REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème : Etude et dimensionnement d'un pylône d'alignement de transport d'énergie électrique 220 KV

Présenté par

Rachedi Ayoub

Zitouni Abdelkader

Proposé et Dirigé par

Dr. Touzout Mohamed amine

Promotion septembre 2020

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier dieu clément et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

J ’aimerais remercier notre encadreur, Dr. Touzout Mohamed amine, pour son soutien tout au long de ce travail. Et pour leur encadrement pédagogique très consistant ainsi que pour l’intérêt avec lequel il a suivi la progression de notre travail, pour leurs conseils efficients, leurs judicieuses directives tout au long de la période de projet.

Nous adressons, aussi nos sincères considérations Monsieur Kassem Baalbaki pour son soutien tout au long de ce travail. Son enthousiasme, ses connaissances techniques approfondies et sa capacité à proposer des solutions à tous les problèmes ont été grandement appréciés.

Enfin, Nos plus vifs remerciements s’adressent à nos très chers parents et amis pour leurs soutiens et leurs patiences et à tous ceux qui nous ont aidés, encourager et nous ont soutenus.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à : A nos chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A nos chères frères et sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A nos chers amis pour leur appui et leur encouragement,

A toute nos familles pour leur soutien tout au long de notre parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fuit de votre soutien infaillible,

Merci d'être toujours là pour nous.

ملخص

يتركز هذا البحث أساسا حول تصميم برج تعليق جملوني لنقل الكهرباء لخط 200كيلوفولت وفق الكود الأوروبي الخاص بتصميم المنشآت المعدنية والكود الأوروبي الخاص ب تصميم الشبكات الكهربائية التي تفوق 1 كيلو فولت.

العمل يتمحور حول حساب الاحمال المطبقة على البرج الناتجة عن احمال الرياح واحمال النواقل. ثم التحقق من ابعاد البرج.

بعد ذلك نمذجة البرج على برنامج التحليل ساب 2000 وتطبيق الاحمال عليه من ثم القيام بعملية التحليل

بعدها استعنا ببرنامج (اديا ستاتيكا) للتحقق من كفاءة بعض الوصلات

وفي النهاية قمنا بتصميم القواعد وتسليحها والتأكد من استقرارها.

كلمات مفتاحية: برج كهربائي. ساب 2000. اديا ستاتيكا. وصلات. تسليح. جملون

Résumé :

Ce Projet de fin d'étude porte essentiellement sur le dimensionnement d'un pylône à treillis d'alignement de ligne électrique de très haute tension selon les normes EN50341-1 (Lignes électriques aériennes dépassant 1 kV en courant alternatif), Eurocode 3 et RNV2013.

Le travail consiste à calculer les différents types de charges transmises au pylône, à savoir les charges transmises par les câbles et les actions du vent, et à vérifier la géométrie de la silhouette selon les exigences.

La deuxième partie n'est qu'une application sur ordinateur s'est déroulée en quatre étapes :

- la modélisation du pylône avec SAP2000 ;

- le chargement des actions et le calcul ;

- la vérification de la résistances des sections et la stabilité des barres

- la vérification de quelques assemblages. Avec IDEA STATICA

Le chargement des actions, le calcul et la vérification des assemblages ont été réalisés à l'aide du logiciel IDEA STATICA

Finalement on a dimensionné et ferraillé l'infrastructure après avoir vérifié leur stabilité.

Mot clé : Pylône, SAP2000, IDEA Statica , assemblage , ferraillage ,treillis

Abstract

In this graduation project we are meant to do the design of a transmission suspension tower of an overhead line OHTL according to Eurocode 3, EN50341(Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV) and RNV2013

This work is for the calculation of the various loads's type that applicate to the tower and to know the loads that applicated by the wires and the wind's forces as well

After that we verify the geometry of the tower acoording to the requierments

In the second part we have done the modelisation of the tower using SAP2000 then we assigne the loads and start the analysis

After getting the results from SAP2000 we use it to verify the cross sections, after that we verified the connections using IDEA STATICA

Finally we design and reinforce the pad foundations

Key words : lattice tower , SAP2000 , IDEA STATICA , connections , reinforcement , truss

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale : 1

Généralité sur les lignes aériennes

I.1 Les lignes aériennes 2

I.1.1 Définition : 2

I.1.2 Classifications des lignes aériennes 2

I.2 Les composants des lignes aériennes : 3

I.2.1 Les conducteurs 4

I.2.1.1 Types des conducteurs : 4

I.2.2 Les câbles de garde : 6

I.2.3 Les isolateurs : 8

I.2.3.1 Caractéristiques des isolateurs : 8

I.2.3.2 Les types des chaines isolateurs : 9

I.2.4 Les pylônes : 10

I.2.4.1 Classification des pylônes : 10

I.2.4.2 Composants d'un pylône : 15

I.2.4.3 Autres familles des pylônes 16

I.3 Normes de dimensionnement : 19

I.3.1 La norme NF EN 50341-1 :2012 : 19

I.3.2 La norme NF EN 1993-1-8 19

I.3.3 La norme NF EN 1993-3-1 : 19

I.3.4 La norme RNV2013 : 20

I.4 Matériaux utilisés : 20
I.4.1 Caractéristiques mécaniques de l'acier : 20
I.4.2 Boulons, écrous et rondelles 20
Chapitre II :Hypothèses de calcul
II.1 Principales définitions géométriques 21
II.2 Choix géométrique de la silhouette : 22
II.2.1 Définition des hypothèses de conception : 22
II.2.1.1 Hypothèse de répartition 23
II.2.1.2 Hypothèse de vent nul 23
II.2.1.3 Hypothèse de vent réduit 23
II.2.1.4 Hypothèse de travail : 23
II.2.2 Distances à respecter 24
II.3 Hypothèses de dimensionnement mécanique : 25
II.3.1 Les hypothèses météorologiques de bases 25
II.3.2 Hypothèse de construction et d'entretien des ouvrages : 26
II.3.3 Hypothèse de torsion : 27
II.4 Charges transmis aux pylônes : 27
II.4.1 Charges verticaux : 27
II.4.2 Charges transversaux : 27
II.4.3 Charges longitudinaux : 28
II.5 La flèche et la tension d'un câble : 28
II.5.1 Introduction : 28
II.5.2 Equation de la chainette : 29
II.5.2.1 La flèche si les supports sont au même niveau : 30
II.5.2.2 La flèche si la portée est dénivelée : 31
II.5.3 La longueur du conducteur : 32
II.5.4 Effet de givre et de vent sur la flèche 32

II.6 Equation de changement d'état : 35
II.6.1 Introduction 35
II.6.2 Etablissement de l'équation de changement d'état 35
II.6.3 Cas particuliers du changement d'état : 36
II.7 Choix des composants électriques 37
II.7.1 Méthodologie de dimensionnement : 37
II.7.1.1 Dimensionnement du câble : 37
II.7.1.2 Dimensionnement des isolateurs : 37
II.7.2 Applications de la méthodologie et Résultats : 38
II.7.2.1 Choix du câble conducteur 38
II.7.2.2 Choix du câble de garde : 39
II.7.2.3 Choix des isolateurs : 39
Chapitre III :Vérification de la silhouette et évaluation des charges
III.1 Description du Projet : 41
III.1.1 Introduction 41
III.1.2 Le Site : 41
III.2 Détermination et vérification de la géométrie de pylône : 41
III.2.1 Détermination de la hauteur : 41
III.2.1.1 Détermination de la distance au sol : 41
III.2.1.2 Calcul de la flèche maximale : 41
III.2.2 Vérification des distances internes : 43
III.2.2.1 Distance entre câble : 43
III.2.2.2 Distance à la masse 45
III.2.2.3 DISTANCE DE TENSION 48
III.3 Evaluation des charges : 50
III.3.1 Charges permanentes : 50
III.3.2 Charges de vent sur les composants : 50

III.3.2.1 Efforts exercés par le vent sur les conducteurs et les câbles de gardes : 51
III.3.2.2 Efforts exercés par le vent sur les conducteurs et les câbles de gardes avec givre : 52
III.3.2.3 Efforts exercés par le vent sur les chaînes d'isolateurs : 53
III.3.3 Effort du vent sur la structure 54
III.3.4 Effort longitudinaux : 63
III.3.5 Les cas de charges normalisé 63
Chapitre IV: Modélisation et vérification de la structure
IV.1 Introduction 65
IV.2 La modélisation 66
IV.3 Les résultats : 68
IV.4 Vérifications des éléments : 69
IV.4.1 Classifications des sections : 69
IV.4.2 Vérification des sections a la traction : 69
IV.4.3 Vérification des section a la compression : 70
IV.4.4.1 Spécifications pour les doubles cornières : 72
IV.4.4.2 Détermination de χ : 72
IV.4.5 Quelques exemples de vérifications des sections : 73
IV.4.5.1 Vérification a la traction (section L 45 5 / barre 1929) 73
IV.4.5.2 Vérification a la compression (section L 90 9 / barre 1130) 73
IV.4.5.3 Vérification au flambement (section L 70 7/ barre 1017) 74
IV.5 Les assemblages : 76
IV.5.1 Introduction : 76
IV.5.2 Rôles d'assemblages : 76
IV.5.3 Fonctionnement des assemblages : 77
IV.5.4 Type d'assemblages boulonnés utilisés dans les pylônes : 78
IV.5.5 Vérification des assemblages : 79

IV.5.5.1 Choix des diamètres des boulons : 79
IV.5.5.2 Disposition constructive des boulons 79
IV.5.5.3 Assemblage par cornière : 80
IV.5.5.4 Assemblage par gousset : 83
IV.5.5.4.1 Vérification par IDEA STATICA 86
Chapitre V :Etude de l'infrastructure
V.1 Introduction : 99
V.2 Classification selon les efforts : 99
V.3 Choix de type de fondation pour pylône à treillis : 100
V.3.1 Fondation isolée pour pylône 101
V.4 Calcul des fondations 101
V.4.1 Effort sollicitant sur les fondation : 101
V.4.2 Donnée géotechnique : 102
V.4.3 Choix des dimensions de la semelle : 102
V.4.4 Vérification de la résistance à l'arrachement : 103
V.4.5 Vérification des contraintes : 105
V.4.6 Vérification de la stabilité au renversement RPA2003 Art 10.1.5 : 108
V.4.7 Vérification de poinçonnement : 108
V.4.8 Ferraillage de la semelle : 109
V.4.9 Ferraillage d'amorce poteau : 111
V.4.10 Ferraillage finale : 114
Conclusion général : 115
Bibliographie 116

Liste des figures

Figure I.1 : *Classification des lignes aériennes* 3
Figure I.2 : *Conducteur AAC* 5
Figure I.3 : *Conducteur AAAC* 5
Figure I.4 : *Conducteur ACSR* 6
Figure I.5 : *Câble THYM 107* 7
Figure I.6 : *Types des isolateurs* 8
Figure I.7 : *Chaine d'ancrage* 9
Figure I.8 : *Chaine en V* 9
Figure I.9 :*Chaine de suspension* 9
Figure I.10 :*Types des pylônes à phases étagées* 10
Figure I.11 : *Types des pylônes à nappe* 11
Figure I.12 :*Types des fondations utilisés* 12
Figure I.13 :*Pylônes d'alignement* 13
Figure I.14 : *Pylône d'angle* 13
Figure I.15 : *Pylône d'arrêt* 14
Figure I.16 : *Tracé d'une ligne aérienne* 14
Figure I.17 : *Composant d'un pylône* 15
Figure I.18 : *Portique à treillis* 16
Figure I.19 : *Pylône Trianon* 16
Figure I.20 : *Pylône Rhodon* 17
Figure I.21. *Pylône en V haubané* 17
Figure I.22. *Pylône Muguet* 17
Figure I.23. *Pylônes architecturés* 18
Figure I.24 : *Pylônes des « Pays des géants »* 18

Figure II.1 : *Schéma représentant les différentes grandeurs géométriques sur une ligne* 21
Figure II.2 : Schéma illustrant les différents types de portée 22
Figure II.3: *Représentation géométrique de la chainette* 29
Figure II.4: *Représentation géométrique de portée de niveau* 30
Figure II.5: *Représentation géométrique d'une portée dénivelée* 31
Figure II. 6: *Câble couvert par une couche de givre* 33
Figure II. 7: *Effort du vent exercée sur le câble* 34
Figure II. 8: *Résultante des efforts sur un câble* 34
Figure II. 9: *Représentation Géométrique de changement d'état* 35
Figure II.10: *Coupe d'un isolateur* 40

Figure III. 1: *Pylône d'alignement A niveau AS4* 43
Figure III. 2: *Rapprochement des conducteurs sous vent réduit* 44
Figure III. 3: *Présentation des distances à vérifier* 46
Figure III. 4: *Distance dy à vérifier* 47
Figure III. 5: *Découpage de pylône en tronçon* 55

Figure III. 6 : *Facteur d'élancement* 60

Figure IV.1 *: modèle du pylône sur SAP2000* 66
Figure IV. 2: *Relâchement des nœuds (pinned)* 67
Figure IV. 3: *cornière dos à dos* 72
Figure IV. 4: *Assemblage considéré comme articulé* 76
Figure IV. 5 : *Assemblage considéré comme rigide* 77
Figure IV. 6 : *Assemblage par couvre-joint* 78
Figure IV. 7 : *Assemblage par gousset* 78
Figure IV. 8 : *Assemblage par recouvrement* 78
Figure IV. 9 : *Disposition constructive* 79
Figure IV. 10 : Deux cornières L90X9 attaché par une cornière L80X8 80
Figure IV. 11 : *dispositions des boulons* 81
Figure IV. 12 : *Cisaillement bloc des cornières* 82
Figure IV. 13 : *Emplacement des goussets dans le pylône* 83
Figure IV. 14 *: six cornières assemblés par le gousset* 1 83
Figure IV. 15 : *ligne de rupture du gousset* 85
Figure IV. 16 : disposition constructive des boulons dans la barre L60X6 87
Figure IV. 17 : *disposition constructive des boulons dans la barre L45X5* 90
Figure IV. 18 : *assemblages par gousset 2* 92
Figure IV. 19 : *contrainte équivalente de gousset 2* 93
Figure IV. 20 : *assemblages par gousset 3* 94
Figure IV. 21 : Co*ntrainte équivalente de gousset 2* 95

Figure V.1: Types des efforts sur les supports [8] 100
Figure V. 2 Efforts appliqués à une fondation [8] 100
Figure V. 3 : *dimensions finale de la semelle* 105
Figure V. 4 : *excentricité* 105
Figure V. 5 : *Les efforts exercés par le sol* 107
Figure V.6 : *Ferraillage de semelle* 110
Figure V. 7 : *Détail de ferraillage d'amorce poteau* 114

Liste des tableaux

Tableau I.1 : *Types des câbles de gardes utilisées* 7
Tableau I.2 : *Les types de pylônes en fonction de leur rôle sur le tracé* 15

Tableau II.1 : *Caractéristiques de l'hypothèse de vent réduit* 23
Tableau II.2 : *Récapitulatif des hypothèses de dimensionnement géométrique* 24
Tableau II.3 : *Distance de sécurité des conducteurs par rapport à l'environnement* 24
Tableau II.4 : *Récapitulatif des hypothèses de dimensionnement mécanique* 26
Tableau II. 5: *Section de câbles en fonction du niveau de tension et de la zone de givre* 38
Tableau II.6: *Caractéristiques du câble Aster 570* 38
Tableau II.7: *Association Conducteurs –Câble de garde* 39
Tableau II. 8: *Caractéristiques du câble Thym 157.4* 39
Tableau II. 9: *Caractéristique de l'isolateur E120D-127* 40

Tableau III.1. *Caractéristiques du câble ASTER 570* 42
Tableau III.2: *Caractéristiques géométriques des pylônes EUCOMSA usuelles* 43
Tableau III. 3: *Distance de tension* 44
Tableau III.4: *Distances à la masse à respecter* 46
Tableau III. 5: *Distance pour le travail à distance* 48
Tableau III. 6: *Types de glace* 53
Tableau III. 7: *Caractéristiques du terrain* 54
Tableau III. 8: *Récapitulatif des valeurs calculées* 57
Tableau III. 9: *Coefficients de forces Cf.0 d'une structure en treillis spatiale* 58
Tableau III. 10: *Coefficients de forces Cf0 Plan XZ* 58
Tableau III. 11: *Coefficients de force Cf0 Plan YZ* 59
Tableau III. 12 : *Coefficient de force Cf Plan XZ* 60
Tableau III. 13 : *Coefficient de force Cf Plan YZ* 61
Tableau III. 14: *Vent normal à une face XZ (0°)* 61
Tableau III. 15: *Vent diagonale à une face XZ (45°)* 62
Tableau III. 16: Vent normal à une faceYZ (0°) 62
Tableau III. 17 : *Vent diagonale à une face YZ (45°)* 62
Tableau III. 18 : *coefficients partiels pour les combinaisons des charges* 64

Tableau IV. 1 : *Caractéristiques des profilés utilisés* 67
Tableau IV. 2 : *Les forces dans les cornières* 68
Tableau IV. 3: *Rapport usuel pour la classification des sections* 69
Tableau IV. 4 : *Valeurs de ε* 69
Tableau IV. 5 : *Facteur d'imperfection α* 73
Tableau IV. 6: *Courbe de flambement* 73
Tableau IV. 7 *Récapitulatifs des résultats* 75

Tableau IV. 8 : *Entraxe des boulons et pince*.....80
Tableau IV. 9 : Caractéristiques des barres dans gousset1.....84
Tableau IV. 10 : *Résultat de calcul des boulons gousset 1* 87
Tableau IV. 11 : *Caractéristiques des barres dans gousset2*.....92
Tableau IV. 12 : *récapitulatif de vérification des platines de gousset 2* 93
Tableau IV. 13 : *Récapitulatif des valeurs de vérifications des boulons de gousset2*.....94
Tableau IV. 14 : *Caractéristiques des barres dans gousset2*.....94
Tableau IV. 15 : *Récapitulatif de vérification des platines de gousset 3* 95
Tableau IV. 16 : *Donnée de conception* 96
Tableau IV. 17 : *Récapitulatif des valeurs de vérifications des boulons de gousset3*.....96

Tableau V. 1 : *Effort à la base de pylône* 102
Tableau V. 2 : *Feraillage de la semelle*.....110
Tableau V. 3 : *les efforts dans l'amorce poteau* 111
Tableau V. 4 : *ferraillage de l'amorce poteau*.....111
Tableau V. 5: *vérification des contrainte à la compression*.....112
Tableau V. 6 : *vérification des contraintes à la traction*.....112

Introduction générale :

L'énergie électrique est devenue au fil des années un élément vital, c'est ainsi que les pays veillant au bienêtre de leurs citoyens mettent en œuvre tous les moyens nécessaires pour fournir une électricité fiable, durable et au moindre cout. Les pays africains y compris l'Algérie s'est lancée récemment dans des projets de production d'énergie électrique, à savoir l'énergie solaire et éolienne, d'où la nécessite des réseaux de transport de cette énergie. Le présent projet vise la conception d'un pylône d'alignement en structures métalliques, pour le transport d'énergie électrique de la très haute tension de 220KV.
les structures à treillis sont très courantes dans notre paysage. En effet, il s'agit d'un type de structure utilisé dans plusieurs applications en génie civil comme les pylônes, les antennes de télécommunications, les structures de concentrateurs solaires et de nombreuses structures industrielles. Ce type de structure est reconnu pour sa grande résistance ainsi qu'un faible poids propre ce qui implique une utilisation économique des matériaux. Cet aspect rend son usage d'autant plus intéressant dans le cas de structures qui doivent être construites en grande quantité comme c'est le cas pour les pylônes transportant l'électricité

Cette conception doit répondre aux exigences des cahiers de charge ainsi qu'aux différentes conditions climatiques et géographiques du terrain. Pour ce faire ; on a commencé par donnée quelques définitions et informations de base concernant l'étude des lignes aériennes, afin de calculer les efforts appliqués au pylône et le calcul géométrique définissant la silhouette de notre pylône, tout en respectant les exigences règlementaires. Et par la suite nous avons vérifié les structures sous le logiciel SAP2000 pour la vérification de la tenue mécanique, et la vérification des assemblage par l'aide de logiciel IDEA STATICA pour entamer finalement l'étude de l'infrastructure.

Chapitre I :

Généralité sur les lignes aériennes

I.1 Les lignes aériennes

I.1.1 Définition :

La ligne aérienne est principalement composée d'un ensemble de conducteurs qui assurent essentiellement la continuité électrique et établissent une connexion entre les deux nœuds du réseau électrique.

I.1.2 Classifications des lignes aériennes

Les lignes aériennes peuvent être classées suivant les fonctions qu'elles assurent dans le réseau.

- **Lignes de grand transport** : elles permettent l'évacuation de l'énergie produite par un centre de production vers un centre de consommation ou vers les grands postes d'interconnexion.
- **Ligne d'interconnexion** : elles assurent la mise en commun des ressources de production de plusieurs régions ou pays et facilitent ainsi le secours mutuel lors de Situations particulières affectant la consommation, l'hydraulicité, la disponibilité des équipements, etc. Les lignes d'interconnexion constituent un réseau maillé.
- **Lignes de répartition** : elles dirigent l'énergie depuis les grands postes d'interconnexion vers les postes alimentant de répartition : elles dirigent l'énergie depuis les grands postes d'interconnexion vers les postes alimentant les réseaux de distribution ou ceux des grands clients nationaux.
- **Lignes de distribution** : elles acheminent l'énergie aux différents consommateurs, ces lignes se décomposent en lignes d'ossature à forte section de conducteur et en lignes d'écarts, essentiellement radiales, généralement plus légères. [1]

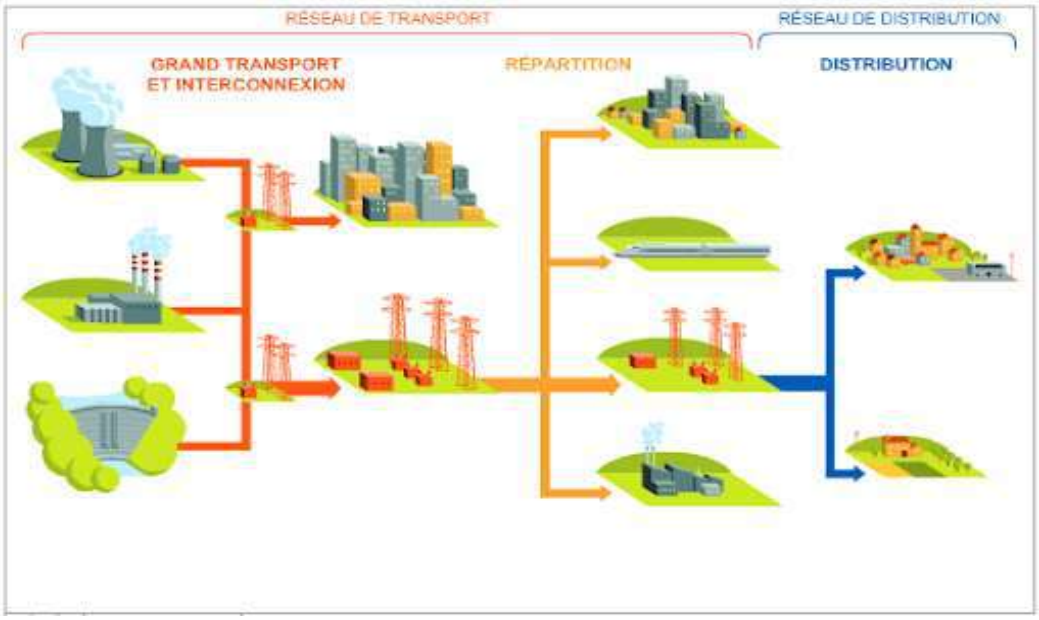


Figure I.1 : ***Classification des lignes aériennes***

Il est possible cependant de réaliser des lignes de grand transport ou d'interconnexion avec des liaisons à courant continu, mais celles-ci sont actuellement peu nombreuses.

Le calcul des lignes fait intervenir différentes notions théoriques, très spécifiques et utilisées presque exclusivement par les constructeurs et exploitants des réseaux électriques.

I.2 Les composants des lignes aériennes :

Les principaux composants des lignes aériennes sont :

- Les conducteurs
- Câbles de garde.
- Les isolateurs.
- Les supports (Les pylônes).
- Les fondations.
- Autres accessoires (pinces de suspension, jonctions de connecteurs, amortisseurs dynamiques, …).

I.2.1 Les conducteurs

Les conducteurs transportent l'énergie électrique sous forme triphasée. Alors, on trouvera au moins 3 conducteurs par ligne. Pour une phase, on peut aussi trouver un faisceau de conducteurs (de 2 à 4) à la place d'un simple conducteur.

Les lignes aériennes à très haute tension doivent répondre à plusieurs critères en même temps :

- Résistance électrique minimale (pour réduire les pertes)
- Distance d'isolement suffisante par rapport au sol
- Résistance mécanique suffisante pour supporter les charges appliquées
- Coût raisonnable en vue des centaines ou des milliers de kilomètres de réseau à installer.

Il existe une grande variété de spécifications des câbles afin de pouvoir satisfaire les différentes exigences en ce qui concerne l'intensité de charge admissible pour diverses conditions climatiques et types de terrain.

Pour les conducteurs aériens à grande distance, on préfère souvent l'aluminium au cuivre – malgré sa conductivité électrique inférieure, l'aluminium offre des avantages en termes de densité et de coût. Pour les câbles composés d'acier et d'Al, l'acier supporte en grande partie toute la charge mécanique et l'Al la transmission du courant électrique.

Les câbles aériens ont souvent des diamètres entre 5 et 40 mm. Ils se présentent sous forme d'enroulements hélicoïdaux par couche, en alternant le sens de la torsion entre les couches. Les différents torons ont en général un diamètre de 2-4 mm et sont adaptés au tréfilage et à l'enroulement de fils.

Pour les câbles renforcés, les torons qui supportent essentiellement la charge sont placés à l'intérieur. [1]

I.2.1.1 Types des conducteurs :

Il existe actuellement plusieurs types de conducteurs, dont certains sont plus prédominants que les autres. Ils peuvent être classés comme suit :

a) **Conducteur homogène en aluminium pur (AAC) :** (All-Aluminum Conductor)

Le conducteur AAC (Figure I.2) est un conducteur toronné en aluminium affiné d'une pureté métallique d'au moins 99,7 %. Les câbles AAC sont principalement utilisés dans les zones urbaines où les espaces sont étroits et les supports rapprochés. Ils peuvent être utilisés dans

des régions côtières grâce à leur grande résistance à la corrosion et sont fréquemment utilisés dans l'industries ferroviaires (rail et métro). [1]

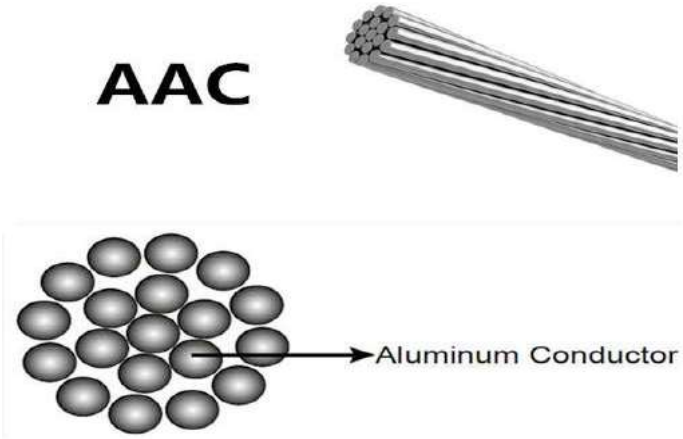


Figure I.2 : ***Conducteur AAC***

b) Conducteur en alliage d'aluminium (AAAC) : (All-Aluminum Alloy Conductor)

Les câbles AAAC (Figure I.3) sont utilisés comme conducteurs nus sur des circuits aériens qui requièrent une meilleure résistance mécanique que celle offerte par les câbles AAC et une meilleure résistance à la corrosion que celle des ACSR.
Les alliages d'aluminium utilisé pour les conducteurs AAAC contiennent de faible addition de magnésium et de silicium et sont appelés Almélec ce qu'il permet une adaptation des caractéristiques électriques et mécaniques.

Les propriétés d'affaissement et le rapport résistance-poids du câble conducteur AAAC sont meilleurs que celles des câbles AAC et ACSR. [1]



Figure I.3 : ***Conducteur AAAC***

c) Conducteur aluminium-acier (ACSR) : (Aluminum Conductor, Steel-Reinforced)

Le câble ACSR (Figure I.4) est disponible dans différentes teneurs en acier, à des degrés de concentration qui vont de 6 % à 40 %, pour obtenir davantage de résistance. Les conducteurs ACSR de grande solidité sont en général préconisés pour les traversées de rivières, les fils de mise à la terre aériens et les installations sur de très longues distances. Les conducteurs ACSR peuvent être fabriqués avec différents niveaux de résistance à la traction, quelles que soient les autres propriétés de résistance du câble. Ainsi, une grande résistance à la traction peut être combinée à une grande légèreté pour pouvoir couvrir une plus longue distance avec moins de supports. Grâce au grand diamètre du conducteur ACSR, il est possible d'augmenter la valeur critique de l'effet corona aussi appelé « effet couronne », ce qui est un avantage précieux sur des lignes aériennes à haute et très haute tension [1].

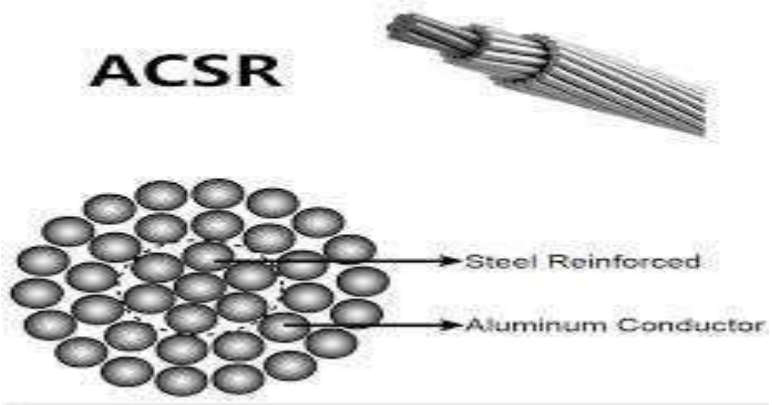


Figure I.4 : ***Conducteur ACSR***

I.2.2 Les câbles de garde :

Au plus haut de la ligne est disposé un câble appelé câble de garde, dont le rôle est de protéger des coups de foudre afin d'éviter une éventuelle surtension au niveau des conducteurs. Le plus souvent leur choix dépend de la nature et du choix des conducteurs mais, l'on peut aussi noter que leur dimensionnement est plus délicat que celui des conducteurs car :

- Sur le plan mécanique, ils doivent résister aux mêmes contraintes que les autres conducteurs pourtant ils sont de section plus faible.
- Sur le plan électrique, ils doivent assurer un écoulement rapide du courant du sommet du pylône jusqu'à la terre des supports par le biais des pylônes ou des masses métalliques et comme tous les autres conducteurs ils doivent être capables de résister à des surcharges.

