

# **Contribution au dimensionnement de pylône de transport d'énergie électrique (Haute Tension HT) selon la norme Eurocode: Cas d'un pylône d'angle**

## **MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT OPTION : GENIE CIVIL ET INFRASTRUCTURES**

Présenté et soutenu publiquement le **27 mars 2013** par :

**Soumanou WADE D. YACOUBOU**

**Travaux dirigés par : Abdelhamid BOUCHAÏR**  
Enseignant au ZiE

*Jury d'évaluation du stage :*

Président : **Ismaila GUEYE**

Membres et correcteurs : **Dramane COULIBALY**

**Promotion 2010/2012**

## CITATIONS

“O DIEU ! Remplis mon âme d’amour pour l’art et pour toutes les créatures. N’admets pas que la soif du gain et la recherche de la gloire m’influencent dans l’exercice de mon art. Soutiens la force de mon cœur pour qu’il soit toujours prêt à servir le pauvre et le riche, l’ami et l’ennemi, le bon et le mauvais...”

**Naimonide**

# REMERCIEMENTS

« Louanges à DIEU le miséricordieux, le meilleur des guides ». La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans sa grâce.

Nous avons une dette de reconnaissance intellectuelle toute particulière envers les auteurs des principaux ouvrages cités dans notre bibliographie.

C'est le lieu de manifester spécialement,

- A notre maître de mémoire M. Hamid BOUCHAÏR, professeur au ZIE, notre sincère reconnaissance pour avoir accepté malgré ses multiples occupations, la direction de ce mémoire.
- A tous les formateurs et plus particulièrement tous les professeurs du département du Génie Civil et Infrastructures du ZIE nos vives reconnaissances pour leurs efforts et pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont donné.

Nous remercions également toutes les personnes ressources qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail et particulièrement :

- Au Dr. Dany AYITE, Ing. Génie Civil, enseignant à l'ENSI à l'Université de Lomé au TOGO, pour son assistance et ses précieux conseils.
- A M. Akowobou KPATCHA, Ing. des TP, directeur de TDI- Ingénieurs Conseils, pour m'avoir accepté dans son bureau d'étude pour le stage ;
- A M. TOVIAWOU, Ing. de conception en Génie Civil, pour m'avoir assisté tout au long du processus de modélisation et du dimensionnement avec le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis ;

# RESUME

Le Projet de fin d'étude a porté essentiellement sur le dimensionnement d'un pylône d'angle de ligne électrique haute tension selon la norme Eurocode.

Le travail a consisté à calculer les différents types de charges transmises au pylône, à savoir les charges transmises par les câbles et les actions du vent.

La seconde partie du mémoire qui n'est que l'application sur ordinateur s'est déroulée en trois étapes :

- la modélisation du pylône avec Autodesk Robot Structural analysis ;
- le chargement des actions et le calcul ;
- la vérification de quelques assemblages.

Le chargement des actions, le calcul et la vérification des assemblages ont été réalisés à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural analysis professionnel 2013.

Certains des résultats générés sont annexés au présent mémoire.

Les sections des cornières obtenues sont comparées à celles des pylônes d'angle existants, nous avons les constats suivants :

- ✓ Au niveau des **Consoles** nous avons des sections comprises entre 20x20x3 et 70x70x5 alors que ces sections au niveau des pylônes d'angle existant sont comprises entre 45x45x3 et 60x60x5.
- ✓ Au niveau des **Diagonales** nous avons des sections comprises entre 80x80x8 et 150x150x15 alors que ces sections au niveau des pylônes d'angles existant sont comprises entre 60x60x4 et 64x64x5
- ✓ Au niveau des **Traverses** nous avons des sections comprises entre 60x60x6 et 120x120x10 alors que ces sections au niveau des pylônes d'angles existant sont comprises entre 45x45x3 et 100x100x5
- ✓ Au niveau des **Poteaux** nous avons des sections comprises entre 120x120x20 et 200x200x24 alors que ces sections au niveau des pylônes d'angles existant sont comprises entre 110x110x8 et 110x110x9

Mots clés : Support, Pylône, Pylône d'angle, câble, conducteur, vent.

## TABLEAU DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES .....	3
I.1. LES TYPES DE SUPPORT .....	4
I.2. LES PYLONES A TREILLIS [1] .....	5
I.3. CLASSIFICATION DES PYLONES [1] .....	5
CHAPITRE-II : CALCULS THEORIQUES ET FORMULES USUELLES CONCERNANT LES PYLONES.....	8
II.1. LES CONDUCTEURS [2] .....	9
II.1.1. Nature et section des conducteurs de phase.....	9
II.1.2. Nature et section des câbles de garde .....	9
II.1.3. Câble de garde à fibres optiques (CGFO) .....	10
II.1.4. Caractéristiques .....	11
II.2. LES HYPOTHESES DE CALCUL DES PYLONES.....	11
II.3. LES CHARGES TRANSMISES AUX PYLÔNES .....	13
II.3.1. pylône d'alignement .....	13
II.3.2. Pylônes d'angle et d'arrêt .....	16
II.4. LES BOULONS [1] .....	21
II.5. LES PARAMETRES DE CONCEPTION D'UNE LIGNE.....	25
II.5.1. caractéristiques des câbles .....	25
II.5.2. hypothèses de dimensionnement .....	26
II.5.3. caractéristiques géométriques.....	26
II.5.4. les supports .....	28
II.5.5. Effort dus au vent pour la conception des pylônes .....	28
II.5.6. Matériaux.....	30
II.5.7. Galvanisation .....	30

II.6. ISOLEMENT.....	31
II.7. REPARTITION.....	31
II.8. GEOMETRIE ET ARBRES DE CHARGES D'UN PYLONE DE TYPE C [4] .....	32
II.8.1. Données des câbles.....	32
II.8.2. Hauteur standard théorique.....	32
II.8.3. Distance entre phases / phase et câble de garde .....	32
II.8.4. Hauteur du chevalet de câble de garde .....	33
II.9. CALCUL DES CHARGES POUR LE PYLONE D'ANGLE.....	33
CHAPITRE-III : DIMENSIONNEMENT DU PYLONE A L'AIDE DU LOGICIEL AUTODESK ROBOT ANALYSIS PROFESSIONNEL 2013 .....	35
III.1. PRESENTATION DU LOGICIEL ET DE SON ENVIRONNEMENT .....	36
III.2. LA CONCEPTION ET LA MODELISATION.....	37
III.3. LA DEFINITION DES CHARGES ET RESULTATS DES CALCULS .....	38
III.4. CALCUL DES CHARGES DE NEIGE ET VENT SUR PYLONES .....	40
III.5. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE SELON EC3.....	41
III.6. VERIFICATION DES ASSEMBLAGES ACIER SELON EC3 .....	43
CONCLUSION.....	44
BIBLIOGRAPHIE .....	45
ANNEXES .....	46
ANNEXE - A : LES FIGURES ET LES TABLEAUX.....	47
ANNEXE - B : DONNEES NECESSAIRES ET AUTRES CAS DE CHARGES .....	55
ANNEXE - C : DONNEES NECESSAIRES ET AUTRES CAS DE CHARGES .....	61
ANNEXE - D: NOTES DE CALCUL DES PROFILES.....	72
ANNEXE - E : NOTES DE CALCUL DU NŒUD 324 .....	88

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: II-2 : hypothèses climatiques.....	12
Tableau 2: II-2 : critères de dimensionnement pour la tenue des câbles .....	12
Tableau 3:II-5 : Les portées de calcul .....	16
Tableau 4:II-4 : Valeur du coefficient $\beta$ .....	25
Tableau 5:II-5.2 : hypothèses climatiques.....	26
Tableau 6:II-5.2 : critères de dimensionnement pour la tenue des câbles .....	26
Tableau 7:II-5.3 : distance à la masse .....	26
Tableau 8: II-5.4 : types de pylônes .....	28
Tableau 9:II-5.4 : hauteurs sous console .....	28
Tableau 10:II-5.6 : les valeurs de la limite à la rupture et de la limite d'élasticité des cornières .....	30
Tableau 11:II-5.6 : les valeurs de la limite à la rupture et de la limite d'élasticité des boulons.....	30
Tableau 12:II-5.7 : Les caractéristiques des isolateurs utilisés .....	31
Tableau 13:III-4: Tableau des combinaisons générées automatiquement.....	41
Tableau 14:III-5 : dimensionnement des barres par famille.....	42
Tableau 15:III-5: Une portion des efforts extrêmes globaux .....	43

## LISTE DES FIGURES

Figure 1:II.3.1 : Face Elévation, Face profil et Axe de la Ligne .....	13
Figure 2:II-2 : Profil en long d'une portion de ligne .....	14
Figure 3:II-2 bis : Profil en long d'une portion de ligne .....	16
Figure 4:II-3.2 : Vue en plan d'un pylône d'angle souple inférieur à 15 degrés.....	17
Figure 5:II-3.2 : Vue en plan d'un pylône d'angle moyen avec ancrage compris entre 15 et 30 degrés.....	17
Figure 6:II-3.2 : Vue en plan d'un pylône d'ancrage en alignement appelé aussi « pylône anti cascade » .....	18
Figure 7:II-3.2: Vue en plan de pylônes d'angle fort avec ancrage compris entre 30 et 60 degrés.....	18
Figure 8:II-3.2 : disposition des charges verticales sur un pylône d'angle .....	19
Figure 9:II-3.2 : disposition des charges sur un pylône d'angle.....	19
Figure 10:II-3.2 : disposition des charges horizontales sur un pylône d'angle .....	20
Figure 11:II-9 : arbre des charges pour pylône d'angle .....	34
Figure 12:III-1: Environnement AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS Professionnel 2013. ....	37
Figure 13:III-1: Vue en 3D du pylône modélisé .....	37

## INTRODUCTION

La ligne aérienne de transport d'énergie est un vecteur qui permet de transporter à une tension électrique très élevée, une puissance électrique importante sur une courte ou une très longue distance.

La ligne électrique relie normalement un centre de production à un centre de consommation. Le centre de production est une centrale électrique qui transforme en électricité un combustible qui produit de l'énergie. Les sites de ces centrales sont imposés par la nature ou choisis pour raison économique, stratégique ou politique. Ces centres de productions sont souvent éloignés des centres de consommation et la ligne électrique aérienne à très haute tension est l'ouvrage indispensable le plus économique pour les relier et transporter cette puissance importante.

Pour les lignes dont les longueurs ne dépassent pas 300 à 400 km, le courant alternatif triphasé est utilisé à des tensions qui sont normalisées. Chaque pays utilise deux à trois niveaux de tension. Au Bénin et au Togo ces tensions varient entre 63 kV à 330 kV.

Comme les centres de production sont peu nombreux, comme les centres de consommation ou les postes de transformation sont répartis dans le territoire de la Communauté Electrique du Bénin (CEB) en fonction des critères d'exploitation, les lignes de tension identique sont reliées entre elles pour constituer un réseau interconnecté.

Le projet de construction de la ligne électrique 161 kV, entre ONIGBOLO au SUD Bénin et PARAKOU au NORD Bénin, s'inscrit dans une approche visant à renforcer l'alimentation de la région septentrionale du Bénin à partir du réseau interconnecté de la Communauté Electrique du Bénin (CEB). Ceci dans un contexte marqué par la prolifération des centrales de production isolées dans toute la région septentrionale du pays, et des surcoûts de production et d'exploitation du réseau dans cette région.

En effet, la région septentrionale du Bénin est restée longtemps isolée du réseau de transport haute tension de la CEB, société qui a à charge la production et le monopôle du transport de l'énergie électrique au Bénin et au Togo. Cette situation engendre des surcoûts de production pour la société nationale (La SBEE) en charge de la distribution, du faite de la sollicitation continue des centrales de production isolées. L'indisponibilité de l'énergie a également engendré un manque d'engouement des promoteurs industriels pour la région.

Mieux les difficultés d'exploitation de ces centrales rendent le service discontinu sur certaines périodes de l'année. La mise en œuvre du projet de construction de ligne haute tension 161

kV entre Onigbolo (au Sud) et Parakou (au Nord), s'inscrit donc dans une logique visant :

- L'efficacité énergétique sur le réseau de distribution ;
- La maîtrise des charges induites par la prolifération des centrales isolées dans la région septentrionale pour une exploitation plus souple du réseau de distribution.

Le mémoire s'articulera essentiellement autour des trois grands thèmes suivants:

- Généralités sur les pylônes
- Calculs théoriques et formules usuelles concernant les pylônes
- Dimensionnement du pylône à l'aide du Logiciel Autodesk Robot Analysis Professionnel 2013

Les objectifs principaux de ce travail sont :

- la détermination des charges transmises par les conducteurs et les câbles de garde aux pylônes de ligne électrique haute tension,
- le calcul des efforts avec le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis et la comparaison des sections de cornière trouvées avec celles des pylônes d'angle existants.

## **CHAPITRE I : GENERALITES**

## **LES PYLONES ET LEUR SILHOUETTES**

### **I.1. LES TYPES DE SUPPORT**

---

Tout d'abord, le terme «support» est un terme générique s'appliquant à tout dispositif conçu pour supporter les conducteurs d'une ligne aérienne par l'intermédiaire d'isolateurs [5]. Nous pouvons classer les différents types de supports des lignes électriques en trois catégories :

- Les poteaux de faible hauteur monopode à fût unique qui peuvent être jumelés ou disposés en portique. Ces poteaux sont, soit des poteaux bois ou des poteaux béton, soit des poteaux métalliques en tôle pliée de section hexagonale. Ils sont utilisés pour des lignes basse et moyenne tension [1]. Cf. figure1à l'ANNEXE A.
  
- Les poteaux de grande hauteur de 26 à 40 mètres à fût unique ou constitués de plusieurs tronçons. Ces pylônes monopodes peuvent être disposés en portique. Ils sont soit en bois (Sapins), en béton précontraint de 2 à 3 éléments, soit métallique en tôle pliée de section hexagonale en plusieurs éléments emboîtables. Ils sont utilisés pour les lignes hautes et très haute tension [1]. Cf. figure2 à l'ANNEXE A.
  
- Les pylônes métalliques en treillis qui sont constitués d'éléments assemblés à l'aide de boulons. La majorité de ces supports sont tétrapodes de section carrée ou rectangulaire et sont reliés au sol par 4 massifs de fondation en béton armé ou non armé. Ces supports peuvent être aussi des portiques haubanés avec un fût unique ou deux fûts en « V ». Ces pylônes sont utilisés pour les lignes hautes et très haute tension [1]. Cf. figures 3 ; 4 ; 5 et 6 à l'ANNEXE A.

Au cours de notre travail nous traiterons uniquement des pylônes classiques à treillis.

## **I.2. LES PYLONES A TREILLIS [1]**

---

Les pylônes à treillis sont constitués de deux ensembles principaux qui sont :

- La tête ;
  - le fût.
- La **tête** d'un pylône à treillis est une structure métallique qui supporte les câbles de garde et les conducteurs de la ligne électrique. Elle est développée et calculée pour répondre à la fois :
- à des conditions de résistance basée sur les hypothèses de calcul de l'ouvrage.
  - à des contraintes électriques dues à la tension de la ligne et aux distances minimales à respecter entre les câbles.
  - à des contraintes géométriques dues à la configuration des câbles de garde et des conducteurs et aux distances à la masse à respecter dans les différentes hypothèses.
- Le **fût** du pylône a pour but essentiel de maintenir la tête et les câbles à une certaine distance du sol pour respecter les hauteurs réglementaires et à transmettre au sol, par l'intermédiaire des fondations, les efforts dus aux charges horizontales et verticales appliquées sur les câbles et le pylône.

Habituellement, pour les pylônes tétrapodes, le fût a la forme d'un tronc de pyramide de section rectangulaire ou carré et se rapproche d'un solide d'égale résistance.

Ce fût peut aussi être constitué :

- d'un mât croisilloné de section carré haubané par quatre haubans.
- d'un portique constitué de deux mâts haubanés ou non.
- d'un portique en « V » constitué de deux mâts de section carré.

Cf. figure 7 à l'ANNEXE A

## **I.3. CLASSIFICATION DES PYLONES [1]**

---

La classification des pylônes peut se faire sous différentes formes.

Selon EDF (Electricité De France), on peut classer les pylônes :

- en familles ;
- d'après la disposition de leur armement c'est-à-dire la disposition géométrique des conducteurs et des câbles de garde ;

### ➤ **Classification par familles**

Une famille de pylône est constituée par un ensemble de supports ayant des silhouettes voisines mais présentant des résistances mécaniques différentes. Ce choix est cohérent avec la notion de catalogue due à la standardisation des matériels qui représentent des avantages indéniables aussi bien pour le concepteur et l'exploitant que pour le maître d'œuvre et le client.

La normalisation des études, de la fabrication, de la construction et de la maintenance sont d'un intérêt considérable sans oublier l'impact sur l'environnement.

Les pylônes normalisés qui sont utilisés sur un réseau national doivent être en nombre suffisant pour répondre aux besoins des différentes lignes.

Les types suivants sont généralement requis pour une famille normalisée :

- Pylône d'alignement ;
- Pylône d'angle faible ;
- Pylône d'angle fort.

Il est toutefois très important de noter que, si le nombre de pylônes dans une famille peut être bénéfique et réduire le poids total des ouvrages, l'augmentation du nombre de pylônes pour une famille augmente les frais fixes qui comprennent :

- La conception du prototype et des essais ;
- La fabrication, l'assemblage et le montage ;
- Le stockage pour la maintenance.

Aussi pour un projet de ligne en appel d'offres international, il est primordial, pour sa rentabilité, de déterminer en premier, le nombre de pylônes à étudier en fonction des considérations climatiques, du profil en long, de la longueur de la ligne et de ses difficultés. Le nombre optimal est de cinq (05).

Compte tenu de l'homogénéité du relief rencontré au Bénin et au Togo, trois types de supports sont suffisants pour répondre économiquement à pratiquement toutes les conditions d'utilisation. Les fonctions et les conditions d'utilisation de chacun de ces types sont définies ci-après :

#### **Type A - Pylône d'alignement [2]:**

Equipé 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

inférieure à 300 m.

**Type B - Pylône d'angle faible (0°- 30°) et anti-cascade [2]:**

Equipé de chaînes d'isolateurs d'ancrage, il est utilisé :

- comme support d'angle pouvant atteindre 30 degrés (cas de charge normal); il sera capable de supporter une différence de tension longitudinale de 10 à 15 % en cas de paramètres différents dans les cantons adjacents ;
- comme support anti-cascade destiné à limiter la longueur d'un canton à 10 km (sécurité renforcée).

**Type C - Pylône d'angle fort (30°- 60°) et pylône d'ancrage [2]:**

Equipé de chaînes d'isolateurs d'ancrage, il est utilisé :

- comme support d'angle fort, entre 30 et 60° maximal (cas de charge normal) ; il sera capable de supporter une différence de tension longitudinale de 10 à 15 % en cas de paramètres différents dans des cantons adjacents ;
- comme support d'ancrage pour l'arrêt de la ligne (supports terminaux) complète (conducteurs et câbles de garde), d'un seul côté en l'absence de tous les câbles sur le côté opposé dans l'hypothèse météorologique A ; l'existence de la portée à tension réduite de raccordement au poste ne sera pas prise en compte.

➤ **Classification d'après la disposition des armements**

Dans un pylône, l'armement est la disposition géométrique des conducteurs et accessoirement des câbles de garde.

Parmi les armements utilisés on distingue deux grandes classes :

- Le système à phases étagées dans lequel les conducteurs sont disposés à des étages différents : Pylônes triangle, drapeau, Danube, double drapeau, double triangles. Cf. figure 8 à l'ANNEXE A.
- Le système dans lequel les conducteurs sont disposés au même niveau ou à des niveaux peu différents : Pylône ou portique nappe horizontale, pylône « chat » simple ou double ternes, pylône «chaînette». Cf. figure 9 à l'ANNEXE A.

## **CHAPITRE-II : CALCULS THEORIQUES ET FORMULES USUELLES CONCERNANT LES PYLONES**

## **II.1. LES CONDUCTEURS [2]**

---

### **II.1.1. NATURE ET SECTION DES CONDUCTEURS DE PHASE**

Actuellement les câbles les plus couramment utilisés pour les lignes haute tension sont les conducteurs en aluminium avec âme en fils d'acier connus sous le diminutif de ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), les conducteurs homogènes en alliage d'aluminium connus sous le diminutif de AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) et, dans une moindre mesure les conducteurs en alliage d'aluminium avec âme en fils d'acier connus sous le diminutif de ACAR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced).

Les conducteurs AAAC sont de plus en plus utilisés car ils offrent de nombreux avantages techniques sur les conducteurs ACSR :

- ils sont environ 25% plus légers, ce qui entraîne des efforts de traction plus faibles à flèche identique et une manipulation plus facile des tourets de câble,
- d'une manière générale à caractéristiques électriques équivalentes ils conduisent à des pylônes plus légers ou des portées plus longues, donc moins de pylônes,
- du fait de leur nature homogène (ils sont formés uniquement de fils d'alliage) ils se comportent parfaitement vis à vis de la corrosion, les contraintes sont mieux réparties dans la section et par conséquent les joints et pinces d'ancrage sont plus simples et plus sûres,
- la dureté superficielle des fils d'alliage est double de celle des fils d'aluminium ce qui les rend moins sensibles aux blessures lors du déroulage donc réduit les pertes par effet couronne et le bruit audible.

Leurs autres caractéristiques comme le comportement au fluage et la résistance à la fatigue sont identiques à celles du conducteur ACSR. Le seul inconvénient provient de leur légèreté qui leur donne une tendance plus marquée au balancement dont il faut tenir compte dans le dimensionnement de la tête de pylône.

### **II.1.2. NATURE ET SECTION DES CABLES DE GARDE**

Les câbles de garde ont des rôles multiples

- ils permettent principalement de réduire le taux d'amorçage de l'isolement par coup de foudre, spécialement dans le cas des hautes tensions,

- étant reliés à la terre ils réduisent sensiblement les tensions induites par les lignes HT dans les circuits de télécommunications parallèles à ces lignes,
- ils peuvent être isolés et alimentés en MT (Moyenne Tension), être utilisés pour la distribution rurale,
- des circuits de télécommunication (fils téléphoniques ou fibres optiques) peuvent être incorporés aux câbles de garde.

La justification du nombre de câbles de garde (0, 1 ou 2) est basée sur l'étude du taux d'amorçage aux coups de foudre ou, pour les câbles isolés sur le type de distribution rurale souhaitée (monophasée ou triphasée).

