

## MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

*Pour l'Obtention du*

**Diplôme d'Ingénieur d'état**

**Spécialité : Conception Mécanique et Innovation**

Dimensionnement des mâts d'éclairages de grands espaces  
selon les recommandations CTICM

*Présenté par :*

**Salma HARAMA**

*Encadré par :*

- JANATI IDRISSEI Khalid, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès
- DIARA Bintou, Encadrante à AFRIC LIGHT

*Effectué à : AFRIC LIGHT*

*Soutenu le : 20/07 /2022*

**Le jury :**

- Pr. JANATI IDRISSEI Khalid, Professeur FST Fès
- Pr. BOURIHANE Oussama, Professeur FST Fès
- Pr. ELBARKANY Abdellah, Professeur FST Fès

**Année Universitaire : 2021-2022**

## *Résumé*

Dans le cadre d'une politique générale de la société AFRIC LIGHT visant l'amélioration de sa compétitivité nationale et internationale pour répondre à des contraintes de plus en plus de ses clients et pour assurer une meilleure couverture des marchés nationaux et internationaux. La société AFRIC LIGHT a opté d'élargir sa gamme de produit pour s'étaler sur le marché des mâts d'éclairage de grands espaces suivant les normes en vigueur sur le marché.

Notre projet a porté sur l'étude et dimensionnement d'un grand mât d'éclairage de 25 m supportant une plateforme circulaire de 2 m pour 10 projecteurs, tout en respectant la norme de calcul des structures de mâts d'éclairage de grandes espaces (CTICM) et les règles CM66 pour la vérification des contraintes à l'état limite ultime ELU et l'état limite de service ELS.

Pour appréhender cette mission, la modélisation de l'effet de vent est l'une des recherches les plus complexes vue les énormes difficultés pour transformer en pression un phénomène naturel, donc dans un premier temps nous avons commencé à partir du cahier des charges de faire une étude de l'impact de vent tout au long de la hauteur de mât avant de se lancer à la construction.

A cet effet nous avons présenté une interprétation simplifier des recommandations sur le calcul des structures de mâts d'éclairage de grands espaces sous forme d'une fiche de calcul Excel qui sera applicable par la suite au sein du bureau d'étude.

## *Abstract*

As part of a general policy of the company AFRIC LIGHT aimed at improving its national and international competitiveness to meet the constraints of more and more of its customers and to ensure better coverage of national and international markets. AFRIC LIGHT has opted to expand its product range to expand into the market for lighting masts for large spaces in accordance with the standards in force on the market.

Our project focused on the study and sizing of a large 25 m lighting mast supporting a 2 m circular platform for 10 projectors, while respecting the standard for calculating the structures of lighting masts for large spaces ( CTICM) and CM66 rules for stress verification at ultimate limit state ULS and serviceability limit state SLS.

To understand this mission, the modeling of the wind effect is one of the most complex research given the enormous difficulties in transforming a natural phenomenon into pressure, so initially we started from the specifications to make a study of the impact of wind throughout the mast height before embarking on construction.

To this end, we have presented a simplified interpretation of the recommendations on the calculation of the structures of lighting masts for large spaces in the form of an Excel calculation sheet which will subsequently be applicable within the design office.

## *Dédicace*

Je dédie cet évènement marquant de ma vie :

**A la mémoire de ma sœur Wahiba** disparu prématurément, j'espère qu'elle apprécie ce geste humble comme reconnaissance d'une sœur qu'elle prie toujours pour que son âme soit sauvée.

**A ma mère**, source d'amour et de confiance inconditionnelle aucune dédicace ne sera à la hauteur de ces prières incessantes durant tout mon parcours.

**A mon père**, qui m'a soutenu et encouragé durant toutes ces années d'études. Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

**A mes chers frères** : Abdelhamid, Redouane et Mohammed.

**A ma chère sœur** : Hajiba.

**A tous mes amis** qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans la réalisation de ce projet en leur espérant bonne continuation dans leurs travaux.

Un dédicace tout particulier à ma super promotion **CMI** un par un, ces trois ans ont été riches en belle émotions. Merci pour l'ambiance qui a contribué à des moments d'échange très forts.

Des fois, les mots ne suffisent pas pour exprimer tous le bien qu'on ressent !

Juste

Merci à Vous !

*Salma HARAMA*

## *Remerciement*

Nous ne pouvons pas passer en revue de nos réalisations dans la vie sans remercier tous ceux et celles qui ont eu une touche spéciale dans ces réalisations.

Il m'a été très difficile d'écrire cette page par souci de n'oublier les nombreuses personnes qu'il me faut citer pour leur aide, leur accueil, leur soutien...Qu'elles soient toutes assurées de ma plus profonde reconnaissance même si leur nom n'y figure pas.

Je tiens tout d'abord à exprimer mes gratitudees à Mr **Khalid JANATI IDRISSE** mon encadrant pédagogique, pour sa disponibilité et son assistance quant à la réalisation de ce projet et la rédaction du présent rapport et les conseils pertinents qu'il m'a donné tout au long de ce travail. Merci pour vos conseils attentionnés, vos réponses rapides, précises et avisées qui m'ont guidé en permanence durant tout le déroulement de mon stage.

Merci également à mon encadrante professionnelle Mlle **DIARA Bintou** de m'avoir accompagné par ses orientations et ses précieux conseils tout au long de mon stage avec beaucoup de patience et de gentillesse.

Je tiens à remercier toute la direction d'**AFRIC LIGHT** au nom de son Directeur général Mr **ABBOUBI Youssef** de m'avoir accepté comme stagiaire dans son entreprise, ainsi l'ensemble du personnel pour la remarquable collaboration, leur aide et leur soutien pendant toute la période de stage.

Je présente mes sincères remerciements à l'administration de **FST FES** pour ses efforts majeurs et continus de présenter les meilleures conditions de réussite à ses étudiants.

Je voudrais également exprimer ma vive reconnaissance envers tous les enseignants et les personnels de la **FST FES**, ainsi que tous ceux qui ont participé à ma formation.

Mes remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Finalement, je tiens à témoigner ma reconnaissance et ma gratitude à mes chers parents, mes frères et mes amis pour leur soutien et leur encouragement durant toute ma vie.

## Table des matières

Introduction Générale .....	1
Chapitre 1 .....	2
Présentation de l'organisme d'accueil .....	2
1 Introduction.....	3
2 Présentation de l'organisme d'AFRIC LIGHT .....	3
2.1 Aperçu général .....	3
2.2 Historique .....	4
3 Organisation interne de la société .....	4
3.1 Les départements de l'entreprise .....	4
3.1.1 Département commercial .....	4
3.1.2 Service financière .....	5
3.1.3 Service ressource humaine.....	5
3.1.4 Service technique .....	5
3.2 Organigramme de la société .....	6
4 Activité de l'entreprise .....	6
4.1 Gamme de produits.....	6
4.2 Outils de production.....	8
4.3 Le processus de fabrication.....	8
5 Conclusion .....	11
Chapitre 2:.....	12
Contexte général du projet .....	12
1 Introduction.....	13
1.1 Présentation du sujet .....	13
2 Contexte du projet .....	13
2.1 Contexte pédagogique .....	13
2.2 Contexte industriel.....	13
2.3 Données du projet.....	14
2.4 Méthodologie de travail et planification des taches.....	14
3 Généralité sur les candélabres d'éclairage public.....	15
3.1 Les composants d'un candélabres .....	15
3.2 Installation des mâts .....	18
4 Analyse fonctionnelle .....	19
4.1 Analyse du besoin.....	19
4.1.1 QQQQCP du projet .....	19
4.1.2 La verbalisation du besoin :.....	19

5	Conclusion .....	20
	Chapitre 3 : .....	21
	Mise en place d'un fichier Excel pour le calcul de la charge de vent suivant CTICM .....	21
1	Introduction.....	22
2	Présentation du CTICM.....	22
2.1	Domaine d'application .....	22
2.2	Base de calculs.....	22
2.2.1	Charge permanente.....	22
2.2.2	Charge d'entretien .....	22
2.2.3	Charge de neige.....	23
2.2.4	Charge de vent .....	23
2.3	Les combinaisons d'action à ELU et ELS.....	27
2.3.1	Etats limites ultimes ELU .....	27
2.3.2	Etats limites de service ELS.....	28
3	Elaboration du fichier Excel pour le calcul de la charge vent selon CTICM.....	28
3.1	Mise en place du fiche de calcul Excel .....	28
4	Conclusion .....	35
	Chapitre 4 : .....	36
	Dimensionnement de la structure sur Robot.....	36
1	Introduction.....	37
2	Modélisation de la structure sur Robot .....	37
2.1	Conception du mât : .....	37
2.2	Cas de charges.....	38
2.2.1	Charges permanentes .....	38
2.2.2	Charges d'exploitation.....	39
2.2.3	La charge du vent .....	39
2.3	Combinaisons d'actions.....	40
2.3.1	Combinaisons d'actions aux états limites ultimes .....	41
2.3.2	Combinaisons d'actions aux états limites de services.....	41
3	Etude parasismique de la structure .....	41
3.1	Analyse modale de la structure.....	42
3.1.1	Vérification modale .....	42
3.2	Analyse sismique .....	43
3.2.1	Coefficeint d'importance I .....	43
3.2.2	Nature de site .....	44
3.2.3	Zonage sismique .....	44

3.2.4	Facteur de comportement k.....	44
3.2.5	Vérification du déplacement latéral.....	46
4	Exploitation des résultats.....	47
4.1	Calcul et vérification de la flèche à ELS.....	47
4.2	Calcul et vérification de la contrainte à ELU.....	47
4.3	Réactions au pied de mât.....	48
4.4	Poids de mât.....	48
<b>5</b>	<b>Etude des assemblages.....</b>	<b>49</b>
5.1	Vérification de la platine.....	49
5.2	Vérification des tiges d'ancrage.....	49
6	Conclusion.....	50
	Conclusion générale.....	51

## ***Liste de tableaux***

Tableau 1 : Fiche signalétique.....	4
Tableau 2:planification des tâches .....	14
Tableau 3:étapes chronologiques de la méthode QQQQCP.....	19
Tableau 4:vitesse vent selon région.....	24
Tableau 5: Coefficient de site.....	25
Tableau 6:coefficient d'effet de dimensions .....	25
Tableau 7: ks ça depend nature de site et numéro de zone.....	30
Tableau 8: Les barres .....	38
Tableau 9: tableau des combinaisons .....	41
Tableau 10 : les résultats des modes propres.....	43
Tableau 11 : coefficient d'importance .....	43
Tableau 12 : coefficient de vitesse par zone.....	44
Tableau 13 : niveau de ductilité de la structure .....	45
Tableau 14: Facteur de comportement K .....	45
Tableau 15 : valeurs des déplacement sous le siésme en X.....	46
Tableau 16 : valeurs des déplacements sous le siésme en Y .....	46
Tableau 17 : réations aux pied de mât .....	48
Tableau 18: le poids du mât .....	48

## ***Liste des figures***

Figure 1: la société AFRIC LIGHT .....	50
Figure 2 : organigramme de la société .....	6
Figure 3 : candélabre droit.....	6
Figure 4 : candélabre courbée .....	7
Figure 5 : candélabre octo-conique .....	7
Figure 6 : les accessoires .....	7
Figure 7 : distripole .....	8
Figure 8 : rouleau de tôle brute .....	9
Figure 9 : poste de découpage .....	9
Figure 10 : trapèze plié.....	9
Figure 11 : poste de soudage .....	9
Figure 12 : poste de dressage.....	10
Figure 13 : des candélabres galvanisés.....	10
Figure 14 : poste de peinture .....	10
Figure 15 : poste de Contrôle .....	10
Figure 16 : candélabres emballés .....	11
Figure 17 : camion de livraison.....	11
Figure 18:Diagramme de GANTT .....	15
Figure 19 : description d'un candélabree .....	16
Figure 20 : tige d'ancrage .....	16
Figure 21: porte de visite.....	17
Figure 22 : couronne mobile .....	17
Figure 23 : plateforme circulaire.....	17
Figure 24 : fixation par enfoncement .....	18
Figure 25 : platine plate.....	18
Figure 26 : platine emboutie.....	18
Figure 27:Diagramme bete à corne .....	20
Figure 28: coefficient global de trainée sur un cylindre circulaire.....	26
Figure 29 : détermination de la zone .....	28
Figure 30 : détermination du site.....	28
Figure 31 : calcul de pression dynamique de base .....	29
Figure 32 : données de base du mât .....	29
Figure 33 : coefficient de hauteur Kh.....	30

Figure 34 : coefficient de site $K_s$ .....	31
Figure 35 : détermination de coefficient d'effet de dimensions $\delta$ .....	31
Figure 36 : la pression $q_{k,h}$ .....	32
Figure 37: calcul de $\Psi\lambda$ .....	32
Figure 38 : $C(t;\infty)$ pour un fut polygonale.....	33
Figure 39 : $C(t,\infty)$ pour un fût circulaire.....	33
Figure 40 : différenciation entre les fûts.....	34
Figure 41 : Action du vent sur le fût.....	34
Figure 42 : Action du vent sur la herse et ses équipements.....	35
Figure 43: les barres da la structure.....	38
Figure 44: modèle 3D de la structure.....	38
Figure 45: poids des équipements.....	39
Figure 46: Charge d'entretien.....	39
Figure 47 : la charge de vent sur le fût.....	40
Figure 48 : la charge de vent sur les équipements.....	40
Figure 49: charge de vent sur le fût.....	40
Figure 50: charge de vent sur les équipements.....	40
Figure 51 : Analyse modale de la structure.....	42
Figure 52 : Analyse sismique.....	45
Figure 53 : déformation du mât.....	47
Figure 54 : contrainte maximale du mât.....	47
Figure 55 : les dimensions de la platine.....	49
Figure 56: raidisseurs simples.....	49
Figure 57: structure de la tige.....	50
Figure 58 : les dimensions de la tige utilisé.....	50
Figure 59 : calcul dse assemblages.....	50

## ***Liste des notations***

NV65(Maroc) : Neige et Vent

CTICM : Recommandations sur le calcul des structures de mâts d'éclairage de grandes espaces

RPS 2011 : Règlement de construction parasismique

$D_s$  : Diamètre de sommet

$D_b$  : Diamètre de base

B : Diamètre sur angle à mi-hauteur

G : Charge permanente

Q : Charge d'entretien

W : Charge de vent

$q_k$  : Pression dynamique de base normale

$q_h$  : Pression dynamique agissant à la hauteur h

$V_k$  : Vitesse de la zone

$\rho$  : Masse volumique

$k_h$  : Coefficient de la hauteur

$k_s$  : Coefficient de site

$k_m$  : Coefficient t de masque

$\delta$  : coefficient d'effet de dimensions

$C_{t,\lambda}$  : Coefficient global de trainée

$q_{k,h}$  : Pression dynamique de base caractéristique corrigée par les différents effets agissant à la hauteur h

$S_{t,h}$  : Différentiel de surface du maître couple à la hauteur h

$C_t$  : Coefficient global de trainée de la herse ou de ses équipements

$\lambda$  : L'élancement finie

n : Nombre de pans

ELS : Etat limite de service

ELU : Etat limite ultime

$W_{fut}$  : Charge de vent appliqué sur le fut

$W_{herse+équipements}$  : Charge de vent appliqué sur la plateforme et ses projecteurs

E : Charge sismique

E : Module d'Young.

$\gamma$  : Coefficient de Poisson.

$\sigma_e$  : Limite d'élasticité.

$\delta_{Max}$  : La flèche

ND : Niveau de la ductilité

U : Facteur de vitesse

S : Coefficient de site

D : Facteur d'amplification dynamique

I : Coefficient de priorité

K : Facteur de réduction de la force sismique

$A_{max}$  : Accélération maximale du sol

$V_{max}$  : Vitesse maximale du sol

T : Période

## ***Liste des Annexes :***

Annexe A : Fiche technique de la plateforme circulaire.....	56
Annexe B : Propriété du projecteur.....	57
Annexe C : Carte zone Maroc.....	58
Annexe D : Zonage sismique par commune.....	59
Annexe E : Provinces-régions du vent.....	60
Annexe F : Zonage sismique en vitesse.....	61
Annexe G : Zonage sismique en accélération.....	62
Annexe H : Fiche Excel de calcul de la charge vent suivant CTICM.....	63
Annexe I : Note de calcul.....	65

## *Introduction Générale*

L'activité industrielle s'est multipliée et le nombre d'entreprises a augmenté sous de nombreuses contraintes de demande par le client, dans ce sens et pour confirmer sa présence à l'échelle nationale et internationale et maintenir son statut parmi les leaders du marché de fabrication des mâts et candélabres d'éclairage public, la société AFRIC LIGHT a déployé toutes les ressources industrielles et managériales pour élargir sa gamme de produits afin de répondre efficacement aux besoins de ses clients. De cet effet qu'ils ont pensé de s'étaler sur le marché des mâts de grands espaces (**les zones aéroportuaires, les zones portuaires, les zones urbaines, le réseau ferroviaire, les sites industriels et les applications sportives**).

Ce travail est réalisé dans le cadre des projets de fin d'études en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur d'état de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès en ingénierie Mécanique.

Il porte sur l'étude et dimensionnement d'un mât d'éclairage de 25 m supportant une plateforme circulaire de 2 m pour 10 projecteurs en suivant les recommandations de calcul des structures de mâts d'éclairage de grands espaces(CTICM).

Pour cela, ce travail sera divisé en quatre chapitres :

**Chapitre 1** : qui sera consacré pour la présentation de l'organisme d'accueil, son organigramme, son domaine d'activité ainsi que le processus de fabrication des différentes gammes de produits.

**Chapitre 2** : sera consacré au contexte général du projet proprement dit avec la problématique, la méthodologie de travail adoptée et le cahier de charge fonctionnelle.

**Chapitre 3** : qui sera consacré à la mise en place du fichier Excel pour le calcul de la charge du vent selon CTICM

**Chapitre 4** : qui sera consacré au dimensionnement d'un mât de 25 m suivant CTICM

# *Chapitre 1*

## *Présentation de l'organisme d'accueil*

# 1 Introduction

Avant de se lancer dans un projet au sein d'une entreprise, il paraît essentiel de commencer par connaître cet organisme et son domaine d'activité.

Ce chapitre a pour but de présenter l'environnement de travail auquel je suis affectée pour réaliser mon projet de fin de formation. Tout d'abord il est important d'une présentation générale de l'entreprise avant d'aborder plus en détail l'activité et le processus de production chez la société AFRIC LIGHT.

