

# Table des matières

<b>Dédicace et Remerciement</b>	<b>1</b>
<b>Dédicace et Remerciement</b>	<b>2</b>
<b>1 Présentation du groupe OCP</b>	<b>10</b>
1.1 Aperçu général sur le groupe OCP . . . . .	10
1.1.1 Présentation générale du groupe OCP . . . . .	10
1.1.2 Historique . . . . .	10
1.2 - Site d'exploitations minières de Khouribga : . . . . .	11
1.2.1 -Présentation de l'environnement d'exploitation de Khouribga : . . . . .	11
1.2.2 Structure organisationnelle du site de production de Khouribga : . . . . .	12
1.2.3 Activités du site : . . . . .	12
1.3 Secteur d'extraction : SIDI CHENNANE . . . . .	15
1.3.1 -Présentation globale du secteur . . . . .	15
1.4 Cadre du projet . . . . .	16
1.4.1 Problématique . . . . .	16
1.4.2 Objectif du projet : . . . . .	17
1.4.3 Planification du projet . . . . .	17
1.4.4 Logiciels utilisés . . . . .	17
1.5 Conclusion : . . . . .	17
<b>2 Etude et dimensionnement de la charpente métallique</b>	<b>18</b>
2.1 Présentation . . . . .	18
2.1.1 Implantation . . . . .	18
2.1.2 Les dimensions géométriques . . . . .	18
2.1.3 Règlements utilisés . . . . .	18
2.2 Généralités sur les charpentes métalliques : . . . . .	19
2.2.1 Construction en acier Vs Construction en béton : . . . . .	19
2.2.2 Schémas statiques . . . . .	20
2.2.3 Terminologie d'une ossature métallique . . . . .	21
2.3 Calcul de l'effet du vent . . . . .	22
2.3.1 Pression dynamique corrigée du vent . . . . .	22
2.3.2 Pression dynamique de base . . . . .	23
2.3.3 Effet de site . . . . .	24
2.3.4 Effet de masque . . . . .	24

2.3.5	Effet des dimensions . . . . .	25
2.3.6	Actions extérieures et intérieures du vent . . . . .	25
2.4	Résultats : . . . . .	28
2.5	Dimensionnement des éléments secondaires de l'ossature . . . . .	28
2.5.1	Calcul des pannes . . . . .	29
2.5.2	Evaluation des charges et surcharges : . . . . .	29
2.5.3	Dimensionnement de la panne : . . . . .	32
2.5.4	Calcul des liernes . . . . .	37
2.5.5	Calcul des lisses . . . . .	39
2.6	la poutre de roulement . . . . .	41
2.6.1	Evaluation des charges : . . . . .	42
2.6.2	Dimensionnement de la poutre de roulement : . . . . .	42
2.7	Modélisation de la structure sous Robot : . . . . .	46
2.7.1	présentation du logiciel Robot Structural . . . . .	46
2.7.2	Modélisation de la structure . . . . .	47
2.7.3	Combinaisons d'actions : . . . . .	51
2.7.4	Exploitation des résultats . . . . .	52
2.7.5	Dimensionnement . . . . .	56
2.8	Conception et calcul des assemblages . . . . .	65
2.8.1	Assemblage Poteau-Traverse . . . . .	65
2.8.2	Assemblage Traverse-Traverse . . . . .	69

### **3 Etude et dimensionnement du pont Roulant 70**

3.0.1	Introduction . . . . .	70
3.1	Analyse fonctionnelle : . . . . .	71
3.1.1	Introduction : . . . . .	71
3.1.2	Modélisation des systèmes : . . . . .	71
3.1.3	Analyse de système : . . . . .	72
3.1.4	Expression fonctionnelle de besoin : . . . . .	73
3.1.5	Hiérarchisation des fonctions de services : . . . . .	76
3.1.6	Choix de la solution principale du système : . . . . .	78
3.2	Dimensionnement de poutre du pont roulant . . . . .	81
3.2.1	Evaluation des charges : . . . . .	81
3.2.2	Dimensionnement de la poutre du pont : . . . . .	82
3.3	Dimensionnement du sommier de translation . . . . .	87
3.3.1	Conception : . . . . .	87
3.3.2	Vérification du concept . . . . .	88
3.4	Dimensionnement des galets . . . . .	89
3.4.1	Conception : . . . . .	89
3.4.2	Vérification du concept . . . . .	90
3.5	Mécanisme de levage et de direction . . . . .	90
3.5.1	Calcul de levage . . . . .	91
3.5.2	Calcul de direction . . . . .	91
3.6	Mécanisme de translation . . . . .	92
3.6.1	Dimensionnement du système réducteur . . . . .	93

3.6.2	dimensionnement des roulements . . . . .	95
3.6.3	Structure final du pont roulant . . . . .	97
<b>4</b>	<b>Installation électrique</b>	<b>99</b>
4.1	Généralité . . . . .	99
4.2	Schémas de commandes . . . . .	99
4.2.1	Schémas de commande et de puissance pour l'alimentation . . . . .	99
4.2.2	Schémas de commande et de puissance pour levage . . . . .	101
4.2.3	Schémas de commande et de puissance pour direction . . . . .	102
4.2.4	Schémas de commande et de puissance pour translation . . . . .	103
4.3	Amélioration . . . . .	105
	<b>Conclusion</b>	<b>106</b>
	<b>A Provinces-Région du vent</b>	<b>107</b>
	<b>B Calculs des charges neige et vent selon NV65 02/09</b>	<b>109</b>
	<b>C Catalogue des profilés IPE et HEA</b>	<b>110</b>
	<b>D Catalogue des roulements</b>	<b>114</b>

# Table des figures

1.1	Site du gisement de Khouribga. . . . .	12
1.2	La foration . . . . .	13
1.3	Le sautage . . . . .	13
1.5	Défruitage par les pelles hydrauliques . . . . .	14
1.7	Situation géographique du gisement de SIDI CHENNANE . . . . .	15
1.8	Les différentes zones de SIDI CHENNANE . . . . .	16
2.1	schéma statique . . . . .	21
2.2	Nomenclature de la charpente métallique . . . . .	22
2.3	La Hauteur $h$ . . . . .	23
2.4	coefficient de réduction $\delta$ . . . . .	25
2.5	coefficient $\gamma_0$ . . . . .	26
2.6	Actions extérieures du vent sur la toiture . . . . .	27
2.7	force du vent sur les pannes . . . . .	28
2.8	force du vent sur les lisses . . . . .	28
2.9	Disposition des pannes . . . . .	29
2.10	Charges permanents . . . . .	30
2.11	Charges du vent . . . . .	30
2.12	surcharge d'entretien . . . . .	31
2.13	disposition des charges sur une panne . . . . .	32
2.14	cisaillement des pannes . . . . .	33
2.15	cisaillement des pannes . . . . .	34
2.16	la fleche suivant $y - y'$ et $z - z'$ . . . . .	37
2.17	les forces dans les liernes . . . . .	39
2.18	:charge permanente sur la lisse . . . . .	40
2.19	:Surcharge climatique sur la lisse . . . . .	40
2.20	disposition des réactions des galets sur la PDR . . . . .	43
2.21	le mode opératoire de Robot structural analysis . . . . .	46
2.22	Modélisation de la charpente sur robot . . . . .	47
2.23	Paramètre de la charge du vent . . . . .	49
2.24	Paramètre de la charge roulante . . . . .	49
2.25	la charge roulante . . . . .	50
2.26	La charge à stocker . . . . .	50
2.27	Le poids du bardage . . . . .	51
2.28	la combinaison des charges . . . . .	51

2.29	les charges	52
2.32	panne,lisse,poutre de roulement	53
2.34	panne,lisse,poutre de roulement	54
2.36	panne,lisse,poutre de roulement	55
2.46	création de famille :poteaux de portique	60
2.47	paramètres pour la vérification	61
2.48	résultats de vérification	61
2.49	paramètres pour la vérification	62
2.50	résultats de vérification	62
2.51	cartographie de pièces	63
2.52	Taux de charges	63
2.53	optimisation	64
2.54	résultats	64
2.55	Poteau-traverse : portique	68
2.56	Poteau-traverse : dalle	68
3.1	Actigramme A-0	71
3.2	Cycle de vie du système	72
3.3	Diagramme bête à cornes	73
3.4	Diagramme de pieuvre de la séquence d'utilisation	74
3.5	Diagramme de pieuvre de la séquence hors utilisation	75
3.6	tri croisé pour les fonctions de service	77
3.7	Histogramme de hiérarchisation des fonctions de services	77
3.8	Ponts roulants posés	78
3.9	Ponts roulants suspendus	79
3.10	Portique	79
3.11	Semi-portique	80
3.12	Diagramme FAST du pont roulant	80
3.13	disposition des réactions du palan sur le pont roulant	83
3.14	modélisation de la la poutre du pont roulant	85
3.15	génératiion de la charge roulante	86
3.16	la charge roulante	86
3.17	vérification de <i>HEA120</i>	86
3.18	sommier de translation	87
3.19	liaison pont-sommier	87
3.20	Informations sur le modèle	88
3.21	maillage	88
3.22	contrainte et déplacement maximales	89
3.23	galet	89
3.24	position du galet	90
3.26	chariot de direction	91
3.27	Pignon moteur	94
3.28	la roue engrené	94
3.29	Roulement de guidage en rotation	97
3.31	concept final	98

4.1	Alimentation . . . . .	100
4.5	boitier de commande . . . . .	104
4.6	modes de commandes . . . . .	105
4.7	Radio télécommande . . . . .	105

## Liste des tableaux

1.1	Historique chronologique de l'OCP	11
2.1	dimensions géométriques de l'atelier	18
2.2	Pression dynamique de base	24
2.3	coefficient de site	24
3.1	classes d'utilisation des ponts roulants	70
3.2	états de charges	71
3.3	Degré d'importance relative à la fonction de service	76

# Chapitre 1

## Présentation du groupe OCP

### 1.1 Aperçu général sur le groupe OCP

#### 1.1.1 Présentation générale du groupe OCP

Leader mondial sur le marché du phosphate et de ses produits dérivés, et première entreprise du Royaume, le Groupe OCP opère sur les cinq continents. Son ouverture traditionnelle sur l'international, depuis sa création en 1920, le pousse tout naturellement à développer, en permanence, des capacités d'adaptation, de flexibilité et d'anticipation pour pouvoir répondre aux exigences de plus en plus fortes des clients dans un marché très concurrentiel.

- Création de l'OCP : 1920.
- Création du Groupe OCP : 1975 - Création d'OCP SA : 2008.
- Réserves de phosphate : 3/4 des réserves mondiales.
- Production : phosphate et dérivés phosphatés (acide phosphorique, engrais).
- Sites de production :
  - ✓ Phosphate : Khouribga, Ben guérir, Youssoufia, Boucraâ-Laâyoune (exploitation).
  - ✓ Dérivés : Safi, JorfLasfar (traitement chimique)
- Ports d'embarquement : Casablanca, JorfLasfar, Sdafi, Laâyoune
- Effectifs : 18 000 dont 6 % ingénieurs et équivalents.
- Production marchande de phosphate : 24,45 millions de tonnes.
- Production de phosphate : 27,16 millions de tonnes.
- Part du Groupe OCP dans le total des exportations marocaines : 33 % (en valeur).
- Chiffre d'affaires à l'export : 6,9 milliards de dollars.
- Parts de marché à l'international :
  - ✓ Phosphate : 40 %
  - ✓ Acide Phosphorique : 38.4%
  - ✓ Engrais : 8.4%

#### 1.1.2 Historique

Les phosphates marocains sont exploités dans le cadre d'un monopole d'État confié à un établissement public créé en août 1920. En 1965, avec la mise en service de Maroc Chimie à Safi, le Groupe devient également exportateur de produits dérivés. A partir de 1975, il est devenu

Groupe Office Chérifien des Phosphates. En 1998, il franchit une nouvelle étape en lançant la fabrication et l'exportation d'acide phosphorique purifié. En 2008 création de l'OCP SA.

### De point de vue chronologique

1920	Création, le 7 août, de l'Office Chérifien des Phosphates (OCP).
1921	Début de l'exploitation en souterrain sur le gisement des Oulad Abdoun, le 1er mars. « Descente » du premier train de Khouribga vers le port de Casablanca, le 30 juin. Premier départ des phosphates du Maroc le 23 juillet.
1931	Début de l'extraction en souterrain à Youssoufia (ex-Louis Gentil).
1951	Démarrage de l'extraction en « découverte » à Sidi-Daoui (Khouribga). Début du développement des installations de séchage et de calcination à Khouribga.
1954	Démarrage des premières installations de séchage à Youssoufia.
1959	Création de la Société Marocaine d'Etudes Spécialisées et Industrielles (Smesi).
1961	Mise en service de la première laverie à Khouribga.
1965	Création de la société Maroc Chimie. Extension de l'extraction à ciel ouvert à la mine de Merah El Aharch (Khouribga).
1973	Création de la Société de Transports Régionaux en juillet, de Maroc Phosphore en août et de Marphocéan en octobre.
1975	Création du Groupe OCP. Intégration des industries chimiques aux structures internes de l'OCP, en janvier.
1978	Création de l'Union Industrielle de Montage (UIM), en janvier. Démarrage de la première unité de calcination à Youssoufia.
1998	Démarrage de la production d'acide phosphorique purifié (Emaphos, Jorf Lasfar), le 31 janvier. Le Groupe OCP obtient le Prix national de la Qualité.
2008	création de l'OCP SA pour augmenter son champ d'investissement dans d'autres secteurs à savoir l'agriculture, le développement social et la protection de l'environnement

TABLE 1.1 – Historique chronologique de l'OCP

## 1.2 - Site d'exploitations minières de Khouribga :

### 1.2.1 -Présentation de l'environnement d'exploitation de Khouribga :

À 120 km au sud-est de Casablanca, Khouribga constitue la plus importante zone de production de phosphate du Groupe OCP. Le site minier comporte deux zones d'extraction : MERAH al AHRACH (MEA), SIDI CHNAN et quatre zones de traitements :

- Opération de séchage : OUED ZEM (COZ) et BENY IDIR.
- Opération de lavage : Laverie MEA et la laverie DAOUI.

Le gisement est de type sédimentaire et les réserves sont estimées à plus de 35 milliards de  $m^3$ . Les premiers coups de pioche ont été donnés en 1921 par la méthode souterraine. L'introduction de l'exploitation en « découverte » a débuté en 1951. Elle concerne actuellement 7 niveaux phosphatés. La capacité de production s'élève à 19 millions de tonnes par an.

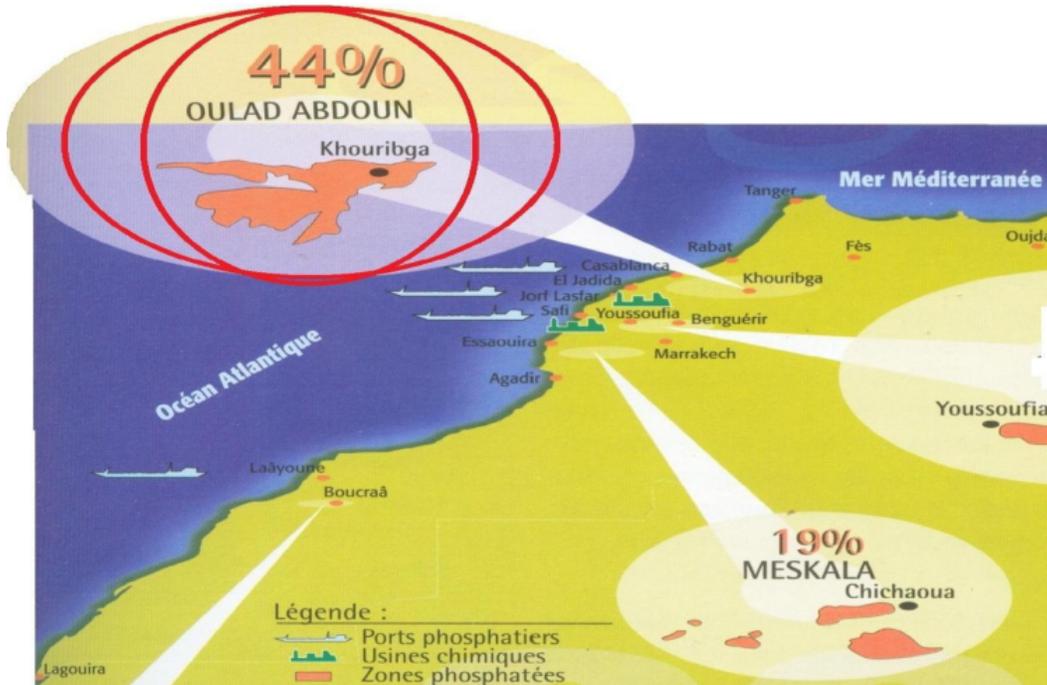


FIGURE 1.1 – Site du gisement de Khouribga.

### 1.2.2 Structure organisationnelle du site de production de Khouribga :

### 1.2.3 Activités du site :

- Extraction du phosphate :

La méthode d'extraction du phosphate à ciel ouvert comporte une série d'opérations : la foration, le sautage, le décapage, le défruitage et le transport du phosphate. Ces opérations sont décrites comme suit :



- La foration :

On appelle foration l'opération consistant à forer des trous verticaux dans une portion de terrain donnée, suivant une maille : fragmentation bien déterminée, cela dépend de la nature du terrain concerné (résistance, puissance, densité. . .).

Cette opération est effectuée par des sondeuses électriques sur chenilles ou sur pneu dans les mines découvertes de Khouribga, la foration des trous se fait avec un diamètre de 9 pouces.

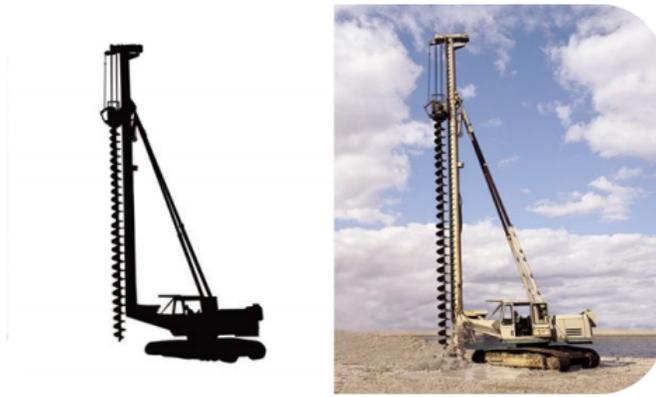


FIGURE 1.2 – La foration

- Le sautage :

C'est l'opération qui consiste à remplir les trous forés par l'explosif en tenant compte d'un mode de chargement approprié afin d'abattre le massif rocheux. L'explosif employé à MEA est l'ammonix, c'est un explosif sécuritaire, économique et facile à mettre en œuvre



FIGURE 1.3 – Le sautage

- Le décapage :

Cette opération consiste à enlever les « morts terrains » (stériles) qui recouvrent le premier niveau phosphaté exploitable. On distingue les méthodes suivantes :

- Décapage par Bulls : Il consiste à pousser le volume d'une tranchée de largeur déterminée dans la tranchée du circuit précédent ou à l'extérieur du gisement dans le cas des affleurements.
- Décapage par dragline : Il consiste à caser les déblais des « morts terrains » dans la tranchée déjà exploitée. Ce mode de décapage est pratiqué lorsque le recouvrement est important au point que les Bulls ne peuvent le pousser



(a) décapage par D11



(b) décapage par dragline

- Le défruitage :

Le défruitage consiste à gerber puis charger et transporter le phosphate par des camions-bennes de grande capacité (110 et 170 tonnes) du chantier vers les trémies d'épierreage. La liaison entre ces différents points est assurée par un réseau de pistes.



FIGURE 1.5 – Défruitage par les pelles hydrauliques

- le transport du phosphate :

Le transport vers les trémies d'épierreage et criblage est assuré par des camions de capacité de 110 t et de 170 t. L'affectation des camions aux machines obéit au principe qu'aucune machine (pelle ou dragline) ne soit en arrêt sauf en cas de panne



(a) transport par les convoyeurs



(b) transport par lectra haul

- Le traitement des phosphates :

Après son extraction, le phosphate stocké est repris pour alimenter les unités de traitement. En fonction de ses caractéristiques (teneur en BPL), le minerai subit différents modes de traitement. On distingue trois classes de phosphate :

- Les phosphates à Haute Teneur (HT)
- Les phosphates à Moyenne Teneur (MT)
- Les phosphates à Basse Teneur (BT)

Les phosphates HT et MT ont naturellement des teneurs marchandes et ne subissent que l'opération de séchage. Alors que les phosphates BT nécessitent un relèvement du titre en BPL dans les unités d'enrichissement et subissent, en plus du séchage, un traitement.

## 1.3 Secteur d'extraction : SIDI CHENNANE

### 1.3.1 -Présentation globale du secteur



FIGURE 1.7 – Situation géographique du gisement de SIDI CHENNANE

Le secteur de SIDI CHENNANE est un secteur minier en pleine expansion, avec une production d'environ 6Mt de phosphates en moyenne par an, et une réserve de 331 Mt et avec un parc matériel important :

- La trémie SIDICHENNANE.
- Les machines électriques : 4 draglines, 1 pelle en bute et 1 sondeuse
- Les Machine Diesel : 6 pelles hydrauliques, 4 sondeuses SK.
- Les engins : 23 camions, 30 bulls et environ 30 engins divers.

\* Le secteur de SIDI CHENNANE est divisé en plusieurs zones, il est organisé de la forme suivante :

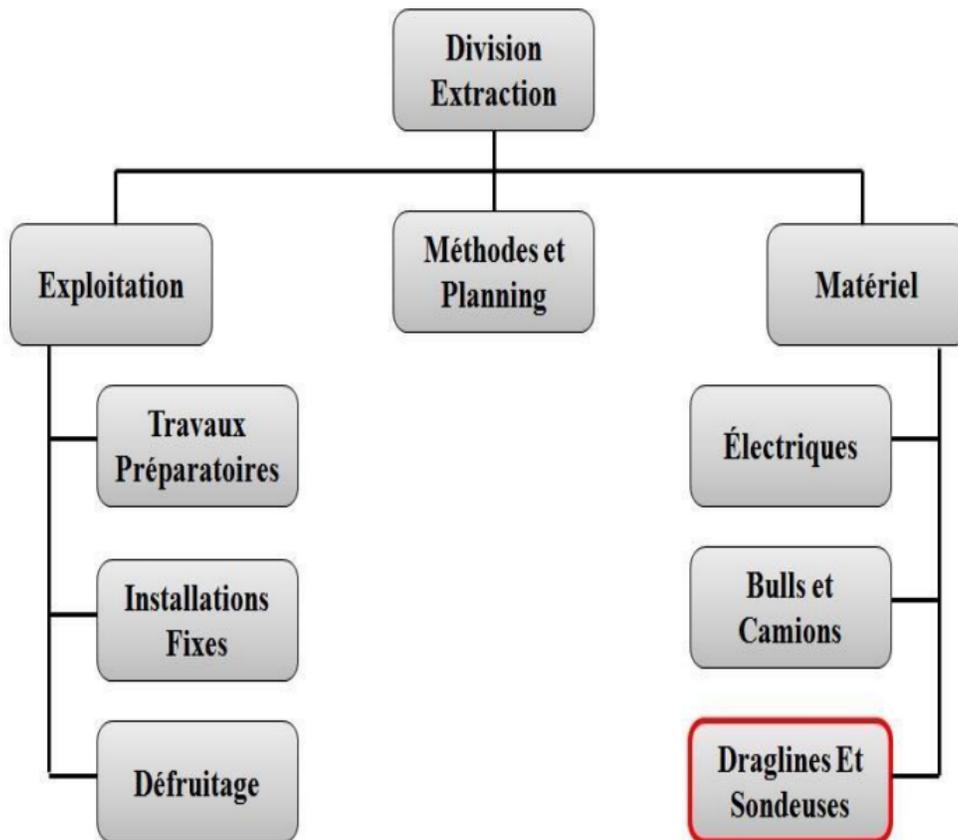


FIGURE 1.8 – Les différentes zones de SIDI CHENNANE

## 1.4 Cadre du projet

### 1.4.1 Problématique

Autrefois, lors du déchargement du camion qui est rempli par des bouteilles d'oxygènes et d'acétylène, les employés rencontrent des problèmes divers qui sont :

- les employés n'arrivent pas à déplacer ces bouteilles à cause de leurs poids élevé ce qui les poussent de les laisser en plein aire.
- le problème précédent nous ramène à un autre, concernant le degré d'inclination des bouteilles qui ne doit pas dépasser  $30^\circ$

#### 1.4.2 Objectif du projet :

Les objectifs escomptés pour ce projet sont :

- Dimensionnement d'un atelier en charpente métallique.
- Etude et conception d'un pont roulant.
- Elaboration du commande du pont roulant.

#### 1.4.3 Planification du projet

Le projet a été réalisé en plusieurs étapes, une partie du travail était consacré à la documentation et à la recherche, une autre à la prise en connaissance du projet pour se familiariser avec son environnement. Ensuite attaquer le cœur du projet pour dimensionner les éléments de la structure métallique et concevoir le système de manutention, pour ce système nous allons réaliser le coté conceptuelle ainsi que le coté électrique.

#### 1.4.4 Logiciels utilisés

- Robot structural Analysis 2014 : pour la vérification, dimensionnement et optimisation.
- solidworks 2016 : pour la conception du pont et la vérification des concepts par MEF.
- AUTOMGEN 8 : pour dessiner les schémas de cablages des moteurs.
- Latex : pour l'élaboration du rapport du projet.

### 1.5 Conclusion :

Après avoir présenté l'organisme d'accueil, les différents services de L'OCP Khouribga et la planification du projet, nous allons décrire dans le chapitre suivant, l'étude et dimensionnement du hangar.

# Chapitre 2

## Etude et dimensionnement de la charpente métallique

### 2.1 Présentation

Notre travail consiste à étudier et dimensionner un hangar qui a une structure métallique et fait partie du projet de OCP SIDI CHENANE-ATELIER MAINTENANCE, situé à Khouribga. La structure est  $5m$  de large et  $12m$  de long avec une distance entre les poteaux de  $4m$  pour un total de 4 portiques. Le cahier des charges de cette structure présente les données suivantes :

#### 2.1.1 Implantation

Cette structure est implantée dans la région de Khouribga, qui est définie dans les règlements marocains : vent zone I ( veuillez consulté l'annexe A)

#### 2.1.2 Les dimensions géométriques

Hauteur total	$H = 6.25m$
Longueur total	$L = 12m$
Hauteur du poteau (pont roulant)	$h_r = 4.75m$
Hauteur total des poteaux	$h = 5.5m$
Distance entre portique	$D = 4m$
Toiture a multi versant de pente	$\alpha=16.70$

TABLE 2.1 – dimensions géométriques de l'atelier

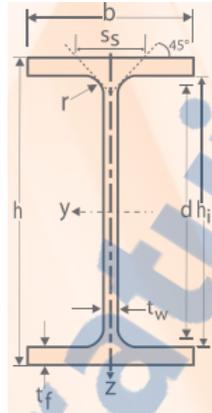
#### 2.1.3 Règlements utilisés

Au Maroc, les règles *CM66* concernant le calcul des sollicitations et la vérification de la stabilité (flambement, déversement et voilement), et *NV65* pour le calcul de l'effet du vent et de la neige sur la structure, sont encore utilisées. Par contre, en France, comme tous les pays d'Europe, sont passés aux règles européennes :

- Eurocode 1 : pour le calcul des effets du vent et de la neige.
- Eurocode 3 : pour le calcul des structures métalliques.

### Système de repérage dans CM66

Le système utilisé est un système d'axes de coordonnées cartésiennes, liées à la section, dont l'origine passe par le centre de gravité de la section comme le montre la figure ci-dessous :



Avec :

- L'axe des y est l'axe de plus forte inertie.
- L'axe des z est l'axe de plus faible inertie.
- L'axe des x est l'axe longitudinal perpendiculaire à la section.

## 2.2 Généralités sur les charpentes métalliques :

Une construction à charpente métallique permet un gain financier d'environ 10% par rapport à une construction béton ou bois. Cette économie importante est liée en grande partie au mode de fabrication d'une structure acier. D'abord, puisque tout est préparé en atelier, sur le chantier seul l'assemblage est à mettre en œuvre et aussi le poids réduit de la structure entraîne des économies logistiques d'une part, d'autre part sur l'épaisseur des fondations qui peuvent être sensiblement réduites. Sur le long terme, ce type de construction est rentable grâce à une isolation extérieure optimale et à l'inertie thermique de ces constructions, les frais de chauffage sont réduits quant aux frais d'entretien ils sont quasi inexistantes.

### 2.2.1 Construction en acier Vs Construction en béton :

Comparant aux structures en béton, armé ou précontraint, les structures métalliques présentent de nombreux avantages et certains inconvénients.

**Principaux avantages :**

- Industrialisation totale : il est possible de pré-fabriquer intégralement des bâtiments en atelier avec une grande précision et une grande rapidité, le montage sur site par boulonnage est d'une grande simplicité.

- Transport aisé : en raison du poids bas permettant de transporter loin et en particulier à l'exportation.
- Résistance mécanique : grâce à la grande résistance de l'acier à la traction nous aurons une durée de vie plus longue.
- La possibilité d'adaptation plastique offre une grande sécurité.
- La tenue aux séismes est bonne, grâce à la ductilité de l'acier, ce dernier résiste grâce à la formation des rotules plastiques ainsi que sa résistance en traction qui est équivalente à celle en compression, ce qui lui permet de reprendre des inversions de moments imprévus.
- Modifications (transformations, adaptations. . .) sont aisément réalisables.
- Possibilités architecturales : beaucoup plus étendues qu'en béton.

### **Principaux inconvénients :**

- Résistance en compression moindre que le béton.
- Susceptibilité aux phénomènes d'instabilité élastique en raison de la minceur des profils.
- Mauvaise tenue au feu, exigeant des mesures de protection coûteuses.
- Nécessité d'entretien régulier des revêtements protecteurs contre la corrosion pour assurer la pérennité de l'ouvrage.

### **Les dangers de la construction métallique :**

En comparaison avec des constructions en béton armé ou précontraint, les constructions métalliques exigent une attention toute particulière portée sur certains points :

- Les assemblages (boulonnages, soudages), afin de se prémunir contre leurs risques de rupture brutale qui conduiraient à la rupture de l'ouvrage par effondrement.
- Les phénomènes d'instabilité élastique 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, ces phénomènes sont :
  - ✓ Le flambement qui affecte les barres simplement comprimées (flambement simple) ou comprimées et fléchies (flambement flexion).
  - ✓ Le déversement qui affecte les semelles comprimées des pièces fléchies.
  - ✓ Le voilement qui affecte les âmes des pièces fléchies.

## **2.2.2 Schémas statiques**

Les portiques qui constituent l'ossature principale des bâtiments, sont composés de fermes (ou traverses) qui supportent les pannes et des poteaux qui supportent les traverses, leur conception technologique est variable en fonction notamment :

- De leur portée.
- Du schéma statique retenu pour la structure (qui dépend de la nature du sol, de l'existence ou non de ponts roulants, de la nature des équipements secondaires, etc. . .).
- Des pratiques ou des systèmes de fabrication des constructeurs.

Les portiques peuvent être constitués :

- Soit de profils à inertie constante (IPE, HEA. . .).

- Soit comporter des renforts au niveau des moments maximaux : jarrets aux appuis sur poteaux et clés de faitage en milieu de travée.
- Soit de profils à inertie variable, reconstitués soudés (PRS). Les premiers sont les plus utilisés ; cependant pour les grandes portées, les PRS à inertie variable permettent d'ajuster la section aux sollicitations et donc de gagner du poids et donc du prix.

**Schéma statique des structures portiques :** On peut les regrouper en deux catégories : ceux à pieds de poteaux articulés et ceux à pieds de poteaux encastrés. Il faut bien se rendre compte que plus les structures sont de degrés d'hyperstaticité élevé, plus elles sont stables, rigides et indéformables, mais plus leur coût est élevé (matière et main d'œuvre).

Pied de montant	Système statique (exemples)	Degré d'hyperstaticité	Type de cadre
Articulé 		-1	Instable (mécanisme)
		0	Isostatique
		+1	Hyperstatique
Encastré 		0	Isostatique
		+1	Hyperstatique
		+2	Hyperstatique
		+3	Hyperstatique

FIGURE 2.1 – schéma statique

### 2.2.3 Terminologie d'une ossature métallique

La figure donne les principaux termes utilisés pour les charpentes et les bardages métalliques.

