$

III.9.11 Moments

$$M = F \cdot d \tag{5}$$

$$M_x = F \cdot y = 3924 \cdot 0,20$$

$$M_x = 784,8 \text{ N.m}$$

$$M_y = F \cdot x = 3924 \cdot 0,30$$

$$M_y = 1177,2 \text{ N.m}$$

On repartir la charge selon une formule suivante :

R_i = charge partielle de chaque poteau + effet des moments

1- charge centrée

$$\frac{3924}{4} = 981 \text{ N}$$

$$F_{\text{poteau}} = 981 \text{ N}$$

2- MOMENT à l'excentration

La plateforme est supposée rigide et les effets des moments (causés par la position excentrique)

Sont modélisés séparément. Ces moments sont répartis sur les appuis latéraux (m-y) et avant / arrière (m-x).

On suppose que chaque couple (moments) est repris par deux poteaux

$$M_y = 1177,2 \text{ N.m}$$

Repris à 50/50 par les poteaux avant / **droit** et arrière / **droit**

$$M_x = 784,8 \text{ N.m}$$

Repris à 50/50 par les poteaux avant / **gauche** et arrière / **gauche**

La contribution de ces moments transforme les efforts verticaux ainsi

$$\Delta R = \frac{M}{d} \text{ (effet d'un moment sur deux appuis séparés de } d \text{ distance)}$$

III.9.11.1 Application

Pour $M_y = 1177,2$ et distance $L = 1,18$ m

$$\Delta R_y = \frac{1177,2}{1,18} = 998 \text{ N}$$

Donc : Poteau $R_2 = +499$ N

$$\text{Poteau } R_4 = -499 \text{ N}$$

Pour $M_x = 784,8$ et distance $l = 0,86$ m

$$\Delta R_x = \frac{784,8}{0,86} = 912,6 \text{ N}$$

Donc

$$\text{Poteau } R_1 = +456,3 \text{ N}$$

$$\text{Poteau } R_3 = -456,3 \text{ N}$$

III.9.12 Résultat final – Réactions verticales avec moments repris

Poteau	Réaction initiale (N)	Δ moment (N)	Réaction totale (N)	En kg
R ₁	981	+456,3	1437,3	146,5
R ₂	981	+499,2	1480,2	151
R ₃	981	-456,3	524,7	53,5
R ₄	981	-499,2	481,8	49,1

Tableau 15 : Résultat final – Réactions verticales avec moments repris

Exemple de réaction totale : $981+456,3 = 1437,3$ N

$$\frac{1437,3}{9,81} = 146,5 \text{ Kg}$$

III.9.12.1 Vérification

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = F \text{ totale}$$

$$1437,3 + 1480 + 524,7 + 482 = 3924 \text{ N}$$

La structure peut résister à une charge excentrée.

-Remarque :

Même si la charge est plus proche de R_1 , le moment de torsion autour de l'axe y déstabilise la répartition équitable :

-il ajoute de la charge sur R_2

-et soulage R_1 , car le moment agit à l'opposé du simple effet de distance.

