

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté du Génie de La Construction
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention de diplôme de Master en génie mécanique

Option : Construction Mécanique

Thème :

**Conception des éléments de liaisons et
assemblage d'une cabine d'ascenseur 450kg**

Présenté par :

Melle. ALBI Lylia
M. ABDALLAH Salim

Dirigé par :

Mme. TEKLAL Fatiha
M. KACIMI Bachir

Promotion : 2024/2025

Remerciements

Ce mémoire constitue l'aboutissement d'un parcours à la fois scientifique, humain et professionnel, marqué par des apprentissages précieux et des expériences enrichissantes. Nous tenons à exprimer, avant tout, notre profonde gratitude à **Allah Tout-Puissant**, pour la réussite et l'assistance qu'Il nous a accordées tout au long de ce chemin.

Nous souhaitons exprimer avant tout notre profonde gratitude à nos encadreurs, **Mme TEKLAL Fatiha** et **M. KACIMI Bachir**, pour leur disponibilité, leurs conseils éclairés, leur rigueur académique ainsi que leur accompagnement scientifique et méthodologique, qui ont largement contribué à la qualité et à la réussite de ce travail.

Nos sincères remerciements vont également à l'entreprise **LD AZOUAOU**, qui nous a offert l'opportunité de réaliser notre stage de fin d'études dans un cadre professionnel enrichissant. Nous remercions particulièrement **M. DEHAL Omar** ainsi que **M. DJIOUA Smail** pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et les moyens mis à notre disposition tout au long de ce stage.

Nous adressons aussi un grand merci aux ingénieurs **Yahia Tibit** et **Anis Yefsah**, dont l'accompagnement généreux, la patience et les explications claires ont été d'une aide précieuse pour mener à bien ce projet.

Nous remercions également **les membres du jury**, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce travail et pour leurs remarques constructives.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à l'ensemble des **enseignants du département de Génie Mécanique de l'Université Mouloud Mammeri**, qui, tout au long de notre parcours, nous ont transmis des connaissances solides et des valeurs fondamentales qui continueront de nous guider dans notre vie professionnelle.

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma chère maman Titem, source de tendresse et de courage. C'est grâce à tes sacrifices et à tes encouragements que j'ai pu poursuivre mes études jusqu'au bout.

Je le dédie à mon cher papa Idriss, qui a tant souffert pour nous offrir une vie meilleure. J'espère qu'un jour je pourrai lui rendre toute la fierté qu'il mérite.

Que Dieu les protège tous les deux et leur accorde santé et longue vie, inch'Allah.

À mes deux chères sœurs, Kamelia et Lyza, mes confidentes de toujours, pour leur affection et leur présence rassurante.

À mes deux chers frères, Zouhir et Mahdi, véritables piliers sur lesquels je peux toujours compter.

À mes tantes et mes oncles, pour leur soutien et leurs prières sincères.

À mes amies Katia, Kenza, Dalia, Lynda et Djouher, avec qui j'ai partagé des rires, des difficultés, des réussites et des souvenirs inoubliables tout au long de ce parcours.

À mon camarade Salim, avec qui j'ai partagé les efforts, les défis et les réussites de ce travail. Sa présence et son soutien ont été d'une grande valeur durant tout ce parcours.

Enfin, je le dédie à toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment, avec toute ma reconnaissance et mon affection sincère.

Lylia

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mes chers parents, pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours.

À ma famille, pour leurs encouragements constants et leur appui moral.

À ma camarade et binôme de mémoire, pour sa précieuse collaboration et son sérieux durant toutes les étapes de ce travail.

À mes enseignants, pour leur encadrement, leurs conseils et les connaissances qu'ils m'ont transmises.

Enfin, à mes amis, pour leur amitié, leur soutien et leurs encouragements qui m'ont accompagné tout au long de cette aventure.

Salim

Sommaire

LISTES DES FIGURES.....	I
LISTES DES TABLEAUX.....	III
LISTES DES SYMBOLES.....	IV
LISTES DES ABRÉVIATIONS	V
PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE.....	VI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ASCENSEURS	3
I.1 INTRODUCTION	4
I.1.1 Définition de l'ascenseur	4
I.1.2 Historique de l'ascenseur.....	5
I.1.3 Du Moyen Âge au XVIIIe siècle	6
I.1.4 L'invention du frein de sécurité (XIXe siècle)	6
I.1.5 Les premiers ascenseurs hydrauliques et électriques.....	7
I.1.6 L'essor des technologies modernes (XXe–XXIe siècle)	8
I.2 CLASSIFICATION DES ASCENSEURS	8
I.2.1 Classification selon l'usage	8
I.2.2 Classification selon le type d'entraînement	10
I.2.3 Classification selon la configuration.....	18
I.3 COMPOSANTS D'UN ASCENSEUR.....	19
I.3.1 Cuvette	21
I.3.2 Gaine.....	22
I.3.3 Cabine	25
I.3.4 Portes palières	29
I.3.5 Accès de maintenance	34
I.4 ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UN SYSTEME ASCENSEUR	36
I.5 CONCLUSION.....	38
CHAPITRE II : CONCEPTION ARCADE ET ASSEMBLAGE DE LA CABINE.....	39
II.1 INTRODUCTION	40
II.2 CONCEPTION ET MISE EN PLANS DE L'ARCADE.....	40
II.2.1 Démontage de l'arcade	42
II.2.2 Modélisation 3D	43
II.2.3 Plans de pliage.....	44

II.2.4 Plans de définition	46
II.2.5 Nomenclature de l'arcade.....	48
II.2.6 Assemblage de l'arcade	51
II.2.7 Gamme de montage de l'arcade	54
II.3 ASSEMBLAGE DE CABINE COMPLETE	55
II.3.1 L'objectif de l'assemblage	56
II.3.2 Assemblage sous SolidWorks.....	58
II.3.3 Choix technologique et cohérence des fixations	59
II.3.4 Visserie utilisée.....	60
II.3.5 Livrables d'assemblage	61
II.3.6 Gamme de montage de la cabine.....	62
II.4 CONCLUSION	63
CHAPITRE III : PROCEDES DE MISE EN ŒUVRE	64
III.1 INTRODUCTION.....	65
III.2 PRESENTATION TECHNIQUE DE LA PIECE ETUDIE	66
III.2.1 Traverse haute de toit	66
III.2.2 Exigences techniques générales	67
III.3 ÉTUDE DU MATERIAU UTILISE : ACIER S235JR.....	67
III.3.1 Présentation générale	67
III.3.2 Norme de référence et classification	68
III.3.3 Composition chimique typique	68
III.3.4 Propriétés mécaniques.....	68
III.3.5 Formes et conditions de livraison	68
III.3.6 Avantages du S235JR dans notre projet.....	69
III.3.7 Limites et précautions	69
III.3.8 Stockage et manutention	69
III.3.9 Justification du choix du S235JR.....	69
III.3.10 Comparaison avec d'autres matériaux	69
III.3.11 Conclusion comparative	70
III.4 CHAINE COMPLETE DE FABRICATION	70
III.4.1 Réception et contrôle des matières premières.....	70
III.4.2 Préparation et manutention interne	72
III.4.3 Découpe laser des pièces.....	74
III.4.4 Réalisation des trous par découpe laser	76

III.4.5 Finition des pièces par meulage	80
III.4.6 Pliage des pièces	82
III.4.7 Application de la peinture	91
III.4.8 Contrôle final et expédition.....	96
III.5 PROCÉDES NON UTILISÉS ET JUSTIFICATION	97
III.5.1 Tableau récapitulatif.....	98
III.6 GAMME D'USINAGE COMPLÈTE – EXEMPLE DU TRAVERSE HAUTE TOIT	98
III.6.1 Présentation de la pièce	98
III.6.2 Plans et visualisation	99
III.6.3 Gamme de Fabrication	100
III.7 CONCLUSION	103
CHAPITRE IV : MAINTENANCE DES ASCENSEURS	104
IV.1 INTRODUCTION	105
IV.2 TYPES ET EXIGENCES DE MAINTENANCE DES ASCENSEURS	105
IV.2.1 Maintenance préventive.....	106
IV.2.2 Maintenance corrective	107
IV.2.3 Maintenance prédictive	108
IV.2.4 Maintenance conditionnelle.....	110
IV.2.5 Synthèse des types de maintenance.....	111
IV.3 NORMES ET RÉGLEMENTATIONS DE LA MAINTENANCE DES ASCENSEURS	111
IV.3.1 Normes internationales et européennes	111
IV.3.2 Réglementations nationales (cas de la France et de l'Algérie).....	111
IV.3.3 Carnet d'entretien et suivi réglementaire	112
IV.3.4 Exigences de sécurité liées à la maintenance	112
IV.3.5 Évolutions récentes : vers la maintenance prédictive.....	113
IV.4 OUTILS ET MÉTHODES DE MAINTENANCE.....	113
IV.4.1 Outils de diagnostic	113
IV.4.2 Suivi et traçabilité des interventions (rapports, GMAO, applications connectées).....	114
IV.5 CONCLUSION	118
CONCLUSION GÉNÉRALE	124
BIBLIOGRAPHIE	127

Liste des Figures

Figure I.1: Évolution de l'ascenseur.....	5
Figure I.2: Système de levage du Colisée (Rome, 1er siècle).	6
Figure I.3: Démonstration du frein de chute par Elisha OTIS au Crystal en 1854.....	7
Figure I.4: Ascenseur hydraulique en 1867.	7
Figure I.5: Ascenseur pour personnes.....	9
Figure I.6: Ascenseur de charge.	9
Figure I.7: Monte-plats et ascenseurs spéciaux.	10
Figure I.8: Schéma illustratif du principe des pompes hydrauliques.....	10
Figure I.9: Diffèrent ascenseurs hydrauliques.	11
Figure I.10: Principaux formats de pompe à vide pour ascenseurs pneumatiques.....	13
Figure I.11: Ascenseur à moteur treuil & Ascenseur à moteur à attaque directe.....	15
Figure I.12: Moteur-treuil à vis sans fin.	15
Figure I.13: Moteur-treuil planétaire.	16
Figure I.14 : Moteur à attaque directe (Gearless Classique).....	16
Figure I.15: La Machinerie.	18
Figure I.16: Ascenseur sans local de machinerie.....	19
Figure I.17: Composants d'ascenseur à traction.	20
Figure I.18: Amortisseurs de fin de course.....	21
Figure I.19: Interrupteur d'arrêt.	22
Figure I.20: Boite de coupure générale.....	22
Figure I.21: Gaine d'ascenseur.	23
Figure I.22: Câbles de traction.....	23
Figure I.23: blocs de lest (masselottes) en fonte insérés dans le cadre du contrepoids.	24
Figure I.24: Contrepoids.	24
Figure I.25: Composants de la cabine.....	25
Figure I.26: Arcade de cabine supportant l'opérateur de porte.	26
Figure I.27: Boite d'inspection.....	27
Figure I.28: Principe de parachute.....	27
Figure I.29: Opérateur de porte cabine.	28
Figure I.30 : Limiteur de vitesse.	28
Figure I.31: Panneau de commande cabine.	28
Figure I.32: Porte automatique (glissantes).	29
Figure I.33: Porte battante.	30

Figure I.34: Mécanismes d'ouverture de portes palières.	31
Figure I.35: Armoire de commande.....	33
Figure I.36: Tableau de protection et coupure.	34
Figure I.37: Schéma explicatif du mécanisme de levage d'un ascenseur.	36
Figure II.1: Schéma illustratif des étapes de conception et d'assemblage d'une cabine.....	40
Figure II.2: Vue d'ensemble de l'arcade.....	41
Figure II.3: Démontage de l'arcade d'ascenseur.	42
Figure II.4: Exemple de modélisation 3D d'une pièce de l'arcade sous SolidWorks.	43
Figure II.5: Exemple de plan de pliage généré à partir de la modélisation.	45
Figure II.6: Plans de définition d'un composant de l'arcade.....	47
Figure II.7: Plan d'assemblage de l'arcade.	53
Figure II.8: Cabine d'ascenseur assemblée par le logiciel SolidWorks.	55
Figure II.9: Plan d'assemblage de la cabine complète.	57
Figure III.1: Vue isométrique de la traverse haute de toit.	66
Figure III.2 : Inspection visuelle des tôles à la réception.....	70
Figure III.3 : Transport interne des tôles d'acier à l'aide d'un chariot élévateur Clark.	73
Figure III.4 : Machine de découpe laser fibre Trumpf TruLaser 3030 en atelier.	74
Figure III.5: Machine TruLaser 3030 en fonctionnement lors de la découpe d'une tôle.....	76
Figure III.6: Plans complets de perçage.	78
Figure III.7: Présente une capture d'écran des fichiers de découpe laser.	79
Figure III.8: Meuleuse portative en action sur une pièce métallique.	80
Figure III.9: Machine de pliage Trumpf Trubend 5230.....	83
Figure III.10: Visualisation de la séquence de pliage sur l'écran de la machine.	84
Figure III.11: Plan PLPP-001 traverse haute toit V02.....	86
Figure III.12: Réalisation de plie 01 (F).....	88
Figure III.13: Réalisation de plie 02 (F).....	89
Figure III.14: Réalisation de plie 03 (F).....	89
Figure III.15: Réalisation de plie 04 (F).....	90
Figure III.16 : Fin de Pliage de la traverse haute de toit.	91
Figure III.17: Méthode de thermolaquage.....	92
Figure III.18: Méthode de peinture liquide au pistolet.....	92
Figure III.19: Méthode de Cataphorèse.....	93
Figure III.20: Méthode de la peinture liquide cuite au four.	94
Figure III.21: Le thermolaquage.	95
Figure III.22: Visualisation de plan PLPP001.....	99

Figure IV.1 : Importance et typologie de la maintenance des ascenseurs.....	105
Figure IV.2 : Exemple d'intervention de maintenance préventive	106
Figure IV.3 : Exemple d'intervention corrective dans la gaine d'ascenseur.....	107
Figure IV.4 : Illustration d'une maintenance prédictive par surveillance connectée.....	109
Figure IV.5 : Mesure de la tension des câbles dans le cadre d'une maintenance conditionnelle. ..	110
Figure IV.6 : Exemple de suivi administratif	112
Figure IV.7 : Technicien utilisant un outil numérique de diagnostic lors d'une maintenance.	113
Figure IV.8 : Carnet d'entretien papier des ascenseurs.....	115
Figure IV.9 : l'Interface de logiciel de GMAO sur ordinateur.....	116
Figure IV.10 : Applications mobiles et IoT pour la maintenance.	117
Figure IV.11 : Illustration des capteurs IoT ou dashboard prédictif.	117

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Nomenclature (BOM) de l'arcade.....	50
Tableau III.1 : Comparaison avec d'autres matériaux.	69
Tableau III.2 : Procédés non utilisés et justification.	98
Tableau IV.1 :Types de maintenance.	111

Liste des Symboles

\emptyset	Diamètre	mm
V	Vitesse de déplacement	m/s
g	Accélération de la pesanteur	m/s ²
Ecâble	Module de Young du câble	MPa
Ftraction	Force de traction dans le câble	N
Pcp	Masse du contrepoids	kg
Pm	Masse à vide de la cabine	kg
Q	Charge nominale de l'ascenseur	kg
Pmoteur	Puissance du moteur	kW
M	Masse totale supportée par le moteur	kg
HDN	Hauteur du dernier niveau	mm
Pc	Profondeur de la cuvette	mm
L	Largeur de la gaine	mm
P	Profondeur de la gaine	mm
H	Hauteur (plans)	mm

Liste d'abriviations

Abréviation	Définition
NF EN 81-77	Norme européenne relative à la sécurité des ascenseurs en cas de séismes
EN 81-70 :2021	Norme européenne sur l'accessibilité des ascenseurs, y compris pour PMR
NF EN 81-20	Norme européenne sur la construction et sécurité des ascenseurs
NF EN 81-50	Norme européenne sur les calculs et essais de sécurité
2014/33/UE	Directive européenne relative aux ascenseurs et composants de sécurité
PMR	Personnes à Mobilité Réduite
PVC	Polychlorure de vinyle
PVE	Pneumatic Vacuum Elevator : ascenseur pneumatique à dépression
Gearless	Système d'ascenseur sans réducteur
Geared	Système d'ascenseur avec réducteur
MRL	Machine Room-Less : ascenseur sans local des machines
LOP	Landing Operating Panel : pupitre de commande aux paliers
COP	Car Operating Panel : pupitre de commande en cabine
LED	Light Emitting Diode : diode électroluminescente
Lux	Unité d'éclairage lumineux
ERP	Établissement Recevant du Public
API	Application Programming Interface
3D	Trois dimensions (modélisation volumique)
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
CNC	Computer Numerical Control : commande numérique
PDM	Product Data Management : gestion des données produit
DXF	Drawing Exchange Format
STEP	Standard for the Exchange of Product Data
PLPP	Plan de Lancement et de Pilotage de Projet
PTPP	Plan de Travail Prévisionnel de Projet
GMAO	Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur
IoT	Internet of Things : Internet des objets
S235JR	Acier de construction normalisé (EN 10025)
DIN	Deutsches Institut für Normung
ISO 128	Norme internationale sur la présentation des dessins techniques
EN 10025-2 :2019	Norme européenne sur les aciers de construction
Qty	Quantité

Présentation de l'entreprise

i. Introduction

L'entreprise **EURL LD Azouaou**, créée en 2009, est une société algérienne qui s'est imposée progressivement comme un acteur majeur dans le domaine de la mécanique de précision et du machinisme. Dès ses débuts, elle s'est distinguée en devenant **le représentant officiel en Algérie de la société indienne Mahindra & Mahindra**, l'un des plus grands constructeurs mondiaux de tracteurs agricoles. Cette collaboration a marqué une première étape importante dans le développement de l'entreprise, en lui permettant d'acquérir une expertise dans le domaine du montage et de la distribution de véhicules industriels et agricoles.

Au fil des années, et grâce à une politique d'investissement ambitieuse, l'entreprise a élargi ses activités vers la **fabrication mécanique de précision**, en intégrant des équipements modernes de découpe, d'usinage et de pliage. Aujourd'hui, EURL LD Azouaou ne se limite plus au secteur agricole, mais s'oriente également vers des projets innovants à forte valeur ajoutée, notamment la **conception et la production de pièces pour ascenseur**.



EURL LD Azouaou.

ii. **Historique de la société**

Depuis sa création en **2009**, l'entreprise EURL LD Azouaou avait pour mission initiale de fournir des biens et services dans le domaine du **machinisme agricole**. En **2010**, elle franchit une étape décisive en devenant le **représentant officiel de Mahindra & Mahindra en Algérie**, assurant la commercialisation et le montage de tracteurs agricoles de renommée internationale.

En **2014**, l'entreprise engage un vaste **projet d'investissement** dans l'industrie mécanique, visant à doter ses ateliers d'un **parc machines de dernière génération** (découpe laser, centres d'usinage, presses plieuses CNC, lignes de soudure). Ce projet a jeté les bases de la diversification de ses activités et de son indépendance industrielle.

En **2017**, une **unité d'assemblage et de montage de tracteurs Mahindra** est mise en service, avec une capacité annuelle de 3 000 unités, renforçant le rôle de l'entreprise comme acteur clé du secteur agricole en Algérie.

En **2021**, une nouvelle étape stratégique est amorcée : l'entreprise se lance dans la **conception et la fabrication de pièces destinées aux ascenseurs**. Ce projet, initié par la modélisation DAO (DXF, STEP), a progressivement évolué vers la production de composants mécaniques essentiels.

Ainsi, EURL LD Azouaou illustre un parcours de **diversification réussie**, passant d'un acteur agricole reconnu grâce à Mahindra à un industriel polyvalent tourné vers les technologies modernes et les besoins émergents du marché algérien.

iii. **Organigramme de l'unité de production**

L'entreprise EURL LD Azouaou repose sur une structure organisée et hiérarchisée permettant une gestion efficace de la production et un suivi rigoureux des opérations. L'organigramme comprend plusieurs pôles essentiels :

- **Responsable de la production** : supervise l'ensemble des ateliers et veille au respect des délais et de la qualité ;
- **Laboratoire d'évaluation et d'exécution** : assure les essais et le contrôle qualité des produits;
- **Bureau d'études** : conçoit les pièces mécaniques et prépare les dossiers techniques (plans DAO, gammes d'usinage, etc.) ;

- **Ateliers de fabrication** : regroupent les unités de découpe, pliage, usinage, soudure et montage ;
- **Centre de traitement des surfaces** : dédié aux opérations de protection et de finition (meulage, peinture, thermolaquage) ;
- **Services supports** : informatique, maintenance, entretien et sous-traitance, qui garantissent la continuité des opérations.

Cette organisation assure une **complémentarité des services**, permettant à l'entreprise de gérer efficacement des projets complexes allant de la conception jusqu'au produit final.

iv. **Parc machine**

EURL LD Azouaou dispose d'un **parc machines moderne et diversifié**, équipé pour répondre aux besoins de l'industrie mécanique. Parmi les équipements majeurs, on retrouve :

- **Guillotine AMADA** : utilisée pour la découpe des tôles avec une grande précision et une rigidité optimale, permettant des coupes droites et nettes ;
- **Centre d'usinage de tôle FICEP Gemini** : machine polyvalente permettant la découpe thermique, le marquage, le perçage, le taraudage et le chanfreinage sur un même poste ;
- **Centre de découpe laser TRUMPF TruLaser 3030 Fiber** : une machine de haute précision permettant la découpe de tôles avec rapidité et exactitude, en intégrant directement trous et contours à partir du fichier DAO ;
- **Presse plieuse CNC TRUMPF TruBend 5230** : dédiée aux opérations de pliage des tôles, capable de réaliser des plis complexes avec une commande numérique de grande précision ;
- **Poste de soudage MIG/MAG Qineo Basique 450** : utilisé pour l'assemblage de pièces mécaniques nécessitant une soudure résistante.

L'ensemble de ce parc machine permet à l'entreprise de **maîtriser l'intégralité du processus de production**, depuis la découpe initiale des tôles jusqu'au pliage, à l'assemblage et à la finition.

v. **Organisation**

L'organisation interne de l'entreprise repose sur une logique de **flux intégré** :

1. **Conception** : le bureau d'études élabore les plans et modèles DAO (DXF, STEP) ;
2. **Préparation** : le laboratoire et les services techniques définissent la gamme d'usinage et choisissent les procédés adaptés ;

3. **Fabrication** : les pièces passent successivement par la découpe laser, le meulage, le pliage et, si nécessaire, le soudage ;
4. **Assemblage** : les éléments sont montés en atelier pour former des sous-ensembles ou des structures complètes (exemple : arcade d'ascenseur) ;
5. **Contrôle qualité** : chaque pièce est vérifiée selon les normes internationales (EN 10025-2, EN 10204, ISO 2768, ISO 2409) ;
6. **Finition et expédition** : application de revêtements (thermolaquage), puis mise à disposition pour montage ou livraison.

Cette organisation garantit à la fois **rigueur, traçabilité et qualité**, ce qui permet à EURL LD Azouaou de répondre aux standards internationaux et de satisfaire les besoins variés de ses clients.

vi. **Conclusion**

En résumé, l'entreprise **EURL LD Azouaou** s'est distinguée par une évolution progressive et maîtrisée. Partie d'un partenariat agricole avec la marque **Mahindra & Mahindra**, elle a su élargir son champ d'activité pour intégrer progressivement la **conception et la fabrication de pièces d'ascenseur**. Cette diversification témoigne de sa capacité d'adaptation et de sa volonté d'innovation.

Avec une organisation interne bien structurée et un **parc machines moderne** (découpe laser, centres d'usinage, presses plieuses, etc.), l'entreprise dispose aujourd'hui de toutes les compétences nécessaires pour répondre à des besoins industriels variés, tout en respectant les normes internationales de qualité et de sécurité.

Cette présentation permet ainsi de mieux situer le rôle de l'entreprise dans le cadre de notre projet, et ouvre la voie à l'étude détaillée des **procédés de mise en œuvre et de la gamme d'usinage** des pièces de l'armature d'ascenseur, qui seront abordés dans la suite de ce travail.

Introduction Générale

Introduction Générale

L'ascenseur constitue aujourd'hui un moyen de transport vertical incontournable dans les bâtiments modernes, qu'ils soient à usage résidentiel, administratif ou industriel. Au-delà de sa fonction utilitaire, il est au cœur d'enjeux majeurs liés à la sécurité des usagers, à la fiabilité technique et au confort d'utilisation. La généralisation des constructions en hauteur, dans le cadre d'une urbanisation croissante, n'a fait qu'accroître son importance et son rôle stratégique dans la vie quotidienne. La conception et l'assemblage des différentes parties d'un ascenseur doivent ainsi répondre à des normes strictes, telles que la NF EN 81-20 et la NF EN 81-50, qui encadrent la conception, l'installation et l'entretien de ces équipements.

Dans ce contexte, l'assemblage final de la cabine complète représente une étape déterminante puisqu'il ne s'agit pas seulement de réunir les pièces de manière cohérente et rigide, mais aussi de garantir leur conformité normative et leur fiabilité en exploitation. Parmi ces composants, l'arcade occupe une place centrale, car elle assure la liaison et la stabilité de l'ensemble. La complexité de sa structure et les exigences de précision qu'elle impose justifient le recours à une démarche de rétro-ingénierie, qui consiste à analyser un système existant à travers le démontage, l'étude et la reconstruction, afin de comprendre en profondeur son fonctionnement et d'optimiser sa conception.

Cette approche nous a permis d'appréhender concrètement le cycle de vie de l'ascenseur et de relier la théorie aux pratiques industrielles. Notre travail s'est ainsi orienté vers l'assemblage final de la cabine complète, réalisé conformément aux normes en vigueur, ainsi que vers l'étude détaillée de l'arcade, choisie comme élément représentatif pour mettre en évidence les procédés de conception, d'usinage et d'assemblage applicables à l'ensemble de la structure.

Au-delà de ces axes, notre étude s'inscrit dans une démarche globale considérant que la fiabilité d'un ascenseur repose sur l'ensemble du processus allant de la conception à la maintenance, en intégrant à chaque étape les contraintes normatives, les choix techniques et les procédés de fabrication nécessaires pour assurer un fonctionnement sûr et conforme aux exigences de l'industrie.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre présente les généralités sur les ascenseurs, leurs composants essentiels ainsi que les normes qui encadrent leur implantation et leur utilisation. Le deuxième chapitre est consacré à la conception de l'arcade et à l'assemblage final de la cabine complète. Le troisième chapitre développe les procédés de mise en œuvre et la gamme d'usinage d'une pièce représentative de l'arcade, en l'occurrence la traverse haute de toit. Enfin, le quatrième chapitre aborde la maintenance, qui constitue un levier fondamental pour assurer la durabilité et la sécurité du système.

Ce travail se termine par une synthèse générale qui récapitule les principales étapes et ouvre des perspectives pour de futurs développements.

Chapitre I : Généralités sur les ascenseurs

I.1 Introduction

L'ascenseur est aujourd'hui un élément incontournable de l'architecture moderne. Au-delà de sa fonction première, qui est de relier les différents niveaux d'un bâtiment, il représente un véritable outil de confort et d'accessibilité pour tous les usagers. Qu'il s'agisse d'immeubles résidentiels, d'hôpitaux, de bâtiments publics ou encore d'installations industrielles, il s'impose comme une solution pratique et indispensable à la mobilité verticale.

Si son usage s'est généralisé, c'est en grande partie grâce à l'évolution des modes de construction et aux exigences accrues en matière de fonctionnalité et de sécurité. L'optimisation des espaces, la hausse du nombre d'étages dans les bâtiments et les normes d'accessibilité ont contribué à placer l'ascenseur au cœur des projets architecturaux. En plus de faciliter les déplacements, il participe à la qualité de vie dans les bâtiments et joue un rôle important dans la conformité aux réglementations actuelles.

Ce premier chapitre a pour objectif d'apporter une vision d'ensemble sur les ascenseurs. Plusieurs axes de réflexion y sont développés :

- Définir ce qu'est un ascenseur et préciser son rôle dans un bâtiment ;
- Retracer son évolution historique, des premières formes de levage aux technologies contemporaines ;
- Présenter les principaux types d'ascenseurs selon leur usage et leur mode de fonctionnement ;
- Identifier leurs composants essentiels et comprendre leur organisation dans l'espace ;
- Enfin, expliquer les grandes étapes de fonctionnement, depuis l'appel de la cabine jusqu'à l'arrivée à l'étage souhaité.

I.1.1 Définition de l'ascenseur

Un ascenseur est un appareil de transport vertical permettant le déplacement de personnes ou de charges entre les différents niveaux d'un bâtiment, au moyen d'une cabine guidée dans une gaine fermée [1].

Sa structure typique comprend une cabine suspendue ou supportée, des systèmes de guidage, de suspension, de manœuvre, des portes palières et de cabine, ainsi qu'un système de commande électronique [2].

Il peut être actionné par différents principes mécaniques, notamment à traction (via des câbles et poulie motrice), hydraulique (grâce à un vérin et fluide sous pression), ou plus récemment pneumatique, selon les contraintes d'installation et le type d'usage [3].

Outre sa fonction de levage, l'ascenseur constitue un maillon essentiel dans l'accessibilité et le confort des bâtiments contemporains. Il permet notamment de répondre aux besoins croissants de mobilité, notamment pour les personnes à mobilité réduite (PMR), en conformité avec la norme NF EN 81-70 :2021, qui fixe les exigences d'accessibilité [4].

La réglementation européenne encadre strictement la conception, l'installation et l'entretien des ascenseurs neufs afin d'assurer une sécurité maximale aux utilisateurs. En particulier, la directive Ascenseurs 2014/33/UE et les normes harmonisées NF EN 81-20 et 81-50 définissent les exigences fondamentales pour tout appareil mis en service dans l'Union européenne [5].

I.1.2 Historique de l'ascenseur

I.1.2.1 Origines antiques

L'histoire de l'ascenseur remonte à l'Antiquité, où les premières formes de levage mécanique rudimentaire apparaissent sous forme de plateformes actionnées à la main ou par des systèmes de poulies. Archimède aurait conçu vers 236 av. J.-C. un dispositif basé sur un tambour, une corde et une poulie pour élever des charges verticalement, considéré par certains comme l'un des ancêtres mécaniques des ascenseurs modernes [6].

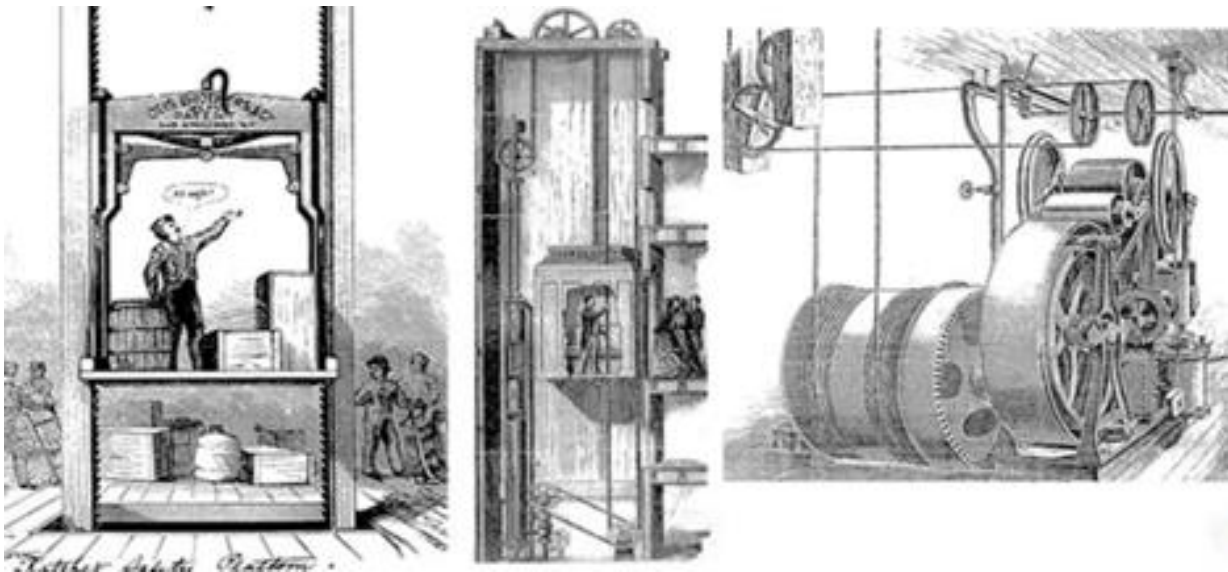


Figure I.1: Évolution de l'ascenseur.

Au Ier siècle, dans l'Empire romain, des plateformes élévatrices mues par des systèmes de treuils à cordes étaient utilisées dans le Colisée pour faire apparaître des fauves ou des gladiateurs sur scène.

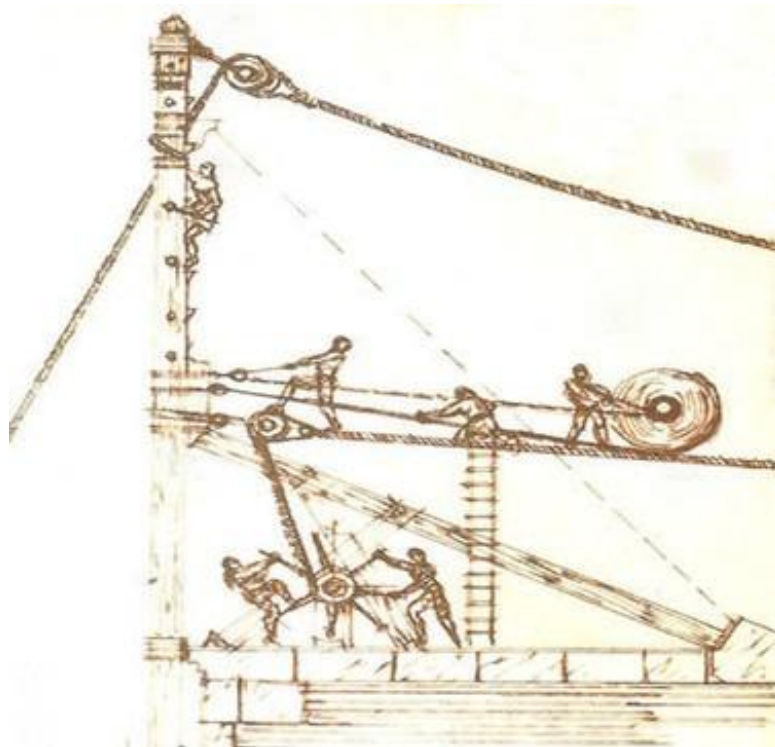


Figure I.2: Système de levage du Colisée (Rome, 1er siècle).

Ce système nécessitait la force humaine ou animale et reposait sur des tambours, leviers et contrepoids [7].

I.1.3 Du Moyen Âge au XVIIIe siècle

Au Moyen Âge, les monastères, châteaux et fortifications faisaient usage de treuils ou de paniers suspendus pour le transport de charges ou de personnes sur les remparts. Un exemple connu est celui du monastère de Sainte-Catherine, au Mont Sinaï, qui utilisait un panier suspendu à une corde pour hisser les visiteurs [7].

Au XVIIIe siècle, des dispositifs plus élaborés font leur apparition. Louis XV fit installer au château de Versailles un « fauteuil volant », une plateforme actionnée manuellement, permettant à sa favorite de circuler discrètement entre ses appartements situés à des étages différents [8].

I.1.4 L'invention du frein de sécurité (XIXe siècle)

Le véritable tournant technologique se produit au XIXe siècle avec la révolution industrielle. En 1853, l'Américain Elisha Graves Otis invente le premier dispositif de sécurité antichute pour ascenseur. Lors d'une démonstration au Crystal Palace de New York, il coupa la corde d'une plateforme sur laquelle il se tenait, prouvant l'efficacité de son système à frein automatique [9].

En 1857, Otis installe le premier ascenseur à usage public dans le magasin E.V. Haughwout Building à New York. Cet ascenseur fonctionnait à la vapeur et transportait les clients entre cinq étages, marquant la naissance officielle de l'ascenseur de passagers [10].

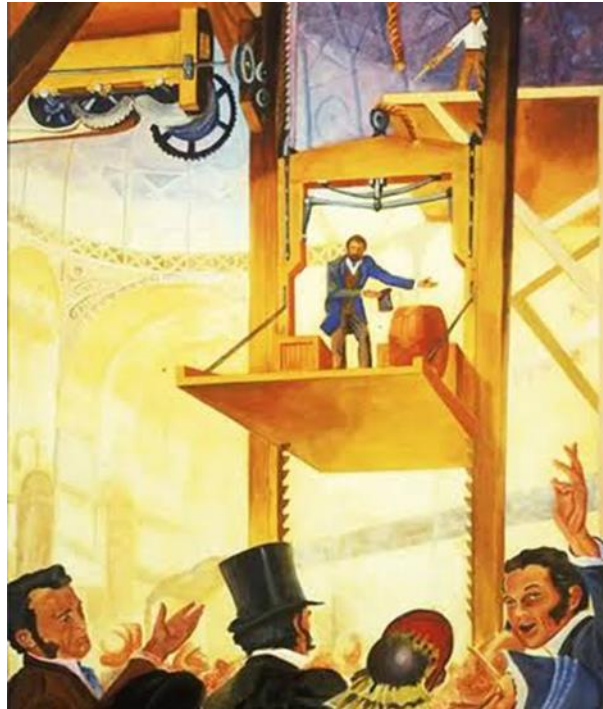


Figure I.3: Démonstration du frein de chute par Elisha OTIS au Crystal en 1854.

I.1.5 Les premiers ascenseurs hydrauliques et électriques

En 1867, Léon Édoux, ingénieur français, présente à l'Exposition universelle de Paris un ascenseur hydraulique fonctionnant avec un vérin alimenté en eau sous pression. Bien que plus fiable que les modèles à vapeur, il était limité à des faibles hauteurs en raison de la longueur du vérin [11].



Figure I.4: Ascenseur hydraulique en 1867.

La fin du XIXe siècle voit l'introduction des premiers ascenseurs électriques. En 1880, Werner von Siemens construit le premier modèle alimenté par un moteur électrique. Cette technologie va rapidement supplanter la vapeur et l'hydraulique dans les bâtiments à grande hauteur, donnant naissance à l'ère des gratte-ciels [7].

I.1.6 L'essor des technologies modernes (XXe–XXIe siècle)

Au XXe siècle, l'ascenseur devient un système hautement technique. L'électrification, l'introduction des moteurs à courant continu puis alternatif, l'arrivée des commandes automatiques, des portes coulissantes automatiques et des dispositifs de sécurité redondants révolutionnent son fonctionnement et son confort [12].

Aujourd'hui, les systèmes modernes incluent des ascenseurs sans salle des machines (MRL), des moteurs sans réducteur (gearless), et des commandes intelligentes de gestion du trafic. Des innovations comme le système MULTI de TK Elevator (déplacement horizontal et vertical sans câbles) préfigurent une nouvelle ère de mobilité verticale [13].

I.2 Classification des ascenseurs

Les ascenseurs peuvent être classés selon plusieurs critères : leur fonction principale (transport de personnes, de charges, etc.), leur principe d'entraînement (électrique ou hydraulique), ou encore la manière dont les équipements techniques sont intégrés dans le bâtiment. Cette classification aide à choisir la solution adaptée à chaque contexte architectural, fonctionnel et économique [14].

I.2.1 Classification selon l'usage

Cette classification distingue les ascenseurs en fonction du type de charge transportée et du domaine d'application. On différencie principalement les ascenseurs destinés aux passagers, ceux conçus pour des charges mixtes (personnes et petits objets), ainsi que les ascenseurs réservés au transport de marchandises. [14].

I.2.1.1 Ascenseur pour personnes

Ce type d'ascenseur est le plus courant. Il est conçu pour le transport vertical sécurisé de passagers. Il doit respecter des exigences strictes en matière de confort, d'accessibilité (notamment pour les personnes à mobilité réduite) et de sécurité. Il peut être utilisé dans les immeubles résidentiels, de bureaux ou dans les établissements publics [15].



Figure I.5: Ascenseur pour personnes.

I.2.1.2 Ascenseur de charge

Ce type d'ascenseur est destiné au transport de marchandises, de palettes, de caisses ou d'objets lourds dans des environnements comme les entrepôts, usines, hôtels ou centres commerciaux.



Figure I.6: Ascenseur de charge.

Certains ascenseurs de charge peuvent transporter un opérateur accompagnant, ce qui impose le respect partiel des règles des ascenseurs de personnes [16].

I.2.1.3 Monte-plats et ascenseurs spéciaux

Les monte-plats, utilisés dans la restauration ou les bibliothèques, sont des appareils de petite taille destinés au transport de charges légères. D'autres ascenseurs spéciaux sont conçus pour des conditions particulières : zones sismiques (NF EN 81-77), milieux exposés au vandalisme [17].



Figure I.7: Monte-plats et ascenseurs spéciaux.

I.2.2 Classification selon le type d'entraînement

Cette classification repose sur le principe technique utilisé pour déplacer la cabine dans la gaine :

I.2.2.1 Ascenseur hydraulique

L'ascenseur hydraulique est un dispositif de levage vertical dont le principe repose sur la mise en pression d'un fluide pour faire monter la cabine. Contrairement aux ascenseurs électriques à traction, il ne nécessite ni câble, ni poulie, ni contrepoids. Ce système est particulièrement adapté aux bâtiments de faible à moyenne hauteur, tels que les habitations collectives, les établissements de santé ou les bâtiments publics ne dépassant généralement pas cinq niveaux [16] ; [18].

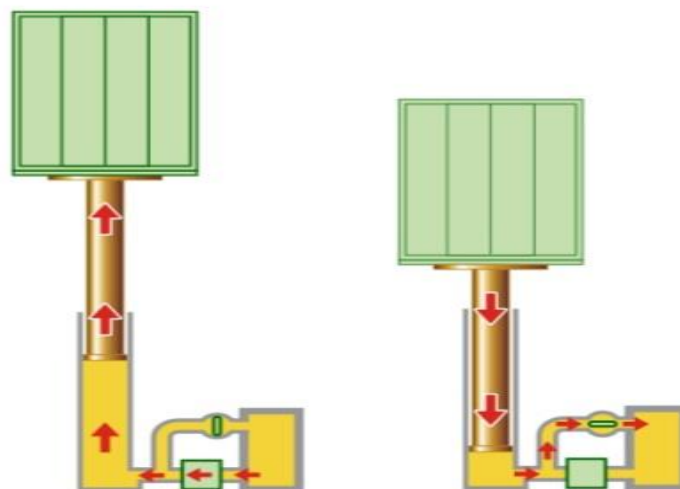


Figure I.8: Schéma illustratif du principe des pompes hydrauliques.

Selon la disposition du cylindre, trois configurations principales peuvent être distinguées :

- A cylindre de surface ;
- A cylindre enterré ;
- Télescopiques à cylindre de surface.