1	Poteau (HEA ou IPE)
2	Traverse (HEA ou IPE)
3	Lisse filante
4	Baïonnette
5	Diagonale de versant
6	Panne (IPN ou IPE)
7	Chêneau en tôle pliée
8	Faitière métallique
9	Couvertine métallique
10	Gouttière 1/2 ronde
11	Châssis vitré
12	Bardage métallique à ondes verticales
13	Lisse de bardage
14	Croix de Saint-André
15	Potelet de pignon (HEA ou IPE)
16	Jarret

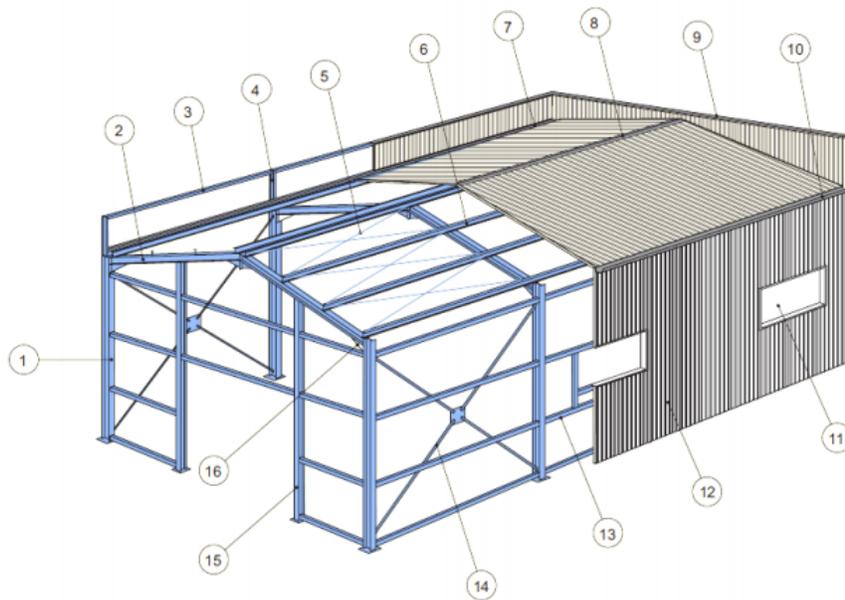


FIGURE 2.2 – Nomenclature de la charpente métallique

## 2.3 Calcul de l'effet du vent

L'action du vent est une surcharge climatique appliquée sur toutes les faces de la charpente métallique et qui peut engendrer des effets non négligeables. Ces actions sont calculées en déterminant les coefficients correcteurs de la pression élémentaire conformément aux règles Neige et Vent 1965 (NV65).

### 2.3.1 Pression dynamique corrigée du vent

Selon NV65, l'action exercée par le vent sur une des faces d'un élément de paroi est considérée comme normale à cet élément, elle est en fonction de :

- La vitesse du vent.
- La catégorie de la construction et de ses proportions d'ensemble.
- L'emplacement de l'élément considéré dans la construction et de son orientation par rapport au vent.
- Les dimensions de l'élément considéré.
- La forme de la paroi (plane ou courbe) à laquelle appartient l'élément considéré.

La pression élémentaire s'exerçant sur l'une des faces d'un élément de parois est donnée par :

$$P = V_n = q_h \cdot k_s \cdot k_m \cdot \delta \cdot c_r \quad \text{D'après NV65} \quad (2.1)$$

Avec

$q_h$  : Pression dynamique agissant à la hauteur  $h$ .

$k_s$  : Coefficient de site.

$k_m$  : Coefficient de masque.

$\delta$  : Coefficient de réduction des pressions dynamiques.

$c_r$  : Coefficient résultant.

Soit  $q_h$  la pression dynamique agissant à la hauteur  $h$  au-dessus du sol exprimée en mètre,  $q_{10}$  la pression dynamique de base à 10m de hauteur, pour  $h$  compris entre 0 et 500m, le rapport entre  $q_h$  et  $q_{10}$  est défini par la formule :

$$\frac{q_h}{q_{10}} = 2.5 \frac{h + 18}{h + 60}$$

Lorsque le sol environnant la construction présente des dénivellations avec fortes pentes, la hauteur  $h$  est comptée à partir d'un niveau intérieur à celui du pied de la construction.

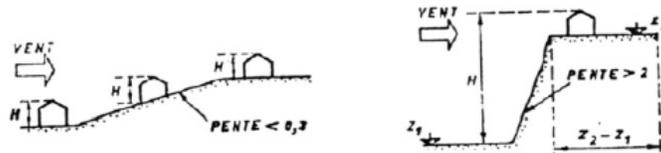


FIGURE 2.3 – La Hauteur  $h$

Avant d'aborder le calcul des sollicitations sur un élément, il faut procéder à des déterminations successives des différents paramètres cités précédemment en suivant l'ordre dans lequel ils sont présentés dans NV65.

### 2.3.2 Pression dynamique de base

Pour des régions à une altitude inférieure ou égale à 1000 m nous avons le tableau suivant :

Régions	Pression dynamique de base normale ( $daN/m^2$ )	Pression dynamique de base extrême ( $daN/m^2$ )
Région I	53.5	93.6
Région II	68	119
Région III	135	236
Région IV	-	-

TABLE 2.2 – Pression dynamique de base

D'après la carte des régions, Khouribgra se situe dans la régions I (Annexe A).  
alors

$$q_h = 53.5 daN/m^2$$

### 2.3.3 Effet de site

A l'intérieur d'une région à laquelle correspond des valeurs déterminées par des pressions dynamiques de bases, il convient de tenir compte la nature du site d'implantation de la construction. Les règles considèrent trois types de sites :

- Site protégé : fond de cuvette bordé de collines sur tout son pourtour et protégé ainsi pour toutes les directions du vent.
- Site normal : plaine ou plateau de grande étendue pouvant présenter des dénivellations peu importantes, de pente inférieure à  $10^\circ$ .
- Site exposé : au voisinage de la mer, le littoral en général ( sur une profondeur d'environ 6 Km), le sommet des falaises, les îles et presqu'îles.

Les valeurs des pressions dynamiques de base normale et extrême doivent être multipliées par un coefficient de site  $K_s$ , égal à :

Zone	I	II	III	IV
Site protégé	0.80	0.80	0.80	0.80
Site normal	1	1	1	1
Site exposé	1.35	1.30	1.25	1.20

TABLE 2.3 – coefficient de site

pour notre cas, nous avons un site normal, d'où :

$$k_s = 1.00$$

### 2.3.4 Effet de masque

Il y a un effet de masque lorsqu'une construction est masquée partiellement ou totalement par d'autres constructions ayant une grande probabilité de durée. L'effet de masque peut se traduire :

- Soit par une aggravation des actions du vent, lorsque la construction située derrière le masque se trouve dans une zone de sillage turbulent, dans ce cas, il n'est pas possible de formuler de règles ; seuls des essais en soufflerie peuvent donner des renseignements précis.
- Soit par une réduction des actions du vent dans les autres cas, les pressions dynamiques de bases peuvent alors être réduites de 25 %, les surfaces intéressées doivent remplir simultanément les deux conditions suivantes :
  - ✓ Être abritées entièrement par le masque pour toutes les directions du vent dans le plan horizontale.
  - ✓ Être situées au-dessous de la surface décrite par une génératrice ayant une pente de 20% vers le sol, dirigée vers l'intérieur du masque et pente appui sur le contour apparent des constructions protectrices.

De manière générale, nous ne tenons pas compte des effets de masque dus aux autres constructions masquant partiellement ou intégralement la construction étudiée, nous utilisons alors :

$$k_m = 1$$

### 2.3.5 Effet des dimensions

L'action du vent s'exerçant sur une paroi n'est pas uniforme en raison des tourbillons locaux (plus faibles sur une grande surface). On prend en considération ce phénomène en utilisant un coefficient  $\delta$ , dit coefficient de réduction des pressions dynamiques, qui tient compte de la variation de la pression dynamique moyenne du vent en fonction de la plus grande dimension de la surface frappée de la paroi de l'élément à dimensionner.

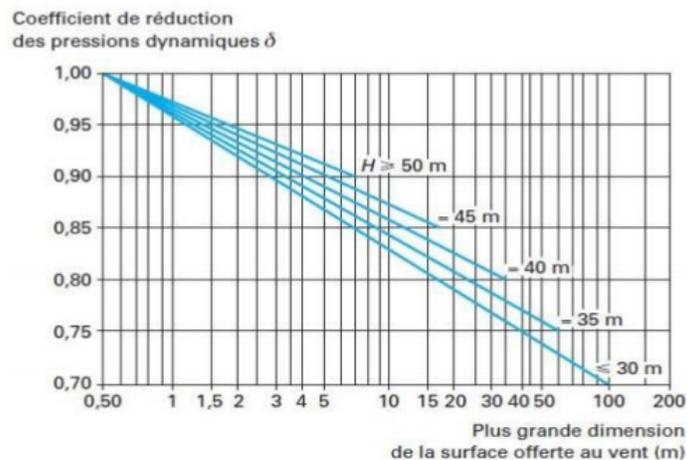


FIGURE 2.4 – coefficient de réduction  $\delta$

### 2.3.6 Actions extérieures et intérieures du vent

Qu'elle que soit la construction, la face extérieure de ses parois est soumise :

- A des succions, si les parois sont sous le vent.
- A des pressions si elles sont au vent.

Ces actions sont dites actions extérieures.

Dans les constructions fermées, ouvertes ou partiellement ouvertes, les volumes intérieurs compris entre les parois peuvent être dans un état de surpression ou de dépression suivant l'orientation des ouvertures par rapport au vent et leur importance relative, il en résulte sur les faces intérieures des actions dites actions intérieures.

Les actions extérieures sont caractérisés par un coefficient  $C_e$ , les actions intérieures par un coefficient  $C_i$ .

**Calcul de  $C_e$  :**

**Pour des parois verticales :**

- Si la paroi est au vent  $C_e = 0,8$
- Si la paroi est sous vent  $C_e = -(1,3\gamma_0 - 0,8)$

La valeur du coefficient  $\gamma_0$  est donnée par l'abaque suivant :

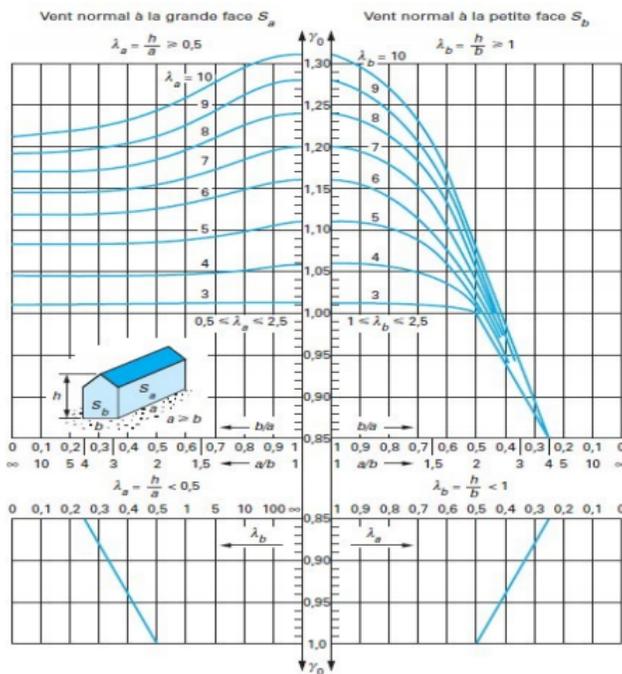


FIGURE 2.5 – coefficient  $\gamma_0$

Pour un vent normal à la grande face  $S_a$  :

- Si  $\lambda_a > 0,5$  par le quadrant supérieur gauche en fonction de  $\lambda_a$  et de  $b/a$ .
- Si  $\lambda_a < 0,5$  par le quadrant inférieur gauche en fonction de  $\lambda_b$ .

Pour un vent à la petite face  $S_b$  :

- Si  $\lambda_b > 1$  par le quadrant supérieur droit en fonction de  $\lambda_b$  et de  $b/a$ .
- Si  $\lambda_a < 1$  par le quadrant inférieur droit en fonction de  $\lambda_a$ .

Calcul de rapport de dimension  $\lambda$  : Pour une direction de vent donnée, le rapport de dimension est le rapport de la hauteur  $h$  de la construction et la dimension horizontale de la face frappée :

$$\lambda_a = \frac{h}{a} \quad \text{et} \quad \lambda_b = \frac{h}{b}$$

**Pour les toitures :** Pour un vent normal aux génératrices, dans le cas de toitures à versants plans dont la flèche  $f$  est inférieure à la moitié de la hauteur  $h$  de la construction, le coefficient de pression extérieur est déterminé par le diagramme suivant en fonction de l'angle d'inclinaison.

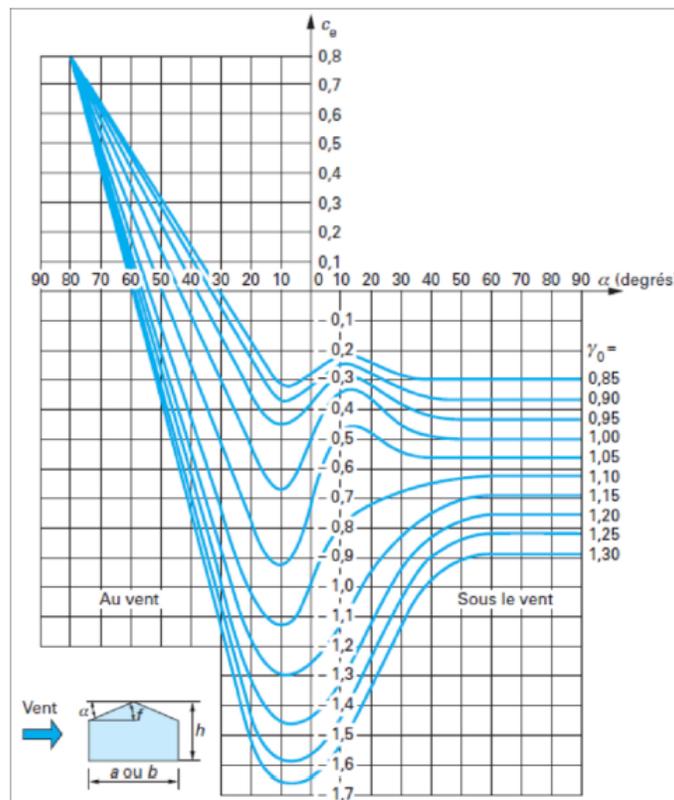


FIGURE 2.6 – Actions extérieures du vent sur la toiture

### Calcul de $c_i$ :

Les coefficients de pression  $C_i$  dépendent de la perméabilité  $\mu$  de la construction. La perméabilité d'une paroi est égale au rapport de la surface totale de ses ouvertures sur la surface totale de la paroi. Selon NV65 nous avons trois catégories de constructions :

- Construction fermée :  $\mu \leq 5\%$ .
- Construction partiellement ouverte :  $5\% < \mu < 35\%$ .
- Construction ouverte :  $\mu \geq 35\%$ .

Pour une construction fermée, les parois ont une perméabilité  $\mu < 5$  ; nous appliquons simultanément sur les faces intérieures de tous les compartiments :

- ✓ Soit une surpression avec  $C_i = 0,6(1,8 - 1,3\lambda_0)$
- ✓ Soit une dépression avec  $C_i = -0,6(1,3\lambda_0 - 0,8)$

La soustraction ( $C_e - C_i$ ) correspond au coefficient de l'action d'ensemble ou coefficient résultant  $C_r$ .

## 2.4 Résultats :

Ces résultats sont générés par le logiciel ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS. Nous allons prendre pour le moment la valeur maximale pour les pannes et les lisses et pour la note globale du vent voir l'annexe B.

- Les pannes :

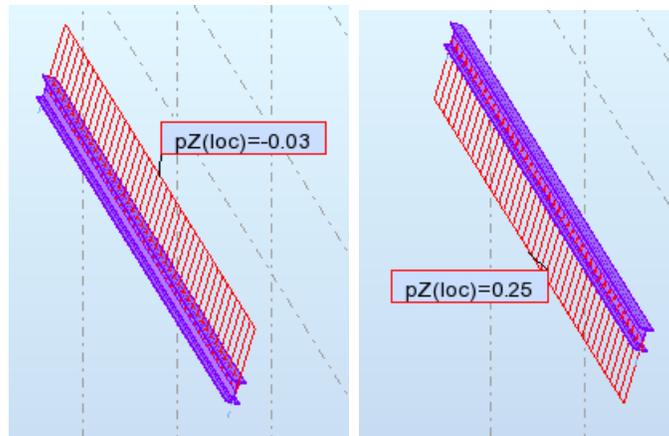


FIGURE 2.7 – force du vent sur les pannes

- Les Lisses :

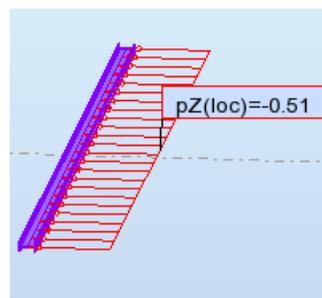


FIGURE 2.8 – force du vent sur les lisses

## 2.5 Dimensionnement des éléments secondaires de l'ossature

Les éléments secondaires sont destinés à reprendre les sollicitations dues au vent et assurer la stabilité d'ensemble de la structure. Dans cette partie, nous calculons les pannes, les liernes et les

lisses de bardages et enfin les poutres de roulement.

### 2.5.1 Calcul des pannes

**Définition** Les pannes sont des poutres destinées à transmettre les charges et les surcharges s'appliquant sur la couverture à la traverse ou bien à la ferme, elles sont réalisées soit en profilé ( I ,  $\square$  ), soit à treillis pour les portées supérieures à 6m .

**Principe de calcul :**

- Les charges permanentes sont appliquées dans le sens de gravitation.
- Le vent agit perpendiculairement à la face des éléments (axe de grande inertie).
- On prend la combinaison la plus défavorable.

**Les caractéristiques des pannes :** Chaque panne repose sur 2 appuis de distance  $L = 4m$ , en ajoutant des liernes à tri portée selon le même axe.

Le porté entre axe des pannes  $d = 0.5m$  (espace entre 2 pannes)..

L'angle des versants de Halle est égale :  $\alpha = 16.70^\circ$

Les pannes sont en acier S235, dont les caractéristiques suivantes :

- $f_y = 23,5 \text{ daN/mm}^2$  (la limite élasticité d'acier)
- $E = 21000 \text{ daN/mm}^2$  (le module d'élasticité longitudinale de l'acier)

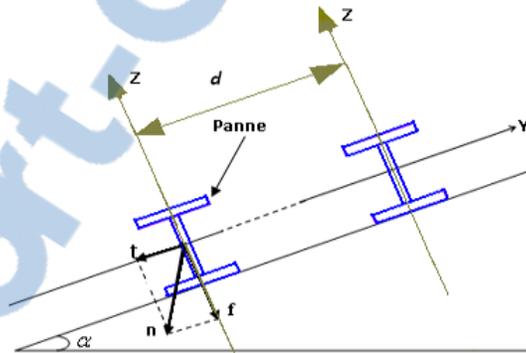


FIGURE 2.9 – Disposition des pannes

### 2.5.2 Evaluation des charges et surcharges :

**Les charges permanentes :**

- poids propre de la panne ( choisissant IPE80)

$$G_p = 6kg/m$$

- poids de la couverture ( bardage)

$$G_b = 6.98 \text{ kg/m}^2$$

donc le poids total est :

$$G = G_p + d \cdot G_b$$

$$G = 9.49 \text{ Kg/m}$$

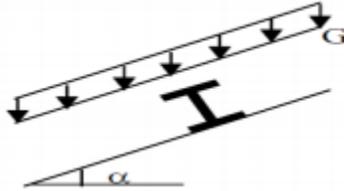


FIGURE 2.10 – Charges permanents

**Les charges du vent :**

Surcharge du vent (V) perpendiculaire au versant.

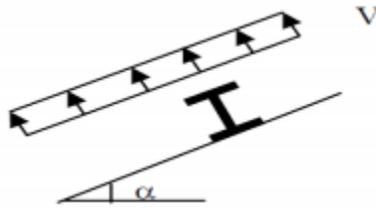


FIGURE 2.11 – Charges du vent

$$V_n = P_z \cdot d = -25 \times 0.5 = -12.5 \text{ daN/m (vers le haut)}$$

$$V_e = 1.75 \cdot V_n = -21.875 \text{ daN/m}$$

$$V_n = P_z \cdot d = 3 \times 0.5 = 1.5 \text{ daN/m}$$

$$V_e = 1.75 \cdot V_n = 2.625 \text{ daN/m}$$

### Les charges d'entretiens :

Dans le cas des toitures inaccessibles on considère uniquement dans les calculs, une charge d'entretien qui égale aux poids d'un ouvrier et son assistant et qui est équivalente à deux charges concentrées de  $100\text{kg} = (100\text{daN})$  chacune située à  $1/3$  et  $2/3$  de la portée de la panne .

La charge uniformément répartie  $P_{eq}$  due aux charges d'entretiens est obtenue en égalisant les deux moments maximaux dû à  $P_{eq}$  et aux charges ponctuelles  $P$ .

$$M_{max} = P \frac{l}{3} = P_{eq} \frac{l^2}{8}$$

$$P_{eq} = \frac{8P}{3l} = \frac{8 \times 100}{3 \times 4} = 66.67 \text{ daN/m}$$

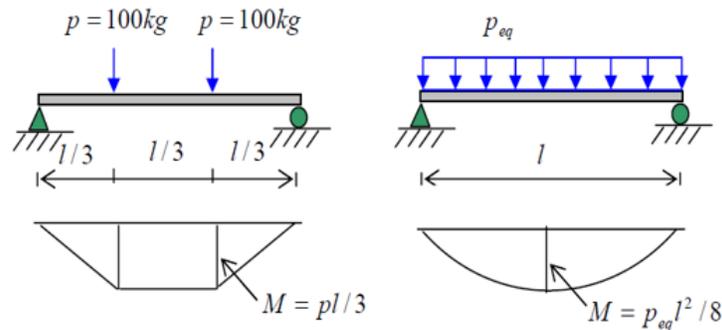


FIGURE 2.12 – surcharge d'entretien

### Combinaison des charges les plus défavorables :

Vers le bas :

$$\frac{4}{3}G + \frac{3}{2}P = 112.658 \text{ daN/m}$$

$$\frac{4}{3}G + \frac{3}{2}V_n = 14.9033 \text{ daN/m}$$

Vers le haut :

$$G + V_e = -12.385\text{daN/m}$$

la combinaison la plus défavorable est la première, donc

$$Q = 112.658 \text{ daN/m}$$

$$Q_z = Q \cos(\alpha) = 112.658 \cos(16.70) = 107.91 \text{ daN/m}$$

le moment suivant l'axe  $y$

$$M_y = Q_z \frac{l^2}{8} = 215.82 \text{ daN.m}$$

$$Q_y = Q \sin(\alpha) = 32.37 \text{ daN/m}$$

le moment suivant l'axe  $z$

$$M_z = Q_y \frac{(\frac{l}{2})^2}{8} = 16.185 \text{ daN.m}$$

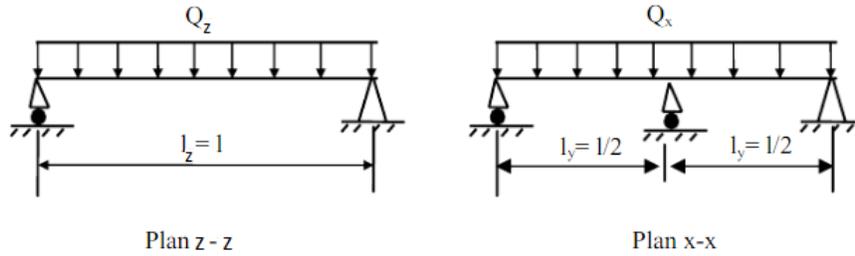


FIGURE 2.13 – disposition des charges sur une panne

### 2.5.3 Dimensionnement de la panne :

Les pannes sont dimensionnées par le calcul pour satisfaire simultanément aux conditions suivantes :

#### Véorification à la résistance :

pour que la panne soit résistant, il faut que :

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} \leq \sigma_e \\ &= \frac{M_y}{W_y} \left( 1 + \frac{W_y}{W_z} \frac{M_z}{M_y} \right) \\ &= \frac{M_y}{W_y} \left( 1 + \eta \frac{M_z}{M_y} \right) \leq \sigma_e \quad \text{avec} \quad \eta = \frac{W_y}{W_z} \end{aligned}$$

ce qui donne

$$W_y \geq \frac{M_y}{\sigma_e} \left( 1 + \eta \frac{M_z}{M_y} \right) \quad (2.2)$$

$\eta \approx 6$  à  $9$  pour les poutres en  $I$  (soit  $\eta = 7$ )

$$W_y \geq \frac{215.82}{23.5 \times 10^6} \left( 1 + 7 \frac{16.185}{215.82} \right)$$

Donc  $W_y$  doit être supérieur à :  $14 \text{ cm}^3$  et c'est le cas pour  $IPE80$  (voir l'annexe D).

### Vérification à la flexion :

Il faut que

$$\left(\frac{M_y}{M_{ply}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_z}{M_{plz}}\right)^\beta \leq 1. \quad (2.3)$$

ou  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes qui placent en sécurité si elles sont prises égales à l'unité, mais peuvent prendre les valeurs suivants, pour les profilés  $I$  et  $H$  nous avons :

$$\alpha = 2 \quad \text{et} \quad \beta = 1$$

$$\begin{aligned} M_{ply} &= \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{m1}} & (2.4) \\ &= \frac{23.22 \times 23.5}{1.1} \\ &= 496 \text{ daN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{plz} &= \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{m1}} & (2.5) \\ &= \frac{5.82 \times 23.5}{1.1} \\ &= 124.34 \text{ daN.m} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{M_y}{M_{ply}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_z}{M_{plz}}\right)^\beta = 0.319 \leq 1$$

donc vérifié.

### Vérification au Cisaillement :

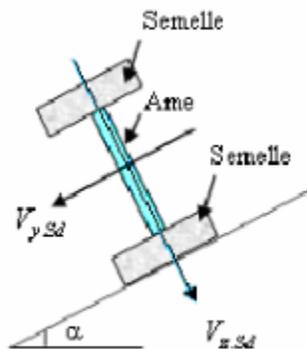


FIGURE 2.14 – cisaillement des pannes

Il faut que

$$V_z < V_{plz}$$

Et

$$V_y < V_{ply}$$

Avec

$$\begin{aligned} V_{plz} &= \frac{A_{vz} \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{m1}} \\ &= \frac{3.58 \frac{23500}{\sqrt{3}}}{1.1} \\ &= 4415.68 \text{ daN} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Et

$$\begin{aligned} V_{ply} &= \frac{A_{vy} \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{m1}} \\ A_{vy} &= 2b \cdot t_f = 478.4 \text{ mm}^2 \\ V_{ply} &= 5900,72 \text{ daN} \end{aligned} \quad (2.7)$$

D'autre coté :

$$\begin{aligned} V_z &= \frac{Q_z \cdot l}{2} = 215.82 \text{ daN} \\ V_y &= \frac{5Q_y \cdot \frac{l}{2}}{8} = 40.4625 \text{ daN} \end{aligned}$$

Donc vérifié.

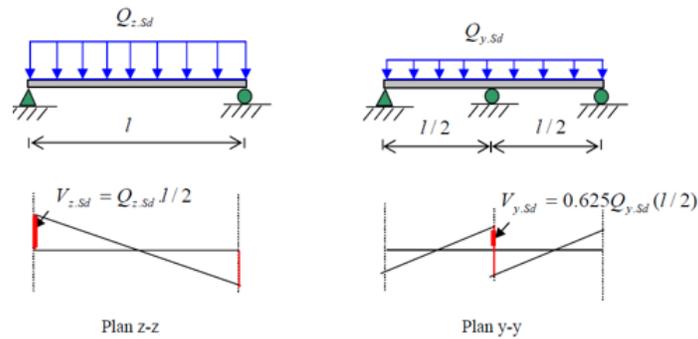


FIGURE 2.15 – cisaillement des pannes

### Vérification au déversement

Déversement = flambement latéral + rotation de la surface transversale.  
La formule de vérification au déversement est la suivante :

$$\frac{M_y}{M_f} + \frac{M_z}{M_{plz}} \leq 1 \quad (2.8)$$

### Calcul de moment ultime :

Pour la semelle supérieur : (soulèvement)

$$Q = -12.385 \text{ daN/m}$$

$$Q_y = |Q_{max}| \sin(\alpha) = 3.56 \text{ daN/m}$$

$$Q_z = |Q_{max}| \cos(\alpha) = 11.86 \text{ daN/m}$$

$$M_y = Q_z \frac{l^2}{8} = 32.72 \text{ daN.m}$$

$$M_z = Q_y \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = 1.78 \text{ daN.m}$$

### Calcul du moment de déversement :

#### La classe de la section

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1.0$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} = \frac{46}{5.2} = 4.42 \leq 10\varepsilon$$

→ semelle de classe *I*

$$\frac{c}{t_f} = \frac{d}{t_w} = \frac{69.6}{3.8} = 18.315 \leq 72\varepsilon$$

→ l'âme de classe *I*

⇒ la section est de classe *I*

- Calcul du moment résistant au déversement :

Le moment de flexion maximal  $M_f$  selon  $z-z'$  doit être inférieur au moment ultime de déversement :

$$M_f = \frac{\chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{m1}} \quad (2.9)$$

Classe *I* →  $\beta_w = 1$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left( \frac{\beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}} \right)^{0.5} = \left( \frac{\lambda_{Lt}}{\lambda_1} \right) \cdot [\beta_w]^{0.5} \quad (2.10)$$

où :

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9\varepsilon. \quad (2.11)$$

et

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (2.12)$$

nous avons  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$   
d'où :

$$\varepsilon = 1$$

et

$$\lambda_1 = 93.9$$

pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilé laminé  $I$  et  $H$ ), l'élanement  $\lambda_{LT}$  vaut :

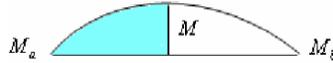
$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{C_1^{0.5} \left( 1 + \frac{1}{20} \left( \frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right)^{0.25}} \quad (2.13)$$

Dans le cas des poutres soumis des moments à l'extrémité

$$C_1 = 1.88 - 1.40\psi + 0.52\psi^2. \quad (2.14)$$

$$\psi = \frac{M_a}{M_b}$$

avec  $M_a \leq M_b$



poutre simple appuyée avec charge à mi-travée :

$L = 200 \text{ cm}$  : longueur libre entre appuis latéraux

$$\psi = \frac{M_a}{M_b} = 0 \rightarrow C_1 = 1.88$$

après, il faut calculer :

$$\Phi_{LT} = 0.5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2)) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \quad (2.15)$$

avec  $\alpha_{LT} = 0.21$  et enfin

$$\frac{1}{\Phi_{LT} + (\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT})^{0.5}} \quad (2.16)$$

Pour la poutre  $IPE80$  On trouve :

$$\lambda_{LT} = 80.97 \quad \bar{\lambda}_{LT} = 0.862 \quad \chi_{LT} = 0.758$$

$$\Phi_{LT} = 0.941032$$

$$M_f = 375.70 \text{ daN.m}$$

$$\Rightarrow M_u < M_f$$

$$\frac{M_y}{M_f} + \frac{M_z}{M_{plz}} = 0.1014$$

donc vérifié.

### Vérification de la flèche :

Le calcul de la flèche se fait par la combinaison de charges et surcharges de service (non pondérées)

- $G + P = 66.67 + 9.49 = 76.16 \text{ daN/m}$
  - $G + V_e = 9.49 - 21.875 = -12.385 \text{ daN/m}$
- $$Q = \max(Q_i) = 76.16 \text{ daN/m}$$
- $$Q_z = Q \cos(\alpha) = 72.95 \text{ daN/m}$$
- $$Q_y = Q \sin(\alpha) = 21.88 \text{ daN/m}$$

condition de vérification :

$$f \leq f_c$$

avec

$$f_c = \frac{l}{200} = 2 \text{ cm}$$

La flèche maximale d'une poutre continue sur 2 appuis est :

$$f_z = 5 \times q_z \frac{L^4}{384 \times E \times I_y} = 5 \times 72.95 \times \frac{400^4 \times 10^{-2}}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 80.1} = 1.45 \text{ cm} < f_c = 2 \text{ cm}$$

La flèche maximale d'une poutre continue sur 3 appuis est :

$$f_y = 2.05 \times q_y \times \frac{l^4}{384 \times E \times I_z} = 0.1 \text{ cm} < \frac{l}{200} = 1 \text{ cm}$$

Vérifiée

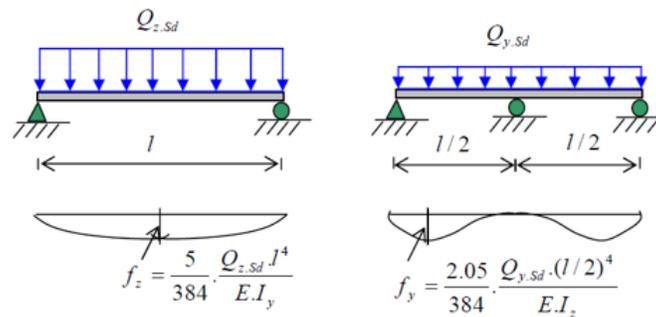


FIGURE 2.16 – la fleche suivant  $y - y'$  et  $z - z'$

**conclusion :** la panne a retenue est IPE80.

### 2.5.4 Calcul des liernes

Les liernes sont des tirants qui fonctionnent en traction, ils sont généralement formés de barres rondes ou de petites cornières, leur rôle principal est d'éviter la déformation latérale des pannes.