## 2 Présentation de l'organisme d'AFRIC LIGHT

### 2.1 Aperçu général

Situé dans la zone industrielle de Béni Mellal, AFRIC LIGHT est un leader reconnu dans la conception et la fabrication des candélabres et mâts pour l'éclairage public. En développant des concepts et plans originaux, la société AFRIC LIGHT ne cesse d'innover et de proposer des solutions métallurgiques les plus adaptées aux attentes de ses clients.

Depuis sa création en 2010 par des fondateurs marocains, la société AFRIC LIGHT a fabriqué et livré des candélabres et mâts à travers tout le Maroc ainsi qu'elle est présentée sur plusieurs marchés africains (Sénégal, Niger, Mali, Togo, Burkina-Faso, Côte d'Ivoire...).

La société investit régulièrement dans son capital humain et son expertise technique ainsi que dans son outil de production afin de proposer le meilleur rapport qualité prix du marché et les délais de livraison les plus courts. [1]



Figure 1: la société AFRIC LIGHT

Tableau 1 : Fiche signalétique

<b>Dénomination sociale</b>	<b>AFRIC LIGHT</b>
<b>Forme juridique</b>	SARL
<b>Activités</b>	Fabrication des candélabres et mâts pour l'éclairage public et distribution électrique
<b>Directeur Général</b>	M. ABBOUBI Youssef
<b>Date de constitution</b>	2010
<b>Capital</b>	5 200 000 Dirhams
<b>N° du RC</b>	4213 Béni Mellal
<b>Adresse</b>	Lot. Rahmoune N'Zala Oulad Hamdane bloc 2 N° 12 23000, Béni Mellal
<b>Tel GSM</b>	+ 212 661414268
<b>Tel Fixe / Fax</b>	Tél : +212 523489823 / Fax : +212 523422913
<b>E-mail</b>	contact@africlight.ma
<b>Site web</b>	<a href="https://africlight.ma">https://africlight.ma</a>

## 2.2 Historique

Quelques dates importantes :

**2010** : création de la société AFRIC LIGHT.

**2015** : lancement d'un nouveau produit destiné à l'export (Distripole : Sont des poteaux destinés au transport et distribution de l'énergie).

**2016** : réalisation des premières opérations d'export vers le marché Ouest Africain :

(Sénégal, Togo, Mali, Burkina-Faso, Côte d'Ivoire...).

- ✓ augmentation du capital social qui passe de 1.000.000 à 2.500.000 dirhams
- ✓ finalisation du programme d'investissement lancé pour le renouvellement du dispositif industriel et l'augmentation des capacités de production.

## 3 Organisation interne de la société

### 3.1 Les départements de la société

#### 3.1.1 Département commercial

La direction commerciale est responsable de vendre les produits et les services qui sont disponibles ou qui le seront en fonction des projets en cours. Elle gère une situation commerciale composée

des réponses à appels d'offre, des contrats gagnés et en cours, des contrats terminés et des prospects, elle évalue les chances de gagner chaque appel d'offres.

Elle gère une situation commerciale avec chaque client potentiel, les prises de commandes qu'elle peut générer au travers de ses appels d'offres et la probabilité qu'elle y a de gagner l'offre ainsi que la période de l'année en cours ou des années futures où cette prise de commande aura lieu.

### 3.1.2 Service financière

La direction financière est responsable des équilibres financiers. Elle participe à la détermination des prix de vente, elle a en charge le calcul des prix de revient, elle participe à toute forme de décisions relatives aux évolutions de la masse salariale, elle assure les relations avec les banques et négocie les emprunts à effectuer pour accompagner les développements de l'entreprise.

Lorsqu'une vente est effectuée, elle est responsable de placer le cash pour en obtenir la meilleure rentabilité.

### 3.1.3 Service ressource humaine

Le responsable des ressources humaines assiste le directeur du service pour le recrutement et la gestion administrative des employés. Ses responsabilités varient en fonction de la taille de l'entreprise. Le responsable des ressources humaines a pour rôles de :

- Appliquer la politique de gestion des ressources humaines fixée par la direction
- Analyser les besoins humains de l'entreprise
- Assurer le suivi administratif des salariés (congé, contrats, paie, maladie, formation etc.)
- Entretien des relations avec les partenaires sociaux (syndicats, comités d'entreprise, délégués du personnel etc.)
- Superviser une équipe de chargés de recrutement et leur donner les directives sur les candidats à recruter.

### 3.1.4 Service technique

Le directeur technique décline la stratégie industrielle sur les sites de production. Il est responsable de l'ensemble des services techniques intervenant en support de la fabrication (maintenance des engins de travaux, du matériel de manutention).

Le responsable de service technique a pour rôle de :

- Diriger et coordonner sur les sites de production les activités techniques de fabrication, d'entretien, de maintenance, de logistique et de gestion de la production en lien avec le directeur ou le responsable de production.
- Étudier la faisabilité technique lors de la conception d'un produit ou d'une gamme de produits

en lien avec le bureau d'études.

- Réaliser ou faire réaliser les investissements nécessaires à l'amélioration des moyens de production : optimisation des installations industrielles, amélioration des processus, nouvelles lignes de production, recrutements, formation des opérateurs...

### 3.2 Organigramme de la société

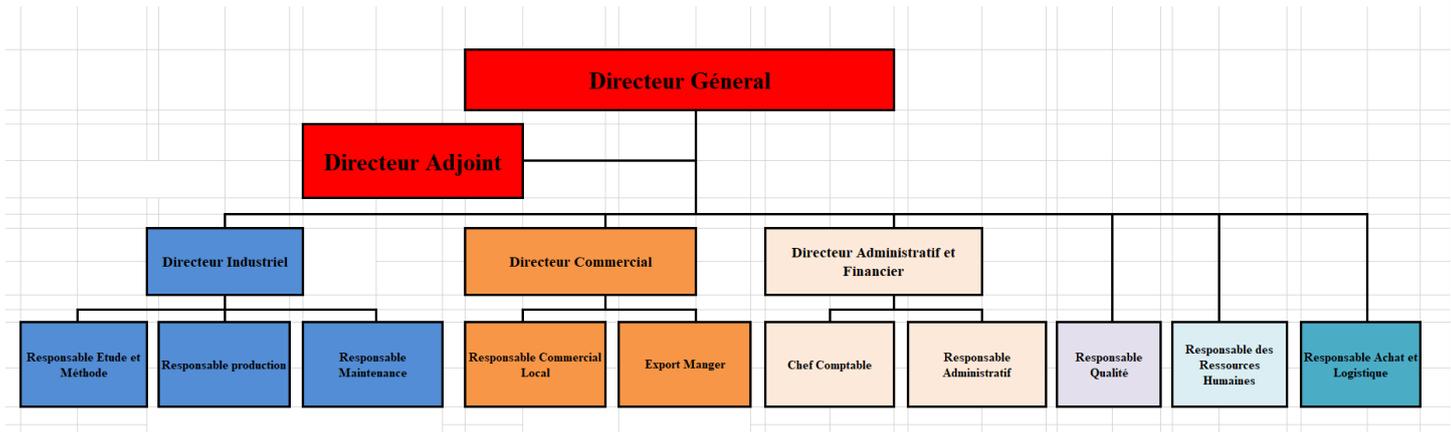


Figure 2 : organigramme de la société

## 4 Activité de l'entreprise

### 4.1 Gamme de produits

**AFRIC LIGHT** offre à ses clients une panoplie de produits variés et fiables à savoir :

#### 4.1.1 Candélabre droit :

Ces produits sont les plus utilisés en quantité, ils sont conçus pour donner une personnalisation forte aux espaces urbains avec une large gamme de dimensions.

L'intégration des différents types de luminaires est assurée par les modèles de crosses décoratives spécialement développées pour cette gamme. [2]



Figure 3 : candélabre droit

#### 4.1.2 Candélabre courbée :

Conçus pour donner un aspect décoratif. La gamme courbée est destinée pour la valorisation des espaces authentiques et modernes. [2]



Figure 4 : candélabre courbée

#### 4.1.3 Candélabre octo-conique :

Gamme dédiée aux besoins d'éclairage des espaces vastes et pour les installations de surveillance.



Figure 5 : candélabre octo-conique

#### 4.1.4 Les accessoires (Crosses, consoles et jupes)

Large gamme de crosses et embases décoratives orientée élégance et robustesse.



Figure 6 : les accessoires

4.1.5 Distripole  
Conçu spécialement pour répondre aux besoins du marché de l'Afrique subsaharienne.



Figure 7 : distripole

## 4.2 Outils de production

Le dispositif industriel de la société AFRIC LIGHT comporte aujourd'hui deux lignes de production et trois lignes d'assemblage avec un Atelier de Thermo-laquage :

- ✓ Deux lignes de découpage.
- ✓ Deux lignes de pliage.
- ✓ Deux lignes de soudage.
- ✓ Trois lignes d'assemblage.
- ✓ Atelier Menuiserie métallique.
- ✓ Atelier de Thermo-laquage.
- ✓ Bureau d'Etudes Mécaniques.

## 4.3 Le processus de fabrication

AFRIC LIGHT intègre tout le processus de fabrication depuis l'approvisionnement en matière première (Acier : S235/S275/S500) jusqu'au produit fini (candélabres d'éclairage).

### Réception de la demande

A travers son service commercial AFRIC LIGHT reçoit la commande de fabrication d'une commande (des candélabres, des jupes, des crosses et consoles...) après la négociation de : prix, délai de livraison et qualité tout en respectant le cahier des charges.

### Conception et étude

Après la réception de projet depuis le service commercial, le bureau d'étude s'engage pour concevoir la structure et dimensionner ses éléments à l'aide d'un ensemble des logiciels (SolidWorks et Robot Structural Analysis) afin de confirmer la réalisation du projet.

### La phase de la production

Une fois la confirmation du bureau d'étude il commence l'étape la plus longue du processus c'est l'étape de production qui passe par différents étapes :

- Réception des tôles :

Les tôles en acier (S235, S275, S500) sont conformes aux normes en vigueur, cette nuance confère aux candélabres une rigidité naturelle et une bonne tenue en flexion.



Figure 8 : rouleau de tôle brute

- Découpage plasma

Selon des dimensions prescrites on effectue le découpage des tôles par la technologie plasma.

AFRIC LIGHT se dote des machines de dernière génération afin de répondre aux exigences de précision de ses clients.

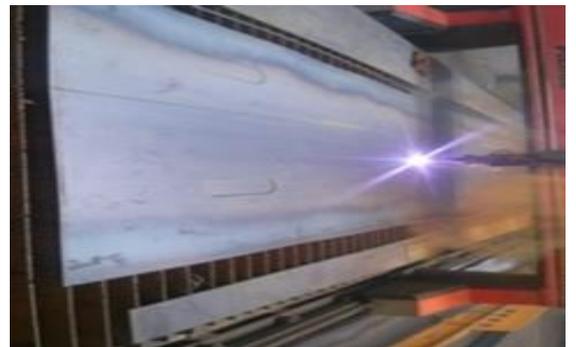


Figure 9 : poste de découpage

- Pliage :

Le pliage des trapèzes est réalisé sur une presse hydraulique. AFRIC LIGHT se dispose d'une large gamme d'outillage de pliage capable d'atteindre des différents diamètres souhaités.



Figure 10 : trapèze plié

- Soudage :

La fermeture du trapèze plié s'effectue minutieusement par procédé automatique SAW afin de garantir une meilleur qualité de la soudure.



Figure 11 : poste de soudage

- Dressage

Pour que le fût du candélabre devienne tout droit ainsi pour enlever si il y'a une matière restante sur la face.



Figure 12 : poste de dressage

- Galvanisation :

Afin de protéger les candélabres contre les agents corrosifs, on réalise la galvanisation à chaud conforme aux normes en vigueur.



Figure 13 : des candélabres galvanisés

- Thermo-laquage (sur demande) :

Thermo-laquage est l'application de peinture en poudre thermodurcissable.



Figure 14 : poste de peinture

- Contrôle :

Au poste de contrôle, on vérifie la qualité du produit, ainsi que les dimensions à savoir (Le diamètre, l'épaisseur, la hauteur, la connectivité, l'état de surface).



Figure 15 : poste de Contrôle

- Emballage :

Afin d'assurer la protection des candélabres, ils sont couverts par des matelas.



Figure 16 : candélabres emballés

- Livraison :

La livraison des produits aux clients est assurée par des camions.



Figure 17 : camion de livraison

## 5 Conclusion

En regard à ce qui précède, ce chapitre était consacré à une présentation globale de l'entreprise d'accueil en développement industriel axé sur la conception, la fabrication et la commercialisation des candélabres et leurs accessoires.

## ***Chapitre 2 :***

### ***Contexte général du projet***

# 1 Introduction

Le chapitre suivant donne une vision globale du projet, sa problématique ainsi que son cadre général à savoir l'élaboration d'un cahier des charges décrivant les étapes suivies pour mettre en œuvre la réalisation de ce projet.

## 1.1 Présentation du sujet

Afin de développer des solutions adaptées aux problématiques de chaque type d'univers à éclairer. la société AFRIC LIGHT vas s'étaler sur le marché des mâts d'éclairage de grands espaces En effet notre mission au cours de notre passage à AFRIC LIGHT est dans un premier temps de proposer une méthode simplifier de la norme CTICM pour le calcul de la charge du vent qui sera applicable au sein du bureau d'étude de la société, et dans un deuxième temps d'appliquer cette méthode pour dimensionner un mât de 25m qui vas supporter une plateforme circulaire avec dix projecteurs.

# 2 Contexte du projet

## 2.1 Contexte pédagogique

Au cours de notre processus de préparation du Diplôme d'Ingénieur d'Etat, Spécialité Génie Mécanique, Conception Mécanique et Innovation à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, il nous est demandé d'effectuer un projet de fin de formation d'une durée de quatre à six mois au sein d'une entreprise industrielle. Ce projet est une opportunité pour nous, les élèves ingénieurs, de mettre en pratique tous nos acquis théoriques, notre savoir-faire et toutes les compétences que nous avons développées au cours de cinq ans d'études à savoir, la conception, la modélisation et le dimensionnement et sans oublier bien-sûr les compétences managériales comme la gestion de projet, la gestion de production , l'esprit d'équipe ainsi que la planification.

## 2.2 Contexte industriel

S'étaler au marché des mâts d'éclairage de grands espaces est le défi que la société AFRIC LIGHT a décidé de lever afin d'assurer une meilleur couverture des marchés nationaux et internationaux pour élargir sa clientèle et améliorer sa compétitivité.

Dans ce contexte le bureau d'étude de la société nous a confié d'une part la mission de proposer une méthode simplifier de calcul de la charge de vent suivant la norme CTICM qui sera applicable au sein du bureau d'étude de la société, d'autre part ils nous ont demandé de dimensionner un mât de 25m supportant une plateforme circulaire de 2m pour 10 projecteurs.

## 2.3 Données du projet

- Le mât va être installé à la ville de Rabat qui est définie dans la zone 1 suivant la carte vent du Maroc (Annexe C), et dans un site normal.
- Les aciers de construction disponible dans l'usine de la société sont : S235, S275, S500.
- La hauteur du mât est : 25m
- Le règlement technique : Pour l'étude de ce projet les règlements techniques utilisés sont :
  - i. CTICM : Recommandations sur le calcul des structures de mâts d'éclairage de grands espaces.
  - ii. NV 65 Maroc : pour le calcul de la vitesse du vent.
  - iii. RPS 2011 : Le règlement de construction parasismique pour le calcul de la force sismique.

## 2.4 Methodologie de travail et planification des tâches

Pour atteindre nos objectifs et compléter le travail demandé dans ce projet, nous avons élaboré un plan d'action sous forme de diagramme de Gantt dans lequel nous avons désigné les tâches principales de notre projet. Il nous permet la gestion et le contrôle du temps pour la réalisation de chaque tâche.

Tableau 2 : planification des tâches

Etape	Date de début	Durée	Date de fin
Accueil et intégration	21/02/2022	1	22/02/2022
Visite guidée à l'usine	22/02/2022	8	01/03/2022
Choix et validation du sujet	01/03/2022	7	07/03/2022
Etude préliminaire du projet	07/03/2022	8	15/03/2022
Compréhension des bases de calcul de la norme CTICM	15/03/2022	7	22/03/2022
Elaboration d'une fiche Excel pour le calcul de la charge de vent suivant CTICM	22/03/2022	20	10/04/2022
Préparation d'une présentation au sein de la société à propos des nouveaux produits(les armements, les ferrures....)	10/04/2022	18	28/04/2022
Conception sur Robot Structural Analysis Et application de charges calculées	28/04/2022	6	03/05/2022

Etude et application des charges sismiques selon RPS 2011	03/05/2022	9	12/05/2022
Dimensionnement de la platine et tige d'ancrage	12/05/2022	12	24/05/2022
Validation du projet	24/05/2022	4	28/05/2022
Elaboration de la note de calcul final pour le projet	28/05/2022	4	31/05/2022
Finalisation du projet et rédaction du rapport	01/06/2022	20	21/06/2022

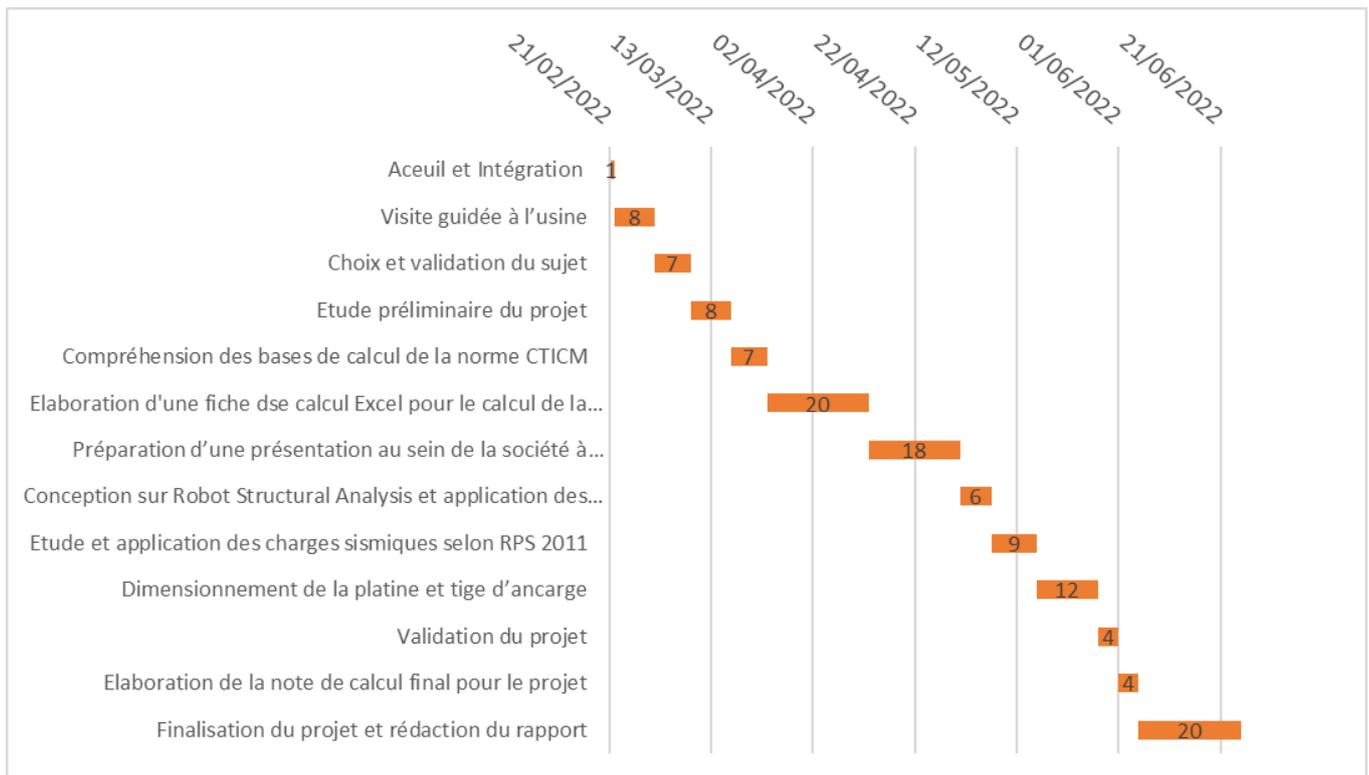


Figure 18 : Diagramme de GANTT

### 3 Généralité sur les candélabres d'éclairage public

#### 3.1 Les composants d'un candélabre

Un candélabre d'éclairage peut être de formes tubulaires, cylindro-coniques ou octo-coniques.

