

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Abderrahmane MIRA de Bejaia**  
**Département de Génie Mécanique**

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique  
**Option : IMAO (Ingénierie Mécanique Assistée par Ordinateur)**

**Thème**  
**Contribution à l'étude d'un portique roulant**  
**pour l'entreprise ALIECO**

**Réalisé par :**

BECHIR Sofiane  
FETTOUS Lyes

**Encadré par :**

Mr. SFARNI Samir

**Présenté devant le jury composé de:**

**Mr. HAMRI Okba**

**Mr. HADJOU Madjid**

**Mlle. BOUZIDI Safia**

**Président de jury**

**Examineur**

**Examinatrice**

**2014/2015**

# REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier notre promoteur monsieur Mr. SFARNI Samir, enseignant à l'université de Bejaia pour nous avoir suivi durant la réalisation de ce modeste travail, les conseils qu'il nous a prodigués, pour la confiance qu'il nous a accordée, sa disponibilité et la patience d'ont-il a fait preuve, nous a été d'un apport précieux pour l'accomplissement de ce travail.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce travail en particulier Mr. BECHEUR Abdelhamid du département GENI CIVIL.

On remercie tous les enseignants pour leurs rôles importants dans notre formation. On remercie tous les personnels de l'entreprise ALIECO, en particulier : Mr. SAID et Mr. TOUKFIK de service DRH, Mr. WALID Djâbir, Mr. AHSANIOU et Mr. LALMI  
Amine

Nous remercions les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail.

Enfin, nos remerciements s'adressent à tous les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail



*Je dédie ce modeste travail*

*Tout d'abord et avant tout aux plus chers êtres du monde : mes très chers parents, pour leurs soutiens et leurs sacrifices tout au long de ma vie et que dieu leur apporte tous ce qu'ils souhaitent.*

*A mes frères et sœur*

*A mes chers amis*

*A ma future épouse REKIA*

*A tous mes proches*

*A mon binôme Sofiane et sa famille*

*A tous mes collègues de la section master IMAO*

*A tous les enseignants de l'université de Bejaia qui ont contribué à ma formation*

*A tous mes ami(e)s qui m'ont soutenus et participer de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

*FETTOUS Lyes*



*Je dédie ce modeste travail*

*Tout d'abord et avant tout aux plus chers êtres du monde : mes très chers parents, pour leurs soutiens et leurs sacrifices tout au long de ma vie et que dieu leur apporte tous ce qu'ils souhaitent.*

*A mes frères et sœur*

*A mes chers amis*

*A tous mes proches et plus particulièrement les familles :*

*A mon binôme Lyes et sa famille*

*A tous mes collègues de la section master en IMAO*

*A tous les enseignants de l'université de Bejaia qui ont contribué à ma formation*

*A tous mes ami(e)s qui m'ont soutenus et participer de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

*BECHIR Sofiane.*

# SOMMAIRE

Introduction générale

<b>Chapitre I : Généralités</b>		pages
I.1	Présentation de l'entreprise.....	1
	I.1.2) L'entreprise de nos jours.....	3
	I.1.3) La mission de l'entreprise.....	4
	I.1.4) Le métier de l'entreprise.....	4
	I.1.5) L'organisation de l'entreprise.....	5
	I.1.6) Les domaines d'activités de l'entreprise.....	6
	I.1.7) Les domaines d'activités stratégiques de l'entreprise.....	7
	I.1.7.1) Les équipements hydromécaniques.....	8
	I.1.7.2) Les équipements de levage et de manutention.....	10
	I.1.7.3) Les équipements industriels divers « E.I.D ».....	11
	I.1.8) Le potentiel de l'entreprise.....	13
	I.1.9) Références professionnelles de l'entreprise.....	16
I.2	Type des engins de levage .....	18
	I.2.1. Les grues.....	18
	I.2.2 Les ponts roulants :.....	18
	I.2.2.A Pont roulant mono-poutre.....	20
	I.2.2.B Pont roulant bipoutre.....	20
	I.2.3 Les portiques roulants.....	21
	I.2.3.1 Types des portiques roulant .....	22
	I.2.3.1.A Semi portique mono-poutre.....	22
	I.2.3.1.B Semi portique bipoutre.....	22
	I.2.3.1.C Portique mono poutre.....	22
	I.2.3.1.D Portique bipoutre.....	23
	I.2.3.2 Les mouvements d'un portique roulant.....	23
	I.2.3.3 Les éléments constitués de l'ossature d'un portique roulant.....	24
	I.2.3.4 Caractéristique de construction.....	25
I.3	Conclusion .....	25
<b>Chapitre II : Classification et norme</b>		
II.1	La Fédération Européenne de Manutention (F.E.M).....	27

II.1.1	Objet de la F.E.M.....	27
II.1.2	Domaine d'application.....	27
II.1.3	Classification en groupes des engins de levage et de leurs éléments constitutifs.....	28
II.1.3.A	Conception générale de la classification.....	28
II.1.3.B	Classification des engins de levage dans leur ensemble.....	29
II.1.3.B.1	Conception de la classification.....	29
II.1.3.B.2	Classes d'utilisation.....	29
II.1.3.B.3	Classification de l'engin selon le spectre de la charge.....	30
II.2	Eurocode 3.....	33
II.2.1	Définition des états limite.....	34
II.2.1.A	États limites ultimes.....	34
II.2.1.B	États limites de service.....	35
II.2.1.C	Représentation des actions.....	35
II.2.1.D	Combinaison d'actions.....	35
II.2.2	Principe de classification des sections transversales.....	36
II.3	Les phénomènes d'instabilité élastique.....	39
II.3.1	Le déversement.....	40
II.3.2	Le flambement.....	40
II.4	Vérification des phénomènes d'instabilité.....	41
II.4.1	Déversement en flexion simple.....	41
II.4.2	Flambement en flexion composée.....	43

### **Chapitre III : Calcul et simulation**

III.1	Introduction.....	54
III.2	Model CAO.....	55
III.3	Calcul SAP 2000 (géométrie initiale).....	55
III.3.1	Géométrie.....	56
III.3.2	Matériau.....	57
III.3.3	Conditions aux limites.....	58
III.3.4	Chargement.....	58
III.3.5	Résultats.....	59
III.3.5.1	Flèche en Etat Limite de Service (ELS).....	59
III.3.5.2	Flèche en Etats Limite Ultime (ELU).....	60

III.3.5.3	Effort axial.....	61
III.3.5.4	Moment fléchissant $M_{y.ed}$ .....	61
III.3.5.5	Moment fléchissant $M_{z.ed}$ .....	61
III.3.6	Vérification des critères Eurocode.....	61
III.3.6.1	Calcul des paramètres géométriques de la section.....	61
III.3.6.2	Vérification du déversement en flexion simple.....	62
III.3.6.3	Vérification du flambement en flexion composée.....	63
III.3.6.4	Vérification de la résistance des sections transversales.....	63
III.3.6.5	Vérification de la flèche.....	64
III.3.6.6	Récapitulatif des résultats.....	65
III.3.6.7	Conclusion .....	66
III.4	Calcul SAP 2000 (géométrie modifiée).....	66
III.4.1	Géométrie.....	66
III.4.2	Résultats.....	67
III.4.2.1	Flèche en Etat Limite de Service (ELS).....	67
III.4.2.2	Flèche en Etat Limite Ultime (ELU).....	67
III.4.2.3	Effort axial.....	67
III.4.2.4	Moment fléchissant $M_{y.ed}$ .....	67
III.4.2.5	Moment fléchissant $M_{z.ed}$ .....	68
III.4.3	Vérification des critères Eurocode.....	70
III.4.3.1	Calcul des paramètres géométriques de la section.....	70
III.4.3.2	Vérification du déversement en flexion simple.....	70
III.4.3.3	Vérification du flambement en flexion composée.....	71
III.4.3.4	Vérification de la résistance des sections transversales.....	71
III.4.3.5	Vérification de la flèche.....	72
III.4.3.6	Récapitulatif des résultats.....	72
III.4.3.7	Conclusion.....	73
III.5	Calcul ANSYS.....	74
III.5.1	Géométrie.....	74
III.5.2	Matériau.....	74
III.5.3	Maillage.....	74
III.5.4	Conditions aux limites.....	76
III.5.5	Chargement.....	77

III.5.6 Résultats (géométrie initiale).....	77
III.5.6.1 Flèche en Etat Limite de Service (ELS).....	77
III.5.6.2 Flèche en Etat Limite Ultime (ELU).....	78
III.5.7 Résultats (géométrie modifiée).....	79
III.5.7.1 Flèche en Etat Limite de Service (ELS).....	79
III.5.7.2 Flèche en Etat Limite Ultime (ELU).....	80
III.5.7.3 Tableau récapitulatif des flèches maximales.....	80
III.6 Résultats de l'analyse sur ANSYS Déplacements et Contraintes.....	81
III.6.1 Déplacement.....	81
III.6.1.1 Les déplacements suivant l'axe X.....	81
III.6.1.2 Les déplacements suivant l'axe Y.....	82
III.6.2 Contrainte.....	83
III.6.2.1 Contrainte de TRESCA (stress intensity).....	83
III.6.2.2 Contrainte de traction sur les poutres maitresses.....	84
III.6.2.3 Contrainte de compression sur les poutres maitresses.....	84
III.6.2.4 Contrainte de compression sur les poutres maitresses.....	85
III.6.3 Etude d'influence du maillage.....	85
III.6.4 Déplacements suivant l'axe Z.....	87
III.6.5 Contrainte de Tresca globale (stress intensity).....	87
III.6.6 Contrainte de TRESCA sur les poutres maitresses.....	88
III.7 Conclusion .....	89

**Conclusion général**

**Référence bibliographique**

**Annexe**

*LISTE DES :*

*TABLEAUX , FIGURE*

# Chapitre I: *Généralité*

## Liste des figures :

Figure I.1: Les grues.....	18
Figure I.2: Pont roulant dans un atelier.....	18
Figure I.3: Le pilotage des ponts roulant.....	19
Figure I.4: les composants d'un pont roulant.....	19
Figure I.5: Pont roulant mono-poutre.....	20
Figure I.6: Pont roulant bipoutre.....	21
Figure I.7: Semi portique mono-poutre.....	22
Figure I.8: Semi portique bipoutre.....	22
Figure I.9: Portique mono poutre.....	23
Figure I.10: Portique bipoutre.....	23
Figure I.11: Les mouvements d'un portique roulant.....	24
Figure I.12: Les éléments constitués de l'ossature d'un portique roulant.....	24

## Liste des Tableaux :

Tableau I.1: Ligne équipements hydromécaniques.....	10
Tableau I.2: Ligne équipements de levage et de manutention.....	11
Tableau I.3: Ligne équipements industriels divers « E.I.D ».....	13
Tableau I.4: Machines d'ajustage et usinage.....	14

## Chapitre II: Classification et norme

### Liste des figures :

Figure II.1: Comportement des sections transversales.....	37
Figure II.2: Déversement d'une poutre.....	40
Figure II.3: Flambement d'une poutre.....	41
Figure II.4: Coefficient de réduction $\chi$ en fonction de l'élanement réduit $\lambda$ . [5] .....	46
Figure II.5: Courbe d'instabilité Euler.....	46

### Liste des Tableaux :

Tableau II.1: Classe d'utilisation des engins de levage.....	30
Tableau II.2: Classe de spectre de l'engin de levage.....	31
Tableau II.3 : Groupe des engins de levage .....	31
Tableau II.4: Indications en vue du classement d'un engin dans un groupe.....	32
Tableau II.5: Classification des sections transversales.....	36
Tableau II.6: Classification des âmes .....	37
Tableau II.7: Classification des âmes .....	38
Tableau II.8: Classification des Pieds .....	39
Tableau II.9: Facteur d'imperfection $\alpha$ .....	44
Tableau II.10: Choix de la courbe de flambement en fonction de profilé.....	46

## Chapitre III : Calcul et simulation

### Liste des figures :

Figure III.1: Model CAO du portique (Solidworks).	55
Figure III.2: Identification des sections du model.	56
Figure III.3: Vu de model sur SAP 2000.	57
Figure III.4: Vue du model en 3dimension sur SAP.	57
Figure III.5: Encastrement sur la base du portique.	58
Figure III.6: Sens d'application du charge ment.	58
Figure III.7: Résultats de la simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELS.	59
Figure III.8: Résultats de simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELU.	60
Figure III.9: Effort axial (ELU).	61
Figure III.10: Moment fléchissant $M_y$ .ed (ELU).	61
Figure III.11: Moment fléchissant $M_z$ .ed (ELU).	61
Figure III.12: Formule de base (rappelle RDM).	64
Figure III.13: Résultats de la simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELS.	67
Figure III.14: Résultats de la simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELU.	68
Figure III.15: Effort axial (ELU).	68
Figure III.16: Le moment fléchissant de $M_y$ .ed (ELU).	69
Figure III.17: Le moment fléchissant de $M_z$ .ed (ELU).	69
Figure III.18: Géométrie filaire sur ANSYS.	74
Figure III.19: Visualisation des nœuds du model ANSYS.	76
Figure III.20: Visualisation du maillage en 3 dimensions sur ANSYS.	76
Figure III.21: Encastrement sur la base de portique roulant.	77
Figure III.22: Chargement.	77
Figure III.23: Déplacement suivant Z (ELS).	78
Figure III.24: Déplacement suivant Z (ELU).	78
Figure III.25: Déplacement suivant Z (ELS).	79
Figure III.26: Déplacement suivant Z (ELU).	80
Figure III.27: Déplacements suivant l'axe X.	81
Figure III.28: Déplacements suivant l'axe Y.	82
Figure III.29: Contrainte de Tresca.	83
Figure III.30: Vu agrandie la connexion pied-poutre maitresse.	83

<b>Figure III.31: Contrainte de Tresca.....</b>	<b>84</b>
<b>Figure III.32: Contrainte de traction (poutre maitresse).....</b>	<b>84</b>
<b>Figure III.33: Contrainte de compression.....</b>	<b>85</b>
<b>Figure III.34: Modèles avec taille de maille différente.....</b>	<b>86</b>
<b>Figure III.35: Déplacements suivant l'axe Z.....</b>	<b>87</b>
<b>Figure III.36: Contrainte de Tresca.....</b>	<b>87</b>
<b>Figure III.37: Contrainte de Tresca sur les poutres maitresses.....</b>	<b>88</b>

**Liste des tableaux :**

<b>Tableau III.1: Géométrie initiale des éléments du portique.....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau III.2: Paramètres géométrique de la section.....</b>	<b>62</b>
<b>Tableau III.3: Flèche maximale (résultat analytique et calcul SAP).....</b>	<b>65</b>
<b>Tableau III.4: Vérification des critères Eurocode.....</b>	<b>65</b>
<b>Tableau III.5: Géométrie modifie des éléments du portique.....</b>	<b>66</b>
<b>Tableau III.6: Résultats obtenus sur SAP2000 – Géométrie modifiée.....</b>	<b>68</b>
<b>Tableau III.7: Résultats géométrique (avec section modifie).....</b>	<b>70</b>
<b>Tableau III.8: Résultats selon les critères de l'Eurocode.....</b>	<b>72</b>
<b>Tableau III.9: Flèche maximale obtenue sur ANSYS (géométrie initiale).....</b>	<b>79</b>
<b>Tableau III.10: Flèche maximale obtenue sur ANSYS (géométrie modifiée).....</b>	<b>80</b>
<b>Tableau III.11:Flèches maximales.....</b>	<b>80</b>
<b>Tableau III.12: Récapitulatif des résultats pour différentes tailles de maille.....</b>	<b>88</b>

*INTRODUCTION*  
*GENERALE*

### **Introduction générale :**

Dans ce travail, nous allons nous intéresser à des portiques de manutention, qui sont des engins emblématique pour tous les grands aires de stockage tel que, les ports, les usines d'industrie lourde..., ils sont conçus généralement pour manutentionner des charges lourdes et couvrir des espaces de travail importants.

Ce présent mémoire est consacré à la réalisation de l'étude qui comprendra le dimensionnement et la validation de la structure d'un portique roulant de l'entreprise nationale ALIECO spa d'une capacité de levage de 15 tonnes. Pour cela, notre mémoire sera organisé en trois chapitres :

➤ Chapitre I : Dans ce chapitre, nous allons présenter l'entreprise d'accueil et donner des généralités sur les engins de levage et les différents types de portiques de manutention.

➤ Chapitre II : Dans cette partie, nous allons présenter le code de calcul Eurocode utilisé pour le dimensionnement des structures en acier ainsi que les différentes normes relatives. Nous présenterons les principaux critères à respecter en rapport avec les phénomènes d'instabilité.

➤ Chapitres III : Dans ce dernier chapitre, nous allons présenter l'étude de notre structure vis-à-vis des critères de l'Eurocode. Une première simulation sera réalisée en utilisant le logiciel SAP2000 spécialisé dans le calcul de génie civil et de charpente métallique. Une deuxième étude sera menée en utilisant le logiciel de calcul par Eléments Finis ANSYS. Ces études nous permettront d'étudier le comportement de la structure vis-à-vis de la flèche maximale et des phénomènes de déversement et de flambement. Au final, un nouveau dimensionnement avec des sections modifiées sera proposé et validé.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale ou nous allons évaluer les résultats de notre étude ainsi que les besoins, les avantages et les difficultés rencontrées au cours de notre stage en évaluant aussi le niveau et les besoins de notre industrie en général et de l'entreprise d'accueil en particulier.

*CHAPITRE I :*

**GENERALITE**

## **I.1 Présentation de l'entreprise :**

### **I.1.1) Histoire de l'entreprise :**

La Compagnie ALIECO-spa côte rouge a hérité du savoir-faire des ateliers NEYRPIC-AFRIQUE créés en **1942** par la société NEYRET-BELIER et PICARD-PICTET avant de devenir une filiale de l'entreprise NEYRPIC-GRENOBLE (France).

La période NEYRPIC s'est caractérisée par une spécialisation dans le domaine des équipements hydromécaniques, adduction irrigation ciblant une clientèle très diversifiée aussi bien en Algérie qu'à l'étranger (Maroc, Tunisie, Pakistan, Madagascar, Afrique du sud).

Le **12 Juin 1968** la société NEYRPIC-AFRIQUE fut nationalisée et intégrée à la SN-METAL en tant qu'Unité de Mécanique Lourde (UML Côte Rouge). Cette période s'est caractérisée par :

➤ **L'investissement réalisé entre 1970 et 1975.**

➤ **L'extension du bureau d'études et de la chaudronnerie :** L'extension a concerné les ateliers de chaudronnerie par la réalisation d'un hall de 165x30x12 mètres équipé de trois (03) ponts roulants et de grues vélocipèdes d'une part et le bureau d'études d'autre part ainsi que l'acquisition durant la même période de nouveaux équipements de production :

- ✓ 01 cintreuse à profilés.
- ✓ 01 cisaille guillotine.
- ✓ 01 tour vertical équipé d'un dispositif de copiage.
- ✓ 02 fraiseuses aléseuses.
- ✓ 04 fraiseuses universelles.
- ✓ 01 perceuse radiale.

➤ **Le départ du personnel de NEYRPIC en 1975.**

➤ **L'augmentation des capacités de production de 1100 T à 2300 T.**

➤ **Une gamme de produits diversifiée.**

A la restructuration, en **1983**, Côte Rouge passe à l'E.N.C.C (Entreprise Nationale de Charpente et de Chaudronnerie). Cette nouvelle période est caractérisée par une diversification et un enrichissement accrus de la gamme de production : réalisation de lignes de briqueterie,

d'équipements de cimenterie ainsi que des stations de traitement et d'épuration des eaux usées et, enfin des stations de dessalement d'eau de mer (multi flash et éjecto-compression).

En **Octobre 2000**, avec la filialisation de l'ENCC, l'UML cote Rouge devient ALIECO « ALGERIAN INDUSTRIAL EQUIPMENT COMPANY », Société par Actions au capital social de 120.000.000 DA.

Depuis **2003** et afin de renforcer l'outil de production, un investissement important en équipement a été acquis qui concernait :

- 02 cintreuses ;
- 01 cisaille ;
- 01 plieuse ;
- Une scie à ruban ;
- 02 tours numériques ;
- 02 presses ;
- 01 perceuse ;
- 01 grue mobile de 40 Tonnes.

Initié par le Ministère de l'industrie et de la restructuration, ALIECO a suivi **un programme de mise à niveau** suite aux recommandations du bureau d'études externe qui a effectué le diagnostic stratégique global de l'entreprise.

Le dossier de mise à niveau s'étalait sur les volets : management, organisation, ressources humaines et système de management de la qualité et concernait les dossiers suivants qui sont entamés par ALIECO :

- Réaménagement de l'organisation,
- Renforcement du dispositif de communication,
- Renforcement du dispositif de l'amélioration continue,
- Mise en place de la fonction analyse des coûts,
- Réaménagement de l'implantation des équipements de production,
- Mise en place d'un système de stimulation des travailleurs,
- Consolidation des dispositifs de la planification et du contrôle de gestion,
- Consolidation du système de management de la qualité (écoute clients, tableau de bord qualité),
- Consolidation du système d'information (Intranet),

- Formation des cadres, maîtrise et exécution,
- Rénovation des équipements de production.

**I.1.2) L'entreprise de nos jours :**

L'entreprise Algérienne des Equipements Industriels « ALIECO » filiale du groupe E.N.C.C depuis janvier 2000 est une entreprise publique économique sous la forme juridique d'une société par actions au capital social de 2.635.200.000,00 DA divisé en 52.704 actions d'une valeur nominale de 50.000 DA, entièrement détenues par le groupe E.N.C.C.

Elle est dirigée par un Président Directeur Général assisté par une assistante de la direction et un assistant du P-DG qui chapote un certain nombre de cellules, et entouré de cinq directeurs.

Elle est dotée d'un conseil d'Administration composé de quatre membres issus d'horizons professionnels différents, et dont la mission principale est la validation des choix stratégiques de la direction afin de relancer l'entreprise.

Dans l'esprit de répondre aux exigences qualité, de préserver ses parts de marché ainsi que par souci de toujours satisfaire le moindre besoin et attente de ses clients, Alieco s'organise actuellement par filière ou par domaine d'activité stratégique.

Alieco regroupe plus de 410 salariés dont 53 cadres, 59 maîtrises et 298 exécutants.

Alieco propose à sa clientèle une large gamme de production de haute qualité. Et cela en mettant sur le marché des équipements industriels en Algérie un large éventail de produits et services, en développant ses structures de production, de contrôle, de montage, de maintenance industrielle et en assurant les études, l'expertise, et le service après-vente.

La capacité de production d'Alieco exprimée en production nominale réelle est de 2300 tonnes/an en une équipe.

On identifie la compagnie Algérienne des Equipements Industriels sous le logo et le slogan suivants :

**Le logo de l'entreprise :**



**Le slogan de l'entreprise :** « *Alieco Le Sens de la Performance* »

**Le site web :** <http://www.alieco-spa.com>.

### **I.1.3) La mission de l'entreprise :**

Alieco-spa a pour mission principale d'offrir une large gamme d'équipements industriels performants de haute qualité et de garantir un large éventail de prestations et de services à des prix compétitifs dans différents domaines.

Alieco s'assure également de fournir un outil de production souple et adaptable à la demande.

Elle exerce son domaine d'activité sur l'ensemble du territoire national pour :

- Mettre à la disposition de ses clients une large gamme d'équipements industriels dans différents domaines.
- Réaliser toutes les études techniques nécessaires à la réalisation des affaires.
- Commercialiser ses produits pour assurer en permanence la disponibilité de ses produits pour l'ensemble des clients sur tout le territoire.
- Le montage et l'installation d'équipements chez le client.
- Une équipe d'expertise est à la disposition des clients pour assurer l'activité « Rénovation et Maintenance ».
- Garantir le service après-vente pour ses différentes activités.
- Travailler dans les normes comme elle est certifiée ISO.
- Exercer ses activités dans le respect de la concurrence.

### **I.1.4) Le métier de l'entreprise :**

ALIECO est spécialisée dans la construction métallique, une activité diversifiée qui s'étend de la fabrication au montage des équipements industriels de chaudronnerie et de mécanique. Bien que techniquement polyvalente, l'entreprise s'est positionnée sur des segments de marché où elle a capitalisé une expérience avérée :

- Chaudronnerie et mécano - soudés.
- Mécanique lourde.
- Montage des équipements industriels.
- Traitement de surface.

Ces segments peuvent être regroupés en deux domaines d'activité stratégique (DAS) qui correspondent à des couples produits – marchés :

- Chaudronnerie et Equipements industriels.
- Mécanique lourde,

Globalement, l'activité est concentrée dans les domaines de la chaudronnerie et de la mécanique.

### I.1.5) L'organisation de l'entreprise :

L'organisation générale de ALIECO, basée sur la spécialisation par filières des structures études et commerciale, couvre les fonctions suivantes :

- La fonction de production,
- Les fonctions de gestion,
- Les fonctions de planification et de développement,
- Les fonctions d'animation, de coordination et de contrôle.

Ces fonctions sont prises en charge à travers :

- ❖ Une organisation de base en «services » et «départements ».
- ❖ Un regroupement des départements en sept (07) grandes directions et un secrétariat qui se découpent comme suit :

#### ➤ **Direction Générale (D.G)**

- ✓ Assistante de la direction
- ✓ Assistant du P-DG :
  - Département Contrôle.
  - Cellule Informatique.
  - Cellule Communication.
  - Cellule Audit Opérationnel.
  - Service Management Qualité et Sécurité (S.M.Q.S).

#### ➤ **Direction Technico-commerciale (T.C.O)**

- ✓ Département Commercial
- ✓ Département Projets Rénovation
- ✓ Département Etudes

- ✓ Cellule Veille Commerciale
- ✓ Service Facturation Recouvrement
- **Direction Logistique**
  - ✓ Département Approvisionnements
  - ✓ Département Gestion des Utilités
  - ✓ Département Maintenance
- **Direction Industrielle (D.I)**
  - ✓ Département Montage
  - ✓ Département Engineering de Production
  - ✓ Département Production
- **Direction Administrative et Finances**
  - ✓ Département Comptabilité et Finances
  - ✓ Département GRH
- **Direction Planification et Gestion des Performances (D.P.G.P)**
  - ✓ Cellule Planification
  - ✓ Cellule Contrôle de Gestion
  - ✓ Cellule Analyse des Coûts

Ces Directions sont placées sous l'autorité hiérarchique du Président Directeur Général de la Compagnie.

### **I.1.6) Les domaines d'activités de l'entreprise :**

ALGERIAN INDUSTRIAL EQUIPMENT COMPANY par abréviation ALIECO-spa cote rouge, filiale du groupe E.N.C.C, est une entreprise spécialisée dans l'étude, la fabrication, la présentation et l'assemblage en ateliers, le montage sur sites, la maintenance et le service après-vente d'équipements industriels se rapportant plus particulièrement aux domaines suivants :

#### ➤ **Eaux et environnement comprenant :**

✚ Les équipements hydromécaniques destinés principalement aux barrages (blindage auto résistant, vannes : batardeau, wagon, secteur, grille, organe de décharge, conduites forcées, carter blindé, centrale hydraulique, etc.).

✚ Les équipements d'adduction- irrigation destinés à l'alimentation en eau potable des villes (A E P) et l'agriculture (purgeur d'air, clapet à rentée d'air, joint de démontage et dilatation, vanne papillon, obturateur, etc.).

✚ Les équipements de traitement et d'épuration des eaux usées ainsi que les équipements destinés au dessalement d'eau de mer.

- Les équipements de levage et de manutentions :
  - Portiques ou semi portiques, poutres et ponts roulants, potences murales ou sur fûts, grues portuaires.
- Les équipements d'énergie et de pétrochimie :
  - Échangeurs, séparateurs, scrubbers, régénérateurs, rebouilleurs, colonnes de distillation, condenseurs, réservoirs sous pression, bacs de stockage.
- Les équipements pour les matériaux de construction :
  - Cimenteries, briqueteries, faïenceries dont les clients sont principalement les entreprises de produits rouges étatiques et privées et les cimenteries.

ALIECO-spa Côte Rouge produit et commercialise ces équipements selon les prescriptions et cahiers des charges de ses clients, conformément aux normes en vigueur et dans les règles de l'art eu égard aux capitaux investis.

Les domaines d'activité de la Compagnie ALIECO-spa cote rouge sont constitués de produits fabriqués à la demande avec une prise en charge en matière d'études, ces produits sont destinés, principalement, à l'équipement de l'infrastructure et de l'industrie.

### **I.1.7) Les domaines d'activités stratégiques de l'entreprise :**

Alieco-spa cote rouge s'organise actuellement par filière ou par domaine d'activité stratégique ayant comme savoir faire la spécialisation dans le domaine des équipements hydromécaniques, adduction irrigation lors de la période NEYRPIC, Alieco considère toujours cette activité comme métier de base.

Mais en adoptant une stratégie de diversification liée, elle enrichissait sa gamme de production en rajoutant deux autres activités dont la demande est très importante et l'entreprise possède la capacité et les moyens de les maîtriser.

Alors, les domaines d'activités stratégiques d'Alieco-spa sont les suivants :

**I.1.7.1) Les équipements hydromécaniques :**

La ligne des équipements hydromécaniques représente un produit historique pour l'entreprise dont il faut toujours le garder à l'œil « Orientation Stratégique de la Direction Générale » comme il représentait depuis des années l'activité vache à lait de la compagnie.

Concernant la construction de barrages, l'entreprise intervient généralement dans le cadre de la sous-traitance internationale (avec ALSTOM par exemple) pour des actions précises ; concernant la rénovation et la maintenance des barrages, elle intervient en tant que prestataire « de bout en bout » (des études jusqu'au montage) ou aussi dans le cadre de la sous-traitance internationale (pour des actions précises).

La connaissance exhaustive des barrages existants constitue un atout majeur pour l'entreprise (elle dispose des données historiques et des plans) ; en outre, elle affiche des compétences avérées dans les prestations liées aux barrages ; la position d'ALIECO est globalement favorable sur ce segment d'activités.

Famille	Produits
Equipements hydromécaniques	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Blindage auto résistant</li> <li>✓ Batardeau</li> <li>✓ Vanne wagon</li> <li>✓ Vanne secteur</li> <li>✓ Grille</li> <li>✓ Turbine</li> <li>✓ Orange de décharge (jet-creux)</li> <li>✓ Conduite forcée</li> <li>✓ Accessoires et pièces spécialisées :</li> <li>✓ Culotte, blindage, transition, carter blindé, palier d'articulation, pièces fixes, pièces de calage, joints de démontage, joints de dilatation.</li> <li>✓ Servomoteur et centrale hydraulique.</li> </ul>
Réseau d'adduction d'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Purgeurs d'air sonique et duosonic</li> <li>✓ Clapet à rentrer d'air</li> <li>✓ Joints de démontage et dilatation</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vanne papillon de sectionnement</li> <li>✓ Obturateur à disque auto-centreur OBCA-OBNO (Brise de charge)</li> <li>✓ Vanne cylindrique</li> <li>✓ Vanne stop</li> <li>✓ Soupape de décharge</li> <li>✓ Robinets à jet creux</li> <li>✓ Conduites et accessoires :</li> <li>✓ Coudes, Tès, culottes, By-pass, appui, réduction, convergent, brides, etc.</li> </ul>
Réseau d'irrigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vanne à niveau amont constant AMIL</li> <li>✓ Vanne à niveau aval constant AVIO et AVIS</li> <li>✓ Vannes mixtes</li> <li>✓ Partiteur proportionnel de débit</li> <li>✓ Module à masque</li> <li>✓ Siphon de sécurité</li> <li>✓ Vanne à glissement : VGGP, VGSF, VGSL et V.W</li> <li>✓ Clapets de drainage</li> </ul>
Epuraton, traitement dessalement d'eau	<p>Eaux de mer :</p> <p>Modules d'unité de dessalement d'eau de mer (multi-falshes et ejecto-compression)</p> <p>Eaux usées :</p> <p>Station de traitement et d'épuration des eaux, décanteurs, clarificateurs, gazomètres, digesteurs, déshuileurs, dessableurs, aérateurs, passerelles, ponts racleurs, brises courant, stenguels tubes sécheurs, déshydrateurs.</p>

Services associés et prestations : étude, fabrication, montage, expertise, maintenance, service après-vente

**Tableau I.1: Ligne équipements hydromécaniques.**

**I.1.7.2) Les équipements de levage et de manutention :**

L'entretien du parc ponts roulants, grues portuaires et portiques miniers présente un potentiel important ; Alieco est bien située sur ces créneaux de maintenance et de rénovation pour avoir un plan de charge conséquent, compte tenu des atouts techniques et commerciaux dont elle dispose :

- Connaissance des données du parc
- Maîtrise de la prestation,
- Disponibilité des équipes,
- Synergie avec les autres segments

Pour concrétiser l'intérêt porté à ce segment, ALIECO a mis en place un département dédiée à la rénovation et au montage, de rang central, dotée des fonctions d'expertise et d'études, des fonctions commerciale, réalisation et montage et suivi des affaires ;

Les données actuelles sur ce segment de marché révèlent l'existence d'un portefeuille d'affaires important dans le domaine des interventions extérieures : rénovation, entretien et montage ; mais, l'action de prospection des commerciaux reste insuffisante.