### Calcul de l'effort maximal revenant aux liernes :

La réaction R au niveau du lierne :

$$R = 1.25Q_y \frac{L}{2} = 1.25 \times 32.43 \times 2 = 81.075 \quad daN$$

- Effort de traction dans le tronçon de lierne L1 provenant de la panne sablière :

$$T_1 = \frac{R}{2} = 40.5375 daN$$

- Effort dans le tronçon L2 :

$$T_2 = R + T_1 = 121.6125 daN$$

- Effort dans le tronçon L3 :

$$T_3 = R + T_2 = 202.6875 daN$$

- Effort dans le tronçon L4 :

$$T_4 = R + T_3 = 283.7625 daN$$

- Effort dans les diagonales L5 :

$$T_5 = \frac{T_4}{2 \sin(\theta)}$$

avec

$$\theta = \arctan\left(\frac{0.522}{2}\right) = 14.63$$

$$\text{Donc } T_5 = 561.74 \quad daN$$

**Remarque :** Les liernes sont des tirants qui fonctionnent en traction et qui sont soumis à des efforts croissants, au fur et à mesure qu'ils se rapprochent du faitage. Les efforts de traction sollicitant les liernes ne peuvent pas être attachés aux pannes faitières, qui périraient transversalement. Ils sont donc transmis aux fermes (traverse) par des tirants en diagonale (bretelles).

### Dimensionnement des liernes :

Le tronçon le plus sollicité est L5, nous avons une traction simple donc il faut que :

$$N < N_{pl}$$

avec

$$N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$N = T_5$$

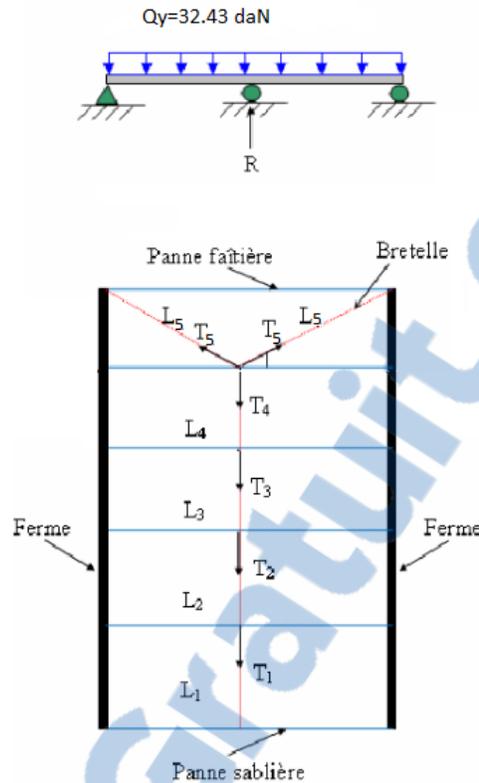


FIGURE 2.17 – les forces dans les liernes

$$A > \frac{T_5 \cdot \gamma_{m1}}{f_y} = 0.26 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{\Phi^2 \pi}{4} > 0.26 \text{ cm}^2$$

$$\Phi > 0.58 \text{ cm} = 5.8 \text{ mm}$$

Pour des raisons pratiques et pour plus de sécurité on prend une barre ronde de diamètre  $\Phi = 10 \text{ mm}$  (barre rond)

### 2.5.5 Calcul des lisses

Les lisses de bardage sont constituées de poutrelles (*IPE, HEA, UPN*) disposées horizontalement, elles portent sur les poteaux de portique ; ils sont sollicités à leur poids propre dans le plan vertical et à l'effort de vent dans le plan horizontale, d'où elles fonctionnent en flexion déviée. Dans notre projet, les lisses de long pan est de  $4m$  de longueur, posées à un entraxe de  $1m$ , supportent un bardage de poids propre  $6.98Kg/m^2$ .

**Evaluation des charges et surcharges :**

**Charges permanentes (G) :** (perpendiculaire à l'âme).

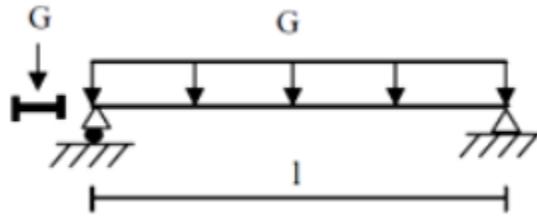


FIGURE 2.18 – :charge permanente sur la lisse

Poids propre de la lisse et du bardage qui lui revient.

Charges accrochées éventuelles.

Bardage :  $6.98 \text{ kg/m}^2$

Poids propre de la lisse : (estimé)

**Surcharge climatiques** (dans le plan de l'âme).

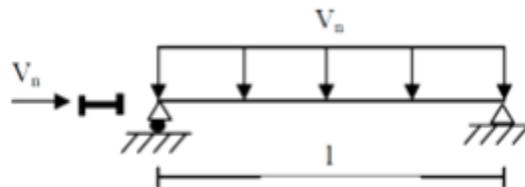


FIGURE 2.19 – :Surcharge climatique sur la lisse

Nous prenons le cas le plus défavorable du vent  $I$ .

$$W_n = 0.51 \quad K P_a = 51 \quad \text{daN/m}$$

Donc, soit à dimensionner les lisses de bardage de long pan de longueur  $4 \text{ m}$ , entraxe  $1 \text{ m}$ .

**Dimensionnement en Flexion horizontal :**

**Condition de résistance :**

Soit le moment ultime :

$$M_y = \frac{W_e \cdot L^2}{8} = \frac{51 \times 1.75 \times 4^2}{8} = 178.5 \quad \text{daN.m}$$

Il faut que

$$M_y \leq M_{pl} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$W_{ply} \geq \frac{M_y \cdot \gamma_{m1}}{f_y} = 8.355 \quad \text{cm}^3$$

qui correspond à *IPE80* ( voir l'annexe C)

**Condition de flèche :**

Condition de vérification :

$$f < f_c$$

avec

$$f_c = \frac{l}{200} = 2 \text{ cm}$$

$$f_z = 5W_n \frac{L^4}{384 \times E \times I_y} = 1.011 \text{ cm} < f_c$$

**Dimensionnement en Flexion verticale :**

Une lisse fléchit verticalement, en outre, sous l'effet de son poids et du poids de bardage qui lui associé. dans le cas de lisse *IPE80* sur 2 appuis ( $l = 4m$ ) la charge verticale est alors :

$$P = 6.98 \times 1m + 6 = 12.98 \text{ Kg/m}$$

$$f_z = 5P \frac{L^4}{384 \times E \times I_z} = 2.43 \text{ cm} > f_c$$

la condition n'est pas vérifiée donc nous allons adopter un profil *IPE100*.

$$P = 6.98 \times 1m + 8.1 = 15.08 \text{ Kg/m}$$

$$f_z = 1.5 \text{ cm}$$

donc vérifiée.

**Vérification contrainte :**

Les contraintes maximal de flexion dû aux moments  $M_y$  et  $M_z$  au niveau des mi-portée doit être vérifiée avec la relation suivante :

$$\frac{M_y}{W_{ely}} + \frac{M_z}{W_{elz}} < f_y$$

$$P = 15.08 \text{ Kg/m}$$

$$M_z = \frac{P \cdot L^2}{8} = 30.16 \text{ daN}$$

$$\frac{M_y}{W_{ely}} + \frac{M_z}{W_{elz}} = 10.43 \text{ daN/mm}^2 < f_y = 23.5 \text{ daN/mm}^2$$

Vérifié.

## 2.6 la poutre de roulement

La manutention d'objets lourds dans un hall industriel nécessite souvent l'emploi d'engins spéciaux dits engins de manutention ou de levage, parmi les engins les plus utilisés, nous trouvons les ponts roulants.

- La voie de roulement : est la structure porteuse de l'engin de levage, constituée de deux poutres de roulement et ses supports, les deux poutres parallèles surmontées d'un rail spécial et sur lesquelles circule le pont roulant.
- La poutre de roulement : est l'élément porteur longitudinal de la voie, les poutres de roulement sont des poutres simples ou continues, leurs appuis sont constitués par corbeaux fixés sur les poteaux de la halle.

Les poutres de roulement supportent les rails, qui transmettent les divers efforts résultant du fonctionnement des ponts roulants par l'intermédiaire des galets. Ces efforts sont :

- Les efforts verticaux  $R1$ , dus aux poids propres du pont roulant, de la charge levée et des poutres de roulement.
- Les efforts horizontaux longitudinaux  $R2$ , dus à l'accélération ou au freinage du pont roulant.
- les efforts horizontaux transversaux  $R3$  dus à l'accélération ou au freinage du chariot et aux frottements.

Compte tenu de la forte sensibilité des poutres de roulement à l'instabilité élastique leur dimensionnement par calculs en plasticité n'est pas admis. Seuls les calculs en élasticité sont applicables.

### 2.6.1 Evaluation des charges :

La poutre de roulement supporte les charges suivantes :

- Masse à lever nominale  $G_1 = 1000 \text{ Kg}$
- Poids propre du chariot et galet  $G_2 = 500 \text{ Kg}$
- Poids propre de la poutre de roulement  $G_3 = 19.9 \text{ Kg/m} \times 4m = 79.6 \text{ Kg}$

D'où

$$P = G_1 + G_2 + G_3 = 1579.6 \text{ Kg}$$

**Charges verticales :**

$$R_{1max} = \frac{1.1P}{2} = \frac{1.1 \times 1579.6}{2} = 868.78 \text{ Kg}$$

**Charge horizontale longitudinale :**

$$R_{2max} = 0,2 \times R_{1max} = 173.756 \text{ Kg}$$

**Charge horizontale transversale :**

$$R_{3max} = 0,1 \times R_{1max} = 86.878 \text{ Kg}$$

### 2.6.2 Dimensionnement de la poutre de roulement :

La flèche admissible est obtenue quand les deux charges sont en position symétrie par rapport au milieu de la poutre.

- Travée de  $l = 4m$  (sur deux appuis simple)
- Distance entre galets  $e = 0.8m$

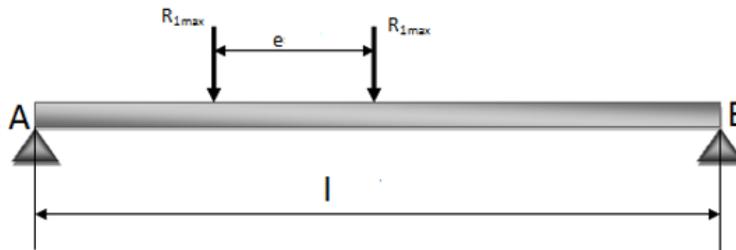


FIGURE 2.20 – disposition des réactions des galets sur la PDR

il faut calculer le moment maximal afin de vérifier la résistance et les autres sollicitations, mais le problème c'est que :

- nous avons une charge statique ( poids propre de la poutre)
- nous avons une charge dynamique (tous ce qui concerne le pont)

pour cela nous allons calculer les moments correspondants au deux types de chargement afin de calculer le moment maximal par une combinaison que nous définirons après.

### Calcul de moment du charge dynamique

- ✓ Le calcul du moment d'une charge roulante sur une poutre isostatique est donné par le théorème de BARRE.
- ✓ Théorème de BARRE : un théorème qui s'applique pour calculer le moment maximal et la flèche admissible d'une poutre isostatique soumise à des charges roulantes qui stipule que le moment est maximum sous une charge lorsque cette charge et la résultante de toutes les charges sont symétriques par rapport à l'axe de symétrie de la poutre.

Ce théorème n'est applicable que si

$$e/l < 0,586.$$

### Application du théorème :

nous avons :

$$\frac{e}{l} = 0,2 < 0,586 \rightarrow \text{le théorème de BARRE est applicable.}$$

D'après le théorème de BARRE le moment dû à la charge roulante est :

$$M_p = \frac{2R_{1max}}{l} \left( \frac{l}{2} - \frac{e}{4} \right)^2 = 1407.42 \text{ kg.m}$$

### Condition de résistance :

il faut que :

$$W_{el} > \frac{M_p}{\sigma_e} = 59.9 \text{ cm}^3$$

qui correspond à *HEA100* ( $W_{el} = 72.76 \text{ cm}^3$ )

$$G_p = 16.7 \text{ Kg/m}$$

⇒ Le moment dû à la charge permanente :

$$M_G = \frac{G_p \cdot l^2}{8} = \frac{16.7 \times 4^2}{8} = 33.4 \text{ kg.m}$$

Le moment maximal pondéré :

$$M_{max} = 1,35 \times M_G + 1,5 \times M_p$$

$$M_{max} = 2156.22 \text{ Kg.m}$$

$$W_{el} < \frac{M_{max}}{\sigma_e} = 91.75$$

!!!! donc nous allons prendre *HEA120*

$$G_p = 19.9 \text{ Kg/m}$$

Le moment dû à la charge permanente :

$$M_G = \frac{G_p \cdot l^2}{8} = \frac{19.9 \times 4^2}{8} = 39.8 \text{ kg.m}$$

Le moment maximal pondéré :

$$M_{max} = 1,35 \times M_G + 1,5 \times M_p$$

$$M_{max} = 2164.86 \text{ Kg.m}$$

$$W_{el} = 106.3 > \frac{M_{max}}{\sigma_e} = 92.12 \text{ OK}$$

### Vérification de la flèche :

La flèche d'une poutre isostatique soumise à une charge uniformément répartie est :

$$f_1 = 5G_p \frac{l^4}{384 \times E \times I_y}$$

$$f_1 = 0.052 \text{ cm}$$

La flèche d'une poutre isostatique soumise aux charges roulantes est donnée par le théorème de BARRE :

$$f_2 = \frac{R_{1max}(l - e)[3l^2 - (l - e)^2]}{48E \cdot I_y}$$

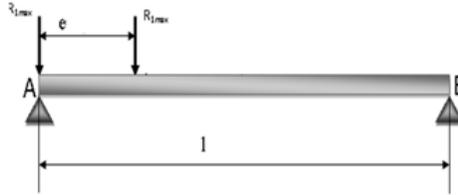
$$f_2 = 1.72 \text{ cm}$$

La flèche totale doit être inférieure à  $\frac{l}{200}$  :

$$f = f_1 + f_2 = 1.78 \text{ cm} < 2 \text{ cm}$$

La flèche est vérifiée.

## Vérification d'effort tranchant



Il convient que la valeur de l'effort tranchant  $V$  dans chaque section satisfasse :

$$V < V_{el}$$

$$V = R_{1max} + R_{1max} \frac{l - e}{l} + G_p \frac{l}{2}$$

$$V = 3301.364 \text{ daN}$$

La résistance ultime au cisaillement est donnée par :

$$V_{el} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{m1} \cdot \sqrt{3}} \text{ avec } A_v = A - 2b \times t_f + (t_w + 2r)t_f = 8.42 \text{ cm}^2$$

$$V_{el} = \frac{8.42 \times 23.5 \times 100}{\sqrt{3} \times 1.1} = 10385.48 \text{ kg}$$

$$V < V_{el}$$

L'effort tranchant est vérifiée

## Vérification au déversement :

Le moment de flexion maximal  $M_f$  doit être inférieur au moment ultime de déversement.

$$M_f = \frac{\chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{m1}}$$

Le  $HEA120$  est de classe 1 donc  $\beta_w = 1$  d'après l'équation (2.11) et (2.12) et (2.13) et (2.15) et (2.16), nous avons trouvé que :

$$\lambda_{LT} = 63.61 \quad \varepsilon = 1 \quad \lambda_1 = 93.9 \quad \bar{\lambda}_{LT} = 0.677$$

$$\Phi_{LT} = 0.78 \cdot \chi_{LT} = 1.075$$

$$M_{dev} = \frac{1.075 \times 119.5 \times 23,5}{1.1} = 2744.43 \text{ kg.m}$$

$$M_{max} < M_{dev}$$

Je vais prendre le profilé  $HEA120$ .

**Conclusion :** Les chemins de roulement sont sollicités par des charges fortes, généralement concentriques et mobiles, le profilé  $HEA120$  résiste aux différentes charges roulantes verticales.

## 2.7 Modélisation de la structure sous Robot :

Les portiques sont les éléments principaux pour une structure métallique, ils supportent les différents efforts agissants sur la structure qui sont de nature permanente, variable ou accidentelle. Le dimensionnement de ces éléments nécessite le calcul des moments sur les appuis des barres, cependant cette tâche est compliquée au niveau du calcul manuel à cause de l'hyperstaticité de la structure, nous proposons de faire ces calculs à l'aide d'un logiciel Robot structural analysis.

### 2.7.1 présentation du logiciel Robot Structural

Autodesk Robot Structural Analysis Professional est une application logicielle collaborative, polyvalente et rapide, capable de calculer les modèles les plus complexes grâce à un maillage automatique d'une puissance exceptionnelle, des algorithmes non linéaires, ainsi qu'un jeu complet de normes de conception, le tout pour des résultats quasiment instantanés.

Autodesk Robot Structural Analysis professional offre également l'avantage d'un flux de travail, enfin gérer la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

collaboratif fluide et d'une remarquable interopérabilité grâce à ces liaisons bidirectionnelles 3D vers les produits complémentaires, il fournit une solution d'analyse évolutive et par pays pour de nombreux types de structures, qu'il s'agisse de bâtiments, d'ouvrages d'art ou de structures spéciales. Robot a été conçu pour modéliser les structures, calculer les efforts internes, les déformations, vérifier les résultats obtenus et dimensionner les éléments spécifiques de la structure avec les exigences réglementaires en vigueur. Le mode opératoire du logiciel robot peut être divisé en plusieurs étapes :

- Définition du modèle de la structure.
- Calculs (statiques ; dynamiques... etc).
- Dimensionnement des éléments de la structure à partir des résultats du calcul obtenus et des normes disponibles

Le schéma ci-dessous présente le mode opératoire standard dans le logiciel :

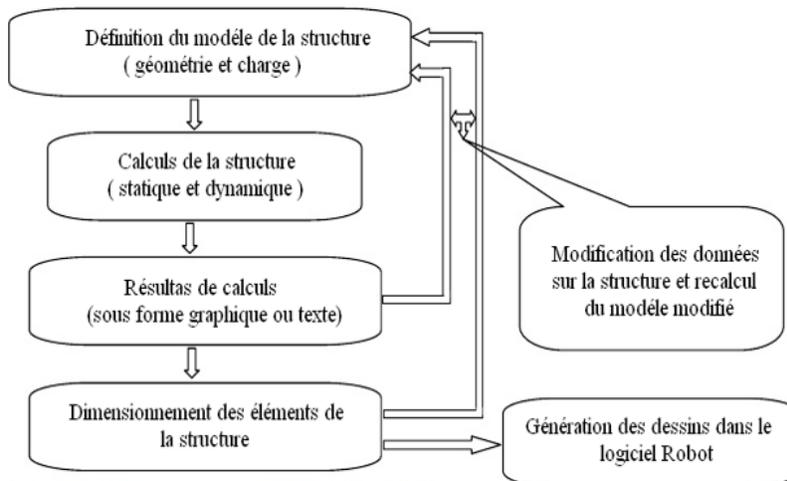


FIGURE 2.21 – le mode opératoire de Robot structural analysis

## 2.7.2 Modélisation de la structure

### Dessin de la charpente

La modélisation de la charpente métallique que nous avons effectuée sous Robot est représentée sur la figure suivante :

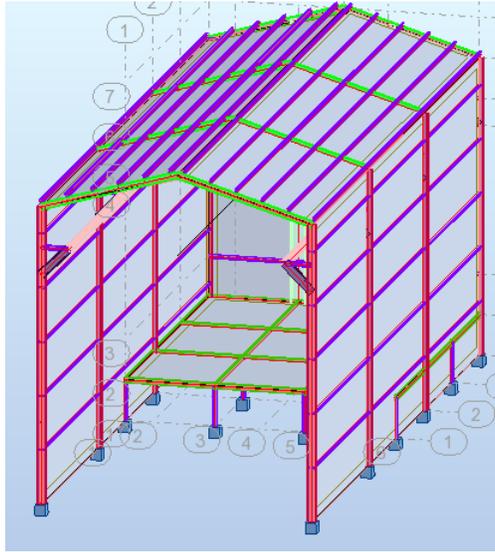
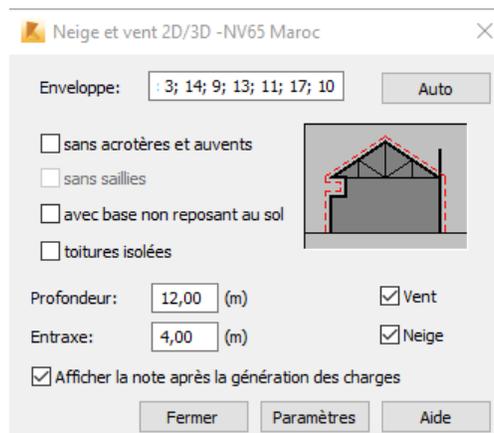


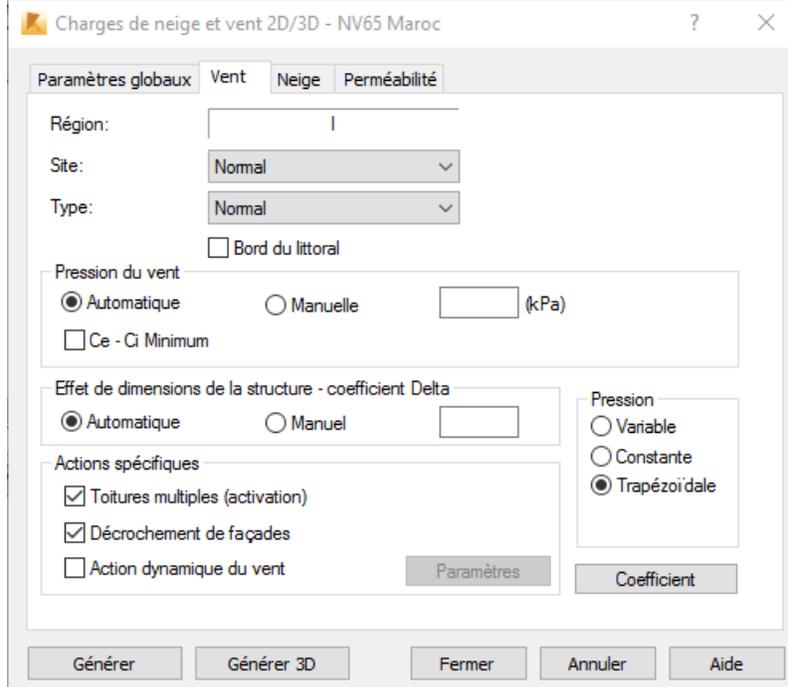
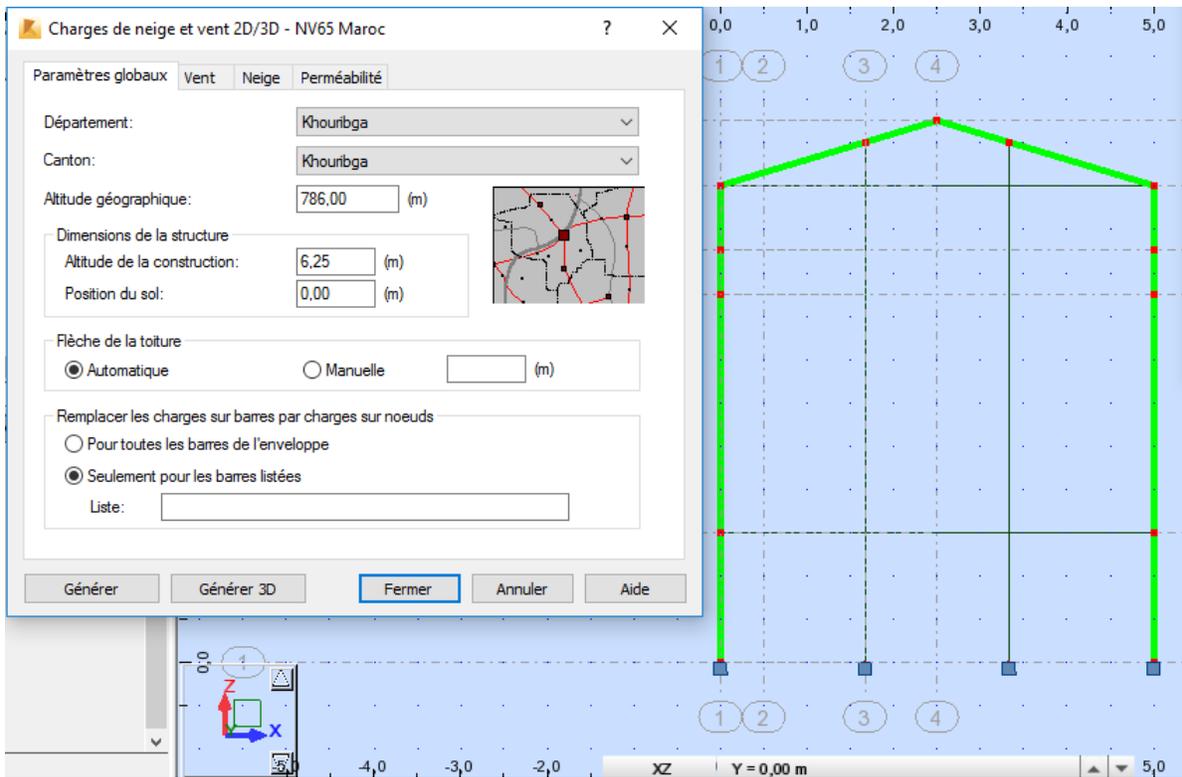
FIGURE 2.22 – Modélisation de la charpente sur robot

### Cas de charges

Le chargement que subit la charpente métallique se répartit en trois types de charge ; charges permanentes représentées par le poids propre de l'ossature, le poids de la toiture et le poids du bardage, ensuite des charges d'exploitation représentées par la charge à stocker et charge roulant du chariot et celle de l'entretien enfin il y a la charge du vent qui est générée automatiquement par le logiciel.

✓ Les paramètres utilisés pour la génération de la charge du vent sont représentés sur la figure suivante :





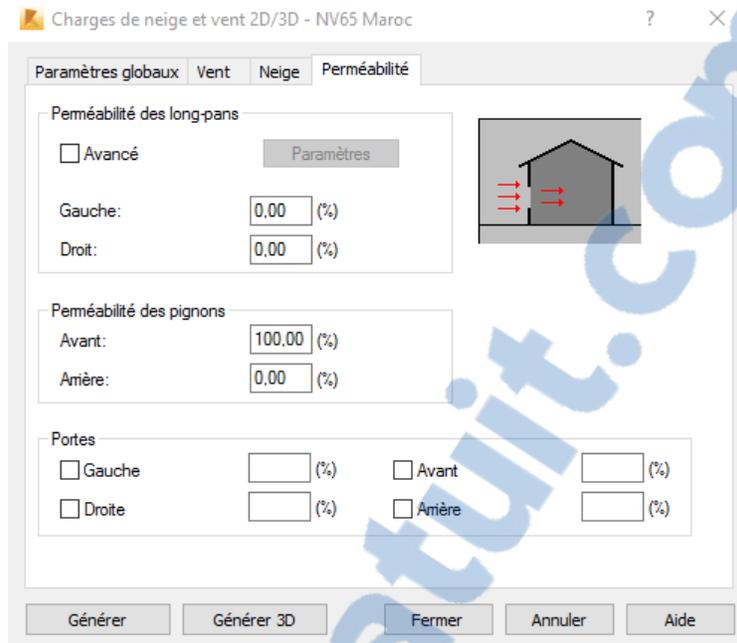


FIGURE 2.23 – Paramètre de la charge du vent

La note de calcul de l'effet du vent est donnée par l'annexe B.