Le choix du type et de la section du câble de garde est déterminé par des considérations mécaniques (flèche inférieure ou égale à celle des conducteurs de phase) et électriques (tenue au courant de court-circuit).

Compte tenu du faible niveau de court-circuit, un câble de garde en acier galvanisé convient le mieux pour de grandes portées sans poser de problème de flèche. Le câble de section  $71,3 \text{ mm}^2$  qui peut supporter un courant de court-circuit d'environ 5,5 kA pendant 1 seconde et qui est déjà utilisé par la CEB, a été adopté comme câble de garde standard non isolé.

En ce qui concerne les câbles de garde isolés, on a retenu le câble **ACSR** utilisé par la VRA depuis de nombreuses années et qui convient parfaitement pour ses 2 fonctions, protection contre la foudre et distribution rurale. Un câble AAAC n'est pas adapté à la condition d'une flèche du câble de garde inférieure à celle des conducteurs de phase et, du fait de sa légèreté accroît le risque de vibrations. Le câble ACAR du fait de sa résistance plus importante à section égale est trop onéreux.

### **II.1.3. CABLE DE GARDE A FIBRES OPTIQUES (CGFO)**

Pour répondre aux besoins croissants de transmission d'informations, la CEB a retenu comme support de transmission de grande capacité et de fort débit, la fibre optique. Les lignes aériennes constituent un support privilégié pour installer les fibres optiques. Celles-ci seront installées dans un câble de garde des lignes HT.

Le CGFO comporte 24 fibres optiques en installation standard.

Le choix du type et de la section du câble de garde est déterminé par des considérations mécaniques (flèche inférieure ou égale à celle des conducteurs de phase) et électriques (tenue au courant de court-circuit). Ces mêmes considérations s'appliquent au CGFO. Les boîtes de jonction sont installées en partie basse du pylône, juste au-dessus du dispositif anti-escalade.

Lorsque le CGFO est utilisé en plus pour la distribution rurale, il est soumis à une tension et un courant en régime permanent qui constituent des contraintes supplémentaires à prendre en compte pour le choix du câble. Ces contraintes supplémentaires conduisent à isoler de la masse les boîtes de jonctions. La tension de la boîte de jonction sera au même potentiel que le câble et les boîtes de jonction seront donc placées sur des isolateurs en haut de poteau.

#### **II.1.4. CARACTERISTIQUES**

Sauf indication contraire les types de câbles à utiliser sont donc :

- les câbles en alliage d'aluminium (AAAC) pour les conducteurs de phase,
- les câbles en acier galvanisé pour les câbles de garde traditionnels,
- les câbles aluminium-acier (ACSR) pour les câbles de garde servant à la distribution rurale.

Les caractéristiques techniques des câbles de conducteurs de phase sont indiquées dans le tableau 1 de l'ANNEXE A.

Les caractéristiques techniques des câbles de garde sont indiquées dans le tableau 2 de l'ANNEXE A.

#### **II.2. LES HYPOTHESES DE CALCUL DES PYLONES**

---

L'analyse des éléments extérieurs qui agissent sur les pylônes va permettre de normaliser ces hypothèses, de les quantifier pour établir les hypothèses de calcul qui vont permettre d'étudier, suivant la méthode que nous allons développer, les différents pylônes qui constituent une ligne électrique.

Pour un ouvrage particulier, ces hypothèses sont établies généralement par le maître d'ouvrage et l'ingénieur ou le maître d'œuvre.

Dans certains pays qui possèdent un réseau de lignes important, ces hypothèses sont indiquées dans les directives techniques générales des concessionnaires de réseaux et sont valables pour l'ensemble du pays avec des conditions particulières propres aux différentes régions climatiques.

C'est ainsi que la CEB qui est un organisme public à caractère international s'est établi un document intitulé « Standards CEB Lignes 2010 », document dans lequel les hypothèses de

calcul sont bien définies.

Notre étude se basera en grande partie sur les « Standards CEB Lignes 2010 » en ce qui concerne les hypothèses de calcul des pylônes.

Les hypothèses climatiques utilisées pour le dimensionnement des lignes haute tension selon les « Standards CEB Lignes 2010 » sont détaillées dans le tableau 1 suivant :

**Tableau 1: II-2 : hypothèses climatiques**

Hypothèses	Températures (°c)	Vitesse du vent (m/s)	Pression du vent (daN/m <sup>2</sup> )
A-CCQ	27	0	0
B- Tmoy Vmax	27	32	63
C – Tmin Vréd	12	19,2	23
IMAP	70	0	0

Les critères de dimensionnement pour la tenue des câbles sont donnés dans le tableau 2 suivant :

**Tableau 2: II-2 : critères de dimensionnement pour la tenue des câbles**

Hypothèses	% charge de rupture max	
	Conducteur	Câble de garde (CDG)
A – EDS (Everyday Stress)	16	20
B - Vent max	50	50
C- Température min	50	50

## Hypothèses météorologiques de base [2]

Les charges à considérer pour le calcul de la résistance mécanique des ouvrages seront celles résultant de la plus défavorable des hypothèses suivantes.

- **Hypothèse A (condition de tous les jours)**
  - La température des conducteurs est la température moyenne annuelle,
  - Le vent est nul.
- **Hypothèse B (condition de vent maximum)**
  - La température des conducteurs est la température moyenne annuelle,
  - Le vent est maximum
- **Hypothèse C (condition de température minimale)**
  - La température des conducteurs est la température minimale,

- Le vent est réduit à 0,6 fois la vitesse maximale du vent.

### II.3. LES CHARGES TRANSMISES 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.

Par convention on appelle :

- Face élévation, la face perpendiculaire à l'axe de la ligne.
- Face profil, le plan parallèle à la ligne.

#### II.3.1. PYLONE D'ALIGNEMENT

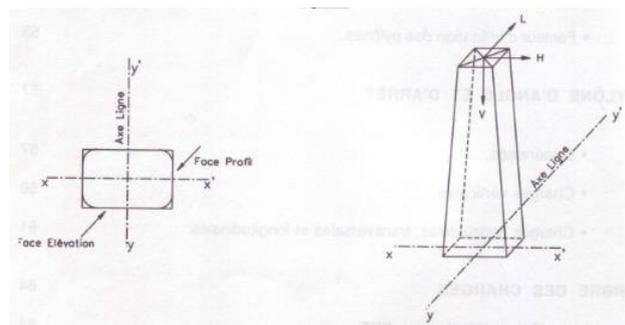


Figure 1:II.3.1 : Face Elévation, Face profil et Axe de la Ligne

Il est d'usage de choisir comme charges de référence :

- **Les charges verticales (V)** dues :
  - Au poids propre du pylône, des conducteurs, des câbles de garde et des chaînes d'isolateurs.
  - Eventuellement au poids du givre sur les câbles (pas nécessaire en Afrique au Sud du SAHARA).
  - A la composante verticale due à la tension des conducteurs et des câbles de garde pour les pylônes dénivelés (pylônes chargés ou déchargés).
- **Les charges horizontales transversales (H)**, perpendiculaires à la ligne dues à l'action du vent soufflant transversalement sur les conducteurs, les câbles de garde (avec ou sans givre) et les chaînes d'isolateurs.
- **Les charges horizontales longitudinales (L)**, qui agissent dans le sens de la ligne.

### Charges verticales (V) dues aux conducteurs et aux câbles de garde.

Pour le calcul de ces charges nous allons utiliser la formule générale suivante :

Considérons une suite de trois pylônes A, B et C, et calculons la charge verticale ( $V_B$ ) transmise au pylône B.

$$V_B = m\varpi \frac{(a_1+a_2)}{2} + T_m \left( \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \right)$$

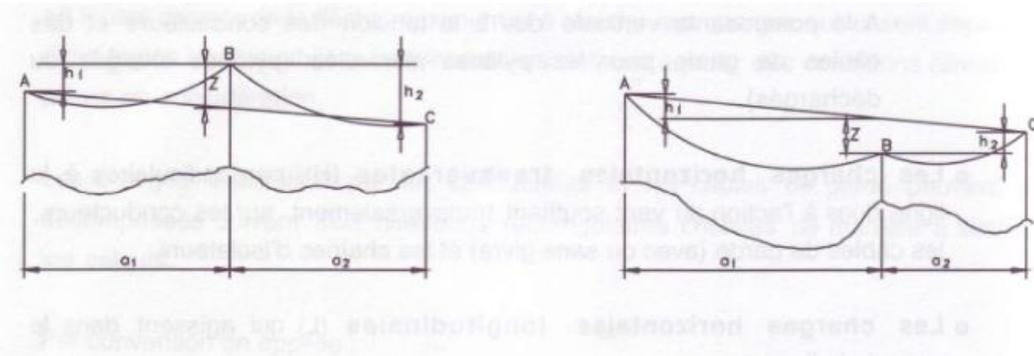


Figure 2:II-2 : Profil en long d'une portion de ligne

Cette formule est générale quelle que soit la position du pylône B par rapport aux pylônes A et C, à la condition de prendre :

- $h_1$  et  $h_2$  positifs si le pylône B est au-dessus de la droite AC (pylône chargé) ;
- $h_1$  et  $h_2$  négatifs si le pylône B est en dessous de la droite AC (pylône déchargé).

En considérant  $Z$ , la distance verticale entre le pylône B et la droite AC, la formule précédente devient :

$$V_B = m\varpi \frac{(a_1+a_2)}{2} + T_m \left( \frac{Z}{a_1} + \frac{Z}{a_2} \right)$$

- $Z$  positif si le pylône B est au-dessus de la droite AC ;
- $Z$  négatif si le pylône B est en dessous de la droite AC.

Dans les deux formules précédentes :

- $m$  est le coefficient de surcharge appliqué au câble
- $T_m$  est la tension du câble dans l'hypothèse considérée.
- $\varpi$  est le poids linéaire du câble.

### Charges horizontales transversales (H)

Ces charges sont dues à l'action du vent soufflant perpendiculairement à la ligne et agissent

sur les faces élévation du pylône.

Si : -  $P_V$  est la pression du vent sur le câble y compris éventuellement le manchon de givre exprimé en daN/m<sup>2</sup>.

- $\frac{(a_1+a_2)}{2}$  la portée moyenne en mètre ;
- $\emptyset$  le diamètre du câble y compris éventuellement le manchon de givre.

La charge horizontale transversale  $H_B$  appliquée sur le pylône B s'écrit :

$$H_B = P_V \emptyset \frac{(a_1+a_2)}{2} \text{ daN}$$

Il s'agit d'efforts horizontaux transversaux étant donné que l'on admet que la pression du vent n'a pas de composante verticale. Il n'est pas nécessaire, sauf exception, d'envisager des hypothèses de vent oblique par rapport à la direction de la ligne qui, à pression dynamique égale, entraînent toujours sur le pylône des composantes inférieures aux hypothèses du vent transversal.

### **Charges horizontales longitudinales (L)**

Ces charges éventuelles agissent sur les faces profils du pylône. Elles sont dues à plusieurs causes. Le cahier des charges donne les hypothèses de calcul à considérer.

- Différence de tension de part et d'autre de la chaîne d'alignement due au givre dissymétrique.
- Rupture d'un conducteur ou d'un câble de garde.
- Glissement des câbles dans la pince.
- Haubanage du pylône au cours du déroulage.
- Ancrage provisoire des câbles au relevage.

Dans la pratique, pour une ligne qui assure un service normal sans surcharges mécaniques d'aucune sorte, les variations de température créent entre les portées de longueur inégales de faibles déviations des chaînes d'isolateurs dans le sens de la ligne dont on ne tient pas compte.

### **Notions de portée moyenne, de portée vent et de portée poids**

La portée moyenne d'un pylône est par définition la demi-somme des portées adjacentes.

$$P_m = \frac{(a_1+a_2)}{2}$$

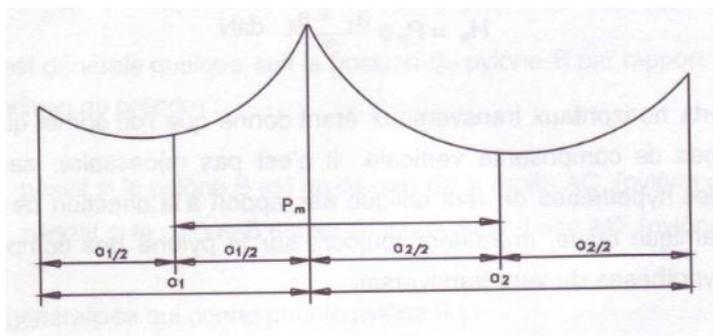


Figure 3:II-2 bis : Profil en long d'une portion de ligne

En terrain plat, pour un pylône de hauteur donnée, la portée moyenne est la longueur de câble maximum que peut supporter un pylône. Elle est fonction essentiellement du paramètre du câble et de la distance de garde par rapport au sol.

Si le projet de ligne ne prévoit qu'un seul type de pylône d'alignement, il sera nécessaire de choisir, pour le calcul de ce pylône, une portée vent et une portée poids supérieure pour permettre une répartition adaptée à la configuration du terrain et ne pas être limité par une portée moyenne trop faible.

Si la portée vent doit être supérieure à la portée moyenne en terrain plat pour que le pylône s'adapte au profil, de même la portée poids doit être supérieure pour tenir compte des surcharges verticales dues aux dénivellations des pylônes les uns par rapport aux autres.

Ainsi pour une portée moyenne de 500 m en terrain plat, nous pouvons avoir besoin en montagne d'une portée vent de 660 m et une portée poids de 700 m.

Ainsi pour le projet CEB sur lequel nous travaillons nous avons, compte tenu du profil relativement plat des deux pays (TOGO et BENIN), les portées de calcul dans le tableau II-5, suivant :

Tableau 3:II-5 : Les portées de calcul

	Suspension	Ancrage
Portée vent	400 m	400 m
Portée poids	600 m	800 m

### II.3.2. PYLONES D'ANGLE ET D'ARRET

A la différence des pylônes d'alignement, les pylônes d'angle et d'arrêt sont soumis à des efforts permanents importants dus aux angles du tracé ou à l'arrêt des câbles. Ces pylônes ont une orientation par rapport à l'axe de la ligne qui répond à des exigences particulières.

Comme pour les pylônes d'alignement, nous appelons :

- Face élévation, la face perpendiculaire à l'axe de la ligne.

- Face profil, la face parallèle à la ligne.

Nous pouvons considérer cinq (05) pylônes d'angle ou d'arrêt.

- **Pylônes d'angle souple inférieur à 15 degrés.**

La chaîne d'alignement s'incline dans le sens de l'angle et en fonction de sa valeur. Il est orienté dans la bissectrice intérieure de l'angle de ligne soit  $XX'$ . La tension  $T$  des câbles est identique de part et d'autre du pylône.

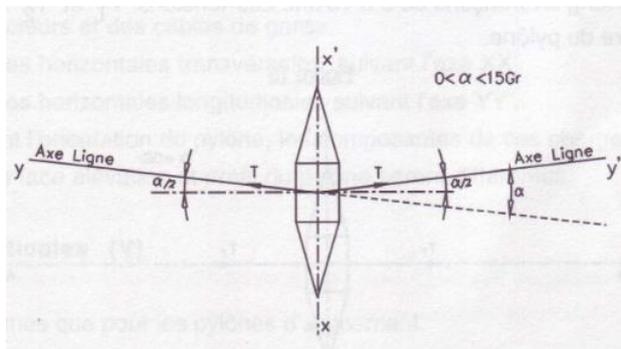


Figure 4:II-3.2 : Vue en plan d'un pylône d'angle souple inférieur à 15 degrés

- **Pylônes d'angle moyen avec ancrage compris entre 15 et 30 degrés**

Il est habituellement orienté dans la bissectrice intérieure de l'angle, mais pour certaines raisons particulières propres à son emplacement, il peut avoir une orientation différente.

Les tensions  $T_1$  et  $T_2$  des câbles de part et d'autre du pylône sont différentes en fonction de la portée moyenne du canton et du paramètre de répartition.

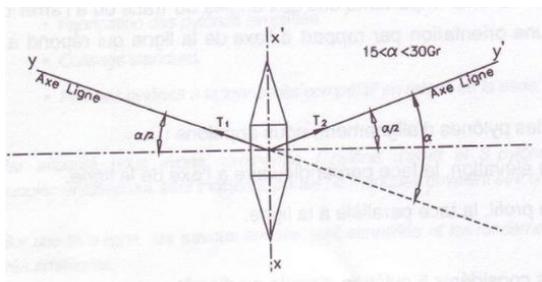


Figure 5:II-3.2 : Vue en plan d'un pylône d'angle moyen avec ancrage compris entre 15 et 30 degrés

- **Pylônes d'ancrage en alignement appelé aussi « pylône anti cascade »**

L'angle de la ligne est nul. Ces pylônes sont implantés dans l'alignement du canton pour

séparer deux tronçons correspondant à des hypothèses différentes ou pour couper un alignement trop long en tronçons de 5 à 10 km. Les tensions  $T_1$  et  $T_2$  de part et d'autre du pylône sont différentes.

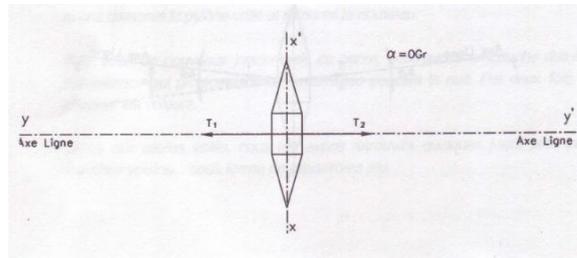


Figure 6:II-3.2 : Vue en plan d'un pylône d'ancrage en alignement appelé aussi « pylône anti cascade »

#### ▪ Pylônes d'angle fort avec ancrage compris entre 30 et 60 degrés

Ces pylônes sont implantés, soit dans la bissectrice intérieure de l'angle, soit en arrêt sur un alignement.

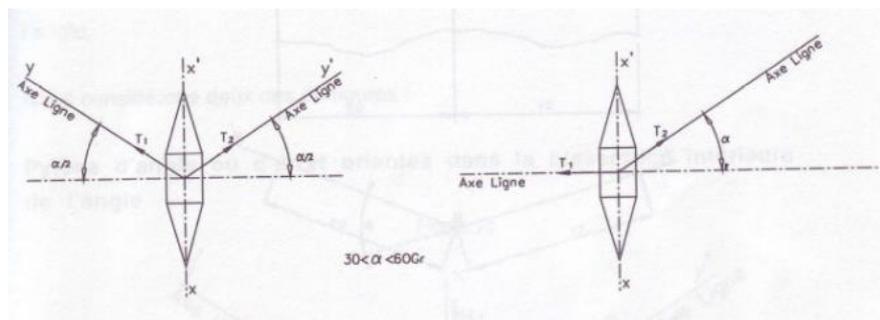


Figure 7:II-3.2: Vue en plan de pylônes d'angle fort avec ancrage compris entre 30 et 60 degrés

#### ▪ Pylônes d'arrêt en bout de ligne

Ces pylônes qui tiennent la tension totale des câbles sont implantés en arrêt sur la ligne. Toutefois, il arrive pour des raisons esthétiques que ces pylônes soient implantés parallèlement à la charpente du poste.

Pour tous ces pylônes d'angle ou d'arrêt, les charges appliquées par les câbles sont décomposées comme suit :

- Charges verticales, appliquées à la verticale de chaque accrochage des conducteurs et des câbles de garde.
- Charges horizontales transversales suivant l'axe  $XX'$ .
- Charges horizontales longitudinales suivant l'axe  $YY'$ .
- Suivant l'orientation du pylône, les composantes de ces charges agissant sur les faces élévation et profil du pylône seront différentes.

### Charges verticales (V)

Ce sont les mêmes que pour les pylônes d'alignement.

$$V_B = m\varpi \frac{(a_1+a_2)}{2} + T_m \left( \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \right) \text{ ou bien } V_B = m\varpi \frac{(a_1+a_2)}{2} + T_m \left( \frac{Z}{a_1} + \frac{Z}{a_2} \right)$$

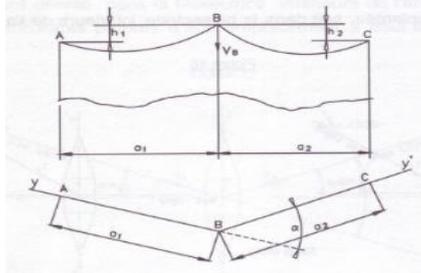


Figure 8:II-3.2 : disposition des charges verticales sur un pylône d'angle

### Charges horizontales transversales et longitudinales

Mis à part le vent sur le pylône, ces charges sont dues au vent sur les conducteurs, les câbles de garde, les chaînes d'isolateurs et aux composantes transversales et longitudinales des charges permanentes dues à la tension des câbles et à la valeur de l'angle.