Il se compose en général de plusieurs éléments :

**Le fût** : Partie du candélabre de hauteur variable et de forme verticale, recevant une console, une crosse ou un luminaire en top. [3]

**La platine** : Est la plaque de tôle soudée à la base du poteau dont le rôle est de répartir au maximum la pression sur le béton, engendrée par la compression du poteau [3].

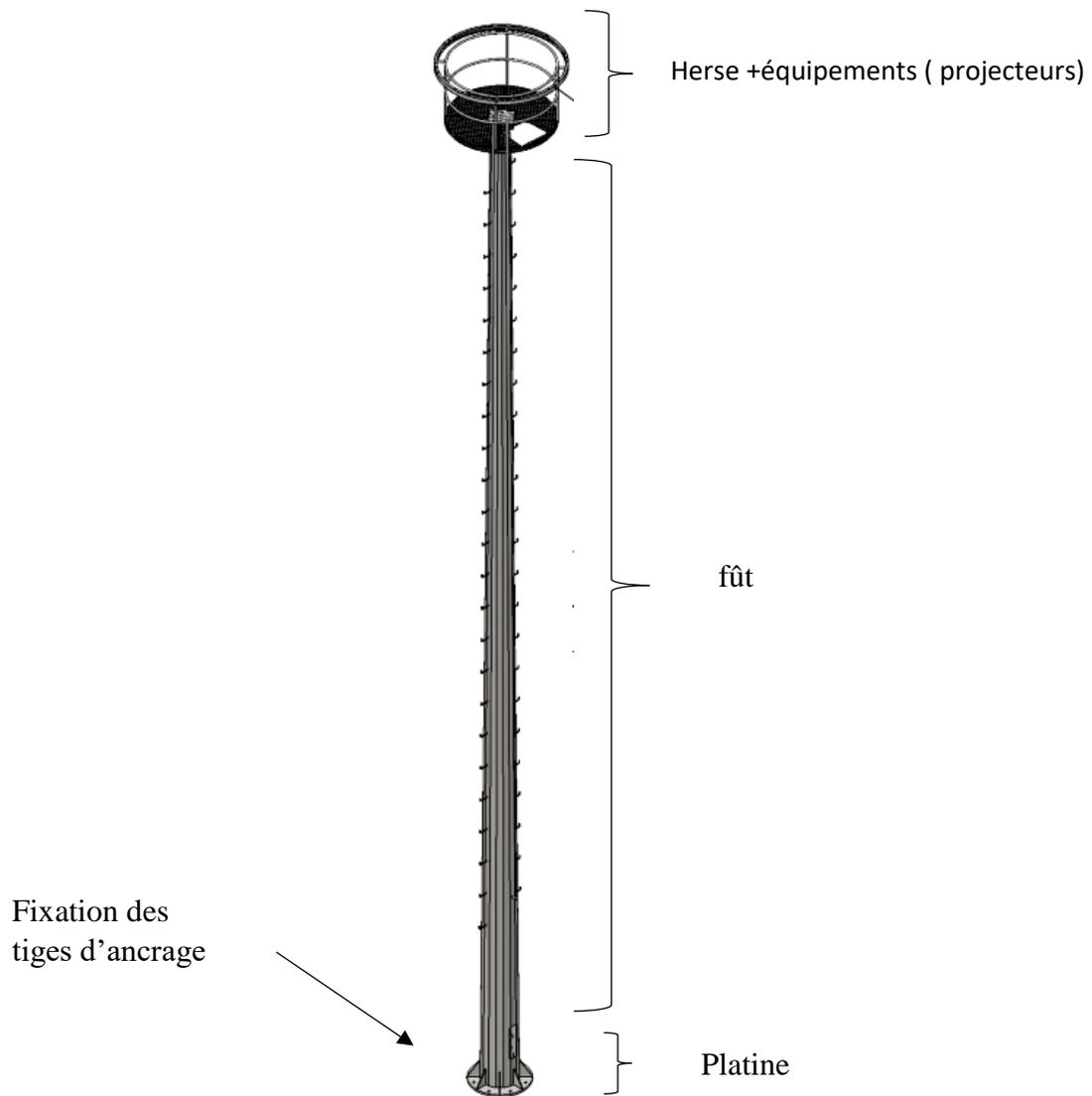


Figure 19 : description d'un candélabre

**Tige d'ancrage :**

Une tige d'ancrage ou tige de scellement est un système de fixation d'une structure, en particulier les constructions métalliques, sur une fondation en béton. [4]

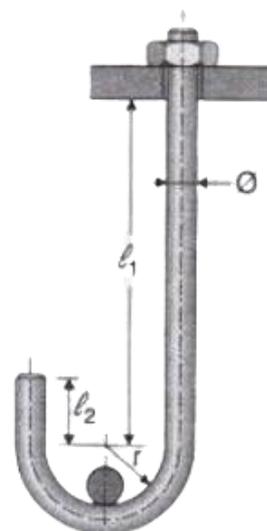


Figure 20 : tige d'ancrage

**Porte de visite :** elle permet de loger à l'intérieur du mât des auxiliaires électriques. Elle se situe à environ 500 mm de hauteur depuis la base du mât.

Son ouverture est généralement de 500 à 1000 de largeur de 100 à 200 mm.



Figure 21: porte de visite

**Projecteur :** Appareil, orientable et autonome, projetant les rayons d'une source lumineuse intense.

**Herse :** C'est un équipement standard de forme diverse en acier galvanisé adaptable sur tous les mâts de grandes hauteurs, permettant un positionnement simple des projecteurs selon la quantité et l'orientation.

Généralement pour l'éclairage des grands espaces on a deux types des herses :

- **Couronne mobile :**

Dans la famille des mâts de grande hauteur destinés à l'éclairage des grands espaces, les couronnes mobiles facilitent et sécurisent les opérations de maintenance et d'entretien des projecteurs en permettant à celles-ci d'être réalisées au niveau du sol. [5]

- **Plateforme circulaire :**

La plateforme circulaire est adaptée pour l'éclairage des grands espaces il se fixe en tête des grands mâts de manière à être sécurisée pour permettre à 2 personnes d'effectuer les opérations de maintenance des projecteurs. [5]



Figure 22 : couronne mobile



Figure 23 : plateforme circulaire

### 3.2 Installation des mâts

Ils existent deux méthodes pour la fixation des mâts et candélabres que ce soit en acier, en aluminium, etc.

➤ **Par enfoncement :**

Le mât est directement enfoncé dans le sol, ou fixé à une semelle (pré platine) qui elle-même est fixée sur une fondation en béton pour assurer la stabilité de l'ensemble comme montré dans la figure 24.



Figure 24 : fixation par enfoncement

➤ **Par scellement :**

L'installation se fait sur une fondation en béton, dans ce cas les mâts sont constitués d'une semelle de fixation à leur base. Celle-ci est soudée aux mâts en usine, lors de la fabrication des supports d'éclairage. Cette semelle peut être plate ou emboutie.

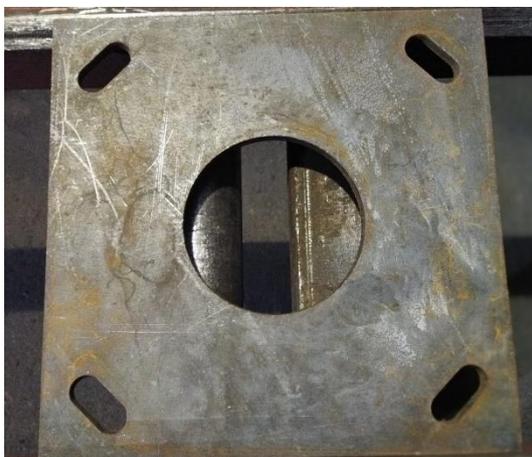


Figure 25 : platine plate



Figure 26 : platine emboutie

Généralement les semelles embouties permettent une meilleure répartition des efforts et présentent une excellente tenue à la fatigue.

Les plaques d'appui sont fixées sur les massifs en béton par des tiges de scellement.

## 4 Analyse fonctionnelle

### 4.1 Analyse du besoin

#### 4.1.1 QQQQCP du projet

Afin de bien décortiquer le projet il s'apparait nécessaire de mettre une place des questions qui vont bien expliquer l'idée générale.

Tableau 3 : étapes chronologiques de la méthode QQQQCP

<b>Qui ?</b> Qui est concerné par le problème ?	Le bureau d'étude de l'entreprise AFRIC LIGHT
<b>Quoi ?</b> De quoi s'agit-il ?	Dimensionnement d'un mât d'éclairage de grands espaces
<b>Où ?</b> Où apparait le problème ?	Au sein de l'entreprise AFRIC LIGHT
<b>Quand ?</b> Quand cela apparait-il ?	Pendant la durée de stage
<b>Comment ?</b> Comment on se rend compte du problème ?	Augmentation de la demande des mâts d'éclairage de grands espaces.
<b>Pourquoi ?</b> Pourquoi résoudre ce problème ?	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pour augmenter la gamme des produits de la société.</li><li>• Pour satisfaire ses clients</li><li>• Pour améliorer sa compétitivité</li></ul>

#### 4.1.2 La verbalisation du besoin :

Afin de verbaliser notre besoin, il faut se poser trois questions (... et y répondre !) :

« **A qui le produit rend-il service ?** » les clients de la société AFRIC LIGHT.

« **Sur quoi le produit agit-il ?** » un mât d'éclairage de grands espaces.

« **Dans quel but ?** » Pour éclairer les grands espaces.

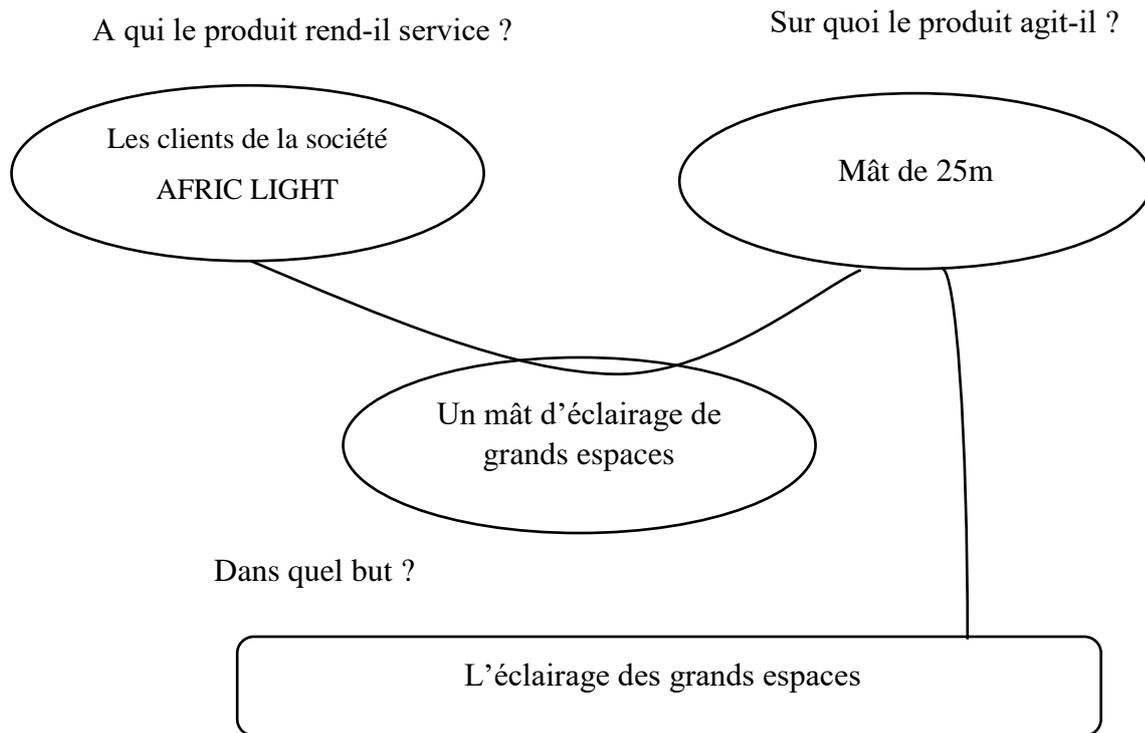


Figure 27 : Diagramme bête à corne

## 5 Conclusion

Ce chapitre met l'accent sur le cadre général du projet, ce qui nous a amené à définir les objectifs et la démarche à suivre pour accomplir notre projet.

## ***Chapitre 3 :***

### ***Mise en place d'un Fichier Excel pour le Calcul de la Charge de Vent suivant CTICM***

# 1 Introduction

Avant de passer au dimensionnement de notre structure nous allons tout d'abord présenter la norme de calcul CTICM et son domaine d'application ainsi que ses bases pour le calcul des charges et par la suite nous allons développer une méthode simplifiée de calcul de la charge de vent sous forme d'un fichier Excel qui sera utilisable au sein du bureau d'étude de la société AFRIC LIGHT pour le dimensionnement des grands mâts.

## 2 Présentation du CTICM

**CTICM** : Centre Technique Industriel de la Construction Métallique a été créé le 31 août 1962, à la demande du Syndicat de la Construction Métallique de France, Sa mission statutaire est de contribuer au développement technologique de l'emploi du métal dans la construction, dans le respect des contraintes réglementaires et environnementales. [6]

### 2.1 Domaine d'application

Les mâts d'éclairage visés par les Recommandations **CTICM** sont constitués d'une seule pièce ou de plusieurs tronçons assemblés par brides, par emboîtement ou par soudage et leur hauteur est comprise entre **15** et **80** m. CTICM ne couvre pas les structures relevant de la norme **EN 40** (norme européenne applicable aux candélabres d'éclairage public avec une hauteur nominale inférieure à 20 m).

Pour les sections polygonales le nombre de pans  $n$  de la section est supérieur ou égal à 6 et  $n$  n'excède pas 18. [6]

Mots clés :

**Bride** : Couronne circulaire, raidie ou non raidie, servant à assembler un tronçon de fût par boulonnage.

**Emboîtement** : Partie d'assemblage de tronçons de fût qui s'encastrent l'un dans l'autre.

### 2.2 Base de calculs

#### 2.2.1 Charge permanente

- **Pour la structure** : Le poids propre de la structure est généré automatiquement par le logiciel Robot Structural Analysis.
- **Pour les équipements** : Le poids propre des équipements est obtenu à partir des spécifications précisées par les fournisseurs de ces équipements. [7]

#### 2.2.2 Charge d'entretien

La charge d'entretien prise en compte sur la passerelle est de  $1500 \text{ N/m}^2$ . [7]

### 2.2.3 Charge de neige

La charge de neige appliquée aux surfaces concernées est prise forfaitairement égale à **90 daN/m<sup>2</sup>** pour des mâts d'éclairage situés à des altitudes inférieures à **200 m**.

Au-delà de ces altitudes, on modifie la valeur forfaitaire de charge de neige en fonction de l'altitude (Z en m) comme suit :

Pour 200 m ≤ Z < 500 m                      S = 0,15 Z + 60

Pour 500 m ≤ Z < 1000 m                    S = 0,30 Z – 15

Pour 1000 m ≤ Z < 2000 m                S = 0,45 Z – 165

### 2.2.4 Charge de vent

L'action du vent est une surcharge climatique appliquée tout au long de la hauteur de la structure, ce dernier a une grande influence sur la stabilité de la structure car il peut engendrer des effets non négligeables. Le calcul de cette action peut se faire en déterminant les coefficients correcteurs de la pression dynamique de base conformément aux règles de Recommandations CTICM.

Dans cette partie on va dans un premier temps calculer **l'action du vent sur le fût** et dans un deuxième temps on va calculer **l'action du vent sur la herse et ses équipements**. [7]

Pour ce faire on va commencer par la détermination de la pression dynamique de base caractéristique agissant à la hauteur h corrigée par les différents effets, après on va utiliser la valeur de cette pression pour le calcul de la charge du vent.