✓ Les paramètres utilisés pour la génération de la charge roulante sur la figure suivante : la charges appliqué par chaque galet est déjà calculé :

$$R_{1max} \approx 8.7 \text{ KN}$$

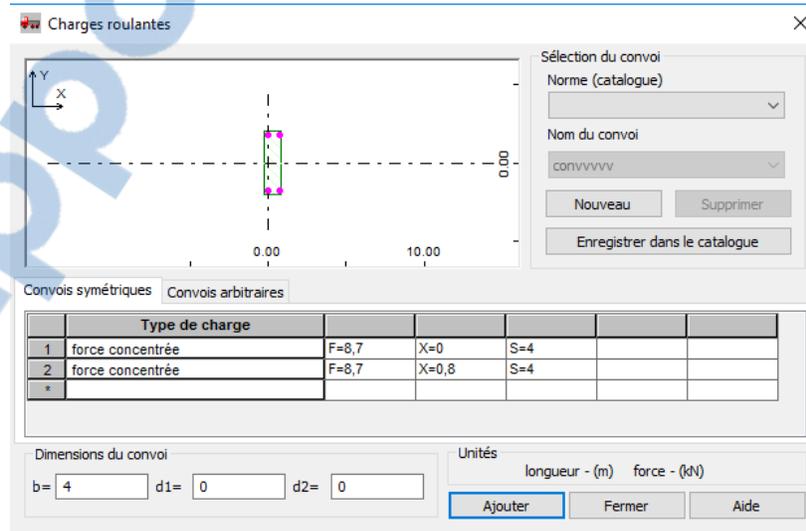


FIGURE 2.24 – Paramètre de la charge roulante

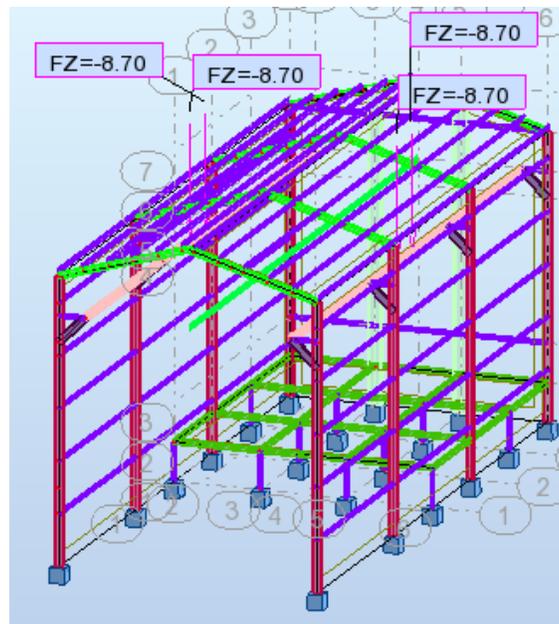


FIGURE 2.25 – la charge roulante

✓ modélisation de la charge à stocker :

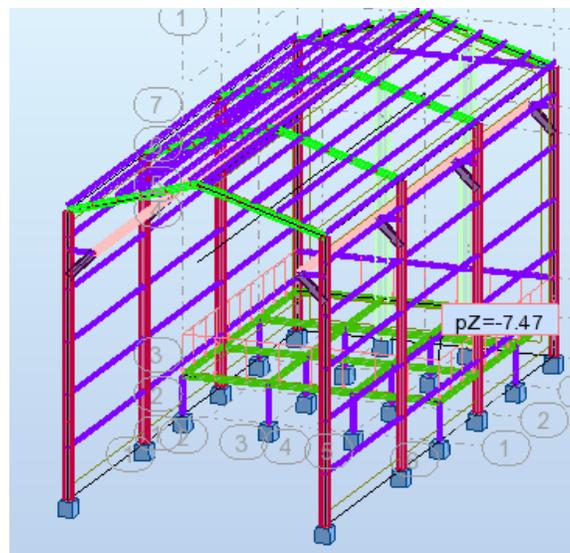


FIGURE 2.26 – La charge à stocker

✓ Le poids du bardage :

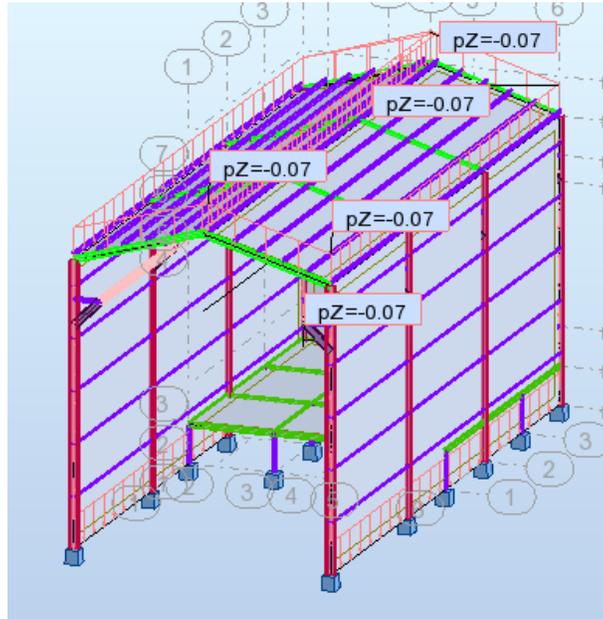


FIGURE 2.27 – Le poids du bardage

### 2.7.3 Combinaisons d'actions :

Il y a deux mode de faire cette opération ; manuelle et automatique, pour notre travail nous avons choisi la combinaison automatique :

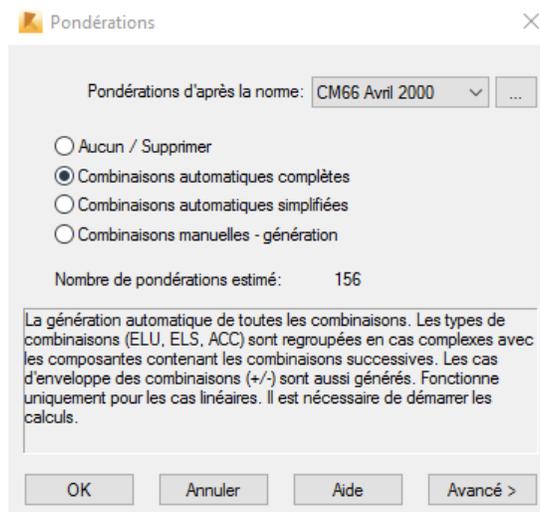


FIGURE 2.28 – la combinaison des charges



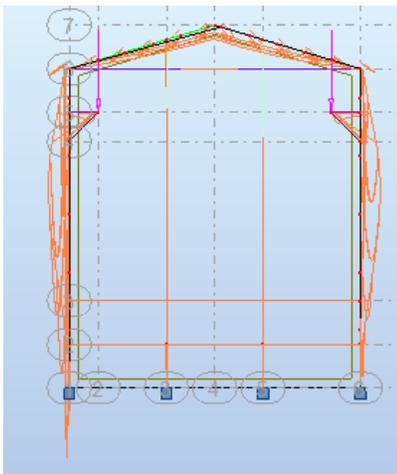
Voici un tableau qui engendre toutes les charges existant :

Cas	Préfixe	Nom du cas	Nature	Type d'analyse
1	PERM1	PERM1	permanente	Statique linéaire
2	V_g-d_PERM_	Vent G/D perméab.	vent	Statique linéaire
3	V_d-g_PERM_	Vent D/G perméab.	vent	Statique linéaire
4	V_av-arr_PERM_	Vent Av./Arr. perméab.	vent	Statique linéaire
5	V_arr-av_PERM_	Vent Arr./Av. perméab.	vent	Statique linéaire
6	EXPL1	EXPL1	d'exploitation	Statique linéaire
7	MOB1	convessai		Analyse de cas de c
8	MOB2	convessai		Analyse de cas de c
13		convessai+		Analyse de cas de c
14		convessai-		Analyse de cas de c
15		convessai+		Analyse de cas de c
16		convessai-		Analyse de cas de c
17	PERM2	PERM2	permanente	Statique linéaire
22		EFF		Statique linéaire
23		EFF+		Statique linéaire
24		EFF-		Statique linéaire
25		DEP		Statique linéaire
26		DEP+		Statique linéaire
27		DEP-		Statique linéaire

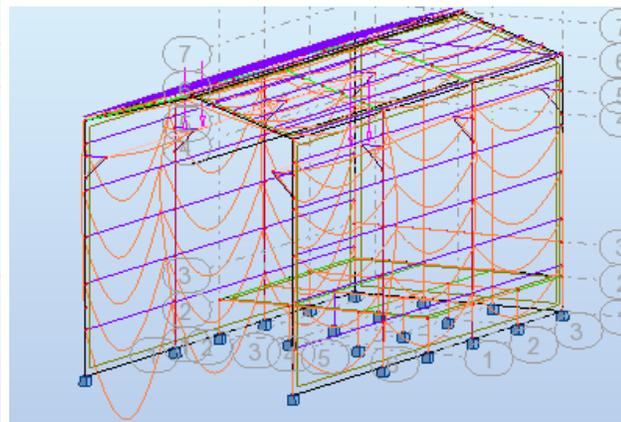
FIGURE 2.29 – les charges

## 2.7.4 Exploitation des résultats

✓ Déformé :

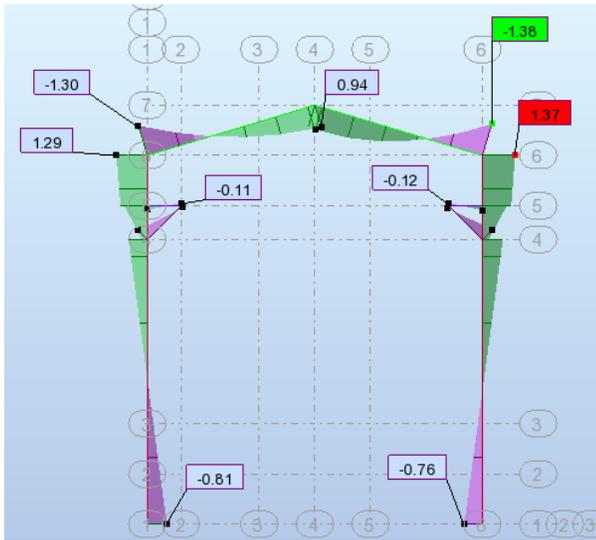


(a) vue en 2D

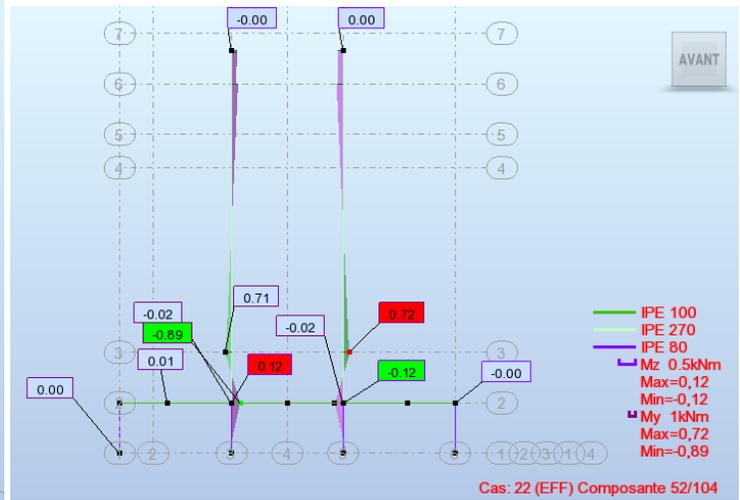


(b) vue en 3D

✓ Le moment :



(a) portique, éléments de corbeaux



(b) potelets, éléments de la dalle

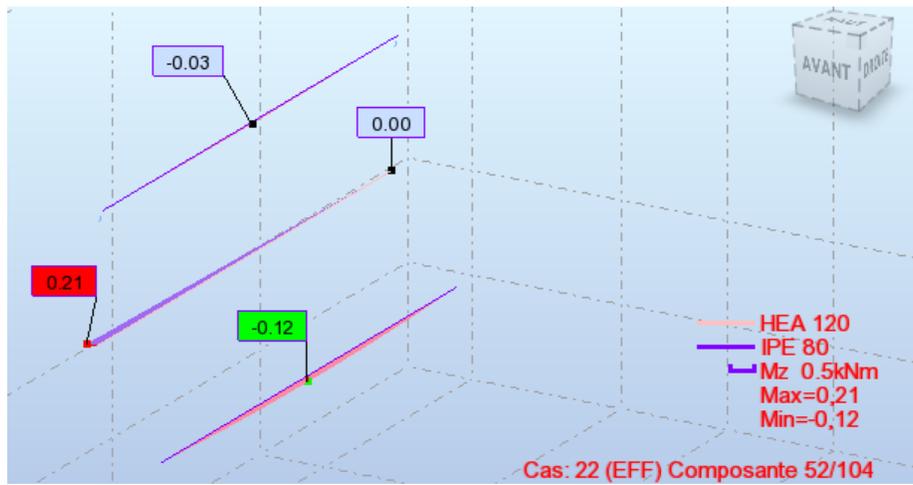
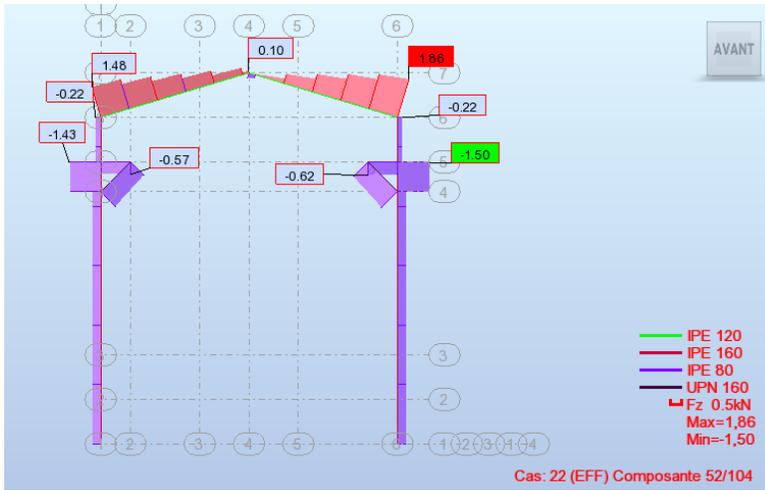
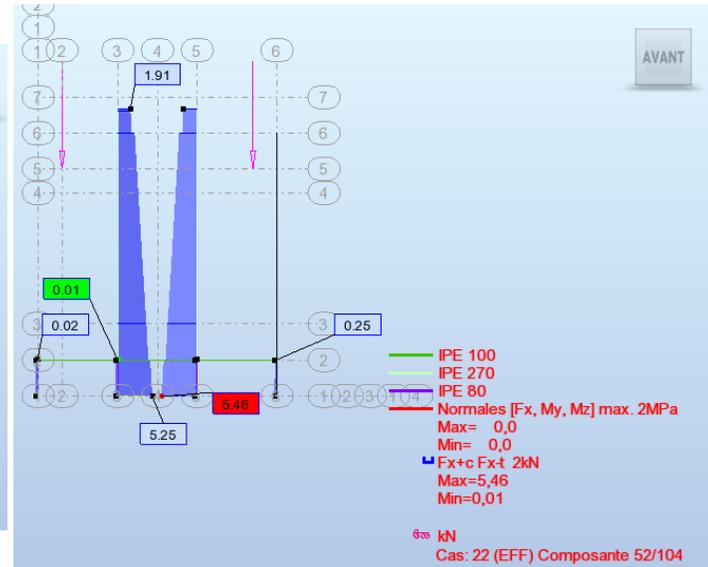


FIGURE 2.32 – panne,lisse,poutre de roulement

✓ Réaction :



(a) portique, éléments de corbeaux



(b) potelets, éléments de la dalle

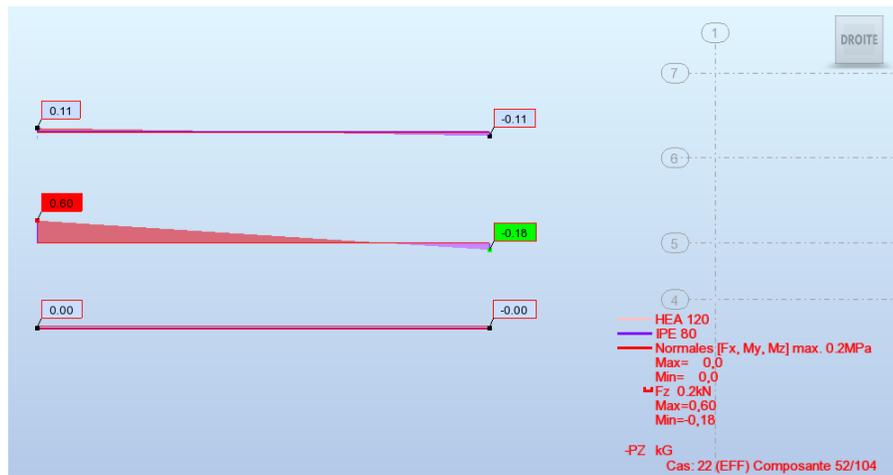
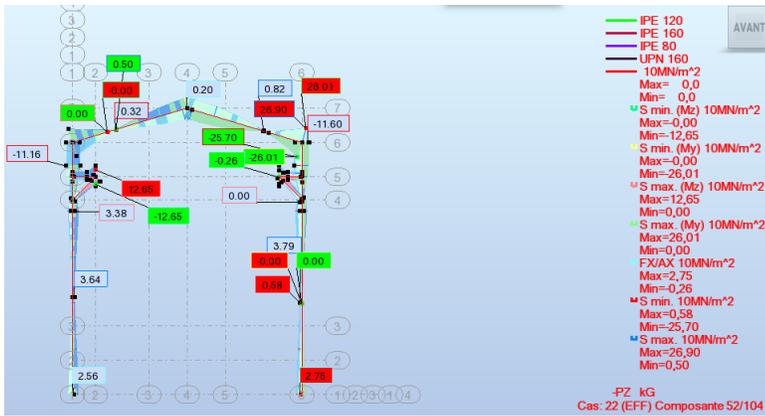
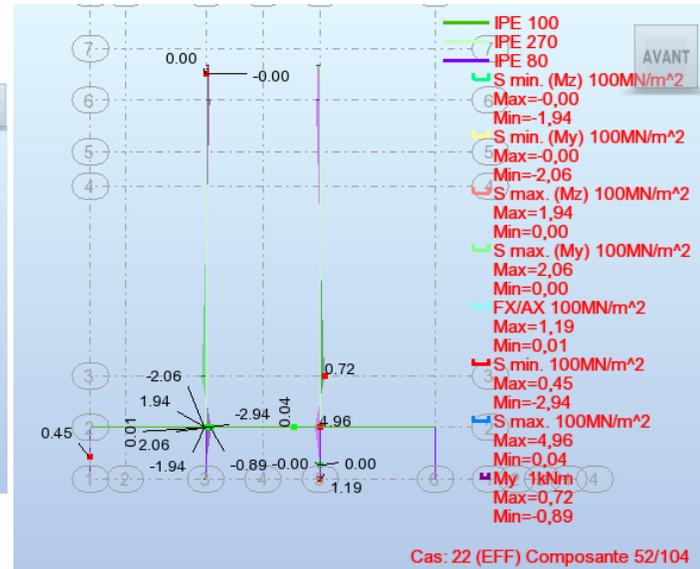


FIGURE 2.34 – panne,lisse,poutre de roulement

✓ Contrainte :



(a) portique, éléments de corbeaux



(b) potelets, éléments de la dalle

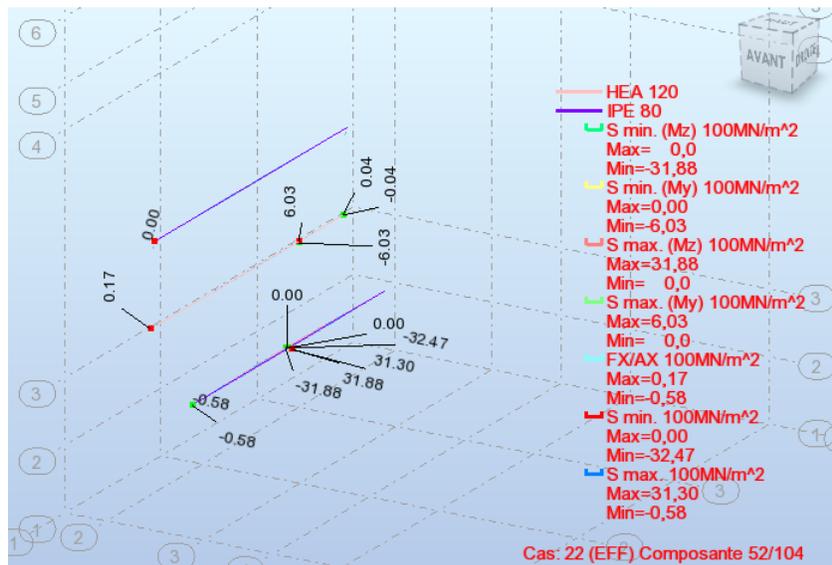


FIGURE 2.36 – panne,lisse,poutre de roulement

## 2.7.5 Dimensionnement

### Création des types des barres

Poteaux :

The dialog box 'Définition des barres - paramètres - CM66' is shown. The 'Type de barre' is set to 'POT'. Under 'Flambement autour de l'axe Y', the 'Longueur de la barre ly' is 1,00 with 'réelle' selected. Under 'Flambement autour de l'axe Z', the 'Longueur de la barre lz' is 1,00 with 'réelle' selected. The 'Coeff. de longueur de flamb. Y' is 1,00 with 'Auto' selected. The 'Coeff. de longueur de flamb. Z' is 0,70 with '0,7' selected. Under 'Paramètres de déversement', the 'Type' is 'X' and 'Niv. de chargement' is 'I'. The 'Coefficient de longueur' is set to 'aile supérieure' and 'aile inférieure', both with 'ld = lo'.

(a) flambement

The dialog box 'Service - valeurs des déplacements' is shown. Under 'Déplacements limites', 'Flèche de la barre (repère local)' has 'y=L / 200,0' and 'z=L / 200,0' checked. Under 'Déplacements des noeuds (repère global)', 'X=L / 150,0' and 'Y=L / 150,0' are checked. Under 'Barres avec contreflèche', 'Contrôle des déplacements avec la prise en compte de la contreflèche' is checked, and 'Contreflèche utilisateur' is selected with 'uy = 0,0' and 'uz = 0,0' cm.

(b) flèche

Traverses :

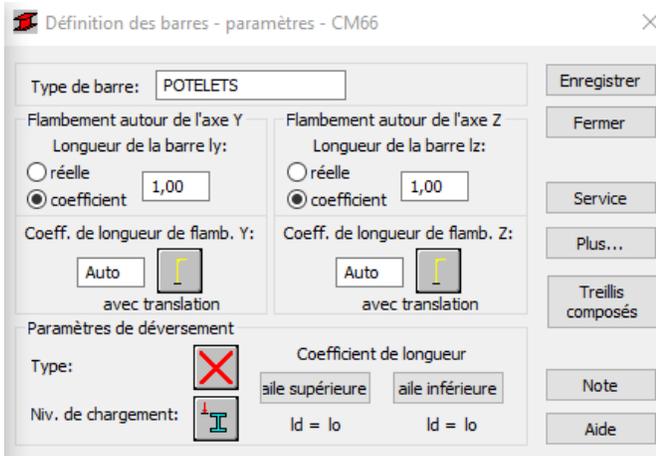
The dialog box 'Définition des barres - paramètres - CM66' is shown. The 'Type de barre' is set to 'TRAV'. Under 'Flambement autour de l'axe Y', the 'Longueur de la barre ly' is 1,00 with 'réelle' selected. Under 'Flambement autour de l'axe Z', the 'Longueur de la barre lz' is 1,00 with 'réelle' selected. The 'Coeff. de longueur de flamb. Y' is 1,00 with '1,0' selected. The 'Coeff. de longueur de flamb. Z' is 1,00 with '1,0' selected. Under 'Paramètres de déversement', the 'Type' is 'I' and 'Niv. de chargement' is 'I'. The 'Coefficient de longueur' is set to 'aile supérieure' and 'aile inférieure', both with 'ld = lo'.

(a) flambement et déversement

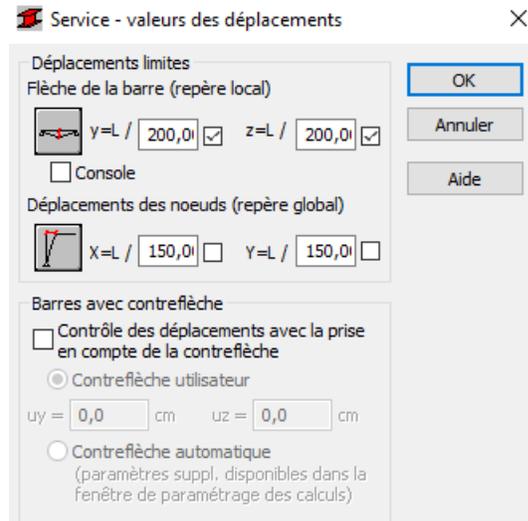
The dialog box 'Service - valeurs des déplacements' is shown. Under 'Déplacements limites', 'Flèche de la barre (repère local)' has 'y=L / 200,0' and 'z=L / 200,0' checked. Under 'Déplacements des noeuds (repère global)', 'X=L / 150,0' and 'Y=L / 150,0' are checked. Under 'Barres avec contreflèche', 'Contrôle des déplacements avec la prise en compte de la contreflèche' is checked, and 'Contreflèche utilisateur' is selected with 'uy = 0,0' and 'uz = 0,0' cm.

(b) flèche

Potelets :

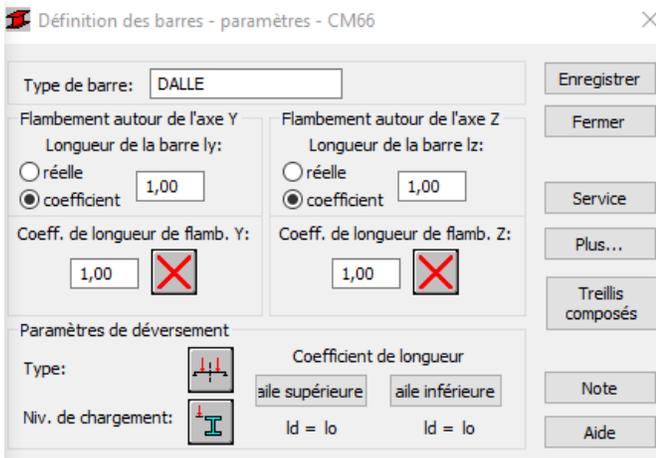


(a) déversement

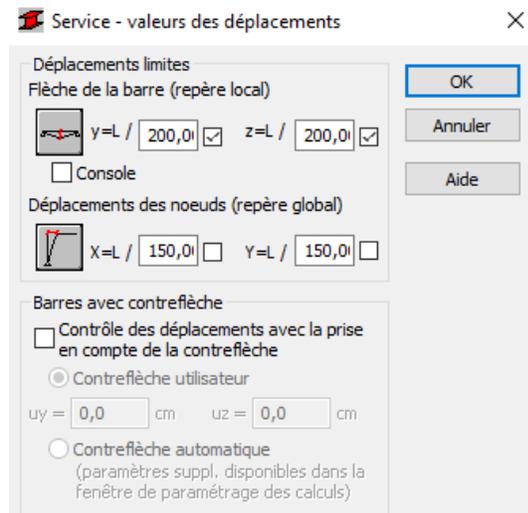


(b) flèche

La dalle :



(a) déversement



(b) flèche

## Lisses :

Définition des barres - paramètres - CM66

Type de barre: LISSES

Flambement autour de l'axe Y  
Longueur de la barre ly:  réelle  coefficient 1,00

Flambement autour de l'axe Z  
Longueur de la barre lz:  réelle  coefficient 1,00

Coeff. de longueur de flamb. Y: 1,00

Coeff. de longueur de flamb. Z: 1,00

Paramètres de déversement  
Type:

Niv. de chargement:

Coefficient de longueur  
aile supérieure: Id = lo aile inférieure: Id = lo

Buttons: Enregistrer, Fermer, Service, Plus..., Treillis composés, Note, Aide

(a) déversement

Service - valeurs des déplacements

Déplacements limites  
Flèche de la barre (repère local)  
 y=L / 200,01  z=L / 200,01   
 Console

Déplacements des noeuds (repère global)  
 X=L / 150,01  Y=L / 150,01

Barres avec contreflèche  
 Contrôle des déplacements avec la prise en compte de la contreflèche  
 Contreflèche utilisateur  
uy = 0,0 cm uz = 0,0 cm  
 Contreflèche automatique  
(paramètres suppl. disponibles dans la fenêtre de paramétrage des calculs)

Buttons: OK, Annuler, Aide

(b) flèche

## Pannes :

Définition des barres - paramètres - CM66

Type de barre: PANNES

Flambement autour de l'axe Y  
Longueur de la barre ly:  réelle  coefficient 1,00

Flambement autour de l'axe Z  
Longueur de la barre lz:  réelle  coefficient 1,00

Coeff. de longueur de flamb. Y: 1,00

Coeff. de longueur de flamb. Z: 1,00

Paramètres de déversement  
Type:

Niv. de chargement:

Coefficient de longueur  
aile supérieure: Id = lo aile inférieure: Id = lo

Buttons: Enregistrer, Fermer, Service, Plus..., Treillis composés, Note, Aide

(a) déversement

Service - valeurs des déplacements

Déplacements limites  
Flèche de la barre (repère local)  
 y=L / 200,01  z=L / 200,01   
 Console

Déplacements des noeuds (repère global)  
 X=L / 150,01  Y=L / 150,01

Barres avec contreflèche  
 Contrôle des déplacements avec la prise en compte de la contreflèche  
 Contreflèche utilisateur  
uy = 0,0 cm uz = 0,0 cm  
 Contreflèche automatique  
(paramètres suppl. disponibles dans la fenêtre de paramétrage des calculs)

Buttons: OK, Annuler, Aide

(b) flèche

## Poutres de corbeaux :

**Définition des barres - paramètres - CM66**

Type de barre: POUTCOR

Flambement autour de l'axe Y  
Longueur de la barre ly:  réelle  coefficient 1,00

Flambement autour de l'axe Z  
Longueur de la barre lz:  réelle  coefficient 1,00

Coeff. de longueur de flamb. Y: 1,00

Coeff. de longueur de flamb. Z: 1,00

Paramètres de déversement  
Type:     
Niv. de chargement:

Coefficient de longueur  
aile supérieure Id = lo aile inférieure Id = lo

(a) déversement

**Service - valeurs des déplacements**

Déplacements limites

Flèche de la barre (repère local)  
  $y=L / 200,0l$    $z=L / 200,0l$

Console

Déplacements des noeuds (repère global)  
  $X=L / 150,0l$    $Y=L / 150,0l$

Barres avec contreflèche  
 Contrôle des déplacements avec la prise en compte de la contreflèche  
 Contreflèche utilisateur  
 $u_y = 0,0$  cm  $u_z = 0,0$  cm  
 Contreflèche automatique (paramètres suppl. disponibles dans la fenêtre de paramétrage des calculs)

(b) flèche

## Barres de corbeaux :

**Définition des barres - paramètres - CM66**

Type de barre: BARCOR

Flambement autour de l'axe Y  
Longueur de la barre ly:  réelle  coefficient 1,00

Flambement autour de l'axe Z  
Longueur de la barre lz:  réelle  coefficient 1,00

Coeff. de longueur de flamb. Y: Auto

Coeff. de longueur de flamb. Z: Auto

Paramètres de déversement  
Type:     
Niv. de chargement:

Coefficient de longueur  
aile supérieure Id = lo aile inférieure Id = lo

(a) déversement

**Service - valeurs des déplacements**

Déplacements limites

Flèche de la barre (repère local)  
  $y=L / 200,0l$    $z=L / 200,0l$

Console

Déplacements des noeuds (repère global)  
  $X=L / 150,0l$    $Y=L / 150,0l$

Barres avec contreflèche  
 Contrôle des déplacements avec la prise en compte de la contreflèche  
 Contreflèche utilisateur  
 $u_y = 0,0$  cm  $u_z = 0,0$  cm  
 Contreflèche automatique (paramètres suppl. disponibles dans la fenêtre de paramétrage des calculs)

(b) flèche

## Poutres de roulement :



## Création des familles

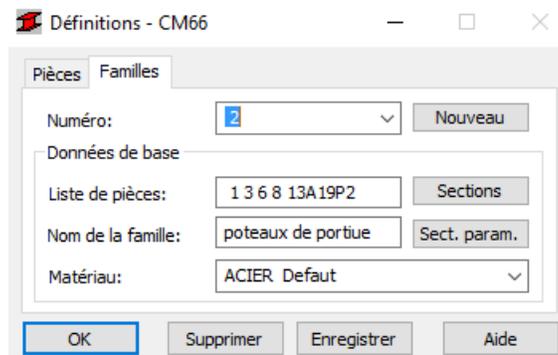


FIGURE 2.46 – création de famille :poteaux de portique

Nous avons fait la même chose pour les autres éléments de la structure.

## Vérification des familles en contrainte

Cette étape demande d'insérer les familles à vérifier et les charges appliquer.

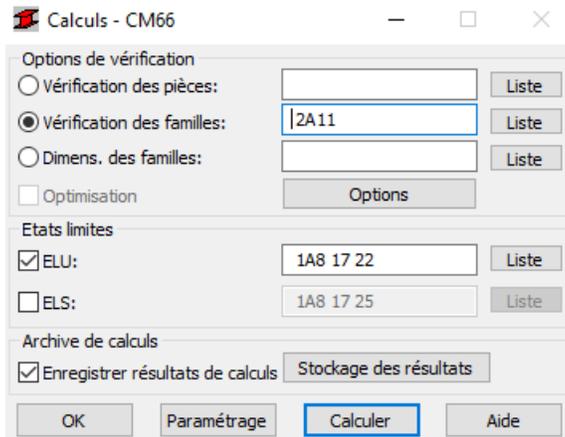


FIGURE 2.47 – paramètres pour la vérification

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
<b>Famille : 2 poteaux de portive</b>						
8 POT_8	IPÉ 160	ACIER	97.26	208.79	0.59	22 EFF /10/
<b>Famille : 3 poteaux de dalle</b>						
122 POT_122	IPÉ 80	ACIER	25.88	49.82	0.98	22 EFF /1/
<b>Famille : 4 potelets</b>						
22 POTELETS_22	IPÉ 270	ACIER	62.18	201.34	0.30	4 Vent Av./Arr. per
<b>Famille : 5 lisses</b>						
49	IPÉ 80	ACIER	123.53	379.55	0.55	2 Vent G/D perméab
<b>Famille : 6 lisses arières</b>						
23 LISSES_23	IPÉ 80	ACIER	154.42	474.44	0.23	4 Vent Av./Arr. per
<b>Famille : 7 poutre de la dalle</b>						
115 DALLE_115	IPÉ 100	ACIER	49.13	161.03	0.83	22 EFF /1/
<b>Famille : 8 barres de corbeaux</b>						
66 BARCOR_66	UPN 160	ACIER	118.36	138.24	0.94	22 EFF /25/
<b>Famille : 9 poutres de corbeaux</b>						
78 POUCOR_78	IPÉ 80	ACIER	15.44	47.44	0.73	22 EFF /7/
<b>Famille : 10 poutres de roulement</b>						
142 POUROULM_	HEA 120	ACIER	81.78	132.50	0.73	22 EFF /25/
<b>Famille : 11 traverses</b>						
9 TRAV_9	IPÉ 120	ACIER	53.22	180.35	0.26	3 Vent D/G perméab

FIGURE 2.48 – résultats de vérification

Le Ratio définit le rapport de la contrainte de calcul sur la contrainte ultime du matériau ( $235daN/mm^2$  pour l'acier).

### Vérification des familles en flèche

Nous allons entrer les nouvelles paramètres pour la vérification en flèche.