Il existe deux types de câble de garde :

- Câbles almélec-acier normaux ;
- Câbles almélec-acier comportant à l'intérieur des circuits de télécommunication

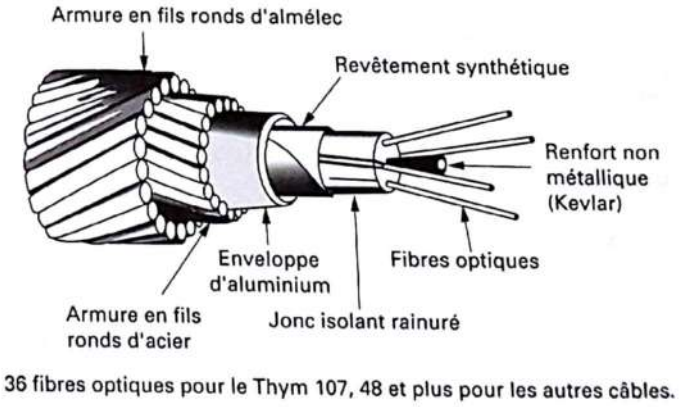


Figure I.5 : ***Câble THYM 107*** **[1]**

Equipés de fibres optiques, ils permettent de transmettre les informations nécessaires pour la protection, la conduite et l'exploitation du réseau ; on parle alors d'OPGW (Optical Ground Wire). C'est aussi un moyen d'offrir des solutions haut débit pour les collectivités territoriales le tableau ci-dessous indiques les câbles de garde les plus utilisés selon les conditions climatiques de chaque région, Plus la zone est givrée le diamètre sera plus grand [1].

Tableau I.1 : Types des câbles de gardes utilisées [1]

	Câbles almélec-acier normaux	**Câbles à circuits de télécommunication**
Ligne courantes (givre léger)	Phlox 94.1 Phlox 116.2 Phlox 147.1	Thym 107 Thym 157.4
Zones givrées ou montagneuses (givre moyen ou lourd)	Phlox 181.6 Phlox 228 Phlox 376	Thym 268

I.2.3 Les isolateurs :

La fixation et l'isolation entre les conducteurs et les pylônes sont assurées par des isolateurs, ils ont un rôle à la fois mécanique et électrique.

- **Electrique** : ils empêchent que les conducteurs nus soient en contact avec les supports ou entre eux, évitant ainsi des défauts graves de fonctionnement ou de pertes exagérées ; ils assurent l'isolement électrique des conducteurs et les autres équipements à la masse.
- **Mécanique** : il doit résister aux efforts transmis par les câbles (poids propre, vent, givre…) et aux réactions des supports.

Ceux-ci sont réalisés en verre, en céramique, ou en matériau synthétique (Figure I.6) . Les isolateurs en verre ou céramique ont en général la forme d'un empilement d'assiettes. Plus la tension de la ligne est élevée, plus le nombre d'assiettes est important. Les chaînes peuvent être simples (câbles légers en suspension), doubles droites (horizontales pour les câbles en amarrage et verticales pour les câbles lourds en suspension), doubles en V (câbles en suspension anti-balancement) voire triples (supportant plusieurs câbles). [2]



Figure I.6 : ***Types des isolateurs***

I.2.3.1 Caractéristiques des isolateurs :

Les grandeurs électriques les plus utiles pour définir une chaîne d'isolateur ou un isolateur sont :

- La tension tenue spécifiée au choc à sec.
- La tension tenue spécifiée à fréquence industrielle sous pluie
- En outre la tension tenue sous pollution est une valeur déterminante pour le choix de l'isolateur.

Les grandeurs mécaniques pour définir le choix d'une chaîne d'isolateurs sont :

- La résistance mécanique à la traction.
- La résistance mécanique à la flexion. [3]

I.2.3.2 Les types des chaines isolateurs :

Ancrage : ce type de chaîne (figure I.7), qui se distingue par sa position quasi horizontale, s'utilise sur les pylônes d'ancrage et d'angle.

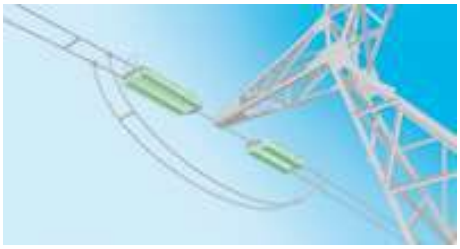


Figure I.7 : ***Chaine d'ancrage***

- **Suspension en V** : La chaîne en V (Figure I.8) permet de limiter le balancement latéral des conducteurs et aussi de répartir les charges en deux points différents sur le pylône



Figure I.8 : ***Chaine en V***

- **Suspension droite** : ce type d'isolation est la plus fréquemment utilisée (Voir figure ci-dessous)



Figure I.9 : Chaine ***de suspension***

I.2.4 Les pylônes :

Les pylônes ont pour fonction de maintenir les câbles à une distance minimale de sécurité du sol et des obstacles environnants, afin d'assurer la sécurité des personnes et des installations situées au voisinage des lignes. Leur forme, leur hauteur et leur robustesse, ou résistance mécanique, dépendent de leur environnement (conditions climatiques) et des contraintes mécaniques (terrain) auxquelles ils sont soumis. Leur silhouette est caractérisée par la disposition des câbles conducteurs.
Les pylônes qui sont des supports métalliques en éléments assemblés à la plupart des lignes de transport d'énergie à haute tension [2]

I.2.4.1 Classification des pylônes :

On peut classer les pylônes suivants plusieurs critères :

- La disposition des armements.
- La fondation utilisée.
- Leur fonction sur la ligne.

a) Classification des supports selon la disposition de leur armement

Parmi les types d'armements utilisés on distingue deux grandes classes

- Le système à phases étagées : les conducteurs sont disposés à des étages différents, pylônes triangle, drapeau, double drapeau, double triangle. Comme montre-la (Figure I.10)

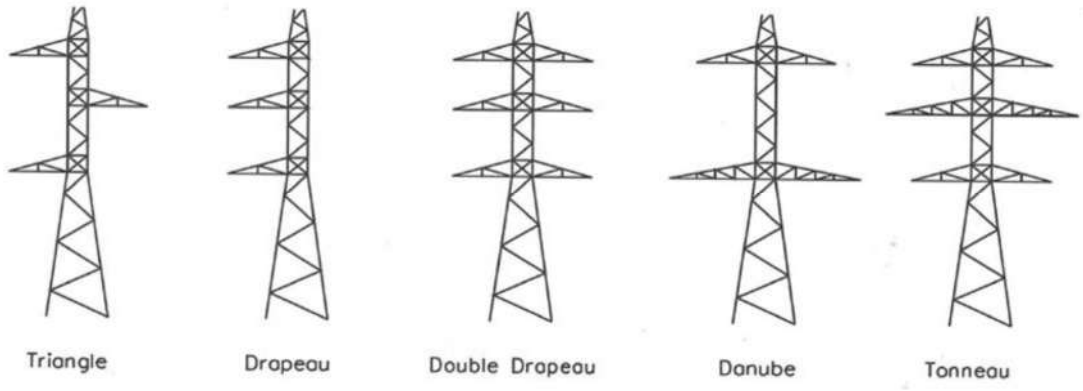


Figure I.10 : Types des pylônes à phases étagées [2]

- Le système à nappe horizontal : les conducteurs sont disposés au même niveau ou peu différents (voir la Figure I.11) : Pylônes ou portiques à nappe horizontal, poteaux à armement nappe, Pylônes du type chat. [2]

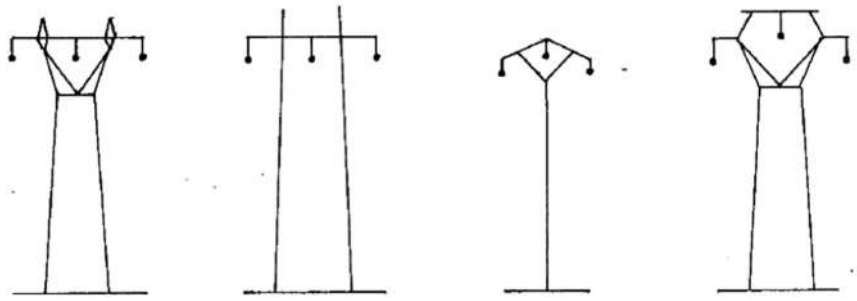


Figure I.11 : ***Types des pylônes à nappe*** **[2]**

- **Armement en triangle** : Cet armement exige des dimensions transversales réduites, donc permet d'obtenir assez facilement une bonne tenue du support aux efforts de torsion, mais la hauteur est nécessairement élevée.
- **Armement en drapeau** : Il est peu fréquent pour les lignes HTB à un seul circuit (sauf pour certains angles), mais assez habituel pour les lignes HTA et BT En HTB, cette disposition est utilisée pour les lignes à deux circuits

Cet armement présente, accrus, les défauts de l'armement en triangle, mais cette disposition est pratiquement imposée pour un grand nombre de lignes, notamment en HTB, lorsque l'encombrement en projection horizontale est limité (zones fortement urbanisées, en traversées de forêts).

Dans les zones fortement givrées, les contacts entre phases sont plus fréquents (charges de givre différentes sur les conducteurs, décharge de givre). Une solution, lorsque l'on ne peut éviter ce type d'armement, est l'emploi d'espaceurs isolés entre phases, techniques de plus en plus utilisées en 63 et 90 kV. Ces espaceurs, placés en milieu de portée, sont du même type qu'un isolateur composite.

Leur légèreté est un atout supplémentaire [4]

- **Armement en nappe :** Cet armement en nappe exige des supports plus larges mais moins élevés que pour les autres armements et donne une plus grande sécurité en cas de décharge de givre ou d'oscillations verticales des conducteurs. Il permet, par installation

de deux câbles de garde, de protéger la ligne contre les coups de foudre et est bien adapté aux lignes de montagne. [4]

b) Classification selon le type des fondations utilisé :

On distingue trois types particuliers :

- Les supports à fondation simple ou unique (fondation
- Les supports à fondation double (fondation bipode)
- Les supports à fondation séparées ou indépendantes (fondation)

- La forme des pylônes est influencée par le système de fondation utilisé.
- Les supports à fondation simple béton ou des pylônes métalliques à base étroite.
- Les supports à fondation double rectangulaire de dimensions relativement faibles.
- Les supports à fondation séparées totalité des pylônes de grandes lignes dont les dimensions de base dépassent quatre cinq mètres dont les deux sens. [2]

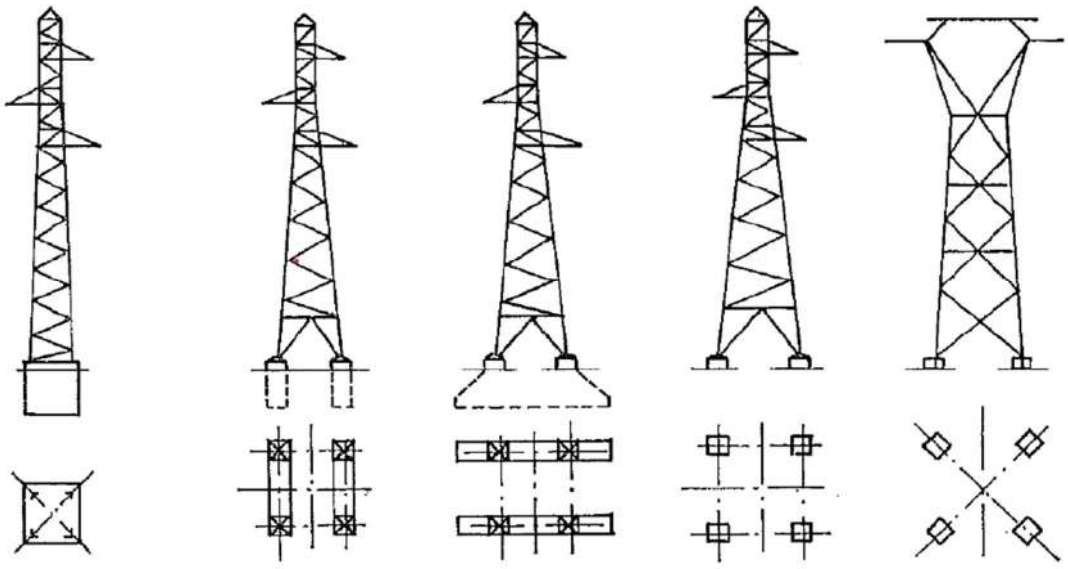


Figure I.12 :Types des fondations utilisés [2]

c) Classification d'après leur fonction sur la ligne :

Suivant le profil en tracé de la ligne il existe plusieurs types de supports adaptés à chaque cas et ayant une fonction spécifique :

- **Pylône d'alignement** : support de suspension ou d'ancrage utilisé dans une portion rectiligne du tracé de la ligne. Entre 0°et 2°. Voir (Figure I.13).

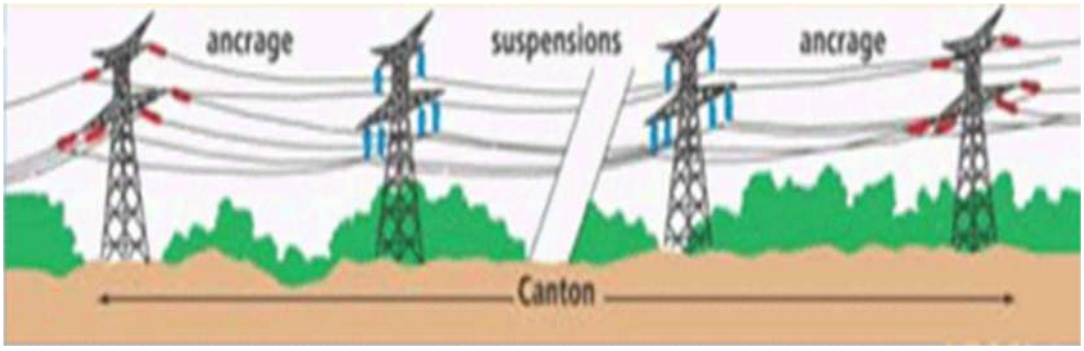


Figure I.13 : Pylônes *d'alignement*

- **Pylône d'ancrage (anti-cascade)** : un pylône est dit « anti-cascade » lorsque ses caractéristiques mécaniques lui permettent de ne pas être endommagé si des câbles y demeurent accrochés d'un seul côté en cas de destruction d'un ou des pylônes adjacents.
- **Pylône d'angle** : support de suspension ou d'ancrage placé en angle sur le tracé en cas de déviations de la ligne.



Figure I.14 : *Pylône d'angle*

- **Pylône d'arrêt** : ce trouve dans la fin de la ligne, support d'ancrage capable de résister aux efforts de traction de tous les conducteurs dans une seule direction.



Figure I.15 : ***Pylône d'arrêt***

Le tableau et le schéma ci-dessous nous permettront de mieux comprendre la notion de fonction d'un support :

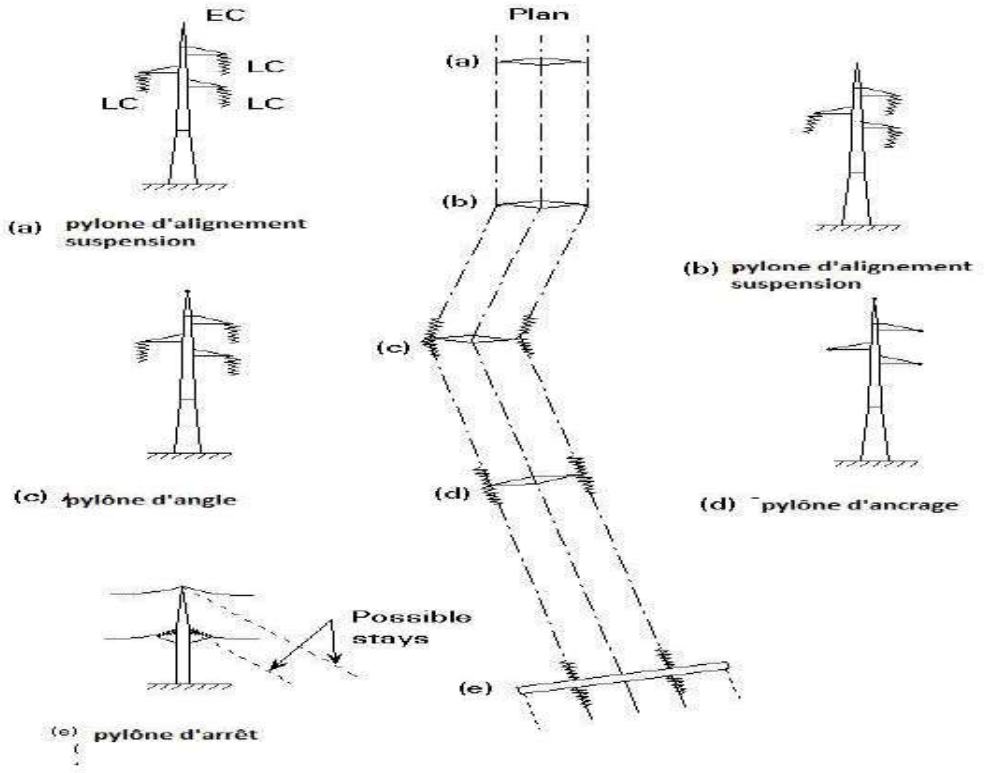


Figure I.16 : ***Tracé d'une ligne aérienne***

Tableau I.2 : Les types de pylônes en fonction de leur rôle sur le tracé

Fonction	Angle de déviation	Chaine d'isolateur
Alignement	0°-2°	Suspension
Angle et anti-cascade	0°-30°	Ancrage
Angle fort / Arrêt	30°-90°	Ancrage

I.2.4.2 Composants d'un pylône :

Tous les pylônes de façon générale peuvent être décomposés en trois parties à savoir : la tête, le fut et les pieds. La figure ci-dessous nous permettra de mieux comprendre le rôle des différentes parties :

- **Le fût :** constitue l'élément principal du support ; il est subdivisé en tronçons successif, sa fonction est de :
  - Maintenir la tête (et donc les câbles) a une certaine distance du sol
  - Transmettre au sol les efforts dus aux charges appliquées sur les câbles

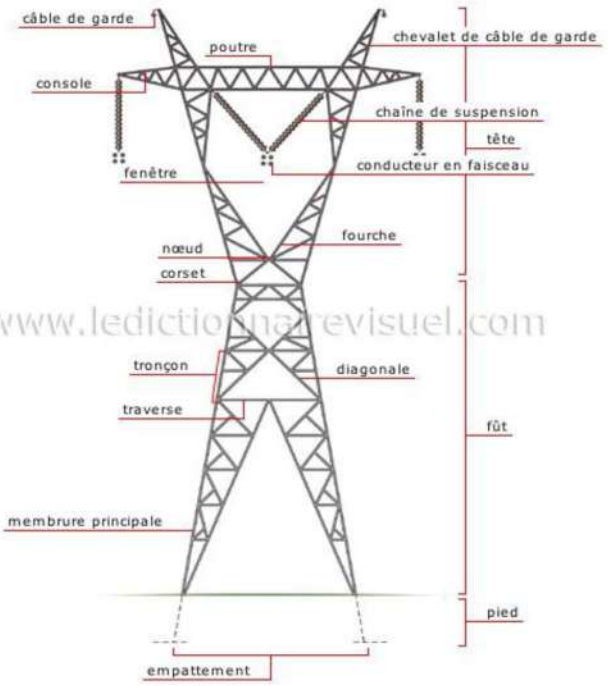


Figure I.17 : ***Composant d'un pylône***

- **La tête** : est constituée des consoles et du chevalet de câble de garde.
  - ❖ Les consoles et la poutre ont pour rôle de :
    - Supporter les conducteurs.
    - Assurer les distances électriques entre câbles.
    - Assurer les distances à la masse entre câbles et pylône.
  - ❖ Le chevalet de câble de garde a 2 fonctions :
  - Assurer l'angle de protection du câble de garde.
  - Supporter le câble de garde.
- **Les embases** : assurent la liaison entre le support et la fondation.

I.2.4.3 Autres familles des pylônes

Il existe aussi autre famille de pylône on distingue :

- **Les portiques métalliques multipodes :**
- **Portique à treillis :** Conçus pour les lignes à 753kv, ils sont utilisés en zones agricoles pour réduire l'encombrement au sol.



Figure I.18 : ***Portique à treillis***

- **Le pylône Trianon** : est conçu pour minimiser la hauteur de la structure, en particulier dans les installations aéronautiques : la conception tubulaire avec câble peut mieux s'intégrer dans le paysage.



Figure I.19 : ***Pylône Trianon***

- **Les pylônes Rhodon** : ont été conçus dans la même optique que les pylônes Trianon. Ces pylônes peuvent accueillir jusqu'à quatre circuits 400kV ou six circuits 225 kV.



Figure I.20 : ***Pylône Rhodon***

- **Pylône en V haubané :**

Ce type peut être utilisée pour des niveaux de tension allant de 220 KV à 735 KV et a l'avantage d'être plus économique que les pylônes traditionnels.

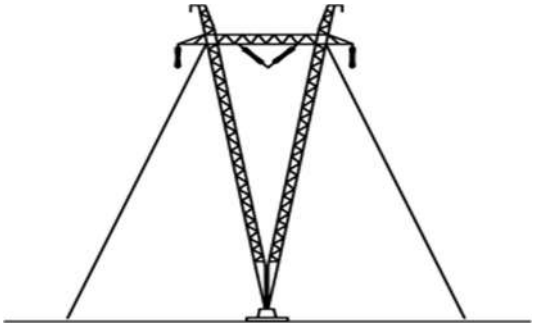


Figure I.21. ***Pylône en V haubané***

- **Les pylônes monopode (poteaux) :**
  - **Pylône tubulaire :** Ce support porte également le nom « **muguet** ». Il est moins massif que les autres pylônes et s'intègre plus facilement au milieu. Il a été conçu dans le but de s'intégrer au mieux dans les zones urbaines



Figure I.22. ***Pylône Muguet***

- **Les supports architecturés :**
  - **Le pylône « Fougère »** développé par l'équipe Ritchie – RFR – Gustafson
  - Le pylône équilibre a été développé à partir de 2011 conjointement par RTE et le designer Hugh Dutton
  - Le pylône « Roseau », développé par Mimram : onze pylônes de ce type ont été installés dans le nord de la France.

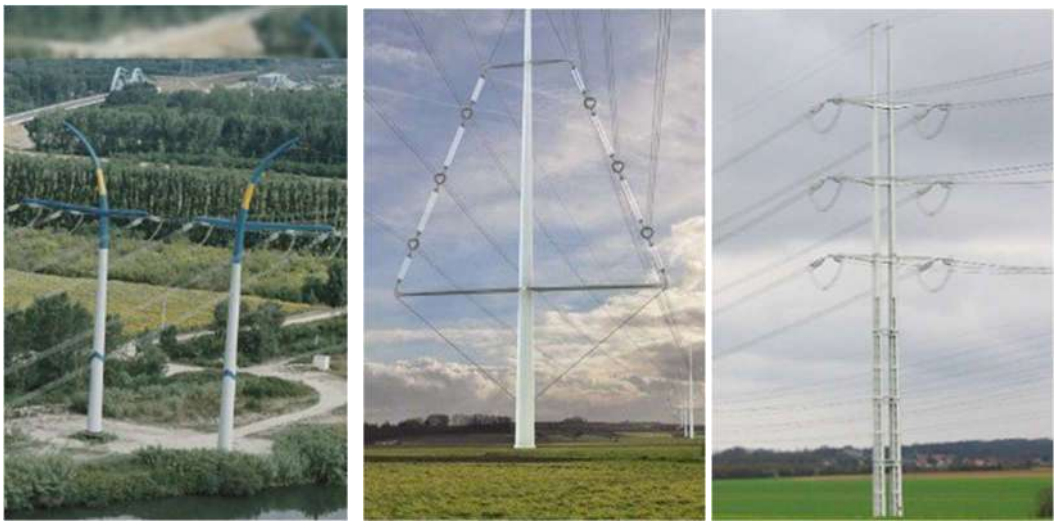


Figure I.23. ***Pylônes architecturés***

- Pays des géants : Ils ont conçu ces pylônes électriques qui ressemblent à des humains géants marchant dans le paysage islandais. Développé par le groupe Choi+shine

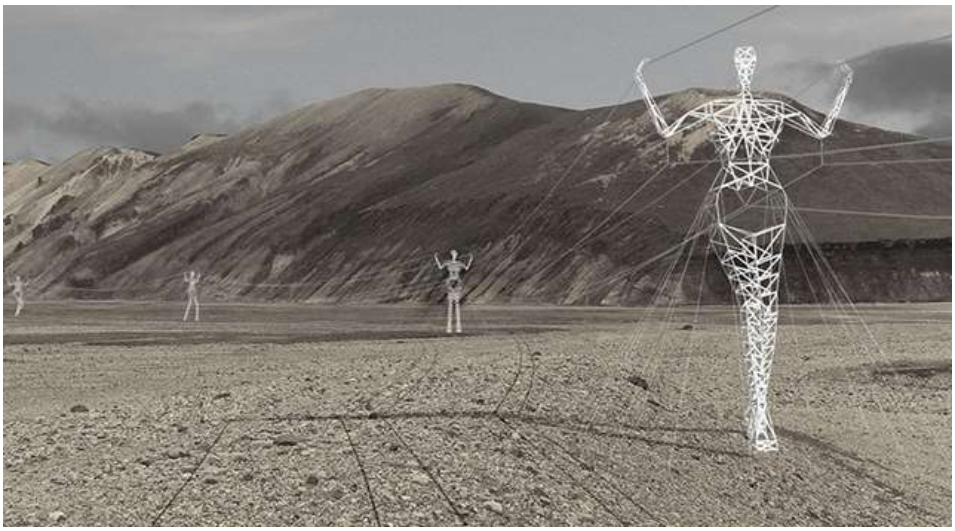


Figure I.24 : ***Pylônes des « Pays des géants »***

I.3 Normes de dimensionnement :

Il existe un nombre important de normes de calcul et vérification des pylônes, chaque norme ayant une philosophie bien particulière. Dans ce qui suit, on va se focaliser sur les normes utilisées dans notre étude. La norme NF EN 50341-1 :2012, la norme NF EN 1993-1-8/NA, la norme NF EN 1993-3-1 :2006, la norme NF EN 1993-1-1 : 2005 et RNV2013

I.3.1 La norme NF EN 50341-1 :2012 :

La norme EN 50341-1 :2012 est une norme européenne préparée par le comité Européen de normalisation Electrotechnique CENELEC. Elle s'applique aux lignes aériennes de tensions assignées supérieures à 1 KV en courant alternatif et de fréquences assignées inférieurs à 100 Hz.

Elle spécifie les prescriptions générales qui doivent être satisfaites pour l'étude et la construction des lignes aériennes neuves afin de garantir que la ligne convient à sa destination en termes de sécurité des personnes, d'entretien, et de considérations relatives à l'exploitation et à l'environnement.

On y retrouve ainsi, les formules de calculs des actions externes sur la ligne, les distances de sécurités à respecter et le cas de charge adopté pour leur calcul, ainsi que les spécifications des matériaux et assemblages utilisés dans les structures en treillis métalliques et d'autres types de support et finalement les propriétés conditionnant le choix des conducteurs, câbles de garde et isolateurs utilisés pour les lignes aériennes dans la tension dépassent 1 KV.

I.3.2 La norme NF EN 1993-1-8

Cette partie de l'EUROCODE 3 donne des règles pour la conception et le calcul des assemblages à utiliser pour les bâtiments et les ouvrages de génie civil en acier, afin de satisfaire aux exigences de sécurité, d'aptitude au service et de durabilité. Nous l'avons utilisé pour la vérification des nœuds d'assemblage (boulonnage et goussets).

I.3.3 La norme NF EN 1993-3-1 :

Cette partie de l'EUROCODE 3 donne des règles détaillées de calcul des pylônes en treillis et des mâts haubanés, y compris des dispositions concernant les haubans de ces derniers.

Ces règles de calcul complètent ou modifient celles de NF EN 1993-1-1 :2005

I.3.4 La norme RNV2013 :

Le présent règlement est élaboré sous l'égide de la Commission Technique Permanente (C.T.P.) pour le contrôle technique de la construction.

Il traite des constructions courantes, mettant à la disposition des professionnels et concepteurs de la construction des méthodes d'évaluation des actions climatiques (neige et vent) et des surcharges de sable en zones sahariennes.

Le document est fondé sur une approche probabiliste : les actions « normales » et « extrêmes » des anciennes règles sont remplacées par le concept unique d'action caractéristique définie par référence à un zonage territorial (neige - vent - sable) liée aux spécificités climatiques locales.

I.4 Matériaux utilisés :

Tous les matériaux sont en acier laminé à chaud et sont conformes à la norme EN 10025-2.

I.4.1 Caractéristiques mécaniques de l'acier :

- Nuance : S335J0.
- Limite à la rupture minimale en traction : f_u = 510 N/mm²
- Limite d'élasticité minimale garantie : f_y = 355 N/mm²
- Module d'élasticité longitudinale : E =210000 N/mm²
- Coefficient de poisson : v=0.3
- Coefficient d'élasticité transversale : G =81000 N/mm²
- Coefficient de dilatation : λ =11*10^{-6} /C°
- Masse volumique : ρ =7850 DaN/m³

I.4.2 Boulons, écrous et rondelles

Les valeurs de la limite à la rupture et de la limite d'élasticité des boulons, écrous et rondelles sont données comme suit :

- Classe de résistance : 6.8 (ISO 898)
- Limite à la rupture minimale en traction : f_{ub} = 600 N/mm²
- Limite d'élasticité minimale garantie : f_{yb}= 480N/mm²

Chapitre II :

Hypothèses de calcul

II.1 Principales définitions géométriques

Les différentes données suivantes sont d'une valeur capitale dans le dimensionnement tout entier de la ligne et interviennent particulièrement au niveau de l'étude mécanique. Elles doivent être calculées minutieusement afin de garantir la stabilité des pylônes et par conséquent la survie de la ligne. Parmi ces données on retrouve :

- D_{pp} : Distance minimale entre phase et phase (en mètres).
- D_{el} : Distance minimale phase-terre (en mètres).
- f_{max} : Flèche maximale c'est la distance maximale entre la hauteur d'accrochage du câble au support et son niveau le plus bas sur la chaine (en mètres).
- Li: Longueur de la chaîne de suspension (en mètres).
- *p*: Portée c'est la distance entre 2 supports (en mètres).
- *Pv*: Portée vent est la distance entre 2 milieux de 2 portées consécutives (en mètres).
- *Pp*: Portée poids est la distance entre 2 points les plus bas de 2 portée consécutives en mètres
- Profil en long : représentation d'une coupe verticale suivant l'axe de la ligne
- Les valeurs de *Dpp* et *Del* sont données dans la norme NF EN 50341-1 :2012
- Les valeurs maximales des différentes portées se retrouvent dans l'appel d'offres du projet

Les schémas ci-dessous sont des esquisses d'une ligne et illustrent mieux les différentes grandeurs citées plus haut.

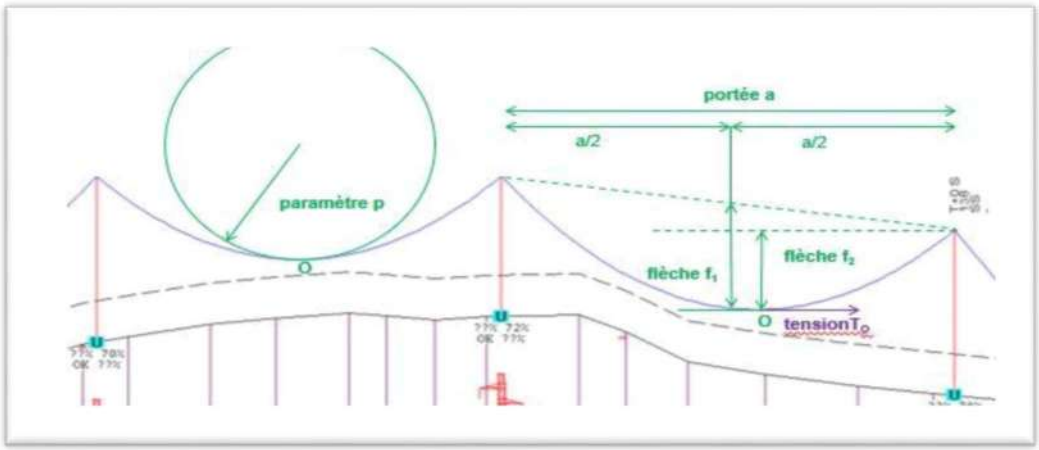


Figure II.1 : Schéma représentant les différentes grandeurs géométriques sur une ligne

En regardant ces croquis, la première chose que nous avons remarquée est que le profil long affecte le changement de portée, la longueur et le choix de la tour. De plus, nous pouvons confirmer l'importance de ces différentes valeurs pour la sélection ou le calcul.