Famille	Produit
Appareil de levage normalisé ou léger	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pont roulant standard (force 3T à 16T portée jusqu'à 20m)</li> <li>✓ Poutre roulante standard (force 0.5T à 10T portée jusqu'à 13m)</li> <li>✓ Potence</li> <li>✓ Grue vélocipède</li> <li>✓ Chariot de manutention</li> <li>✓ Monorail</li> <li>✓ Petit portique ou petit semi portique</li> <li>✓ Ligne d'alimentation pour appareils précités</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Chemin de roulement pour appareils précités</li> <li>✓ palonnier</li> </ul>
Appareils de levage semi lourds et lourds	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Portique et semi portique</li> <li>✓ Pont roulant bipoutre (5T à 40T portée jusqu'à 30m)</li> <li>✓ Pont roulant sidérurgique</li> <li>✓ Gros portiques ou semi portiques sidérurgiques</li> <li>✓ Grue véloce</li> <li>✓ Grue de quai (port)</li> <li>✓ Chariot de manutention</li> <li>✓ Monorail</li> <li>✓ Accessoires divers pour appareils précités :</li> <li>✓ Ligne d'alimentation, chemin de roulement, cabine, grappin, aimant palonnier</li> </ul>
Ponts roulants anti-déflagrants	
Autres équipements	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ligne d'alimentation</li> <li>✓ Chemin de roulement</li> <li>✓ Palonniers</li> <li>✓ Accessoires divers</li> <li>✓ Cabines, grappin</li> </ul>
Services associés et prestations : étude, fabrication, montage, expertise, maintenance, service après-vente.	

**Tableau I.2: Ligne équipements de levage et de manutention.**

**I.1.7.3) Les équipements industriels divers « E.I.D » :**

Les segments de marché visés en priorité par ALIECO, à savoir le secteur des ressources en eau et celui du levage et manutention restent porteurs et surtout durables ; les autres secteurs

utilisateurs présentent des opportunités d'affaires intéressantes ; leur prise en charge rentrera dans le cadre de la diversification du portefeuille d'activités de ALIECO.

Au sein d'Alieco on peut scinder ce segment en quatre activités :

- Cuverie
- Le cintrage
- La charpente
- Divers

Le potentiel que représentent les « E.I.D », notamment le créneau de cintrage est très important mais il est négligé par les commerciaux en matière de prospection du marché.

<b>Famille</b>	<b>Produit</b>
Cuverie	Cuves de 75 m <sup>3</sup> et 300 m <sup>3</sup>
Réservoirs	Réservoir 10 m <sup>3</sup> , 15 m <sup>3</sup> , 50 m <sup>3</sup> , 30 m <sup>3</sup> horizontal, 30 m <sup>3</sup> vertical  Réservoir d'air 18.33  Réservoir sous pression de 5 m <sup>3</sup> à 44 m <sup>3</sup>  Réservoir 100 m <sup>3</sup>
Bacs	Bac de stockage à gasoil  Bac de stockage bitume  Bac à boue sur SKID  Bac à boue sur master SKID  Bac huilé
Bâches	Bâche alimentaire  Bâche d'eau  Bâche incendie
Ballons	Ballon cigare 100 m <sup>3</sup> et 150 m <sup>3</sup>

	<p>Ballon d'aspirateur 350 m<sup>3</sup></p> <p>Ballon d'équilibrage 3 m<sup>3</sup></p> <p>Ballon tampon à gaz</p> <p>Ballon torche</p> <p>Ballonnets</p>
Divers	<p>Coffrage</p> <p>Guérite de surveillance</p> <p>Escalier métallique</p> <p>Fût</p> <p>Goulotte</p> <p>Tourets</p> <p>Pont racleur</p> <p>Porte motorisée</p> <p>Silos</p> <p>Berceau</p> <p>Accumulateur</p> <p>Usinage mécanique des arbres allant jusqu'à 6 mètres de longueur</p> <p>Façonnage de brides, de galets, etc.</p>
Services associés et prestations : étude, fabrication, montage, expertise, maintenance, service après-vente	

**Tableau I.3: Ligne équipements industriels divers « E.I.D ».**

**I.1.8) Le potentiel de l'entreprise :**

✓ **Les ressources humaines :**

ALIECO regroupe aujourd'hui plus de 410 employés entre cadres, maîtrises et exécutants.

✓ **Les moyens et équipements de production :**

**Machines d'ajustage et usinage :** Tours, fraiseuses, rectifieuses, tailleuses de dentures, mortaiseuses, perceuses...etc. dont les plus importantes sont :

Equipements	Nombre
Grosses aléseuses : Ø broche 100 à 130mm	03
Grand tour parallèle	03
Grand tour vertical	02
Fraiseuses universelles	03
Fraiseuse horizontale	01
Tailleuses denture	04
Tours parallèles	23
Grosses aléseuses	03
Tours à commande numérique	03
Affûteuse de forêts	01

**Tableau I.4: Machines d'ajustage et usinage.**

✓ **La chaudronnerie et la soudure :**

Machines et équipements pour de gros travaux de chaudronnerie : Machine de débit, presse plieuse et plieuse à tablier (tôles fortes 20 mm et tôles fines 6 mm), Rouleuses pour tôles fortes et moyennes ; des cisailles guillotine, des scies à métaux ;

- Presse plieuse 400 T ;
  - Plieuse à tablier ;
  - Rouleuse tôles de fortes ;
  - Rouleuse tôles moyennes ;
  - Cintreuse de profilés ;
  - 2 potences de soudures automatiques ;
  - 1 cisaille guillotine ;
  - 1 banc d'oxycoupage ;
  - Oxytome photo cellule ;
  - 06 Paires de vireur soudage ;
  - 01 potence de soudage ;
  - 01 presse plieuse 400T ;
  - 01 cintreuse de profilés ;
  - 01 cintreuse de tubes ;
  - 01 presse horizontale ;
  - 01 presse verticale ;
  - 01 scie horizontale.
- Une installation de sablage : L x l x h : 11,5 x 4,5 x 5,5 ;
- 1 four de recuit : L x l x h : 4,5 x 2,4, x 2,4 ;

- Des moyens de levage et de manutention : Ponts roulants et poutres (12) de 3 à 10 t et 1 de 25 t ;
- Centrale à oxygène de 5 000 litres ;
- Un parc à fer : On y retrouve des scies (alternative et scie à ruban) et une tronçonneuse.

### ✓ Les technologies utilisées :

Les technologies employées dans la fabrication de la chaudronnerie et les équipements industriels se résument comme suit :

- **Débitage** dans ses différentes formes (scies, oxycoupages, cisailles guillotines) ;
- **Usinage mécanique** (toutes les opérations de tournage, de fraisage, de perçage, de rectification, de filetage) ;
- **Assemblage** par boulonnage et/ou par soudure (à l'arc, semi-automatique, oxyacéthylnique) ;
- **Formage** des tôles par l'emboutissage, le pliage, le cintrage, le roulage, etc.
- **Montage** des biens d'équipements pour contrôle de faisabilité et montage définitif sur les sites clients ;
- **Traitement de surfaces** (sablage, lavage, grenailage et peinture) ;
- **Transbordement** de la matière et des produits à l'intérieur du site, transport de la matière et des produits à l'extérieur (ponts roulants, potences, grues, chariots élévateurs et camions).

### ✓ Les infrastructures :

Les infrastructures de la Compagnie ALIECO-spa qui occupent une superficie globale de 41 665 m<sup>2</sup> se décomposent comme suit :

- Un bureau d'études ;
- Trois (03) ateliers de chaudronnerie ;
- Deux (02) ateliers de mécanique ;
- Un atelier de débitage ;
- Un atelier de traitement de surface et de sablage ;
- Un atelier de services généraux ;
- Un atelier de maintenance ;
- Un parc à fer ;

- Bâtiments administratifs ;
- Une cantine pour restauration.

**I.1.9) Références professionnelles de l'entreprise :**

ALIECO-spa intervient dans la réalisation et la rénovation de barrages, des périmètres d'adduction et d'irrigation des zones agricoles et urbaines ainsi que dans le transfert de l'eau des barrages vers des stations de distribution. Pour illustrer la participation d'ALIECO à ces réalisations, nous citerons à titre d'exemple :

**A. Réalisation de barrages :**

La majeure partie des barrages en Algérie a été réalisée avec notre participation. Les barrages de Ain Zada (SETIF), Hammam Grouz (CONSTANTINE), El-Moustakbal (BLIDA), Lekhal (BOUIRA), El Agrem (JIJEL), Brézina (EL-BAYADH), Ouled Mellouk (AIN-DEFLA), Fontaine des Gazelles (BISKRA), Tilesdit (BOUIRA), Foum el-Khanga (SOUK AHRAS), Mexena el-Afia (EL TARF) ainsi que les barrages de Koudiet Asserdoun (BOUIRA), Tichi-Haf (BEJAIA), Bougous (EL TARF), Ghrib (MEDEA), SMBT (surélévation) sont en cours de réalisation par ALIECO.

**B. Rénovation de barrages :**

La rénovation des barrages de Fergoug (MASCARA), K'sob (M'SILA), Cheffia et Mardjet Sidi Abed a été réalisée par ALIECO. Nous disposons des plans et études de barrages déjà réalisés et nous sommes en mesure de rénover d'autres barrages.

**C. Adduction et irrigation :**

Nous avons déjà réalisé des périmètres d'adduction et d'irrigation pour les zones agricoles et urbaines de Relizane, Taref et autres.

**D. Transfert d'eau de barrages :**

Nous avons procédé à la concrétisation du transfert d'eau des barrages de Sidi yacoub (Chlef) vers Tenes, Boughrara vers des stations de distributions.

**E. Station de dessalement d'eau de mer :**

Modules d'unité de dessalement d'eau de mer (multi-flaches et ejecto compression) pour SONATRACH-ARZEW et centrale électrique de JIJEL pour SONELGAZ.

**F. Pétrochimie, Hydrocarbures, Energie :**

La fabrication des Cuves sous-pression pour SIDEM, les racks, les cuves, les bacs pour SONATRACH, les bacs à boue pour ENAFOR, les Cuves sous-pression pour SONELGAZ.

**G. Levage et Manutention :**

La fabrication des Ponts Roulants pour SNVI, comme nous pouvons signaler également la Cimenterie Zahana, l'ENTPL Réghaïa & Oran, SIDER El Hadjar – Annaba.

Par ailleurs, ALIECO-spa dispose d'un potentiel d'équipements de fabrication et d'usinage qui nous a permis de réaliser des travaux industriels pour des organismes stratégiques tels que la SNTF, SONELGAZ et l'ANP.

Parmi ces travaux, nous pouvons citer le transfert des ateliers de maintenance de SNTF de Hamma vers Rouiba, la maintenance des centrales électriques de Sonelgaz, la fabrication de bacs de stockage et soutes d'armement pour l'ANP, la maintenance de ponts roulants pour d'importantes entreprises.

De plus, ALIECO dispose d'infrastructures industrielles et de moyens techniques pour participer à la réalisation de grands projets tels que l'autoroute Est-ouest, le métro d'Alger.

Dans le cadre de l'ouverture de l'économie nationale, ALIECO, par ses capacités de fabrication et d'usinage, est en mesure d'être un pôle de sous-traitance pour les entreprises étrangères investissant en Algérie.

Le portefeuille client est composé, en plus des donneurs d'ordre nationaux, d'entreprises étrangères notamment :

- DEGREMONT Espagne : stations de traitement des eaux dans le cadre du transfert du MAO.
- VATECH : stations de traitement des eaux du barrage Koudet M'douar.
- ALSTOM Portugal : Barrage Koudet Acerdoune
- Entreprises Chinoises : Barrage Bougous et Périmètre d'irrigation Ain Defla.
- Abrantina : Réhabilitation des ports d'Algérie (Dellys, Tipaza, etc.).

**I.2 Type des engins de levage :****I.2.1. Les grues :**

Les grues se caractérisent essentiellement par une longueur de flèche en porte-à-faux, à laquelle la charge est suspendue, généralement au moyen d'un câble et d'une moufle, cette flèche possède toujours au moins un degré de liberté par rapport au sol, afin de permettre le déplacement de la charge dans un plan horizontal, par exemple :

- ❖ Rotation autour d'un axe vertical.
- ❖ Rotation (limitée) autour d'un axe horizontal.
- ❖ Déplacement sur rails (la grue étant équipée de roues), généralement de façon rectiligne (Translation).



**Figure I.1: Les grues.**

**I.2.2 Les ponts roulants :**

Les ponts roulants sont généralement installés dans des halls industriels ou leur prolongement à l'air libre, ils permettent la manutention des charges dans toutes l'espace de ces halls, ils sont installés en hauteur et circulent sur des rails fixes sur des poutres de roulement en acier ou béton, reposant sur des poteaux.



**Figure I.2: Pont roulant dans un atelier.**

Sur un petit pont roulant, la conduite de l'engin se fait par télécommande ou radiocommande, les gros ponts possèdent souvent une cabine de conduite, mais ils peuvent également être pilotés depuis le sol par une télécommande. Il peut y avoir plusieurs ponts dans une même travée, chacun d'eux est alors protégé par un système anticollision. [1]

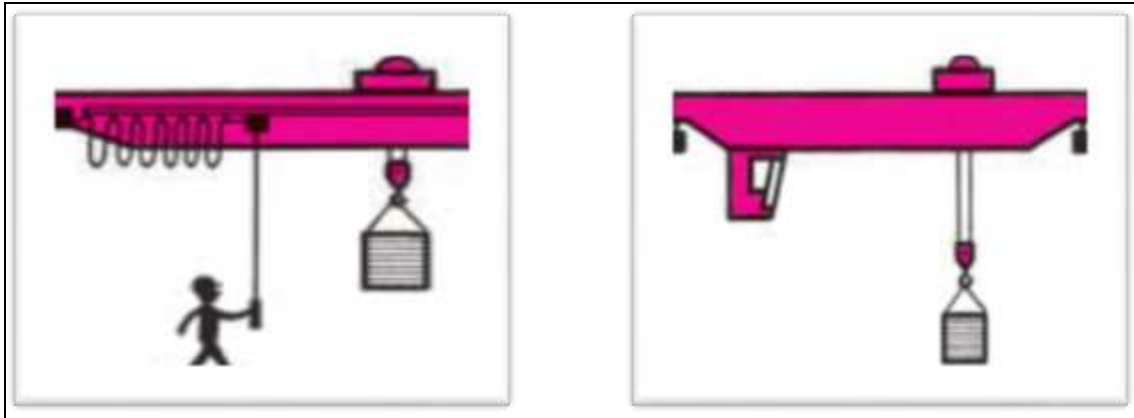


Figure I.3: Le pilotage des ponts roulants.

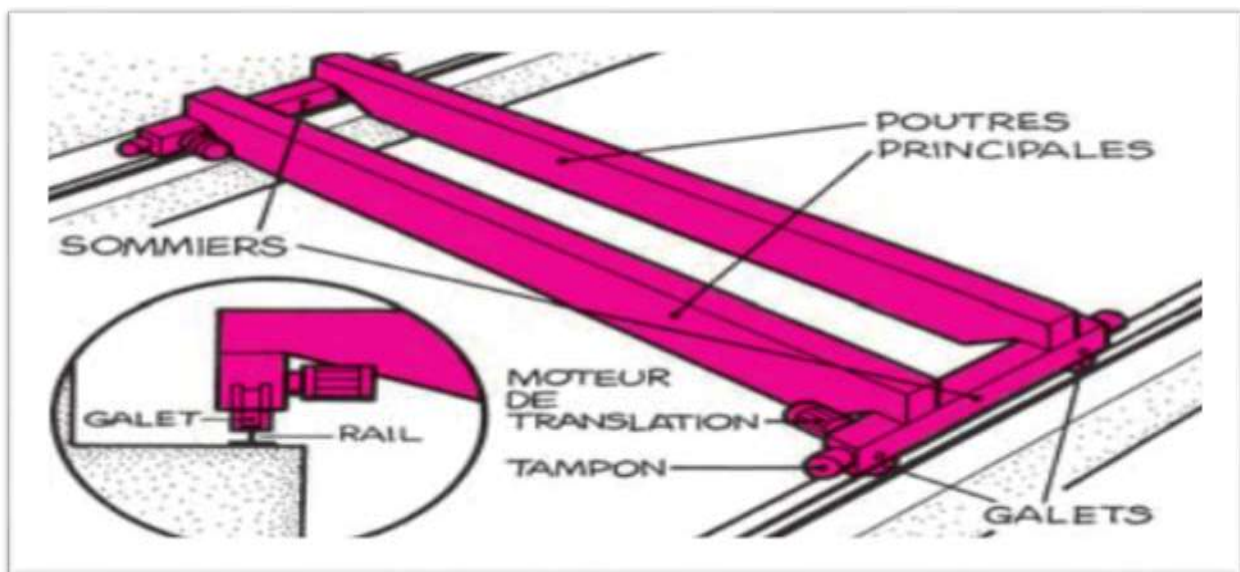


Figure I.4: les composants d'un pont roulant.

### I.2.2.1 Typologie des ponts roulants :

Le pont roulant est constitué d'une ou de plusieurs poutres longitudinales reposant à chaque extrémité sur un chariot appelé sommier équipé de roues se déplaçant sur un rail. Le pont à faibles charges est mono-poutre, ceux à charges importantes sont à plusieurs poutres.

On trouve exceptionnellement des ponts à 4 poutres, lorsqu'il est nécessaire de lever des charges de plusieurs tonnes.

- ❖ Un pont roulant de grande taille est constitué :
  - ✓ D'un quadrilatère, structure constituée de :
    - Sommiers équipé de galets (roues) assurant le déplacement sur l'une et l'autre des voies de roulement.
    - deux poutres reliant les sommiers et supportant le chariot.
  - ✓ D'un chariot se déplaçant sur les poutres du quadrilatère et équipé d'un ou deux palans ou treuils qui permet d'enrouler le câble de levage.
  - ✓ D'une ou d'un moufle reprenant les accessoires de levage à l'extrémité basse des câbles.

On distingue les deux types les plus courants :

#### **I.2.2.A Pont roulant mono-poutre :**

Le mono-poutre comprend une poutre principale supportant le palan. Si vous disposez d'une hauteur suffisante, le pont roulant mono-poutre suffit. Pour exploiter la hauteur maximale,



**Figure I.5: Pont roulant mono-poutre.**

#### **I.2.2.B Pont roulant bipoutre :**

Le bipoutre comprend deux poutres principales. Ce pont roulant dispose d'une hauteur de levage supérieure à la version mono-poutre et offre la possibilité d'installer plus d'accessoires comme une passerelle.



**Figure I.6: Pont roulant bipoutre.**

### **I.2.3 Les portiques roulants :**

Un portique de manutention est un appareil de levage pour charges lourdes, autonome, utilisé principalement sur de grandes aires de stockage à l'air libre, tel que les ports, les parcs de matières en vrac ou produits industriels de masse.

Le portique remplit sensiblement les mêmes fonctions qu'un pont roulant dont il ne diffère que par le principe de fonctionnement. Un pont roulant circule sur un chemin de roulement situé en hauteur sur des poutres en acier ou béton positionnées sur des poteaux.

Il existe des engins hybrides posés d'un côté sur un rail au sol et de l'autre sur un chemin de roulement sur poutres en hauteur. On parle à ce moment de « semi-portiques ».

Le portique quant à lui circule sur une bande de roulement, généralement constituée de rails, située à même le sol. L'appareil se compose de quatre poutres verticales. Les deux poutres composant la largeur sont solidarisiées. Dans le sens de la longueur sont installées au sommet de l'ensemble deux poutres longitudinales, elles aussi solidarisiées, sur lesquelles repose un chemin de roulement composé de rails. Sur ces rails circule un chariot qui supporte effectivement le matériel de levage lui-même qui se compose d'un ou deux treuils sur les quels s'enroulent le câble de levage ainsi que le moyen de préhension qui peut être un palan, une pince hydraulique, un grappin, un électro-aimant etc. Une cabine de conduite suspendue.

Le principe décrit ci-dessus concerne les gros portiques. Il existe aussi des petits portiques mono-poutre. De même, les ensembles peuvent être constitués de poutre en H mais aussi de poutres tubulaires.

### I.2.3.1 Types des portiques roulant :

On distingue les types suivants :

#### I.2.3.1.A Semi portique mono-poutre :

Un semi-portique mono-poutre roule d'un côté sur le sol et de l'autre sur un chemin de roulement fixé aux colonnes du bâtiment. Il peut fonctionner sans perturbation sous d'éventuels ponts roulants qui circulent au-dessus avec une seule poutre.



Figure I.7: Semi portique mono-poutre.

#### I.2.3.1.B Semi portique bipoutre :

Un semi portique bipoutre remplit les même fonctions et utilisation que le type précédant mais avec deux poutres comme le montre la figure suivante :



Figure I.8: Semi portique bipoutre.

#### I.2.3.1.C Portique mono poutre :

Un portique est un dispositif de levage par excellence pour l'extérieur. Il est également utilisé dans des bâtiments où il est impossible de monter un chemin de roulement adapté. Dans ce cas, il a deux pieds avec des roues et un mécanisme d'entraînement. Le guidage est assuré par un rail sur le sol. L'alimentation s'effectue au moyen d'un tambour d'enroulement ou d'un

groupe électrogène comme le montre la figure suivante :



**Figure I.9: Portique mono poutre.**

#### **I.2.3.1.D Portique bipoutre :**

Un portique bipoutre remplit les mêmes fonctions et utilisation que le type précédent mais avec deux poutres comme le montre la figure suivante :



**Figure I.10: Portique bipoutre.**

#### **I.2.3.2 Les mouvements d'un portique roulant :**

- + Mouvement de levage :** mouvement vertical du crochet ou des accessoires de levage.
- + Mouvement direction :** déplacement du chariot par rapport à l'ossature du portique.
- + Mouvement de translation :** déplacement de l'ensemble de la structure (l'engin) sur les rails.
- + Mouvement orientation giration :** rotation d'un ensemble des accessoires de levage, autour d'un axe.

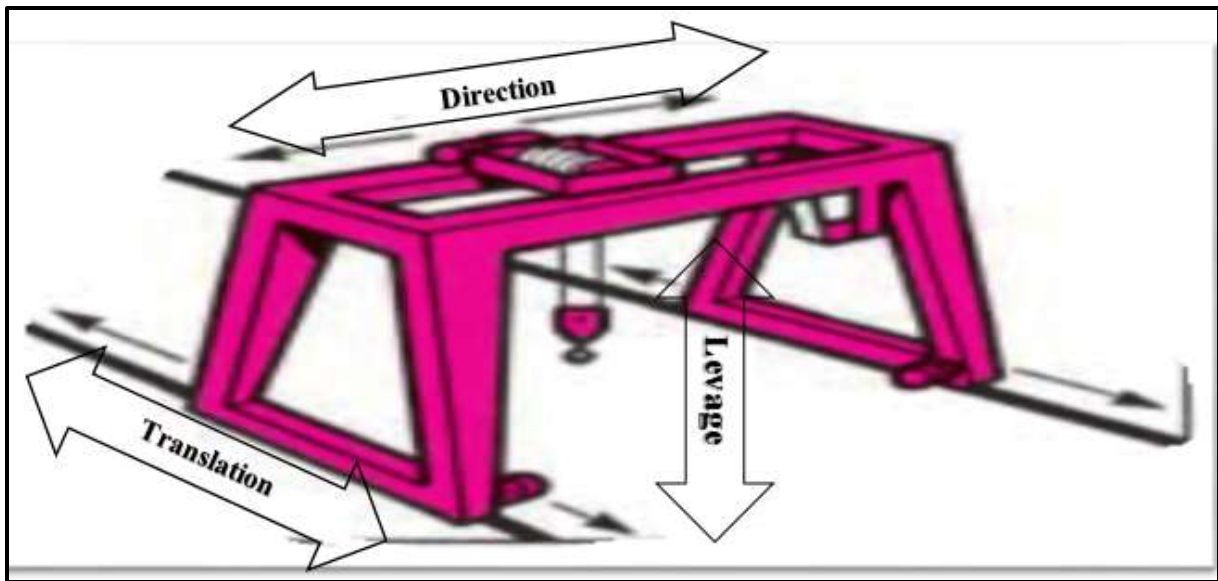


Figure I.11: Les mouvements d'un portique roulant.

### I.2.3.3 Les éléments constitués de l'ossature d'un portique roulant :

L'ossature de portique roulant comprend les éléments suivants :

- ✚ **La poutre maitresse** : c'est un élément de l'ossature constitué par deux poutres qui assurent le déplacement de chariot sur les rails.
- ✚ **Les pieds** : c'est un élément de l'ossature constitué par 4 poutres reliant la partie supérieure de l'appareil à ses assises.
- ✚ **Sommier** : c'est le châssis inférieur de l'ossature supportant la palée sur laquelle sont fixés les organes de roulement de la translation.

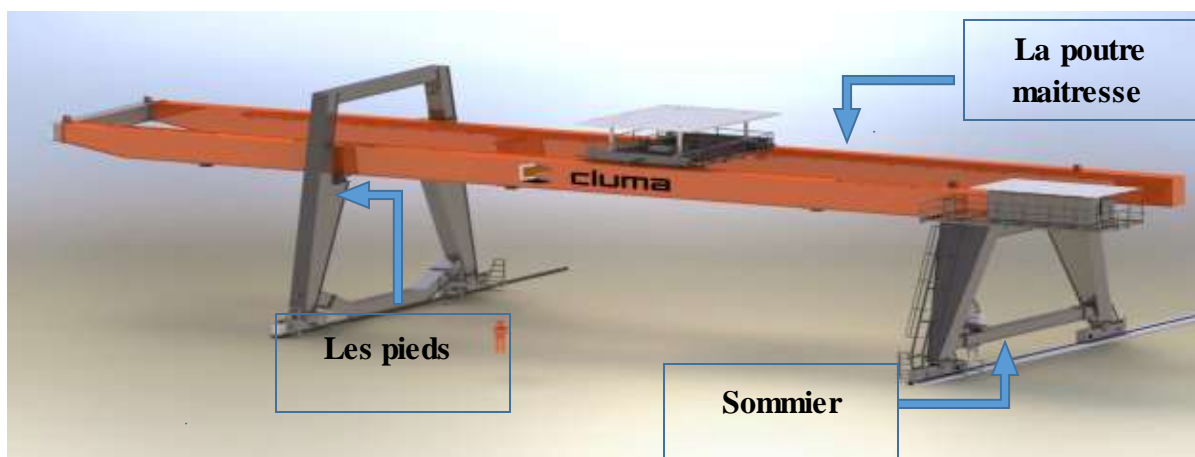


Figure I.12: Les éléments constitués de l'ossature d'un portique roulant.

**I.2.3.4 Caractéristique de construction :**

- + **Course de portique** : Déplacement maximal en translation.
- + **Hauteur libre sous portique** : C'est la hauteur entre le sol et la poutre maitresse
- + **Déplacement** : Distance maximal utile que le portique peut parcourir.
- + **Portée** : La distance entre axes de la voie de roulement.
- + **Charge nominale** : Masse maximal que ne doit pas dépasser pour le levage pour laquelle est calculé le portique. [2]

**I.3 Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a pu arriver à distinguer les différents types de système de levage et de manutention, et le modèle souhaité à étudier par l'entreprise est le Portique bipoutre.

Avec les caractéristiques suivantes : 22 mètre de portée, et 8 mètre de hauteur libre sous portique, et la charge de levage est de 15 Tonnes.

# *CHAPITRE II :*

## **CLASSIFICATION ET NORME**

**II.1 La Fédération Européenne de Manutention (F.E.M) :**

Les règles pour le calcul des appareils de levage, mises au point par le comité technique de la section I/FEM et publiées jusqu'à présent en deux éditions, la 1<sup>ère</sup> en 1962 et la 2<sup>ème</sup> en 1970, ont toujours trouvé une utilisation de plus en plus large dans de nombreux pays et travers le monde.

La Section I de la F.E.M a modifié la forme de l'édition avec une meilleure actualisation et la nouvelle répartition en cahier séparés sera comme suit :

- Cahier 1 : Objet et domaine d'application.
- Cahier 2 : Classement et Sollicitations des charpentes et des mécanismes.
- Cahier 3 : Calcul des contraintes dans la charpente.
- Cahier 4 : Calcul et choix des éléments de mécanismes.
- Cahier 5 : Equipement électrique.
- ~~Cahier 6 : Stabilité et sécurité contre l'entraînement par le vent.~~
- Cahier 7 : Règles de sécurité.
- Cahier 8 : Charges d'essai et tolérances.
- Cahier 9 : Suppléments et commentaires aux cahiers 1 et 8.

**II.1.1 Objet de la F.E.M :**

Les règles de F.E.M ont pour objet de:

- Déterminer les sollicitations et combinaisons de sollicitation dont il faut tenir compte dans l'établissement des projets d'exécution des appareils de levage pour les différentes combinaisons de sollicitations possibles.
- Déterminer les conditions de résistance et de stabilité et observer.

**II.1.2 Domaine d'application :**

Ces règles de calcul s'appliquent au calcul d'appareils de levage, ou parties d'appareils de levage qui appartiennent à la Section I de la F.E.M.

Les engins qui n'appartiennent pas à la Section I :

- Engins de levage attribués à la Section V, par exemple :
  - ✚ Grues sur véhicules, sur pneus, à bandages pleins, à chenilles, sur camions, à remorques ou sur appuis.
  - ✚ Engins de levage qui, selon le règlement intérieur de la F.E.M. sont attribués à la

Section IX, à avoir :

- ✓ Matériels divers équipés d'appareils de levage de série.
- ✓ Palans pneumatiques.
- ✓ Accessoires de levage.
- ✓ Appareils de levage et chaîne à bras.
- ✓ Plates-formes élévatrices, plates-formes de travail ou rampes ajustables de quai.
- ✓ Treuils.
- ✓ Cries, vérins, chèvres, appareils combinés de traction et de levage.
- ✓ Appareils mécaniques de desserte de casier.

Pour le matériel de levage de série, on pourra utiliser ceux des chapitres des règles de calcul de la Section I qui ont été désignés par la Section IX.

Les règles de calcul comportent 8 cahiers, de plus, certains cahiers comportent des annexes qui donnent des informations plus détaillées concernant les méthodes d'utilisation. [4]

### **II.1.3 Classification en groupes des engins de levage et de leurs éléments constitutifs :**

Dans cette partie on va classer le portique roulant que nous allons étudier dans ce présent mémoire, d'une charge de levage de 15 Tonnes, 22 m de portée et de 8 m de hauteur libre sous portique.

#### **II.1.3.A Conception générale de la classification :**

Lors du calcul d'un engin de levage et de ses éléments constitutifs, il doit être tenu compte du service qu'ils doivent fournir au cours de leur utilisation ; à cette fin, il est prévu trois classifications en groupes qui sont les suivantes :

- De l'engin dans son ensemble.
- Des mécanismes individuels dans leur ensemble.
- Des éléments de la charpente métallique et de l'équipement mécanique.

Cette classification s'opère sur la base des deux critères suivants :

- ✓ La durée totale d'utilisation de l'objet considéré.
- ✓ Le spectre de charge, de sollicitation ou de contrainte auquel cet objet est soumis.

**II.1.3.B Classification des engins de levage dans leur ensemble** (FEM Cahier 2 Article 2.1) :

**II.1.3.B.1 Conception de la classification :**

Les engins de levage dans leur ensemble sont classés en 8 groupes, désignés respectivement par les symboles A1, A2, ..., A8, sur la base de 10 classes d'utilisation et de 4 classes de spectres de charge.

**II.1.3.B.2 Classes d'utilisation :**

La classification ce faits par deux critère :

Par **durée d'utilisation** d'un engin de levage, l'on entend le nombre de cycles de levage qu'il accomplit. Un cycle de levage est l'ensemble des opérations commençant au levage d'une charge et se terminant au moment où l'engin est prêt à lever la charge suivante.

La **durée totale d'utilisation** est une durée d'utilisation supputée, considérée comme valeur d'orientation, débutant à la mise en service de l'engin et s'achevant à sa mise hors service définitive.

En fonction de la durée totale d'utilisation, 10 classes d'utilisation, désignées par les symboles U0, U1, ..., U9 sont distinguées. Elles sont définies au tableau suivant:

symbole	Durée totale d'utilisation (nombre $n_{max}$ de cycle de levage)				
U0		<	$n_{max}$	$\leq$	16 000
U1	16 000	<	$n_{max}$	$\leq$	32 000
U2	32 000	<	$n_{max}$	$\leq$	63 000
U3	63 000	<	$n_{max}$	$\leq$	125 000
U4	125 000	<	$n_{max}$	$\leq$	250 000
U5	250 000	<	$n_{max}$	$\leq$	500 000
U6	500 000	<	$n_{max}$	$\leq$	1 000 000
U7	1 000 000	<	$n_{max}$	$\leq$	2 000 000
U8	2 000 000	<	$n_{max}$	$\leq$	4 000 000
U9	4 000 000	<	$n_{max}$		

**Tableau II.1: Classe d'utilisation des engins de levage. [4]**

Nombre de cycle /jour	Nombre de jour	Nombre d'année
144	200	100

Sachant que  $n_{max} = \text{nombre de cycle /jour} \times \text{nombre de jour} \times \text{nombre d'année}$ .