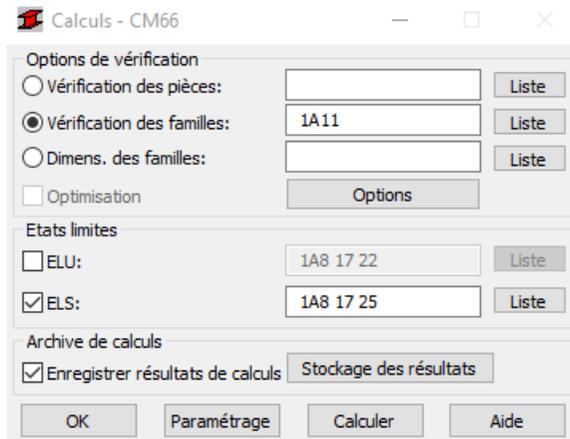


FIGURE 2.49 – paramètres pour la vérification

Pièce	Profil	Matériau	Ratio(uy)	Cas (uy)	Ratio(uz)	Cas (uz)
<b>Famille : 1 1</b>						
1 POT_1	☑ IPE 160	ACIER	-	-	0.12	25 DEP /3/
<b>Famille : 2 poteaux de portiuie</b>						
3 POT_3	☑ IPE 160	ACIER	-	-	0.15	3 Vent D/G perméab
<b>Famille : 3 poteaux de dalle</b>						
126 POT_126	☑ IPE 80	ACIER	-	-	0.02	2 Vent G/D perméab
<b>Famille : 4 potelets</b>						
22 POTELETS_22	☑ IPE 270	ACIER	0.22	5 Vent Arr./Av. per	0.01	2 Vent G/D perméab
<b>Famille : 5 lisses</b>						
29	☒ IPE 80	ACIER	1.53	25 DEP /7/	0.46	2 Vent G/D perméab
<b>Famille : 6 lisses arrières</b>						
23 LISSSES_23	☒ IPE 80	ACIER	1.08	4 Vent Av./Arr. per	0.01	25 DEP /25/
<b>Famille : 7 poutre de la dalle</b>						
120 DALLE_120	☑ IPE 100	ACIER	0.01	3 Vent D/G perméab	0.25	25 DEP /1/
<b>Famille : 8 barres de corbeaux</b>						
66 BARCOR_66	☑ UPN 160	ACIER	0.12	25 DEP /23/	0.01	25 DEP /25/
<b>Famille : 9 poutres de corbeaux</b>						
54 POUCOR_54	☑ IPE 80	ACIER	0.13	7 convessai /21/	0.01	25 DEP /25/
<b>Famille : 10 poutres de roulement</b>						
140 POUROULM_	☑ HEA 120	ACIER	0.14	25 DEP /6/	0.55	25 DEP /6/
<b>Famille : 11 traverses</b>						
9 TRAV_9	☑ IPE 120	ACIER	-	-	0.17	2 Vent G/D perméab

FIGURE 2.50 – résultats de vérification

Nous remarquons que toutes les familles sont correctes mais pas les deux familles lisses et lisses arrières, même résultat que le calcul manuel. Donc nous allons prendre *IPE*100 comme profilé correcte pour les lisses.

## Taux de charge

Un facteur définir la pièce qui travail le plus.

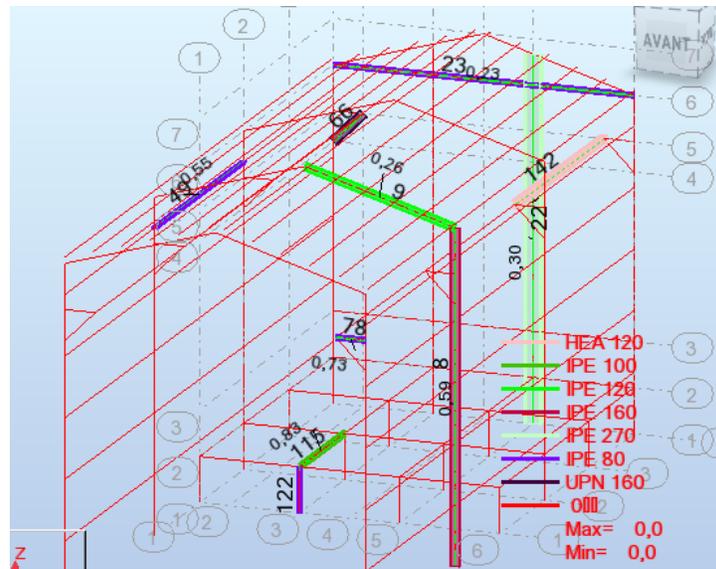


FIGURE 2.51 – cartographie de pièces

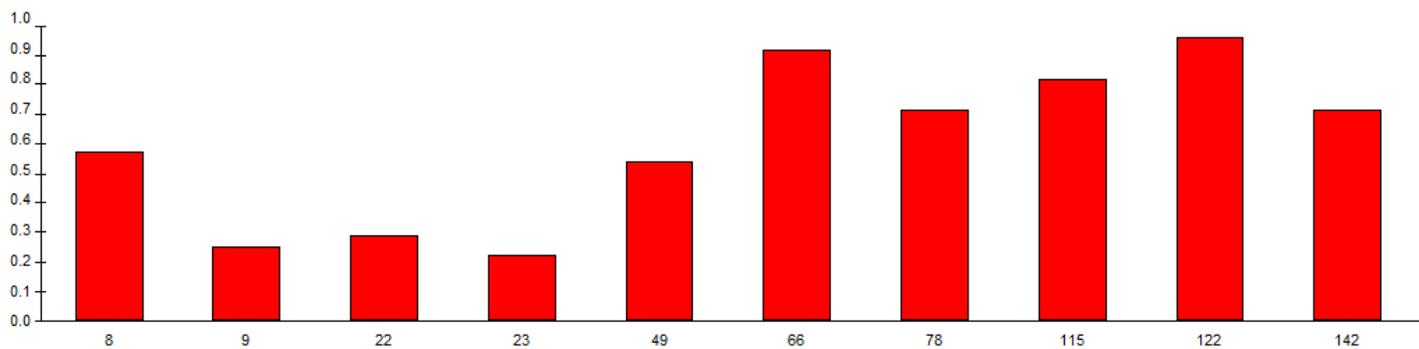


FIGURE 2.52 – Taux de charges

Nous remarquons que la valeur maximal est 0,98 correspond au poteau de la dalle donc c'est la pièce qui travail le plus.

## Optimisation en contrainte

Robot dispose d'une option automatique d'optimisation des sections des profilés, pour l'utiliser nous avons créé des familles de pièces utilisés pour notre structure, après nous allons choisir le critère d'optimisation qui nous convient.

Nous avons pris le poids comme critère d'optimisation.

Options d'optimisation

Poids (cm)

Hauteur max. de la section: 0,0

Hauteur min. de la section: 0,0

Largeur max. de l'aile: 0,0

Epaisseur min. de la semelle: 0,0

Epaisseur min. de l'âme: 0,0

Calculs sur la totalité de la famille de profilés

OK

Annuler

Aide

FIGURE 2.53 – optimisation

**Résultats :**

les résultats sont bien montrer dans la figure suivante :

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
<b>Famille : 2 poteaux de portuie</b>						
8 POT_8	<input type="checkbox"/> IPE 140	ACIER	106.26	232.82	0.97	22 EFF /10/
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 160		97.26	208.79	0.59	
	<input type="checkbox"/> IPE 180		90.96	187.61	0.41	
<b>Famille : 3 poteaux de dalle</b>						
122 POT_122	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 80	ACIER	25.88	49.82	0.98	22 EFF /1/
	<input type="checkbox"/> IPE 100		22.45	42.28	0.62	
<b>Famille : 4 potelets</b>						
22 POTELETS_22	<input type="checkbox"/> IPE 240	ACIER	67.18	225.01	0.39	4 Vent Av./Arr. perméab.
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 270		62.18	201.34	0.30	
	<input type="checkbox"/> IPE 300		58.67	182.80	0.23	
<b>Famille : 5 lisses</b>						
49	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 80	ACIER	123.53	379.55	0.55	2 Vent G/D perméab.
	<input type="checkbox"/> IPE 100		98.28	322.12	0.32	
<b>Famille : 6 lisses arières</b>						
23 LISSES_23	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 80	ACIER	154.42	474.44	0.23	4 Vent Av./Arr. perméab.
	<input type="checkbox"/> IPE 100		122.85	402.65	0.15	
<b>Famille : 7 poutre de la dalle</b>						
115 DALLE_115	<input type="checkbox"/> IPE 80	ACIER	61.77	189.78	1.47	22 EFF /1/
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 100		49.14	161.06	0.86	
	<input type="checkbox"/> IPE 120		40.78	138.20	0.54	
<b>Famille : 8 barres de corbeaux</b>						
66 BARCOR_66	<input type="checkbox"/> UPN 140	ACIER	110.08	133.91	1.18	22 EFF /25/
	<input checked="" type="checkbox"/> UPN 160		118.36	138.24	0.94	
	<input type="checkbox"/> UPN 180		126.98	143.58	0.76	
<b>Famille : 9 poutres de corbeaux</b>						
78 POUCOR_78	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 80	ACIER	15.44	47.44	0.73	22 EFF /7/
	<input type="checkbox"/> IPE 100		12.28	40.26	0.47	
<b>Famille : 10 poutres de roulement</b>						
142 POUROULM_142	<input type="checkbox"/> HEA 100	ACIER	98.64	159.35	1.06	22 EFF /25/
	<input checked="" type="checkbox"/> HEA 120		81.78	132.50	0.73	
	<input type="checkbox"/> HEA 140		69.75	113.63	0.50	
<b>Famille : 11 traverses</b>						
9 TRAV_9	<input type="checkbox"/> IPE 100	ACIER	64.13	210.19	0.40	3 Vent D/G perméab.
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 120		53.22	180.35	0.26	
	<input type="checkbox"/> IPE 140		45.47	157.84	0.18	

FIGURE 2.54 – résultats

Pour chaque famille de profilé, le logiciel affiche trois lignes, par exemple : pour la famille Poteaux de portique, nous avons :

- IPE 140 : le profilé n'est pas satisfaisant ( $ratio > 1$ ).
- IPE 160 : le profilé est satisfaisant (en contrainte).
- IPE 180 : le profilé est trop performant.

## 2.8 Conception et calcul des assemblages

La conception et le calcul des assemblages revêtent, en construction métallique, une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction. En effet, les assemblages constituent des points de passage obligés pour les sollicitations régnant dans les différents composants structurels, en cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est remis en cause. Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces, sans générer de sollicitation parasites, notamment de torsion.

Nous distinguons parmi les assemblages :

- Les assemblages articulés.
- Les assemblages encastrés (rigides).

Les principaux modes d'assemblages sont :

- ✓ le rivetage.
- ✓ Le boulonnage.
- ✓ Le soudage.
- ✓ Le collage.

Les assemblages constituent le point le plus critique de la structure. On distingue 3 types d'assemblage :

- des assemblages du pied du poteau.
- des assemblages Traverse-Traverse.
- des assemblages Poteau-Traverse.

Ces derniers sont effectués par l'intermédiaire de platines qui sont soudées sur chaque traverse (en usine) et assemblées (sur chantier) par des boulons  $HR$ , tout en assurant le renfort par des raidisseurs appelés clés de faîtage.

### 2.8.1 Assemblage Poteau-Traverse

Les différents paramètres choisis pour ces assemblages sont représentés dans les schémas ci-dessous :

**Définition de l'assemblage de type Poutre-Poteau (angle de portique) - CM66**

Fichier Aide

**Géométrie**

Platine  
Jarrets  
Boulons  
Raidisseurs  
Soudures  
Paramètres réglementaires

Número: 1 Nom: Angle de portique

Type d'assemblage:  Boulonné  Soudé

Poteau		Poutre	
Barre n°:	1	Barre n°:	2
Section:	IPE 160	Section:	IPE 120
Matériau:	ACIER	Matériau:	ACIER
Hauteur:	$h_c = 160 \text{ mm}$	Hauteur:	$h_b = 120 \text{ mm}$
Largeur:	$b_{fc} = 82 \text{ mm}$	Largeur:	$b_{fb} = 64 \text{ mm}$
Âme:	$t_{wc} = 5 \text{ mm}$	Âme:	$t_{wb} = 4 \text{ mm}$
Aile:	$t_{fc} = 7 \text{ mm}$	Aile:	$t_{fb} = 6 \text{ mm}$
Rayon:	$r_c = 9 \text{ mm}$	Rayon:	$r_b = 7 \text{ mm}$
		Inclinaison:	$\alpha = 16,7^\circ$

Même matériau pour tous les éléments composants: ACIER

Appliquer OK Annuler

**Définition de l'assemblage de type Poutre-Poteau (angle de portique) - CM66**

Fichier Aide

**Géométrie**

Platine  
Jarrets  
Boulons  
Raidisseurs  
Soudures  
Paramètres réglementaires

Platine d'about

Hauteur:  $h_p = 285 \text{ mm}$  Matériau: ACIER

Largeur:  $b_p = 64 \text{ mm}$

Épaisseur:  $t_p = 20 \text{ mm}$

$e_{pu} = 10 \text{ mm}$

$e_{pd} = 10 \text{ mm}$

Appliquer OK Annuler

**Définition de l'assemblage de type Poutre-Poteau (angle de portique) - CM66**

Fichier Aide

**Géométrie**

Platine  
Jarrets  
Boulons  
Raidisseurs  
Soudures  
Paramètres réglementaires

Renfort supérieur vertical

Type de renfort:

Renfort inférieur vertical

Type de renfort:

Hauteur:  $h_d = 140 \text{ mm}$

Longueur:  $l_d = 300 \text{ mm}$

Largeur:  $w_d = 64 \text{ mm}$

Âme:  $t_{wd} = 8 \text{ mm}$

Aile:  $t_{fd} = 12 \text{ mm}$

Angle:  $\alpha_d = 38,2^\circ$

Matériau: ACIER

Platine supérieure

Longueur:  $l_{pu} =$

Largeur:  $w_{pu} =$

Épaisseur:  $t_{pu} =$

Matériau:

Platine inférieure

Longueur:  $l_{pd} =$

Largeur:  $w_{pd} =$

Épaisseur:  $t_{pd} =$

Matériau:

Appliquer OK Annuler

Définition de l'assemblage de type Poutre-Poteau (angle de portique) - CM66

Fichier Aide

- Géométrie
- Platine
- Jarrets
- Boulons
- Raidisseurs
- Soudures
- Paramètres réglementaires

Boulons  
 Diamètre : M16  
 Classe : 8.8

Plan de cisaillement  
 Partie non-filetée  Partie filetée

Disposition  
 Nb de colonnes :  $n_h = 2$   
 Nb de lignes :  $n_v = 3$

Entraxe horizontal :  $e = 40$  mm  
 Entraxe vertical : (P1 : P2...) = 60:80 mm  
 Répartition régulière

Pince :  $h_1 = 48$  mm  Symétrie

Définition de l'assemblage de type Poutre-Poteau (angle de portique) - CM66

Fichier Aide

- Géométrie
- Platine
- Jarrets
- Boulons
- Raidisseurs
- Soudures
- Paramètres réglementaires

Raidisseurs horizontaux du poteau

Épaisseur :  $t_{hu} = 8$  mm  
 Épaisseur :  $t_{hd} = 8$  mm  
 Matériau : ACIER

Renforts additionnels de l'âme du poteau  
 Éclisse bilatérale

Type de renfort : Hauteur :  $h_a =$    
 Largeur :  $w_a =$    
 Épaisseur :  $t_a =$    
 Matériau :

Définition de l'assemblage de type Poutre-Poteau (angle de portique) - CM66

Fichier Aide

- Géométrie
- Platine
- Jarrets
- Boulons
- Raidisseurs
- Soudures
- Paramètres réglementaires

Poutre - soudures  
 Aile :  $a_f = 5$  mm  
 Âme :  $a_w = 4$  mm  
 Raidisseurs :  $a_s = 4$  mm

Soudures - renforts  
 Aile supérieure :  $a_{fu} = 5$  mm  
 Aile inférieure :  $a_{fd} = 5$  mm

Platine de renfort de l'âme du poteau - soudures  
 Horizontale :  $a_{p1} =$    
 Verticale :  $a_{p2} =$

résultat de vérification

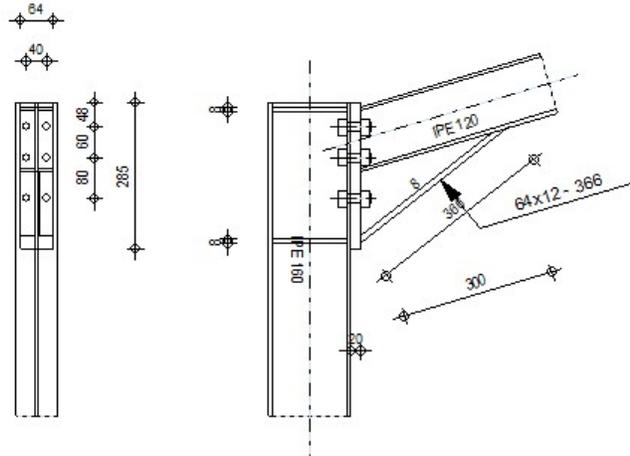


FIGURE 2.55 – Poteau-traverse : portique

Nous avons fait la même chose pour le poteau de la dalle, nous avons trouvé les résultats suivante :

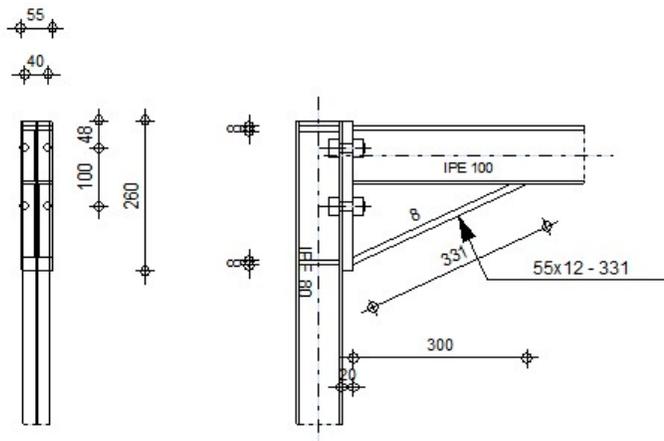


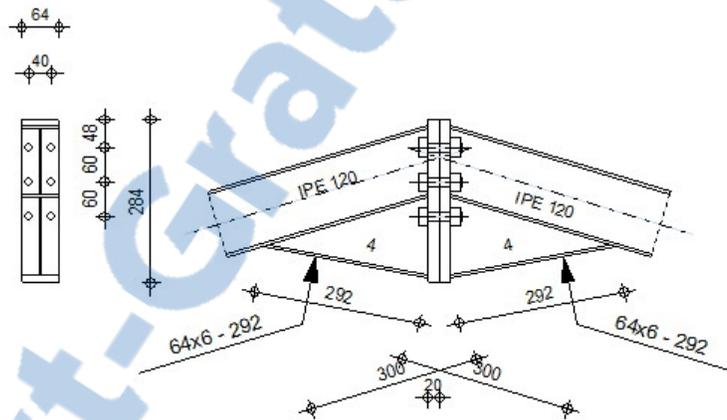
FIGURE 2.56 – Poteau-traverse : dalle

## 2.8.2 Assemblage Traverse-Traverse

L'assemblage Traverse-Traverse appelé encore clé de faitage est adopté pour renforcer localement la traverse dans la zone médiane en ajoutant le complément d'inertie nécessaire, cette clé présente en outre l'avantage de raidir les platines et donc de soulager l'effort dans l'assemblage par boulons HR.

Nous avons entré les différents paramètres choisis pour ce type d'assemblage et nous avons trouvé le résultat suivant :

	<p>Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2016 <b>Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre</b> NF P 22-430</p>	
		Ratio 0,05



### conclusion

Après avoir donné un grand intérêt aux calculs des assemblages, les résultats obtenus à l'aide du logiciel Robot sont tous satisfaisant.

# Chapitre 3

## Etude et dimensionnement du pont Roulant

Dans le présent chapitre nous allons commencer par l'analyse fonctionnelle pour bien satisfaire le besoin et choisir le système de manutention le plus convenable. Nous enchaînerons sur la conception générale de cette solution.

### 3.0.1 Introduction

Ce chapitre représente le calcul et dimensionnement du pont roulant de 1000  $daN$  (de capacité) d'un atelier de 12m de portée pour cette étude on utilise :

✓ *CTICM* : recommandation du centre technique industriel de construction métallique.

**Définition de pont roulant :**

- Le pont roulant : est un engin de levage mobile circulant sur une voie de roulement, il est constitué d'une ou plusieurs poutres sur lesquelles se déplace, transversalement à la voie principale, un chariot de transfert équipé d'un treuil pour le levage de la charge.

**Classement des ponts roulant ressortant des recommandations du CTICM**

**Classes d'utilisation :**

Classe A	Utilisation occasionnelle avec longue périodes de repos.
Classe B	Utilisation régulière en service intermittent.
Classe C	Utilisation régulière avec service intensif.
Classe D	Service intensif sévère (période de travail $> 8h$ ).

TABLE 3.1 – classes d'utilisation des ponts roulants

## Etats de charges :

0 (très léger)	Charges très faibles soulevées couramment. Charge nominale soulevée exceptionnellement.
1 (léger)	Charges de l'ordre du tiers de la charge nominale courante. Charge nominale soulevée rarement.
2 (moyen)	Charges entre le tiers et les deux tiers de la charge nominale courante. Charge nominale assez fréquente.
3 (lourd)	Charges régulièrement au voisinage de la charge nominale.

TABLE 3.2 – états de charges

## 3.1 Analyse fonctionnelle :

### 3.1.1 Introduction :

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui décrit complètement les fonctions et leurs relations. Elle consiste à rechercher, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions. La production de tout système ou objet technique doit répondre aux besoins de l'utilisateur. Ainsi, selon ce point de vue, il doit être considéré comme un ensemble fonctionnel, assurant un certain nombre de fonctions, et non pas uniquement comme un assemblage de pièces.

L'étude fonctionnelle d'un produit se fait en deux étapes :

- ✓ Une analyse fonctionnelle du besoin assuré par le produit qui consiste à :
  - Une analyse de besoin.
  - Une expression fonctionnelle du besoin.

Cette analyse permet d'établir le cahier de charges fonctionnelle CdCF.

- ✓ Une analyse fonctionnelle du produit qui s'intéresse aux fonctions techniques.

La norme *NF X 50-150* définit l'analyse fonctionnelle comme étant une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser et/ou valoriser les fonctions.

### 3.1.2 Modélisation des systèmes :

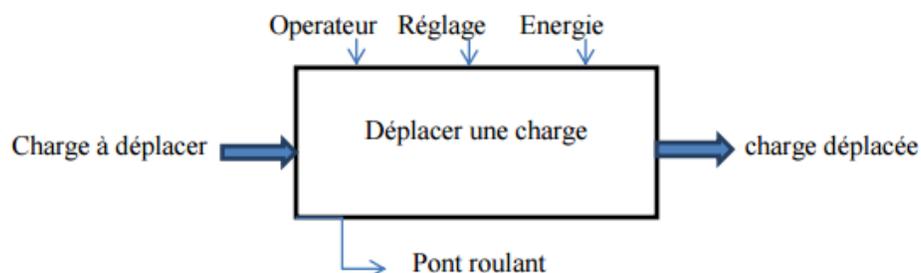


FIGURE 3.1 – Actigramme A-0

Nous pouvons envisager deux séquences, une pendant l'utilisation et l'autre en dehors d'utilisation.

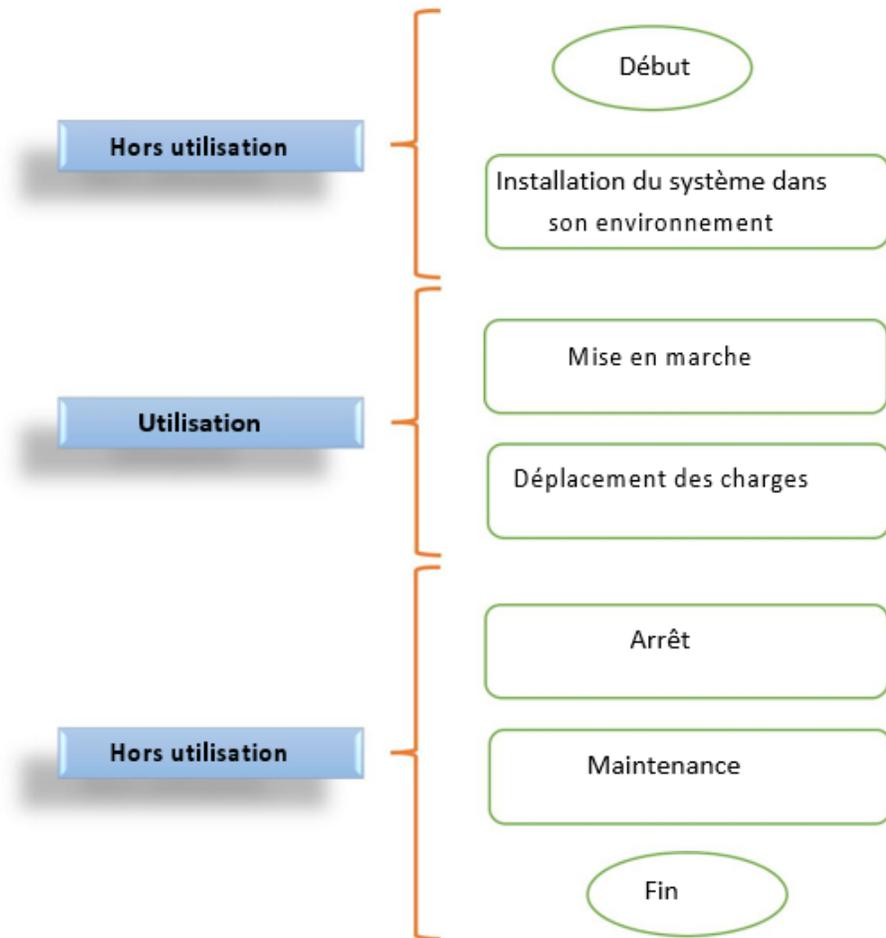


FIGURE 3.2 – Cycle de vie du système

### 3.1.3 Analyse de système :

La production de tout système ou objet technique vient à la suite d'un besoin à satisfaire. Pour que le produit permet de satisfaire le souhait de l'utilisateur, le besoin doit être parfaitement défini au préalable. Afin de valider un besoin il faut passer par les trois étapes suivantes :

#### Saisir le besoin :

Notre besoin consiste à créer un moyen de stockage des bouteilles d'oxygènes.

### Enoncer le besoin :

Il s'agit d'expliciter l'exigence fondamentale qui justifie la conception du produit. Pour cela, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

- ✓ A qui (à quoi) le produit rend-il service ?
- ✓ Sur qui (sur quoi) le produit agit-il ?
- ✓ Dans quel but le produit existe-t-il ?

Ces trois questions sont organisées dans la présentation dite «bête à cornes» suivante :

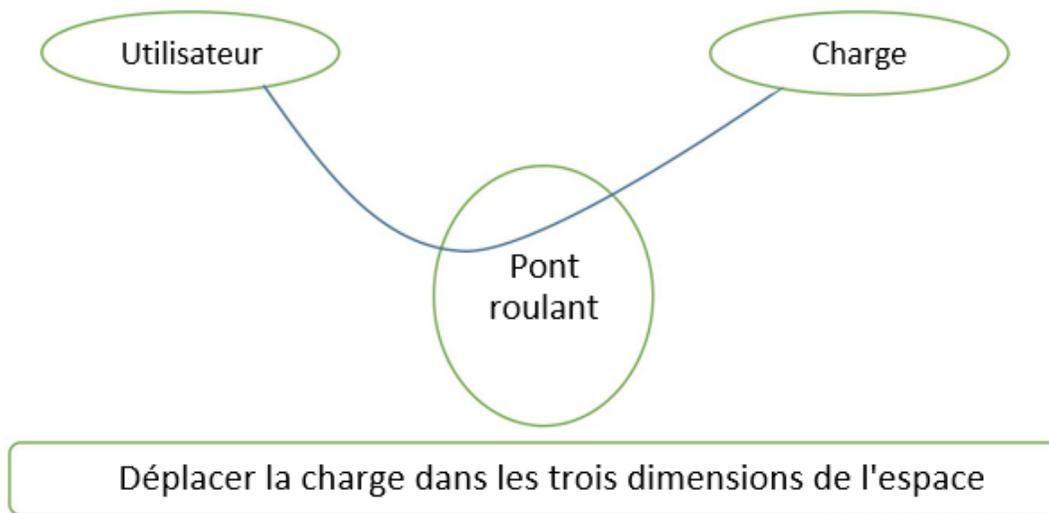


FIGURE 3.3 – Diagramme bête à cornes

### Valider le besoin :

Pour valider le besoin nous devons répondre aux questions suivantes :

- ✓ Dans quel but ?

Ce besoin existe dans le but de déplacer ou manutentionner des bouteilles d'oxygènes.

- ✓ Pour quelle raison ?

Pour faciliter la manutention et gagner plus de temps.

- ✓ Qu'est ce qui pourrait le faire évoluer ?

C'est de changer la méthode de manutention.

- ✓ Qu'est ce qui pourrait le faire disparaître ?

Apparition d'une nouvelle méthode de manutention.

#### 3.1.4 Expression fonctionnelle de besoin :

Ces critères sont formulés de façon à faire apparaître le niveau d'exigence souhaité par l'utilisateur.

### Définition d'une fonction :

Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés exclusivement par terme de fiabilité formulée en verbe à l'infinif.

- Fonction de service (principale) répond au besoin exprimé par l'utilisateur.
- Fonction technique (contrainte) n'est demandée explicitement par l'utilisateur mais elle est nécessaire pour assurer la fonction de service.

### Analyse de la séquence d'utilisation

Il s'agit dans cette étape d'énoncer les fonctions principales et de services qui offrent le produit pour satisfaire le besoin.

- Stabilité
- L'opérateur.
- La charge.
- Energie électrique.
- coût.
- Milieu extérieur.
- Sécurité.

### L'outil Pieuvre

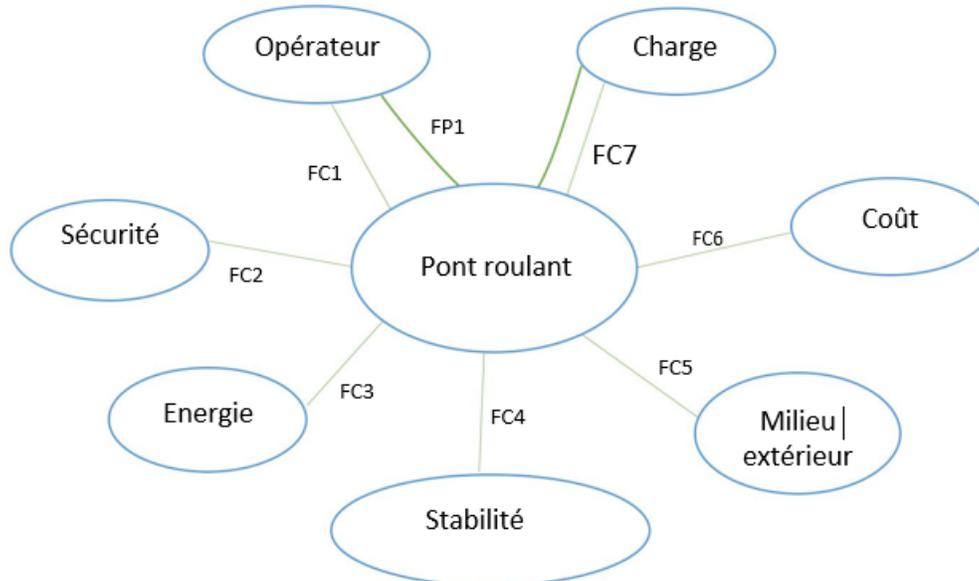


FIGURE 3.4 – Diagramme de pieuvre de la séquence d'utilisation

### Identification des fonctions de service :

Fonctions principales :

FP1 : Permettre de transporter la charge en fonction des consignes données par l'opérateur.

**Fonctions contraintes :**

FC1 : Doit être équipé d'éléments de dialogue homme/machine.

FC2 : Assurer la sécurité de l'utilisateur.

FC3 : Être alimenté en énergie électrique.

FC4 : Être stable au cours de manutention.

FC5 : Être protégé contre les agressions du milieu extérieur.

FC6 : Avoir le coût le plus favorable.

FC7 : Être inférieur à la charge limite du pont roulant.

**Analyse de la séquence hors d'utilisation :**

**Frontière d'étude :** La source d'énergie ne fait pas parti du système

**Éléments d'environnement :**

✓ Agent de maintenance.

✓ Outillages.

✓ Pièces de rechanges.

✓ Sécurité.

**Diagramme de pieuvre :**

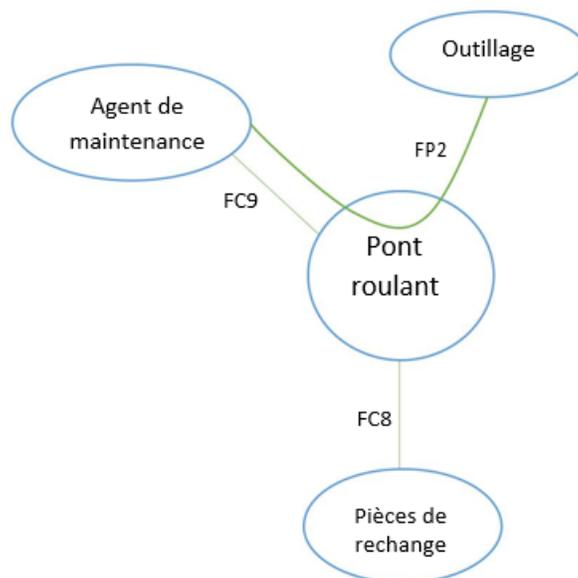


FIGURE 3.5 – Diagramme de pieuvre de la séquence hors utilisation

### Identification des fonctions de services :

#### Fonctions principales :

*FP2* : Avoir un accès à une intervention simple.