III.10 Dessin de la structure

III.10.1 Modèle 3D de la structure



Figure 37 : Modèle 3D de la structure

III.10.2 Modèle 3D de chaque étage

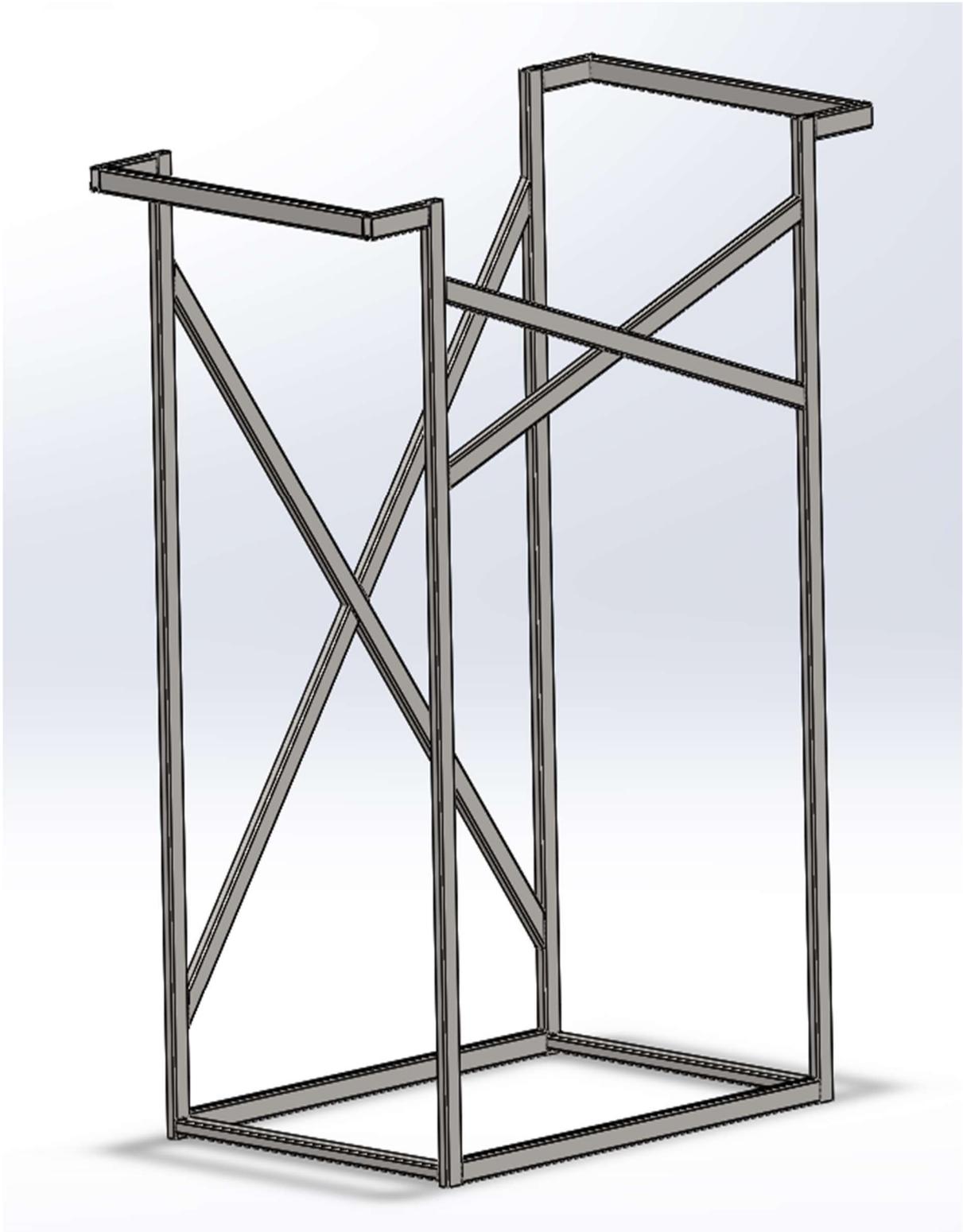


Figure 38 : modèle 3D de châssis