Nous obtenons :  $n_{max} = 2\ 880\ 000$

(FEM cahier 2 page 2-5).

Puisque  $n_{max} = 2\ 880\ 000$  cycles.

Nous nous retrouvons dans l'intervalle  $2\ 000\ 000 < n_{max} \leq 4\ 000\ 000$ , nous en concluons que notre cas concerne la classe U8.

**II.1.3.B.3 Classification de l'engin selon le spectre de la charge :**

Le spectre de charge caractérise l'ensemble des charges levées durant la durée totale d'utilisation d'un engin.

Il existe quatre classes définie par le symbole Q1, Q2, Q3, Q4, et calculées à partir de spectre :

$$k_p = \sum_{i=1}^r \left[ \left( \frac{m_i}{m_{lmax}} \right)^3 \times \left( \frac{n_i}{n_{max}} \right) \right].$$

Avec :

- ✓  $k_p$  : un facteur de spectre.
- ✓  $m_i$  : Charge.
- ✓  $m_{lmax}$  = charge de service.
- ✓  $n$  = nombre de cycles de levage pour lesquels la charge levée est supérieure ou égale à  $m_i$
- ✓  $n_{max}$  = nombre de cycles de levage définissant la durée totale d'utilisation.

Sachant que :

- ✓  $m_{lmax} = 18\ 750$  kg
- ✓  $n_i = n_{max} = 2\ 880\ 000$  cycles.

On note toutes les valeurs sur le tableau suivant :

$m_i$ (kg)	$m_i / m_{lmax}$	$(m_i / m_{lmax})^3$	$n_i$	$n_i / n_{max}$	$k_p = (m_i / m_{lmax})^3 \times (n_i / n_{max})$
15 000	0.8	0.512	2 880 000	1	0.512

symbole	Facteur du spectre $K_p$				
Q1	0.125		$K_p$	$\leq$	0.125
Q2	0.250	<	$K_p$	$\leq$	0.250
Q3	0.500	<	$K_p$	$\leq$	0.500
Q4		<	$K_p$	$\leq$	1.000

**Tableau II.2: Classe de spectre de l'engin de levage. (FEM Cahier 2 2.1.2.3)**

On a  $k_p = 0.512$ .

D'après le tableau II.2, le spectre  $k_p$  de l'engin de levage est de classe **Q4**.

La classe de portique roulant dans son ensemble est définie dans le tableau II.3.

Classe de spectre de charge	Classe d'utilisation									
	U0	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Q1	A1	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q4	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

**Tableau II.3 : Groupe des engins de levage.**

Donc le portique que nous allons étudier est de classe **A8** dans son groupe d'engins, et le tableau suivant montre le classement d'un engin dans un groupe.

Type d'engin		Précisions quant à la nature de l'utilisation	Groupe d'engin
Repère	Désignation		
1	Engins à entraînement manuel		A1 - A2
2	Grues de montage		A1 - A2

3	Ponts de montage et de démontage pour centrales, salles de machine, ...		A2 - A4
4	Portiques de mise et reprise au stock	Crochet	A5
5	Portiques de mise et reprise au stock	Benne preneuse ou	A6 - A8
6	Ponts d'atelier		A3 - A5
7	Ponts roulants, ponts casse-fonte, ponts pour parc à mitraille	Benne preneuse ou	A6 - A8
8	Ponts de coulée		A6 - A8
9	Ponts Pits		A8
10	Ponts strippeurs, ponts chargeurs de four		A8
11	Ponts de forge		A6 - A8
12. a	Portiques de déchargement, portiques à containers	Crochet ou spreader	A5 - A6
12. b	Autres portiques (avec chariot et/ou grue tournante)		A4
13	Portiques de déchargement, portiques (avec chariot et/ou grue tournante)	Benne preneuse	A6 - A8
14	Grues de cale, grues de chantier naval, grues de démontage	Crochet	A3 - A5
15	Grues de port (tournantes, sur portique, ...), grues et bigues flottantes	Crochet	A5 - A6
16	Grues de port (tournantes, sur portique, ...), grues et bigues flottantes	Benne preneuse	A6 - A8
17	Grues et bigues flottantes pour très grandes charges (couramment supérieures à 100 t)		A2 - A3
18	Grues de bord	Crochet	A3 - A4
19	Grues de bord	Benne preneuse	A4 - A5
20	Grues à tour de chantier		A3 - A4
21	Grues derricks		A2 - A3
22	Grues sur voie ferrée, admises en trafic ferroviaire		A4

Tableau II.4: Indications en vue du classement d'un engin dans un groupe. [4]

**II.2 Eurocode 3 :**

Avant 1993, la conception et le calcul des constructions métalliques étaient régis par diverses réglementations.

✚ Les règles de calcul des constructions en acier, dites règles CM 66, qui réglementaient tous les bâtiments en acier.

✚ Le titre V du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes, intitulé conception et calcul des ponts et constructions métalliques en acier, qui règlemente tous les ponts et ouvrages d'art.

✚ Des normes NF, qui régissaient les calculs des assemblages et des éléments et parois minces :

- Les assemblages rivetés : normes NF P. 22410 et P.22411.
- Les assemblages par boulons non précontraints : normes NF P. 22430 et P.22431.
- Les assemblages par boulons : normes NF P. 22460 et P.22469.
- Les assemblages sondes : normes NF P. 22470 et P. 22472.

✚ L'additif 80, qui introduisait les notions de plasticité de l'acier et d'états-limites, ce qui permettait de tirer parti des propriétés élasto-plastiques de l'acier et d'alléger ainsi les structures.

Depuis 1993, une nouvelle réglementation européenne est entrée en vigueur et impose un remplacement de ces divers et précédents textes, il s'agit d'un code unique l'Eurocode 3. L'Eurocode 3 « calcul des structures en acier » a été adopté par le comité européen de normalisation (CEN) en 1992 il a été classé provisoire pour durer de 3 années (1993 et 1996).

Chaque pays de la communauté européenne ajuste les modalités d'application de ce nouveau règlement sur son territoire, au moyen d'un document d'application national (DAN).

Pendant la période probatoire de 3 ans, le statut expérimental de l'Eurocode EC 3-DAN existera conjointement avec les règles antérieures (CM 66, Additif 80, Titre V du Fascicule 61 pour les ouvrages d'art), qui disparaîtront à compter de 1996 lorsque l'Eurocode 3 deviendra une norme européenne homologuée (EN).

**L'Eurocode 3** est un règlement très novateur, qui fixe des règles très détaillées, des notions et des classifications très pertinentes (classes de sections par exemple), et qui propose diverses alternatives de dimensionnement au calculateur, selon la stratégie et la finalité retenues (calculs des assemblages par platines, calculs en élasticité ou plasticité, calculs selon

des analyses au premier ou au second ordre... ). Le tout étant pensé selon une approche de sécurité semi-probabiliste, qui conduit et une calibration de très nombreuses formules de calculs de résistances.

En revanche, l'**Eurocode 3** est un ouvrage mal rédigé, peu clair et rempli de redondances, dont les calculs et les formules sont truffés d'indices, qui les rendent difficilement compréhensibles. C'est une traite beaucoup trop théorique, qui vient s'appuyer sur des logiciels de calculs.

En comparaison avec d'autres constructions, les constructions métalliques exigent qu'une attention toute particulière soit portée sur certains points névralgiques, notamment :

❖ Les assemblages (boulonnages, soudages), afin de se prémunir contre leurs risques de rupture brutale, qui conduiraient la mine de l'ouvrage par effondrement.

Les phénomènes d'instabilité élastique (flambement, déversement, voilement), qui amplifient considérablement les contraintes dans les pièces, et qui sont particulièrement redoutables en construction métallique, du fait de l'utilisation de pièces de faible épaisseur et de grand élancement. [3]

### **II.2.1 Définition des états limite :**

Les états limites d'une structure sont des états idéalisés tels qu'en cas de dépassement, ladite structure ne satisfait plus à certaines exigences structurales ou fonctionnelles définies lors de son projet (EC3 2.2.1). La justification d'une structure consiste alors à s'assurer que de tels états ne peuvent pas être atteints ou dépassés avec une probabilité dont le niveau est, en général, fixé à partir de l'expérience. Ces états limites sont classés en deux familles :

#### **II.2.1.A États limites ultimes :**

Chaque état limite ultime est associé à une ruine ou un effondrement total ou partiel de la structure considérée qui met en cause la sécurité des personnes. Sur le plan pratique, les modes de ruine considérés sont :

- La perte d'équilibre statique de la structure ou de l'une de ses parties, considérée comme un corps rigide, couvrant les phénomènes de renversement, de soulèvement et de glissement avec ou sans frottement.
- la défaillance par déformation excessive, par transformation de la structure ou de l'une quelconque de ses parties en mécanisme, par rupture, par perte de stabilité.
- La défaillance due à la fatigue ou autres effets dépendant du temps.

**II.2.1.B États limites de service :**

Les états limites de service sont associés à des situations de la structure (ou de certaines de ses parties) rendant l'usage de la structure impossible dans le cadre des exigences définies lors de son projet (exigences de fonctionnement, de confort pour les usagers ou d'aspect).

Ces états limites de service comprennent :

- Les déformations affectant défavorablement l'exploitation de l'ouvrage ou provoquant des dommages aux finitions (bardage, couverture, etc.).

**II.2.1.C Représentation des actions :**

Les actions sont, généralement, classées en actions permanentes, actions variables et actions accidentelles, qui sont les suivent : [EC3 2.2.2]

**A.** Les actions permanentes (notées **G**) sont des actions dont la durée d'application est égale à la durée de vie de la structure ; elles peuvent être constantes ou connaître de faibles variations au cours du temps.

**B.** Les actions variables (notées **Q**) sont des actions à occurrences discrètes plus ou moins ponctuelles dans le temps ou à caractères (intensité, direction, etc.) variables dans le temps et non monotones (neige, vent, température,... etc.).

**C.** Les actions accidentelles (notées **A**) qui sont parfois de courte durée d'application et de caractère aléatoire (explosions, chocs, incendie,... etc.).

**II.2.1.D Combinaison d'actions :**

Les actions sont combinées entre elles et leurs valeurs sont affectées de divers coefficient, qui sont :

- Les coefficients partiels de sécurité  $\gamma$ , attachés aux actions tant permanents que variable.
- Les coefficients de combinaison  $\psi$ , attachés aux seules actions variables, qui ne sont pas des coefficients de sécurité, mais uniquement des facteurs liés à la probabilité d'occurrence de la combinaison de plusieurs action, dont les valeurs ne peuvent être maximales simultanément.

**+ Combinaison d'actions aux États limites ultimes :**

$$\sum \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q$$

**+ Combinaison d'actions au États limites de service :**

$$\sum G + \sum \psi \cdot Q$$

II.2.2 Principe de classification des sections transversales : [Eurocode 3 Section 1.1]

L'Eurocode 3 fournit des critères sur l'élancement permettant de classer les sections. Il distingue quatre classes de section transversale, allant de la section 1 à la section 4 soit :

✚ **Classe 1** : sections transversales pouvant atteindre leur résistance plastique, sans risque de voilement local, et possédant une capacité importante pour former une rotule plastique.

✚ **Classe 2** : sections transversales pouvant atteindre leur résistance plastique, sans risque de voilement local, mais avec une capacité de rotation limitée.

✚ **Classe 3** : sections transversales pouvant atteindre leur résistance élastique en fibre extrême, mais non leur résistance plastique, du fait des risques de voilement local.

✚ **Classe 4** : sections transversales ne pouvant atteindre leur résistance élastique, du fait des risques de voilement local.

Le tableau suivant schématise les Classification des sections transversales :

Modèle de comportement	Résistance en flexion	Capacité de rotation	Classe
	<p>Plastique sur section complète</p>		1
	<p>Plastique sur section complète</p>		2
	<p>Élastique sur section complète</p>		3
	<p>Élastique sur section efficace</p>		4
<p>Définitions</p>			

Tableau II.5: Classification des sections transversales.

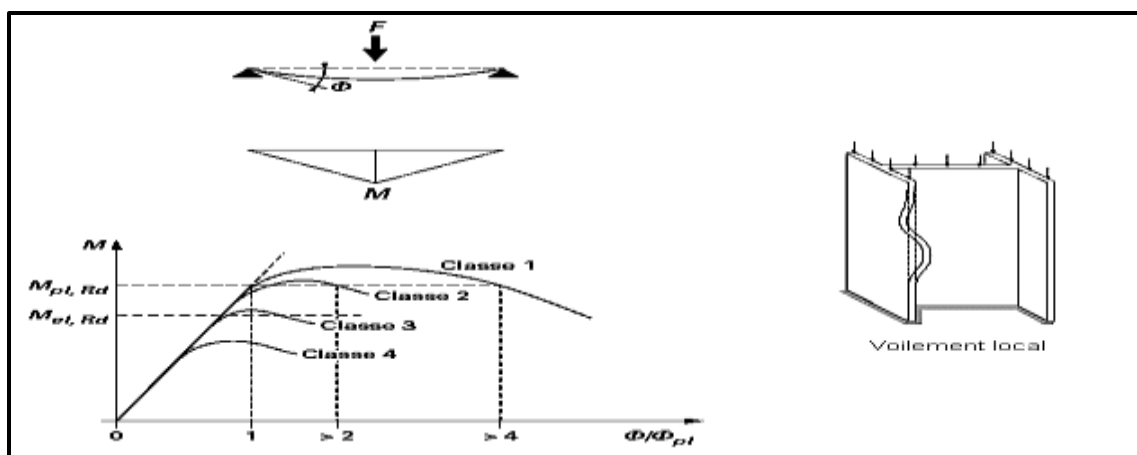


Figure II.1: Comportement des sections transversales.

II.2.3 Classification des sections transversales :

II.2.3.1 Classification des semelles : (EC3 : Tableau 5.3.1 feuille 2)

Tableau 5.3.1 (Feuille 1)		Rapports largeur-épaisseur maximaux pour parois comprimées		
(a) <i>Âmes</i> : (parois internes perpendiculaires à l'axe de flexion)				
		Axe de flexion		
Classe	Âme fléchie	Âme comprimée	Âme en flexion composée	
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)				
1	$d/t_w \leq 72 \epsilon$	$d/t_w \leq 33 \epsilon$	Quand $\alpha > 0,5$ : $d/t_w \leq 396 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ Quand $\alpha < 0,5$ : $d/t_w \leq 36 \epsilon / \alpha$	
2	$d/t_w \leq 83 \epsilon$	$d/t_w \leq 38 \epsilon$	Quand $\alpha > 0,5$ : $d/t_w \leq 456 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ Quand $\alpha < 0,5$ : $d/t_w \leq 41,5 \epsilon / \alpha$	
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)				
3	$d/t_w \leq 124 \epsilon$	$d/t_w \leq 42 \epsilon$	Quand $\psi > -1$ : $d/t_w \leq 42 \epsilon / (0,67 + 0,33\psi)$ Quand $\psi \leq -1$ : $d/t_w \leq 62 \epsilon (1 - \psi) \sqrt{-\psi}$	
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355
	$\epsilon$	1	0,92	0,81

Tableau II.6: Classification des âmes.

II.2.3.2 Classification des semelles : (EC3 : Tableau 5.3.1 feuille 2)

(b) parois internes de semelles : (parois internes parallèles à l'axe de flexion)

Classe	Type	Section fléchie	Section comprimée	
1	Sections creuses laminées	$(b - 3t_f)/t_f \leq 33 \epsilon$	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$	
	Autres	$b/t_f \leq 33 \epsilon$	$b/t_f \leq 42 \epsilon$	
2	Sections creuses laminées	$(b - 3t_f)/t_f \leq 38 \epsilon$	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$	
	Autres	$b/t_f \leq 38 \epsilon$	$b/t_f \leq 42 \epsilon$	
3	Sections creuses laminées	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$	$(b - 3t_f)/t_f \leq 42 \epsilon$	
	Autres	$b/t_f \leq 42 \epsilon$	$b/t_f \leq 42 \epsilon$	
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355
	$\epsilon$	1	0,92	0,81

Tableau II.7: Classification des âmes.

II.2.3.3) Classification des Pieds : (EC3 : Tableau 5.3.1 feuille 3)

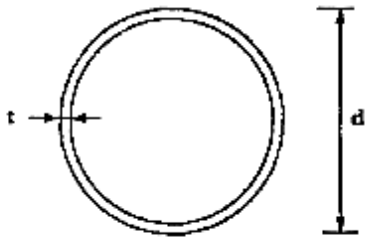
(e) Sections tubulaires				
				
Classe	Section fléchie et/ou comprimée			
1	$d/t \leq 50 \epsilon^2$			
2	$d/t \leq 70 \epsilon^2$			
3	$d/t \leq 90 \epsilon^2$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355
	$\epsilon$	1	0,92	0,81
	$\epsilon^2$	1	0,85	0,66

Tableau II.8: Classification des Pieds.

II.3 Les phénomènes d’instabilité élastique :

Dans cette partie nous allons définir les phénomènes d’instabilité élastique des éléments de l’ossature.

Le calcul d’une structure exige que, sous toutes les combinaisons d’action possible, définies réglementairement, la stabilité statique doit être assurée :

- ✓ Globalement, au niveau de la structure.
- ✓ Individuellement, au niveau de chaque élément.

Les actions développent des diverses sollicitations, qui génèrent des contraintes au sein du matériau et des déformations des éléments. Il s’agit donc, afin de garantir le degré de sécurité souhaité ou souhaitable, de vérifier que les contraintes et les déformations en deçà des limites admissibles.

Deux cas de figure se présentent :

- ✚ Le cas des petites déformations :

Tant que l’on reste dans le domaine des petites déformations, on admet que les sollicitations ne varient pas (ou peu) sous l’effet des déformations, ce qui conduit simplement à vérifier que les contraintes restent inférieures à la contrainte de ruine.

✚ Le cas des grandes déformations :

Dans ce cas, les déformations modifient considérablement les sollicitations qui les ont initiées et nécessitent des calculs spécifiques.

Nous proposons donc d'examiner successivement les trois principaux phénomènes d'instabilité (déversement, voilement, et flambement).

### II.3.1 Le déversement :

Le **déversement** est un phénomène d'instabilité affectant une poutre subissant un moment de flexion.

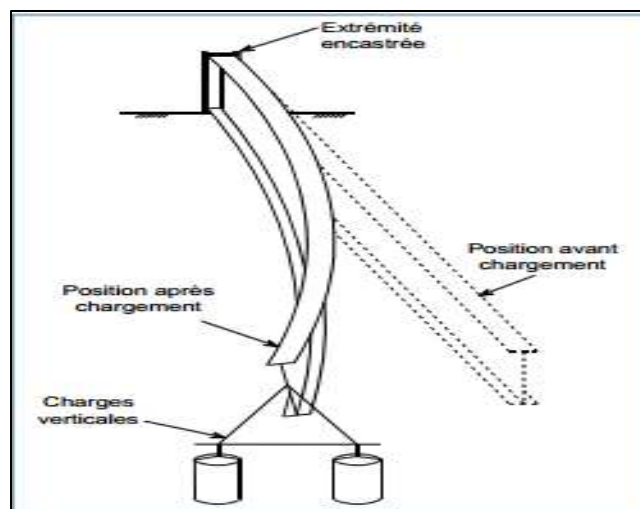


Figure II.2: Déversement d'une poutre.

### II.3.2 Le flambement :

Le **flambement** est un phénomène physique relevant des principes de la résistance des matériaux. Lorsqu'une structure est compressée dans le sens de la longueur, elle a tendance à fléchir perpendiculairement à l'axe de la force appliquée, en raison d'un phénomène d'instabilité élastique. Plus la structure (une poutre, par exemple) est longue et étroite, plus elle se plie facilement, mais d'autres facteurs interviennent comme le système d'attache de la structure au niveau des points de compression.



Figure II.3: Flambement d'une poutre.

## II.4 Vérification des phénomènes d'instabilité : [5]

### II.4.1 Déversement en flexion simple :

Les pièces soumises à la flexion simple autour de l'axe d'inertie principale de leur section transversale sont affectées par un phénomène d'instabilité, dénommé déversement.

Données :

$M_{y,ed}$	Moment fléchissant pondéré maximal sur le tronçon.
$f_y$	Limite d'élasticité de l'acier.
$I_y$	Moment d'inertie principale maximale de flexion suivant l'axe Y.
$I_z$	Moment d'inertie principale maximale de flexion suivant l'axe Z.
$W_{pl,y}$	Module plastique de flexion autour de l'axe y.
$W_{el,y}$	Module élastique de flexion autour de l'axe y.
$W_{eff}$	Module élastique de flexion autour de l'axe y en classe 4.
$i_z$	Rayon de giration autour de l'axe z.
$J$	Moment d'inertie de torsion.
$I_w$	Inertie de gauchissement.
$h$	Hauteur du profil.
$t_f$	Épaisseur d'aile de profil.
$L_{Lt}$	Longueur de déversement.

Le déversement n'est à craindre pour les tronçons :

- ✓ De longueur  $L_{Lt} \leq 35 \cdot i_z \cdot \varepsilon$  quel que soit le diagramme de moment.
- ✓ Soumis à des moments d'extrémité dans le rapport  $\psi$  tel que  $-1 \leq \psi \leq 0,62$  et

$$L_{Lt} \leq (60 - 40 \cdot \psi) \cdot i_z \cdot \varepsilon$$

✓  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$

Calcul :

$C_1, C_2$  sont des coefficients en fonctions du diagramme de moments régnant sur la longueur  $L_{LT}$ .

- Charge uniformément répartie  $C_1=1,13$   $C_2=0,45$
- Charge concentrée à mi- travée  $C_1=1,35$   $C_2=0,59$
- Moment constant  $C_1=1$   $C_2=0$
- Moment d'extrémité opposés  $C_1=2,55$   $C_2=0$
- Diagramme triangulaire  $C_1=1,77$   $C_2=0$

$Z_g$  distance de la charge au centre de gravité, comptée positivement si la charge est orientée vers le centre de gravité.

$$M_c = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{LT}^2} \cdot \left[ \left( \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{LT}^2 \cdot G \cdot J}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$M_c$  : Moment critique.

Classe 1, 2 :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Classe 3 :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

, élancement réduite de déversement.

Classe 4 :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Le déversement n'est pas à craindre si :  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$

$$\varphi_{LT} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

La stabilité est assurée si :

- Classe 1,2 :  $\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$
- Classe 3 :  $\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$
- Classe 4 :  $\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$

**II.4.2 Flambement en flexion composée :**

Données :

- $N_{Ed}$  effort normal pondéré appliqué.
- $M_{y,Ed}$  moment fléchissant pondéré maximal autour de l'axe principal y.
- $M_{z,Ed}$  moment fléchissant pondéré maximal autour de l'axe principal z.
- $f_y$  limite d'élasticité de l'acier.
- A aire de la section droite.
- $A_{eff}$  aire efficace de la section droite en classe 4.
- $I_y$  moment d'inertie principale maximale de flexion.
- $W_{pl,y}$  module plastique de flexion autour de l'axe y.
- $W_{el,y}$  module élastique de flexion autour de l'axe y.
- $W_{eff,y}$  module élastique de flexion autour de l'axe y en classe 4.
- $I_z$  moment d'inertie principale maximale de flexion.
- $W_{pl,z}$  module plastique de flexion autour de l'axe z.
- $W_{el,z}$  module élastique de flexion autour de l'axe z.
- $W_{eff,z}$  module élastique de flexion autour de l'axe z en classe 4.
- $i_z$  rayon de giration autour de l'axe z.
- $L_{cr,y}$  longueur de flambement dans la direction y.
- $L_{cr,z}$  longueur de flambement dans la direction z.
- $I_T$  d'inertie de torsion de Saint-Venant
- $I_w$  inertie de gauchissement
- $y_0, z_0$  coordonnées du centre de cisaillement de la section droite par rapport au centre de gravité
- h hauteur du profil.
- $t_f$  épaisseur d'aile de profil.
- $L_T$  longueur de flambement par torsion.
- $L_{LT}$  longueur de déversement.

Calculs :

Efforts normaux critiques pour les deux directions principales de flambement :

$$\begin{cases} N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} \\ N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} \end{cases}$$

$N_{Rk}$  effort de compression critique de la section, en fonction de sa classe

Classes 1, 2 et 3  $N_{Rk} = A \cdot f_y$

Classe 4  $N_{Rk} = A_{eff} \cdot f_y$

**Coefficient de flambement :**

Facteur d'imperfection  $\alpha_y$  et  $\alpha_z$  suivant le type de profil et la direction de flambement

$$\varphi_y = \frac{1}{2} \left[ 1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] \chi_y = \frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

$$\varphi_z = \frac{1}{2} \left[ 1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] \chi_z = \frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}}$$

Elancement de déversement :

$M_{cr}$  moment critique de déversement de la barre soumise uniquement à la flexion autour de y.

$M_{y,Rk}$  moment résistant en flexion de la section, en fonction de sa classe.

➤ Classes 1 et 2  $M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y$

➤ Classe 3  $M_{y,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y$

➤ Classe 4  $M_{y,Rk} = W_{eff,y} \cdot f_y$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{M_{cr}}}$$

**Coefficient de déversement :**

Facteur d'imperfection  $\alpha_{LT}$  en fonction de type de profil :

$$\varphi_{LT} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

Utilisation possible de valeurs tabulées de  $\chi$  en fonction de l'élancement réduit  $\alpha$

$$\chi_{min} = \min(\chi_y, \chi_z)$$

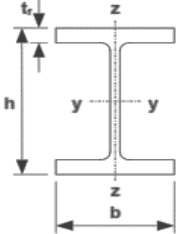
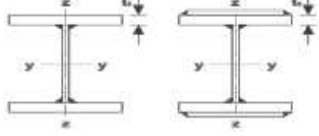
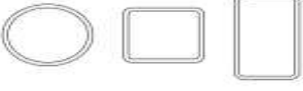
$\alpha$  Est le facteur d'imperfection, paramètre caractéristique de la courbe de flambement qui est donné au tableau 1 qui se suit : (EC3-DAN tableau 5.5.1 page 5.74 et annexe D)

Courbe de flambement	a	b	c	d
$\alpha$	0,21	0,34	0,49	0,76

**Tableau II.9: Facteur d'imperfection  $\alpha$ .**

D'une façon générale, la courbe de flambement à considérer est en fonction de la géométrie de la section, l'axe de flambement, la nuance d'acier et du mode de fabrication. Elle doit être déterminée d'après le Tableau II.7. (EC3-DAN Tableau 5.5.3 et Annexe D).

Les courbes de flambement sont représentées à la Figure II.5. Sur la quel, on remarque la courbe d'Euler qui correspond au flambement élastique d'une barre idéalement parfaite.

Type de section	Limites	Axe de flambement	Courbe de flambement		
			S235 S275 S355	S420	S460
Section en I laminées 	$h/b > 1,2$ :  $t_f \leq 40$ mm	y-y	a	a	a <sub>0</sub>
		z-z	b	a	a <sub>0</sub>
	$40$ mm < $t_f \leq 100$ mm	y-y	b	b	a
		z-z	c	b	a
$h/b \leq 1,2$ :  $t_f \leq 100$ mm  $t_f > 100$ mm	$h/b \leq 1,2$ :  $t_f \leq 100$ mm	y-y	b	b	a
		z-z	c	b	a
	$t_f > 100$ mm	y-y	d	d	c
		z-z	d	d	c
Sections en I soudées 	$t_f \leq 40$ mm  $t_f > 40$ mm	y-y	b		
		z-z	c		
Section creuse 	Laminées à chaud	Quel qu'il soit	a		
	Formées à froid en utilisant $f_{yb}$	Quel qu'il soit	b		

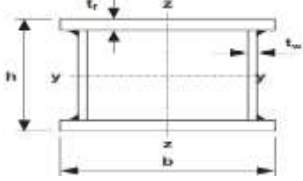
	Formées à froid en utilisent $f_{ya}$	Quel qu'il soit	c
<p>Caisson soudés</p> 	D'une manière générale (sauf ci-dessous)	Quel qu'il soit	d
	<p>Soudure épaisses et</p> <p><math>b/t_f &lt; 30</math></p> <p><math>h/t_f &lt; 30</math></p>	<p>y-y</p> <p>z-z</p>	<p>c</p> <p>c</p>

Tableau II.10: Choix de la courbe de flambement en fonction de profilé.[5]

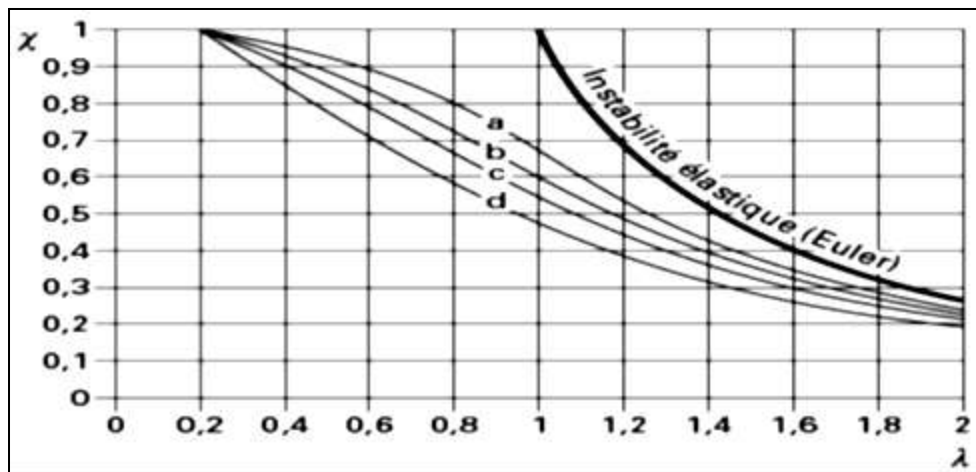


Figure II.4: Coefficient de réduction  $\chi$  en fonction de l'élanement réduit  $\lambda$ . [5]

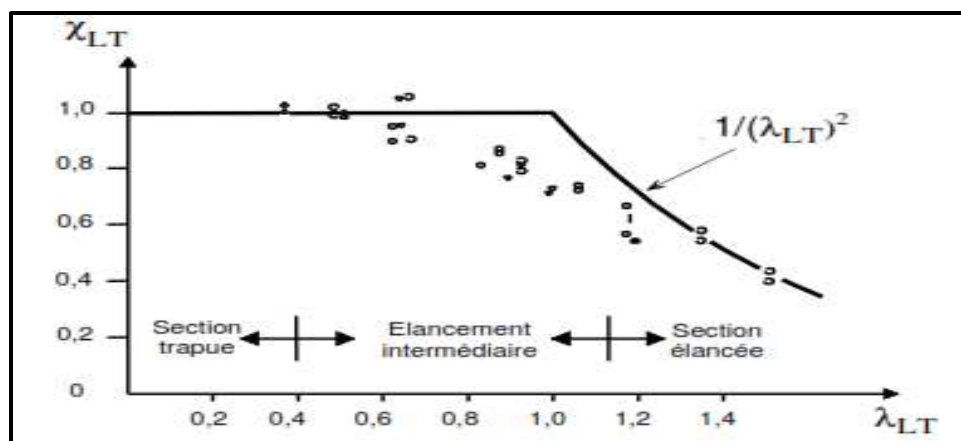


Figure II.5: Courbe d'instabilité Euler.

La stabilité est assurée si :

- Classe 1, 2 et 3 :  $\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$
- Classe 4 :  $\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} \cdot A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$

Effort normal critique de flambement par torsion :

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( GI_T + \frac{\pi^2 EI_w}{L_T^2} \right) \quad \text{Avec } i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2}$$

Effort normal critique de flambement par flexion-torsion :

$$N_{cr,TF} = \frac{i_0^2}{2(i_y^2 + i_z^2)} \left[ N_{cr,y} + N_{cr,T} - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4N_{cr,y}N_{cr,T} \frac{i_y^2 + i_z^2}{i_0^2}} \right]$$

Facteur de moment uniforme équivalent :  $C_{my,0}, C_{mz,0}$

Moment d'extrémité dans le rapport :  $C_{mi,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

$\psi$  compris entre -1 et 1.