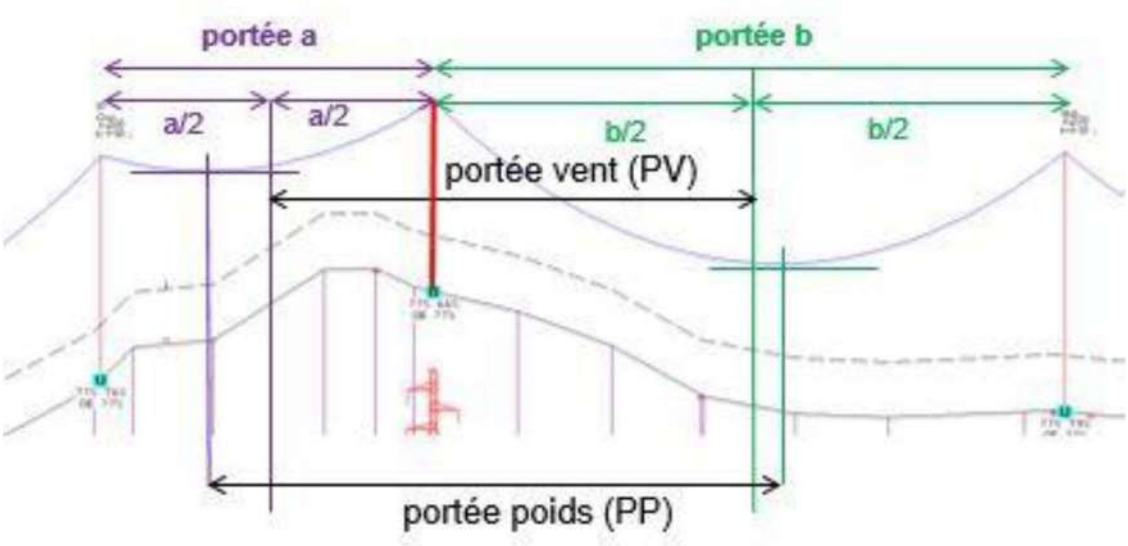


Figure II.2 : Schéma illustrant les différents types de portée

II.2 Choix géométrique de la silhouette :

Le choix de la silhouette du pylône consiste à déterminer sa hauteur et les distances entre les conducteurs eux-mêmes et entre les conducteurs et la masse. Ces distances sont déterminées en fonction des hypothèses de conception qui agissent sur les conducteurs et les chaines isolateurs du pylône.

II.2.1 Définition des hypothèses de conception :

La vérification des distances minimales à respecter sur les ouvrages est directement en fonction de la position des câbles dans l'espace.

Or, cette position d'équilibre peut être influencée par un grand nombre de facteurs, par exemple :

- La température du câble et/ou la surcharge de givre qui entraine des variations de flèche du câble.
- La présence de vent qui peut entrainer l'oscillation des câbles et des chaines autour de leur position d'équilibre.

Il est donc nécessaire de définir des hypothèses de température ainsi que des hypothèses météorologiques pour le calcul géométrique des ouvrages.

II.2.1.1 Hypothèse de répartition

L'étude de la répartition des câbles sur le profil en long de la ligne est essentiellement destinée à s'assurer que les distances minimales aux obstacles et au sol sont respectées, elle doit être effectuée dans le cas où la flèche est maximale c'est-à-dire lorsque les câbles sont à leur température maximale de fonctionnement sans vent.

En conséquence, l'hypothèse de répartition présente les caractéristiques suivantes

- Température de répartition +75 °C
- Vent nul. [5]

II.2.1.2 Hypothèse de vent nul

Cette hypothèse est à utiliser en général pour vérifier les distances minimales à la masse sur les supports.

Elle présente les caractéristiques suivantes

- Température +20 °C.
- Vent nul. [5]

II.2.1.3 Hypothèse de vent réduit

Cette hypothèse est utilisée en général pour vérifier les distances minimales entre phases ou à la masse des supports.

Les caractéristiques de cette hypothèse, en fonction de la zone d'implantation de l'ouvrage sont les suivantes :

Tableau II.1 : Caractéristiques de l'hypothèse de vent réduit [5]

Ouvrage implanté en zone	Pression du vent réduit sur les câbles (Pa)	Température
A-ZVN	240	+25 la zone saharienne +20 les autres zones
A-ZVE	360	

II.2.1.4 Hypothèse de travail :

Cette hypothèse est utilisée en général pour vérifier les distances minimales de travail sur les supports.

Elle présente les caractéristiques suivantes

- Température +25 °C zone saharienne ou +20 les autres zones
- Pression du vent : 60 Pa

Tableau II.2 : Récapitulatif des hypothèses de dimensionnement géométrique [5]

Désignation de l'hypothèse	Température (C°)	Pression de vent (Pa)	Vérification associées
Hypothèse de répartition	+75	Nulle	Distance au sol et obstacles
Hypothèse de vent nul	+25 zone saharienne +20 les autre zones	Nulle	Distance a la masse
Hypothèse de vent réduit	+25 zone saharienne +20 les autre zones	A-ZVN :240 A-ZVE : 360	Distance entre câble Distance a la masse
Hypothèse de travail	+25 zone saharienne +20 les autre zones	60	Distance de travail

II.2.2 Distances à respecter

Le tableau ci-dessous résume les principales distances à respecter par les câbles à leur température de répartition et sans vent, en fonction de la nature des sols ou obstacles. [5]

Tableau II.3 : Distance de sécurité des conducteurs par rapport à l'environnement [5]

	Portées courantes (m)		
	60 où 90 kV	220 kV	400 kV
Terrains ordinaires pour le Nord et les Hauts plateaux (hauteur au-dessus du sol)	7	7,50	8
Terrains agricoles (hauteur au-dessus du sol)	8	8.5	9
Zone de dunes mobiles (hauteur au-dessus du sol)	14	14	14
Terrain avec franchissement d'engin de hauteur h (hauteur au-dessus du sol)	H + 2	H + 3	H+3.5
Terrain ordinaire pour la zone Sud	10	10	10
Voies de circulation :			
Voies de circulation communale	9	9	10
Voie pour véhicule de grande hauteur (h)	H+2	H +3	H+ 4
Voie à grande circulation (Wilaya, nationale, autoroute)	12	12	12
Voies et plans d'eau :			

Hauteur au-dessus des plus hautes eaux	7	7,5	8
Hauteur sur le niveau d'étiage	6.5	7	7.5
Voies ferrées :			
Distance aux supports, fils de contact aériens. Caténaires	4	5	5.5
Distance au gabarit cinématique du matériel	3.5	4,5	5
Avec une hauteur minimale au-dessus du sol	10,25	10,25	10,25
Sol enneigé (Hauteurs au-dessus de la couche de neige)	3,50	4	4,50

II.3 Hypothèses de dimensionnement mécanique :

Les hypothèses à retenir pour le dimensionnement mécanique des ouvrages sont :

- Les hypothèses climatiques (vent, froid et hypothèse complémentaire de givre),
- L'hypothèse complémentaire électrodynamique (court-circuit biphases ou triphasés sans terre),
- Les autres hypothèses complémentaires (conditions de conception, de construction et d'entretien des ouvrages). [5]

II.3.1 Les hypothèses météorologiques de bases

Les lignes aériennes sont intensément soumises à l'action des intempéries et du climat de la zone dans laquelle elles se trouvent ; Il est donc important d'en tenir compte pendant la phase d'études. Pour dimensionner une ligne électrique on considère en fonction du climat de la zone, un certain nombre de situations météorologiques susceptibles d'arriver et pouvant affecter d'une façon ou d'une autre le fonctionnement et la longévité de ladite ligne. Les hypothèses qui ont été prises en compte dans le cadre de la construction de notre ligne se retrouvent dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.4 : ***Récapitulatif des hypothèses de dimensionnement mécanique*** **[5]**

Désignation de l'hypothèse climatique	**Température des câbles C°**	**Pression du vent sur les structures et sur les câbles (Pa)**			**Masse du manchon de givre sur les câbles**
		Cornières ou surface plan	Câbles nus	Câbles + manchons de givre	
A-ZVN	T_{moy}	Max	Max	N. A	N. A
A-ZVE		Max	Max		
B	Tmin	Réduit	Réduit		
Givre léger	Tmin	Réduit	N. A	Réduit	2kg/ml
Givre moyen		Max			4kg/ml
Givre lourd		Max			6kg/ml
EDS	Température quotidienne de la zone	N. A	N. A	N. A	N. A
Tmoy : 20 dans les hauts plateaux et sur le littoral + 25 dans la zone saharienne **Tmin :** -5 sur le littoral - 10 sur les hauts Plateaux					

II.3.2 Hypothèse de construction et d'entretien des ouvrages :

Exigences détaillées seulement pour les charges causées par le personnel de construction ou d'entretient peut-être trouvé dans la norme EN 50341-1. À cette fin, une charge de 1,0 kN doit être avec un facteur partiel de 1,5.

Les éléments ayant une inclinaison inférieure à 30° par rapport à l'horizontale et, par conséquent, étant considéré comme montable, doivent être conçus pour une charge caractéristique de 1,0 kN agissant verticalement au milieu de la barre. dans cette hypothèse on a

- Température : +10
- Vent nul [5]

II.3.3 Hypothèse de torsion :

Cette hypothèse définit une résistance minimale à la torsion, nécessaire pour :

- Limiter la propagation des avaries de supports en cas de rupture d'un câble ou d'un manchon de jonction ou d'ancrage.
- Supporter la dissymétrie transversale provoquée par des charges inégales de givre ou de neige sur les câbles d'une même portée.

Elle consiste à appliquer successivement, à chaque point d'accrochage, l'effort statique qui y apparaît en hypothèse A dans le cas de la rupture, dans la portée contiguë, du câble qui y est fixé. Cette application est faite à chaque point d'accrochage, le cas défavorable étant seul retenu. Dans le cas d'un faisceau, on n'envisage la rupture que d'un seul câble. [5]

II.4 Charges transmis aux pylônes :

Les pylônes sont destinés à maintenir les conducteurs à une hauteur suffisante du sol, en tenant compte de la flèche maximum et à résister aux charges qui leur sont appliquées dans toutes les hypothèses administratives définies à partir des conditions climatiques prises en considération. Les charges transmises par les conducteurs et les câbles de garde peuvent être décomposées suivant trois directions orthogonales choisies de manière à simplifier les calculs.

II.4.1 Charges verticaux :

Ce sont :

- Le poids propre des constituants du support.
- Le poids des conducteurs et des câbles de garde.
- Le poids des isolateurs ou des chaînes d'isolateurs, avec leurs accessoires, et, éventuellement, leurs contrepoids. [2]

II.4.2 Charges transversaux :

Ils tiennent particulièrement compte de l'action du vent sur les différents éléments sur le pylône.et peuvent être décomposés comme suit :

- Force exercée par le vent sur les conducteurs et le câble de garde.
- Force exercée par le vent sur le pylône
- Force exercée par le vent sur la chaîne d'isolateurs.
- Composante d'angle suivant la fonction du pylône. [4]

II.4.3 Charges longitudinaux :

Ces charges ne concernent que les câbles, les supports subissent des efforts longitudinaux importants. En cas de rupture d'un câble, ils peuvent être accompagnés d'effets de torsion. Les supports d'arrêt sont calculés pour résister sans se rompre à l'effort exercé par tous les conducteurs d'un même côté ceux de l'autre côté étant supposés rompus. [4]

II.5 La flèche et la tension d'un câble :

II.5.1 Introduction :

Le but de l'équation d'équilibre est de prédire les flèches des chainettes et les tensions des conducteurs et câbles de gardes dans toutes les conditions de conception de la température des câbles et des charges de givre et/ou de vent.

La tension maximale du câble est un facteur important dans la conception de la structure. La flèche maximale du conducteur détermine en grande partie les hauteurs et les emplacements de la structure hors sol afin de maintenir dégagements électriques tout au long de la vie de la ligne. Ainsi, à la fois 'intégrité électrique d'une ligne aérienne de transport ou de distribution dépend directement sur la précision des calculs de tension et la flèche. [6]

Il est important de prévoir la flèche et la tension du conducteur pour déterminer si :

- Il fera passer les dégagements électriques requis à la terre, à l'emprise (éruption) et au soulèvement (étaux et déformation)
- Il ne doit pas dépasser les limites de tension du conducteur dans des conditions de charge variables
- Il passera les niveaux requis de champ électrique et magnétique, de vibration éolienne et de galop de glace

La structure est suffisante pour résister à la tension du conducteur.

La flèche de câble dépend de :

- Poids unitaire du câble
- Tension dans le câble
- Conditions météorologiques (effet du vent, de la glace)
- Température.
- Le module d'élasticité de câble.

II.5.2 Equation de la chainette :

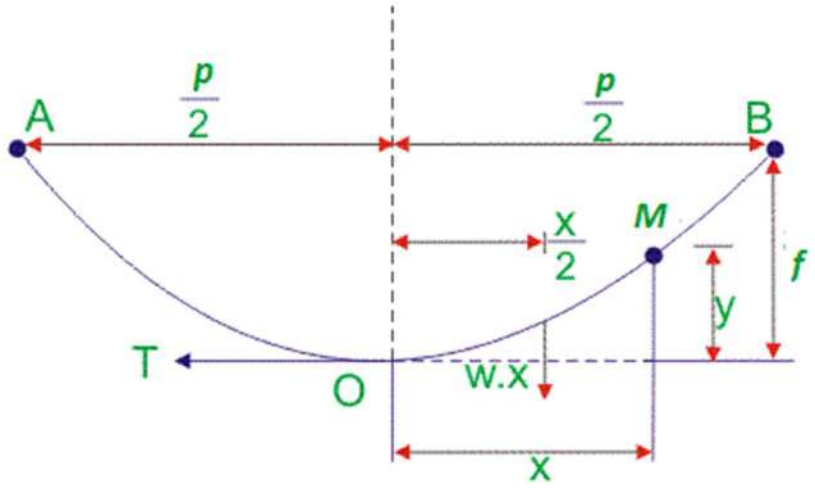


Figure II.3: Représentation géométrique de la chainette

Lorsqu'un conducteur est suspendu entre deux supports et qu'il porte son propre poids uniforme, la courbe formée est appelée chainette. Pour une analyse simplifiée, certains ingénieurs de conception supposent que la courbe est parabolique. L'équation de parabole est applicable lorsque [6]: $\frac{X^2 \times w^2}{12 \times T^2} \ll 1$

Tel que :

- w : poids unitaire du conducteur (DaN/m).
- x : distance entre le support et le point plus bas du conducteur (m).
- T : la tension horizontale du conducteur (DaN/m). [6]

II.5.2.1 La flèche si les supports sont au même niveau :

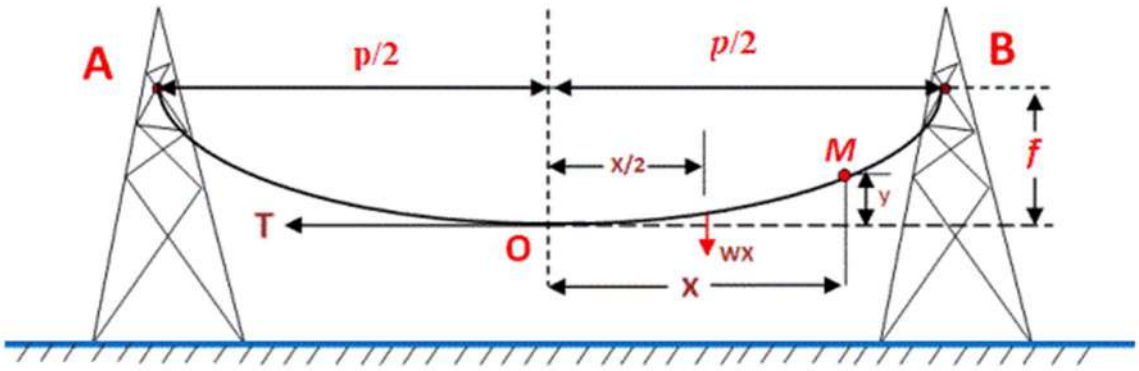


Figure II.4: Représentation géométrique de portée de niveau

On suppose que AOB est le câble. A et B sont des points d'accrochage du câble dans le support. Et « O » le point le plus bas dans le câble et au milieu de la portée

- p : la langueur de la portée
- w : poids unitaire du conducteur (DaN/m).
- T : la tension horizontale du conducteur (DaN/m).
- On choisit un point M quelconque
- x : la distance horizontale entre M et O.
- y : est la distance verticale entre M et O.

Donc $\sum M/_O = 0$ $T.y = \text{w.x.}\frac{x}{2}$ donc $y = \frac{wx^2}{2T} \cong \frac{T}{w}\left(\cosh\frac{w.x}{T} - 1\right)$

$\frac{T}{w}\left(\cosh\frac{w.x}{T} - 1\right)$ Est l'équation de la chainette

Lorsque $y = f$ et $x = \frac{p}{2}$

$$\textbf{Donc } \boldsymbol{f = \frac{wp^2}{8T} \cong \frac{T}{w}\left(\cosh\frac{w.p}{2T} - 1\right)}$$

Tel que f est la flèche maximale

II.5.2.2 La flèche si la portée est dénivelée :

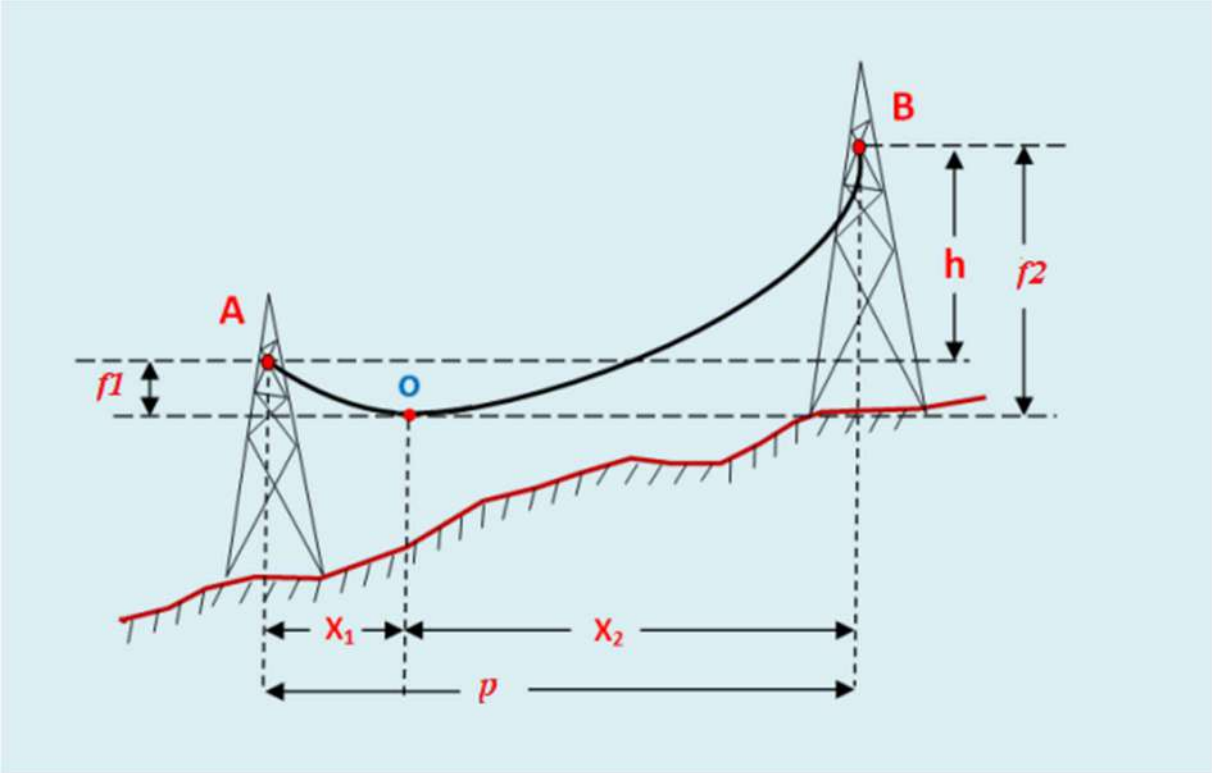


Figure II.5: Représentation géométrique d'une portée dénivelée

Un conducteur est soutenu en deux points A et B.

- = le point le plus bas du conducteur.
- p = la portée horizontale.
- h = différence de niveau entre le support A et B.
- X_1 = Distance horizontale entre A et O.
- X_2 = Distance horizontale entre A et O.
- T = Tension dans le conducteur.
- W= poids par unité de longueur du conducteur.

On a : $f1 = \frac{w.x1^2}{2T}$ et $f2 = \frac{w.x2^2}{2T}$

On a aussi : $x_1 + x_2 = p$ (1)

Donc $f2 - f1 = \frac{w}{2T}(x_2^2 - x_1^2) = \frac{w}{2T}(x_2 + x_1).(x_2 - x_1)$

$f2 - f1 = h$

$h = \frac{w}{2T}(x_2 + x_1).(x_2 - x_1) \Rightarrow (x_2 - x_1) = \frac{2Th}{wp}$ (2)

On résoudre les équations (1) et (2) on obtient :

$$x_1 = \frac{p}{2} - \frac{Th}{wp}$$

$$x_2 = \frac{p}{2} + \frac{Th}{wp}$$

Après avoir obtenu x_1 et x_2 la flèche du conducteur est facilement calculé

II.5.3 La longueur du conducteur :

La longueur du conducteur s'obtient en intégrant l'élément différencie de longueur d'arc dl [2]

$$dl = \sqrt{1 + sh^2(\frac{x.w}{T})} = ch\left(\frac{x.w}{T}\right)$$

La longueur du conducteur est ainsi :

$$L = 2\int_0^{p/2} ch\left(\frac{x.w}{T}\right)dx = 2\frac{T}{w}sh\left(\frac{p.w}{2T}\right)$$

Développons en série le *sh :*

$$sh\left(\frac{p.w}{2T}\right) = \frac{p.w}{2T} + \frac{p^3w^3}{48T^3} + \frac{p^5w^5}{3840^{\ 5}}$$

On obtient en définitive :

$$L = p + \frac{p^3w^2}{24T^2} + \frac{p^5w^4}{1920T^4}$$

Si on néglige l'erreur de 3eme ordre on obtient :

$$L = p + \frac{p^3w^2}{24T^2}$$

La longueur du conducteur peut également exprimer en fonction de la flèche on obtient :

$L = p + \frac{8f^2}{3p}$ [2]

II.5.4 Effet de givre et de vent sur la flèche

Lorsque conducteur est recouvert de givre et/ou soumis au vent, le poids unitaire total du conducteur augmente et modifie la forme de la chainette. Les ingénieurs de conception doivent

tenir compte de la charge extrême attendue dans la zone en tenant compte du calcul de la tension et de la flèche. Le conducteur et les supports peuvent tomber en panne dans ces conditions de charge extrêmes. De plus, ils peuvent dépasser la distance hors sol respecter.

- Le poids par unité de longueur du conducteur est modifié lorsque le vent souffle à une certaine force sur le conducteur et que de la glace s'accumule autour du conducteur.
- La force du vent agit sur le conducteur pour changer le poids du conducteur par unité de longueur horizontalement dans le sens du flux de vent.
- La charge de givre agit sur le conducteur pour changer le poids conducteur par unité de longueur verticalement vers le bas.
- Compte tenu de la force du vent et de la charge de givre à la fois, le conducteur aura un poids par unité de longueur.
- Le poids résultant créera un angle avec la charge de givre vers la basse direction

Supposons que *w* est le poids du conducteur par unité de longueur. [6]

• *wi* est le poids du givre par unité de longueur

$$W_i = \rho_i \times \frac{\pi}{4}[(d+2t)^2 - d^2] \times 1$$
$$= \rho_i \times \pi t(d+t)$$

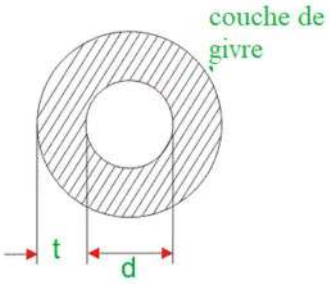


Figure II. 6: ***Câble couvert par une couche de givre***

Tel que

- ρ_i : *densité de givre*
- t : *épaisseur de la couche de givre*
- d : *diamètre du câble*

• w_w est la force du vent par unité de longueur

$W_w = q \times [(d+2t) \times 1]$

- Tel que :

  q est la pression de vent

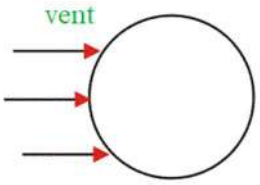


Figure II. 7: ***Effort du vent exercée sur le câble***

Par conséquent, la force totale sur le conducteur est la somme vectorielle des deux forces ci-dessus qui est montrée dans figure II.8.

$$w_t = \sqrt{(w + w_i)^2 + (w_w)^2}$$
$$et \tan\theta = \frac{w_w}{w + w_i}$$

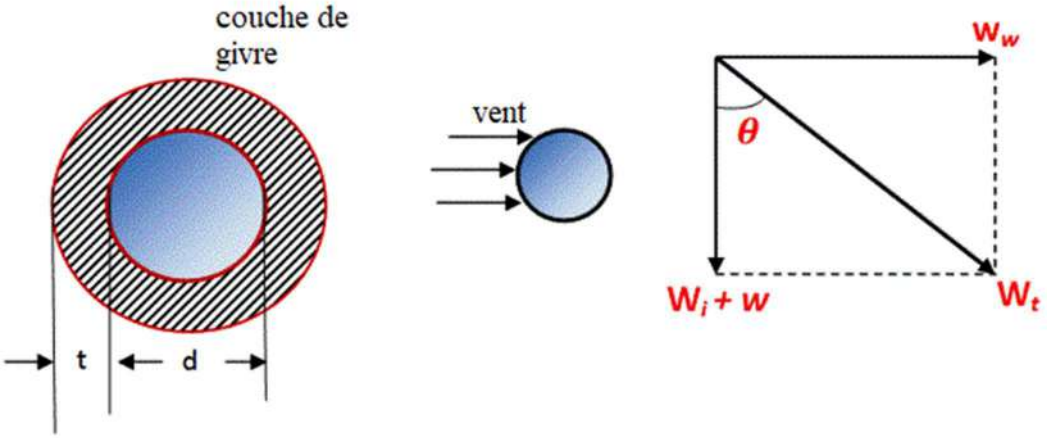


Figure II. 8: ***Résultante des efforts sur un câble***

Donc la flèche totale est donnée par :

$$f_t = p^2 \frac{w_t}{8T}$$

Alors la flèche verticale est donnée par : $f_v = f_t \cos\theta$

II.6 Equation de changement d'état (déformation) :

II.6.1 Introduction

Dans la réalité, les lignes aériennes sont soumises à des variations de températures dues aux modifications des conditions météorologiques et également à la charge transitée par la ligne. De plus, le vent, la neige ou le givre, quand ils agissent uniformément sur toute la portée, changent le poids linéique du câble, le poids de la neige Ou du givre s'ajoutant arithmétiquement au poids propre du câble et l'effet du vent s'ajoutant géométriquement.

L'équation de changement d'état permet de calculer la tension d'un conducteur et un câble de garde dans une hypothèse déterminée en partant de la tension connue du même conducteur dans une autre hypothèse [2]

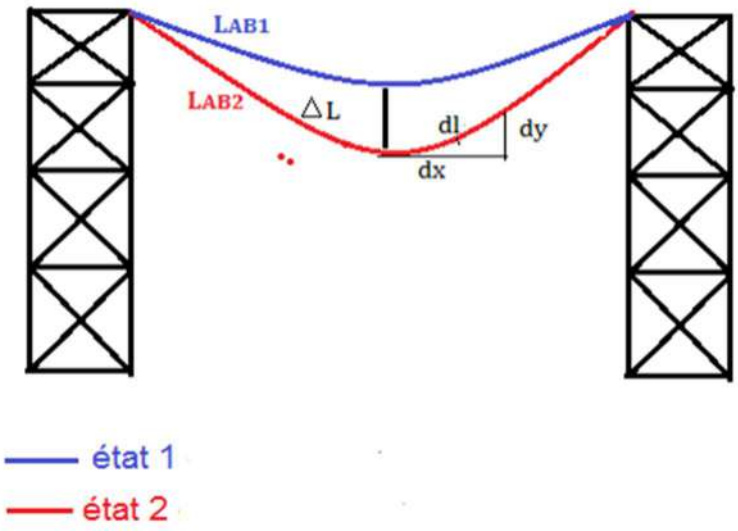


Figure II. 9: Représentation Géométrique de changement d'état

II.6.2 Etablissement de l'équation de changement d'état

Nous écrivons que la déférence de la longueur d'arc Δl (L_2 -L_1) entre l'état (2) et l'état (1) est la somme algébrique : [2]

- De l'allongement élastique $\Delta l_e = L_1 . \frac{T2-T1}{ES}$
- De l'allongement thermique $\Delta l_{th} = L_1 . \alpha\ (\theta_2 _ \theta_1\ )$.

On a aussi la longueur d'arc égale à : $L = p + \frac{p^3 w^2}{24T^2}$

Donc :

$$\frac{m_2^2 w^2 p^3}{24T_2^2} - \frac{m_1^2 w^2 p^3}{24T_1^2} = \frac{L_1(T_2 - T_1)}{ES} + \mathrm{L}_1\alpha(\theta_2 - \theta_1)$$

Tel que

- α: $coefficient\ de\ délatation\ \ du\ câble$
- θ : $la\ température\ de\ l'hypothèse$
- E: module d'élasticité
- m : $le\ coefficient\ de\ surchage = \frac{w_t}{w}$
- T : $la\ tension\ de\ câble$
- p : $la\ portée\ de\ travée$
- w : $le\ poids\ propre\ par\ unité\ de\ longueur\ du\ conducteur$

Passons aux allongements relatifs en supposons que $\frac{p}{L_1} = 1$ on obient :

$$\alpha(\theta_2 - \theta_1) = (\frac{m_2^2 w^2 p^2}{24T_2^2} - \frac{T_2}{ES}) - (\frac{m_1^2 w^2 p^2}{24T_1^2} - \frac{T_1}{ES})$$

On multiplie l'équation précédente par le produit $EST_2{}^2$ on obtient l'équation général de changement d'état :

$$T_2^2(T_2 + \frac{m_1^2 p^2 w^2}{24T_1^2} ES + ES\alpha(\theta_2 - \theta_1) - T_1) = \frac{m_2^2 p^2 w^2}{24} ES$$

Donc on obtient une équation d'un seul inconnu facile à résoudre de la forme :

$$T^3 + AT^2 - B = 0$$

Tel que

$$A = \frac{m_1^2 p^2 w^2}{24T_1^2} ES + ES\alpha(\theta_2 - \theta_1) - T_1$$

$$B = \frac{m_2^2 p^2 w^2}{24} ES$$

II.6.3 Cas particuliers du changement d'état :

- Etat (1) câble non chargé (m_1=1) état (2) câble chargé (m_2 >1) :

$$T_2^2[T_2 + \frac{p^2 w^2}{24T_1^2} ES + ES\alpha(\theta_2 - \theta_1) - T_1] = \frac{m_2^2 p^2 w^2}{24} ES$$

- Etat (1) câble chargé ($m_1 > 1$) état 2 câble non chargé ($m_2 = 1$)

$$T_2^2[T_2 + \frac{m_1^2 p_1^2 w^2 ES}{24 T_1^2} + ES\alpha(\theta_2 - \theta_1) - T_1] = \frac{p^2 w^2 ES}{24}$$

- Etat (1) et (2) non chargé :

$$T_2^2[T_2 + \frac{p^2 w^2 ES}{24 T_1^2} + ES\alpha(\theta_2 - \theta_1) - T_1] = \frac{p^2 w^2 ES}{24}$$

II.7 Choix des composants électriques

Faire l'étude électrique d'une ligne revient à choisir judicieusement ou à trouver les composantes électriques de la ligne à savoir : le câble, les isolateurs, organes de protection.