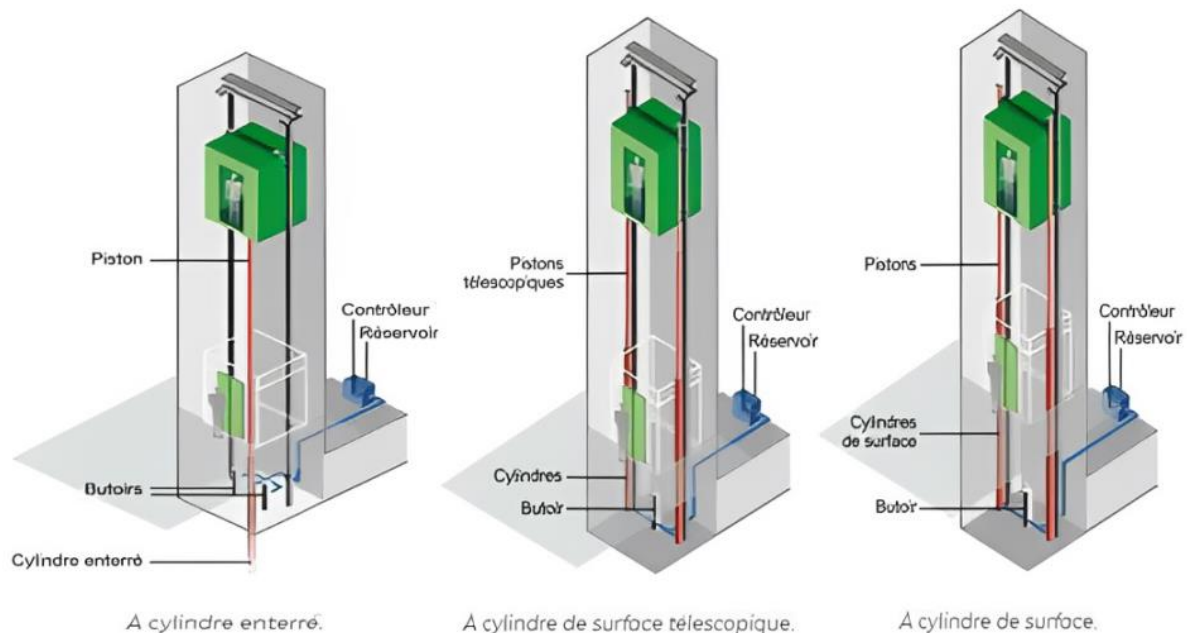


Figure I.9: Différent ascenseurs hydrauliques.

1. Ascenseur hydraulique à cylindre de surface

- **Fonctionnement**

Dans cette configuration, le cylindre est placé verticalement sous la cabine et reste visible dans la gaine. La montée est assurée par l'injection du fluide sous pression dans le cylindre, poussant directement la cabine vers le haut. La descente est contrôlée par la libération du fluide vers le réservoir.

2. Ascenseur hydraulique à cylindre enterré

- **Fonctionnement**

Dans ce cas, le cylindre est inséré verticalement dans un puits foré sous la cabine de l'ascenseur. Le piston, logé à l'intérieur du cylindre, se déploie progressivement vers le bas lors de la montée de la cabine. Cette disposition permet d'utiliser la poussée hydraulique directement sous la cabine, garantissant un mouvement fluide et régulier.

Ce type d'ascenseur présente l'avantage de libérer totalement l'espace dans la gaine, puisque seul le piston reste visible et aucune structure encombrante n'est placée sur les côtés. Ainsi, la cabine

bénéficie d'une surface intérieure maximale et l'esthétique de l'installation est améliorée. De plus, cette configuration réduit les besoins en éléments mécaniques supplémentaires, limitant l'usure et facilitant la maintenance.

3. Ascenseur hydraulique télescopique à cylindre de surface

- **Fonctionnement**

Ce modèle utilise plusieurs segments de cylindres emboîtés (télescopiques) pour permettre un déplacement plus important sans avoir besoin d'un forage profond. Le système est entièrement placé en surface, sous la cabine.

- **Avantages de l'ascenseur hydraulique**

- Installation simple : l'absence de salle de machines en toiture et de contrepoids facilite l'intégration dans les bâtiments existants ou à architecture contrainte ;
- Coût initial compétitif : pour les bâtiments de faible hauteur, l'investissement de départ est souvent inférieur à celui d'un ascenseur électrique, notamment grâce à une structure porteuse simplifiée ;
- Confort de déplacement : le mouvement est fluide, avec peu de vibrations et un bon amortissement, rendant ce système adapté aux environnements sensibles ;
- Fonctionnement silencieux : l'élévation est peu bruyante et la descente se fait sans moteur, ce qui réduit le niveau sonore global de l'installation ;
- Bonne précision de positionnement à l'arrêt, assurant un alignement optimal avec le niveau du plancher d'étage.

- **Inconvénients de l'ascenseur hydraulique**

- Hauteur de levée limitée : la course maximale recommandée est d'environ 15 à 18 mètres, au-delà desquels les performances diminuent ;
- Rendement énergétique faible : seule la montée consomme de l'énergie, mais elle peut être coûteuse en cas d'utilisation fréquente et de charges importantes ;
- Risques environnementaux : les vérins enterrés exposent à des risques de fuite d'huile dans le sol, ce qui peut entraîner des pollutions des nappes phréatiques si le puits n'est pas étanche ;
- Besoins de maintenance : la pompe, les flexibles et les joints doivent être contrôlés régulièrement pour éviter tout affaiblissement de la pression ou fuite de fluide ;
- Temps de cycle plus lent : la vitesse d'élévation reste limitée (généralement $< 0,6$ m/s), ce qui rend ce système inadapté aux immeubles à trafic élevé [2].

I.2.2.2 Ascenseur pneumatique

Les ascenseurs pneumatiques représentent une technologie innovante fonctionnant par dépression d'air. Contrairement aux ascenseurs traditionnels à câbles ou à pistons, ils utilisent la différence de pression atmosphérique pour déplacer la cabine à l'intérieur d'un tube vertical en polycarbonate ou PVC [19].

Deux principaux formats sont disponibles :

- **Format Head Unit**, où la pompe à vide est intégrée directement au sommet du tube ;
- **Format Split**, où la pompe est déportée à distance, généralement dans une pièce technique, un fonctionnement plus silencieux.

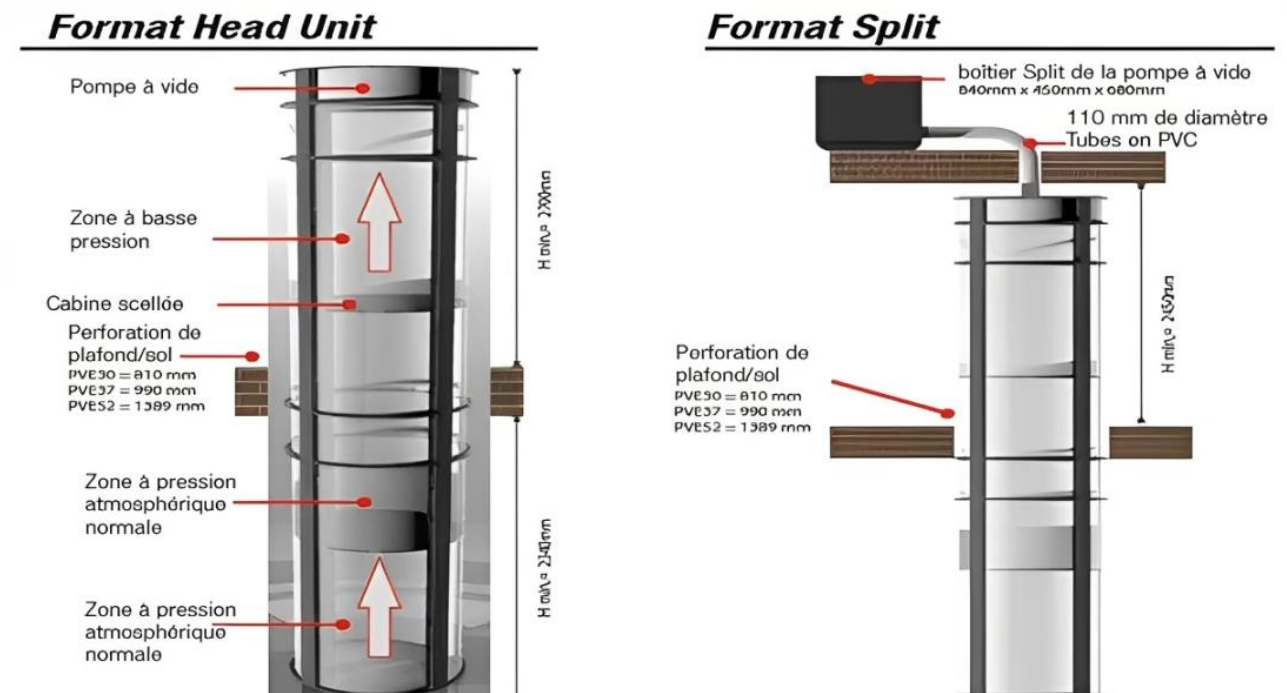


Figure I.10: Principaux formats de pompe à vide pour ascenseurs pneumatiques (Head Unit & Split).

Les ascenseurs pneumatiques existent en plusieurs modèles selon leur diamètre interne :

- **PVE30** : Ø 810 mm (1 personne) ;
- **PVE37** : Ø 990 mm (2 personnes) ;
- **PVE52** : Ø 1389 mm (3 personnes, accessible fauteuil roulant).

➤ Avantages de l'ascenseur pneumatique

- Installation rapide et simple : montage en quelques jours sans travaux lourds ;
- Pas de salle des machines ni de fosse nécessaire ;
- Esthétique et transparence : design léger et discret ;

- Consommation énergétique réduite : consommation électrique uniquement lors de la montée ;
- Maintenance limitée par rapport aux ascenseurs classiques ;
- Respect des normes d'accessibilité PMR (modèle PVE52) [19] .

➤ **Inconvénients de l'ascenseur pneumatique**

- Capacité limitée : charge utile généralement entre 159 et 238 kg selon les modèles ;
- Vitesse réduite : environ 0,15 m/s à 0,20 m/s ;
- Nombre d'étages limité : 3 à 5 niveaux maximum ;
- Niveau sonore : léger bruit lors de la mise sous vide, atténuable avec le modèle Split ;
- Coût élevé par rapport aux petits ascenseurs hydrauliques [19].

I.2.2.3 Ascenseur électrique à traction (ou à câbles)

L'ascenseur à traction, parfois appelé ascenseur à câbles, est le type d'ascenseur électrique le plus répandu dans les bâtiments de moyenne à grande hauteur.

Il fonctionne grâce à un moteur électrique qui entraîne une poulie de traction. Des câbles passent sur cette poulie et relient la cabine à un contrepoids, permettant ainsi un équilibre des charges qui réduit l'effort moteur.

Le déplacement repose sur l'adhérence entre les câbles et la poulie [18].

Les ascenseurs à traction existent sous plusieurs formes, mais trois configurations principales se distinguent par leur système de motorisation.

La première repose sur le moteur-treuil à vis sans fin, une technologie traditionnelle largement utilisée dans les installations anciennes. Son principe de fonctionnement est simple et robuste, mais il présente l'inconvénient d'un rendement énergétique limité ainsi qu'une consommation électrique relativement élevée. Ce type de motorisation est surtout adapté aux immeubles de faible à moyenne hauteur, où les contraintes de performance ne sont pas prioritaires.

La deuxième configuration est celle du moteur-treuil planétaire, qui améliore sensiblement le rendement et réduit les pertes mécaniques grâce à une conception plus optimisée des engrenages. Plus compact et plus efficace que la vis sans fin, ce système est couramment adopté pour les bâtiments résidentiels ou tertiaires de moyenne hauteur, car il offre un bon compromis entre coût, durabilité et confort d'utilisation.

Enfin, la troisième configuration correspond au moteur à attaque directe, appelé communément "gearless" ou sans treuil. Dans ce cas, le mouvement est transmis directement à la poulie de traction, sans l'intermédiaire d'un engrenage. Ce système, plus moderne et performant, permet un fonctionnement silencieux, une réduction significative des vibrations et une efficacité énergétique

nettement supérieure. Il est particulièrement adapté aux ascenseurs rapides installés dans les immeubles de grande hauteur, où la fiabilité et le confort sont essentiels. Ainsi, chacune de ces motorisations présente des caractéristiques propres, répondant à des besoins spécifiques selon la typologie et l'usage du bâtiment.

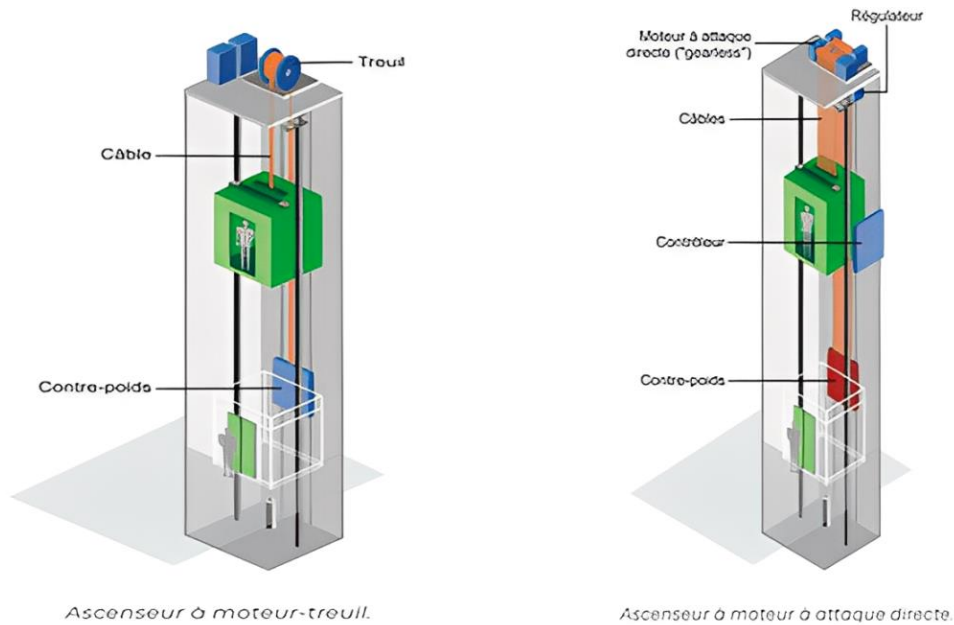


Figure I.11: Ascenseur à moteur treuil & Ascenseur à moteur à attaque directe.

1. Ascenseur à moteur-treuil à vis sans fin

L'ascenseur à treuil à vis sans fin repose sur un moteur couplé à un réducteur, permettant d'entraîner la poulie de traction. Ce type d'entraînement est historiquement l'un des plus utilisés pour les



Figure I.12: Moteur-treuil à vis sans fin.

bâtiments de faible à moyenne hauteur, mais tend à être remplacé par des solutions plus modernes [20].

2. Ascenseur à moteur-treuil planétaire

L'ascenseur à treuil planétaire fonctionne avec un mécanisme plus compact et plus moderne que celui utilisé dans les treuils classiques. Contrairement au système à vis sans fin, qui prend généralement plus de place, le treuil planétaire utilise une structure interne plus compacte permettant de loger l'ensemble dans un espace plus réduit. Cela le rend particulièrement adapté aux bâtiments où l'espace réservé à la machinerie est limité [21].

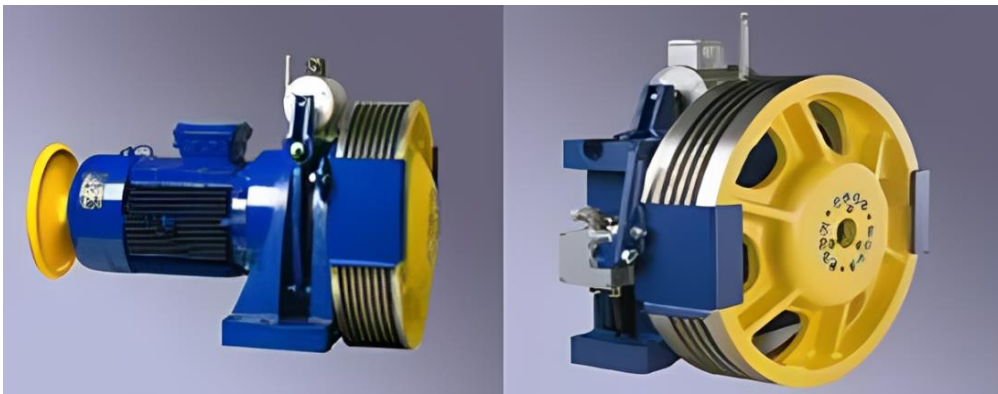


Figure I.13: Moteur-treuil planétaire.

3. Ascenseur à moteur à attaque directe (Gearless)

L'ascenseur à moteur gearless, aussi appelé à attaque directe, se distingue par l'absence de réducteur mécanique. Le moteur est directement couplé à la poulie de traction, ce qui permet un fonctionnement plus silencieux, plus précis et plus économe en énergie, notamment dans les bâtiments de grande hauteur ou à fort trafic. Ce type de motorisation est souvent utilisé dans les ascenseurs modernes sans salle de machines (MRL).

Il se différencie des treuils à vis sans fin et à réducteur planétaire par une structure plus compacte et une meilleure performance, bien qu'il soit plus coûteux à l'achat et à l'installation [21].



Figure I.14 : Moteur à attaque directe (Gearless Classique).

➤ Types de suspension des ascenseurs à traction

Dans les ascenseurs à traction, deux principales configurations de suspension sont utilisées : la suspension 1 :1 et la suspension 2 :1. Ces dispositions influencent directement la course de déplacement de la cabine, l'effort moteur nécessaire, et les sollicitations transmises à la structure.

• Suspension 1 :1

Dans cette configuration, la cabine et le contrepoids sont reliés directement par des câbles passant sur la poulie motrice. Chaque mètre de déplacement des câbles correspond à un mètre de déplacement de la cabine. Ce système est simple et direct, fréquemment utilisé dans les installations standards à faible ou moyenne hauteur [17].

• Suspension 2 :1

Dans ce cas, les câbles passent par des poulies de renvoi fixées sous la cabine (ou sous le contrepoids), avec leurs extrémités ancrées à la structure du bâtiment. Pour que la cabine se déplace d'un mètre, les câbles doivent parcourir deux mètres. Cela permet de réduire la force motrice nécessaire, mais nécessite une plus grande longueur de câble. Ce système est souvent utilisé dans les ascenseurs de charge ou les bâtiments à faible puissance disponible [22].

Ces deux types de suspension se distinguent par le rapport de mouvement et les contraintes mécaniques qu'ils génèrent. Le choix entre les deux dépend de la hauteur de levée, de la charge utile, et de l'espace disponible dans la gaine.

➤ Avantages des ascenseurs à traction

- Consommation énergétique réduite : grâce au contrepoids qui compense la masse de la cabine, le moteur consomme moins d'énergie [23];
- Idéal pour les grandes hauteurs : ce système permet d'atteindre des vitesses élevées, adaptées aux bâtiments de plusieurs étages [21];
- Confort de déplacement : le fonctionnement est fluide et silencieux, surtout avec les motorisations gearless [20];
- Longue durée de vie : les composants s'usent lentement grâce à l'équilibrage du poids [24].

➤ Inconvénients des ascenseurs à traction

- Installation plus complexe : ce type d'ascenseur demande plus d'espace et une machinerie spécifique [25];
- Coût d'équipement plus élevé : le matériel est plus sophistiqué, avec un investissement initial plus important [17];
- Maintenance spécialisée : le système requiert un suivi régulier, notamment des câbles et des poulies [22];

- Encombrement du contrepoids : il faut prévoir de la place pour loger le contrepoids dans la gaine [21].

I.2.3 Classification selon la configuration

Les ascenseurs à traction peuvent être classés en fonction de la configuration d'implantation de leur machinerie, notamment la présence ou l'absence d'une salle des machines dédiée.

I.2.3.1 Ascenseur avec salle des machines

Dans cette configuration classique, le groupe moteur et les équipements de commande sont installés dans un local technique indépendant, situé généralement au-dessus de la gaine (en toiture) ou parfois en contrebas. Cette disposition permet un accès facile pour la maintenance et un bon isolement acoustique des équipements [21].



Figure I.15: La Machinerie.

I.2.3.2 Ascenseur sans local machine (MRL – Machine Room-Less)

Dans ce cas, la machinerie est intégrée directement dans la gaine de l'ascenseur, souvent fixée sur les rails ou sur la paroi. Cette solution, plus compacte, permet d'économiser de l'espace architectural, notamment dans les bâtiments neufs ou en rénovation [23].

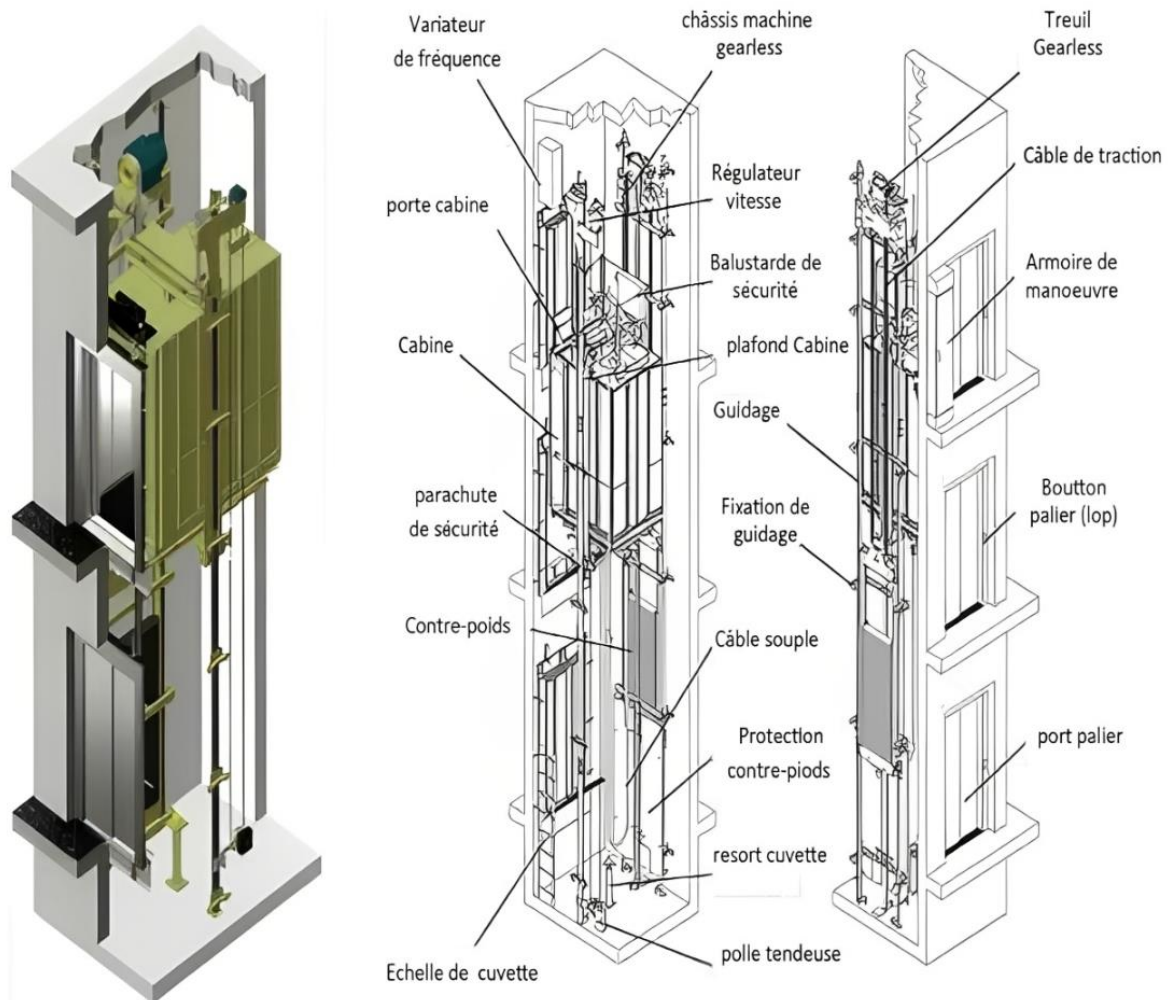


Figure I.16: Ascenseur sans local de machinerie.

Le choix entre ces deux configurations dépend essentiellement des contraintes architecturales, de la surface disponible, et des exigences en matière d'accessibilité et de maintenance [17].

I.3 Composants d'un ascenseur

Un ascenseur est constitué d'un ensemble de composants mécaniques, électriques et de sécurité qui interagissent pour assurer son fonctionnement fiable et sécurisé. L'étude de ces éléments est essentielle afin de comprendre le rôle de chaque sous-système dans la chaîne de levage. Dans ce travail, nous avons choisi de présenter les composants en suivant un ordre logique allant de la partie inférieure (cuvette) jusqu'aux équipements situés au sommet de la gaine, afin de donner une vision claire et structurée de l'ensemble. Cette approche permet d'appréhender progressivement la composition d'un ascenseur et la fonction de chaque élément au sein du système global [26].

LOCAL DES MACHINES (SUPERIEUR)

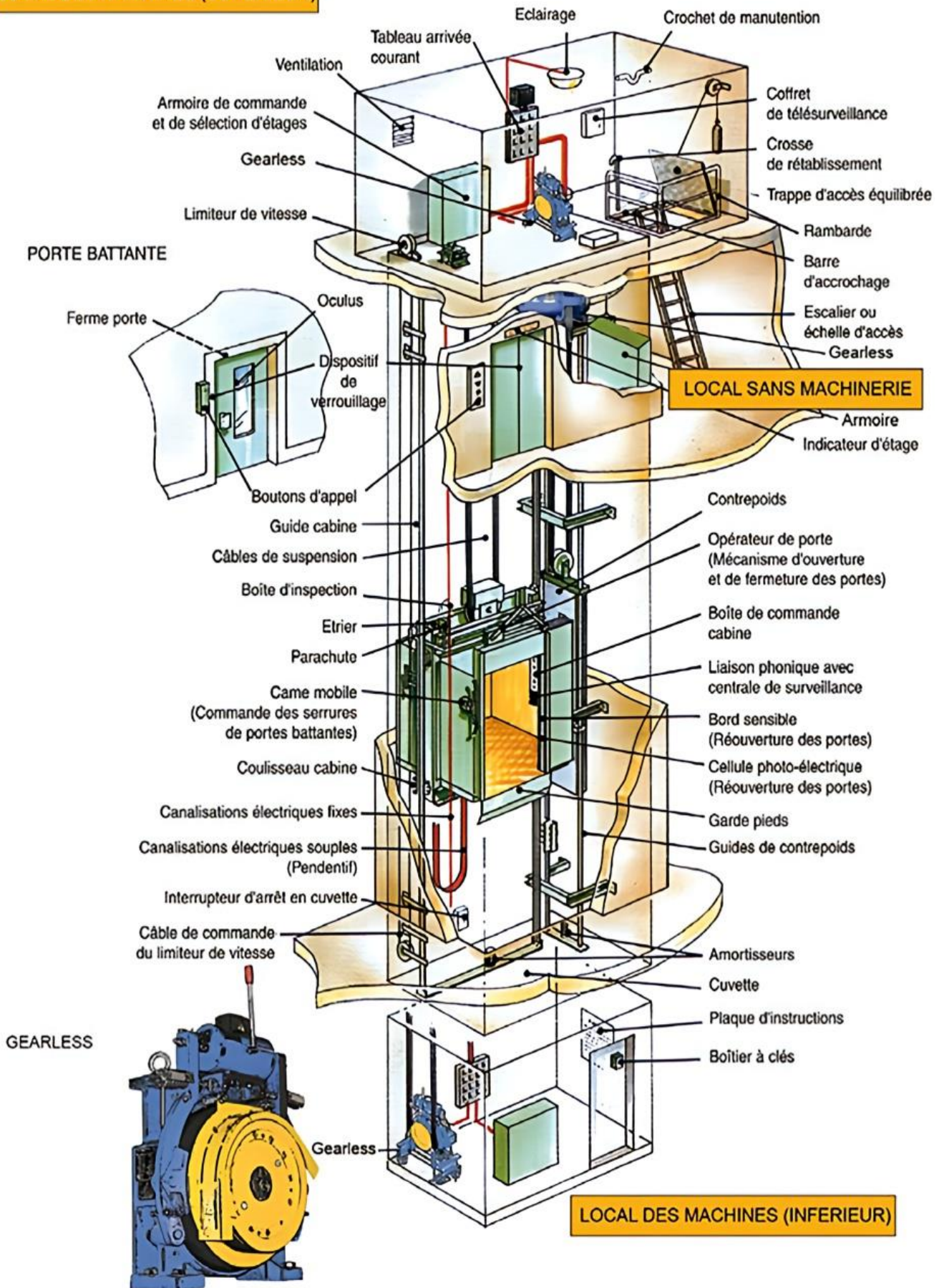


Figure I.17: Composants d'ascenseur à traction.

I.3.1 Cuvette

La cuvette d'ascenseur désigne la partie inférieure de la gaine, située sous le niveau du plancher bas desservi. Elle joue un rôle essentiel dans la sécurité et l'entretien de l'installation, puisqu'elle accueille notamment les amortisseurs (tampons), les dispositifs de fin de course et permet l'accès au technicien pour les interventions de maintenance. Ses dimensions minimales sont définies par les normes de sécurité afin de garantir la protection des personnes et le bon fonctionnement des équipements. La figure suivante illustre la disposition générale d'une cuvette d'ascenseur [1].

I.3.1.1 Composants mécaniques

1. Amortisseurs (tampons)

Dispositifs à ressorts ou hydrauliques fixés en fond de cuvette pour absorber l'énergie cinétique en cas de fin de course brutale de la cabine ou du contrepoids [1].



Figure I.18: Amortisseurs de fin de course.

2. Crochet de levage

Anneau métallique permettant de suspendre la cabine ou de lever des charges pendant la maintenance [2].

I.3.1.2 Composants électromécaniques

1. Contact de fin de course (finitions de cuvette)

Le limiteur mécanique est un dispositif de sécurité essentiel qui intervient en cas de dépassement de la position basse de la cabine. Dans une telle situation, il agit immédiatement en coupant le circuit de commande du moteur, empêchant ainsi tout mouvement supplémentaire de descente. Ce mécanisme permet de protéger à la fois les usagers et l'installation, en évitant tout risque de choc violent au fond de la gaine [1].

I.3.1.3 Composants électriques & électroniques

1. Interrupteur d'arrêt d'urgence

Bouton-poussoir accessible dans la cuvette, coupant toute alimentation électrique pour sécuriser les interventions [1].



Figure I.19: Interrupteur d'arrêt.

2. Boîte de coupure générale

Coffret garantissant la mise hors tension de l'ensemble ascenseur lors de travaux ou d'urgence [22].



Figure I.20: Boîte de coupure générale.

I.3.2 Gaine

La gaine constitue l'espace vertical réservé au déplacement de la cabine et du contrepoids de l'ascenseur. Elle regroupe l'ensemble des éléments indispensables au guidage, à la sécurité et au bon fonctionnement du système de levage. Son aménagement varie en fonction du type d'ascenseur retenu (hydraulique, à traction avec ou sans local machine, etc.), mais certains composants y sont toujours présents, tels que les rails de guidage, les dispositifs de sécurité, les câbles ou encore les amortisseurs. La gaine joue donc un rôle essentiel, puisqu'elle assure non seulement le cheminement vertical de la cabine, mais également la protection des usagers et la stabilité de l'installation. La figure ci-dessous illustre la configuration générale d'une gaine d'ascenseur et met en évidence la disposition typique de ses principaux éléments [26].



Figure I.21: Gaine d'ascenseur.

I.3.2.1 Composants mécaniques

1. Rails de guidage

Barres métalliques rectilignes garantissant la stabilité et l'alignement vertical de la cabine et du contrepoids [1].

2. Coulisseaux (guide shoes)

Patins en plastique ou métal fixés sous la cabine et le contrepoids pour glisser le long des rails [15].

3. Câbles de traction

Torons d'acier reliant cabine et contrepoids via la poulie motrice, dimensionnés selon la charge [2].



Figure I.22: Câbles de traction.

4. Câble de compensation

Câble supplémentaire équilibrant le poids des câbles de traction dans les hautes courses [1].

5. Masselottes de contrepoids

Blocs de fonte ou béton guidés sur leurs propres rails pour compenser la cabine à vide [2].



Figure I.23: blocs de lest (masselottes) en fonte insérés dans le cadre du contrepoids.

6. Contrepoids

Le contrepoids est conçu pour équilibrer le poids de la cabine, réduisant ainsi la charge exercée sur le moteur de traction.

Les masselottes, souvent fabriquées en béton ou en fonte, sont positionnées pour équilibrer exactement le poids de la cabine sans surcharger le moteur.



Figure I.24: Contrepoids.

I.3.2.2 Composants électromécaniques

1. Limiteur de vitesse + parachute

Ensemble centrifuge (limiteur) et système de freinage (parachute) stoppant la cabine en survitesse
Composants électriques & électroniques [1].

2. Cellules photoélectriques

Détecteurs fixés au droit des portes palières pour interrompre tout mouvement en cas d'obstacle [2].

3. Faisceaux de câbles souples

Liaisons flexibles assurant l'alimentation et les signaux entre les organes mobiles (cabine, LOP) et l'armoire de commande [22].

I.3.3 Cabine

La cabine est l'élément central de l'ascenseur, destiné au transport des passagers ou des charges. Elle est conçue pour offrir sécurité, confort et accessibilité, tout en respectant des exigences strictes de résistance mécanique et de finition. Elle comprend généralement une structure portante (châssis), des parois, un plafond, un plancher, ainsi que des équipements de commande et de communication destinés aux usagers. La cabine est guidée verticalement dans la gaine grâce à des rails fixés sur les parois de celle-ci. La figure suivante présente la configuration typique d'une cabine d'ascenseur [21].

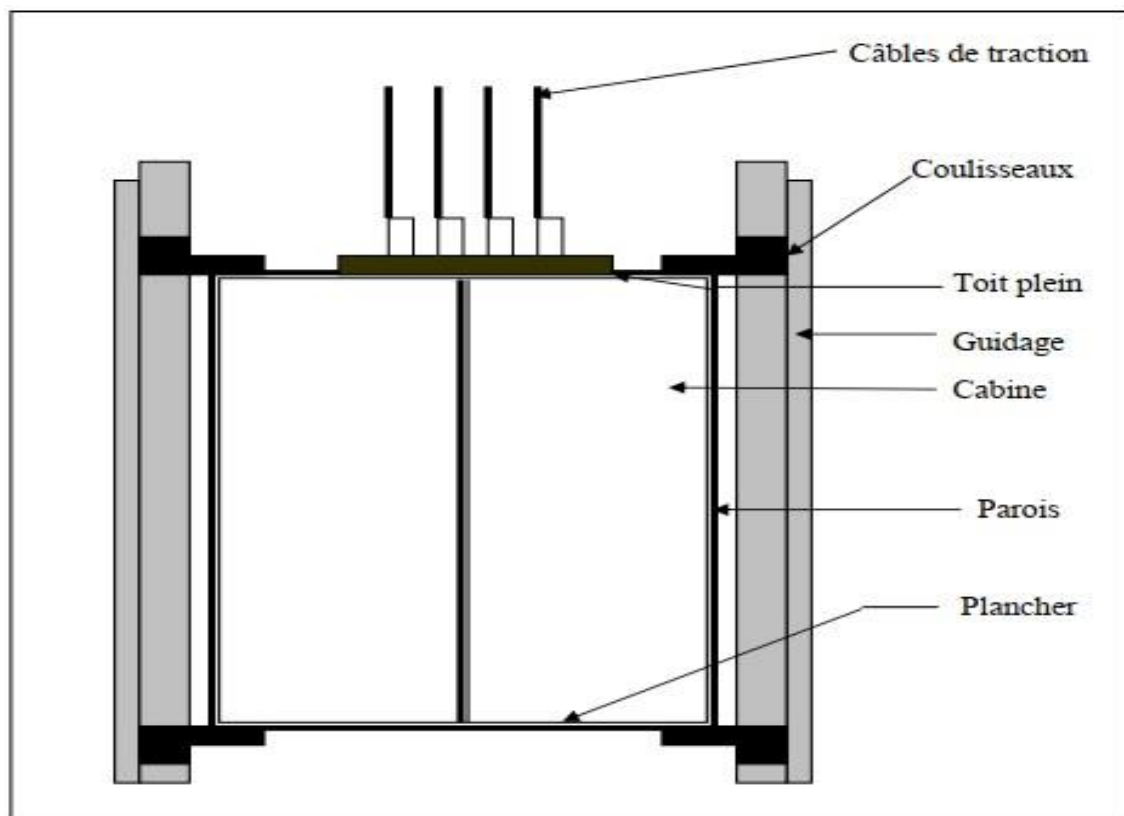


Figure I.25: Composants de la cabine.

I.3.3.1 Composants mécaniques

1. Châssis de cabine

Structure métallique porteuse supportant plancher, parois, suspension et dispositifs de sécurité [1], [4].

2. Plancher

Surface antidérapante fixée au châssis, résistant aux charges et à l'usure [1], [4].

3. Parois et habillage

Panneaux intérieurs en inox, stratifié ou miroir offrant résistance et esthétique [1], [4].

4. Porte cabine

La porte de cabine est un élément de sécurité qui sépare l'intérieur de la cabine de la gaine. Composée de vantaux coulissants guidés par des rails et des galets, elle assure un mouvement fluide et silencieux. Son seuil inférieur garantit la sécurité des passagers, tandis qu'un opérateur intégré commande son ouverture et sa fermeture en synchronisation avec les portes palières [1].

5. Arcade de cabine

L'arcade de cabine est une structure métallique fixée à l'entrée de la cabine, servant à encadrer l'ouverture et à supporter l'opérateur de porte. Elle renforce la rigidité de la zone d'accès et permet l'intégration des systèmes de commande et de transmission vers les vantaux [27].



Figure I.26: Arcade de cabine supportant l'opérateur de porte.

6. Toit de cabine

Plafond accessible abritant éclairage, ventilateur et coffret d'inspection [1], [4].

7. Coffret de commandes d'inspection

Boîtier manuel sur toit comportant inverseur de marche et arrêt d'urgence pour maintenance [1], [4].

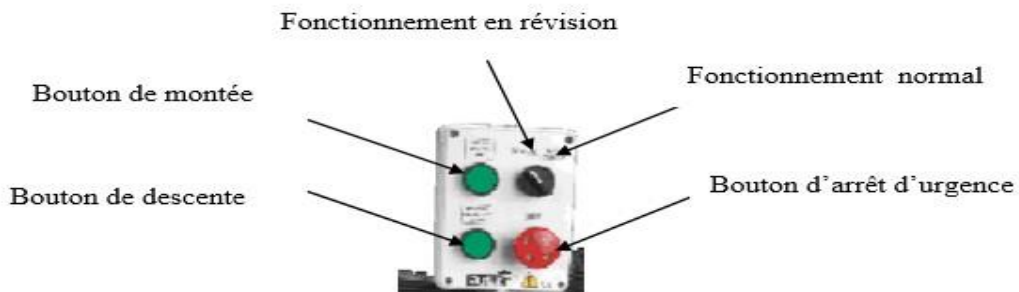


Figure I.27: Boîte d'inspection.

8. Châssis du parachute

Support métallique fixé sous le châssis, accueillant le mécanisme parachute [1], [4].

9. Parachute de sécurité

Dispositif mécanique de freinage activé en survitesse, serrant la cabine sur les rails [1], [4].

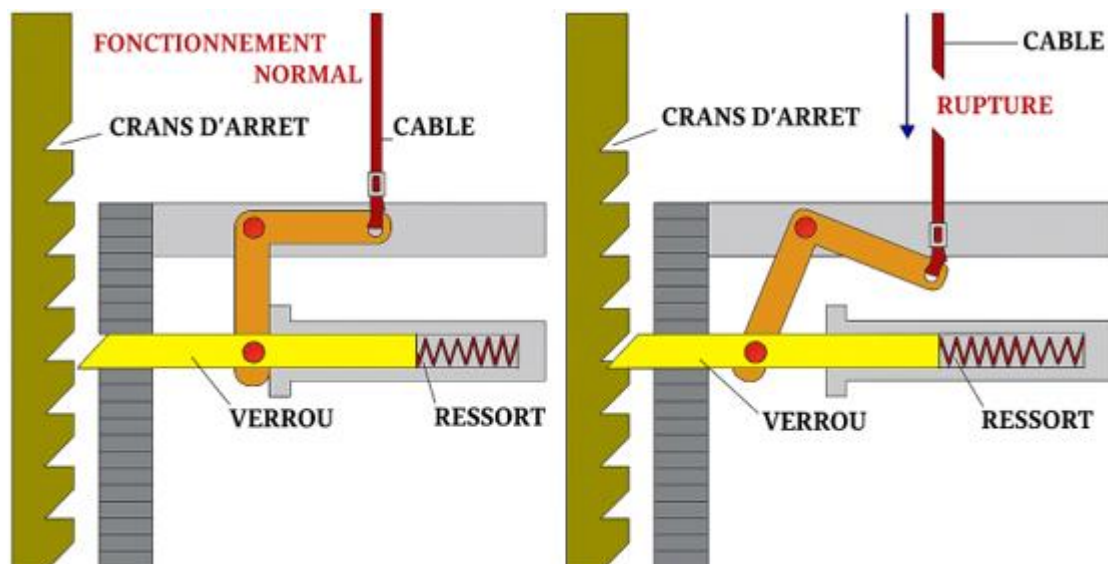


Figure I.28: Principe de parachute.

I.3.3.2 Composants électromécaniques

1. Opérateur de porte cabine

Moteur + réducteur monté sur l'arcade pour ouverture/fermeture synchronisée cabine/palière [1].



Figure I.29: Opérateur de porte cabine.

2. Limiteur de vitesse (toit)

Mécanisme centrifuge en toiture déclenchant le parachute en cas de dépassement de vitesse [1].



Figure I.30 : Limiteur de vitesse.

I.3.3.3 Composants électriques & électronique

1. COP (Car Operating Panel)

Poste de commandes en cabine : boutons d'étages, ouverture/fermeture, alarme, afficheur d'étage [4].