Nous considérons deux cas de figures :

- **Pylône d'angle ou d'arrêt orientés dans la bissectrice intérieure de l'angle**

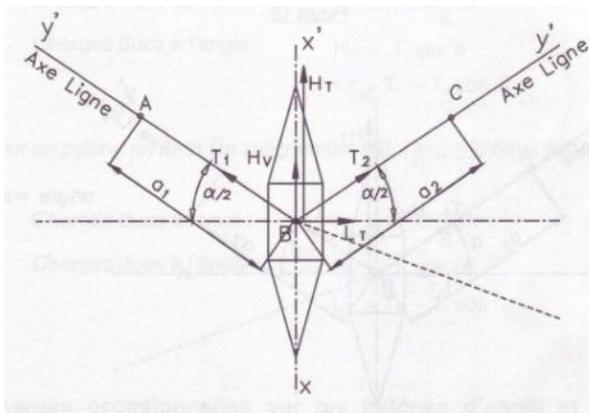


Figure 9:II-3.2 : disposition des charges sur un pylône d'angle

Supposons que le vent souffle dans la direction  $XX'$  et nous avons :

- ✓ Charges horizontales transversales (agissant dans les faces élévation)

- dues au vent :  $H_V = h_V \frac{(a_1+a_2)}{2}$

- dues à l'angle :  $H_T = (T_1+T_2) \sin \frac{\alpha}{2}$

Pour les pylônes d'angle souple :  $T_1 = T_2 = T$  alors  $H_T = 2T \sin \frac{\alpha}{2}$

- ✓ Charges horizontales longitudinales (agissant sur les faces profil)

$$- L_T = (T_1 - T_2) \cos \frac{\alpha}{2}$$

Pour les pylônes d'angle souple :  $T_1 = T_2 = T$  alors  $L_T = 0$

○ **Pylône d'angle ou d'arrêt orientés suivant une direction quelconque**

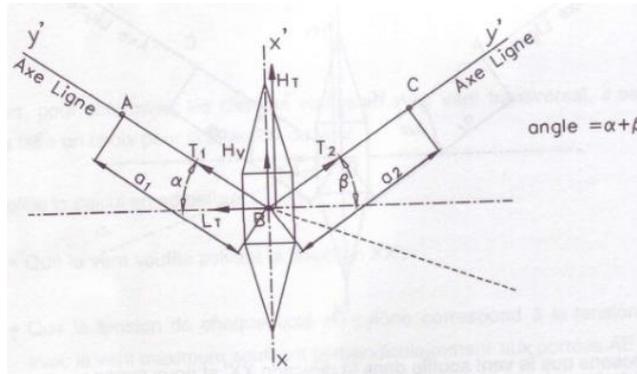


Figure 10:II-3.2 : disposition des charges horizontales sur un pylône d'angle

Supposons que le vent souffle suivant l'axe  $XX'$ . L'angle de la ligne a pour valeur :  
angle  $= \alpha + \beta$

✓ **Charges horizontales transversales** (agissant dans les faces élévation)

- dues au vent :  $H_V = h_V \frac{(a_1 + a_2)}{2}$
- dues à l'angle :  $H_T = T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \beta$

✓ **Charges horizontales longitudinales** (agissant sur les faces profil)

- dues à l'angle :  $L_T = T_1 \cos \alpha - T_2 \cos \beta$

Si le pylône est en arrêt sur un alignement :

✓ pour un pylône en arrêt sur l'alignement AB ( $\alpha = 0$ ), nous avons :

- charges dues au vent :  $H_V = h_V \frac{(a_1 + a_2)}{2}$
  - charges dues à l'angle :  $H_T = T_2 \sin \beta$
- $$L_T = T_1 - T_2 \cos \beta$$

✓ pour un pylône en arrêt sur l'alignement BC ( $\beta = 0$ ), nous avons :

- Charges dues au vent :  $H_V = h_V \frac{(a_1 + a_2)}{2}$
- Charges dues à l'angle :  $H_T = T_1 \sin \alpha$

$$L_T = T_1 \cos \alpha - T_2$$

✓ **Charges occasionnelles sur les pylônes d'angle et d'arrêt**

Ces charges occasionnelles proviennent essentiellement des méthodes utilisées pendant le

déroutage et l'ancrage des câbles.

Elles sont dues en particulier :

- Au haubanage des pylônes qui créent des surcharges verticales, transversales et longitudinales.
- A l'ancrage des conducteurs ou des câbles de garde sans haubanage des pylônes.
- Aux dissymétries des charges durant les manœuvres de réglage et d'ancrage.

#### **II.4. LES BOULONS [1]**

---

Le boulon constitue le moyen d'assemblage le plus utilisé en construction métallique du fait de sa facilité de mise en œuvre et des possibilités de réglage sur le chantier.

Le boulon est constitué de :

- Une vis
- Un écrou
- Une ou deux rondelles.

Les boulons utilisés pour la construction des pylônes de ligne haute tension ont une tête hexagonale d'un diamètre qui varie de 12 à 36 mm.

Il convient de distinguer deux types de boulons :

- 1- Les boulons normaux, dit aussi ordinaires. Ils sont mis en œuvre avec un serrage simple, non contrôlé et ne sont pas prévus pour subir une précontrainte.

La reprise des efforts perpendiculaires à l'axe du boulon s'effectue par cisaillement de ceux-ci et pression diamétrale sur l'épaisseur des pièces.

L'existence d'un jeu, indispensable au montage, entre le diamètre du trou et celui du boulon autorise un glissement de l'ensemble au cours de la mise en charge au cisaillement.

- 2- Les boulons à serrage contrôlé, dit aussi boulons précontraints, sont fabriqués spécifiquement pour garantir une aptitude de serrage. Ils sont en principe mis en œuvre à l'aide d'une clé dynamométrique qui contrôle le couple de serrage.

La précontrainte permet notamment à mobiliser des forces de frottement à l'interface des pièces assemblées et d'éviter les glissements des assemblages sous des efforts perpendiculaires à la vis.

Ces boulons sont peu utilisés pour les pylônes de ligne électrique.

- **Les boulons ordinaires**

Les boulons normaux sont disponibles en 8 classes de résistance :

4.6 – 4.8 – 5.6 – 5.8 – 6.6 – 6.8 – 8.8 et 10.9

La codification des classes de boulons reflète les contraintes limites caractéristiques utilisées dans les calculs. Le premier nombre du code est le dixième de la limite de rupture et le produit des deux nombres du code correspond à la limite d'élasticité (en daN/mm<sup>2</sup>).

Exemple :

Un boulon 4.8 a une limite d'élasticité de  $4 \times 8 = 32$  daN/mm<sup>2</sup> = 320N/ mm<sup>2</sup>

La limite de rupture est  $4 \times 10 = 40$  daN/mm<sup>2</sup> = 400N/ mm<sup>2</sup>

Ces boulons font l'objet d'une norme européenne qui couvre l'ensemble de leurs caractéristiques et mécaniques.

- **Assemblages par boulons**

La conception et le calcul par assemblages revêtent , en construction métallique, une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction.

En cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est remis en cause. Les assemblages par boulons permettent de reprendre des efforts d'orientation quelconque par rapport à l'axe du boulon. Il est d'usage d'envisager séparément les efforts parallèles et les efforts perpendiculaires à l'axe du boulon, qui correspondent à des modes de fonctionnement différents et requièrent donc des vérifications propres.

- **Résistance aux efforts parallèles à l'axe du boulon**

Les assemblages boulonnés sollicités par des efforts parallèles à l'axe du boulon assurent la transmission directe de ces efforts par simple traction du boulon.

Soit :  $F_{t,Rd}$  = la résistance à la traction du boulon en daN

$A_s$  = La section de la partie filetée du boulon en mm<sup>2</sup>

$f_{ub}$  = La limite de rupture du boulon en daN/mm<sup>2</sup>

$\gamma_{mb}$  = Le coefficient de sécurité.

La norme XP 22-311 de l'Eurocode 3 donne la valeur maximum utile de la résistance à la traction :

$F_{t,Rd} = 0,9 A_s f_{ub} / \gamma_{mb}$  avec  $\gamma_{mb} = 1,25$

- **Poinçonnement par l'écrou ou la tête du boulon**

L'Eurocode 3 complète la limitation de la traction dans le boulon par une condition visant le risque de poinçonnement par l'écrou ou la tête du boulon de l'une des tôles assemblées.

$$F_{tSd} < B_{p,Rd} = 0,6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{mb}$$

Avec :  $d_m$ , diamètre moyen de la tête du boulon ou de l'écrou en mm ;

$t_p$ , épaisseur de la tête vérifiée en mm ;

$f_u$ , limite de rupture de la tôle vérifiée en daN/mm<sup>2</sup> ;

$\gamma_{mb}$ , 1,25

#### ○ **Résistance aux efforts perpendiculaires à l'axe du boulon**

Les assemblages boulonnés sollicités par des efforts perpendiculaires à l'axe du boulon fonctionnent par pression diamétrale exercée par les boulons sur les pièces assemblées et cisaillement de ces boulons.

La norme XP 22-311 de l'Eurocode 3 donne la valeur maximale utile de la résistance au cisaillement avec  $\gamma_{mb} = 1,25$ .

$$F_{v,Rd} = 0,6 A_s f_{ub} / \gamma_{mb} \quad \text{pour les classes 4.6 – 5.6 – 6.6 et 8.8}$$

$$F_{v,Rd} = 0,5 A_s f_{ub} / \gamma_{mb} \quad \text{pour les classes 4.8 – 5.8 - 6.8 et 10.9}$$

Ces valeurs s'entendent pour un plan de cisaillement. Dans le cas d'assemblage de plus de deux pièces, la résistance pour un boulon est obtenue en multipliant les valeurs individuelles par le nombre de plan de cisaillement.

Dans les différentes formules, il est possible de remplacer la section résistante de la partie filetée par celle de la tige lisse, à la condition de vérifier que dans l'assemblage étudié, la section lisse des boulons est dans le plan de cisaillement.

#### ○ **Résistance à la pression diamétrale**

La résistance à la pression diamétrale constitue un deuxième critère à vérifier pour les assemblages sollicités perpendiculaires à l'axe du boulon. Elle vise en principe la tenue locale des pièces sous la pression exercée par la tige du boulon dont l'acier est généralement beaucoup plus dur.

La formule de résistance à la pression diamétrale prend en compte également une pression sur une surface conventionnelle égale au produit du diamètre du boulon par l'épaisseur de la pièce limitée par l'intermédiaire d'un coefficient minorateur «  $\alpha$  » établi en fonction de la pince longitudinale «  $e_1$  » et de l'entraxe des boulons «  $p_1$  ».

La formule de la pression diamétrale «  $F_{b,Rd}$  » s'écrit :

$$F_{b,Rd} = 2,5 \alpha f_u d t / \gamma_{Mb}$$

Avec :  $\gamma_{Mb} = 1,25$

$f_u$  = résistance à la traction en daN/mm<sup>2</sup> ;

$d$  = diamètre du boulon en mm ;

$t$  = épaisseur de la tôle en mm.

Pour l'acier de nuance S235,  $f_u = 36$  daN/mm<sup>2</sup>

S275  $f_u = 43$  daN/mm<sup>2</sup>

S355  $f_u = 51$  daN/mm<sup>2</sup>

«  $\alpha$  » est le coefficient minorateur égal au minimum des rapports :

$\frac{e_1}{3d}$  ou  $\frac{p_1}{3d} - \frac{1}{4}$  sans dépasser 1 ni le rapport des limites de rupture des aciers constituant les

boulons et la pièce  $f_{ub} / f_u$ .

Si «  $F_{v,Rd}$  » est la résistance au cisaillement, nous devons avoir :  $F_{b,Rd} < F_{v,Rd}$

#### ○ **Résistance des trous sur la charpente**

Les diamètres normaux de perçage des trous sur les pylônes prévus par l'Eurocode 3 sont :

- $d + 1$  mm pour les boulons M12 et M14
- $d + 2$  mm pour les boulons M16 et M24
- $d + 3$  mm pour les boulons M27 et plus

Il est néanmoins admis pour les boulons M12 et M14 d'augmenter ce diamètre à  $d + 2$  à condition que la résistance au cisaillement des boulons soit supérieure à la résistance en pression diamétrale.  $F_{v,Rd} > F_{b,Rd}$

L'importance du jeu entre les trous et les boulons, par le biais de plastifications obtenues par pression diamétrale, permet d'augmenter la capacité d'adaptation de l'assemblage.

Sauf à ramener le diamètre des perçages à  $d + 1$ , il convient de limiter à 5 le nombre total de boulons d'un assemblage disposé en file parallèlement à la direction de l'effort et de considérer qu'un des boulons reste inactif et ne doit pas être pris en compte par le calcul.

○ **Attache excentrée des cornières**

De manière presque systématique, les cornières simples ou doubles, sont attachées à leurs extrémités par une seule des deux ailes. Ainsi, l'excentricité du plan d'assemblage par rapport à la fibre neutre du profil implique une distribution non uniforme des contraintes dans la barre.

L'Eurocode 3 impose de fonder la résistance de calcul de la barre sur une section nette résistante réduite pour tenir compte des efforts dus à l'excentricité.

Si l'assemblage ne comporte qu'un seul boulon, cette section correspond simplement à une section nette symétrique autour de l'axe du boulon.

Si l'assemblage comporte plusieurs boulons en ligne, une certaine diffusion des contraintes peut s'opérer sur la longueur de l'assemblage et la section résistante correspond à la section nette usuelle à laquelle s'applique un coefficient minorateur «  $\beta$  » fonction du nombre de boulons et de la distance des boulons  $p_1$ .

**Tableau 4:II-4 : Valeur du coefficient  $\beta$**

Entraxe	$p_1 < 2,5 d$	$p_1 > 5d$
$\beta$ pour 2 boulons	0,4	0,7
$\beta$ pour 3 boulons et plus	0,5	0,7

NB : Pour les valeurs intermédiaires de  $p_1$ , la valeur de  $\beta$  peut être déterminée par interpolation linéaire.

## **II.5. LES PARAMETRES DE CONCEPTION D'UNE LIGNE**

Les paramètres de conception que nous allons décrire proviennent des spécifications techniques du DAO de la ligne double terne 2X161 kV entre les villes de Parakou et de Onigbolo au Bénin (environ 280 km).

Nous entendons par « terne » une réunion de trois câbles électriques aériens (tous des phases).

### **II.5.1. CARACTERISTIQUES DES CABLES**

#### **II.5.1.1. Conducteur utilisé pour notre étude est : AAAC 500 MCM.**

Le conducteur est un câble de type AAAC, non graissé.

#### **II.5.1.2. Câble de Garde à Fibres Optiques**

Le câble de garde à fibres optiques est de type almélec-acier avec 24 fibres optiques.

## **II.5.2. HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT**

Les hypothèses climatiques pour le dimensionnement de la ligne sont les hypothèses du DAO.

Elles sont établies dans le Tableau 5 suivant :

**Tableau 5:II-5.2 : hypothèses climatiques**

Hypothèses	Températures (°C)	Vitesse du vent (m/s)	Pression du vent (daN/m <sup>2</sup> )
A -CCQ	27	0	0
B - Tmoy Vmax	27	32	63
C - Tmin Vréd	12	19,2	23
IMAP	70	0	0

Les critères de dimensionnement pour la tenue des câbles sont donnés dans le tableau 6 suivant :

**Tableau 6:II-5.2 : critères de dimensionnement pour la tenue des câbles**

Hypothèses	% charges de ruptures max	
	Conducteur	Câble de garde
A – EDS (Everyday Stress)	16	20
B – Vent max	50	50
C – Température min	50	50

La flèche du câble de garde est limitée à 85% de la flèche du conducteur avec les conditions climatique de l'hypothèse A.

## **II.5.3. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES**

### **II.5.3.1. Distance à la masse**

Les distances d'isolement sont basées sur les STANDARDS CEB.

Trois cas sont à prendre en compte :

**Tableau 7:II-5.3 : distance à la masse**

Hypothèses	Distance à la masse (m)
Sans vent	1,650
Vent réduit	0,900
Vent maximal	0,500

Pour le positionnement physique confer figure 10 de l'ANNEXE A.

### II.5.3.2. Ecartement entre conducteurs

La distance minimale entre conducteurs en milieu de portée sous vent réduit est définie par:

$$e_{cs} = 0,60 \times m' \times \sqrt{(f + l)} + t_1 \times \sqrt{3}$$

Où :

$m'$  = coefficient de surcharge avec vent réduit (rapport de la résultante des efforts dus au vent et au poids sur le poids) en daN/m<sup>2</sup>

$f$  = flèche médiane à température maximale dans le câble (70°C)

$l$  = longueur de la chaîne de suspension

$t_1$  = distance minimale à la masse avec vent maximum égale à 0,50m.

De plus, la distance verticale entre extrémités des consoles doit être supérieure ou égale à 4,50 mètres d'après le paragraphe 3.3.3 des STANDARDS CEB.

Le Calcul donne un écartement de 4,53m minimum entre les phases en milieu de portée pour une portée maximale géométrique de 510m.

### II.5.3.3. Ecartement entre conducteur et câble de garde

La distance minimale d'isolement entre conducteur et câble de garde en milieu de portée sans vent est de :

$$E = 0,60 \times m' \times \sqrt{(F + L)} + T_1 \text{ pour } F+L < 80 \text{ m}$$

Avec :

- $F$  : la flèche médiane à 65°C ;
- $L$  : la longueur de la chaîne de suspension ;
- $T_1$  : la distance de tension égale à 0,20 m pour 90 kV ;
- $m'$  : coefficient de surcharge sous un vent réduit de 360 daN/m<sup>2</sup>.

Le calcul donne un écartement de 4,30 m minimum entre conducteurs et câbles de garde en milieu de portée pour une portée maximale géométrique de 510 m.

### II.5.3.4. Principale hauteur de surplomb

Les hauteurs de surplomb ont été définies dans les STANDARDS CEB Lignes pour les portées normales :

• Terrain ordinaire et cultivé	7,0 m
• Maisons d'habitation	5,0 m
• Traversée de route	8,5 m
• Traversée de voie ferrée	9,0 m

• Traversée de voies d'eau navigables	9,0 m
• Traversée de lignes de télécommunication	4,0 m
• Traversée de lignes d'énergie	4,0 m

### II.5.3.5. Angle de protection du câble de garde

L'angle de protection du câble de garde est de 25°.

## II.5.4. LES SUPPORTS

### II.5.4.1. Géométrie

La famille standard de pylônes est composée de pylônes à base carrée en treillis métallique.

### II.5.4.2. Famille de pylônes

Pour le projet de ligne Onigbolo Parakou on a retenu (03) trois types de pylônes.

Tableau 8: II-5.4 : types de pylônes

Type de pylône	Utilisation	Angle	Portée vent (m)	Portée poids (m)	Portée géométrique max (m)
A	Suspension	0°	400	600	510
		2°	300	600	510
B	Ancrage	0° à 30°	400	800	530
C	Ancrage	30° à 60°	400	800	530
	Arrêt	0° à 30°			

Les silhouettes des différents pylônes sont données en annexe A.

### II.5.4.3. Géométrie des pylônes

Les hauteurs sous console des pylônes, sont indiquées ci-après :

Tableau 9:II-5.4 : hauteurs sous console

Type de pylône	Hauteur sous console (m)
A	27,7
B	23,7
C	23,7

## II.5.5. EFFORT DUS AU VENT POUR LA CONCEPTION DES PYLONES

### II.5.5.1. Charges de vent sur conducteurs

Les efforts dus au vent sur les câbles sont définis par la formule suivante :

$$A = q_0 \times C_{xc} \times d \times L$$

- $q_0$ , pression dynamique de référence en  $N/m^2$ , égale à  $0,5 \times \ell \times V^2$ , en fonction de la vitesse de référence du vent  $V$  en  $m/s$  et  $\ell$ , la masse volumique de l'air en  $kg/m^3$  ;
- $C_{xc}$ , coefficient de trainée égal à 1,0 ;
- $d$ , diamètre du câble ;
- $L$ , longueur de la portée vent considérée (soit la demie somme des portées adjacentes).

### **II.5.5.2. Charge de vent sur pylônes**

Les charges de vent sur les pylônes sont définies par la formule suivante :

$$A_T = q_0 \times C_{XT} \times S_T$$

- $q_0$ , pression dynamique de référence ;
- $C_{XT}$ , coefficient de trainée tenant compte de toutes les faces du pylône, égal à 2,9 ;
- $S_T$ , surface projetée d'une face du pylône.

### **II.5.5.3. Charge de vent sur chaînes d'isolateurs**

Les charges de vent sur les chaînes d'isolateurs sont définies par la formule suivante :

$$A_I = q_0 \times C_{XI} \times S_I$$

- $q_0$ , pression dynamique de référence ;
- $C_{XI}$ , coefficient de trainée tenant, égal à 1,2 ;
- $S_I$ , surface de la chaîne d'isolateur projetée exposée au vent.

### **II.5.5.4. Coefficients de sécurité**

Les coefficients de sécurité utilisés pour le calcul des pylônes sont :

- Pour les cas de charge normaux : 1,60
- Pour les cas de charge exceptionnels : 1,10

### **II.5.5.5. Cas de charges**

Les cas de charge utilisés pour le calcul des pylônes sont issus des STANDARDS CEB et sont représentés dans le tableau 3 de l'ANNEXE A.

### **II.5.5.6. Validation de la conception**

Le logiciel de calcul utilisé est AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS Professionnel 2013.

Il est le regroupement plusieurs modules parmi lesquels nous pouvons citer : l'étude d'une coque, l'étude d'un treillis spatial et l'étude d'un portique spatial etc...

Ce logiciel intègre la méthode de calcul aux ETATS LIMITES et prend en compte les coefficients de sécurités réglementaires selon plusieurs facteurs d'insécurité à l'égard: D'une part de l'état limite ultime (ELU) correspondant à la ruine d'un des éléments de l'ouvrage;

D'autre part de l'état limite de service (ELS) correspondant à l'état limite de fissuration et de déformation.

C'est le module « Etude d'un portique spatial » que nous avons utilisé pour le calcul des éléments de la structure de notre pylône.

Il permet de calculer les charges de neige et vent sur pylône, les efforts dans les différentes barres, les moments, les contraintes ainsi que la résistance des boulons.

## **II.5.6. MATERIAUX**

### **II.5.6.1. Cornières**

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

Les valeurs de la limite à la rupture et de la limite d'élasticité sont données dans le tableau 10 suivant :

**Tableau 10:II-5.6 : les valeurs de la limite à la rupture et de la limite d'élasticité des cornières**

Description de l'acier	S235JR
$f_{bu}$ – Limite à la rupture minimale en traction	360 N/mm <sup>2</sup>
$f_y$ - Limite d'élasticité minimale garantie	235N/mm <sup>2</sup>

Les cornières auront une épaisseur minimale de 4 cm.

### **II.5.6.2. 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 dans le tableau 11 suivant :

**Tableau 11:II-5.6 : les valeurs de la limite à la rupture et de la limite d'élasticité des boulons**

Description des boulons	Boulons ISO 898 classe 6.8
$f_{bu}$ – Limite à la rupture minimale en traction	600 N/mm <sup>2</sup>
$f_y$ - Limite d'élasticité minimale garantie	480N/mm <sup>2</sup>

Les boulons seront matés.

Les boulons M12, M16 ou M20 seront utilisés pour la fixation des cornières du pylône.

## **II.5.7. GALVANISATION**

Les membrures, les plaques et les goussets d'acier ainsi que les boulons et les écrous seront

galvanisés à chaud conformément à la norme EN ISO 1461.

L'épaisseur minimale de galvanisation est de 70  $\mu\text{m}$ , données dans les « STANDARDS CEB Lignes 2010 ».

## II.6. ISOLEMENT

### Matériel

Les isolateurs prescrits par les « STANDARDS CEB Lignes 2010 » sont de types capot et tige en verre trempé U100BL (pour les lignes au Nord des deux pays, Bénin et Togo) ou U100BLP (pour les lignes au Sud des deux pays, Bénin et Togo).

Tableau 12:II-5.7 : Les caractéristiques des isolateurs utilisés

Désignation	Unité	U100BL	U100BLP
Diamètre nominal	mm	255	280
Pas nominal	mm	146	146
Longueur de la ligne de fuite totale	mm	320	445
Poids approximatif	kg	4	5,8
Charge minimale de rupture électromécanique	kN	100	100

La Charge minimale de rupture des chaînes est de 100 kN conformément aux spécifications des équipements de chaînes.

