



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

*MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI De Tizi Ouzou*

Faculté De Génie de la Construction
Département Génie Civil
Option construction métallique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER

THEME

*Etude et conception d'un Centre
Commercial (R+2) en Charpente
Métallique*

Présenté par :

Melle. LAIMOUCHE SARAH

Promoteur :

Mr. DAHMANI LAHLOU

Membres de jurys :

Mr. Mechiche (Président)

Melle. Chahour (examinatrice)

Suivi et Dirigé par:

Mme. TEFRAAT NASSIBA

2016 - 2017

Remerciement

Tout d'abord, je remercie ALLAH, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à remercier Mr. DAHMANI, mon Promoteur pour sa compétence et sa disponibilité.

Un grand merci à toute l'équipe de l'entreprise BATIMETAL précisément Mme. TEFRAT qui m'a accueillie et documenté et dirigé afin que je réussisse.

J'exprime mes sincères remerciements
À mes parents pour leur contribution pour chaque travail que j'ai effectué.

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants de l'UMMTO qui nous ont formés avec beaucoup de dévouement et de compétence

En particulier :

Mr. MECHICHE
Melle. CHAHOUR
Mr. MERAKEB
Mr. BOUKAIS
Mr. LABIOD

Sans oublier ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail et ceux qui ont fait l'honneur de jurer ce mémoire.

Dédicace



C'est avec une immense joie que je dédie ce travail

Aux êtres les plus chers au monde mes parents

En premier lieu ma très chère prunelle de mes yeux, A ma **très chère Mère** qui a

Toujours été là pour moi, et qui m'a

Donné un magnifique modèle de

Labeur et de persévérance. J'espère

Qu'elle trouvera dans ce travail toute

Ma reconnaissance et tout mon

Amour.

A **mon père** que je chérie beaucoup qui m'a toujours soutenu.

A mes sœurs **AMINA** et **NEILA** et à mon frères **OUSSAMA** et A **SISSEN**

Et à mon ami **OUAKIF TOUFIK**

Et a toute la famille **LAIMOUCHE** et **ZAIDI**

A Mon Promoteur **Mr. DAHMANI LAHLOU**

A Mon Encadreur externe **Mme. TEF RAT NASSIBA** qui m'a vraiment aidé dans ce projet

SARAH

SOMMAIRE

Chapitre I (introduction et présentation du sujet)

<i>I-Introduction</i>	<i>1</i>
<i>II-présentation du sujet.....</i>	<i>1</i>

Chapitre II (Etude climatique selon RNV99)

<i>II-1-Etude du vent selon (RNV99 version 2003)</i>	<i>5</i>
<i>II-1-1-Introduction.....</i>	<i>5</i>
<i>II-1-2-présentation générale</i>	<i>7</i>
<i>II-1-3-Détermination des actions du vent</i>	<i>7</i>
<i>II-1-4-Données relatives au site.....</i>	<i>9</i>
<i>II-1-5-Détermination du coefficient dynamique Cd</i>	<i>9</i>
<i>II-1-6-Détermination du coefficient d'exposition Ce</i>	<i>10</i>
<i>II-1-7-Détermination de la pression dynamique qdyn.....</i>	<i>10</i>
<i>II-1-8- Détermination de coefficient de pression extérieur (cpe).....</i>	<i>10</i>
<i>Vent perpendiculaire au pignon V1.....</i>	<i>10</i>
<i>Vent perpendiculaire au long pan V2.....</i>	<i>13</i>
<i>II-1-9- Détermination du coefficient de pression intérieure Cpi</i>	<i>15</i>
<i>Tableau des résultats.....</i>	<i>15</i>
<i>II-2-Etude de la neige sur la construction</i>	<i>18</i>
<i>II-2-1-Introduction.....</i>	<i>18</i>
<i>II-2-2- Calcul des charges de neige.....</i>	<i>18</i>
<i>Charge de neige sur le sol</i>	<i>18</i>

Chapitre III (Etude de plancher collaborant)

<i>III-1-Etude de plancher collaborant</i>	<i>19</i>
<i>III-1-1-Généralité.....</i>	<i>19</i>
<i>III-1-2-Hypothèse</i>	<i>19</i>
<i>III-1-3-Notations</i>	<i>20</i>
<i>III-1-4-Etude du plancher courant.....</i>	<i>21</i>
<i>III-1-4-1- Eléments constituant le plancher courant</i>	<i>21</i>

<i>III-1-4-2-Détermination des sollicitations.....</i>	<i>22</i>
<i>III-1-4-3-Calcul de la poutre mixte</i>	<i>22</i>
<i>III-1-4-3-1-1erePhase : Vérification au stade de construction.....</i>	<i>22</i>
<i>Charge appliquée à la poutre mixte avant le durcissement du béton</i>	<i>22</i>
<i>Vérification de la flèche à l'état limite de service(ELS)</i>	<i>22</i>
<i>Vérification de la résistance à l'état limite ultime(ELU) avant durcissement de la dalle</i>	<i>23</i>
<i>Vérification au cisaillement</i>	<i>24</i>
<i>III-1-4-3-2- 2eme Phase : vérification au stade définitif (final)</i>	<i>24</i>
<i>III-1-4-3-3-Calcul de la largeur participante du béton</i>	<i>25</i>
<i>III-1-4-3-4-La position de l'axe neutre</i>	<i>26</i>
<i>Le moment résistant</i>	<i>26</i>
<i>III-2-Calcul des connecteurs</i>	<i>27</i>
<i>III-2-1-Introduction</i>	<i>27</i>
<i>III-2-2-Choix des connecteurs.....</i>	<i>28</i>
<i>a)-Résistance de calcul d'une cornière soudée sur la poutre en acier</i>	<i>28</i>
<i>b)-Effort de cisaillement longitudinal VL</i>	<i>28</i>
<i>III-2-3-Nombre de connecteurs</i>	<i>28</i>
Chapitre IV (Etude sismique)	
<i>IV-1-Introduction</i>	<i>30</i>
<i>IV-1-1-La Modélisation.....</i>	<i>30</i>
<i>IV-2-Méthode statique équivalente.....</i>	<i>31</i>
<i>IV-2-1- Calcul de poids de la structure</i>	<i>31</i>
<i>IV-2-2-Calcul de la force sismique totale</i>	<i>32</i>
<i>IV-2-2-1-coefficient d'accélération de zone (A)</i>	<i>32</i>
<i>IV-2-2-2-Facteur d'amplification dynamique moyen D</i>	<i>32</i>
<i>IV-2-2-3-Facteur de qualité Q</i>	<i>34</i>
<i>IV-2-2-4-Coefficient de comportement R.....</i>	<i>34</i>
<i>IV-2-3-Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur....</i>	<i>35</i>
<i>IV-2-4-Excentricités</i>	<i>36</i>
<i>a)-Centre de gravité.....</i>	<i>36</i>

b)-Centre de torsion.....	37
c)-Excentricité de calcul.....	37
IV-2-5-Distribution des forces	38
Distribution de la force sismique sur les étages	40
Chapitre V (Etude des portiques)	
V-Etude et vérification des poteaux et des traverses	41
V-1-Origine des phénomènes d'instabilité	41
V-2-Introduction.....	43
Vérification des Poteaux (HEB300)	44
Vérification des poutres (IPE400)	48
Flèches et déplacement	49
Chapitre VI (Etude des palées de stabilité)	
VI-Calcul et justification des palées de stabilités longitudinales	50
VI-1- Introduction	50
VI-2-Stabilité longitudinale en HEA180.....	52
VI-3-Calcul de l'attache diagonale HEA180 – poteau.....	54
VI-3-1-Vérification de la pression diamétrale	54
VI-4-Vérification du gousset à la traction.....	55
Chapitre VII (Etude des assemblages)	
VII-Calcul des Assemblages	56
VII-1-Introduction	56
VII-1-1-Fonctionnement des assemblages.....	56
VII-1-2-Rôle des assemblages	58
VII-2-Assemblage poteau HEB300 – poutre IPE400.....	59
VII-3-Assemblage poutre IPE400 – solive IPE240	75
Chapitre VIII (Calcul des tiges d'ancrages)	
VIII- Calcul des tiges d'ancrages	77
VIII-1- Introduction	77
VIII-2- Définition	77
VIII-3-Calcul de pied de poteau encastré.....	93

Chapitre IX (Protection de la structure)

<i>IX-1-Résistance vis-à-vis la corrosion.....</i>	<i>102</i>
<i>IX-1-1-Considération à la protection à la corrosion</i>	<i>102</i>
<i>IX-1-2-Milieus corrosifs</i>	<i>102</i>
<i>IX-2-Résistance au feu.....</i>	<i>103</i>
<i>IX-3-Les types de protection.....</i>	<i>103</i>
<i>IX-4-Les systèmes irrigués</i>	<i>105</i>
<i>Conclusion</i>	<i>106</i>
<i>Bibliographie</i>	<i>107</i>



Chapitre I



Introduction et présentation de l'ouvrage

Introduction et présentation de l'ouvrage

I-Introduction :

Actuellement, la construction métallique occupe un pôle technologique dans tous les domaines (*charpente, chaudronnerie, ponts*)

Les divers avantages d'une telle structure métallique relativement aux autres types de construction sont :

Une grande souplesse architecturale.

Une compétitivité importante.

Une haute performance.

Une bonne connaissance des matériaux utilisés en construction métallique est indispensable pour la réalisation d'une structure, dans notre cas on a choisi l'acier **E28** de nuance **Fe430** comme élément de base pour l'étude technique et conception d'un bâtiment métallique à cause de ses caractéristiques physiques et mécaniques (*rigidité, ductilité,...*) qui puissent satisfaire aux exigences demandées.

II-Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage est un bâtiment **R+2** en charpente métallique à usage commercial implanté à **Hussein Dey** wilaya d'**Alger** qui est classée zone sismique **III**.

La stabilité transversale est assurée par des portiques auto-stables ainsi que des palées triangulées en **X**.

La stabilité longitudinale est assurée par des palées triangulées en **X**.

Le plancher est du type collaborant acier béton avec coffrage perdu en **TR 35**.

II-1-Les données géométriques

Le présent ouvrage à une forme rectangulaire caractérisée par les dimensions suivantes :

- Longueur totale : **27m**
- Largeur totale : **16m**
- Hauteur totale = **12m** + l'acrotère **0.6 m** = **12.6m**
- Hauteur de RDC : **H_{rdc} = 4m**
- Hauteur de premier étage : **H^{1er} = 4m**
- Hauteur deuxième étage : **H^{2eme} = 4m**

II-2-Règlements utilisés

Pour justifier la sécurité on se base sur les règlements suivants :

1. règlement Neige et Vent « **RNVA99 version 2003** »
2. règlement parasismique algériennes « **RPA99 version 2003** »; pour l'étude sismique
3. béton armé aux états limites « **BAEL91** »
4. « **DTRB.C2.2** » charge permanentes et charge d'exploitation
5. règlement **Eurocode 3** « **calcul des structures en acier** »

II-3- Matériaux de construction :**a)-Acier :****- Acier d'ossature :**

On utilise l'acier **E28** de nuance **Fe430** qui a les caractéristiques suivantes :

- la limite élastique $F_y = 275 \text{ MPa}$.
- la résistance à la traction $F_u = 430 \text{ MPa}$.
- la densité volumique : $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.
- module d'élasticité longitudinale $E = 210\,000 \text{ MPa}$.
- module d'élasticité transversale $G = 84\,000 \text{ MPa}$.

-Acier de ferrailage :

Pour le ferrailage des fondations on a à utiliser des barres **HA type 1** de nuance **FeE430** dont la contrainte limite d'élasticité est $f_e = 430 \text{ daN/mm}^2$

- module d'élasticité longitudinal $E = 2.1 \times 10^4 \text{ daN/mm}^2$

Acier de construction pour les éléments de structure :

On admet pour la nuance d'acier **E28** qui a comme caractéristique :

résistance limite d'élasticité	$f_y = 27,5 \text{ kg/mm}^2$
module d'élasticité longitudinal	$E = 2.1 \times 10^4 \text{ daN/mm}^2$
poids volumique	$\rho = 7850 \text{ daN/mm}^2$
Coefficient de dilatation thermique	$\alpha = 12 \times 10^{-6}$
Module de cisaillement	$G = E / (2(1+\nu)) = 0.8 \times 10^4 \text{ daN/mm}^2$
Coefficient de poisson	$\nu = 0.3$

b)-Béton :

Pour la réalisation des fondations et des planchers, le type de ciment utilisé est le **CPA** caractérisé par le dosage de **350Kg /m³** dont les autres caractéristiques sont les suivants :

- La résistance à la compression : **$F_{c28}=25\text{MPa}$** .
- La densité volumique : **$\rho = 2500 \text{ dan/m}^3$** .
- Coefficient de retrait : **$\varepsilon = 2 \times 10^{-4}$** .

II-4.Charge et Surcharge :

Les actions appliquées à l'ouvrage sont :

- Actions permanentes dues au poids propre.
- Actions variables dues aux charges climatiques et surcharge d'exploitation
- Actions accidentelles dues au séisme.

II-5.Logiciels utilisé :

- SAP 2000 v 14**
- Robot structural 2014**

II-6-Système de contreventement :

- Contreventement vertical : la stabilité du bâtiment est assurée par :
 - Dans le sens longitudinal par portique plus palées triangulées en **X**.
 - Dans le sens transversal par palées triangulées en **X**.
- Contreventement horizontal : assuré par les planchers collaborant

Pour la réalisation des fondations et des planchers, le type de ciment utilisé est le **CPA** caractérisé par le dosage de **350Kg /m³** dont les autres caractéristiques sont les suivants

II-7-Les planchers :

Les planchers mixtes sont des planchers constitués de dalles en béton armé posées sur des poutrelles métalliques (solives). ils sont utilisés généralement dans les bâtiments à étages.

La dalle en béton armé est collaborante, elle participe à l'inertie globale du plancher et à la stabilité de la construction ; ce qui impose une liaison avec la structure porteuse, pour cela il faut prévoir des dispositifs de liaison (connecteurs) à l'interface acier/béton,

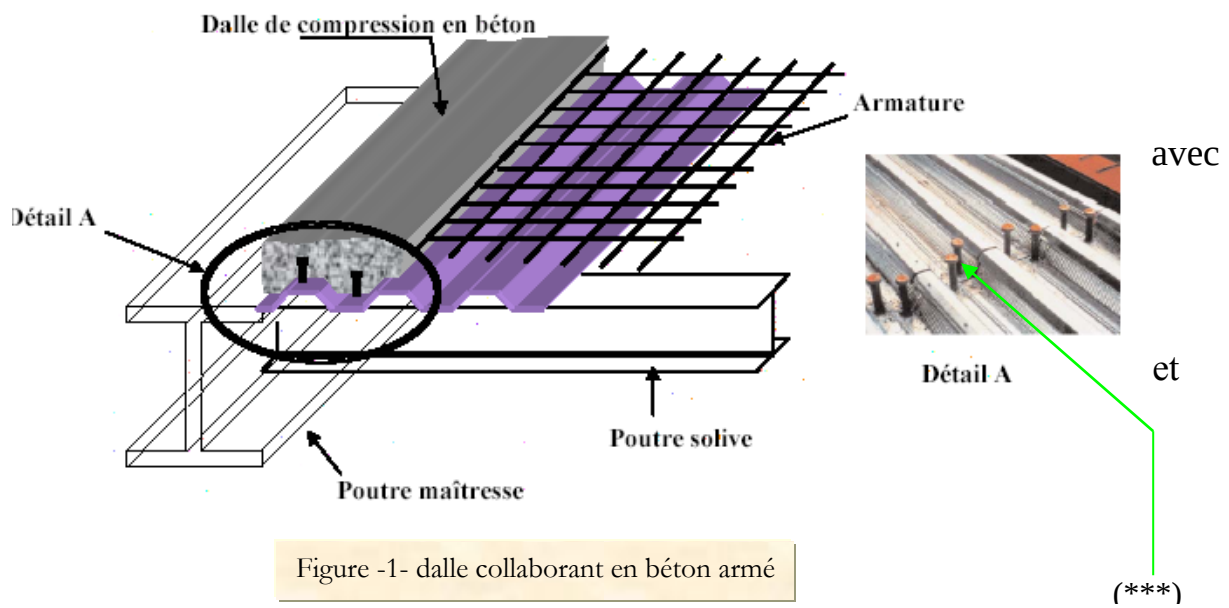
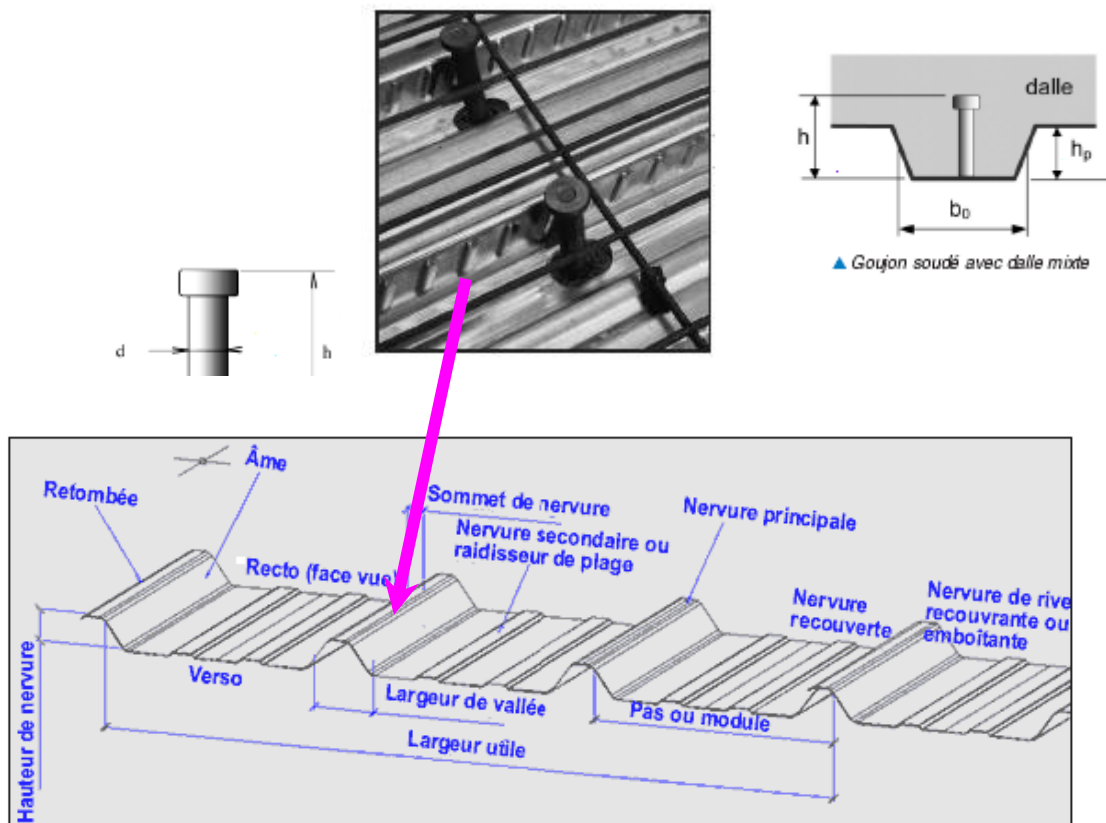