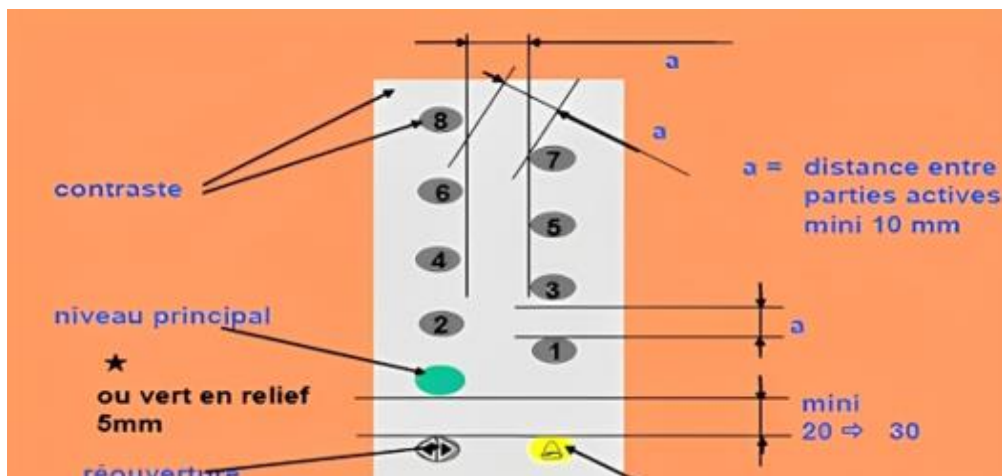


Figure I.31: Panneau de commande cabine.

2. Interphonie bidirectionnelle

Système de communication d'urgence entre cabine et salle de supervision [28].

3. Éclairage principal & secours

Lampes LED garantissant ≥ 100 lux et autonomie ≥ 1 h en cas de coupure [1].

4. Ventilation cabine

Ventilateur ou grilles d'aération pour renouveler l'air [1].

I.3.4 Portes palières

La porte palière est la porte placée à chaque niveau, séparant la gaine de l'espace accessible aux usagers. Elle empêche tout accès lorsque la cabine est absente et ne s'ouvre qu'en présence de celle-ci grâce à un verrouillage électromécanique. Selon le type d'ascenseur, elle peut être battante, coulissante ou télescopique, tout en respectant les normes de sécurité en vigueur [1].

I.3.4.1 Types de portes

1. Porte automatique glissante

- Définition

Vantail ou vantaux coulissant(s) latéralement le long d'un châssis encadrant l'embrasure palière, motorisé(s) ou manuels, utilisé(s) dans la majorité des immeubles collectifs [1].



Figure I.32: Porte automatique (glissantes).

- **Fonctionnement**

Les vantaux, montés sur galets, glissent sur des rails horizontaux lorsqu'un appel palier (LOP) est validé et que la cabine est positionnée, puis se verrouillent mécaniquement jusqu'à l'arrivée de la cabine.

2. Porte battante

- **Définition**

Battant(s) articulé(s) sur un ou deux montants verticaux, pivotant(s) vers l'intérieur ou l'extérieur du palier, plus rare en habitat collectif mais utilisé en contextes spécifiques (ERP petite taille, rénovation) [1].



Figure I.33: Porte battante.

- **Fonctionnement**

Les battants s'ouvrent par rotation autour de leurs charnières dès déverrouillage mécanique, puis se referment automatiquement par ressorts ou motorisation légère à la fin du cycle d'embarque.

I.3.4.2 Composants mécaniques

1. Vantaux & châssis

Ensemble formé d'un cadre métallique (châssis) supportant un ou deux ouvrants (vantaux) coulissants ou battants, assurant la fermeture palière [1] .

2. Rails et rouleaux de guidage

Rails métalliques verticaux fixés à la gaine, sur lesquels roulent ou glissent des patins/rouleaux montés sous la cabine et le contrepoids [1] .

3. Seuil de porte

Bandeau fixe assurant l'étanchéité au sol [1] .

I.3.4.3 Composants électromécaniques

1. Mécanisme d'ouverture

Le mécanisme d'ouverture des portes palières assure le déplacement des vantaux, soit par rotation via des charnières, soit par translation guidée sur rails et galets. Il est toujours associé à un système d'interverrouillage garantissant que la cabine ne puisse se déplacer tant que la porte n'est pas parfaitement fermée [29].

Composants essentiels : Bras articulé, vis sans fin ou pignon/crémaillère actionnant le vantail [23].



Figure I.34: Mécanismes d'ouverture de portes palières.

2. Actionneur de verrouillage/déverrouillage (came/crochet)

Il s'agit d'un dispositif mécanique, monté soit sur la porte palière (came), soit dans l'embrasure (crochet), qui assure l'engagement ou la libération du système de verrouillage des vantaux. Son rôle est d'empêcher toute ouverture de la porte en dehors de la position d'arrêt sécurisée de la cabine. Ce mécanisme contribue ainsi à la protection des usagers en garantissant que l'accès à la gaine n'est possible que lorsque toutes les conditions de sécurité sont remplies [1].

I.3.4.4 Composants électriques & électroniques

1. Contacteurs d'interverrouillage

Dispositifs électriques installés sur les portes palières, qui détectent et confirment électroniquement leur fermeture complète avant d'autoriser tout mouvement de la cabine [1].

2. Cellules photoélectriques anti-écrasement

Barrière de sécurité optique (infrarouge) située à l'entrée de la cabine ou de la porte palière, détectant la présence d'un obstacle dans la zone de fermeture des portes [1].

3. LOP (Landing Operating Panel)

Boutons d'appel (↑/↓) et voyants, relié par faisceau souple Local machines / configuration MRL [4].

I.3.4.5 Composants mécaniques

1. Poulie motrice (une ou deux gorges selon suspension)

Organe circulaire rainuré (à 1 gorge ou 2 gorges) entraîné par le moteur de traction, permettant la mise en mouvement des câbles de suspension de la cabine et du contrepoids [2].

2. Support moteur & cadre porteur

Ensemble de structures mécano-soudées qui fixent solidement le moteur de traction, la poulie motrice et parfois le frein, que ce soit dans un local technique ou sur la paroi supérieure de la gaine (configuration MRL) [2].

I.3.4.6 Composants électromécaniques

1. Moteur

Gearless (synchrone à aimants) ou geared (asynchrone + réducteur)[20].

Le moteur est l'élément qui entraîne la poulie motrice. On distingue deux types principaux selon la technologie d'entraînement :

- **Geared** : moteur asynchrone associé à un réducteur mécanique (engrenage),
- **Gearless** : moteur synchrone à aimants permanents.

2. Frein électromécanique

Dispositif monté sur l'arbre du moteur de traction, il a pour rôle d'immobiliser fermement la cabine lorsqu'elle est à l'arrêt ou en cas de coupure de courant. Son fonctionnement repose sur des ressorts de pression qui maintiennent le frein appliqué par défaut, garantissant ainsi la sécurité. Lorsqu'un déplacement est commandé, le frein se libère électriquement, permettant la mise en mouvement de la cabine [2] , [22].

I.3.4.7 Composants électriques & électroniques

1. Armoire de commande

L'armoire de commande est un ensemble électronique et électrique qui regroupe les principaux composants de pilotage (API, cartes électroniques), de puissance (variateur de fréquence, relais, contacteurs) et de sécurité (arrêt d'urgence, dispositifs de surveillance). Véritable centre nerveux de l'ascenseur, elle coordonne et contrôle en temps réel l'ensemble des organes de l'installation, depuis le moteur de traction jusqu'aux systèmes de portes et de sécurité. Elle assure également la gestion des appels cabine et paliers, garantissant un fonctionnement fluide, fiable et sécurisé [20] , [30].



Figure I.35: Armoire de commande.

I.3.4.8 2. Tableau de protection et coupure

Il s'agit d'un panneau électrique regroupant l'ensemble des dispositifs de protection et de commande nécessaires au bon fonctionnement de l'ascenseur. Il est généralement équipé de disjoncteurs, de fusibles, d'interrupteurs sectionneurs ainsi que de parafoudres, afin d'assurer la protection de l'alimentation générale contre les surcharges, courts-circuits et surtensions. Ce tableau permet également la coupure d'urgence de l'installation, garantissant ainsi la sécurité des usagers et des techniciens lors des opérations de maintenance [30].

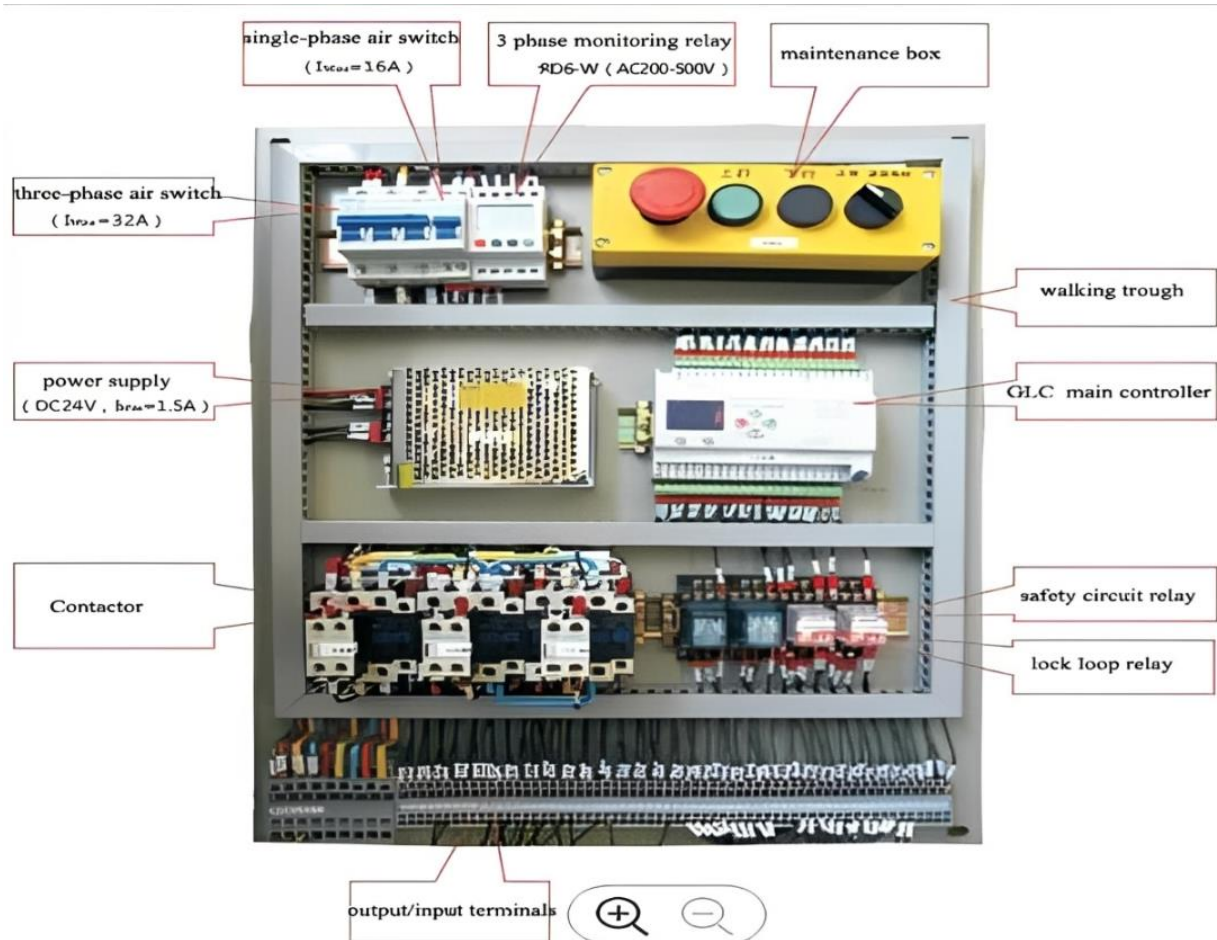


Figure I.36: Tableau de protection et coupe.

3. Capteurs moteurs

Capteurs de température, de vibrations, ou de courant intégrés au moteur pour surveiller son bon fonctionnement et détecter les anomalies avant panne [30].

I.3.5 Accès de maintenance

Cette sous-partie regroupe les éléments essentiels permettant aux techniciens d'accéder aux zones techniques d'un ascenseur (avec ou sans salle de machines) pour l'inspection, l'entretien ou le dépannage. Ces éléments sont répartis en trois catégories selon leur nature : mécaniques, électromécaniques, et électriques/électroniques.

I.3.5.1 Composants mécaniques

1. Échelles fixes ou escamotables

Dispositifs métalliques ancrés à la paroi de la gaine ou de la cuvette, permettant l'accès sécurisé aux zones en hauteur [1].

2. Plateformes d'intervention

Zones aménagées en hauteur avec un dégagement libre ≥ 500 mm pour permettre la posture stable du technicien lors d'opérations [1].

3. Zone de dégagement de la cuvette

Espace libre ≥ 1000 mm entre le sol de la cuvette et les organes mobiles (cabine/contrepoids), permettant à un technicien de s'y réfugier en cas d'urgence [1].

4. Trappe ou espace d'évacuation

Accès prévu au fond de la cuvette pour permettre la sortie d'un technicien ou le secours en cas d'immobilisation [1].

I.3.5.2 Composants électromécaniques

1. Manœuvre de secours

Système de libération mécanique du frein ou de translation de la cabine permettant le déplacement manuel en cas de panne. Il doit être accessible sans outil spécial [1].

2. Contacteurs de fin de course de maintenance (optionnel) :

Interrupteurs limitant la course de la cabine pour empêcher qu'elle ne descende ou ne monte au-delà de zones de sécurité durant une intervention [30].

I.3.5.3 Composants électriques et électroniques

1. Éclairage de maintenance

Éclairage permanent ≥ 50 lux dans les zones d'accès (gaine, cuvette, local technique) et ≥ 5 lux en secours en cas de coupure [1].

2. Interrupteur d'arrêt d'urgence

Bouton-poussoir situé dans la cuvette ou sur le toit de la cabine, permettant de couper immédiatement le fonctionnement de l'ascenseur [1].

3. Tableau de coupure

Ce boîtier, installé à l'entrée de la gaine ou dans le local technique, permet de mettre l'ensemble du système d'ascenseur hors tension lors des interventions de maintenance ou en cas d'urgence. Il est équipé d'un interrupteur de coupure générale, facilement accessible, afin de garantir la sécurité des techniciens et d'empêcher tout risque de remise en marche accidentelle de l'installation pendant les travaux [30].

I.4 Organisation fonctionnelle d'un système ascenseur

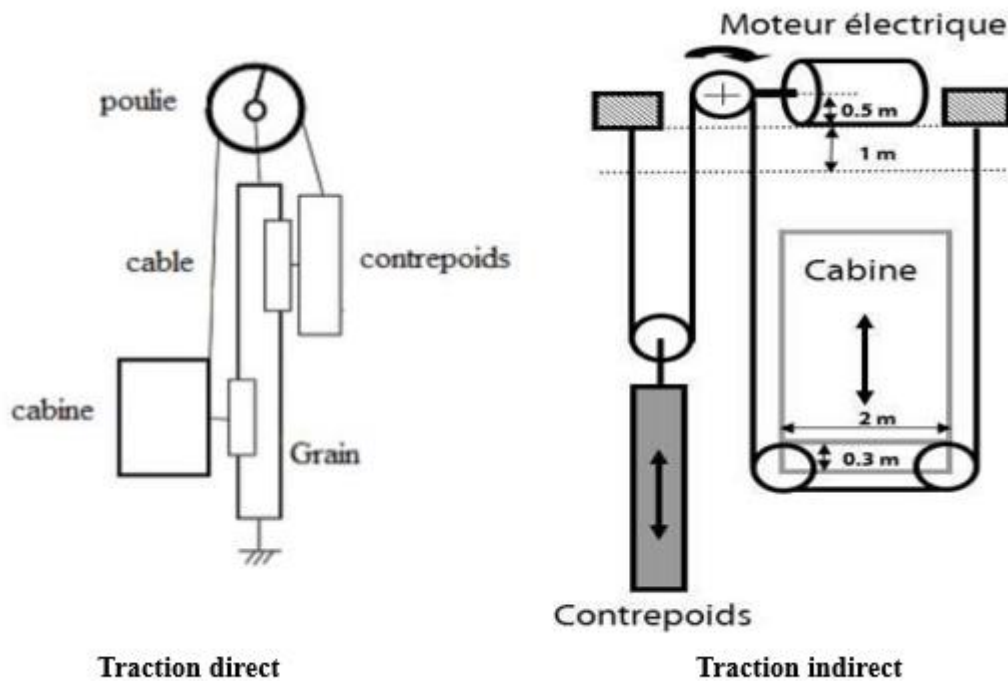


Figure I.37: Schéma explicatif du mécanisme de levage d'un ascenseur.

Le fonctionnement d'un ascenseur repose sur la coordination précise d'un ensemble de sous-systèmes mécaniques, électromécaniques et électroniques, travaillant en parfaite synergie. L'objectif principal est d'assurer un déplacement vertical fluide, confortable et totalement sécurisé, en réponse à la demande d'un utilisateur depuis la cabine ou un palier. Chaque mouvement résulte d'une succession d'ordres et de contrôles, garantissant à la fois la rapidité, la précision d'arrêt et la sécurité des passagers. Au cœur de ce dispositif, l'armoire de commande centrale joue un rôle fondamental : elle pilote le moteur de traction, supervise les dispositifs de sécurité, coordonne l'ouverture et la fermeture des portes et gère la signalisation interne et externe. Grâce à cette logique séquentielle, le système est capable de répondre efficacement aux appels, de prioriser les déplacements et d'assurer la continuité de service tout en respectant les normes de sécurité les plus strictes. [30].

- **Étape 1 :** Appel de la cabine

L'utilisateur appuie sur le bouton d'appel situé à l'étage. L'ordre est transmis à l'automate programmable (API), qui prend en compte la position de la cabine, son sens de déplacement et les appels déjà enregistrés pour optimiser la réponse [30].

- **Étape 2 : Affectation de la cabine**

Le système désigne la cabine disponible la plus adaptée. Il vérifie la fermeture des portes, l'absence de surcharge, l'état des freins, des verrous et des sécurités. Si toutes les conditions sont réunies, la commande de déplacement est validée [1].

- **Étape 3 : Mise en mouvement**

L'armoire de commande active le variateur de fréquence, qui alimente le moteur (gearless ou à réducteur). Ce dernier fait tourner la poulie motrice, entraînant les câbles et provoquant le déplacement vertical de la cabine. Le contrepoids équilibre l'ensemble pour optimiser l'effort moteur [1], [30].

- **Étape 4 : Surveillance dynamique**

Pendant le trajet, divers capteurs surveillent la vitesse, la position, l'état des portes et le comportement moteur. En cas d'anomalie (obstacle, survitesse, ouverture intempestive), le système déclenche un arrêt de sécurité [1], [30].

- **Étape 5 : Ralentissement et arrêt**

À l'approche de l'étage de destination, le variateur de fréquence réduit progressivement la vitesse de rotation du moteur afin d'assurer une décélération douce et sans à-coups. Ce ralentissement contrôlé permet d'améliorer le confort des passagers tout en préservant les organes mécaniques de l'ascenseur. Une fois la cabine alignée, le système garantit un arrêt précis avec une tolérance de l'ordre de ± 10 mm, conformément aux normes en vigueur et aux exigences d'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite (PMR) [1]. Ce positionnement rigoureux est essentiel pour faciliter l'embarquement et le débarquement en toute sécurité, notamment pour les usagers en fauteuil roulant ou à mobilité réduite. [1], [4].

- **Étape 6 : Déverrouillage et ouverture des portes**

Lorsque la cabine est correctement alignée, la came embarquée active le verrou de la porte palière. L'opérateur de porte déclenche ensuite l'ouverture automatique des battants [30].

- **Étape 7 : Embarquement, fermeture et attente**

Les passagers entrent ou sortent. Après un délai de temporisation, les portes se ferment. Si aucun appel n'est actif, la cabine reste au repos ou retourne à un étage de référence. Si un appel est détecté, le cycle recommence [2].

I.5 Conclusion

Dans ce **premier chapitre**, nous avons présenté les bases essentielles à la compréhension de notre projet en abordant **les généralités sur l'ascenseur**. Nous avons mis en évidence **son rôle** central comme moyen de transport vertical, garantissant la mobilité et l'accessibilité dans les bâtiments modernes.

Nous avons ensuite passé en revue **les différents types d'ascenseurs** et **leurs principales applications**, afin de situer notre étude dans un cadre technique clair. Une attention particulière a été accordée aux normes et réglementations qui encadrent la conception, l'installation et l'utilisation des ascenseurs, en assurant sécurité, fiabilité et conformité.

Enfin, nous avons décrit **les composants essentiels de l'ascenseur**, ce qui nous a permis de mieux cerner les exigences techniques de leur conception.

Ce premier chapitre nous a donc offert une vision globale et structurée, indispensable pour aborder la suite de notre travail. Il nous a permis de comprendre que la réussite d'un projet d'ascenseur ne repose pas uniquement sur la conception d'un composant isolé, mais sur la prise en compte conjointe des normes, des choix techniques et de l'interaction entre les différents éléments.

Ces bases théoriques et normatives nous conduisent naturellement à la suite de notre travail, qui portera sur et **la conception de l'arcade l'assemblage de la cabine d'ascenseur de 450 kg**, présentés dans le **chapitre II**.

Chapitre II : Conception de l'arcade et Assemblage de la cabine

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de la contribution qui nous a été confiée dans le cadre du projet de conception et d'assemblage d'une cabine d'ascenseur. Plus précisément, il porte sur deux volets complémentaires : d'une part, la conception de l'arcade, qui constitue l'élément de liaison essentiel de la structure, et d'autre part, l'assemblage global de la cabine intégrant les différents sous-ensembles réalisés par les autres binômes.

La première partie du chapitre met en évidence la démarche suivie pour concevoir l'arcade, depuis le relevé dimensionnel effectué sur la cabine existante jusqu'à sa modélisation assistée par ordinateur. Cette étape avait pour objectif de garantir la fiabilité géométrique de la pièce ainsi que son rôle fonctionnel dans la structure.

La seconde partie s'intéresse à l'assemblage global de la cabine. Après avoir récupéré les sous-ensembles conçus par les autres binômes, nous avons procédé à leur intégration dans un environnement numérique commun afin d'obtenir une maquette complète et cohérente. Cette phase a permis de vérifier l'intercompatibilité des Composants et de valider la conception d'ensemble.

Enfin, le chapitre présente les plans de définition, de pliage et les gammes de montage, documents indispensables à la fabrication et à l'implantation finale de la cabine.

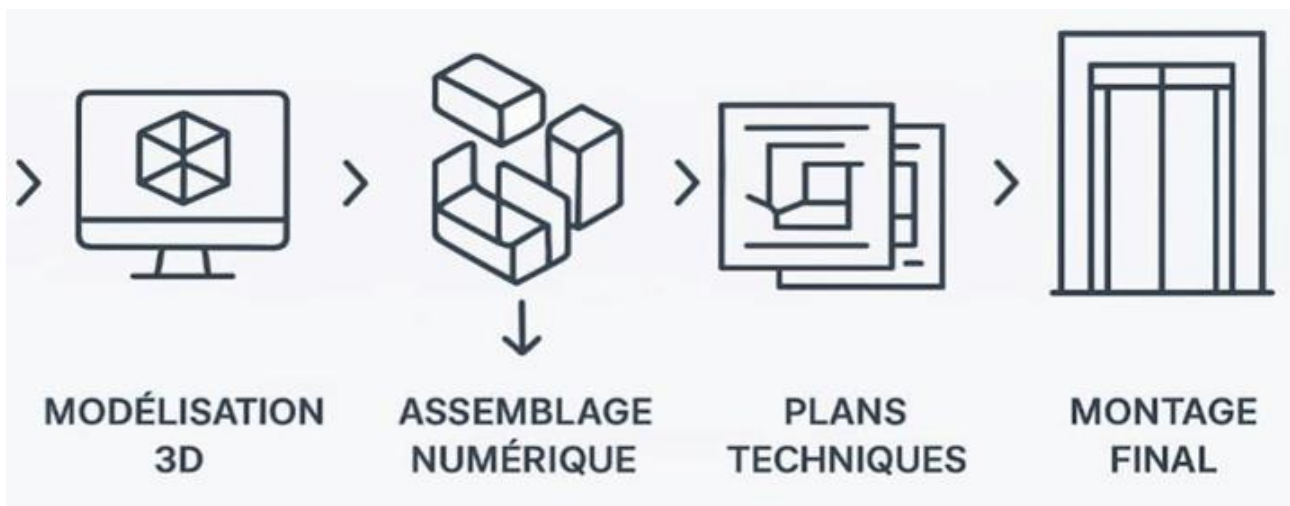


Figure II.1: Schéma illustratif des étapes de conception et d'assemblage d'une cabine d'ascenseur.

II.2 Conception et mise en plans de l'arcade

La conception de l'arcade a nécessité une démarche méthodique, allant de la modélisation 3D jusqu'à la préparation des documents techniques indispensables à la fabrication et au montage.

Chaque étape a été réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks 2017, en exploitant notamment l'outil « Tôlerie » pour modéliser avec précision les différentes pièces.

Afin d'assurer la conformité et la reproductibilité, la conception a suivi une démarche de rétro-ingénierie : chaque pièce a été mesurée, modélisée, puis validée par une vérification des jeux d'assemblage et de l'absence d'interférences dans l'environnement SolidWorks. Les paramètres de tôlerie (épaisseur de tôle, rayon de pliage, K-factor) ont été définis en cohérence avec les capacités de pliage disponibles en atelier, ce qui permet de générer directement les développés nécessaires à la découpe laser.

Les résultats ont ensuite été traduits en documents techniques normalisés (plans de pliage, plans de définition, nomenclature, gammes de montage), indispensables pour assurer la cohérence du processus de conception et d'assemblage.

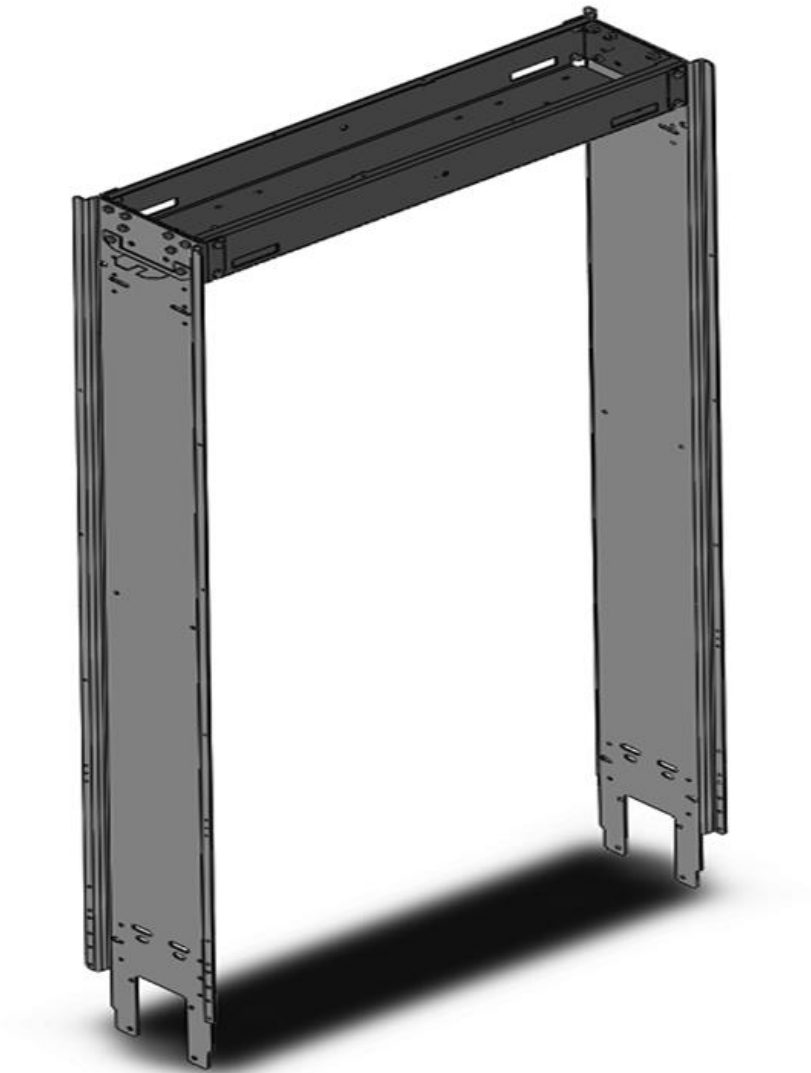


Figure II.2: Vue d'ensemble de l'arcade.

II.2.1 Démontage de l'arcade

Le démontage constitue la première étape incontournable de la démarche de rétro- ingénierie. Comparatif principal est d'identifier avec précision la structure réelle de la cabine et de l'arcade, afin de comparer la configuration existante aux standards de conception.

Il permet également de relever l'ensemble des dimensions fonctionnelles et des interfaces critiques, données indispensables pour la modélisation 3D et la génération des plans de fabrication.

Cette opération assure la traçabilité des composants, en garantissant que chaque pièce démontée est correctement repérée et documentée en vue d'une éventuelle re-conception.

Le périmètre du démontage couvre principalement l'arcade de la cabine, ses liaisons mécaniques, les organes de guidage et l'ensemble des éléments de fixation. Cette approche correspond aux pratiques de référence décrites dans les méthodes de rétro- conception [32].

Dans notre projet, le démontage complet de l'arcade nous a permis d'analyser chaque pièce constitutive et de vérifier son rôle au sein de la structure.

L'identification des entraxes et des points de fixation s'est révélée particulièrement importante, car elle conditionne directement la précision de la modélisation et la qualité des assemblages futurs.

L'opération a été réalisée à l'aide d'outils courants (clés, pied à coulisse, mètre ruban). Chaque pièce a été repérée par un code unique (exemple : A-01, A-02) afin d'assurer la traçabilité. Les dimensions critiques, telles que les entraxes, les diamètres de perçages et les épaisseurs de tôles, ont été mesurées avec un pied à coulisse numérique (précision $\pm 0,02$ mm). Cette rigueur dans la prise de cotes garantit une modélisation fidèle en CAO et constitue une base fiable pour la génération des plans.

Enfin, cette étape a constitué le fondement du processus de rétro-ingénierie, en transformant un produit physique existant en un modèle numérique exploitable pour la conception et la mise en plan.



Figure II.3: Démontage de l'arcade d'ascenseur.

II.2.2 Modélisation 3D

La modélisation des pièces de l'arcade a été réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks 2017, en respectant les dimensions relevées lors du démontage. Toutes les pièces ont été modélisées en 3D, ce qui a permis d'obtenir une représentation fidèle et réaliste de l'arcade avant son assemblage virtuel.

Pour ce travail, nous avons utilisé exclusivement la fonction tôlerie. Cette fonctionnalité du logiciel est particulièrement adaptée pour la conception des pièces en tôle, car elle prend en compte l'épaisseur du matériau, les rayons de pliage, les congés, ainsi que les développés. Cela nous a permis de générer directement les plans de pliage et d'assurer la conformité des pièces avec les procédés de fabrication utilisés dans l'entreprise.

Chaque élément a donc été conçu en tôlerie puis assemblé dans l'environnement 3D de SolidWorks, afin de vérifier l'ajustement entre les différentes pièces et d'anticiper d'éventuelles interférences. Cette étape a également facilité la préparation des plans de définition et des nomenclatures nécessaires pour la fabrication et l'assemblage.

La modélisation 3D ainsi obtenue a servi de base à la préparation des plans de pliage et de définition, assurant la transition entre la conception numérique et la réalisation physique.

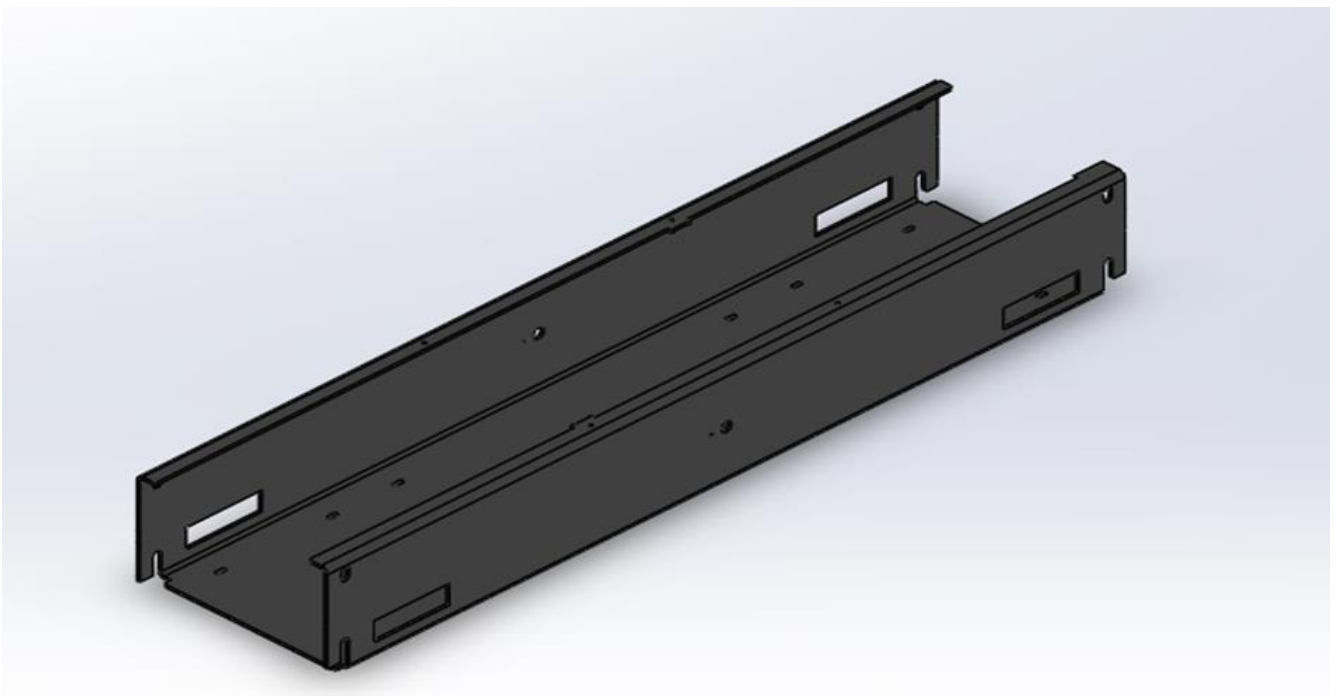


Figure II.4: Exemple de modélisation 3D d'une pièce de l'arcade sous SolidWorks.

II.2.3 Plans de pliage

Après la modélisation 3D des différentes pièces de l'arcade, réalisées principalement à l'aide de la fonction tôlerie de SolidWorks, l'étape suivante a consisté à générer les plans de pliage.

Ces plans sont indispensables car ils traduisent la géométrie virtuelle en instructions concrètes pour les machines de production. Chaque pièce conçue en tôle (comme les supports, renforts ou panneaux) nécessite des informations précises sur les lignes de pliage, les angles et les rayons de courbure.

Dans notre cas, les plans de pliage indiquaient notamment :

- Les dimensions développées de chaque pièce, les lignes de pliage clairement identifiées ;
- Les angles et rayons de pliage ;
- Ainsi que les indications relatives à la matière première (type de tôle, épaisseur).

Dans notre cas, les plans de pliage ont été réalisés conformément aux procédés de fabrication utilisés dans l'entreprise, notamment les machines de pliage disponibles en atelier. Cela a permis d'adapter directement nos conceptions aux contraintes réelles de production.

Par ailleurs, la matière utilisée pour toutes les pièces de l'arcade est l'acier S235 JR, choisi pour sa bonne soudabilité, sa résistance mécanique suffisante et sa large utilisation dans les structures métalliques.

Les caractéristiques de ce matériau ont été prises en compte pour définir les rayons de pliage minimaux et éviter toute rupture ou fissuration au niveau des zones pliées.

En effet, lors du pliage d'une tôle, le métal subit un allongement au niveau des fibres externes et une compression au niveau des fibres internes.

Pour éviter les imprécisions dimensionnelles, il est nécessaire d'intégrer le coefficient de pliage (ou facteur K), qui permet de calculer correctement la longueur développée de la pièce. Ce paramètre, dépendant du matériau, de l'épaisseur de la tôle et du rayon de pliage, constitue un élément fondamental pour garantir la précision des cotes finales et la conformité des pièces assemblées.

En résumé, les plans de pliage constituent le lien direct entre la conception numérique et la fabrication physique des pièces, et garantissent que l'arcade conçue pourra être réalisée conformément aux exigences techniques.

Dans le cadre de notre conception, plusieurs plans de pliage ont été établis pour les différentes pièces de l'arcade.

À titre d'illustration, la **Figure II.5** présente l'un de ces plans, réalisé à partir de la modélisation 3D, et mettant en évidence les dimensions développées, les angles de pliage ainsi que les spécifications du matériau utilisé.

L'ensemble des autres plans de pliage relatifs aux différentes pièces de l'arcade est regroupé en (**Annexe A**).

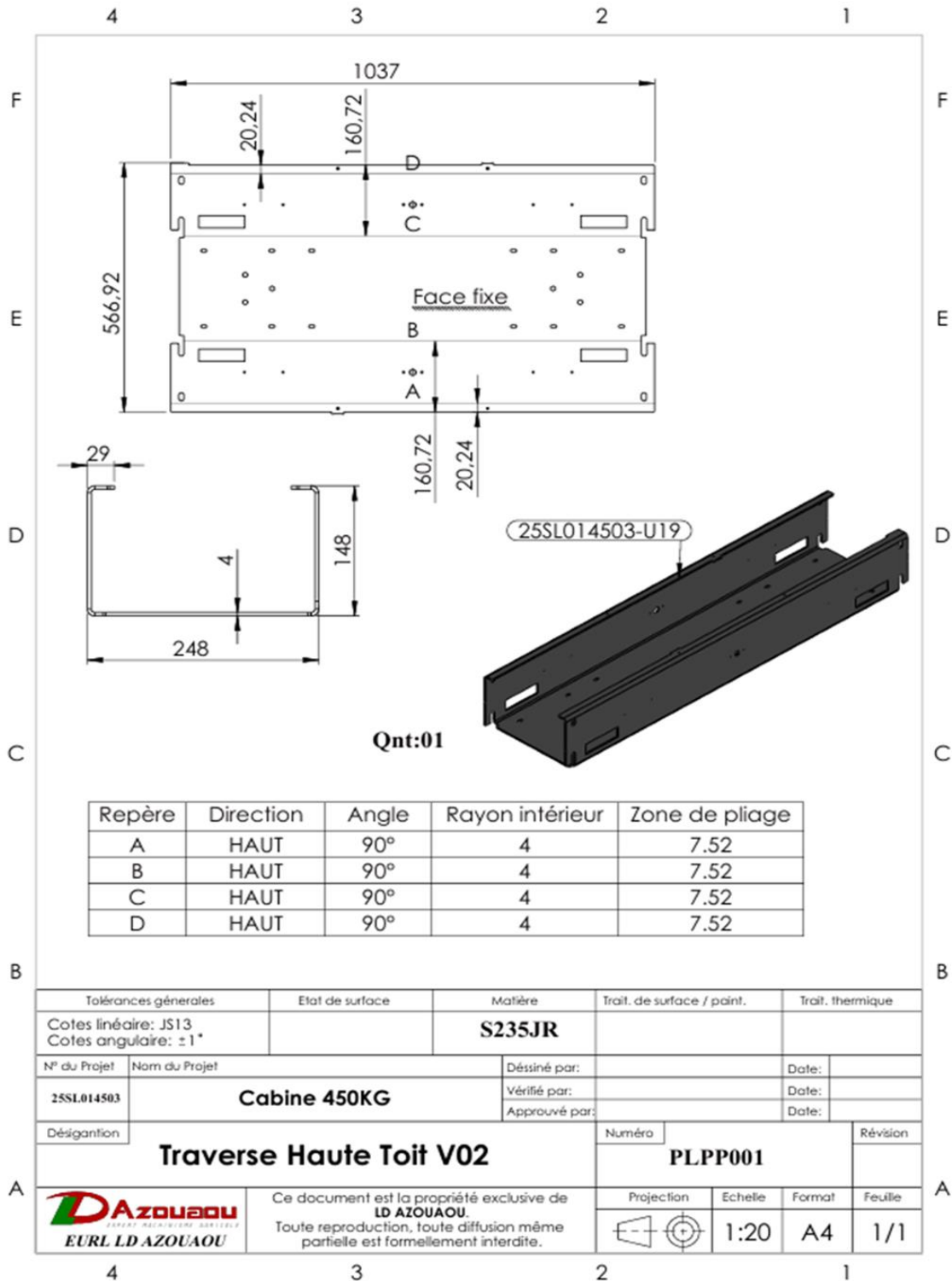


Figure II.5: Exemple de plan de pliage généré à partir de la modélisation.

Après avoir établi les plans de pliage, étape essentielle pour traduire la géométrie numérique en données de fabrication, il est nécessaire de compléter cette approche par les plans de définition, qui apportent une description plus détaillée et normalisée de chaque pièce.

II.2.4 Plans de définition

Une fois les plans de pliage établis, nous avons procédé à l'élaboration des plans de définition des pièces constituant l'arcade.

Le dessin de définition est un document technique normalisé qui représente une pièce de manière détaillée et sans ambiguïté. Il comprend les vues orthogonales (face, dessus, profil), éventuellement complétées par une vue en coupe ou une vue isométrique, ainsi que toutes les cotes fonctionnelles nécessaires, les tolérances dimensionnelles et géométriques, les états de surface et, le cas échéant, les indications de traitements particuliers.

Contrairement aux plans de pliage, qui concernent exclusivement les pièces issues de la découpe et du formage de la tôle, les plans de définition couvrent l'ensemble des composants de la structure : tôles pliées, profilés, renforts, pièces de liaison et éléments usinés. Ils constituent donc une référence indispensable pour l'atelier de fabrication, car ils assurent une compréhension commune entre le concepteur, le fabricant et le contrôleur qualité.

Chaque dessin comporte également un cartouche normalisé, regroupant des informations essentielles : l'échelle de représentation, le nom de la pièce, le numéro du plan, le matériau, le concepteur, la date de création et parfois le procédé de fabrication envisagé. Ce cartouche permet de garantir la traçabilité et l'organisation des documents techniques tout au long du cycle de production.

Dans notre cas, ces dessins ont été générés directement à partir de la modélisation 3D réalisée sous SolidWorks 2017, ce qui garantit une parfaite cohérence entre la pièce virtuelle et le document technique final. Cette approche limite les risques d'erreur de transcription, tout en facilitant la mise à jour et la gestion des modifications éventuelles.

Ainsi, l'ensemble des plans de définition établis dans le cadre de ce travail constitue une étape fondamentale de la préparation à la fabrication. Ils sont regroupés en (**Annexe B**) et servent de support de communication technique entre les différents acteurs du projet.