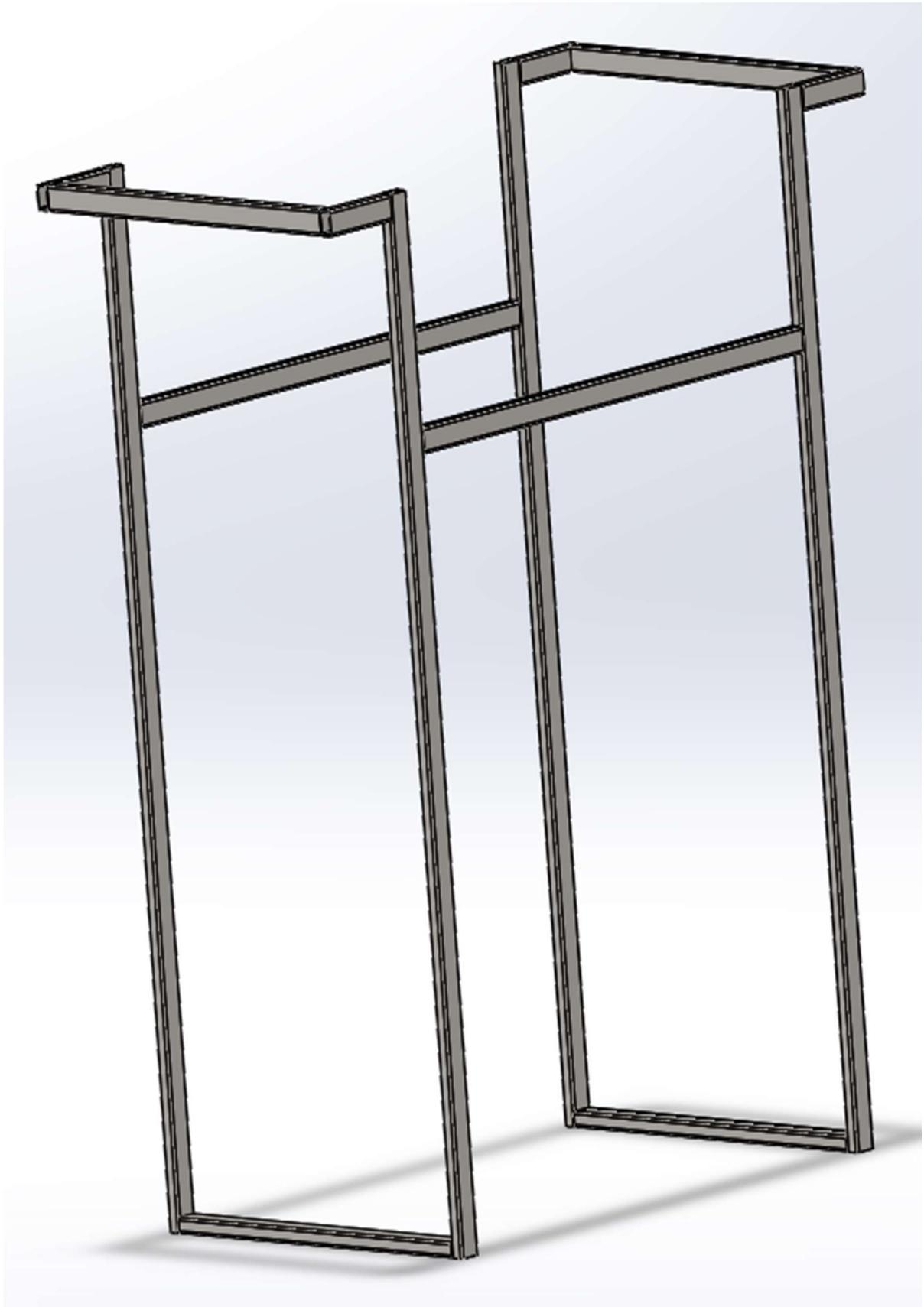


Figure 39 : modèle 3D de 1^{er} étage

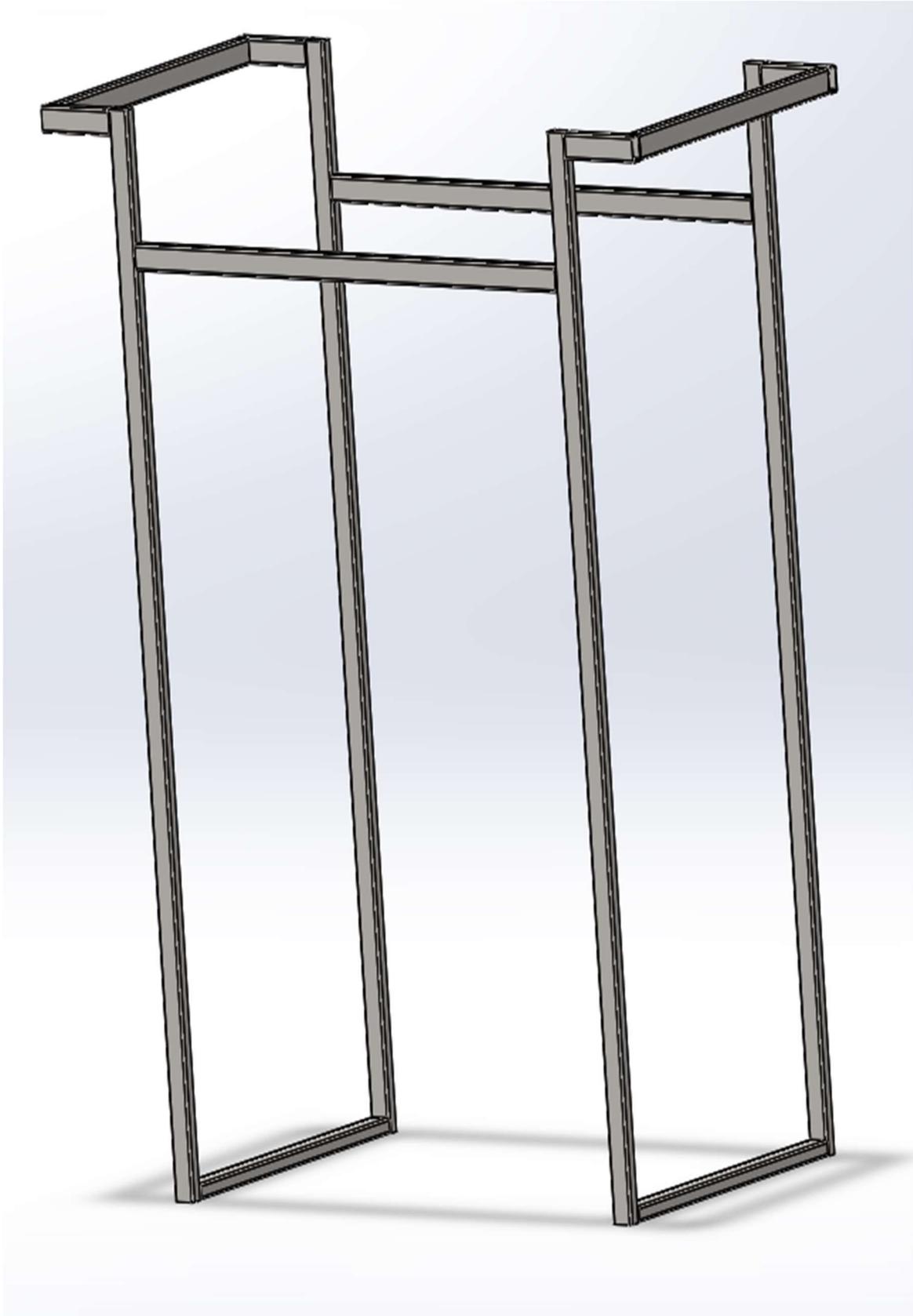


Figure 40 : modèle 3D de 2eme étage

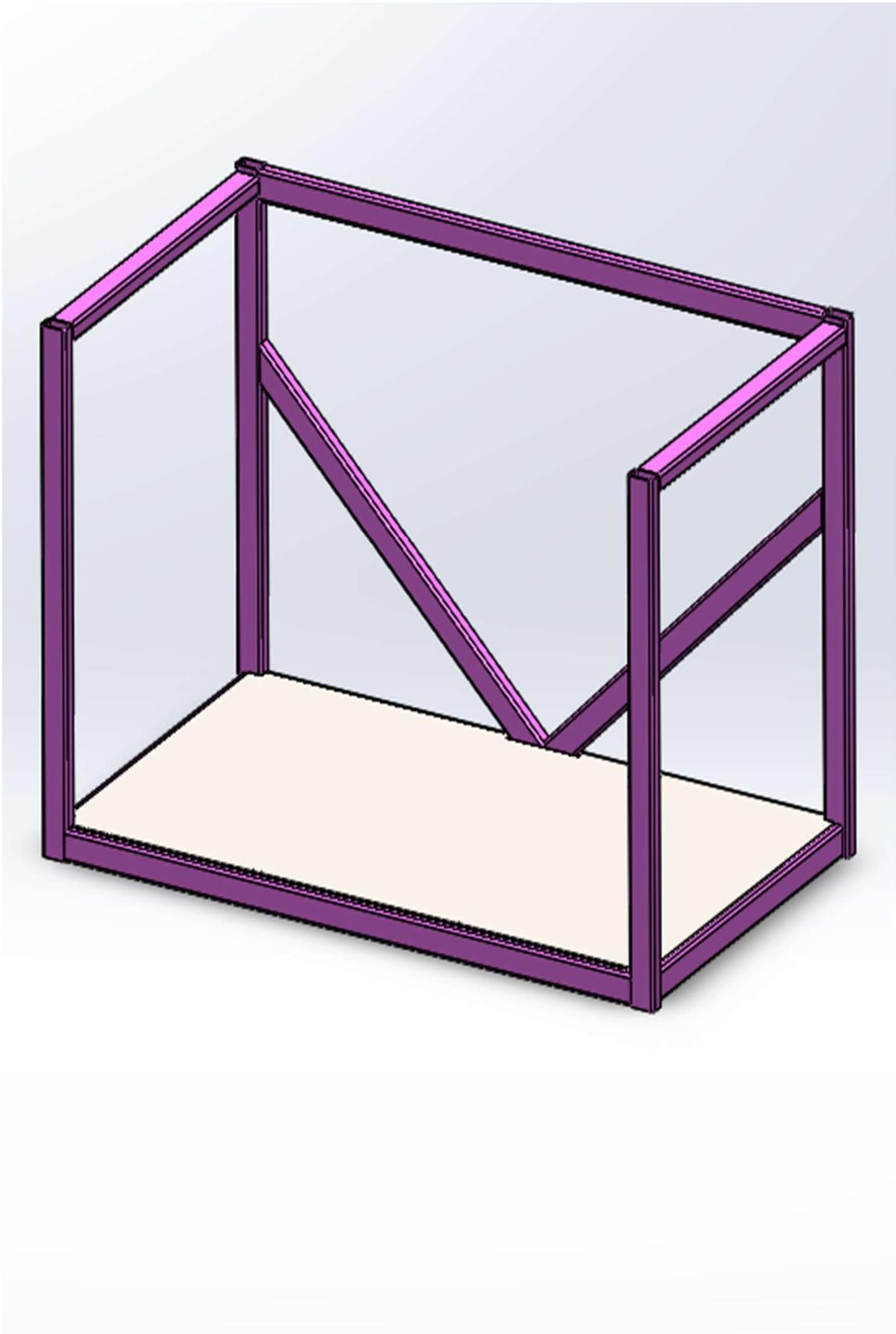