Pour les chaînes d'ancrage, le conducteur sera relié à la chaîne par l'intermédiaire d'un manchon à compression muni d'une plage de dérivation permettant la fixation des bretelles de dérivation.

## II.7. REPARTITION

### Tension et paramètre de réglage

La portée équivalente varie selon les cantons.

Le paramètre de répartition à 70°C sans vent est vérifié pour chaque canton en fonction de la portée équivalente.

D'après les STANDARDS CEB lignes 2010 et le DAO, les résultats des calculs de tension et flèches sont donnés dans le tableau 4 de l'ANNEXE A.

## **II.8. GEOMETRIE ET ARBRES DE CHARGES D'UN PYLONE DE TYPE C [4]**

### **II.8.1. DONNEES DES CABLES**

Les données des câbles figurent dans le tableau 5 de l'ANNEXE A.

### **II.8.2. HAUTEUR STANDARD THEORIQUE**

La hauteur standard sous console d'un pylône de type C est de 23,7 m par rapport au sol.

Cf. : Fig II-11 : hauteur sous console d'un pylône de type B ou C

Des extensions permettent de réaliser des pylônes d'angle de hauteur -6m et +0m. Chaque pylône est désigné par la lettre correspondant au type puis suivi du type d'extension utilisé.

Ainsi, un pylône de niveau 0 est désigné par C +0

un pylône de niveau - 6 est désigné par C -6

### **II.8.3. DISTANCE ENTRE PHASES / PHASE ET CABLE DE GARDE**

Les distances entre phases et entre phases et terre à l'intérieur d'une portée sont calculées en utilisant les formules indiquées dans les STANDARDS CEB :

Distance en milieu de portée :

$$E = 0,60 \times m' \times \sqrt{(f + L)} + T_1 \sqrt{3} \text{ entre phases / ou entre câbles de garde.}$$

Distance en milieu de portée :

$$E = 0,60 \times m' \times \sqrt{(f + L)} + T_1 \text{ entre phase et câbles de garde.}$$

Avec :

- $m'$  : coefficient de surcharge sous un vent réduit
  - $m' = 1,209$  conducteurs
  - $m' = 1,256$  câble de garde
  
- $f$  : la flèche en milieu de portée maximum géométrique;
  - $f = 25,08$  m conducteurs
  - $f = 20,41$  m câbles de garde
  - $D = 4,67$  m différentiel de flèche conducteur – câble de garde
  
- $L$  : la longueur de la chaîne
  - $L = 0,00$  m ancrage
  - $L = 0,00$  m ancrage

- $t_1$  : la distance de tension;
  - $t_1 = 0,5\text{m}$  en 161 kV

$E = 4,50\text{ m}$  entre phase en milieu de portée

$E = 4,50\text{ m}$  entre file d'ancrages conducteurs

$E = 4,13\text{ m}$  entre phase et Cdg en milieu de portée.

#### **II.8.4. HAUTEUR DU CHEVALET DE CÂBLE DE GARDE**

La hauteur du chevalet de câble de garde est définie par l'angle de couverture du câble de garde, comme le montre la Fig II-10 : distance à la masse, longueur des chaînes, angle de balancement et angle de protection du câble de garde.

#### **II.9. CALCUL DES CHARGES POUR LE PYLONE D'ANGLE**

Pour calculer un pylône, que ce soit un pylône d'alignement, d'angle ou d'arrêt, il est tout d'abord nécessaire d'étudier le cahier des charges, de définir les différentes hypothèses de calcul et de calculer les charges supportées par le pylône dans chaque hypothèse.

L'ensemble des calculs est résumé par l'arbre des charges qui illustre les différents cas de charge pour chaque pylône de la ligne. Pour expliquer le mode opératoire, nous avons pris un exemple concret de la ligne Onigbolo-Parakou dont les travaux vont démarrer sous peu.

Il s'agit d'un pylône de ligne haute tension 161kV, double terne qui supporte :

- Un (01) câble de garde à fibres optiques de type almélec-acier avec 24 fibres optiques de  $88,4\text{ mm}^2$ .
- Six (06) câbles conducteurs de  $253,35\text{mm}^2$  de type AAAC (aluminium).

Ce pylône est calculé en ancrage avec les caractéristiques suivantes :

#### **Caractéristiques**

Portée Vent	400 m
Portée Poids	800 m
Angle	$60^\circ$

#### **Cas N°1 – Charges normales – Vent maximum (hypothèse B – Vmax)**

##### **Cantons adjacents équilibrés**

**Vent sur pylône :** Vent transversal égal à :  $1,6 \times 628 \times 2,9\text{ N/m}^2$  sur la surface projetée d'une face.

Le tableau 6 de l'ANNEXE A contient les valeurs des charges calculées.

Les charges calculées permettent d'établir l'arbre des charges qui résume les hypothèses de

calcul du pylône d'angle comme demandé dans le cahier des charges. Nous avons pris le cas N°1 des six cas qu'on a pu identifier. Pour les autres cas possibles voir l'Annexe B.

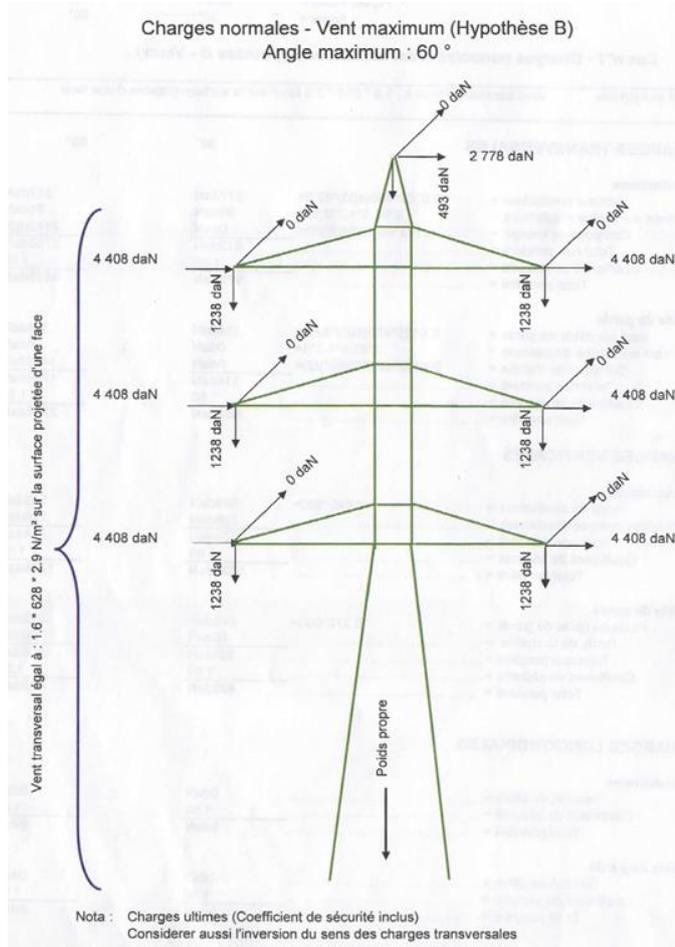


Figure 11:II-9 : arbre des charges pour pylône d'angle

## **CHAPITRE-III : DIMENSIONNEMENT DU PYLONE A L'AIDE DU LOGICIEL AUTODESK ROBOT ANALYSIS PROFESSIONNEL 2013**

Le dimensionnement du pylône a consisté en la détermination des efforts dans les barres du pylône.

Avant les calculs des efforts étaient effectués manuellement et la seule façon de s'en tirer était de ramener le calcul du pylône au calcul de sous-ensembles.

Parmi les méthodes utilisées nous pouvons citer :

- La méthode graphique de Cremona
- La méthode analytique (Méthode de RITTER ou des moments)

Actuellement, avec l'arrivée de l'ordinateur capable de résoudre très facilement un très grand nombre d'équations, on traite le calcul en spatial.

Plusieurs logiciels sont utilisés à cet effet, parmi lesquels nous pouvons citer Autodesk Robot Structural Analysis Professionnel version 2013 que nous avons utilisé dans le cadre de ce mémoire.

### **III.1. PRESENTATION DU LOGICIEL ET DE SON ENVIRONNEMENT**

---

Le logiciel de calcul utilisé est AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS Professionnel 2013.

Il est le regroupement de plusieurs modules parmi lesquels nous pouvons citer : l'étude d'une coque, l'étude d'un treillis spatial, l'étude d'un portique spatial etc...

Ce logiciel intègre la méthode de calcul aux ETATS LIMITES et prend en compte les coefficients de sécurités réglementaires selon plusieurs facteurs d'insécurité à l'égard:

- D'une part de l'état limite ultime (ELU) correspondant à la ruine d'un des éléments de l'ouvrage;
- D'autre part de l'état limite de service (ELS) correspondant à l'état limite de fissuration et de déformation.

C'est ce module « Etude d'un portique spatial » que nous avons utilisé pour le calcul des éléments de la structure de notre pylône.

Il permet de calculer les charges de neige et vent sur pylône, les efforts dans les différentes barres, les moments, les contraintes ainsi que la résistance des boulons.

Les figures III-1 & 2 montrent l'environnement AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS Professionnel 2013.

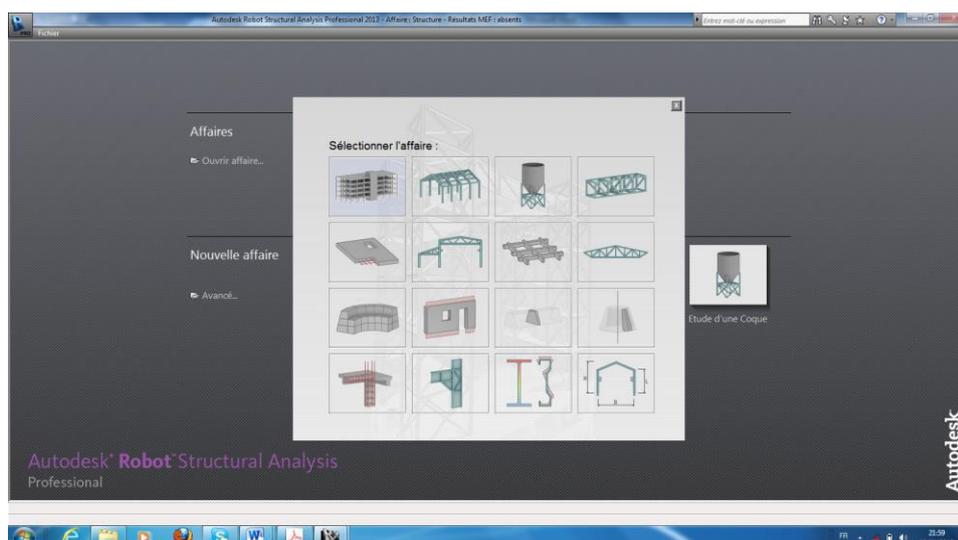


Figure 12:III-1: Environnement AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS Professionnel 2013.

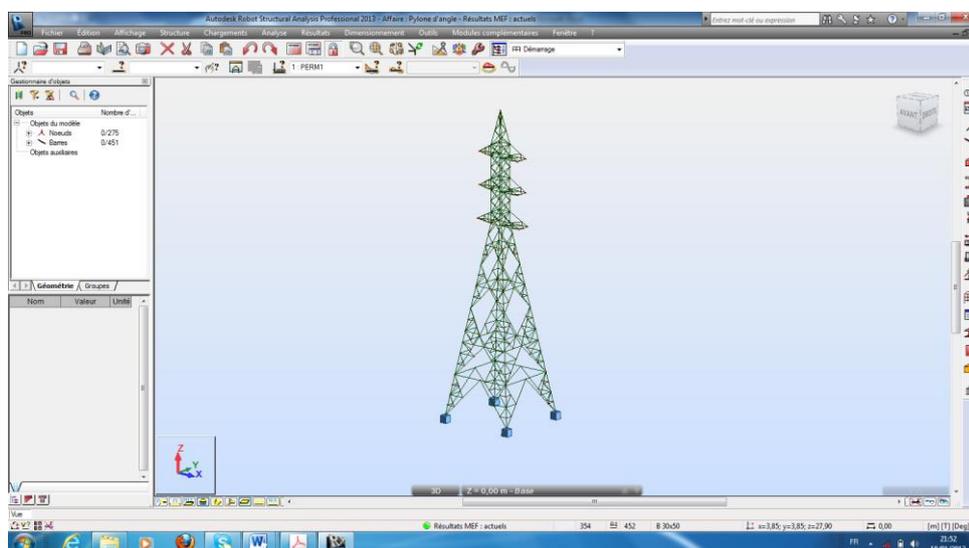


Figure 13:III-1: Vue en 3D du pylône modélisé

## III.2. LA CONCEPTION ET LA MODELISATION

C'est un plan d'un pylône d'angle existant que nous avons modélisé. Il a une forme carrée de 9,30m de côté, une hauteur sous console de 23,7m.

Pour sa modélisation nous avons dû suivre une formation sur le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis.

La modélisation a consisté en :

- La définition des lignes de construction ;
- La sélection des normes ;
- La définition des barres de la structure ;
- La définition des appuis ;

### III.3. LA DEFINITION DES CHARGES ET RESULTATS DES CALCULS

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 ;

Pour définir les charges de vent sur le pylône il faut le diviser en « tronçons » c'est ainsi que nous avons divisé notre pylône en 7 (sept) tronçons.

- **La direction du vent**

Pour le calcul des constructions, on suppose que la direction du vent est horizontale, mais sa pression se définit par rapport à la surface qu'elle rencontre.

Ainsi, selon la norme NV65, les directions les plus défavorables sont bien la direction normale à une face et la direction diagonale dans le cas d'un pylône de section carrée.

- Direction I : ou direction normale.
- Direction II : ou direction diagonale



- **Action du vent sur le pylône et les accessoires [9]**

A partir des règles NV65 : on peut extraire l'équation suivante :

$$q_h = q_H \times S_p \times C_t \times \beta$$

Avec:

$q_h$  : action du vent ;

$q_H$  : pression dynamique à une hauteur H ;

$S_p$  : la surface du pylône exposée au vent et les accessoires ;

$C_t$ : coefficient de traînée;

$\beta$ : coefficient de majoration dynamique.

- **La pression dynamique**

D'après les règles NV65,  $q_H = 2,5 * \frac{(H+18)}{(H+60)} * q_{10}$

Avec  $q_{10}$  la pression dynamique de base à 10m de hauteur

$$q_{10} = V_n^2 / 16,3 \text{ avec } q_{10} \text{ en daN/m}^2 \text{ et } V_n \text{ en m/s}$$

- **La surface  $S_p$**

C'est la surface du pylône exposée au vent, elle est égale à la surface totale de la face latérale.

$$S_p = \sum L_i l_i$$

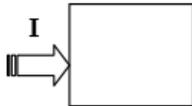
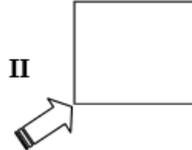
$L_i$  : Longueur du profilé

$l_i$  : largeur du profilé

- **Le coefficient  $C_t$**

$C_t$  est le coefficient de traînée, il dépend de la géométrie de la structure, du type de profilés et de la direction du vent.

Pour les constructions en treillis de forme carrée ou rectangulaire,  $C_t$  prend les valeurs présentées ci-après :

Direction	$C_T$
	$C_t = 3,2 - (2 \times \varphi)$
	$C_t = \chi \times (3,2 - (2 \times \varphi))$ avec $\chi = (1 + (0,6 \times \varphi))$

Avec :  $\varphi = \frac{S_p}{S}$  ;  $\varphi$  est le pourcentage des vides, et  $0,08 < \varphi < 0,35 S_p$

$S$  est la surface pleine.

- **Le coefficient  $\beta$**

$$\beta = \theta \times (1 + \xi \tau)$$

Avec :

$\theta$  : coefficient global dépendant du type de construction. Pour les constructions en treillis  $\theta=1$ .

$\tau$  : coefficient de pulsation dépend de la hauteur de la structure.

Exemple pour  $H=45m$  on a  $\tau=0,31$

$\xi$  : coefficient de réponse, il est déterminé en fonction de la période  $T$  du mode fondamentale d'oscillation du pylône (mode 1).

$T = 2\pi / \omega$ ;  $\omega$  est la pulsation propre du pylône du mode fondamental.

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} ; K \text{ est la rigidité du pylône, } M \text{ est sa masse en Kg.}$$

$K = 3EI / L^3$  ; E est le module de Young, I est le moment d'inertie moyen et L est la hauteur de la structure.

La génération des charges de vent sur le pylône est effectuée suivant la norme française NV65 dont les résultats sont ci-dessous représentés :

### III.4. CALCUL DES CHARGES DE NEIGE ET VENT SUR PYLONES

**Selon NV65 Mod.99 / N84 Mod.96**

#### DIMENSIONS DU PYLONE :

Type :	<b>RECTANGULAIRE</b>
Hauteur :	<b>37,80 m</b>
Largeur :	<b>9,30 m</b>
Longueur :	<b>9,30 m</b>
Altitude de la construction :	<b>37,80 m</b>

Tronçons :

<b>1 T1</b>	Hmax= <b>5,00 m</b>
<b>2 T2</b>	Hmax= <b>9,00 m</b>
<b>3 T3</b>	Hmax= <b>16,00 m</b>
<b>4 T4</b>	Hmax= <b>23,70 m</b>
<b>5 T5</b>	Hmax= <b>27,90 m</b>
<b>6 T6</b>	Hmax= <b>32,10 m</b>
<b>7 T7</b>	Hmax= <b>37,80 m</b>

#### DONNEES VENT

Pression : **105,00 daN/m<sup>2</sup>**

Bordure du littoral : **non**

Coefficient : **1,000**

Pression : **variable**

Givre : **non**

#### RESULTATS

Cas de charge : **Vent perpendiculaire paroi I**

##### Sollicitation totale sur les tronçons :

TRONCON **T1 T1**

Sp= **4,21 m<sup>2</sup>** S= **42,44 m<sup>2</sup>** φ= **0,099** Ct= **3,002** qh/q10= **0,885** δ= **0,755**  
 ξ= **0,000** τ= **0,360** θ= **1,000** β= **1,000** T= **885,32 daN**

TRONCON **T2 T2**

Sp= **3,24 m<sup>2</sup>** S= **28,10 m<sup>2</sup>** φ= **0,115** Ct= **2,970** qh/q10= **0,978** δ= **0,755**  
 ξ= **0,000** τ= **0,360** θ= **1,000** β= **1,000** T= **745,63 daN**

TRONCON **T3 T3**

Sp= **4,99 m<sup>2</sup>** S= **36,67 m<sup>2</sup>** φ= **0,136** Ct= **2,928** qh/q10= **1,118** δ= **0,755**

$\xi_s = 0,000$	$\tau = 0,351$	$\theta = 1,000$	$\beta = 1,000$	$T = 1296,20 \text{ daN}$	
<b>TRONCON T4 T4</b>					
$S_p = 4,77 \text{ m}^2$	$S = 21,95 \text{ m}^2$	$\varphi = 0,217$	$C_t = 2,766$	$q_h/q_{10} = 1,246$	$\delta = 0,755$
$\xi_s = 0,000$	$\tau = 0,339$	$\theta = 1,000$	$\beta = 1,000$	$T = 1302,04 \text{ daN}$	
<b>TRONCON T5 T5</b>					
$S_p = 2,64 \text{ m}^2$	$S = 6,72 \text{ m}^2$	$\varphi = 0,393$	$C_t = 2,414$	$q_h/q_{10} = 1,305$	$\delta = 0,755$
$\xi_s = 0,000$	$\tau = 0,333$	$\theta = 1,000$	$\beta = 1,000$	$T = 659,66 \text{ daN}$	
<b>TRONCON T6 T6</b>					
$S_p = 2,64 \text{ m}^2$	$S = 6,72 \text{ m}^2$	$\varphi = 0,393$	$C_t = 2,414$	$q_h/q_{10} = 1,360$	$\delta = 0,764$
$\xi_s = 0,000$	$\tau = 0,327$	$\theta = 1,000$	$\beta = 1,000$	$T = 695,20 \text{ daN}$	
<b>TRONCON T7 T7</b>					
$S_p = 1,50 \text{ m}^2$	$S = 2,24 \text{ m}^2$	$\varphi = 0,671$	$C_t = 1,858$	$q_h/q_{10} = 1,426$	$\delta = 0,787$
$\xi_s = 0,000$	$\tau = 0,318$	$\theta = 1,000$	$\beta = 1,000$	$T = 329,12 \text{ daN}$	

$\Sigma T = 5913,17 \text{ daN}$

Après avoir généré les charges du vent nous avons défini les combinaisons des charges selon EC3 par la méthode automatique dans le logiciel.

Les types de combinaisons autorisées par le logiciel sont :

Type de combinaison : EFF équivalent de ELU en français.

Type de combinaison : DEP équivalent de ELS en français.

Le tableau des combinaisons créées automatiquement par le logiciel selon EC3 est le suivant :

**Tableau 13:III-4: Tableau des combinaisons générées automatiquement**

Combinaison/Comp.	Définition
ELU/1	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.35 + 4*1.35 + 5*1.35 + 6*1.35 + 7*1.35
ELU/2	*1.35 + 8*1.50 + 2*1.35 + 3*1.35 + 4*1.35 + 5*1.35 + 6*1.35 + 7*1.35
ELU/3	*1.35 + 2*1.35 + 3*1.35 + 4*1.35 + 5*1.35 + 6*1.35 + 7*1.35 + 9*1.50
ELU/4	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELU/5	*1.00 + 8*1.50 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELU/6	*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 9*1.50
ELS:CAR/ 1	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:CAR/ 2	*1.00 + 8*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:CAR/ 3	*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00
ELS:FRE/ 4	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:FRE/ 5	*1.00 + 8*0.20 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:FRE/ 6	*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 9*0.20
ELS:QPR/ 7	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:CAR/ 1	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:CAR/ 2	*1.00 + 8*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:CAR/ 3	*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 9*1.00
ELS:FRE/ 1	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:FRE/ 2	*1.00 + 8*0.20 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00
ELS:FRE/ 3	*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00 + 9*0.20
ELS:QPR/ 1	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 5*1.00 + 6*1.00 + 7*1.00

### III.5. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE SELON EC3

Nous avons défini d'abord les familles de barres avant de procéder au dimensionnement par famille.