#### Fonctions contraintes :

*FC8* : Utiliser le maximum des pièces standards.

*FC9* : Assurer la sécurité de l'agent de maintenance lors de l'intervention.

### 3.1.5 Hiérarchisation des fonctions de services :

Cette étape permet de mettre en valeur les fonctions qui ont plus d'importance afin d'optimiser le choix technologique et agir sur le coût du projet.

Pour chaque couple de fonctions, on utilise une variable réelle positive qui quantifie le degré d'importance relative.

Nous allons maintenant comparer les différentes fonctions de service par la méthode de tri croisé à fin de dégager les fonctions les plus importantes.

#### Barème d'évaluation :

Note	Degré d'importance.
0	Equivalent.
1	Légèrement supérieure.
2	Moyennement supérieure.
3	Nettement supérieure .

TABLE 3.3 – Degré d'importance relative à la fonction de service

#### Méthode de tri croisé :

	FP2	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	point	%
FP1	FP1 2	FP1 1	FP1 2	FP1 2	FP1 2	FP1 3	FP1 2	FP1 2	FP1 2	FP1 2	21	26.25%
	FP2	FP2 3	FP2 1	FP2 1	FP2 2	FP2 1	FC6	FP2 1	FP2 1	FP2 1	13	16.25%
		FC1	FC2 1	FC1 0	FC1 1	FC5 2	FC6 2	FC7 1	FC8 1	FC9 1	1	1.25%
			FC2	FC4 1	FC4 1	FC5 1	FC6 3	FC7 2	FC8 1	FC9 1	2	2.5%
				FC3	FC3 2	FC5 1	FC6 1	FC3 2	FC8 0	FC9 1	4	5%
					FC4	FC5 1	FC6 2	FC4 1	FC4 1	FC9 1	3	3.75%
						FC5	FC6 2	FC5 2	FC5 1	FC9 1	8	10%
							FC6	FC6 1	FC6 2	FC9 1	15	18.75%
								FC7	FC8 1	FC9 1	3	3.75%
									FC8	FC9 1	2	2.5%
									FC9	8	10%	
									Total	10%	100%	

FIGURE 3.6 – tri croisé pour les fonctions de service

Histogramme de Hiérarchisation des fonctions de services :

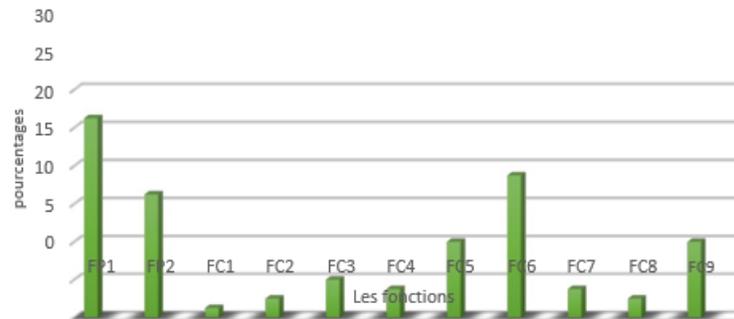


FIGURE 3.7 – Histogramme de hiérarchisation des fonctions de services

### Interprétations :

Nous remarquons que la fonction de service *FP1* «Permettre de transporter la charge en fonction des consignes données par l'opérateur» présente le pourcentage important, en effet, ceci est vrai puisque la fonction traduit bien la finalité du mécanisme.

La fonction de service *FC6* «Avoir le coût le plus favorable» présente encore une grande importance, donc il faut prendre en considération le critère «coût» lors du choix technologique entre les solutions possibles.

Nous remarquons que la fonction de service *FC1* «Doit être équipé d'éléments de dialogue homme machine» présente un poids presque nul, ce qui signifie qu'elle est jugée moins importante et non inutile, il faut donner une très grande importance à la fonction de service présentant un pourcentage assez important mais sans négliger, toutefois, les autres qui se manifestent moins consistant.

### 3.1.6 Choix de la solution principale du système :

Les solutions suivantes sont le résultat d'une étude approfondie du pont roulant n'utilisant que des pièces faciles à fabriquer et à très bas coût.

#### Description des solutions :

*Solution I* : Pont roulant posé

L'appareil roule sur deux voies de roulement constituées par un rail qui repose sur une poutre de roulement reprise sur les poteaux du bâtiment ou de l'aire de travail ou de stockage par l'intermédiaire de corbeaux (pièce en forme de trapèze rectangle métallique ou en béton qui assure la liaison entre le chemin de roulement et le poteau). Pour une portée donnée (inférieure à 30 m) et une hauteur sous ferme donnée, c'est le type de pont qui permet d'obtenir la meilleure hauteur de levage.

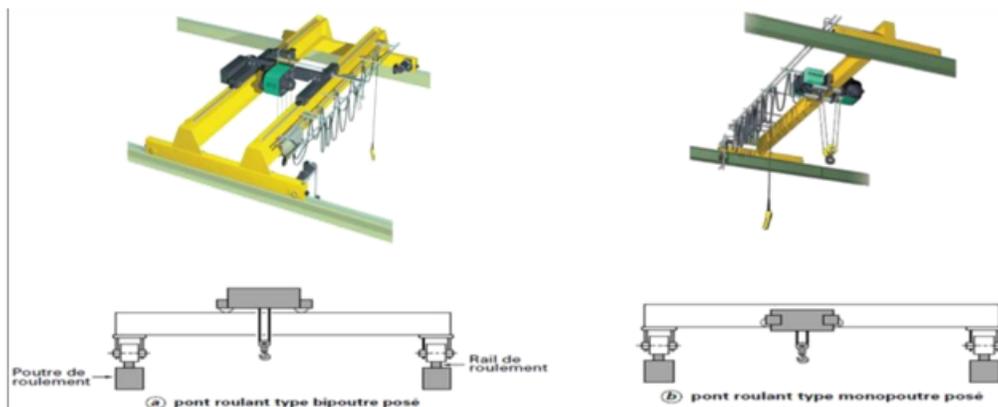


FIGURE 3.8 – Ponts roulants posés

*Solution II* : Pont roulant suspendu

L'appareil roule sur l'aile inférieure d'un profilé repris directement sur les fermes du bâtiment.

Ces chemins de roulement peuvent comporter plus de deux voies de roulement. Ils peuvent en outre être équipés de plusieurs moyens de levage pour desservir toute la surface du bâtiment. Dans le cas de portée très importante on installera donc plutôt ce type de matériel.

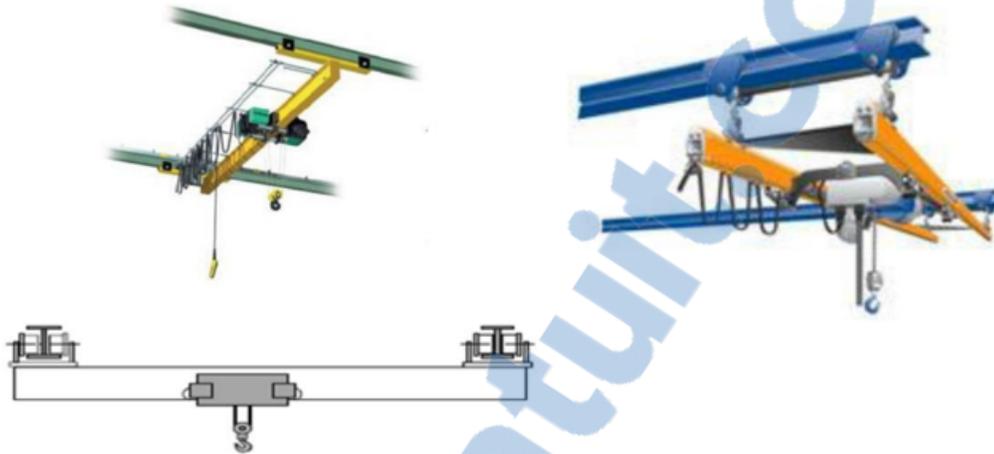


FIGURE 3.9 – Ponts roulants suspendus

*Solution III* : Portique

L'appareil roule sur deux voies de roulement constituées par un rail fixé directement au sol. Ils sont reliés par deux jambes ou palées. Ces portiques sont installés dans le cas où le bâtiment ne pourrait supporter les réactions qu'entraînerait l'installation d'un pont roulant ou si les transformations nécessaires s'avéraient très onéreuses, il en serait de même s'il n'y avait pas de bâtiment du tout (parc extérieur). Un déport des poutres de roulement permettant d'aller chercher des charges à l'extérieur des rails déroulement est possible, il se nomme, dans ce cas, portique à avant-bec.

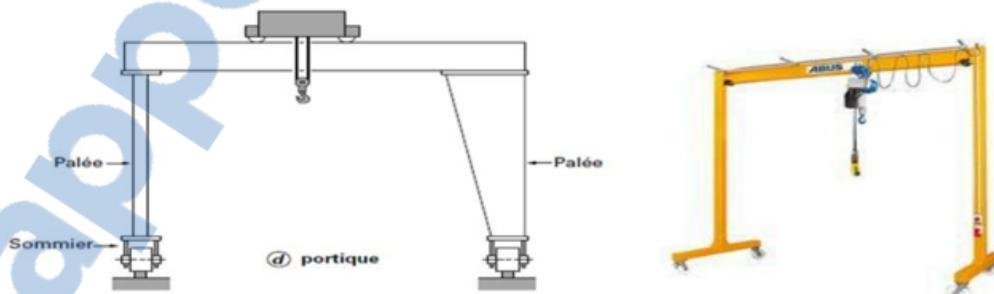


FIGURE 3.10 – Portique

*Solution IV* : Semi-portique

L'appareil roule sur deux voies de roulement, l'une est constituée par un rail au sol, alors que

l'autre s'appuie sur la charpente du bâtiment et roule sur un chemin de roulement aérien. Cette formule est utilisée le plus souvent en complément d'un pont roulant important qui assure la liaison entre les postes équipés chacun d'un semi-portique.

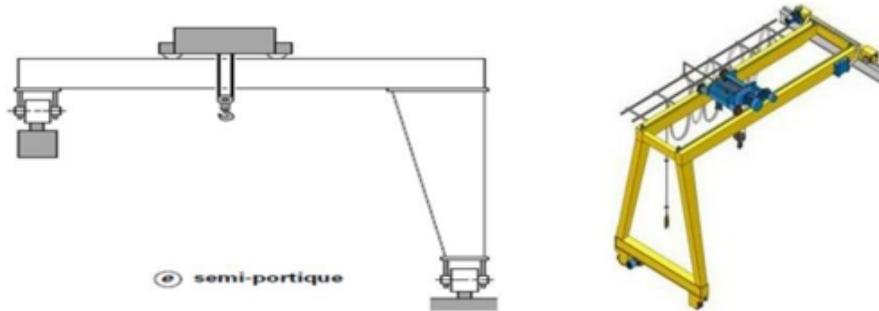


FIGURE 3.11 – Semi-portique

**Choix de solution principale :**

**Diagramme de FAST :** est un type de diagramme qui présente une manière de penser, d'agir ou de parler, il se construit de gauche à droite, aussi constitue alors un ensemble de données essentielles permettant d'avoir une bonne connaissance d'un produit complexe et ainsi de pouvoir améliorer la solution proposée.

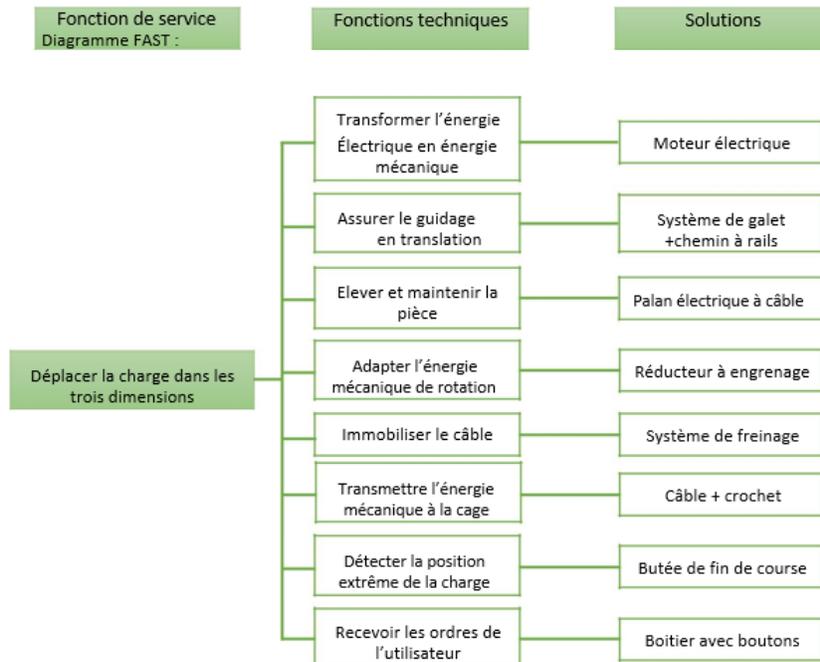


FIGURE 3.12 – Diagramme FAST du pont roulant

**Discutions** : Voici les quatre types de ponts roulants existants. Le choix aurait pu se porter sur n'importe lequel d'entre eux tant il est vrai que les différences sont minimales. Cependant, le portique a été écarté car ses palées de fixation réduisent la portée, le portique n'a pas été retenu. D'autre part, le prix du pont roulant mono-poutre moins que celui du pont roulant bipoutre et pour notre projet nous n'avons pas besoin d'une capacité très élevée de levage, aussi, nous avons une portée inférieure à 30 m d'où le choix le plus convenable est le pont roulant mono-poutre posé.

### Optimisation du temps et d'énergie

Durant la manutention des bouteilles d'oxygène nous allons perdre beaucoup en terme de temps et d'énergie si cette manutention se fait par une bouteille par un cycle (aller-retour), pour cela nous avons proposé une solution c'est que : on va exiger le fournisseur de nous livrer les bouteilles dans des caisses standards contenant l'une neuf bouteilles, comme résultats nous allons faciliter l'opération ainsi que diminuer les pertes d'énergie et du temps.

## 3.2 Dimensionnement de poutre du pont roulant

Le pont roulant doit supporter le palan électrique, et la charge à élever.

Les efforts appliqués sont :

- Les efforts verticaux  $R1$ , dus aux poids propres du pont roulant, de la charge levée et le palan électrique.
- Les efforts horizontaux longitudinaux  $R2$ , dus à l'accélération ou au freinage du palan électrique.

Compte tenu de la forte sensibilité de la poutre du pont à l'instabilité élastique leur dimensionnement par calculs en plasticité n'est pas admis, seul les calculs en élasticité sont applicables.

### 3.2.1 Evaluation des charges :

calcul de la charge à stoker :

Il y a beaucoup de type de bouteilles (L50, M20...) nous allons choisir la plus grande bouteille (L50) pour éviter les risques :

- pour L50 de l'oxygène nous avons :

capacité en eau 50 litres

$$V_{gaz} = 10m^3 \quad H = 1.6m$$

$$P_{vide} = 70Kg \quad \Phi = 230mm$$

la masse du gaz pour L50 :

$$V = 10m^3 = 10^4$$

Pour  $P = 1bar$

$$V_m = 24.789598 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ à } 25^\circ$$

$$m = n \cdot M = \frac{V}{V_m} \cdot M$$

Avec  $M$  : la masse molaire

$$M = 2M_{O_2} = 2 \times 16 = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$m = \frac{10^4}{24.789598} \times 32 \approx 13 \text{ Kg}$$

D'où pour une bouteille pleine :

$$M_{totale} = 13Kg + 70Kg = 83Kg$$

Et pour le contenu d'une caisse :

$$G_1 = 9 \cdot M_{totale} = 9 \times 83Kg = 747Kg$$

Avec la masse de la caisse on va prendre :  $G_1 = 1000 \text{ Kg}$ .

**La poutre du pont supporte les charges suivantes :**

- Masse à lever nominale  $G_1 = 1000 \text{ Kg}$
- Poids propre du chariot et galet  $G_2 = 500 \text{ Kg}$

D'où

$$P = G_1 + G_2 = 1500 \text{ Kg}$$

**Charges verticales :**

$$R_{1max} = \frac{1.1P}{2} = \frac{1.1 \times 1500}{2} = 825 \text{ Kg}$$

**Charge horizontale longitudinale :**

$$R_{2max} = 0,2 \times R_{1max} = 165 \text{ Kg}$$

### 3.2.2 Dimensionnement de la poutre du pont :

La flèche admissible est obtenue quand les deux charges sont en position symétrie par rapport au milieu de la poutre.

- Travée de  $l = 4m$  (sur deux appuis simple)
- Distance entre galets  $e = 0.25m$

Il faut calculer le moment maximal afin de vérifier la résistance et les autres sollicitations, mais le problème c'est que :

- nous avons une charge statique ( poids propre de la poutre)
- nous avons une charge dynamique (tous ce qui concerne le palan électrique et la charge à élever)

Pour cela nous allons calculer les moments correspondants aux deux types de chargement afin de calculer le moment maximal par une combinaison qu'on va définir après.

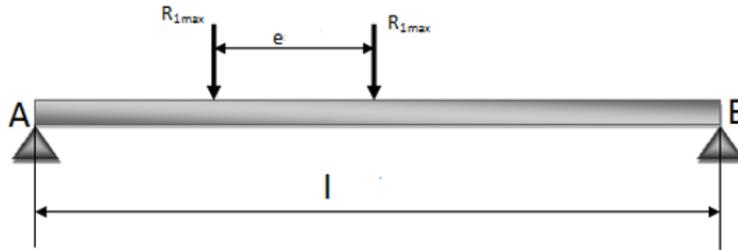


FIGURE 3.13 – disposition des réactions du palan sur le pont roulant

**Application du théorème de BARRE** : Nous avons :

$$\frac{e}{l} = 0,0625 < 0,586 \rightarrow \text{le théorème de BARRE est applicable.}$$

D'après le théorème de BARRE le moment dû à la charge roulante est :

$$M_p = \frac{2R_{1max}}{l} \left( \frac{l}{2} - \frac{e}{4} \right)^2 = 1548.5 \text{ kg.m}$$

**Condition de résistance** :

Il faut que :

$$W_{el} > \frac{M_p}{\sigma_e} = 65.9 \text{ cm}^3$$

qui correspond à HEA100 ( $W_{el} = 72.76 \text{ cm}^3$ )

$$G_p = 16.7 \text{ Kg/m}$$

⇒ Le moment dû à la charge permanente :

$$M_G = \frac{G_p \cdot l^2}{8} = \frac{16.7 \times 4^2}{8} = 33.4 \text{ kg.m}$$

Le moment maximal pondéré :

$$M_{max} = 1,35 \times M_G + 1,5 \times M_p$$

$$M_{max} = 2367.84 \text{ Kg.m}$$

$$W_{el} < \frac{M_{max}}{\sigma_e} = 91.75$$

!!!! donc je vais prendre HEA120

$$G_p = 19.9 \text{ Kg/m}$$

Le moment dû à la charge permanente :

$$M_G = \frac{G_p \cdot l^2}{8} = \frac{19.9 \times 4^2}{8} = 39.8 \text{ kg.m}$$

Le moment maximal pondéré :

$$M_{max} = 1,35 \times M_G + 1,5 \times M_p$$

$$M_{max} = 2376.48 \text{ Kg.m}$$

$$W_{el} = 106.3 > \frac{M_{max}}{\sigma_e} = 101.13 \text{ OK}$$

**Vérification de la flèche :**

La flèche d'une poutre isostatique soumise à une charge uniformément répartie est :

$$f_1 = 5G_p \frac{l^4}{384 \times E \times I_y}$$

$$f_1 = 0.052 \text{ cm}$$

La flèche d'une poutre isostatique soumise aux charges roulantes est donnée par le théorème de BARRE :

$$f_2 = \frac{R_{1max}(l - e)[3l^2 - (l - e)^2]}{48E \cdot I_y}$$

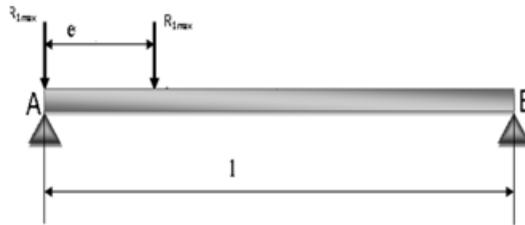
$$f_2 = 1.718 \text{ cm}$$

La flèche totale doit être inférieure à  $\frac{l}{200}$  :

$$f = f_1 + f_2 = 1.77 \text{ cm} < 2 \text{ cm}$$

La flèche est vérifiée.

**Vérification d'effort tranchant :**



Il convient que la valeur de calcul  $V$  de l'effort tranchant dans chaque section satisfasse

$$V < V_{el}$$

$$V = R_{1max} + R_{1max} \frac{l - e}{l} + G_p \frac{l}{2}$$

$$V = 3248.43 \text{ daN}$$

La résistance ultime au cisaillement est donnée par :

$$V_{el} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{m1} \cdot \sqrt{3}} \text{ avec } A_v = A - 2b \times t_f + (t_w + 2r)t_f = 8.42 \text{ cm}^2$$

$$V_{el} = \frac{8.42 \times 23.5 \times 100}{\sqrt{3} \times 1.1} = 10385.48 \text{ kg}$$

$$V < V_{el}$$

L'effort tranchant est vérifiée

### Vérification au déversement :

Le moment de flexion maximal  $M_f$  doit être inférieur au moment ultime de déversement :

$$M_f = \frac{\chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{m1}}$$

Le  $HEA120$  est de classe 1 donc  $\beta_w = 1$  d'après l'équation (2.11) et (2.12) et (2.13) et (2.15) et (2.16) , nous avons trouvé que :

$$\lambda_{LT} = 63.61 \quad \varepsilon = 1 \quad \lambda_1 = 93.9 \quad \bar{\lambda}_{LT} = 0.677$$

$$\Phi_{LT} = 0.78 \cdot \chi_{LT} = 1.075$$

$$M_{dev} = \frac{1.075 \times 119.5 \times 23,5}{1.1} = 2744.43 \quad kg.m$$

$$M_{max} < M_{dev}$$

Nous prendrons le profilé  $HEA120$ .

### Conclusion ;

La poutre du pont roulant est sollicité par des charges fortes, généralement concentriques et mobiles. Le profile  $HEA120$  résiste aux différentes charges roulantes verticales.

### Modélisation sous robot

La modélisation de la la poutre du pont roulant qu'on a effectuée sous Robot est représentée sur la figure suivante : **cas de charge**



FIGURE 3.14 – modélisation de la la poutre du pont roulant

Le chargement que subit la poutre se répartit en deux types de charges ; charges permanentes représentées par le poids propre de la poutre et du palan, ensuite une charge d'exploitation c'est la charge à lever.

Les paramètres utilisés pour la génération de la charge roulant sont représentés sur la figure suivante :

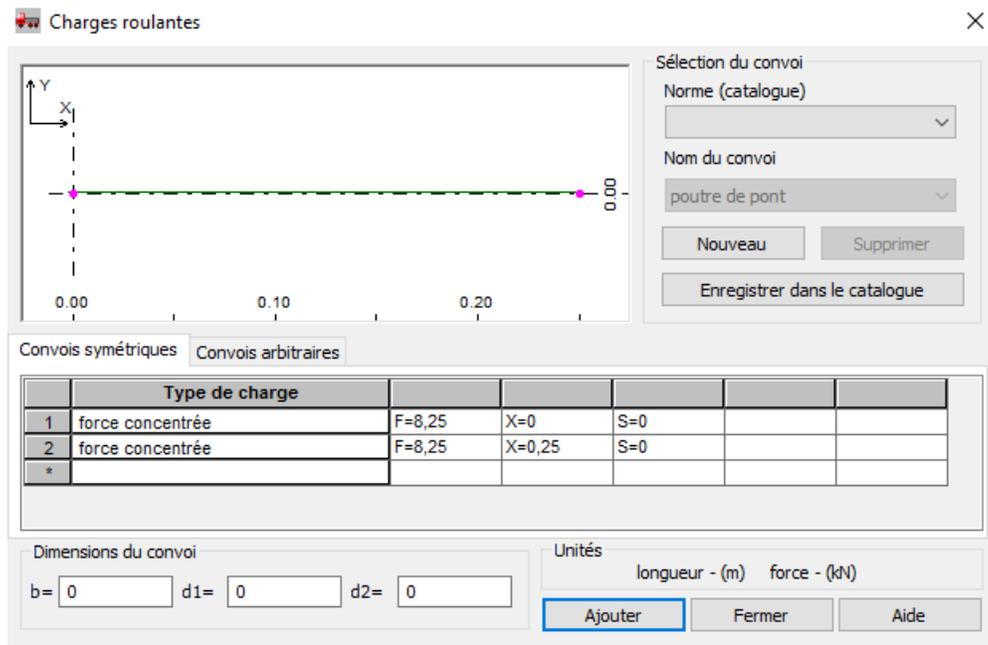


FIGURE 3.15 – génération de la charge roulante

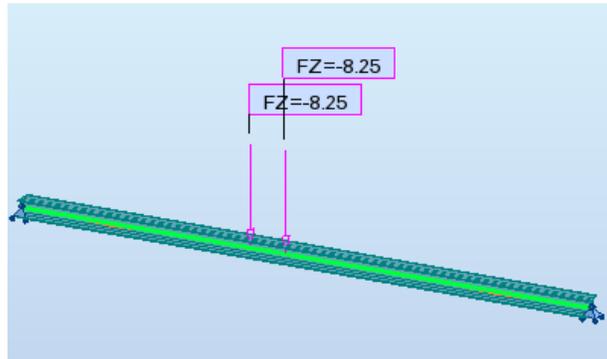


FIGURE 3.16 – la charge roulante

résultat :

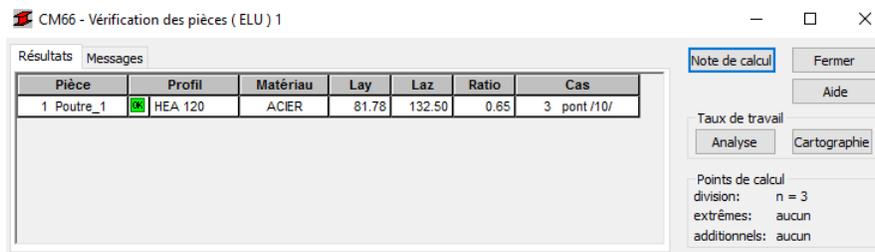


FIGURE 3.17 – vérification de HEA120

### 3.3 Dimensionnement du sommier de translation

Le pont roulant est constitué d'une ou deux poutres longitudinales reposant à chaque extrémité sur un chariot appelé sommier équipé de roues se déplaçant sur un rail.

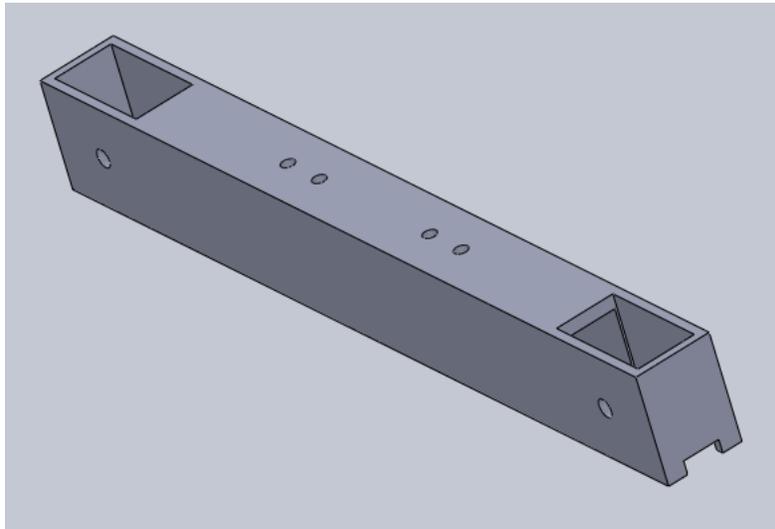


FIGURE 3.18 – sommier de translation

#### 3.3.1 Conception :

Notre concept est comme suit :

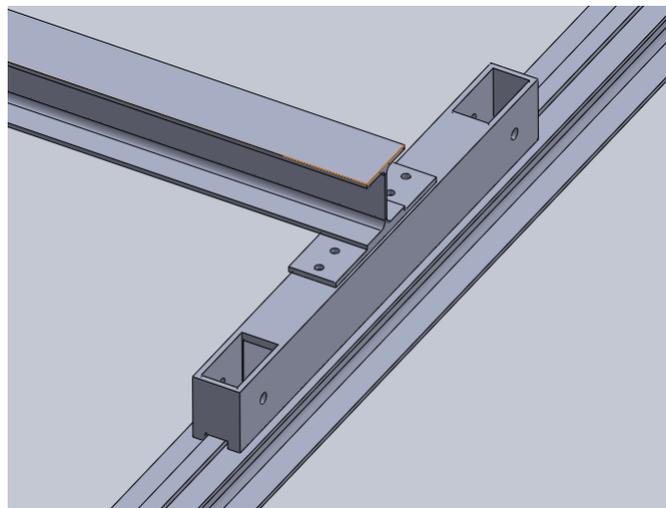


FIGURE 3.19 – liaison pont-sommier

### 3.3.2 Vérification du concept

Condition aux limites :

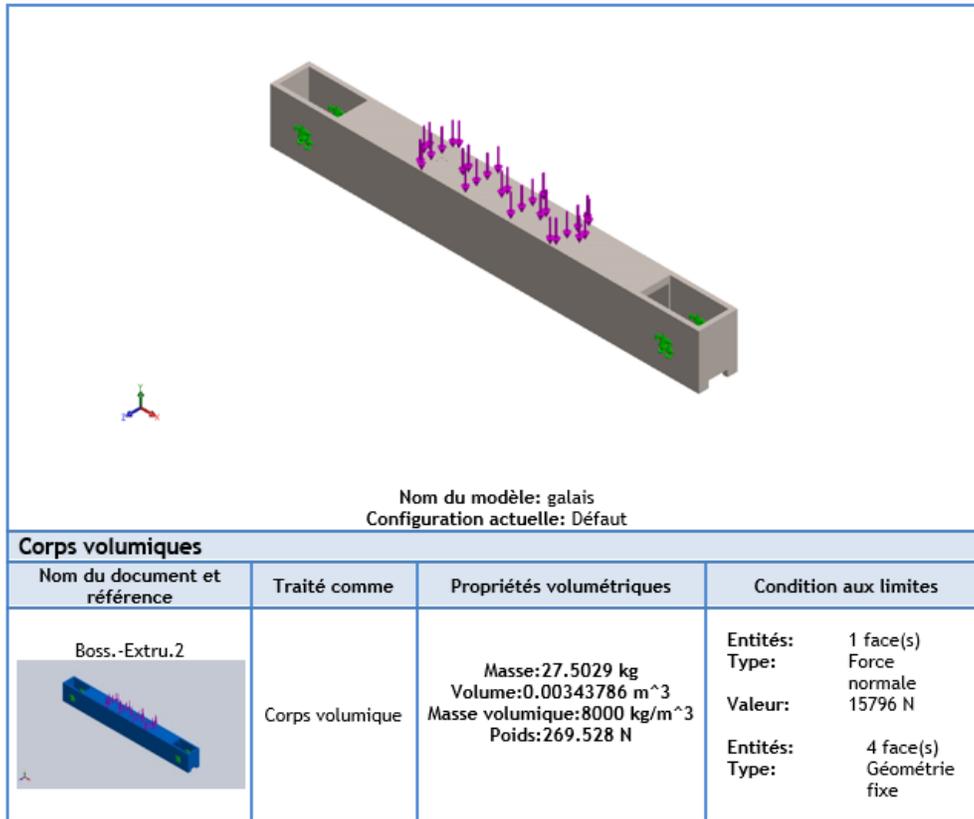


FIGURE 3.20 – Informations sur le modèle

Discrétisation :

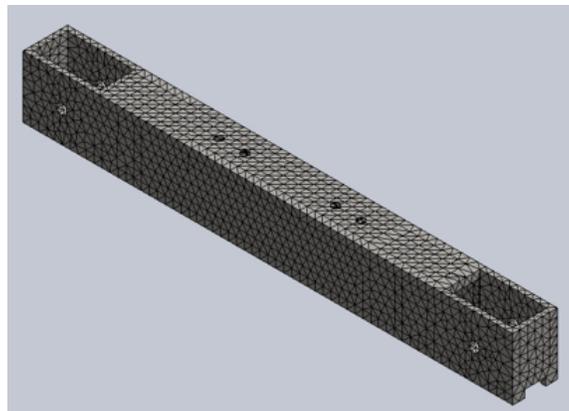


FIGURE 3.21 – maillage

Résultats :