Selon CTICM, l'action exercée par le vent sur le mât elle est en fonction de :

- ✓ La vitesse du vent
- ✓ La hauteur au-dessus du sol
- ✓ La nature du site d'implantation
- ✓ L'effet du masque
- ✓ L'effet des dimensions

Donc la pression élémentaire s'exerçant à la hauteur h est donnée par la relation :

$$q_{k,h} = q_k * K_h * K_s * K_m * \delta$$

Ci-après on va procéder à la détermination des différents coefficients :

- ✓ **La vitesse de la zone**

La carte vent NV 65 Maroc est divisé en 4 zones (Annexe C) donc selon la ville de l'implantation de la structure on détermine la valeur correspondante de la vitesse comme présenté dans le tableau

Tableau 4 : vitesse vent selon région

région	vitesse	pression
1	39m/s	50dan/m <sup>2</sup>
2	44m/s	60dan/m <sup>2</sup>
3	62m/s	75dan/m <sup>2</sup>
4	*	

Après la détermination de la vitesse de la zone  $V_k$  on va calculer la pression dynamique de base par la relation  $q_k = \frac{1}{2} \rho V_k^2$  Avec  $\rho = 1.225 \text{kg/m}^3$ . [8]

✓ **Coefficient de hauteur  $k_h$**

La détermination de la Pression dynamique agissant à la hauteur h nécessite la détermination de  $k_h$  coefficient de la hauteur par la relation  $k_h = \frac{q_h}{q_k} = 2.5 * \frac{h+18}{h+60}$

Donc  $q_h = q_k * 2.5 * \frac{h+18}{h+60}$

✓ **Coefficient  $k_s$**

La prise en compte de l'effet de site dans les vérifications des structures sous l'action du vent se manifeste soit par majoration ou réduction de la pression dynamique de base par un coefficient  $k_s$  dit coefficient de site (voir tableau 5).

On distingue 3 catégories de site :

- **Site protégé :**

Fond de cuvette bordée de collines sur tout son pourtour et protégé ainsi pour toutes les directions du vent. [9]

- **Site normal :** Plaine ou plateau de grande étendue pouvant présenter des dénivellations peu importantes, de pente inférieure à 10 % (vallonnement, ondulations). [9]

- **Site exposé :**

Au voisinage de la mer en général sur une profondeur d'environ 6km le littoral au sommet des falaises, aux îles ou presqu'îles, aux vallées étroites où le vent s'engouffre, aux montagnes isolées ou élevées. [9]

Les valeurs correspondantes de  $K_s$  sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5: Coefficient de site

	Zones		
site	1	2	3
protégé	0.8	0.8	0.8
normal	1	1	1
exposé	1.3	1.30	1.25

La nature du site doit être définie par le cahier des charges du projet. À défaut de précisions, on adoptera une implantation de type site normal.

- ✓ **Coefficient de masque  $k_m$**

Le fait qu'un mât d'éclairage soit masqué partiellement ou totalement par d'autres constructions n'est pas à prendre en compte dans les calculs, sauf si derrière ce masque se produit une perturbation due au sillage turbulent de vent.

Selon le CTICM on prend toujours  $k_m = 1$

- ✓ **Coefficient d'effet de dimensions**

La pression dynamique de base doit être affectée d'un coefficient d'effet de dimensions  $\delta$  ayant pour valeurs celles données dans le tableau page 19 du CTICM.

Tableau 6 : coefficient d'effet de dimensions

$H$ (m)	$15 \leq H \leq 30$	$30 \leq H \leq 60$	$60 < H \leq 80$	$35 \leq H \leq 80$		
$h$ (m)	$0 \leq h \leq 30$	$30 < h \leq 35$		$35 < h \leq 40$	$40 < h \leq 45$	$h > 45$
$\delta$	$1 - 0,13(\log h + 0,301)$	$1 - 0,12(\log h + 0,301)$	0,75	0,80	0,85	0,90

Une fois tous les coefficients sont déterminés, nous multiplierons la valeur de la pression dynamique de base  $q_k$  par les coefficients trouvés pour avoir la valeur de la pression corrigé par

les différents effets  $q_{k,h}$ , cette valeur on va l'utiliser pour calculer la charge de vent sur le fût et sur la herse et ses équipements.

✓ **L'action de vent sur le fût est calculée par la relation :**

$$W_{fut} = C_{t,\lambda} * \sum S_{t,h} * q_{k,h}$$

Avec  $C_{t,\lambda} = C_{t,\infty} * \Psi_{t,\lambda}$

$\Psi_{t,\lambda}$  est calculé en fonction de  $\lambda$  avec  $\lambda = \frac{h}{b}$

$h$  : la hauteur du mât

$b$  : diamètre sur angle à mi-hauteur  $b = \frac{Db+Ds}{2}$

Pour le calcul de  $\Psi_{t,\lambda}$  on a deux cas :

Pour  $1 \leq \lambda \leq 10$  on aura  $\Psi_{t,\lambda} = 0,6 + 0,1 * \log(\lambda)$

Pour  $10 \leq \lambda \leq 100$  on aura  $\Psi_{t,\lambda} = 0,45 + 0,25 * \log(\lambda)$

Pour la détermination du coefficient global de traînée  $C_{t,\infty}$  on a deux cas :

❖ **Si la section est circulaire**

Dans le cas où la section est circulaire on va déterminer le coefficient de trainée d'après la figure ci-dessous.

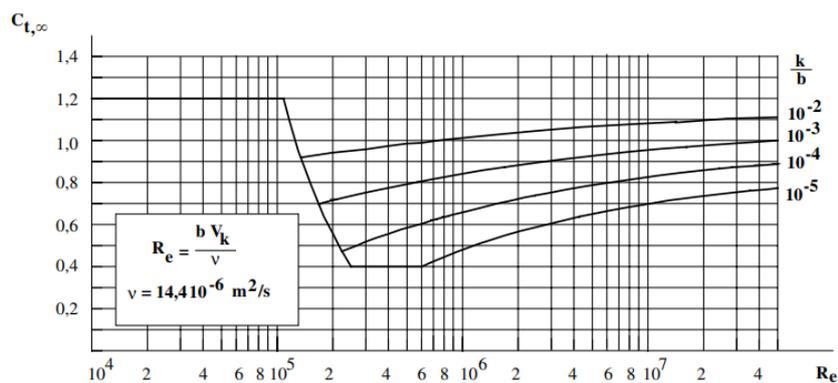


Figure 28: coefficient global de traînée sur un cylindre circulaire

Dans la figure 27,  $k$  est la rugosité de la surface en m et  $b$  le diamètre du cylindre en m.

Dans le cas de l'acier galvanisé on prend  $k = 2 \cdot 10^{-4}$  m.

D'après le calcul de  $\frac{k}{b}$  et  $Re = \frac{b * V_k}{\nu}$  on obtient la valeur de  $C_{t,\infty}$  par intersection.

❖ **Si la section est polygonale**

La valeur du coefficient de trainée est donnée dans le tableau 2.1 page 19 du CTICM

Tableau 7 : le coefficient de traînée pour une section polygonale

Forme de la section,	$C_{t;\infty}$
Hexagone (n= 6)	1.6
Octogone (n=8)	1.3
Décagone (n=10)	1.3
Dodécagone (n=12)	0.9
Pour $12 < n \leq 18$	0.7

Donc on va multiplier la valeur de la pression  $q_{k,h}$  qu'on a déjà trouvée par le coefficient de traînée et on va appliquer cette valeur de pression sur la surface de fût.

✓ **L'action du vent sur la herse et ses équipements est calculée par :**

$$W_{herse+projecteurs} = C_t * \sum S_{ref,h} * q_{k,h}$$

Pour  $q_{k,h}$  c'est la valeur de la pression qu'on a calculé déjà pour le fût.

Pour la valeur de  $C_t$  est pris égal à 1,3 pour le vent de face et 1,0 pour le vent arrière.

### 2.3 Les combinaisons d'action à ELU et ELS

Les états limites sont des états au-delà desquels la structure ne satisfait plus aux exigences de performance pour lesquelles elle a été conçue.

Les états limites sont classés en :

#### 2.3.1 Etats limites ultimes ELU

Les états limites ultimes sont associés à l'effondrement de la structure, ou à d'autres formes de ruine structurale (perte de stabilité) qui peuvent mettre en danger la sécurité des personnes.

Pour la détermination des actions d'ensemble exercées sur un mât d'éclairage on a deux situations :

- Situations de projet durables et transitoires :

Les situations durables correspondent aux conditions normales d'usage et d'entretien des mâts d'éclairage, et les situations transitoires dues par exemple, au montage des mâts d'éclairage.

Les combinaisons fondamentales d'actions aux états limites ultimes à prendre en considération sont :

$$\text{ELU 1 : } 1,35 G + 1,5 Q$$

$$\text{ELU 2 : } 1,35 G + 1,5 S$$

$$\text{ELU 3 : } 1,35 G + 1,5 W$$

- Les situations de projet accidentelles comprennent essentiellement la présence d'une action sismique.

La combinaison d'actions résultant de ces situations de projet accidentelles à prendre en considération est :

$$\text{ELU 4 : G + E}$$

### 2.3.2 Etats limites de service ELS

Les états limites de service sont associés à l'esthétique de la structure (fissuration nuisible) et au confort des occupants (déformations excessives et vibrations).

La combinaison d'actions aux états limites de service est donnée par :

$$\text{ELS : G + W}$$

## 3 Elaboration du fichier Excel pour le calcul de la charge vent selon CTICM

### 3.1 Mise en place du fiche de calcul Excel

Notre mission principale au cours de notre passage à AFRIC LIGHT est d'élaborer une fiche de calcul Excel en suivant les recommandations CTICM, cette fiche sera applicable au sein du bureau d'étude de la société pour dimensionner les mâts d'éclairage de grande hauteur. La fiche vous la trouverez en Annexe H.

Tout d'abord et dès que le bureau d'étude reçoit une demande depuis ses clients on commence par la détermination de la zone et la nature de site comme le montre les figures ci-dessous.

zone	
site	1
	2
	3
D(b) (m)	4

Figure 29 : détermination de la zone

site	
D(b) (m)	protégé
	normal
	exposé

Figure 30 : détermination du site

Dès qu'on a choisi le numéro de la zone on aura automatiquement la valeur de la vitesse de vent  $V_k$  par exemple pour la zone 1 on aura une valeur de vitesse  $V_k = 39$  m/s cette valeur sera utilisable pour la détermination de la pression dynamique de base  $q_k$  par la relation  $q_k = \frac{1}{2} \rho V_k^2$ .

Fiche de calcul	
1) calcul de pression après tous les effets	
zone	1
site	
D(b) (m)	
D(s) (m)	
b(m)	0
h(m)	
H(m)	
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,225
$V_k$ (m /s)	39
$q_k = 1/2 * \rho * V(k)^2$ (N/m <sup>2</sup> )	931,6125

Figure 31 : calcul de pression dynamique de base

Après on va fournir les caractéristiques du mât étudié (diamètre de base, sommet et sa hauteur).

D(b) (m)	
D(s) (m)	
b(m)	0
h(m)	
H(m)	

Figure 32 : données de base du mât

Une fois la valeur de h est saisie on aura le coefficient de hauteur  $K_h$  par exemple pour h=25m on aura  $K_h = 1,26$ .

=2,5*(D9+18)/(D9+60)	
B	C
D(s) (m)	0,24
b(m)	0,41
h(m)	25
H(m)	25
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,225
$V_k$ (m /s)	39
$q_k = 1/2 * \rho * V(k)^2$ (N/m <sup>2</sup> )	931,6125
$K_h$	1,264705882

Figure 33 : coefficient de hauteur  $K_h$

Pour le coefficient de site  $K_s$  est déterminé d'après ce tableau.

Tableau 8: ks ça dépend de la nature de site et de numéro de la zone

coefficient de site $K(s)$					
site	1	2	3	4	5
protégé	0,8	0,8	0,8	0,8	*
normal	1	1	1	1	1
exposé	1,35	1,3	1,25	1,2	1,2

Pour un site normal on aura  $K_s = 1$

Fiche de calcul	
1) calcul de pression après tous effets	
zone	1
site	normal
D(b) (m)	protégé normal exposé
D(s) (m)	0,24
b(m)	0,41
h(m)	25
H(m)	25
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,225
$V_k$ (m /s)	39
$q_k = 1/2 * \rho * V(k)^2$ (N/m <sup>2</sup> )	931,6125
$K_h$	1,264705882
$K_s$	1

Figure 34 : coefficient de site  $K_s$

Pour le calcul du coefficient d'effet de dimensions on a 5 cas qui sont montré dans le tableau après on choisit la valeur spécifique pour le cas traité.

$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,225	coefficient de réduction $\delta$						
$V_k$ (m /s)	39	H(m)	15≤H≤80	30≤H≤60	60<H≤80	35≤H≤80		
$q_k = 1/2 * \rho * V(k)^2$ (N/m <sup>2</sup> )	931,6125	h(m)	0≤h≤30	30<h≤35		35<h≤40	40<h≤45	h>45
$K_h$	1,264705882	h(m)	25					
$K_s$	1	$\delta$	1-0,13*log(h+0,301)	1-0,12*log(h+0,301)	0,75	0,8	0,85	0,9
$k_m$	1	$\delta$	0,779137799	#NOMBRE!	0,75	0,8	0,85	0,9
$\delta$ (d'après tableau)	0,779137799							
$q_{k,h} = q_k * k_h * k_s * k_m * \delta$ (N/m <sup>2</sup> )	0,779137799							
	#NOMBRE!							
	0,75							
	0,8							
	0,85							
	0,9							

Figure 35 : détermination de coefficient d'effet de dimensions  $\delta$

Dès que tous les coefficients sont calculés ( $K_h$ ,  $K_s$ ,  $K_m$ ,  $\delta$ ) on va les multiplier par la valeur de la pression dynamique de base  $q_k$  pour avoir  $q_{k,h}$  la pression agissant à la hauteur h corrigée par les différents effets.

=D13*D14*D15*D16*D17		
B	C	D
$q_k = 1/2 * \rho * V(k)^2$ (N/m <sup>2</sup> )		931,6125
$K_h$		1,264705882
$K_S$		1
$k_m$		1
$\delta$ (d'après tableau)		0,779137799
$q_{k,h} = q_k * k_h * k_S * k_m * \delta$ (N/m <sup>2</sup> )		917,9924719

Figure 36 : la pression  $q_{k,h}$

Par la suite On va passer à la détermination du coefficient global de trainée  $C_{t,\lambda}$ , pour ce faire il faut tout d'abord déterminer les valeurs de  $C_{t,\infty}$  et  $\Psi\lambda$ .

Pour le calcul de  $\Psi\lambda$  on a deux cas :

Cas 1 :  $1 \leq \lambda \leq 10$

Cas 2 :  $10 \leq \lambda \leq 100$

=SI(ET(D22>=1;D22<=10);0,6+(0,1*LOG10(D22));SI(ET(D22>=10;D22<=100);0,45+(0,25*LOG10(D22));0))		
B	C	D
<b>2) calcul du coefficient global de trainée</b>		
<b>a) fût octogonale</b>		
$\lambda$	$\lambda = H/b$	60,97560976
$\lambda$	$1 \leq \lambda \leq 10$	$10 \leq \lambda \leq 100$
$\Psi\lambda$	$0,6 + 0,1 * \log(\lambda)$	$0,45 + 0,25 * \log(\lambda)$
$\Psi\lambda$	0,896289038	

Figure 37: calcul de  $\Psi\lambda$

La détermination de la valeur de  $C_{t,\infty}$  dépend de la nature de fût :

- **Si le fût est polygonal :**

Il suffit d'entrer le nombre de faces  $n$  de fût et on aura la valeur de  $C_{t,\infty}$

Par exemple pour  $n = 12$  on aura  $C_{t,\infty} = 0,9$

=SI(C26=6;1,6;SI(OU(C26=8;C26=10);1,3;SI(C26=12;0,9;SI(ET(C26>12;C26<=18);0,7;0))))

B	C	D
$\Psi_\lambda$	0,896289038	
n	12	
$C_{t;\infty}$	0,9	

Figure 38 :  $C(t;\infty)$  pour un fût polygonale

- **Si le fût est circulaire :**

Pour un fût circulaire, on va calculer la valeur de  $Re$  et de  $\frac{K}{b}$  comme si montrée et on va déterminer  $C_{t;\infty}$  depuis le graphe montré dans la figure 39.

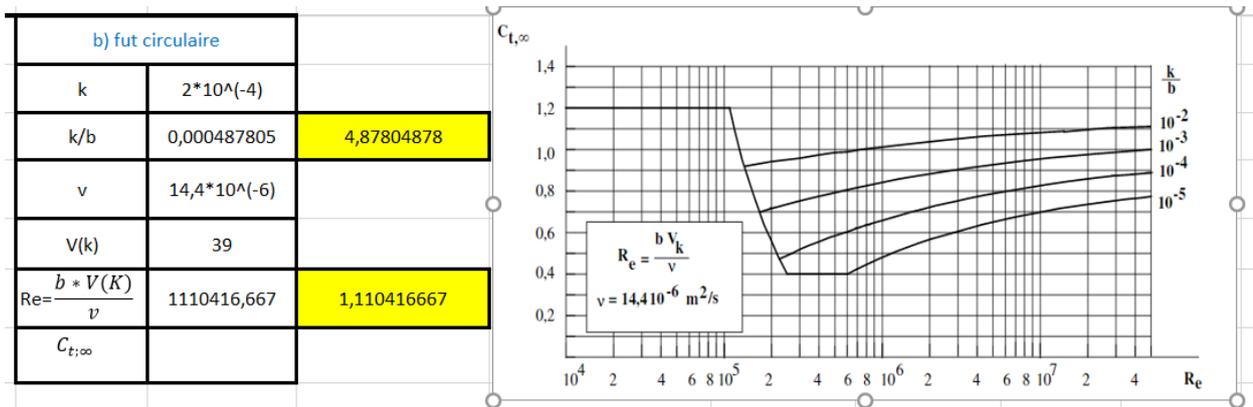


Figure 39 :  $C(t;\infty)$  pour un fût circulaire

Dès que les valeurs de  $\Psi_\lambda$  et  $C_{t;\infty}$  sont calculées on aura directement  $C_{t,\lambda}$  mais avant il nous faut un test de différenciation entre les fûts (polygonal ou circulaire).

=SI(C27=0;G27;C27)		
B	C	D
Test pour différencier entre les fûts (polygonale ou circulaire)		0,9
$C_{t,\lambda} = C_{t;\infty} * \psi\lambda$		0,806660134

Figure 40 : différenciation entre les fûts

Une fois on a déterminé les valeurs de  $C_{t,\lambda}$  et  $q_{k,h}$  on va se procéder par la suite à la détermination de l'action du vent sur le fût  $W_{fut} = C_{t,\lambda} * \sum S_{t,h} * q_{k,h}$  cette valeur sera appliqué sous forme d'une charge uniforme sur la surface  $S_{k,h}$  de la structure.