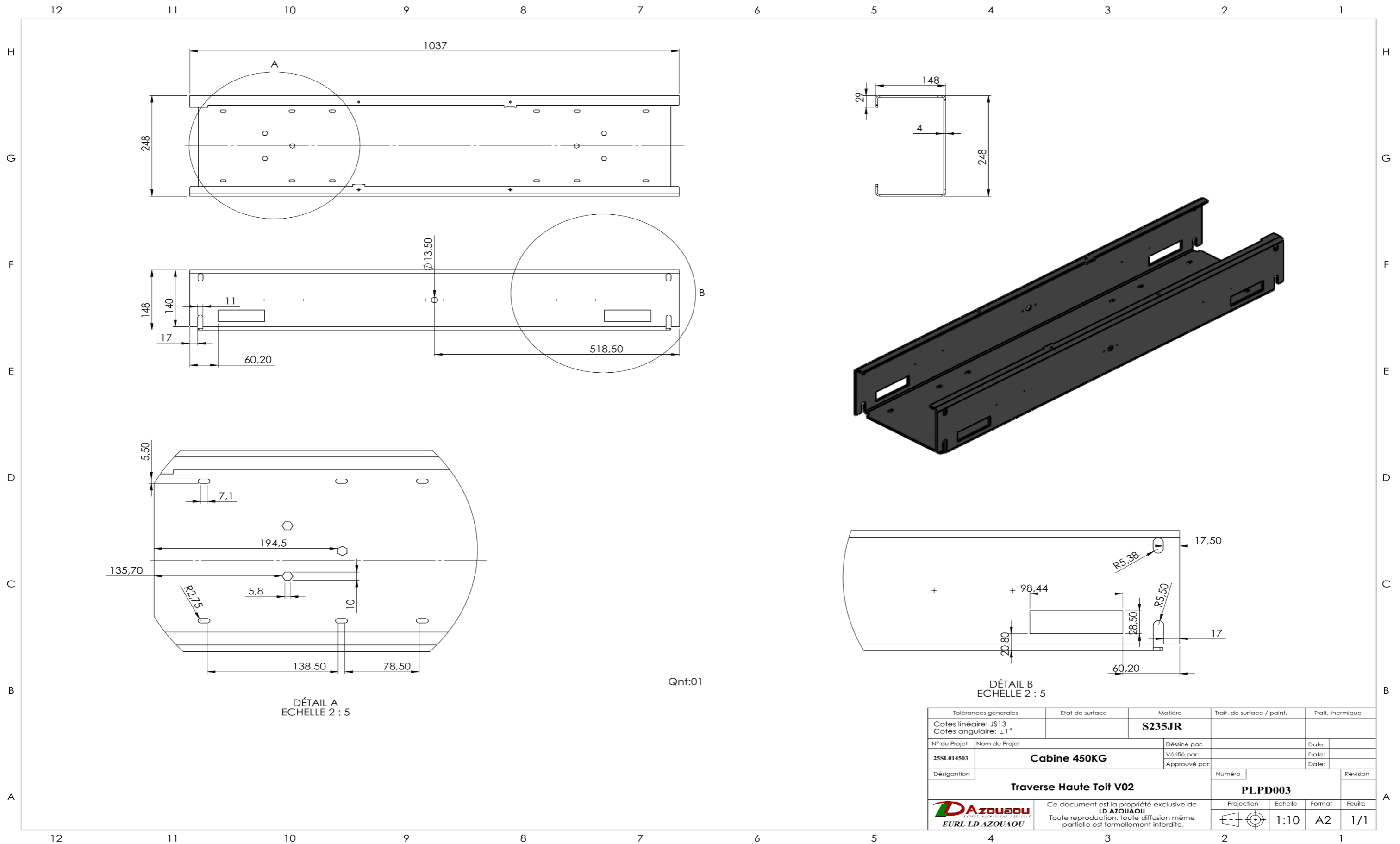


Figure II.6: Plan de définition d'un composant de l'arcade.

II.2.5 Nomenclature de l'arcade

La nomenclature, aussi appelée Bill of Materials (BOM), est un document fondamental en conception mécanique. Elle regroupe de façon hiérarchisée toutes les pièces constitutives d'un produit, qu'il s'agisse de composants fabriqués ou d'éléments standards. Dans le cadre de notre projet, la nomenclature de l'arcade de la cabine a permis de recenser l'ensemble des pièces nécessaires à son assemblage, en précisant pour chacune son nom, sa désignation, sa quantité et parfois son matériau. Elle constitue ainsi une véritable carte d'identité du produit conçu (Dassault Systèmes) [33].

Sur le plan industriel, ce document joue un rôle clé : il constitue une référence unique pour le bureau d'études, la production et les achats. En effet, une nomenclature digitalisée devient la « colonne vertébrale » reliant conception, approvisionnement, fabrication et maintenance, ce qui permet d'anticiper les besoins en matériaux, de contrôler les coûts et d'assurer la cohérence des informations tout au long du projet.

Sans nomenclature précise, il serait impossible de garantir la reproductibilité du produit ni d'éviter les erreurs d'approvisionnement [34].

II.2.5.1 Structure et informations typiques d'une nomenclature

La nomenclature est généralement organisée sous une forme hiérarchique. Elle commence par décrire l'assemblage global (dans notre cas, l'arcade complète), puis détaille les sous-ensembles, et enfin liste les pièces élémentaires. Cette structuration par niveaux permet de suivre facilement la décomposition du produit, du plus complexe vers les composants de base [35]. Chaque ligne d'une nomenclature correspond à un article unique, identifié par un code ou une référence interne, accompagné d'une désignation claire (nom de la pièce). Ces informations sont essentielles pour éviter toute ambiguïté entre les services de conception, de fabrication ou d'achat [36].

Parmi les informations les plus couramment incluses dans une nomenclature, on retrouve :

- La référence de la pièce La quantité requise ;
- La masse unitaire ;
- Le matériau et sa nuance ;
- Les traitements de surface ...

II.2.5.2 Génération de la nomenclature dans SolidWorks

La nomenclature de l'arcade a été obtenue automatiquement à partir de l'assemblage 3D réalisé sous SolidWorks 2017. Une fois l'assemblage complet modélisé, une mise en plan a été générée et la table de nomenclature y a été insérée via le menu Insertion > Tables > Nomenclature.

Cette table regroupe directement les informations issues des propriétés des pièces : désignation, matériau (ici l'acier S235 JR), masse et quantités. L'un des avantages majeurs de SolidWorks est que la nomenclature se met à jour automatiquement : toute modification apportée à une pièce (dimensions, matériau ou quantité) est instantanément répercutée dans le tableau.

En résumé, la nomenclature regroupe non seulement les informations de base (noms et quantités), mais aussi toutes les données techniques qui garantissent la traçabilité et la conformité du produit. Dans notre cas, cela permet de s'assurer que chaque élément de l'arcade est bien identifié et documenté avant la fabrication et l'assemblage.

Elle peut être exportée sous format Excel et adaptée aux standards de l'entreprise, ce qui facilite son exploitation par la production et le service achats [37].

En complément, l'entreprise utilisait un logiciel de gestion de données techniques appelé PDM (Product Data Management). Ce dernier permettait de stocker et gérer toutes les versions des nomenclatures et des plans, tout en assurant un accès sécurisé et centralisé pour chaque utilisateur. Concrètement, grâce au PDM, nous pouvions partager et consulter les nomenclatures mises à jour sans risque de confusion entre anciennes et nouvelles versions. Cet outil a donc joué un rôle clé dans la collaboration entre les binômes et dans la validation finale de la documentation technique (Dassault Systèmes – PDM).

La nomenclature ayant permis d'identifier et de documenter chaque composant, il devient possible de procéder à l'assemblage virtuel de l'arcade, étape décisive pour valider la cohérence de la conception.

La nomenclature (Bill of Materials – BOM) de l'arcade est présentée dans le tableau **ci-dessous**. Elle regroupe l'ensemble des pièces constitutives de la structure

				Matière première					Pièce							
				Tôle					Pièce à sous-traité		Pièce					
Code	Description	Quantité	Poids (Kg)	Épaisseur (Mm)	Nature	Nuance	Surface	Origine	Fabrication	Traitement thermique	À souder	À poinçonner	À Plier	À Rouler	À cintrer	Débitage
25SL014503-U19	Traverse Haute Toit V02	1	17,8	4	Noir	S235 JR	162192	Fabriquée	Découpe	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	NON
25SL014503-U20	Fourchette Sécurité	2	0.2	3	Noir	S235 JR	19321	Fabriquée	Découpe	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	NON
25SL014503-U21	Montant Latéral VM3-CM1	2	285	4	Noir	S235 JR	1869672	Fabriquée	Découpe	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	NON
25SL014503-U22	Profile de Liaison Transverse Haute Toit Réduit	2	1.3	4	Noir	S235 JR	90736	Fabriquée	Découpe	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	NON
25SL014503-U23	Cornière en L	2	2	4	Noir	S235 JR	1869672	Fabriquée	Découpe	NON	NON	NON	OUI	NON	NON	NON

Tableau II.1: Nomenclature (BOM) de l'arcade.

II.2.6 Assemblage de l'arcade

II.2.6.1 Définition et rôle

En conception mécanique, l'assemblage désigne l'opération consistant à réunir plusieurs pièces distinctes pour former un sous-ensemble fonctionnel. Dans un contexte industriel, il ne s'agit pas seulement de juxtaposer des pièces, mais de créer un système cohérent dans lequel chaque composant est positionné selon des contraintes géométriques précises. L'assemblage virtuel, réalisé dans les logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) tels que SolidWorks, est aujourd'hui une étape incontournable : il permet de visualiser le sous-ensemble complet, de vérifier la compatibilité des pièces et d'anticiper d'éventuels problèmes avant le passage à la fabrication réelle [38].

Dans l'industrie, l'assemblage numérique joue trois rôles essentiels :

- **Validation fonctionnelle** : il permet de simuler le comportement d'un mécanisme et de s'assurer que les pièces interagissent correctement.
- **Détection des interférences** : grâce aux outils de contrôle, il identifie les chevauchements ou conflits entre composants, ce qui contribue à réduire les erreurs de fabrication et, par conséquent, les coûts associés [39].
- **Préparation de la production** : l'assemblage sert de base à la génération de vues éclatées, de nomenclatures et de gammes de montage, documents indispensables à l'atelier [40].

Ainsi, l'assemblage n'est pas seulement une opération de conception : c'est aussi un outil de communication entre le bureau d'études, les méthodes et la production.

II.2.6.2 Assemblage de l'arcade : ce qui se fait habituellement

Dans le cas d'une cabine d'ascenseur, l'arcade (ou étrier) constitue un élément critique puisqu'elle assure la liaison entre la cabine et les rails de guidage. En pratique industrielle, l'assemblage de l'arcade suit plusieurs étapes typiques :

- Les pièces principales (traverses, montants, profilés) sont modélisées séparément puis intégrées dans un sous-ensemble CAO ;
- Des contraintes (mates) sont appliquées pour définir leur position relative ;
- Les éléments de fixation (visserie, écrous, pièces de sécurité) sont ajoutés afin de compléter l'assemblage ;
- Une vue éclatée est souvent générée pour visualiser l'ordre logique d'assemblage et faciliter la rédaction de la gamme de montage.

Cette méthode est courante car elle permet de valider le concept en amont et de préparer la documentation technique. Dans les grandes entreprises, ces données sont centralisées dans un PDM (Product Data Management) afin de garantir l'unicité et la traçabilité des fichiers [40].

Dans notre projet, nous avons appliqué une démarche de rétro-ingénierie ;

Concrètement, nous avons commencé par démonter l'arcade existante afin d'en relever toutes les dimensions. Chaque pièce (traverse haute, profil de liaison, montants latéraux, fourchette de sécurité, visserie) a été modélisée en 3D sur SolidWorks 2017, en utilisant notamment l'atelier tôlerie pour les éléments pliés.

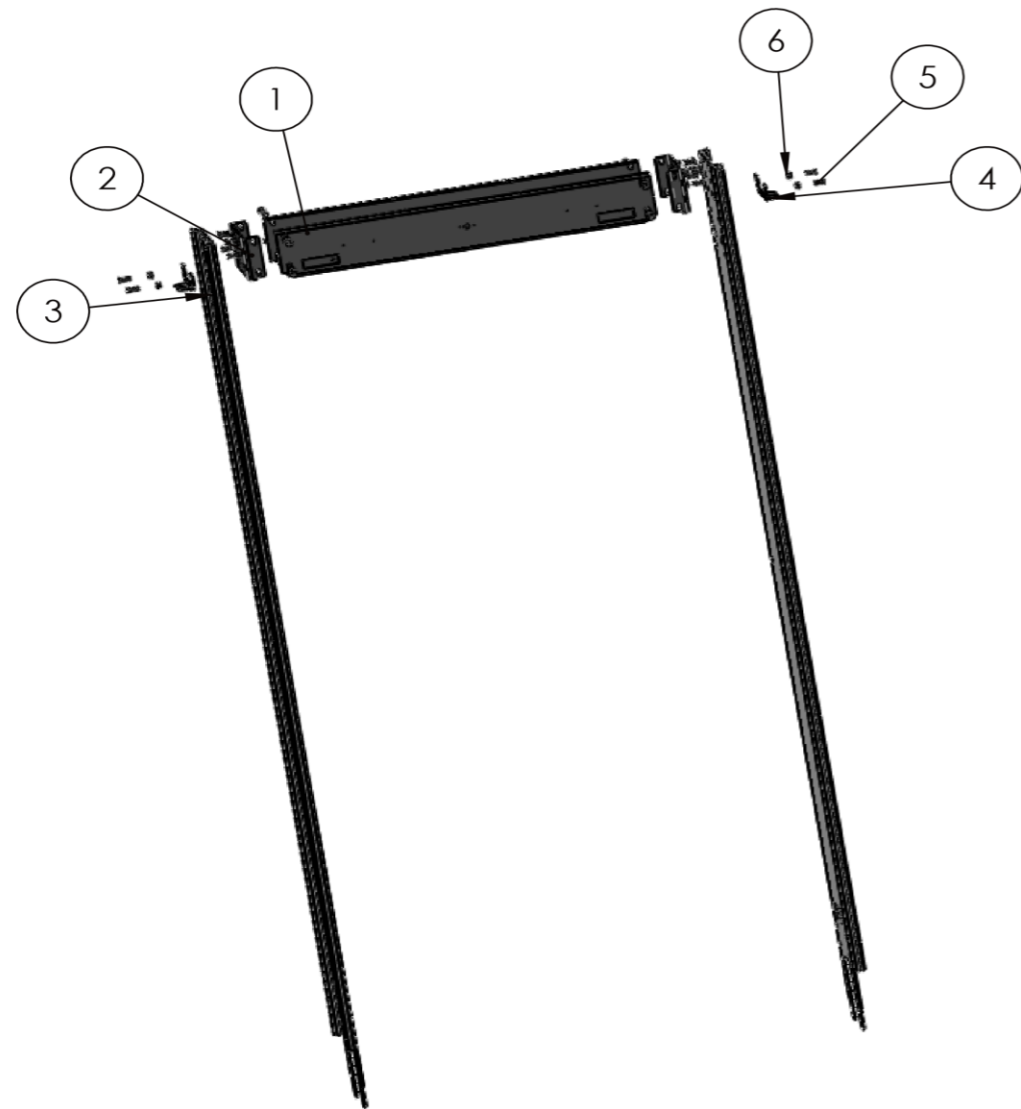
Une fois les pièces modélisées, nous avons procédé à leur assemblage virtuel. Les contraintes géométriques ont permis de reconstituer l'arcade numérique, identique au modèle réel. L'outil de détection d'interférences a été utilisé pour s'assurer de l'absence de chevauchements. Enfin, une vue éclatée a été générée afin de préparer la gamme de montage.

Toutes les données associées (fichiers de pièces, assemblage, nomenclature) ont été gérées à l'aide du PDM mis en place dans l'entreprise. Cette étape a donc permis non seulement de valider notre conception numérique de l'arcade, mais aussi de préparer directement la documentation technique destinée aux annexes.

L'assemblage numérique a été documenté conformément aux règles de représentation technique normalisées (ISO 128), garantissant ainsi une exploitation correcte des fichiers et plans en atelier.

La démarche de rétro-ingénierie adoptée a permis de comparer les cotes relevées sur l'arcade réelle avec celles issues de la modélisation 3D, assurant la fiabilité du modèle et la conformité des plans obtenus.

De plus, l'assemblage virtuel et la vue éclatée générée constituent de véritables outils de communication entre le bureau d'études et l'atelier, en facilitant la compréhension des étapes de montage et en réduisant le risque d'erreurs lors de l'assemblage physique.



No. ARTICLE	DESCRIPTION	QTE
1	Traverse Haute Toit V02	1
2	Profile de Laison Transverse Haute Toit Réduit	2
3	Montant Latéral VM3-CM1	2
4	Fourchette Sécurité	2
5	VIS A TETE HEXAGONAL M10X25	24
6	ecrou frein M10	23

Tolérances générales		Etat de surface		Matière		Trait. de surface / paint.		Trait. thermique			
Cotes linéaire: JS13 Cotes angulaire: ±1°											
N° du Projet	Nom du Projet			Dessiné par:		Date:					
25SL014503	Cabine ascenseur 450kg			Vérifié par:		Date:					
Désignation				Approuvé par:		Date:					
montage arcade						Numéro		Révision			
						PLPM001					
		Ce document est la propriété exclusive de LD AZOUAOU. Toute reproduction, toute diffusion même partielle est formellement interdite.				Projection		Echelle		Format	Feuille
						1:50		A3	1/1		

Figure II.7: Plan d'assemblage de l'arcade.

II.2.7 Gamme de montage de l'arcade

Après avoir terminé la modélisation des pièces de l'arcade et établi leur nomenclature, nous avons procédé à la réalisation de la gamme de montage. Cette dernière a été réalisée sur SolidWorks 2017, avec l'appui du logiciel PDM pour la gestion et l'organisation des fichiers.

II.2.7.1 Définition et rôle

La gamme de montage, parfois appelée gamme d'assemblage, est un document technique qui décrit de façon structurée et chronologique l'ensemble des opérations nécessaires pour assembler un produit à partir de ses composants.

Ce document présente de manière structurée les différentes étapes à suivre, les outils requis, ainsi que les contrôles nécessaires.

Elle ne se limite pas à une simple liste de tâches :

- C'est un outil de production élaboré par le bureau des méthodes pour guider les opérateurs. On y retrouve les différentes étapes à suivre, les outils à utiliser et, si nécessaire, les contrôles intermédiaires à réaliser. Dans notre projet, cette gamme a servi de référence pour organiser logiquement l'assemblage de l'arcade et éviter toute erreur de séquence ou d'oubli de pièce [41].

II.2.7.2 Importance de la gamme de montage

- **Organisation** : définit l'ordre exact des opérations de montage de l'arcade. Planification : facilite la répartition du travail et l'anticipation des ressources. Outillage : précise les outils nécessaires (clé, pied à coulisse, mètre ruban...) ;
- **Qualité** : inclut des contrôles obligatoires (couple de serrage, alignement, dimensions). Standardisation : assure un montage identique, quel que soit l'opérateur ;
- **Formation** : sert de support aux nouveaux opérateurs pour comprendre les étapes ;
- **Traçabilité** : permet de retracer le processus en cas d'erreur ou d'incident ;
- **Amélioration continue** : fournit une base pour analyser et optimiser les temps et méthodes ;
- **Lean Manufacturing** : s'inscrit dans la logique de standardisation et de réduction des gaspillages [42] [43] [44].

II.2.7.3 Application à notre projet

Lors de l'élaboration de la gamme de montage de l'arcade, nous avons procédé à une vérification systématique de l'alignement et de l'ajustement des pièces, afin de détecter d'éventuelles interférences. Pour faciliter la compréhension, nous avons utilisé la fonction vue éclatée de SolidWorks, ce qui a permis de représenter visuellement les différentes phases de montage.

L'intégralité des représentations détaillées de la gamme de montage est regroupée en (**Annexe C**).

II.3 Assemblage de cabine complète

L'assemblage occupe une place centrale dans tout projet de conception mécanique. Il consiste à regrouper dans un même environnement numérique l'ensemble des composants modélisés, afin de simuler leur interaction et de vérifier leur compatibilité. Cette étape permet non seulement de visualiser le produit final, mais aussi de prévenir les erreurs de conception, comme les interférences entre pièces, les contraintes mal définies ou encore les problèmes de tolérances d'usinage. En pratique, l'assemblage virtuel constitue donc une validation préalable avant le passage en fabrication réelle.



Figure II.8: Cabine d'ascenseur assemblée par le logiciel SolidWorks.

II.3.1 L'objectif de l'assemblage

1. Assurer la cohérence géométrique entre toutes les pièces modélisées, qu'il s'agisse de sous-ensembles (arcade, châssis, parois, toit) ou de la cabine complète ;
2. Générer automatiquement les documents de production, tels que les plans d'assemblage, la nomenclature ou les vues éclatées, qui servent ensuite de support à l'atelier ;
3. Constituer une base fiable pour la planification de la fabrication et la préparation de la gamme de montage, en s'appuyant sur un modèle validé ;
4. Un autre objectif majeur de l'assemblage est lié au respect des normes en vigueur, notamment la norme EN 81-20, qui définit les exigences de sécurité applicables à la conception et à l'installation des ascenseurs. Cette précise, entre autres, les dimensions minimales à respecter dans la cabine, la résistance des structures et les règles de protection des usagers. Ainsi, la validation de la cabine à travers l'assemblage virtuel ne visait pas uniquement à garantir sa faisabilité technique, mais aussi sa conformité réglementaire, un critère indispensable pour toute mise en service d'ascenseur [45].

Dans notre projet, l'assemblage a été réalisé sous SolidWorks 2017, accompagné du logiciel PDM (Product Data Management). Ce dernier a joué un rôle essentiel en assurant la gestion structurée des fichiers, la traçabilité des modifications et la synchronisation entre les différentes étapes du projet. L'utilisation de PDM a également permis de garantir que l'ensemble des membres travaillait sur des versions cohérentes et validées, réduisant ainsi le risque d'erreurs liées à la duplication ou au mauvais archivage des données [46].

Dans notre cas, Cette étape s'est focalisée sur la cabine d'ascenseur de 450 kg, en regroupant les sous-ensembles conçus par chaque binôme et en vérifiant leur compatibilité. Le modèle final a permis de disposer d'une vision claire et détaillée de la cabine complète, validant à la fois sa conception et son potentiel de fabrication, tout en préparant efficacement la phase suivante consacrée au montage.

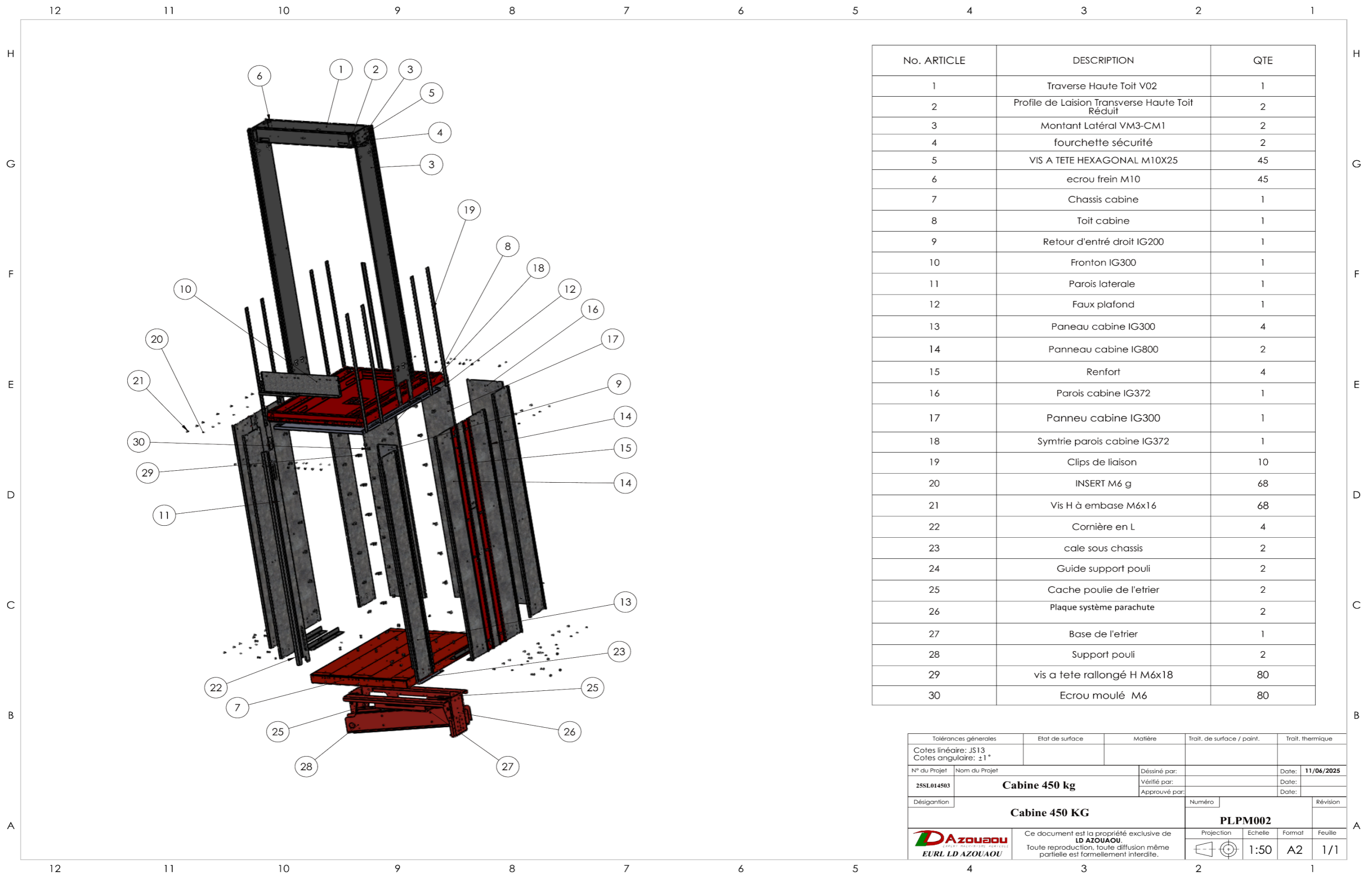


Figure II.9: Plan d'assemblage de la cabine complète.

II.3.2 Assemblage sous SolidWorks

L'assemblage a été réalisé dans l'environnement SolidWorks 2017, qui offre des fonctionnalités puissantes pour organiser et vérifier la compatibilité géométrique entre les composants. Dans ce cadre, chaque pièce de la cabine a été importée puis contrainte à l'aide de mates (contraintes d'assemblage). Ces contraintes permettent de définir précisément la position relative des pièces, par exemple en alignant des faces, en fixant des axes ou en imposant des distances spécifiques. Grâce à cette méthode, la cabine a pu être assemblée de manière virtuelle avec une exactitude proche de la réalité industrielle.

Pour garantir la lisibilité et la validation de l'assemblage, nous avons utilisé la fonction vue éclatée, qui décompose visuellement les différents sous-ensembles (arcade, parois, toit, plancher). Cette représentation a été essentielle pour générer des plans clairs et faciliter la compréhension du processus d'assemblage, en particulier pour la préparation de la gamme de montage. Elle a également servi de support pour détecter des interférences éventuelles et vérifier l'accessibilité lors du montage [38].

Un autre outil important a été l'intégration avec le logiciel PDM (Product Data Management), qui a permis de gérer efficacement les fichiers d'assemblage. Chaque modification apportée à une pièce ou à un sous-ensemble a été automatiquement répercutée dans l'assemblage global, évitant ainsi les incohérences. Le PDM a également facilité le travail collaboratif en assurant la synchronisation des fichiers et la gestion des révisions [46].

En pratique, cet assemblage nous a permis de :

- Vérifier l'alignement et l'ajustement de toutes les pièces ; Contrôler la présence d'interférences éventuelles ;
- Préparer les documents techniques (plans d'assemblage, vues éclatées, nomenclatures) ;
- Anticiper les besoins en visserie et autres éléments de fixation.

II.3.2.1 Stratégie d'assemblage retenue

L'assemblage d'un sous-système mécanique comme la cabine d'ascenseur requiert une démarche structurée, permettant de garantir à la fois la cohérence géométrique, la fiabilité mécanique et la reproductibilité du montage. En pratique, les bureaux d'études et les ateliers suivent des stratégies standards, reposant sur un ordre chronologique logique, des contrôles intermédiaires et des boucles de vérification.

Dans notre cas, l'assemblage virtuel a été conduit sur SolidWorks 2017 avec gestion documentaire sous PDM, en veillant à respecter une progression transposable à un atelier réel.

La démarche adoptée peut se résumer en plusieurs principes :

- **Construction d'une base de référence** : le châssis et l'arcade sont assemblés en premier, car ils constituent la structure porteuse de l'ensemble. Cette étape crée un repère stable pour les opérations suivantes ;
- **Fixation des interfaces critiques** : les liaisons avec les rails de guidage sont positionnées et contrôlées (perpendicularité, concentricité), car elles conditionnent la sécurité et la géométrie finale ;
- **Ajout progressif des sous-ensembles secondaires** : les panneaux et les éléments périphériques sont placés en dernier, afin de ne pas gêner les réglages structurels ;
- **Contrôles de conformité** : à chaque étape, des vérifications sont réalisées (couples de serrage, alignement des rails, dégagements minimaux). Ces contrôles sont intégrés dans la gamme de montage ;
- **Correction et itération** : en cas d'interférence détectée via SolidWorks, la pièce est corrigée, le modèle mis à jour, puis l'assemblage relancé ;
- **Traçabilité dans PDM** : chaque correction ou modification est enregistrée sous forme de révision avec justification, garantissant la transparence du processus.

Cette stratégie a permis de développer un modèle virtuel fidèle et exploitable pour une production future, tout en limitant les erreurs de conception.

II.3.3 Choix technologique et cohérence des fixations

Dans le domaine de la conception mécanique, plusieurs technologies de fixation peuvent être utilisées pour l'assemblage des structures métalliques :

1. **Le soudage** : procédé permanent qui consiste à fusionner les pièces entre elles. Il garantit une grande rigidité, mais rend le démontage difficile et coûteux en cas de maintenance [47].
2. **Le rivetage** : méthode d'assemblage définitive très répandue dans l'aéronautique. Bien qu'il offre une bonne résistance, il n'est pas adapté aux structures devant être démontées régulièrement [48].
3. **Le collage structural** : de plus en plus utilisé dans l'automobile et l'aéronautique, il permet de répartir uniformément les contraintes. Cependant, il reste sensible à la température et à l'humidité, et son contrôle qualité est complexe [49].
4. **Le boulonnage** : basé sur l'utilisation de vis, écrous et rondelles. C'est une méthode démontable, standardisée et adaptée aux sollicitations vibratoires lorsqu'elle est correctement réalisée [50].

Dans notre projet, nous avons retenu le boulonnage comme solution principale pour l'assemblage de la cabine.

Ce choix se justifie par plusieurs raisons :

- **Démontabilité** : les fixations par vis et écrous facilitent le démontage de la cabine lors des opérations de maintenance ou de remplacement de pièces, contrairement au soudage qui est permanent [51];
- **Standardisation** : les éléments de visserie (vis, écrous, rondelles) sont normalisés selon les standards ISO et DIN, ce qui permet un approvisionnement facile et réduit les coûts [52].
- **Sécurité** : les boulons et écrous freinés assurent un maintien fiable, même en présence de vibrations, ce qui est essentiel pour un ascenseur soumis à des sollicitations dynamiques [53].
- **Cohérence des fixations** : dans notre projet, nous avons harmonisé les dimensions (par exemple vis M10 avec écrous frein M10) afin de limiter la diversité des pièces utilisées, simplifier l'assemblage et réduire les risques d'erreurs lors du montage.

La cohérence des fixations ne réside pas uniquement dans la dimension des vis, mais aussi dans la logique de conception : toutes les pièces principales de la cabine ont été prévues pour être fixées par un même type de visserie, garantissant une homogénéité technique et facilitant la maintenance.

II.3.4 Visserie utilisée

Une fois la méthode d'assemblage choisie, il est nécessaire de définir précisément la visserie adaptée. Dans notre projet, l'assemblage de la cabine a été réalisé à l'aide de fixations normalisées, en cohérence avec les standards ISO et DIN. Ces éléments ont été sélectionnés pour leur résistance mécanique, leur fiabilité et leur facilité d'approvisionnement.

Les principaux composants de visserie utilisés sont :

- **Vis à tête hexagonale M10x25** : 45 pièces.

Utilisées pour assurer le serrage des différentes parties de la cabine. Ce type de vis est couramment employé dans les structures mécaniques en raison de sa robustesse et de la facilité de serrage avec des clés standards [54].

- **Écrous frein M10** : 45 pièces.

Ces écrous auto-freinés empêchent le desserrage accidentel des assemblages soumis à des vibrations, un aspect essentiel dans un ascenseur en fonctionnement [55].

- **Rondelles plates M10** : placées entre la tête de vis et la surface d'appui, elles répartissent la charge de serrage et évitent l'endommagement des pièces assemblées [56].
- **Insert M6 g** : 68 pièces.

Servent de pièces intermédiaires pour créer un filetage solide dans les parois plus fines ou dans les pièces où le vissage direct n'est pas possible [57].

- **Vis H à embase M6x16** : 68 pièces.

Fixations destinées aux assemblages secondaires de la cabine, offrant une bonne répartition des charges grâce à leur embase élargie [58].

- **Vis à tête rallongée H M6x18** : 80 pièces.

Employées pour des assemblages nécessitant une pénétration plus profonde, permettant une fixation robuste dans des pièces épaisses.

- **Écrou moulé M6** : 80 pièces.

Utilisés avec les vis M6, ils assurent une bonne tenue mécanique et une résistance adaptée aux contraintes répétées d'un ascenseur [59].

II.3.5 Livrables d'assemblage

L'assemblage réalisé sur SolidWorks ne constitue pas une finalité en soi. Son intérêt majeur réside dans la capacité à générer des documents techniques exploitables par les ateliers de fabrication et de maintenance. Ces documents, appelés livrables d'assemblage, assurent la continuité entre la conception numérique et la réalisation physique. Ils garantissent que les informations validées en conception sont fidèlement transmises aux équipes de production.

Les principaux livrables issus de notre travail sont les suivants :

- **Plan d'assemblage** : établi à partir des vues éclatées de SolidWorks, il illustre l'ordre logique de montage, en indiquant les principales cotations et références. Destiné à l'atelier, ce plan constitue un guide visuel de premier ordre pour les opérateurs ;
- **Fiche de visserie** : elle répertorie spécifiquement les éléments de fixation (vis, écrous, inserts...), en précisant leur type, leur classe et, lorsque cela est requis, leur couple de serrage. Elle facilite à la fois l'approvisionnement et la mise en œuvre en atelier ;

- **Rapports d'interférences** : générés durant la phase de simulation de l'assemblage virtuel, ils recensent les points de contact ou de blocage détectés, ainsi que les ajustements correctifs réalisés. Ils participent directement à la validation de la conception ;
- **Journal PDM** : grâce à l'intégration du logiciel de gestion documentaire, chaque révision du projet est automatiquement enregistrée avec la date, l'auteur et la justification de la modification. Ce suivi rigoureux assure la traçabilité et la conformité du projet tout au long du cycle de conception.

Ces livrables forment un ensemble documentaire cohérent et indispensable. Ils traduisent le modèle numérique en instructions précises et exploitables, garantissant une fabrication conforme aux exigences de conception et réduisant les risques d'erreurs lors du passage en production.

II.3.6 Gamme de montage de la cabine

Comme pour l'arcade, la cabine complète a nécessité l'élaboration d'une gamme de montage afin de formaliser les différentes opérations d'assemblage. Ce document, généré à partir du modèle 3D conçu sous SolidWorks 2017, a exploité la fonction vue éclatée pour représenter de manière visuelle et intuitive l'enchaînement des opérations [38].

La gamme de montage de la cabine a été présentée sous forme de tableau normalisé, regroupant pour chaque opération les pièces concernées, l'outillage utilisé et les contrôles de conformité à réaliser. Intégrée au dossier technique final, elle constitue une référence claire et exploitable pour toute reproduction future du montage.

La gamme de montage de la cabine a également permis de réaliser une analyse de faisabilité en amont, en vérifiant la compatibilité des différentes pièces et en anticipant les éventuelles difficultés d'assemblage.

Grâce aux vues éclatées issues de SolidWorks, il a été possible de simuler virtuellement l'ordre de montage et de s'assurer que chaque opération restait accessible aux opérateurs (ergonomie, espace disponible, séquence logique). Ce travail de préparation constitue un gain de temps significatif en atelier et contribue à sécuriser le processus d'assemblage réel.

L'ensemble des documents associés, incluant les vues éclatées et le tableau normalisé de la gamme, est regroupé en **(Annexe D)**.

II.4 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons traité **la conception de l'élément de liaison (arcade)** ainsi que **l'assemblage de la cabine d'ascenseur de 450 kg**. La modélisation 3D réalisée sur SolidWorks 2017 nous a permis de représenter fidèlement l'ensemble, d'assurer la cohérence géométrique des pièces et de valider leurs interactions. Les plans de pliage et de définition ont été établis afin de préciser les dimensions et tolérances de chaque élément, garantissant la normalisation et la traçabilité du travail de conception.

L'assemblage de l'arcade, puis de la cabine complète, a confirmé la compatibilité des différentes pièces et validé le choix des éléments de fixation. Ce processus a permis de mettre en évidence l'importance d'une conception rigoureuse pour anticiper les difficultés techniques et assurer la stabilité de l'ensemble.

Ainsi, ce chapitre a montré que **la conception et la mise en plan constituent une étape essentielle**, transformant un projet théorique en un modèle numérique cohérent et documenté, prêt à servir de base pour la fabrication réelle. Il souligne que la réussite d'un ascenseur dépend non seulement du respect des normes, mais aussi de la précision dans la définition et l'assemblage des composants.

Ces résultats ouvrent la voie au **chapitre III**, qui sera consacré aux **procédés de mise en œuvre** d'une pièce représentative de l'arcade (**la traverse haute de toit**), afin de passer de la conception numérique à une approche pratique et industrielle.

Chapitre III : Procédés de mise en œuvre

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons entrepris la conception et L'armature d'un ascenseur constitue un élément fondamental de la structure, garantissant à la fois la stabilité et la rigidité de l'ensemble. Elle est composée de plusieurs pièces majeures : une traverse haute de toit, deux montants latéraux, deux profils transversaux de liaison ainsi que deux fourchettes de sécurité. Bien qu'apparemment simples, ces composants jouent un rôle décisif en assurant la résistance mécanique et en maintenant la géométrie globale de l'installation. Leur réalisation nécessite donc une maîtrise rigoureuse des procédés de fabrication et un enchaînement méthodique des étapes d'usinage et de mise en œuvre.

Dans ce chapitre, l'étude prendra pour exemple la traverse haute de toit, pièce représentative de l'armature, afin d'illustrer les procédés de mise en œuvre et la gamme d'usinage associée. La même méthodologie s'applique néanmoins aux autres composants de l'armature, garantissant une cohérence de fabrication et d'assemblage dans l'ensemble du système.

L'objectif est de retracer, de manière structurée, le parcours suivi par cette pièce depuis la matière première jusqu'à son intégration finale. Les différentes opérations industrielles mobilisées — contrôle des tôles, découpe laser CNC, pliage, usinage complémentaire, meulage et finition — seront détaillées et replacées dans un cadre professionnel concret. Le choix du matériau, l'acier de construction S235JR, ainsi que des procédés utilisés, répond à des contraintes techniques et économiques précises : produire des pièces solides, interchangeables et fiables, tout en optimisant délais et coûts de fabrication. La chaîne de production que nous présenterons intègre l'ensemble des étapes critiques : contrôle et préparation des tôles, découpe laser CNC, meulage, pliage, et conditionnement final. Chacune de ces opérations sera replacée dans un contexte professionnel concret, en s'appuyant sur les standards industriels ainsi que sur la documentation technique de notre fournisseur.

Une attention particulière sera portée à la gamme d'usinage de la traverse haute de toit, choisie comme pièce représentative de l'armature. L'analyse de cette séquence opératoire mettra en évidence les différentes étapes techniques, les équipements mobilisés ainsi que les contrôles qualité nécessaires. Bien que centrée sur un composant spécifique, cette démarche illustre la méthode appliquée à l'ensemble des pièces constitutives de l'armature.

Enfin, nous terminerons par une analyse qualité et un retour d'expérience, afin de mettre en lumière les points forts de notre démarche ainsi que les aspects perfectibles. Cette étude vise à offrir une vision claire et concrète du processus de fabrication et de mise en œuvre de pièces métalliques dans un contexte industriel, tout en fournissant des repères utiles pour des projets similaires.

III.2 Présentation technique de la pièce étudiée

III.2.1 Traverse haute de toit

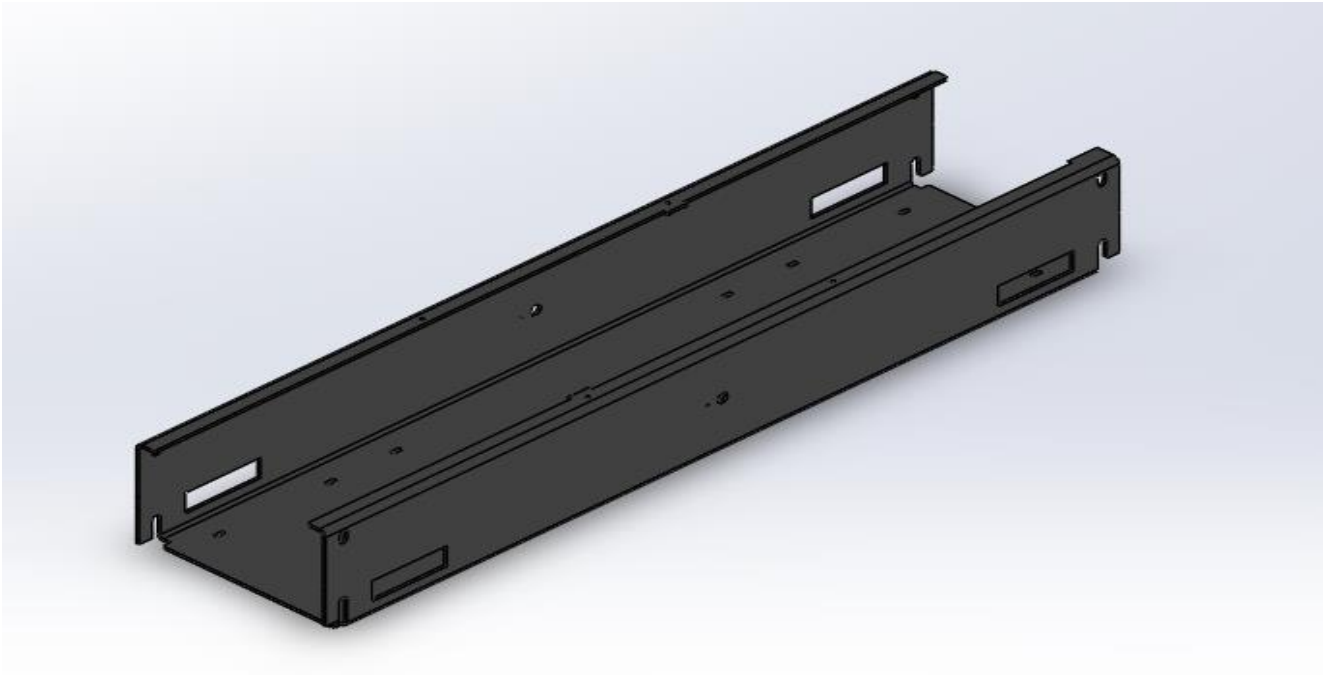


Figure III.1: Vue isométrique de la traverse haute de toit.