Les résultats de ce dimensionnement figurent dans le tableau suivant :

Tableau 14:III-5 : dimensionnement des barres par famille

NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009 - Dimensionnement des familles ( ELU ) 1A15						
Résultats Messages						
Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
<b>Famille : 1 poteaux 23.7</b>						
13 Poteau_de_ri	CAE 200x24	ACIER E24	130.29	130.29	2.32	10 ELU /3/
<b>Famille : 2 37.8</b>						
15 Barre_15	CAE 200x24	ACIER E24	69.26	69.26	1.18	10 ELU /3/
<b>Famille : 3 traverses 23.7</b>						
103 Barre_103	CAE 100x12	ACIER E24	254.44	254.44	0.72	10 ELU /3/
	CAE 120x8		207.92	207.92	0.73	
	CAE 120x10		208.92	208.92	0.58	
<b>Famille : 4 traverses 37.8</b>						
292 Barre_292	CAE 60x4	ACIER	87.43	87.43	1.12	10 ELU /3/
	CAE 60x5		87.69	87.69	0.89	
	CAE 60x6		88.09	88.09	0.64	
<b>Famille : 5 diagonales 27.3</b>						
304 Barre_304	CAE 150x12	ACIER E24	107.36	107.36	1.16	10 ELU /3/
	CAE 150x14		107.83	107.83	0.79	
	CAE 150x15		108.08	108.08	0.74	
<b>Famille : 6 diagonales 37.8</b>						
97 Barre_97	CAE 80x6.5	ACIER E24	87.13	87.13	1.10	10 ELU /3/
	CAE 80x8		87.60	87.60	0.90	
	CAE 90x6		77.12	77.12	0.94	
<b>Famille : 7 Console_P_23.7</b>						
383 Barre_383	CAE 20x3	ACIER E24	79.34	79.34	0.12	10 ELU /3/
	CAE 25x3		62.33	62.33	0.07	
<b>Famille : 8 Console_T_23.7</b>						
418 Barre_418	CAE 70x5	ACIER E24	131.76	131.76	1.10	10 ELU /1/
	CAE 70x6		132.19	132.19	0.91	
	CAE 70x7		132.73	132.73	0.67	
<b>Famille : 9 Console_D_23.7</b>						
422 Barre_422	CAE 35x4	ACIER E24	149.50	149.50	0.24	10 ELU /2/
	CAE 40x3		128.99	128.99	0.28	
	CAE 40x4		130.49	130.49	0.17	
<b>Famille : 10 Console_P_27.9</b>						
395 Barre_395	CAE 20x3	ACIER E24	79.34	79.34	0.12	10 ELU /3/
	CAE 25x3		62.33	62.33	0.08	
<b>Famille : 11 Console_T_27.9</b>						
429 Barre_429	CAE 60x6	ACIER E24	139.29	139.29	1.04	10 ELU /3/
	CAE 60x8		140.79	140.79	0.80	
	CAE 70x5		118.37	118.37	0.82	
<b>Famille : 12 Console_D_27.9</b>						
438 Barre_438	CAE 35x4	ACIER E24	137.45	137.45	0.13	10 ELU /2/
	CAE 40x3		118.60	118.60	0.17	
	CAE 40x4		119.98	119.98	0.10	
<b>Famille : 13 Console_P_32.1</b>						
408 Barre_408	CAE 20x3	ACIER E24	79.34	79.34	0.17	10 ELU /3/
	CAE 25x3		62.33	62.33	0.10	
<b>Famille : 14 Console_T_32.1</b>						
440 Barre_440	CAE 60x6	ACIER E24	139.29	139.29	1.00	10 ELU /2/
	CAE 60x8		140.79	140.79	0.77	
	CAE 70x5		118.37	118.37	0.80	
<b>Famille : 15 Console_D_32.1</b>						
448 Barre_448	CAE 35x4	ACIER E24	137.13	137.13	0.09	10 ELU /2/
	CAE 40x3		118.31	118.31	0.14	
	CAE 40x4		119.69	119.69	0.06	

Dimensionnement de familles de barres - trois profilés consécutifs appartenant à chaque famille du groupe de profilés sélectionné s'affichent. Le profilé dans la ligne centrale remplit les conditions réglementaires. Les noms de profilés précédés des symboles  et  indiquent les sections transversales qui ne remplissent pas les conditions réglementaires ou qui les remplissent avec une marge de sécurité trop importante. Les profils qui remplissent les conditions réglementaires sont identifiés par le symbole . Ceux qui ne les remplissent pas sont signalés par le symbole .

De l'analyse de ce tableau il ressort que sur 451 profilés qui forment ce pylône seuls les profilés du poteau N°13 et de la barre N°15 ne sont remplissent pas les conditions réglementaires ; cette erreur serait due à un mauvais paramétrage du logiciel que nous n'avons pas pu relever, car dans la pratique nous avons des pylônes d'angle avec des poteaux et barres de CAE 120x10 qui tiennent depuis des décennies.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des efforts dans les barres. Le tableau étant grand nous allons afficher quelques valeurs.

**Tableau 15:III-5: Une portion des efforts extrêmes globaux**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Barre	Noeud	Cas	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]	Type de barre	Nature
1	18	1	6525,81	-0,17	327,98	0	-252,46	-0,15	Poteau	Structurelle
1	18	2	-5315,77	-37,08	-296,54	0,04	234,33	-33,06	Poteau	Structurelle
1	18	3	1816,7	-18,48	71,84	0,06	-53,87	-16,56	Poteau	Structurelle
1	18	4	110,96	0	5,45	0	-4,24	0	Poteau	Structurelle
1	18	5	0	0	0	0	0	0	Poteau	Structurelle
1	18	6	0	0	0	0	0	0	Poteau	Structurelle
1	18	7	-53808,41	28,23	-2609,22	-1,15	2025,15	22,87	Poteau	Structurelle
1	18	8	-4906,46	90,98	-136,53	6,05	100,55	73,87	Poteau	vent
1	18	9	190,45	129,77	-2,73	3,04	3,3	108,91	Poteau	vent
1	18	ELU+	-50385,04	167,14	-2500,49	8,02	2781,85	136,45	Poteau	
1	18	ELU-	-75765,17	-37,14	-3580,46	-1,43	1948,91	-36,32	Poteau	
1	18	ELS+	-50480,26	102,26	-2500,49	4,99	2049,46	82	Poteau	
1	18	ELS-	-55577,18	-27,51	-2637,02	-1,06	1948,91	-26,91	Poteau	
1	18	ELS:CAR+	-50480,26	102,26	-2500,49	4,99	2049,46	82	Poteau	
1	18	ELS:CAR-	-55577,18	-27,51	-2637,02	-1,06	1948,91	-26,91	Poteau	
1	18	ELS:FRE+	-50632,63	-1,56	-2500,49	0,15	1969,02	-5,13	Poteau	
1	18	ELS:FRE-	-51652,01	-27,51	-2527,8	-1,06	1948,91	-26,91	Poteau	
1	1	1	5985,04	0,01	-274,24	0	-192,17	-0,01	Poteau	Structurelle
1	1	2	-5538,75	-12,91	219,47	0,03	159,5	12,86	Poteau	Structurelle
1	1	3	1841,16	0,41	-72,13	-0,01	-51,83	-0,64	Poteau	Structurelle
1	1	4	114,1	0	-4,66	0	-3,42	0	Poteau	Structurelle
1	1	5	0	0	0	0	0	0	Poteau	Structurelle
1	1	6	0	0	0	0	0	0	Poteau	Structurelle
1	1	7	-55504,43	-195,6	2090,42	0,76	1480,56	202,04	Poteau	Structurelle
1	1	8	-4893,9	-49,82	151,22	1,79	107,5	45,29	Poteau	vent
1	1	9	179,86	-58,23	-4,64	1,01	-2,07	54,32	Poteau	vent
1	1	ELU+	-52833,09	-208,08	2871,28	3,74	2041,31	370,71	Poteau	
1	1	ELU-	-79029,74	-368,25	1951,9	0,77	1389,53	214,25	Poteau	
1	1	ELS+	-52923,02	-208,08	2110,07	2,57	1500,14	268,56	Poteau	

### III.6. VERIFICATION DES ASSEMBLAGES ACIER SELON EC3

Après le calcul réglementaire des barres de la structure (pylône), nous avons vérifié les assemblages de ces barres selon la norme EC3. Les calculs des assemblages avec le logiciel se sont effectués en deux étapes :

- La définition de la géométrie de l'assemblage (type d'assemblage) et de ses paramètres ;
- Le calcul de l'assemblage défini pour les paramètres et les cas de charge sélectionnés.

Nous donnons ci-après les résultats de calcul de l'assemblage au gousset du nœud N°41 à l'ANNEXE B.

## CONCLUSION

Ce qu'il faut retenir de ce travail c'est qu'il nous a permis de :

- 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 (alignement, d'angle ou d'arrêt);
- Apprendre la modélisation d'un pylône de ligne haute tension avec le logiciel **ROBOT STRUTURAL ANALYSIS** ;
- Apprendre la définition de plusieurs cas de charges ;
- Le calcul de l'action du vent sur pylônes ;

En somme nous pouvons dire que ce projet de fin d'étude nous a permis de calculer manuellement les charges exercées sur un pylône d'angle et de dimensionner ce dernier selon la norme Eurocode 3 avec le logiciel **ROBOT STRUTURAL ANALYSIS** ;

En arrivant au terme de ce travail, nous pouvons affirmer que nous avons beaucoup appris, l'expérience en valait la peine. En effet au-delà des difficultés il y a ce que l'on appelle communément "la leçon", c'est comme la récolte pour le paysan qui a passé de longs mois de dur labeur.

Les sections des cornières obtenues hormis celles des consoles sont toutes supérieures aux sections utilisées sur le terrain. Ces valeurs peuvent s'avérer réalistes puisque sur le terrain les problèmes sont fréquents jusqu'à ce que certains pylônes d'angle ont connu le doublement de leurs poteaux.

Au vu des résultats obtenus au cours de cette étude, nous recommandons d'autres dimensionnements avec d'autres cas de chargements autres que le cas étudié pour s'approprier l'utilisation du logiciel.

## **BIBLIOGRAPHIE**

[1] – Michel BOUGUE : Lignes électriques aériennes à très haute tension ; Tomes 1, 2, 3 et 4

[2]- STANDARDS CEB Lignes de Janvier 2010.

[3]- DAO, ligne Haute tension (161 kV) Onigbolo- Parakou en République du Bénin ;

[4]- Offres techniques des entreprises pour le projet de ligne haute tension Onigbolo Parakou au Bénin.

[5]- pfe.gc.0047\_Modélisation du comportement mécanique des supports de lignes électriques : Eric Aldo DJITRINOU ; Thiès: 2002 - 2003

[6]- pfe.gm.0099\_Problématique de la conception d'un nouveau type de poteau : Modou N'DIAYE ; Thiès : 2000

[7]- Support de cours de Construction Métallique du 2IE M1GCI-FOAD Promotion 2010-2011.

[8]- Calcul des structures métalliques selon EUROCODE 3 ; Jean Morel, Sixième tirage 2005

[9]- NV65 modifié Avril 2000

[10]- EN 1993-3 Pylônes, mats et cheminées

### Documents électroniques

[11]- <http://www.hydroquebec.com/comprendre/transport/lignes-pylones.html>

### Logiciel utilisé

AUTODESK ROBOT STRUTURAL ANALYSIS Professionnel 2013.

## **ANNEXES**

## **ANNEXE - A : LES FIGURES ET LES TABLEAUX**

---

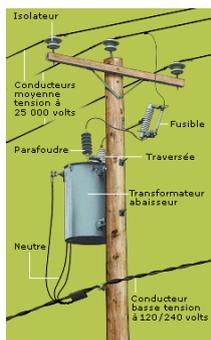


Figure 1 : Poteaux en bois



Figure 2 : Pylône tubulaire monopode

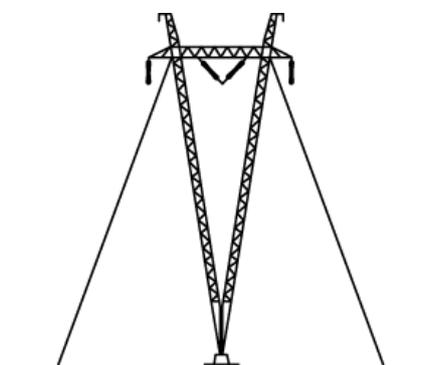


Figure 3 : Portiques haubanés avec deux fûts en « v »



Figure 4 : Pylônes de traversée

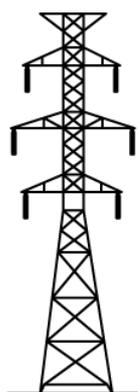


Figure 5 : Pylône classique

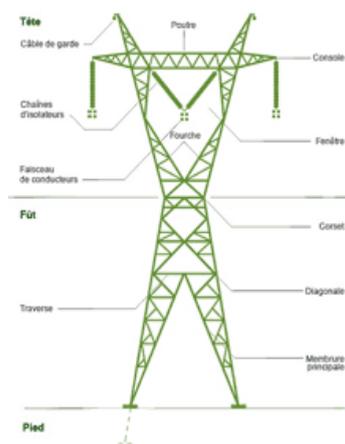


Figure 6 : Pylône nappe

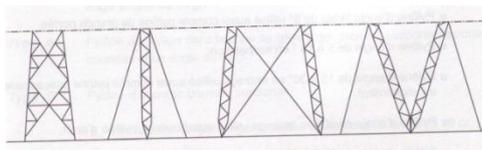


Figure 7 : Mât croisillonné, mâts haubanés et portique en « v »

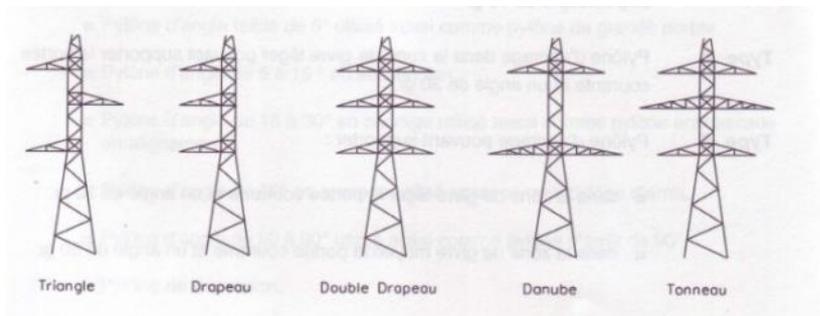


Figure 8 : Pylône triangle, drapeau, danube, double drapeau, tonneau

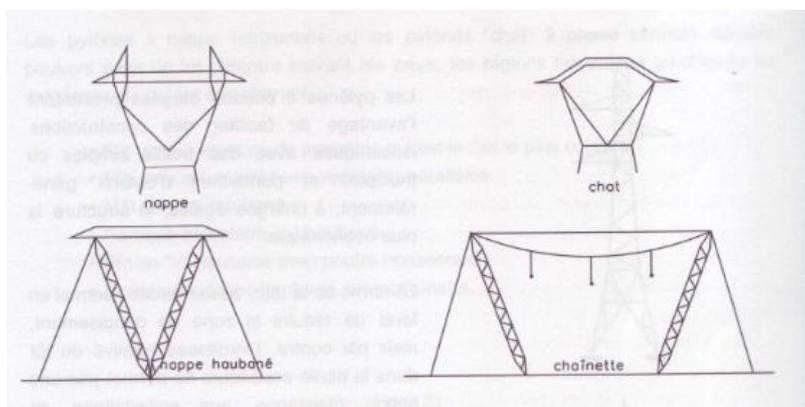


Figure 9 : Pylône nappe, chat, haubané et chaînette

Les distances la masse, les longueur de chaînes et les angles de balancement permettent de définir une géométrie. L'épure de balancement présentée ici permet de valider cette géométrie

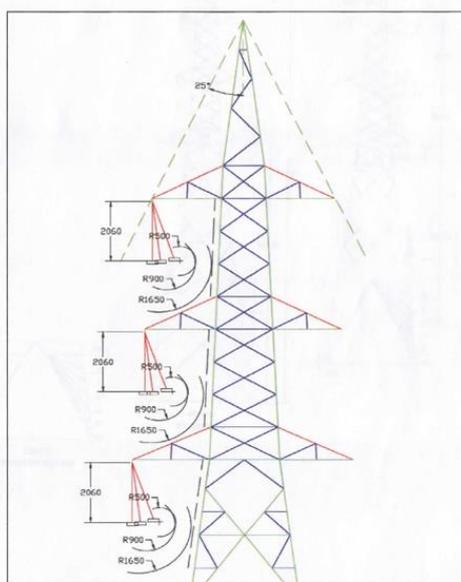


Figure 10 : distance à la masse, longueur des chaînes, angle de balancement et angle de protection du câble de garde

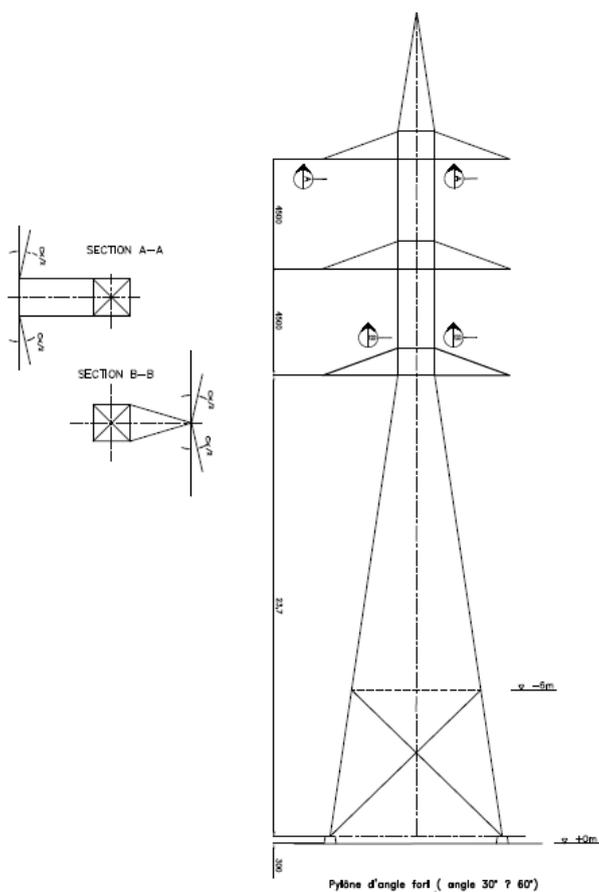


Figure 11 : hauteur sous console d'un pylône de type B ou C

Désignation	Unité	Conducteur de phase
Nature		AAAC
Dénomination		500 MCM
Section totale	mm <sup>2</sup>	253,35
Section d'aluminium	mm <sup>2</sup>	253,35
Section d'acier	mm <sup>2</sup>	
Diamètre extérieur	mm	20,6
Nombre et diamètre des fils d'aluminium	mm	19 x 4,12
Nombre et diamètre des fils d'acier	mm	
Charge de rupture minimale	daN	7235
Module d'élasticité final	MPa	63x10 <sup>3</sup>
Coefficient de dilatation linéaire	10 <sup>-6</sup> /°C	23
Masse (non graissé)	kg/km	698
Résistance électrique maximale en CC à 20°C	Ω /km	0,1322
Norme de fabrication		ASTM B 399

**Tableau 1** : caractéristiques techniques des câbles de conducteurs

Désignation	Unité	Câble de garde simple	Câble de garde isolé
Nature		Acier galvanisé	ACSR
Dénomination			Minorca
Section totale	mm <sup>2</sup>	71,3	88,90
Section d'aluminium	mm <sup>2</sup>	56,13	Section d'aluminium
Section d'acier	mm <sup>2</sup>	71,3	32,77
Diamètre extérieur	mm	10,8	12,22
Nombre et diamètre des fils d'aluminium	mm		12 x 2,44
Nombre et diamètre des fils d'acier	mm	7 x 3,6	7 x 2,44
Charge de rupture minimale	daN	8800	5125
Module d'élasticité final	MPa	172x10 <sup>3</sup>	100x10 <sup>3</sup> (*)
Coefficient de dilatation linéaire	10 <sup>-6</sup>	11,5	15 (*)

	$^{\circ}\text{C}$		
Masse (non graissé)	kg/km	560	412
Résistance électrique maximale en CC à 20°C	$\Omega$ /km		0,5161
Norme de fabrication		DIN 48-201	ASTM B 232

(\*) : Valeurs estimées

**Tableau 2** : caractéristiques techniques des câbles de garde

Type de charges	Vent		Charges	Coefficient de sécurité	
Normales	MAXIMUM	Transversales	Effet du vent sur les câbles	1,6	
			Effet du vent sur les chaînes d'isolateurs		
			Composante d'angle de tension des câbles		
		Verticales	Poids des câbles		
			Poids des chaînes d'isolateurs		
		Longitudinales	Angle : Nulles		
Arrêt : Composante d'angle de tension des câbles					
Exceptionnelles	MAXIMUM	Transversales	Câble intact	Mêmes valeurs que les charges normales	1,1
			Câble rompu	Effet du vent sur les câbles : 70% des charges normales	
		Effet du vent sur les chaînes d'isolateurs : 100% des charges normales			
		Verticales	Câble intact	Mêmes valeurs que les charges normales	
			Câble rompu	Poids des câbles : 70% des charges normales	
		Poids des chaînes d'isolateurs : 100% des charges normales			
		Longitudinales	Câble intact	Nulles	
			Câble rompu	Tension dans les câbles : 100% pour le conducteur et le câble de garde.	
Haubanage	NUL	Transversales	Nulles	1,1	
			Poids des câbles		
		Verticales	Poids des chaînes d'isolateurs		
			Efforts dus au haubanage		
			Poids d'un monteur		
		Longitudinales	Effort dus au haubanage		

**Tableau 3** : cas de charge pour le calcul des pylônes d'arrêt ou d'angle

		CONDITIONS FINALES Portée moyenne = 380 mètres	
		CONDUCTEUR	CABLE DE GARDE
A - Hypothèse A EDS	Tension	1 135 daN	759 daN
	Contrainte	15,69 % of UTS	14,4 % of UTS
	Ratio flèche	-	83,4 % of sag
	Paramètre vert	1 657 m	1 987 m
	Flèche vert	10,89 m	9,08 m
B – Hypothèse B Vent maximal	Tension	2 143 daN	1 422 daN
	Contrainte	29,6 % of UTS	27,0 % of UTS
	Ratio flèche	-	% of sag
	Paramètre vert	3 128 m	3 721 m
	Flèche vert	5,77 m	4,85 m
C – Hypothèse C Temp. Mini	Tension	1 433 daN	961 daN
	Contrainte	19,8 % of UTS	18,2 % of UTS
	Ratio flèche	-	% of sag
	Paramètre vert	2 092 m	2 515 m
	Flèche vert	8,63 m	7,18 m
D - Répartition	Tension	959 daN	640 daN
	Contrainte	13,3 % of UTS	12,1 % of UTS
	Ratio flèche	-	% of sag
	Paramètre vert	1 400 m	1 675 m
	Flèche vert	12,89 m	10,78 m