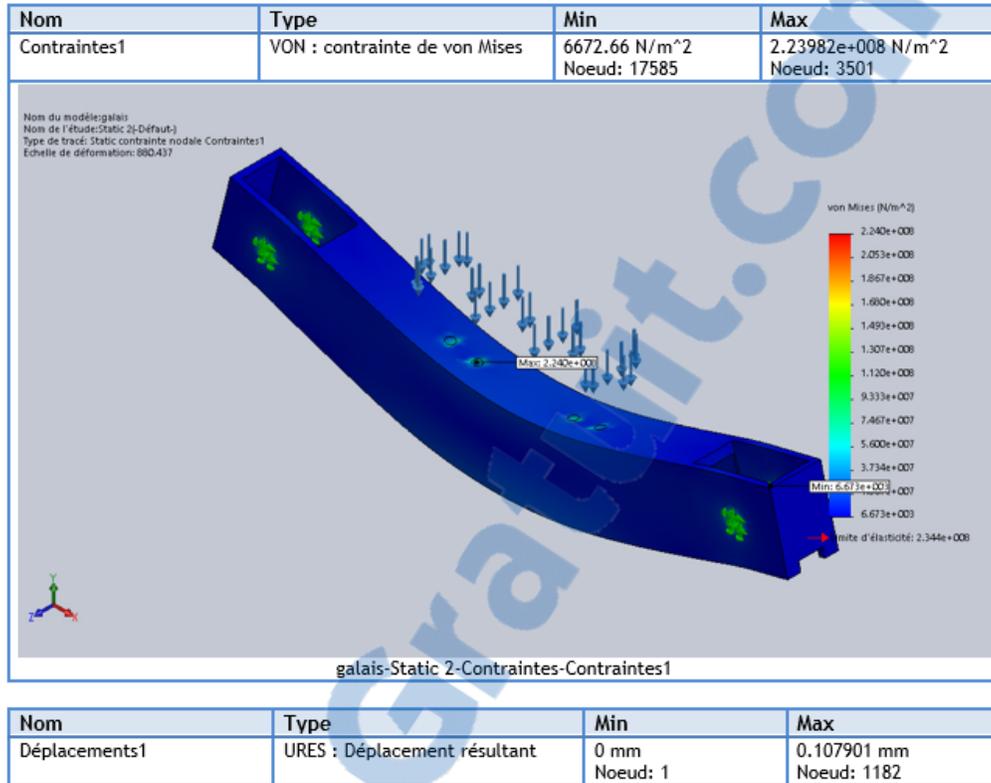


FIGURE 3.22 – contrainte et déplacement maximales

### 3.4 Dimensionnement des galets

#### 3.4.1 Conception :

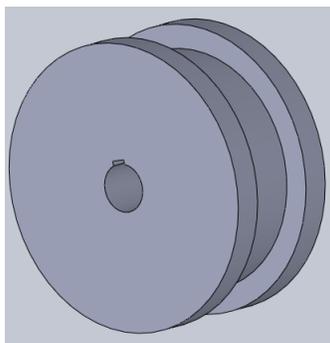


FIGURE 3.23 – galet

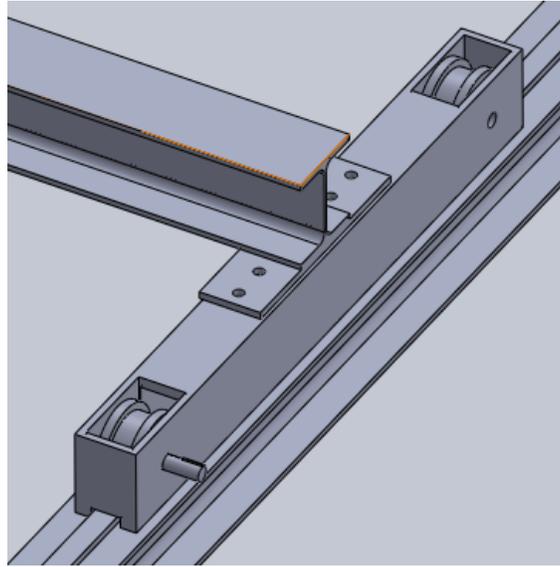


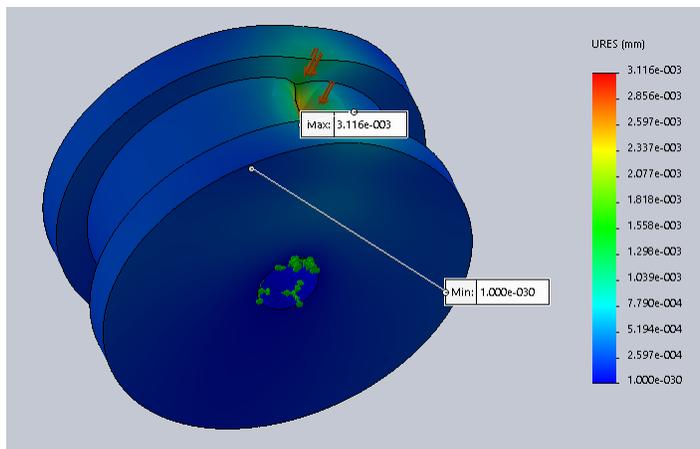
FIGURE 3.24 – position du galet

### 3.4.2 Vérification du concept

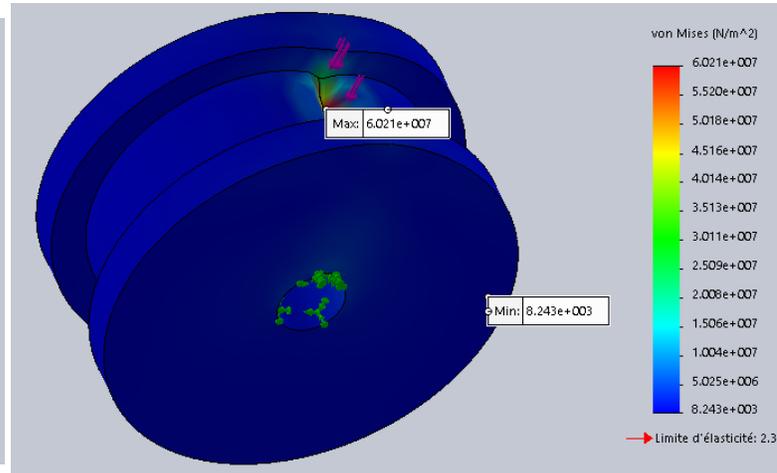
Après application des conditions aux limites :

- ✓ Fixation de surface interne dans laquelle se positionne l'arbre par une clavette.
- ✓ Application d'une force linéaire  $P = 8687.8 \text{ N}$ .

Nous avons obtenu les résultats suivantes :



(a) déplacement maximal



(b) contrainte maximale

## 3.5 Mécanisme de levage et de direction

Un chariot est un mécanisme de transmission du mouvement qui donne deux mouvements :

- Direction.
- Levage.



FIGURE 3.26 – chariot de direction

Pour l'achat de ce dispositif nous avons besoin de calculer les puissances des moteur de levage et direction.

### 3.5.1 Calcul de levage

**Donné :**

- Poids de l'ensemble à lever :  $1000\text{Kg}$ .
- Vitesse linéaire du chariot :  $V = 0,3\text{m/s}$ .

**Puissance nécessaire :**

$$F = 10000 \quad N$$

Puissance de levage :

$$P_{moeur1} = F \cdot V = 10000 * 0.3 = 3 \quad KW$$

### 3.5.2 Calcul de direction

- Poids de l'ensemble à lever :  $1500\text{Kg}$ .
- Facteur de frottement :  $\mu = 0,2$  (contac acier – acier)
- Vitesse linéaire du chariot :  $V = 0,3\text{m/s}$ .

**Puissance nécessaire :**

$$F_{frottement} = 15000 \times 0.2 = 3000 \quad N$$



Puissance de direction :

$$P_{moeur2} = F_{frottement} \cdot V = 3000 * 0.3 = 900 \quad W$$

### 3.6 Mécanisme de translation

Premièrement, nous allons commencer par dimensionné le moteur de translation afin de passer au système de réduction qui nous va donner la vitesse de translation souhaiter.

#### Donné

- ✓ Poids de l'ensemble en translation :  $1579.6Kg$
- ✓ Facteur de frottement :  $\mu = 0.2$ (*contact acier - acier*)
- ✓ Vitesse linéaire du chariot :  $0.5m/s$
- ✓ Rendement du réducteur :  $0.95$  (généralement supérieur à cette valeur)

#### Puissance nécessaire pour le moteur de translation :

$$F_{frottement} = 15796N \times 0.2 = 3159.2 \quad N$$

$$P_{moteur3} = 3159.2N \times 0.5m/s = 947.76W$$

$$P_u = 947.76 \times 0.95$$

$$P_u = 997.64 \quad W$$

Nous avons pris comme rayon de roue  $R = 50mm$  , donc la vitesse angulaire de la roue :

$$\omega_s = \frac{V}{R}$$

$$\omega_s = \frac{0.5}{0.05} = 10 \quad rad/s = 95.5 \quad tr/min$$

Nous avons choisi un moteur dont :

$$\omega_{moteur} = 1000tr/min$$

$$P_{uissance} = 1.1 \quad KW$$

D'où le rendement moteur est :

$$\eta = \frac{0.99764}{1.1} = 0.91$$

Ainsi :

$$i = \frac{\omega_s}{\omega_{moteur}} \quad \text{avec } i \text{ le rapport de vitesse}$$

$$i = \frac{95.5}{1000} = 0.0955$$

### 3.6.1 Dimensionnement du système réducteur

Nous avons :

$$i = \frac{95.5}{1000} \approx \frac{16}{168}$$

D'où :

$$Z_e = 16 \text{ dents}$$

$$Z_s = 168 \text{ dents}$$

Pour une accélération

$$a = 0.3 \text{ m/s}^2$$

D'après le principe fondamental de la dynamique :

$$F_t = m \cdot a + F_{\text{frottement}} = 1579.6 \times 0.3 + 3159.2 = 3633.08 \text{ N}$$

✓ Calculer le module minimal des dents de ce pignon en appliquant la relation ci dessous.

**Données** :

$$k \text{ (facteur de largeur de denture)} = 10$$

$$\sigma_e \text{ (résistance pratique du matériau)} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Il faut que :

$$m > 2.34 \times \left( \frac{F_t}{k \cdot \sigma_e} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$m > 2.34 \times \left( \frac{3633.08}{10 \cdot 235} \right)^{\frac{1}{2}}$$

module des dents  $> 2.91 \text{ mm} \rightarrow$  prendre  $m = 3$ .

**Pour le pignon moteur** :

$$d = Z_s \cdot m = 16 \times 3 = 48 \text{ mm}$$

$$d_{\text{exterieur}} = d + 2m = 54 \text{ mm}$$

$$d_{\text{interieur}} = d - 2 \times 1.25m = 40.5 \text{ mm}$$

Le pas :

$$P_{as} = \pi \cdot m = 9.42 \text{ mm}$$

Epaisseur :

$$e = \frac{P_{as}}{2} = 4.71 \text{ mm}$$

Largeur :

$$l = m \cdot k = 30 \text{ mm}$$

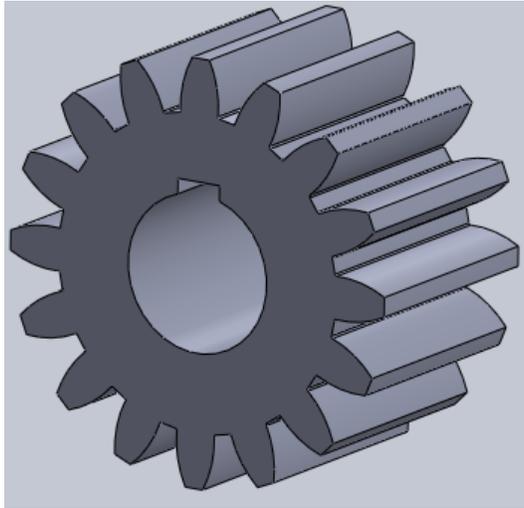


FIGURE 3.27 – Pignon moteur

Pour la roue engrené :

$$d = Z_e \cdot m = 168 \times 3 = 504 \text{ mm}$$

$$d_{\text{exterieur}} = d + 2m = 510 \text{ mm} \quad d_{\text{interieur}} = d_e - 2 \times 1.25m = 496.5 \text{ mm}$$

Le pas :

$$P_{as} = \pi \cdot m = 9.42 \text{ mm}$$

Epaisseur :

$$e = \frac{P_{as}}{2} = 4.71 \text{ mm}$$

Largeur :

$$l = m \cdot k = 30 \text{ mm}$$

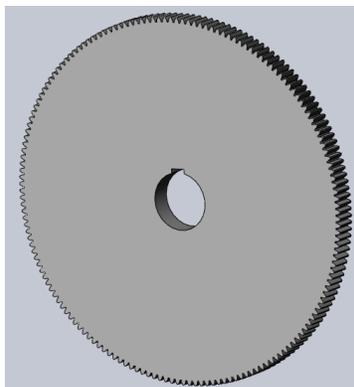


FIGURE 3.28 – la roue engrené

### Dimensionnement de l'arbre roue-galet :

L'arbre est sous une sollicitation de torsion, il engendre des contraintes de cisaillement, pour un acier doux la limite élastique de cisaillement est égale à la moitié de sa limite élastique en traction. Soit :

$$\tau_{max} = \frac{M_t \cdot R}{I_G} \leq \frac{\sigma_e}{2}$$

Avec

$$I_G = \frac{\pi D^4}{32}$$

Donc :

$$D \geq 2 \sqrt[3]{\frac{4M_t}{\pi \sigma_e}}$$

$M_t$  est le couple appliqué qui est égal à :

$$M_t = \frac{P_u}{\omega_s} = \frac{997.64}{95.5} Nm$$

$$M_t = 10.45 Nm$$

D'où :

$$D \geq 7.8 \text{ mm}$$

Nous allons fixer cette valeur dans la partie dimensionnement des roulements pour le guidage en rotation des galets avec les sommiers de translation.

### 3.6.2 dimensionnement des roulements

Un roulement est un dispositif destiné à guider un assemblage en rotation, c'est-à-dire à permettre à une pièce de tourner par rapport à une autre selon un axe de rotation défini.

Nous avons huit roulements typiques, donc nous allons dimensionner un seul roulement.

nous avons choisi à dimensionner un roulement à contact à bille radial.

**Donner :**

- La force radiale :  $F_r = 8687.8 \text{ N}$
- La force axiale :  $F_a = 868.78 \text{ N}$
- La durée de vie :  $L_{10H} = 10000 \text{ heures}$
- Diamètre intérieur minimal du roulement  $\Phi$  est  $20 \text{ mm}$
- Vitesse de rotation du galet :  $\omega_s = 95.5 \text{ tr/min}$

**Prédimensionnement :** Supposons que :

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e$$

D'où :

$$P = F_r = 8687.8 \text{ N}$$

Calcul de la capacité dynamique :

$$C = P \left( \frac{60N \cdot L_{10H}}{10^6} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Avec :  $n = 3$  car nous avons un roulement à bille.

$$C = 8687.8 \left( \frac{60 \times 95.5 \times 10000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 33493.56 \quad N$$

### Choix du roulement :

D'après le catalogue dans l'annexe D nous allons choisir le roulement dont :

$$\Phi = 25 \text{ mm.} \quad C = 3580 \text{ daN.} \quad C_0 = 1960 \text{ daN}$$

Vérification :

$$\omega_s = 95.5 \text{ tr/min} \leq N_{max} = 11000 \text{ tr/min}$$

### Détermination du roulement :

$$0.028 \leq \frac{F_a}{C_0} = \frac{868.78}{19600} = 0.044 \leq 0.05$$

D'où :

$$0.22 \leq e \leq 0.26$$

Et

$$\frac{F_a}{F_r} = 0.1 \leq e$$

Donc le roulement de diamètre  $\Phi = 25 \text{ mm}$  et de série de dimensions 04 est convenable.

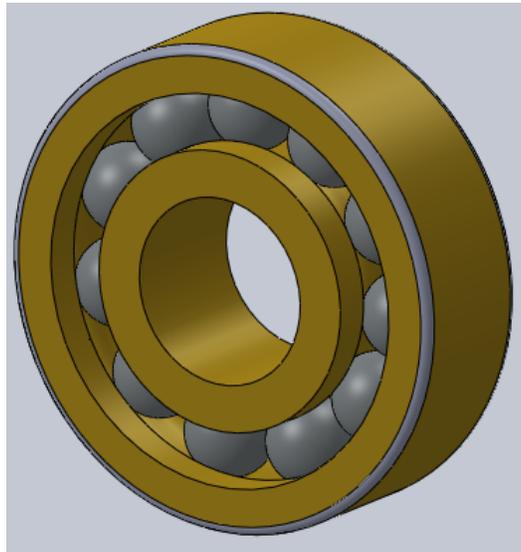
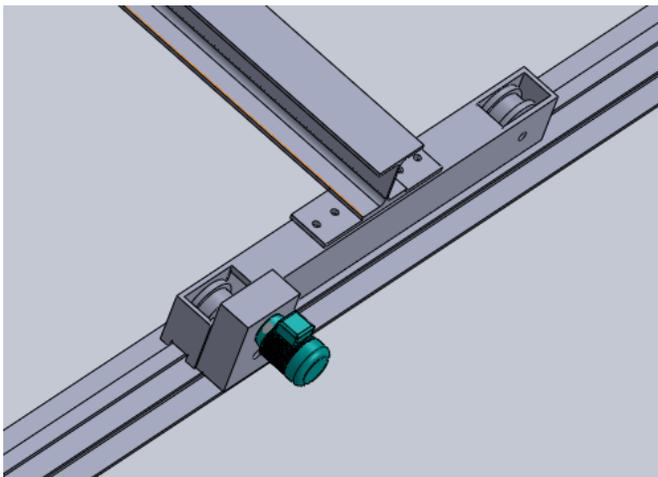


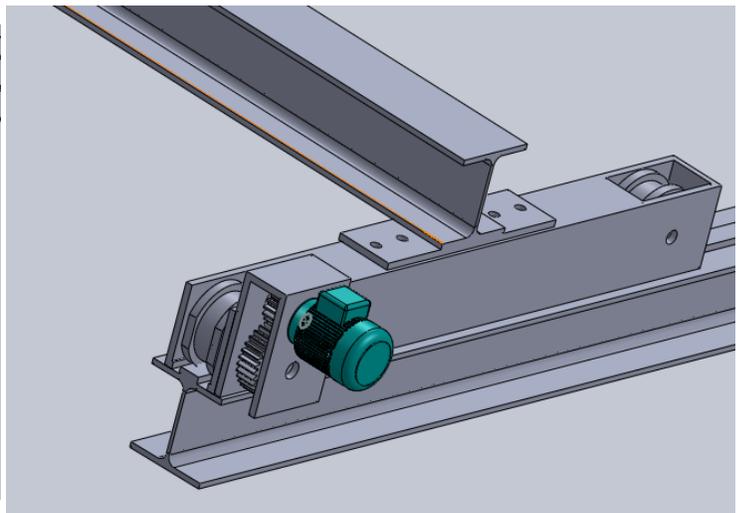
FIGURE 3.29 – Roulement de guidage en rotation

### 3.6.3 Structure final du pont roulant

Nous avons assemblé tous ces dispositifs que nous avons déjà dimensionné pour générer un système de manutention qui va satisfaire le besoin de déplacer et stoker les bouteilles d'oxygène et d'acétylène, le concept final est bien montrer sur la figure suivante :



(a) assemblage des dispositifs



(b) coupe pour le système de réduction

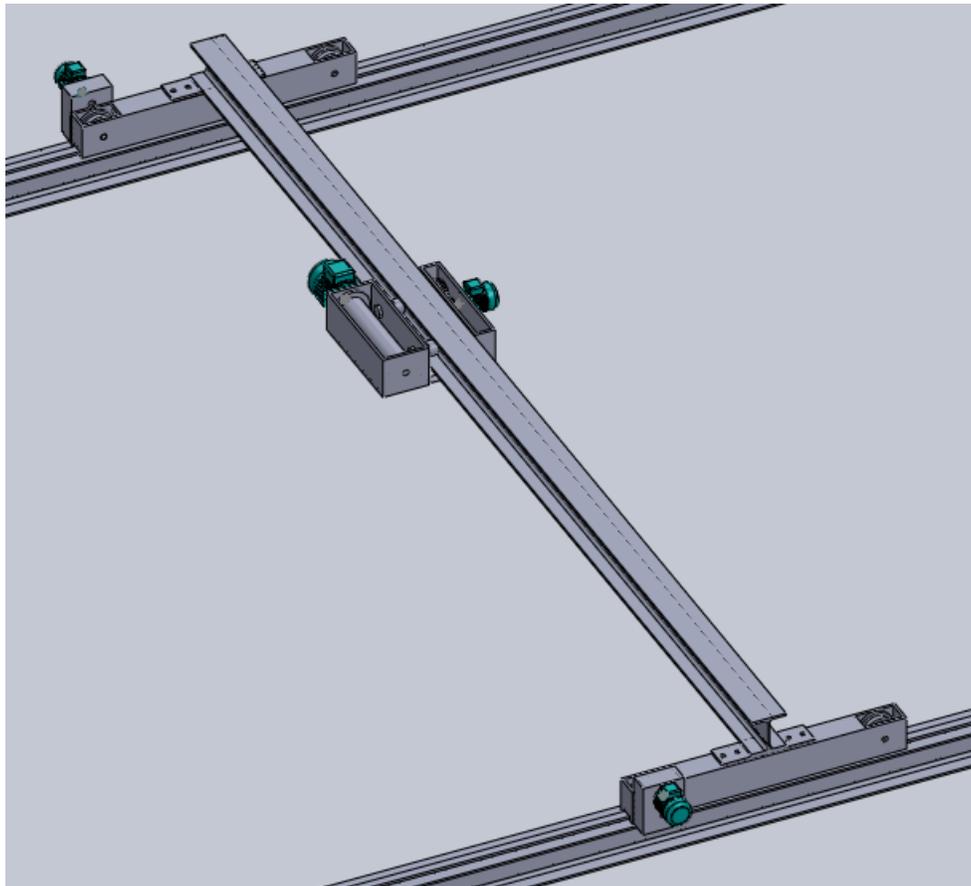


FIGURE 3.31 – concept final

# Chapitre 4

## Installation électrique

Dans ce chapitre nous allons faire une étude électrique de notre système pour que le système soit apte de mobiliser.

### 4.1 Généralité

Une installation électrique est un ensemble cohérent de circuits électriques, d'appareillages électriques, elle peut se situer dans un bâtiment ou un ensemble de bâtiments à usage d'habitation, industriel, commercial ou de bureaux.

La réalisation d'une installation électrique passe par deux étapes suivantes :

- L'étude de l'installation électrique se fait par un architecte et/ou un bureau d'étude en techniques spéciales et/ou l'entreprise d'électricité.
- La réalisation de l'installation électrique se fait par entreprise d'électricité ou un électricien.

Notre travail s'intéresse juste par la première partie, celle de l'étude de l'installation électrique.

### 4.2 Schémas de commandes

Actuellement le réseau électrique devient très complexe et aussi nécessaire pour alimenter des machines industriels qui fournissent une énergie assez grande. Maintenant, nous allons voir un paquet des schémas de puissances et de commandes Pour alimenter ces moteurs qui sont commandés par un manette de commande.

#### 4.2.1 Schémas de commande et de puissance pour l'alimentation

Dans le schéma d'ensemble nous aurons une schématisation pour alimenter les quatre moteurs qui transmettent l'énergie électrique en énergie mécanique, donc, à partir de Poste de distribution d'énergie, nous alimentons le poste électrique par une ligne aérienne 60KV qui sera localisée dans l'atelier de maintenance, ce dernier permet de transformer cette Tension en 5.5KV par un transformateur 5.5KV/380V, cette Tension 380V alimente le modulaire que nous avons fait, nous savons que chaque réseau électrique sera branché d'une façon de distribution triphasé ( 3 phases et un neutre ), après nous allons avoir un schéma de démarrage pour chaque moteur qui compose d'un disjoncteur magnéto-thermique, vu l'installation de ces quatre moteurs, il faut d'abord protéger

et isoler notre circuit contre les Courts-circuits et un Contacteur automatique qui permet de la protection contre les surcharges, ce que veut dire plusieurs équipements qui sera installé sur une même ligne Triphasé et pour le schéma de commande nous avons un transformateur monophasé comme abaisseur 380V/24V , qui permet d'alimenter Les disjoncteurs de protection aussi pour commandé chaque mouvement, nous avons des boutons Poussoirs *S1* et *S2*, leurs fonctionnement est de commander L'actionneur *KM1* , qui sera Le Phase de marche ou d'arrêt du fonctionnement des autres boutons, c'est juste pour plus de sécurité.

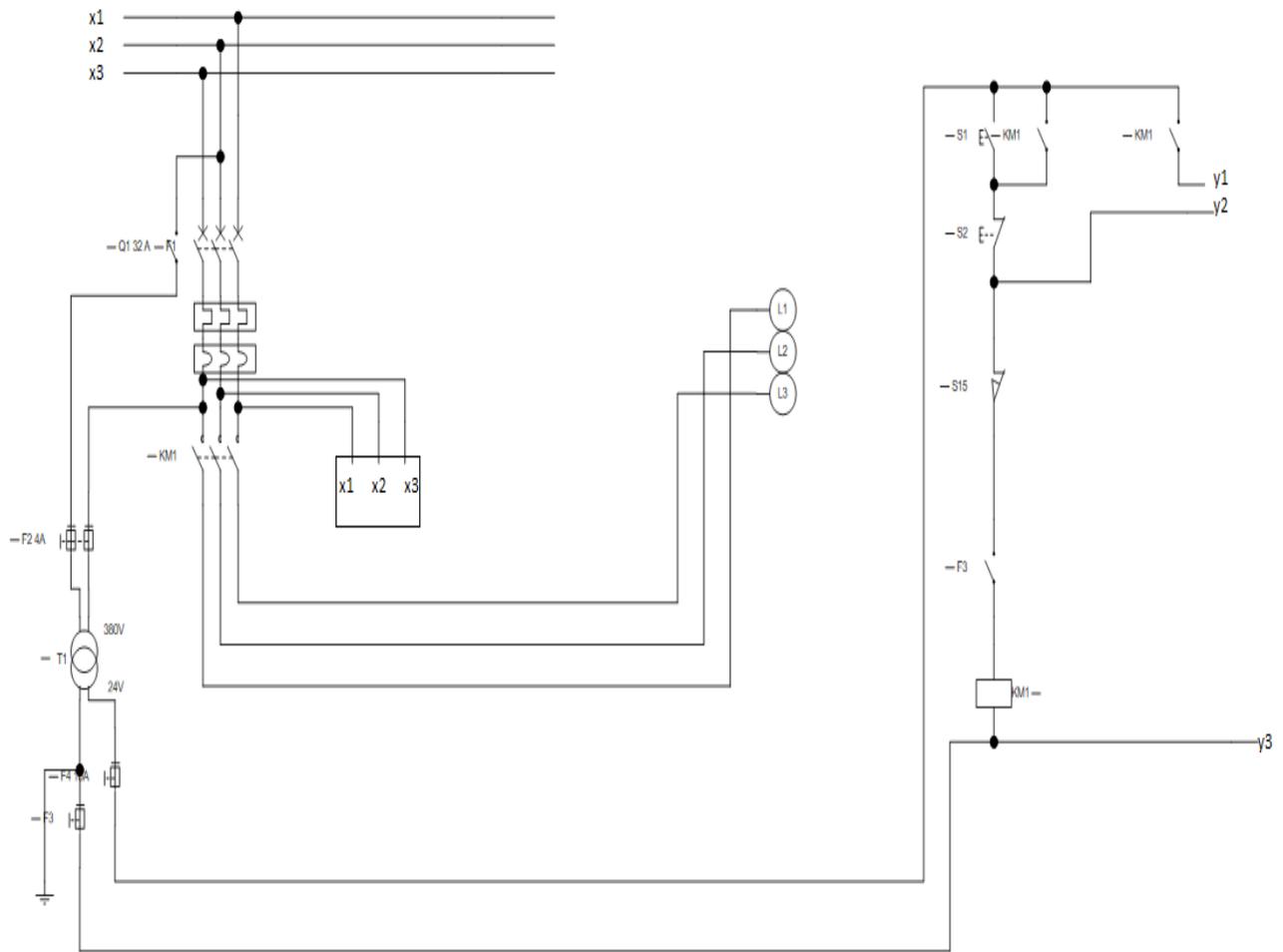
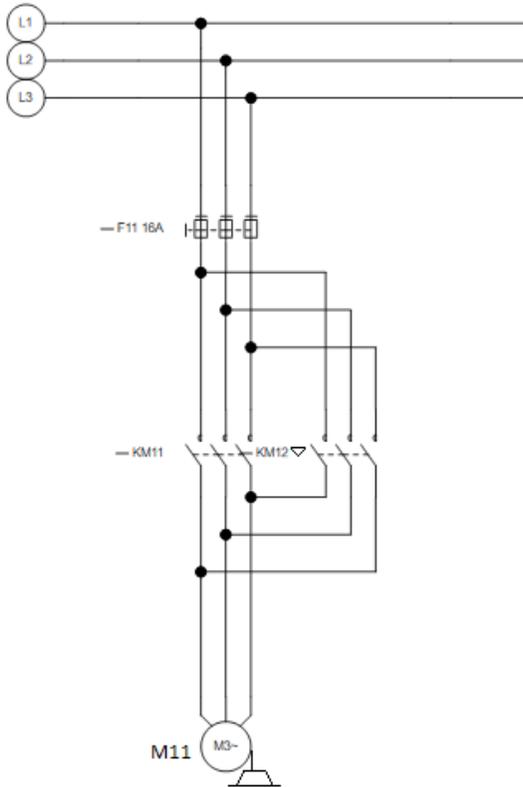


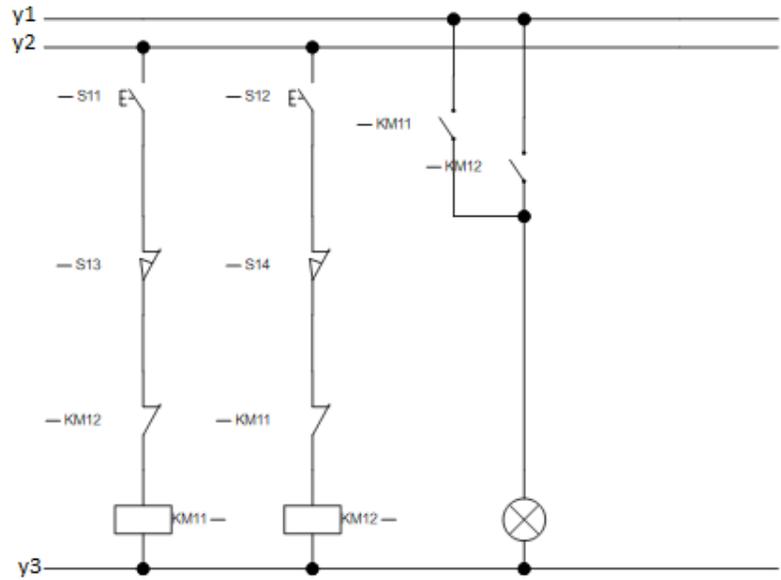
FIGURE 4.1 – Alimentation

## 4.2.2 Schémas de commande et de puissance pour levage

$S11$  et  $S12$  leurs fonctionnement permet de commandé Les deux actionneurs  $KM11$ ,  $KM12$  ( rotation dans le sens horaire , antihoraire ) du moteur de levage :



(a) schéma de puissance de levage

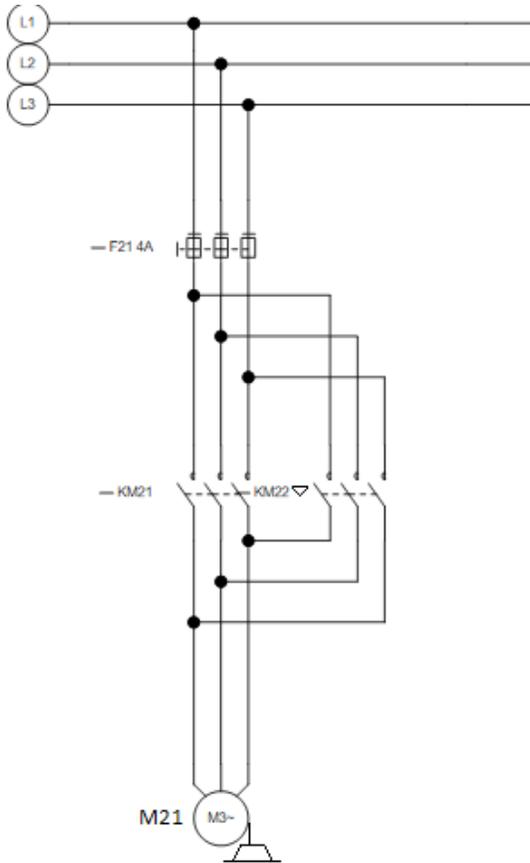


(b) schéma de commande de levage

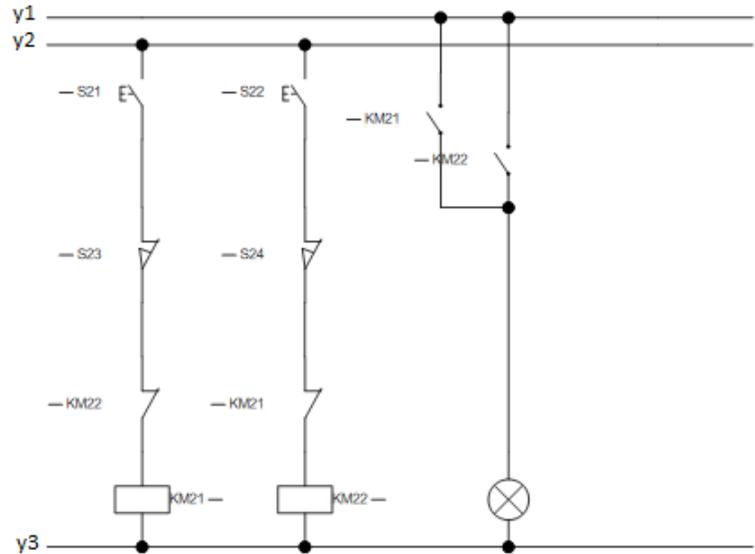


### 4.2.3 Schémas de commande et de puissance pour direction

$S21$  et  $S22$  ce sont des boutons poussoirs sont commandé Les deux actionneurs  $KM21$ ,  $KM22$  qui sera Le Choix de direction de chariot soit en gauche ou droite.