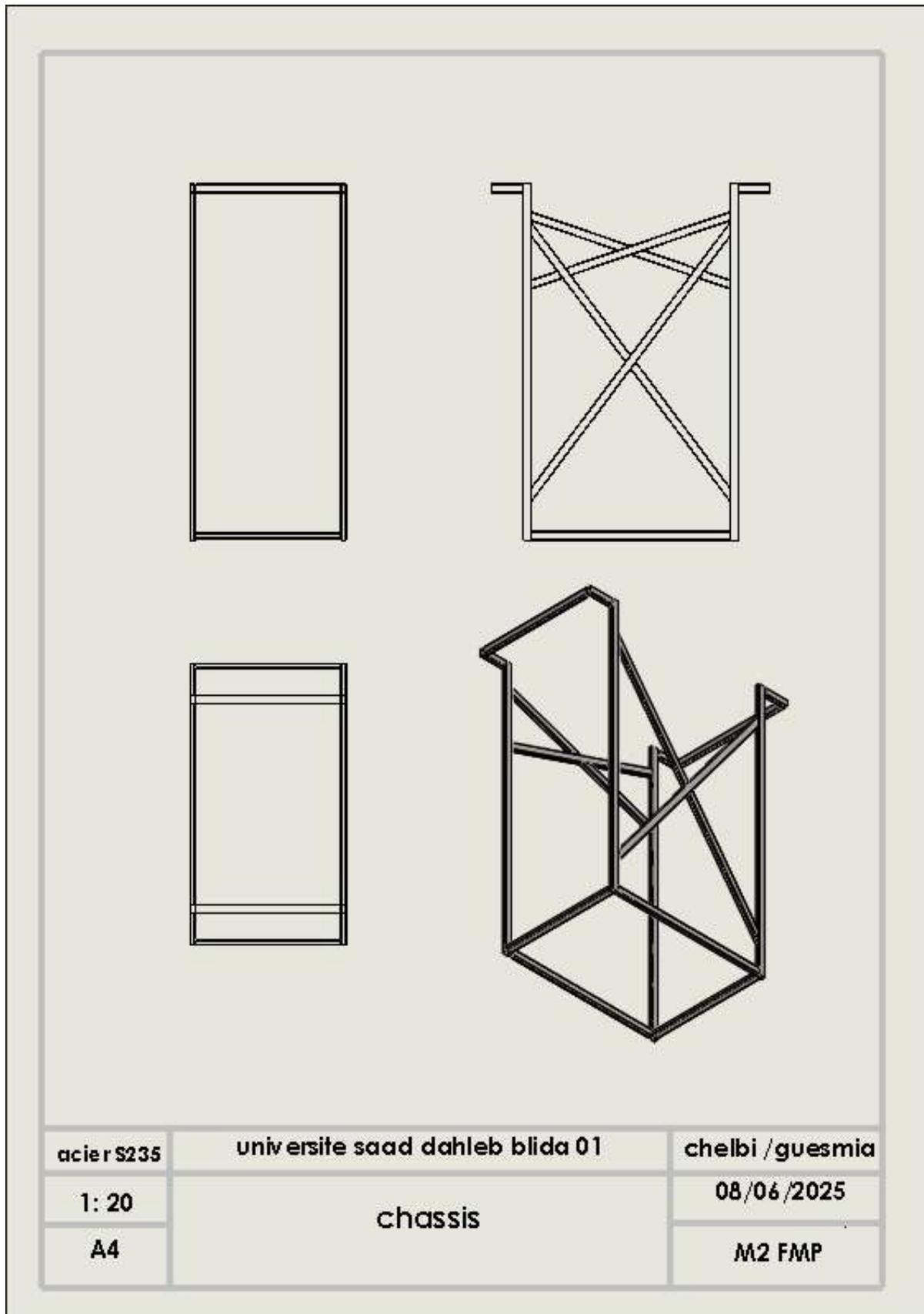
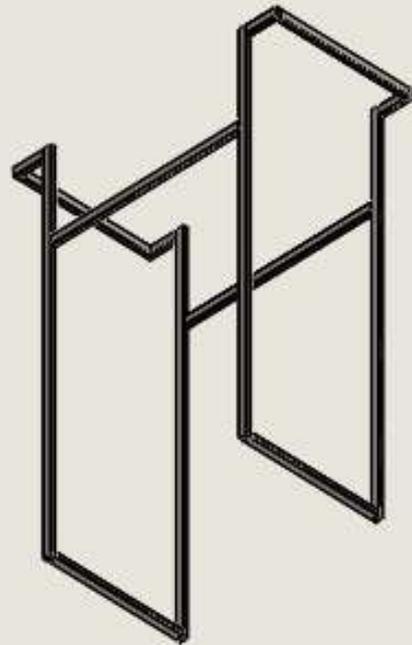
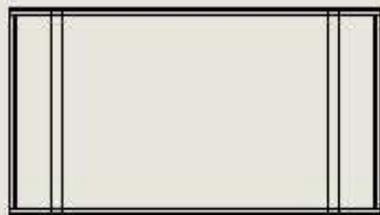
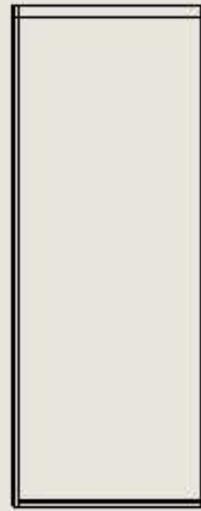
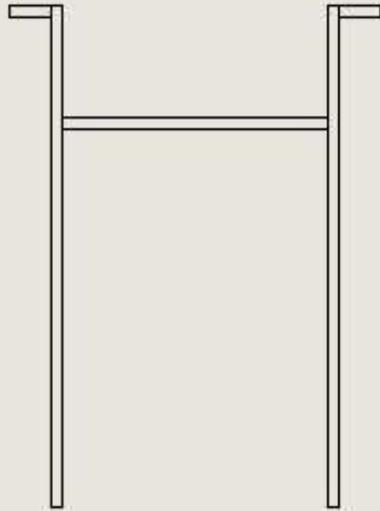