**Tableau 4 : tensions et flèches calculées des conducteurs et câble de garde**

CARACTERISTIQUES		CONDUCTEUR	CABLE DE GARDE
Type de câble		500 MCM	CDFO (Câble de Garde à Fibres Optiques)
Norme de construction		ASTM B-399	EN 50182
Section Totale mm <sup>2</sup>		253,4	88,4
Composition	Acier		
	ACS		
	Alliage Alu	19 x 4,12 mm / 253,4 mm <sup>2</sup>	
	Aluminium		
Diamètre extérieur	mm	20,60	12,50
Poids unitaire de calcul	daN/ml	0,685	0,372
Charge de rupture	daN	7 235	5 270
Module d'élasticité	daN/mm <sup>2</sup>	6 300	9 900
Coefficient de dilatation linéaire	10 <sup>-6</sup> /°C	23,0	17,6

**Tableau 5: Données des câbles**

<b>CHARGES TRANSVERSALES</b>	Application numérique avec un angle de 60°	Résultats
<b>Conducteurs</b>		
Vent sur conducteur	0,0206x400x62,8	517 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0,63	95 daN
Composante d'angle	2x2143 x sin (60°/2)	2143 daN
Total non pondéré		2755 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>4408daN</u></b>
<b>Câble de garde</b>		
Vent sur câble de garde	0,0125x400x62,8	314 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0	0 daN
Composante d'angle	2x1422xsin(60°/2)	1422 daN
Total non pondéré		1736 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>2778 daN</u></b>
<b>CHARGES VERTICALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Poids du conducteur	0,685x800	548 daN
Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		774 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>1238 daN</u></b>
<b>Câble de garde</b>		
Poids du câble de garde	0,372x800	298 daN
Poids de la chaîne	10	10 daN
Total non pondéré		308 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>493 daN</u></b>
<b>CHARGES LONGITUDINALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Tension du câble		0 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>0 daN</u></b>
<b>Câble de garde</b>		
Tension du câble		0 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>0 daN</u></b>

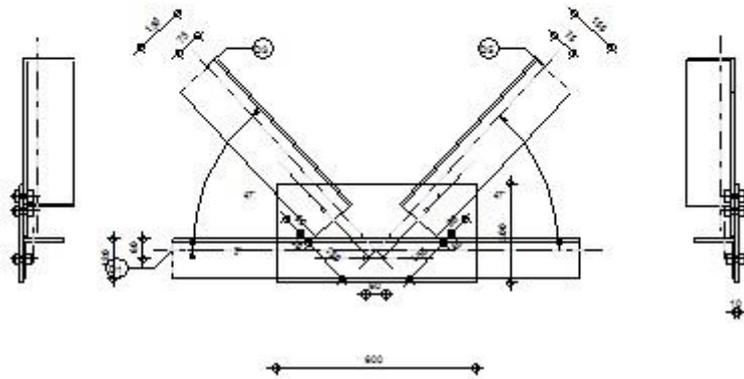
**Tableau 6 : Calcul des charges**

## **ANNEXE - B : DONNEES NECESSAIRES ET AUTRES CAS DE CHARGES**

## Calcul de l'assemblage au gousset du nœud N°41

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013	
	<b>Calcul de l'assemblage au gousset</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	

D1 - CAE 120x8  
 D2 - CAE 150x14  
 D3 - CAE 150x14



### Général

Assemblage N° : 1  
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis  
 Noeud de la structure : 41  
 Barres de la structure : 26, 26, 30, 31,

### Géométrie

### Barres

		Barre 1-2	Barre 3	Barre 5		
<b>Barre N° :</b>		26	30	31		
<b>Profilé :</b>		CAE 120x8	CAE 150x14	CAE 150x14		
<b>Matériau :</b>		ACIER E24	ACIER E24	ACIER E24		
	$f_y$	235.00	235.00	235.00		MPa
	$f_u$	365.00	365.00	365.00		MPa
<b>Angle</b>	$\alpha$	0.0	47.4	47.4		Deg
<b>Longueur</b>	l	6.88	7.68	7.68		m

### Boulons

#### Barre 1-2

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

Classe = 4.8 Classe du boulon  
 d = 16 [mm] Diamètre du boulon  
 d<sub>0</sub> = 18 [mm] Diamètre du trou de boulon  
 f<sub>yb</sub> = 280.00 [MPa] Limite de plasticité  
 f<sub>ub</sub> = 400.00 [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons  
 Espacement des boulons 60 [mm]

$e_2 = 60$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

### Barre 3

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

Classe = 4.8 Classe du boulon  
 $d = 16$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 18$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $f_{yb} = 280.00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 400.00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 2$  Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60 [mm]

$e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 75$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 150$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Barre 5

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

Classe = 4.8 Classe du boulon  
 $d = 16$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 18$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $f_{yb} = 280.00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 400.00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 2$  Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60 [mm]

$e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 75$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 150$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Gousset

$l_p = 600$  [mm] Longueur de la platine  
 $h_p = 300$  [mm] Hauteur de la platine  
 $t_p = 10$  [mm] Epaisseur de la platine

### Paramètres

$h_1 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_1 = 0$  [mm] Grugeage  
 $h_2 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_2 = 0$  [mm] Grugeage  
 $h_3 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_3 = 0$  [mm] Grugeage  
 $h_4 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_4 = 0$  [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0; 50)

$e_v = 100$  [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres  
 $e_H = 300$  [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres  
 $e_0 = 0$  [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau : ACIER  
 $f_y = 235.00$  [MPa] Résistance

### Coefficients de matériau

$\gamma_{M0} = 1.00$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M2} = 1.25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]

### Efforts

Cas 10: ELU /2/  $1*1.35 + 8*1.50 + 2*1.35 + 3*1.35 + 4*1.35 + 5*1.35 + 6*1.35 + 7*1.35$

$N_{b1,Ed} = -686.87$  [daN] Effort axial  
 $N_{b2,Ed} = 1175.42$  [daN] Effort axial  
 $N_{b3,Ed} = 1243.16$  [daN] Effort axial  
 $N_{b5,Ed} = -1459.10$  [daN] Effort axial

## Résultats

### Barre 1-2

#### Vérification de l'assemblage pour les efforts agissant sur les boulons

$F_{x,Ed} = -931.15$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = -861.24$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Rdx} = 3860.39$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 3860.39$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$-931.15 < 3860.39$	vérifié	(0.24)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$-861.24 < 3860.39$	vérifié	(0.22)

#### VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 25259.90$ [daN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 39637.85$ [daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$-1862.29 < 25259.90$	vérifié	(0.07)
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$-1862.29 < 39637.85$	vérifié	(0.05)

#### VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 13880.36$ [daN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
$ N_{b1,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ -1862.29  < 13880.36$	vérifié	(0.13)

### Barre 3

#### VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 621.58$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 682.36$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Rdx} = 3860.39$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 3860.39$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$621.58 < 3860.39$	vérifié	(0.16)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$682.36 < 3860.39$	vérifié	(0.18)

#### VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 55180.26$ [daN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 85265.59$ [daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ N_{b3,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$1243.16 < 55180.26$	vérifié	(0.02)
$ N_{b3,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$1243.16 < 85265.59$	vérifié	(0.01)

#### VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 27356.62$ [daN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
$ N_{b3,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ 1243.16  < 27356.62$	vérifié	(0.05)

### Barre 5

#### VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = -729.55$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = -800.88$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Rdx} = 3860.39$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 3860.39$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$-729.55 < 3860.39$	vérifié	(0.19)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$-800.88 < 3860.39$	vérifié	(0.21)

### VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

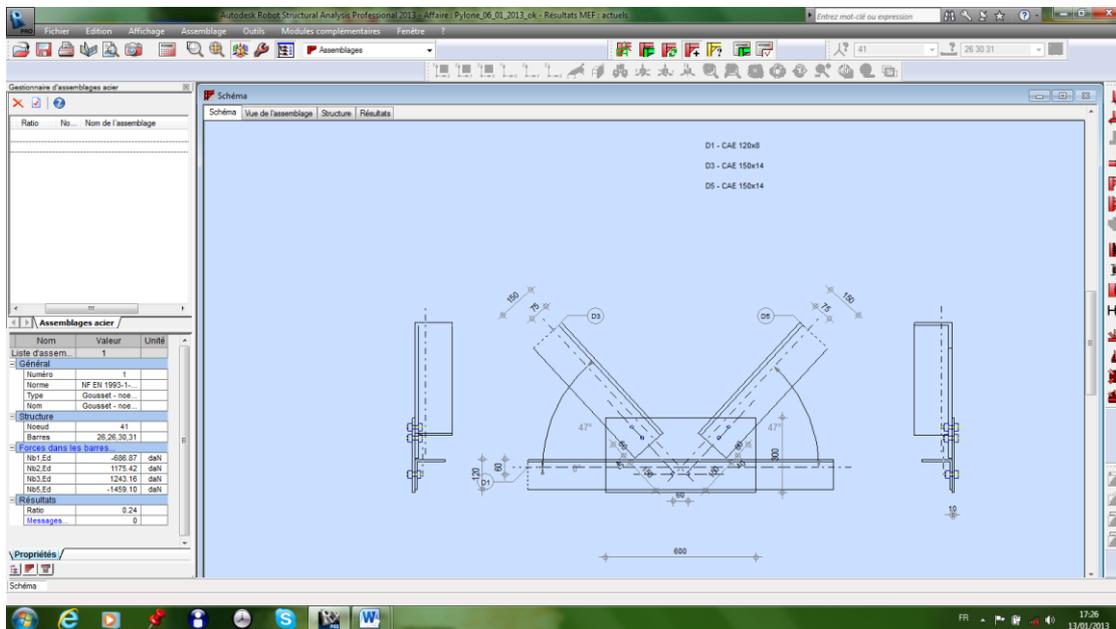
$N_{u,Rd} = 55180.26$ [daN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 85265.59$ [daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ N_{b5,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$-1459.10 < 55180.26$ <b>vérifié</b>	(0.03)
$ N_{b5,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$-1459.10 < 85265.59$ <b>vérifié</b>	(0.02)

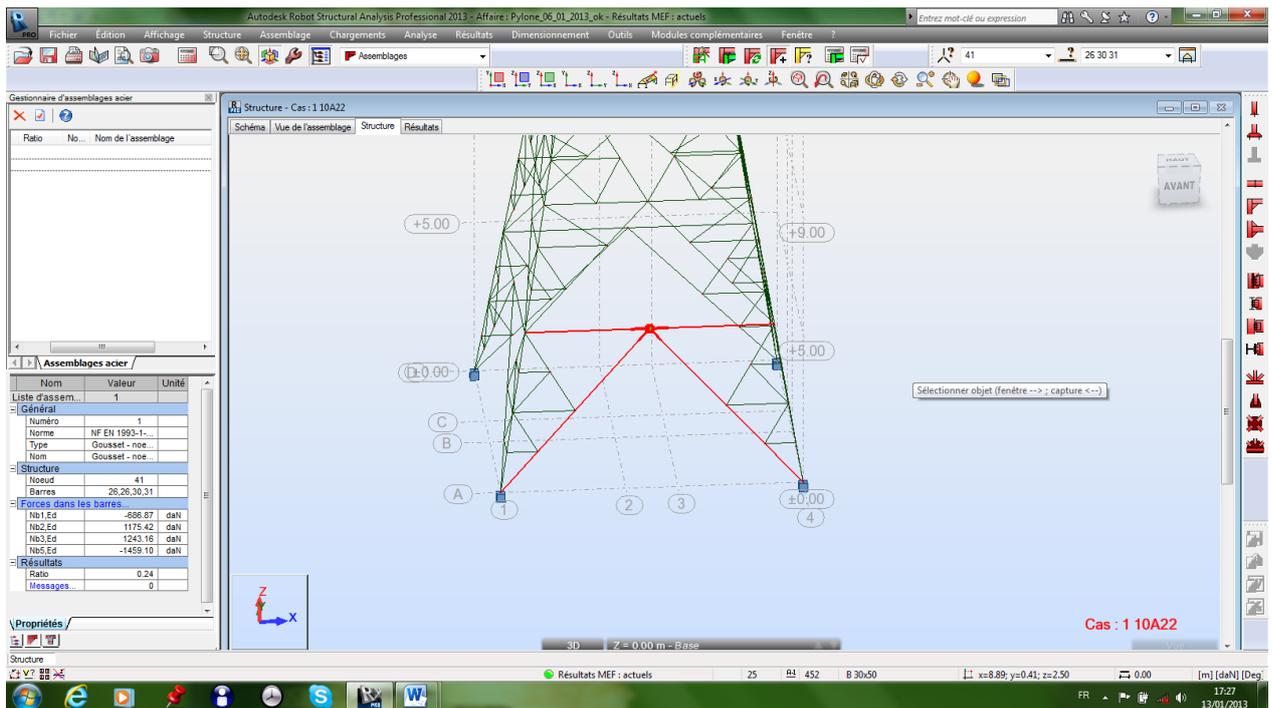
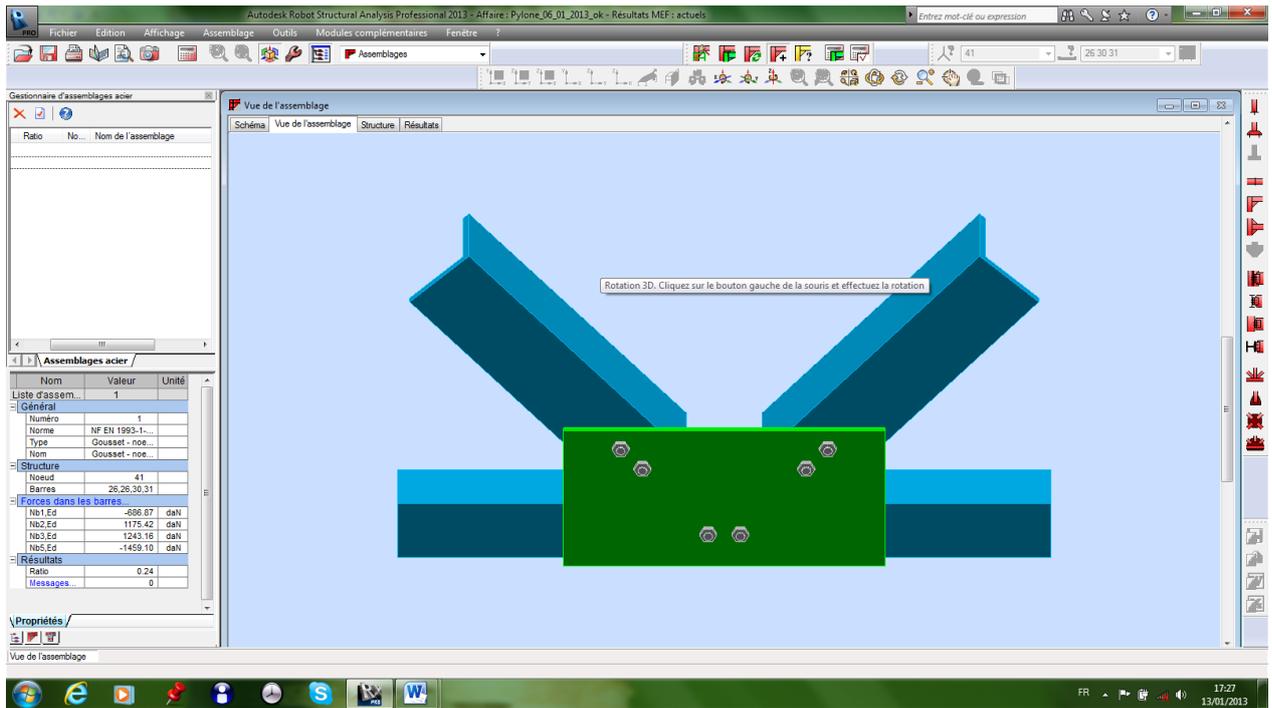
### VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 27356.62$ [daN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ N_{b5,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ -1459.10  < 27356.62$ <b>vérifié</b>	(0.05)

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

Ratio 0.24





## **ANNEXE - C : DONNEES NECESSAIRES ET AUTRES CAS DE CHARGES**

**DONNEES NECESSAIRES A LA DETERMINATION DE LA GEOMETRIE ET AUX CALCULS DES ARBRES DE CHARGES**

<b>DONNEES NECESSAIRES A LA DETERMINATION DE LA GEOMETRIE ET AUX CALCULS DES ARBRES DE CHARGES</b>			
	Valeurs	Unités	Références
Angle minimum de déviation minimum	30	Degrés	Spécification du DAO
Angle minimum de déviation maximum	60	Degrés	Spécification du DAO
Angle de protection du câble de garde	25	Degrés	Spécification du DAO
Portée vent maximum (angle minimum)	400	m	Spécification du DAO
Portée vent minimum (angle maximum)	400	m	Spécification du DAO
Portée poids maximum	800	m	Spécification du DAO
Rapport portée poids / portée vent minimum	0,5		Spécification du DAO
Portée géométrique maximum	530	m	Standards CEB
Dissymétrie de réglage de cantons adjacents	15%		
Diamètre du conducteur	20,60	mm	Cf données du câble
Diamètre du CGFO	12,50	mm	Cf données du câble
Poids unitaire du conducteur	0,685	daN/m	Cf données du câble
Poids unitaire du CGFO	0,372	daN/m	Cf données du câble
Poids chaîne de suspension simple cond. 1x11 isos	58	daN	Spécification du DAO
Poids chaîne de suspension double cond. 2x11 isos	113	daN	Spécification du DAO
Poids chaîne d'ancrage double cond. 2x11 isos	113	daN	Spécification du DAO
Poids chaîne de suspension cdg	5	daN	Spécification du DAO
Poids chaîne d'ancrage cdg	5	daN	Spécification du DAO
Surface chaîne suspension simple cond. 70% indice plein	0,29	m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Surface chaîne suspension double cond. 70% indice plein	0,57	m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Surface ancrage double cond. 70% indice plein	0,63	m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Surface chaîne suspension double cdg	0	m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Surface ancrage double cdg	0	m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Vitesse maximum du vent	32	m/s	Standards CEB
Coefficient de trainée câbles de garde C <sub>xc</sub>	1,0		Standards CEB
Coefficient de trainée conducteurs C <sub>xc</sub>	1,0		Standards CEB
Coefficient de trainée isolateurs C <sub>xi</sub>	1,2		Spécification du DAO
Coefficient de trainée pylône C <sub>xt</sub>	2,9		Standards CEB
<b>Hypothèse B – Condition de vent maximum</b>			
Pression dynamique de référence sur câbles de garde q <sub>0</sub>	628	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Pression dynamique de référence sur conducteurs q <sub>0</sub>	628	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO

Pression dynamique de référence sur isolateurs	$q_0$	628	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Pression dynamique de référence sur pylônes	$q_0$	628	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
<b>Hypothèse C – Condition de température minimum</b>				
Pression dynamique de référence sur câbles de garde	$q_0$	226	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Pression dynamique de référence sur conducteurs	$q_0$	226	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Pression dynamique de référence sur isolateurs	$q_0$	226	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Pression dynamique de référence sur pylônes	$q_0$	226	N/m <sup>2</sup>	Spécification du DAO
Distance à la masse sans vent				
		1 650	mm	
Distance à la masse sous vent réduit				
		900	mm	
Distance à la masse sous vent maximum				
	$t_1$	500	mm	
Pylônes				
Coefficient de sécurité charges normales		1,60		Spécification du DAO
Coefficient de sécurité charges exceptionnelles		1,10		Spécification du DAO
Fondations				
Coefficient de sécurité charges normales		1,80		Spécification du DAO
Coefficient de sécurité charges exceptionnelles		1,20		Spécification du DAO
Pourcentage de détente chaîne de suspension conducteur				
		70%		Spécification du DAO
Pourcentage de détente chaîne de suspension câble de garde				
		0%		

## CAS DE CHARGES POSSIBLES

### Caractéristiques

Portée Vent	400 m
Portée Poids	800 m
Angle	60°C

### Cas N°1bis – Charges normales – Vent maximum (hypothèse B)

#### Cantons adjacents non équilibrés de 15%

Vent sur pylône. Vent transversal égal à :  $1,6 \times 628 \times 2,9 \text{ N/m}^2$  sur la surface projetée d'une face.

CHARGES TRANSVERSALES	Application numérique avec un angle de 60°	Résultats
<b>Conducteurs</b>		
Vent sur conducteur	$0,0206 \times 400 \times 62,8$	517 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	$2 \times 62,8 \times 1,2 \times 0,63$	95 daN
Composante d'angle	$1,85 \times 2143 \times \sin(60^\circ/2)$	1982 daN
Total non pondéré		2594 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>4151 daN</u></b>
<b>Câble de garde</b>		
Vent sur câble de garde	$0,0125 \times 400 \times 62,8$	314 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	$2 \times 62,8 \times 1,2 \times 0$	0 daN
Composante d'angle	$1,85 \times 1422 \times \sin(60^\circ/2)$	1315 daN
Total non pondéré		1629 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>2607 daN</u></b>
<b>CHARGES VERTICALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Poids du conducteur	$0,685 \times 800$	548 daN
Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		774 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b><u>1238 daN</u></b>
<b>Câble de garde</b>		
Poids du câble de garde	$0,372 \times 800$	298 daN
Poids de la chaîne	10	10 daN

Total non pondéré		308 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>493 daN</b>
<b>CHARGES LONGITUDINALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Tension du câble	$0,15 \times 2143 \times \cos(60^\circ/2)$	278 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>445 daN</b>
<b>Câble de garde</b>		
Tension du câble	$0,15 \times 1422 \times \cos(60^\circ/2)$	185 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>296 daN</b>

## Cas N°2 – Charges normales – Température minimum (hypothèse C)

### Cantons adjacents équilibrés

Vent sur pylône. Vent transversal égal à :  $1,6 \times 626 \times 2,9$  N/m<sup>2</sup> sur la surface projetée d'une face.