Figure -1- dalle collaborant en béton armé

(***) Goujons





Chapitre II



Etude Climatique

II-1-Etude du vent selon (RNV99) :

II-1-1-Introduction :

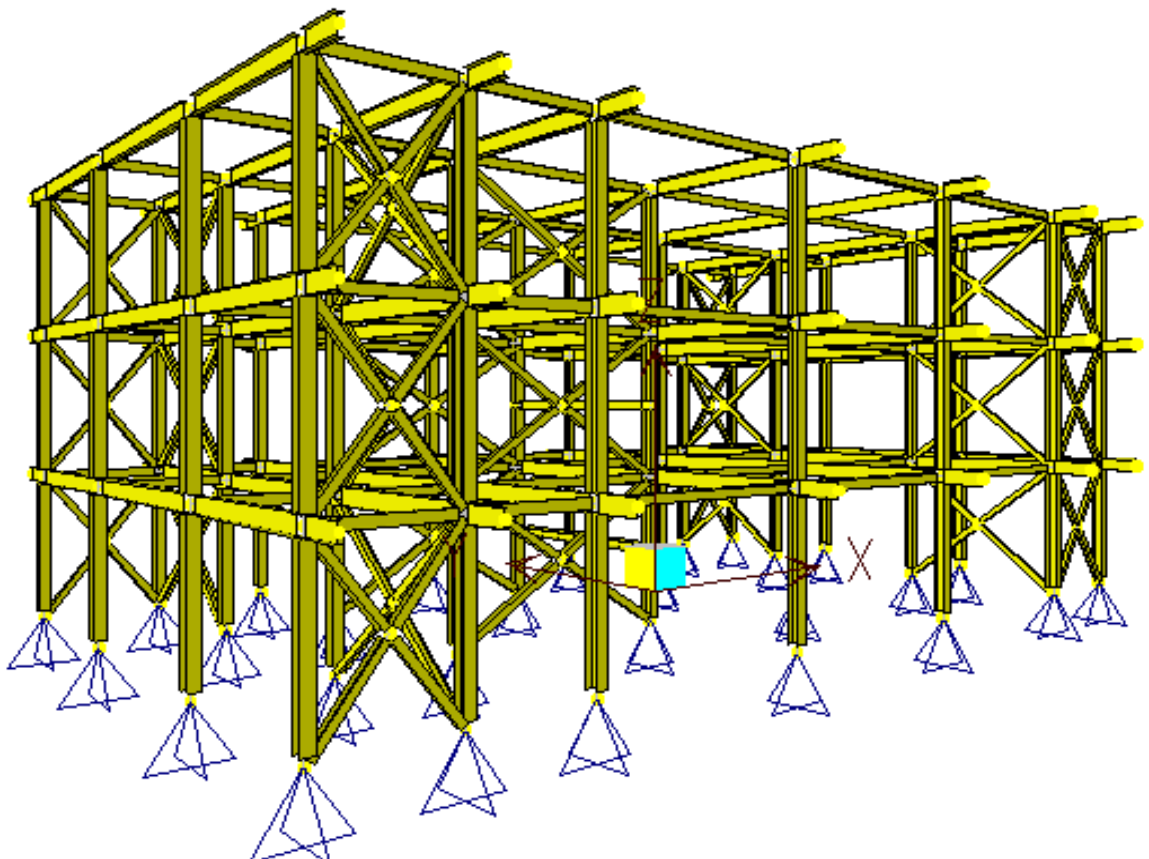
Le vent est une action variable .pour notre construction qui est à base rectangulaire, on considère trois directions du vent.

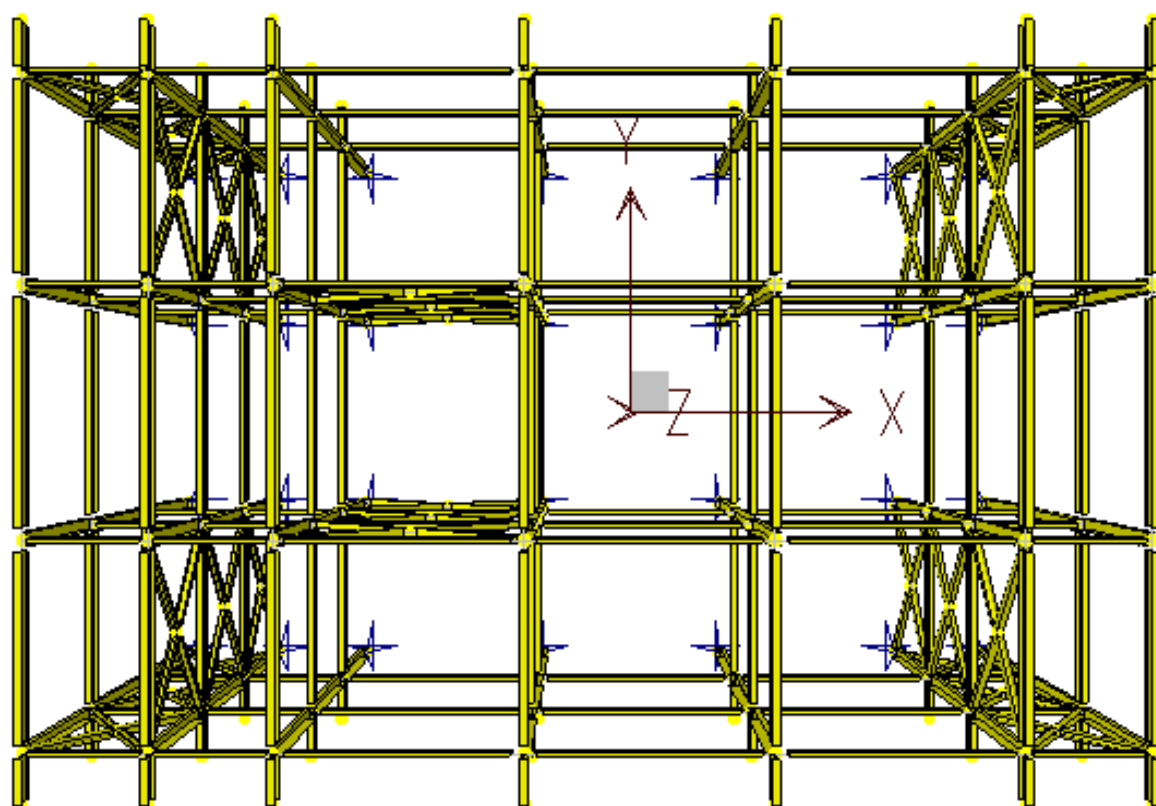
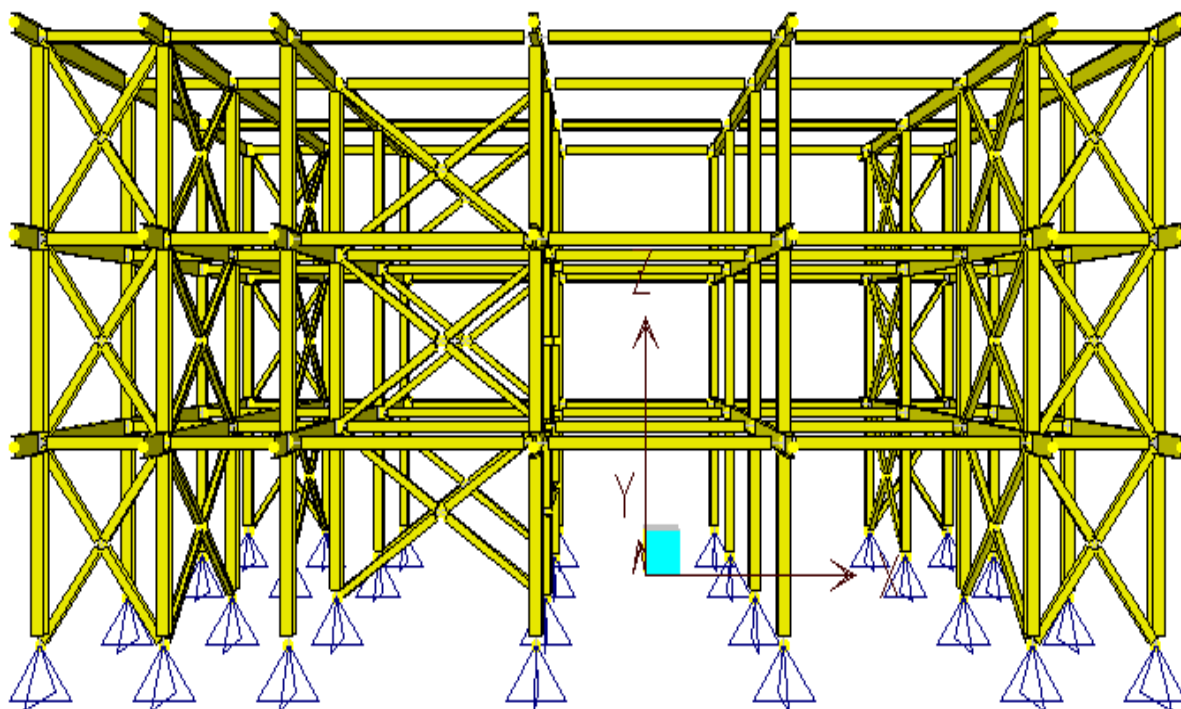
L'étude suivante nous permettra d'estimer l'action du vent sur les différentes parois de la construction.

Le présent document technique réglementaire (**DTR**) fournit les procédures et principes généraux pour les déterminations des actions du vent sur l'ensemble d'une construction et sur ses différentes parties.

Le présent règlement (**DTR**) s'applique aux constructions suivantes dont la hauteur est inférieure à 200 m.

Quelques Vues :





II-1-2-Présentation générale :

Il s'agit de déterminer les actions du vent s'exerçant sur le bâtiment industriel en structure métallique.

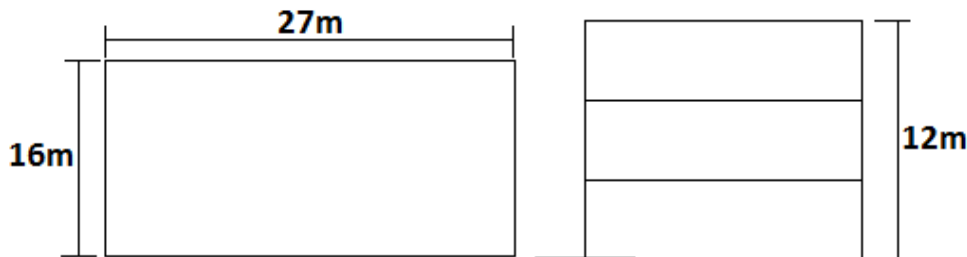


Figure 1

II-1-3-Détermination des actions du vent :**a)-Calcul du coefficient dynamique C_d :**

Le coefficient dynamique C_d tient compte des effets de réduction et d'amplification, sa valeur doit être déterminée à l'aide de l'abaque 3.2 (RNV99) qui correspond aux structures métalliques, C_d est donné en fonction de :

- **b [m]** : désigne la dimension horizontale perpendiculaire à la direction du vent prise à la base de la construction.
- **h [m]** : désigne la hauteur de la construction.

b)-Calcul du coefficient d'exposition C_e :

Il tient compte des effets de la rugosité du terrain, de la topographie du site et de la hauteur au-dessus du sol.

$$\bullet \text{ } C_d < 1.2 : C_e(Z) = C_t^2 \cdot C_r^2(Z) \left[1 + \frac{7 \cdot K_T}{C_t(Z) \cdot C_r(Z)} \right] \quad \text{C.P.S.E.D}$$

- **C.P.S.E.D** : construction peu sensible aux excitations dynamiques.
- **K_T** : facteur de terrain donné au **tableau 2.4 (RNV99)**
- **C_r** : coefficient de rugosité, il traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent.

$$C_r(Z) = K_T \cdot \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \rightarrow Z_{\min} \leq Z \leq 200m$$

$$C_r(Z) = K_T \cdot \ln\left(\frac{Z_{\min}}{Z_0}\right) \rightarrow Z < Z_{\min}$$

Ct : coefficient de topographie; il prend en compte l'accroissement de la vitesse du vent lorsque celui-ci souffle sur les obstacles. **Ct** peut être tiré du **tableau 2.5 (RNV99)**.

c)-Détermination des pressions dynamiques :

$$q_{\text{dyn}} = q_{\text{ref}} \cdot C_e$$

q_{ref} (N/m²) : c'est la pression dynamique de référence pour les constructions permanentes. Elle est donnée par le **tableau 2.3 (RNV99)** en fonction de la zone du vent.

d)-Détermination des coefficients de pressions :

➤ Coefficient de pression extérieure C_{pe} :

Ce coefficient dépend de la dimension de la surface chargée, il est défini pour des surfaces de **1m²** et **10m²** aux quelles correspondent les coefficients **C_{pe1}** et **C_{pe10}**.

C_{pe} : s'obtient à partir des formules suivantes :

» C_{pe} = C_{pe1}	S ≤ 1m²
» C_{pe} = C_{pe1} + (C_{pe10} - C_{pe1}).LogS	1m² < S < 10m²
» C_{pe} = C_{pe10}	S ≥ 10m²

➤ Coefficient de pression intérieure C_{pi} :

Il dépend du type de construction et de ses couvertures par rapport à la direction du vent.

Dans le cas d'un bâtiment avec cloisons intérieures, on doit utiliser les valeurs suivantes :

$$C_{pi} = -0.5 \text{ et } C_{pi} = 0.8$$

e)-Détermination des pressions :

$$q_j = C_d . q_{dyn} . (C_{pe} - C_{pi})$$

f)-Détermination de la force de frottement :

Une force complémentaire doit être introduite pour les constructions allongées de catégorie I. pour tenir compte du frottement qui s'exerce sur les parois parallèles à la direction du vent.

On doit calculer les forces de frottements pour les constructions pour lesquelles:

$$\frac{d}{b} \geq 3 \quad \text{Ou} \quad \frac{d}{h} \geq 3$$

La force de frottement est donnée par :

$$F_{fr} = \sum (q_{dyn}(z) . C_{f_{rj}} S_{f_{rj}})$$

II-1-4-Données relatives au site :

-site plat : $C_t(z) = 1$. (RNV 99 tableau 2.5 page 48)

- zone du vent : zone I $\rightarrow q_{ref} = 375 N/m^2$.