La traverse haute est une pièce horizontale qui relie la partie supérieure des deux montants latéraux. Elle verrouille la structure en tête et reprend les efforts horizontaux. Elle peut également accueillir certains accessoires comme des poulies ou des points de fixation de câbles.

Sur le plan technique, elle est généralement façonnée sous forme de profil plié en U ou en oméga, afin de renforcer sa rigidité tout en maîtrisant son poids. Son épaisseur se situe souvent entre 3 et 5 mm, en fonction des besoins de résistance. Les rayons de pliage sont choisis pour éviter toute fissuration et limiter le retour élastique de l'acier.

Les perçages et lumières nécessaires à l'assemblage sont intégrés dès la découpe laser, ce qui évite des opérations supplémentaires et assure un alignement parfait au montage. Les arêtes sont soigneusement ébavurées afin de garantir la sécurité des opérateurs et la qualité des contacts avec les autres pièces.

III.2.2 Exigences techniques générales

- Tolérances dimensionnelles : Les cotes doivent respecter les plans avec une tolérance d'environ $\pm 0,5$ mm sur les longueurs et $\pm 1^\circ$ sur les angles de pliage. Ces valeurs sont vérifiées après découpe et pliage pour s'assurer de la conformité avant assemblage ;
- Qualité des arêtes et surfaces : Les arêtes issues de la découpe laser doivent être ébavurées afin d'éviter toute blessure et garantir un bon contact entre les pièces. Les surfaces doivent être propres et régulières, sans projections ni défauts, pour faciliter l'application d'un revêtement et limiter la corrosion ;
- Compatibilité d'assemblage : Les perçages et lumières doivent s'aligner parfaitement entre les différentes pièces. Cette précision est assurée par la découpe laser et par un contrôle qualité rigoureux ;
- Résistance mécanique et rigidité : La combinaison de l'épaisseur, de la forme pliée et de l'acier choisi permet d'optimiser la solidité tout en conservant un poids adapté pour faciliter la manutention et l'installation ;
- Facilité de montage : Les pièces doivent être montées rapidement sur site, sans ajustements importants. Cela implique un positionnement exact des trous de fixation, des surfaces de contact planes et une compatibilité avec les outils standard utilisés sur chantier.

III.3 Étude du matériau utilisé : Acier S235JR

III.3.1 Présentation générale

L'acier S235JR est un acier de construction non allié défini par la norme **EN 10025-2 : 2019**. Il est largement utilisé dans les structures métalliques, la construction d'équipements et la chaudronnerie.

Sa désignation indique :

- **S** : acier de construction (« Structural ») ;
- **235** : limite d'élasticité minimale en MPa ;
- **JR** : résilience testée à température ambiante (≥ 27 J) ;

Cet acier a été choisi pour notre armature d'ascenseur en raison de sa polyvalence, de sa facilité de mise en œuvre et de sa disponibilité sur le marché [60].

III.3.2 Norme de référence et classification

La norme **EN 10025-2** définit la composition chimique maximale, les caractéristiques mécaniques minimales, les conditions de livraison, ainsi que les méthodes d'essais pour le S235JR. Cet acier est classé dans la catégorie des aciers faiblement alliés et est adapté aux assemblages soudés, boulonnés ou rivetés [60] , [61].

III.3.3 Composition chimique typique

La composition du S235JR selon EN 10025-2 est la suivante :

- Carbone $\leq 0,17$ % ;
- Manganèse $\leq 1,40$ % ;
- Silicium $\leq 0,35$ % ;
- Soufre $\leq 0,035$ % ;
- Phosphore $\leq 0,035$ % ;

Cette faible teneur en carbone favorise la ductilité et le pliage à froid, tout en conservant une résistance mécanique suffisante pour les applications structurelles [60].

III.3.4 Propriétés mécaniques

Pour des épaisseurs ≤ 16 mm, les valeurs minimales garanties sont :

- Limite d'élasticité: 235 MPa ;
- Résistance à la traction et à la compression : 360 – 510 MPa ;
- Allongement à rupture: ≥ 26 % ;
- Résilience : ≥ 27 Joules à température ambiante.

Ces propriétés sont adaptées aux contraintes d'une armature d'ascenseur, où la rigidité et la ductilité sont prioritaires [60].

III.3.5 Formes et conditions de livraison

Le S235JR est disponible sous forme de tôles laminées à chaud, poutrelles, cornières et profilés. Pour notre projet, nous utilisons des tôles de 3 à 4 mm d'épaisseur, livrées brutes de laminage et conformes aux tolérances dimensionnelles définies par **EN 10029** [60] , [62].

III.3.6 Avantages du S235JR dans notre projet

- Excellente aptitude au découpage laser (coupe nette, faible zone affectée thermiquement) ;
- Bonne formabilité au pliage, y compris pour des rayons faibles ;
- Coût modéré et disponibilité sur le marché ;
- Compatibilité avec diverses finitions (peinture, thermolaquage, galvanisation) [60].

III.3.7 Limites et précautions

- Sensibilité à la corrosion en atmosphère humide ou agressive ;
- Résistance mécanique modérée par rapport aux aciers à haute limite élastique [60] .

III.3.8 Stockage et manutention

- Stockage à l'abri de l'humidité ;
- Utilisation de cales non métalliques ;
- Manipulation avec sangles textiles pour éviter les chocs et rayures [60].

III.3.9 Justification du choix du S235JR

Le S235JR a été choisi pour :

- Sa résistance mécanique adaptée aux contraintes de l'armature ;
- Sa compatibilité avec la découpe laser et le pliage CNC ;
- Sa disponibilité locale et son coût compétitif ;
- Sa flexibilité en finition [60].

III.3.10 Comparaison avec d'autres matériaux

Matériau	Avantages	Inconvénients
S355JR	Résistance supérieure	Plus cher, formabilité réduite
Inox 304L	Résistance à la corrosion	Très cher, pliage plus difficile
Aluminium 5754	Léger, résistant à la corrosion	Moins rigide, coût élevé
Acier galvanisé	Protection anticorrosion intégrée	Pliage délicat, coût supérieur

Tableau III.1: Comparaison avec d'autres matériaux.

III.3.11 Conclusion comparative

Le S235JR offre le meilleur compromis entre résistance, formabilité, disponibilité et coût, par rapport aux alternatives étudiées. Les autres matériaux présentent des avantages spécifiques, mais souvent inutiles ou trop coûteux dans notre contexte.

III.4 Chaîne complète de fabrication

III.4.1 Réception et contrôle des matières premières

Dans toute production mécanique, la qualité du produit fini dépend directement de la qualité de la matière première. C'est pourquoi, dès que les tôles en acier S235JR arrivent à l'atelier, la première étape est une réception soigneusement organisée.

Les plaques sont généralement livrées sur palettes ou en paquets sanglés, transportées par camion. Le déchargement se fait avec un chariot élévateur muni de protections sur les fourches. Ces précautions ne sont pas un luxe : elles permettent d'éviter des rayures profondes ou des déformations qui pourraient poser des problèmes lors du pliage ou de la découpe.

III.4.1.1 Vérification des documents

Avant de toucher aux tôles, on commence toujours par un contrôle administratif. On compare le bon de livraison avec la commande initiale pour vérifier que les dimensions, les quantités et la nuance correspondent bien. Ensuite, on examine le certificat matière fourni par le fournisseur (**souvent un certificat 3.1 selon EN 10204**) [63].

Ce document est précieux : il précise la nuance d'acier, sa composition chimique, et les résultats d'essais mécaniques effectués. C'est en quelque sorte la « carte d'identité » du lot de tôle.

III.4.1.2 Inspection visuelle



Figure III.2 : Inspection visuelle des tôles à la réception.

Une fois la partie administrative validée, on passe à l'examen physique. Ce contrôle visuel permet de repérer rapidement les défauts évidents :

- Tâches de rouille ou corrosion naissante ;
- Rayures profondes ou chocs sur la surface ;
- Déformations visibles comme le voilage ou la torsion ;
- Défauts liés au laminage, par exemple de petites fissures ou des inclusions.

Même si le S235JR est robuste, un défaut à ce stade peut entraîner un rebut complet de la pièce plus tard dans la chaîne de production. C'est donc un passage obligé.

III.4.1.3 Contrôle dimensionnel

Le contrôle dimensionnel est réalisé sur un échantillon du lot, car mesurer chaque tôle serait trop long. On vérifie :

- L'épaisseur, avec un micromètre ou un palmer, en comparant aux tolérances de la norme **EN 10029** ;
- La largeur et la longueur, au ruban à mesurer ou avec un système laser ;
- La rectitude des bords, à l'aide d'une règle métallique longue ;
- La planéité, avec un fil tendu ou un niveau à bulle.

Ces contrôles sont simples mais indispensables pour garantir que les tôles se comporteront bien lors des opérations de découpe et de pliage.

III.4.1.4 Stockage et organisation interne

Une fois les tôles validées, elles sont stockées à l'intérieur, dans un espace sec et ventilé. On les pose sur des cales en bois ou en plastique, afin de les isoler du sol et de limiter les risques de corrosion. L'empilage est fait par nuance et par épaisseur, et chaque paquet est clairement étiqueté. Cela évite les confusions quand on passe à la phase de production. Si le stockage doit durer, on applique parfois une légère couche d'huile de protection ou on recouvre les tôles d'un film plastique.

III.4.1.5 Gestion des non-conformités

Si une tôle ne passe pas les contrôles (épaisseur non conforme, corrosion avancée, défaut de surface majeur...), elle est mise en quarantaine, clairement signalée, et ne suit pas le flux normal de production. On contacte alors le fournisseur pour discuter d'un remplacement ou d'un autre arrangement.

III.4.2 Préparation et manutention interne

Une fois les tôles réceptionnées, contrôlées et validées, elles entrent dans le flux interne de l'atelier. Cette étape intermédiaire, qui peut paraître secondaire, est en réalité essentielle pour garantir la qualité du produit final et éviter les incidents lors de la fabrication.

La manutention interne regroupe toutes les opérations qui permettent de déplacer les tôles du stock vers la zone de production, tout en les préparant pour les étapes suivantes comme la découpe laser et le pliage.

III.4.2.1 Nettoyage initial

Avant toute manipulation en machine, il est fréquent que les tôles passent par une phase de nettoyage. Même si elles sont neuves, elles peuvent avoir accumulé de la poussière, des traces de graisse ou des particules métalliques pendant le transport et le stockage. Ce nettoyage peut se faire :

- Par essuyage avec un chiffon imbibé de solvant dégraissant ;
- Par un soufflage à l'air comprimé pour enlever les particules fines.

Ce geste simple évite que des impuretés viennent perturber la coupe ou laisser des traces sous la peinture plus tard.

III.4.2.2 Marquage et identification

Pour éviter toute confusion dans l'atelier, surtout lorsque plusieurs projets sont en cours, chaque tôle est marquée. Ce marquage est discret et réalisé avec une craie grasse ou un feutre spécial pour métaux, afin de ne pas endommager la surface. On y inscrit :

- Le numéro de commande ;
- La nuance (S235JR) ;
- Les dimensions ;

Cela permet de suivre la tôle tout au long du processus, sans perdre la traçabilité.

III.4.2.3 Transport vers la zone de découpe

Le déplacement des tôles jusqu'à la machine de découpe se fait avec un soin particulier. Les plaques d'acier, surtout lorsqu'elles sont fines (3 à 4 mm dans notre cas), peuvent facilement se voiler si elles sont mal soulevées.



Figure III.3 : Transport interne des tôles d'acier à l'aide d'un chariot élévateur Clark.

Les méthodes les plus utilisées sont :

- **Pont roulant avec ventouses** : idéal pour soulever la tôle de manière uniforme, sans point de pression ;
- **Palonnier magnétique** : efficace, mais nécessite des précautions pour ne pas marquer la surface ;
- **Fourches de chariot élévateur avec protections** : solution simple, à condition de manipuler avec douceur et de ne pas frotter contre les autres tôles.

Une mauvaise manutention peut entraîner des déformations invisibles à l'œil nu, mais qui poseront un problème lors du pliage ou de l'assemblage.

III.4.2.4 Stock tampon près des machines

Pour optimiser le flux de production, les tôles destinées à être découpées sont déposées dans un stock tampon à proximité des machines. Ce stock est géré de manière que les opérateurs aient toujours la matière nécessaire sous la main, tout en évitant un encombrement excessif autour des zones de travail.

III.4.2.5 Consignes de sécurité

Les opérations de manutention interne nécessitent des règles claires de sécurité :

- Port obligatoire de gants pour éviter les coupures avec les arêtes ;
- Port de chaussures de sécurité avec embouts renforcés ;
- Interdiction de passer sous une charge suspendue ;
- Communication constante entre le cariste ou le pontier et le reste de l'équipe ;
- Ces règles sont souvent simples, mais elles préviennent la majorité des accidents dans un atelier.

III.4.3 Découpe laser des pièces

La découpe laser est une étape essentielle dans notre fabrication, car c'est elle qui donne aux tôles leur forme définitive avec une précision extrême. Pour ce projet, nous utilisons une machine Trumpf TruLaser 3030 Fiber, qui permet de découper nos tôles S235JR avec une grande rapidité et une qualité constante.



Figure III.4 : Machine de découpe laser fibre Trumpf TruLaser 3030 en atelier.

III.4.3.1 Principe du procédé

La Trumpf TruLaser 3030 Fiber fonctionne sur un principe de découpe par faisceau laser à fibre optique :

1. Le faisceau laser, généré dans une source fibre, est guidé jusqu'à la tête de coupe ;

2. Ce faisceau est focalisé en un point très fin sur la tôle, ce qui élève localement la température au point de fusion ou de vaporisation ;
3. Un gaz d'assistance, injecté sous pression (azote ou oxygène), chasse le métal fondu hors de la coupe ;
4. La table CNC déplace la tôle (ou la tête laser) selon le programme DAO pour suivre la géométrie définie.

Cette technologie permet d'obtenir une précision de l'ordre du dixième de millimètre, même sur des formes complexes.

III.4.3.2 Avantages dans notre projet

Avec la Trumpf TruLaser 3030 Fiber, nous avons plusieurs bénéfices directs :

- Haute précision dimensionnelle : tolérances jusqu'à $\pm 0,1$ mm ;
- Grande vitesse de coupe pour des épaisseurs de 3 à 4 mm en S235JR ;
- Flexibilité : possibilité de réaliser dans la même opération les découpes extérieures, les perçages et certaines gravures de repérage.

III.4.3.3 Choix du gaz d'assistance

Pour nos pièces destinées à être peintes, nous utilisons principalement l'azote comme gaz d'assistance. Ce choix permet d'obtenir une coupe sans oxydation, ce qui évite un ponçage supplémentaire avant peinture. L'oxygène pourrait être utilisé pour des coupes plus rapides ou plus épaisses, mais il laisserait une fine couche d'oxyde à éliminer.

III.4.3.4 Préparation et réglage

Avant la découpe, l'opérateur vérifie :

- Que la tôle est bien calée sur la table de découpe ;
- Que le programme CNC, généré à partir du plan DAO, est correctement chargé ;
- Que les paramètres laser (puissance, vitesse, type de gaz) correspondent à l'épaisseur et au matériau.

Un test de coupe sur une chute de tôle est souvent réalisé pour valider les réglages avant la série complète.

III.4.3.5 Sécurité et environnement

La Trumpf TruLaser 3030 Fiber est équipée d'un carter fermé, mais les opérateurs portent toujours des lunettes de protection adaptées au laser fibre. Les fumées issues de la découpe sont aspirées et filtrées pour éviter la dispersion de particules métalliques fines dans l'atelier.

III.4.4 Réalisation des trous par découpe laser

Dans nos pièces, comme le profil de liaison transverse haute, il y a toujours des trous pour pouvoir fixer les éléments entre eux avec des vis ou des boulons. Au lieu de faire ces trous plus tard avec une perceuse ou une autre machine, nous avons choisi de les réaliser en même temps que la découpe de la pièce grâce à la découpe laser.



Figure III.5: Machine TruLaser 3030 en fonctionnement lors de la découpe d'une tôle.

Concrètement, voici comment ça se passe :

1. On prépare le plan DAO (DXF ou STEP) avec la **forme extérieure + tous les perçages** intégrés dès la conception [64] , [65] ;

2. Le fichier est importé dans le logiciel de pilotage Trumpf (TruTops ou équivalent), qui optimise la trajectoire de découpe ;
3. Lors de l'exécution, le laser découpe d'abord les trous (pour éviter toute déformation de la tôle après ouverture du contour), puis réalise le contour final ;
4. Les trous sont obtenus avec une précision de l'ordre de $\pm 0,1$ mm, ce qui est suffisant pour un assemblage boulonné sans retouche.

Cette méthode a plusieurs avantages :

- **C'est plus rapide** : on gagne du temps car tout est fait en une seule étape ;
- **C'est plus précis** : les trous sont parfaitement à leur place, sans décalage ;
- **C'est plus propre** : les bords sont nets et prêts pour la suite ;

Après la découpe, on vérifie toujours :

- Que le trou a bien la bonne taille (avec un pied à coulisse ou un gabarit) ;
- Que les bords ne sont pas tranchants. Si besoin, on passe un petit coup d'outil pour enlever les petites bavures, avant de continuer le processus.

III.4.4.1 Plans de perçage et illustrations de découpe laser

Afin de préparer la découpe des pièces de l'arcade de l'ascenseur, le bureau d'études élabore deux types de documents essentiels :

- **Les plans complets de perçage** : ils définissent précisément le diamètre, la position et la tolérance de chaque trou.
- **Les extraits/illustrations de découpe laser** : captures réelles montrant la mise en œuvre sur machine et des zones spécifiques de découpe.

A. Plans complets de perçage pour la pièce traverse haute toit

Élaboration des plans complets de perçage pour la traverse haute du toit, détaillant l'emplacement précis de chaque trou et leurs dimensions.

Ce plan sert de référence pour l'usinage et garantit l'assemblage exact des pièces de l'armature.

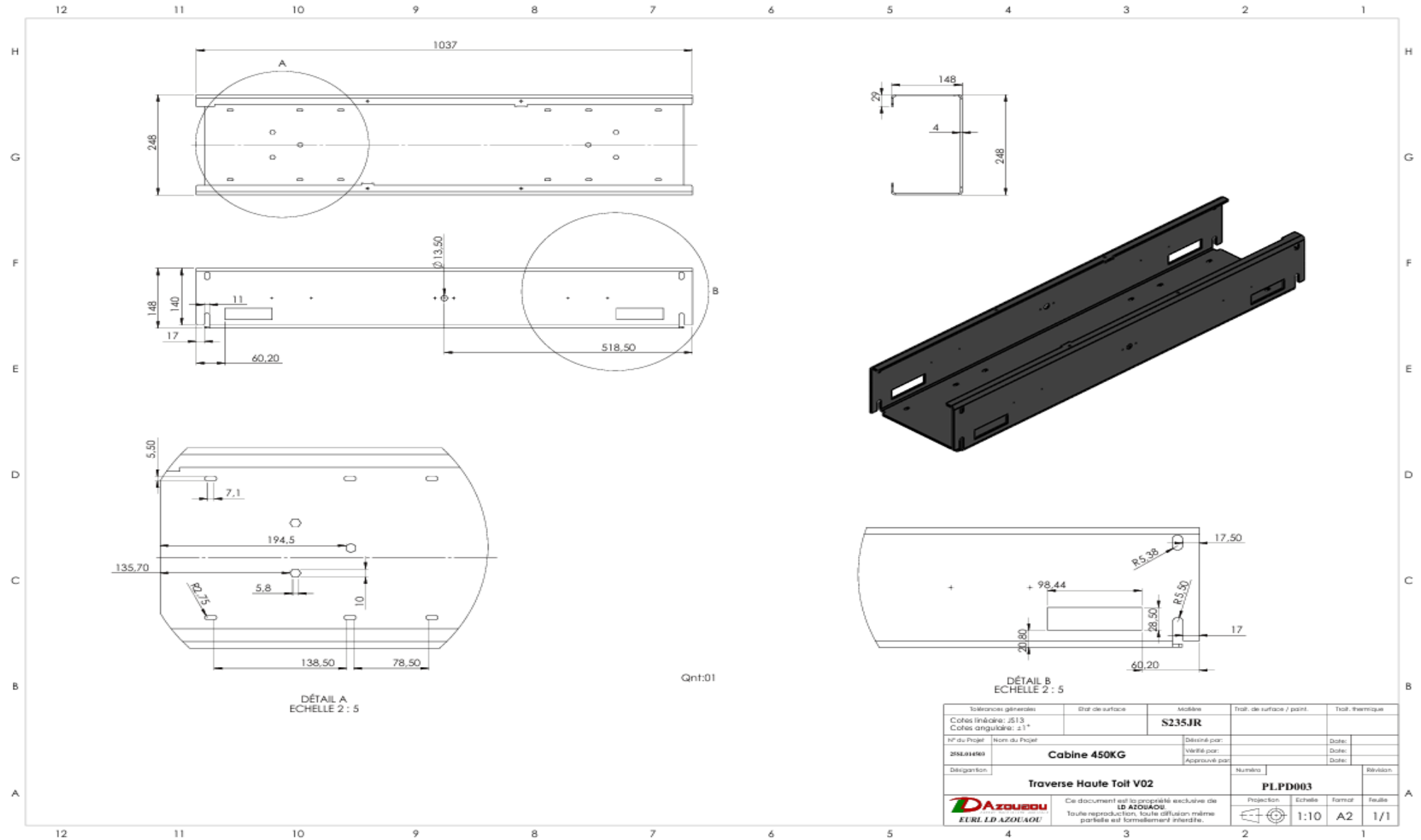


Figure III.6: Plan complet de perçage.

B. Extraits des plans de découpe la même pièce

La Figure présente des captures d'écran des fichiers de découpe laser, illustrant les cotes principales et la disposition des éléments à usiner.

Ces documents servent à :

- Vérifier la cohérence entre la conception CAO et l'exécution sur machine ;
- Contrôler les positions des perçages par rapport aux bords et aux zones de pliage ;
- Optimiser la trajectoire de découpe pour limiter les chutes de matière.

1. Plan de découpe laser – Traverse haute toit

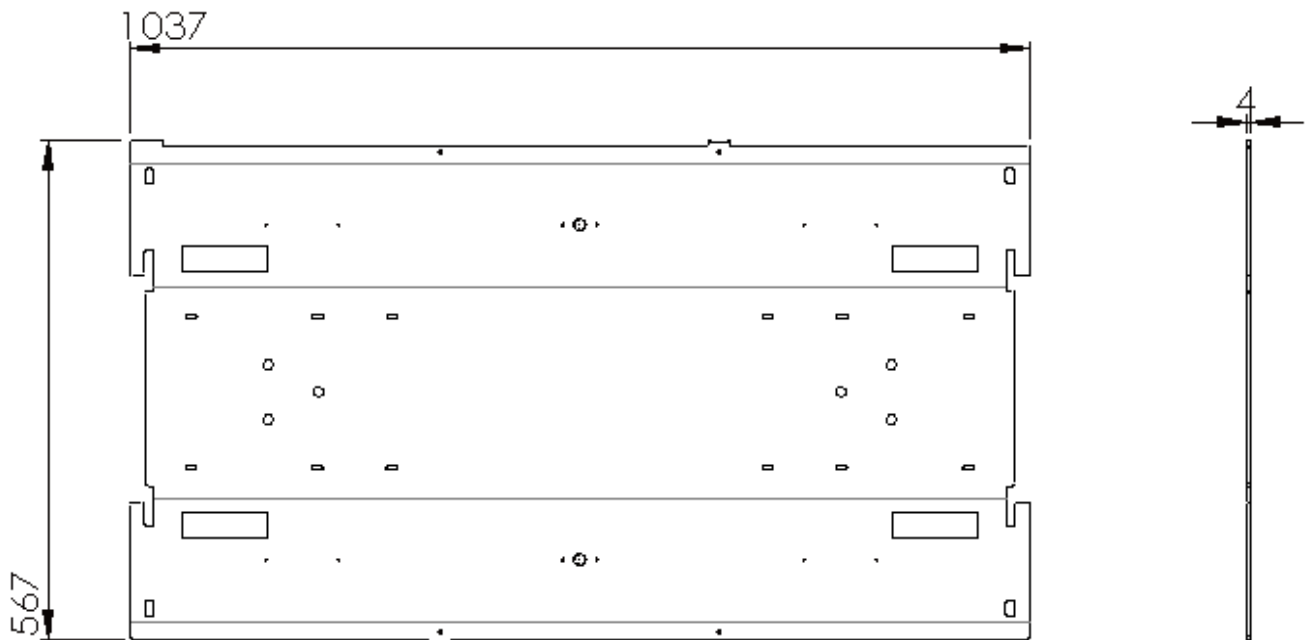


Figure III.7: Présente une capture d'écran des fichiers de découpe laser.

Ce document illustre la traverse haute toit prête à être découpée au laser dans une tôle S235JR de 4 mm d'épaisseur.

On y retrouve :

- **Le contour extérieur complet** de la pièce avec ses dimensions globales (longueur et largeur);
- **Les lignes de pliage en pointillés**, signalant les zones où la tôle sera formée après découpe ;
- **Tolérance générale $\pm 0,1$ mm** conforme aux exigences de conception.

Ces informations permettent à l'opérateur de vérifier que la pièce à découper correspond exactement à la conception validée par le bureau d'études.

III.4.5 Finition des pièces par meulage



Figure III.8: Meuleuse portative en action sur une pièce métallique.

III.4.5.1 Objectif du Meulage

Le meulage constitue une étape essentielle dans la chaîne de fabrication des pièces métalliques. Il est généralement **réalisé manuellement** à l'aide de **disques abrasifs ou lamellaires** adaptés au **type de matériau** et à la finition recherchée. Cette opération a pour objectif **principal d'éliminer les bavures et les irrégularités** générées après les processus de découpe au laser ou de pliage, garantissant ainsi des surfaces parfaitement nettes et conformes aux tolérances exigées.

Outre la suppression des bavures, le meulage permet d'adoucir les arêtes vives, contribuant à la sécurité des opérateurs lors de la manipulation des pièces et réduisant les risques de blessures. Cette étape joue également un rôle important sur le plan esthétique, en assurant un aspect uniforme et soigné aux composants finis.

Par ailleurs, le meulage prépare efficacement la surface pour les étapes suivantes, telles que la peinture. En créant une surface homogène et légèrement rugueuse, il favorise une meilleure adhérence des traitements ultérieurs et garantit une finition de haute qualité, à la fois durable et esthétiquement satisfaisante.

III.4.5.2 Étapes de Meulage

a. Préparation

- Fixer la pièce dans un étau ou sur un support stable.
- Choisir le disque adapté :
 - Abrasif grain 60 → Pour ébavurage grossier.
 - Lamelles grain 120 → Pour finition lisse.

b. Ébavurage (1ère Passe)

- Meuler perpendiculairement aux bords pour enlever les bavures ;
- Appuyer légèrement pour éviter les surchauffes.

c. Finition (2ème Passe)

- Utiliser un disque à lamelles pour un rayonnage uniforme ;
- Suivre le sens du métal pour des stries régulières.

d. Contrôle

- Passer le doigt (ganté) pour vérifier l'absence d'arêtes coupantes ;
- Nettoyer la pièce avec un chiffon ou air comprimé.

III.4.5.3 Normes de Sécurité

L'utilisation d'une meuleuse impose le respect de règles de sécurité simples mais indispensables. Il ne faut jamais retirer le **carter de protection**, car il constitue la première barrière contre les projections d'étincelles ou de fragments abrasifs. L'opérateur doit également éviter de porter des **vêtements amples** ou flottants, ceux-ci pouvant être happés par le disque en rotation. Enfin, la technique de travail est primordiale : il est recommandé de **meuler en dirigeant la machine vers l'extérieur, loin de soi**, afin de limiter tout risque de rebond ou de perte de contrôle. Ces précautions garantissent non seulement la sécurité de l'utilisateur, mais aussi une meilleure maîtrise de la qualité du meulage.

III.4.5.4 Erreurs à Éviter

Comme toute opération manuelle, le meulage peut être source d'erreurs si certaines précautions ne sont pas respectées. Il ne faut jamais **appuyer trop fortement** sur la pièce, au risque de provoquer des rayures profondes ou même une surchauffe localisée qui fragilise le métal. De même, il est essentiel de **contrôler l'état du disque avant chaque utilisation** : un disque fissuré ou abîmé peut éclater en cours de travail et mettre en danger l'opérateur. Enfin, un **contrôle final rigoureux** ne doit jamais être négligé. Vérifier la régularité des arêtes et la conformité des dimensions permet de garantir que la pièce répond bien aux exigences de qualité et de sécurité attendues.

III.4.5.5 Exemple d'Application

Pièce : Traverse Haute Toit V02 (PLPP-001)

- **Zones à meuler**
 - Tous les bords après découpe laser ;
 - Les coins après pliage (éviter les coupures).
- **Résultat Attendu**
 - Arêtes à 0,2 mm de rayon max (sécurité) ;
 - Surface sans aspérités (prête pour le pliage).

III.4.6 Pliage des pièces

Après avoir été découpées et meulées, nos pièces passent à l'étape du pliage. C'est à ce moment que la tôle, jusqu'ici parfaitement plane, prend sa forme définitive pour devenir un montant, une traverse ou un profil de liaison. Dans notre projet, le pliage est réalisé sur une presse plieuse CNC Trumpf TruBend 5230.

III.4.6.1 Rôle du pliage dans notre fabrication

Le pliage permet de donner à la tôle la géométrie nécessaire sans avoir recours à une soudure ou à un assemblage supplémentaire. Pour nos pièces d'armature d'ascenseur, il s'agit souvent de plis en U, qui apportent rigidité et résistance mécanique. L'acier S235JR est particulièrement adapté à ce type d'opération :

- Sa limite d'élasticité modérée permet de plier à froid sans risque de fissuration ;
- Il offre une bonne stabilité dimensionnelle après formage.

III.4.6.2 Présentation de la presse plieuse Trumpf TruBend 5230



Figure III.9: Machine de pliage Trumpf Trubend 5230.

La presse plieuse Trumpf TruBend 5230 est un équipement moderne piloté par commande numérique (CNC). Elle se compose de :

- Un bâti robuste pour absorber les efforts de pliage ;
- Un tablier supérieur mobile (poinçon) qui descend vers la matrice inférieure fixe ;
- Un système CNC qui gère la position, la vitesse et la pression appliquée ;
- Des butées arrière motorisées qui positionnent la tôle avec précision.

L'avantage de cette machine est qu'elle permet de programmer chaque pli à partir du plan DAO et de l'enchaîner automatiquement pour gagner du temps tout en réduisant les erreurs.

III.4.6.3 Préparation avant pliage

Avant de commencer, l'opérateur :

1. Vérifie le plan de pliage et l'ordre des opérations (certaines pièces nécessitent plusieurs plis successifs) ;
2. Installe le poinçon et la matrice adaptés à l'épaisseur et au rayon de pliage souhaité ;
3. Règle les butées arrière pour positionner correctement la tôle ;

4. Lance un pli test sur une chute de même épaisseur pour valider les réglages et compenser le retour élastique.

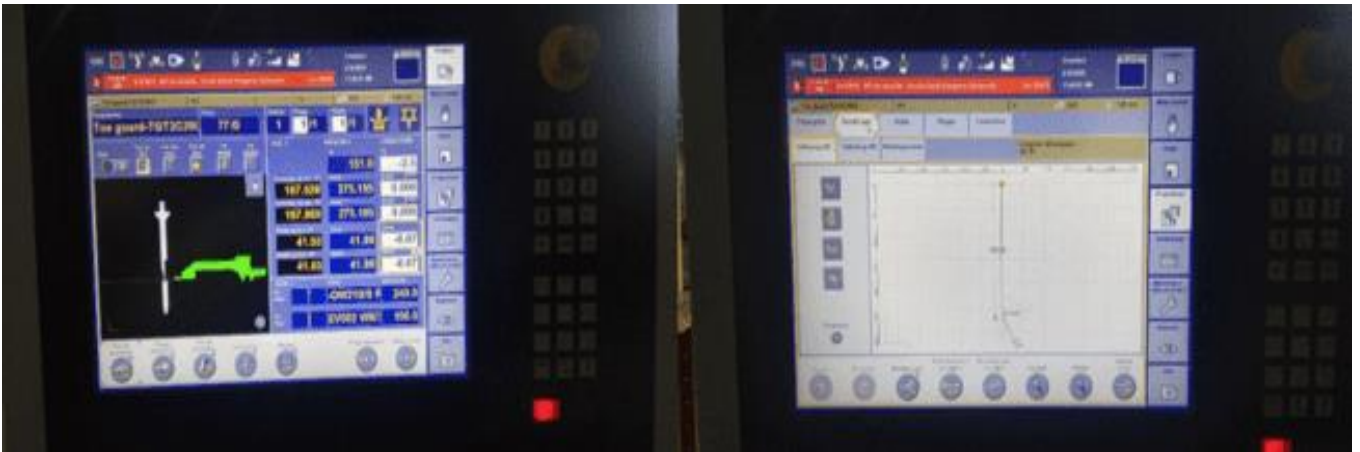


Figure III.10: Visualisation de la séquence de pliage sur l'écran de la machine.

III.4.6.4 Paramètres spécifiques au S235JR

Pour le S235JR de 3 à 4 mm d'épaisseur utilisé dans notre projet :

- Le rayon de pliage minimal conseillé est de 1,5 fois l'épaisseur ;
- La force de pliage est calculée en fonction de la longueur du pli et de l'épaisseur ;
- Une vitesse de descente modérée est privilégiée pour éviter toute déformation parasite ;

Grâce au CNC, la machine ajuste automatiquement la course en fonction du retour élastique mesuré sur le pli test.

III.4.6.5 Sécurité pendant le pliage

Le pliage est une opération où le risque de pincement est élevé. Pour cette raison :

- Les presses plieuses Trumpf sont équipées de rideaux lumineux qui stoppent immédiatement la machine si quelque chose entre dans la zone de travail ;
- L'opérateur porte des gants anti-coupure et se tient toujours en dehors de l'axe de descente du tablier.

III.4.6.6 Contrôle après pliage

Chaque pièce pliée est contrôlée :

- **Angle de pli** : mesuré au rapporteur ou avec un gabarit spécifique ;

- **Longueurs et dimensions critiques** : vérifiées au pied à coulisse ;
- **Aspect visuel** : absence de fissures sur la fibre extérieure et de marques trop profondes laissées par les outils.

Si un pli n'est pas conforme, la pièce peut parfois être corrigée par un second passage en machine, mais le plus souvent elle est rebutée pour éviter tout affaiblissement structurel.

III.4.6.7 Exemple complet – Pliage de la traverse haute toit

Pour illustrer concrètement la procédure, prenons l'exemple de la **traverse haute toit** :

- **Pièce** : Traverse Haute Toit V02 (PLPP-001) ;
- **Matière** : S235JR | Épaisseur : 4 mm ;
- **Machines** : Presse plieuse TruBend 5230.

1. Préparation (Bureau d'Études)

a. Analyse du Plan PLPP-001

La première étape de préparation consiste à analyser en détail le plan PLPP-001 fourni par le Bureau d'Études. Cette analyse permet de comprendre l'ensemble des spécifications techniques de la pièce, telles que les dimensions, les tolérances, les zones de pliage et de perçage, ainsi que les exigences de finition de surface. Le Bureau d'Études identifie également les contraintes liées au matériau, ici la tôle S235JR, et détermine les étapes de fabrication les plus appropriées pour respecter les normes de qualité et de sécurité. L'étude du plan inclut la vérification des cotes critiques, des angles de pliage et des repères de perçage afin de garantir que les pièces produites s'assembleront correctement dans la structure finale. Cette phase préparatoire est essentielle pour anticiper les éventuelles difficultés de production, optimiser la séquence des opérations et assurer une fabrication efficace et conforme aux exigences du projet.

Extrait du Plan

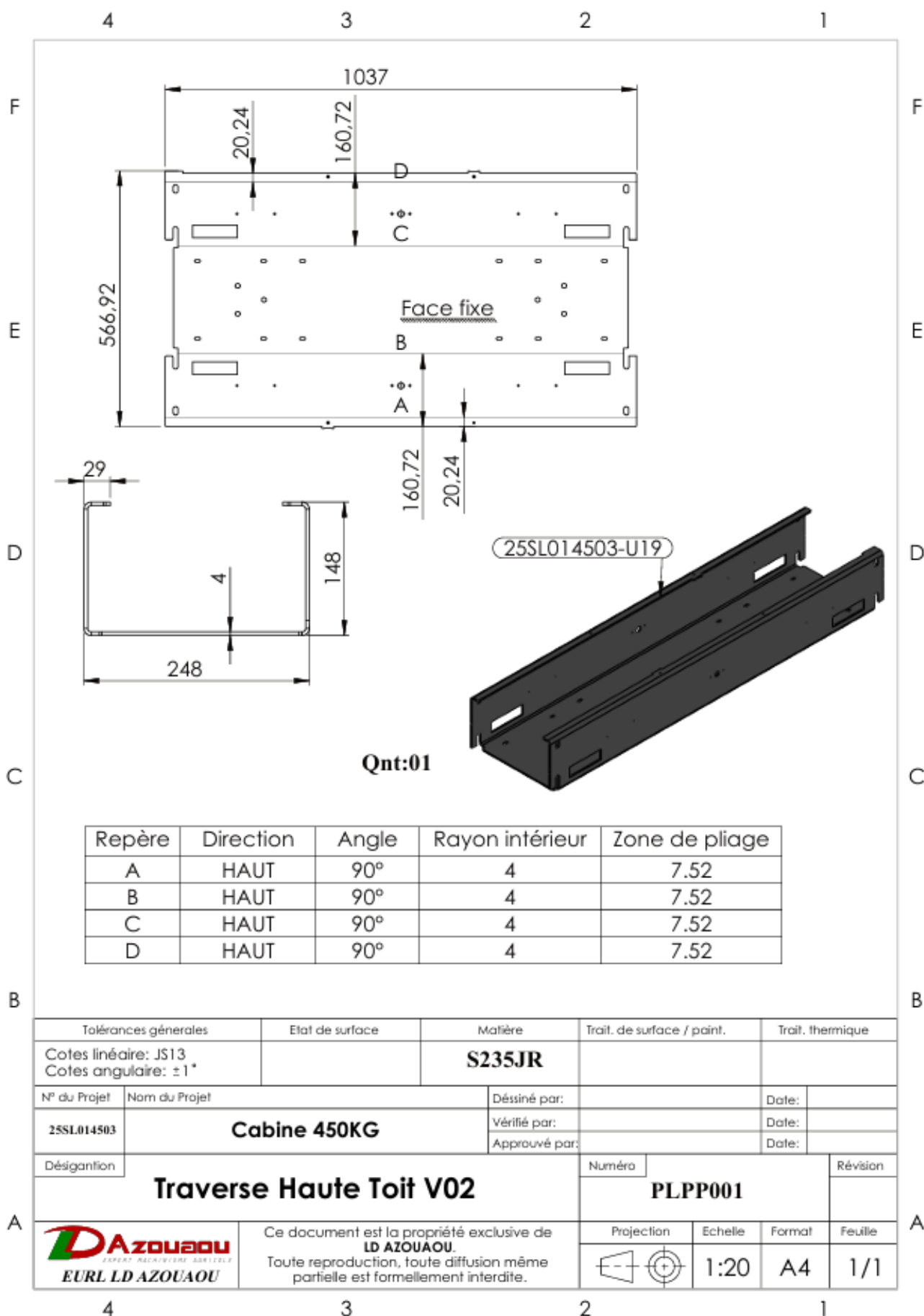


Figure III.11: Plan PLPP-001 traverse haute toit V02.

Vérifier :

- Cotes critiques : 566,92 mm (longueur totale), 160,72 mm (entre plis) ;
- Tolérances : ± 0.5 mm (linéaire), $\pm 1^\circ$ (angulaire).

b. Programmation CNC

La programmation CNC de la presse plieuse TruBend 5230 se fait à partir du plan PLPP-001 en suivant ces étapes :

- Saisie des paramètres : Les cotes machine (ex : 20,24 mm), angles (90°), et rayons (4 mm) sont entrés dans le logiciel de commande.

La machine calcule automatiquement la force nécessaire.

- Correction du retour élastique : Un test sur chute de tôle permet d'ajuster la course pour compenser le ressort du métal.
- Séquence automatisée : La CNC exécute les plis dans l'ordre (Pli 01 → 02 → 03) avec une précision de $\pm 0,1$ mm.

2. Réglage Machine (Atelier)

-Préparer la Machine

- Allumer la presse plieuse (bouton vert).

- Régler les Butées Arrière

- Appuyer sur "Réglage" dans le menu CNC ;
- Entrer la cote (ex : 20,24 mm pour le 1er pli) ;
- Valider : Les butées se déplacent toutes seules.

-Faire un Test

- Placer une chute de tôle (même épaisseur que la pièce) ;
 - Lancer un pli test ;
 - Mesurer l'angle :
- ✓ Si c'est trop ouvert (ex : 85° au lieu de 90°) : augmenter la pression ;

- ✓ Si c'est trop fermé (ex : 95°) : réduire la pression.

- Lancer la Production

- Poser la vraie tôle, aligner le bord avec les butées ;
- Appuyer sur "Start" : la machine fait le pli toute seule.

3. Exécution des Plis

Ordre :

Réalisation de pli : 01 (F)

- Positionner la tôle contre les butées ;
- Valider la cote 20,24 mm après pliage.