II.7.1 Méthodologie de dimensionnement :

II.7.1.1 Dimensionnement du câble :

Il s'agira pour l'ingénieur de génie électrique de :

- Faire le choix du matériau à utiliser et de la section de câble en fonction de la tension de fonctionnement de la ligne ;
- Vérifier que la section de câble choisi peut supporter l'intensité de courant nominal In que transite la ligne ;
- Vérifier que le câble pourra supporter courant de court-circuit Icc transmis par la ligne sans être abimé.

Dans le cas échéant, il passera à une section de câble plus importante jusqu'à trouver une section qui vérifie ces conditions.

II.7.1.2 Dimensionnement des isolateurs :

Le dimensionnement des isolateurs dépend du matériau, du nombre d'assiettes, de la zone où ils seront installés et de la longueur de fuite. Pour y arriver nous procèderons comme suit :

- Faire un choix entre les différents matériaux qui constituent les isolateurs.
- Choisir en fonction des normes les caractéristiques des à isolateurs choisir et déterminer le nombre d'assiettes.
- Calculer la Longueur de fuite.

II.7.2 Applications de la méthodologie et Résultats :

II.7.2.1 Choix du câble conducteur

De tous les matériaux utilisés dans la réalisation des réseaux HTB nous porterons notre attention sur **l'almélec (AAAC) ou Aster** à cause de :

- Sa résistance mécanique supérieure à celle de l'aluminium
- Sa légèreté par rapport à l'alliage aluminium acier
- Son coût bas par rapport à celui du cuivre

Le tableau ci-dessous extrait de la Norme NF EN 50182 nous permet de faire le choix de la section de câble en fonction des tensions suivant que la zone soit givrée ou non.

Tableau II. 5: Section de câbles en fonction du niveau de tension et de la zone de givre [1]

Tension (kV)	Givre léger	Givre moyen	Givre lourd
63 ou 90	Aster 228 Aster 366 Aster 570	Pastel 288 Pastel 299 Pastel 412 / Pastel612	Pastel 299 Pastel 412 Pastel 612
220	Aster 570 2 Aster 570	Pétunia 612 2 Pétunia 612	Pétunia 612 2 Pétunia 612 1 Aster 1600
400	2 Aster 570 3 Aster 570 4 Aster 570	2 Pétunia 612 2 Aster 1144 2 Aster 1600	2 Pétunia 612 2 Aster 1600

Pour une ligne de 220KV Notre choix se portera en premier lieu sur le câble Aster 570 dont les caractéristiques sont répertoriées dans le tableau ci-dessous

Tableau II.6: Caractéristiques du câble Aster 570 [1]

Section (mm^2)	Composition		Diamètre extérieur d (mm)	Charge de rupture assignée (daN)	Resistance linéique électrique 20°C (Ω/km)	Masse linéique sans graisse (kg/km)	Module d'élasticité (MPa)	Coefficient de dilatation (10^{-6}/K)
	Nombre de fils	Diamètre des fils (mm)						
570.22	61	3.45	31.05	18 530	0.0583	1574	54 000	23

II.7.2.2 Choix du câble de garde :

Le tableau ci-dessous extrait de la norme NF EN 50189 nous permet de choisir notre câble de garde en fonction du conducteur usuel.

Tableau II.7: Association Conducteurs –Câble de garde [1]

Niveau de tension	Conducteur	Câble de garde classique	Cable de garde à circuit de télécommunication
60 ou 90	Aster 228	Phlox 94.1	Thym 107
	Aster 366	Phlox 116.2	Thym 157.4
220	Aster 570	Phlox 147.	Thym 157.4
400	Aster 570	Phlox 228	Thym 157.4

Nous allons donc opter pour un câble Thym 157.4 comme câble de garde dont les caractéristiques sont répertoriées dans le tableau ci-dessous

Tableau II. 8: Caractéristiques du câble Thym 157.4 [1]

Section (mm^2)	Composition		Diamètre extérieur d (mm)	Charge de rupture assignée (daN)	Resistance linéique électrique 20°C (Ω/km)	Masse linéique sans graisse (kg/km)	Module d'élasticité (MPa)	Coefficient de dilatation (10^{-6}/°K)
	Almec (mm)	Acier (mm)						
157.4	19x2.60	3.18x2.0	19.2	11 500	0.330	900	103 000	15.8

II.7.2.3 Choix des isolateurs :

Les isolateurs imposés par les ingénieurs de génie électrique sont des isolateurs en verre trempé à cause de :

- Coût faible
- Observation facile des défauts
- Peut dû supporter des variations brusques de température.

Les essais et les tolérances dimensionnelles, sont conformes aux normes IEC-60383 et IEC-60305

Dont les principales caractéristiques figurent dans le tableau ci-dessous selon la norme (IEC 60305)

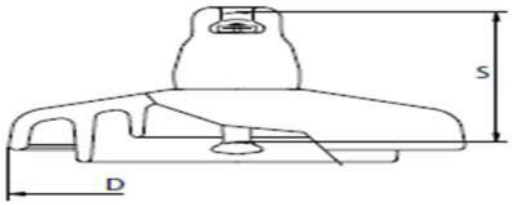


Figure II.10: ***Coupe d'un isolateur***

Tableau II. 9: Caractéristique de l'isolateur E120D-127 (SGD insulators)

Modèle SGD		**E-120D-127**
Charge minimale de rupture (KN)		120
Donnée dimensionnelle	Pas (S) mm	127
	Diamètre (D) mm	380
	Ligne de fuite (mm)	350
	Accrochage normalisé IEC 60120	16A
Valeurs électrique	Tension de tenue à fréquence industrielle	
	A sec (KV)	60
	Sous pluie (KV)	50
	Tension de tenu au choc de foudre a sec (KV)	95
	Tension de perforation dans l'huile (KV)	130
Information sur l'emballage	Poids net (kg)	5.6
	Nbre d'isolateurs par caisse	6

Donc on choisit 22 assiettes par corde donc la longueur de notre chaine isolateurs est de

$$L_{ins} = S \times N = 127 \times 22 = 2.8\ m$$

Le poids total de la chaine : $w_{cins} = N \times w_{ins} = 5.6 \times 22 = 123.2\ Kg$

Chapitre III :

Vérification de la silhouette et évaluation des charges

III.1 Description du Projet :

III.1.1 Introduction

Dans le cadre de notre travail, nous nous proposons d'analyser un pylône qui est exploité en Algérie par la société SONELGAZ. Il s'agit selon la dénomination de SONELGAZ, de pylône d'alignement de type A et d'équipé de chaînes d'isolateurs de suspension et pouvant aussi être utilisé, si nécessaire, comme support d'angle faible (0 à 2 degrés maximum) sous réserve de portée vent égale à 300 m

III.1.2 Le Site :

Le pylône envisagé est situé dans La commune de Ksar el Boukhari, D'après le RNV 99 version 2013Annexe 1, cette dernière est située dans la zone climatique du Vent II. Est d'après la classification des RPA99 version 2003 le pylône est implanté dans une zone de moyenne sismicité (zone IIa).

III.2 Détermination et vérification de la géométrie de pylône :

III.2.1 Détermination de la hauteur :

On réalité la hauteur de pylône est défini par la somme de :

- La distance hors sol
- La flèche maximale des conducteurs
- La distance vertical entre le conducteur le plus haut et le câble de garde

Mais vu que nous avons des pylônes normalisés à utiliser il suffit de calculer la distance au sol pour déterminer la hauteur de pylône.

III.2.1.1 Détermination de la distance au sol :

La distance minimale entre la console et le sol (H) dois être égale à la somme de la longueur de la chaine d'isolateur, la flèche maximale du conducteur et la garde au sol De puis le Tableau II.3 du chapitre précédent le garde au sol égale à 12 m

III.2.1.2 Calcul de la flèche maximale :

Pour calculer la flèche maximale, il faut d'abord connaitre la tension du conducteur dans l'hypothèse de répartition

Dans l'hypothèse « Every Day Stress » à la température moyenne de la région, sans vent, sans givre la tension des câbles ne doit en aucun cas dépasser 18% de leur charge de rupture admissible CRA, donc on a pour un conducteur ASTER 570 :

Tableau III.1. ***Caractéristiques du câble ASTER 570***

Portée p (m)	S (mm²)	d (mm)	CRA (daN)	w (kg/m)	E (MPa)	α (10^{-6}/K)
300	570.22	31.05	18 530	1.574	54 000	23

$$T_1 = 0.95 \times \frac{CRA}{5.6} = 0.95 \times \frac{18530}{5.6} = 3143.482\ DaN$$

$$EDS \begin{cases} m_1 = 1 \\ \theta_1 = 20° \\ T_1 = 3143.482 \end{cases} \qquad hypothèse\ de\ répartion \begin{cases} m_2 = 1 \\ \theta_2 = 75° \\ T_2 = \ ? \end{cases}$$

Donc, il suffit d'utiliser l'équation de changement d'état Pour obtenir T_2àpartir de T_1 :

$$T_2^2[T_2 + \frac{p^2w^2ES}{24T_1^2} + ES\alpha(\theta_2 - \theta_1) - T_1] = \frac{p^2w^2ES}{24}$$

A.N :

Par résolution de cette équation de 3eme degré on obtient :

T_2 = 2210.318 DaN

Cette valeur représente 12% de CRA

Donc :

$$f_{max} = \frac{300^2 \times 1.574}{8 \times 2210.318} = 8.2\ m$$

Alors on obtient finalement :

$$H = f_{max} + h + L_i = 8.2 + 12 + 2.8 = 23\ m$$

Le catalogue des pylônes de « IFEG » regroupe quelques types des pylônes normalisés.
Le tableau ci-dessous représente quelques caractéristiques géométriques d'un pylône d'alignement type A 220KV :

Tableau III.2: Caractéristiques géométriques des pylônes EUCOMSA usuelles

Niveau	Hauteur sous console (m)	Hauteur total (m)	Distance de console à l'axe du fut (m)	Empattement du pylône (m)
A_R 8	14.800	17.300	7.000	3.396
A_R4	18.800	21.300	7.000	4.143
A±0	22.800	25.300	7.000	4.890
A_S4	26.800	29.300	7.000	5.637
A_S8	30.800	33.300	7.000	6.383

Selon le résultat obtenu précédemment H = 23 m on choisit le pylône de niveau AS4 schématisé dans la figure ci-dessous :

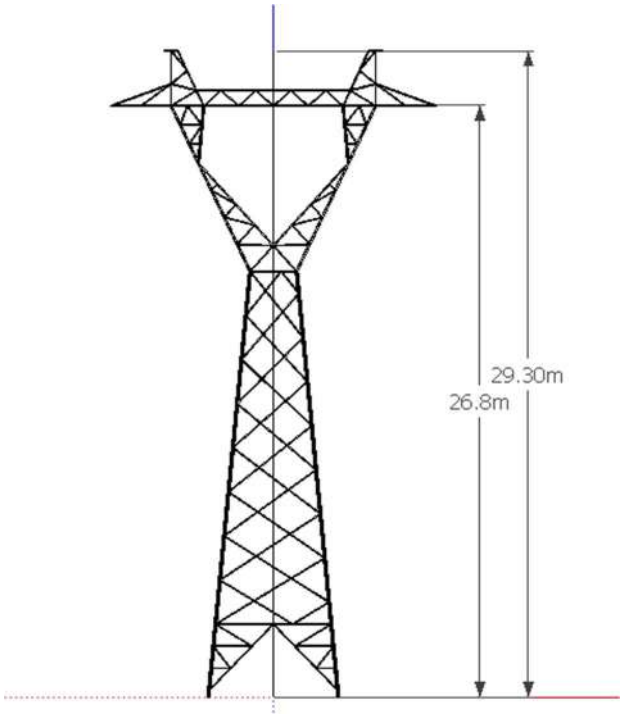


Figure III. 1: ***Pylône d'alignement A niveau AS4***

III.2.2 Vérification des distances internes :

III.2.2.1 Distance entre câble :

Les distances entre conducteurs et câble de garde doivent être respectées en toutes circonstances.

- **Vérification au vent**

On ne vérifie ici que les distances à respecter entre les conducteurs eux-mêmes. :

- **Distance minimale entre phase : [Annexe 2 sonalgaz , art 3.2.2]**

La distance minimale à respecter entre les axes des phases *d'une même ligne* a pour valeur :

$$t_1\sqrt{3} + E_f$$

Tel que :

- E_f : écartement des câbles du faisceau éventuel,
- $E_f = 0$ pour un câble simple,
- $E_f = 0{,}6$ m ou 0,4 m, suivant le type du faisceau employé.

Les valeurs des distance de tension sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 3: *Distance de tension* [5]

U	60 kV sur isolé	220 kV	400 kV
t_1	0,2m	0,6 m	1,0 m
t_2	0,5 m	1,1 m	2,0 m
t_3	0,7 m (*)	1,7 m	3,0 m

AN :

$$t_1\sqrt{3} + E_f = 0.6\sqrt{3} + 0 = 1.04\ m$$

La distance réalisée d, entre les câbles, en "vent réduit", doit respecter la condition :

$$d = D - e \geq t_1\sqrt{3} + E_f$$

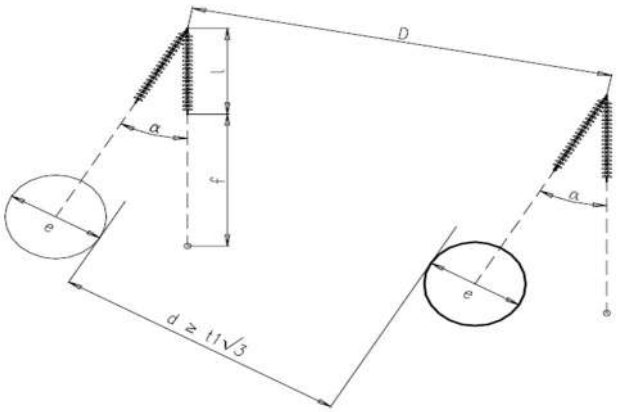


Figure III. 2: Rapprochement des conducteurs sous vent réduit

Tel que :

- D : distance séparant les axes des câbles en milieu de portée
- e : amplitude des oscillations asynchrones autour du point d'équilibre
- $e = 0.6 \times m \times \sqrt{f_{max} + l_{ch}}$
- f : flèche médiane de la portée (m) pour la température de répartition
- l_{ch} : la longueur de la chaine d'isolateur
- α : angle de balancement

Premièrement on doit calculer les coefficient de surcharge du câble en vent réduit 'm'

$$m = \frac{\sqrt{w^2 + {w_w}^2}}{w}$$

$$m = \frac{\sqrt{1.574^2 + (24 \times 0.03105)^2}}{1.574} = 1.106$$

Donc : m=1.106

$e = 0.6 \times 1.106 \times \sqrt{8.2 + 2.8} = 2.2m$

⇒ d=7-2.2=4.8m

Finalement 4.8 > 1.04 C.V.

- **Distance minimal entre conducteur et câble de garde : [Annexe 2 sonalgaz ,art 3.2.2]**

La distance minimal entre conducteur et câble de garde est également calculée avec la même formule précédente mais la distance minimal à respecter doit être remplacé par t_1

AN :

d =5.3-2.2= 3.1m

⇒ 3.1> 0.6 C.V.

III.2.2.2 Distance à la masse [Annexe 2 sonalgaz , art 3.2.3]

- **Distance masse/phase (d) :**

Soit (ds) la distance de sécurité et (dx) le sinus de l'angle dû au vent, et (d) la distance totale.

Où la chaine doit être montée pour prendre en considération de l'effort du vent.

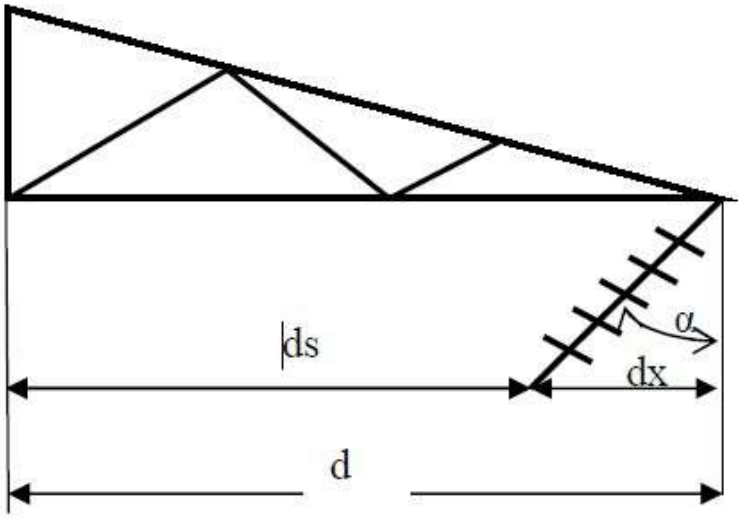


Figure III. 3: ***Présentation des distances à vérifier***

Les distances réalisés doivent être supérieur au valeurs présenté au tableau ci-dessous

Tableau III.4: Distances à la masse à respecter [5]

HYPOTHESES	Distances à la masse (m)		
	63 kV ou 90 kV	220kV	400 kV
"Vent nul"	1,10	1,70	3,00
"Vent réduit"	0,8	1,10	2,00
"Vent extrême"	0,15	0,4	0,7

- **Hypothèse de vent nul :**

On a la longueur de la console est : 2,6 > 1,7 donc condition vérifier

- **Hypothèse de vent réduit : $P_V = 240Pa$**

$\tan \alpha = \frac{T_r}{w}$

Tel que :$T_r = P_v \times D \times a + P_v \times D_{ins} \times l_{ins}$

AN : $T_r = 2320.944\ N$

$w = w_{ch} + w_c \times a$

AN : $w = 5954\ N$

Donc $\tan\alpha = \frac{2320.944}{5954} = 0.39 \Rightarrow \alpha = 21.296°$

Donc $dx = l_{ins} \times \sin\alpha = 1.02$

$DS = 2.6 + 1.4 - 1.02 = 2.98$

$2.98 > 1.1 \quad C.V$

- **Hypothèse de vent extrême : $P_V = 800\ Pa$**

$\tan\alpha = \frac{T_r}{w}$

tq :$T_r = P_v \times D \times a + P_v \times D_{ch} \times l_{ch}$

AN : $T_r = 7844.48\ N$

$w = w_{ins} + w_c \times a$

AN : $w = 5954\ N$

Donc $\tan\alpha = \frac{7844.48}{5954} = 1.32 \Rightarrow \alpha = 51.8°$

Donc $dx = l_{ins} \times \sin\alpha = 2.23$

$DS = 2.6 + 0.9 - 2.23 = 1.27$

$1.27 > 0.4 \quad C.V$

Pour s'assurer, on va vérifier aussi la distance verticale (dy) entre le point d'accrochage du câble et la console où l'isolateur est attaché, elle doit être supérieure à la distance de sécurité ds :

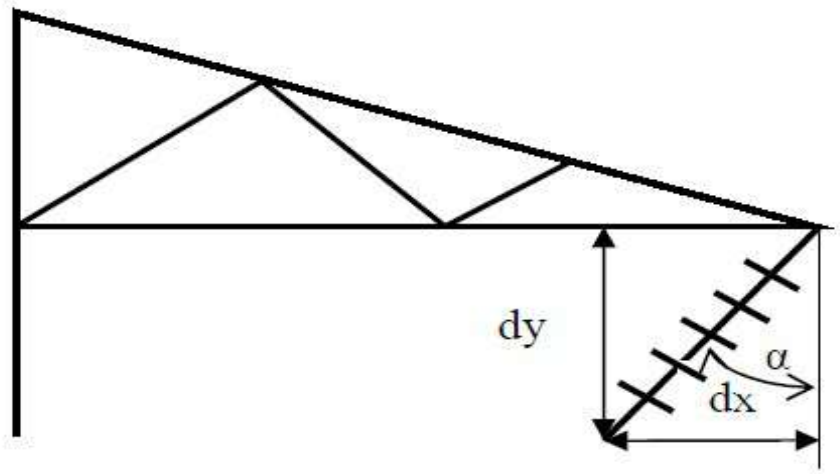


Figure III. 4: ***Distance dy à vérifier***

- **Vent réduit :**

$dy = \cos\alpha \times l_{ins}$

$dy = \cos 21.296° \times 2.8 = 2.609m$

2.609 > 1.1 C.V

- **Vent extrême**

$dy = \cos 51.8° \times 2.8 = 1.732m$

$1.732 > 1.1$

III.2.2.3 DISTANCE DE TENSION [Annexe 2 sonalgaz , art 3.2.4]

Tableau III. 5: Distance pour le travail à distance [5]

	DISTANCE MINIMALE D'APPROCHE (DMA)	DISTANCE POUR LE TRAVAIL A DISTANCE	
		A la console (DMA + 0,1) supérieure	Au fût (DMA + 1,1)
90 kV	1,00 m	1,10 m	2,10 m
220 kV	1,60 m	1,70 m	2,70 m
400 kV	2,50 m	2,60 m	3,60 m

- **Hypothèse de tension : $P_V = 60\ Pa$**

$\tan\alpha = \frac{T_r}{w}$

tq :$T_r = P_v \times D \times a + P_v \times D_{ins} \times l_{ins}$

AN : $T_r = 580.236N$

$w = w_{ins} + w_c \times a$

AN : $w = 5954\text{N}$

Donc $\tan\alpha = \frac{580.236}{5954} = 0.097 \Rightarrow \alpha = 5.566°$

Donc $dx = l_{ins} \times \sin\alpha = 0.272$

$DS = 2.6 + 1.4 - 0.272 = 3.72$

$3.72 > 2.7 \quad C.V$

- **Dans la fenêtre:**

$ds\ doit\ \hat{e}tre\ \geq Dma + 0.1$

$ds = 6.34 - 2.8 - 1.16 = 1.79\ m$

$1.79 > 1.7$ CV

III.3 Evaluation des charges :

III.3.1 Charges permanentes :

Elle désigne le poids propre de tous les éléments permanents constituant l'ouvrage, les conducteurs, les câbles de gardes et les isolateurs

Le poids propre de notre pylône sera calculé automatiques par le SAP2000

a) Poids propre du conducteur

$$G_{con} = w_{con} \times \frac{l1 + l2}{2}$$

$$G_{con} = 1.574 \times 300 = 472.2\ DaN = 4.722\ KN$$

b) Poids propre du câble de garde

$$G_{gw} = w_{gw} \times \frac{l1 + l2}{2}$$

$$G_{gw} = 0.9 \times 300 = \ \ 270\ DaN = 2.7\ KN$$

c) Poids propre de l'isolateur :

$$G_{ins} = 123.2\ DaN = 1.232\ KN$$

d) Efforts exercés par la glace sur les conducteurs : [EN50341-1, art 4.5.2]

Les charges de glace sur les conducteurs provoquent des efforts verticaux, ainsi que des tensions accrues dans les conducteurs. En prenant en compte les deux portées adjacentes, l'effort vertical exercé par la glace sur un support est pour chaque sous conducteur :

$Q_I = I\ (L_{w1} + L_{w2})\ /2$

Où

- I : est la charge de glace par longueur du conducteur (N/m) ;
- L_{w1} et L_{w2} sont les portées poids des deux portées adjacentes.

A.N

$$Q_I = 2 \times (150 + 150) = 600\ DaN = 6\ KN$$

III.3.2 Charges de vent sur les composants :

- ***Données relatives au site :***
  - Zone de vent : II
  - Vitesse de référence du vent : zone II ($V_{réf}$ = 27 m/s) (cf. tableau A.1.1 RNV99v 2013)
  - Pression de référence : (q_{ref} = 435 N/m²) (cf. tableau 2.2 RNV99v 2013)
  - Site plat : **C_T =1**
  - Catégorie de terrain II (tableau 2.4 RNV99V2013)

- $K_T = 0.19$ $Z_0 = 0.05$ m $Z_{min} = 2$ m $\varepsilon = 0.52$

III.3.2.1 Efforts exercés par le vent sur les conducteurs et les câbles de gardes :

$QWc_V = qp\,(h)\,Gc\,Cc\,d\,cos^2\emptyset\,\frac{(L1+L2)}{2}$ §4.4.1 de NF EN 50341-1 :2012

- qp (h) est la pression dynamique du vent en rafale donnée en §4.3.4 de NF EN50341-1
- h est la hauteur de référence à utiliser pour le conducteur;
- Gc est le coefficient structural pour le conducteur (également appelé facteur de portée) ;
- Cc est le coefficient de traînée (ou coefficient de force) du conducteur ;
- d est le diamètre du conducteur;
- L1, L2 sont les longueurs des deux portées adjacentes ;
- ∅ est l'angle entre la direction du vent et l'axe longitudinal de la console

- **Détermination de la hauteur hors-sol de référence h :** (4.4.1.1, EN 50341-1)

$$h_{eq} = \frac{\sum_{i>1} n_i d_i h_i}{\sum_{i>1} n_i d_i}$$

$$h_{eq} = \frac{(0.03105 * (30.8-4)*3 + 0.0192*(33.3-4)*2)}{(3*0.03105 + 0.0192*2} = 27.530\,m$$

- **Vitesse moyenne du vent :** (4.3.3, EN50341-1)

$$\mathbf{V}_h(\mathbf{h}) = \mathbf{V}_{ref}\mathbf{c}_{\mathrm{dir}}\mathbf{c}_{\mathrm{o}}\mathbf{k}_{\mathrm{r}}\ln\left(\frac{\mathbf{h}}{\mathbf{z}_0}\right)$$

$$V_h(27.35) = 27 \times 1 \times 1 \times 0.19 \times \ln\left(\frac{27.35}{0.05}\right) = 32.375 m/s$$

- **Pression dynamique du vent moyen :**(4.3.3, EN50341-1)

$$\mathrm{q_h(h)} = \frac{1}{2}\rho\, V_h^2(\mathrm{h})$$

$$\mathrm{q_h(h)} = 0.5 \times 1.2 \times 32.375^2 = 628.901\,m$$

- **Intensité de turbulence :** (4.3.4, NF EN 50341-1)

$$\mathrm{lv}\,(h) = 1/\left[c_0 \ln\left(\frac{h}{z_0}\right)\right] = 0.158$$

- **Pression dynamique du vent en rafale** (4.3.4, EN50341-1)

$$\mathrm{q_p(h)} = [1 + 7\mathrm{I_v(h)}].\,\mathrm{q_h(h)} = 1326.462\,Pa$$

- **Echelle de turbulence :**(4.4.1.2, EN50341-1)

$$\mathrm{L(h)} = 300 \cdot (\frac{\mathrm{h}}{200})^{\varepsilon} = 106.975\mathrm{m}$$

- **Coefficient de réponse quasi-statique :** (4.4.1.2, EN50341-1)

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L(h)}} = 0.192$$

- **Coefficient structural :** (4.4.1.2, EN50341-1)

$$G_c = \frac{1 + 2k_p \cdot I_v(h) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7.I_v(h)}$$

- kp = 3 Facteur de pointe
- $R^2 = 0$ Coefficient de réponse résonante

Donc :

Gc = 0.672

- **Coefficient de traînée du conducteur et du câble de garde** §4.4.1.3 méthode 1

Cc = 1

- **Effort transmis au support, exercé par le vent sur chaque conducteur :**

- $\phi = 0°$

$Q_{Wc_v} = q_p(h)G_cC_cd\cos^2\phi L_m = 8300N = 8.3\ KN$

- $\phi = 45°$
- $Q_{Wc_v} = q_p(h)G_cC_cd\cos^2\phi.L_m = 4149.533714 = 4.15\ KN$

- **Effort transmis au support, exercé par le vent sur chaque câble de garde**

- : $\phi = 0°$

$Q_{Wc_v} = q_p(h)G_cC_cd\cos^2\phi L_m = 5131.79 = 5.13\ KN$

- $\phi = 45°$
- $Q_{Wc_v} = q_p(h)G_c.C_cd\cos^2\phi L_m = 2565.895\ N = 2.566\ KN$

III.3.2.2 Efforts exercés par le vent sur les conducteurs et les câbles de gardes avec givre : [EN50341-1 , art 4.6]

L'effort exercé par le vent sur les conducteurs recouverts de glace s'apparente à celui détaillé précédemment :

$$Q_{Wc_v+ice} = qp\ (h)G_c\ C_{ic}\ D\ cos^2\emptyset\ \frac{(L1\ +\ L2)}{2}$$

Avec

- D : est le diamètre équivalent du conducteur recouvert de glace

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4I}{\pi . \rho_I}}$$

- C_{ic} : est le coefficient de traînée pour les conducteurs recouverts de glace

Les valeurs de C_{ic} et ρi

Tableau III. 6: ***Types de glace (EN50341-1,tab 4.5)***

Type de glace	Neige collante	Verglas	Givre léger	Givre compact
C_{ic}	1	1	1.2	1.1
ρi	500	900	300	700

A.N :

Effort transmis au support, exercé par le vent sur chaque conducteur :

- $\phi = 0°$

$$Q_{Wc_v} = q_p(h).G_c.C_c.D.\cos^2\phi.L_m = 16464.494N = 16.464KN$$

- $\phi = 45°$

$$Q_{Wc_v} = q_p(h).G_c.C_c.D.\cos^2\phi.L_m = 8232.24N = 8.232\ KN$$

Effort transmis au support, exercé par le vent sur chaque câble de garde

- $\phi = 0°$

$$Q_{Wc_v} = q_p(h).G_c.C_c.D.\cos^2\phi.L_m = 15128.09\ N\ = 15.128KN$$

- $\phi = 45°$

$$Q_{Wc_v} = q_p(h).G_c.C_c.D.\cos^2\phi.L_m = 7564.045\ N = 7.564\ KN$$

III.3.2.3 Efforts exercés par le vent sur les chaînes d'isolateurs : [EN50341-1,art4.4.2]

Les efforts exercés par le vent sur les chaînes d'isolateurs résultent des efforts exercés par le vent sur les conducteurs, ainsi que de la pression du vent sur les isolateurs eux-mêmes :

L'effort exercé par le vent agissant dans la direction du vent au niveau de chaque point d'accrochage sur le support est donné par l'expression suivante :

$$Q_{Wins} = q_p(h).G_{ins}.C_{ins}.A_{ins}$$

- G_{ins} est le coefficient structural pour la chaîne d'isolateurs. La valeur recommandée est 1,

- C_{ins} est le coefficient de traînée pour la chaîne d'isolateurs. La valeur recommandée est 1,2
- A_{ins} est l'aire de la chaîne d'isolateurs projetée horizontalement sur un plan vertical parallèle à l'axe de la chaîne.

A.N

$$Q_{Wins} = 1326.46 \times 1 \times 1.2 \times (0.127 \times 2.8) = 566.03\ N = 0.566\ KN$$

III.3.3 Effort du vent sur la structure

Catégorie de terrain : II, d'où :

Tableau III. 7: ***Caractéristiques du terrain***

Catégories de terrain II	**Kr**	**Z_0 [m]**	**Z_{min} [m]**	**ε**
Zone à végétation basse telle que l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur.	0,190	0,05	2	0,52

Avec :

- K_T : est le facteur de terrain.
- Z_0 : est le paramètre de rugosité.
- Z_{min}: est la hauteur minimale.
- Z : est la hauteur considérée.
- ε : coefficient utilisé pour le calcul du coefficient C_d.

a) Découpage en tronçons du pylône

Pour les besoins d'optimisation de calcul des pressions sur l'ouvrage, celui-ci est décomposé en six (6) tronçons (éléments) où la pression sera calculée à la hauteur max de chaque tronçon.