=D34*D33			
B	C	D	E
3) la charge de vent sur le fut			
$C_{t,\lambda}$		0,806660134	
$q_{k,h}$		917,9924719	
$W_{fut} = C_{t,\lambda} * \sum S_{q,h} * q_{q,h}$		740,5079306	

Figure 41 : Action du vent sur le fût

L'action du vent sur la herse et sur ses équipements est calculée par la relation

$$W_{herse+projecteurs} = C_t * \sum S_{ref,h} * q_{k,h}$$

Pour calculer cette action on va utiliser la valeur de  $q_{k,h}$  qu'on a déjà trouvé sur la figure 36, et pour la valeur  $S_{ref,h}$  on va la calculer d'après le cahier de charge du client, et pour  $C_t$  on la prend égal à 1 pour le vent de face et 1,3 pour le vent d'arrière.

- On a la surface de la plateforme est  $2.81 \text{ m}^2$
- Et la surface d'un projecteur est  $0,512 \text{ m}^2$  donc pour la surface de 10 projecteurs on aura  $S = 0,512 * 10 = 5,12$

Par calcul on aura la valeur montré dans la figure 42.

$f_x$	=(H31*H32*H33+I31*H32*I33)					
	G	H	I	J	K	L
	4)charge de vent sur herse et équipement					
		herse	équipement		vent de face	1
$C_t$		1	1		vent arrière	1,3
$q_{k,h} (h=H)$	917,9924719					
$S_{ref,h} (m^2)$		2,81	5,12			
$W_{herse+eqt}$	7279,680302					

Figure 42 : Action du vent sur la herse et ses équipements

Cette valeur sera appliquée sous forme d'une charge nodale en haut suivant la direction Z.

#### 4 Conclusion

En regard à ce qui précède, ce chapitre était consacré à une présentation globale de la norme CTICM, son domaine d'application et ses bases de calcul ainsi que la démarche suivie pour élaborer la fiche de calcul de la charge de vent.

## ***Chapitre 4 :***

### ***Dimensionnement de la structure sur Robot.***

# 1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord faire une conception de la structure en supposant certaines dimensions pour les tronçons de notre mât puis on effectuera des analyses (statique, dynamique, sismique) pour vérifier si les dimensions supposées résistent aux charges et les conditions climatiques imposées.

Pour réaliser cette solution, on va utiliser le logiciel de calcul de structure Robot Structural Analysis, le mode opératoire suivi durant cette étude peut être divisé en trois étapes :

- Définition du modèle de la structure.
- Calculs sous l'effet des charges climatiques et sismiques.
- Dimensionnement des éléments de la structure à partir des résultats du calcul obtenus.

## 2 Modélisation de la structure sur Robot

### 2.1 Conception du mât :

La conception du mât a été réalisée selon les spécifications du cahier des charges fourni par le client.

Pour commencer la modélisation il faut définir les diamètres de base et sommet de notre structure, La modélisation d'un mât de 25m nécessite de le diviser en trois tronçons qui vont être assemblés entre eux par emboîtement.

L'assemblage par emboîtement est défini par plan, avec une longueur nominale de recouvrement au moins égal à 1.5 fois le diamètre moyen (selon CTICM-page 30) donc :

- ✓ Emboîtement 1 : égal 250 mm
- ✓ Emboîtement 2 : égal 700 mm

On va donner  $D_b = 580$  mm et  $D_s = 240$  mm et on calcul la valeur de la connectivité qu'il faut garder tout au long de la hauteur de notre structure.

#### **Calcul la connectivité :**

$$\text{On a la relation } C = \frac{D_b - D_s}{h} = 13,6$$

Cette valeur de connectivité on va l'utiliser pour déterminer la base et sommet de chaque tronçon comme ci montre le tableau ci-dessous

Tableau 9: Les barres

Barre	Nœud 1	Nœud 2	Section	matériau	Longueur
<b>1</b>	1	2	D580X472X4	ACIER E28	8,00
<b>2</b>	2	3	D472X460X8	ACIER E28	0,25
<b>3</b>	3	4	D460X364X4	ACIER E28	7,85
<b>4</b>	4	5	D364x353X8	ACIER E28	0,70
<b>5</b>	5	6	D353X240X4	ACIER E28	8,20

Après avoir défini les dimensions de chaque barre voilà le modèle 3D de notre structure

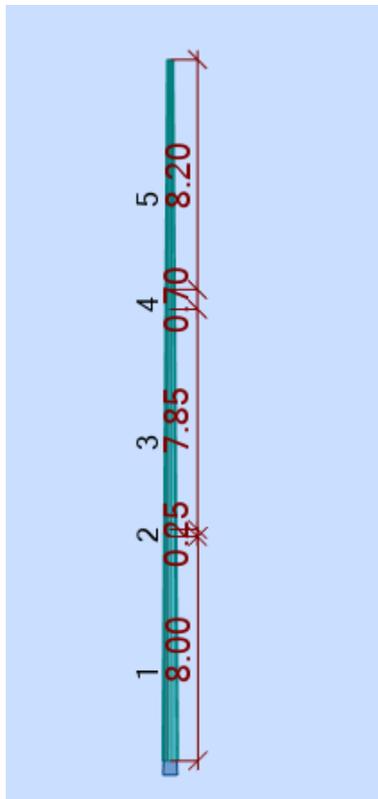


Figure 43: les barres de la structure

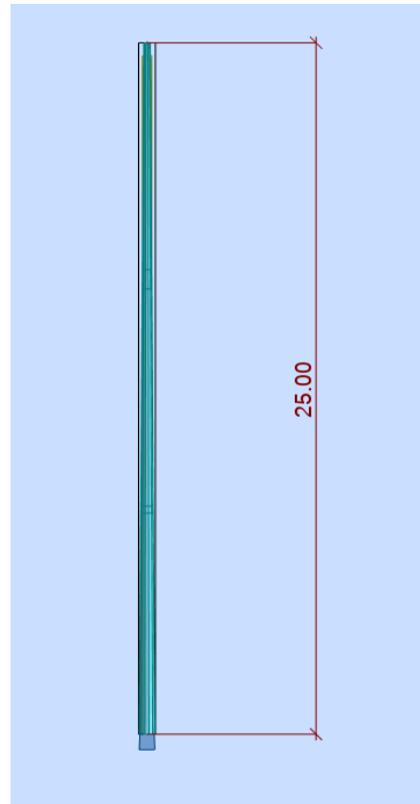


Figure 44: modèle 3D de la structure

## 2.2 Cas de charges

Après avoir modaliser la structure, on passe aux chargements, en affectant à la structure les différents charges à laquelle elle est soumise.

Notre structure est soumise aux charges suivantes :

### 2.2.1 Charges permanentes

Les charges permanentes sont représentées par le poids propre de la structure et ses équipements.

Après avoir calculé le poids des équipements

On a  $P = m * g$

D'après le cahier de charge du projet les équipements que vas supporter le mât sont :

Une plateforme circulaire de masse  $m=200\text{kg}$  (**fiche technique de la plateforme en Annexe A**) qui vas supporter 10 projecteurs dont la masse de chaqu'un est 33kg (et pour des mesures de sécurité on va prendre en charge une masse de sécurité égal à 150 kg.

Donc :  $P = (m_{\text{plateforme}} + m_{\text{projecteurs}} + m_{\text{sécurité}}) * g$

$$P = (200 + 33 * 10 + 150) * 10$$

$$P = 6800\text{N}$$

On va appliquer cette valeur comme charge ponctuelle en haut du mât (figure 45).

### 2.2.2 Charges d'exploitation

Cette charge est prise en compte égal à 1500N (figure 46).

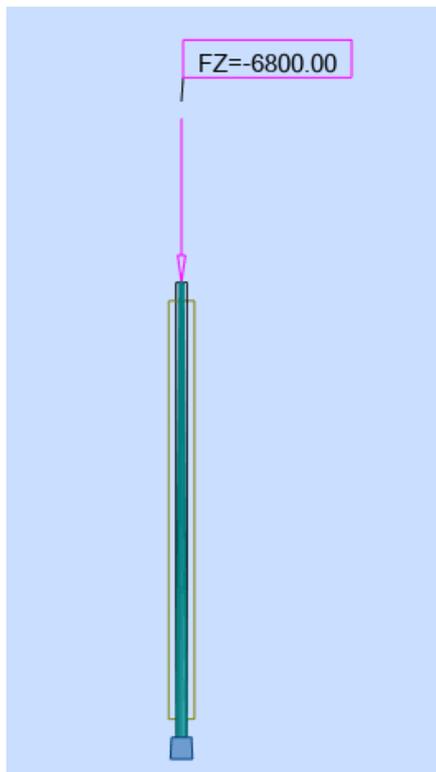


Figure 45: poids des équipements

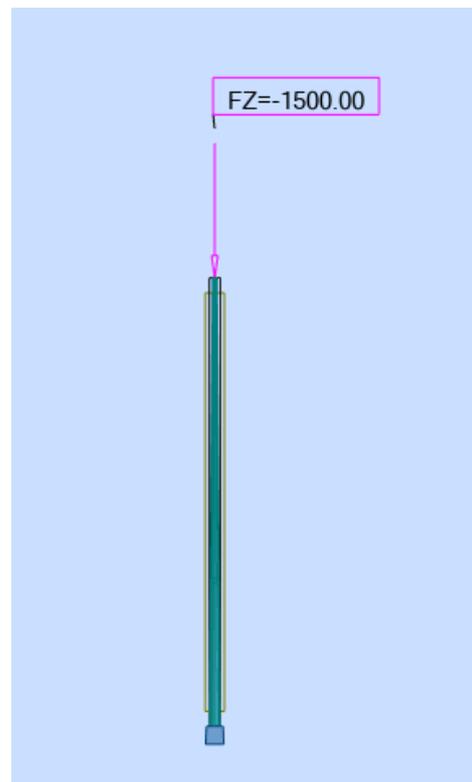


Figure 46: Charge d'entretien

### 2.2.3 La charge du vent

Les effets de vent sur le mât et sur ses équipements sont calculés directement d'après la fiche Excel qu'on a élaboré.

Après qu'on a défini tous les paramètres nécessaires sur le fichier Excel

- Numéro de zone : 1
- Catégorie de site : site normal

- Diamètre de base : 580 mm
- Diamètre de sommet : 240 mm
- Hauteur : 25 m
- Nombre de pans : 12

On trouve les valeurs de charge de vent ci-dessous et on va les appliquer directement

3) la charge de vent sur le fût	
$C_{t,\lambda}$	0,806660134
$q_{k,h}$	917,9924719
$W_{fut} = C_{t,\lambda} * \sum S_{q,h} * q_{k,h}$	740,5079306

Figure 47 : la charge de vent sur le fût

4) charge de vent sur herse et équipement		
	herse	équipement
$C_t$	1	1
$q_{k,h} (h=H)$	917,9924719	
$S_{ref,h} (m^2)$	2,81	5,12
$W_{herse+eqt}$	7279,680302	

Figure 48 : la charge de vent sur les équipements

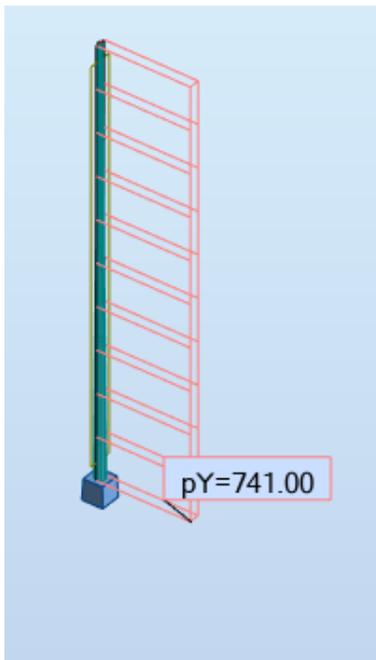


Figure 49: charge de vent sur le fût

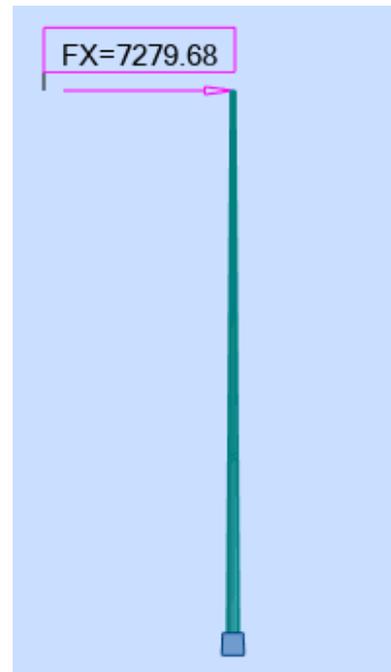


Figure 50: charge de vent sur les équipements

### 2.3 Combinaisons d'actions

Après avoir terminé le chargement de la structure nous procédons à la définition des combinaisons (ELU, ELS) avec lesquelles le logiciel ROBOT effectue le dimensionnement et la vérification, en effet il y a deux modes de faire cette opération : manuelle et automatique, pour notre travail nous avons choisi la combinaison manuelle, et on lance l'analyse de la structure pour la vérification de la flèche et la contrainte.

### 2.3.1 Combinaisons d'actions aux états limites ultimes

D'après CTICM les combinaisons fondamentales d'actions à prendre en considération aux états limites ultimes sont :

ELU1	$1,35 G + 1,5 Q$
ELU2	$1,35 G + 1,5 S$
ELU3	$1,35 G + 1,5 W$
ELU4	$G + E$

### 2.3.2 Combinaisons d'actions aux états limites de services

La combinaison d'actions aux états limites de service est donnée par :

$$G + W$$

Après avoir défini toutes ces étapes voici un tableau qui engendre toutes les combinaisons :

Tableau 10: tableau des combinaisons

Nom	Type d'analyse	Type de la combinaison	Nature de cas	définition
<b>ELU 1</b>	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle	$(1+2)*1.35+3*1.50$
<b>ELU2</b>	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle	$(1+2)*1.35$
<b>ELU3</b>	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle	$(1+2)*1.35+(4+5)*1.50$
<b>ELU4</b>	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle	$(1+2+19+20)*1.00$
<b>ELS</b>	Combinaison linéaire	ELS	Structurelle	$(1+2+4+5)*1.00$

## 3 Etude parasismique de la structure

Le calcul sismique est basé sur le règlement de construction parasismique RPS 2011

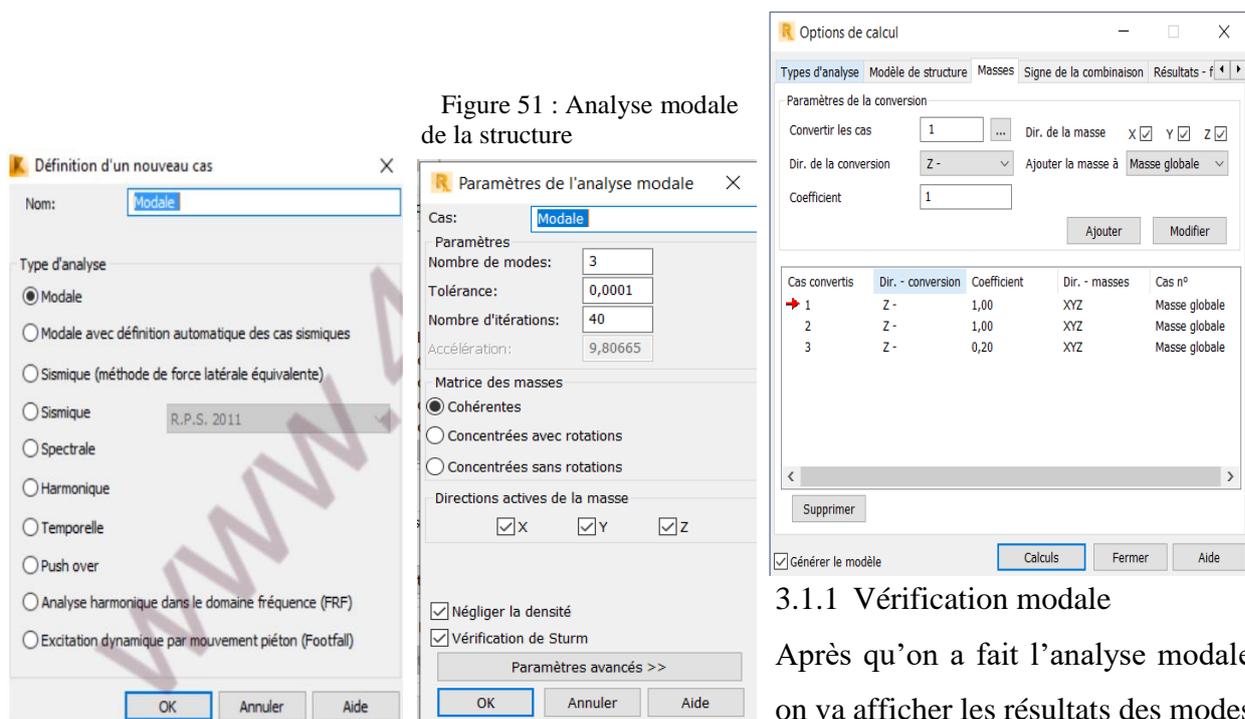
L'objectif essentiel du RPS 2011 est :

- De définir l'action sismique sur les bâtiments ordinaires et les structures de comportement similaire, au cours des tremblements de terre.
- D'assurer la sécurité du public pendant un tremblement de terre.
- La protection des biens matériels.
- La continuité de la fonctionnalité des services de base. [10]

### 3.1 Analyse modale de la structure

L'objectif de cette analyse est de vérifier si la structure va résister au séisme ou pas, par l'analyse de réponse de la structure aux efforts sismiques.

Pour ce faire on a choisi une matrice des masses cohérentes pour avoir le max des résultats donc plus de précision, Ainsi on va négliger la densité car elle est déjà prise en considération dans la charge permanente de la structure pour l'affecter une seule fois. [10]



Après qu'on a fait l'analyse modale on va afficher les résultats des modes propres de la structure comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 11 : les résultats des modes propres

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masses Cumulées UZ [%]
18/ 1	0,47	2,15	0,0	100,00	0,0
18/ 2	0,47	2,15	100,00	100,00	0,0
18/ 3	37,65	0,03	100,00	100,00	100,00

D'après les résultats de l'analyse modale on déduit que la période maximale de déplacement de la structure est  $T=2,15$  s donc cette valeur est suffisante pour se procéder par la suite aux vérifications des déformations de la structure suivant les différents axes pour savoir si la structure est parasismique ou pas.