Charge uniformément répartie :  $C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

Combinaison de moment d'extrémité

$$C_{mi,0} = 1 + \left[ \frac{\frac{\pi^2 E I_i}{L^2} |\delta_i|}{M_{i,Ed}} - 1 \right] \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$$

Et d'une charge répartie

$\delta_i$  Flèche maximale le long de la barre

$M_{i,Ed}$  Moment de flexion maximal le long de la barre

Facteur de moment uniforme équivalent  $C_{mL,T} = 1$

Correction des facteurs de moment uniforme équivalent

A considérer lorsque  $\bar{\lambda}_{LT,cst} > 0,2\sqrt{C_1} \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$  qui traduit la sensibilité de la barre aux déformations de torsion où  $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{M_{cr}}}$ , avec  $M_{cr}$  le moment critique de déversement de la barre supposé soumis à un moment de flexion constant autour de l'axe y, soit

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{LT}^2} \sqrt{I_w + \frac{L_{LT}^2 G I_T}{\pi^2 E I_z}}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} \geq 0$$

Et  $\varepsilon_y$  le rapport entre la contrainte de flexion y et d'effort normal, soit :

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}/W_{el,y}}{N_{Ed}/A} \quad \text{En classes 1,2 et 3}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}/W_{eff,y}}{N_{Ed}/A_{eff}} \quad \text{En classe 4}$$

$$C_{mi,y} = C_{mi,0} + (1 - C_{mi,0}) \frac{a_{LT}\sqrt{\varepsilon_y}}{1 + a_{LT}\sqrt{\varepsilon_y}}$$

$$C_{mi,z} = C_{mi,0}$$

$$C_{mi,y} = C_{mi,y}^2 \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}} \geq 1$$

Facteur d'interaction pour une justification en élastique de la stabilité (classes 3 et 4)

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}C_{m,LT}}{1 - x_y N_{Ed}/N_{cr,y}} \quad k_{yz} = \frac{C_{m,y}C_{m,LT}}{1 - x_y N_{Ed}/N_{cr,y}} \cdot \frac{1 - N_{Ed}/N_{cr,y}}{1 - N_{Ed}/N_{cr,z}}$$

$$k_{zy} = \frac{C_{m,y}C_{m,LT}}{1 - x_y N_{Ed}/N_{cr,z}} \cdot \frac{1 - N_{Ed}/N_{cr,z}}{1 - N_{Ed}/N_{cr,y}} \quad k_{zz} = \frac{C_{m,y}}{1 - x_y N_{Ed}/N_{cr,z}}$$

• **Formules de justification en élasticité de la stabilité (classes 3 et 4)**

$$\frac{N_{Ed}}{x_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{x_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{x_z N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{x_{LT} M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

➤ **Voilement des âmes de poutre par cisaillement** (Eurocode 3 partie 1-5)

Selon l'Eurocode 3 partie 1-5, les âmes cisillées peuvent être considérées prémunies contre les risques de voilement si leur élancement géométrique, rapport entre leur hauteur

totale  $h_w$  et leur épaisseur  $t_w$ , respecte la condition :  $\frac{h_w}{t_w} \leq 31 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \cdot \sqrt{k_\tau}$  [5]

Avec : 
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$k_\tau = 4 + \frac{5,34}{(a/h_w)^2} \quad \text{Si } a/h_w \leq 1$$

$$\text{Et } k_\tau = 5,34 + \frac{4}{(a/h_w)^2} \quad \text{si } a/h_w > 1$$

(a) étant l'espacement des raidisseurs transversaux.

Ou  $k_\tau < \frac{72\varepsilon}{\eta}$  en absence des raidisseurs transversaux.

Lorsque l'élanement géométrique de l'âme dépasse les limites fixées, il faut une justification de stabilité au voilement.

- Contrainte critique de cisaillement  $\tau_{cr} = k_{\tau} \cdot \frac{E \pi^2}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2$
- Résistance postcritique de l'âme  $\tau_y = f_y / \sqrt{3} \quad \tau_y = \tau_{cr} (h_w / h_{eff})^2$

À partir de ces résultats, on va trouver une nouvelle valeur d'élanement réduit

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{\tau_y}{\tau_{cr}}}$$

Et  $V_{bw,d} = x_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_{yw} / \sqrt{3}}{\gamma_{M1}}$

Tel que  $x_w$  est le coefficient pour la contribution de l'âme à la résistance postcritique au cisaillement.

- Pour  $\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta \quad x_w = \eta$
- Pour  $\bar{\lambda}_w > 0,83 / \eta \quad x_w = 0,83 / \bar{\lambda}_w$
- Pour  $\bar{\lambda}_w > 1,08 \quad x_w = 1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$

Donc pour vérifier il suffit que :

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{0,83}{\eta} \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E \sqrt{3}}{12(1-\nu^2) \cdot 235}} \cdot \sqrt{k_{\tau}}$$

➤ **Contribution des semelles et expression globale de la résistance au voilement par cisaillement :**

Notant que le moment  $M_{Ed}$  appliqué doit rester inférieur à la valeur limite

$$M_{f,Rd} = b_{fm} t_{fm} f_{yf} d_f / \gamma_{M1}$$

$b_{fm}$  : Largeur efficace

$t_{fm}$  : Epaisseur de la semelle la plus faible

$d_f$  : La distance séparant les fibres moyennes des semelles

La contribution des semelles à la résistance au voilement par cisaillement est la plus faible des deux valeurs pour chaque semelle suivant la formule suivante :

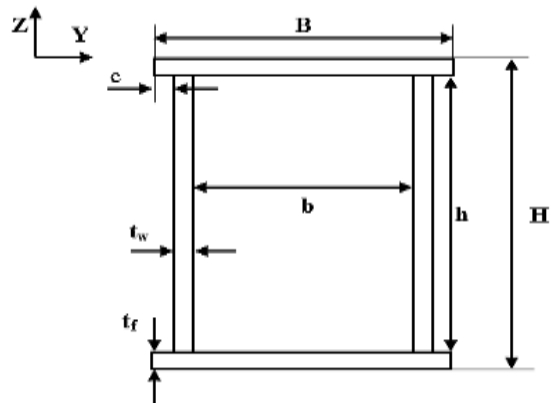
$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2}{c} \cdot \frac{f_{yf}}{\gamma_{M1}} \left[ 1 - \left( \frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right] \quad \text{Avec : } c = a \cdot \left( 0,25 + \frac{1,6 b_f t_f^2 \cdot f_{yf}}{t \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right)$$

En finale, la résistance totale de la section au voilement est :

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}$$

Sans dépasser la valeur limite :  $(\eta \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_{y,w} / \sqrt{3}) / \gamma_{M1}$

Calcul géométrique :



✚ Calcul de la surface :

$$A = \sum A_{si}$$

$$A = 2(h \cdot t_w) + 2(B \cdot t_f)$$

✚ Calcul des moments quadratiques :

$$I_y = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_z = \frac{B^3 \cdot H}{12} - \frac{b^3 \cdot h}{12}$$

✚ Calcul du module de résistance élastique :

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{H/2} = \frac{2 \cdot I_y}{H} \text{ en } mm^3.$$

✚ Calcul du module de résistance plastique :

$$W_{el,z} = \frac{I_z}{B/2} = \frac{2 \cdot I_z}{B} \text{ en } mm^3.$$

✚ Calcul du rayon de giration :

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \text{ en } mm$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \text{ en } mm$$

✚ Calcul d'inertie de gauchissement :

$$I_w = 0 \text{ } mm^6$$

L'inertie de gauchissement est nul pour les sections creuses, ferme à profilé symétrique [8]

## **Chapitre II: Classification et norme**

### **Liste des figures :**

<b>Figure II.1: Comportement des sections transversales.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure II.2: Déversement d'une poutre.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure II.3: Flambement d'une poutre.....</b>	<b>41</b>
<b>Figure II.4: Coefficient de réduction <math>\chi</math> en fonction de l'élanement réduit <math>\lambda</math>. [5] .....</b>	<b>46</b>
<b>Figure II.5: Courbe d'instabilité Euler.....</b>	<b>46</b>

### **Liste des Tableaux :**

<b>Tableau II.1: Classe d'utilisation des engins de levage.....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau II.2: Classe de spectre de l'engin de levage .....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau II.3 : Groupe des engins de levage .....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau II.4: Indications en vue du classement d'un engin dans un groupe .....</b>	<b>32</b>
<b>Tableau II.5: Classification des sections transversales .....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau II.6: Classification des âmes .....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau II.7: Classification des âmes .....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau II.8: Classification des Pieds .....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau II.9: Facteur d'imperfection <math>\alpha</math>.....</b>	<b>44</b>
<b>Tableau II.10: Choix de la courbe de flambement en fonction de profilé.....</b>	<b>46</b>

II.1	La Fédération Européenne de Manutention (F.E.M) : .....	27
II.1.1	Objet de la F.E.M : .....	27
II.1.2	Domaine d'application : .....	27
II.1.3	Classification en groupes des engins de levage et de leurs éléments constitutifs : .....	28
II.1.3.A	Conception générale de la classification : .....	28
II.1.3.B	Classification des engins de levage dans leur ensemble .....	29
II.1.3.B.1	Conception de la classification .....	29
II.1.3.B.2	Classes d'utilisation .....	29
II.1.3.B.3	Classification de l'engin selon le spectre de la charge .....	30
II.2	Eurocode 3.....	33
II.2.1	Définition des états limite.....	34
II.2.1.A	États limites ultimes : .....	34
II.2.1.B	États limites de service .....	35
II.2.1.C	Représentation des actions.....	35
II.2.1.D	Combinaison d'actions : .....	35
II.2.2	Principe de classification des sections transversales : .....	36
II.3	Les phénomènes d'instabilité élastique : .....	39
II.3.1	Le déversement : .....	40
II.3.2	Le flambement.....	40
II.4	Vérification des phénomènes d'instabilité : [5] .....	41
II.4.1	Déversement en flexion simple : .....	41
II.4.2	Flambement en flexion composée : .....	43

# *CHAPITRE III :*

## **CALCUL ET SIMULATION**

**III.1 Introduction :**

Dans cette partie, nous allons nous appuyer sur la géométrie donnée par l'entreprise sous forme de model CAO afin de réaliser des calculs (simulation) qui vont permettre de valider la structure vis-à-vis des critères de l'Eurocode. Une première simulation sera réalisée en utilisant le logiciel SAP2000, spécialisé dans le calcul de structures de génie civil et de charpente métallique. Une deuxième simulation sous ANSYS permettra d'extraire des résultats en contrainte et en déformation en utilisant la Méthode des Eléments Finis. Deux géométries seront étudiées : la géométrie initiale et une géométrie améliorée permettant d'améliorer le comportement de la structure.

### III.2 Model CAO:

Les éléments du portique seront conçus en se basant sur les dimensions données dans le model CAO fourni par l'entreprise et complété par nos soins.

Pour cela le logiciel de CAO Solidworks est choisi. Grâce à ce dernier, les concepteurs peuvent esquisser rapidement une idée, modifier les dimensions de la pièce, produire des modèles 3D et des mises en plan précises.

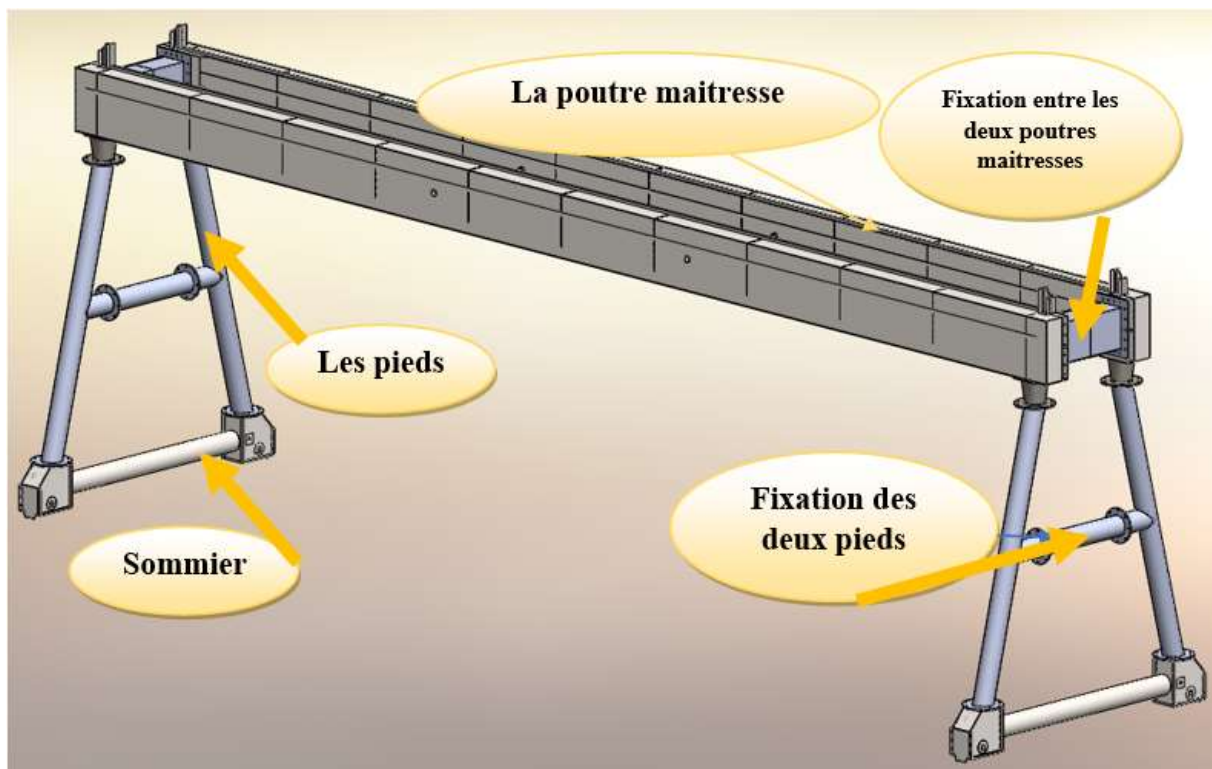


Figure III.1: Model CAO du portique (Solidworks).

Dans la suite du travail, nous allons utiliser deux logiciels de calcul pour faire la simulation de la structure : SAP2000 et Ansys, les résultats de flèche seront comparés.

### III.3 Calcul SAP 2000 (géométrie initiale):

Dans cette partie nous allons faire les calculs à l'aide du logiciel SAP 2000, en introduisant la géométrie initiale du portique donné par l'entreprise.

La simulation suit plusieurs étapes qui seront détaillées par la suite :

### III.3.1 Géométrie:

Les dimensions des éléments de l'ossature sont les suivants:

Dimension de caisson		Unite
H =	1100	mm
h =	1080	mm
B =	380	mm
b =	360	mm
t <sub>f</sub> =	10	mm
t <sub>w</sub> =	10	mm
c =	10	mm
Dimension pour les pieds		Unite
d =	355	mm
t =	8	mm

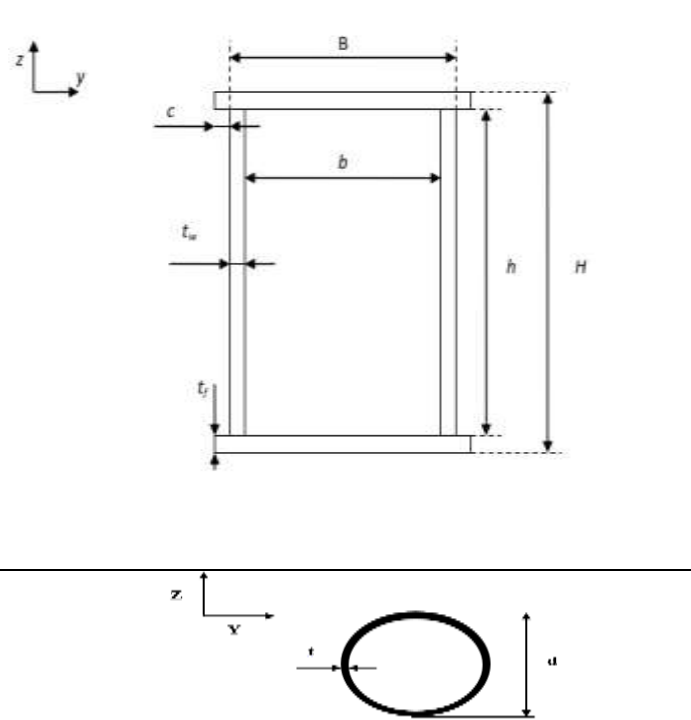


Tableau III.1: Géométrie initiale des éléments du portique.

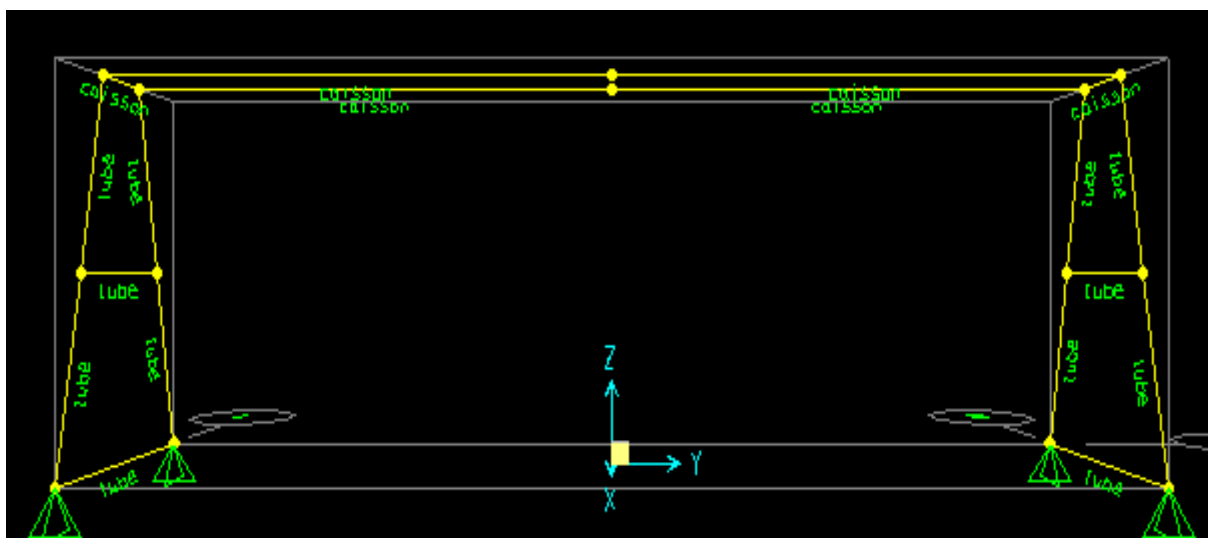


Figure III.2: Identification des sections du model.

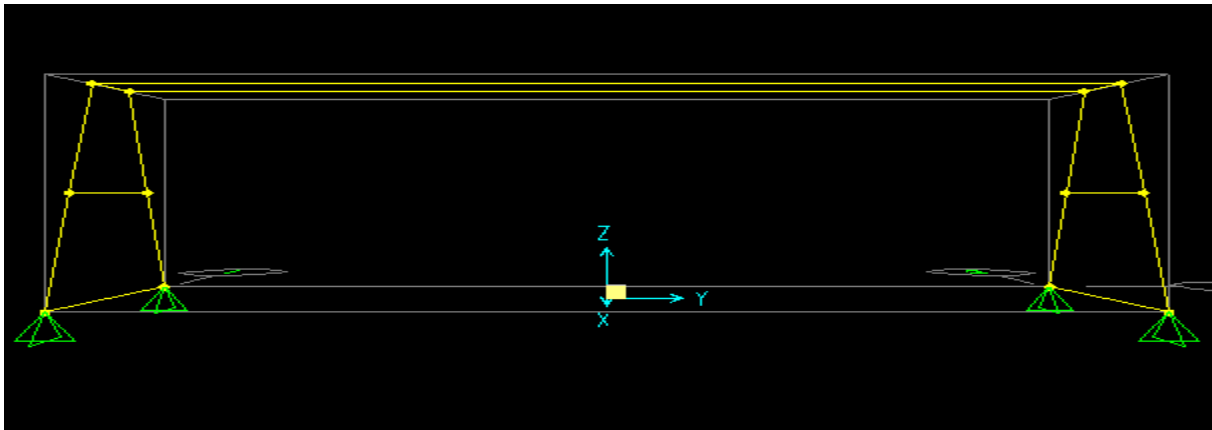


Figure III.3: Vu de model sur SAP 2000.

Les options d'affichage de SAP2000 permettent de visualiser les éléments en 3 dimensions.

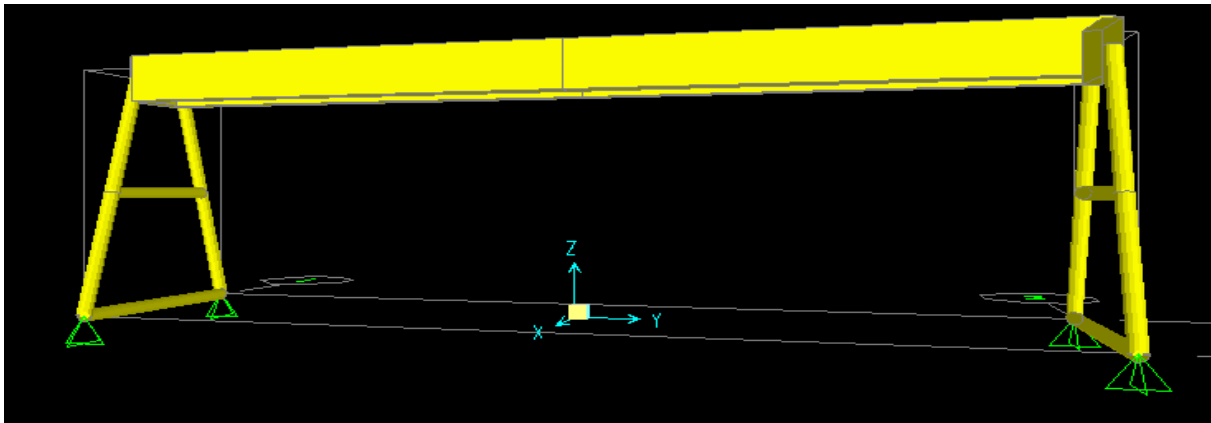


Figure III.4: Vue du model en 3dimension sur SAP.

### III.3.2 Matériau :

Le matériau utilisé pour la fabrication de la structure du portique est le S235 avec les caractéristiques suivantes :

- Module d'élasticité longitudinale :  $E = 210\,000$  MPa.
- Coefficient de poisson :  $\nu = 0,3$ .
- Module d'élasticité transversale :  $G = 81\,000$  MPa.
- Coefficient de dilatation linéaire :  $\lambda = 11 \cdot 10^{-6}$  ( $k^{-1}$ ).
- Masse volumique de l'acier :  $\rho = 78,5$  kN/m<sup>3</sup>.
- Limite d'élasticité :  $f_y = 235$  MPa.
- Contrainte de rupture en traction :  $f_u = 360$  MPa.
- Contrainte limite élastique de cisaillement pur (critère de Von Mises) :

$$\tau = \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 0,58 \cdot f_y.$$

### III.3.3 Conditions aux limites :

Les fixations aux pieds de la structure sont des encastremements, où tous les déplacements sont bloqués dans toutes les directions.

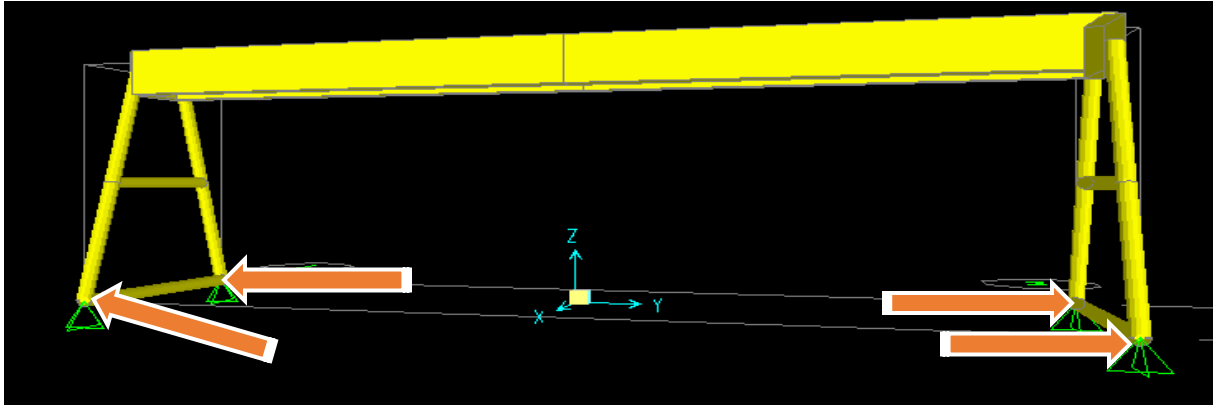


Figure III.5: Encastrement sur la base du portique.

### III.3.4 Chargement :

Les charges appliquées sont :

- Charge de service  $Q$  : il s'agit d'une charge variable.
- Charge liée au poids propre  $G$  : il s'agit d'une charge permanente.

Nous supposons que le chariot est rigide. La charge de service est donc appliquée au milieu de chaque poutre maitresse ( $Q/2 = -73575$  N pour chaque poutre). Le signe (-) est introduit afin de respecter l'orientation de la force suivant l'axe  $z$  négatif.

Le poids propres est calculé automatiquement par le logiciel après affectation des sections. Celui-ci est pris en compte en appliquant un chargement de type « DEAD » signifiant « poids mort ».

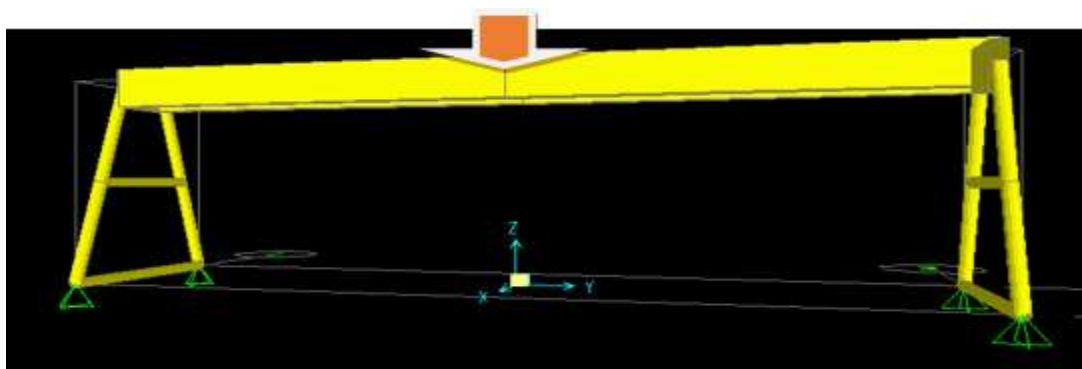


Figure III.6: Sens d'application du chargement.

### III.3.5 Résultats

Les résultats suivants ont été obtenus :

#### III.3.5.1 Flèche en Etat Limite de Service (ELS) :

Dans ce calcul, le cas de chargement appliqué est : G+Q

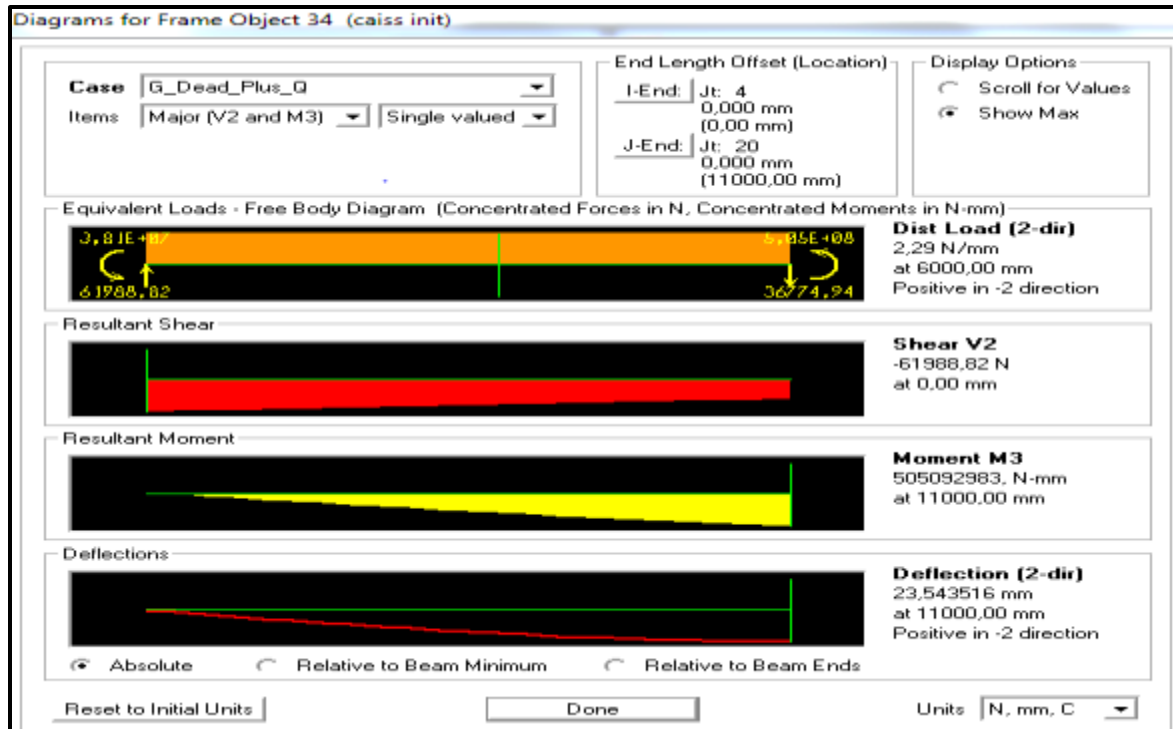


Figure III.7: Résultats de la simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELS.

- La flèche maximale est égale à 23.54 mm. Celle-ci est située au milieu de la poutre maitresse.

## III.3.5.2 Flèche en Etats Limite Ultime (ELU) :

Dans ce calcul, le cas de chargement appliqué est : G+1.3Q

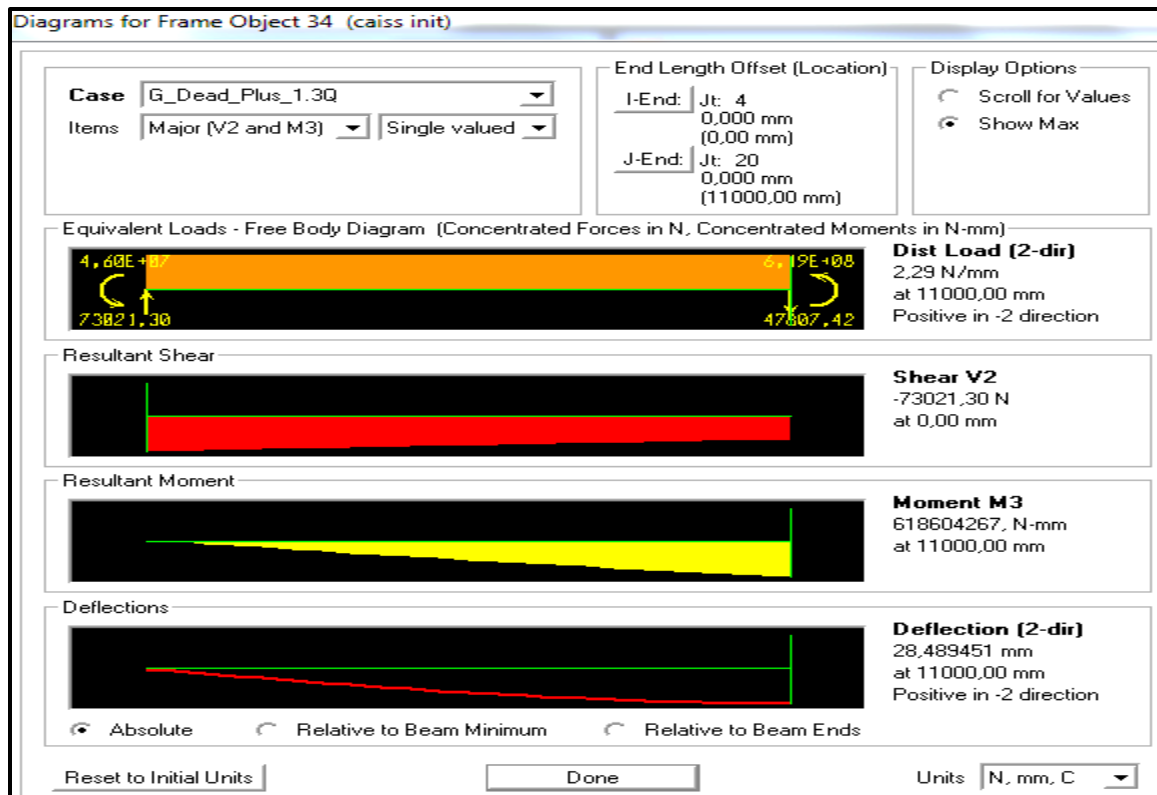


Figure III.8: Résultats de simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELU.

- La flèche maximale est égale à **28.48** mm. Celle-ci est située au milieu de la poutre maitresse.