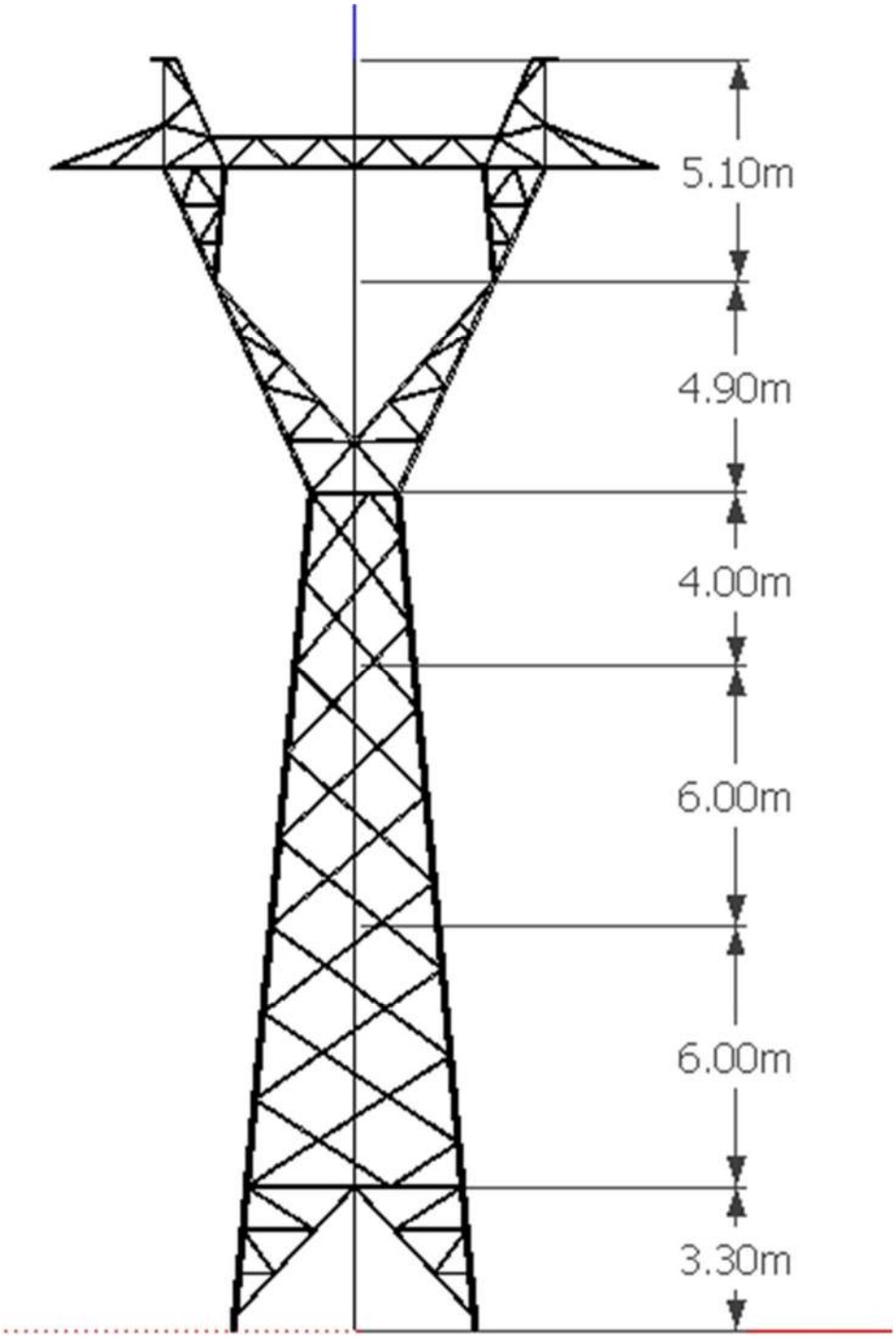


Figure III. 5: ***Découpage de pylône en tronçon***

b) Hauteur équivalente Zeq

$$Z_{eq} = 0.6 \times h$$

$$Z_{eq} = 0.6 \times 29.3 = 17.58 \text{ m}$$

c) Vitesse moyenne Vm

$\boldsymbol{V_m(z) = C_r(z) \times C_t(z) \times V_{ref}}$ $\left(\frac{m}{s}\right)$ [DTR C2-47, A2.1 ; p111]

- **Coefficient d'exposition $\boldsymbol{C_e(z)}$:**

$C_e(z) = C_t^2(z) \times C_r^2(z) \times [1 + 7I_v(z)]$ [DTR C2-47, Art 2.4.1; p 51]

Où :

- C_r : Le coefficient de rugosité.
- C_t : Le coefficient de topographie.
- I_v : l'intensité de la turbulence.
- Z : La hauteur considérée.
- **L'intensité de la turbulence $I_v(z)$:** [DTR C2-47,Art 2.4.6]

$$\begin{cases} I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) \times Ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{pour } z > z_{\min} \\ I_v(z) = \dfrac{1}{C_t(z) \times Ln\left(\dfrac{Z_{min}}{z_0}\right)} & \text{pour } z \leq z_{\min} \end{cases}$$

- Coefficient de rugosité $\boldsymbol{C_r(z)}$:

$$\begin{cases} C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{pour } z_{\min} \leq z \leq 200\text{m} \\ C_r(z) = k_T \times \ln\left(\dfrac{z_{\min}}{z_0}\right) & \text{pour } z < z_{\min} \end{cases}$$

- **Coefficient topographique $\mathbf{C_t(z)}$:** [DTR C2-47,Art 2.4.5]

Le coefficient de topographie Cr(z) prend en compte l'accroissement de la vitesse du vent lorsque celui-ci souffle sur des obstacles tels que les collines, les dénivellations isolées, etc.

$C_t(z)$ est déterminé comme suit :

$$\begin{cases} \mathrm{C_t}(z) = 1 & \text{pour } \phi < 0{,}05 \\ \mathrm{C_t}(z) = 1 + s_{\max} \times \left(1 - \dfrac{|x|}{k_{\mathrm{red}} \times L}\right) \times e^{-\alpha\left(\frac{z}{L}\right)} & \text{pour} \phi \geq 0{,}05 \end{cases}$$

- ϕ est la pente du versant au vent $\phi = \frac{H}{L_u}$
- H (en m) est la hauteur du versant ;
- L (en m) est une longueur caractérisant le versant au vent et prenant la valeur :
  - L= max (0.5L_u ; 2H) ;
- x (en m) est la distance horizontale entre le lieu considéré et la crête de l'obstacle;
- z (en m) est la distance verticale mesurée à partir du niveau du sol au lieu considéré

Notre terrain ne contient aucun obstacle donc elle est plate $C_t(z) = 1$ pour $\phi < 0{,}05$

d) Pression dynamique de pointe q_p (Z_{cl})

$qp\ (Zcl) = q_{réf} \times Ce\ (z)\quad N/m^2$ [DTR C2-47, Art 2.3.1 ; p50]

Tableau III. 8: ***Récapitulatif des valeurs calculées***

H (m)	Zcl (m)	zj (m)	Cr(z)	Ct	Iv(z)	Ce	Vm (m/s)	qp n/m²
3.3	3.3	1.65	0.664336	1	0.286	1.32491	17.9370	576.336
6	9.3	6.3	0.918894	1	0.20677	2.066494	24.8101	898.924
6	15.3	12.3	1.04601	1	0.18164	2.48534	28.2423	1081.12
4	19.3	17.3	1.11082	1	0.17104	2.71132	29.9922	1179.42
4.9	24.2	21.75	1.15431	1	0.1646	2.86768	31.1665	1247.44
5.1	29.3	26.75	1.19363	1	0.15917	3.01228	32.2280	1310.34
29.3		**17.58**	**1.11387**	**1**	**0.17057**	**2.72216**	**30.0746**	**1184.14**

e) Coefficient de force :

Le coefficient de force *Cf* des constructions soumises à un vent perpendiculaire à l'une de leurs faces est donné par : $C_f = C_{f,0} \times \psi_\lambda$ ... ... 4.1 DTR C 2 − 47

Où :

- C_{f0} est le coefficient de force des constructions en considérant un élancement effectif infini ;
- C_{f0} est donné par en fonction du taux de remplissage φ,
- ψ_λ est le facteur d'élancement défini en § 4.1.1.

- **Calcul du coefficient de remplissage :**

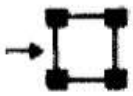
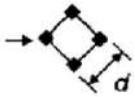
Le coefficient de remplissage est défini par : $\varphi = \frac{A}{A_c}$

Avec :

- A : Est la somme des éléments la face projetée dans le plan de cette face, perpendiculaire à ce plan : $A = \sum_i b_i \cdot l_i$
- A_c : Est la surface totale circonscrite par les limites périphériques de la face, en projection normale à cette dernière.

- **Coefficient de force $C_{f,0}$**

Tableau III. 9: Coefficients de forces Cf.0 d'une structure en treillis spatiale

Direction de vent	$C_{f,0}$
Vent normal à une surface 	$4.0\varphi^2 - 5.9\varphi + 4$
Vent bissectrice 	$(4.0\varphi^2 - 5.9\varphi + 4) \times (1 + 0.75\varphi)$ Avec: $(1 + 0.75\varphi) \leq 1.2$

Les valeurs des coefficient de forces de construction sont présentés au tableaux ci-dessous

Tableau III. 10: ***Coefficients de forces Cf0 Plan XZ***

Tronçon	A	Ac	φ	$Cf_0 0$	$Cf_0 45$
1	1.74428	17.61045	0.09904801	3.45485878	3.71150644
2	2.66455	26.877	0.09913867	3.45439576	3.7112439
3	2.45075	20.259	0.12097093	3.34480739	3.64827573
4	1.64031	9.83	0.16658	3.12817359	3.51899195
5	2.26975	20.9818	0.10817709	3.40856432	3.68511073
6	4.265707	55.1162	0.07739479	3.56733053	3.77440014

Tableau III. 11: ***Coefficients de force Cf0 Plan YZ***

Tronçon	A	Ac	φ	$Cf_0 0$	$Cf_0 45$
1	1.74428	17.61045	0.09904801	3.45485878	3.71150644
2	2.66455	26.877	0.09913867	3.45439576	3.7112439
3	2.45075	20.259	0.12097093	3.34480739	3.64827573
4	1.64031	9.83	0.16658	3.12817359	3.51899195
5	1.41126	8.5186	0.16566815	3.13234165	3.52153859
6	1.27518	5.8051	0.21966684	2.89697971	3.3742575

- **Elancement effectif λ_e**

A l'approche d'un corps solide, l'écoulement de l'air se divise pour le contourner. Moins il y a d'espace libre autour du corps, plus celui-ci offre de résistance à l 'écoulement. L élancement effectif À, caractérise cet espace libre.

$$\lambda_e = \frac{L}{b} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \text{tab } [4.1 \text{ DTR C } 2-47]$$

L : hauteur de la structure L =29.3 m

b : largeur moyenne de la structure : $b = \frac{5.637+2 \quad .477 \quad .8}{4} = 5.7285\ m$

Donc $\lambda_e = \frac{L}{b} = 5.115$

- **Facteur d'effet d'extrémité Ψ_λ :**

Il dépend du taux de remplissage φ de toute la structure du pylône [fig 4.1 DTR C $2-47$] :

$\varphi = \frac{15.035407}{150.67445} = 0.1$ D'où $\Psi_\lambda = 0.98$

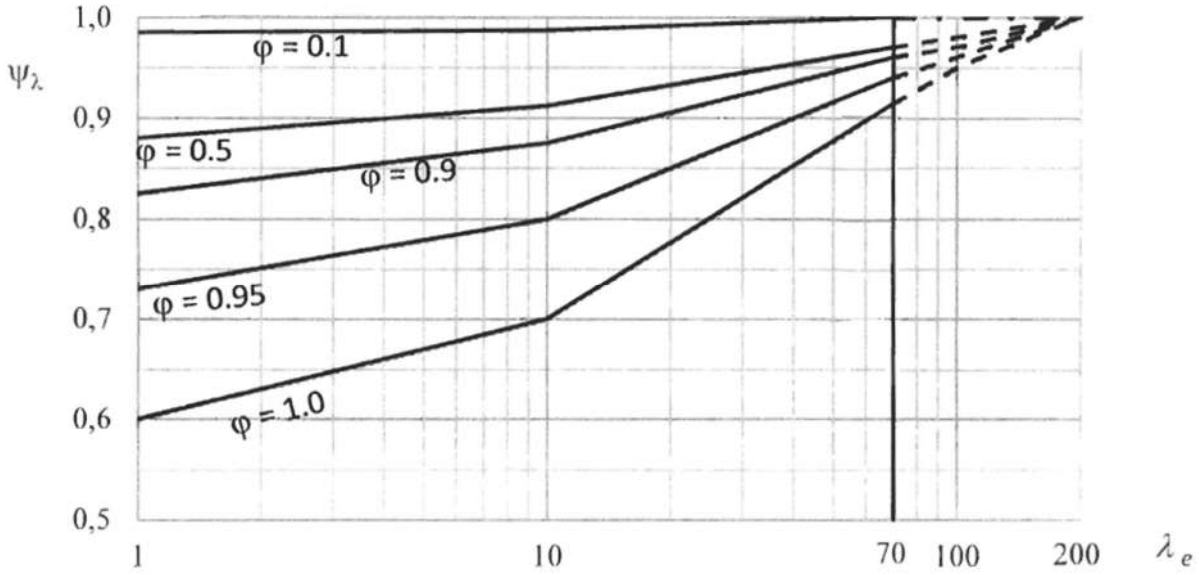


Figure III. 6 : ***Facteur d'élancement***

- **Détermination de coefficient de force de chaque tronçon**

Tableau III. 12 : ***Coefficient de force Cf Plan XZ***

Tronçon	C_{f0}		$C_f = C_{f,0} \times \psi_\lambda$	
	Vent normal à une face	Vent suivant la diagonal	Vent normal à une face	Vent suivant la diagonal
1	3.4548	3.71150644	3.3857	3.6372
2	3.4543	3.7112439	3.3853	3.6370
3	3.3448	3.64827573	3.2779	3.5753
4	3.1282	3.51899195	3.0656	3.4486
5	3.4086	3.68511073	3.3404	3.6114
6	3.5673	3.7744	3.496	3.6989

Tableau III. 13 : ***Coefficient de force Cf Plan YZ***

Tronçon	C_{f0}		$C_f = C_{f,0} \times \psi_\lambda$	
	Vent normal à une face	Vent suivant la diagonal	Vent normal à une face	Vent suivant la diagonal
1	3.4548	3.7115	3.385	3.6372
2	3.4543	3.7112	3.385	3.637
3	3.3448	3.6482	3.2779	3.575
4	3.1281	3.5189	3.0656	3.4486
5	3.1323	3.5215	3.0697	3.4511
6	2.8969	3.3742	2.8390	3.3067

f) Détermination du Coefficient dynamique Cd : | DTRC2-47, Art3.2]

Le Coefficient dynamique dépend de la hauteur de la structure, ainsi que du type de la structure. La structure du bâtiment étant une structure métallique.

Notre structure est un treillis spatiale et sa fréquence propre = 1.4 Hz < 5Hz.
En peux le considère comme un cheminée dont la hauteur est inférieure à 60 m.

Donc $C_d = 1$

g) Calcul des forces à l'aide des coefficient de forces : [C2-47, Art2.6.1]

La force exercé par le vent F_w peut être déterminée directement en utilisant l'expression $F_w = C_d \times C_f \times q_p(z_j) \times A_{ref}$ $[N]$

Tableau III. 14: ***Vent normal à une face XZ (0°)***

	Zj (m)	Aref	Cf0°	Cd	qp (zj)	Fw (N)
Fw1	1.65	1.77428	3.385	1	576.336	3462.217
Fw2	6.3	2.66455	3.385	1	898.9248	8108.591
Fw3	12.3	2.45075	3.278	1	1081.123	8685.031
Fw4	17.3	1.64037	3.066	1	1179.426	5931.019
Fw5	21.75	2.26975	3.340	1	1247.443	9457.933
Fw6	26.75	4.2657	3.496	1	1310.343	19540.909

Tableau III. 15: ***Vent diagonale à une face XZ (45°)***

	Zj (m)	Aref	Cf45°	Cd	qp (zj)	Fw (N)
Fw1	1.65	1.77428	3.637	1	576.336	3719.411
Fw2	6.3	2.66455	3.637	1	898.9248	8711.497
Fw3	12.3	2.45075	3.575	1	1081.123	9473.008
Fw4	17.3	1.64037	3.449	1	1179.426	6672.011
Fw5	21.75	2.26975	3.611	1	1247.443	10225.28
Fw6	26.75	4.2657	3.699	1	1310.343	20675.18

Tableau III. 16: Vent normal à une faceYZ (0°)

	Zj (m)	Aref	Cf0°	Cd	qp (zj)	Fw (N)
Fw1	1.65	1.77428	3.386	1	576.336	3462.21702
Fw2	6.3	2.66455	3.385	1	898.9248	8108.59125
Fw3	12.3	2.45075	3.278	1	1081.123	8685.0305
Fw4	17.3	1.64037	3.066	1	1179.426	5931.01954
Fw5	21.75	1.411269	3.07	1	1247.443	5404.12856
Fw6	26.75	1.275188	2.839	1	1310.343	4743.84811

Tableau III. 17 : ***Vent diagonale à une face YZ (45°)***

	Zj (m)	A_{ref}	***Cf45°***	***Cd***	***qp (zj)***	**Fw (N)**
Fw1	1.65	1.77428	3.637	1	576.336	3719.41129
Fw2	6.3	2.66455	3.637	1	898.9248	8711.49746
Fw3	12.3	2.45075	3.575	1	1081.123	9473.00764
Fw4	17.3	1.64037	3.449	1	1179.426	6672.01146
Fw5	21.75	1.411269	3.452	1	1247.443	6075.59755
Fw6	26.75	1.275188	3.306	1	1310.343	5525.39772

III.3.4 Effort longitudinaux :

a. Cas de rupture d'un conducteur :

$$EDS \begin{cases} m_1 = 1 \\ \theta_1 = 20° \\ T_1 = 3143.482 \end{cases} \qquad hypothèse\ de\ torsion \begin{cases} m_2 = ? \\ \theta_2 = 20° \\ T_2 = \ ? \end{cases}$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{(w^2+v^2)}{w^2}} = \sqrt{\frac{\left(1.574^2+((\frac{8300}{300})^2\right)}{1.574^2}} = 2.022$$

Donc on va calculer la tension de rupture par équation de changement d'état :

$T_2 = 49.746$ KN

b. Cas de rupture d'un câble de garde :

$$T_1 = 0.95 \times \frac{CRA}{5.6} = 0.95 \times \frac{11500}{5.6} = 1950.89DaN$$

$$EDS \begin{cases} m_1 = 1 \\ \theta_1 = 20° \\ T_1 = 1950.89 \end{cases} \qquad hypothèse\ de\ torsion \begin{cases} m_2 = ? \\ \theta_2 = 20° \\ T_2 = \ ? \end{cases}$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{(w^2+v^2)}{w^2}} = \sqrt{\frac{\left(1.574^2+((\frac{5130}{300})^2\right)}{1.574^2}} = 2.147$$

Donc on va calculer la tension de rupture par équation de changement d'état :

$T_2 = 30.6834$ kN

III.3.5 Les cas de charges normalisé [EN50341-1 ,art 4.12.2]

A : Charge de vent dans la direction des armes transversales, conducteurs sans charge de glace.

$$A = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + F_{w.XZ0}$$

B : charge de vent dans le sens de la ligne. Conducteurs sans charge de glace.

$$B = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + F_{w.yZ0} + Q_{wc0}$$

C : Charge de vent à 45°, conducteurs sans charge de glace.

$$C1 = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + F_{w.yZ45} + Q_{wc45}$$

$$C2 = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + F_{w.XZ45} + Q_{wc45}$$

D : Réduction de la charge de vent dans la direction des armes transversales, conducteurs chargés de glace.

$$D = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + 0.4\,F_{w.XZ0} + Q_i$$

E : Réduction de la charge de vent dans la direction de l'alignement, conducteurs chargés de glace.

$$E = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + 0.4\,F_{w.yZ0} + 0.4Q_{wc0+i} \quad + Q_i$$

F : Charge de vent réduite sous 45°, conducteurs chargés de glace.

$$F = C1 = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + Q_i + 0.4\,F_{w.yZ45} + 0.4\,Q_{wc45+ice}$$

I : Charges de construction et de maintenance, conducteurs sans charges de glace.

$$I = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + 1.5\,Q$$

J : Charge accidentelle (rupture d'un câble), conducteurs non chargés de glace, Réduction de la charge de vent.

$$J_i = G + G_{c.g} + G_c + G_{ins} + F_{w.yZ0} + 0.5\,Q_{wc0} + BW_i$$

Tableau III. 18 : ***Coefficients partiels pour les combinaisons des charges*** **[EN50341-1 , tab 4.7]**

Action	Symbole	Coefficient
Actions variables (charges climatiques) : Charge de vent extrême Charge de vent nominale Charge de glace extrême Charge de glace nominale	γw Ψ_W γ_1 Ψ	1,0 0,4 1,0 0,35
Actions permanentes : Poids propre	γ_G	1,0
Charges de sûreté (actions accidentelles) : Charges de torsion dues à la tension dans le conducteur Charges longitudinales dues à la tension dans le conducteur	γ_{A1} γ_{A2}	1,0 1,0
Charges de sécurité Charges de construction et de maintenance [a]	γ_p	1,5

Chapitre IV :

Modélisation et vérification de la structure

IV.1 Introduction

Pour les pylônes en treillis métalliques, le calcul des efforts dans les barres peut se faire par les méthodes connues de statique graphique (diagramme de Cremona) ou par la méthode des moments, tout au moins lorsque le système est isostatique.

Or, pour les lignes à haute tension, tous les pylônes ont un ordre d'hyperstatique tel qu'il est impossible manuellement d'entreprendre le calcul sans adopter des hypothèses simplificatrices : décomposition de la structure en tronçons, répartition égale des efforts dans les panneaux constitutifs de ces tronçons, pour ramener le calcul d'une structure tridimensionnelle à une structure plane.

Ces méthodes sont longues et imprécises car elles supposent des répartitions d'efforts aux points de raccordement des tronçons, valables pour une structure isostatique mais non pour une structure hyperstatique. De plus, du fait du calcul plan, il n'est pas possible de tenir compte aisément des efforts dus à la torsion de la structure, provoquée par les efforts appliqués quelconques (par exemple dus à la rupture d'un conducteur extrême d'un pylône avec armement en nappe).

Les logiciels actuels permettent d'étudier directement des structures réticulées tridimensionnelles hyperstatiques ; ils conduisent, compte tenu d'un catalogue de barres, et d'une silhouette donnée, à la définition des barres optimales suivant les différentes hypothèses de chargement. La vérification sur pylône réel des contraintes dans les barres a démontré la validité complète du calcul sur ordinateur et de l'hypothèse faite d'une articulation des nœuds, mais l'optimisation d'une structure ne peut se faire qu'en considérant une contrainte limite qui, pour les pylônes à haute tension, est toujours une contrainte de flambement sous compression ; or cette contrainte dépend des paramètres géométriques de la barre (section, moment d'inertie, longueur), de ses paramètres physiques (limite d'élasticité), mais aussi de sa fixation sur les autres barres. Les formules de flambement utilisées dérivent de la formule d'Euler (formule de Rankine-Resal) et font intervenir des coefficients variables en fonction du degré d'encastrement de la barre. De plus, lorsque les profilés présentent des sections à inertie variable (pour une cornière, le flambement peut s'opérer, soit selon l'inertie minimale, soit selon l'inertie parallèle), seule l'expérience permet de contrôler les hypothèses.

IV.2 La modélisation

La structure étudiée dans ce projet est un pylône d'alignement, il a une forme carré de 5.637m de côté, et une hauteur total de 29.3m. comme montre la figure ci-dessous

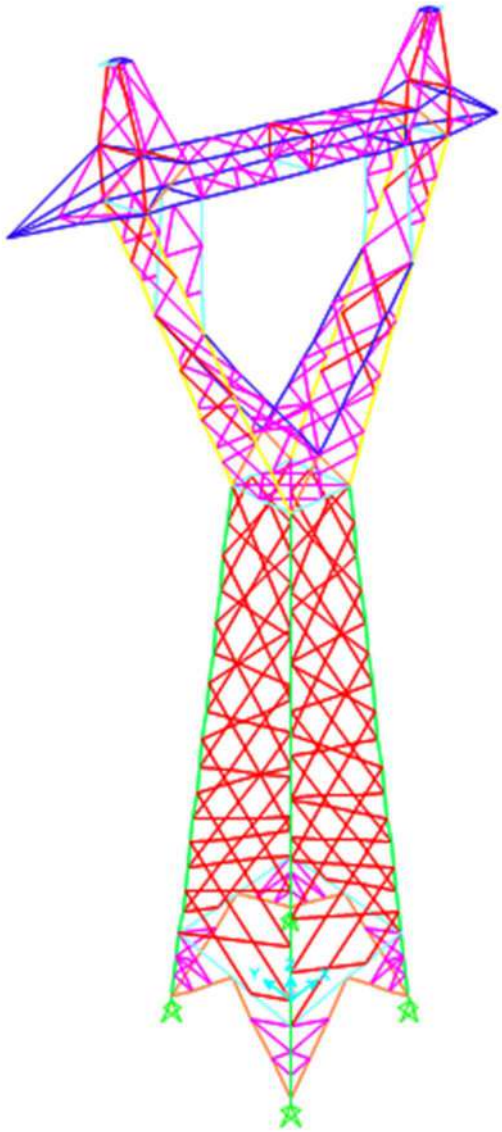


Figure IV.1 ***: modèle du pylône sur SAP2000***

Tous les éléments constituant notre pylône seront des cornières à ailes égales, le matériau utilisé étant l'acier S355J0.

Il est composé des sections de cornières suivantes (repéré par leur couleur sur le modèle) :

Tableau IV. 1 : ***Caractéristiques des profilés utilisés***

Section	Matériau	Surface (cm²)
2L45x5	S355J0	8.605
L45x5		4.303
L50x5		4.803
L60x6		6.909
L70x7		9.397
L80x8		12.267
L90x9		15.52

La modélisation a consisté en :

- La définition des axes de constructions
- La définition des matériaux
- La définition des barres de la structure
- La définition des appuis

Après avoir terminé la modélisation nous sommes passé à la définition des différentes charges calculées.

- La définition des cas de charges ;

- La définition des charges pour les cas de charges définis ;

- La définition des charges de vent sur le pylône ;

Finalement on a utilisé (joint pinned) pour que tous les cornières ne supportent que l'effort axiale (système treillis) comme montre la figure ci-dessous

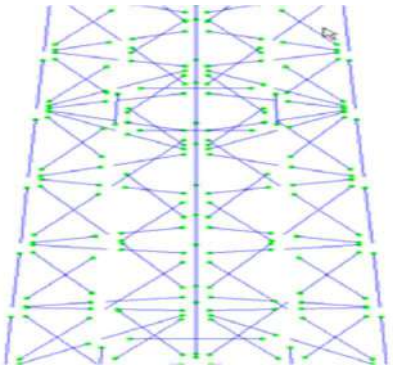


Figure IV. 2: ***Relâchement des nœuds (pinned)***

IV.3 Les résultats :

Après de terminer le calcul sur SAP 2000, on a obtenu les résultats mentionner au tableau ci-dessous.

Ce tableau contient les barres les plus sollicité dans notre structure

Tableau IV. 2 : ***Les forces dans les cornières***

Section	Élément	Longueur (m)	Force Ned (KN)
L 45x5	1929	1.15916	19.464
	229	0.91549	-26.296
	1041	2.82843	4.282
			-7.519
L 50x5	93	1.91	14.663
	16	1	-41.642
	53	2.258	1.71
			-6.67
L 60x6	929	0.71	53.64
	940	1.334	-62.907
	298	2.85	36.715
			2.217
L 70x7	953	0.87	21.265
	1029	0.67	-30.814
	1017	2.489	4.186
			-3.394
L 80x8	1208	0.824	65.639
	1197	0.824	-95.292
	1181	1.347	31.787
			-33.789
L 90x9	1129	0.303	148.465
	1130	0.303	-175.33
	1089	1	65.281
			-53.158
2L 45x5	888	1.5337	53.569
	900	1.5337	-56.522

Note : les valeurs négatives sont pour la compression, et les valeurs positives pour la traction

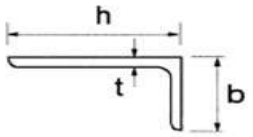
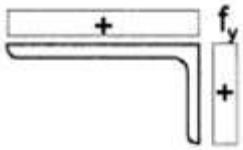
IV.4 Vérifications des éléments :

IV.4.1 Classifications des sections :

Tous les cornières sont de classe 3 ou 4 selon EN50341.1 :2012

Il faut vérifier la condition suivante : $\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$ et $\frac{b+h}{2t} \leq 11{,}5\varepsilon$

Tableau IV. 3: Rapport usuel pour la classification des sections [EC3-1-1, Tab5.2]

	
Classe	Section comprimée
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)	
3	$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$ et $\frac{b+h}{2t} \leq 11{,}5\varepsilon$

Tel que :

Tableau IV. 4 : ***Valeurs de ε [EC3-1-1, Tab5.2]***

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

IV.4.2 Vérification des sections a la traction : [EC3-1-1, Art 6.2.3]

La valeur de calcul de l'effort de traction N_{Ed} dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{t,Rd}}} \leq 1{,}0$$

Tel que : Pour les sections comportant des trous, il convient de prendre la valeur$N_{\mathrm{t,Rd}}$ de calcul de la résistance à la traction égale à la plus petite des valeurs suivantes :

$$N_{t.Rd} = \min(N_{\mathrm{pl,Rd}}, N_{\mathrm{u,Rd}})$$

- La valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute :

$$N_{\mathrm{pl,Rd}} = \frac{Af_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}$$

- La valeur de calcul de la résistance ultime de la section transversale nette au droit des trous de fixation :

$$N_{\mathrm{u,Rd}} = \frac{0{,}9\mathrm{A_{net}}f_{\mathrm{u}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

IV.4.3 Vérification des section a la compression : [EC3-1-1, Art 6.2.4]

La valeur de calcul de l'effort de compression N_{Ed} dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{c,Rd}}} \leq 1{,}0$$

- Il convient de déterminer la valeur de calcul de $N_{\mathrm{c,Rd}}$ la résistance de la section transversale à la compression uniforme de la façon suivante :

$N_{\mathrm{c,Rd}} = \frac{Af_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}$ Pour les sections transversales de Classe 1,2 ou 3

$N_{\mathrm{c,Rd}} = \frac{A_{\mathrm{eff}}f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M0}}}$ Pour les sections transversales de Classe 4

IV.4.4 Vérification au flambement : [EC3-1-1, Art 6.3.1]

Il convient de vérifier une barre comprimée vis-à-vis du flambement de la façon suivante :

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{b,Rd}}} \leq 1{,}0$$

- N_{Ed} est la valeur de calcul de l'effort de compression.
- $N_{b.Rd}$ est la résistance de calcul de la barre comprimée au flambement.