- terrain : de catégorie IV $\rightarrow K_T = 0.24$, $Z_o = 1 m$, $Z_{min} = 16m$,
 $\varepsilon = 0.46$

(RNV 99 tableau 2.4 page 47)

II-1-5-Détermination du coefficient dynamique C_d :

La structure du bâtiment est métallique, on utilisera donc la figure 3.2 (RNV99) pour déterminer la valeur de C_d pour chaque direction du vent

•V1 : vent perpendiculaire au pignon.

$b = 16 m$, $h = 12 m \rightarrow C_d = 0.96$ (après interpolation).

•V2 : vent perpendiculaire au long pan.

$b = 27 m$, $h = 12 m \rightarrow C_d = 0.934$ (après interpolation)

$C_d < 1.2$, la structure est considérée peu sensible aux excitations dynamiques dans les deux directions du vent.

II-1-6-Détermination du coefficient d'exposition C_e :

$$\bullet \text{ Cd} < 1.2 : \quad C_e(Z) = C_t^2 \cdot C_r^2(Z) \cdot \left[1 + \frac{7 \cdot K_T}{C_t(Z) \cdot C_r(Z)} \right]$$

Z = hauteur du bâtiment.

$Z_{\min} := 16 \text{ m} > Z = 12 \text{ m}$ donc q_{dyn} est constant.

$$C_r(z) = K_t \ln \left(\frac{Z_{\min}}{Z_0} \right) = 0.24 \ln \left[\frac{16}{1} \right]$$

$$C_{rt}(z) = 0.665$$

$$C_e(z) = 1^2 \times 0.665^2 \times \left[1 + \frac{7 \times 0.24}{1 \times 0.665} \right]$$

$$C_{ev}(z) = 1.559$$

II-1-7-Valeur de la pression dynamique q_{dyn} :

$$q_{\text{dyn}} = C_e \cdot q_{\text{ref}}$$

*** Toiture :** $q_{\text{dyn}} = 1.559 \times 375 = 584.625 \text{ N/m}^2$.

*** Parois verticales :** $q_{\text{dyn}} = 1.559 \times 375 = 584.625 \text{ N/m}^2$

II-1-8-Détermination de coefficient de pression extérieure(cp_e):

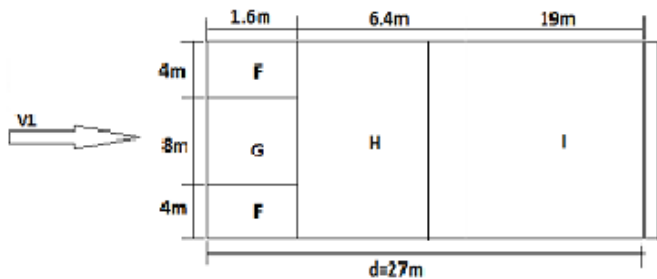
➤ **Vent perpendiculaire au pignon V1 :**

$$\begin{cases} b = 16 \text{ m} \\ d = 21 \text{ m} \\ h = 12 \text{ m} \end{cases}$$

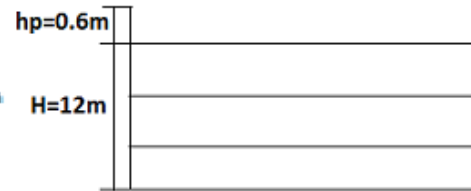
$$e = \min [b ; 2 h] = \min [16 , 24] = 16 \text{ m}$$

- toiture :

Pour notre cas on a une toiture plate la hauteur de l'acrotère : $h_p=0.6m$



Vue en plan



Vue en élévation

Les surfaces H, G et I sont $> 10m^2 \rightarrow C_{pe}=C_{pe10}$

La surface F sont comprise entre 1 et $10 m^2$

$$C_{pe(s)} = C_{pe1} + (C_{pe10} - C_{pe1}) \log S.$$

Avec: $S_F = 6.4 m^2$

Zone F :

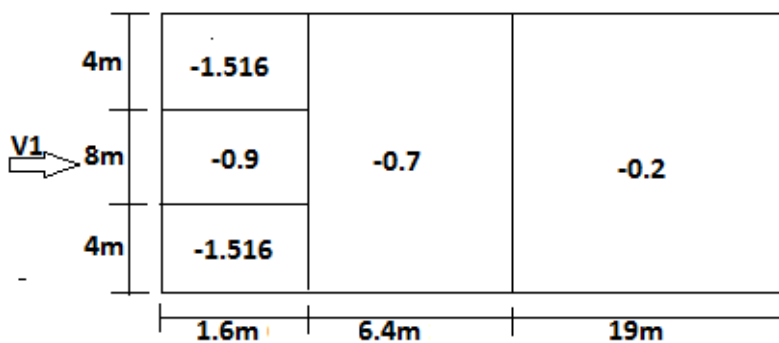
$$C_{pe10} = -1.4$$

$$C_{pe1} = -2$$

$$C_{pe} = -2 + (-1.4 + 2) \log 6.4 = -1.516$$

zone	F	G	H	I
C_{pe}	- 1.516	-0.9	-0.7	-0.2

Les valeurs correspondantes aux zones F,G,H et I :

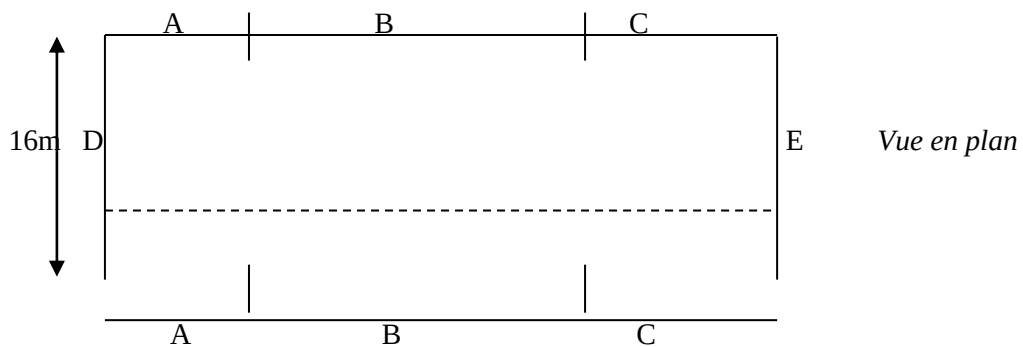


- Parois verticales:

$$e = \min [2h, b] = \min [24, 16] = 16 \text{ m}$$

$$d = 27 \text{ m} > e = 16 \text{ m}$$

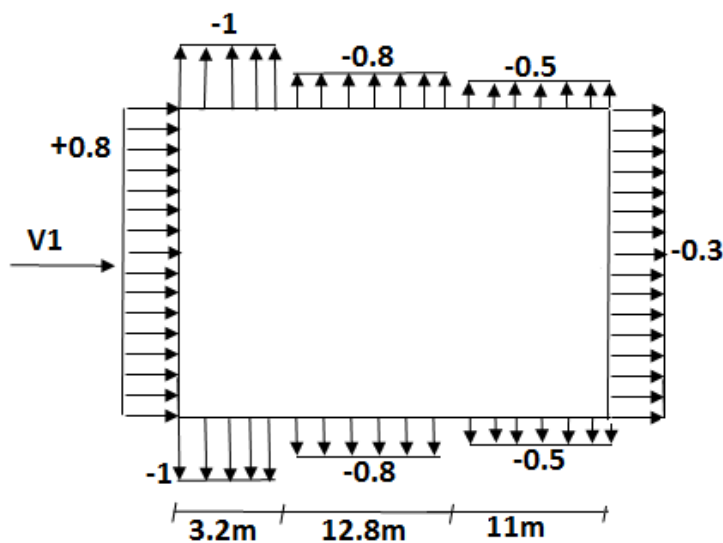
En utilisant **la figure 5.1 et le tableau 5.1 (RNV99)**, on divise les parois Verticales comme indique la figure :



zone	A	B	C	D	E
C_{pe}	-1	-0.8	-0.5	+0.8	-0.3

Toute les surfaces sont superieures à 10m^2 donc $C_{pe}=C_{pe10} < U6$

Les valeurs correspondantes aux zones A,B,C,D et E :



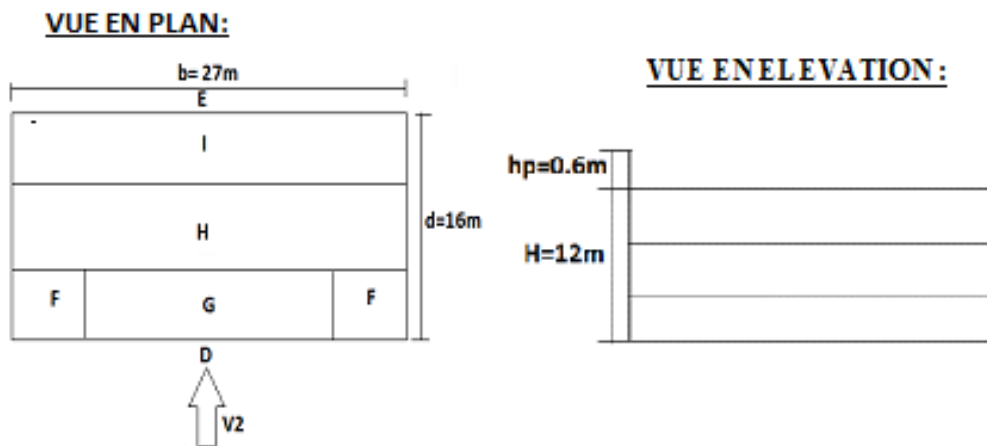
➤ Vent perpendiculaire au long pan V2 :

$$\begin{cases} b=27\text{m}, \\ d=16\text{m}, \\ h=12\text{m} \end{cases}$$

• Toiture :

$e = \min [27, 24] = 24 \text{ m}$.On peut considérer la toiture comme étant plate .

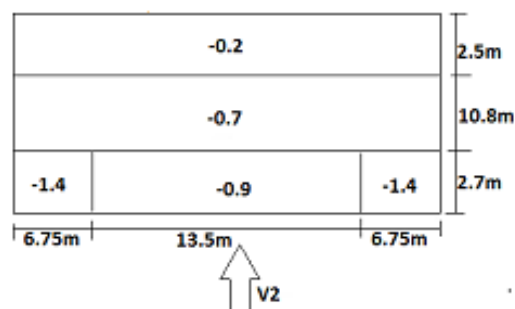
Les coefficients de pression de chaque versant s'obtiennent comme l'indique la figure 5-2 (RNV99).



Les surfaces F, G, H sont $>10 \text{ m}^2$ donc : $C_{pe}=C_{pe10}$

Zone	F	G	H	I
C _{pe}	-1.4	-0.9	-0,7	-0,2

Les valeurs correspondantes aux zones F,G,H et I :



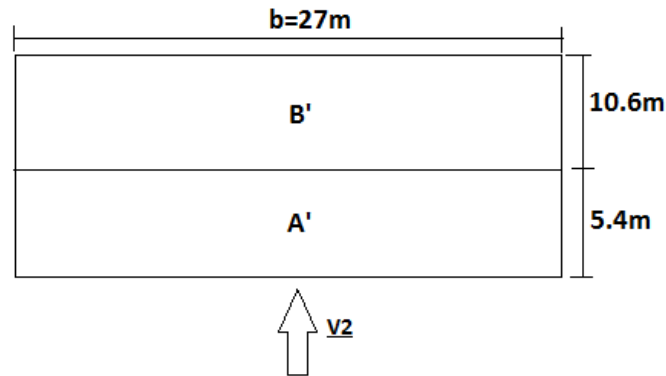
- Parois verticales:

$$e = \min [2h, b] = \min [24, 27] = 24\text{m}$$

$$d = 16\text{m} < e = 24\text{m}$$

En utilisant la figure 5.1 et le tableau 5.1 (RNV99), on divise les parois verticales comme l'indique la figure :

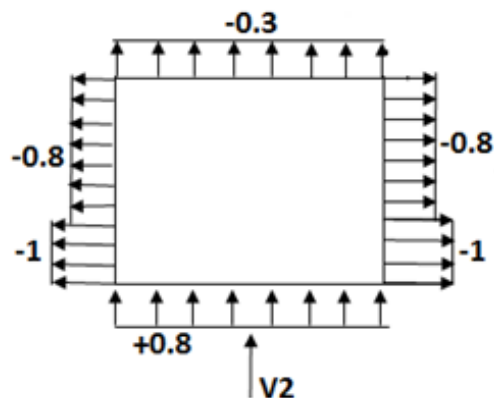
VUE EN PLAN :



Toutes les surfaces sont supérieures à 10 m^2 donc $C_{pe} = C_{pe\ 10}$:

Zone	A'	B'	D	E
C _{pe}	-1	-0.8	+0.8	-0.3

Les valeurs correspondantes aux zones A', B', D et E :



II-1-9-Détermination du coefficients de pression intérieure C_{pi} :

Dans le cas de bâtiments avec cloisons intérieures, on doit utiliser les valeurs suivantes :

$$C_{pi}=+0.8 \quad \text{et} \quad C_{pi}=-0.5$$

- Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

$C_{pi} = 0.8$

Vent V1							
ZONE		Cd	qdyn (kg/m2)	cpe	cpi	cpe-cpi	qj (kg/m2)
toiture	F	0,956	58,46	-1,516	0,8	-2,316	-129,4361
	G	0,956	58,46	-0,9	0,8	-1,7	-95,00919
	H	0,956	58,46	-0,7	0,8	-1,5	-83,83164
	I	0,956	58,46	-0,2	0,8	-1	-55,88776
parois verticales	A	0,956	58,46	-1	0,8	-1,8	-100,598
	B	0,956	58,46	-0,8	0,8	-1,6	-89,42042
	C	0,956	58,46	-0,5	0,8	-1,3	-72,65409
	D	0,956	58,46	0,8	0,8	0	0
	E	0,956	58,46	-0,3	0,8	-1,1	-61,47654

C_{pi} = -0.5

Vent V1							
ZONE		Cd	qdyn (kg/m2)	cpe	cpi	cpe-cpi	qj (kg/m2)
toiture	F	0,956	58,46	-1,516	-0,5	-1,016	-56,78196
	G	0,956	58,46	-0,9	-0,5	-0,4	-22,3551
	H	0,956	58,46	-0,7	-0,5	-0,2	-11,17755
	I	0,956	58,46	-0,2	-0,5	0,3	16,766328
parois verticales	A	0,956	58,46	-1	-0,5	-0,5	-27,94388
	B	0,956	58,46	-0,8	-0,5	-0,3	-16,76633
	C	0,956	58,46	-0,5	-0,5	0	0
	D	0,956	58,46	0,8	-0,5	1,3	72,654088
	E	0,956	58,46	-0,3	-0,5	0,2	11,177552

VENT V2 :**C_{pi} = 0.8**

Vent V2							
ZONE		Cd	qdyn (kg/m2)	cpe	cpi	cpe-cpi	qj (kg/m2)
toiture	F	0,934	58,46	-1,4	0,8	-2,312	-126,23899
	G	0,934	58,46	-0,9	0,8	-1,7	-92,822788
	H	0,934	58,46	-0,7	0,8	-1,5	-81,90246
	I	0,934	58,46	-0,2	0,8	-1	-54,60164
parois verticales	A'	0,934	58,46	-1	0,8	-1,8	-98,282952
	B'	0,934	58,46	-0,8	0,8	-1,6	-87,362624
	D	0,934	58,46	0,8	0,8	0	0
	E	0,934	58,46	-0,3	0,8	-1,1	-60,061804

$C_{pi} = -0.5$

Vent V2							
ZONE		Cd	qdyn (kg/m2)	cpe	cpi	cpe-cpi	qj (kg/m2)
toiture	F	0,934	58,87	-1,512	0,5	-2,012	-110,62897
	G	0,934	58,87	-1	0,5	-1,5	-82,47687
	H	0,934	58,87	-0,7	0,5	-1,2	-65,981496
	I	0,934	58,87	-0,2	0,5	-0,7	-38,489206
parois vertica	A'	0,934	58,87	-1	0,5	-1,5	-82,47687
	B'	0,934	58,87	-0,8	0,5	-1,3	-71,479954
	D	0,934	58,87	0,8	0,5	0,3	16,495374
	E	0,934	58,87	0,3	0,5	-0,2	-10,996916

II-2-Etude de la neige sur la construction :

II-2-1-Introduction :

La construction se situe à **43 m** d'altitude du niveau de la mer, cette altitude est inférieure à **2000 m**. Les règles **RNV99** seront donc applicables.