Cote machine = 20,24 ; Angle = 90° ; voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02

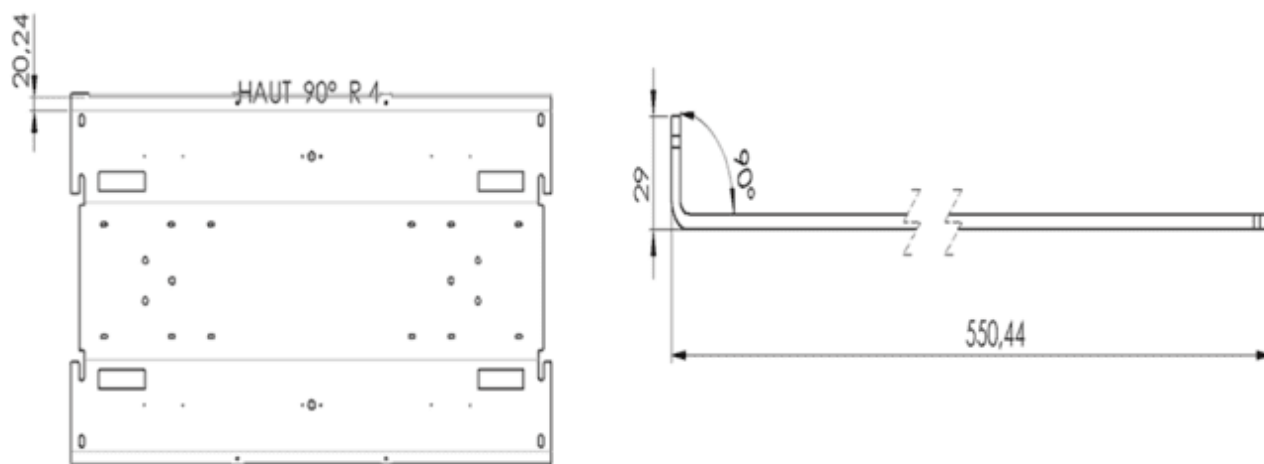


Figure III.12: Réalisation de pli 01 (F).

Réalisation de pli : 02 (F)

- Mesurer 144,24 mm depuis le 1er pli ;
- Contrôler la perpendicularité.

Cote machine = 144,24 ; Angle = 90° ; voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02



Figure III.13: Réalisation de pli 02 (F).

Réalisation de pli : 03 (F)

- Symétrique au Pli 01 ;
- Valider la cote 20,24 mm après pliage.

Cote machine = 20,24 ; Angle = 90° ; voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02

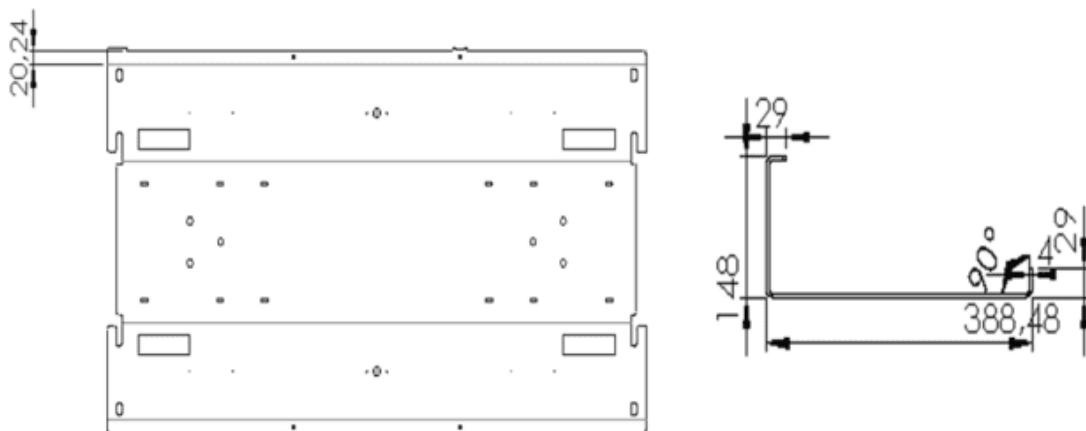


Figure III.14: Réalisation de pli 03 (F).

Réalisation de pli : 04(F)

- Symétrique au Pli 02 ;
- Valider la cote 144.24 mm après pliage.

Cote machine = 160,72 ; Angle = 90° ; voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02

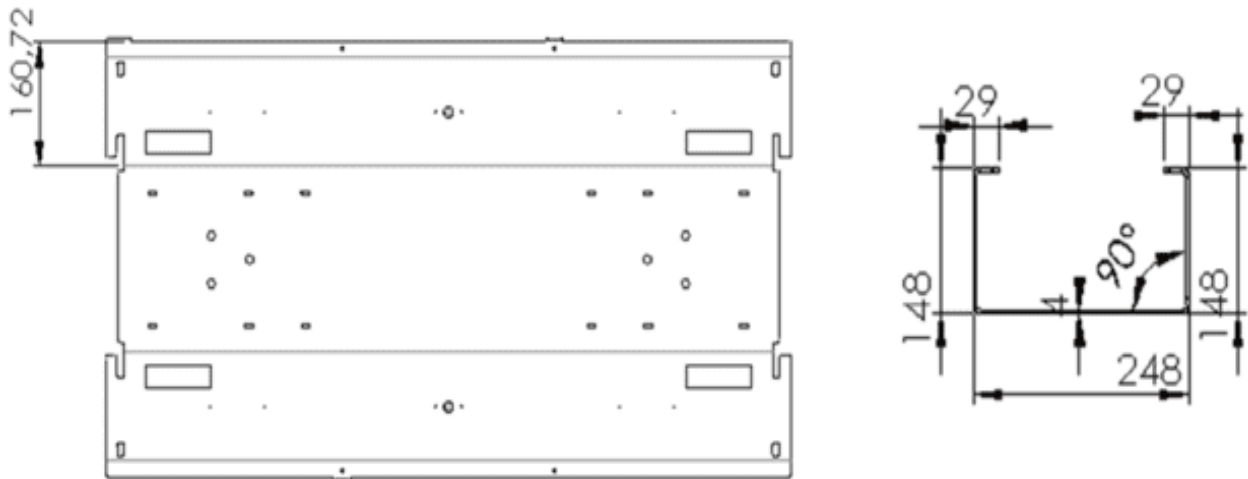


Figure III.15: Réalisation de plie 04 (F).

4. Contrôle Qualité

a) Vérifier les Angles

- Outils : Rapporteur numérique ou gabarit d'angle (90°) ;
- Méthode :
 - Placer l'outil contre le pli ;
 - Accepté si : 89° à 91° (tolérance $\pm 1^\circ$) ;
 - Problème ? → Corriger en repliant légèrement.

b) Mesurer les Cotes

- Outils : Pied à coulisse ou ruban métrique ;
- Points clés :
 - Longueur totale : 566,92 mm (vérifier aux deux extrémités) ;
 - Entre plis : 160,72 mm (si dans le plan) ;
 - Accepté si : $\pm 0,5$ mm d'écart max.

c) Contrôler l'Aspect

- À l'œil :
 - Pas de fissures sur les plis (surtout côté extérieur) ;
 - Pas de marques profondes laissées par les outils.

5. Produit final

Le produit final désigne la pièce après les opérations, présentant des surfaces propres, des arêtes adoucies et des dimensions conformes aux plans.

Il est prêt pour les étapes ultérieures de fabrication.

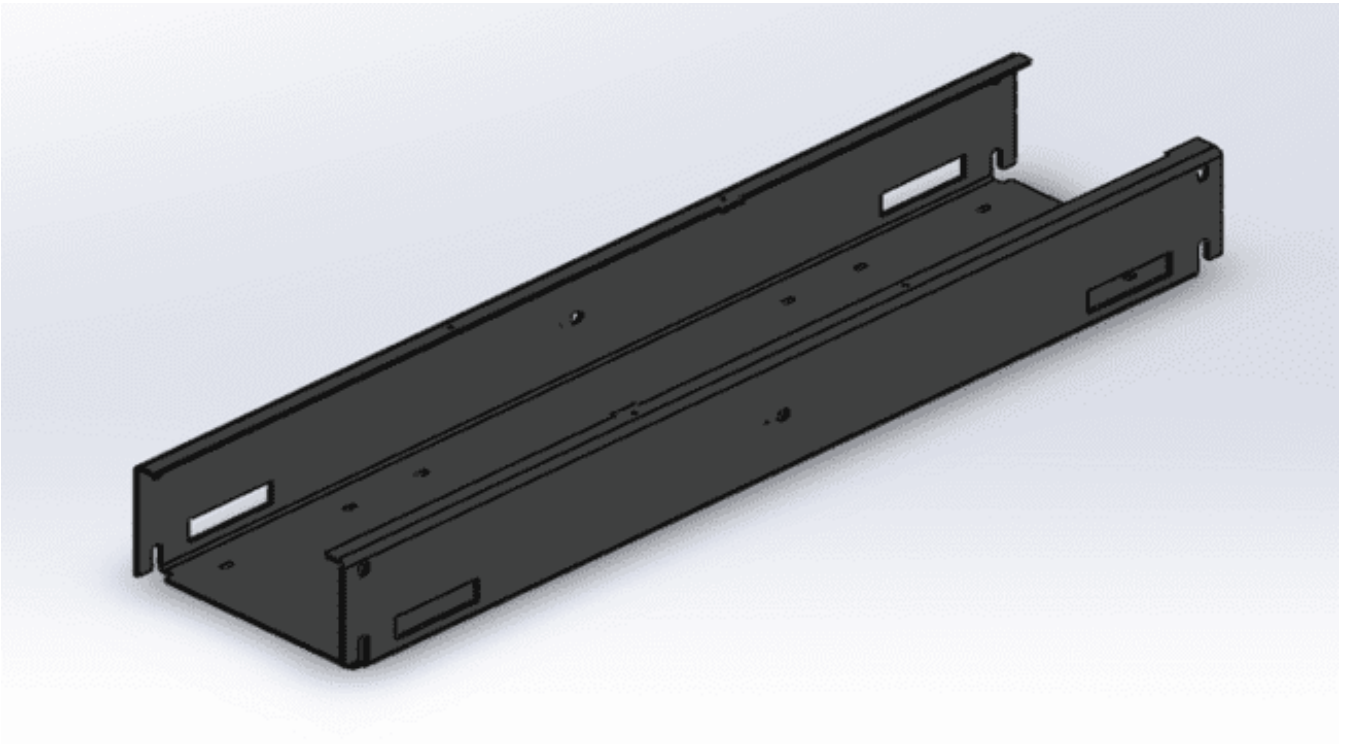


Figure III.16 : Fin de Pliage de la traverse haute de toit.

III.4.7 Application de la peinture

La peinture est la dernière étape visible dans la fabrication de nos pièces d'armature d'ascenseur, mais elle n'est pas qu'un simple élément esthétique. Elle assure une protection essentielle contre la corrosion et contribue à prolonger la durée de vie des composants, surtout dans un environnement où l'humidité et la variation de température peuvent être importantes.

Dans notre projet, nous avons opté pour le thermolaquage (peinture en poudre), mais il existe d'autres procédés que nous allons aussi présenter pour mieux comprendre ce choix.

III.4.7.1 Méthodes de peinture appliquées dans l'industrie

1) Peinture en poudre (thermolaquage)

Principe : La peinture, sous forme de poudre thermodurcissable, est projetée électrostatiquement sur la pièce métallique reliée à la masse. Les particules chargées sont attirées par la surface, formant une couche homogène. Les pièces sont ensuite passées au four (160 à 200°C) pour faire fondre et polymériser la poudre, créant un revêtement dur et résistant.



Figure III.17: Méthode de thermolaquage.

- **Avantages**

- Excellente résistance mécanique et chimique ;
- Finition uniforme sans coulures ;
- Pas de solvants, donc procédé plus respectueux de l'environnement ;
- Très bonne tenue dans le temps.

- **Inconvénients**

- Nécessite un four industriel, donc limité aux pièces pouvant y entrer ;
- Retouches plus compliquées qu'avec une peinture liquide.

2) Peinture liquide au pistolet (classique ou airless)

Principe : Application de peinture liquide (polyuréthane, époxy, alkyde) par pulvérisation, soit à l'air comprimé, soit en haute pression sans air (airless).



Figure III.18: Méthode de peinture liquide au pistolet.

- **Avantages**

- Adaptée aux grandes pièces ou structures montées sur site ;
- Large gamme de couleurs et finitions ;
- Idéale pour les retouches après montage.

- **Inconvénients**

- Risque de coulures si application trop épaisse ;
- Séchage plus long ;
- Résistance inférieure à la poudre en conditions sévères.

3) Cataphorèse (KTL)

Principe : Les pièces sont immergées dans un bain de peinture liquide chargée électriquement. La peinture se dépose uniformément sur toutes les surfaces, même internes, grâce à un champ électrique. Un passage au four est ensuite nécessaire.



Figure III.19: Méthode de Cataphorèse.

- **Avantages**

- Couverture parfaite, y compris dans les zones complexes ;
- Excellente protection anticorrosion.

- **Inconvénients**

- Installation coûteuse.
- Principalement utilisée pour les grandes séries (ex. industrie automobile).

4) Peinture liquide cuite au four (baking enamel)

Principe : Application d'une peinture liquide spéciale, suivie d'une cuisson au four pour améliorer la dureté et l'adhérence.



Figure III.20: Méthode de la peinture liquide cuite au four.

- **Avantages**

- Belle finition brillante ;
- Durabilité supérieure à une peinture liquide classique.

- **Inconvénients**

- Moins résistante que la peinture poudre sur le long terme.

III.4.7.2 Choix pour notre projet : le thermolaquage

Après comparaison, nous avons retenu le thermolaquage pour nos pièces en acier S235JR. Ce choix se justifie par :

- La résistance mécanique : indispensable pour des pièces manipulées et montées sur chantier ;
- La durabilité : protection efficace contre l'humidité et les chocs ;
- L'aspect esthétique : finition homogène et professionnelle ;
- L'absence de solvants nocifs : conformité avec les réglementations environnementales.



Figure III.21: Le thermolaquage.

III.4.7.3 Procédé appliqué dans notre projet

1. Préparation finale :

- Soufflage à l'air comprimé pour éliminer toute poussière ;
- Vérification de la propreté et de l'absence de traces grasses.

2. Application de la poudre :

- Les pièces sont suspendues à des crochets métalliques reliés à la masse ;
- La poudre est projetée par pistolet électrostatique, couvrant uniformément la surface.

3. Cuisson au four :

- Les pièces passent en four à environ 180°C pendant 15 à 20 minutes ;

- La poudre fond, s'étale et se polymérise, créant une couche dure et résistante.

4. Contrôle qualité :

- Inspection visuelle ;
- Mesure d'épaisseur de la couche ;
- Test d'adhérence (ISO 2409) [66].

III.4.8 Contrôle final et expédition

Une fois la peinture appliquée et complètement polymérisée, les pièces de l'armature passent par un contrôle final avant d'être emballées et expédiées. Cette étape est essentielle, car elle valide que chaque élément respecte les exigences techniques et est prêt à être livré ou monté sur site.

III.4.8.1 Objectifs du contrôle final

Le contrôle final vise à :

- Vérifier la conformité dimensionnelle après toutes les opérations ;
- Contrôler la qualité visuelle et l'intégrité du revêtement ;
- S'assurer qu'aucune détérioration n'a eu lieu pendant la manipulation post-peinture.

Procédure de contrôle :

a) Contrôle dimensionnel

- Les principales cotes sont vérifiées avec des instruments calibrés (pied à coulisse, règle, gabarits) ;
- Tolérances appliquées selon ISO 2768 pour les dimensions linéaires et angulaires [67].

b) Inspection du revêtement

- Contrôle visuel sous lumière blanche et lumière rasante pour détecter rayures, bulles ou manques de peinture ;
- Mesure de l'épaisseur de la peinture à l'aide d'une jauge magnétique (valeurs typiques : 60–120 μm pour la poudre) ;
- Test d'adhérence par quadrillage (selon ISO 2409).

c) Contrôle de propreté

- Vérification de l'absence de poussière, de projections ou de coulures de peinture.

III.4.8.2 Emballage et protection

Une fois le contrôle validé, les pièces sont emballées de manière à éviter toute détérioration pendant le transport :

- Film plastique étirable pour protéger de la poussière et de l'humidité ;
- Intercalaires en mousse ou carton entre les pièces pour éviter les frottements ;
- Étiquetage indiquant le nom de la pièce, le lot de production et la date de fabrication.

III.4.8.3 Expédition

Selon la destination finale, deux cas se présentent :

- **Montage interne** : les pièces sont directement transférées vers l'atelier de montage de l'ascenseur ;
- **Livraison externe** : chargement sur palette ou chariot adapté, puis transport vers le client ou le chantier.

Dans tous les cas, une fiche de contrôle final accompagne la livraison, servant de garantie que les pièces ont été inspectées et validées selon les critères de qualité définis.

III.5 Procédés non utilisés et justification

Dans la fabrication de l'armature de notre ascenseur, plusieurs procédés industriels courants n'ont pas été retenus. Il est essentiel d'expliquer ces choix afin de justifier notre démarche technique et de mettre en évidence la pertinence du flux de production adopté, en montrant clairement comment chaque décision a contribué à l'efficacité et à la cohérence du processus global. Cette explication permet de mieux comprendre la logique suivie et la réflexion technique derrière le choix des opérations de fabrication retenues.

III.5.1 Tableau récapitulatif

Procédé	Utilisé	Justification
Traitement thermique	Non	Les pièces ne nécessitent pas de modification des propriétés mécaniques après découpe et pliage. L'acier S235JR conserve ses caractéristiques d'origine adaptées à l'usage.
Traitement de surface préliminaire (galvanisation, anodisation)	Non	Le thermolaquage choisi assure à lui seul une protection anticorrosion suffisante pour un usage intérieur.
Soudage	Non	La conception mécanique privilégie un assemblage par boulonnage, plus facile à démonter et à ajuster.
Poinçonnage	Non	Le découpage laser CNC permet de réaliser directement les perçages et coupes avec une précision supérieure.
Roulage / cintrage	Non	Les pièces à fabriquer ne présentent pas de formes cylindriques ou cintrées nécessitant ces procédés.
Taraudage	Non	Les fixations prévues se font via boulons et écrous, évitant ainsi un taraudage intégré.

Tableau III.2: Procédés non utilisés et justification.

III.6 Gamme d'usinage complète – Exemple du traverse haute toit

III.6.1 Présentation de la pièce

La traverse haute de toit est un élément structural clé de l'armature de l'ascenseur. Placée horizontalement au sommet de la cabine, elle assure la rigidité de la structure en reliant les montants latéraux et en supportant les profils transversaux. Elle contribue également à maintenir l'alignement et la stabilité globale de l'armature lors de l'assemblage et de l'utilisation de l'ascenseur.

Caractéristiques techniques :

- Matériau : **Acier S235JR** selon EN 10025-2 ;
- Épaisseur : **4 mm** ;
- Finition : **thermolaquage poudre** après usinage ;
- Forme : profilé plié en L, obtenu à partir d'une tôle plane.

III.6.2 Plans et visualisation

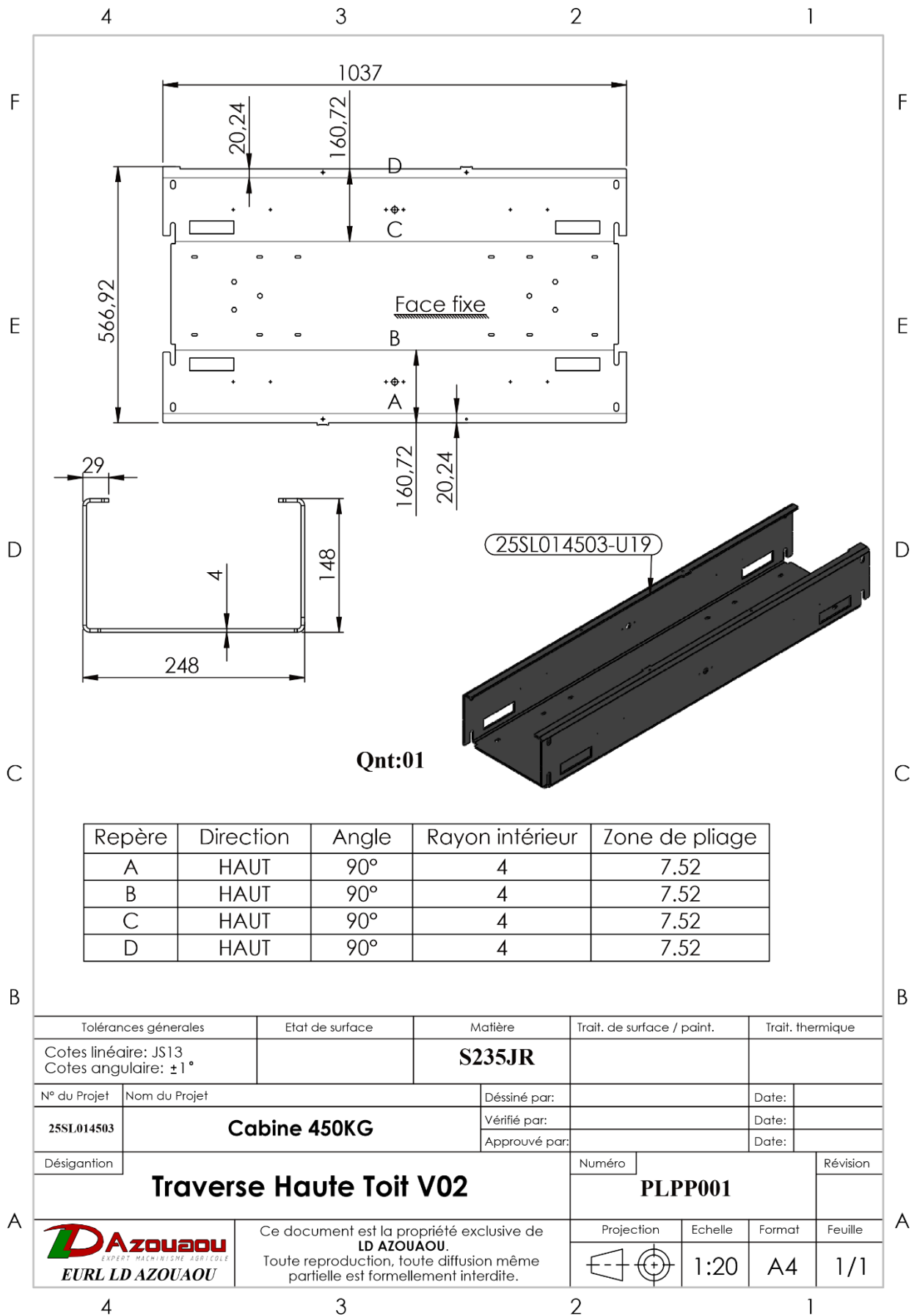
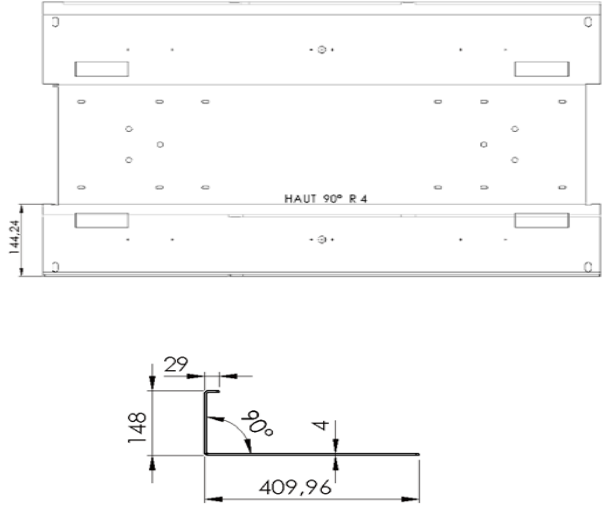
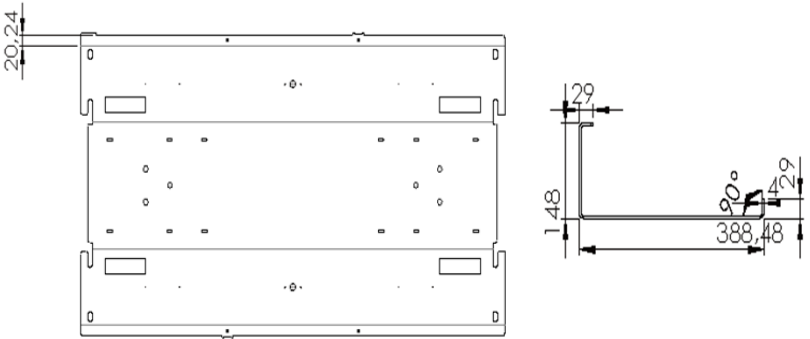
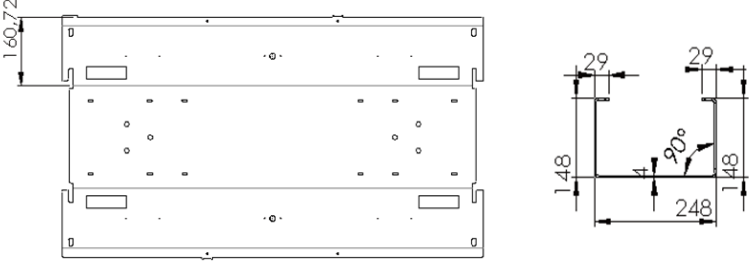
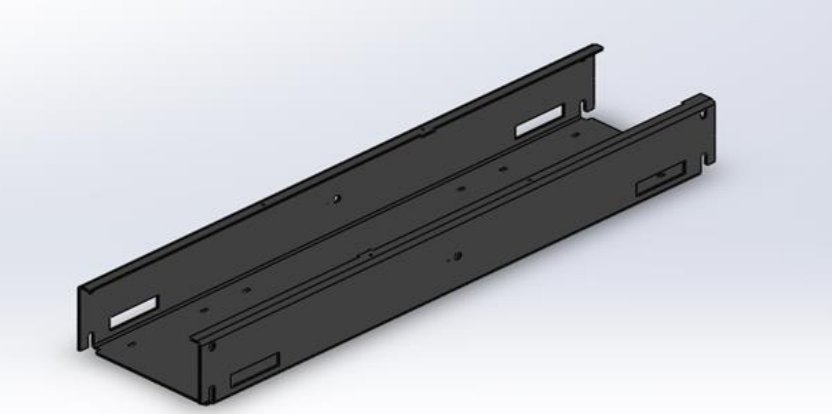


Figure III.22: Visualisation de plan PLPP001.

III.6.3 Gamme de Fabrication

GAMME DE FABRICATION				
Code de la Pièce :25SL014503-U19	Matière : S235JR			Quantité :01
Phase	Opération	Machine	Croquis	
100	Découpe laser	F04		***
200	Pliage			***
210	Réalisation de plie : 01 (F) Cote machine = 20,24 Angle = 90° voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02	F05		***

<p>220</p>	<p>Réalisation de plie : 02 (F) Cote machine = 144,24 Angle = 90° voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02</p>	<p>F05</p>		<p>***</p>
<p>230</p>	<p>Réalisation de plie : 03 (F) Cote machine = 20,24 Angle = 90° voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02</p>	<p>F05</p>		<p>***</p>

<p>240</p>	<p>Réalisation de pli : 04(F) Cote machine =160,72 Angle = 90° voir le plan : PLPP-001 Traverse Haute Toit V02</p>	<p>F05</p>		<p>***</p>
<p>300</p>	<p>Assemblage</p>	<p>***</p>		<p>***</p>

III.7 Conclusion

Ce **troisième chapitre** a permis d'approfondir **l'étude des procédés de fabrication** appliqués à une pièce représentative de l'arcade d'ascenseur, **la traverse haute de toit**. L'analyse détaillée des étapes, depuis la préparation de la matière première jusqu'aux opérations de finition, a mis en évidence l'importance d'une organisation méthodique et d'un choix pertinent des procédés afin de garantir la précision et la qualité des pièces produites.

Le matériau **S235JR** s'est révélé être un compromis optimal entre robustesse, aptitude au formage et coût. Par ailleurs, l'utilisation de procédés modernes tels que la découpe laser CNC et le pliage sur presse plieuse a confirmé leur efficacité en termes de précision dimensionnelle, tout en soulignant certaines contraintes techniques comme le réglage des angles de pliage et la gestion du retour élastique.

La construction de **la gamme d'usinage** a démontré que la formalisation des opérations successives n'est pas uniquement une exigence académique, mais une véritable nécessité industrielle : elle assure la traçabilité, réduit les risques d'erreurs et garantit l'interchangeabilité des pièces. Ce travail a ainsi montré que la qualité finale d'une pièce dépend non seulement des machines employées, mais également de la rigueur de la planification et du contrôle tout au long du processus.

Toutefois, l'étude des procédés de fabrication et de mise en œuvre ne constitue qu'une étape. Elle doit être complétée par une réflexion sur la maintenance, véritable garant de la sécurité et de la durabilité d'un ascenseur. C'est pourquoi le **chapitre IV** sera consacré à **l'analyse des méthodes de maintenance**, en tant que prolongement logique de ce travail.

Chapitre IV : Maintenance des ascenseurs

IV.1 Introduction

La maintenance des ascenseurs constitue une composante essentielle pour assurer la sécurité des utilisateurs, le maintien de la continuité du service, ainsi que la durabilité des équipements. Elle dépasse la simple réparation des pannes et englobe un ensemble d'actions systématiques (préventives, correctives, conditionnelles, prédictives), chacune jouant un rôle spécifique en matière de performance et de disponibilité du dispositif [58].

Une approche efficace de la maintenance repose également sur un cadre méthodologique clair, comprenant la mise en place de programmes d'entretien préétablis, l'anticipation des défaillances potentielles, la sécurisation des interventions et le respect rigoureux des normes techniques [68].

En outre, les travaux universitaires décrivent de manière détaillée les stratégies de maintenance adaptées à différents types d'ascenseurs, qu'ils soient hydrauliques ou électriques. Ces stratégies intègrent des éléments tels que la lubrification des câbles, le remplacement périodique des composants à risque, ou encore la conduite de tests de sécurité lors des visites régulières d'entretien.

Au regard de ces éléments scolaires et pratiques, ce chapitre propose une exploration approfondie des méthodes de maintenance appliquées aux ascenseurs, en s'appuyant sur des sources académiques solides (mémoires, guides techniques, thèses) pour analyser les avantages, les contraintes opérationnelles, et les perspectives innovantes dans le domaine.

IV.2 Types et exigences de maintenance des ascenseurs

La maintenance des ascenseurs constitue une étape indispensable pour garantir la sécurité des usagers, la conformité aux normes en vigueur et la durabilité des équipements. Elle ne se limite pas à la simple réparation, mais englobe un ensemble d'actions planifiées et réglementées permettant d'anticiper les pannes, de prolonger la durée de vie des composants et de réduire les coûts d'exploitation. Dans le secteur, on distingue principalement trois approches complémentaires : la maintenance préventive, corrective et prédictive [69].



Figure IV.1 : Importance et typologie de la maintenance des ascenseurs.

IV.2.1 Maintenance préventive

La maintenance préventive consiste à réaliser régulièrement des contrôles et interventions planifiées afin de réduire le risque de défaillance et de garantir la disponibilité de l'ascenseur. Elle repose sur un calendrier établi en fonction des recommandations du constructeur et des exigences réglementaires (NF EN 81-20, 2020). Les opérations comprennent la vérification de l'usure des câbles de traction, la lubrification des pièces en mouvement, le contrôle des circuits électriques et la réalisation des tests de sécurité tels que le freinage et l'arrêt d'urgence.



Figure IV.2 : Exemple d'intervention de maintenance préventive : lubrification des câbles de traction.

L'exigence principale est de respecter une périodicité stricte des visites d'entretien, généralement mensuelles ou trimestrielles, selon le type d'installation. Cette approche réduit significativement le risque de pannes imprévues et contribue à accroître la durée de vie des composants essentiels tels que le treuil, la cabine ou encore les systèmes de commande [70].

Concrètement, cette maintenance repose sur un plan de visites planifiées établi par le constructeur ou l'exploitant, souvent de fréquence mensuelle ou trimestrielle. Lors de ces interventions, les techniciens procèdent à une série de vérifications précises :

- **Inspection mécanique :** contrôle de l'état des câbles de traction, des poulies et des freins, vérification du graissage des pièces en mouvement et du jeu des guidages.
- **Contrôle électrique :** test des systèmes de commande, inspection des câbles électriques, vérification des dispositifs de sécurité comme les arrêts d'urgence ou les contacts de portes.
- **Essais fonctionnels :** simulation de situations de sécurité (coupure d'alimentation, freinage d'urgence, arrêt entre étages) afin de s'assurer que le système réagit conformément aux exigences réglementaires.

La norme NF EN 81-20 (2020) impose en effet un certain nombre de points de contrôle afin de garantir que l'ascenseur reste opérationnel sans mettre en danger les usagers. Cette démarche contribue non seulement à éviter des immobilisations imprévues, mais aussi à prolonger la durée de vie de composants critiques tels que le treuil ou les dispositifs électroniques de commande.

Du point de vue économique, la maintenance préventive représente un investissement rentable à long terme, car elle permet de limiter les réparations lourdes et de mieux planifier les arrêts techniques. Elle joue aussi un rôle central dans la conformité réglementaire : en cas d'accident ou de panne grave, l'absence d'un suivi préventif peut engager la responsabilité de l'exploitant [69].

IV.2.2 Maintenance corrective

La maintenance corrective correspond à l'ensemble des interventions réalisées après la détection d'une panne, d'un dysfonctionnement ou d'une défaillance sur l'ascenseur. Contrairement à la maintenance préventive, qui agit de manière planifiée, la corrective intervient de façon réactive et urgente afin de rétablir le fonctionnement normal de l'installation.

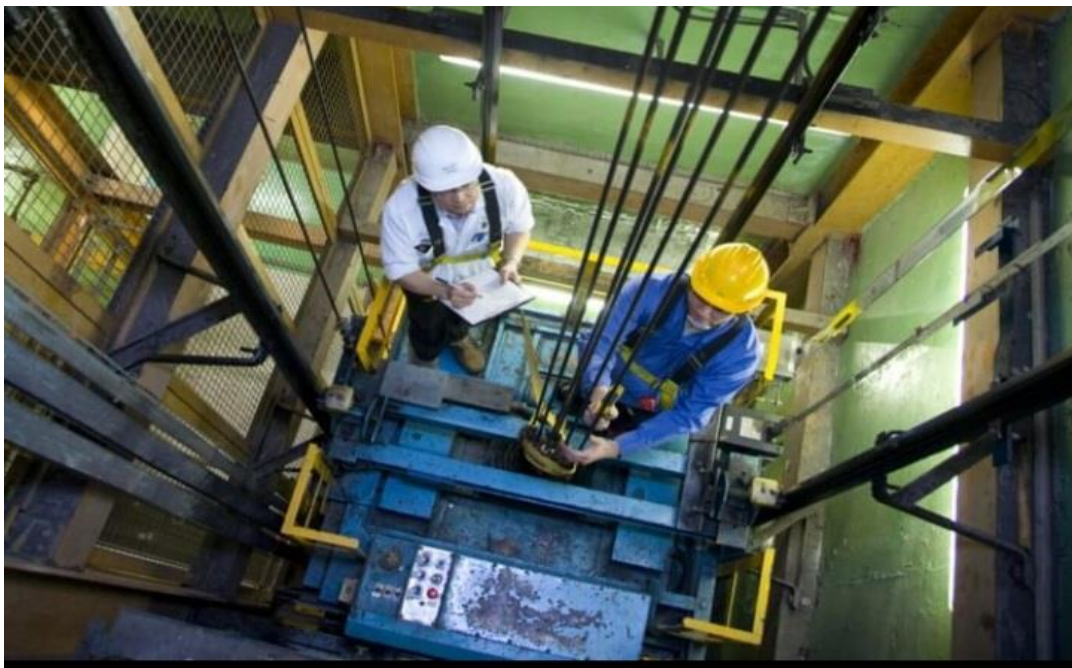


Figure IV.3 : Exemple d'intervention corrective dans la gaine d'ascenseur.

Ce type d'intervention peut concerner aussi bien les composants mécaniques que les systèmes électriques et électroniques.

Parmi les plus fréquentes, on peut citer :

- Dysfonctionnements de portes (blocage, fermeture incomplète, capteurs défectueux), qui représentent une part importante des incidents constatés en exploitation ;
- Arrêts imprévus de la cabine entre deux niveaux, nécessitant une intervention immédiate pour libérer les usagers en toute sécurité ;

- Défaillance du système de commande (carte électronique ou automates), entraînant des erreurs d'affichage ou une impossibilité de manœuvre ;
- Usure des câbles ou poulies pouvant provoquer des bruits anormaux ou une perte de confort de déplacement.

La démarche corrective suit généralement un processus en trois étapes :

1. **Diagnostic rapide** : identification de la cause de la panne par le technicien à l'aide d'outils de mesure et de logiciels de contrôle ;
2. **Réparation immédiate** : remplacement ou réglage de la pièce défectueuse pour remettre l'appareil en service dans les plus brefs délais ;
3. **Vérification finale** : essais de sécurité et validation du bon fonctionnement avant remise à disposition des usagers.

Bien que nécessaire, la maintenance corrective présente des limites notables : immobilisation prolongée de l'appareil, coûts parfois élevés liés aux pièces de rechange et aux interventions urgentes, ainsi qu'une insatisfaction des usagers. C'est pourquoi elle est généralement associée à un programme préventif qui vise à réduire sa fréquence.

Sur le plan réglementaire, toute panne ayant un impact sur la sécurité doit être traitée dans les plus courts délais conformément aux prescriptions de la norme **EN 13015 :2001+A1 :2008**, qui définit les règles pour l'entretien des ascenseurs. L'exploitant a ainsi l'obligation d'assurer la disponibilité permanente d'un service de dépannage afin de garantir la sécurité des passagers.

En somme, la maintenance corrective constitue une réponse incontournable aux aléas techniques, mais elle doit rester complémentaire à une politique préventive structurée, pour éviter que les interventions d'urgence ne deviennent trop fréquentes [71].

IV.2.3 Maintenance prédictive

La maintenance prédictive est une approche moderne qui repose sur la surveillance continue de l'état réel des équipements afin de prévoir les défaillances avant qu'elles ne surviennent.

Contrairement à la maintenance préventive, programmée à intervalles réguliers, et à la corrective, réalisée après une panne, la maintenance prédictive repose sur l'analyse en temps réel des données pour planifier des interventions ciblées au moment opportun.

Cette stratégie repose principalement sur :

- Capteurs intelligents intégrés aux ascenseurs, mesurant des paramètres tels que les vibrations des moteurs, l'usure des câbles, la température des composants ou la consommation énergétique ;



Figure IV.4 : Illustration d'une maintenance prédictive par surveillance connectée.

- Systèmes connectés (IoT – Internet of Things) permettant de transmettre en continu les informations vers une plateforme centralisée ;
- Algorithmes d'analyse et d'apprentissage automatique, capables de détecter des anomalies et de prédire l'évolution de l'état des pièces critiques.

Concrètement, si un capteur signale une augmentation inhabituelle des vibrations d'une poulie ou un allongement anormal des câbles, le logiciel déclenche une alerte. Le technicien peut alors intervenir avant la panne effective, évitant l'immobilisation imprévue de l'appareil.

De nombreux fabricants intègrent désormais cette approche dans leurs services, comme le programme MAX de Thyssenkrupp, qui connecte les ascenseurs à une plateforme cloud afin de prévoir les pannes et optimiser les interventions. Selon KONE, la maintenance prédictive permet de réduire jusqu'à 50 % des immobilisations imprévues [70].

IV.2.4 Maintenance conditionnelle

La maintenance conditionnelle est une approche intermédiaire entre la maintenance préventive et la maintenance prédictive. Elle repose sur l'observation régulière de certains indicateurs d'usure ou de performance afin de déclencher les interventions uniquement lorsque l'état de l'équipement l'exige.



Figure IV.5 : Mesure de la tension des câbles dans le cadre d'une maintenance conditionnelle.

À la différence de la maintenance préventive qui repose sur un calendrier fixe, la maintenance conditionnelle s'appuie sur des mesures périodiques, souvent visuelles, telles que l'inspection des câbles, la vérification du niveau d'huile des vérins hydrauliques ou le contrôle de l'alignement des portes. L'intervention est réalisée seulement si les valeurs mesurées dépassent les seuils tolérés.

Les principaux contrôles concernent :

- L'usure et la tension des câbles de traction ;
- La lubrification et l'état des guides de cabine ;
- Le fonctionnement des freins de sécurité ;
- L'alignement des portes palières et de la cabine ;
- Le niveau et la qualité de l'huile hydraulique (dans les ascenseurs hydrauliques).

En pratique, la maintenance conditionnelle est largement utilisée dans les ascenseurs classiques, en particulier pour les vérifications périodiques imposées par les normes de sécurité (par exemple la norme européenne **EN 81-20/50**). Les constructeurs comme Schindler et Otis intègrent ce type de suivi dans leurs contrats standards de maintenance [72].

IV.2.5 Synthèse des types de maintenance

Type de maintenance	Objectif	Fréquence	Avantages	Inconvénients
Préventive	Empêcher la panne	Mensuelle / Trimestrielle	Sécurité, fiabilité	Coût initial élevé
Corrective	Réparer après panne	Selon besoin	Intervention rapide	Coût imprévisible, risque de panne critique
Prédictive	Anticiper la panne	Continue	Réduction des coûts, optimisation durée de vie	Besoin de capteurs et logiciels, formation du personnel

Tableau IV.1:Types de maintenance.

IV.3 Normes et réglementations de la maintenance des ascenseurs

La maintenance des ascenseurs est encadrée par des normes techniques et des réglementations légales visant à garantir la sécurité des usagers, la fiabilité des installations et la durabilité des équipements.

IV.3.1 Normes internationales et européennes

Au niveau mondial, l'ISO (International Organization for Standardization) a publié plusieurs normes relatives à la conception, l'installation et la maintenance des ascenseurs, dont la série ISO 8100 qui regroupe les exigences de sécurité et de performance.

En Europe, la référence principale est constituée par les normes :

- **EN 81-20 :2020** : Sécurité des ascenseurs – règles de construction et d'installation pour les ascenseurs destinés au transport de personnes et de charges ;
- **EN 81-50 :2020** : Essais, calculs et examens des composants d'ascenseurs.

Ces deux normes remplacent les anciennes EN 81-1 et EN 81-2, devenues obsolètes en 2017, et introduisent des exigences renforcées concernant la sécurité du personnel de maintenance, l'accessibilité ainsi que la vérification périodique des dispositifs de freinage, de suspension et de commande [73].

IV.3.2 Réglementations nationales (cas de la France et de l'Algérie)

Chaque pays transpose ces normes dans son cadre législatif.

En France, la maintenance est encadrée par le Code de la Construction et de l'Habitation (CCH), qui impose notamment :

- Un contrat de maintenance obligatoire pour chaque ascenseur ;
- Une visite d'entretien toutes les 6 semaines minimum ;
- Un contrôle technique complet tous les 5 ans par un organisme indépendant.

En Algérie, le cadre réglementaire est défini par le Décret exécutif n° 04-314 du 14 septembre 2004, relatif aux règles de sécurité applicables aux ascenseurs électriques installés dans les bâtiments. Ce texte impose un entretien régulier et une vérification systématique des dispositifs de sécurité, avec obligation de recourir à des entreprises agréées [74] , [75].