Dans ce qui suit, les efforts et les moments sont récupérés dans SAP2000 pour le **cas de chargement en ELU (G+1.3Q)**. Ces résultats seront utilisés pour vérifier les critères d'instabilités de l'Eurocode

### III.3.5.3 Effort axial :

La figure suivant montre l'effort axial qui est égal à **-7191.50 N**.

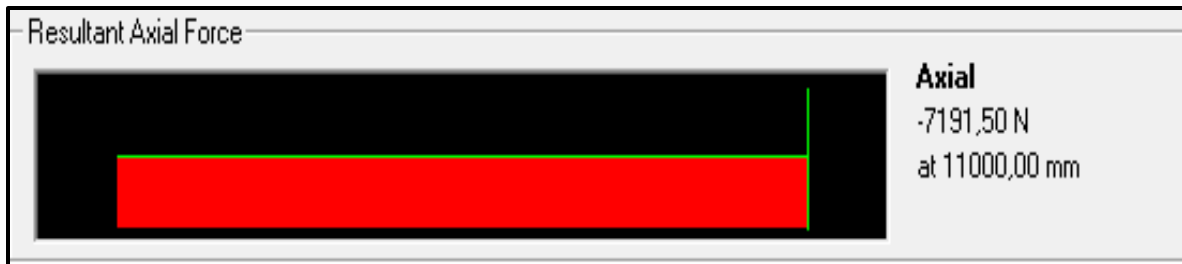


Figure III.9: Effort axial (ELU).

### III.3.5.4 Moment fléchissant $M_{y.ed}$ :

La figure suivante montre le moment  $M_{y.ed}$  qui est égal à  **$6.18.10^8$  N.mm**. La dénomination M3 signifie que nous somme sur l'axe Y.

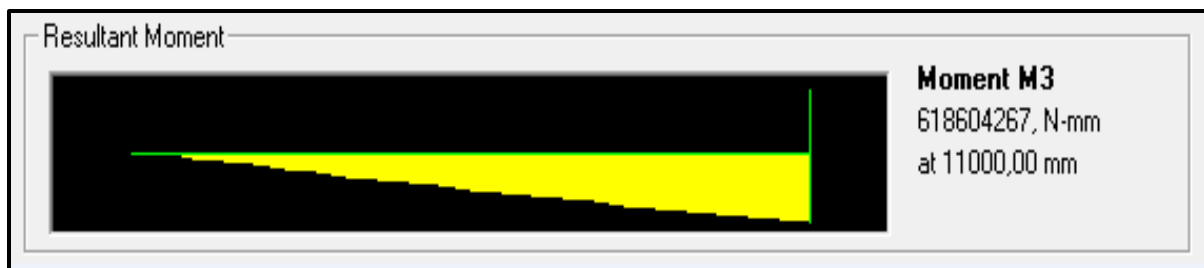


Figure III.10: Moment fléchissant  $M_{y.ed}$  (ELU)

### III.3.5.5 Moment fléchissant $M_{z.ed}$ :

La figure suivant montre le moment  $M_{z.ed}$  qui est égal à  **$3.24.10^5$  N.mm**. La dénomination M2 signifie que nous somme sur l'axe Z.

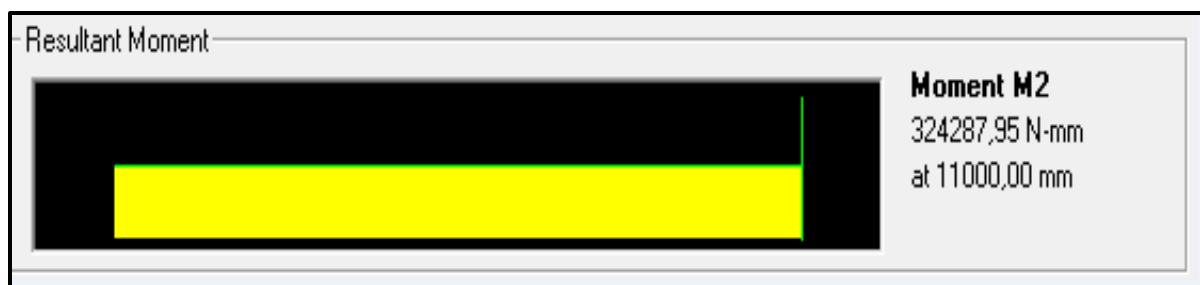


Figure III.11: Moment fléchissant  $M_{zed}$  (ELU).

## III.3.6 Vérification des critères Eurocode :

### III.3.6.1 Calcul des paramètres géométriques de la section :

Les dimensions de la section sont données dans le *Tableau III.1*. Le tableau suivant récapitule tous les résultats.

Valeurs de		Section	Formule	Section initiale 1100×380×10
Surface du caisson A			$A=2.(H.t_w) + 2.(B.t_f)$	29 600 mm <sup>2</sup>
Moment d'inertie selon Y I <sub>y</sub>			$I_y = \frac{B.H^3}{12} - \frac{b.h^3}{12}$	4.36 .10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Moment d'inertie selon Z I <sub>z</sub>			$I_z = \frac{B^3.H}{12} - \frac{b^3.h}{12}$	8.30.10 <sup>8</sup> mm <sup>4</sup>
Moment de torsion I <sub>t</sub>			$I_t = \frac{2.t.(H - tw)^3.(B - 2t_f)}{12}$	2.23.10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Classe de la section transversale	Poutre	Ames	3	3
		semelles	2	
	Pieds	1		1
Module de résistance élastique W <sub>el,y</sub>			$W_{el,y} = \frac{I_y}{H/2} = \frac{2 \cdot I_y}{H}$	7.92.10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
Module de résistance plastique W <sub>pl,y</sub>			$W_{pl,y} = \frac{H^2 \times B - (H - 2t)^2 \times (B - 2t)}{4}$	9.97.10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
Module de résistance élastique W <sub>el,z</sub>			$W_{el,z} = \frac{I_z}{B/2} = \frac{2 \cdot I_z}{B}$	4.37.10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
Module de résistance plastique W <sub>pl,z</sub>			$W_{pl,z} = \frac{H \times B^2 - (B - 2t)^2 \times (B - 2t)}{4}$	4.72.10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
Rayon de giration selon Y i <sub>y</sub>			$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$	383.66 mm
Rayon de giration selon Z i <sub>z</sub>			$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$	167.54 mm
Calcul d'inertie de gauchissement			I <sub>w</sub> =0. [8]	-

Tableau III.2: Paramètres géométrique de la section.

III.3.6.2 Vérification du déversement en flexion simple :

$$M_c = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{LT}^2} \cdot \left[ \left( \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{LT}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - C_2 \cdot z_g \right] \rightarrow M_c = 2.75 \cdot 10^{10} \text{ N.mm.}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{9974000 \cdot 235}{2.75 \cdot 10^{10}}} \rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = 0.29$$

Le déversement n'est pas à craindre car  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ .

III.3.6.3 Vérification du flambement en flexion composée :

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} \rightarrow M_{cr} = 1.78 \cdot 10^{14} \text{ N.mm.}$$

$$M_{y,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 7.92 \cdot 10^6 \cdot 235 \rightarrow M_{y,Rk} = 1.86 \cdot 10^9 \text{ N.mm.}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{M_{cr}}} \rightarrow \bar{\lambda} = 0,003$$

✓ Le choix de la courbe de flambement en fonction du profilé est dans le Tableau II.10.

D'après ce tableau la courbe du flambement est donnée en « d ». Donc le facteur d'imperfection  $\alpha=0.76$ .

✓ La valeur du coefficient de réduction  $\chi=1$ , [5] Tableau 65 page 111.

$$\frac{N_{ed}}{\chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

Avec :  $N_{ed} = 7191.5$  N (effort pris dans SAP, *Figure III.9: Effort axial (ELU)*.)

$$\frac{7191.5}{1.29600 \cdot 235 / 1,1} \leq 1 \rightarrow 0.0011 \leq 1 \quad \text{Le critère est vérifié.}$$

### III.3.6.4 Vérification de la résistance des sections transversales :

Les valeurs de résultats extraites dans cette partie concernent également le cas de chargement ELU (G+1.3Q).

❖ **Critère de Résistance :**

$$\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,ed}}{M_{el,y}} + \frac{M_{z,ed}}{M_{el,z}} \leq 1$$

✓ **Résistance plastique :**

$$N_{pl,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow N_{pl,RD} = \frac{29600 \cdot 235}{1.1} \rightarrow N_{pl,RD} = 6.32 \cdot 10^5 \text{ N}$$

✓ **Effort de compression :**

$$N_{ed} = 7191.5 \text{ N (Effort pris dans SAP 2000, figure III.9).}$$

✓ **Moment résistant élastique suivant l'axe y :**

$$M_{el,y} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow M_{el,y} = \frac{7.92 \cdot 10^6 \cdot 235}{1.1} \rightarrow M_{el,y} = 1.69 \cdot 10^9 \text{ N.mm.}$$

✓ **Moment sollicitant suivant l'axe y :**

$$M_{y,ed} = 6.18 \cdot 10^8 \text{ N.mm. (Effort pris dans SAP 2000, figure III.10).}$$

✓ **Moment résistant élastique suivant l'axe z :**

$$M_{el,z} = \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow M_{el,y} = \frac{4.37 \cdot 10^6 \cdot 235}{1.1} \rightarrow M_{el,y} = 9.34 \cdot 10^8 \text{ N.mm.}$$

✓ **Moment sollicitant suivant l'axe y :**

$M_{z,ed} = 3.24 \cdot 10^5 \text{ N.mm}$  (Effort pris dans SAP 2000, figure III.11).

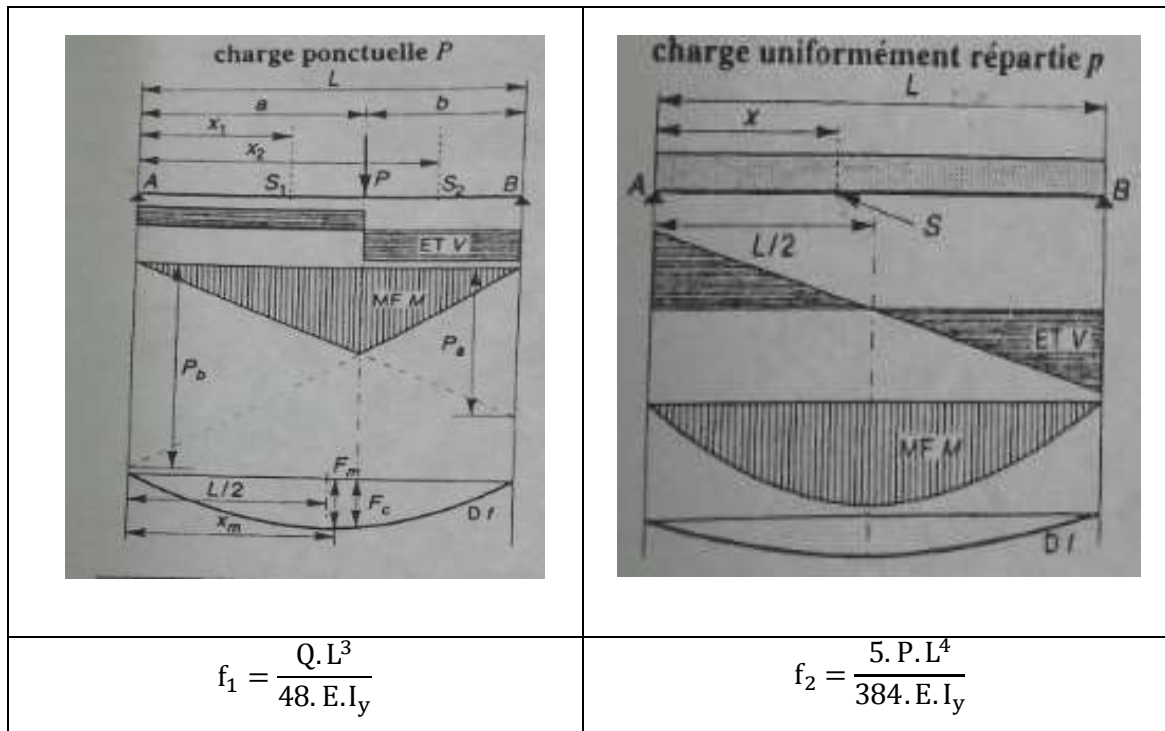
$$\frac{7191.5}{6.32 \cdot 10^5} + \frac{6.18 \cdot 10^8}{1.69 \cdot 10^9} + \frac{3.24 \cdot 10^5}{9.34 \cdot 10^8} \leq 1 \rightarrow 0.337 \leq 1$$

Le critère  $\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,ed}}{M_{el,y}} + \frac{M_{z,ed}}{M_{el,z}} \leq 1$  est donc bien vérifié. La résistance des sections transversales est donc validée.

**III.3.6.5 Vérification de la flèche :**

G : Chargement permanent (Poids propre) repartis, générant une flèche  $f_1$ .

Q : Charge variable (charge de service) ponctuelle, générant une flèche  $f_2$ .



**Figure III.12: Formules de base (rappel RDM).**

ELS : G+Q

ELU : G+1.3Q

Avec : G =  $\rho \cdot A \cdot g$  (poids propre linéique de la poutre maîtresse).

$$f_{max} = f_1 + f_2$$

$$f_1 = \frac{Q.L^3}{48.E.I_y} , \quad f_2 = \frac{5.G.L^4}{384.E.I_y}$$

Dans l'Eurocode 3, pour qu'une structure métallique soit stable, il faut que la flèche maximale soit inférieure ou égale à la flèche admissible ( $f_{max} \leq f_{adm}$ ).

- Pour l'Eurocode,  $f_{adm}$  = longueur de portée / **700**.
- L'entreprise prend une marge,  $f_{adm}$  = longueur de portée / **1000** →  $f_{adm}$  = **22mm**.

	ELS		ELU		f admissible
	SAP2000	Analytique	SAP2000	Analytique	
La flèche max (mm)	<b>23.54</b>	25.56 mm	<b>28.48</b>	30.91 mm	<b>22</b>

Tableau III.3: Flèche maximale (résultat analytique et calcul SAP).

### III.3.6.6 Récapitulatif des résultats

Phénomènes	Quantité évalué		Résultats	Critères à vérifier
<i>Flèche max</i>	Flèche ELS (G+Q)	SAP2000	23.54 mm	$f_{max} \leq f_{admissible} = 22mm$
		Analytique	25.56 mm	
	Flèche ELU (G+1.3Q)	SAP2000	28.48 mm	$f_{max} \leq f_{admissible} = 22mm$
		Analytique	30.91 mm	
<i>Déversement</i>	Moment critique $M_{cr}$		$2.75 \cdot 10^{10}$ N.mm	-
	Elancement réduit $\overline{\lambda}_{LT}$		0.29	$\overline{\lambda}_{LT} \leq 0,4$
<i>flambement</i>	Moment critique $M_{cr}$		$1.78 \cdot 10^{14}$ N.mm	-
	Elancement réduit $\bar{\lambda}$		0.003	-
	Critère de flambement		0.0011	$\frac{N_{ed}}{\chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$
<i>Résistance des sections</i>	$N_{ed} / N_{pl,RD}$		0.011	$\frac{N_{ed}}{N_{pl,RD}} + \frac{M_{y,ed}}{M_{el,y}} + \frac{M_{z,ed}}{M_{el,z}} \leq 1$
	$M_{Y,ed} / M_{el,Y}$		0.365	
	$M_{Z,ed} / M_{el,Z}$		0.0003	

Tableau III.4: Vérification des critères Eurocode.

**III.3.6.7 Conclusion :**

D’après le tableau précédant tous les critères sont vérifiés sauf la flèche maximale qui est supérieure à la flèche admissible dans les deux cas. Ceci est valable pour le calcul SAP tout comme pour le calcul analytique.

Nous proposons donc d’augmenter les dimensions de la section des poutres maitresses afin de pouvoir valider la structure suivant l’Eurocode.

**III.4 Calcul SAP 2000 (géométrie modifiée) :**

La modification de la géométrie intervient afin de diminuer la flèche de la poutre maitresse. Un allongement et un épaissement des âmes principales sont proposés comme suit.

**III.4.1 Géométrie**

Dimension de caisson		Unite
H =	1400	mm
h =	1380	mm
B =	380	mm
b =	350	mm
t <sub>f</sub> =	15	mm
t <sub>w</sub> =	15	mm
c =	10	mm
Dimension pour les pieds		Unite
d =	355	mm
t =	8	mm

**Tableau III.5: Géométrie modifiée des éléments du portique.**

N.B :

- 1- L'épaisseur des âmes de la poutre a été augmenté à 15 mm afin d'éviter le risque de voilement.
- 2- Les autres paramètres de modélisation sont en tout point identique aux paragraphes III.3.2 Matériau :, III.3.3 Conditions aux limites : et III.3.4 Chargement : (matériau, conditions aux limites, chargements).

### III.4.2 Résultats

#### III.4.2.1 Flèche en Etat Limite de Service (ELS):

Le cas de chargement de cette étape est de : G + Q

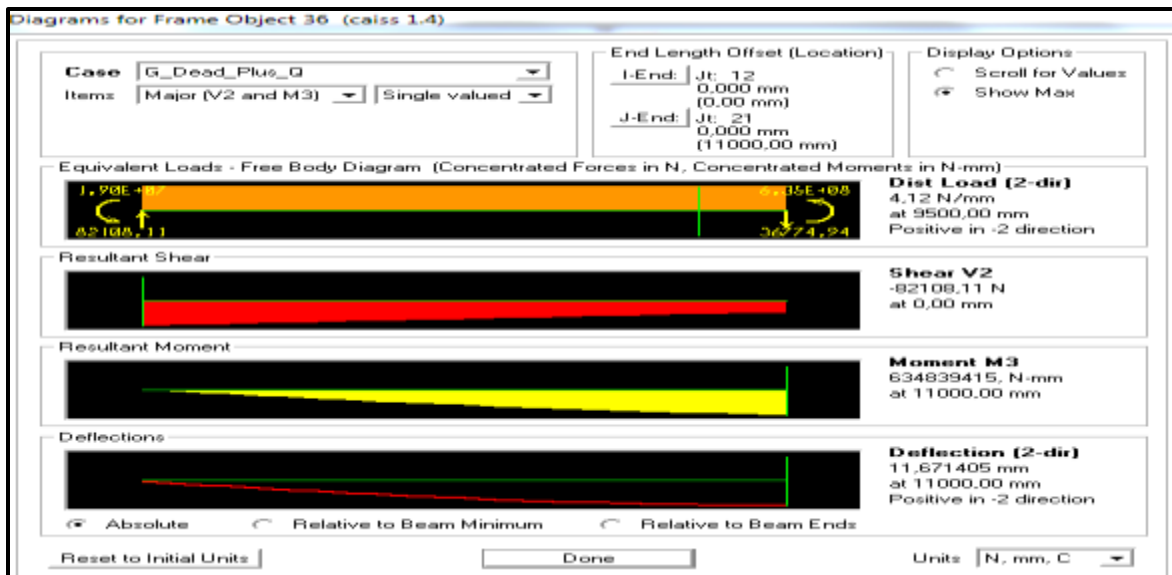


Figure III.13: Résultats de la simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELS.

D'après ces résultats :

- La flèche maximale est égale à **11.67** mm. Celle-ci est située au milieu de la poutre maîtresse.

#### III.4.2.2 Flèche en Etat Limite Ultime (ELU) :

Le cas de chargement de cette étape est de : G + 1.3Q

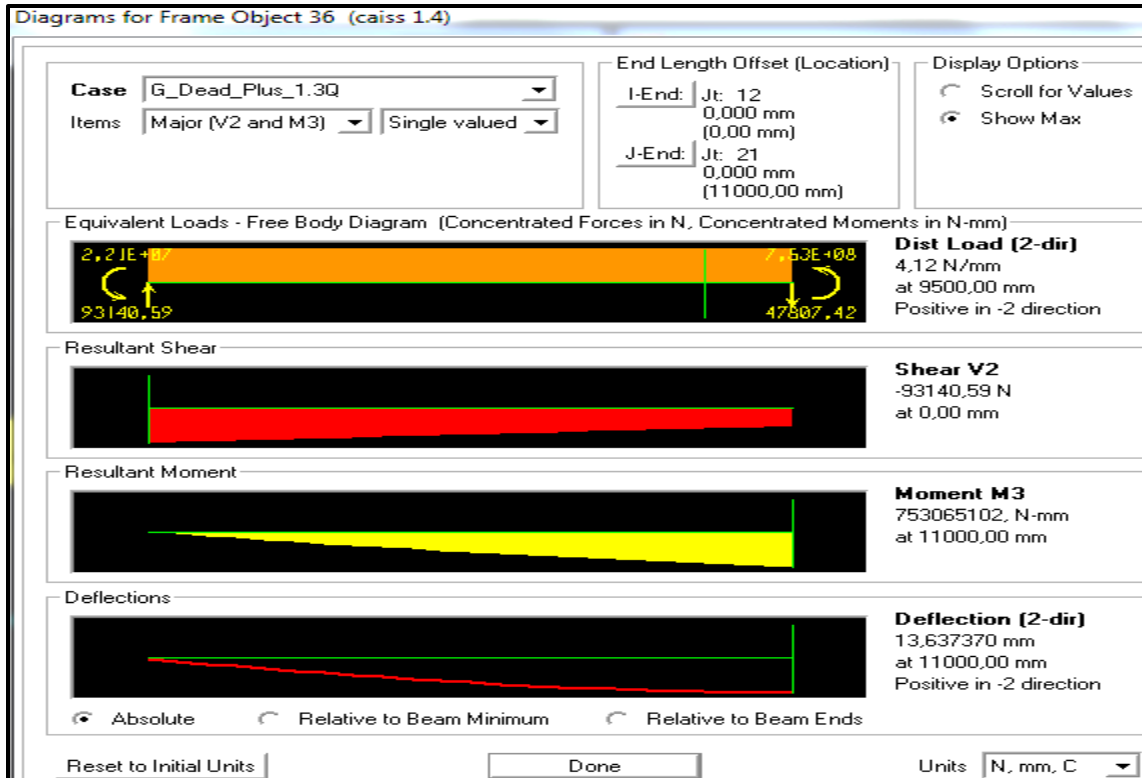


Figure III.14: Résultats de la simulation sur SAP 2000, cas de chargement ELU.

D’après ces résultats (cas de chargement ELU) :

- La flèche maximale est égale à 13.63 mm. Celle-ci est située au milieu de la poutre maîtresse.

	$f_{admissible}$	ELS	ELU
La flèche max (mm)	22.0	11.67	13.63

Tableau III.6: Résultats obtenus sur SAP2000 – Géométrie modifiée.

Dans ce qui suit, les efforts et les moments sont récupérés dans SAP2000 pour le cas de chargement en ELU (G+1.3Q). Ces résultats seront utilisés pour vérifier les critères d’instabilités de l’Eurocode

### III.4.2.3 Effort axial :

La figure suivant montre l’effort axial qui est égal à -3466.19 N, récupère sur SAP.



Figure III.15: Effort axial (ELU).

**III.4.2.4 Moment fléchissant  $M_{y.ed}$  :**

La figure suivant montre le moment  $M_{y.ed}$  qui égal à  $7.53.10^8$  N.mm, récupère sur SAP, cas de chargement G+1.3Q avec la géométrie initial. (M3 signifie que nous somme sur l'axe Y).

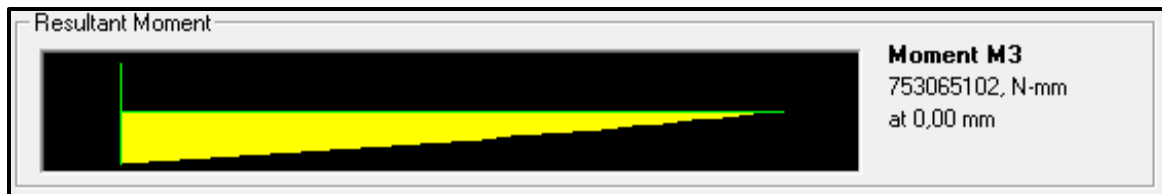


Figure III.16: Le moment fléchissant de  $M_{y.ed}$  (ELU).

**III.4.2.5 Moment fléchissant  $M_{z.ed}$  :**

La figure suivant montre le moment  $M_{z.ed}$  qui égal à  $1.58.10^5$  N.mm, récupère sur SAP, cas de chargement G+1.3Q avec la géométrie initial. (M2 signifie que nous somme sur l'axe Z).

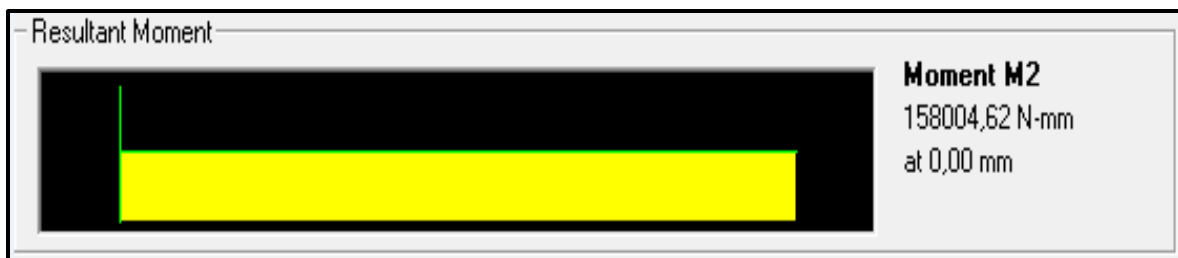


Figure III.17: Le moment fléchissant de  $M_{z.ed}$  (ELU).

### III.4.3 Vérification des critères Eurocode :

#### III.4.3.1 Calcul des paramètres géométriques de la section:

Les dimensions section modifiée sont citées au *Tableau III.5: Géométrie modifiée des éléments du portique.*, et dans le Tableau suivant on récapitule tous les résultats.

Valeurs de		Section	Formule	Section modifiée 1400×380×15
Surface du caisson A			$A=2.(H.t_w) + 2.(B.t_f)$	52 800 mm <sup>2</sup>
Moment d'inertie selon Y I <sub>y</sub>			$I_y = \frac{B.H^3}{12} - \frac{b.h^3}{12}$	1.19.10 <sup>10</sup> mm <sup>4</sup>
Moment d'inertie selon Z I <sub>z</sub>			$I_z = \frac{B^3.H}{12} - \frac{b^3.h}{12}$	1.51.10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Moment de torsion I <sub>t</sub>			$I_t = \frac{2.t.(H-tw)^3.(B-2t_f)}{12}$	4.38.10 <sup>9</sup> mm <sup>4</sup>
Classe de la section transversale	Poutre	Ames	3	3
		semelles	2	
	Pieds	1		1
Module de résistance élastique W <sub>el.y</sub>			$W_{el.y} = \frac{I_y}{H/2} = \frac{2 \cdot I_y}{H}$	1.70.10 <sup>7</sup> mm <sup>3</sup>
Module de résistance plastique W <sub>pl.y</sub>			$W_{pl.y} = \frac{H^2 \times B - (H-2t)^2 \times (B-2t)}{4}$	2.20.10 <sup>7</sup> mm <sup>3</sup>
Module de résistance élastique W <sub>el.z</sub>			$W_{el.z} = \frac{I_z}{B/2} = \frac{2 \cdot I_z}{B}$	7.93.10 <sup>7</sup> mm <sup>3</sup>
Module de résistance plastique W <sub>pl.z</sub>			$W_{pl.z} = \frac{H \times B^2 - (B-2t)^2 \times (B-2t)}{4}$	8.58.10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>
Rayon de giration selon Y i <sub>y</sub>			$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$	474.65 mm
Rayon de giration selon Z i <sub>z</sub>			$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$	168.91 mm
Calcul d'inertie de gauchissement			I <sub>w</sub> =0. [8]	-

Tableau III.7: Résultats géométrique (avec section modifiée).

#### III.4.3.2 Vérification du déversement en flexion simple :

$$M_c = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{LT}^2} \cdot \left[ \left( \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{LT}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - C_2 \cdot z_g \right] \rightarrow M_c = 2.76.10^{11} \text{ N.mm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2.20.10^7 \cdot 235}{2.76.10^{11}}} \rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = 0,13$$

Déversement n'est pas à craindre parce que  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$

**III.4.3.3 Vérification du flambement en flexion composée :**

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr}^2} \sqrt{I_w + \frac{L_{cr}^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} \rightarrow M_c = 3.50.10^{14} \text{ N.mm.}$$

$$M_{y,Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 1.70.10^7 \cdot 235 \rightarrow M_{y,Rk} = 4.00.10^9 \text{ N.mm.}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{M_{cr}}} \rightarrow \bar{\lambda} = 0,0033.$$

- ✓ Le choix de la courbe de flambement en fonction de profilé est dans le Tableau II.10.
- ✓ D'après ce tableau la courbe du flambement est la « d ». donc le facteur d'imperfection  $\alpha=0.76$ , La valeur de Coefficient de réduction  $\chi=1$ , [5] tableau 65.

$$\frac{N_{ed}}{\chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

Avec :  $N_{ed} = 3466.19 \text{ N}$  (effort pris dans SAP2000).

$$\frac{3466.19}{1.52800 \cdot 235 / 1.1} \leq 1 \rightarrow 0.0003 \leq 1 \quad \text{d'où le critère est vérifié.}$$

**III.4.3.4 Vérification de la résistance des sections transversales:**

On va utiliser les valeurs des efforts applique dans le cas de chargement ELU (G+1.3Q).

**Critère de Résistance :**

$$\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,ed}}{M_{el,y}} + \frac{M_{z,ed}}{M_{el,z}} \leq 1$$

✓ **Résistance plastique :**

$$N_{pl,RD} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow N_{pl,RD} = \frac{52800 \cdot 235}{1.1} \rightarrow N_{pl,RD} = 1.13.10^7 \text{ N}$$

✓ **Effort de compression :**

$N_{ed} = 3466.19 \text{ N}$  (Effort pris dans SAP 2000).

✓ **Moment résistance élastique suivent l'axe y :**

$$M_{el,y} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow M_{el,y} = \frac{1.70.10^7 \cdot 235}{1.1} \rightarrow M_{el,y} = 3.63.10^9 \text{ N.mm.}$$

✓ **Moment sollicitant suivent l'axe y :**

$M_{y,ed} = 7.53.10^8 \text{ N.mm.}$  (Effort pris dans SAP 2000)

✓ **Moment résistance élastique suivent l'axe z :**

$$M_{el,z} = \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow M_{el,z} = \frac{7.93.10^6 \cdot 235}{1.1} \rightarrow M_{el,z} = 1.69.10^9 \text{ N.mm.}$$

✓ Moment sollicitant suivant l'axe y :

$$M_{z,ed} = 1.58.10^5 \text{ N.mm.}$$

$$\frac{3466.19}{1.13.10^7} + \frac{7.53.10^8}{3.63.10^9} + \frac{1.58.10^5}{1.69.10^9} \leq 1 \rightarrow 0.20 \leq 1 \text{ est donc bien vérifiée. La résistance des sections transversales est donc validée.}$$

**III.4.3.5 Vérification de la flèche :**

G : Chargement permanent (Poids propre) repartis,

Q : Charge variable (charge de service) ponctuelle.

ELS : G+Q

ELU : G+1.3Q

Avec : G = ρ.A.g

$$f_{max} = f_1 + f_2$$

$$f_1 = \frac{Q.L^3}{48.E.I_y} \quad \cdot \quad f_2 = \frac{5.G.L^4}{384.E.I_y}$$

(Voire paragraphe III.3.6.5 Vérification de la flèche :)

**III.4.3.6 Récapitulatif des résultats**

Phénomènes	Quantité évalué	Résultats	Critères à vérifier
Flèche max	Flèche ELS (G+Q)	11.58 mm	$f_{max} \leq f_{admissible} = 22\text{mm}$
	Flèche ELU (G+1.3Q)	13.54 mm	$f_{max} \leq f_{admissible} = 22\text{mm}$
Déversement	Moment critique $M_{cr}$	$2.76.10^{11}$ N.mm	-
	Elancement réduit $\overline{\lambda}_{LT}$	0.13	$\overline{\lambda}_{LT} \leq 0,4$
flambement	Moment critique $M_{cr}$	$3.50.10^{14}$ N.mm	-
	Elancement réduit $\overline{\lambda}$	0.003	-
	Critère de flambement	0.0003	$\frac{N_{ed}}{\chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$
Résistance des sections	$N_{ed} / N_{pl,RD}$	0.0003	0.20
	$M_{Y,ed} / M_{el,Y}$	0.207	
	$M_{z,ed} / M_{el,z}$	0.00009	

**Tableau III.8: Résultats selon les critères de l'Eurocode.**

**III.4.3.7 Conclusion :**

Après ces modification sur les sections de la structure, et les analyse sur le SAP 2000, nous avons récupéré les résultats cite sur le **Tableau III.4**.

On déduit que la flèche maximale est inférieure à la flèche admissible ( $f_{\max} \leq f_{\text{adm}}=22\text{mm}$ ). Le modèle avec géométrie modifiée est donc validé.