$N_{\mathrm{b,Rd}} = \frac{\chi A_{\ \mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}$ Pour les sections transversales de Classes 1,2 et 3

$N_{\mathrm{b,Rd}} = \frac{\chi A_{\mathrm{eff}}f_{\mathrm{y}}}{\gamma_{\mathrm{M1}}}$ Pour les sections transversales de Classe 4

Tel que selon 7.3.6.2 de EN50341.1 : 2012 :

$$A_{eff} = \rho . A$$

$$\rho = 1 \quad \text{si } \overline{\lambda_p} \leq 0{,}748$$

$$\rho = \frac{\overline{\lambda_p} - 0{,}188}{\overline{\lambda_p}^2} \leq 1 \quad \text{si } \overline{\lambda_p} > 0{,}748$$

$$\overline{\lambda_p} = \frac{(h-2t)/t}{28{,}4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad \text{ou} \quad \overline{\lambda_p} = \frac{(b-2t)/t}{28{,}4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

$$k_\sigma = 0{,}43$$

Dans le cas de barres axialement comprimées, il convient de déterminer$\bar{\lambda}$

$\bar{\lambda} \leq 0{,}2$ ou pour $\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{cr}}} \leq 0{,}04$

. Les effets du flambement peuvent être négligés et seules les vérifications de sections transversales s'appliquent.

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_Y}{N_{cr}}} = \frac{L_{\mathrm{cr}}}{i}\frac{1}{\lambda_1}$ Pour les sections transversales de Classes 1,2 et 3

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{\mathrm{cr}}\sqrt{\frac{A_{\mathrm{eff}}}{A}}}{\mathrm{i}\times\lambda_1}$ Pour les sections transversales de Classe 4

Où :

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_{\mathrm{y}}}} = 93{,}9\varepsilon$$

- L_{cr} : est la longueur de flambement dans le plan de flambement considéré.
- i : est le rayon de giration par rapport à l'axe approprié, déterminé en utilisant les propriétés de section transversale brute.

Lors du calcul de cornières de treillis en compression, et à condition que les membrures procurent aux cornières un encastrement d'extrémité adéquat et que les attaches d'extrémité des cornières assurent un degré de fixation approprié (au moins deux

boulons en cas d'attache boulonnée), les excentricités peuvent être négligées et les encastrements d'extrémité peuvent être pris en compte. L'élancement réduit

$\bar{\lambda}_{\text{eff,}}$ à considérer peut-être calculé de la façon suivante : [EC3-3-1, Tab G.2]

$\bar{\lambda}_{\text{efft},v} = 0{,}35 + 0{,}7\bar{\lambda}_v$ pour le flambement par rapport à l'axe v − v

$\bar{\lambda}_{\text{eff},y} = 0{,}50 + 0{,}7\bar{\lambda}_y$ pour le flambement par rapport à l'axe y − y

$\bar{\lambda}_{\text{eff},z} = 0{,}50 + 0{,}7\bar{\lambda}z$ pour le flambement par rapport à l'axe v − v

IV.4.4.1 Spécifications pour les doubles cornières : [EN50341-1, Art J4.3.4]

Selon annexe J.4 de EN50341.1 :2012 : L'élément peut être traité comme un élément simple en compression avec un élancement virtuel de

$$\lambda_{zi} = \sqrt{\lambda_z^2 + \lambda_1^2 \frac{m}{2}}$$

- m est le nombre de cornières;
- λ_1 est l'élancement d'un sous-élément et est égal à c / ivv;
- c est la distance entre les barrettes de liaison conformément à la Figure IV.3

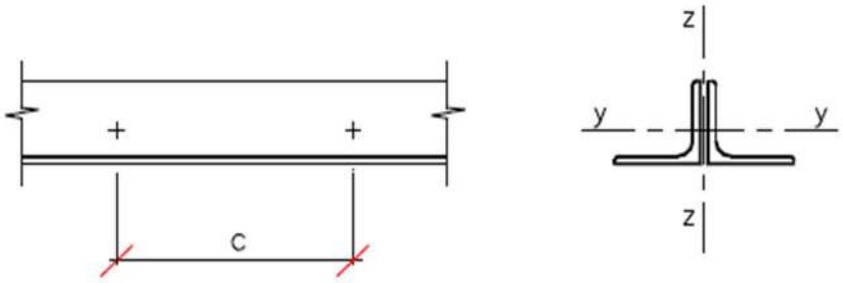


Figure IV. 3: ***cornière dos à dos***

IV.4.4.2 Détermination de χ :

$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$ mais $\chi \leq 1{,}0$

où :

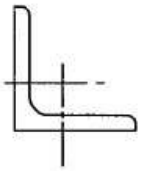
$\Phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

Il convient de prendre dans le Tableau IV.5 le facteur d'imperfection a correspondant à la courbe de flambement appropriée tirée du Tableau IV.6.

Tableau IV. 5 : ***Facteur d'imperfection α [EC3-1-1, tab 6.3]***

Courbe de flambement	a_0	a	*b*	c	*d*
Facteur d'imperfection α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tableau IV. 6: ***Courbe de flambement [EC3-1-1 , tab 6.2]***

Sections transversale	Flambement selon axe	Courbe de flambement
	Quelconque	b

IV.4.5 Quelques exemples de vérifications des sections :

IV.4.5.1 Vérification a la traction (section L 45 5 / barre 1929)

$$\frac{N_{\text{ed}}}{N_{\text{t,Rd}}} = \frac{19.464}{N_{\text{t,Rd}}} \leq 1{,}0$$

$$N_{\text{pl,Rd}} = \frac{Af_{\text{y}}}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{4.303 \times 355}{1}$$

$$N_{\text{pl,Rd}} = 152.7565 \text{ KN}$$

$$\frac{19.464}{152.7565} = 0.1274184 \leq 1 \qquad \text{C.V}$$

IV.4.5.2 Vérification a la compression (section L 90 9 / barre 1130)

$$\frac{N_{\text{ed}}}{N_{\text{c,Rd}}} = \frac{175.33}{N_{\text{c,Rd}}} \leq 1{,}0$$

$$N_{\text{c,Rd}} = \frac{Af_{\text{y}}}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{8.605 \times 355}{1}$$

$$N_{\text{c,Rd}} = 550.96 \text{ KN}$$

$$\frac{175.33}{550.96} = 0.318226 \qquad \leq 1 \qquad \text{C.V}$$

IV.4.5.3 Vérification au flambement (section L 70 7/ barre 1017)

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{b,Rd}}} \leq 1{,}0$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{\text{cr}}\sqrt{\frac{A_{\text{eff}}}{A}}}{\text{iv} \times \lambda_1} = \frac{2.489 \times 1}{0.1 \times 1.374 \times 76.4} = 2.371$$

$$\bar{\lambda}_{\text{efft},v} = 0{,}35 + 0{,}7 \times 2.371 = 2.01$$

$$\Phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda}_{\text{efft},v} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_{\text{efft},v}{}^2\right]$$

$$= 0{,}5[1 + 0.34(2.01 - 0{,}2) + 2.01^2]$$

$$= 2.827$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$= \frac{1}{2.827 + \sqrt{2.827^2 - 2.01^2}}$$

$$= 0.208$$

Donc

$$N_{\text{b,Rd}} = \frac{\chi A_{\text{eff}} f_{\text{y}}}{\gamma_{\text{M1}}}$$

$$= \frac{0.208 \times 9.397 \times 355}{1}$$

$$N_{\text{b,Rd}} = 69.272 \text{ KN}$$

$$\frac{3.394}{69.272} = 0.049 \leq 1{,}0 \qquad \text{C. V}$$

Vu qu'on a plusieurs sections et barres à vérifier, on a préféré de regrouper tous les résultats obtenus après le calculs des déférents sollicitations dans le tableau suivant :

Tableau IV. 7 ***Récapitulatifs des résultats***

	Vérification des section			**Vérifications de stabilité des barre au flambement**								
Ned (KN)	Section cm²	Npl.rd (KN)	Taux	iv (cm)	α	λ1	$\bar{\lambda}_v$	$\bar{\lambda}_{\text{eff}}$	φ	X	Nb.rd	Taux
19.464	4.303 L45x5	152.756	13%	0.874	0.34	76.4						
-26.296			17%				1.37	1.31	1.55	0.42	64.50	41%
4.282			3%									
-7.519			5%				4.24	3.32	6.52	0.08	12.58	60%
14.663	4.803 L50x5	170.506	9%	0.979								
-41.642			24%				1.34	1.29	1.51	0.43	73.96	56%
1.71			1%									
-6.67			4%				3.02	2.46	3.92	0.14	24.48	27%
53.64	6.909 L60x6	245.269	22%	1.176								
-62.907			26%				1.48	1.39	1.67	0.39	94.73	66%
36.715			15%									
2.217			1%									
21.265	9.397 L70x7	333.593	6%	1.374								
-30.814			9%				0.64	0.80	0.92	0.73	242.34	13%
4.186			1%									
-3.394			1%				2.37	2.01	2.83	0.21	69.27	5%
65.639	12.267 L80x8	435.478	15%	1.571								
-95.292			22%				0.69	0.83	0.95	0.71	307.19	31%
31.787			7%									
-33.789			8%				1.12	1.14	1.30	0.51	223.96	15%
148.465	15.52 L90x9	550.96	27%	1.768								
-175.33			32%				0.22	0.51	0.68	0.88	485.45	36%
65.281			12%									
-53.158			10%				0.74	0.87	0.99	0.68	375.50	14%
53.569	8.605 2L45x5	305.477	18%	0.874								
-56.522			19%				1.17	1.17	1.35	0.50	151.28	37%

IV.5 Les assemblages :

IV.5.1 Introduction :

Les assemblages sont des éléments structuraux très importants en charpente métallique. Leur conception ainsi que le moyen de fixation utilisé, doivent impérativement permettre la transmission d'efforts internes d'une barre à l'autre tels que définis dans la note de calcul.

Il est indispensable de connaitre les caractéristiques des moyens d'assemblages afin de choisir le type le mieux adapté à la structure, et d'imaginer des assemblages simples, facilement réalisables et par conséquent plus économiques. [7]

IV.5.2 Rôles d'assemblages :

Un assemblage est un dispositif qui assemble et solidarise deux ou plusieurs pièces entre elles.
Son rôle est d'assurer la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces.
Lors de cette transmission et répartition, il ne doit pas avoir génération de sollicitations parasites notamment de torsion.

Les assemblages sont classés en :

- Assemblages articulés (transmission de N & T et non M)
- Assemblages encastrés ou rigides (transmission de N, T & M).

On peut néanmoins considérer :

• qu'un assemblage par cornières d'âme comme celui de la figure IV.4 est une articulation ou « un assemblage articulé »,

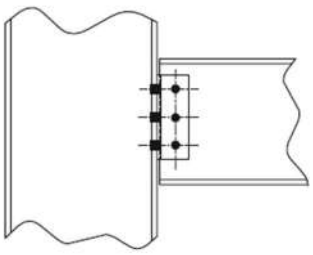


Figure IV. 4: Assemblage considéré comme articulé [7]

• qu'un assemblage par platine d'about de forte épaisseur soudée sur l'âme et sur les ailes avec raidisseurs (voir figure IV.5) est un encastrement ou « un assemblage rigide ».

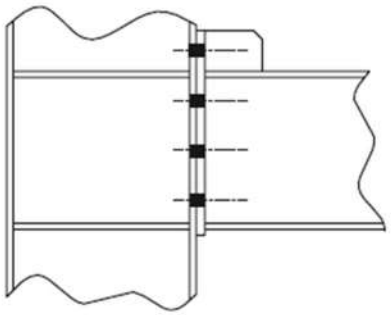


Figure IV. 5 : Assemblage considéré comme rigide [7]

IV.5.3 Fonctionnement des assemblages :

L'assemblage se fait principalement par :

- Rivetage. (Ouvrage ancien, n'est plus guère usité)
- Boulonnage.
- Soudage.
- Collage (non usité actuellement, car la technique, bien que très performante, est difficile à mettre en œuvre et non réglementée).

Le boulonnage et le soudage sont les plus utilisés en construction métallique.

Le montage des structures en acier fait appel aux deux derniers types (boulonnage et soudage). L'utilisation de ces deux types est largement répandue et il arrive même qu'ils soient utilisés dans un même assemblage. Cela dit, La soudure demande un équipement relativement important, des opérateurs chevronnés et des méthodes d'inspection assez compliquées, en plus elle doit être réalisée en atelier. Cependant, les boulons sont des éléments préfabriqués dont la pose se fait au moyen d'un équipement simple sur chantier et dont l'inspection ne requiert pas une formation poussée et dès qu'il y a nécessité de maintenance, on utilise cette technique qui permet d'éviter les déformations locales dues au soudage et d'avoir des structures facilement démontable.

Ainsi, les assemblages adoptées dans la conception de pylône sont les assemblages boulonnés, vu les différents avantages qu'ils représentent.

IV.5.4 Type d'assemblages boulonnés utilisés dans les pylônes :

Les assemblages boulonnés sont classés selon les types d'efforts produits dans les connecteurs, c'est-à-dire la traction, le cisaillement ou double cisaillement et la combinaison de traction et de cisaillement.

On distingue trois types d'assemblages applicables aux pylônes :

- Assemblage par couvre joint.

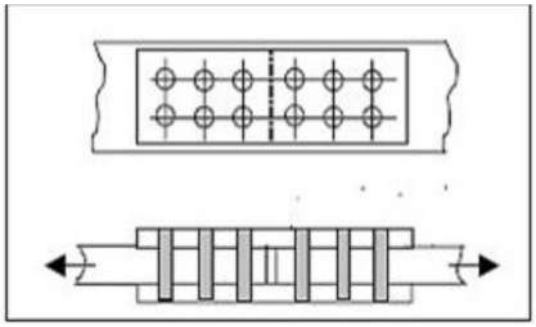


Figure IV. 6 : ***Assemblage par couvre-joint***

- Assemblage par gousset : une pièce de charpente métallique reliant par assemblage de plusieurs cornières et donnant de la rigidité à cet ensemble.

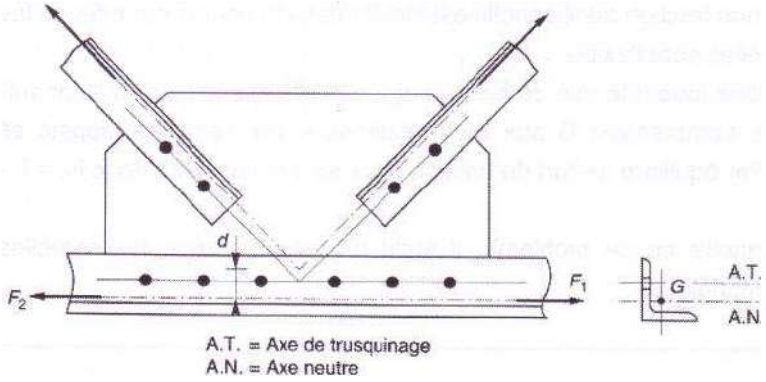


Figure IV. 7 : ***Assemblage par gousset***

- Assemblage par recouvrement

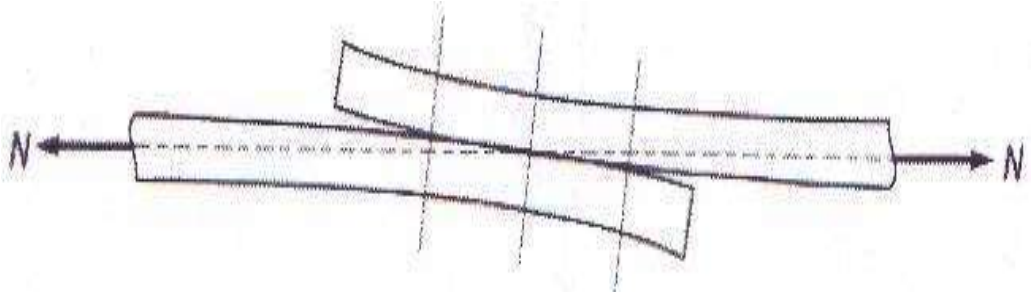


Figure IV. 8 : ***Assemblage par recouvrement***

IV.5.5 Vérification des assemblages :

IV.5.5.1 Choix des diamètres des boulons [5] :

Pour des raisons pratiques on évite toujours la mise en œuvre dans un même assemblage des boulons de diamètre déférents ; le choix du diamètre se feras en déterminants leurs résistances tout en étant proportionnel à l'épaisseur des pièces assemblées comme suite :

- $t \leq 10$ mm d = (12 ; 16) mm
- $10 \leq t \leq 25$ mm d = (16 ; 20 ; 24) mm
- $t \geq 25$ mm d = (24 ; 27 ; 30) mm

- Pour notre pylône tous les barres sont d'épaisseur inferieur a 10 mm donc on est choisi
- d = 12mm pour L45X45 , 2L45X45 L50X50
- d= 16 mm pour L60X6, L70x7, L80X8 et L90X9

- Les boulons sont des boulons ordinaire de classe 6.8 (mentionner dans le chapitre I : Généralité)

IV.5.5.2 Disposition constructive des boulons

Les règles à respecter pour la réalisation des assemblages boulonnés en ce qui concerne les pas (distances entre boulons) et les pinces (distance entre les boulons et le bord des pièces). Les notations sont celles de la figure IV.9. Les distances usuelle minimales sont définis au tableau IV.8

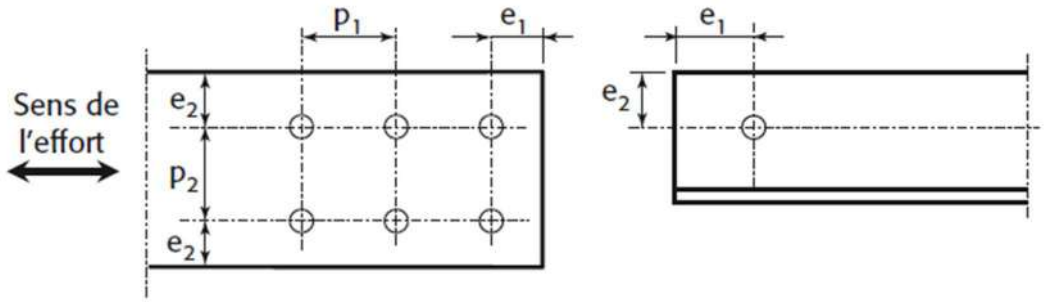


Figure IV. 9 : Disposition constructive [7]

L'eurocode3 (§6.5.1) donne les valeurs minimales suivantes :

$e_1 = 1.2.d_0$, $e_2 = 1.5\ d_0$, $p_1 = 2.2\ d_0$ et $p_2 = 3.d_0$

d_0 est le diamètre des trous. 13 mm pour M12 et 18 pour M16

Tableau IV. 8 : Entraxe des boulons et pince [7]

Boulon	Valeurs minimales (mm)			Valeurs usuelles (mm)		
	p_1, p_2	e_1	e_2	p_1, p_2	e_1	e_2
M12	35	20	15	40	25	20
M16	40	25	20	50	35	25

IV.5.5.3 Assemblage par cornière :

L'assemblage est fait avec une cornière pour couvre joint avec un fil de 8 boulons de chaque côté comme indique la figure (Figure IV. 10)

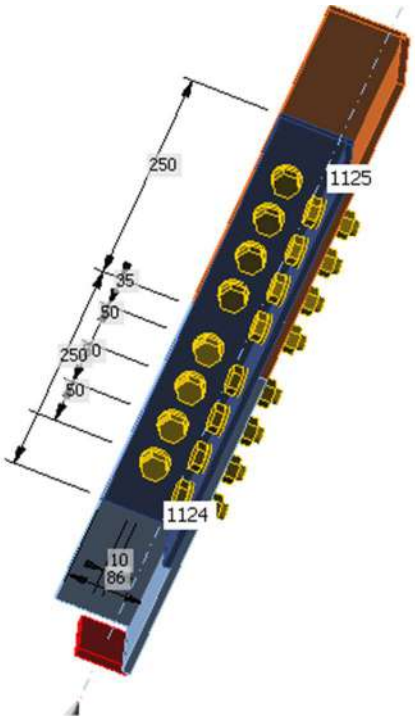


Figure IV. 10 : Deux cornières L90X9 attaché par une cornière L80X8

- **Effort sollicitant :**

N_{Ed} = 136.367 KN

- **Résultat pour les boulons :**

$F_{v.Ed} = N_{Ed}/8$ = 17.05 KN

- **Vérification de la résistance au cisaillement (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

- f_{ub} *: résistance à la traction ultime du boulon*
- *A : Zone d'effort de traction du boulons égale à 157mm²*
- $\gamma M2 = 1.25 \quad facteur\ de\ sécurité$
- $\alpha_v = 0.5 \quad facteur\ de\ réduction$

A.N

$F_{\mathrm{v,Rd}} = 37.7\ KN > 17.05\ KN\ c.v$

- **Vérification de la résistance à la pression diamétrale (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$$

- *pour les boulons de rive*

$$\begin{cases} k_1 = \min\left\{1.4\frac{p_2}{d_0} - 1.7\ , 2.8\frac{e_2}{d_0} - 1.7\ , 2.5\right\} \\ \alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3d_0}\ , \frac{f_{ub}}{f_u}\ , 1\right\} \end{cases}$$

- *pour les boulons interieur*

$$\begin{cases} k_1 = \min\left\{1.4\frac{p_2}{d_0} - 1.7\ , 2.5\right\} \\ \alpha_b = \min\left\{\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\ , \frac{f_{ub}}{f_u}\ , 1\right\} \end{cases}$$

Donc

- $K_1 = 2.5$
- $\alpha_b = 0.68$
- t = 8 mm
- d = 16 mm Diamètre nominal de fixation

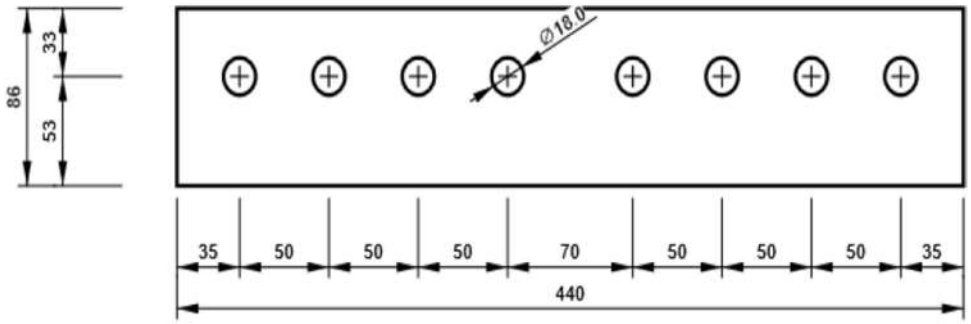


Figure IV. 11 : ***dispositions des boulons***

AN.

$F_{b,Rd} = 88.2\ KN > 17.05\ KN \quad c.v$

- **Vérification de la résistance au cisaillement bloc des assemblages boulonnés**

Pour une cornière dotée d'un groupe de boulons soumis à une charge excentrée, la résistance de calcul au cisaillement bloc Veff,2, Rd est donnée par [EN50341-1 , Art J.5.2] :

$$V_{eff,2,Rd} = 0{,}80(\frac{f_u A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{0{,}5 f_u A_{gv}}{\gamma_{M2}})$$

Pour une cornière à une file de boulons, et à l'aide des symboles de la Figure IV.12, l'aire nette soumise à la traction est à calculer comme suit :

$$A_{nt} = t(e_2 - \frac{d_0}{2})$$

Pour une cornière à une file de boulons, l'aire de la section brute soumise au cisaillement est à calculer comme suit :

$$A_{gv} = t[e_1 + P_1(n-1)]$$

- n : est le nombre des boulons

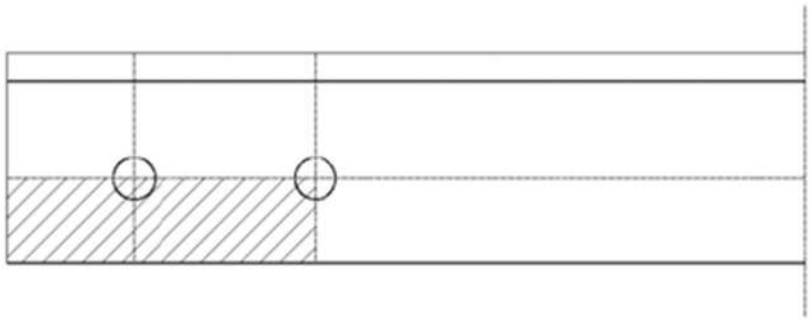


Figure IV. 12 : ***Cisaillement bloc des cornières***

A.N.

A_{nt} = 8 x (35-18/2) = 208mm²

A_{gv} = 8(35+50x7) = 3080mm²

$V_{eff,2,Rd} = 570.574\ KN > N_{Ed} = 136.4\ KN \quad C.V$

Donc l'assemblage est satisfaisant vis-à-vis de la norme NF-EN1993-1-8

.

IV.5.5.4 Assemblage par gousset :

Pour assembler plusieurs cornières des différents directions on doit utiliser une platine d'assemblage pour réaliser un gousset.

- **Emplacement des goussets :**

Les gousset sont situé comme indique la figure

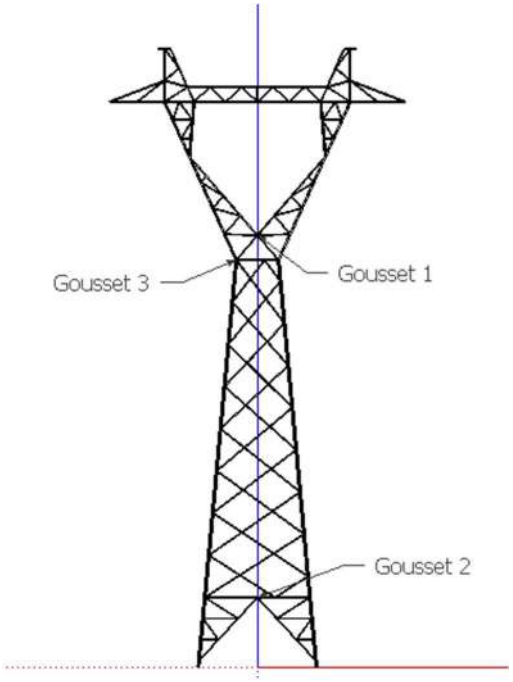


Figure IV. 13 : ***Emplacement des goussets dans le pylône***

A. Gousset 1 :

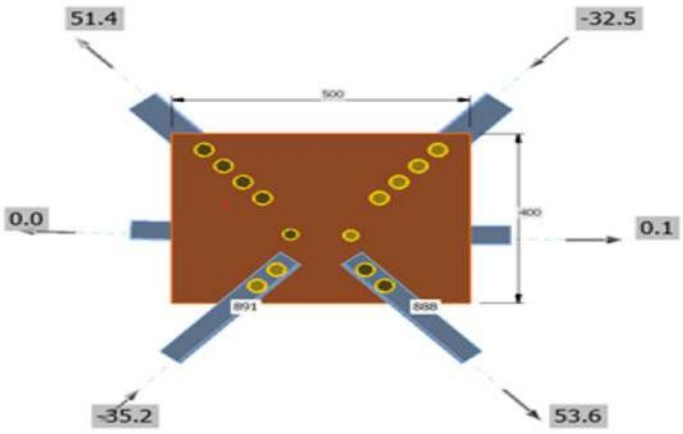


Figure IV. 14 ***: six cornières assemblés par le gousset*** **1**

- **Effort sollicitant :**

Barre 888 : N_{Ed} = 53.569 KN

Barre 1757 : N_{Ed} = 0.12 KN

Barre 1769 : N_{Ed} = 0 KN

Barre 887 : N_{Ed} = 51.393 KN

Barre 890 : N_{Ed} = -32.541 KN

Barre 891 : N_{Ed} = -35.217 KN

- **Disposition des barres**

Tableau IV. 9 : Caractéristiques des barres dans gousset1

Barre	Section	Angle
888	2L(L45X5)	49.2
-1757	L45X5	-2.4
1769	L45X5	-2.4
887	L60X6	-49.2
890	L60X6	-49.2
891	2L(L45X5)	49.2

- **Vérification globale de la section transversale du gousset :**

➢ **Résistance à la traction :**

$N_{g,Ed} < min\,(N_{g.pl.Rd}, N_{g.u.Rd})$

$N_{g.pl.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$N_{g.u,Rd} = \frac{0.9 A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

AN.

$N_{g.pl.Rd} = 4000 \times 355 = 1420\ KN$

$N_{g.u,Rd} = 0.212\ A_{net}\ KN$

- **Calcul de A_{net}**

$$A_{net} = A - ndt + \sum_i \frac{s_i^2}{4p_i} t$$

- d : nombre de trous dans la ligne.
- s : distance longitudinale entre deux boulons successif. (// au chargement).
- p : distance transversale entre deux boulons successif. ($\perp$ au chargement).

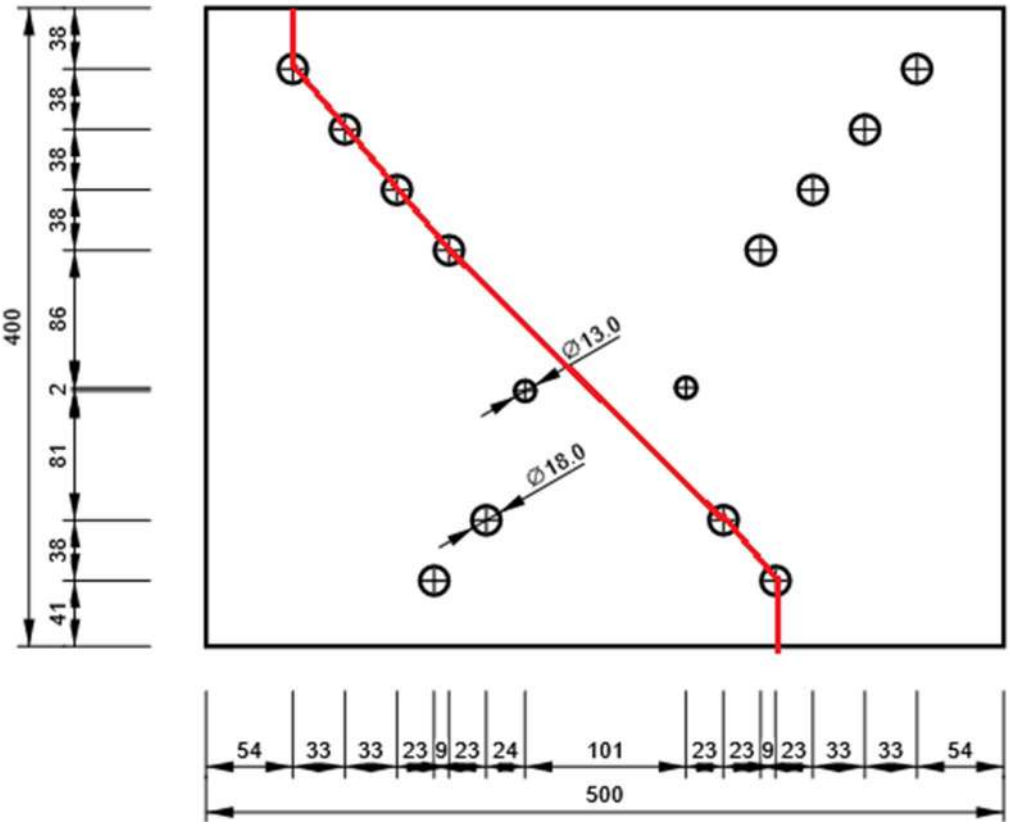


Figure IV. 15 : ***ligne de rupture du gousset***

A.N :

$$A_{net} = 3655.06\ mm^2$$

Donc :

$$N_{g.u,Rd} = 1342.13\ KN$$

Alors :

$$V_{g.Rd} = \min(\ 1420\ ,\ \ 1342.13\ )\ =\ \ 1342.13\ KN$$

Calcul de $N_{g.\ Ed}$:

$$N_{g,Ed} = \sum_{i=1}^{n} N_{i.Ed} \cos(\alpha_i)$$

$$N_{g,Ed} = 13.885\ kN$$

Donc :

$V_{g,Ed} \ll N_{g.u,Rd}$ Le critère est vérifié

- **Résistance au cisaillement :**

$$V_{g,Ed} < V_{g.pl.Rd}$$

$N_{g.pl.Rd} = \frac{A \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$

$N_{g.pl.Rd} = 819.84$ KN

$$V_{g,Ed} = \sum_{i=1}^{n} N_{i.Ed} \sin(\alpha_i)$$

$V_{g,Ed} = 65.175\ KN$

$V_{g,Ed} < V_{g.pl.Rd}$ Le critère est vérifié

IV.5.5.4.1 Vérification par IDEA STATICA

Pour les vérifications des boulons et même les vérification des assemblages complexes comme les goussets, on a utilisé un logiciel de vérification des assemblages qui travaille par la méthode des élément fini s'appelle IDEA statica.
IDEA StatiCa Connection conceptualise et vérifie les assemblages soudés ou boulonnés, assemblages 2D et 3D, ancrages ou bases de toutes les topologies. Ils proposent des vérifications claires réussite/échec selon les normes EC/AISC/CISC dans un rapport complet avec dessins. L'analyse utilise la méthode unique CBFEM basée sur les éléments finis. La modélisation utilise un modèle de matériau élastique-plastique pour tous les composants de l'assemblage – plaques, éléments, boulons et soudures. Les boulons précontraints et le comportement plastique des soudures sont aussi pris en compte.