On a d'après le tableau des résultats on a la somme des masse cumulées en pourcentage suivant les directions(x, y, z) est 100% donc d'après RPS 2011 cette valeur est supérieur 90%

Alors on peut dire que la conception est parasismique. [10]

### 3.2 Analyse sismique

Après qu'on a vérifié que la structure est parasismique, maintenant on passe pour faire le calcul sismique, mais avant ça il nous faut de déterminer les coefficients nécessaires.

#### 3.2.1 Coefficient d'importance I

Selon RPS 2011 les structures sont classées selon l'importance de leur usage, leur configuration et leur degré de dissipation de l'énergie.

RPS 2011 répartit les structures en trois classes.

Classe I : bâtiments d'importance vitale

Classe II : bâtiments du grand public

Classe III : bâtiments ordinaires

Tableau 12 : coefficient d'importance

Classe de constructions	Coefficient I
Classe I	1.30
Classe II	1.20
Classe III	1.0

D'après le tableau on a la structure d'un mât d'éclairage est considéré dans la classe II donc on aura le coefficient d'importance  $I=1.2$

### 3.2.2 Nature de site

La classification des sites est déterminée sur la base des paramètres géotechniques résultant de la reconnaissance des sols qui les constituent. Le règlement distingue 5 types de sites :

Site S1 : sol rocheux

Site S2 : sol ferme

Site S3 : sol meuble

Site S4 : sol mou

Site S5 : sol spécial

D'après le cahier de charge du projet l'installation de notre mât vas être dans un site S1. [10]

### 3.2.3 Zonage sismique

Pour simplifier le calcul des charges sismiques et uniformer les exigences de dimensionnement des structures à travers de grandes régions du pays, RPS 2011 utilise l'approche des zones (Annexe D), d'après la carte de zone, la ville de Rabat se situe dans la zone en jaune donc la vitesse sismique de cette zone est  $v=0.1\text{m/s}$ . [10]

Tableau 13 : coefficient de vitesse par zone

Paramètre de vitesse $v$ /1(m/s)	Numéro de zone de vitesse
0.00	0
0.07	1
0.10	2
0.13	3
0.17	4

La carte de zonage sismique adoptée par RPS 2011 est reliée aux valeurs de l'accélération horizontale maximale du sol  $A_{max}$  ( $Z_a = 0; 1; 2; 3; 4$ ) et à la vitesse horizontale maximale du sol  $V_{max}$  ( $Z_v = 0; 1; 2; 3; 4$ ).

D'après le catalogue des zones de vitesses et des accélérations au niveau de chaque commune (Annexe F et G) on a pour la région de Rabat  $Z_a=2$  et  $Z_v =2$ .

### 3.2.4 Facteur de comportement k

Le coefficient de ductilité K caractérise la capacité d'une structure à dissiper l'énergie par le comportement inélastique.

D'après tableau 3. 2 du RPS 2011 page 29 on a  $v < 0,1$  m/s et on est dans la classe II alors le niveau de ductilité est ND1.

Tableau 14 : niveau de ductilité de la structure

Classes De Batiments	Niveau du Seisme (V : Facteur De Vitesse)		
	$v \leq 0.10$	$0.10 < v \leq 0.20$	$0.20 < v$
CLASSE I	ND1	ND2	ND3
CLASSE II			
CLASSE III	ND1	ND2	

On a le niveau de ductilité de notre structure est ND1 et le système de contreventement de la structure du mât d'éclairage est en voile et portique donc d'après le tableau 3.3 du RPS on aura le facteur d'importance  $K=2$ .

Tableau 15: Facteur de comportement K

Système de contreventement	ND 1	ND2	ND 3
<b>OSSATURES EN BETON ARME</b>			
Portiques en Béton armé	2	3.5	5
Voile et Portique	2	3	4
Voile	1.4	2.1	2.8
Voiles couplés	1.8	2.5	3.5
<b>OSSATURES EN ACIER</b>			
Portique à nœuds rigides	3	4.5	6
Ossature contreventée	2	3	4

Après qu'on a déterminé tous les coefficients on passe à faire une analyse sismique sur robot pour vérifier si la structure vas résister au Séisme au pas.

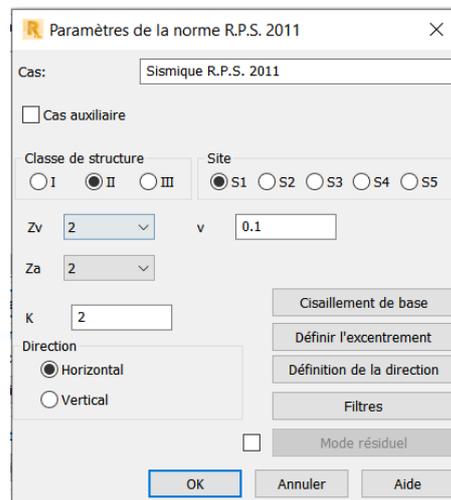


Figure 52 : Analyse sismique

Après l'application du séisme on doit vérifier que le déplacement latéral de la structure reste limité à la valeur maximale fixée par RPS 2011.

### 3.2.5 Vérification du déplacement latéral

D'après RPS 2011 le déplacement latéral de la structure suivant tous les directions doit vérifier la relation :

$$\Delta g \leq 0.004H$$

Sur le logiciel Robot on va afficher le tableau des déplacements sous l'action du séisme dans les directions X et Y. [10]

Tableau 16 : valeurs des déplacements sous le séisme en X

	UX [mm]	UY [mm]	UZ [mm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
<b>MAX</b>	99,0	0,0	0,0	0,0	0,008	0,0
<b>Nœud</b>	6	1	1	1	6	1
<b>Cas</b>	19	19	19	19	19	19
<b>Mode</b>	2	1	1	1	2	1
<b>MIN</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Nœud</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Cas</b>	19	19	19	19	19	19
<b>Mode</b>	1	1	1	1	1	1

D'après le tableau des résultats on a  $\Delta g = 99 \text{ mm}$

$$\Delta g \leq 0.004 * 25000 \longrightarrow \Delta g \leq 100 \text{ mm} \quad \text{vérifié}$$

Tableau 17 : valeurs des déplacements sous le séisme en Y

	UX [mm]	UY [mm]	UZ [mm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
<b>MAX</b>	0,0	99,0	0,0	0,008	0,0	0,0
<b>Nœud</b>	1	6	1	6	1	1
<b>Cas</b>	20	20	20	20	20	20
<b>Mode</b>	1	1	1	CQC	1	1
<b>MIN</b>	0,0	0,0	0,0	-0,008	0,0	0,0
<b>Nœud</b>	1	1	1	6	1	1
<b>Cas</b>	20	20	20	20	20	20
<b>Mode</b>	1	1	1	1	1	1

D'après le tableau des résultats on a  $\Delta g = 99 \text{ mm}$

$$\Delta g \leq 0.004 * 25000 \longrightarrow \Delta g \leq 100 \text{ mm} \quad \text{vérifié}$$

On déduit que tous les déplacements latéraux sont inférieurs à la valeur limite donnée par RPS 2011, donc les déformations globales sont vérifiées.

## 4 Exploitation des résultats

### 4.1 Calcul et vérification de la flèche à ELS

Selon CTICM à l'état limite de service ELS le déplacement du mât doit être inférieur ou égale à **0,05h** ( $\delta_{\max} \leq 0,05h$ )

D'après le résultat obtenu du déplacement sous ELS

On a trouvé que  $\delta_{\max} = 759,8$  mm

Or  $\delta_{\max} / h = 759.8 / 25000$

$$\delta_{\max} / h = 0,03 \leq 0,05$$

La structure vérifie la condition de déplacement.

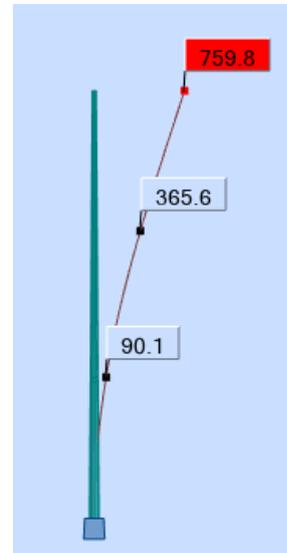


Figure 53 : déformation du mât

### 4.2 Calcul et vérification de la contrainte à ELU

A l'état limite ultime on doit s'assurer que  $\sigma_{\max} < \sigma_e$

D'après le calcul à l'état limite ultime on a

trouvé une contrainte maximale de 237,37 MPa.

Cette valeur de contrainte est inférieure à la limite élastique du matériau qui est 235 MPa.

On a  $237.37 \text{ MPa} \leq \sigma_e = 275 \text{ MPa}$ .

La structure résiste à son poids propre et aux charges variables appliquées à l'état limite ultime.

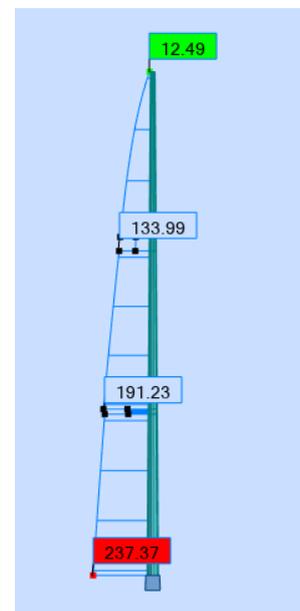


Figure 54 : contrainte maximale du mât

D'après ce qui précède on peut dire que les dimensions qu'on a choisi pour la structure de notre mât vont supporter l'ensemble des charges climatiques et sismiques qu'on a appliqué.

### 4.3 Réactions au pied de mât

D'après qu'on a vérifié que la conception de notre structure satisfait aux conditions ELS et ELU, maintenant on va se posséder aux calculs RDM afin de déterminer les efforts et les sollicitations les plus défavorable de notre mât.

Le tableau ci-dessous montre les réactions au pied de mât à ELU

Tableau 18 : réactions au pied de mât

	<b>FX [N]</b>	<b>FY [N]</b>	<b>FZ [N]</b>	<b>MX [Nm]</b>	<b>MY [Nm]</b>	<b>MZ [Nm]</b>
<b>MAX</b>	-4267,05	-16365,20	36590,00	216088,80	-106676,33	0,0
<b>Nœud</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Cas</b>						
<b>MIN</b>	-4267,05	-16365,20	36590,00	216088,80	-106676,33	0,0
<b>Nœud</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Cas</b>						

Effort normal :  $N=36590,00N$

Effort tranchant suivant X :  $F_x = -4267,05N$

Effort tranchant suivant Y :  $F_y = -16365,20 N$

Moment fléchissant suivant X :  $M_x= 216088,80 N.m$

Moment fléchissant suivant Y :  $M_y = -106676,33 N.m$

Moment fléchissant suivant Z :  $M_z = 0$

Ces résultats vont être mentionnés dans la note de calcul du projet pour que le client les utilise par la suite pour le dimensionnement des massifs par des spécialistes en génie civil.

### 4.4 Poids de mât

Tableau 19: le poids du mât

<b>Type</b>	<b>Nombre</b>	<b>Longueur [m]</b>	<b>Poids unitaire [kg/m]</b>	<b>Poids pièce [kg]</b>	<b>Poids total [kg]</b>	<b>Surf. peinture [m2]</b>
<b>D353X240X4</b>	1	8,20	28,52	233,88	234	7,55
<b>D364x353X8</b>	1	0,70	68,33	47,83	48	0,78
<b>D460X364X4</b>	1	7,85	39,79	312,35	312	10,04
<b>D472X460X8</b>	1	0,25	89,31	22,33	22	0,36
<b>D580X472X4</b>	1	8,00	50,91	407,29	407	13,07
<b>Totaux nets :</b>					1024	31,81

Le logiciel Robot fait un calcul du poids total du candélabre ainsi que la surface totale qui va être peinte comme le montre le tableau des résultats ci-dessus.

D'après le tableau 18 on a trouvé que le poids totale de notre candélabre est  $P=1024\text{Kg}$  et la surface qui vas être peinte est  $S = 31,81\text{ m}^2$  cette valeur de surface vas être utilisé par la suite de la part du bureau de méthode de la société pour déterminer la consommation de la peinture.

Pour le poids vas servir le département logistique au niveau de transport ainsi pour le chiffrage de projet.

## 5 Etude des assemblages

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, pour compléter l'étude de la structure de notre mât on doit terminer les dimensions de la platine ainsi que les dimensions et le nombre des tiges d'ancrage qui vont être utiles pour assurer la stabilité de la structure.

### 5.1 Vérification de la platine

Pour dimensionner la structure on va utiliser une platine avec 8 goussets, la platine est de longueur 850mm et de largeur 850 mm avec une épaisseur de 30 mm

Figure 55 shows the software interface for defining the dimensions of the plate. It is divided into three sections:

- Platine supérieure:** Fields for Longueur, Largeur, Épaisseur, and Matériau (set to ACIER).
- Platine de la base du pied de poteau:** Fields for Longueur (850 mm), Largeur (850 mm), Épaisseur (30 mm), and Matériau (ACIER E28).
- Contre-platine:** A checkbox is unchecked. Fields for Longueur, Largeur, Épaisseur, and Matériau (ACIER) are present.

Figure 55 : les dimensions de la platine

Figure 56 shows the software interface for defining column stiffeners. It includes the following fields and options:

- Numéro:** 2
- Nom:** Pied de poteau encastré
- Section:** D580X240X4
- Matériau:** ACIER E28
- Poteau:**
  - Hauteur de la section:**  $h_c = 580\text{ mm}$
  - Largeur de l'aile de la section:**  $b_{fc}$
  - Épaisseur de l'aile:**  $t_{fc}$
  - Épaisseur de l'âme:**  $t_{wc}$
  - Rayon de congé:**  $r_c$
- Raidisseurs du poteau:**
  - Sans raidisseurs
  - Raidisseurs simples
  - Raidisseurs avec tôle trapézoïdale
  - Raidisseurs avec plaque supérieure

Figure 56: raidisseurs simples

### 5.2 Vérification des tiges d'ancrage

Pour réaliser la liaison de la platine avec le sol on a utilisé 8 tiges d'ancrage de l'acier galvanisé de classe 6.8 qui fixent la platine sur le béton.

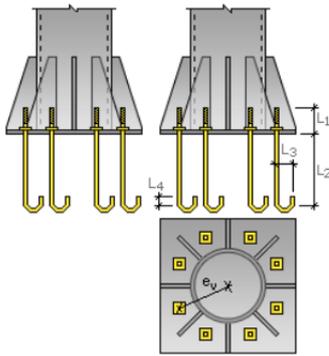


Figure 57: structure de la tige

Figure 58 : les dimensions de la tige utilisée

Après on lance le calcul on utilisant les Résultats des réactions au pied de mât qu'on a déjà calculé dans le tableau 18

Figure 59 : calcul des assemblages

D'après les résultats de calcul on a trouvé un Ratio de 0.9

On a  $0.9 < R < 1$

Donc la structure est bien dimensionnée

Les résultats de la note de calcul est en annexe H

## 6 Conclusion

En regard à ce qui précède, ce chapitre était consacré à la conception de la structure ainsi que la vérification de résistance de la structure aux charges climatiques et sismiques, et par la suite le calcul des assemblages pour déterminer les dimensions de la platine et les tiges d'ancrages convenables pour que la structure soit bien dimensionnée.

## *Conclusion générale*

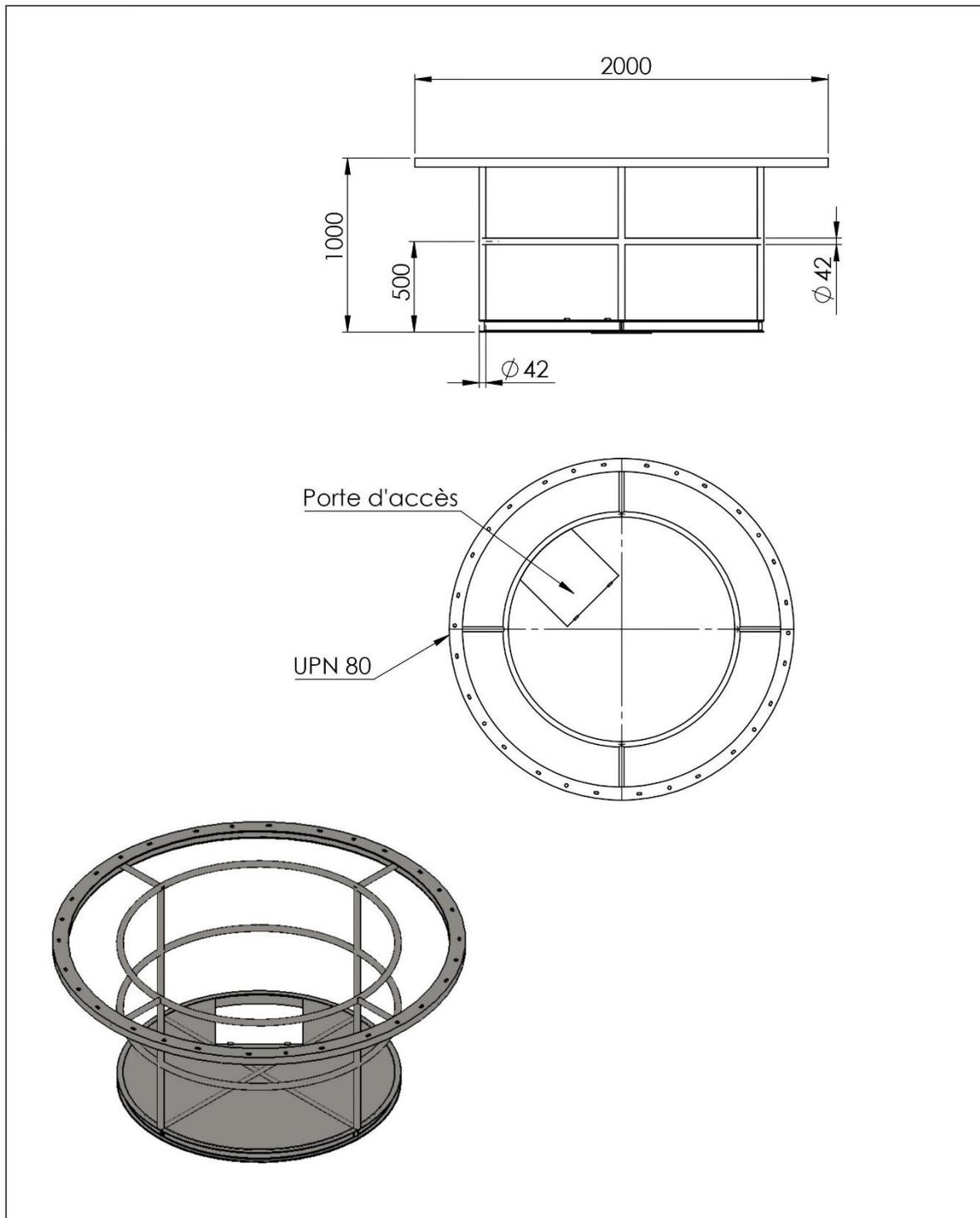
Dans une discipline bien définie, la formation n'est jamais complète, elle est toujours besoin d'être affinée. Quant à mon stage au sein de la société AFRIC LIGHT, il m'a permis de faire une fusion entre mes connaissances théoriques et pratiques en confrontant des situations professionnelles réelles dans le sens où j'ai eu l'occasion en premier lieu, d'étudier les différents types des mâts et candélabres suivant différentes normes celle de EN40 qui est déjà utilisé au sein de la société, et la norme CTICM dont fais partie ce présent projet.