## III.5 Calcul ANSYS :

### III.5.1 Géométrie:

Dans cette partie nous allons faire les calculs à l'aide du logiciel ANSYS, en introduisant les dimensions données par l'entreprise dans le *Tableau III.1: Géométrie initiale des éléments du portique..*

La modélisation se fait en définissant les différentes poutres par des lignes (*Figure III.18*). Celles-ci seront par la suite maillées et affectées d'une section et du matériau appropriés.

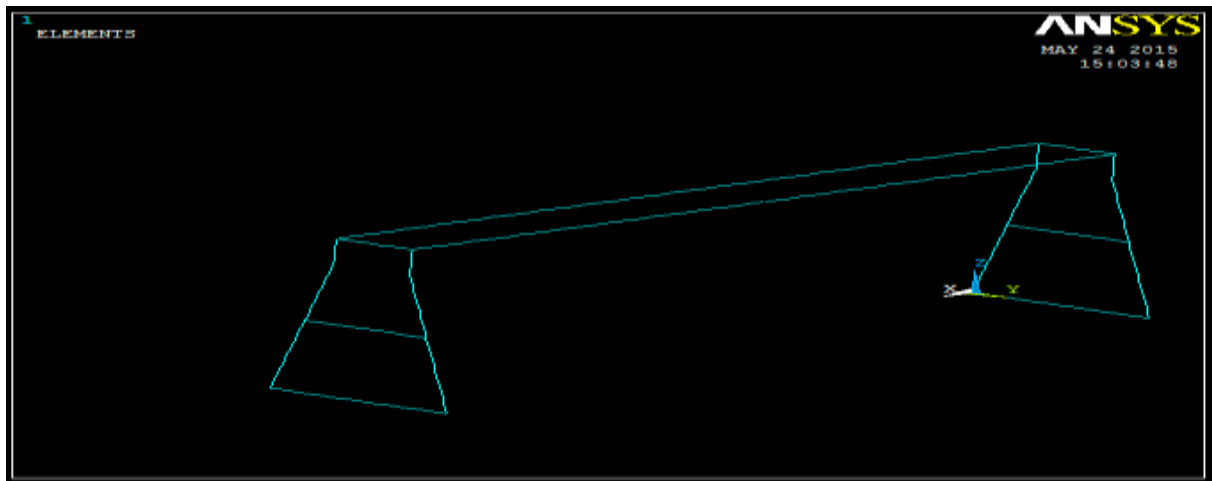


Figure III.18: Géométrie filaire sur ANSYS.

### III.5.2 Matériau

Le matériau utilisé est identique à celui de la simulation SAP2000 (paragraphe III.3.2 Matériau :). Il est introduit sur ANSYS grâce à la fenêtre utilisateur, en sélectionnant les *options matériau élastique, linéaire et isotrope*.

### III.5.3 Maillage

Les logiciels de simulation par éléments finis utilisent un certain nombre de type d'éléments, en fonction de l'utilisation que l'on veut en faire. En voici les principaux types :

➤ **Éléments monodimensionnels –1D :**

- ✓ Élément linéique linéaire :



✓ Élément linéaire quadratique :



➤ **Éléments bidimensionnels – 2D :**

✓ Élément triangulaire linéaire :



✓ Élément triangulaire quadratique :



✓ Élément quadrangulaire linéaire :



✓ Élément quadrangulaire quadratique :



➤ **Éléments tridimensionnels – 3D :**

✓ Élément tétraédrique linéaire :



✓ Élément hexaédrique linéaire :



✓ Tétraèdre quadratique :



*Une forme quadratique est un polynôme homogène de degré deux.*

Dans notre cas, nous avons choisi un élément poutre quadratique dont la dénomination ANSYS est **BEAM189**. Celui-ci est composé de 3 nœuds dont chacun possède 6 degrés de liberté (3 translations et 3 rotations). Il peut être affecté d'un matériau élastique ou élastoplastique et peut permettre de réaliser des analyses non-linéaires en fluage ou en flambement.

Dans notre cas, seul les propriétés d'analyse élastique seront utilisées.

Deux types de section sont définis au préalable (caisson ou tube cf. **Tableau III.1: Géométrie initiale des éléments du portique.**) et chaque élément est affecté d'une section donnée, avant le maillage.

La taille de maille choisie est de 0.5 m

Une fois le maillage réalisé, nous pouvons visualiser les nœuds comme suit :

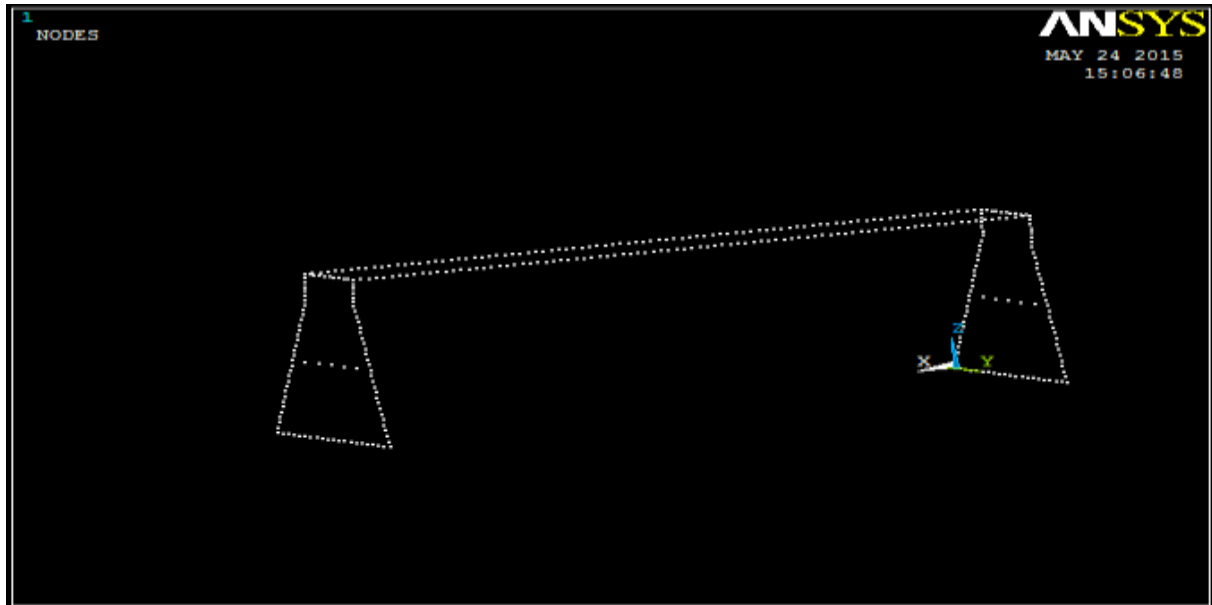


Figure III.19: Visualisation des nœuds du model ANSYS.

Les options d'affichage d'ANSYS permettent de visualiser les éléments en 3 dimensions.

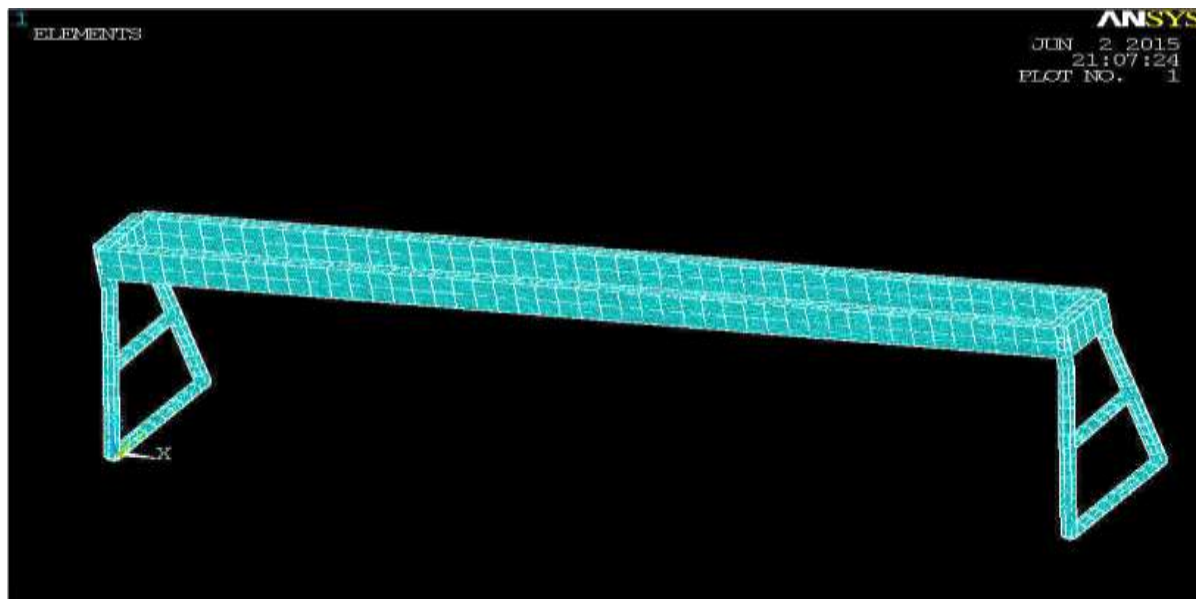


Figure III.20: Visualisation du maillage en 3 dimensions sur ANSYS.

### III.5.4 Conditions aux limites

Comme sur SAP, les pieds du portique sont encastres à leur extrémité en imposant des déplacements et des rotations nuls ( $U_x = U_y = U_z = Rot_x = Rot_y = Rot_z = 0$ ). La figure suivante montre l'encastrement réalisé.

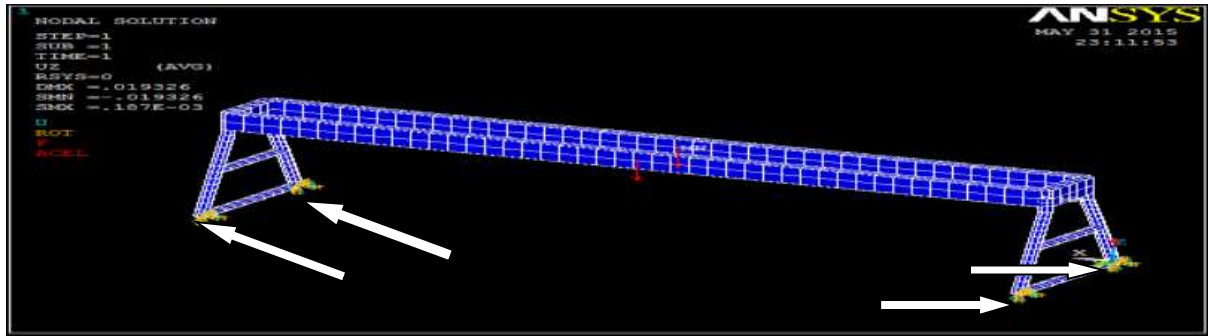


Figure III.21: Encastrement sur la base de portique roulant.

### III.5.5 Chargement

Le chargement est appliqué au milieu des poutres maitresses en utilisant une force nodale. Chaque poutre est affectée de la moitié de la charge totale c.à.d. **7.5 tonnes** par poutre.

L'orientation de la force se fait vers le bas suivant la direction  $z$  négative.

De plus, une accélération de **9.81 m/s<sup>2</sup>** est appliquée à toute la structure dans la direction  $z$  afin de prendre en compte la gravité.

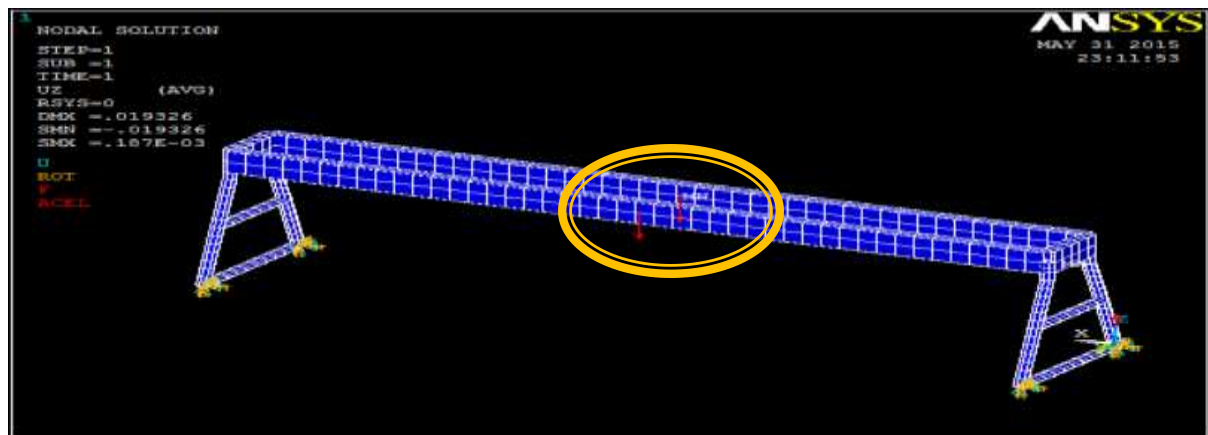


Figure III.22: Chargement.

### III.5.6 Résultats (géométrie initiale)

#### III.5.6.1 Flèche en Etat Limite de Service (ELS) :

Dans ce cas, la combinaison  $G + Q$  est appliquée. Les résultats sont donnés à la Figure III.23.

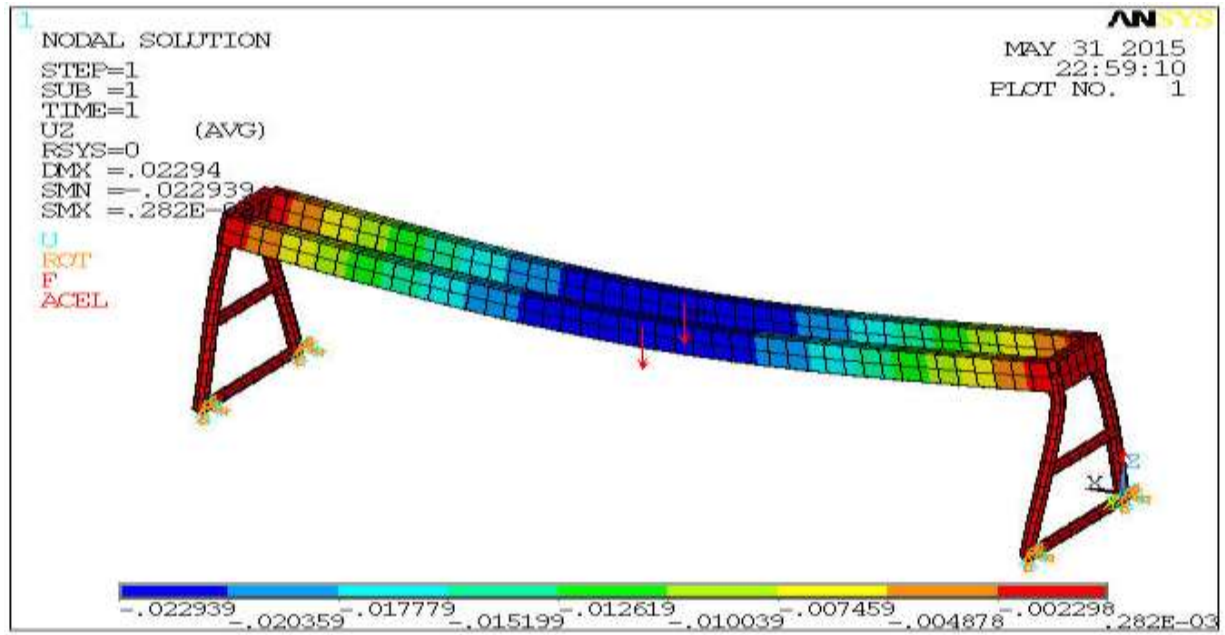


Figure III.23: Déplacement suivant Z (ELS).

- La flèche maximale est égale à 22.93 mm. Celle-ci est située au milieu de la poutre maîtresse.

### III.5.6.2 Flèche en Etat Limite Ultime (ELU) :

Dans ce cas, la combinaison  $G + 1.3Q$  est appliquée. Les résultats sont donnés à la Figure III.24.

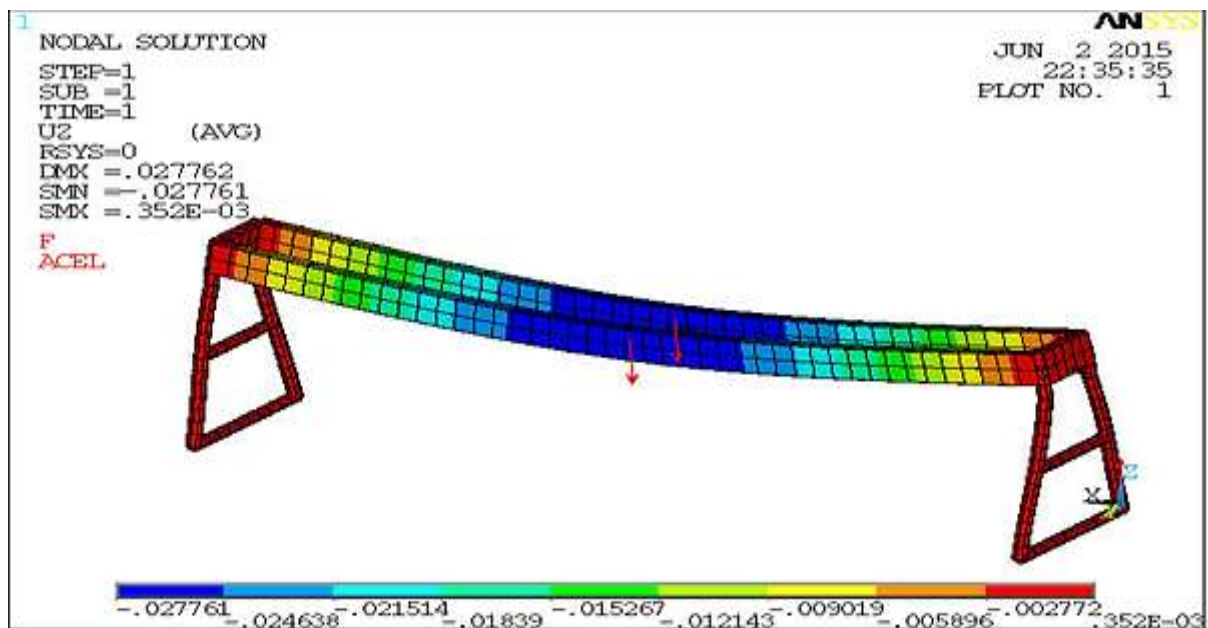


Figure III.24: Déplacement suivant Z (ELU).

- La flèche maximale est égale à 27.76 mm. Celle-ci est située au milieu de la poutre maîtresse.

Comme on a dit précédemment, l'entreprise impose une limite de flèche à ne pas dépasser :  $f_{adm} = \text{longueur de portée} / 1000 \rightarrow f_{adm} = 22\text{mm}$ .

	f admissible	ELS	ELU
La flèche max (mm)	22	22.93	27.76

**Tableau III.9: Flèche maximale obtenue sur ANSYS (géométrie initiale).**

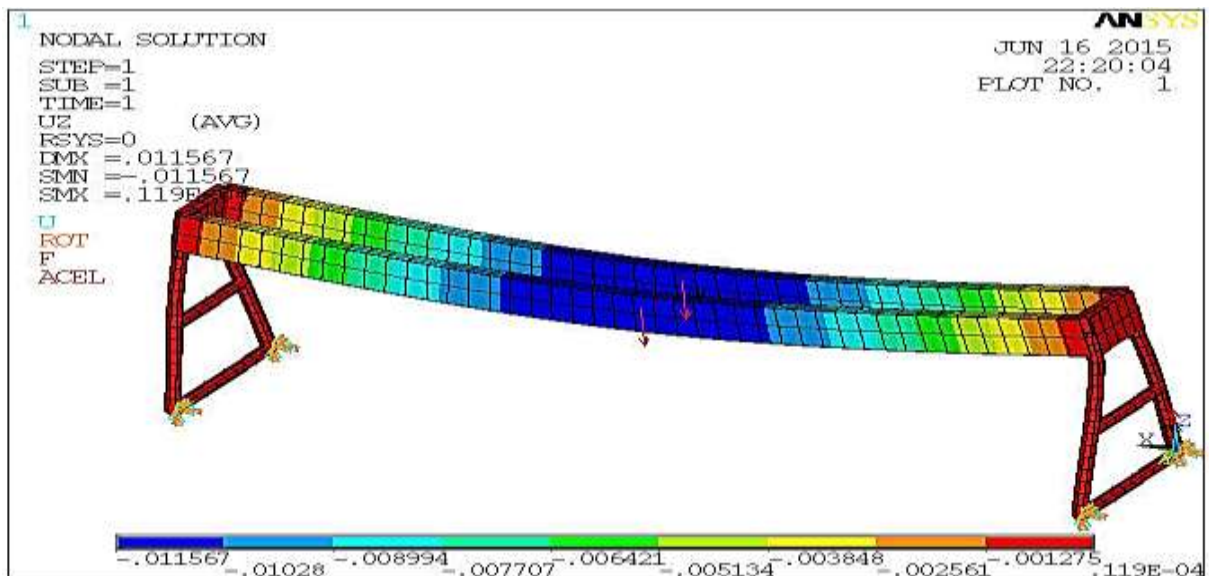
Le résultat obtenu sur ANSYS confirme que la géométrie définie initialement ne répond pas aux exigences pour lesquelles le modèle est conçu. Par ailleurs, la comparaison des flèches maximales obtenue par calcul analytique, SAP2000, et ANSYS (*Tableau III.11:Flèches maximales.*) montre une bonne corrélation entre les résultats.

### III.5.7 Résultats (géométrie modifiée) :

La géométrie modifiée (*Tableau III.3*) est ici implémentée afin d'extraire les flèches maximales.

#### III.5.7.1 Flèche en Etat Limite de Service (ELS) :

Le cas de chargement de cette étape est de : G + Q



**Figure III.25: Déplacement suivant Z (ELS).**

D'après ces résultats :

- La flèche maximale est située au milieu de la poutre maîtresse. Elle est égale à 11.56 mm.

III.5.7.2 Flèche en Etat Limite Ultime (ELU) :

Le cas de chargement de cette étape est de : G + 1.3Q

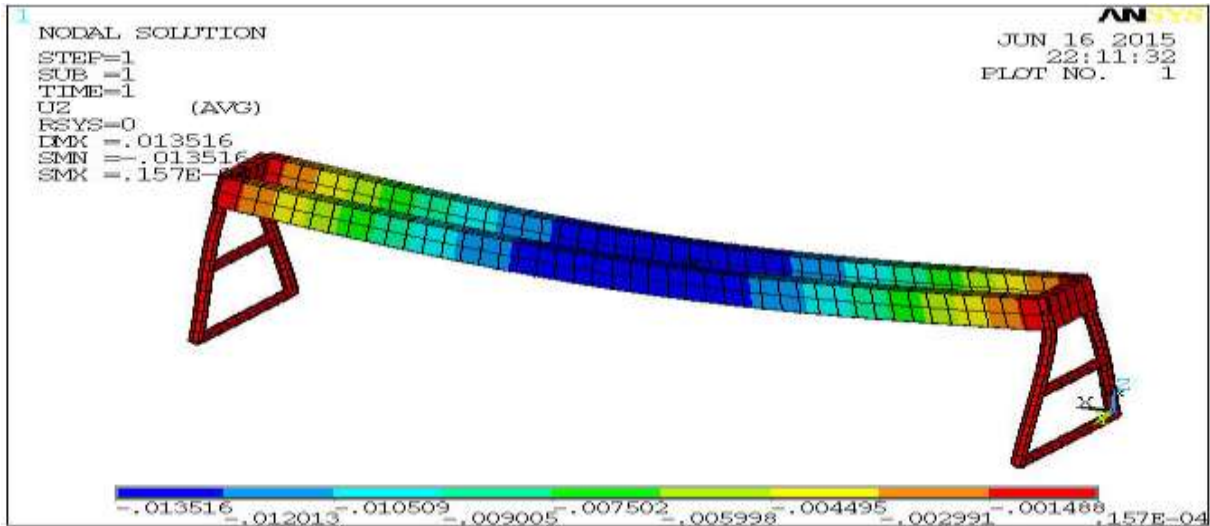


Figure III.26: Déplacement suivant Z (ELU).

D’après ces résultats (cas de chargement ELU) :

- La flèche maximale est située au milieu de la poutre maîtresse. Elle est égale à 13.51 mm.

	$f_{admissible}$	ELS	ELU
La flèche max (mm)	<b>22.0</b>	<b>11.56</b>	<b>13.51</b>

Tableau III.10: Flèche maximale obtenue sur ANSYS (géométrie modifiée).

Après ces modifications sur les sections de la structure, et l’analyse sur ANSYS, on a récupéré les résultats cités sur le Tableau III.8.

On déduit, la flèche max est inférieure à la flèche admissible ( $f_{max} \leq f_{adm}=22mm$ ) donc le modèle est validé.

III.5.7.3 Tableau récapitulatif des flèches maximales :

méthodes	Analytique				SAP2000				ANSYS			
	ELS		ELU		ELS		ELU		ELS		ELU	
combinaisons	initiale	modifiée	initiale	modifiée	initiale	modifiée	initiale	modifiée	initiale	modifiée	initiale	modifiée
Flèche $m_{ax}$ (mm)	25.5	11.5	30.9	13.5	23.5	11.6	28.4	13.6	22.9	11.5	27.7	13.5

Tableau III.11: Flèches maximales.

La comparaison des résultats (*Tableau III.11*) montre une très bonne corrélation entre les calculs SAP200 et ANSYS. Les flèches calculées analytiquement sont en général plus importantes (jusqu'à 10%), ce qui peut s'expliquer par le fait que le modèle analytique est parfait et ne prend pas en compte la flexion des pieds, contrairement aux logiciels de calcul.

### III.6 Résultats en déplacements et contraintes :

Dans ce paragraphe, nous allons montrer les autres grandeurs significatives pour le calcul de la géométrie modifiée en ELU.

#### III.6.1 Déplacement :

##### III.6.1.1 Déplacements suivant l'axe X :

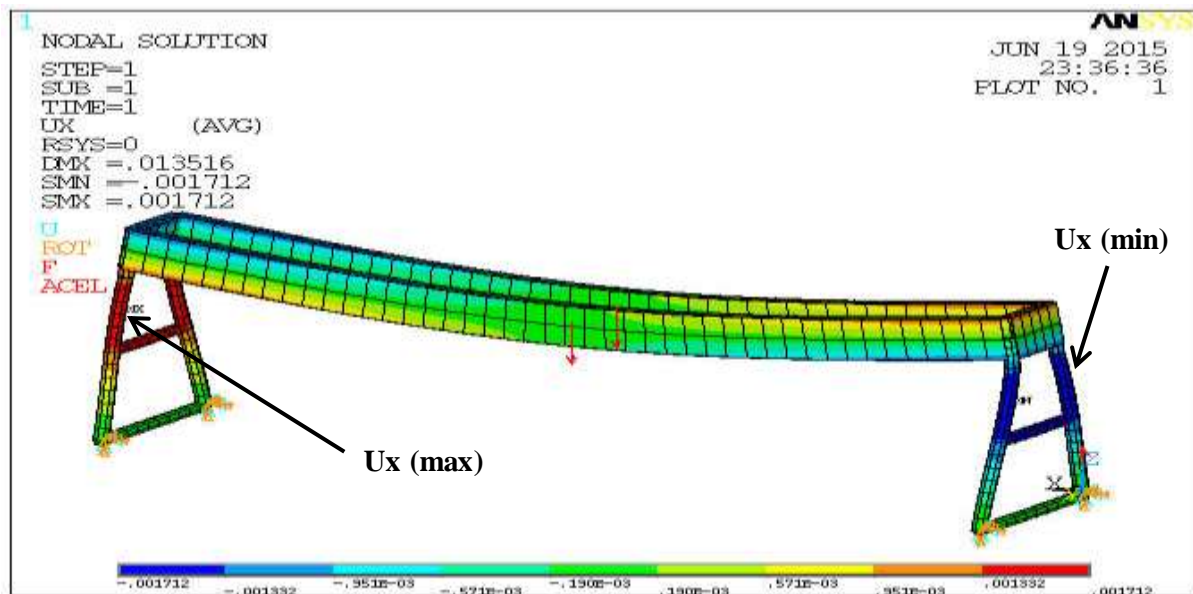


Figure III.27: Déplacements suivant l'axe X.

Les déplacements maximaux suivant l'axe X sont situés au niveau des pieds du portique. Ils sont symétriques en distribution et en valeur, la géométrie et les chargements étant symétriques.

$$U_x (\max) = 1.71 \text{ mm} ;$$

$$U_x (\min) = -1.71 \text{ mm}.$$

## III.6.1.2 Déplacements suivant l'axe Y :

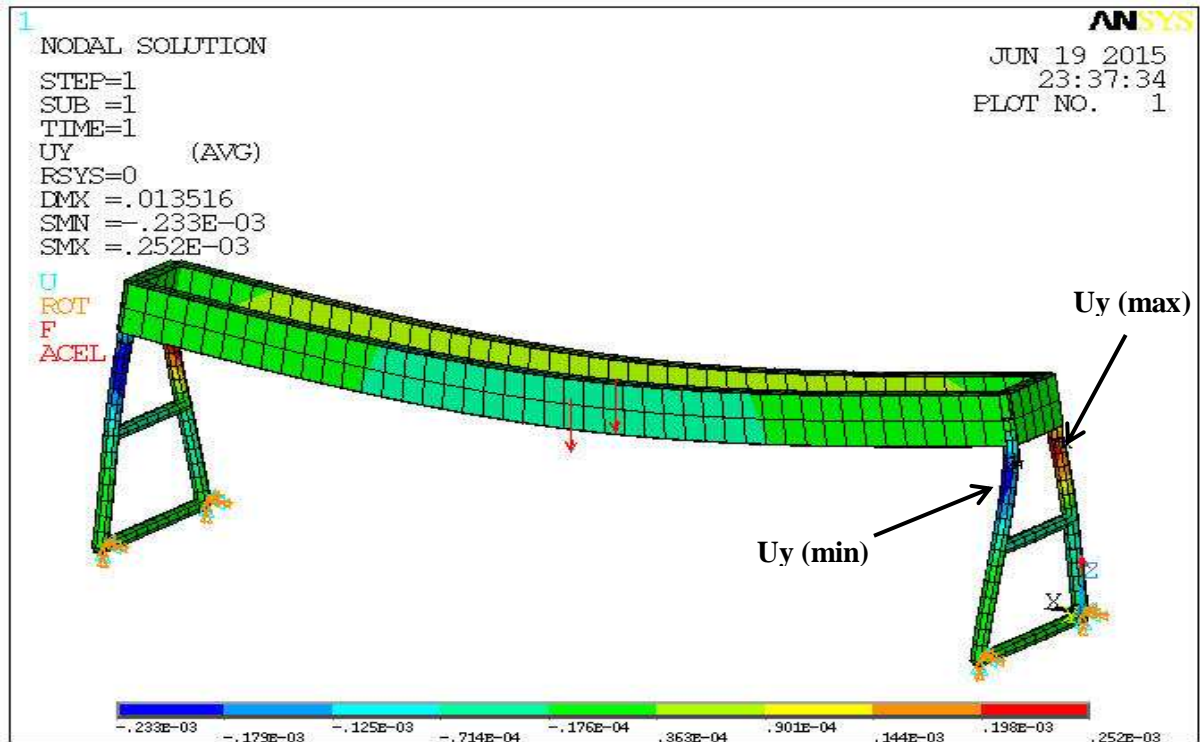


Figure III.28: Déplacements suivant l'axe Y.