L'analyse de contrainte et déformation de tous les attaches et assemblages. La charge est appliquée par incréments, la contrainte et la déformation correspondantes sont calculées et évaluées. L'analyse linéaire de stabilité des éléments de l'attache. Le coefficient de charge critique avec les formes de déviation correspondantes. La rigidité rotative et axiale de l'assemblage (rigide, semi-rigide et articulé) et les caractéristiques de l'assemblage – rigidité

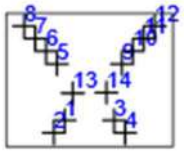
initiale. Vérifications sismiques. Le calcul itératif du chargement de conception de l'assemblage.

- **Vérification des boulons de gousset 1 :**

IDEA statica permet d'obtenir l'effort de traction et de cisaillement dans chaque boulons, par la suite on va vérifier deux boulons manuellement pour voir l'efficacité de ce logiciel

Les résultats obtenu sont donnés dans le tableau :

Tableau IV. 10 : ***Résultat de calcul des boulons gousset 1***

	Nom	Classe	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	Ut_t [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	Ut_s [%]	Ut_{ts} [%]	Résultat
	B1	M16 6.8	12.1	14.5	17.9	38.1	38.6	51.3	OK
	B2	M16 6.8	4.4	14.7	6.4	50.0	38.9	43.5	OK
	B3	M16 6.8	3.8	8.9	5.6	49.4	23.5	27.5	OK
	B4	M16 6.8	5.9	9.1	8.7	47.6	24.2	30.4	OK
	B5	M16 6.8	6.8	9.2	10.0	87.8	24.5	31.7	OK
	B6	M16 6.8	10.5	8.0	15.4	53.5	21.1	32.1	OK
	B7	M16 6.8	9.3	8.0	13.7	82.4	21.1	31.0	OK
	B8	M16 6.8	8.2	9.1	12.2	96.9	24.2	32.9	OK
	B9	M16 6.8	27.5	14.2	40.6	54.2	37.7	66.7	OK
	B10	M16 6.8	0.8	12.6	1.1	53.5	33.5	34.3	OK
	B11	M16 6.8	2.4	12.3	3.6	53.4	32.7	35.2	OK
	B12	M16 6.8	4.0	12.6	5.9	53.6	33.4	37.7	OK
	B13	M12 6.8	4.7	0.5	12.9	32.9	2.4	11.6	OK
	B14	M12 6.8	5.2	0.1	14.2	32.0	0.5	10.7	OK

- **Vérification de boulon B6 :**

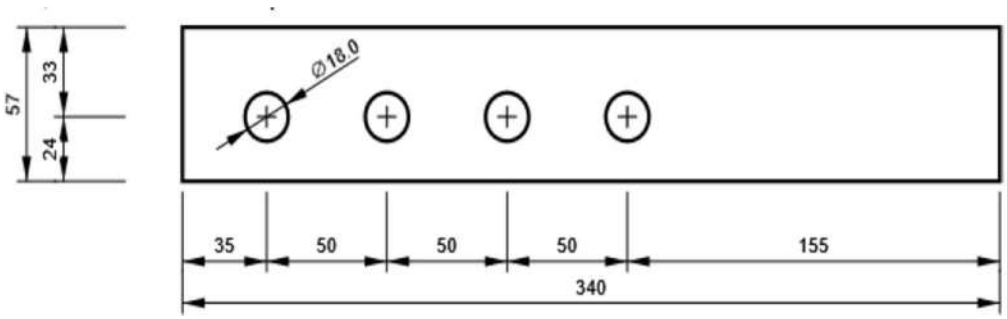


Figure IV. 16 : disposition constructive des boulons dans la barre L60X6

- **Vérification de la résistance à la traction (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$F_{t.Ed} < F_{t.Rd}$

$F_{t.Ed} = 10.5\ KN$

$$F_{\mathrm{t,Rd}} = \frac{k_2 f_{\mathrm{ub}} A_{\mathrm{s}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

- k_2=0,63pour un boulon à tête fraisée sinon $k_2 = 0.9$
- As = 157 mm^2
- F_{ub} = 600 MPa

AN

$$F_{\mathrm{t,Rd}} = \frac{0.9 \times 600 \times 157}{1.25} = 67.824\ KN$$

Donc

$F_{t.Ed} < F_{t.Rd}$ *C.V*

- **Vérification de la résistance par poinçonnement (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} > (F_t = 10.5\ KN\ )$$

- d_m = 25.86 , Le moyen des diamètres des cercles inscrit et circonscrit de la tête de boulon ou écrou
- t_p= 6 mm épaisseur de la pièce assemblé
- f_u = 510 MPa

A.N

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \times 3.14 \times 25.86 \times 6 \times 510}{1.25} = 119.327\ KN$$

119.327 KN > 1.5 KN C.V

- **Vérification de la résistance au cisaillement (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$F_{v.Ed} = 8\ KN$

$$F_{\mathrm{v,Rd}} = \frac{\alpha_{\mathrm{v}} f_{\mathrm{ub}} A}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

- f_{ub} *: résistance à la traction ultime du boulon*
- *A : Zone d'effort de traction du boulons égale à 157mm²*
- $\gamma M2 = 1.25 \quad facteur\ de\ sécurité$
- $\alpha_v = 0.5 \quad facteur\ de\ réduction$

A.N

$F_{\mathrm{v,Rd}} = 37.7\ KN > 8\ KN \quad C.V$

- **Vérification de la résistance à la pression diamétrale (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$$

- *pour les boulons de rive* $\begin{cases} k_1 = \min\left\{1.4\frac{p_2}{d_0} - 1.7\ , 2.8\frac{e_2}{d_0} - 1.7\ , 2.5\right\} \\ \alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3d_0}\ , \frac{f_{ub}}{f_u}\ , 1\right\} \end{cases}$

- *pour les boulons interieur* $\begin{cases} k_1 = \min\left\{1.4\frac{p_2}{d_0} - 1.7\ , 2.5\right\} \\ \alpha_b = \min\left\{\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\ , \frac{f_{ub}}{f_u}\ , 1\right\} \end{cases}$

Donc

- $K_1 = 2.033$
- $\alpha_b = 0.68$
- t = 6 mm
- d = 16 mm Diamètre nominal de fixation

A.N.

$$F_{b,Rd} = \frac{2.033 \times 0.68 \times 510 \times 16 \times 6}{1.25} = 37.7\ KN > 8\ KN \quad C.V$$

- **Interaction de la traction et du cisaillement (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1{,}4F_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

A.N :

$$\left(\frac{8}{37.7}\right) + \left(\frac{10.5}{1.4 \times 67.84}\right) = 0.323 < 1 \qquad C.V$$

- **Vérification de boulon B13 :**

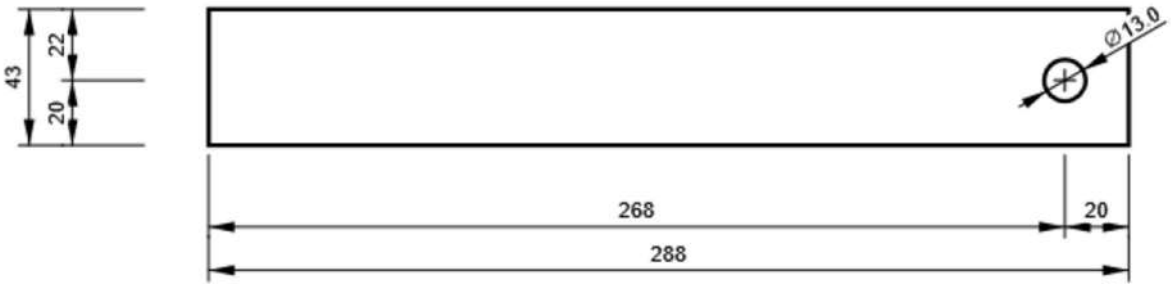


Figure IV. 17 : disposition constructive des boulons dans la barre L45X5

- **Vérification de la résistance à la traction (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$F_{t.Ed} < F_{t.Rd}$

$F_{t.Ed} = 4.7\ KN$

$$F_{\mathrm{t,Rd}} = \frac{k_2 f_{\mathrm{ub}} A_{\mathrm{s}}}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

- $k_2 = 0{,}63$ pour un boulon à tête fraisée , sinon $k_2 = 0.9$
- $As = 84\ mm^2$
- $F_{ub} = 600$ MPa

AN

$$F_{\mathrm{t,Rd}} = \frac{0.9 \times 600 \times 84}{1.25} = 36,288KN$$

Donc

$F_{t.Ed} < F_{t.Rd} \quad C.V$

- **Vérification de la résistance par poinçonnement (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} > (F_t = 4.7\ KN\ )$$

- $d_m = 19.39$, Le moyen des diamètres des cercles inscrit et circonscrit de la tête de boulon ou écrou
- $t_p = 5$ mm épaisseur de la pièce assemblé
- $f_u = 510$MPa

A.N

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \times 3.14 \times 19.39 \times 5 \times 510}{1.25} = 75.56\ KN$$

75.56 KN > 4.7 KN C.V

- **Vérification de la résistance au cisaillement (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$F_{v.Ed} = 0.5KN$

$$F_{\mathrm{v,Rd}} = \frac{\alpha_{\mathrm{v}} f_{\mathrm{ub}} A}{\gamma_{\mathrm{M2}}}$$

- f_{ub} *: résistance à la traction ultime du boulon*
- *A : Zone d'effort de traction du boulons égale à 84mm²*
- $\gamma M2 = 1.25 \quad facteur\ de\ sécurité$
- $\alpha_v = 0.5 \quad facteur\ de\ réduction$

A.N

$F_{\mathrm{v,Rd}} = 20.16\ KN > 0.5\ KN \quad c.v$

- **Vérification de la résistance à la pression diamétrale (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$$

- *pour les boulons de rive* $\begin{cases} k_1 = \min\left\{1.4\frac{p_2}{d_0} - 1.7\ , 2.8\frac{e_2}{d_0} - 1.7\ , 2.5\right\} \\ \alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3d_0}\ , \frac{f_{ub}}{f_u}\ , 1\right\} \end{cases}$

- *pour les boulons interieur* $\begin{cases} k_1 = \min\left\{1.4\frac{p_2}{d_0} - 1.7\ , 2.5\right\} \\ \alpha_b = \min\left\{\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\ , \frac{f_{ub}}{f_u}\ , 1\right\} \end{cases}$

Donc

- $K_1 = 2.5$
- $\alpha_b = 0.52$
- t = 5 mm
- d = 12 mm Diamètre nominal de fixation

A.N.

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0.52 \times 510 \times 12 \times 5}{1.25} = 31.824KN > 0.5\ KN \quad C.V$$

- **Interaction de la traction et du cisaillement (EN 1993-1-8 tab 3.4) :**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1{,}4F_{t,Rd}} \leq 1{,}0$$

A.N

$$\left(\frac{0.5}{20.16}\right) + \left(\frac{4.7}{1.4 \times 36.288}\right) = 0.117 < 1 \qquad C.V$$

- **Conclusion :**

Les résultats qu'on a calculés manuellement sont très proche des résultats de IDEA STATICA.

Donc on va utiliser ce logiciel pour la vérification des autres goussets.

B. Gousset 2 :

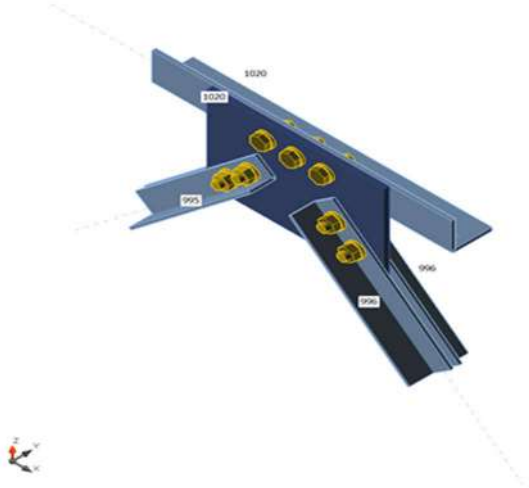


Figure IV. 18 : ***assemblages par gousset 2***

- **Efforts sollicitant :**

Tableau IV. 11 : ***Caractéristiques des barres dans gousset2***

Barre	Section	Angle	Effort (KN)
995	2L45X5	47.2	7.1
996	2L45X5	47.2	-7.1
1020 (début)	L70X7	0	5.2
1020 (fin)		0	4.1

- **Vérifications des contrainte des plaques des platines**

Tableau IV. 12 : récapitulatif de vérification des platines de gousset 2

Nom	Épaisseur [mm]	σ_{Ed} [MPa]	ε_{Pl} [%]	Résultat
995-tfl 1	5.0	220.0	0.0	OK
995-w 1	5.0	226.3	0.0	OK
995-tfl 2	5.0	254.6	0.0	OK
995-w 2	5.0	248.5	0.0	OK
996-tfl 1	5.0	11.9	0.0	OK
996-w 1	5.0	26.4	0.0	OK
996-tfl 2	5.0	12.0	0.0	OK
996-w 2	5.0	27.1	0.0	OK
1020-bfl 1	7.0	18.9	0.0	OK
1020-w 1	7.0	75.9	0.0	OK
SP 1	10.0	107.5	0.0	OK

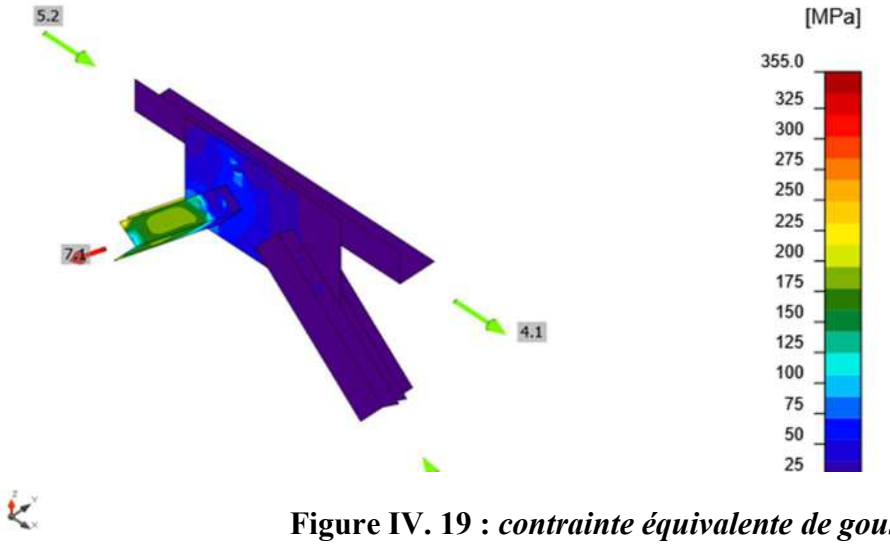


Figure IV. 19 : ***contrainte équivalente de gousset 2***

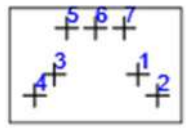
Conclusion :

Le schéma des contrainte indique que notre assemblage par gousset est satisfait

- **Vérification des boulons :**

Tous les boulons sont des boulons ordinaire de diamètre M16 et classe 6.8

Tableau IV. 13 : Récapitulatif des valeurs de vérifications des boulons de gousset2

	Nom	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	Ut_t [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	Ut_s [%]	Ut_{ts} [%]	
	B1	0.3	1.9	0.4	55.5	67.8	108.7	37.7	5.1	5.4	OK
	B2	0.7	1.9	1.0	55.2	67.8	108.7	37.7	5.1	5.8	OK
	B3	3.3	2.8	4.9	50.8	67.8	108.7	37.7	7.5	11.0	OK
	B4	4.9	3.3	7.3	37.8	67.8	108.7	37.7	8.8	14.0	OK
	B5	5.7	3.6	8.5	114.2	67.8	152.2	37.7	9.6	15.7	OK
	B6	0.0	3.0	0.0	77.2	67.8	152.2	37.7	7.9	7.9	OK
	B7	0.3	3.2	0.4	114.2	67.8	152.2	37.7	8.6	8.9	OK

C. Gousset 3 :

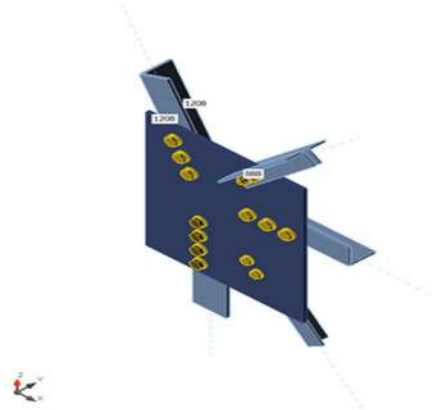


Figure IV. 20 : ***assemblages par gousset 3***

Tableau IV. 14 : ***Caractéristiques des barres dans gousset2***

Barre	Section	Angle	Effort (KN)
888	1 - 2L45X5	-49.2	53.6
1037	2 - L70X7	0.0	-2.9
1109	3 - L90X9	90.0	74.3
1208	4 - L80X8	-65.5	28.8
82	5 - L50X5	52.6	-8.3

- **Vérifications des contrainte des plaques des plaques**

Tableau IV. 15 : Récapitulatif de vérification des platines de gousset 3

Nom	Épaisseur [mm]	σ_{Ed} [MPa]	ε_{Pl} [%]	Résultat
888-bfl 1	5.0	103.2	0.0	OK
888-w 1	5.0	305.4	0.0	OK
888-bfl 2	5.0	105.1	0.0	OK
888-w 2	5.0	310.0	0.0	OK
1037-bfl 1	7.0	79.8	0.0	OK
1037-w 1	7.0	72.9	0.0	OK
1109-tfl 1	9.0	355.8	0.4	OK
1109-w 1	9.0	355.1	0.1	OK
1208-bfl 1	8.0	235.4	0.0	OK
1208-w 1	8.0	355.2	0.1	OK
82-bfl 1	5.0	139.9	0.0	OK
82-w 1	5.0	41.3	0.0	OK
SP 1	10.0	355.6	0.3	OK

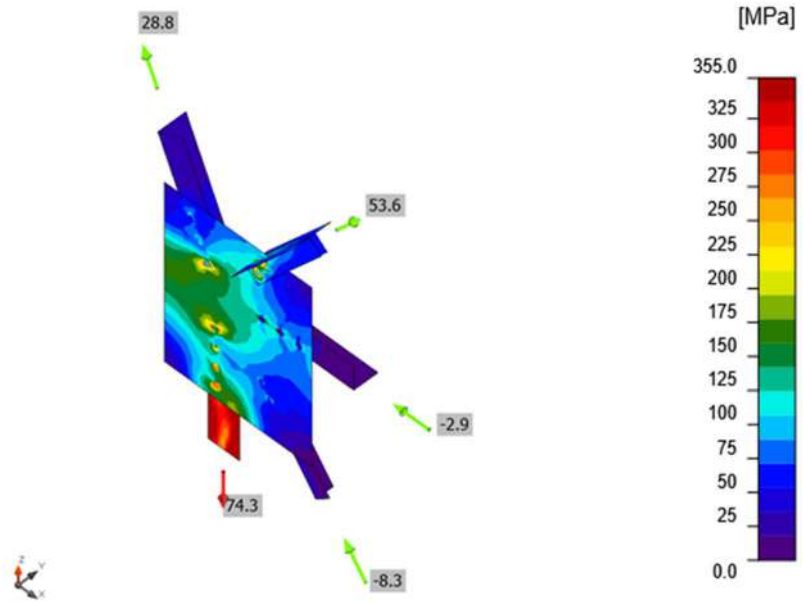


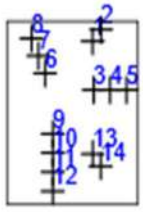
Figure IV. 21 : C*ontrainte équivalente de gousset 2*

- **Vérification des boulons :**

Tableau IV. 16 : ***Donnée de conception***

Nom	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M12 6.8 - 1	36.3	88.4	20.2
M16 6.8 - 2	67.8	152.2	37.7
M16 6.8 - 3	67.8	174.0	37.7
M16 6.8 - 4	67.8	195.7	37.7

Tableau IV. 17 : Récapitulatif des valeurs de vérifications des boulons de gousset3

	Nom	**Classe**	**$F_{t,Ed}$ [kN]**	**V [kN]**	**Ut_t [%]**	**$F_{b,Rd}$ [kN]**	**Ut_s [%]**	**Ut_{ts} [%]**	**Résultat**
	B1	M12 6.8 - 1	6.5	15.0	18.0	43.9	74.3	87.1	OK
	B2	M12 6.8 - 1	2.3	15.0	6.4	61.2	74.6	79.2	OK
	B3	M16 6.8 - 2	3.9	3.0	5.7	114.2	8.1	12.1	OK
	B4	M16 6.8 - 2	5.4	2.6	8.0	73.5	6.9	12.6	OK
	B5	M16 6.8 - 2	5.4	2.6	7.9	114.2	7.0	12.6	OK
	B6	M16 6.8 - 3	35.8	20.4	52.8	89.1	54.0	91.7	OK
	B7	M16 6.8 - 3	0.6	23.5	0.9	88.2	62.2	62.9	OK
	B8	M16 6.8 - 3	3.4	23.8	5.0	130.6	63.3	66.8	OK
	B9	M16 6.8 - 4	12.3	30.9	18.1	146.9	81.9	94.9	OK
	B10	M16 6.8 - 4	0.0	21.1	0.0	146.9	55.9	55.9	OK
	B11	M16 6.8 - 4	0.4	18.9	0.5	99.3	50.1	50.4	OK
	B12	M16 6.8 - 4	14.3	25.2	21.1	122.1	66.8	81.8	OK
	B13	M12 6.8 - 1	0.8	4.6	2.2	61.2	22.8	24.4	OK
	B14	M12 6.8 - 1	4.3	4.7	11.9	61.2	23.3	31.8	OK

Chapitre V :

Etude de l'infrastructure

V.1 Introduction :

Une fondation est un ouvrage enterré dont le rôle est d'ancrer dans le sol la superstructure, constituée dans le cas d'une ligne aérienne, de différents supports complétés par les câbles et tout le matériel complémentaire.

Les fondations des mâts et des pylônes se distinguent des fondations des ouvrages courants de génie civil par la prédominance d'efforts d'arrachement ou d'efforts horizontaux, eux-mêmes associés avec des moments de renversement en tête de la fondation

Ces fondations doivent pouvoir transmettre au terrain les sollicitations résultant des actions sur le pylône avec une fiabilité suffisante.

V.2 Classification selon les efforts :

Les pylônes monopode appliquent des efforts horizontaux et des moments de renversement sur la fondation (figure V.1 (a)).

Les pylônes multipodes conduisent à des efforts d'arrachement sur certains appuis et de compression sur d'autres ; des efforts horizontaux souvent modestes sont également à prendre en compte (figure V.1 (b)).

Les massifs d'ancrage des mâts et pylônes haubanés doivent résister à des efforts obliques d'arrachement figure V.1 (c)).

L'objectif est de décrire la conception des différentes fondations appropriées à chaque type de sollicitations et de fournir les méthodes usuelles de dimensionnement. [8]

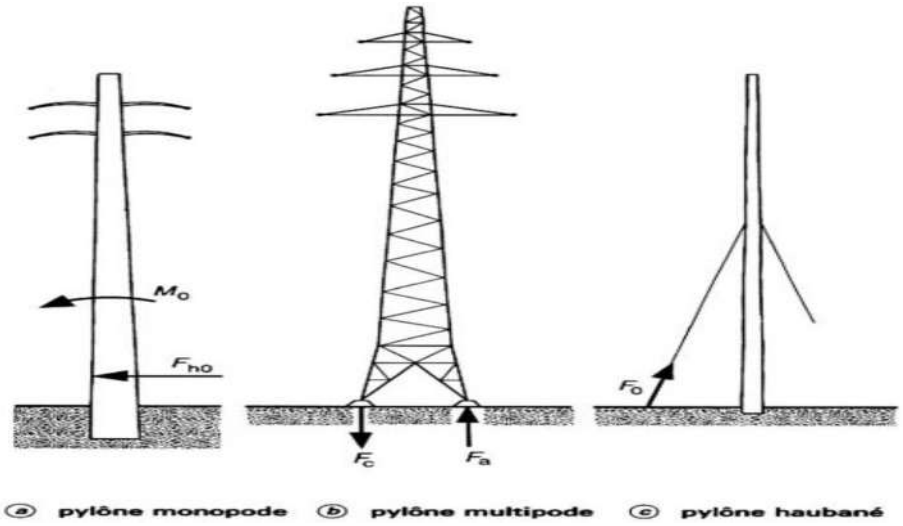


Figure V.1: Types des efforts sur les supports [8]

V.3 Choix de type de fondation pour pylône à treillis :

Les fondations sont destinées à assurer la stabilité de l'ouvrage en l'ancrant dans le sol quelles que soit la nature de ce dernier et la valeur des sollicitations appliquées. Les sollicitations correspondent aux efforts issus des descentes de charges, lesquelles sont majorées d'un coefficient de pondération. Elles sont les données de base à tout dimensionnement d'une fondation. Elles permettent de définir géométriquement et mécaniquement le type de fondation à mettre en place (figure V.2). [8]

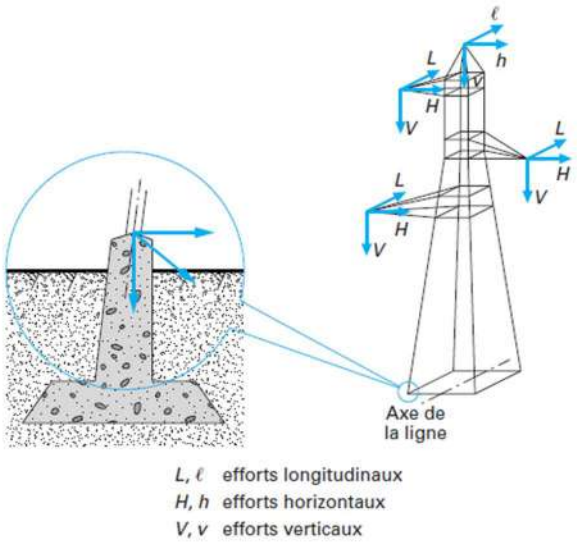


Figure V. 2 Efforts appliqués à une fondation [8]

Le choix du type de fondation dépend en général de plusieurs paramètres dont on cite :

- Type d'ouvrage construire.
- Les caractéristiques du sol support ;
- La nature et l'homogénéité du bon sol.
- La capacité portance de terrain de fondation.
- La charge totale transmise au sol.
- La raison économique.
- La facilité de réalisation.
- Le type de la structure

Pour un pylône a treillis on choisit des fondations isolé (pieds séparés) car ils sont soumis alternativement à des efforts d'arrachement et de compression combinés aux efforts horizontaux correspondants.

V.3.1 Fondation isolée pour pylône

Les fondations isolées sont principalement soumises des forces de compression ou d'arrachement verticaux avec à des efforts tranchants.

Les forces d'arrachement sont généralement supporter par le poids propre de la fondation et le poids des terres.

Les forces de compression sont supporter par la capacité portante du sol. [9]

V.4 Calcul des fondations

Ce calcul va nous permettre de connaître les dimensions de la fondation en longueur et hauteur. Puis de déterminer les armatures à positionner dans cette fondation.
Dans un premier temps nous devons disposer de la charge qui arrive sur cette fondation.

V.4.1 Effort sollicitant sur les fondation :

Les efforts utilises dans les calculs des fondations résultent des combinaisons des efforts appliques par la superstructure. Ces combinaisons sont fonction de la nature de l'effort appliqué, de l'hypothèse climatique considérée et des caractéristiques des supports.

Selon les exigences de cahier de charge de Sonelgaz Les efforts bruts issus des calculs doivent de plus être majores d'un coefficient 2.

Le tableaux ci-dessous regroupes les efforts à la base de pylône :

Tableau V. 1 : ***Effort à la base de pylône***

	F_{c0}	F_{A0}	F_{L0}	F_{T0}
Valeur (KN)	172.3	145.55	24.41	24.41

Tel que

- F_{c0} : effort de compression
- F_{A0} : effort d'arrachement (sens opposé)
- F_{L0} : effort horizontal longitudinal
- F_{T0} : effort horizontal transversale

On multiplie chaque charge par le coefficient 2 on obtient :

- F_c = 172.3x2 = 344.6 KN
- F_A = 145.55 x2 = 291.1 KN
- F_L = 24.41x2 = 48,82 KN
- F_T = 24.41x2 = 48.82 KN

V.4.2 Donnée géotechnique :

Le bureau d'étude géotechnique a proposé des fondations superficielles ancrées de 2.00m de profondeur dans le sol.

Pour cette profondeur on a les valeurs suivantes :

- C = 0.40 bar
- φ = 22° angle de frottement
- γ_d = 1.78 t/m3
- σ_{sol} = 3 bar
- Le tassement total est de l'ordre de 2.20 cm.