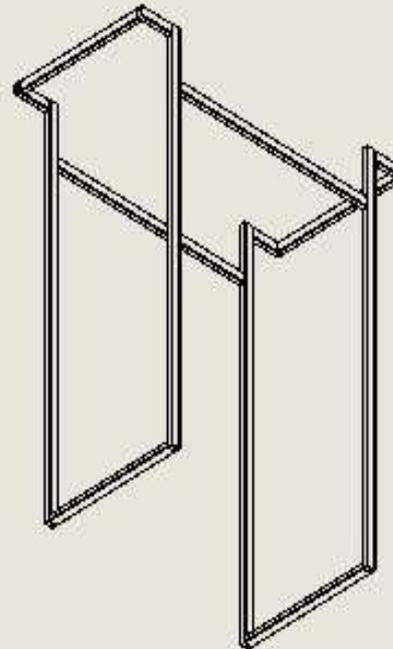
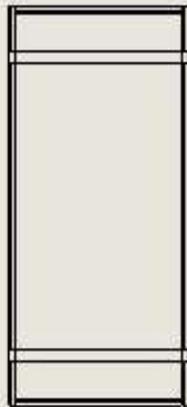
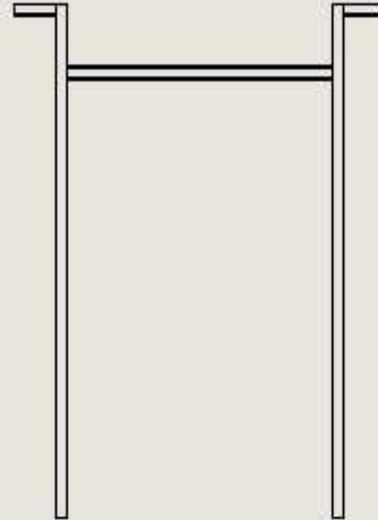
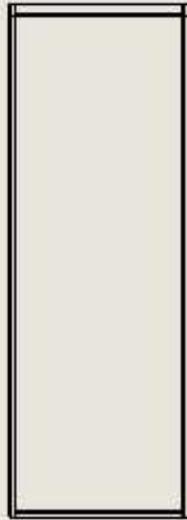
Figure 41 : modèle 3D de la table

III.10.3 Dessin technique (Châssis + 1ère 2tage + 2ème étage + la table)

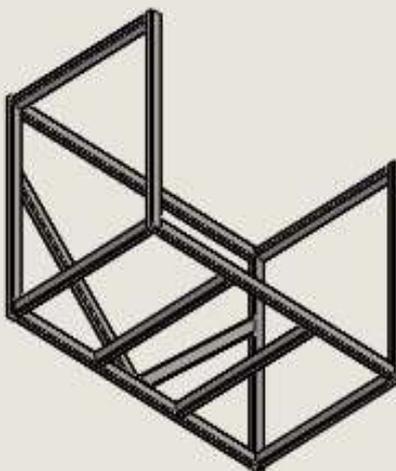
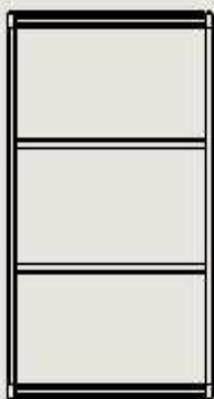
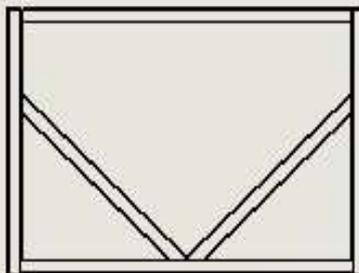




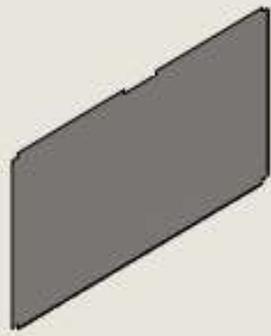
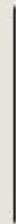
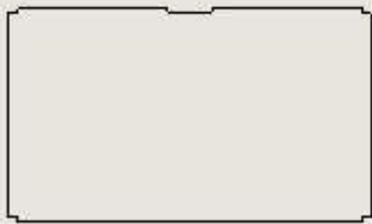
acier S235	universite saad dahleb blida 01	chelbi / guesmia
1: 20	1er etage	08/06/2025
A4		M2 FMP



acier S235	univ ersite saad dahleb blida 01	chelbi /guesmia
1: 20	2 eme etage	08/06/2025
A4		M2 FMP



acier S235	universite saad dahleb blida 01	chelbi /guesmia
1: 20	la table	08/06/2025
A4		M2 FMP



acier S235	universite saad dahleb blida 01	chelbi /guesmia
1: 20	la tole	08/06/2025
A4		M2 FMP

L'étude économique de notre projet

Définition du produit

-nom : plateforme de levage électrique

-fonction et application industrielle :

Domaine mécanique et industriel

Utilisé dans les usines de fabrication, les ateliers de maintenance et les chaînes de production pour accéder aux machines ou structures élevées.

Milieu universitaire et centres de recherche

Employé dans les laboratoires techniques, pour les travaux d'installation, de maintenance ou de montage (ex. : éclairage, ventilation)

Usines et installations industrielles

Utilisé à l'intérieur des entrepôts ou ateliers pour accéder aux équipements

Cout de revient :

element	Nombre	Prix unitaire (DA)	Prix totale (DA)
Matière premier (acier)	10 bars (6m)	1600	16000
Moteur électrique	1 piece	21000	21000
Roue	4 pieces	1000	4000
Cable galvanise	20 m	100	2000
poulie	14 pieces	1000	14000
Galet de guidage	48 pieces	1000	48000
Main doevre (2personnes)	5 jours	4000	20000

Tableau 16 : cout de revient

Prix totale en chiffre : 12,5000.00 da

Prix totale en lettre : cent vingt-cinq mille dinars algériens

Conclusion générale

Ce travail porte sur la conception, l'analyse et l'étude économique d'un échafaudage électrique mobile d'une capacité de levage de 400 kg, adapté aux chantiers de construction, à la maintenance industrielle. L'objectif principal est de développer un produit robuste, fiable, sûr et économique, répondant aux normes techniques et aux contraintes économiques du marché.