CHARGES TRANSVERSALES	Application numérique avec un angle de 60°	Résultats
<b>Conducteurs</b>		
Vent sur conducteur	$0,0206 \times 400 \times 22,6$	186 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	$2 \times 22,6 \times 1,2 \times 0,63$	34 daN
Composante d'angle	$2 \times 1433 \times \sin(60^\circ/2)$	1433 daN
Total non pondéré		1653 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>2645 daN</b>
<b>Câble de garde</b>		
Vent sur câble de garde	$0,0125 \times 400 \times 22,6$	113 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	$2 \times 22,6 \times 1,2 \times 0$	0 daN
Composante d'angle	$2 \times 961 \times \sin(60^\circ/2)$	961 daN
Total non pondéré		1074 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>1718 daN</b>
<b>CHARGES VERTICALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Poids du conducteur	$0,685 \times 800$	548 daN

Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		774 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>1238 daN</b>
<b>Câble de garde</b>		
Poids du câble de garde	0,372x800	298 daN
Poids de la chaîne	10	10 daN
Total non pondéré		308 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>493 daN</b>
<b>CHARGES LONGITUDINALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Tension du câble		0 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>0 daN</b>
<b>Câble de garde</b>		
Tension du câble		0 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>0 daN</b>

### Cas N°2bis – Charges normales – Température minimum (hypothèse C)

#### Cantons adjacents non équilibrés de 15%

Vent sur pylône. Vent transversal égal à :  $1,6 \times 626 \times 2,9 \text{ N/m}^2$  sur la surface projetée d'une face.

<b>CHARGES TRANSVERSALES</b>	Application numérique avec un angle de $60^\circ$	Résultats
<b>Conducteurs</b>		
Vent sur conducteur	$0,0206 \times 400 \times 22,6$	186 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	$2 \times 22,6 \times 1,2 \times 0,63$	34 daN
Composante d'angle	$1,85 \times 1433 \times \sin(60^\circ/2)$	1326 daN
Total non pondéré		1546 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>2473 daN</b>
<b>Câble de garde</b>		
Vent sur câble de garde	$0,0125 \times 400 \times 22,6$	113 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	$2 \times 22,6 \times 1,2 \times 0$	0 daN
Composante d'angle	$1,85 \times 961 \times \sin(60^\circ/2)$	889 daN
Total non pondéré		1002 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>1603 daN</b>

<b>CHARGES VERTICALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Poids du conducteur	0,685x800	548 daN
Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		774 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>1238 daN</b>
<b>Câble de garde</b>		
Poids du câble de garde	0,372x800	298 daN
Poids de la chaîne	10	10 daN
Total non pondéré		308 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>493 daN</b>
<b>CHARGES LONGITUDINALES</b>		
<b>Conducteurs</b>		
Tension du câble	$0,15 \times 1433 \times \cos(60^\circ/2)$	186 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>298 daN</b>
<b>Câble de garde</b>		
Tension du câble	$0,15 \times 961 \times \cos(60^\circ/2)$	125 daN
Coefficient de sécurité		1,60
Total pondéré		<b>200 daN</b>

### Cas N°3 – Charges exceptionnelles – Vent maximum (hypothèse B)

#### Cantons adjacents équilibrés

Vent sur pylône. Vent transversal égal à :  $1,1 \times 628 \times 2,9$  N/m<sup>2</sup> sur la surface projetée d'une face.

<b>CHARGES TRANSVERSALES</b>	Application numérique avec un angle de 60°	Résultats
<b>Conducteurs intacts</b>		
Vent sur conducteur	$0,0206 \times 400 \times 62,8$	517 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	$2 \times 62,8 \times 1,2 \times 0,63$	95 daN
Composante d'angle	$2 \times 2143 \times \sin(60^\circ/2)$	2143 daN
Total non pondéré		2755 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b>3031 daN</b>

<b>Conducteurs rompus</b>		
Vent sur conducteur	0,0206x400x0,7x62,8	362 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0,57	86 daN
Composante d'angle	1x2143 x sin (60°/2)	1072 daN
Total non pondéré		1520daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1672daN</u></b>
<b>Câble de garde intact</b>		
Vent sur câble de garde	0,0125x400x62,8	314 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0	0 daN
Composante d'angle	2x1422xsin(60°/2)	1422 daN
Total non pondéré		1736 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1910 daN</u></b>
<b>Câble de garde rompu</b>		
Vent sur câble de garde	0,0125x400x0,7x62,8	220 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0	0 daN
Composante d'angle	1x1422xsin(60°/2)	711 daN
Total non pondéré		931 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1024 daN</u></b>
<b>CHARGES VERTICALES</b>		
<b>Conducteurs intacts</b>		
Poids du conducteur	0,685x800	548 daN
Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		774 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>851daN</u></b>
<b>Conducteurs rompus</b>		
Poids du conducteur	0,685x800x0,7	384 daN
Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		610daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>671 daN</u></b>
<b>Câble de garde intact</b>		
Poids du câble de garde	0,372x800	298 daN
Poids des chaînes	10	10 daN
Total non pondéré		308 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>339 daN</u></b>
<b>Câble de garde rompu</b>		

Poids du câble de garde	0,372x800x0,7	208 daN
Poids des chaînes	10	10 daN
Total non pondéré		218 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>240 daN</u></b>
<b>CHARGES LONGITUDINALES</b>		
<b>Conducteurs intacts</b>		
Tension du câble		0 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>0 daN</u></b>
<b>Conducteurs rompus</b>		
Tension du câble	$2143x\cos(60^\circ/2)$	1856 daN
Facteur de détente		0%
Tension résiduelle du câble		1856 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>2041 daN</u></b>
<b>Câble de garde intact</b>		
Tension du câble		0 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>0 daN</u></b>
<b>Câble de garde rompu</b>		
Tension du câble	$1422x\cos(60^\circ/2)$	1231 daN
Facteur de détente		0%
Tension résiduelle du câble		1231 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1355 daN</u></b>

### Cas N°3bis – Charges exceptionnelles – Vent maximum (hypothèse B)

#### Cantons adjacents non équilibrés de 15%

Vent sur pylône. Vent transversal égal à :  $1,1x628x2,9$  N/m<sup>2</sup> sur la surface projetée d'une face.

<b>CHARGES TRANSVERSALES</b>	Application numérique avec un angle de 60°	Résultats
<b>Conducteurs intacts</b>		
Vent sur conducteur	0,0206x400x62,8	517 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0,63	95 daN
Composante d'angle	$1,85x2143 \times \sin(60^\circ/2)$	1982 daN
Total non pondéré		2594 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>2854daN</u></b>

<b>Conducteurs rompus</b>		
Vent sur conducteur	0,0206x400x0,7x62,8	362 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0,57	86 daN
Composante d'angle	1x2143 x sin (60°/2)	1072 daN
Total non pondéré		1520daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1672daN</u></b>
<b>Câble de garde intact</b>		
Vent sur câble de garde	0,0125x400x62,8	314 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0	0 daN
Composante d'angle	1,85x1422xsin(60°/2)	1315 daN
Total non pondéré		1629 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1792daN</u></b>
<b>Câble de garde rompu</b>		
Vent sur câble de garde	0,0125x400x0,7x62,8	220 daN
Vent sur chaînes d'isolateurs	2x62,8x1,2x0	0 daN
Composante d'angle	1x1422xsin(60°/2)	711 daN
Total non pondéré		931 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1024 daN</u></b>
<b>CHARGES VERTICALES</b>		
<b>Conducteurs intacts</b>		
Poids du conducteur	0,685x800	548 daN
Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		774 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>851daN</u></b>
<b>Conducteurs rompus</b>		
Poids du conducteur	0,685x800x0,7	384 daN
Poids des chaînes d'isolateurs	226	226 daN
Total non pondéré		610daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>671 daN</u></b>
<b>Câble de garde intact</b>		
Poids du câble de garde	0,372x800	298 daN
Poids des chaînes	10	10 daN
Total non pondéré		308 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>339 daN</u></b>
<b>Câble de garde rompu</b>		

Poids du câble de garde	0,372x800x0,7	208 daN
Poids des chaines	10	10 daN
Total non pondéré		218 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>240 daN</u></b>
<b>CHARGES LONGITUDINALES</b>		
<b>Conducteurs intacts</b>		
Tension du câble	0,15x2143xcos(60°/2)	278 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>306 daN</u></b>
<b>Conducteurs rompus</b>		
Tension du câble	2143xcos(60°/2)	1856 daN
Facteur de détente		0%
Tension résiduelle du câble		1856 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>2041 daN</u></b>
<b>Câble de garde intact</b>		
Tension du câble	0,15x1422xcos(60°/2)	185 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>203daN</u></b>
<b>Câble de garde rompu</b>		
Tension du câble	1422xcos(60°/2)	1231 daN
Facteur de détente		0%
Tension résiduelle du câble		1231 daN
Coefficient de sécurité		1,10
Total pondéré		<b><u>1355 daN</u></b>

## **ANNEXE - D: NOTES DE CALCUL DES PROFILES**

---

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 1 poteaux 23.7

**PIECE :** 13 Poteau\_de\_rive\_13 **POINT :** 1 **COORDONNEE :** x = 0.00 L = 0.00 m

### CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif: 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

### MATERIAU :

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



### PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 200x24

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=20.0 cm	Ay=48.000 cm <sup>2</sup>	Az=48.000 cm <sup>2</sup>	Ax=90.588 cm <sup>2</sup>
tw=2.4 cm	Iy=3331.000 cm <sup>4</sup>	Iz=3331.000 cm <sup>4</sup>	Ix=206.940 cm <sup>4</sup>
tf=2.4 cm	Wely=235.200 cm <sup>3</sup>	Welz=235.200 cm <sup>3</sup>	

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :

N,Ed = 107342.44 daN	My,Ed = 2895.41 daN*m	Mz,Ed = -184.38 daN*m	Vy,Ed = 524.15 daN
Nc,Rd = 249116.18 daN	My,el,Rd = 6468.01 daN*m		Mz,el,Rd = 6468.01 daN*m
	Tau,y,max,Ed = 1.56 MPa		
Nb,Rd = 85185.92 daN	My,c,Rd = 6468.01 daN*m	Mz,c,Rd = 6468.01 daN*m	Vz,Ed = -3693.70 daN
			Tau,z,max,Ed = -10.97 MPa
			Tt,Ed = -15.75 daN*m
			Classe de la section = 3



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

#### PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :

Ly = 7.90 m	Lam_y = 1.50
Lcr,y = 7.90 m	Xy = 0.34
Lamy = 130.29	kyy = 1.92



en z :

Lz = 7.90 m	Lam_z = 1.50
Lcr,z = 7.90 m	Xz = 0.34
Lamz = 130.29	kyz = 1.92

### FORMULES DE VERIFICATION :

#### Contrôle de la résistance de la section :

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.87 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.08 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre :

$$\lambda_{y} = 130.29 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 130.29 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / gM1) = 2.10 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / gM1) = 1.93 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil incorrect !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 2 37.8

**PIECE :** 15 Barre\_15  
0.00 m

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

### CHARGEMENTS :

*Cas de charge décisif :* 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

### MATERIAU :

ACIER E24 ( S235 )  $f_y = 235.00$  MPa



### PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 200x24

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=20.0 cm	Ay=48.000 cm <sup>2</sup>	Az=48.000 cm <sup>2</sup>	Ax=90.588 cm <sup>2</sup>
tw=2.4 cm	Iy=3331.000 cm <sup>4</sup>	Iz=3331.000 cm <sup>4</sup>	Ix=206.940 cm <sup>4</sup>
tf=2.4 cm	Wely=235.200 cm <sup>3</sup>	Welz=235.200 cm <sup>3</sup>	

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :

N,Ed = 91605.61 daN	My,Ed = -1860.69 daN*m	Mz,Ed = -2105.91 daN*m	Vy,Ed = -1641.20 daN
Nc,Rd = 212881.10 daN	My,el,Rd = 5527.21 daN*m		Mz,el,Rd = 5527.21 daN*m
	Tau,y,max,Ed = -4.88 MPa		
Nb,Rd = 162238.12 daN	My,c,Rd = 5527.21 daN*m	Mz,c,Rd = 5527.21 daN*m	Vz,Ed = 1752.75 daN
			Tau,z,max,Ed = 5.21 MPa
			Tt,Ed = 5.14 daN*m
			Classe de la section = 3



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

#### PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :

Ly = 4.20 m	Lam_y = 0.74
Lcr,y = 4.20 m	Xy = 0.76
Lamy = 69.26	ky = 1.12



en z :

Lz = 4.20 m	Lam_z = 0.74
Lcr,z = 4.20 m	Xz = 0.76
Lamz = 69.26	kz = 1.12

### FORMULES DE VERIFICATION :

#### Contrôle de la résistance de la section :

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.95 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre :

$$\lambda_{y} = 69.26 < \lambda_{y,max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 69.26 < \lambda_{z,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_{min} * N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed}/(X_{LT} * M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 1.15 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_{min} * N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed}/(X_{LT} * M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 1.12 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil incorrect !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 3 traverses 23.7

**PIECE :** 103 Barre\_103  
7.68 m

**POINT :** 3

**COORDONNEE :** x = 1.00 L =

**CHARGEMENTS :**

*Cas de charge décisif :* 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 120x8**

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=12.0 cm	Ay=9.600 cm <sup>2</sup>	Az=9.600 cm <sup>2</sup>	Ax=18.741 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=255.400 cm <sup>4</sup>	Iz=255.400 cm <sup>4</sup>	Ix=3.959 cm <sup>4</sup>
tf=0.8 cm	Wely=29.089 cm <sup>3</sup>	Welz=29.089 cm <sup>3</sup>	
	Weff,y=29.089 cm <sup>3</sup>	Weff,z=29.089 cm <sup>3</sup>	Aeff=18.741 cm <sup>2</sup>

*Attention : Profilé de classe 4 ! Le logiciel ne fait pas l'analyse complète de la classe 4 pour ce type de profilé, mais il les analyse comme les sections de classe 3.*

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N,Ed = 3946.20 daN	My,Ed = -57.73 daN*m	Mz,Ed = 37.12 daN*m	Vy,Ed = -23.61 daN
Nc,Rd = 44042.06 daN	My,el,Rd = 683.59 daN*m	Mz,el,Rd = 683.59 daN*m	Tau,y,max,Ed = -0.35 MPa
Nb,Rd = 7684.68 daN	My,c,Rd = 683.59 daN*m	Mz,c,Rd = 683.59 daN*m	Vz,Ed = -56.51 daN
			Tau,z,max,Ed = -0.84 MPa
			Tt,Ed = 0.06 daN*m
			Classe de la section = 4



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

Ly = 7.68 m	Lam_y = 2.21
Lcr,y = 7.68 m	Xy = 0.17
Lamy = 207.92	kyy = 1.51



en z :

Lz = 7.68 m	Lam_z = 2.21
Lcr,z = 7.68 m	Xz = 0.17
Lamz = 207.92	kyz = 1.51

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.14 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(2))$$

$$(T_{au,y,max,Ed} + T_{au,ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(T_{au,z,max,Ed} + T_{au,tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{y} = 207.92 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 207.92 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.72 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.70 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 4 traverses 37.8

**PIECE :** 292 Barre\_292  
0.00 m

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

**MATERIAU :**

ACIER fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 60x6**

h=6.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.0 cm	Ay=3.600 cm <sup>2</sup>	Az=3.600 cm <sup>2</sup>	Ax=6.909 cm <sup>2</sup>
tw=0.6 cm	Iy=22.790 cm <sup>4</sup>	Iz=22.790 cm <sup>4</sup>	Ix=0.821 cm <sup>4</sup>
tf=0.6 cm	Wely=5.288 cm <sup>3</sup>	Welz=5.288 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N <sub>Ed</sub> = 6815.48 daN	My <sub>Ed</sub> = 28.34 daN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -8.20 daN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -13.08 daN
Nc,Rd = 16235.37 daN	My,el,Rd = 124.26 daN*m	Mz,el,Rd = 124.26 daN*m	Tau,y,max,Ed = -0.53 MPa
Nb,Rd = 10337.01 daN	My,c,Rd = 124.26 daN*m	Mz,c,Rd = 124.26 daN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -54.40 daN
			Tau,z,max,Ed = -2.21 MPa
			Tt <sub>Ed</sub> = -0.26 daN*m
			Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

Ly = 1.60 m      Lam\_y = 0.94  
 Lcr,y = 1.60 m      Xy = 0.64  
 Lamy = 88.09      kyy = 1.23



en z :

Lz = 1.60 m      Lam\_z = 0.94  
 Lcr,z = 1.60 m      Xz = 0.64  
 Lamz = 88.09      kyz = 1.23

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.62 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(T_{au,y,max,Ed} + T_{au,ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(T_{au,z,max,Ed} + T_{au,tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{b,y} = 88.09 < \lambda_{b,max} = 210.00 \quad \lambda_{b,z} = 88.09 < \lambda_{b,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.91 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.85 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil correct !!!**

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles**FAMILLE :** 5 diagonales 27.3**PIECE :** 304 Barre\_304  
4.94 m**POINT :** 3**COORDONNEE :** x = 1.00 L =**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisiv : 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa

**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 150x14**

h=15.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=15.0 cm	Ay=21.000 cm <sup>2</sup>	Az=21.000 cm <sup>2</sup>	Ax=40.315 cm <sup>2</sup>
tw=1.4 cm	Iy=845.400 cm <sup>4</sup>	Iz=845.400 cm <sup>4</sup>	Ix=26.159 cm <sup>4</sup>
tf=1.4 cm	Wely=78.350 cm <sup>3</sup>	Welz=78.350 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N,Ed = 11132.99 daN	My,Ed = 751.12 daN*m	Mz,Ed = 590.62 daN*m	Vy,Ed = -581.65 daN
Nc,Rd = 94739.54 daN	My,el,Rd = 1841.23 daN*m		Mz,el,Rd = 1841.23 daN*m
	Tau,y,max,Ed = -3.95 MPa		
Nb,Rd = 48033.18 daN	My,c,Rd = 1841.23 daN*m	Mz,c,Rd = 1841.23 daN*m	Vz,Ed = 753.59 daN
			Tau,z,max,Ed = 5.12 MPa
			Tt,Ed = -0.29 daN*m
			Classe de la section = 3

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :****PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**

en y :

Ly = 4.94 m	Lam_y = 1.15
Lcr,y = 4.94 m	Xy = 0.51
Lamy = 107.83	ky = 1.04



en z :

Lz = 4.94 m	Lam_z = 1.15
Lcr,z = 4.94 m	Xz = 0.51
Lamz = 107.83	kz = 1.04

**FORMULES DE VERIFICATION :****Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.65 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$
**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{b,y} = 107.83 < \lambda_{b,max} = 210.00 \quad \lambda_{b,z} = 107.83 < \lambda_{b,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.79 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.70 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$
**Profil correct !!!****CALCUL DES STRUCTURES ACIER****NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles**FAMILLE :** 6 diagonales 37.8

**PIECE :** 284 Barre\_284  
2.13 m

**POINT :** 3

**COORDONNEE :** x = 1.00 L =

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 80x8**

h=8.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=8.0 cm	Ay=6.400 cm <sup>2</sup>	Az=6.400 cm <sup>2</sup>	Ax=12.267 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=72.250 cm <sup>4</sup>	Iz=72.250 cm <sup>4</sup>	Ix=2.594 cm <sup>4</sup>
tf=0.8 cm	Wely=12.587 cm <sup>3</sup>	Welz=12.587 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N,Ed = 13646.87 daN	My,Ed = 33.11 daN*m	Mz,Ed = 9.29 daN*m	Vy,Ed = -5.81 daN
Nc,Rd = 28828.16 daN	My,el,Rd = 295.80 daN*m	Mz,el,Rd = 295.80 daN*m	Tau,y,max,Ed = -0.13 MPa
Nb,Rd = 18451.54 daN	My,c,Rd = 295.80 daN*m	Mz,c,Rd = 295.80 daN*m	Vz,Ed = 25.26 daN
			Tau,z,max,Ed = 0.57 MPa
			Tt,Ed = 0.01 daN*m
			Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

Ly = 2.13 m	Lam_y = 0.93
Lcr,y = 2.13 m	Xy = 0.64
Lamy = 87.60	kyy = 1.27



en z :

Lz = 2.13 m	Lam_z = 0.93
Lcr,z = 2.13 m	Xz = 0.64
Lamz = 87.60	kyz = 1.27

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.60 < 1.00$  (6.2.9.3.(1))  
 $(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed})/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed})/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$\lambda_{y} = 87.60 < \lambda_{max} = 210.00$      $\lambda_{z} = 87.60 < \lambda_{max} = 210.00$     STABLE  
 $N_{Ed}/(X_{min}*N_{Rk}/gM1) + k_{yy}*M_{y,Ed}/(XLT*M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz}*M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.90 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_{min}*N_{Rk}/gM1) + k_{zy}*M_{y,Ed}/(XLT*M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz}*M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.87 < 1.00$  (6.3.3.(4))

**Profil correct !!!**

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 7 Console\_P\_23.7

**PIECE :** 421 Barre\_421

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

0.00 m

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /2/ 1\*1.35 + 8\*1.50 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 20x3**

h=2.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=2.0 cm	Ay=0.600 cm <sup>2</sup>	Az=0.600 cm <sup>2</sup>	Ax=1.127 cm <sup>2</sup>
tw=0.3 cm	Iy=0.390 cm <sup>4</sup>	Iz=0.390 cm <sup>4</sup>	Ix=0.033 cm <sup>4</sup>
tf=0.3 cm	Wely=0.279 cm <sup>3</sup>	Welz=0.279 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N,Ed = -59.63 daN	My,Ed = -0.56 daN*m	Mz,Ed = -0.07 daN*m	Vy,Ed = -0.11 daN
Nt,Rd = 2648.85 daN	My,el,Rd = 6.55 daN*m	Mz,el,Rd = 6.55 daN*m	Tau,y,max,Ed = -0.03 MPa
	My,c,Rd = 6.55 daN*m	Mz,c,Rd = 6.55 daN*m	Vz,Ed = 5.01 daN
			Tau,z,max,Ed = 1.25 MPa
			Tt,Ed = -0.00 daN*m
			Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :



en z :

**FORMULES DE VERIFICATION :**

Contrôle de la résistance de la section :

$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.11 < 1.00$  (6.2.9.3.(1))  
 $(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.01 < 1.00$  (6.2.6-7)

*Profil correct !!!*

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 8 Console\_T\_23.7

**PIECE :** 417 Barre\_417

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

0.00 m

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 70x6**

h=7.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.0 cm	Ay=4.200 cm <sup>2</sup>	Az=4.200 cm <sup>2</sup>	Ax=8.127 cm <sup>2</sup>

tw=0.6 cm	Iy=36.880 cm <sup>4</sup>	Iz=36.880 cm <sup>4</sup>	Ix=0.965 cm <sup>4</sup>
tf=0.6 cm	Wely=7.274 cm <sup>3</sup>	Welz=7.274 cm <sup>3</sup>	
	Weff,y=7.274 cm <sup>3</sup>	Weff,z=7.274 cm <sup>3</sup>	Aeff=8.127 cm <sup>2</sup>

Attention : Profilé de classe 4 ! Le logiciel ne fait pas l'analyse complète de la classe 4 pour ce type de profilé, mais il les analyse comme les sections de classe 3.