II-2-2-Calcul des charges de neige :

La charge caractéristique de neige S par unité de surface en projection horizontale de toiture ou de toute autre surface soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule :

$$S = \mu \cdot S_k \text{ [KN / m}^2\text{]}$$

S_k : [KN/ m²] est la charge de la neige sur le sol .

μ : est le coefficient d'ajustement des charges en fonction de la forme de la toiture, il est déterminé à partir du **tableau 6.2** et le **paragraphe 6.4 (RNV99)**.

$$\mu = 0.8$$

➤ Charge de la neige sur le sol :

La valeur de S_k est déterminée par la loi de variation en fonction de l'altitude.

$$\text{Sachant que : } \text{Alger} \rightarrow \text{Zone B} \rightarrow S_k = \frac{0.04 \times H + 10}{100} \quad \text{avec } H = 50\text{m}$$

$$\text{D'où on obtient } S = 0,8 \cdot (0,04 \cdot 50 + 10) / 100 = 0,096 \text{ KN/m}^2$$

$$S = 10 \text{ kg/m}^2.$$



Chapitre III



Etude de plancher collaborant

III-1-Etude de plancher collaborant

III-1-1-Généralités :

Les planchers mixtes sont des planchers constitués de dalles en béton armé posées sur des poutrelles métalliques ils sont utilisés généralement dans des bâtiments d'habitation, *etc....*

La dalle en béton armé est collaborant participe à l'inertie globale du plancher et à la stabilité de la construction ; ce qui impose une liaison avec la structure porteuse, pour cela il faut prévoir des dispositifs de liaison (**connecteurs**) à l'interface acier/béton,

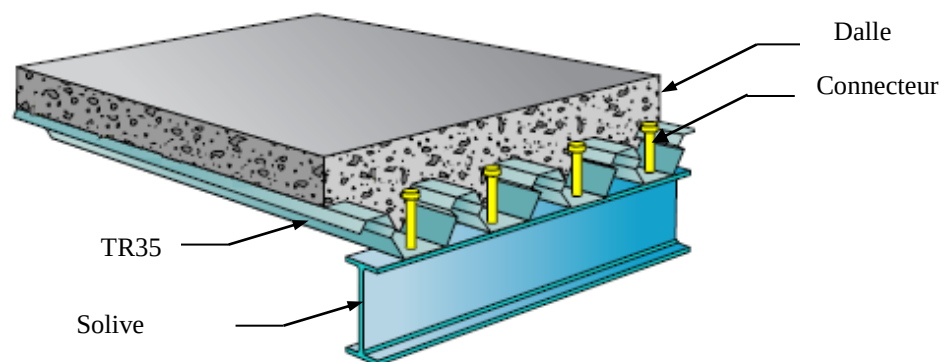


Fig-III-1 : éléments constructifs du plancher mixte

III-1-2- Hypothèses :

- La liaison entre l'acier et le béton est supposée rigide. Les deux matériaux ne peuvent glisser l'un sur l'autre, ils sont empêchés par des connecteurs.
- L'acier et le béton sont supposés être des matériaux élastiques obéissant à la loi de Hooke, la variation relative de longueur de deux fibres d'acier et de béton ; due à une sollicitation qui crée respectivement les contraintes normales σ_a et σ_b , a pour valeur :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma_a}{E_a} = \frac{\sigma_b}{E_b}$$

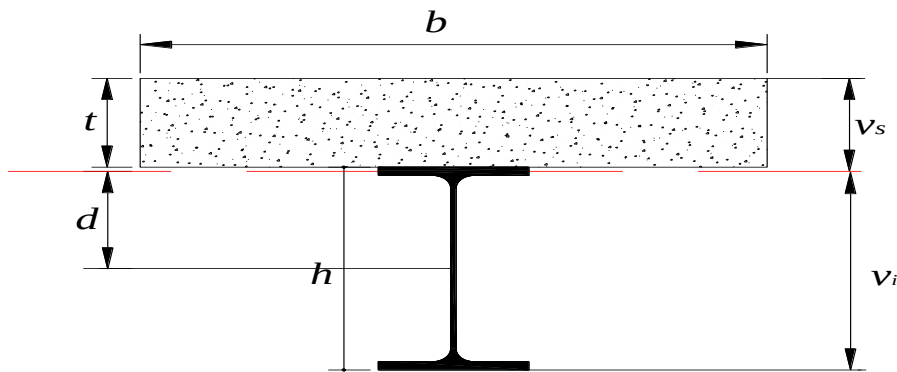
D'où en appelant $n = \frac{E_a}{E_b}$ le coefficient d'équivalence acier-béton.

Il est possible d'étudier la section comme elle était formée d'un matériau homogène, nous homogénéiserons la section par rapport à l'acier, c'est-à-dire nous considérons que toute section **B** de béton équivaut à la section

(fictive) D'acier : $\Delta A = \frac{B}{n}$

III-1-3- Notations :**a)-Dimensions linéaires :**

- h : Hauteur de la poutre en acier,
 t : Hauteur du béton situé au-dessus de la poutre en acier,
 b : Largeur de la dalle collaborant,
 v_s : Distance de l'axe neutre à la fibre supérieure de la dalle,
 v_i : Distance de l'axe neutre à la fibre inférieure de la poutre,
 d : Distance du centre de gravité de la poutre en acier à sa semelle

**Fig. III.2 Dimensions de la poutre mixte.****b)-Caractéristiques de la section :**

- A : Aire de la section de la poutre en acier,
 B : Aire de la section du béton seul,
 S : Aire de la section totale rendue homogène,
 I_A : Moment d'inertie de la poutre en acier, par rapport à un axe perpendiculaire au plan de flexion, passant par son centre de gravité G_a ,
 I_B : Moment d'inertie de la section du béton seul, par rapport à un axe perpendiculaire au plan de flexion, passant par son centre de gravité G_b ,
 I : Moment d'inertie de la section totale rendue homogène.

c)-Disposition des poutrelles :

Pour le plancher de notre ouvrage, les poutrelles sont disposées comme indique la figure suivante (trame 6×5) :

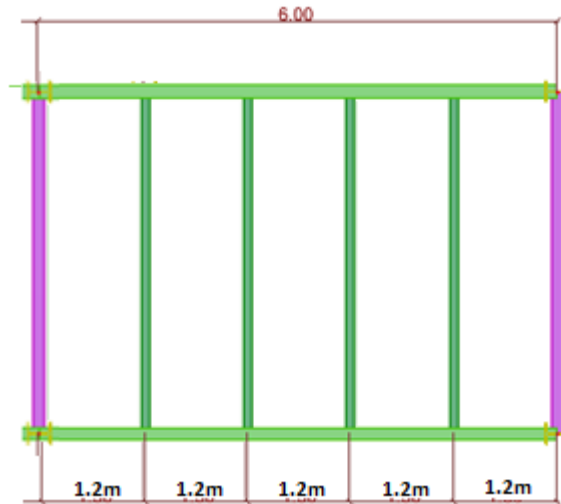


Fig. III.3 Disposition des poutrelles.

III-1-4- Etude du plancher courant :**III-1-4-1- Eléments constituant le plancher courant :**

- Dalle en béton
 - la tôle **TR35**
 - Solive IPE240
 - connecteurs
- Revêtement et carrelage

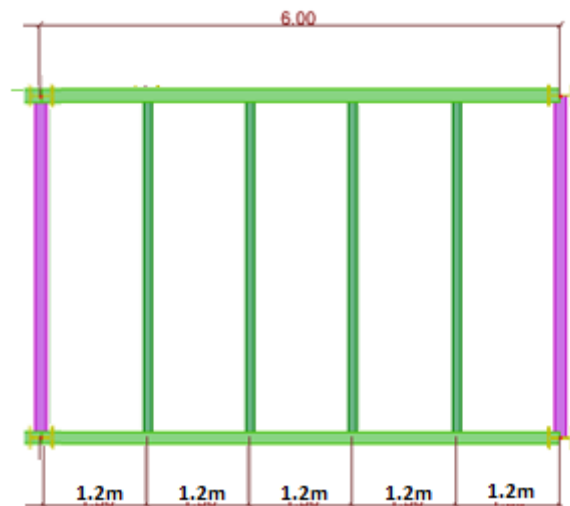


Fig. III.3 Disposition des poutrelles.

III-1-4-2-Détermination des sollicitations :

- Dalle B.A($\rho = 25 \text{ KN/m}^3$), coulée sur bacs acier, d'épaisseur moyenne
 $e_{\text{dalle}} = 10 \text{ mm}$
 $25 \times 0.1 \times 1.2 = 3 \text{ KN/m}$
- Poids de la tôle : (TR35) $\rightarrow 0.1 \times 1.2 = 0.12 \text{ KN/m}$
- Solive IPE 240: 0,307 KN/ml;
- Faux plafond : $0,1 \times 1.2 = 0.12 \text{ KN/m}$
- Charge d'exploitation : $5 \times 1.2 = 6 \text{ KN/ml}$
- Mortier de pose : $0.4 \times 1.2 = 0.48 \text{ KN/ml}$
- Revêtement et carrelage : $0.4 \times 1.2 = 0.48 \text{ KN/ml}$
- Cloison : $1 \times 1.5 = 1.2 \text{ KN/ml}$
- Entraxe des solives : 1.2 (voir Fig. III.2)
- Contrainte admissible des matériaux:
 Pour l'acier $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$ et $\tau_e = 0,58 f_y$.
 Pour le béton: (C20/25) $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$.
- Coefficient de retrait $\varepsilon = 2 \times 10^{-4}$
- Coefficient d'équivalence acier-béton, $n = \frac{E_a}{E_c} = 15$

III-1-4-3-Calcul de la poutre mixte :**III-1-4-3-1-1^{ère} Phase : Vérification au stade de construction****➤ Charge appliquée à la poutre mixte avant le durcissement du béton :**

- Dalle en béton **3 KN/ml,**
- Tôle TR35 **0.12 KN/m,**
- Solive IPE 240 0,307 KN/ml,
- Charge d'exploitation **6 KN/ml.**

➤ Vérification de la flèche à l'état limite de service(ELS):**On doit vérifier que :**

$$\delta = \frac{5.q.l^4}{384.E.I_y} \leq \frac{l}{250}$$

Avec :

- $q = Q + G$
- $q = 3 + 0.12 + 0.307 = 3.4 \text{ KN/m}$

AN :

$$\delta = 5 \times 3.4 \times 6000^4 / (384 \times 210000 \times 3891.6 \times 10^6) = 7.01 \text{ mm} < L/250$$

$$\delta = 7.01 \text{ mm} < 6000/250 = 24 \text{ mm} \quad \text{ok.}$$

✓ La condition de la flèche est vérifiée.

➤ Vérification de la résistance à l'état limite ultime (ELU) avant durcissement de la dalle :

Dans cette phase, seule la résistance de la poutrelle est prépondérante.

La solive est un élément fléchi donc :

On doit vérifier que:

$$M_{Sd} < M_{plRd}$$

Soit : $M_{Sd} = \frac{ql^2}{8}$

Avec:

- $1.35G = 1.35 \times 3.4 = 4.59 \text{ KN/ml}$

AN :

$$M_{sd} = 4.59 \times 6^2 / 8 = 20.65 \text{ KN.m} ,$$

$$W_{ply} = 367 \text{ cm}^3 \text{ donc } M_{plrd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{plrd} = 367 \times 275 / 1.1 \times 10^{-3} = 98.75 \text{ KN.m}$$

✓ La condition est vérifiée.

➤ Vérification au cisaillement :

On doit vérifier que : $V_{sd} < V_{plRd}$

Avec :

V_{sd} : valeur de calcul de l'effort tranchant.

V_{plRd} : valeur de calcul de la résistance au cisaillement.

$$V_{sd} = \frac{q \times L}{2} = \frac{4.59 \times 6}{2} = 13.77 \text{ KN}$$

$$V_{plRd} = \frac{A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{MO}}$$

A_v : est l'aire de cisaillement égale à : $A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2 \times r) \times t_f = 15.21 \text{ cm}^2$

t_w et h sont l'épaisseur de l'âme et la hauteur de la poutre **IPE240**.

$$V_{plRD} = \frac{0.577 \times 1462,6 \times 235}{1,1} = 187.5 \text{ KN}$$

$$V_{sd} = 13.77 \text{ Kn} < V_{plrd} = 187.5 \text{ KN}$$

✓ La condition du cisaillement est vérifiée OK

III-1-4-3-2- 2^{ème} Phase : vérification au stade définitif (final) :

Charges permanentes et d'exploitation appliquées après prise de la dalle.

- Dalle B.A ($\rho = 25 \text{ KN/m}^3$), coulée sur bacs acier, d'épaisseur moyenne
- $e_{dalle} = 10 \text{ mm}$
 $25 \times 0.1 \times 1.2 = 3 \text{ KN/m}$
- Poids de la tôle (TR35) $\rightarrow 0.1 \times 1.2 = 0.12 \text{ KN/m}$
- Solive IPE 240 : 0,307 KN/ml ;
- Faux plafond : $0,1 \times 1.2 = 0.12 \text{ KN/m}$
- Charge d'exploitation : $5 \times 1.2 = 6 \text{ KN/ml}$
- Mortier de pose : $0.4 \times 1.2 = 0.48 \text{ KN/ml}$
- Revêtement et carrelage : $0.4 \times 1.2 = 0.48 \text{ KN/ml}$
- Cloison : $1 \times 1.5 = 1.2 \text{ KN/ml}$

III-1-4-3-3-Calcul de la largeur participante du béton :

EC4 4.2.2.1

$b_{eff} = \min(2\frac{\ell_o}{8}; b)$ avec ℓ_o : est la longueur de solive.

$$b_{eff} = \min (2.6/8 , 1.2) = 1.2 \text{ m}$$

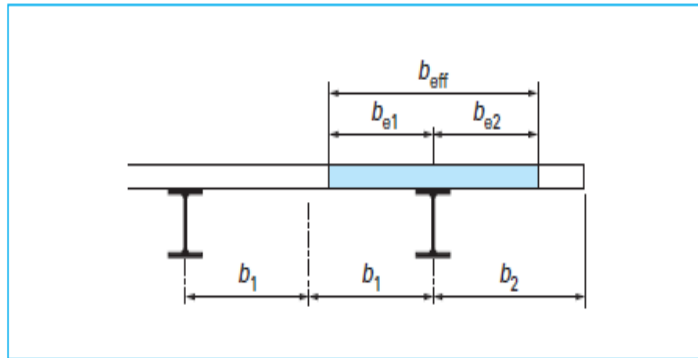


Fig. III.4 largeur participante de béton

- **caractéristique de profil IPE240 :**

$$W_{pl,y} = 366.6 \text{ cm}^3; t_f = 9.8 \text{ mm}; t_w = 6.2 \text{ mm}; b = 120 \text{ mm}; d = 190.4 \text{ mm}$$

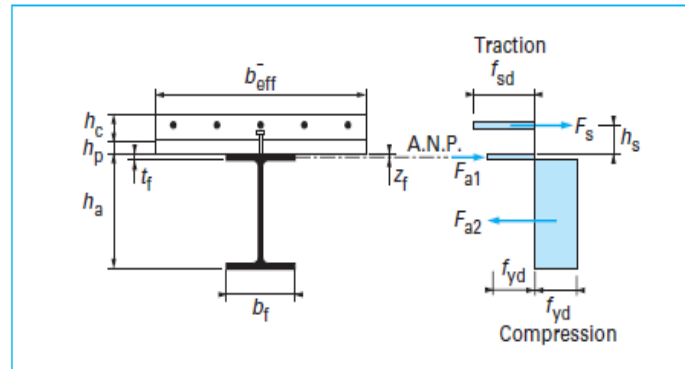
- **Semelle comprimée :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{60}{9.8} = 6.12 < 10\varepsilon \text{ donc la semelle est de classe (1)}$$

- **Ame fléchie :**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{190.4}{6.2} = 30.7 < 72\varepsilon \text{ donc l'ame de classe (1)}$$

D'où la section transversale de classe (1)

III-1-4-3-4-La position de l'axe neutre :**Fig. III.5 la position de l'axe neutre**

$$F_c = b_{\text{eff}} \times h_c \times (0,85f_{\text{cd}})$$

Avec : $f_{\text{cd}} = \frac{f_{\text{ck}}}{g_c}$

$$F_a = A_a \times f_{\text{yd}}$$

$$F_a = 39.1 \times 10^{-2} \times 275 / 1.1 = 977.5 \text{ KN}$$

$$F_c = 1.2 \times 0.1 \times 0.85 \times 25 \times 10^3 / 1.5 = 1700 \text{ KN}$$

$F_c > F_a$ donc l'axe neutre se situe dans la dalle
La dalle doit être ferraillée

$$Z = F_a / (0,85 \cdot f_{\text{ck}} \cdot b_{\text{eff}} / \gamma_c)$$

$$Z = 977500 / (0,85 \cdot 25 \cdot 1200 / 1.5)$$

$$Z = 57.5 \text{ mm}$$

• **Le moment résistant :**

$$M_{\text{plrd}}(Z/2) = F_a \cdot \left[\left(\frac{h_a}{2} \right) + h_c - \frac{Z}{2} \right] = 186,95 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{plrd}} = 186,95 \text{ KN.m} \gg M_{\text{sd}} = 20.65 \text{ KN.m} \rightarrow \text{c'est vérifié.}$$

III-2-Calcul des connecteurs :

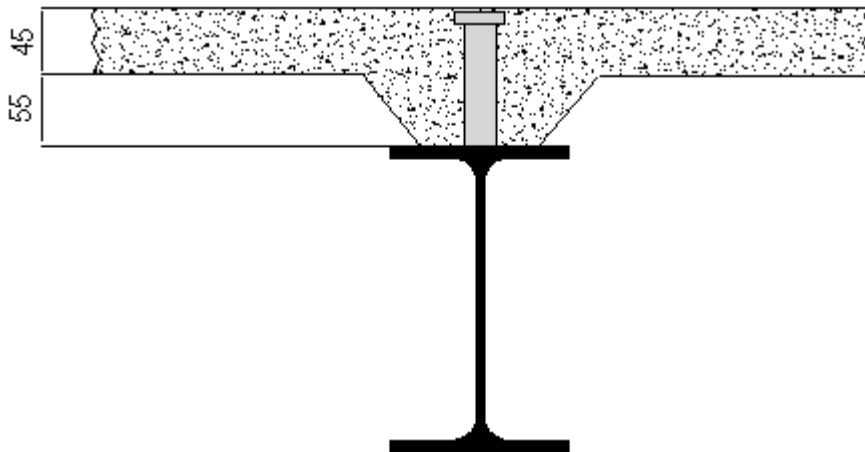
III-2-1-Introduction :

Le fonctionnement de façon monolithique d'un tel plancher n'est disponible que si la connexion entre la poutre métallique et le béton se fait sans glissement, c'est pourquoi, on est obligé de disposer des éléments de liaison appelés connecteurs.