IV.3.3 Carnet d'entretien et suivi réglementaire

La réglementation impose la tenue d'un carnet d'entretien dans lequel sont consignées toutes les interventions réalisées sur l'ascenseur : visites périodiques, réparations, remplacements de pièces, incidents, contrôles réglementaires.

Ce carnet assure une traçabilité obligatoire, permettant aux autorités de contrôler la conformité de l'installation et offrant au propriétaire une preuve en cas de litige ou d'accident [76].



Figure IV.6: Exemple de suivi administratif : consignation des opérations dans le carnet d'entretien de l'ascenseur.

IV.3.4 Exigences de sécurité liées à la maintenance

Les normes exigent que chaque intervention soit réalisée dans le respect de prescriptions précises :

- Sécurisation de la cabine avant toute intervention ;
- Contrôle périodique du freinage, des câbles et des dispositifs de secours ;

- Inspection de l'éclairage, de la ventilation et du système de communication d'urgence ;
- Formation obligatoire du personnel de maintenance et respect des procédures de consignation [77].

IV.3.5 Évolutions récentes : vers la maintenance prédictive

Avec la digitalisation, les ascenseurs modernes intègrent désormais des systèmes de télésurveillance et d'analyse prédictive. Ces technologies permettent de détecter en temps réel les anomalies (usure des câbles, vibrations, température moteur) et de programmer une intervention avant la panne.

Ce type de maintenance, encore émergent, est déjà proposé par de grands fabricants comme KONE, Otis et Schindler, et tend à être intégré dans les futures réglementations [78].

IV.4 Outils et méthodes de maintenance

IV.4.1 Outils de diagnostic

Avec la modernisation des ascenseurs, les simples inspections visuelles ne suffisent plus. Les techniciens utilisent désormais des systèmes électroniques pour un diagnostic plus précis :

- Ordinateurs portables ou tablettes : connectés directement au contrôleur de l'ascenseur, ils permettent de lire les codes défauts et de suivre l'état des composants ;
- Logiciels propriétaires : par exemple, le système Otis REM® transmet en temps réel l'état des ascenseurs aux techniciens, et Schindler Ahead® propose une plateforme digitale qui analyse les données de fonctionnement ;
- Capteurs intelligents : placés sur les câbles ou les moteurs, ils mesurent en continu les vibrations, la température ou la tension. Si une anomalie est détectée, une alerte est envoyée automatiquement au centre de maintenance.



Figure IV.7 : Technicien utilisant un outil numérique de diagnostic lors d'une intervention.

Exemple concret : grâce au service KONE 24/7 Connected Services, une panne de porte peut être anticipée car les capteurs détectent une augmentation anormale de la résistance d'ouverture plusieurs jours avant la défaillance.

IV.4.2 Suivi et traçabilité des interventions (rapports, GMAO, applications connectées)

Assurer un suivi rigoureux et une traçabilité complète des interventions de maintenance est une exigence essentielle dans le domaine des ascenseurs. Elle permet de garantir la conformité réglementaire, de renforcer la sécurité des usagers et d'optimiser les stratégies de maintenance. Selon **la norme EN 13015**, chaque opération doit être documentée avec précision pour constituer un historique fiable de l'équipement [79].

a. Rapports papier traditionnels

Historiquement, la traçabilité des interventions reposait sur des carnets ou registres physiques conservés sur le site. Les techniciens y inscrivait la nature de l'intervention, la date et les pièces remplacées.

- **Avantages :** simplicité d'utilisation, faible coût, accessibilité immédiate sur site.
- **Limites :** risque de perte ou de dégradation des documents, absence de centralisation, difficultés d'exploitation statistique. Ces limites rendent complexe la planification préventive et les audits réglementaires [80].

b. Rapports numériques et systèmes GMAO

Avec la digitalisation, les entreprises de maintenance ont adopté les solutions de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO).

- Les techniciens saisissent les informations via tablettes ou ordinateurs, permettant une mise à jour en temps réel ;
- Les données sont centralisées : date de l'intervention, description des opérations, pièces utilisées, technicien responsable ;
- Les rapports automatisés facilitent les audits et améliorent la communication entre les différents acteurs.

Ces systèmes réduisent considérablement les erreurs humaines et favorisent la planification des interventions [81].

-fréquence des interventions :

OPERATIONS MINIMALES D'ENTRETIEN : liste des pièces ou mécanismes à vérifier	INTERVALLE maximum de six semaines	FREQUENCE minimale semestrielle	FREQUENCE minimale annuelle
Cuvette, toit de cabine, local des machines (propreté, éclairage)			X
<i>Antirebond et contact (1)</i>			<i>x</i>
<i>Amortisseurs</i>			<i>x</i>
<i>Moteur d'entraînement et convertisseurs ou générateur, ou pompe hydraulique</i>		<i>x</i>	
<i>Réducteur</i>		<i>x</i>	
Poulie de traction			X
Frein		X	
<i>Armoire de commande</i>			
Limiteurs de vitesse (cabine et contrepoids) et poulie de tension (1)			X
<i>Poulies de déflexion/renvoi/mouflage</i>			<i>x</i>
<i>Guides cabine et contrepoids/vérin</i>			<i>x</i>
<i>Coulisseaux ou galets cabine et contrepoids/vérin</i>			<i>x</i>
<i>Câblage électrique</i>			<i>x</i>
Cabine.	X		
Parachute et/ou moyen de protection contre les mouvements incontrôlés de la cabine en montée ou tout autre dispositif antichute (soupape rupture, réducteur de débit pour ascenseurs hydrauliques)			X
Câbles ou chaînes de suspension et leurs extrémités		X	
Baies paliers :			
1. Vérification de l'efficacité des verrouillages et contacts de fermeture	X		
<i>2. Vérification course, guidage et jeux</i>	<i>x</i>		
<i>3. Vérification câble, chaîne ou courroie et lubrification</i>	<i>x</i>		
<i>4. Vérification mécanismes de déverrouillage de secours.</i>	<i>x</i>		
5. Dispositif limitant les possibilités d'actes de vandalisme	X		
Porte de cabine :			
1. Vérification verrouillages et contacts de fermeture	X		
<i>2. Vérification course, guidage et jeux</i>	<i>x</i>		
<i>3. Vérification câble, chaîne ou courroie et lubrification</i>	<i>x</i>		
<i>4. Vérification des mécanismes de déverrouillage de secours</i>	<i>x</i>		
5. Vérification efficacité du dispositif de réouverture	X		
Palier : précision d'arrêt et de nivelage	X		
Dispositifs hors course de sécurité			X
<i>Limiteur de temps de fonctionnement du moteur</i>			<i>x</i>
<i>Dispositifs électriques de sécurité :</i>			
<i>1. Vérification du fonctionnement</i>			
<i>2. Vérification de la chaîne de sécurité</i>	<i>x</i>		
<i>3. Vérification des fusibles</i>			
Dispositifs de demande de secours	X		
Commandes et indicateurs aux paliers	X		
<i>Eclairage de la gaine</i>	<i>x</i>		
Cuve hydraulique (niveau/fuites)	X		
<i>Vérin hydraulique</i>	<i>x</i>		
<i>Canalisations hydrauliques</i>	<i>x</i>		
Dispositif antidérive		X	
<i>Bloc de commande</i>	<i>x</i>		
Pompe à main/soupape de descente à commande manuelle			X
<i>Limiteur de pression</i>	<i>x</i>		

(1) Hors câbles. Il faut dissocier les câbles de l'organe fonctionnel auquel ils peuvent être associés.

Figure IV.8 : Carnet d'entretien papier des ascenseurs.

c. Applications connectées et IoT

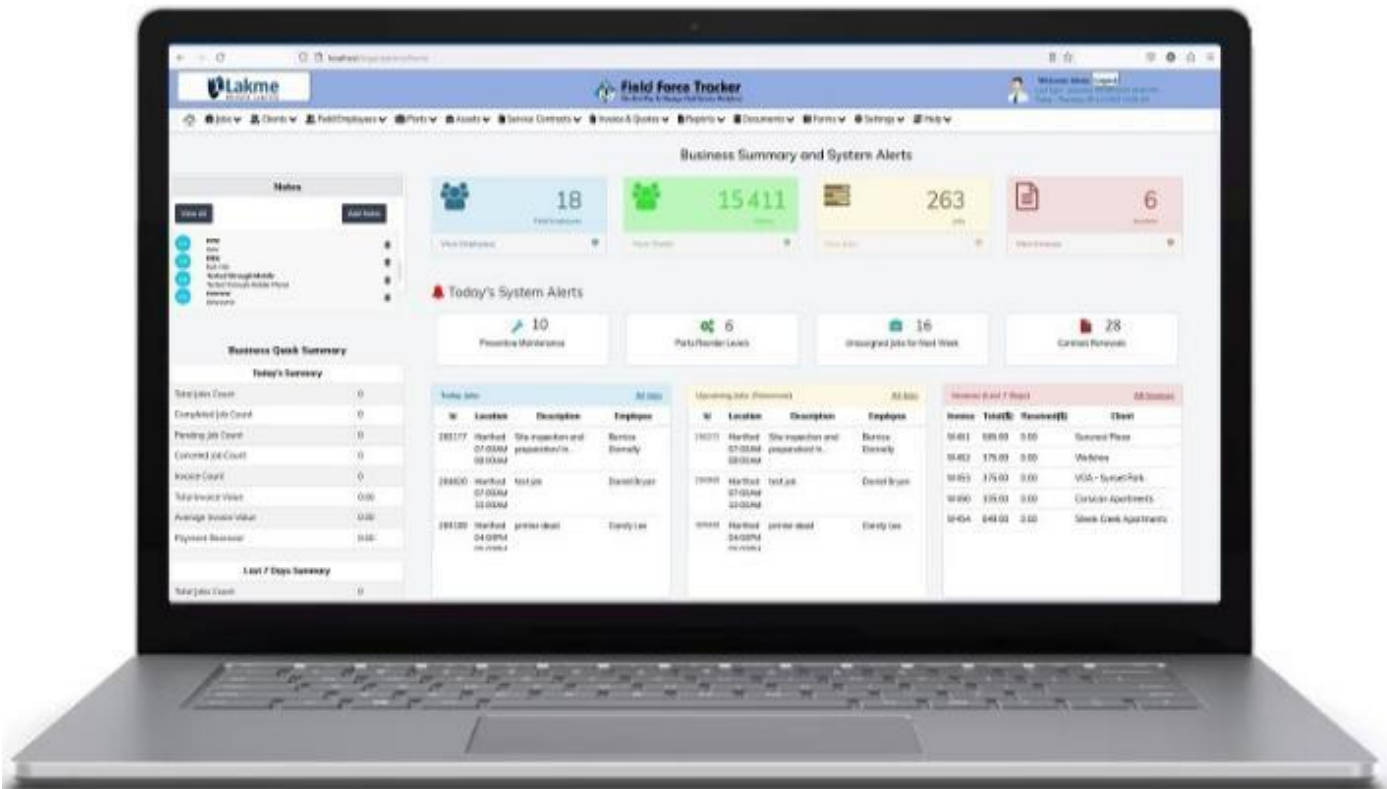


Figure IV.9 : l'Interface de logiciel de GMAO sur ordinateur.

La montée en puissance de l'Internet des objets (IoT) a introduit une nouvelle dimension : la surveillance en temps réel.

Des capteurs installés sur les composants critiques de l'ascenseur, tels que les portes, les câbles, les moteurs et les freins, collectent en continu une multitude de données, notamment les vibrations, les cycles de fonctionnement, la température et la résistance électrique. Ces informations sont ensuite transmises à des plateformes connectées spécialisées, qui analysent automatiquement les anomalies et détectent tout dysfonctionnement potentiel. Ce suivi en temps réel permet non seulement de prévenir les pannes et d'optimiser la maintenance, mais aussi d'améliorer la sécurité et la fiabilité globale du système en garantissant une intervention rapide dès l'apparition de signes inhabituels. [82].

Exemple : une augmentation anormale de la résistance d'ouverture d'une porte peut être détectée plusieurs jours avant une panne, déclenchant une intervention proactive.



Figure IV.10 : Applications mobiles et IoT pour la maintenance.

d. Vers la maintenance prédictive et intelligente

Grâce à l'IoT et aux services connectés proposés par des entreprises comme KONE (24/7 Connected Services), Otis (Otis ONE) ou Schindler (Schindler Ahead), la maintenance devient prédictive.

Les données collectées sont analysées par intelligence artificielle afin de prévoir les défaillances potentielles.

Les gestionnaires d'immeubles reçoivent des notifications en temps réel via des applications connectées.

Cette approche réduit les arrêts imprévus, allonge la durée de vie des composants et améliore la satisfaction des usagers [83] , [84].



Figure IV.11 : Illustration des capteurs IoT ou dashboard prédictif.

IV.5 Conclusion

Ce **chapitre** a mis en évidence l'importance fondamentale de **la maintenance des ascenseurs**, qui dépasse largement le cadre d'une simple obligation réglementaire. L'analyse a montré que les différentes approches — **préventive, corrective, conditionnelle et prédictive** — contribuent chacune à réduire les pannes, optimiser les coûts d'exploitation et assurer la conformité aux exigences normatives.

D'un point de vue pratique, la rigueur appliquée à l'entretien des composants mécaniques, électriques et de sécurité se révèle déterminante pour garantir la pérennité et la fiabilité des installations. Le rôle des techniciens de maintenance, soutenu par l'usage d'outils adaptés et de technologies de diagnostic avancées, apparaît ainsi comme un facteur essentiel.

La maintenance des ascenseurs s'impose donc **comme un pilier incontournable**, alliant sécurité des usagers, durabilité des équipements et respect des normes en vigueur. Son évolution vers des solutions connectées et prédictives annonce une transformation profonde du secteur, tournée vers une gestion toujours plus proactive, intelligente et adaptée aux exigences de l'industrie moderne.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons mené une étude complète portant sur la conception de l'arcade d'ascenseur, élément de liaison essentiel de la cabine, ainsi que sur l'assemblage final de la cabine complète. Notre démarche a été construite de façon progressive, depuis la présentation des généralités et des normes encadrant les ascenseurs, la modélisation 3D jusqu'aux procédés de fabrication et la maintenance.

Nous avons constaté que la conception et la réalisation d'un ascenseur exigent une approche rigoureuse et structurée. L'étude a mis en évidence l'importance d'une arcade robuste et fiable pour assurer la sécurité, la précision des procédés de fabrication pour garantir la qualité, ainsi que la pertinence d'une maintenance adaptée pour préserver la performance et la durabilité de l'installation.

Ce travail réalisé dans le cadre de notre stage nous a permis de confronter nos acquis théoriques aux réalités industrielles et de développer des compétences pratiques en conception assistée par ordinateur, en élaboration de gammes d'usinage, en assemblage mécanique et en gestion de la maintenance. Il nous a également permis de mesurer l'importance de la rigueur méthodologique et de la documentation technique dans un projet industriel.

À l'issue de cette étude, nous concluons que la réussite d'un projet d'ascenseur repose sur une articulation cohérente entre le respect strict des normes, une conception robuste, une mise en œuvre industrielle maîtrisée et une maintenance adaptée.

La performance et la fiabilité d'un ascenseur ne dépendent pas uniquement de l'arcade ou de l'assemblage, mais bien de l'intégration harmonieuse de l'ensemble de ses composants mécaniques, électromécaniques et électroniques.

Enfin, ce travail ouvre des perspectives d'amélioration, telles que l'optimisation topologique de l'arcade pour réduire le poids de la cabine, l'automatisation accrue des procédés de fabrication, ou encore l'intégration de systèmes de maintenance prédictive basés sur l'intelligence artificielle. Ces évolutions permettront de concevoir des ascenseurs plus sûrs, plus performants et mieux adaptés aux besoins actuels et futurs.

Bibliographie

- [1] AFNOR, «La Norme NF EN 81-20-Règles de sécurité pour la construction et l'installation des ascenseurs,» AFNOR, La Plaine Saint-Denis, France, 2020.
- [2] Otis, Otis Elevator Basics Guide, France, 2020.
- [3] KONE, Modernisation Ascenseurs, France, 2022.
- [4] AFNOR, La Norme NF EN 81-70, France, 2021.
- [5] U. Européenne, Directive 2014/33/UE, EUR-Lex, 2014.
- [6] L. Schumm, «Who Invented the Elevator?,» *History*;
<https://www.history.com/articles/who-invented-the-elevator>
- [7] Wikipedia, «Elevator,» Wikipedia;
<https://en.wikipedia.org/wiki/Elevator>.
- [8] R. Architecture, «History of the Lift,» RIBA Architecture;
[https://www.ribaj.com/products/high-rise ?](https://www.ribaj.com/products/high-rise)
- [9] Otis, «A story of innovation and progress,» Otis, Farmington, CT 06032, USA;
<https://www.otis.com/en/us/our-company/history?utm>
- [10] TIME, «This Is the Patent for the Device That Made Elevators a Lot Less Dangerous,» TIME;
<https://time.com/4700084/elevator-patent-history-otis-safety/?utm>
- [11] TK Elevator, Hydraulic Heritage: How the Modern Hydraulic Elevator is in TKE's DNA;
<https://www.tkelevator.com/us-en/company/insights/hydraulic-heritage.html?utm>
- [12] Thyssenkrupp Elevator, «Modern Elevator Safety Innovation,» .
- [13] WIRED, «Lift off: when will elevators finally reach the 21st century?,» ;
<https://www.wired.com/story/21st-century-lift-can-navigate-buildings/?utm>
- [14] Batipédia, *NF EN 81-20 (février 2020) : Règles de sécurité pour la construction et l'installation des élévateurs*, Avire, 2020.
- [15] B. Kamel, *Étude de principe de fonctionnement d'un ascenseur*, Annaba: Université Badji Mokhtar Annaba, 2015.
- [16] B. Hichem, Guide technique des ascenseurs, 2010.
- [17] Fédération des Ascenseurs, «Dossier technique,» Fédération des Ascenseurs, 2022;
<https://www.ascenseurs.fr/ressources/guides-publications/?utm>
- [18] D. Merouane, *systèmes d'ascenseurs*, Blida: Université Saad Dahlab Blida, 2022.
- [19] Sud Accessibilité, «Ascenseurs Pneumatiques,» ;
<https://www.sud-accessibilite.fr/produit/pve/?utm>
- [20] Schindler, «solutions de transport vertical,» ;
<https://www.schindler.fr/fr/ascenseurs.html?utm>
- [21] Otis, «Nos ascenseurs,»;
<https://www.otis.com/en/us/products-services/products?utm>

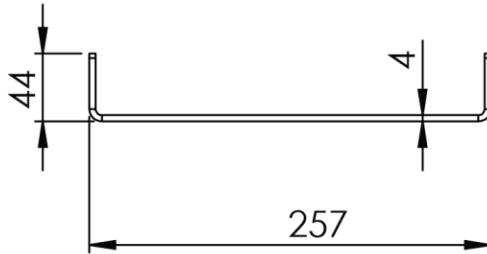
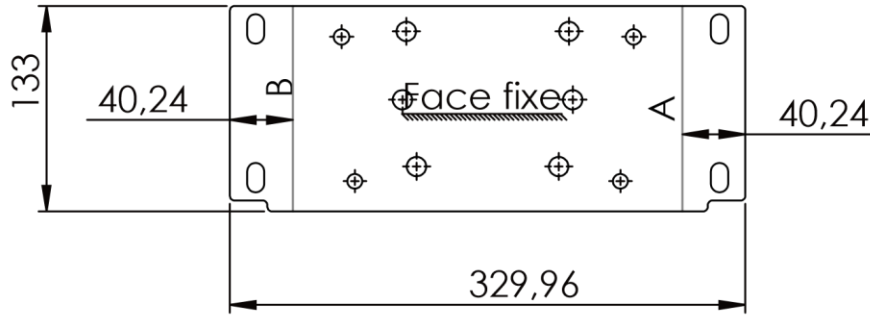
- [22] Sodimas, «solutions techniques – systèmes de suspension,»;
<https://www.sodimas.com/vspace?utm> ;
<https://www.sodimas.com/medium?utm>
- [23] KONE, «Guide Technique KONE,» ;
<https://www.kone.fr/outils-normes-documentation/documentation/?utm> ;
<https://www.kone.be/fr/batiments-existants/modernisation-d-ascenseurs/elevator-modernization-guide/?utm>
- [24] Thyssenkrupp, «Technologies d'élévation,» ;
<https://www.tkelevator.com/fr-fr/?utm>
- [25] CSTB, «Guide technique des ascenseurs,»;
<https://www.cstb.fr/nos-offres/toutes-nos-offres/cstb-editions-guides/?utm>
- [26] F. d. Ascenseurs, «Fonctionnement d'un ascenseur»;
<https://www.ascenseurs.fr/ressources/memos-techniques/?utm>
- [27] Sodimas, «Documentation technique»;
<https://www.ascenseurs.fr/ressources-pro/sodimas-documentation-technique-sodiphone/?utm>
- [28] Avire, «NF EN 81-28+AC,» 2019;
<https://www.avire-global.com/en-uk/standards/emergency-telephones/?utm>
- [29] ELA, 2021 ..
- [30] Sodimas, «Electrical Schematic,»;
<https://fr.scribd.com/document/620441145/Sodimas-schema-Electrique-240?utm>
- [31] AFNOR, NF EN 81-50 : Règles de sécurité pour la construction et l'installation des élévateurs – Examens et essais – Partie 50. Paris : AFNOR, 2017.
- [32] Techniques-Ingénieur, «Méthodes de rétro-conception »;
<https://fr.scribd.com/document/752141442/Retro-conception-ScanTo3D?utm>
- [33] SolidWorks, «Bill of Materials (BOM),» 2017;
https://help.solidworks.com/2017/english/SolidWorks/sldworks/c_boms_top.htm?
- [34] PTC, «Bill of Materials (BOM) Management».
- [35] Arena Solutions, «What Is a Bill of Materials (BOM) and How Do You Create One?»;
<https://www.arenasolutions.com/resources/category/bom-management/creating-a-bill-of-materials/?>
- [36] Engineering Passion, «Bill of Materials (BOM)”, Engineering Passion»;
https://en.wikipedia.org/wiki/Engineering_bill_of_materials?
- [37] Dassault Systèmes, SolidWorks Help, «Inserting a Bill of Materials Placeholder,» 2021.
- [38] Dassault Systèmes, SolidWorks Help, «Assemblies,» 2021.
- [39] Dassault Systèmes, SolidWorks Help, «Interference Detection PropertyManager,» 2021.
- [40] Dassault Systèmes, «SOLIDWORKS PDM (Product Data Management)»;
<https://www.solidworks.com/media/solidworks-pdm-datasheet?>
- [41] Techniques-Ingénieur, «Gammas d'opérations et temps élémentaires (M1422)».

- [42] J.-C. Guillas, «Traitements de surface – Aspects économiques et perspectives,» 1999.
- [43] ISO, ISO 9001:2015, «Quality management systems — Requirements, 5^e édition,» 2015.
- [44] Lean Enterprise Institute, «Standardized Work».
- [45] KONE Plc, «Lift Standards EN 81-20 and EN 81-50: Factsheet, KONE,» 2015.
- [46] Dassault Systèmes, SolidWorks Help, «PDM Overview,» 2021.
- [47] Lincoln Electric, «What Is Welding?».
- [48] Federal Aviation Administration (FAA), «Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe: Chapter 5 », FAA».
- [49] 3M, «Structural Adhesives»;
https://www.3m.com/3M/en_US/bonding-and-assembly-us/resources/structural-adhesives-resources/?com
- [50] Nord-Lock, «Why bolted joints are so common»;
<https://www.nord-lock.com/safe-bolts?>
- [51] Nord-Lock, «Why bolted joints are so common»;
<https://www.nord-lock.com/safe-bolts?>
- [52] ISO/TC 171/SC 2, «Document management — 3D use of Product Representation Compact», Part 1: PRC 10001. Geneva: International Organization for Standardization, 2014.
- [53] Bossard, «Screw Connections»;
<https://www.bossard.com/th-en/assembly-technology-expert/technical-information-and-tools/technical-information/securely-fastened-connections/?>
- [54] Bossard, «Hexagon Head Screws»;
<https://www.bossard.com/ie-en/-/media/bossard-group/website/documents/technical-resources/en/f-013-en.pdf?>
- [55] RS Online, «Écrous frein» ;
<https://docs.rs-online.com/a84c/A700000008834196.pdf?>
- [56] Würth France, «Rondelle plate»;
<https://www.wuerth-industrie.com/web/media/downloads/brochures/fr/catalogue-dino.pdf?>
- [57] Bossard, «Inserts filetés»;
<https://www.bossard.com/ch-fr/solutions-produit/marques/douilles-filetees/fasteks-threaded-inserts/?>
- [58] Kabi Ahmed & Kana Amar, «Mémoire Master, Département Électromécanique , Etude de la maintenance des ascenseurs,» Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Tizi-Ouzou, 2024.
- [59] Fabory, «Écrous moulés»;
<https://fernandobatista.net/education/catalogos/fabory/Sw15.pdf?>
- [60] ArcelorMittal, «Catalogue produits plats acier de construction S235JR,» 2020.
- [61] E. C. f. S. (CEN), «EN 10025-2:2019 – Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels,» CEN, Brussels, 2019.

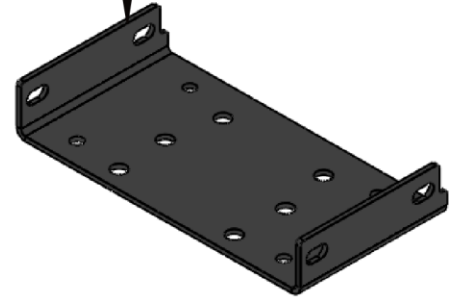
- [62] E. C. f. S. (CEN), «EN 10029:2010 – Hot-rolled steel plates 3 mm thick or above – Tolerances on dimensions and shape,» CEN, Brussels, 2010.
- [63] E. C. f. S. (CEN), «EN 10204:2004 – Metallic products – Types of inspection documents,» CEN, Brussels, 2004.
- [64] Autodesk, «DXF Reference – Drawing Interchange File Format,» Autodesk, Inc, San Rafael (CA), USA, 2012.
- [65] I. O. f. S. (ISO), «ISO 10303-21:2016 – Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure,» ISO, Geneva, 2016.
- [66] I. O. f. S. (ISO), «ISO 2409:2020 – Paints and varnishes – Cross-cut test,» ISO, Geneva, 2020.
- [67] I. O. f. S. (ISO), «ISO 2768-1:1989 – General tolerances – Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications,» ISO, Geneva, 1989.
- [68] T. Ousmane, «ETUDE-INSTALLATION ET MAINTENANCE D'UN ASCENSEUR ELECTRIQUE BN,» Le Berger Sarl, Ouagadougou, Burkina Faso, 2013.
- [69] Schindler, «Maintenance : services de maintenance, réparation et contrats personnalisés», France.
- [70] Thyssenkrupp Elevator, «Maintenance».
- [71] KONE, «Maintenance : ascenseurs, escaliers mécaniques et portes automatiques», France.
- [72] Otis, «Maintenance : services d'entretien, réparations & contrat Signature Service / Otis ONE», France
- [73] International Organization for Standardization, «ISO, Standard No. 65148».
- [74] République française, Légifrance, «Code du travail,» 2025.
- [75] Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire, «Articles D431-1 à D431-3,» 2004.
- [76] Ministère de la Transition écologique, «Sécurité des ascenseurs,» 2020-2021.
- [77] Directive européenne sécurité des ascenseurs, «DIRECTIVE 2014/33/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL,» 2014.
- [78] KONE , “A Guide to Smart and Predictive Maintenance: KONE 24/7 Connected Services,», août 2021
- [79] British Standards Institution (BSI), BS EN 13015:2001 + A1:2008, «Maintenance for lifts and escalators — Rules for maintenance instructions,» 2008.
- [80] Electrical and Mechanical Services Department (EMSD), «Lift and escalator installations: Operation and maintenance best practices booklet».
- [81] aetech, «CMMS/GMAO Computerized Maintenance Management System».
- [82] Sensorfy, «Predictive maintenance for buildings automatic doors, elevators & escalators,» 2025.
- [83] IoT Business News, «IoT in the Elevators Market,» 2024.

- [84] Matterport, «Predictive Maintenance: Preventing Failures Before They Happen,» 2025.
- [85] Schindler France, “Maintenance, services et réparations — Ascenseurs, escalators et trottoirs roulants,” Schindler France, 2025.

Annexe A : Plans de pliage de l'arcade



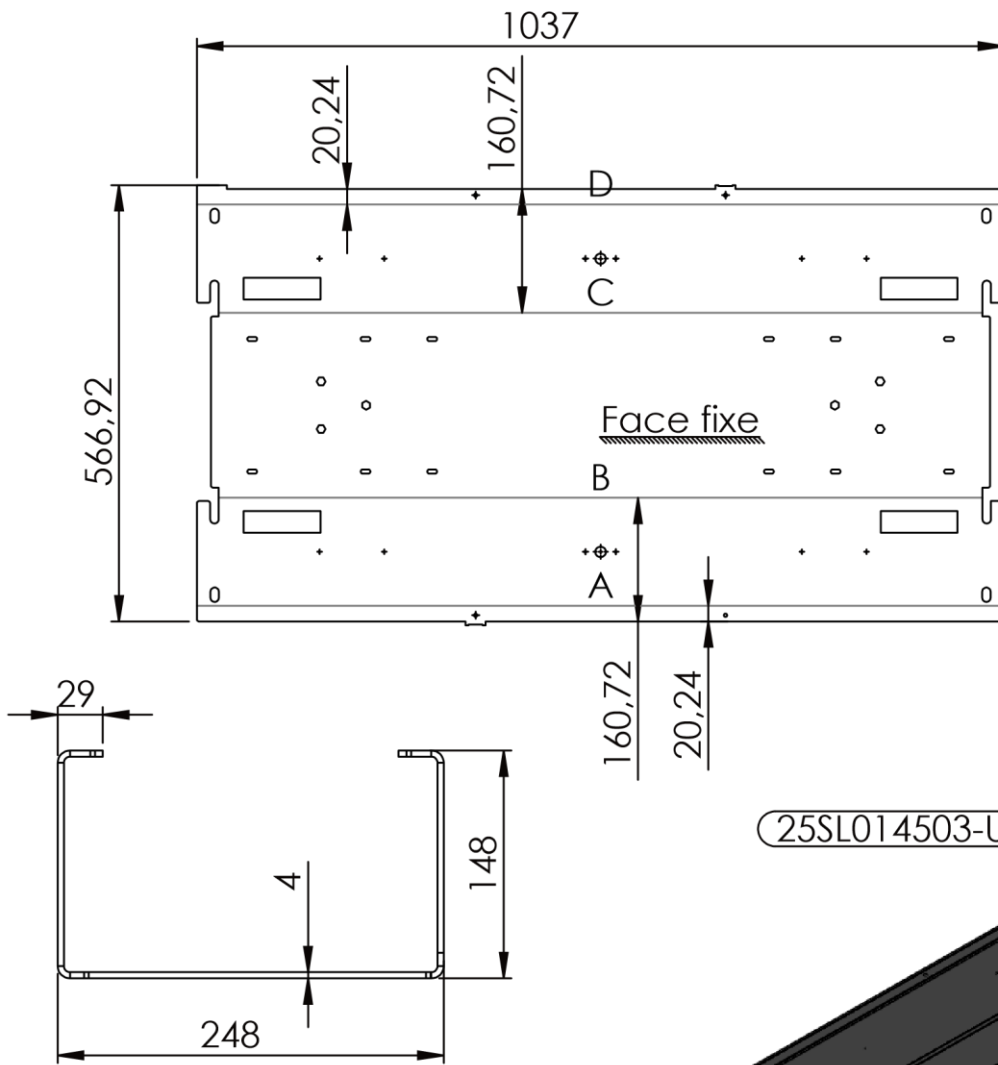
25SL014503-U22



Qnt:02

Repère	Direction	Angle	Rayon intérieur	Zone de pliage
A	HAUT	90°	4	7.52
B	HAUT	90°	4	7.52

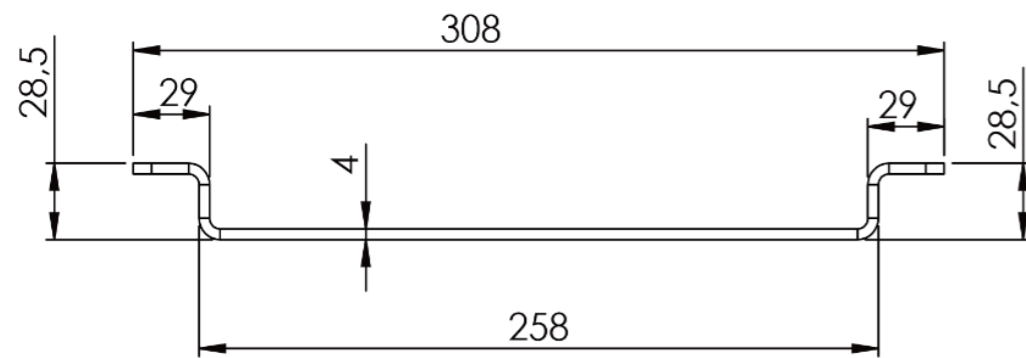
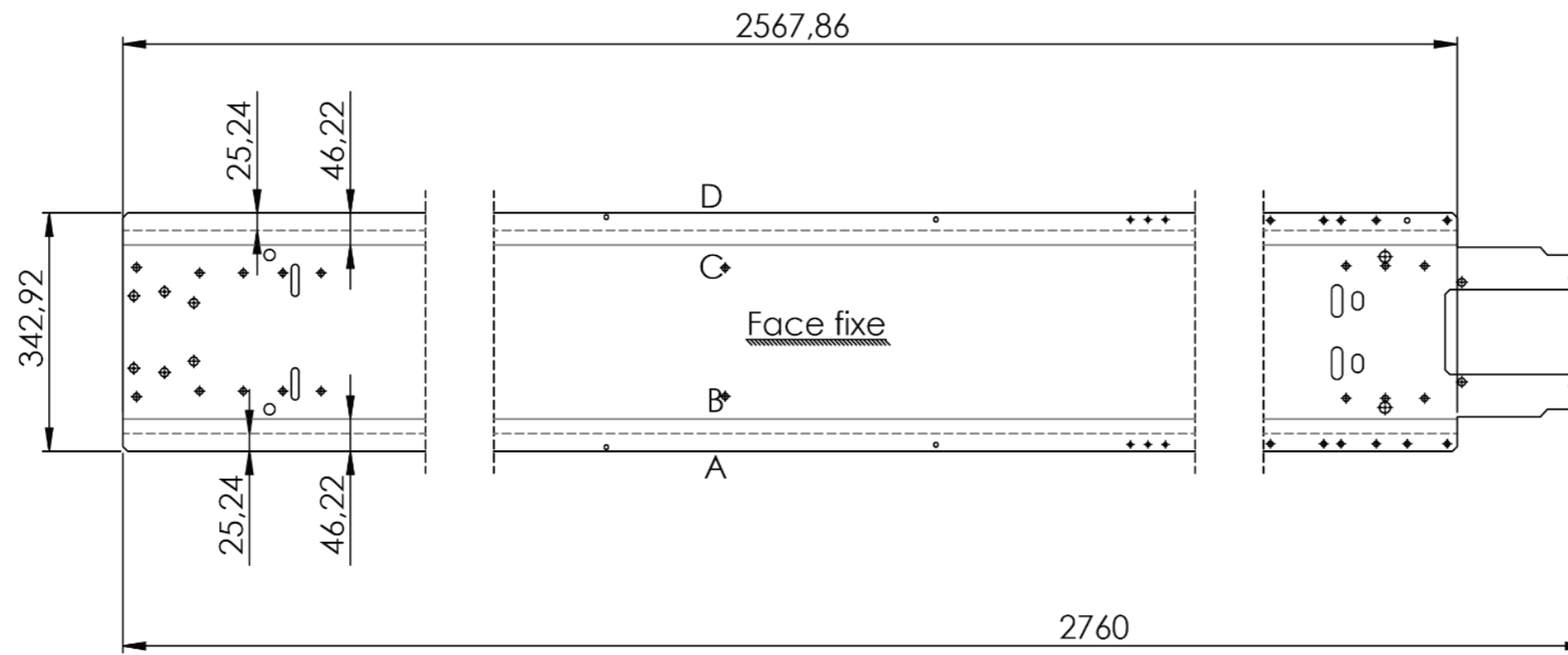
Tolérances générales		Etat de surface		Matière		Trait. de surface / paint.		Trait. thermique					
Cotes linéaire: JS13 Cotes angulaire: ±1°				S235JR									
N° du Projet	Nom du Projet			Dessiné par:		Date:							
25SL014503	Cabine 450KG			Vérifié par:		Date:							
Désignation				Approuvé par:		Date:							
Profile de Laison Transverse Haute Toit Réduit						Numéro		Révision					
						PLPP004							
 EURL LD AZOUAOU		Ce document est la propriété exclusive de LD AZOUAOU . Toute reproduction, toute diffusion même partielle est formellement interdite.				Projection		Echelle		Format		Feuille	
								1:5		A4		1/1	



Qty:01

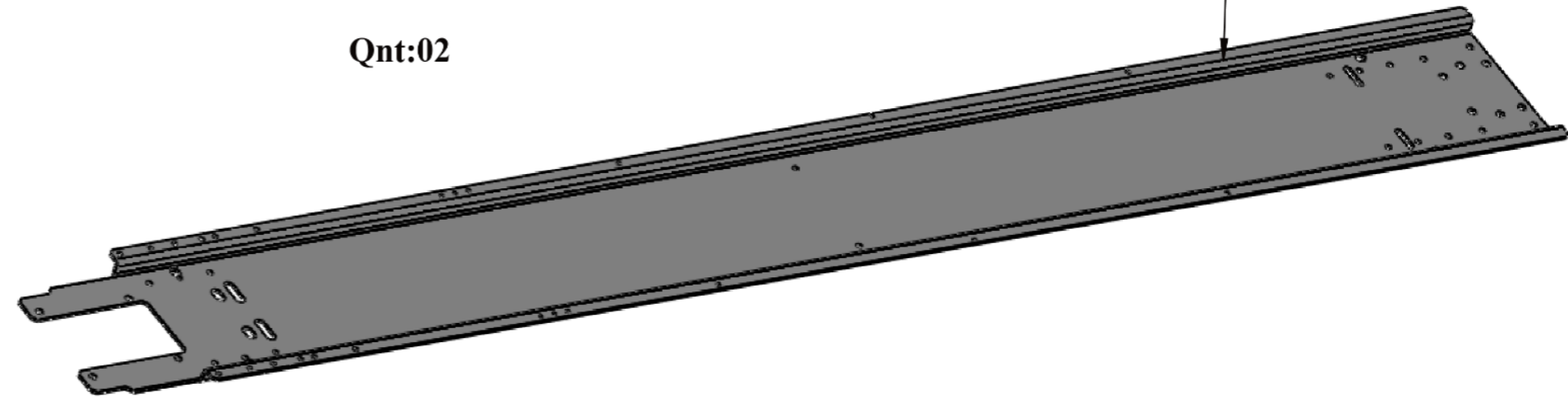
Repère	Direction	Angle	Rayon intérieur	Zone de pliage
A	HAUT	90°	4	7.52
B	HAUT	90°	4	7.52
C	HAUT	90°	4	7.52
D	HAUT	90°	4	7.52

Tolérances générales		Etat de surface	Matière	Trait. de surface / paint.		Trait. thermique	
Cotes linéaire: JS13 Cotes angulaire: $\pm 1^\circ$			S235JR				
N° du Projet	Nom du Projet		Dessiné par:	Date:			
25SL014503	Cabine 450KG		Vérifié par:	Date:			
Désignation			Approuvé par:	Date:			
Traverse Haute Toit V02			Numéro	PLPP001		Révision	
			Projection		Echelle	Format	Feuille
					1:20	A4	1/1
Ce document est la propriété exclusive de LD AZOUAOU. Toute reproduction, toute diffusion même partielle est formellement interdite.							