Les déplacements maximaux suivant l'axe Y sont situés au niveau des pieds du portique. Ils sont également symétriques en distribution et en valeur.

$$U_y (\max) = 0.25 \text{ mm} ;$$

$$U_y (\min) = -0.23 \text{ mm}.$$

## III.6.2 Contrainte

## III.6.2.1 Contrainte de TRESCA globale (stress intensity) :

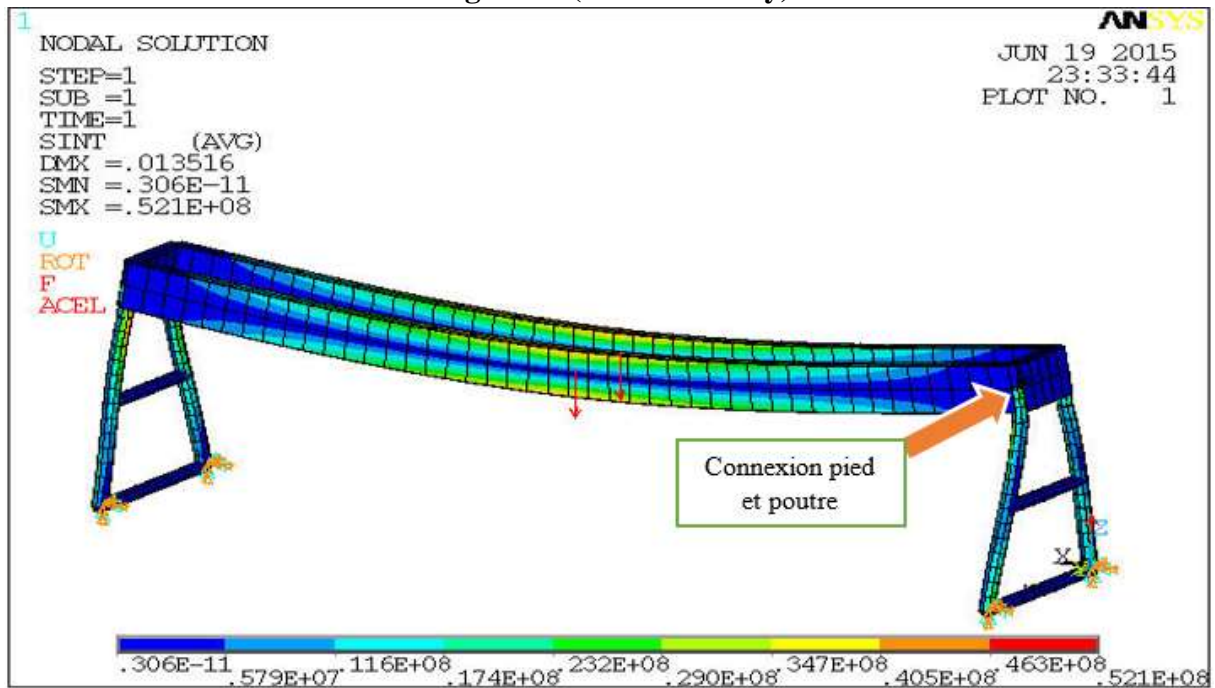


Figure III.29: Contrainte de Tresca.

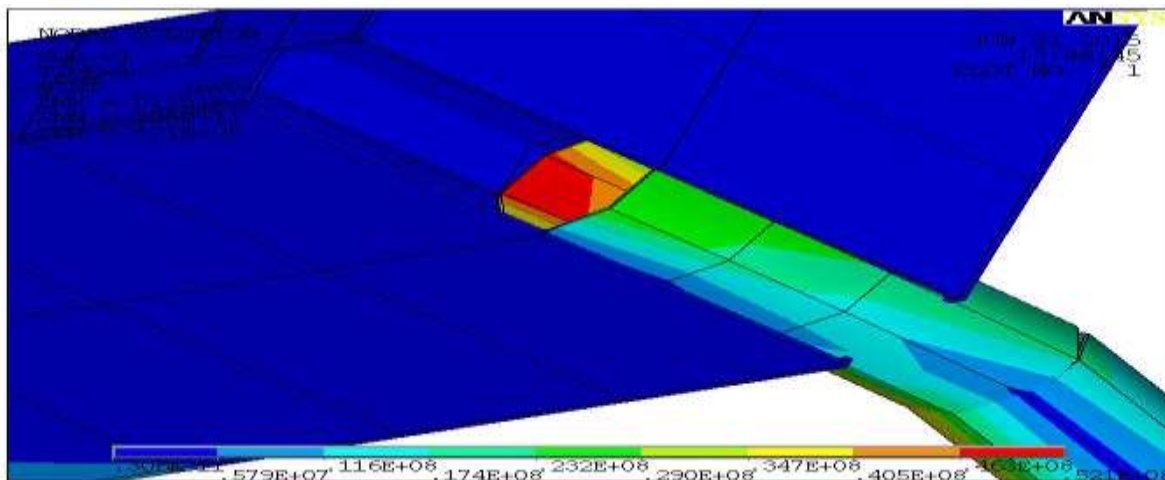


Figure III.30: Vu agrandie la connexion pied-poutre maitresse.

Nous avons choisi de montrer la contrainte de Tresca ce critère étant plus conservatif que le critère de Von Mises.

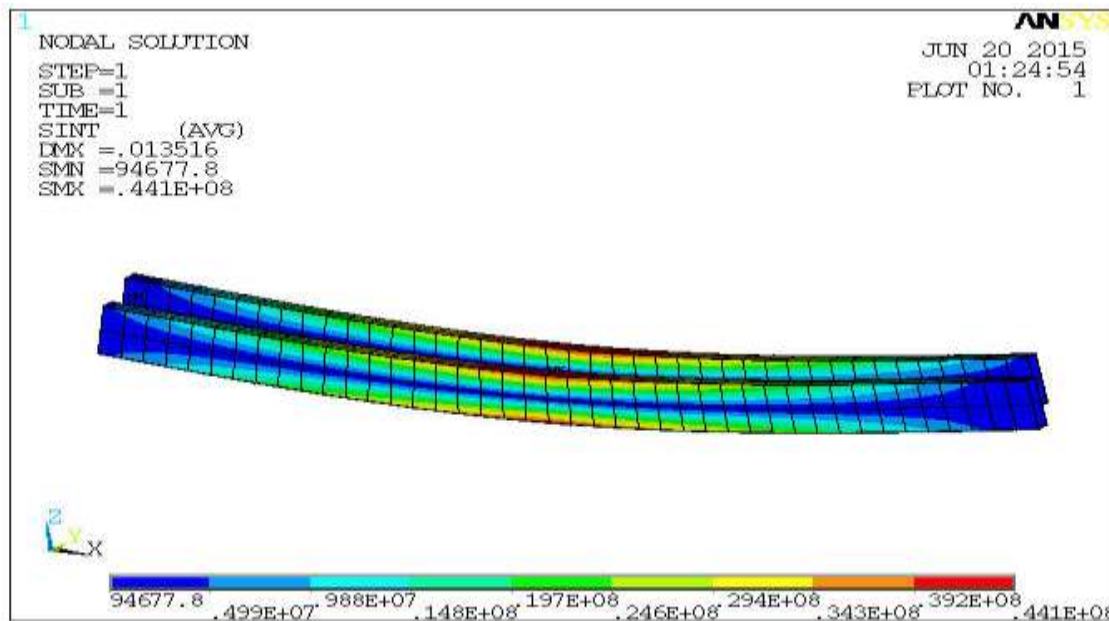
$$\sigma_{max} = 52.1 \text{ MPa}$$

La contrainte maximale est bien inférieure à la limite élastique du matériau

$$\sigma_{max} < f_y = 235 \text{ Mpa}$$

Ceci étant, cette contrainte est une contrainte de pic, située au niveau de la connexion entre les pieds et les poutres. Sa valeur est peu fiable étant donné que la modélisation de la connexion est simplifiée dans ce type de model. C'est pourquoi nous choisissons d'observer la contrainte au niveau de la poutre maitresse.

**III.6.2.2 Contrainte de TRESCA sur les poutres maitresses :**

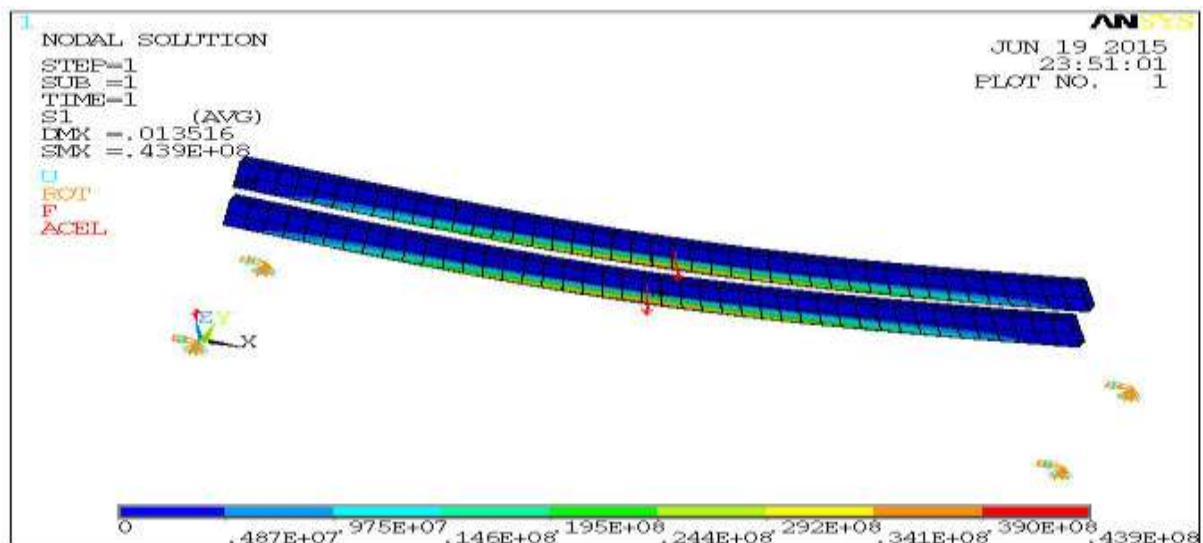


**Figure III.31: Contrainte de Tresca.**

La contrainte de Tresca maximale est :

$$\sigma_{max} = 44.1 \text{ MPa}$$

**III.6.2.3 Contrainte de traction sur les poutres maitresses :**

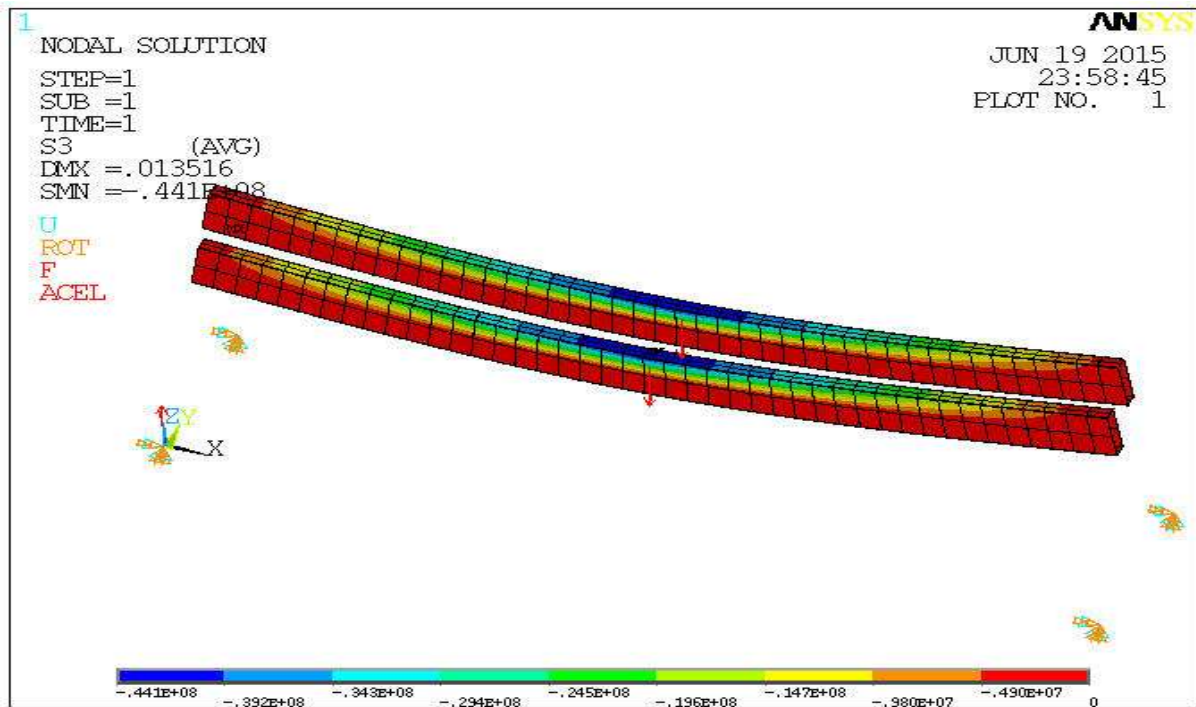


**Figure III.32: Contrainte de traction (poutre maitresse).**

La contrainte de traction maximale est située sur la partie inférieure des poutres :

$$S1_{\max} = 43.9 \text{ MPa}$$

### III.6.2.4 Contrainte de compression sur les poutres maitresses :



**Figure III.33: Contrainte de compression.**

La contrainte de compression maximale est située sur la partie supérieure des poutres :

$$S3_{\max} = 43.9 \text{ MPa.}$$

### III.6.3 Etude d'influence du maillage :

Dans ce qui suit, nous avons réalisé 4 modèles avec des tailles de maille respectives de 0.1 m, 0.5m, 1m et 2 m. Nous allons montrer les principaux résultats correspondants.

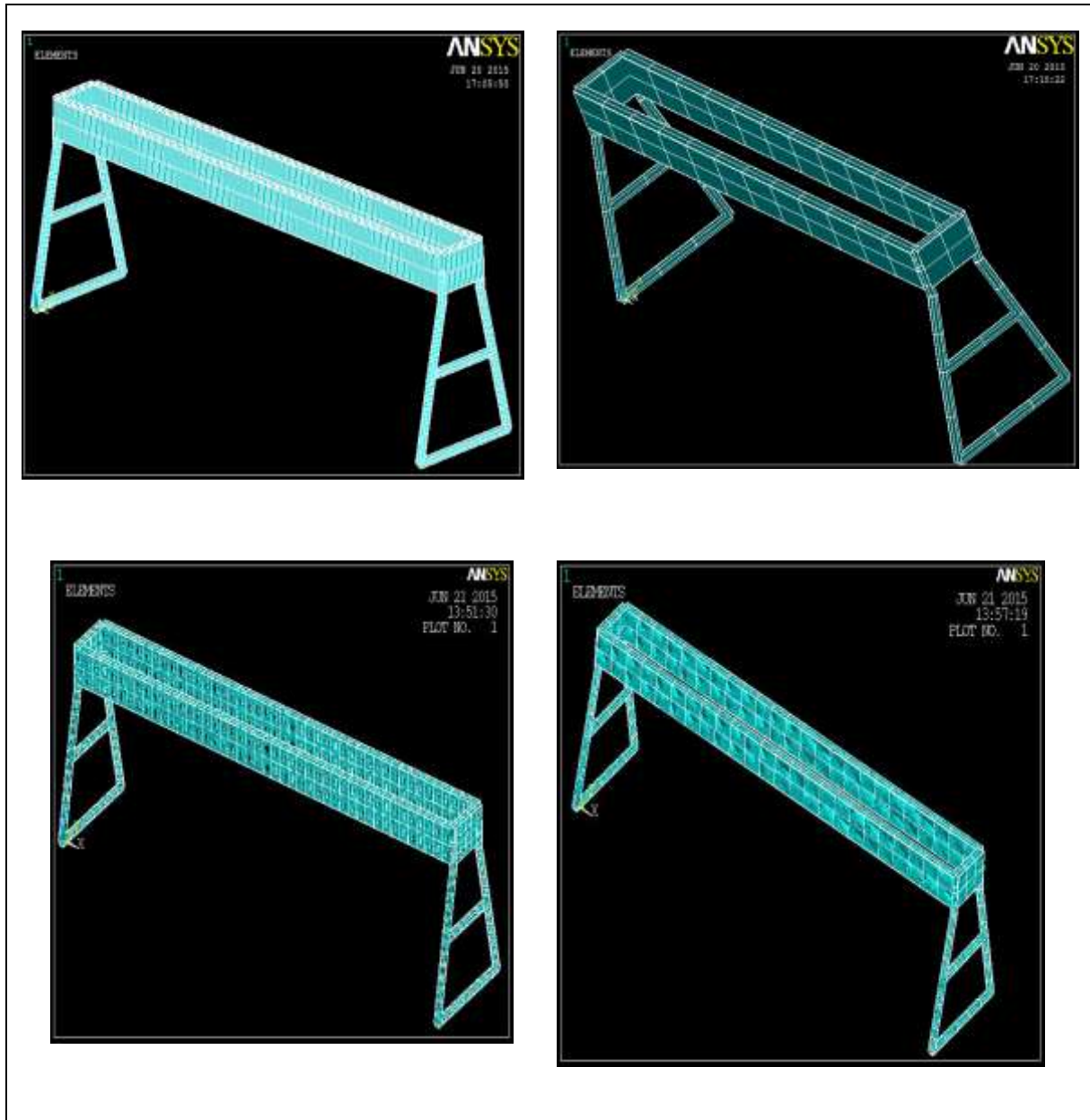


Figure III.34: Modèles avec taille de maille différente.

Par la suite, et par souci de lisibilité, seules les images relatives au maillage de 0.1 m seront montrés. Le *Tableau III.12* récapitule les résultats importants de cette étude.

III.6.4 Déplacements suivant l'axe Z :

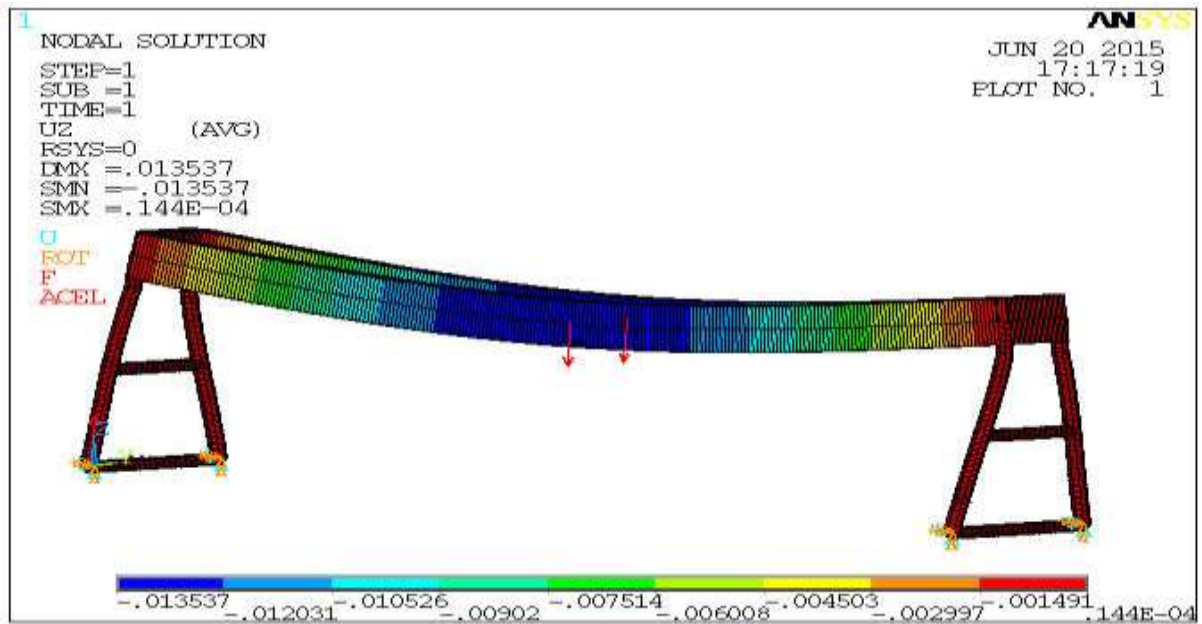


Figure III.35: Déplacements suivant l'axe Z

III.6.5 Contrainte de Tresca globale (stress intensity) :

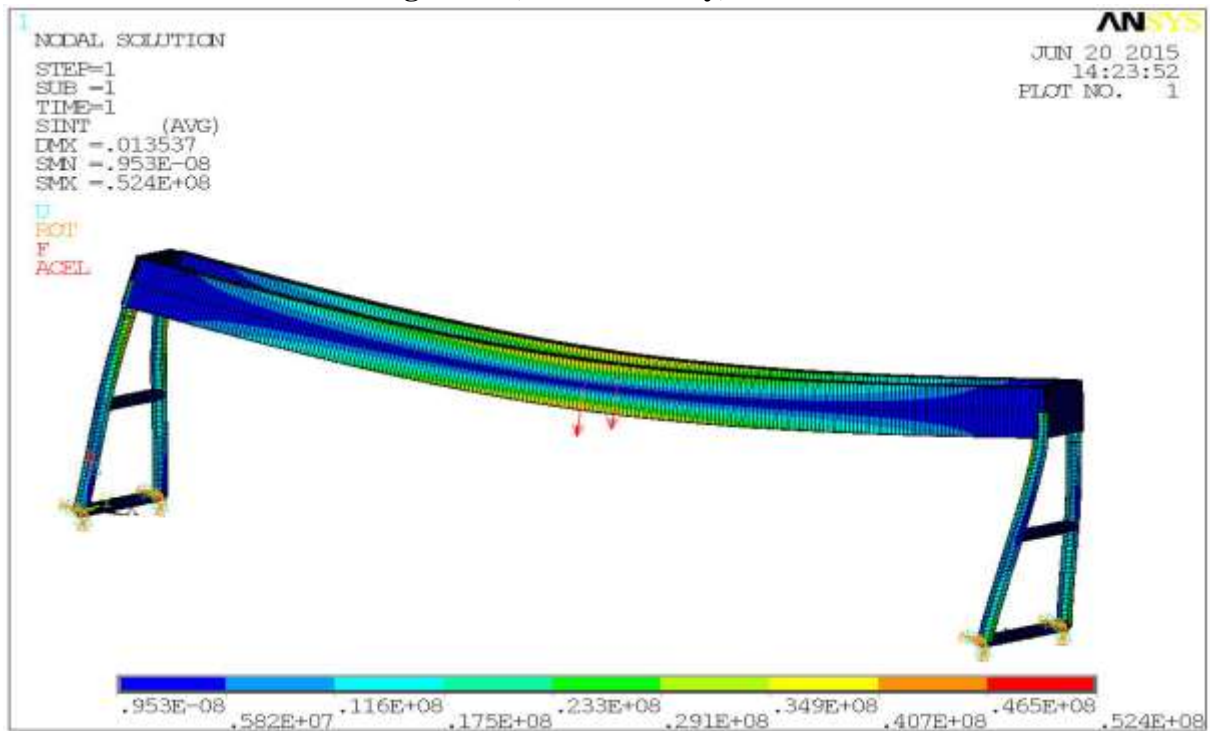


Figure III.36: Contrainte de Tresca.

III.6.6 Contrainte de TRESCA sur les poutres maitresses:

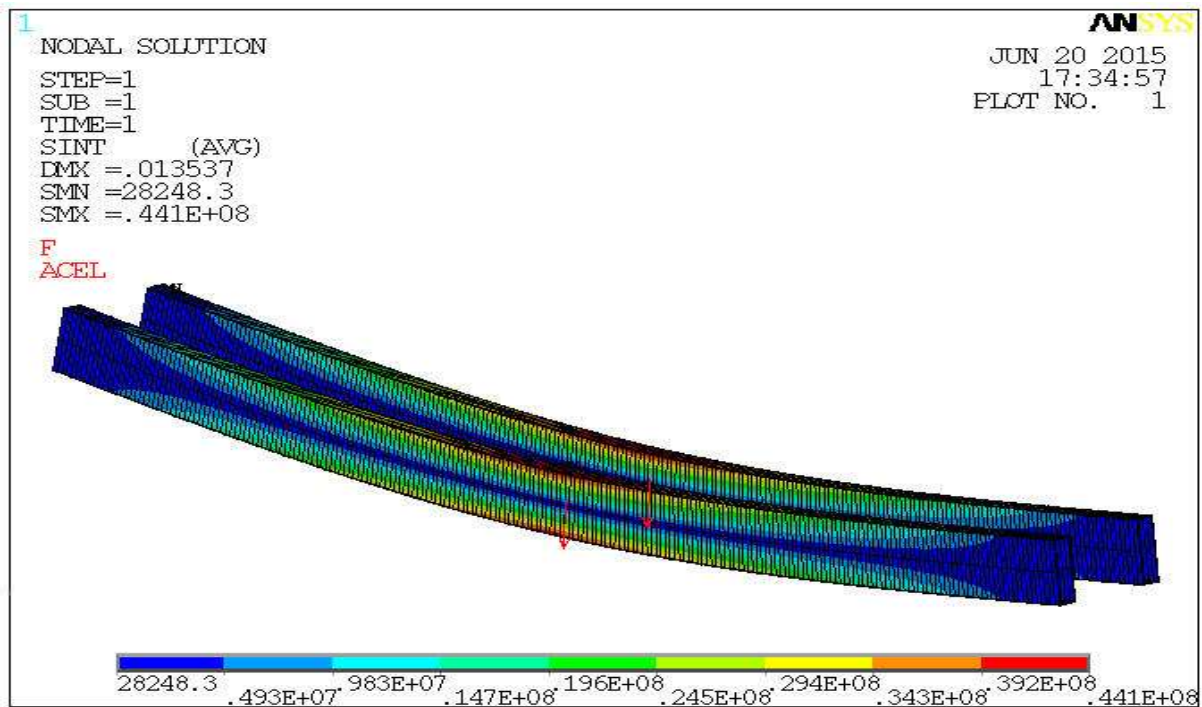


Figure III.37: Contrainte de Tresca sur les poutres maitresses.

Le Tableau suivant rassemble les résultats de tous les modèles :

Tailles de mailles (m)	0.1	0.5	1	2
Contrainte-déplacements				
Déplacement suivant Z	13.53 mm	13.51 mm	13.51 mm	13.51 mm
Contrainte de Tresca (sur les poutres maitresses)	52.4 MPa	52.1 MPa	51.7 MPa	52.1 MPa

Tableau III.12: Récapitulatif des résultats pour différentes tailles de maille.

D’après le tableau précédent la variation des contraintes de Tresca et des déplacements est très faible. Ceci est due au fait que nous avons utilisé des éléments poutre (Beam) qui représentent bien les phénomènes de flexion. De plus, les éléments choisis sont quadratiques, ce qui leur confère une précision plus importante. L’influence des contraintes auraient été plus importante sur un modèle en coque (shell) ou volumique (solid).

**III.7 Conclusion :**

Suite à un premier calcul (SAP2000 et ANSYS), il a été observé que la géométrie initialement proposée par l'entreprise ne permet pas de valider le critère de flèche maximale autorisée. Un calcul avec des sections augmentées a été mené. Les résultats ont permis d'observer une flèche maximale inférieure à la flèche admissible ( $f_{\max} \leq f_{\text{adm}}=22\text{mm}$ ). Le modèle avec géométrie modifiée a donc été validé.

La comparaison des calculs Ansys et SAP200 a par ailleurs montré des résultats similaires.

Une étude d'influence du maillage sur le calcul Ansys a également été réalisée. Celle-ci a montré peu de variation au niveau des contraintes et des déplacements.

### **Conclusion générale :**

Dans ce travail, nous avons réalisé l'étude d'un portique de levage. Nous avons d'abord identifié les phénomènes d'instabilité qui peuvent affecter notre structure. Nous avons ensuite réalisé une première étude sous SAP200 qui nous a permis d'invalidier la géométrie de la structure telle que proposée par l'entreprise, celle-ci ne satisfaisant pas aux conditions de flèche admissible imposées. Nous avons donc proposé une deuxième géométrie, avec des sections renforcées pour les poutres maitresses, que nous avons validées vis-à-vis des critères de l'Eurocode par un deuxième calcul.

Une autre étude a ensuite été réalisée en utilisant le logiciel de calcul par Eléments Finis ANSYS. Celle-ci nous a permis de confirmer les résultats obtenus sur SAP2000. Une étude en contrainte a également montré que ces dernières restent bien en deçà de la limite élastique du matériau.

Comme perspective, une étude par Eléments Finis de coque permettrait d'extraire les contraintes avec un niveau de précision plus élevé, surtout dans les connections entre les différents éléments du portique, qui sont souvent le lieu de concentration de contraintes.

A notre propre niveau, ce travail nous a permis de retirer un certain nombre d'enseignements : la maîtrise de SolidWorks nous a aidés à comprendre et analyser la géométrie et modifier les différentes dimensions qui la caractérisent.

Nous avons eu l'occasion de découvrir deux logiciels de calcul (SAP200 et ANSYS) sur lesquels nous avons pu faire la modélisation, la simulation et la visualisation des flèches, contraintes, moments, efforts etc...

L'intérêt de ce travail n'était pas seulement de montrer l'utilisation d'une maquette numérique mais aussi d'orienter les utilisateurs des logiciels vers des méthodes qui aident à simplifier la tâche de simulation et d'avoir un support adapté aux besoins de la simulation et de la visualisation.

Enfin nous espérons avoir répondu ne serait-ce que partiellement au attente de l'entreprise ALIECO et que ce modeste travail puisse constituer un point de départ fiable pour le traitement future des autres aspects de ce problème.

*REFERENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*

- [1] INRS « Institut National de Recherche et de Sécurité »  
Pont roulant-Manuel de sécurité ED 6105.
- [2] Gréage et appareil de levage (pont roulant et palan) FI 2012  
<http://www.asphme.org/>
- [3] Jean Morel « Calcul des structures métalliques selon l'Eurocode3 »  
Edition Eyrolles - Sixième tirage 2005.
- [4] « Fédération Européenne de Manutention (FEM) section I »  
Cahier 1, Cahier2.
- [5] « Formulaire de la construction métallique » - Pierre Maître  
Edition MONITEUR 1997.
- [6] Eurocode 3 « Calcul des structures en acier » et document d'applications nationale-  
partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments  
Décembre 1992.
- [7] « MA cours de charpentes métalliques » : Les éléments fléchis  
Institut Hemes Gramme Ir.jacques Dehard professeur Deh 2009.
- [8]
- « Torsorial section properties of steel shape »  
Canadian institute of steel construction 2002.
  - Design capacity TABLES for Structural, Hollow section.
  - « Construction métallique et mixte acier-béton »  
Calcul et dimensionnement  
Selon les Eurocode 3 et 4.  
Edition Eyrolles 1996 ISBN 2-212-10152-x

*ANNEXE*

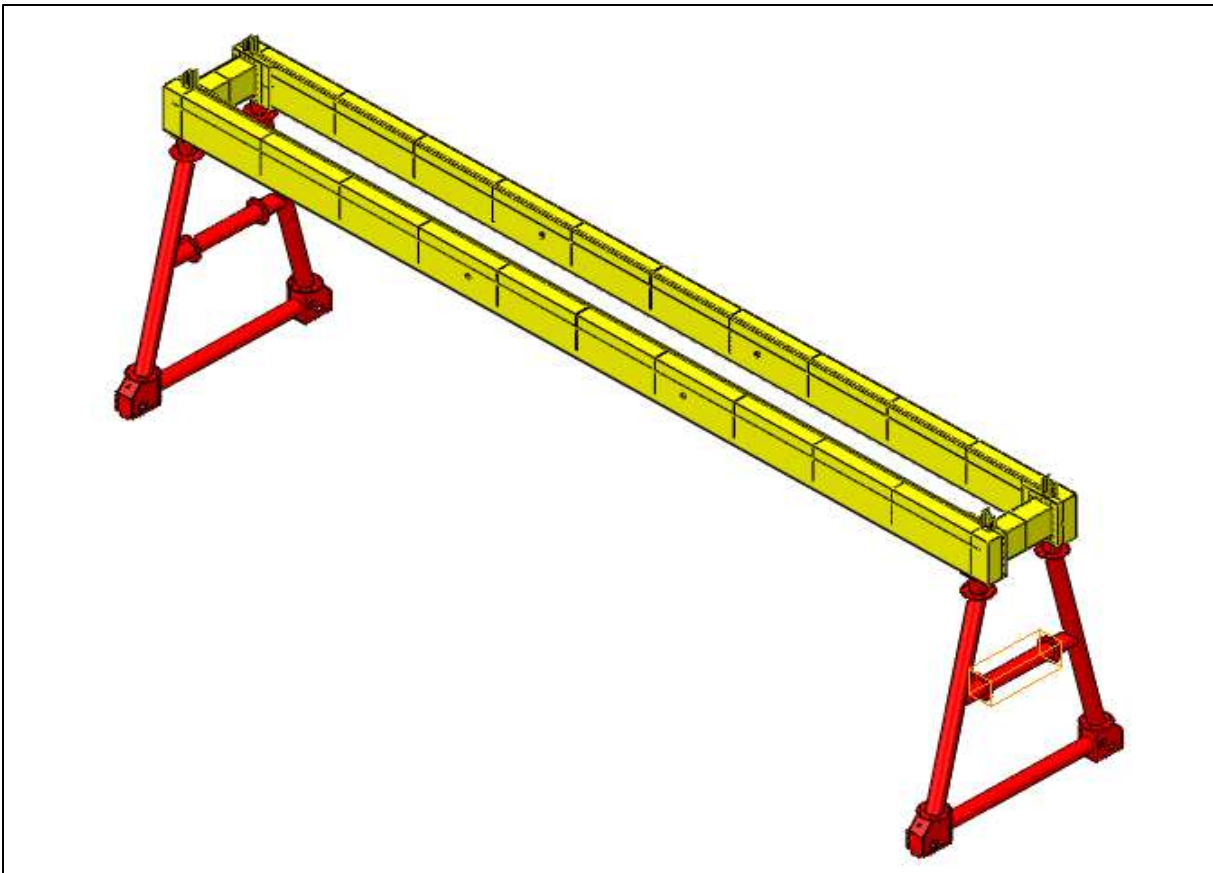


Figure 1: Vue 3 dimension de portique roulant.