- Ces connecteurs ont pour rôles :

De recevoir de la part de la poutre métallique un effort de cisaillement qu'ils transmettent au béton par butée ; cet effort correspond à l'effort de glissement, c'est-à-dire à la variation de compression du béton due à la flexion.

D'empêcher un soulèvement du béton ; cet effort de soulèvement est donnée l'EC4 comme n'étant pas inférieure à 10% de sa résistance ultime au glissement. Le dimensionnement de la connexion est réalisé en supposant une connexion complète



Connexion acier-béton

III-2-2-Choix des connecteurs :

Les connecteurs sont généralement réalisés par des cornières ou bien des UPN ou parfois des goujons pour cette étude le choix a été porté sur des connecteurs souples en profilés, car les connecteurs rigides sont moins pratiques à cause qu'il peuvent introduire des risques de ruptures au niveau du béton.

$$h = 80 - 20 = 60 \text{ mm (condition d'enrobage : 20 mm)}$$

$$b = (100 - 2 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

On prendra des cornières 60x60x6

a)-Résistance de calcul d'une cornière soudée sur la poutre en acier :

$$P_{Rd} = 10 \cdot b \cdot h^{3/4} \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_v$$

$\gamma_v = 1,25$: Coefficient partiel de sécurité à l'ELU.

$$P_{Rd} = 10 \cdot 60 \cdot 60^{3/4} \cdot 25^{2/3} / 1,25 = 88473,8 \text{ N}$$

b)-Effort de cisaillement longitudinal V_L :

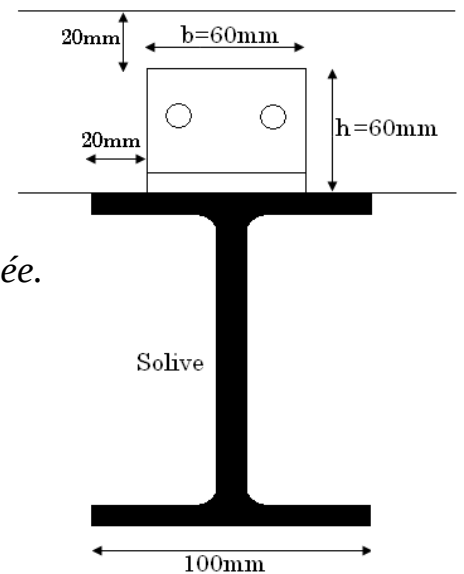
$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$: La résistance caractéristique sur cylindre du béton à l'âge considéré.

$A_{se} = 0$: l'aire de toute armature longitudinale comprimée.

$$\gamma_a = 1,1 \quad ; \quad \gamma_c = 1,5 \quad ; \quad \gamma_s = 1,15$$

$$F_{cf} = \min \left\{ \begin{array}{l} A_o f_y / \gamma_a \\ A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c + A_{se} f_{sk} / \gamma_s \end{array} \right\}$$

$$F_{cf} = V_L = \min \left\{ \begin{array}{l} 39,1 \times 2750 / 1,1 = 97750 \text{ kg} \\ 0,85 \times 120 \times 10 \times 25 \times 10 / 1,5 = 170000 \text{ kg} \end{array} \right.$$

**III-2-3-Nombre de connecteurs :**

$$n = V_L / P_{Rd} = 977500 / 88473,8 = 11,04 \quad \rightarrow \quad n = 12 \text{ connecteurs.}$$

a)-Calcul de l'écartement :

$$e_{\max} \leq \min \begin{cases} 800\text{mm} \\ 6 \cdot h_C = 6 \times 100\text{mm} \end{cases} \rightarrow e \leq 600\text{ mm}$$

12 connecteurs $\rightarrow$ 11 espacements.

$$e = L / 11 = 6000 / 11 = 545.45\text{ mm} < e_{\max} = 600\text{ mm}$$

Donc nous aurons 12 connecteurs avec : $e = 546\text{ mm}$



Chapitre IV



Etude sismique

Etude sismique (selon RPA99):

IV-1-Introduction :

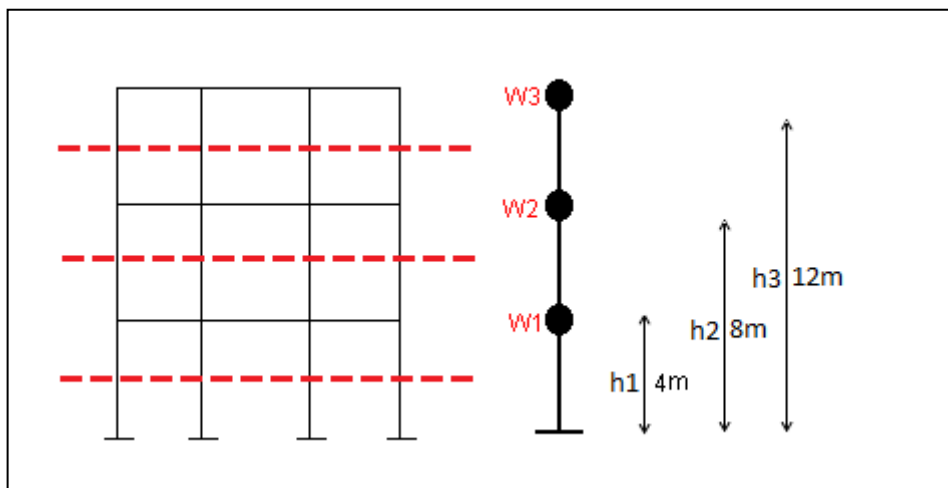
Le séisme est un phénomène naturel destructeur qui affecte la surface de la terre, il présente un danger sur les vies humaines et sur les constructions. La conception de ces dernières doit être faite de façon à assurer une résistance suffisante avec une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis de l'action sismique.

Le règlement parasismique Algérien (RPA99 version 2003) fixe les règles de conception et de calcul des constructions en zone sismique.

Notre structure est implantée à Alger qui est classée en zone III d'après le RPA, Donc le calcul des charges sismiques est obligatoire, ce calcul peut être mené suivant trois méthodes :

1. La méthode statique équivalente.
2. La méthode d'analyse modale spectrale.
3. La méthode d'analyse dynamique par accélerogramme.

IV-1-1-La Modélisation :



IV-2-Méthode statique équivalente :• **principe :**

Dans cette méthode **RPA** propose de remplacer les forces réelles dynamique engendrées par le séisme, par un système de forces statiques fictives dont les effets seront identiques et considérées appliquées séparément suivant les deux directions définies par les axes principaux de la structure.

Pour appliquer la méthode statique il faut que la méthode présente une régularité en plan qui est le cas pour ma structure

IV-2-1- Calcul de poids de la structure:

W est égal à la somme des poids W_i des quatre niveaux.

$$W = \sum W_i \text{ Avec : } W_i = G + \beta Q \quad \text{formule (4.5)}$$

G : poids du aux charges permanentes est à celles des équipements fixes Solidaires de la structure.

Q : charge d'exploitation.

β : Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation.

Dans notre cas : $\beta = 0.30$ (tab.4.5 page30 du RPA)

Donc à chaque niveau : $W_i = W_{Gi} + 0.3 W_{Qi}$.

$$\bullet W_1 = W_{poteaux} + W_{poutres} + W_{solives} + W_{palées} + W_{cloison} + W_{maçonnerie} + \beta W_Q$$

$$\bullet W_2 = W_{poteaux} + W_{poutres} + W_{solives} + W_{palées} + W_{cloison} + W_{maçonnerie} + \beta W_Q$$

$$\bullet W_3 = W_{poteaux} + W_{poutres} + W_{solives} + W_{palées} + W_{cloison} + W_{maçonnerie} + W_{forme de pente} + W_{étanchéité+protection gravillons} + \beta W_Q$$

$$\bullet W_1 = 208265.3 + (0.3 \times 500 \times 27 \times 16) = 273065.3 \text{ Kg}$$

$$\bullet W_2 = 208265.3 + (0.3 \times 500 \times 27 \times 16) = 273065.3 \text{ Kg}$$

$$\bullet W_3 = 213400 + (0.3 \times 500 \times 27 \times 16) = 278200 \text{ Kg}$$

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3$$

$$W_T = 273065.3 + 273065.3 + 278200 = 824330.6 \text{ Kg}$$

$$\bullet W_T = 824330.6 \text{ Kg}$$

IV-2-2-Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale **V** appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales et orthogonales selon la formule :

$$V = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W$$

IV-2-2-1-coefficient d'accélération de zone (A) :

A: Coefficient d'accélération de zone, il dépend du groupe d'usage et de la zone de sismicité.

Donné par le **tableau (4.1)** du **RPA** en fonction de la zone sismique et le groupe du bâtiment.

Dans notre cas :

$$\left. \begin{array}{l} - \text{Groupe 2} \\ - \text{Zone III} \end{array} \right\} A = 0.25 \text{ (Tableau 4.1 RPA99 version 2003)}$$

IV-2-2-2-Facteur d'amplification dynamique moyen D :

Fonction de la catégorie de site du facteur d'amortissement (**η**) et de la période fondamentale de la structure (**T**).

D : facteur d'amplification dynamique moyen

$$D = \begin{cases} 2,5 \eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5 \eta (T_2 / T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3s \\ 2,5 \eta (T_2 / T)^{2/3} (3 / T)^{5/3} & T \geq 3s. \end{cases} \quad \text{formule (4.2)}$$

ξ (%) : est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Nous avons un portique en acier avec remplissage dense

D'après le **(Tableau 4.2 RPA99 version 2003)** $\Rightarrow \xi = 5\%$

$-\eta$: facteur de correction d'amortissement donnée par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2+\xi)} \geq 0.7 \quad \text{formule(4.3)}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0.7 \rightarrow \eta = \sqrt{\frac{7}{2+0.05}} = 1.84 > 0.7$$

• Calcul de la période :

a) -par la formule empirique :

$$T = C_t \cdot h_n^{3/4}$$

h_n : La hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

$$h_n = 12\text{m.}$$

C_t : coefficient fonction de système de contreventement, et du type de remplissage donné par le (Tableau 4.6 RPA99 version 2003)

$$C_T = 0.085 \quad T = 0.085 \times 12^{\frac{3}{4}} = 0.54 \quad \mathbf{T=0.54s}$$

b) -Calcul de T_2 :

- T_2 : période caractéristique associée à la catégorie du site.

Site ferme $\longrightarrow T_2=0,4 \text{ s} \quad T_1 = 0.15$ (Tableau 4.7 RPA99 version 2003)

$D_x = D_y$ donc on va faire un seul calcul pour V , mais dans les deux directions (sens longitudinal et sens transversal).

$$T_2 < T < 3\text{s} \rightarrow D = 2.5 \times \eta (T_2/T)^{2/3} = 3.76$$

$$\mathbf{D = 3.76}$$

IV-2-2-3-Facteur de qualité Q :

$$Q = 1 + \sum p_q$$

P_q : Pénalité à retenir suivant les critères donnés par le **tableau 4.4 RPA99**

<i>Critère q</i>	P_q	
	<i>Observé</i>	<i>Non observé</i>
<i>1. Conditions minimales sur les files de contreventement</i>	0	0.05
<i>2. Redondance en plan</i>	0	0.05
<i>3. Régularité en plan</i>	0	0.05
<i>4. Régularité en élévation</i>	0	0.05
<i>5. Contrôle de la qualité des matériaux</i>	0	0.05
<i>6. Contrôle de la qualité de l'exécution</i>	0	0.1

$$Q = 1.15$$

IV-2-2-4-Coefficient de comportement R :

Donné au **tableau 4.3 RPA99**.

$$R_X = R_Y = 4$$

$$R = 4$$

➤ **On calcule la force sismique selon deux directions X et Y :**

$$V_x = \frac{0.25 \times 3.76 \times 1.15}{4} \times 824330.6 = 222775.3447 \text{ kg}$$

$$V_y = \frac{0.25 \times 3.76 \times 1.15}{4} \times 824330.6 = 222775.3447 \text{ kg}$$

IV-2-3-Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :

$$F_i = \frac{(V - F_t) \times W_i \times h_i}{\sum_{j=1}^n W_j \times h_j} \quad n = 1, 2, 3$$

F_t : est une force concentrée au sommet de la structure permettant de tenir compte de l'influence des modes de vibration, elle est déterminée par la formule suivante :

$$F_t = 0.07 \times T \times V$$

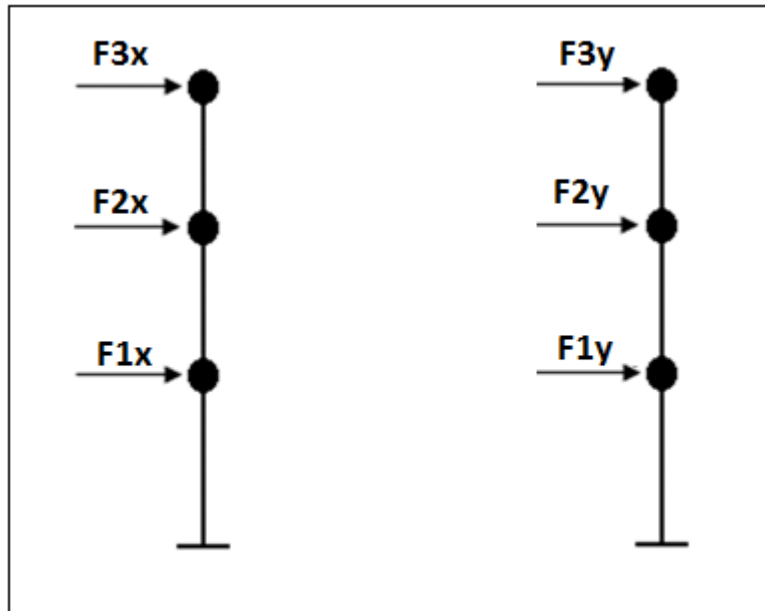
Avec :

$$\begin{cases} V = F_t + \sum F_i \\ F_t = 0.07 T.V & \text{si } T > 0.7 S \\ F_t = 0 & \text{si } T < 0.7 S \end{cases}$$

T : Période fondamentale de la structure

V : Effort tranchant total

$T = 0.54 < 0.7$ donc $F_t = 0$ (voir article 4.2.5 du RPA 99/version 2003)



$$F_{1x} = F_{1y} = \frac{222775.3447 \times 273065.3 \times 4}{273065.3 \times 4 + 273065.3 \times 8 + 278200 \times 12} = 36783.388Kg$$

$$F_{2x} = F_{2y} = \frac{222775.3447 \times 273065.3 \times 8}{273065.3 \times 4 + 273065.3 \times 8 + 278200 \times 12} = 73566.776Kg$$

$$F_{3x} = F_{3y} = \frac{222775.3447 \times 278200 \times 12}{273065.3 \times 4 + 273065.3 \times 8 + 278200 \times 12} = 112425Kg$$