V.4.3 Choix des dimensions de la semelle :

On adoptera une semelle homothétique, c'est-à-dire le rapport de *A* sur *B* est égal au rapport *a* sur *b* : $\frac{a}{b} = \frac{A}{B}$

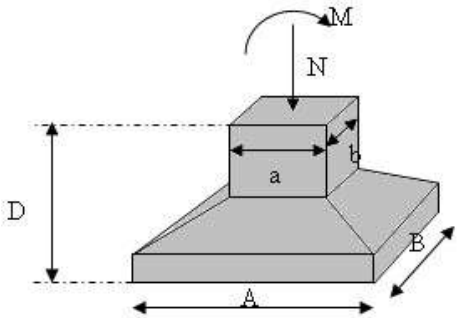
Pour les poteaux carrés : $a=b= 40\ cm$ donc $A=B \Rightarrow S=A^2$

A est déterminé par : $S \geq \frac{N}{\sigma_{sol}}$ d'où $S = \left[\frac{N}{\sigma_{sol}}\right]$

Avec :

$A = \sqrt{S}$; $\sigma_{sol}=3bars$

$N = 344.6KN$



Donc

$S \geq \frac{344.6}{300} = 1.1486m^2$ A = 1.07 m

On prend A et B = 1.15 m

$$d_a \geq \frac{A-a}{4} = \frac{115-40}{4} = 18.75\ cm$$

$$d_b \geq \frac{B-b}{4} = \frac{115-40}{4} = 18.75cm$$

On choisit des barre de diamètre 12 ϕ = 12mm

$$h \geq d_a + e + \frac{\emptyset}{2} = 18.75 + 3 + 0.6 = 22.35\ cm$$

On prend h= 30

Donc

$$d_b = 30 - 3 - 0.6 = 26.4cm$$

$$d_a = 26.4 - 1.2 = 25.2\ cm$$

Pour amorce poteau :

H = 2 m

Inclinaison d'amorce poteau Θ : $\theta = 5.3°$

V.4.4 Vérification de la résistance à l'arrachement :

H = 1.7 m A= 1.15 m B =1.15 m

$\beta = \frac{1}{\cos(\theta)} = 1.004$

La résistance à l'arrachement égale à la somme de poids propre de fondation et le poids des terres :

$$RF = Wf + Wp + Ws - Wr$$

- **Volume de semelle :**

  $V_f = A \times B \times h_s$

  $V_f = 1.15^2 \times 0.3 = 0.397\ m^3$

- **Poids de semelle**

  $W_f = V_f \times \gamma_b$

  $W_f = 0.397 \times 25 = 9.9188\ KN$

- **Volume d'amorce poteau**

  $V_p = a^2 \times (h + Eh) \times \beta$

$Vp = 0.4^2 \times 2 \times 1.004 = 0.321\ m^3$

- **Poids d'amorce poteau**

$W_p = V_p \times \gamma_b$

$W_p = 0.321 \times 25 = 8.0343\ KN$

- **Volume de sol :**

Le sol prend une forme de cône inversé comme indique la figure : (mors theory 1959)

$V_s = \frac{H}{3}\left(A_t + A_b + \sqrt{A_t \times A_b}\right)$

At : la surface de sommet de cône

Ab = la surface de la base de cône

$A_t = (B + (2 \times H \times \tan(\phi))^2$

$A_t = (1.15 + (2 \times 1.7 \times \tan(22))^2$

$A_t = 6.37\ m^2$

$A_b = 1.15^2 = 1.3225\ m^2$

Donc Vs = 6.003 m^3

- **Poids de sol**

$W_s = V_s \times \gamma_s$

$W_s = 6.003 \times 17.8 = 106.856\ KN$

- **Poids de sol remplacé par l'amorce poteau :**

$W_r = a^2 \times H \times \gamma_s$

$W_r = 0.4^2 \times 1.7 \times 17.8 = 4.862\ KN$

- **La résistance à l'arrachement RF**

$RF = 9.9188 + 8.0343 + 106.856 - 4.862 = 119.946\ KN$

$\left(\frac{119.46}{145.55} = 0.824\right) < 1.5$

Donc il y'a un risque d'arrachement

Pour éviter ce risque ont doit redimensionner la semelle est l'ancrée à **3 mètres** de profondeur

Après les calculs on a trouvé les dimensions qui vérifient les conditions

A=B = 1.35 m h = 30 cm

Après le calcul on trouve : RF = 323.92 KN

RF/FA = 323.92 /145.55 = 2.22 > 1.5 C.V

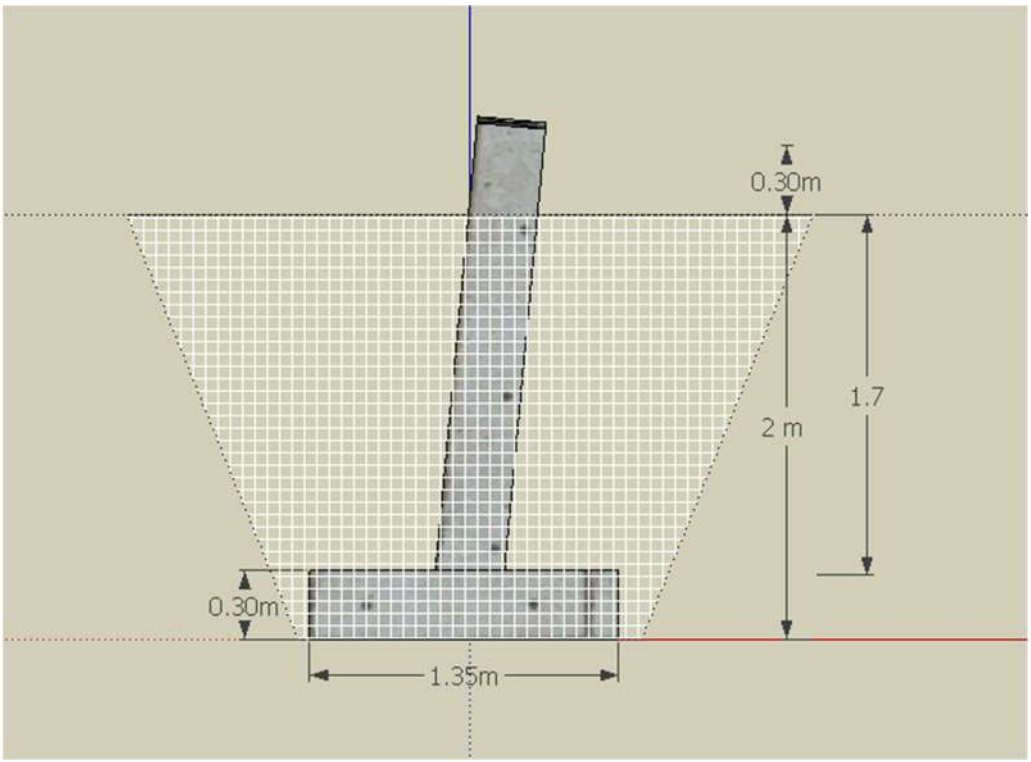


Figure V. 3 : *dimensions finale de la semelle*

V.4.5 Vérification des contraintes :

a) **Calcul d'excentricité** :

$e_{total} = H_p \times \tan(5.3) = 3 \times 0.093$

$e_{total} = 0.278\, m$

- Excentricité en direction X :

$e_x = e_{total} \times \cos(45) = 0.197\, m$

- Excentricité en direction Y :

$e_x = e_{total} \times \sin(45) = 0.197\, m$

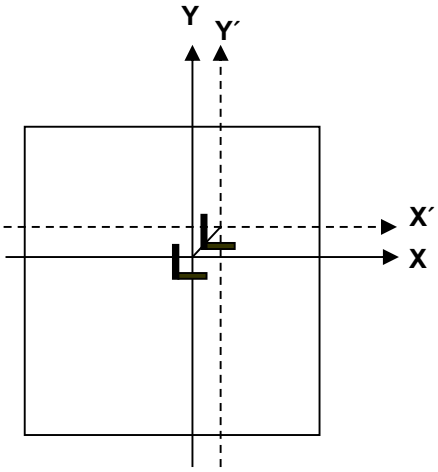


Figure V. 4 : ***excentricité***

b) Calcul des moments agissants sur le sol :

- Moment dû à l'effort de compression autour de l'axe X :

$M_{x1} = F_{c0} \times e_x = 172.3 \times 0.197 = 33.91\, KN.m$

- Moment dû à l'effort de compression autour de l'axeY :

$M_{x1} = F_{c0} \times e_y = 172.3 \times 0.197 = 33.91\ KN.m$

- Moment dû à l'effort horizontal F_L autour de l'axe X :

$M_{x2} = F_{(L0)} \times H = 24.41 \times 3.3 = 80.55\ KN.m$

- Moment dû à l'effort horizontal F_T autour de l'axeY :

$M_{x2} = F_{(T0)} \times H = 24.41 \times 3.3 = 80.55\ KN.m$

- Moment du au poids propre d'amorce poteau autour de X :

$M_{x3} = W_p \times e_x = 12.05 \times 0.098 = 1.19\ KN.m$

- Moment du au poids propre d'amorce poteau autour de Y :

$M_{x3} = W_p \times e_y = 12.05 \times 0.098 = 1.19\ KN.m$

- **Les moments résultants :**

$M_{xx} = M_{x2} - M_{x1} - M_{x3} = 45.46\ KN.m$

$M_{xyy} = M_{y2} - M_{y1} - M_{y3} = 45.46\ KN.m$

c) Calcul des moments résistant :

- Hauteur effective des sols : h =2.7 m

$K_p = \frac{1+\sin(\varphi)}{1-\sin(\varphi)}$ = 2.198 coefficient de pression de sol

- Pression des terres au sommet de semelle :

$Q_{tp} = K_p \times \gamma s \times h = 105.635\ KN/m^2$

- Pression des terres à la base de semelle :

$Q_{tp} = K_p \times \gamma s \times (h_t) = 117.373\ KN/m^2$

- La force appliquer par le sol sur l'amorce poteau suivant x :

$Ft_{px} = \left(\frac{1}{2}\right) \times Q_{tp} \times h \times a = 57.043\ KN$

- La force appliquer par le sol sur l'amorce poteau suivant y :

$Ft_{py} = \left(\frac{1}{2}\right) \times Q_{tp} \times h \times a = 57.043\ KN$.

- La force appliquer par le sol sur la semelle suivant x :

$$Fb_{px} = \left(\frac{1}{2}\right)(L_b + L_t) \times Fd\ X\ B = 45.159\ KN$$

- La force appliquer par le sol sur la semelle suivant y :

$$Fb_{py} = \left(\frac{1}{2}\right)(L_b + L_t) \times Fd\ X\ B = 45.159\ KN$$

- Moment du a la pression des terres suivant x :

$$M_{xp} = Ft_{px} \times \left(Fd + \left(\frac{h}{3}\right)\right) + Fb_{px} \times \left(\frac{Fd}{2}\right) = 75.226\ KN.m$$

- Moment du a la pression des terres suivant y :

$$M_{yp} = Ft_{py} \times \left(Fd + \left(\frac{h}{3}\right)\right) + Fb_{py} \times \left(\frac{Fd}{2}\right) = 75.226\ KN.m$$

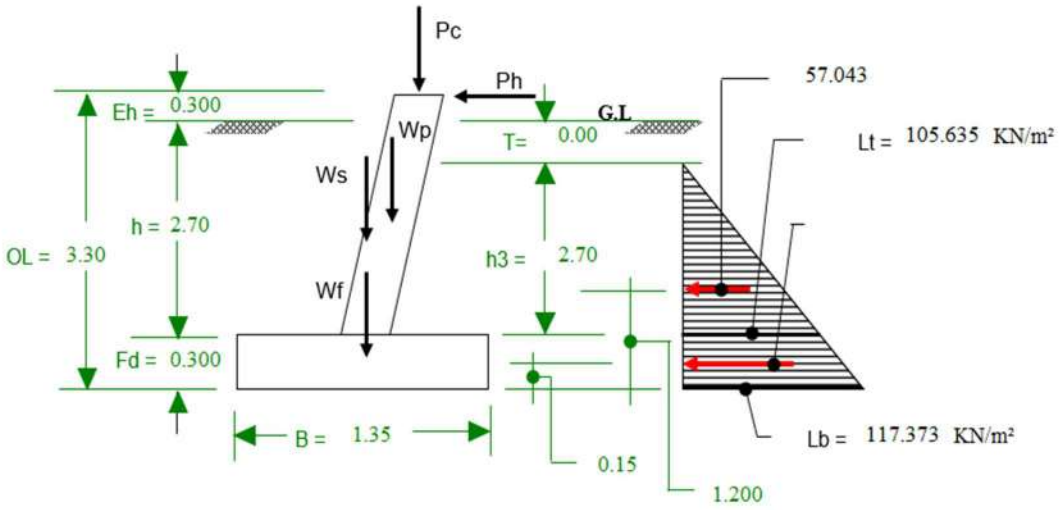


Figure V. 5 : ***Les efforts exercés par le sol***

d) Calcul des moments à la base :

$$M_x = M_{xx} - 0.8 \times M_{xp} = -14.720\ KN.m < 0$$

$$M_y = M_{yy} - 0.8 \times M_{yp} = -14.720\ KN.m < 0$$

Si Mx < 0 on prend Mx = 0 la même chose pour My

Poids total à ELS :

$$N_{Tser} = W_p + W_f + W_s + N_{ser}$$

$N_{Tser} = \quad 323.396 + \ 172.3 = 495.696 \quad KN$

e) Vérification des contrainte sous semelle :

Sens A :

$ea_{ser} = \frac{M_x}{N_{Tser}} = \quad 0 \quad \leq \frac{A}{6} \quad donc\ le\ diagramme\ \ des\ contrainte\ est\ uniforme$

$\sigma_{a1} = \frac{N}{A.B} = \left(\frac{495.696}{1.35^2}\right)$ = 0.272 Mpa = 2.72 bars < 3 bars

$\sigma_{a2} = \frac{N}{A.B} = \left(\frac{495.696}{1.35^2}\right)$ = 0.272 Mpa = 2.72 bars < 3 bars

Sens B :

$ea_{ser} = \frac{M_y}{N_{Tser}} = \quad 0 \quad \leq \frac{B}{6} \quad donc\ le\ diagramme\ \ des\ contrainte\ est\ uniforme$

$\sigma_{b1} = \frac{N}{A.B} = \left(\frac{495.696}{1.35^2}\right)$ = 0.272 Mpa = 2.72 bars < 3 bars

$\sigma_{b2} = \frac{N}{A.B} = \left(\frac{495.696}{1.35^2}\right)$ = 0.272 Mpa = 2.72 bars < 3 bars

V.4.6 Vérification de la stabilité au renversement RPA2003 Art 10.1.5 :

$$e_{aser} = 0 \quad < \frac{A}{4}$$

Pas de risque de renversement dans le sens A

$$e_{bser} = \quad 0 < \frac{B}{4}$$

Pas de risque de renversement dans le sens B

V.4.7 Vérification de poinçonnement :

Nu = 344.76 KN

$N_u < 0.045.h.u_c.f_{cj}/\gamma_b$

- u_c = 2.8m périmètre moyen
- h= 30 cm hauteur de la semelle
- f_{c28} = 25 MPa
- γb = 1.5

A.N

344.76 < 630 KN

Pas de poinçonnement du fût sur la semelle

V.4.8 Ferraillage de la semelle :

Pour le calcul d'excentricité il faut d'abord calculer le moment Mx et My de la même manière qu'on a utilisée précédemment, après les calculs on a trouvé :

Mx= 31.926 KN.m

My = 31.926 KN.m

Nu = 667.396 KN

Sens A :

$$e_{0a} = \frac{Mx}{Nu} = \frac{31.926}{667.396} = 4.783\ cm < \frac{A}{6}\ \ donc\ \ le\ diagramme\ est\ trapezoidale$$

$$e_{0a} = 4.783 < \frac{A}{18}\ donc\ on\ va\ utilisé\ la\ méthode\ des\ bielles$$

Paramètre de calcul

- Béton fc28 : 25.0 MPa
- Acier fe : 400.0 MPa
- Enrebage C : 3.0 cm.
- Combinaison accidentelle γs= 1

$$A_a = \frac{N\left(1 + \left(\frac{3e_a}{A}\right)\right)(A - a)}{8d_a\overline{\sigma_s}}$$

$$Aa = 8.5cm2\ \ /1.35\ \text{m}$$

Sens B :

$$Bb = \frac{N\left(1 + \left(\frac{3e_b}{B}\right)\right)(B - b)}{8d_b\overline{\sigma_s}}$$

$$Bb = 8.76\ cm2\ \ /1.35\ \text{m}$$

Choix des armatures :

Tableau V. 2 : ***Feraillage de la semelle***

	A calculé (cm²)	**Barre adopté**	**A choisi (cm²)**	**Espacement (cm)**
Sens A	8.5	8HA12	9.05	16
Sens B	8.76	8 HA 12	9.05	16

- **Détail de ferraillage**

Table					
Sens	No	Longueur	Diamètre	Espacement	Nombre
A	①	1350	ϕ12	160	7
B	②	1350	ϕ12	160	7

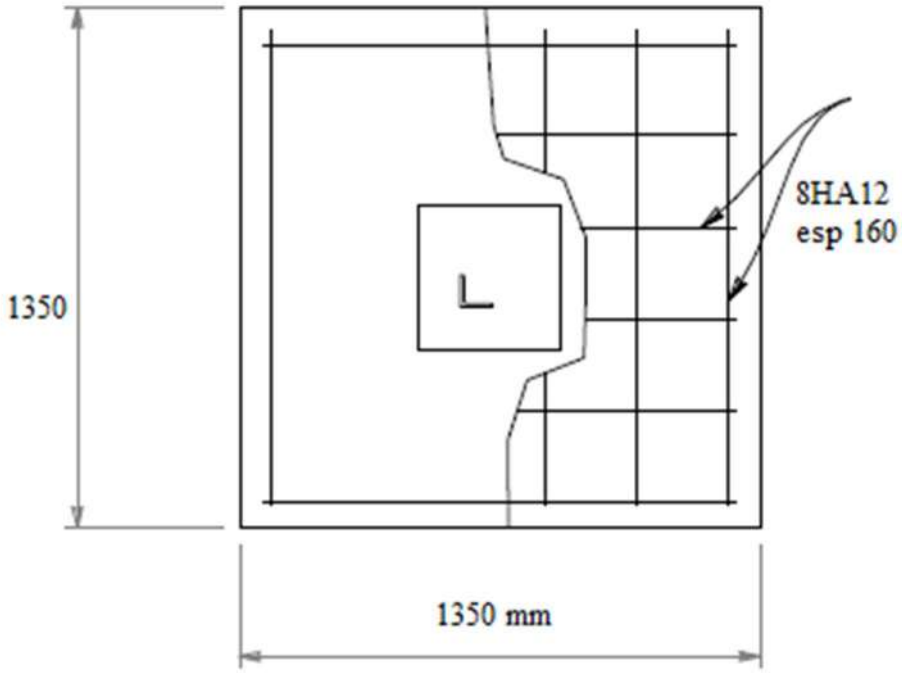


Figure V.6 : ***Ferraillage de semelle***

Note : toutes les dimensions sont en mm

V.4.9 Ferraillage d'amorce poteau :

- **Matériaux :**
  - **a) . Situation durable :**

- ***Béton*: $\gamma_b=1,5$; $f_{c28}=25MPa$; $\sigma_{bc}=14,17MPa$**
- ***Acier*: $\gamma_s=1,15$; Nuance FeE400 ; $\sigma_s=348MPa$**

b) Situation accidentelle :

- ***Béton*: $\gamma_b=1,15$; $f_{c28}=25MPa$; $\sigma_{bc}=18,48MPa$**
- ***Acier*: $\gamma_s=1,00$; Nuance FeE400 ; $\sigma_s=400MPa$**

Ferraillage longitudinale :

Effort dans le poteau le plus sollicité :

Tableau V. 3 : ***les efforts dans l'amorce poteau***

ELU (KN)		ACC (KN)	
Nc	Nt	Nc	Nt
146.74	116.69	175.33	148.465

Nc = effort de compression.

Nt = effort de traction.

On va calculer le poteau par la section la plus grande

Résultat :

Minimum RPA 99 v2003
Amin = 0.8% axb (zone IIa)

Tableau V. 4 : ***ferraillage de l'amorce poteau***

A tra (cm²)	Acomp (cm²)	Amax (cm²)	Min (rpa)	Barre choisi	Aadopt (cm²)
8.4	6.4	8.4	12.8	(cm²) : 4HA16+ 4HA 14	14.2

- **Vérification des contraintes :**

- ***Béton* :** $\sigma_{bc} = 0,6f_{c28} = 15MPa$
- ***Acier* :**

  - Fissuration peu nuisible……..Pas de vérification.
  - Fissuration préjudiciable…….$\bar{\sigma_s} = Min\left(\frac{2}{3}f_e, 110\sqrt{f_{t28}}\eta\right)$
  - Fissuration très préjudiciable……...$\bar{\sigma_s} = Min\left(\frac{1}{3}f_e, \sqrt{f_{t28}}\eta\right)$

Avec :

$\eta=1,6$ pour les aciers *H.A*

Dans notre cas la fissuration est considérée préjudiciable, donc $\sigma_s=201.63\ MPa$.

Les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants :

- **A la compression :**

Tableau V. 5: vérification des contrainte à la compression

Section Cm²	**Nc KN**	**σ_{bc} Mpa**	$\overline{\sigma_{bc}}$ **Mpa**	σ_s **(MPa)**	$\bar{\sigma}_s$ **MPa**	Vérification
40x40	146.74	1	15	14.6	201.63	Ok

- **A la traction :**

Tableau V. 6 : ***vérification des contraintes à la traction***

Section Cm²	**Nt KN**	σ_s **(MPa)**	$\bar{\sigma}_s$ **MPa**	Vérification
40x40	116.69	84.3	201.63	Ok

FERRAILLAGE TRANSVERSAL DE POTEAU :

Les armatures transversales sont déterminées à partir des formules du ***BAEL91 modifié 99*** et celles du ***RPA99 version 2003*** ; elles sont données comme suit :

Selon BAEL91 modifié 99

$$\begin{cases} S_t \leq Min(0{,}9d; 40cm) \\ \phi_t \leq Min\left(\frac{h}{35}; \frac{b}{10}; \phi_l\right) \\ \frac{A_t f_e}{bS_t} \geq Max\left(\frac{\tau_u}{2}; 0{,}4MPa\right) \end{cases}$$

- A_t : Section d'armatures transversales.
- b : Largeur de la section droite.
- h : Hauteur de la section droite.
- S_t : Espacement des armatures transversales.
- $\emptyset_t$: Diamètre des armatures transversales.
- $\emptyset_l$: Diamètre des armatures longitudinales.

Selon le RPA99 version 2003 :

$$\frac{A_t}{S_t} = \frac{\rho_a T_u}{h f_e}$$

Avec :

- A_t : Section d'armatures transversales.
- S_t : Espacement des armatures transversales.
- T_u : Effort tranchant à l'ELU.
- f_e : Contrainte limite élastique de l'acier d'armatures transversales.
- h: Hauteur totale de la section brute.
- ρ_a : Coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par l'effort tranchant.
- $\rho_a=2,5$……si $\lambda_g \geq 5$
- $\rho_a=3,75$……...si $\lambda_g<5$
- λ_g : Espacement géométrique.

- L'espacement des armatures transversales est déterminé comme suit :

$S_t \leq Min\ (10\ \emptyset_l$, 15cm) ……...Zone nodale (zone IIa).

$S_t \leq 15\ \phi_l$……Zone courante (zone IIa).

$\emptyset_l$: Diamètre minimal des armatures longitudinales du poteau.

- La quantité d'armatures transversales minimale $\frac{A_t}{S_t b}$ en (%) est donnée comme suite :

$$\begin{cases} 0,3\%.....si\ \lambda_g \geq 5 \\ 0,8\%.....si\ \lambda_g \leq 3 \\ Interpolation\ entre\ les\ valeurs\ limites\ précédentes\ si\ 3 \prec \lambda_g \prec 5 \end{cases}$$

- λ_g : L'élancement géométrique du poteau $\left(\lambda_g = \frac{L_f}{a}\right)$
- a : Dimension de la section droite du poteau.
- L_f : Longueur du flambement du poteau.
- Pour les armatures transversales $f_e=400MPa\ (FeE40)$.

Le tableau ci -dessous regroupe les valeurs obtenues après les calculs :

	Dimension(cm²)	$\emptyset_t$ (mm)	St (cm)	At (cm²)	At adopté (cm²)
BAEL	40x40	8	15 (Zone nodale)	0.6	4HA8= 2.01
RPA		8	20 (Zone courante)	1.8	

Disposition des armatures :

La zone nodale h' :

$h' = Max\left(\frac{h_e}{6}, h_p, b_p, 60cm\right) = 60\ cm$

V.4.10 Ferraillage finale :

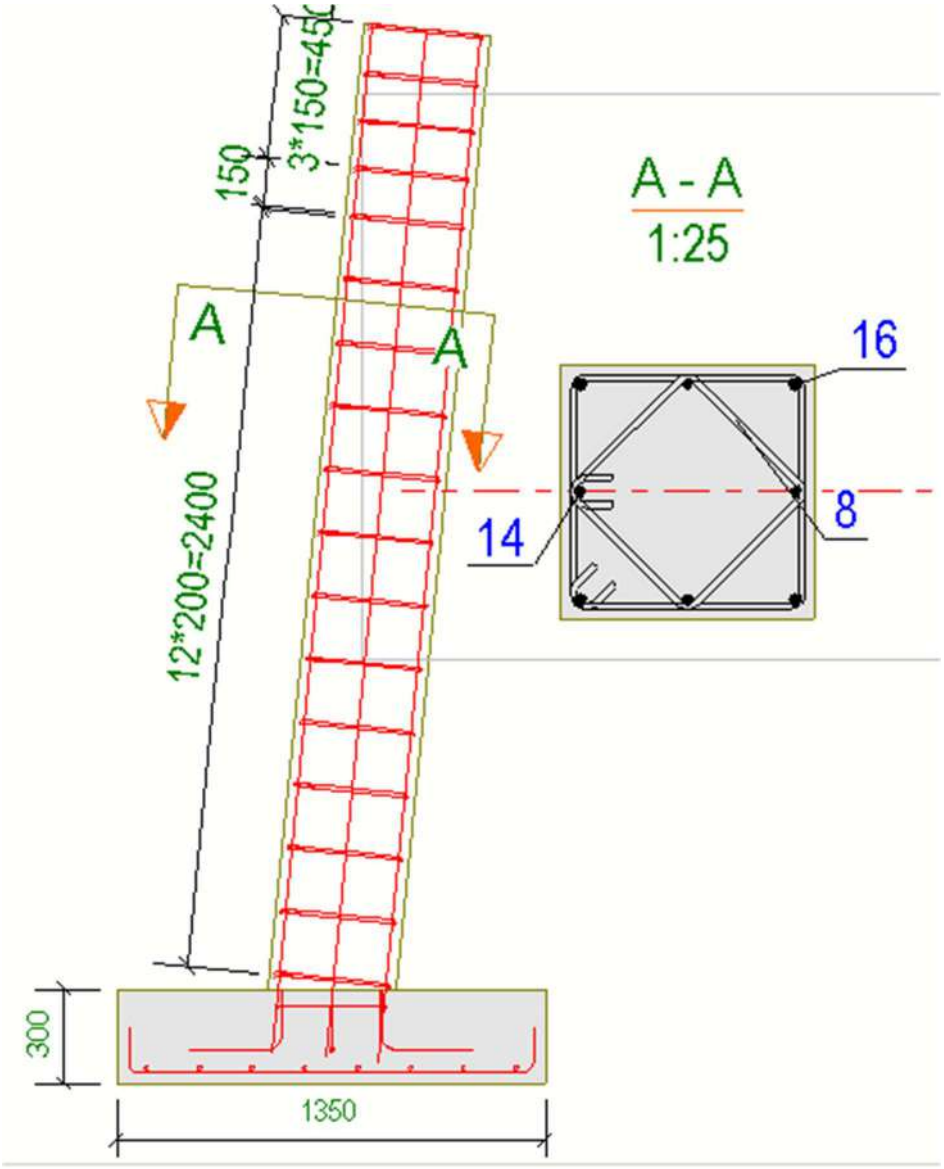


Figure V. 7 : ***Détail de ferraillage d'amorce poteau***

Conclusion général :

Notre projet de fin d'étude consistait en la conception d'un pylône d'alignement auto-stable pour une ligne THT de 220 KV

Les pylônes devaient être conçus conformément à la norme NF EN 50341-1 :2012, et il était de notre responsabilité de nous assurer de la stabilité de ce pylône.

Ce qu'il faut retenir de ce travail c'est qu'il nous a permis de :

Connaitre

- Calculer le poids exercé par un conducteur sur un support de ligne électrique par différentes formules.
- Calculer la tension mécanique d'un conducteur.
- Calculer les forces agissant sur un pylône d'alignement.
- Apprendre la modélisation d'un pylône de ligne haute tension avec le logiciel SAP2000 et vérifier les assemblages avec IDEA Statica.
- Apprendre la définition de plusieurs cas de charges.
- Dimensionner les fondations et vérifier leur stabilité vis-à-vis les phénomènes géotechnique.

Finalement, nous espérons que ce travail servira de référence aux prochains promotions pour l'aider à étudier ce type de structure

Bibliographie

Livres

[1] A. CHANAL, «ligne aérienne : Materiels : Conducteurs et câbles de garde,» chez *Techniques de l'Ingénieur*, 1992.

[2] C. AVRIL, Construction des lignes aérienne a haute tension, paris : EDITIONS EYROLLES , 1974.

[3] X. Ducouret, «lignes aériennes : Materiel : Isolateurs,» chez *Techniques de l'ingenieurs* , 2001.

[4] J.-F. DIDIER LAURENT, «ligne aérienne : les support,» chez *Technique de l'ingenieur*, 1992.

[5] SONALGAZ , REGLEMENT TECHNIQUE : CONCEPTION ET REALISATION DES OUVRAGES DE TRANSPORT DE L'ELECTRICITE, 2015 .

[6] Cigré , Cigré TB324 : Sag-Tension Calculation Methods, juin 2007 .

[7] APK sous la direction de Jean-Pierre Muzeau, La construction métallique avec les Eurocodes Interprétation et exemples de calcul, Paris: EYROLLES, 2013.

[8] D. NAUD, «Lignes aériennes : matériels , Fondations des supports,» chez *Techniques de l'ingenieur*, 2001 .

[9] Cigré , Cigré TB395 :INVESTIGATION ON THE STRUCTURAL INTERACTION BETWEEN TRANSMISSION LINE TOWERS AND FOUNDATIONS, october 2009

DTR

- CENTRE NATIONAL D'ETUDE ET DE RECHERCHES INTEGREES DU BATIMENT : Règlement Neige et Vent Algérien - Version 2013 ; Document technique réglementaire D.T.R-C 2-47 ; Ministre de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville (Algérien). Juin 2013.
- CENTRE NATIONAL D'ETUDE ET DE RECHERCHES INTEGREES DU BATIMENT : Document d'accompagnement du D.T.R RNV - Version 2013 ; Document technique réglementaire D.T.R-B.C.2.4.7 ; Ministre de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville (Algérien). Juin 2013.
- CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE : Charges permanentes et charges d'exploitation D.T.R -B.C.22 ; Document technique réglementaire D.T.R-B.C.2.2 ; Ministre de l'habitat. Octobre 1988.
- CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE : Règles de conception et de calcul des structures en acier C.C.M 97. Document technique réglementaire D.T.R-B.C.2.44 ; Ministre de l'habitat Algérien 1997.
- CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE : Règles parasismiques Algérienne R.P.A99-Version2003 ; Document technique reglementaire D.T.R-B.C-2.48 ; Ministre de l'habitat Algérien 2003.
- CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE : Règle de conception et de calcul de structures C.B.A.93 ; Document technique réglementaire D.T.R-B.C.2.41; Ministre de l'habitat. Décembre 1993.

2. Normes européennes :

- NORME EUROPEENNE, NORME FRANÇAISE NF EN 1991-M : Eurocode 1 : actions sur les structures ; partie 1-1 : Actions générales - Poids volumiques, poids propre, charges d'exploitation des bâtiments. AFNOR 2003.
- NORME EUROPEENNE, NORME FRANÇAISE NF EN 1993-1-I : Eurocode 3 : calcul des structures en acier ; partie 1-1 : règles générales et règles pour bâtiments. AFNOR Octobre 2005.

- NORME EUROPEENNE. NORME FRANÇAISE NF EN 1993-1-8 : Eurocode 3 : calcul des structures en acier ; partie 1-8 : calcul des assemblages. AFNOR Décembre 2005.
- NORME EUROPEENNE. NORME FRANÇAISE NF EN 1993-3-1 : Eurocode 3 Calcul des structures en acier Partie 3-1 : Tours, mâts et cheminées—Pylônes et mâts haubanés, AFNOR mars 2007
- NORME EUROPEENNE. NORME FRANÇAISE NF EN 50341-1-1 : Lignes électriques aériennes dépassant 1 kV en courant alternatif -Partie 1 : Exigences générales - Spécifications communes. AFNOR 2015