. Études réalisées

-Étude technique :

L'étude technique a porté sur l'ensemble des éléments structuraux et fonctionnels de l'échafaudage électrique. Elle comprend :

Le choix du type de tube en acier S235(50×30×1,5 mm),

Le dimensionnement des composants mécaniques (câble, poulie, moteur, roues),

La vérification de la résistance au flambement (avec et sans vibration),

L'évaluation des efforts appliqués sur les différentes parties de la structure.

-Étude économique :

Nous avons mené une étude économique détaillée pour évaluer la valeur industrielle de ce produit. Cette étude comprenait : matières premières, main-d'œuvre, énergie, sous-traitance, et frais généraux.

. Résultats

Les résultats obtenus montrent que le produit est économiquement viable dans une stratégie de production de petite ou moyenne série. Le coût de revient reste contenu, tout en respectant les normes de sécurité.

Le taux de marge observé permet de dégager une rentabilité raisonnable tout en restant compétitif face aux solutions existantes sur le marché.

. Recommandations

-Optimisation de la production :

Réduire les coûts par une standardisation des composants (roues, motorisation).

Achetez des matériaux en gros et obtenez plus de réductions.

Automatisez certaines étapes de fabrication (soudure, découpe) pour réduire la main d'œuvre.

- Amélioration du design :

Intégrer des fonctionnalités supplémentaires (capteurs de charge, sécurités automatiques).

Prévoir une version pliable ou démontable pour faciliter le transport.

Alléger certaines pièces sans compromettre la résistance.

-Mise sur le marché :

Cibler les entreprises de BTP, de maintenance industrielle, ou les loueurs de matériel.

Proposer des options modulables pour différents besoins (version manuelle, motorisée, double hauteur...).

-Évolutions futures :

Étude d'une version en aluminium pour alléger l'ensemble.

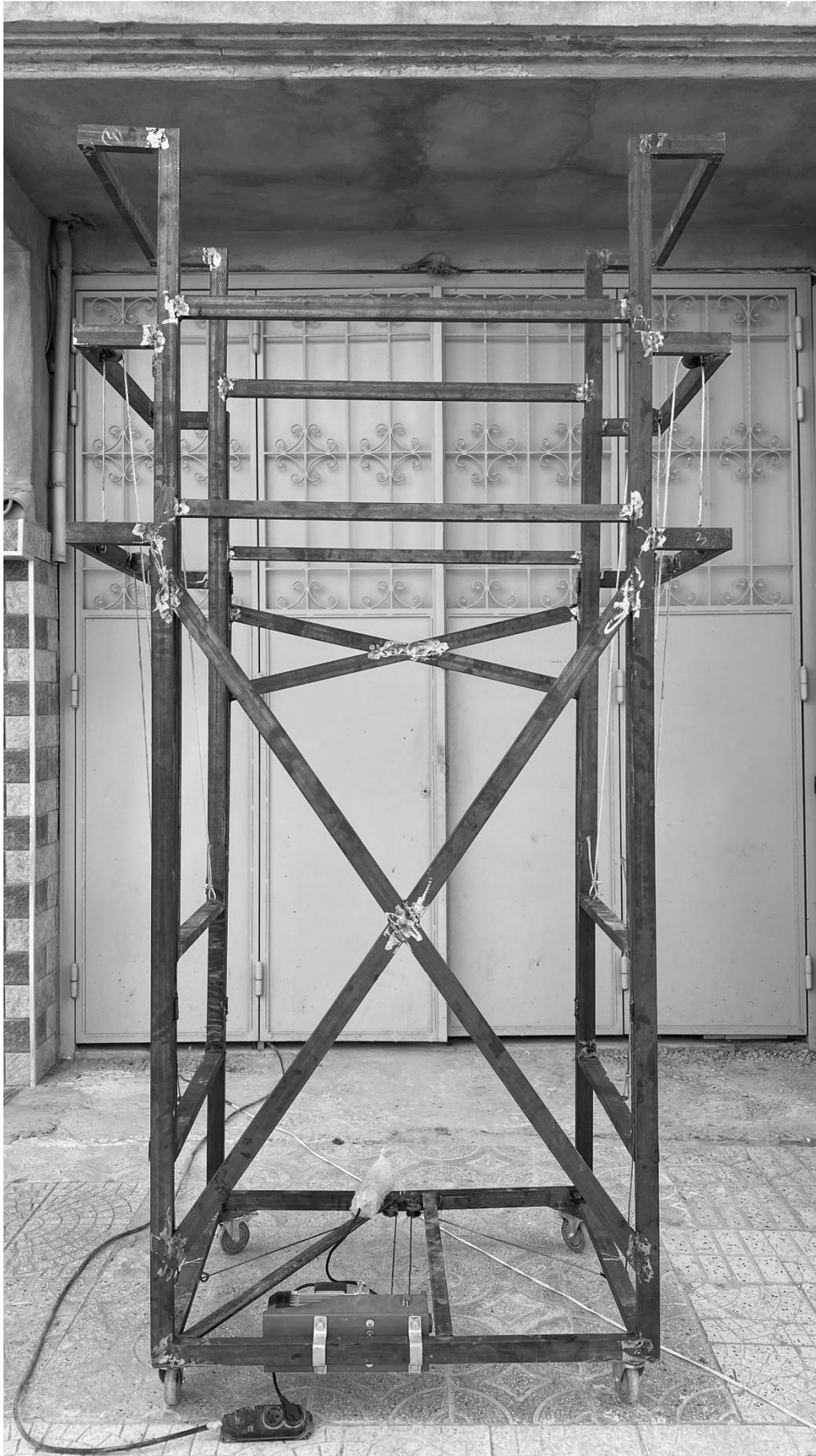
Intégration de batteries lithium pour plus d'autonomie.