Qty:02

25SL014503-U21



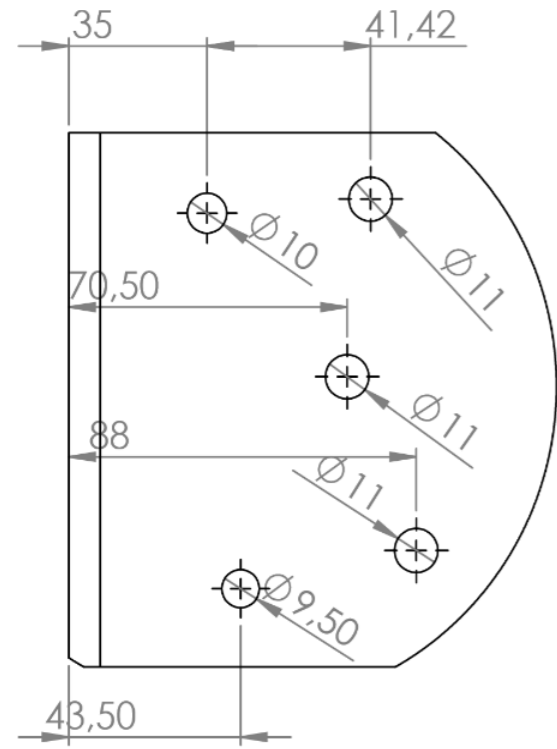
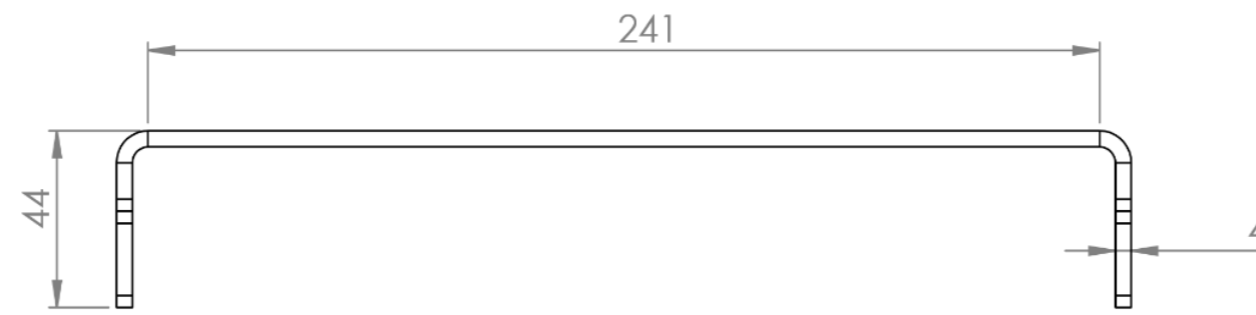
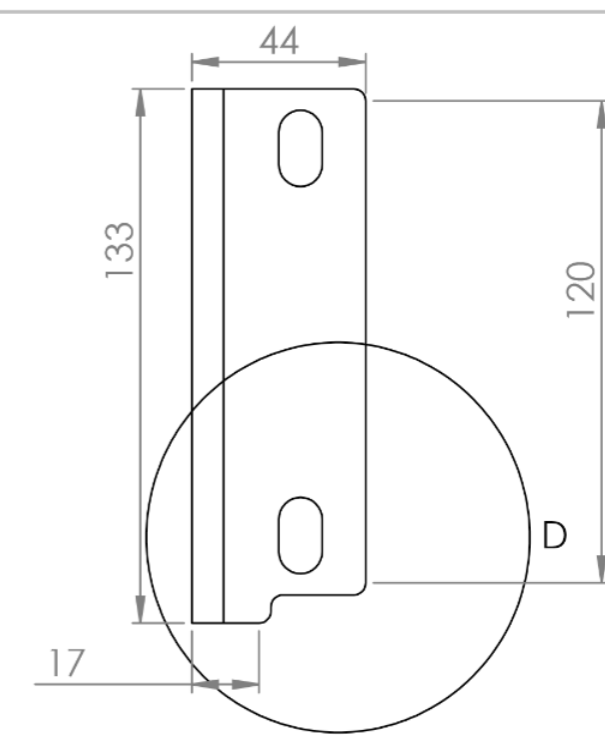
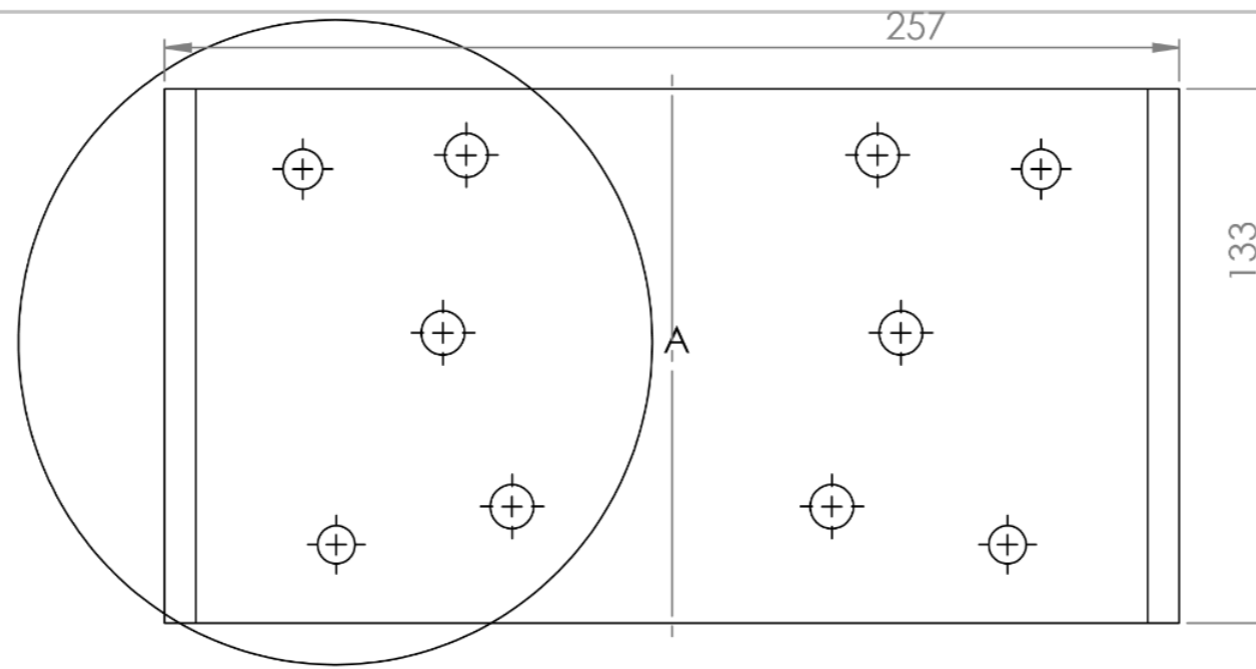
Repère	Direction	Angle	Rayon intérieur	Zone de pliage
A	BAS	90°	4	7.52
B	HAUT	90°	4	7.52
C	HAUT	90°	4	7.52
D	BAS	90°	4	7.52

Tolérances générales		Etat de surface	Matière	Trait. de surface / paint.	Trait. thermique
Cotes linéaire: JS13 Cotes angulaire: ±1°			S235JR		
N° du Projet	Nom du Projet	Dessiné par:		Date:	
25SL014503	Cabine 450KG	Vérifié par:		Date:	
Désignation		Approuvé par:		Date:	
Montant Latéral VM3-CM1			Numéro	Révision	
			PLPP003		
Projection		Echelle	Format	Feuille	
		1:50	A3	1/1	



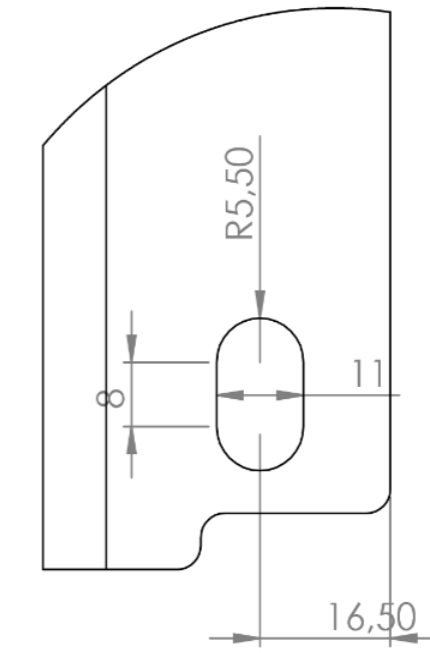
Ce document est la propriété exclusive de LD AZOUAOU. Toute reproduction, toute diffusion même partielle est formellement interdite.

Annexe B : Plans de définition de l'arcade



DÉTAIL A

Qnt:02



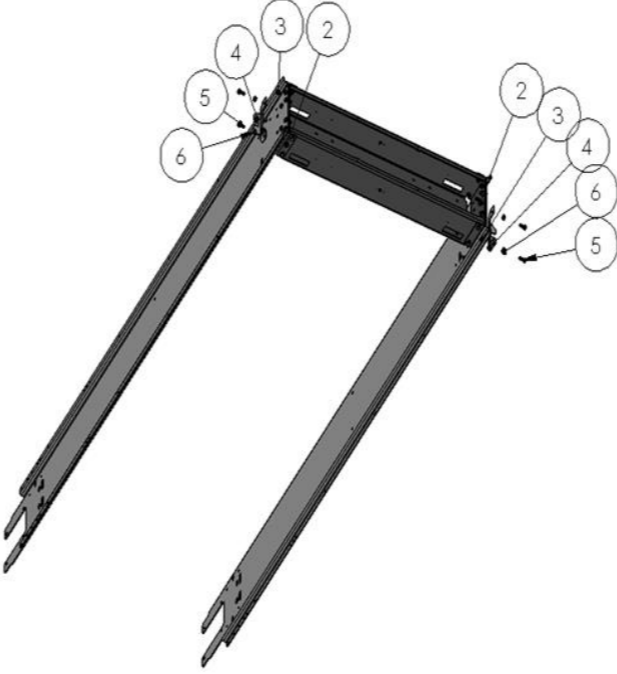
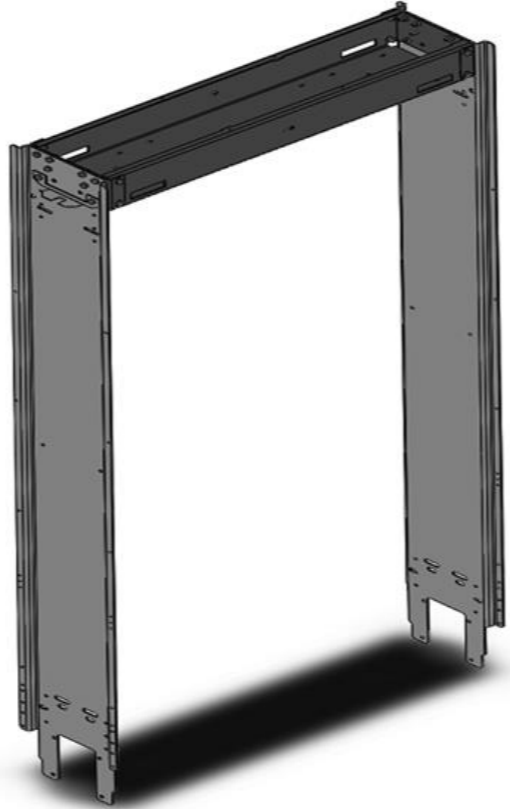
DÉTAIL D
ECHELLE 1 : 1

Tolérances générales		Etat de surface	Matière	Trait. de surface / paint.		Trait. thermique	
Cotes linéaire: JS13 Cotes angulaire: $\pm 1^\circ$			S235JR				
N° du Projet	Nom du Projet		Dessiné par:		Date:		
25SL014503	Cabine ascenseur 450kg		Vérifié par:		Date:		
Désignation			Approuvé par:		Date:		
Profile de Laison Transverse Haute Toit Réduit				Numéro		Révision	
				PLPD002			
		Ce document est la propriété exclusive de LD AZOUAOU.		Projection	Echelle	Format	Feuille
		Toute reproduction, toute diffusion même partielle est formellement interdite.			1:2	A3	1/1

Annexe C : Gamme de montage de l'arcade

GAMME DE MONTAGE ARCADE

GAMME DE MONTAGE ARCADE					
PHASE D'ASSEMBLAGE/ MONTAGE			RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES		
Phase N°	OPERATION	CROQUIS-SCHEMAS	OUTILLAGES	CONTRÔLE	OUPLE DE SERRAGE (N.M)
100	Préparation pièce de base 1				
	Assemblage des deux pièces 2 sur les deux pièces 1 en utilisant les pièces 5 et 6 pour la fixation		Clé Allen		
200	Assemblage des deux pièces 3 sur les deux pièces 2 en utilisant les pièces 5 et 6 pour la fixation		Clé Allen		

300	Assemblage des deux pièces 4 sur les deux pièces 3 fixé aux deux pièces 2 en utilisant les pièces 5 et 6 pour la fixation		Clé Allen	
400	Contrôle final			

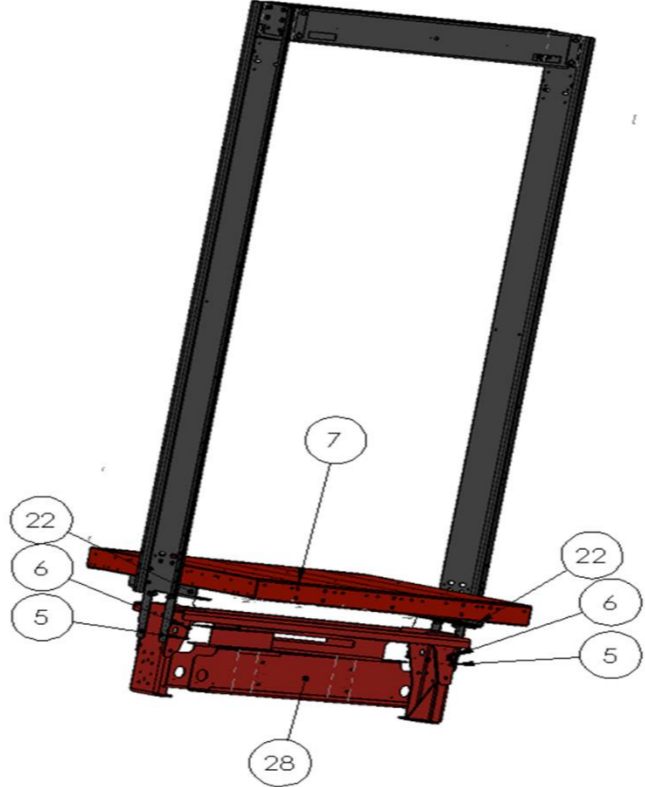
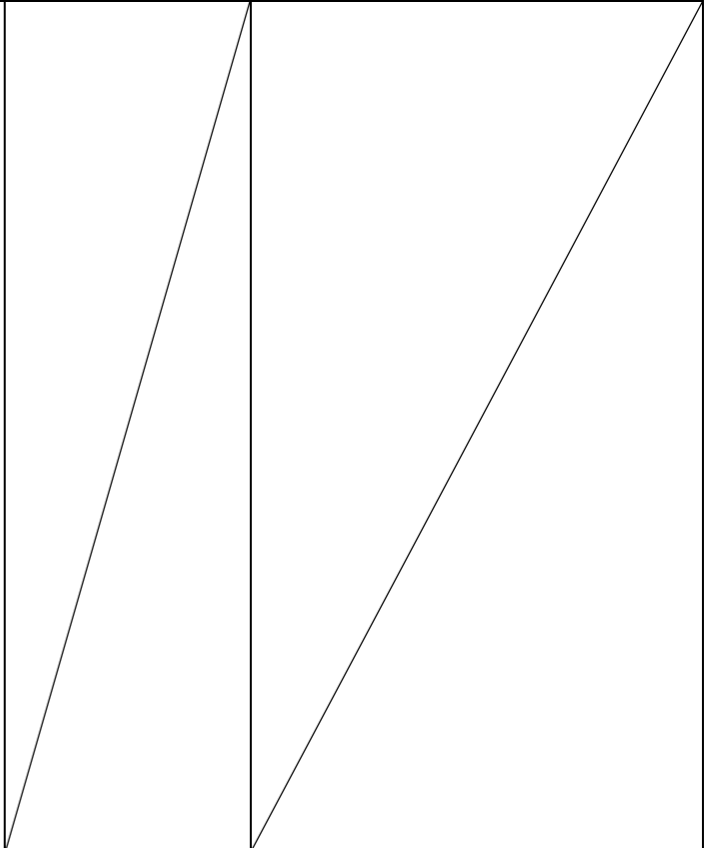
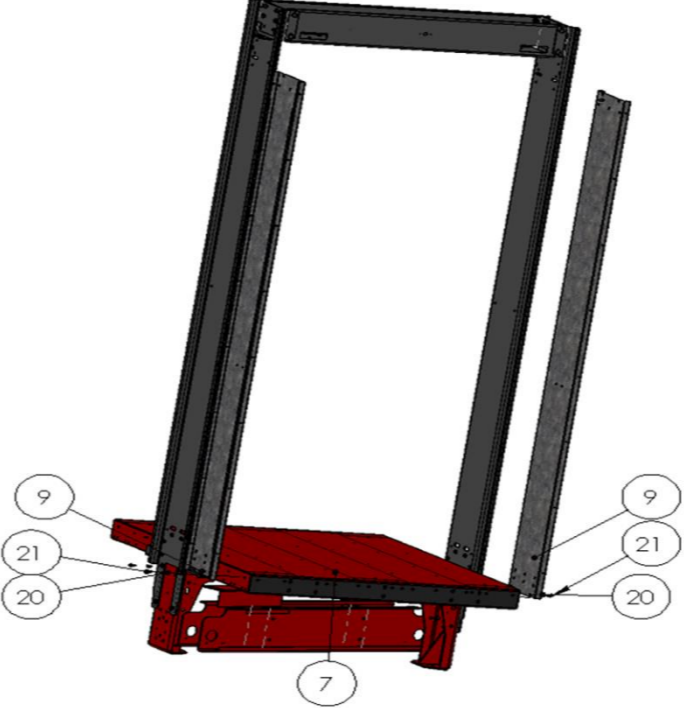
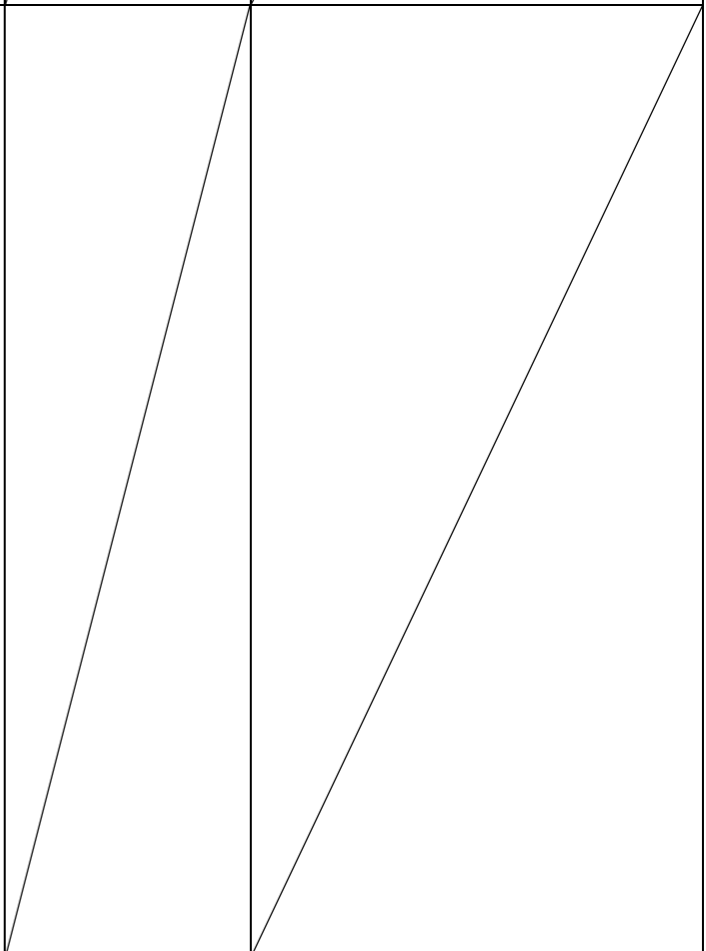
Annexe D : Gamme de montage de la cabine

GAMME DE MONTAGE CABINE 450KG

PHASE D'ASSEMBLAGE/ MONTAGE

RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES

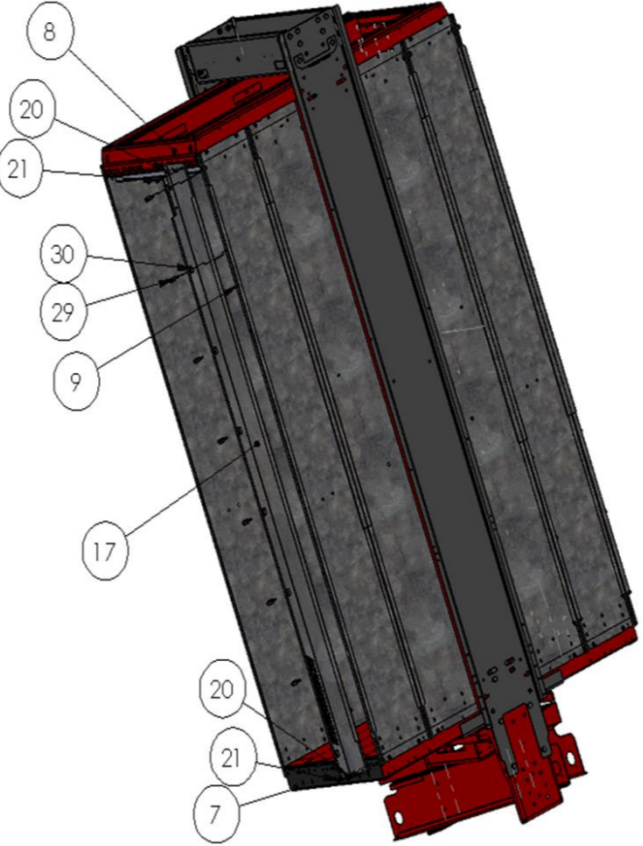
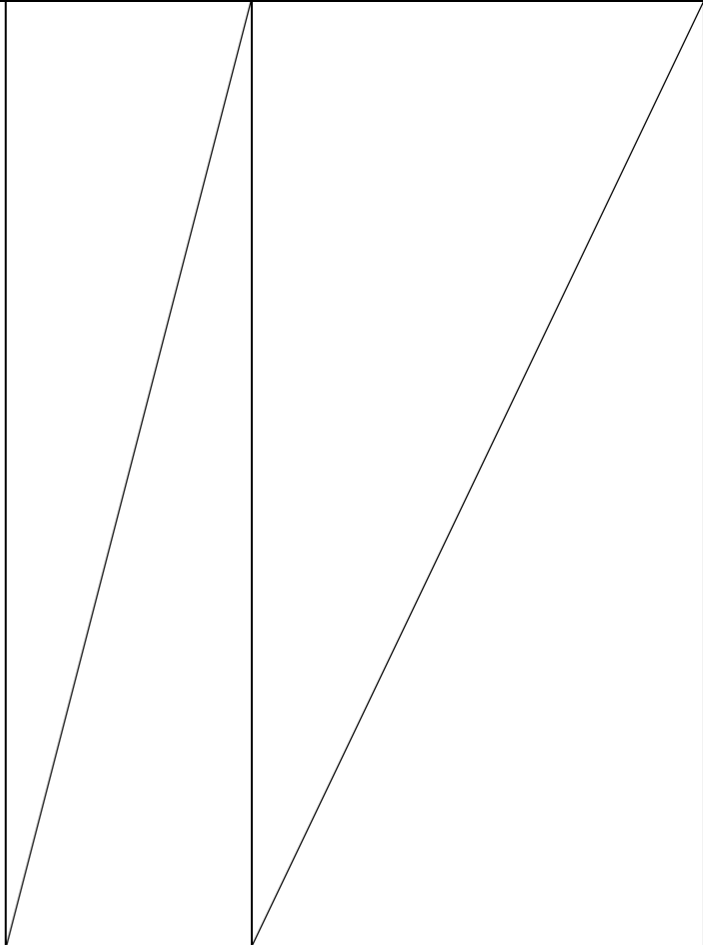
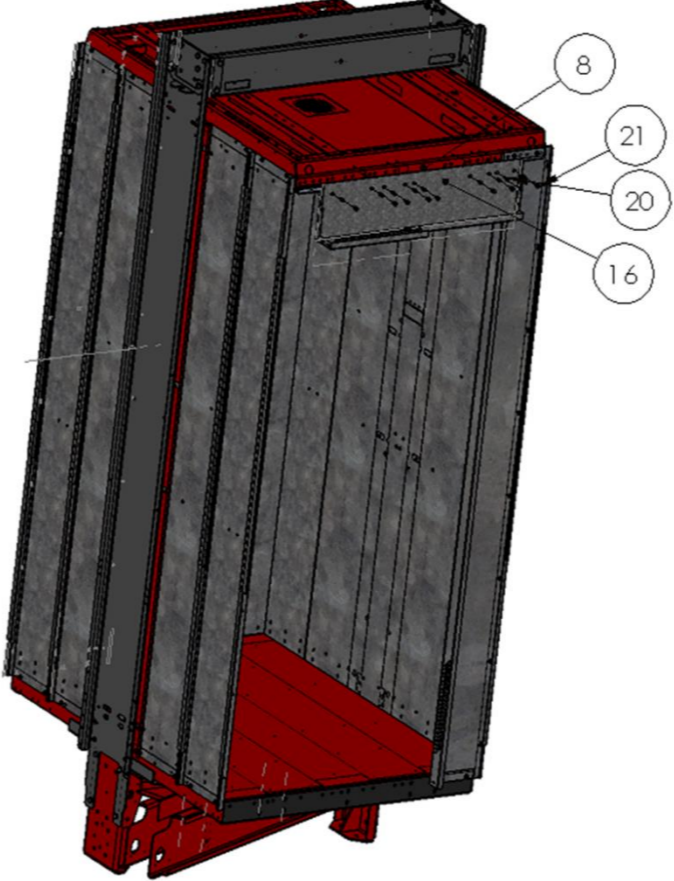
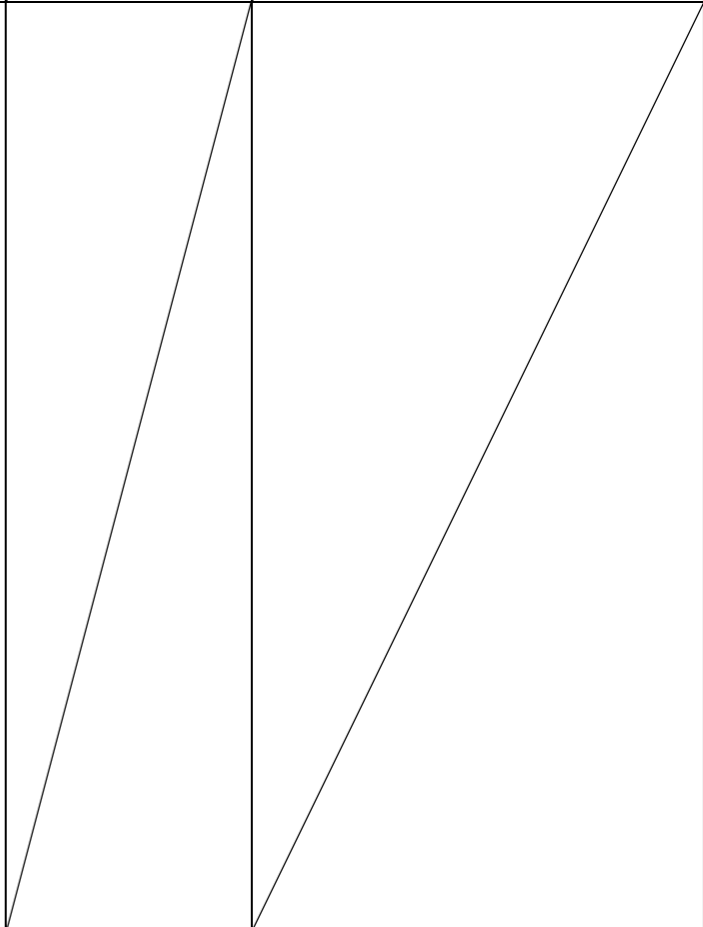
Phase N°	OPERATION	CROQUIS-SCHEMAS	OUTILLAGES	CONTRÔLE	OUPLE DE SERRAGE (N.M)
100	<p>Préparation pièce de base 1</p> <p>Assemblage des deux pièces 3 sur les deux pièces 26 en utilisant les pièces 5 et 6 pour la fixation et sur les pièces 22 en utilisant les pièces 20 et 21</p>		Clé Allen		
200	<p>Assemblage des deux pièces 7 et 23 sur la pièce 27 en utilisant les pièces 5 et 6 pour la fixation</p>		Clé Allen		

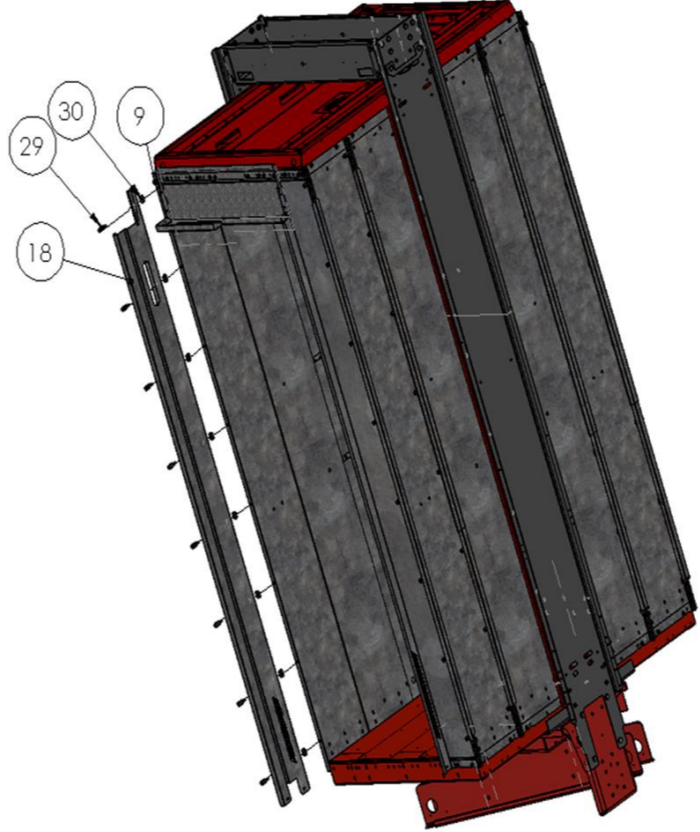
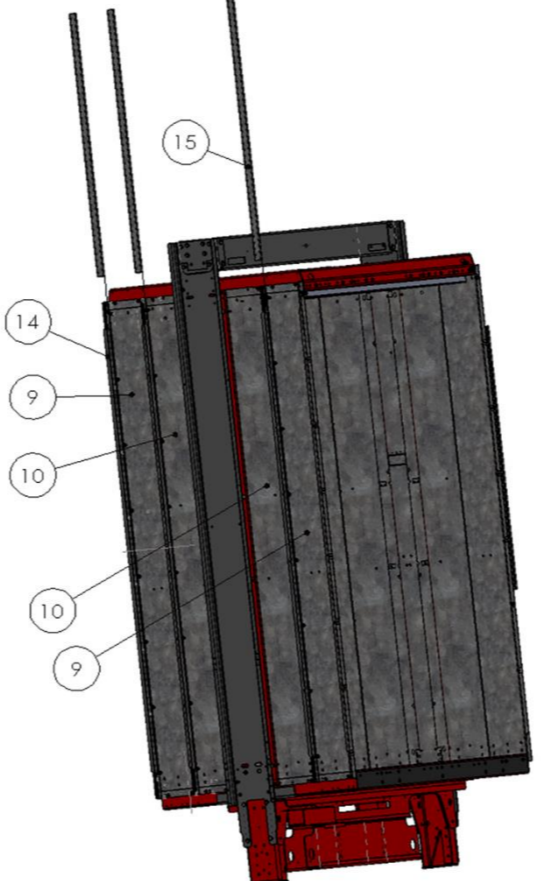
<p>300</p>	<p>Assemblage de la pièces 7 sur les deux pièces 22 en utilisant les pièces 5 et 6 pour la fixation</p>	 <p>The diagram shows a perspective view of a metal frame assembly. A central horizontal bar (part 7) is being attached to two vertical bars (parts 22). The attachment is secured by two sets of brackets (parts 5 and 6) on each side. A base component (part 28) is visible at the bottom of the frame.</p>	<p>Clé Allen</p>	
<p>400</p>	<p>Assemblage des deux pièces 9 sur la pièce 7 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>	 <p>The diagram shows the same metal frame assembly as in step 300. Two vertical bars (parts 9) are being attached to the central horizontal bar (part 7). The attachment is secured by two sets of brackets (parts 20 and 21) on each side.</p>	<p>Clé Allen</p>	

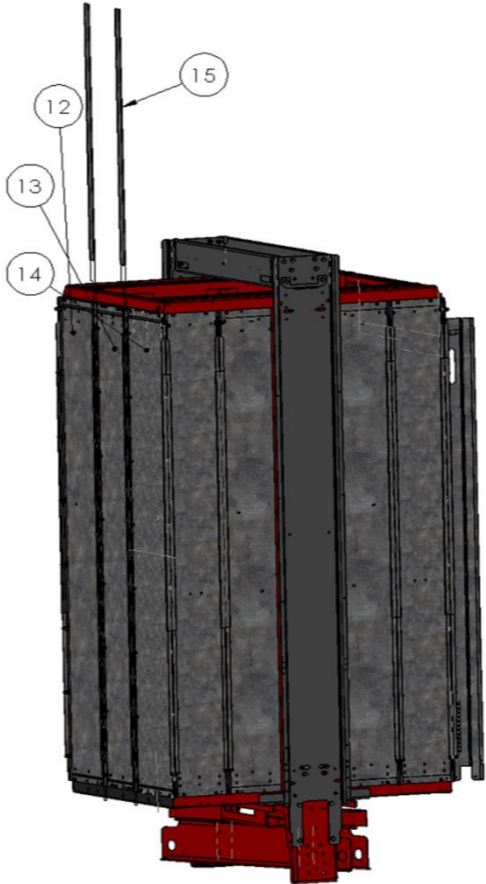
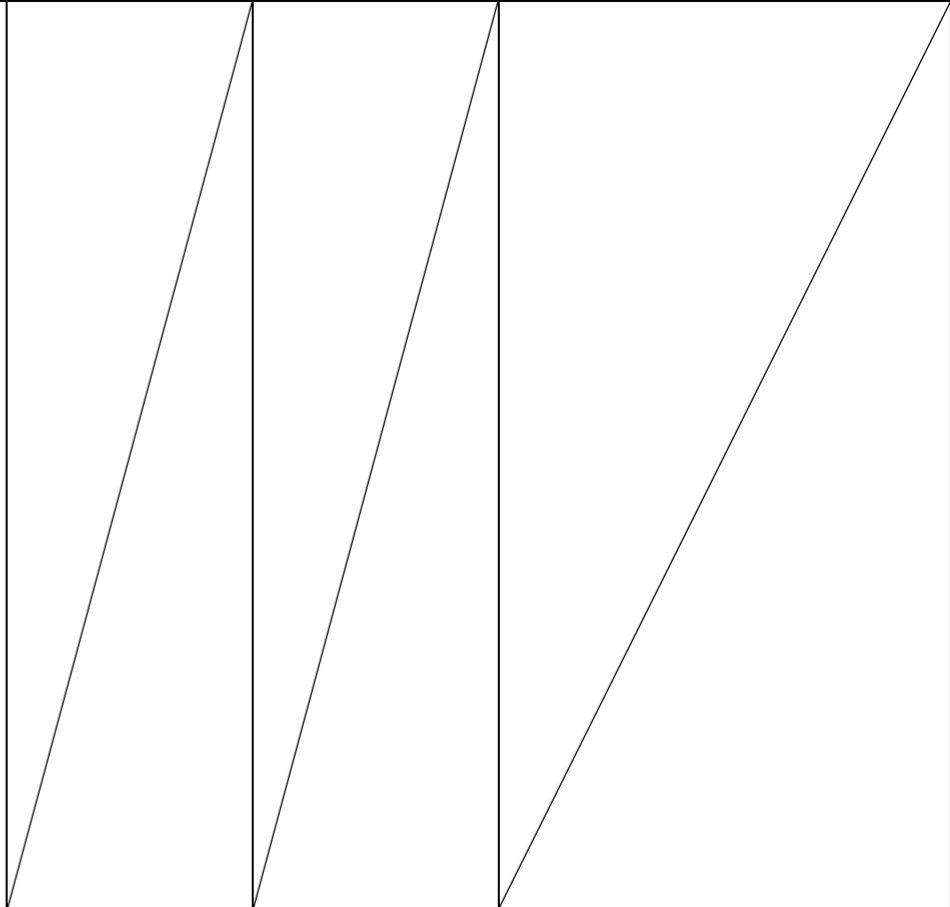
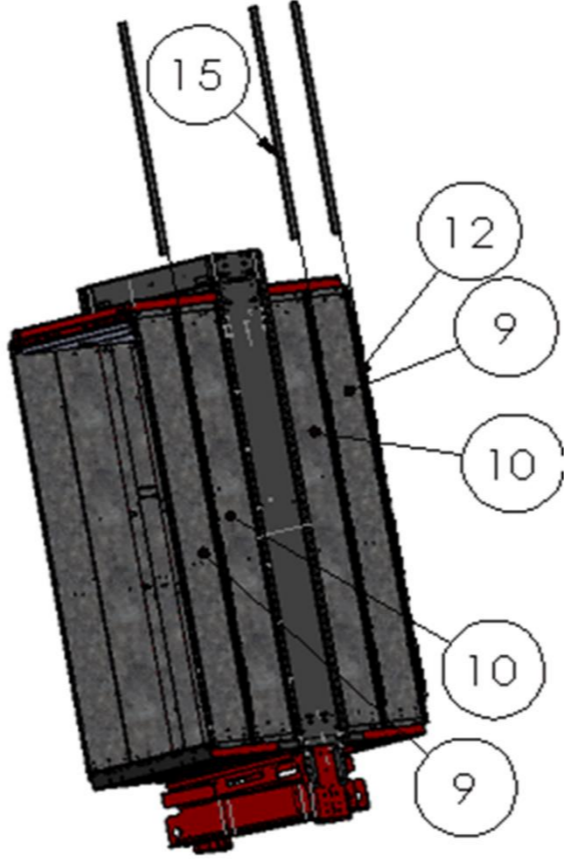
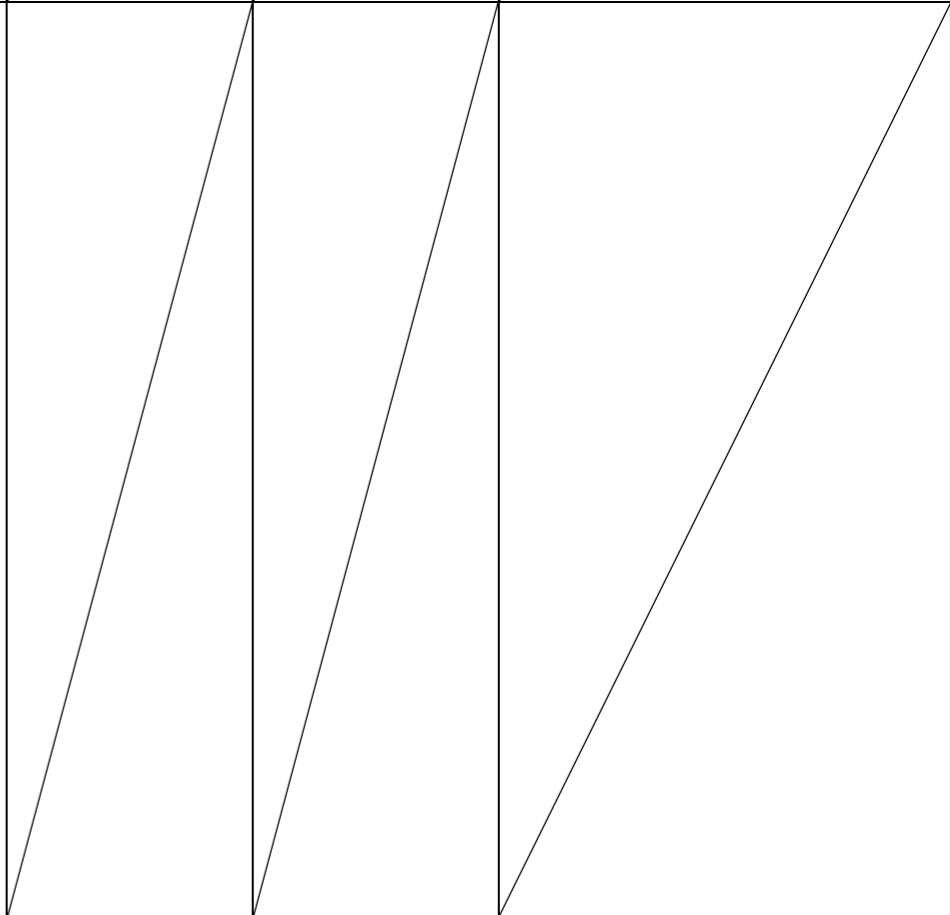
<p>500</p>	<p>Assemblage des deux pièces 10 sur la pièce 7 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>	 <p>The diagram illustrates the assembly of two vertical panels (10) onto a red base (7). The panels are positioned on either side of the base. Brackets (20) are attached to the base, and screws (21) are used to secure the panels to the brackets. The top of the panels is connected by a horizontal bar.</p>	<p>Clé Allen</p>	
<p>600</p>	<p>Assemblage des deux pièces 9 sur la pièce 7 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>	 <p>The diagram illustrates the assembly of two vertical panels (9) onto a red base (7). The panels are positioned on either side of the base. Brackets (20) are attached to the base, and screws (21) are used to secure the panels to the brackets. The top of the panels is connected by a horizontal bar.</p>	<p>Clé Allen</p>	

<p>700</p>	<p>Assemblage de la pièces 12 sur la pièce 7 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>	 <p>The diagram illustrates the assembly of part 12 onto part 7. Part 7 is a red base component. Part 12 is a grey vertical panel. Parts 20 and 21 are small grey components used for fixation. Callouts 12, 20, 21, and 7 point to their respective parts.</p>	<p>Clé Allen</p>	
<p>800</p>	<p>Assemblage de la pièce 13 sur la pièce 7 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>	 <p>The diagram illustrates the assembly of part 13 onto part 7. Part 7 is a red base component. Part 13 is a grey vertical panel. Parts 20 and 21 are small grey components used for fixation. Callouts 13, 21, 20, and 7 point to their respective parts.</p>	<p>Clé Allen</p>	

<p>900</p>	<p>Assemblage de la pièce 14 sur la pièce 7 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>		<p>Clé Allen</p>	
<p>1000</p>	<p>Assemblage de la pièces 8 sur les pièces 9 10 12 13 14 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>		<p>Clé Allen</p>	

<p>1100</p>	<p>Assemblage de pièce 17 sur la pièce 9 en utilisant les pièces 29 et 30 pour la fixation et sur les pièces 7 et 8 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>		<p>Clé Allen</p>	
<p>1200</p>	<p>Assemblage de la pièce 16 sur la pièce 8 en utilisant les pièces 20 et 21 pour la fixation</p>		<p>Clé Allen</p>	

<p>1300</p>	<p>Assemblage de la pièces 17 sur la pièce 9 en utilisant les pièces 29 et 30 pour la fixation</p>		<p>Clé Allen</p>	
<p>1400</p>	<p>Renforcement de la fixation des pièces 9 10 et 14 en utilisant les pièces 15</p>			

<p>1500</p>	<p>Renforcement de la fixation des pièces 12 13 et 14 en utilisant les pièces 15</p>	 <p>A technical drawing of a mechanical assembly. It shows a vertical stack of grey plates. At the top, two vertical rods are labeled 12 and 13. A red horizontal plate is labeled 14. Two vertical rods, labeled 15, are shown passing through the top of the assembly, intended to reinforce the connection of parts 12, 13, and 14. The bottom of the assembly is mounted on a red base.</p>	 <p>An empty grid area for technical drawing, consisting of a 3x3 grid of squares.</p>
<p>1600</p>	<p>Renforcement de la fixation des pièces 9 10 et 12 en utilisant la pièce 15</p>	 <p>A technical drawing of a mechanical assembly, similar to the one above but tilted. It shows a vertical stack of grey plates. At the top, two vertical rods are labeled 12. Below them, two horizontal plates are labeled 9 and 10. Two vertical rods, labeled 15, are shown passing through the top of the assembly, intended to reinforce the connection of parts 9, 10, and 12. The bottom of the assembly is mounted on a red base.</p>	 <p>An empty grid area for technical drawing, consisting of a 3x3 grid of squares.</p>

<p>1700</p>	<p>Renforcement de la fixation des pièces 17 et 18 en utilisant la pièce 15</p>				
<p>1800</p>	<p>Renforcement de la fixation des pièces 9 10 et 12 en utilisant les pièces 29 et 30</p>		<p>Clé Allen</p>		

1900	Renforcement de la fixation des pièces 9 10 12 13 et 14 en utilisant les pièces 29 et 30		Clé Allen	
2000	Contrôle final			