IV-2-4-Excentricités :

a)-Centre de gravité :

$$Xg = \frac{\sum x_i \cdot Wi}{\sum Wi} \quad ; \quad Yg = \frac{\sum y_i \cdot Wi}{\sum Wi}$$

W1 :

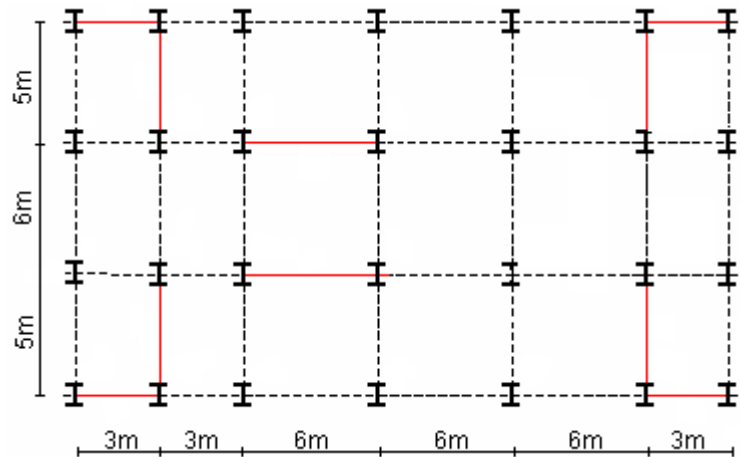
$$\begin{cases} Xg = 16/2 = 8m \\ Yg = 27/2 = 13.5m \end{cases}$$

W2 :

$$\begin{cases} Xg = 16/2 = 8m \\ Yg = 27/2 = 13.5m \end{cases}$$

W3 :

$$\begin{cases} Xg = 16/2 = 8m \\ Yg = 27/2 = 13.5m \end{cases}$$



b)-Centre de torsion :

$$X_t = \frac{\sum x_i \cdot k_i}{\sum k_i} \quad ; \quad Y_t = \frac{\sum y_i \cdot k_i}{\sum k_i}$$

$$\text{Pour } W_1 \text{ } W_2 \text{ et } W_3 \left\{ \begin{array}{l} X_t = 8m. \\ Y_t = 12 m \end{array} \right.$$

c)-Excentricité de calcul :

$$\left\{ \begin{array}{l} e_x = X_g - X_t \\ e_y = Y_g - Y_t \end{array} \right.$$

	$e_x (m)$	$e_y (m)$
W_1	$8-8=0$	$13.5-12 = 1.5$
W_2	$8-8=0$	$13.5-12 = 1.5$
W_3	$8-8=0$	$13.5-12 = 1.5$

» Le RPA impose une excentricité accidentelle égale à 5% de la plus grande dimension de la structure.

$$e_{RPA} = 5\% L_{max} \quad \text{donc :}$$

$$e_{XRPA} = 0.05 \times 16 = 0,8 \text{ m}$$

$$e_{YRPA} = 0.05 \times 27 = 1,35 \text{ m}$$

L'excentricité à adopter est : $e = \max (e_{calcul} , e_{RPA})$

$$\bullet \text{ } W_1 \text{ } W_2 \text{ et } W_3 : \left\{ \begin{array}{l} e_x = 0.8 \text{ m} \\ e_y = 1.5 \text{ m} \end{array} \right.$$

IV-2-5-Distribution des forces :

• L'effort du au séisme appliqué dans la sens transversal offert aux portiques est :

$$F_x = \frac{F_{xi}}{n} + \frac{M_x \times d_{\max}}{\sum d_i^2} \quad \text{Avec } n = 7$$

• L'effort du au séisme appliqué dans la sens longitudinal offert aux palées est :

$$F_y = \frac{F_{yi}}{n} + \frac{M_y \times d_{\max}}{\sum d_i^2} \quad \text{Avec } n = 6$$

• **W₁ :**

Portique :

$$M_x = F_x \times e_y = 36783.388 \times 1.5 = 55175.1 \text{ daN.m}$$

$$d_{\max} = 15 \text{ m}$$

$$\sum d_i^2 = 6^2 + 9^2 + 12^2 + 6^2 + 12^2 + 15^2 = 666 \text{ m}^2$$

$$F_x = \frac{36783.388}{7} + \frac{55175.1 \times 15}{666} = 6497.452 \text{ daN} = 6.497 \text{ KN}$$

Palée :

$$M_y = F_y \times e_x = 36783.388 \times 0.8 = 29426.71 \text{ daN.m}$$

$$d_{\max} = 8 \text{ m}$$

$$\sum d_i^2 = 8^2 + 8^2 + 3^2 + 3^2 + 8^2 + 8^2 = 274 \text{ m}^2$$

$$F_y = \frac{36783.388}{6} + \frac{29426.71 \times 8}{274} = 6989.74 \text{ daN} = 6.98974 \text{ KN}$$

• **W₂ :**

Portique :

$$M_x = F_x \times e_y = 73566.776 \times 1.5 = 110350.164 \text{ daN.m}$$

$$d_{\max} = 15 \text{ m}$$

$$\sum d_i^2 = 6^2 + 9^2 + 12^2 + 6^2 + 12^2 + 15^2 = 666 \text{ m}^2$$

$$F_x = \frac{73566.776}{7} + \frac{110350.164 \times 15}{666} = 12994.899 \text{ daN} = 12.9948 \text{ KN}$$

Palée :

$$My = Fy \times ex = 73566.776 \times 0.8 = 58853.42 daN.m$$

$$d_{\max} = 8m$$

$$\sum di^2 = 8^2 + 8^2 + 3^2 + 3^2 + 8^2 + 8^2 = 274m^2$$

$$Fy = \frac{73566.776}{6} + \frac{58853.42 \times 8}{274} = 13979.35 daN = 13.979 KN$$

• W₃:**Portique :**

$$Mx = Fx \times e_y = 112425 \times 1.5 = 168637.5 daN.m$$

$$d_{\max} = 15m$$

$$\sum di^2 = 6^2 + 9^2 + 12^2 + 6^2 + 12^2 + 15^2 = 666m^2$$

$$Fx = \frac{112425}{7} + \frac{168637.5 \times 15}{666} = 198586 daN = 19.858 KN$$

Palée :

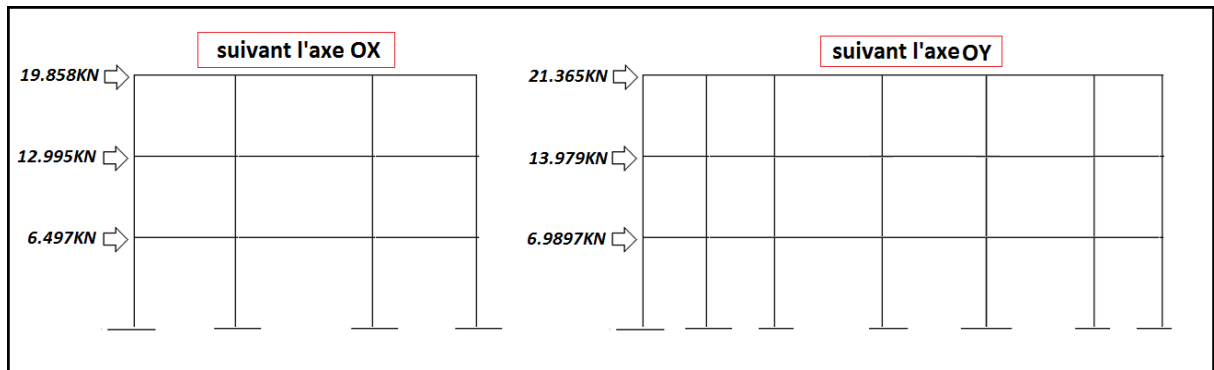
$$My = Fy \times ex = 112425 \times 0.8 = 89940 daN.m$$

$$d_{\max} = 8m$$

$$\sum di^2 = 8^2 + 8^2 + 3^2 + 3^2 + 8^2 + 8^2 = 274m^2$$

$$Fy = \frac{112425}{6} + \frac{89940 \times 8}{274} = 21363.5 daN = 21.365 KN$$

➤ Distribution de la force sismique sur les étages





Chapitre V



Etude des portiques

V-Etude et vérification des poteaux et des traverses :

V-1-Origine des phénomènes d'instabilité :

Le calcul d'une structure exige que, pour toutes les combinaisons d'actions possibles, définies réglementairement, la stabilité statique soit assurée,

- tant globalement au niveau de la structure
- qu'individuellement au niveau de chaque élément.

Les actions développent diverses sollicitations, qui génèrent les contraintes au sein du matériau et des déformations des éléments.

Il s'agit donc, afin de garantir le degré de sécurité souhaité ou souhaitable, de vérifier que les contraintes et les déformations restent en deçà des limites admissibles.

Deux cas de figures se présentent :

- **Le cas des petites déformations :**

On admet que les sollicitations ne varient pas sous l'effet des déformations, ce qui conduit simplement à vérifier que les contraintes restent inférieures à la contrainte de ruine.

- **Le cas des grandes déformations :**

Dans ce cas les déformations modifient considérablement les sollicitations et affectent les zones comprimées des pièces, qui peuvent présenter 3 types de comportement, dénommés phénomènes d'instabilité, qui sont :

- **Le voilement :**

Dans une plaque soumise à une compression uniforme sur deux cotés opposés, parallèlement à son plan moyen, on observe que la plaque, au-delà d'une certaine charge, se déforme transversalement.

Il s'agit du phénomène de voilement, qui se manifeste par des ondulations, qui ne sont pas à rattacher au phénomène de flambement pour des pièces à une dimension, à la différence près que le voilement se développe plus progressivement, les grandes déformations n'apparaissant pas brutalement et ne conduisant généralement pas à la ruine de la pièce.

Le phénomène de voilement peut également apparaître sous un effort de cisaillement simple. Il est dans ce cas, attaché à la diagonale comprimée. Les âmes des poutres utilisées en construction métallique sont généralement minces et donc susceptibles de se voiler sous des efforts de compression ou de cisaillement excessifs.

Pour éviter le voilement des âmes des poutres, deux moyens sont possibles :

- soit augmenter l'épaisseur de l'âme
- soit disposer des raidisseurs d'âme, judicieusement positionnés.

➤ Le flambement

Lors d'un chargement en compression simple d'une barre élancée, initialement rectiligne, en position verticale et bi articulée aux extrémités, soumise à un effort N que l'on augmente progressivement, on observe que quand N atteint une certaine valeur, la barre se dérobe latéralement, et apparaît alors une grande déformation, cette déformation a les traits caractéristiques de toutes les instabilités de forme. Dans le cas des barres comprimées, cette instabilité prend le nom de flambement.

➤ Déversement :

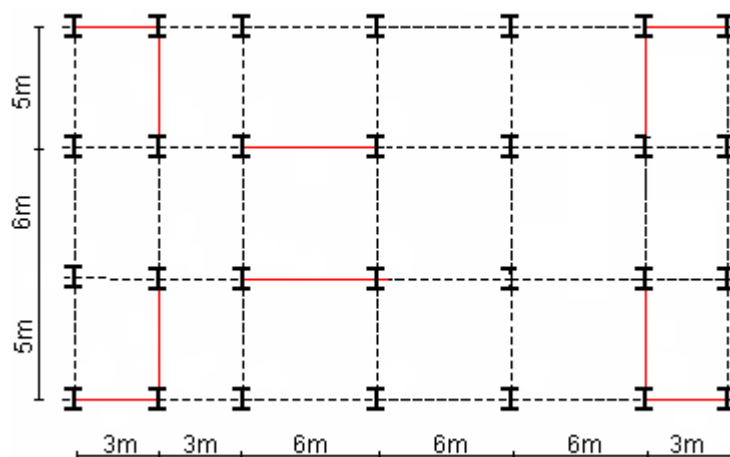
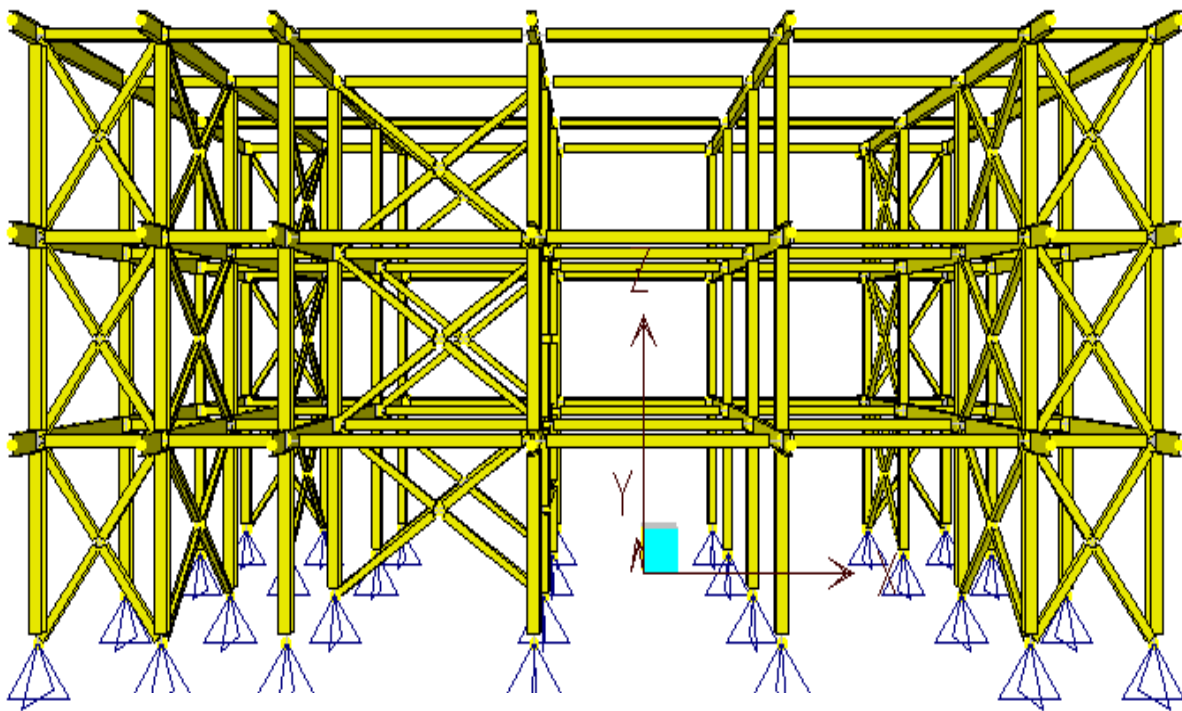
Ce phénomène d'instabilité élastique se produit, d'une façon générale, lorsqu'une poutre fléchie présente une faible inertie transversale et à la torsion. La partie supérieure de la poutre, comprimée, flambe latéralement et il existe une valeur critique du moment de flexion (selon le plan le plus grande raideur) comme il existe un effort normal critique provoquant le flambement pour une barre comprimée, pour lequel la poutre fléchit dans le plan de sa plus faible raideur et entre en torsion.

V-2-Introduction :

Ce chapitre présente l'analyse des portiques assurant la stabilité transversale de l'ouvrage.

*Les portiques sont formés de plusieurs poteaux et poutres rigidement liés, pour leur vérification on aura besoin essentiellement de M_{33sd} et N_{sd} qui sont respectivement le moment fléchissant max et l'effort normal max dans le poteau. Les calculs sont effectués à l'aide du **SAP2000** et la vérification par l'**EURO CODE 3**.*

- *Pour la vérification du portique, on va prendre en considération l'effet de la rigidité et les différentes chargement qui sollicitent de manière variable a chaque portique, donc avec ces raison et d'autre, on va faire l'étude de portique qui contient le poteau et la poutre la plus sollicitée*



➤ Vérification des Poteau en HEB300 :

Effort dans le poteau : D'après les résultats obtenus par l'analyse effectuée par le SAP2000

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	N	Vz	My
Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf-m
13	0	ELU	Combination		-134.20	0.83	2.28
13	4	ELU	Combination		-134.83	0.83	-1.04
13	0	ELS	Combination		-95.30	0.59	1.62
13	4	ELS	Combination		-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEX1	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEX1	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEX1	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEX1	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEX2	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEX2	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEX2	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEX2	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEY1	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEY1	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEY1	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEY1	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEY2	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEY2	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQEY2	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQEY2	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EX1	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EX1	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EX1	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EX1	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EX2	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EX2	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EX2	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EX2	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EY1	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EY1	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EY1	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EY1	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EY2	Combination	Max	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EY2	Combination	Max	-95.76	0.59	-0.74
13	0	GQ12EY2	Combination	Min	-95.30	0.59	1.62
13	4	GQ12EY2	Combination	Min	-95.76	0.59	-0.74
13	0	08GEX1	Combination	Max	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEX1	Combination	Max	-47.02	0.27	-0.34
13	0	08GEX1	Combination	Min	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEX1	Combination	Min	-47.02	0.27	-0.34
13	0	08GEX2	Combination	Max	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEX2	Combination	Max	-47.02	0.27	-0.34
13	0	08GEX2	Combination	Min	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEX2	Combination	Min	-47.02	0.27	-0.34
13	0	08GEY1	Combination	Max	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEY1	Combination	Max	-47.02	0.27	-0.34
13	0	08GEY1	Combination	Min	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEY1	Combination	Min	-47.02	0.27	-0.34
13	0	08GEY2	Combination	Max	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEY2	Combination	Max	-47.02	0.27	-0.34
13	0	08GEY2	Combination	Min	-46.65	0.27	0.74
13	4	08GEY2	Combination	Min	-47.02	0.27	-0.34

Effort tranchant :

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 47,45 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl_{RD}} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = 68,45 \text{ t}$$

$$V_{sd} = 0,83 \text{ t} < \frac{V_{pl_{RD}}}{2} = 32,24 \text{ t}$$

L'effort tranchant est vérifié et n'a pas d'influence sur la résistance au moment fléchissant.