Ce stage a été très enrichissant pour moi car il m'a permis de découvrir dans le détail le secteur d'éclairage public, ses acteurs, contraintes... et il m'a permis de participer concrètement à ses enjeux à travers de mes missions variées comme au sein du bureau d'étude de la société que j'ai particulièrement apprécié.

Forte de cette expérience, j'aimerais beaucoup par la suite essayer de m'orienter via une prochaine opportunité professionnelle, vers le secteur d'éclairage avec des acteurs et un important développement d'avenir.

A la fin de ce projet qui constitue pour moi une première expérience dans ce vaste domaine, il nous acquis des grandeurs très importantes pour mettre le premier pas dans ma future vie professionnelle.

## Annexe A : fiche technique de la plateforme circulaire



Client :			N°DC:	Description		 
Rev	Créée	Vérifiée	Date	PLATEFORME 2m 10 PROJECTEURS		
A	M.D	B.D	24/02/2022			
Norme : EN 40		Format A4	 Echelle: 1:30	Matière: S235 JR	Poids: 200 kg	 Zone industrielle lot 73 Beni Mellal Tél: 0 523 489 823 0 523 422 999 Fax: 0 523 422 913 site: www.africlight.ma

## Annexe B : propriété du projecteur

### ArenaVision LED gen3.5

Connection	Connection unit 5-pole
Cable	-
Protection class IEC	Safety class I
Flammability mark	-
CE mark	CE mark
ENEC mark	ENEC mark
Warranty period	3 years
Optic type outdoor	Distribution symmetrical
Constant light output	No
Number of products on MCB of 16 A type B	-
EU RoHS compliant	Yes
Light source engine type	LED
Service tag	Yes
Product family code	BVP428 [ ARENAVISON LED GEN3.5 LARGE]

#### Light Technical

Upward light output ratio	0
Standard tilt angle posttop	0°
Standard tilt angle side entry	-

#### Operating and Electrical

Input Voltage	230-400 V
Input Frequency	50 to 60 Hz
Inrush current	20 A
Inrush time	0.160 ms
Power Factor (Min)	0.9

#### Controls and Dimming

Dimmable	Yes
----------	-----

#### Mechanical and Housing

Housing Material	Aluminum
Reflector material	-
Optic material	Polycarbonate
Optical cover/lens material	Polycarbonate
Fixation material	Aluminum
Mounting device	Mounting bracket adjustable
Optical cover/lens shape	Flat
Optical cover/lens finish	Clear
Overall length	592 mm
Overall width	695 mm
Overall height	695 mm

Effective projected area	0.512 m²
Color	Aluminum
Dimensions (Height x Width x Depth)	695 x 695 x 592 mm (27.4 x 27.4 x 23.3 in)

#### Approval and Application

Ingress protection code	IP66 [ Dust penetration-protected, jet-proof]
Mech. impact protection code	IK08 [ 5 J vandal-protected]
Surge Protection (Common/Differential)	Surge protection level until 10 kV differential mode

#### Initial Performance (IEC Compliant)

Initial luminous flux (system flux)	180000 lm
Luminous flux tolerance	+/-7%
Initial LED luminaire efficacy	120 lm/W
Init. Corr. Color Temperature	5700 K
Init. Color Rendering Index	>80
Initial chromaticity	(0.321, 0.335) SDCM<5
Initial input power	1500 W
Power consumption tolerance	+/-10%
Init. Color Rendering Index Tolerance	+/-2

#### Over Time Performance (IEC Compliant)

Lumen maintenance at median useful life*	L80 50000 h
--	----------------

#### Application Conditions

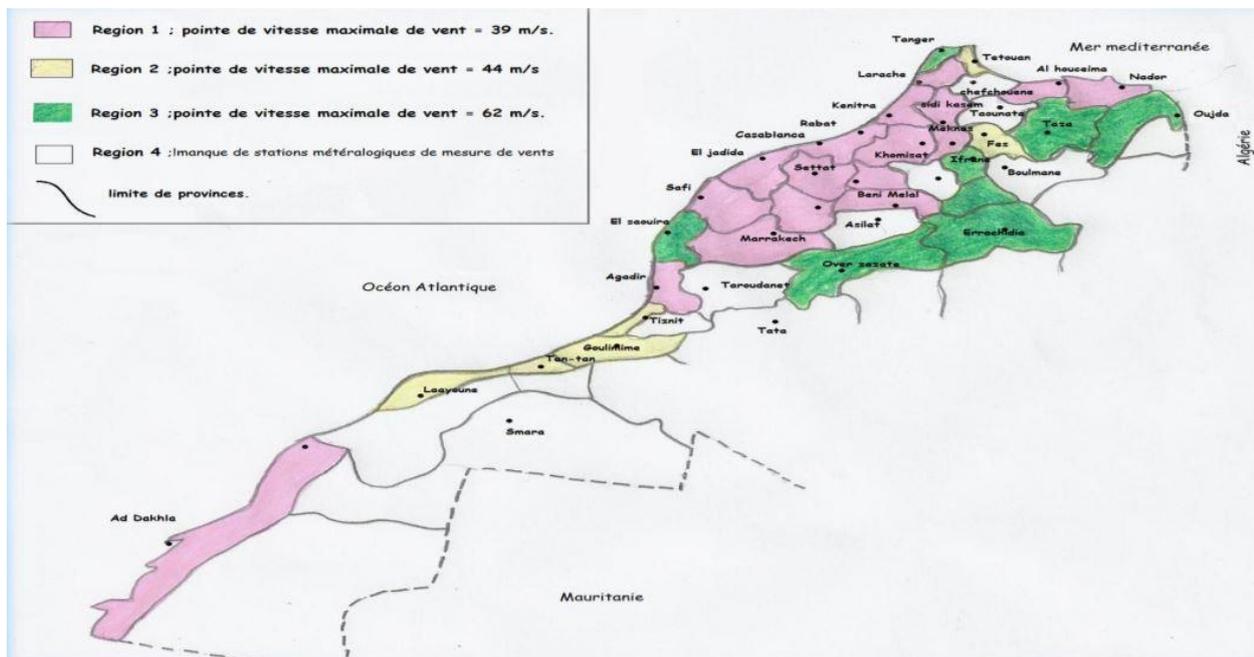
Ambient temperature range	-40 to +55 °C
Performance ambient temperature Tq	25 °C
Maximum dim level	10%

#### Product Data

Full product code	-
Order product name	BVP428 1980/857 HGB S2 D9 T25
EAN/UPC - Product	-
Order code	-
Numerator - Quantity Per Pack	1
Numerator - Packs per outer box	1
Material Nr. (I2NC)	-
Net Weight (Piece)	33.000 kg



## Annexe C : Carte zone du Maroc



## Annexe D : Zonage sismique par commune

### *Province de Rabat*

Province	Commune	Vitesse	Zone sismique en vitesse	Zone sismique en acceleration
Rabat	Agdal Riyad	10	2	2
Rabat	El Youssoufia	10	2	2
Rabat	Rabat Hassan	10	2	2
Rabat	Touarga	10	2	2
Rabat	Yacoub El Mansour	10	2	2

Annexe E : Provinces-régions du vent

**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 Hoceïma	Al Hoceïma;B.Boufran ;Ajdît	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 ; Missouri ; 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 Kelaâ ; 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
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	Ouarzazat ; Boumalne; Ane;	3
	Zagora	4
Oujda (*)	Oujda; Berkane ; Taourirt	3
	Jerada	4
Rabat	Rabat ; Salé	1
Safi	Safi ; Jamaâ Shaim ;Chemaïa	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 ; Lache	2
	Ksar El Kebir	1
Tiznit (*)	Tiznit; Ifni; Anezi	2
	Tafraoute	4
	Tleta des Akhasass	4

Annexe F : Zonage sismique en vitesse

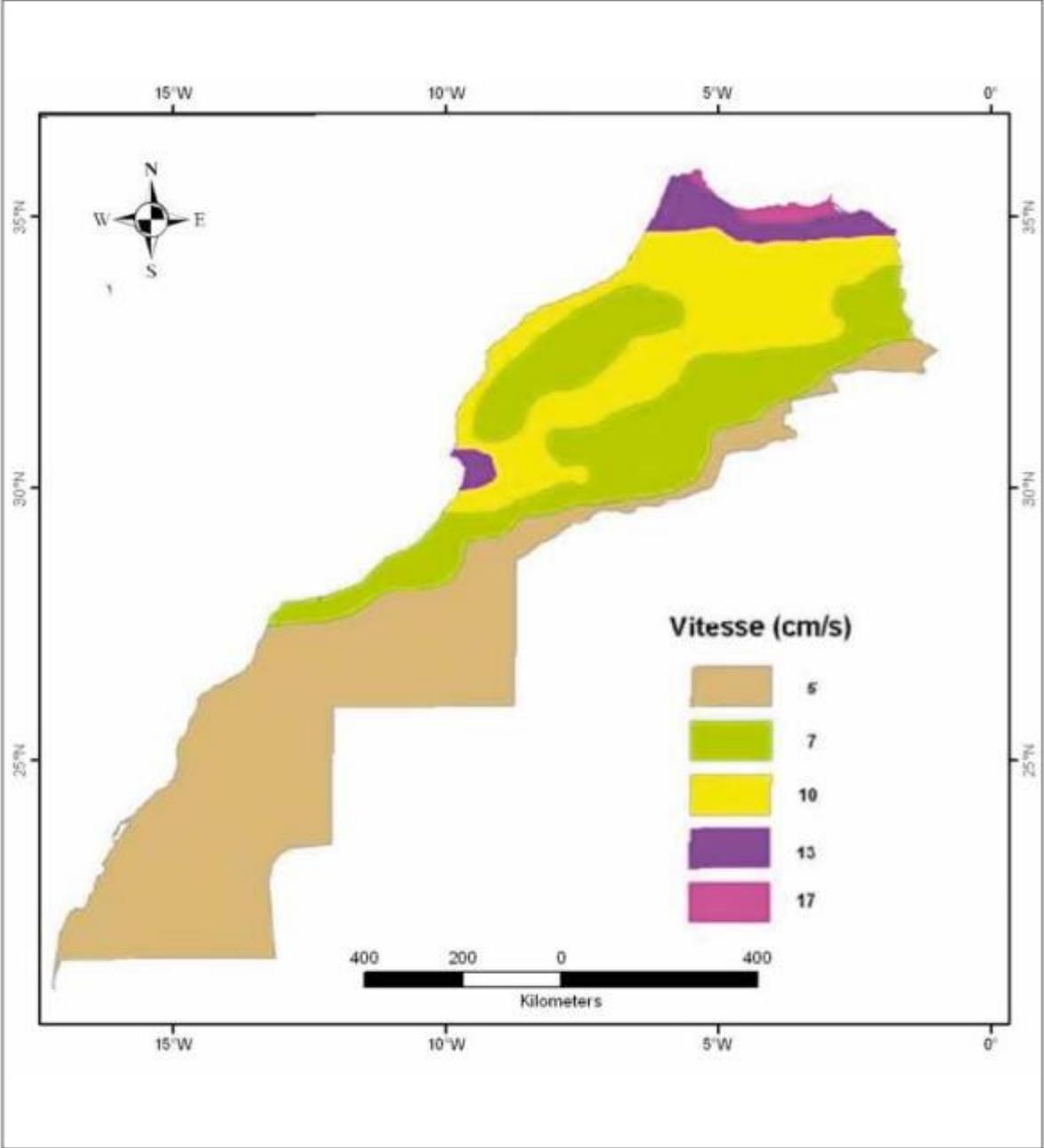
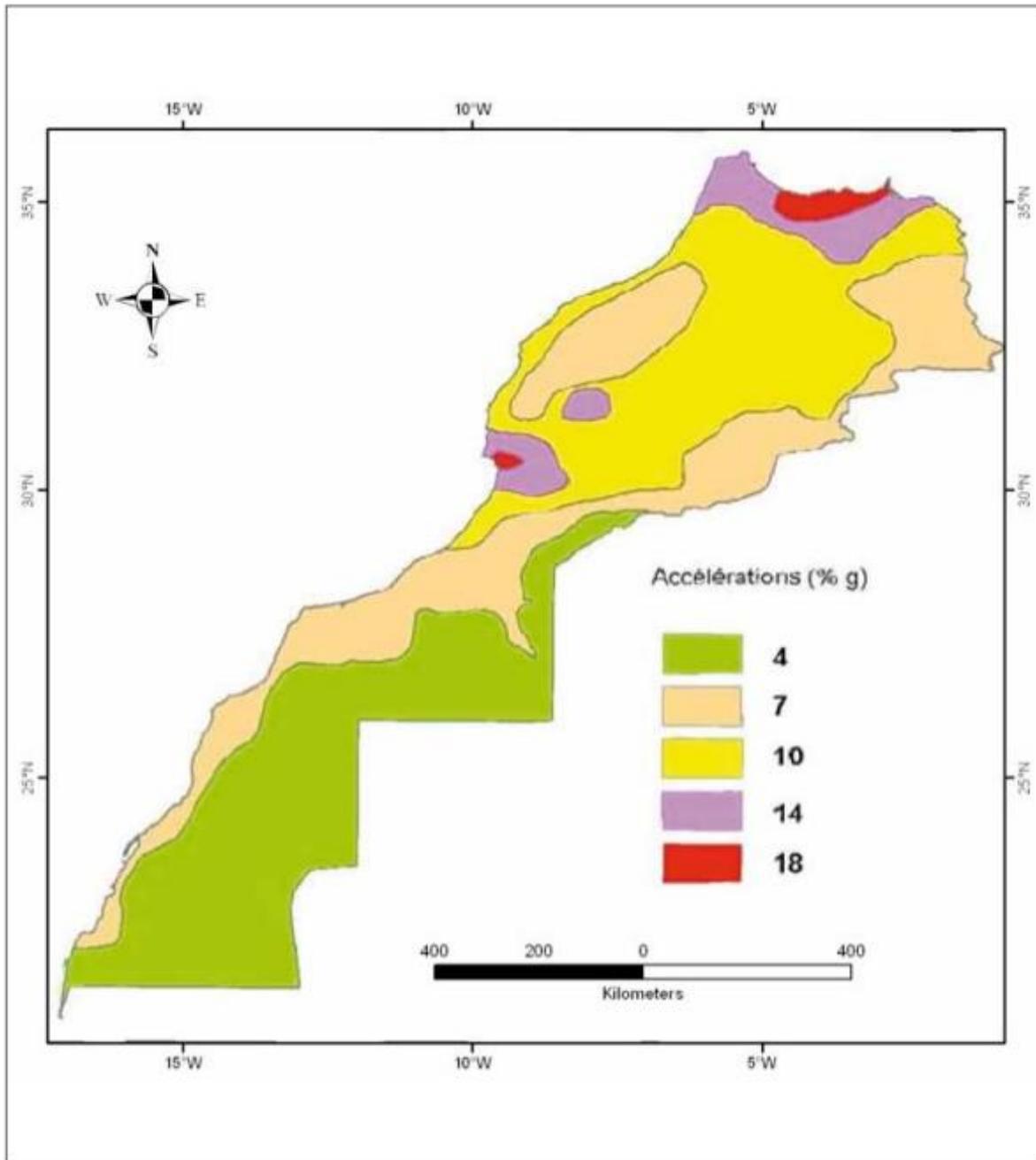


Figure 5.2 : Zonage sismique en vitesse pour des probabilités de 10% en 50 ans Maroc 2011(Vitesse cm/s)

Annexe G : Zonage sismique en accélération



*Figure 5.3 : Zonage sismique en accélération pour des probabilités de 10% en 50 ans Maroc 2011(Accélération %g)*

# Annexe H: fiche Excel de calcul de la charge vent suivant CTICM

Fiche de calcul	
1) calcul de pression après tous les effets	
zone	1
site	normal
D(b) (m)	0,58
D(s) (m)	0,24
b(m)	0,41
h(m)	25
H(m)	25
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,225
$V_k$ (m/s)	39
$q_k = 1/2 * \rho * V(k)^2$ (N/m <sup>2</sup> )	931,6125
$K_h$	1,264705882
$K_s$	1
$k_m$	1
$\delta$ (d'après tableau)	0,779137799
$q_{k,h} = q_k * k_h * k_s * k_m * \delta$ (N/m <sup>2</sup> )	917,9924719

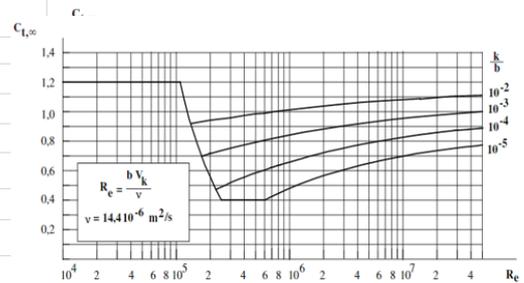
zone	1	2	3	4
$V_k$ (m/s)	39	44	62	*

coefficient de site K(s)					
site	1	2	3	4	5
protégé	0,8	0,8	0,8	0,8	*
normal	1	1	1	1	1
exposé	1,35	1,3	1,25	1,2	1,2

coefficient de réduction $\delta$						
H(m)	15 ≤ H ≤ 80	30 ≤ H ≤ 60	60 < H ≤ 80	35 ≤ H ≤ 80		
h(m)	0 ≤ h ≤ 30	30 < h ≤ 35		35 < h ≤ 40	40 < h ≤ 45	h > 45
h(m)	25					
$\delta$	-0,13 * log(h+0,30)	-0,12 * log(h+0,30)	0,75	0,8	0,85	0,9
$\delta$	0,779137799	#NOMBRE!	0,75	0,8	0,85	0,9