Notre projet démontre qu'un produit industriel tel qu'un échafaudage électrique peut être conçu de manière rigoureuse, à la fois sur le plan mécanique et économique, tout en répondant aux besoins réels du marché. Le prototype développé et son étude de rentabilité ouvrent la voie à une industrialisation maîtrisée, avec de bonnes perspectives commerciales, techniques et évolutives.

ANNEXE 1
Photos de modèle expérimentale







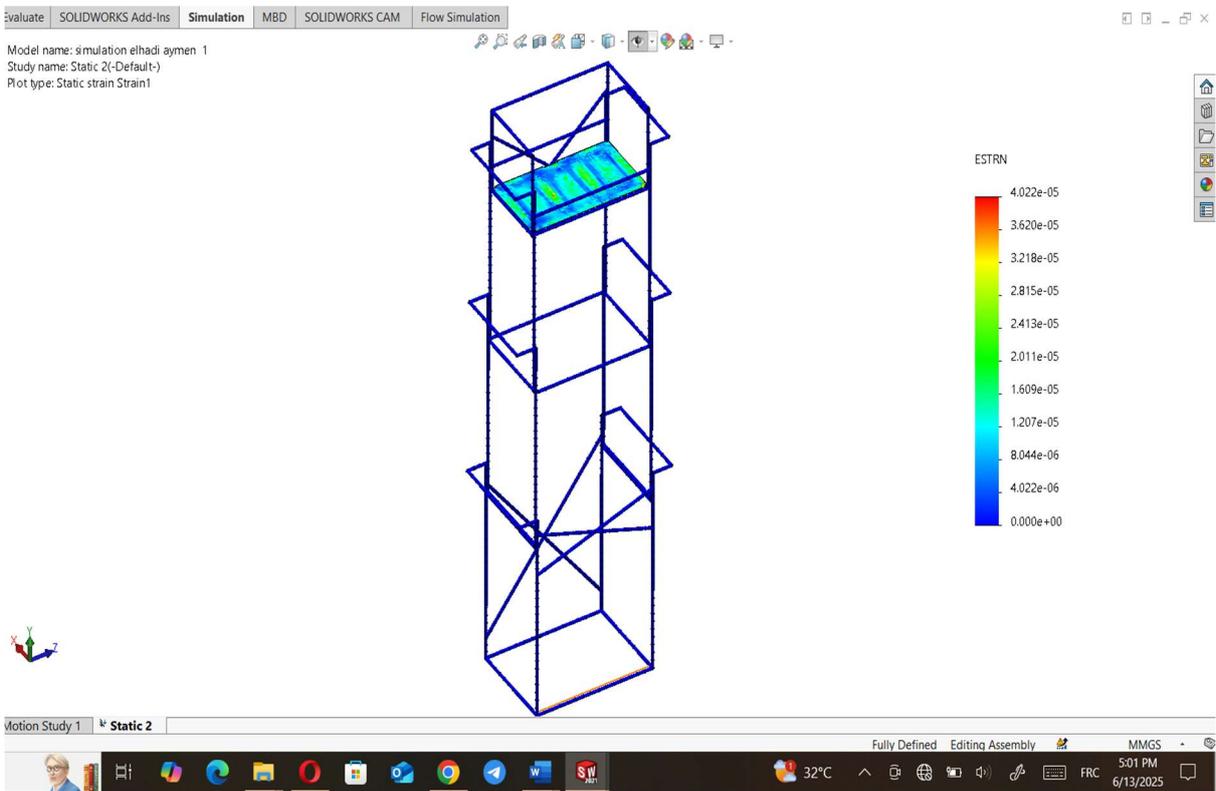
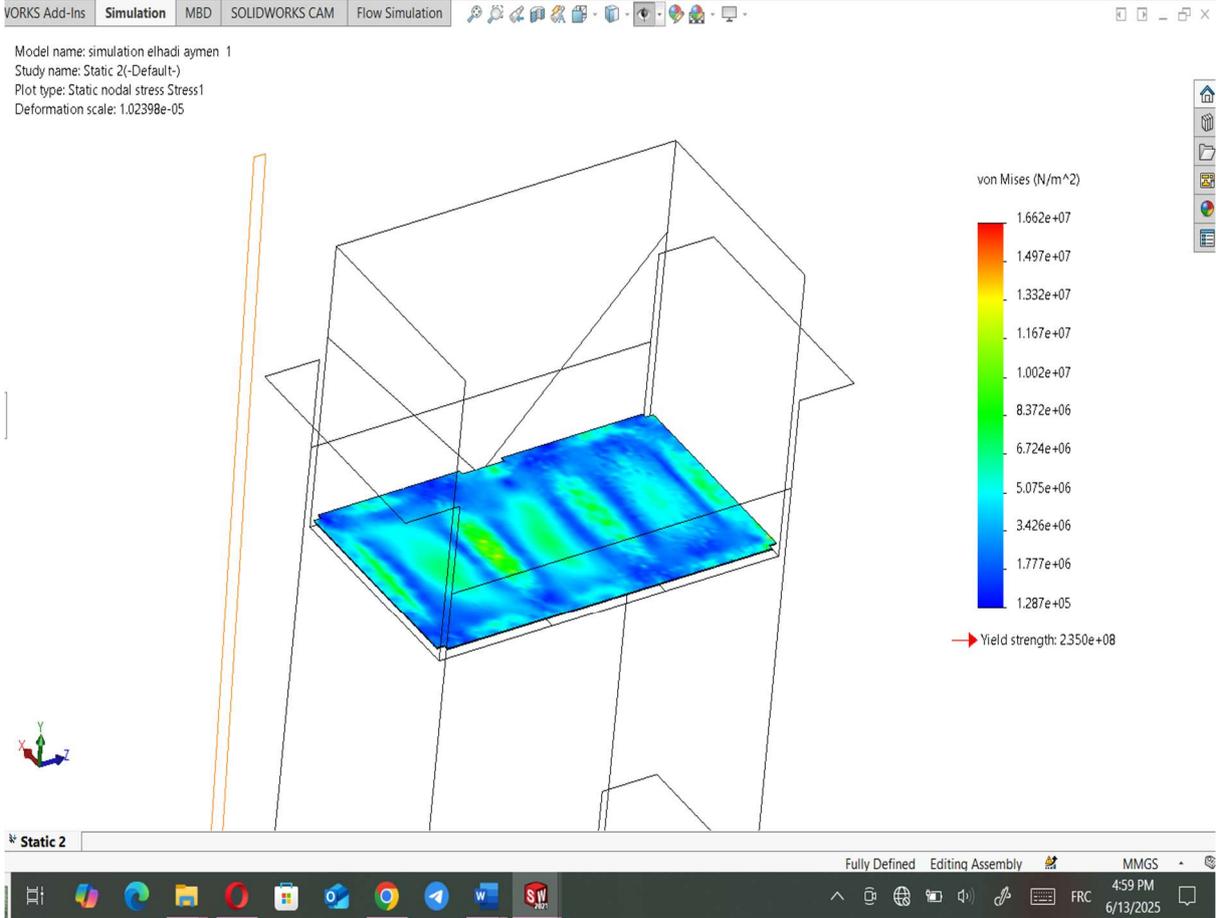