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N,Ed = 4886.05 daN	My,Ed = 21.33 daN*m	Mz,Ed = 11.99 daN*m	Vy,Ed = 12.50 daN
Nc,Rd = 19098.24 daN	My,el,Rd = 170.94 daN*m	Mz,el,Rd = 170.94 daN*m	Tau,y,max,Ed = 0.43 MPa
Nb,Rd = 7228.79 daN	My,c,Rd = 170.94 daN*m	Mz,c,Rd = 170.94 daN*m	Vz,Ed = -23.46 daN
			Tau,z,max,Ed = -0.81 MPa
			Tt,Ed = -0.12 daN*m
			Classe de la section = 4



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

Ly = 2.82 m	Lam_y = 1.41
Lcr,y = 2.82 m	Xy = 0.38
Lamy = 132.19	kyy = 1.41



en z :

Lz = 2.82 m	Lam_z = 1.41
Lcr,z = 2.82 m	Xz = 0.38
Lamz = 132.19	kyz = 1.41

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.41 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(2))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{y} = 132.19 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 132.19 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.95 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.92 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil correct !!!**

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 9 Console\_D\_23.7

**PIECE :** 422 Barre\_422  
0.00 m

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /2/ 1\*1.35 + 8\*1.50 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 40x3**

h=4.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=4.0 cm	Ay=1.200 cm <sup>2</sup>	Az=1.200 cm <sup>2</sup>	Ax=2.349 cm <sup>2</sup>
tw=0.3 cm	Iy=3.490 cm <sup>4</sup>	Iz=3.490 cm <sup>4</sup>	Ix=0.069 cm <sup>4</sup>



**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N,Ed = 1.48 daN	My,Ed = 0.29 daN*m	Mz,Ed = 0.79 daN*m	Vy,Ed = 4.37 daN
Nc,Rd = 2648.85 daN	My,el,Rd = 6.55 daN*m	Mz,el,Rd = 6.55 daN*m	Tau,y,max,Ed = 1.09 MPa
Nb,Rd = 1844.79 daN	My,c,Rd = 6.55 daN*m	Mz,c,Rd = 6.55 daN*m	Vz,Ed = -0.24 daN
			Tau,z,max,Ed = -0.06 MPa
			Tt,Ed = -0.00 daN*m
			Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

Ly = 0.47 m	Lam_y = 0.84
Lcr,y = 0.47 m	Xy = 0.70
Lamy = 79.34	kyy = 0.90



en z :

Lz = 0.47 m	Lam_z = 0.84
Lcr,z = 0.47 m	Xz = 0.70
Lamz = 79.34	kyz = 0.90

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.14 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(T_{au,y,max,Ed} + T_{au,ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(T_{au,z,max,Ed} + T_{au,tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{y} = 79.34 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 79.34 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.13 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.12 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 11 Console\_T\_27.9

**PIECE :** 429 Barre\_429

**POINT :** 3

**COORDONNEE :** x = 0.75 L =

1.90 m

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 60x8**

h=6.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.0 cm	Ay=4.800 cm <sup>2</sup>	Az=4.800 cm <sup>2</sup>	Ax=9.029 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=29.150 cm <sup>4</sup>	Iz=29.150 cm <sup>4</sup>	Ix=1.911 cm <sup>4</sup>
tf=0.8 cm	Wely=6.891 cm <sup>3</sup>	Welz=6.891 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N,Ed = 4939.94 daN	My,Ed = -0.86 daN*m	Mz,Ed = -12.10 daN*m	Vy,Ed = 16.56 daN
Nc,Rd = 21217.37 daN	My,el,Rd = 161.94 daN*m	Mz,el,Rd = 161.94 daN*m	Tau,y,max,Ed = 0.51 MPa

Nb,Rd = 7267.64 daN      My,c,Rd = 161.94 daN\*m      Mz,c,Rd = 161.94 daN\*m      Vz,Ed = 18.01 daN  
 Tau,z,max,Ed = 0.55 MPa  
 Tt,Ed = -0.08 daN\*m  
 Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

Ly = 2.53 m      Lam\_y = 1.50  
 Lcr,y = 2.53 m      Xy = 0.34  
 Lamy = 140.79      kyy = 1.45



en z :

Lz = 2.53 m      Lam\_z = 1.50  
 Lcr,z = 2.53 m      Xz = 0.34  
 Lamz = 140.79      kyz = 1.45

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.31 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed})/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed})/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{y} = 140.79 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 140.79 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.79 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.79 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 12 Console\_D\_27.9

**PIECE :** 438 Barre\_438  
 0.00 m

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /2/ 1\*1.35 + 8\*1.50 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 )      fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 40x3**

h=4.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=4.0 cm	Ay=1.200 cm <sup>2</sup>	Az=1.200 cm <sup>2</sup>	Ax=2.349 cm <sup>2</sup>
tw=0.3 cm	Iy=3.490 cm <sup>4</sup>	Iz=3.490 cm <sup>4</sup>	Ix=0.069 cm <sup>4</sup>
tf=0.3 cm	Wely=1.195 cm <sup>3</sup>	Welz=1.195 cm <sup>3</sup>	
	Weff,y=1.195 cm <sup>3</sup>	Weff,z=1.195 cm <sup>3</sup>	Aeff=2.349 cm <sup>2</sup>

Attention : Profilé de classe 4 ! Le logiciel ne fait pas l'analyse complète de la classe 4 pour ce type de profilé, mais il les analyse comme les sections de classe 3.

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N<sub>Ed</sub> = 112.11 daN      My,Ed = 1.74 daN\*m      Mz,Ed = 2.14 daN\*m      Vy,Ed = 6.14 daN  
 Nc,Rd = 5519.28 daN      My,el,Rd = 28.09 daN\*m      Mz,el,Rd = 28.09 daN\*m      Tau,y,max,Ed = 0.74 MPa  
 Nb,Rd = 2457.30 daN      My,c,Rd = 28.09 daN\*m      Mz,c,Rd = 28.09 daN\*m      Vz,Ed = -6.44 daN

Tau,z,max,Ed = -0.78 MPa  
Tt,Ed = -0.00 daN\*m  
Classe de la section = 4



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

Ly = 1.45 m      Lam\_y = 1.26  
Lcr,y = 1.45 m      Xy = 0.45  
Lamy = 118.60      kyy = 0.93



en z :

Lz = 1.45 m      Lam\_z = 1.26  
Lcr,z = 1.45 m      Xz = 0.45  
Lamz = 118.60      kyz = 0.93

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.11 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(2))$$

$$(T_{au,y,max,Ed} + T_{au,ty,Ed})/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(T_{au,z,max,Ed} + T_{au,tz,Ed})/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{y} = 118.60 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 118.60 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.17 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.16 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 13 Console\_P\_32.1

**PIECE :** 408 Barre\_408  
0.00 m

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

**CHARGEMENTS :**

Cas de charge décisif : 10 ELU /3/ 1\*1.35 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35 + 9\*1.50

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 )      fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 20x3**

h=2.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=2.0 cm	Ay=0.600 cm <sup>2</sup>	Az=0.600 cm <sup>2</sup>	Ax=1.127 cm <sup>2</sup>
tw=0.3 cm	Iy=0.390 cm <sup>4</sup>	Iz=0.390 cm <sup>4</sup>	Ix=0.033 cm <sup>4</sup>
tf=0.3 cm	Wely=0.279 cm <sup>3</sup>	Welz=0.279 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N <sub>Ed</sub> = -6.52 daN	M <sub>y,Ed</sub> = 0.44 daN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 0.91 daN*m	V <sub>y,Ed</sub> = 4.56 daN
N <sub>t,Rd</sub> = 2648.85 daN	M <sub>y,el,Rd</sub> = 6.55 daN*m	M <sub>z,el,Rd</sub> = 6.55 daN*m	Tau <sub>y,max,Ed</sub> = 1.14 MPa
	M <sub>y,c,Rd</sub> = 6.55 daN*m	M <sub>z,c,Rd</sub> = 6.55 daN*m	V <sub>z,Ed</sub> = -0.86 daN
			Tau <sub>z,max,Ed</sub> = -0.22 MPa
			Tt,Ed = -0.00 daN*m
			Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :



en z :

**FORMULES DE VERIFICATION :**

*Contrôle de la résistance de la section :*

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.17 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 14 Console\_T\_32.1

**PIECE :** 440 Barre\_440  
1.90 m

**POINT :** 3

**COORDONNEE :** x = 0.75 L =

**CHARGEMENTS :**

*Cas de charge décisif :* 10 ELU /2/ 1\*1.35 + 8\*1.50 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 ) fy = 235.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 60x6**

h=6.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=6.0 cm

Ay=3.600 cm<sup>2</sup>

Az=3.600 cm<sup>2</sup>

Ax=6.909 cm<sup>2</sup>

tw=0.6 cm

Iy=22.790 cm<sup>4</sup>

Iz=22.790 cm<sup>4</sup>

Ix=0.821 cm<sup>4</sup>

tf=0.6 cm

Wely=5.288 cm<sup>3</sup>

Welz=5.288 cm<sup>3</sup>

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N<sub>Ed</sub> = 4680.50 daN

M<sub>y,Ed</sub> = -3.08 daN\*m

M<sub>z,Ed</sub> = -12.44 daN\*m

V<sub>y,Ed</sub> = 18.96 daN

N<sub>c,Rd</sub> = 16235.37 daN

M<sub>y,el,Rd</sub> = 124.26 daN\*m

M<sub>z,el,Rd</sub> = 124.26 daN\*m

τ<sub>y,max,Ed</sub> = 0.77 MPa

N<sub>b,Rd</sub> = 5658.05 daN

M<sub>y,c,Rd</sub> = 124.26 daN\*m

M<sub>z,c,Rd</sub> = 124.26 daN\*m

V<sub>z,Ed</sub> = 8.18 daN

τ<sub>z,max,Ed</sub> = 0.33 MPa

T<sub>t,Ed</sub> = -0.12 daN\*m

Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

L<sub>y</sub> = 2.53 m

Lam<sub>y</sub> = 1.48

L<sub>cr,y</sub> = 2.53 m

X<sub>y</sub> = 0.35

Lam<sub>y</sub> = 139.29

ky<sub>y</sub> = 1.56



en z :

L<sub>z</sub> = 2.53 m

Lam<sub>z</sub> = 1.48

L<sub>cr,z</sub> = 2.53 m

X<sub>z</sub> = 0.35

Lam<sub>z</sub> = 139.29

ky<sub>z</sub> = 1.56

**FORMULES DE VERIFICATION :**

*Contrôle de la résistance de la section :*

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.40 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(1))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{y} = 139.29 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 139.29 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} \cdot N_{Rk} / g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed} / (X_{LT} \cdot M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 1.00 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} \cdot N_{Rk} / g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed} / (X_{LT} \cdot M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 1.00 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME :** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

**TYPE D'ANALYSE :** Dimensionnement des familles

**FAMILLE :** 15 Console\_D\_32.1

**PIECE :** 448 Barre\_448  
0.00 m

**POINT :** 1

**COORDONNEE :** x = 0.00 L =

**CHARGEMENTS :**

*Cas de charge décisif :* 10 ELU /2/ 1\*1.35 + 8\*1.50 + 2\*1.35 + 3\*1.35 + 4\*1.35 + 5\*1.35 + 6\*1.35 + 7\*1.35

**MATERIAU :**

ACIER E24 ( S235 )  $f_y = 235.00$  MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION : CAE 40x3**

h=4.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=4.0 cm	Ay=1.200 cm <sup>2</sup>	Az=1.200 cm <sup>2</sup>	Ax=2.349 cm <sup>2</sup>
tw=0.3 cm	Iy=3.490 cm <sup>4</sup>	Iz=3.490 cm <sup>4</sup>	Ix=0.069 cm <sup>4</sup>
tf=0.3 cm	Wely=1.195 cm <sup>3</sup>	Welz=1.195 cm <sup>3</sup>	
	Weff,y=1.195 cm <sup>3</sup>	Weff,z=1.195 cm <sup>3</sup>	Aeff=2.349 cm <sup>2</sup>

*Attention : Profilé de classe 4 ! Le logiciel ne fait pas l'analyse complète de la classe 4 pour ce type de profilé, mais il les analyse comme les sections de classe 3.*

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES :**

N <sub>Ed</sub> = 99.24 daN	M <sub>y,Ed</sub> = -1.14 daN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 1.86 daN*m	V <sub>y,Ed</sub> = 7.26 daN
N <sub>c,Rd</sub> = 5519.28 daN	M <sub>y,eI,Rd</sub> = 28.09 daN*m	M <sub>z,eI,Rd</sub> = 28.09 daN*m	τ <sub>y,max,Ed</sub> = 0.88 MPa
N <sub>b,Rd</sub> = 2465.74 daN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 28.09 daN*m	M <sub>z,c,Rd</sub> = 28.09 daN*m	V <sub>z,Ed</sub> = 2.08 daN
			τ <sub>z,max,Ed</sub> = 0.25 MPa
			T <sub>t,Ed</sub> = 0.01 daN*m
			Classe de la section = 4



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT :**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**



en y :

L <sub>y</sub> = 1.44 m	Lam <sub>y</sub> = 1.26
L <sub>cr,y</sub> = 1.44 m	X <sub>y</sub> = 0.45
L <sub>am,y</sub> = 118.31	k <sub>yy</sub> = 0.93



en z :

L <sub>z</sub> = 1.44 m	Lam <sub>z</sub> = 1.26
L <sub>cr,z</sub> = 1.44 m	X <sub>z</sub> = 0.45
L <sub>am,z</sub> = 118.31	k <sub>yz</sub> = 0.93

**FORMULES DE VERIFICATION :**

**Contrôle de la résistance de la section :**

$$N_{Ed} / N_{c,Rd} + M_{y,Ed} / M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,c,Rd} = 0.06 < 1.00 \quad (6.2.9.3.(2))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3}) * g_{M0}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre :**

$$\lambda_{y} = 118.31 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 118.31 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.14 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} * N_{Rk} / g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (X_{LT} * M_{y,Rk} / g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / g_{M1}) = 0.13 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

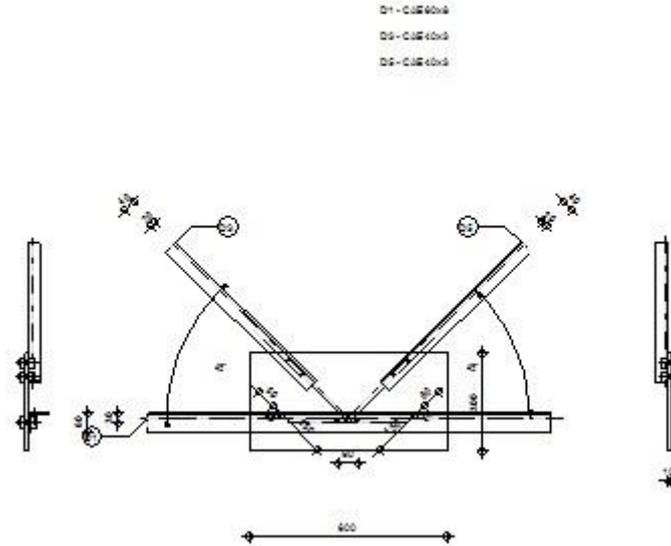
---

***Profil correct !!!***

## **ANNEXE - E : NOTES DE CALCUL DU NŒUD 324**

---

	Autodesk	Robot	Structural	Analysis	Professional	2013	
	<b>Calcul de l'assemblage au gousset</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009						



### Général

Assemblage N° : 3  
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis  
 Noeud de la structure : 324  
 Barres de la structure : 403, 403, 411, 413,

### Géométrie

#### Barres

		Barre 1-2	Barre 3	Barre 5		
<b>Barre N° :</b>		403	411	413		
<b>Profilé :</b>		CAE 60x8	CAE 40x3	CAE 40x3		
<b>Matériau :</b>		ACIER E24	ACIER E24	ACIER E24		
	$f_y$	235.00	235.00	235.00		MPa
	$f_u$	365.00	365.00	365.00		MPa
<b>Angle</b>	$\alpha$	-0.0	45.0	45.0		Deg
<b>Longueur</b>	l	1.13	1.60	1.13		m

#### Boulons

##### Barre 1-2

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

Classe = 4.8 Classe du boulon

d = 16 [mm] Diamètre du boulon

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

Classe = 4.8 Classe du boulon  
 $d_0 = 18$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $f_{yb} = 280.00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 400.00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 2$  Nombre de colonnes des boulons  
 Espacement des boulons 60 [mm]  
 $e_2 = 30$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

### Barre 3

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

Classe = 4.8 Classe du boulon  
 $d = 16$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 18$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $f_{yb} = 280.00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 400.00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 2$  Nombre de colonnes des boulons  
 Espacement des boulons 60 [mm]  
 $e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 20$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 150$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Barre 5

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

Classe = 4.8 Classe du boulon  
 $d = 16$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 18$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $f_{yb} = 280.00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 400.00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 2$  Nombre de colonnes des boulons  
 Espacement des boulons 60 [mm]  
 $e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 20$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 150$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Gousset

$l_p = 600$  [mm] Longueur de la platine  
 $h_p = 300$  [mm] Hauteur de la platine  
 $t_p = 10$  [mm] Epaisseur de la platine

### Paramètres

$h_1 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_1 = 0$  [mm] Grugeage

$h_1 =$	0	[mm]	Grugeage
$h_2 =$	0	[mm]	Grugeage
$v_2 =$	0	[mm]	Grugeage
$h_3 =$	0	[mm]	Grugeage
$v_3 =$	0	[mm]	Grugeage
$h_4 =$	0	[mm]	Grugeage
$v_4 =$	0	[mm]	Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0 ; 50)

$e_v =$	100	[mm]	Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
$e_H =$	300	[mm]	Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
$e_0 =$	0	[mm]	Distance axe membrure hor.

Matériau : ACIER

$f_y =$  235.00 [MPa] Résistance

### Coefficients de matériau

$\gamma_{M0} =$	1.00	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1.25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

### Efforts

Cas 10: ELU /3/  $1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.35 + 4*1.35 + 5*1.35 + 6*1.35 + 7*1.35 + 9*1.50$

$N_{b1,Ed} =$	-18.90	[daN]	Effort axial
$N_{b2,Ed} =$	0.23	[daN]	Effort axial
$N_{b3,Ed} =$	16.09	[daN]	Effort axial
$N_{b5,Ed} =$	-14.15	[daN]	Effort axial

### Résultats

#### Barre 1-2

#### VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} =$	-9.57	[daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial
$F_{z,Ed} =$	-3.93	[daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant
$F_{Rdx} =$	3860.39	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]
$F_{Rdz} =$	3860.39	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	-9.57 < 3860.39		vérifié (0.00)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	-3.93 < 3860.39		vérifié (0.00)

#### Vérification de la section de la poutre affaiblie par les trous

$N_{u,Rd} =$	11079.46	[daN]	Résistance de calcul de la section nette [3.10.3]
$N_{pl,Rd} =$	19095.64	[daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute [3.10.3]
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	-19.14 < 11079.46		vérifié (0.00)
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	-19.14 < 19095.64		vérifié (0.00)

### Vérification de la barre pour le cisaillement de bloc

$V_{effRd} = 10376.36$  [daN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous [3.10.2 (3)]

$$|N_{b1,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |-19.14| < 10376.36 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

### Barre 3

#### Vérification de l'assemblage pour les efforts agissant sur les boulons

$F_{x,Ed} = 8.05$  [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial

$F_{z,Ed} = 2.46$  [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant

$F_{Rdx} = 1465.05$  [daN] Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]

$F_{Rdz} = 1297.78$  [daN] Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]

$$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx} \quad 8.05 < 1465.05 \quad \text{vérifié} \quad (0.01)$$

$$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz} \quad 2.46 < 1297.78 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

#### Vérification de la section de la poutre affaiblie par les trous

$N_{u,Rd} = 2640.60$  [daN] Résistance de calcul de la section nette [3.10.3]

$N_{pl,Rd} = 4967.35$  [daN] Résistance de calcul plastique de la section brute [3.10.3]

$$|N_{b3,Ed}| \leq N_{u,Rd} \quad 16.09 < 2640.60 \quad \text{vérifié} \quad (0.01)$$

$$|N_{b3,Ed}| \leq N_{pl,Rd} \quad 16.09 < 4967.35 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

### Vérification de la barre pour le cisaillement de bloc

$V_{effRd} = 3453.13$  [daN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous [3.10.2 (3)]

$$|N_{b3,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |16.09| < 3453.13 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

### Barre 5

#### Vérification de l'assemblage pour les efforts agissant sur les boulons

$F_{x,Ed} = -7.08$  [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial

$F_{z,Ed} = -2.16$  [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant

$F_{Rdx} = 1465.05$  [daN] Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]

$F_{Rdz} = 1297.78$  [daN] Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]

$$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx} \quad -7.08 < 1465.05 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

$$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz} \quad -2.16 < 1297.78 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

#### VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 2640.60$  [daN] Résistance de calcul de la section nette [3.10.3]

$N_{pl,Rd} = 4967.35$  [daN] Résistance de calcul plastique de la section brute [3.10.3]

$$|N_{b5,Ed}| \leq N_{u,Rd} \quad -14.15 < 2640.60 \quad \text{vérifié} \quad (0.01)$$

$$|N_{b5,Ed}| \leq N_{pl,Rd} \quad -14.15 < 4967.35 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

#### VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 3453.13$  [daN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous [3.10.2 (3)]

$$|N_{b5,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |-14.15| < 3453.13 \quad \text{vérifié} \quad (0.00)$$

## Remarques

Pince boulon-extrémité extérieur de la barre 3 trop faible  $20 \text{ [mm]} < 22 \text{ [mm]}$   
 Pince boulon-extrémité extérieur de la barre 5 trop faible  $20 \text{ [mm]} < 22 \text{ [mm]}$

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0.01**