Moment fléchissant :

$$N_{sd} = 134,22 \text{ t}$$

$$M_{ysd} = 2,28 \text{ t}$$

La section est de classe 1, on doit vérifier selon EC3 que :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{K_{LT} \cdot M_{ysd}}{\chi_{LT} \cdot W_{ely} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} < 1 \text{ Avec déversement}$$

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{K_y \cdot M_{ysd}}{W_{ely} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} < 1 \text{ Sans déversement}$$

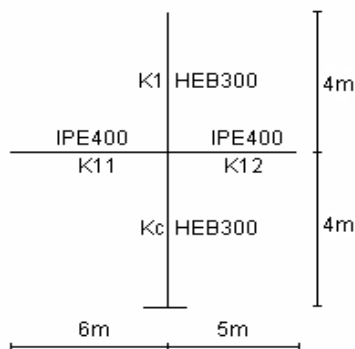
➤ détermination des longueurs de flambement :**• Plan de forte inertie du poteau (YZ) :****Structure à nœuds fixes dans le plan YOZ :**

Figure 1: facteur de distribution (plans YOZ)

$$K_i = I_i / h_i$$

$$K_c = K_1 = I_{y_{HEB300}} / 4m = 62,925$$

$$K_{11} = 38,55$$

$$K_{12} = 46,26$$

$$\eta_1 = K_c + K_1 / (K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}) = 0,597$$

$$\eta_2 = 0 \quad \text{car le poteau est encastré à la base}$$

$$L_f/h_p = 0,5 + 0,14 (\eta_1 + \eta_2) + 0,055 (\eta_1 + \eta_2)^2 = 0,6 \rightarrow L_{fy} = 240 \text{ cm}$$

➤ Plan de faible inertie du poteau (XZ) :

Structure à nœuds fixes dans le plan XOZ :

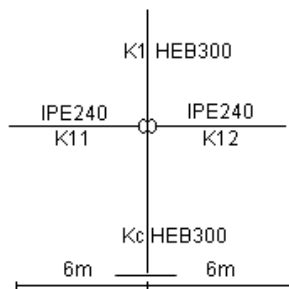


Figure 2 : facteur de distribution (plans XOZ).

$$K_c = K_1 = 8563 / 400 = 21,407$$

$$K_{11} = K_{12} = 3892 / 600 = 6,48$$

$$\eta_1 = K_c + K_1 / (K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}) = 0,76$$

$$\eta_2 = 0 \quad \text{car le poteau est encastré à la base}$$

$$L_f/h_p = 0,5 + 0,14 (\eta_1 + \eta_2) + 0,055 (\eta_1 + \eta_2)^2 = 0,63 \rightarrow L_{fz} = 252 \text{ cm}$$

➤ Recherche du plan de flambement

➤ Elancement :

Section de classe 1: $\beta_A=1$; Acier Fe 430 : $\varepsilon = 0,92$; $\beta_W=1$

$$\lambda_y = l_{fy} / i_y = 240 / 13 = 18,46 \rightarrow \bar{\lambda}_y = \sqrt{\beta_A \cdot \lambda_y^2 / 93,9 \cdot \varepsilon} = 0,307 \rightarrow \text{courbe b} \rightarrow$$

$$\chi_y = 0,961$$

$$\lambda_z = l_{fz} / i_z = 252 / 7,58 = 33,24 \rightarrow \bar{\lambda}_z = \sqrt{\beta_A \cdot \lambda_z^2 / 93,9 \cdot \varepsilon} = 0,556 \rightarrow \text{courbe c} \rightarrow$$

$$\chi_z = 0,810$$

$t_f=19\text{mm}$; $i_z=7,58\text{ cm}$; $L=378\text{cm}$; $h=300\text{mm}$; $C_1=1,88$

$$\lambda_{lt} = \frac{L / i_z}{\sqrt{C_1} \times \left\{ 1 + \frac{1}{20} \left(\frac{L}{i_z} \cdot \frac{t_f}{h} \right)^2 \right\}^{0,25}} = 34,445$$

$$\bar{\lambda}_{lt} = \frac{\lambda_{lt}}{93,9 \cdot \varepsilon} \cdot \sqrt{\beta_W} = \frac{34,445}{93,9 \cdot 0,92} \cdot \sqrt{1} = 0,398$$

$\bar{\lambda}_{lt} = 0,398 < 0,4$, il n'est pas nécessaire de tenir compte du déversement.

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \left(\frac{w_{ply} - w_{ely}}{w_{ely}} \right) ; \beta_{My} = 1,1 \rightarrow \mu_y = -0,43$$

$$K_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} \rightarrow K_y = 1 - \frac{-0,43 \times 134220}{0,961 \times 149,1 \times 2750} = 1,14$$

$$\frac{134,22 \cdot 10^3}{0,81 \times 149,1 \times \frac{2750}{1,1}} + \frac{1 \times 2,28 \times 10^5}{1869 \times \frac{2750}{1,1}} = 0,49 < 1$$

Les poteaux en HEB300 sont vérifiés.

➤ **Vérification des Poutre IPE400 :**

Efforts dans la poutre : D'après les résultats obtenus par l'analyse effectuée par le SAP2000

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	Vz	My
Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf-m
345	0	ELU	Combination		30.24	29.40
345	6	ELU	Combination		-30.24	29.40
345	0	ELS	Combination		20.90	20.32
345	6	ELS	Combination		-20.90	20.32
345	0	GQEX1	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQEX1	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQEX1	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQEX1	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	GQEX2	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQEX2	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQEX2	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQEX2	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	GQEY1	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQEY1	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQEY1	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQEY1	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	GQEY2	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQEY2	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQEY2	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQEY2	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	GQ12EX1	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQ12EX1	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQ12EX1	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQ12EX1	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	GQ12EX2	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQ12EX2	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQ12EX2	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQ12EX2	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	GQ12EY1	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQ12EY1	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQ12EY1	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQ12EY1	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	GQ12EY2	Combination	Max	20.90	20.32
345	6	GQ12EY2	Combination	Max	-20.90	20.32
345	0	GQ12EY2	Combination	Min	20.90	20.32
345	6	GQ12EY2	Combination	Min	-20.90	20.32
345	0	08GEX1	Combination	Max	5.92	5.75
345	6	08GEX1	Combination	Max	-5.92	5.75
345	0	08GEX1	Combination	Min	5.92	5.75
345	6	08GEX1	Combination	Min	-5.92	5.75
345	0	08GEX2	Combination	Max	5.92	5.75
345	6	08GEX2	Combination	Max	-5.92	5.75
345	0	08GEX2	Combination	Min	5.92	5.75
345	6	08GEX2	Combination	Min	-5.92	5.75
345	0	08GEY1	Combination	Max	5.92	5.75
345	6	08GEY1	Combination	Max	-5.92	5.75
345	0	08GEY1	Combination	Min	5.92	5.75
345	6	08GEY1	Combination	Min	-5.92	5.75
345	0	08GEY2	Combination	Max	5.92	5.75
345	6	08GEY2	Combination	Max	-5.92	5.75
345	0	08GEY2	Combination	Min	5.92	5.75
345	6	08GEY2	Combination	Min	-5.92	5.75

Effort tranchant :

$$V_{sd} = 30.24 \text{ t}$$

$$A_v = A - 2.b.t_f + (t_w + 2.r).t_f = 42,73 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl_{RD}} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{42,73 \cdot 2750}{\sqrt{3} \cdot 1,1} \cdot 10^{-3} = 61,67 \text{ t}$$

$$0,5V_{pl_{RD}} = 30,83 \text{ t} > V_{sd} = 30.24 \text{ t}$$

L'effort tranchant est vérifié et n'a pas d'influence sur la résistance au moment fléchissant.

Moment fléchissant :

$$M_{pl} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1307 \cdot 2750 \cdot 10^{-5} / 1,1 = 32.67 \text{ t.m} > M_{sd} = 29.4 \text{ t.m}$$

Les poutres en IPE400 sont vérifiées.

➤ **Flèches et déplacements :**

La plus grande flèche est sous l'ELS :

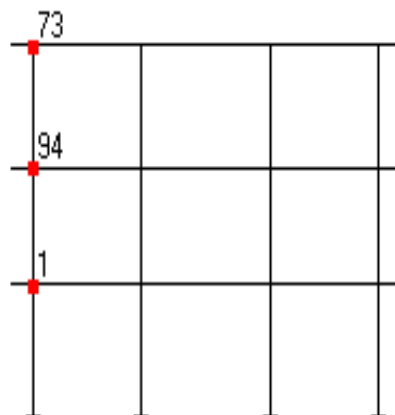
$$\text{Poutre : } F_{IPE400} = 0,7057 \text{ cm} < L / 250 = 2,4 \text{ cm}$$

Déplacements relatifs d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents d'après la formule citée dans l'article 4.43 du RPA

$$D_{73} - D_{94} = (1,5275 - 1,0546) \cdot 4 = 1,89 \text{ cm} < L / 100 = 400 / 100 = 4 \text{ cm}$$

$$D_{94} - D_1 = (1,0546 - 0,4993) \cdot 4 = 2,22 \text{ cm} < L / 100 = 400 / 100 = 4 \text{ cm}$$

$$D_1 - \text{sol} = 0,4993 \cdot 4 = 1,99 \text{ cm} < L / 100 = 400 / 100 = 4 \text{ cm}$$





Chapitre VI



Etude des palées de stabilité

VI-Calcul et justification des palées de stabilités longitudinales :

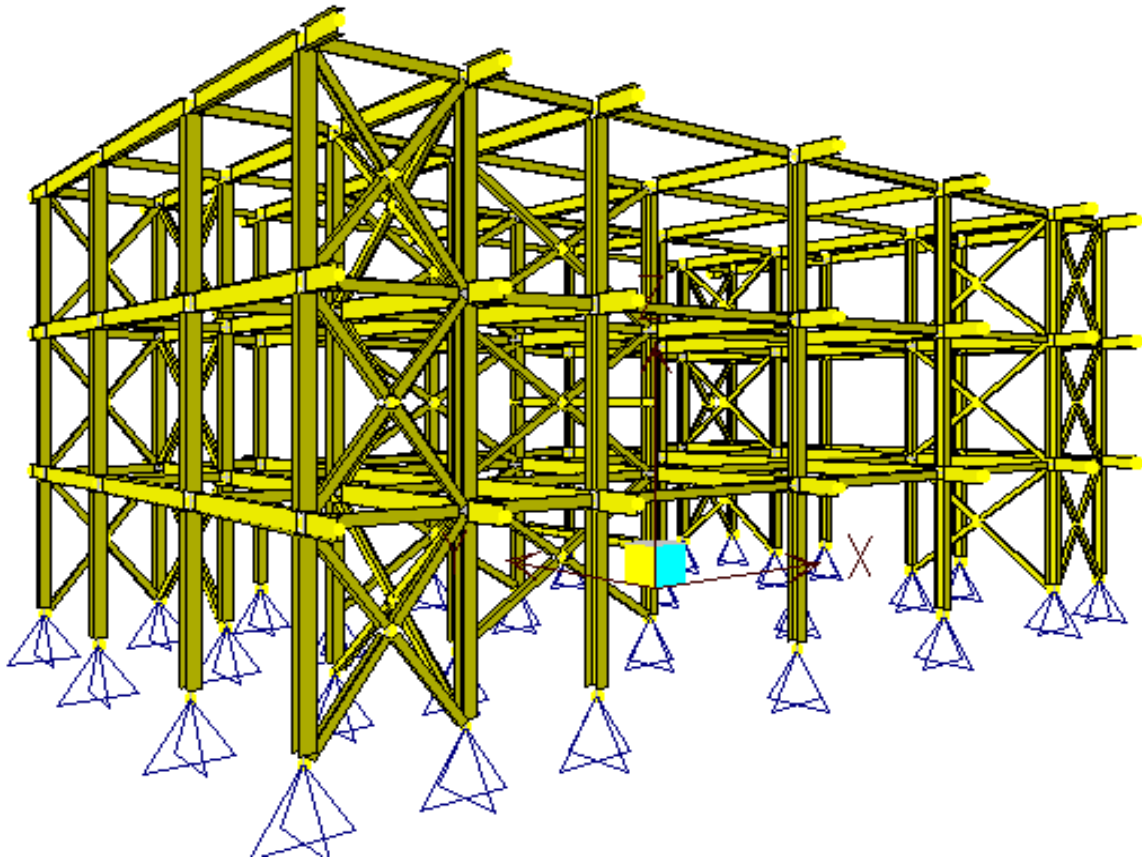
VI-1-Introduction :

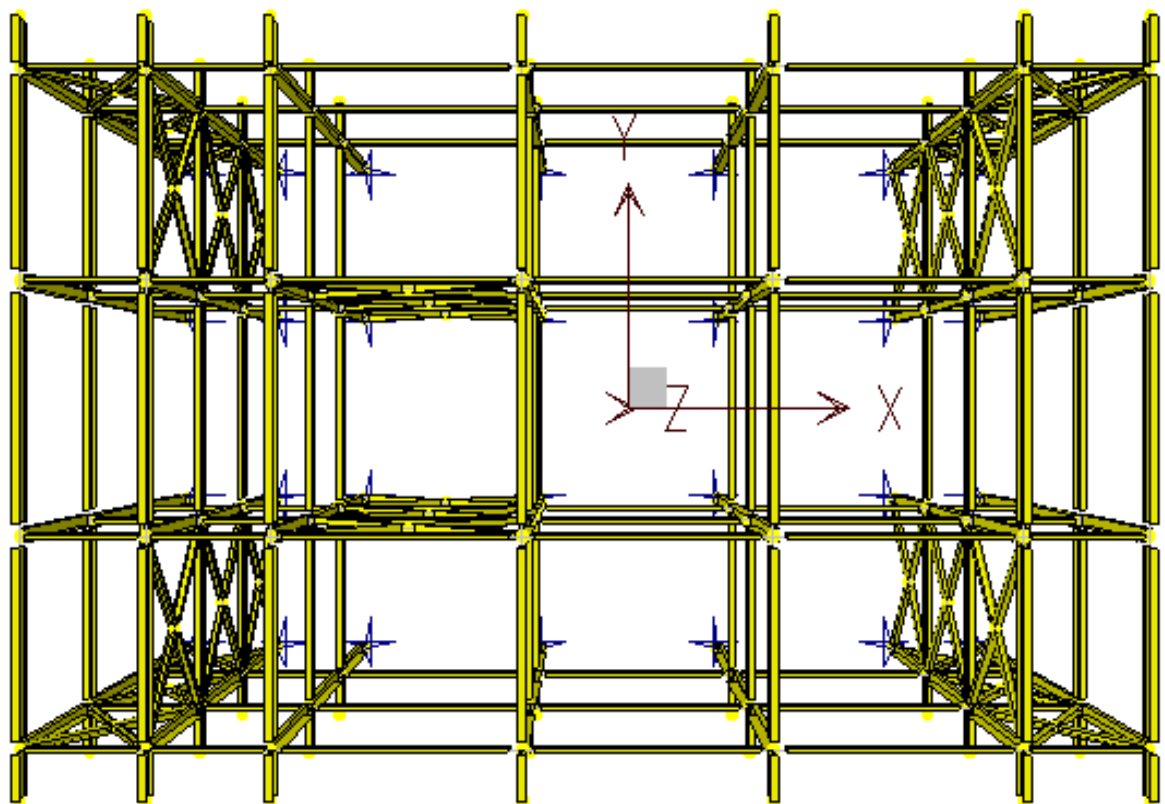
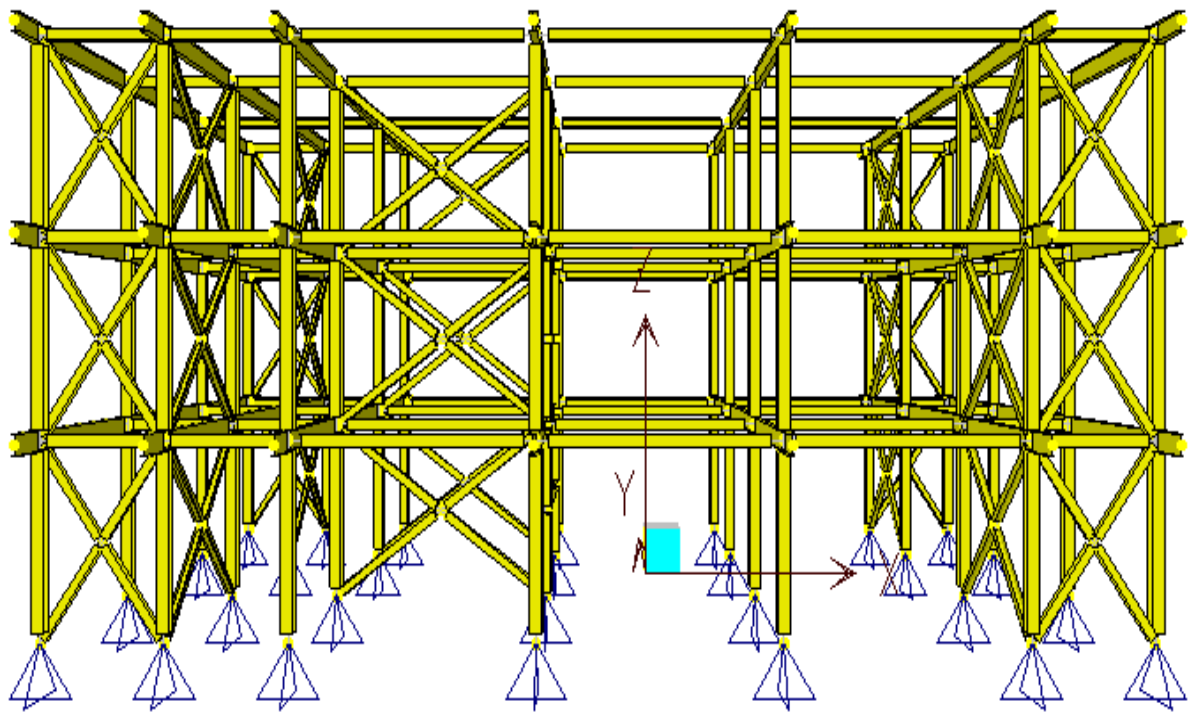
-Les stabilités ont pour fonctions principales de reprendre et transmettre aux fondations les efforts dus aux forces horizontales sollicitant un ouvrage.