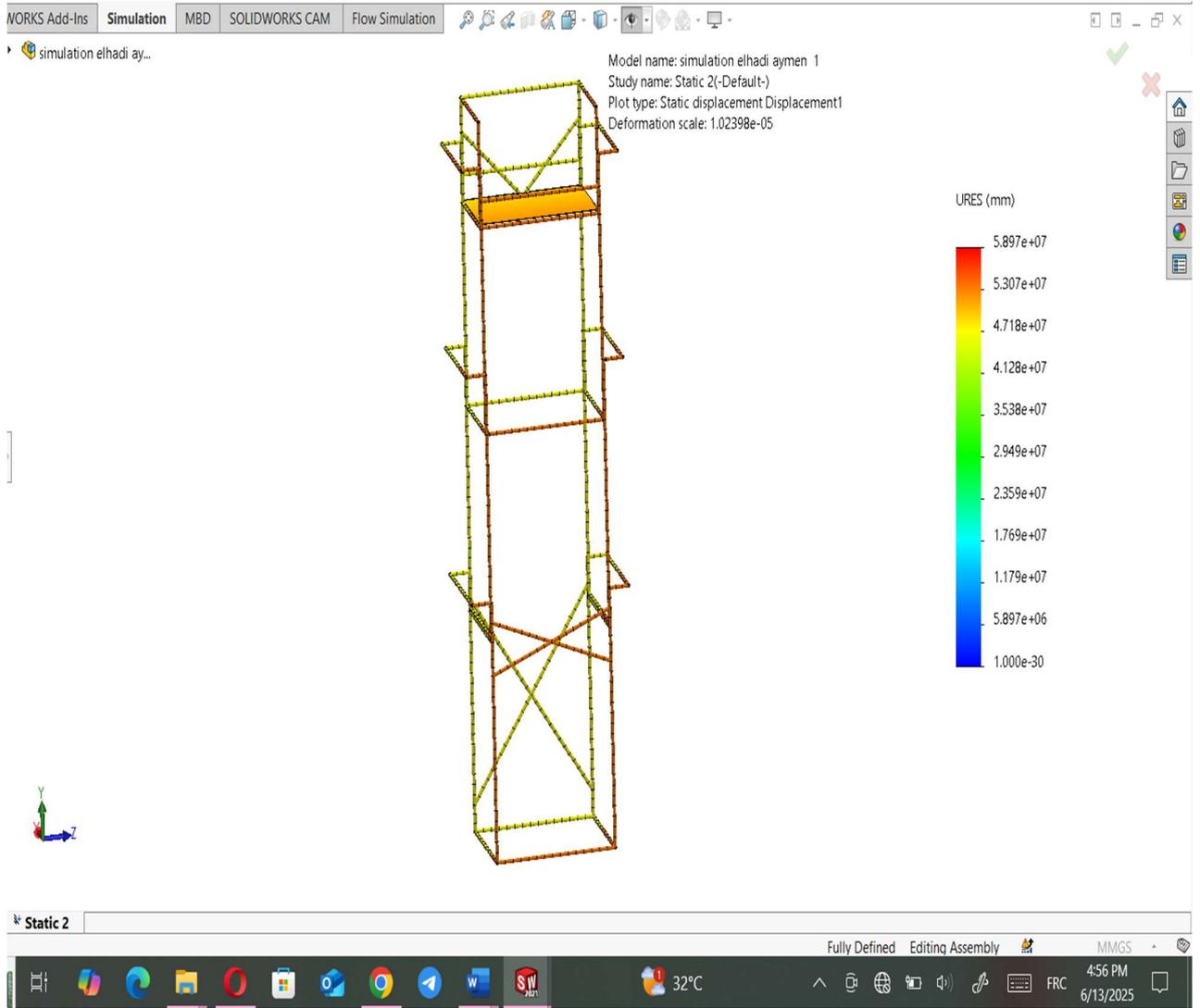






Résultats de simulation (Simulation sur SolidWorks)





Références bibliographiques

- [1] BRIKI hachemi, (janvier 1989). Etude du comportement statique des échafaudages (mémoire du sciences appliquées, université de SHERBROOKE)
- [2] DJEDDOU.O et BALBOUL.S, (2021). Etude mécanique et microstructurale de structure en acier ordinaire E236 soudée par de type de soudage (MIG et électrode enrobée) (mémoire de master, université de M'sila)
- [3] HANIFA marouf, (2012). Caractérisation structurale et mécanique du joint soudé la liaison bimétallique acier ordinaire E36 / acier anti usure NAXTRA70 utilisé par l'unité grue de Bejaia dans l'assemblage de la pelle chargeuse et godet d'excavation (mémoire de magister, université mouloud Mammeri de Tizi Ouzou)
- [4] MOKHTARI riadh, (2021). Etude du flambement des poutre avec prise en charge des défauts géométrique (mémoire de master, université mouloud Mammeri de tizi Ouzou)
- [5] S BENSAADA , Resistance des materiaux (universite Mohamed khider biskra)
- [6] Budynas, R. G., et Nisbett, J.K. (2015). Mechanical Engineering design, 10^e édition.
- [7] Beer, F.P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., et Mazurek, D.F. (2012). Mechanics of Materials, 7^e édition. McGraw-Hill.