2) calcul du coefficient global de traînée		
a) fut octogonale		
$\lambda$	$\lambda = H/b$	60,97560976
$\lambda$	$1 < \lambda < 10$	$10 < \lambda < 100$
$\Psi_{\lambda}$	$0,6 + 0,1 * \log(\lambda)$	$0,45 + 0,25 * \log(\lambda)$
$\Psi_{\lambda}$		0,896289038
n		12
$C_{t,\infty}$		0,9

b) fut circulaire		
k		$2 * 10^{-4}$
k/b	0,000487805	4,87804878
v		$14,4 * 10^{-6}$
V(k)		39
$Re = \frac{b * V(k)}{v}$	1110416,667	1,110416667
$C_{t,m}$		22



Test pour différencier entre les fûts (octo ou circulaire)	0,9
$C_{t,\lambda} = C_{t,m} * \Psi_{\lambda}$	0,806660134

### 4) charge de vent sur herse et équipement

	herse	équipement
$C_t$	1	1
$q_{k,h}$ (h=H)	917,9924719	
$S_{ref,h}$ (m <sup>2</sup> )	2,81	5,12
$W_{herse+eqt}$	7279,680302	

vent de face	1
vent arrière	1,3

3) la charge de vent sur le fut	
$C_{t,\lambda}$	0,806660134
$q_{k,h}$	917,9924719
$W_{fut} = C_{t,\lambda} * S_{q,h} * q_{k,h}$	740,5079306



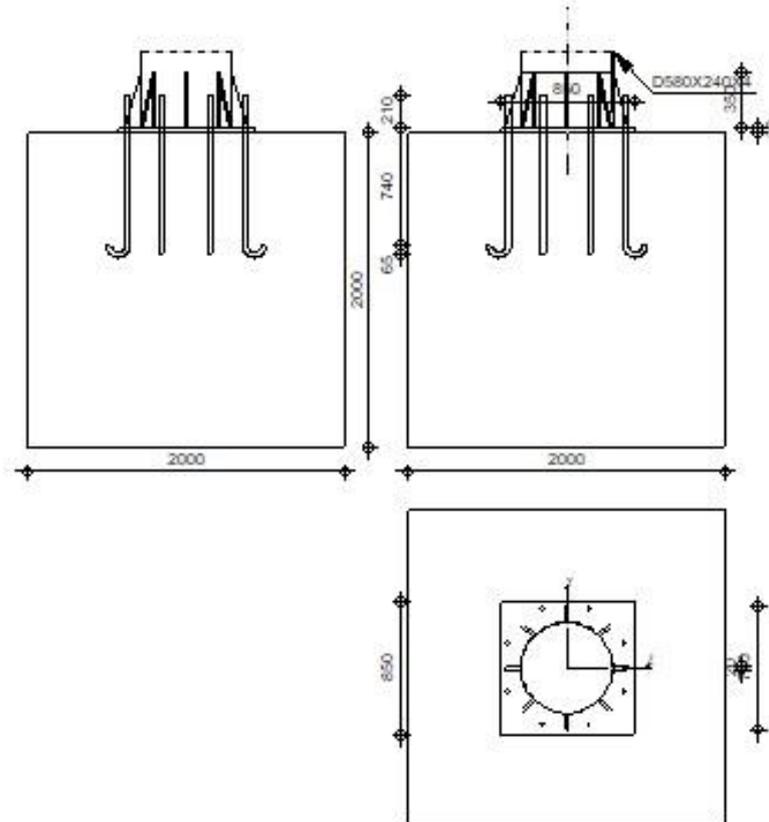
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020

## Calcul du Pied de Poteau encastré

'Les pieds de poteaux encastrés' de Y.Lescouarc'h (Ed. CTICM)



Ratio  
0,90



### Général

Assemblage N°: 2

Nom de l'assemblage : Pied de poteau encastré

### Géométrie

#### Poteau

Profilé: D580X240X4

$\alpha =$	0,0 [Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	580 [mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	580 [mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	4 [mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	4 [mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	0 [mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	5101,95 [mm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau

Profilé: D580X240X4

$\alpha = 0,0$  [Deg] Angle d'inclinaison

$I_{yc} = 105133259,92$  [mm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: ACIER E28

$\sigma_{ec} = 275,00$  [MPa] Résistance

### Plaque principale du pied de poteau

$l_{pd} = 850$  [mm] Longueur

$b_{pd} = 850$  [mm] Largeur

$t_{pd} = 30$  [mm] Epaisseur

Matériau: ACIER E28

$\sigma_e = 275,00$  [MPa] Résistance

### Ancrage

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon

Classe = 6.8 Classe de tiges d'ancrage

$d = 36$  [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 36$  [mm] Diamètre des trous pour les tiges d'ancrage

Entraxe  $e_{vi} = 400$  [mm]

### Dimensions des tiges d'ancrage

$L_1 = 210$  [mm]

$L_2 = 740$  [mm]

$L_3 = 130$  [mm]

$L_4 = 0$  [mm]

### Platine

$l_{wd} = 48$  [mm] Longueur

$b_{wd} = 48$  [mm] Largeur

$t_{wd} = 10$  [mm] Epaisseur

### Raidisseur

$l_r = 100$  [mm] Longueur

$h_s = 350$  [mm] Hauteur

$t_s = 20$  [mm] Epaisseur

### Semelle isolée

$L = 2000$  [mm] Longueur de la semelle

$B = 2000$  [mm] Largeur de la semelle

## Semelle isolée

L = 2000 [mm] Longueur de la semelle

H = 2000 [mm] Hauteur de la semelle

## Béton

$f_{c28}$  = 60,00 [MPa] Résistance

$\sigma_{bc}$  = 34,00 [MPa] Résistance

n = 4,88 ratio Acier/Béton

## Soudures

$a_p$  = 40 [mm] Plaque principale du pied de poteau

$a_s$  = 40 [mm] Raidisseurs

## Efforts

Cas: Calculs manuels

N = 36590,00 [N] Effort axial

$Q_y$  = -16365,20 [N] Effort tranchant

$Q_z$  = -4267,05 [N] Effort tranchant

$M_y$  = -106676,33 [N\*m] Moment fléchissant

$M_z$  = 216088,80 [N\*m] Moment fléchissant

## Résultats

### Béton

#### Plan XZ

$d_{tz}$  = 310 [mm] Distance de la colonne des boulons d'ancrage de l'axe Y

#### Coefficients d'équation pour la définition de la zone de pression

A = 283 [mm]  $A = b_{pd}/3$

B = -2839382,84 [mm<sup>2</sup>]  $B = (M_y/N - 0.5 \cdot l_{pd}) \cdot b_{pd}$

C = -50622875,77 [mm<sup>3</sup>]  $C = 2 \cdot n \cdot A_t \cdot (d_{tz} + M_y/N)$

D = 40222497720,55 [mm<sup>4</sup>]  $D = -2 \cdot n \cdot A_t \cdot (d_{tz} + 0.5 \cdot l_{pd}) \cdot (d_{tz} + M_y/N)$

$z_0$  = 111 [mm] Zone comprimée  $A \cdot z_0^3 + B \cdot z_0^2 + C \cdot z_0 + D = 0$

$p_{my}$  = 2,61 [MPa] Contrainte due à l'effort axial et au moment  $M_y$   $p_{my} = 2 \cdot (M_y + N \cdot d_{tz}) / [b_{pd} \cdot z_0 \cdot (d_{tz} + l_{pd}/2 - z_0/3)]$

$F_{ty}$  = 159558,28 [N] Effort de traction total dans la ligne des boulons d'ancrage  $F_{ty} = (M_y - N \cdot (l_{pd}/2 - z_0/3)) / (d_{tz} + l_{pd}/2 - z_0/3)$

#### Plan XY

$d_{ty}$  = 370 [mm] Distance de la rangée extrême des boulons d'ancrage de l'axe Z

#### Coefficients d'équation pour la définition de la zone de pression

A =	283 [mm]		$A = l_{pd}/3$
B =	-5381077,28 [mm <sup>2</sup> ]		$B = (M_z/N - 0.5 \cdot b_{pd}) \cdot l_{pd}$
C =	-110080852,44 [mm <sup>3</sup> ]		$C = 2 \cdot n \cdot A_{ty} \cdot (d_{ty} + M_z/N)$
D =	87464940884,61 [mm <sup>4</sup> ]		$D = -2 \cdot n \cdot A_{ty} \cdot (d_{ty} + 0.5 \cdot b_{pd}) \cdot (d_{ty} + M_z/N)$
y <sub>0</sub> =	118 [mm] Zone comprimée		$A \cdot y_0^3 + B \cdot y_0^2 + C \cdot y_0 + D = 0$
ρ <sub>mz</sub> =	5,35 [MPa] Contrainte due à l'effort axial et au moment M <sub>y</sub>		$\rho_{mz} = 2 \cdot (M_z + N \cdot d_{ty}) / [l_{pd} \cdot y_0 \cdot (d_{ty} + b_{pd}/2 - y_0/3)]$
F <sub>tz</sub> =	304814,19 [N] Effort de traction total dans la ligne des boulons d'ancrage		$F_{tz} = (M_z - N \cdot (b_{pd}/2 - y_0/3)) / (d_{ty} + b_{pd}/2 - y_0/3)$

### Vérification du béton pour la pression diamétrale

ρ <sub>m</sub> =	8,00 [MPa] Contrainte maxi dans le béton		$\rho_m = \rho_{my} + \rho_{mz} + N / (l_{pd} \cdot b_{pd})$
------------------	--	--	--

La valeur du coefficient K est calculée automatiquement

h <sub>b</sub> =	1571 [mm]		$h_b = 2 \cdot [(b/2 - 0.5 \cdot (n_v - 1) \cdot a_v) + a_n]$
b <sub>b</sub> =	1661 [mm]		$b_b = \max(2 \cdot (b/2 - 0.5 \cdot (n_v - 1) \cdot a_v) + a_v, b_{pd})$
K =	max( 1.1; 1 + (3 - b <sub>pd</sub> /b <sub>b</sub> - l <sub>pd</sub> /h <sub>b</sub> ) * √[(1 - b <sub>pd</sub> /b <sub>b</sub> ) * (1 - l <sub>pd</sub> /h <sub>b</sub> )] )		[Lescouarc'h (1.c)]
K =	1,92		Coefficient de zone de pression diamétrale

ρ <sub>m</sub> ≤ K * σ <sub>bc</sub>	8,00 < 65,34	vérifié	(0, 12)
--------------------------------------	--------------	---------	---------

### Ancrage

N <sub>ty</sub> =	79779,14 [N] Effort de traction dû à l'effort axial et au moment M <sub>y</sub>		$N_{ty} = F_{ty}/n$
N <sub>tz</sub> =	152407,10 [N] Effort de traction dû à l'effort axial et au moment M <sub>y</sub>		$N_{tz} = F_{tz}/n$
N <sub>t</sub> =	227612,49 [N] Force de traction max dans le boulon d'ancrage		$N_t = N_{ty} + N_{tz} - N/n$

### Vérification de la semelle tendue du poteau

s <sub>1</sub> =	310 [mm]		$s_1 = \min(e_{Hi})$
s <sub>2</sub> =	346 [mm]		$s_2 = \pi \cdot a_2$
s <sub>3</sub> =	232 [mm]		$s_3 = (2 \cdot R) / \sqrt{1 + 2 \cdot R/a_2}$
s =	232 [mm]		$s = \min(s_1, s_2, s_3)$

N <sub>t</sub> ≤ s * t <sub>fc</sub> * σ <sub>ec</sub>	227612,49 < 254737,26	vérifié	(0, 89)
--	-----------------------	---------	---------

### Adhérence

N <sub>t</sub> ≤ π * d * τ <sub>s</sub> * (L <sub>2</sub> + 10 * r - 5 * d)	227612,49 < 344856,40	vérifié	(0, 66)
---	-----------------------	---------	---------

### Vérification de la résistance de la section filetée d'une tige

N <sub>t</sub> ≤ 0.8 * A <sub>s</sub> * σ <sub>e</sub>	227612,49 < 267976,00	vérifié	(0, 85)
--	-----------------------	---------	---------

### Résistance un effort incliné sur le plan du joint

$ T_z  \leq \sqrt{[\sigma_e^2 * A_b^2 - N^2]/1.54}$	$ -474,12  < 227139,28$	<b>vérifié</b>	(0, 00)
$ T_y  \leq \sqrt{[\sigma_e^2 * A_b^2 - N^2]/1.54}$	$ -1818,36  < 227139,28$	<b>vérifié</b>	(0, 01)

## Platine

### Zone de traction

$M_{11'} = 13656,75$  [N\*m] Moment fléchissant  $M_{11'} = n_v * N_t * (d_{tz} - h_d/2)$

$M_{11'} \leq \sigma_e * W$   $13656,75 < 622526,68$  **vérifié** (0, 02)

### Cisaillement

$V_{11'} = 682837,46$  [N] Effort tranchant  $V_{11'} = n_v * N_t$

$V_{11'} \leq \sigma_e / \sqrt{3} * h_r * t_r * n_r / 1.5$   $682837,46 < 2222798,54$  **vérifié** (0, 31)

### Traction

$a_1 = 53$  [mm] Pince bord de la soudure de l'aile du poteau-axe du boulon d'ancrage  $a_1 = a_2 - \sqrt{2}a_p$

$a_2 = 110$  [mm] Pince bord de l'aile du poteau-axe du boulon d'ancrage  $a_2 = e_v - h_d/2$

$a_3 = 87$  [mm] Pince bord de la soudure du raidisseur-axe du boulon d'ancrage  $a_3 = a_4 - \sqrt{2}a_r$

$a_4 = 143$  [mm] Pince bord du raidisseur-axe du boulon d'ancrage  $a_4 = e_v * \sin(\pi/8) - t_s/2$

$N_i [daN] \leq 375 * t_{pd} [mm] * [a_2/a_1 + (a_4/a_3)]$   $22761,25 < 41767,28$  **vérifié** (0, 54)

### Zone comprimée

$M_{22'} = 38407,50$  [N\*m] Moment fléchissant  $M_{22'} = \rho_m * b_{pd} * z_0 * [0.5 * (l_{pd} - h_c) - z_0/3]$

$M_{22'} \leq \sigma_e * W$   $38407,50 < 622526,68$  **vérifié** (0, 06)

### Cisaillement

$V_{22'} = 401487,25$  [N] Effort tranchant

$V_{22'} \leq \sigma_e / \sqrt{3} * h_r * t_r * n_r / 1.5$   $401487,25 < 2222798,54$  **vérifié** (0, 18)

### Epaisseur

$d_m = 35$  [mm] Distance du raidisseur du bord de la dalle  $d_m = 0.5 * (l_{pd} - h_c - 2 * l_r)$

$t_{pd} \geq d_m * \sqrt{[3 * \rho_m / \sigma_e]}$   $30 > 10$  **vérifié** (0, 34)

### Raidisseur

$V_1 = 284515,61$  [N] Effort tranchant  $V_1 = \max(1.25 * N_j, 2 * N_j / [1 + (a_4/a_2)^2])$

$M_1 = 5690,31$  [N\*m] Moment fléchissant  $M_1 = V_1 * a_2$

$V_m = 401487,25$  [N] Effort tranchant du raidisseur  $V_m = \max(V_1, V_{22'})$

$M_m = 38407,50$  [N\*m] Moment fléchissant du raidisseur  $M_m = \max(M_1, M_{22'})$

### Epaisseur

$t_{r1} = 11$  [mm] Epaisseur minimale du raidisseur  $t_{r1} = 2.6 * V_m / (\sigma_e * h_r)$

$t_{r2} = 18$  [mm] Epaisseur minimale du raidisseur  $t_{r2} = \sqrt{[h_r^2 * V_m^2 + 6.75 * M_m^2] / (\sigma_e * h_r * l_r)}$

$t_{r1} = 11$  [mm] Epaisseur minimale du raidisseur  $t_{r1} = 2.6 * V_m / (\sigma_e * h_r)$

$t_{r3} = 15$  [mm] Epaisseur minimale du raidisseur  $t_{r3} = 0.04 * \sqrt{[l_r^2 + h_r^2]}$

$t_r \geq \max(t_{r1}, t_{r2}, t_{r3})$   $20 > 18$  **vérifié** (0, 90)

### Soudures

$a'_r = 8$  [mm] Epaisseur min de la soudure du raidisseur avec la plaque principale  $a'_r = k * \sqrt{[(0.7 * V_m)^2 + (1.3 * M_m / h_r)^2]} / (l_r * \sigma_e)$

$a''_r = 4$  [mm] Epaisseur min de la soudure du raidisseur avec le poteau  $a''_r = k * \max(1.3 * V_m, 2.1 * M_m / h_r) / (h_r * \sigma_e)$

$a_r \geq \max(a'_r, a''_r)$   $40 > 8$  **vérifié** (0, 20)

### Poteau

#### Ame

$t_w \geq 3 * M_m / (\sigma_{ec} * h_r^2)$   $4 > 3$  **vérifié** (0, 86)

### Remarques

Rayon de la crosse trop faible.  $65$  [mm] <  $108$  [mm]

Longueur L4 trop faible.  $0$  [mm] <  $54$  [mm]

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme**

Ratio 0, 90

## *Bibliographie et webographie*

- [1] : Présentation AFRIC LIGHT
- [2] : AFRIC LIGHT Catalogue 2015
- [3] : <https://www.syndicat-eclairage.com/wp-content/uploads/2016/05/Candelabres-pour-leclairage-public-oct-2006.pdf>
- [4] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tige\\_d%27ancrage](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tige_d%27ancrage)
- [5] : <https://webassets.valmont.com/valmontstaging/vs-morocco-catalogs-and-resources/alliance.pdf>
- [6] : <https://www.cticm.com/le-cticm/>
- [7] : [https://kupdf.net/download/cticm-calcul-mats-d-eclairagepdf\\_5a1f1551e2b6f5f668f07876\\_pdf](https://kupdf.net/download/cticm-calcul-mats-d-eclairagepdf_5a1f1551e2b6f5f668f07876_pdf)
- [8] : [https://kupdf.net/download/regles-neige-et-vent-nv-65pdf\\_5b586d52e2b6f5f22ca1b427\\_pdf](https://kupdf.net/download/regles-neige-et-vent-nv-65pdf_5b586d52e2b6f5f22ca1b427_pdf)
- [9] : <https://www.btpdeutsch.com/nv65-maroc/>
- [10] : <https://www.sodibet.com/telechargement/RPS2011.pdf>