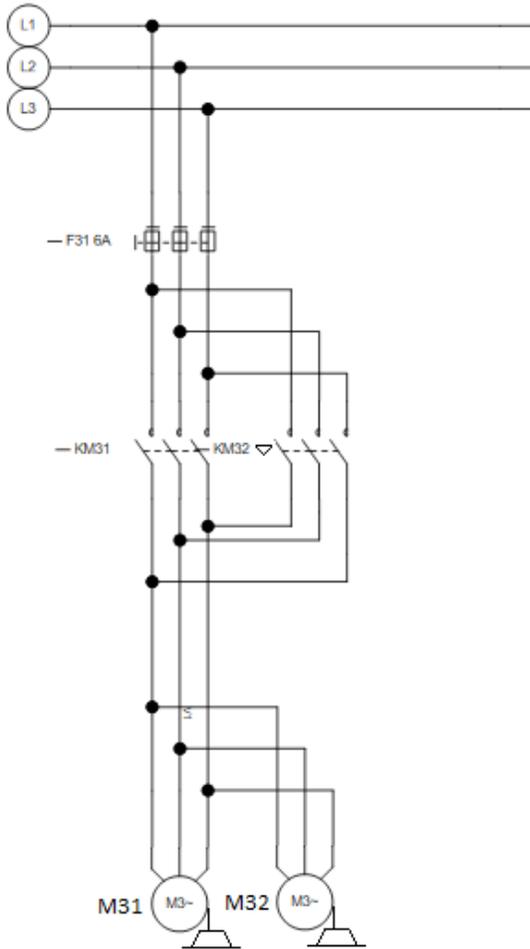
(a) schéma de puissance de direction



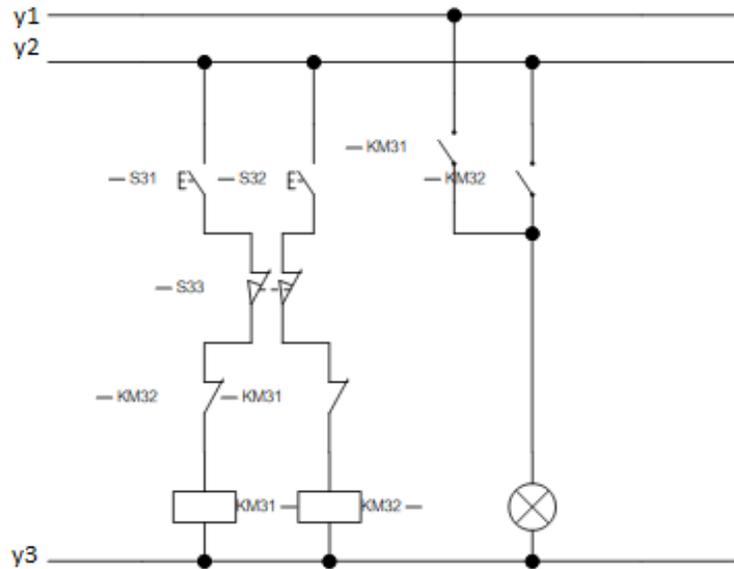
(b) schéma de commande de direction

#### 4.2.4 Schémas de commande et de puissance pour translation

Les Boutons Poussoirs  $S31$ ,  $S32$  nous permettent de motoriser la translation qui sera en avant ou en arrière ( actionneurs  $KM31$  et  $KM32$  ) .



(a) schéma de puissance de translation



(b) schéma de commande de translation

Tous ces boutons poussoirs se rassemble dans une boitier s'appelle boitier de commande lié d'une façon câblé .

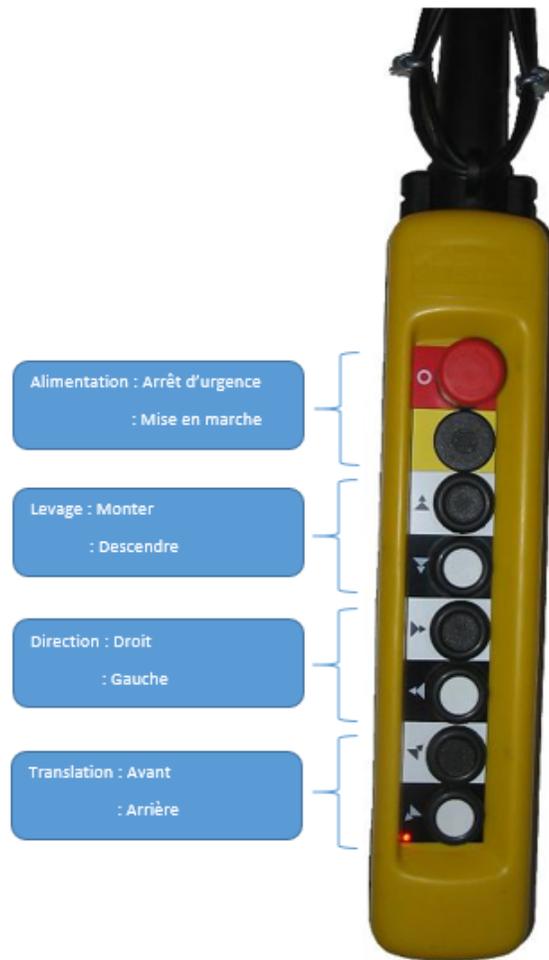


FIGURE 4.5 – boîtier de commande

### 4.3 Amélioration

Dans un système câblé il y a plus de risque que des courts circuits pour cela nous avons proposé de faire ce commande des moteurs par une option de réseau c'est à dire par l'antenne et de laisser le choix pour l'opérateur de faire ce qu'il veut, voila une schémas de commande globale qui rassemble les deux modes d'utilisations :

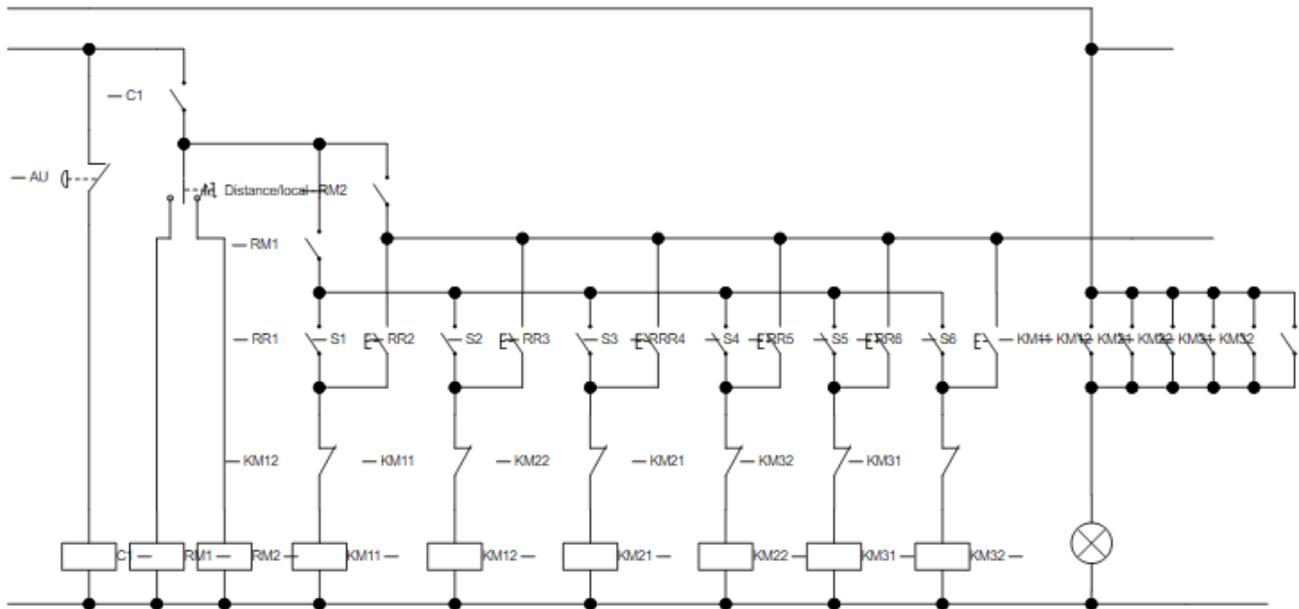


FIGURE 4.6 – modes de commandes

$C_1$  contacteur de ligne  $AU$  est un arrêt d'urgence pour couper la tension de commande en cas de risque. Premièrement nous allons choisir le mode opératoire que nous convient soit local( dans l'armoire) ou à distance ( par un radio télécommande ), les  $RR_i$  sont des contacteur pour le commande à distance et les  $S_i$  sont des boutons poussoirs pour le commande local.



FIGURE 4.7 – Radio télécommande

# Conclusion

L'objectif général de ce travail était dimensionnement d'une charpente métallique (pour stocker les bouteilles d'oxygènes) et la conception d'un pont roulant (pour faciliter la manutention de ce stock) au niveau de l'unité maintenance dragline .

Premièrement, Nous avons commencé par une présentation du Groupe OCP. Cette première partie nous a permis d'avoir une idée générale sur le groupe et le service d'accueil.

Deuxièmement, nous avons commencé l'évaluation des charges existants que soit permanents, du vent ou d'exploitation afin de dimensionner nos éléments de structure soit par calcul manuel (éléments de toiture, les lisses de bardage et les poutres de roulement) ou par *ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS* 2016 ( les éléments de stock, les portiques, les potelets) et les liaisons entre eux ( assemblage poutre-traverse, traverse-traverse ou fixation des poteaux) par le même logiciel.

D'une part, la troisième partie qui a été consacrée au système de manutention , nous a permis de faire une analyse fonctionnelle afin de satisfaire notre besoin en choisissant le concept le plus adéquat c'est le pont roulant monorail, en suite nous avons commencé le dimensionnement de la poutre principale soit par un calcul manuel ou par logiciel. Après nous avons passé à étudier et concevoir les différents éléments du pont ( les sommier de translation, le chariot du direction et de levage, les moteurs de translation et leur système de réduction, les galets et enfin les roulements afin de permettre le guidage en rotation) et vérifier ces concept en terme de déplacement, aussi de contrainte par logiciel *SOLIDWORKS* 2016 .

D'autre part, la quatrième partie vise tous ce qui est installation et commande électrique, nous avons commencé par l'élaboration des schémas de puissance et de commande dans *AUTOMGNE* 8 pour l'alimentation générale du hangar ainsi pour tous les mouvements du système ( levage, direction, translation), après nous avons passé à améliorer notre mode de commande ( manette mobile) à un autre mode ( local ou par antenne) qui va mettre plus en sécurité l'opérateur.

Cette période de stage nous a permis également d'appliquer des outils utilisés dans le cadre de notre formation à la Faculté des Sciences et Techniques aussi que hors formation comme *SOLIDWORKS* 2016, *AUTOMGNE* 8 et enfin *LaTeX* pour l'élaboration du rapport de notre stage, ainsi de matérialiser le baguage technique appris tout au long de la période de formation.

## Annexe A

### Provinces-Région du vent

<i>Provinces</i>	<i>Municipalités-Cercles</i>	<i>Régions</i>
Ad-Dakhla	Ad-Dakhla; Al-Argoub; Bir Gandoui	1
	Bir Anzarane; Aousard	4
Agadir	Agadir;Inzegane;Biougra	1
Al Hoceima	Al Hoceima;B.Boufran ;Ajdit	1
Azilal	Azilal ; Damnat ; Ouaouizarht	4
Beni-Maellal	Beni-Mallal; Had Ould Ben Moussa;Fkih Ben Salah;Kasb-Tadla	1
Ben Slimane	Ben Slimane; Bouznika	1
Boulmane	Boulmane ; Missour ; Outate El Haj	4
Boujdour (*)	Boujdour ; La partie Est	1
Casablanca	Casa ; Mouhamadia ;TitMellil ;Nouasser ; dar Bouazza ; Ain Harrouda	1
Chefchaoun	Chefchaoun; Mokrissat; Bab Berred; Sidi Bennour	4
El Jadida	El Jadida ; Azemmour ; Sidi Smail ; Sidi Bennour	1
El Kelaâ	El Kalaâ ; Attaouia; Sidi Bou Othmane; Ben Querir	1
Errachidia (*)	Errachidia ; Rich – Assoi ; Goulmima	3
	Erfoud - Rissani	4
Essaouira	Essaouira ; Tamaner	3
Essemara	Essemara	4
Fés	Fés ; Sefrou	2
Figuig	Figuig ; Beni Tajjit	4
Ifrane	Ifrane ; Azrou	3
Goulmime(*)	Goulmime; Bou Zekarn	2
	Assa Zag	4
Khemissat	Khemissat ; Tiflet ; Romani ;Oulmes	1
Khemissat	Khemissat ; Tiflet ; Romani ;Oulmes	1
Kenitra	Kenitra ; Sidi Slimane ; Souk El Arba du Gharbe	1
		1
Khenifra(*)	Khenifra ; El Kbab	4
	Midelt	3
Khouribga	Khouribga ; Oued Zem ; Boujad	1
Laâyoune(*)	Laâyoune ; daoura	2
Marrakech	Marrakech ; Ait Ourir ; Tahannaoute ;Amzmiz ; Imin-tanoute ; Chechaoua	1
Meknes	Meknes ; El hajeb	1
Nador	Nador ; Zaïon ; Zghanghane; Driouch ; Mider	1
Ouarzazat	Ourzazat ; Boumalne; Ane;	3
	Zagora	4
Oujda (*)	Oujda; Berkane ; Taourirt	3
	Jerada	4
Rabat	Rabat ; Salé	1
Safi	Safi ; Jamaâ Shaim ;Chemaia	1
Settat	Settat; Ben Ehmed; Berrechid; El Bourouj	1
Sidi Kacem	Sidi Kacem; Machraâ Bel Le Ksiri; Had Kourt; Ouazzane	1
Skhirate	Skhirate ; Temara	1
Tanger	Tanger ; Asila	3
Tan-Tan	Tan-Tan	2
Taroudant	Taroudant ; Ouled Taima; Irherm; Taliouine	4
Tata	Tata; Akka; Fom Zguid	4
Taounate	Taounate; Tissa; Kariet Ba Mohamed; Ghfsai	4
Taza	Taza; Thsia; Gercif ; Aknoui ; Taïneste	3
Tetouan	Tetouan ; Lrache	2
	Ksar El Kebir	1
Tiznit (*)	Tiznit; Ifni; Anezi	2
	Tafraoute	4
	Tleta des Akhasass	4

## Annexe B

# Calculs des charges neige et vent selon NV65 02/09

### VALEURS DES CHARGES NV selon NV65 Maroc

#### CHARGE DE VENT

Cas de charge : **Vent G/D perméab.**

barre : 1	P : de	-1,80 kN/m	pour x =	0,000	à	-2,15 kN/m	pour x =	1,000
barre : 3	P : de	0,15 kN/m	pour x =	0,000	à	0,16 kN/m	pour x =	0,000
	P : de	0,15 kN/m	pour x =	0,000	à	0,15 kN/m	pour x =	0,000
barre : 4	P : de	-0,26 kN/m	pour x =	0,000	à	-0,26 kN/m	pour x =	0,332
	P : de	-0,26 kN/m	pour x =	0,332	à	-0,26 kN/m	pour x =	1,000

Cas de charge : **Vent D/G perméab.**

barre : 3	P : de	-0,26 kN/m	pour x =	0,000	à	-0,26 kN/m	pour x =	0,000
	P : de	-0,26 kN/m	pour x =	0,000	à	-0,26 kN/m	pour x =	0,000
barre : 4	P : de	0,15 kN/m	pour x =	0,000	à	0,15 kN/m	pour x =	0,332
	P : de	0,16 kN/m	pour x =	0,332	à	0,15 kN/m	pour x =	1,000
barre : 2	P : de	1,80 kN/m	pour x =	0,000	à	2,15 kN/m	pour x =	1,000

Cas de charge : **Vent Av./Arr. perméab.**

barre : 1	P : de	1,71 kN/m	pour x =	0,000	à	2,04 kN/m	pour x =	1,000
barre : 3	P : de	1,94 kN/m	pour x =	0,000	à	1,97 kN/m	pour x =	0,000
	P : de	1,97 kN/m	pour x =	0,000	à	1,98 kN/m	pour x =	0,000
barre : 4	P : de	1,98 kN/m	pour x =	0,000	à	1,97 kN/m	pour x =	0,332
	P : de	1,97 kN/m	pour x =	0,332	à	1,94 kN/m	pour x =	1,000
barre : 2	P : de	-1,71 kN/m	pour x =	0,000	à	-2,04 kN/m	pour x =	1,000

Cas de charge : **Vent Arr./Av. perméab.**

barre : 1	P : de	0,00 kN/m	pour x =	0,000	à	0,00 kN/m	pour x =	1,000
barre : 3	P : de	-0,09 kN/m	pour x =	0,000	à	-0,09 kN/m	pour x =	0,000
	P : de	-0,09 kN/m	pour x =	0,000	à	-0,09 kN/m	pour x =	0,000
barre : 4	P : de	-0,09 kN/m	pour x =	0,000	à	-0,09 kN/m	pour x =	0,332
	P : de	-0,09 kN/m	pour x =	0,332	à	-0,09 kN/m	pour x =	1,000
barre : 2	P : de	-0,00 kN/m	pour x =	0,000	à	-0,00 kN/m	pour x =	1,000

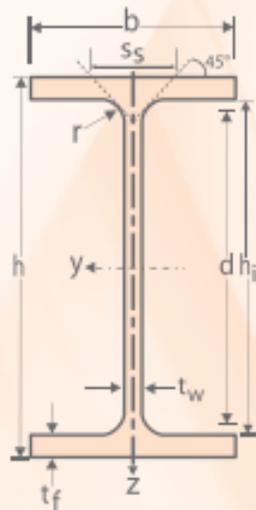
## Annexe C

# Catalogue des profilés IPE et HEA

pour IPE :

Désignation	Dimensions						Dimensions de construction						Surface	
	G kg/m	h mm	b mm	t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	r mm	A mm <sup>2</sup>	h <sub>1</sub> mm	d mm	∅	P <sub>min</sub> mm	P <sub>max</sub> mm	A <sub>L</sub> m <sup>2</sup> /m	A <sub>G</sub> m <sup>2</sup> /t
							x 10 <sup>2</sup>							
IPE A 80*	5,0	78	46	3,3	4,2	5	6,38	69,6	59,6	-	-	-	0,325	64,90
IPE 80*	6,0	80	46	3,8	5,2	5	7,64	69,6	59,6	-	-	-	0,328	54,64
IPE A 100*	6,9	98	55	3,6	4,7	7	8,78	88,6	74,6	-	-	-	0,397	57,57
IPE 100*	8,1	100	55	4,1	5,7	7	10,3	88,6	74,6	-	-	-	0,400	49,33
IPE A 120*	8,7	117,6	64	3,8	5,1	7	11,0	107,4	93,4	-	-	-	0,472	54,47
IPE 120	10,4	120	64	4,4	6,3	7	13,2	107,4	93,4	-	-	-	0,475	45,82
IPE A 140*	10,5	137,4	73	3,8	5,6	7	13,4	126,2	112,2	-	-	-	0,547	52,05
IPE 140	12,9	140	73	4,7	6,9	7	16,4	126,2	112,2	-	-	-	0,551	42,70
IPE A 160*	12,7	157	82	4	5,9	9	16,2	145,2	127,2	-	-	-	0,619	48,70
IPE 160	15,8	160	82	5	7,4	9	20,1	145,2	127,2	-	-	-	0,623	39,47
IPE A 180*	15,4	177	91	4,3	6,5	9	19,6	164	146	M10	48	48	0,694	45,15
IPE 180	18,8	180	91	5,3	8	9	23,9	164	146	M10	48	48	0,698	37,13
IPE O 180*	21,3	182	92	6	9	9	27,1	164	146	M10	50	50	0,705	33,12
IPE A 200*	18,4	197	100	4,5	7	12	23,5	183	159	M10	54	58	0,764	41,49

IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12	28,5	183	159	M10	54	58	0,768	34,36
IPE O 200*	25,1	202	102	6,2	9,5	12	32,0	183	159	M10	56	60	0,779	31,05
IPE A 220*	22,2	217	110	5	7,7	12	28,3	201,6	177,6	M12	60	62	0,843	38,02
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	12	33,4	201,6	177,6	M12	60	62	0,848	32,36
IPE O 220*	29,4	222	112	6,6	10,2	12	37,4	201,6	117,6	M12	58	66	0,858	29,24



Désignation	Valeurs statiques												
	G kg/m	axe fort y-y					axe faible z-z					S <sub>s</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>		W <sub>el.y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>pl.y</sub> ⊙ mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	A <sub>vz</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>el.z</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>pl.z</sub> ⊙ mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm				
	x10 <sup>4</sup>	x10 <sup>3</sup>	x10 <sup>3</sup>	x10	x10 <sup>2</sup>	x10 <sup>4</sup>	x10 <sup>3</sup>	x10 <sup>3</sup>	x10		x10 <sup>4</sup>	x10 <sup>9</sup>	
IPE A 80	5,0	64,38	16,51	18,98	3,18	3,07	6,85	2,98	4,69	1,04	17,60	0,42	0,09
IPE 80	6,0	80,14	20,03	23,22	3,24	3,58	8,49	3,69	5,82	1,05	20,10	0,70	0,12
IPE A 100	6,9	141,2	28,81	32,98	4,01	4,44	13,12	4,77	7,54	1,22	21,20	0,77	0,28
IPE 100	8,1	171,0	34,20	39,41	4,07	5,08	15,92	5,79	9,15	1,24	23,70	1,20	0,35
IPE A 120	8,7	257,4	43,77	49,87	4,83	5,41	22,39	7,00	10,98	1,42	22,20	1,04	0,71
IPE 120	10,4	317,8	52,96	60,73	4,90	6,31	27,67	8,65	13,58	1,45	25,20	1,74	0,89
IPE A 140	10,5	434,9	63,30	71,60	5,70	6,21	36,42	9,98	15,52	1,65	23,20	1,36	1,58
IPE 140	12,9	541,2	77,32	88,34	5,74	7,64	44,92	12,31	19,25	1,65	26,70	2,45	1,98
IPE A 160	12,7	689,3	87,81	99,09	6,53	7,80	54,43	13,27	20,70	1,83	26,34	1,96	3,09
IPE 160	15,8	869,3	108,7	123,9	6,58	9,66	68,31	16,66	26,10	1,84	30,34	3,60	3,96
IPE A 180	15,4	1063	120,1	135,3	7,37	9,20	81,89	18,00	27,96	2,05	27,84	2,70	5,93
IPE 180	18,8	1317	146,3	166,4	7,42	11,25	100,9	22,16	34,60	2,05	31,84	4,79	7,43
IPE O 180	21,3	1505	165,4	189,1	7,45	12,70	117,3	25,50	39,91	2,08	34,54	6,76	8,74
IPE A 200	18,4	1591	161,6	181,7	8,23	11,47	117,2	23,43	36,54	2,23	32,56	4,11	10,53
IPE 200	22,4	1943	194,3	220,6	8,26	14,00	142,4	28,47	44,61	2,24	36,66	6,98	12,99
IPE O 200	25,1	2211	218,9	249,4	8,32	15,45	168,9	33,11	51,89	2,30	39,26	9,45	15,57
IPE A 220	22,2	2317	213,5	240,2	9,05	13,55	171,4	31,17	48,49	2,46	34,46	5,69	18,71
IPE 220	26,2	2772	252,0	285,4	9,11	15,88	204,9	37,25	58,11	2,48	38,36	9,07	22,67
IPE O 220	29,4	3134	282,3	321,1	9,16	17,66	239,8	42,83	66,91	2,53	41,06	12,27	26,79

pour HEA :

Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t <sub>wa</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	r mm	A mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	h <sub>1</sub> mm	d mm	Ø	p <sub>min</sub> mm	p <sub>max</sub> mm	A <sub>c</sub> m <sup>2</sup> /m	A <sub>c</sub> m <sup>2</sup> /t
HE 100 AA*	12,2	91	100	4,2	5,5	12	15,6	80	56	M 10	54	58	0,553	45,17
HE 100 A	16,7	96	100	5	8	12	21,2	80	56	M 10	54	58	0,561	33,68
HE 100 B	20,4	100	100	6	10	12	26,0	80	56	M 10	56	58	0,567	27,76
HE 100 C*	30,9	110	103	9	15	12	39,3	80	56	M 10	59	61	0,593	19,23
HE 100 M	41,8	120	106	12	20	12	53,2	80	56	M 10	62	64	0,619	14,82
HE 120 AA*	14,6	109	120	4,2	5,5	12	18,6	98	74	M 12	58	68	0,669	45,94
HE 120 A	19,9	114	120	5	8	12	25,3	98	74	M 12	58	68	0,677	34,06
HE 120 B	26,7	120	120	6,5	11	12	34,0	98	74	M 12	60	68	0,686	25,71
HE 120 C*	39,2	130	123	9,5	16	12	49,9	98	74	M 12	63	72	0,712	18,19
HE 120 M	52,1	140	126	12,5	21	12	66,4	98	74	M 12	66	74	0,738	14,16

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte													Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001
	G kg/m	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y					axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z					Pure bending y-y			Pure compression							
		I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,y</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>pl,y</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm x10	A <sub>e</sub> mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	W <sub>el,z</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> ♦ mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm x10	s <sub>x</sub> mm	I <sub>t</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup> x10 <sup>6</sup>	S235	S355	S460	S235	S355	S460			
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	92,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51	1,68	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	133,8	26,76	41,14	2,51	35,06	5,24	2,58	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	9,25	3,38	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 C	30,9	758,7	137,9	165,8	4,39	13,39	274,4	53,28	82,08	2,64	53,06	29,30	6,16	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,31	116,3	2,74	66,06	68,21	9,93	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 AA	14,6	413,4	75,85	84,12	4,72	6,90	158,8	26,47	40,62	2,93	29,26	2,78	4,24	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 120 A	19,9	606,2	106,3	119,5	4,89	8,46	230,9	38,48	58,85	3,02	35,06	5,99	6,47	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 C	39,2	1388	213,6	252,9	5,27	15,91	497,7	80,92	124,2	3,16	55,56	40,96	16,12	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓

# Annexe D

## Catalogue des roulements

40■6 ÉCARTS SUR LA LARGEUR B DES ROULEMENTS (sauf roulements à rouleaux coniques)							40■61 ROULEMENTS À UNE RANGÉE DE BILLES, À CONTACT RADIAL, SANS ENCOCHE DE REMPLISSAGE							Type BC											
Valeurs en micromètres (μm)	Alésage d		Écart supérieur		Écart inférieur																				
	de 3 à 50 inclus		0		- 120																				
	50 à 80		0		- 150																				
	80 à 120		0		- 200																				
120 à 180		0		- 250																					
d	Série de dimensions 10						Série de dimensions 02						Série de dimensions 03						Série de dimensions 04						
	D	B	r	C <sub>0</sub> daN	C daN	n max <sup>a</sup> tr/min	D	B	r	C <sub>0</sub> daN	C daN	n max <sup>a</sup> tr/min	D	B	r	C <sub>0</sub> daN	C daN	n max <sup>a</sup> tr/min	D	B	r	C <sub>0</sub> daN	C daN	n max <sup>a</sup> tr/min	
3							10	4	0,15	17	48,8	48000													
4							13	5	0,2	31,5	84,4	45000													
5							16	5	0,3	44	111	40000													
6							19	6	0,3	72	172	38000													
8	22	7	0,3	134	325	38000																			
9	24	7	0,3	153	371	36000	26	8	0,3	196	462	32000													
10	26	8	0,3	196	462	28000	30	9	0,6	224	507	30000	35	11	0,6	375	806	26000							
12	28	8	0,3	224	507	26000	32	10	0,6	310	689	28000	37	12	1	465	975	19000							
15	32	9	0,3	250	559	28000	35	11	0,6	355	780	24000	42	13	1	540	114	20000							
17	35	10	0,3	280	605	24000	40	12	0,6	450	956	20000	47	14	1	655	1350	19000	62	17	1,1	1180	2290	15000	
20	42	12	0,6	450	936	20000	47	14	1	620	1270	18000	52	15	1,1	780	1590	16000	72	19	1,1	1660	3020	13000	
25	47	12	0,6	560	1120	18000	52	15	1	695	1400	16000	62	17	1,1	1140	2360	14000	80	21	1,5	1980	3580	11000	
30	55	13	1	680	1330	15000	62	16	1	1000	1950	13000	72	19	1,1	1460	2810	11000	90	23	1,5	2400	4360	10000	
35	62	14	1	850	1590	13000	72	17	1,1	1370	2550	11000	80	21	1,5	1800	3320	10000	100	25	1,5	3100	5530	8500	
40	68	15	1	930	1680	12000	80	18	1,1	1660	3070	10000	90	23	1,5	2240	4100	9000	110	27	2	3650	6370	8000	
45	75	16	1	1220	2120	11000	85	19	1,1	1860	3320	9000	100	25	1,5	3000	5270	8000	120	29	2	4550	7610	7000	
50	80	16	1	1320	2160	10000	90	20	1,1	1960	3510	8500	110	27	2	3600	6180	7500	130	31	2,1	5200	8710	6300	
55	90	18	1,1	1700	2810	9000	100	21	1,5	2500	4360	7500	120	29	2	4150	7150	6700	140	33	2,1	6300	9950	6000	
60	95	18	1,1	1830	2960	8000	110	22	1,5	2800	4750	7000	130	31	2,1	4800	8190	6000	150	35	2,1	6950	10800	5600	
65	100	18	1,1	1960	3070	7500	120	23	1,5	3400	5590	6300	140	33	2,1	5600	9230	5600	160	37	2,1	7800	11900	5300	
70	110	20	1,1	2450	3770	7000	125	24	1,5	3750	6180	6000	150	35	2,1	6300	10400	5300	180	42	3	10400	14300	4500	
75	115	20	1,1	2600	3970	6700	130	25	1,5	4050	6630	5600	160	37	2,1	7200	11200	5000	190	45	3	11400	15300	4300	
80	125	22	1,1	3150	4750	6300	140	26	2	4500	7020	5300	170	39	2,1	8000	12400	4500	200	48	3	12500	16300	4000	
85	130	22	1,1	3350	4940	6000	150	28	2	5300	8320	5000	180	41	3	9000	13300	4300	210	52	4	13400	17400	3800	
90	148	24	1,5	3900	5850	5600	160	30	2	6200	9560	4500	190	43	3	9800	14300	4000	225	54	4	14600	18600	3600	
95	145	24	1,5	4150	6050	5300	170	32	2,1	6950	10800	4300	200	45	3	11000	15300	3800							
100	150	24	1,5	4150	6050	5000	180	34	2,1	7800	12400	4000	215	47	3	13200	17400	3600							