Figure 2: Vue de face.

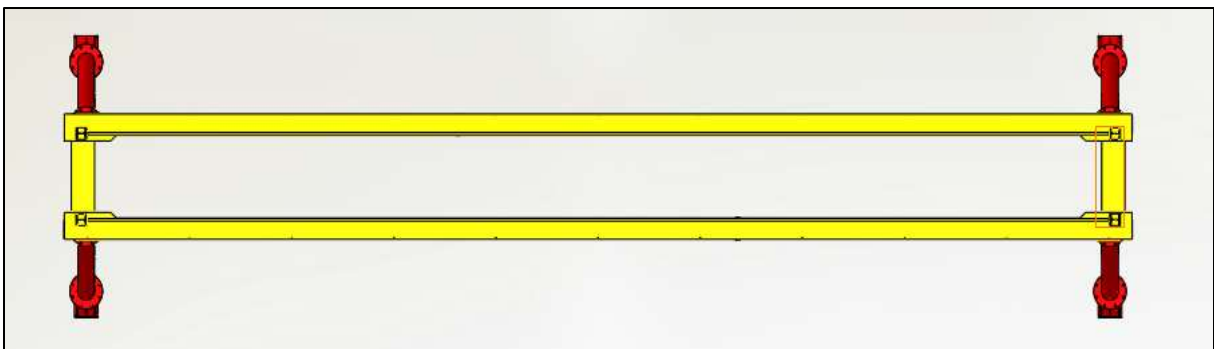


Figure 3: Vue dessus.

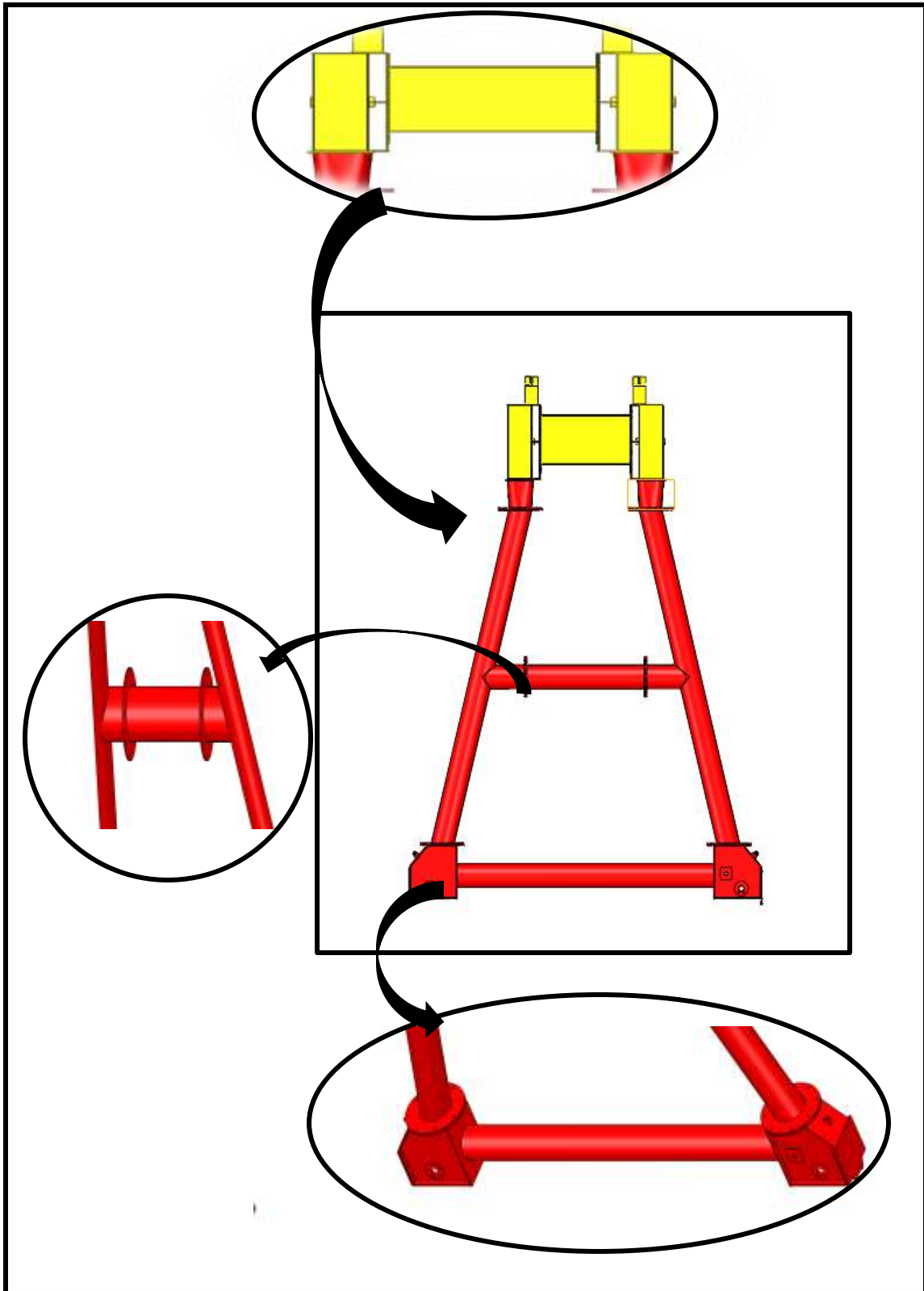


Figure 4: Vu de droite avec détail.

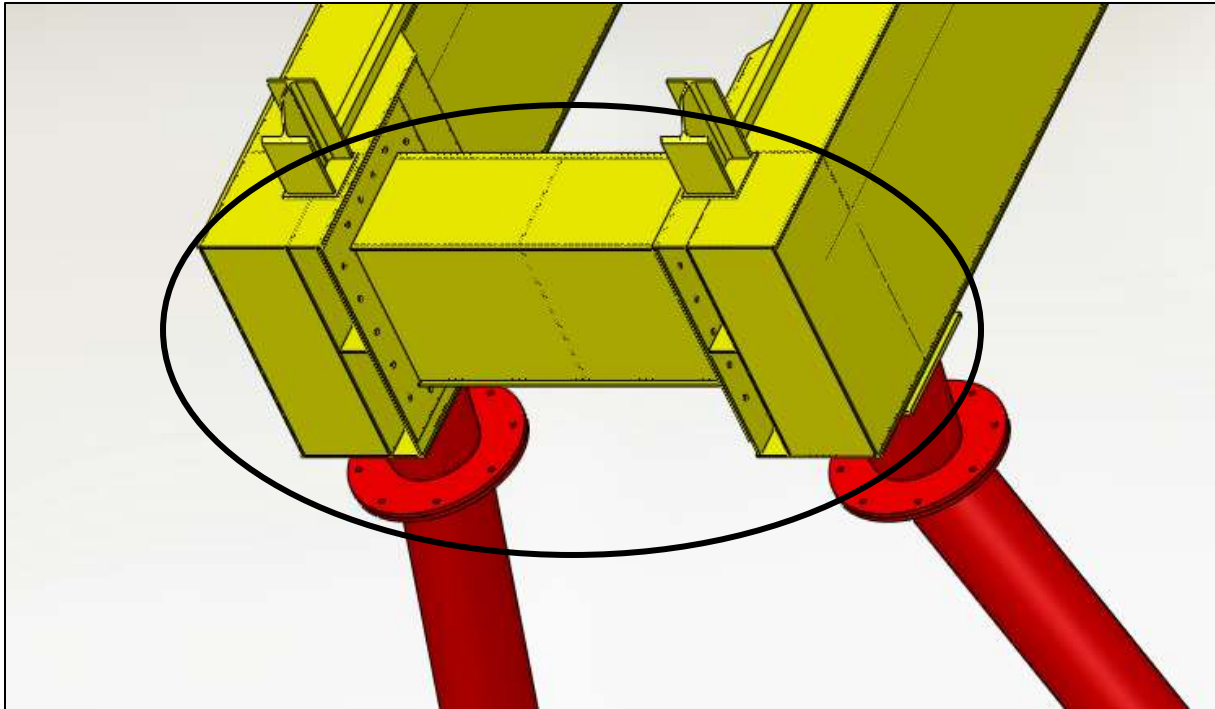


Figure 5: Assemblage des deux poutres maitresses.

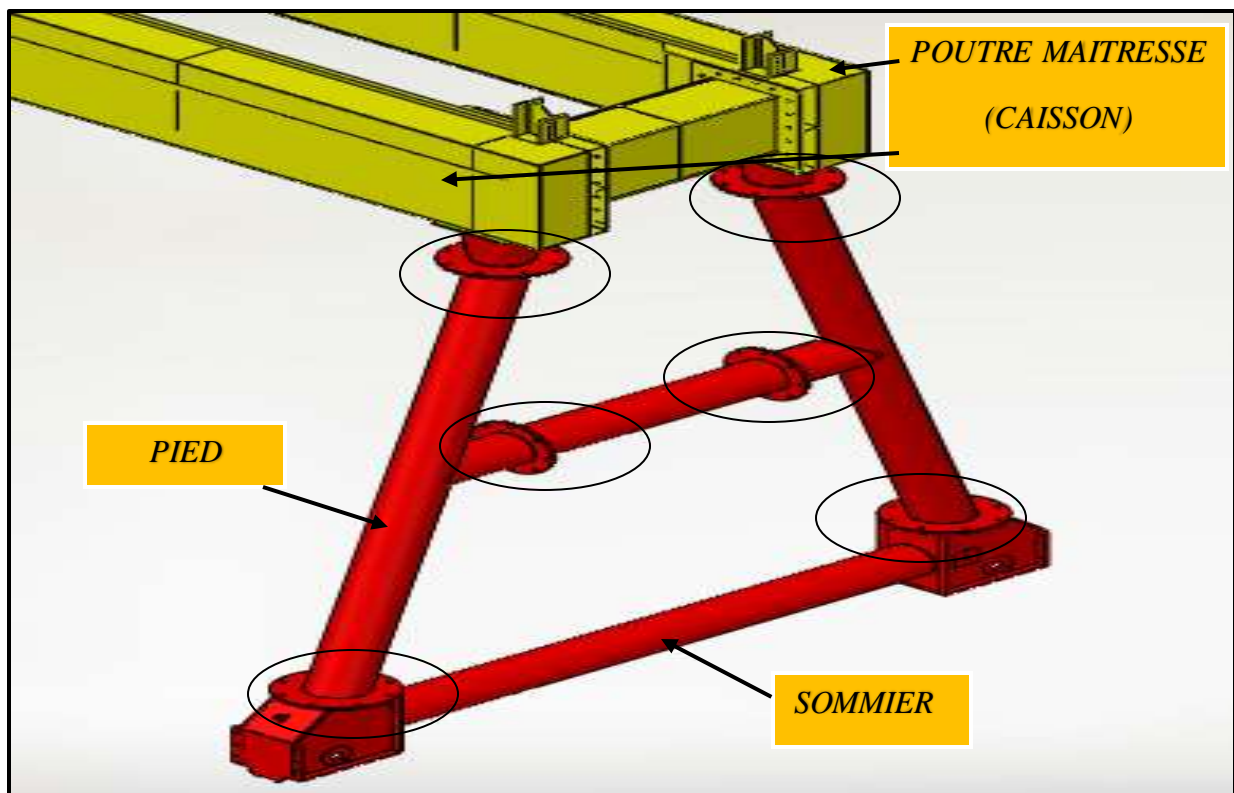
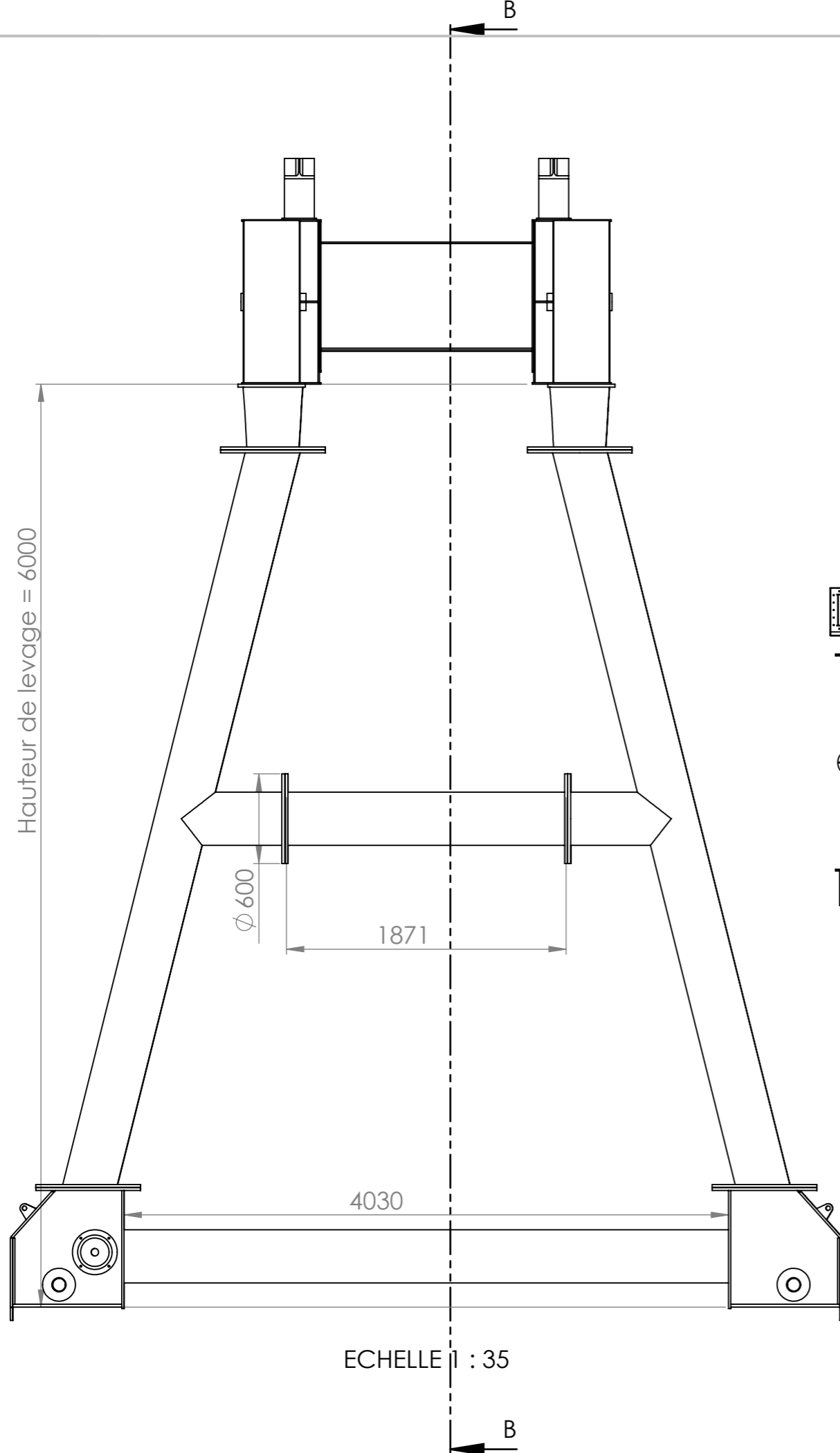
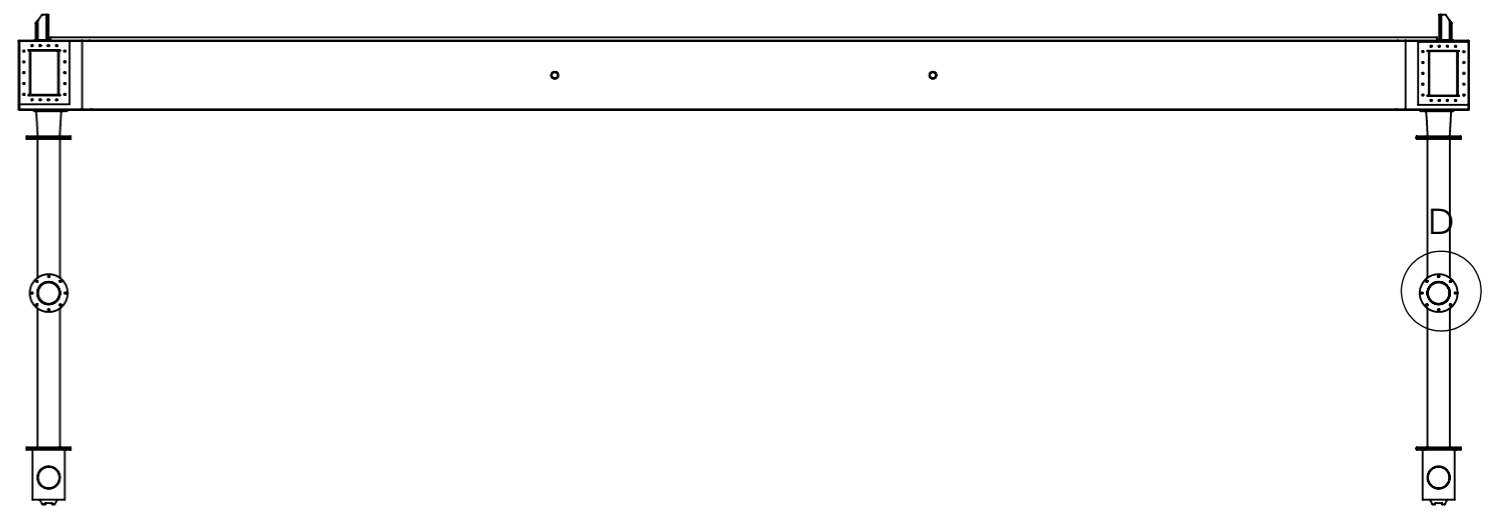
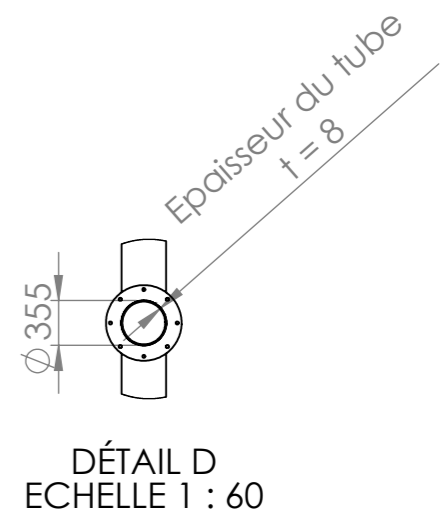


Figure 6: Assemblage pieds, Sommier.

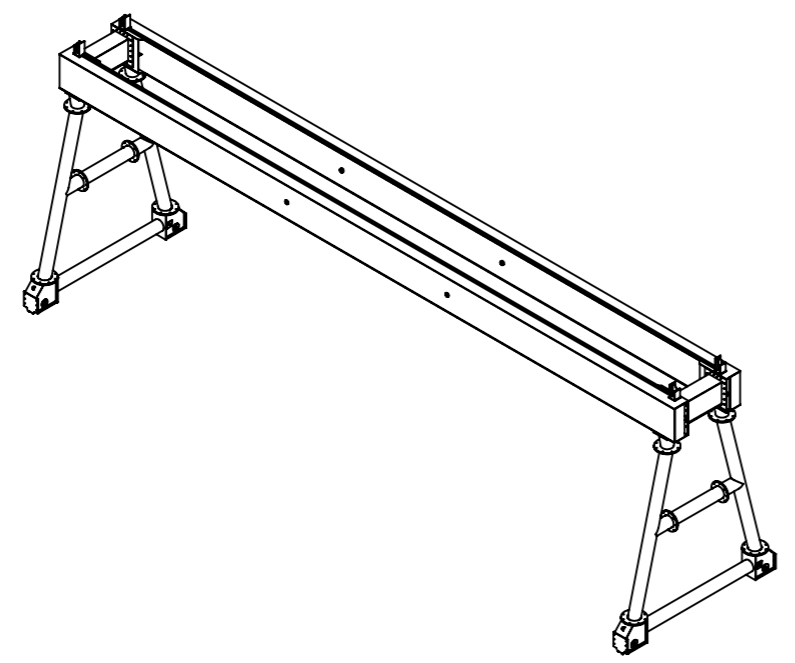
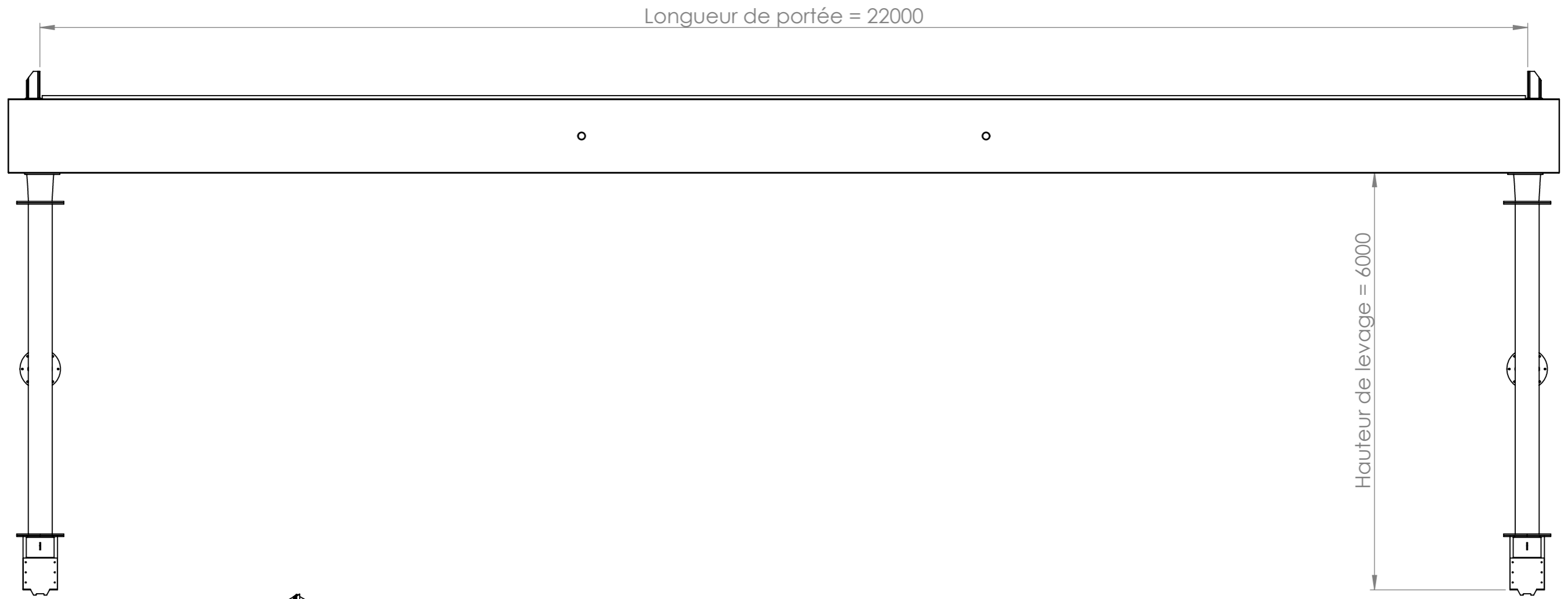


ECHELLE 1 : 35



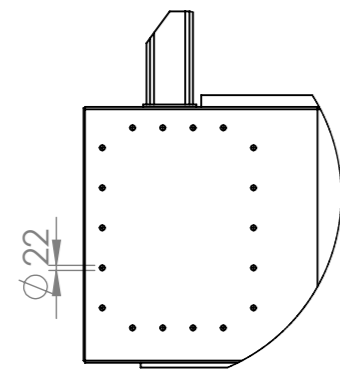
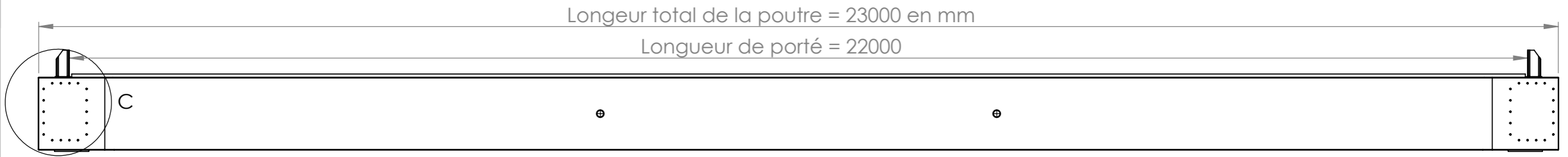
COUPE B-B  
ECHELLE 1 : 120

Echelle : 1/35	<b>Atelier de genie mecanique</b>	date: 2015/06/29
	Vu gauche de portique roulant	Fettous, Bechir
		<b>A 3</b>

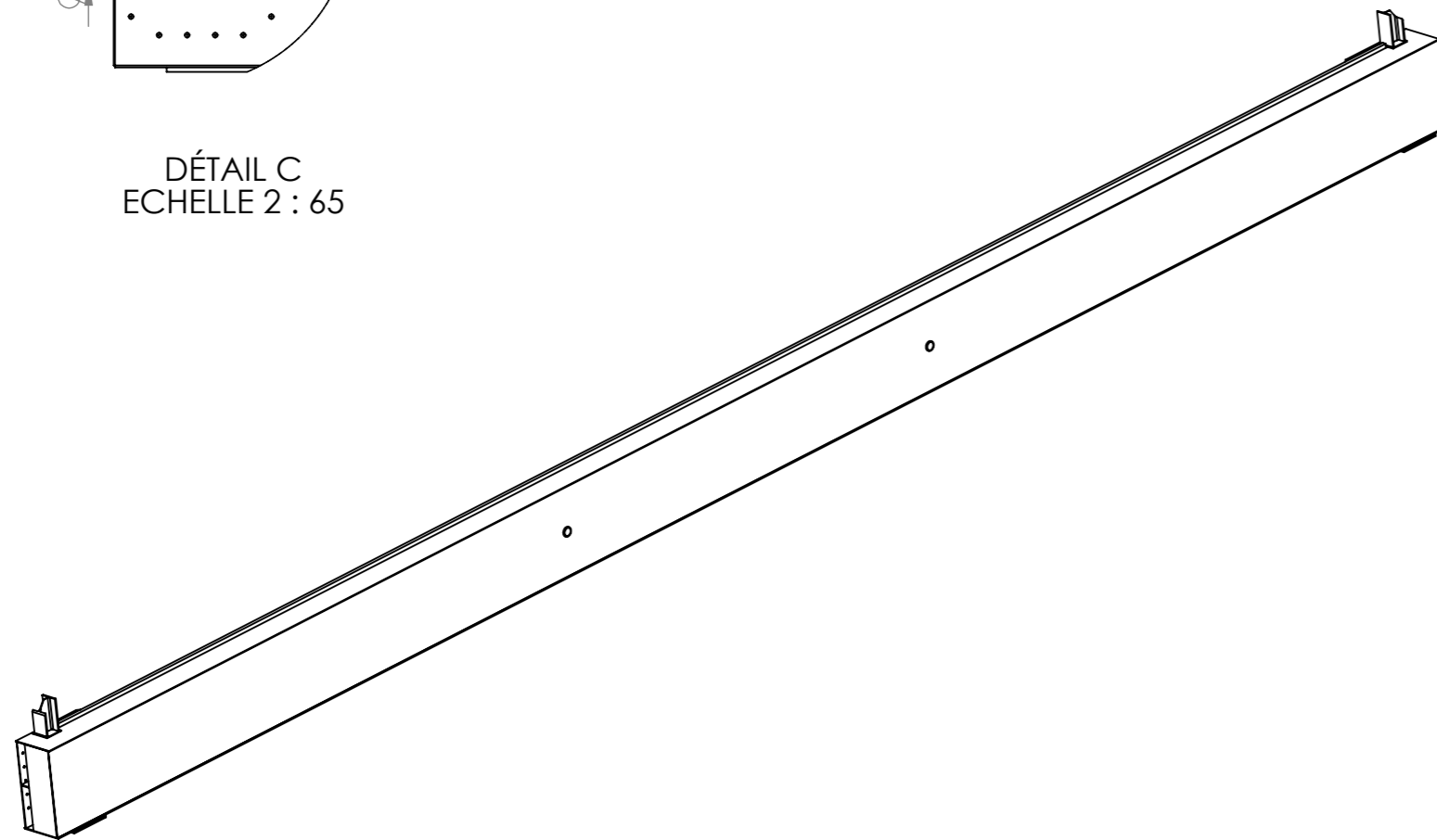


**Vu 3 dimension de portique roulant**

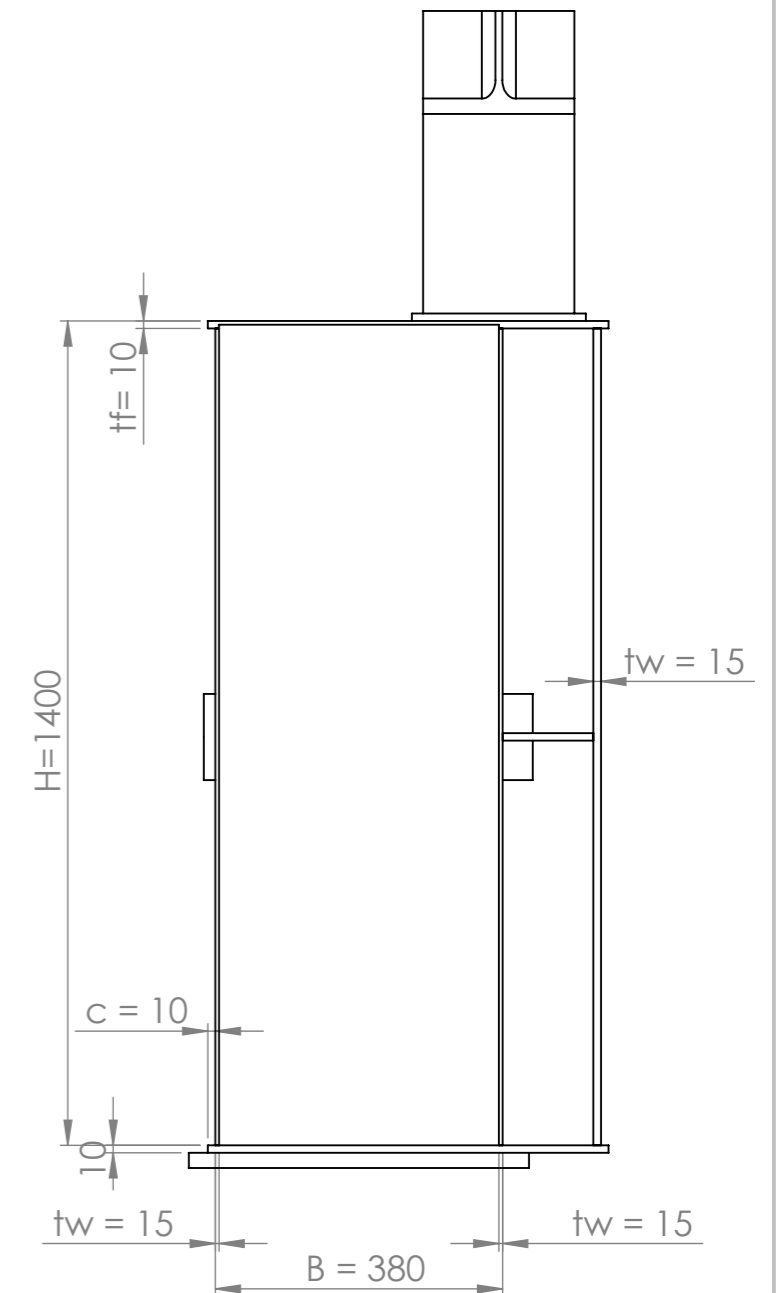
Echelle : 1/65	<b>Atelier de genie mecanique</b>	date: 2015/06/29
	<b>Piece d'assemblage</b>	Fettous, Bechir



DÉTAIL C  
 ECHELLE 2 : 65



Vu 3 dimension de la poutre  
 ECHELLE 1 : 80



Echelle : 1/10	Atelier de genie mecanique	date: 2015/06/29
	<b>Dimensionnement du caisson          (Géométrie Modifiée)</b>	Fettous Lyes Bechir Sofiane
		A 3

## RESUME

Dans le cadre de ce projet, nous contribuerons à l'étude d'un portique roulant pour l'entreprise ALIECO.

L'objectif principal de ce travail, est d'étudier ce portique du point de vue structurel dans le domaine élastique.

L'étude de ce dernier est traitée dans ce travail en deux parties (Analytique et Numérique) et cela pour mieux cerner ces aspects et mieux comprendre son comportement pour effectuer les calculs nécessaires.

Les calculs effectués, et l'analyse des résultats, nous ont permis de bien valider notre modèle.

---

---

## ABSTRACT

Within the framework of this project, we will contribute to the study of a gantry crane for company ALIECO.

The principal objective of this work is to study this gantry from the point of view of structural behavior in the elastic range.

The study of this last is treated in this work in two parts (Analytical and Software) and that for better determining these aspects and better understanding its behavior to carry out necessary calculations.

Calculations carried out, and analysis of its results, one provides us with good validation of our model.