L'importance des stabilités est très grande, elles représentent le facteur principal de la sécurité d'un ouvrage.

-Les palées de stabilité de notre bâtiment sont des systèmes de triangulations en Croix (X).

Quelques Vues :





VI-2-Stabilité longitudinale en HEA180 : A partir de l'analyse effectuée par le **SAP2000**, on tire les résultats suivants :

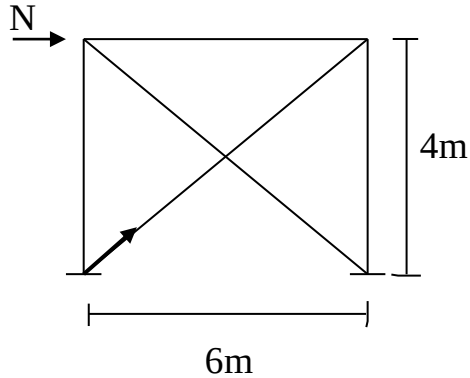
TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	N
Text	m	Text	Text	Text	Tonf
448	0	ELU	Combination		-12.87
448	1.600781059	ELU	Combination		-12.82
448	3.201562119	ELU	Combination		-12.77
448	0	ELS	Combination		-8.97
448	1.600781059	ELS	Combination		-8.94
448	3.201562119	ELS	Combination		-8.90
448	0	GQEX1	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQEX1	Combination	Max	-8.94
448	3.201562119	GQEX1	Combination	Max	-8.90
448	0	GQEX1	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQEX1	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQEX1	Combination	Min	-8.90
448	0	GQEX2	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQEX2	Combination	Max	-8.94
448	3.201562119	GQEX2	Combination	Max	-8.90
448	0	GQEX2	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQEX2	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQEX2	Combination	Min	-8.90
448	0	GQEY1	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQEY1	Combination	Max	-8.94
448	3.201562119	GQEY1	Combination	Max	-8.90
448	0	GQEY1	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQEY1	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQEY1	Combination	Min	-8.90
448	0	GQEY2	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQEY2	Combination	Max	-8.94
448	3.201562119	GQEY2	Combination	Max	-8.90
448	0	GQEY2	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQEY2	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQEY2	Combination	Min	-8.90
448	0	GQ12EX1	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQ12EX1	Combination	Max	-8.94
448	3.201562119	GQ12EX1	Combination	Max	-8.90
448	0	GQ12EX1	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQ12EX1	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQ12EX1	Combination	Min	-8.90
448	0	GQ12EX2	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQ12EX2	Combination	Max	-8.94

448	3.201562119	GQ12EX2	Combination	Max	-8.90
448	0	GQ12EX2	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQ12EX2	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQ12EX2	Combination	Min	-8.90
448	0	GQ12EY1	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQ12EY1	Combination	Max	-8.94
448	3.201562119	GQ12EY1	Combination	Max	-8.90
448	0	GQ12EY1	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQ12EY1	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQ12EY1	Combination	Min	-8.90
448	0	GQ12EY2	Combination	Max	-8.97
448	1.600781059	GQ12EY2	Combination	Max	-8.94
448	3.201562119	GQ12EY2	Combination	Max	-8.90
448	0	GQ12EY2	Combination	Min	-8.97
448	1.600781059	GQ12EY2	Combination	Min	-8.94
448	3.201562119	GQ12EY2	Combination	Min	-8.90
448	0	08GEX1	Combination	Max	-3.17
448	1.600781059	08GEX1	Combination	Max	-3.14
448	3.201562119	08GEX1	Combination	Max	-3.11
448	0	08GEX1	Combination	Min	-3.17
448	1.600781059	08GEX1	Combination	Min	-3.14
448	3.201562119	08GEX1	Combination	Min	-3.11
448	0	08GEX2	Combination	Max	-3.17
448	1.600781059	08GEX2	Combination	Max	-3.14
448	3.201562119	08GEX2	Combination	Max	-3.11
448	0	08GEX2	Combination	Min	-3.17
448	1.600781059	08GEX2	Combination	Min	-3.14
448	3.201562119	08GEX2	Combination	Min	-3.11
448	0	08GEY1	Combination	Max	-3.17
448	1.600781059	08GEY1	Combination	Max	-3.14
448	3.201562119	08GEY1	Combination	Max	-3.11
448	0	08GEY1	Combination	Min	-3.17
448	1.600781059	08GEY1	Combination	Min	-3.14
448	3.201562119	08GEY1	Combination	Min	-3.11
448	0	08GEY2	Combination	Max	-3.17
448	1.600781059	08GEY2	Combination	Max	-3.14
448	3.201562119	08GEY2	Combination	Max	-3.11
448	0	08GEY2	Combination	Min	-3.17
448	1.600781059	08GEY2	Combination	Min	-3.14
448	3.201562119	08GEY2	Combination	Min	-3.11

A partir de l'analyse effectuée par le **SAP2000**, on tire les résultats suivants :

$$N_{csd} = 12.87 \text{ t}$$

On doit vérifier que : $N_{csd} < N_{brd} = A \cdot \beta_A \cdot f_y / \gamma_{M1}$



$$N_{brd} = 45.3 \times \frac{2750}{1.1} \times 10^{-3} = 113.25 \text{ t} > 12.87 \text{ t} \quad \text{Ok}$$

Les diagonales en HEA180 sont vérifiées

VI-3-Calcul de l'attache diagonale HEA180 – poteau :

2x4 BH $\Phi 22$ classe 8.8 ; gousset $t = 10 \text{ mm}$

$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$; $A_s = 303 \text{ mm}^2$; $\gamma_{Mb} = 1.25$

$F_{vrd} = 0.6 f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb} = 11.63 \text{ t}$

$F_{vsd} = N_{sd} / 8 = 12.87 / 8 = 1.6 \text{ t} < F_{vrd} = 11.63 \text{ t} \quad \text{Ok}$

VI-3-1-Vérification de la pression diamétrale :

$F_{brd} = 2.5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{Mb}$

$d = 22 \text{ mm}$; $t = 10 \text{ mm}$; $\gamma_{Mb} = 1.25$; $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$

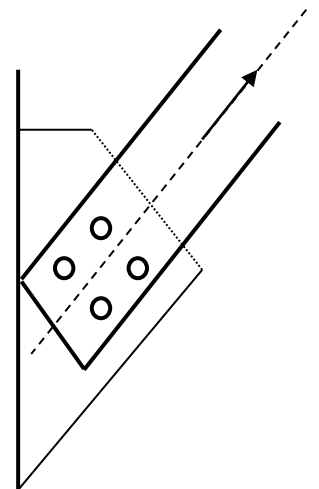
$\alpha = \min (e_1/3d_0 ; p_1/3d_0 - 1/4 ; f_{ub}/f_u ; 1) = 0.55$

Avec $e_1 = 40 \text{ mm}$; $P_1 = 75 \text{ mm}$

$F_{brd} = 2.5 \times 0.55 \times 430 \times 22 \times 10 / 1.1 \times 10^{-4}$

$F_{brd} = 11.82 \text{ t} > F_{vsd} = 1.6 \text{ t}$

Donc la pression diamétrale est vérifiée.



VI-4-Vérification du gousset à la traction :

$$Nsd_{gousset} = 12.87 / 2 = 6.43 \text{ t}$$

$$A_{nette} = t.(b - 2d_0) = 10.(180 - 2.24) = 1320. \text{ mm}^2$$

$$Nu = 0,9. f_u . A_{nette} / \gamma_{M2} \quad \text{avec } \gamma_{M2} = 1,25$$

$$Nu = 0,9.430.1320 / 1,1. 10^{-4} = 46.44 \text{ t}$$

$$Nu = 46.44 \text{ t} > Nsd_{gousset} = 6.43 \text{ t}$$

La section du gousset est suffisante.



Chapitre VII



Calcul des Assemblages

VII-Calcul des Assemblages :

VII-1-Introduction :

La conception et le calcul des assemblages revêtent en construction métallique , une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction , Les ossatures ne présentent généralement pas de redondances importantes et les assemblages constituent donc de point de passage obligé pour les sollicitations régnant dans les différents composants structurels ; En cas de défaillance d'un assemblage , c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est en cause .

- Les assemblages sont des ensembles constitués de plusieurs composants.
- Les abouts des éléments structurels liaisonnés.
- Les pièces accessoires de liaison
- Les organes de fixation proprement dits assurant la solidarisation effective entre les composants en présence

VII-1-1-Fonctionnement des assemblages :

Les principaux modes d'assemblages sont :

a)-Le boulonnage :

Le boulonnage consiste le moyen d'assemblage le plus utilisé en construction métallique du fait de sa facilité de mise en œuvre et des possibilités de réglage qu'il ménage sur site , pour le cas le choix à été porté sur le boulon de haute résistance (HR) il comprend une vis à tige filetée , une tête hexagonale ou carrée et un écrou en acier à très haute résistance :

classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb} (N / mm^2)$	240	320	300	400	360	480	640	900
$f_{ub} (N / mm^2)$	400	400	500	500	600	600	800	1000

b)-Le soudage :

En charpente soudée les assemblages sont plus rigides , cela à pour effet un encastrement partiel des éléments constructifs . Les soudages à la flamme oxyacétylénique et le soudage à l'arc électrique sont des moyens de chauffages qui permettent d'élever à la température de fusion brilles des pièce de métal à assembler .

C)-Fonctionnement par adhérence

Dans ce cas, la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact. Cela concerne le soudage , le collage , le boulonnage par boulons HR .

D)-Coefficients partiels de sécurité : (chap.6.1.2 –eurocode3)

- Résistance des boulons au cisaillement : $\gamma_{MB} = 1,25$
- Résistance des boulons à traction : $\gamma_{MB} = 1,50$

E)-Coefficient de frottement : (art.6.5.8.3 (1))

Un bon assemblage par boulons **HR** exige que des précautions élémentaires soient prises, notamment :

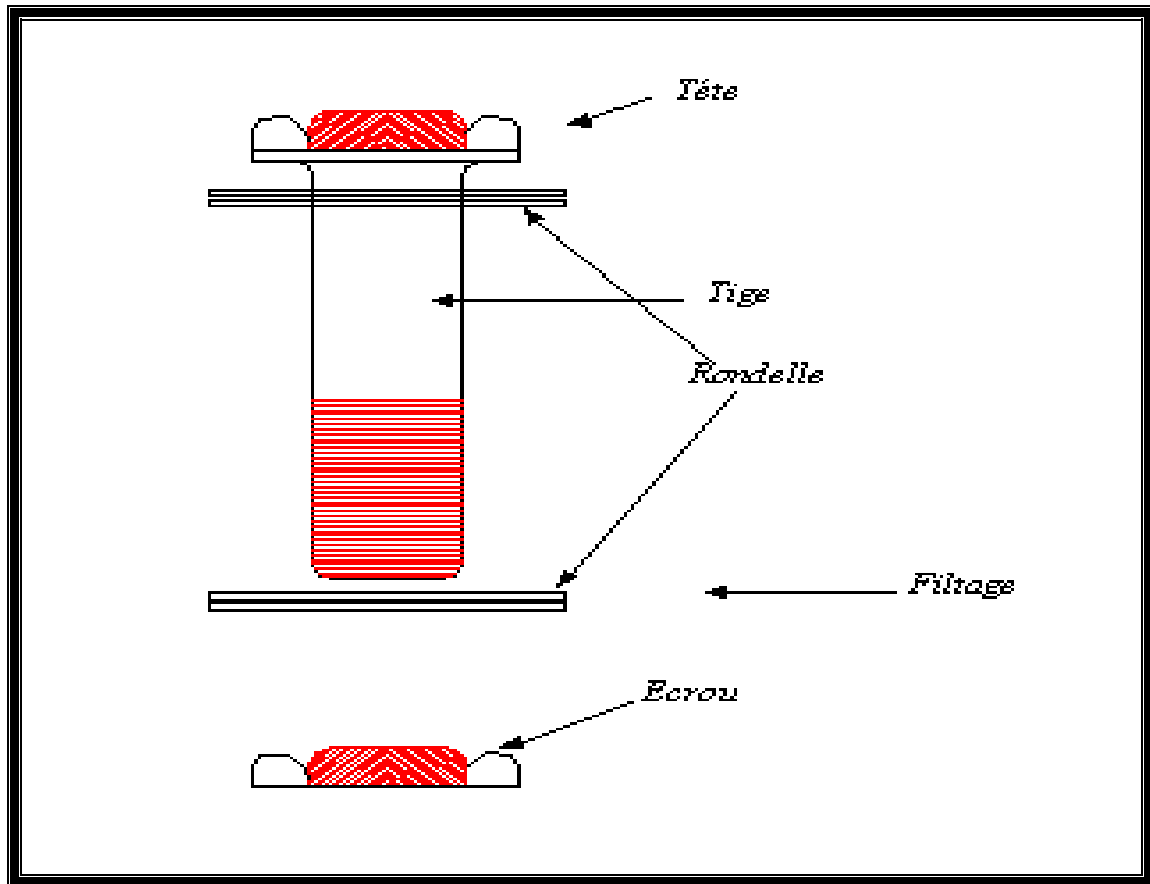
- Le coefficient de frottement μ doit correspondre à sa valeur de calcul. Cela nécessite une préparation des surfaces , par brossage ou grenaillage , pour éliminer toute trace de rouille ou de calamine ; de graissage , etc.

$\mu = 0,50$ pour les surfaces de la classe A

$\mu = 0,40$ pour les surfaces de la classe B

$\mu = 0,30$ pour les surfaces de la classe C

$\mu = 0,20$ pour les surfaces de la classe D.



VII-1-2-Rôle des assemblages :

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles , en assurant la transmission et la réparation des diverses sollicitations entre les pièces , sans générer des sollicitations parasites notamment de torsion .

Pour réaliser une structure métallique ; on dispose de pièces individuelles, qu'il convient d'assembler :

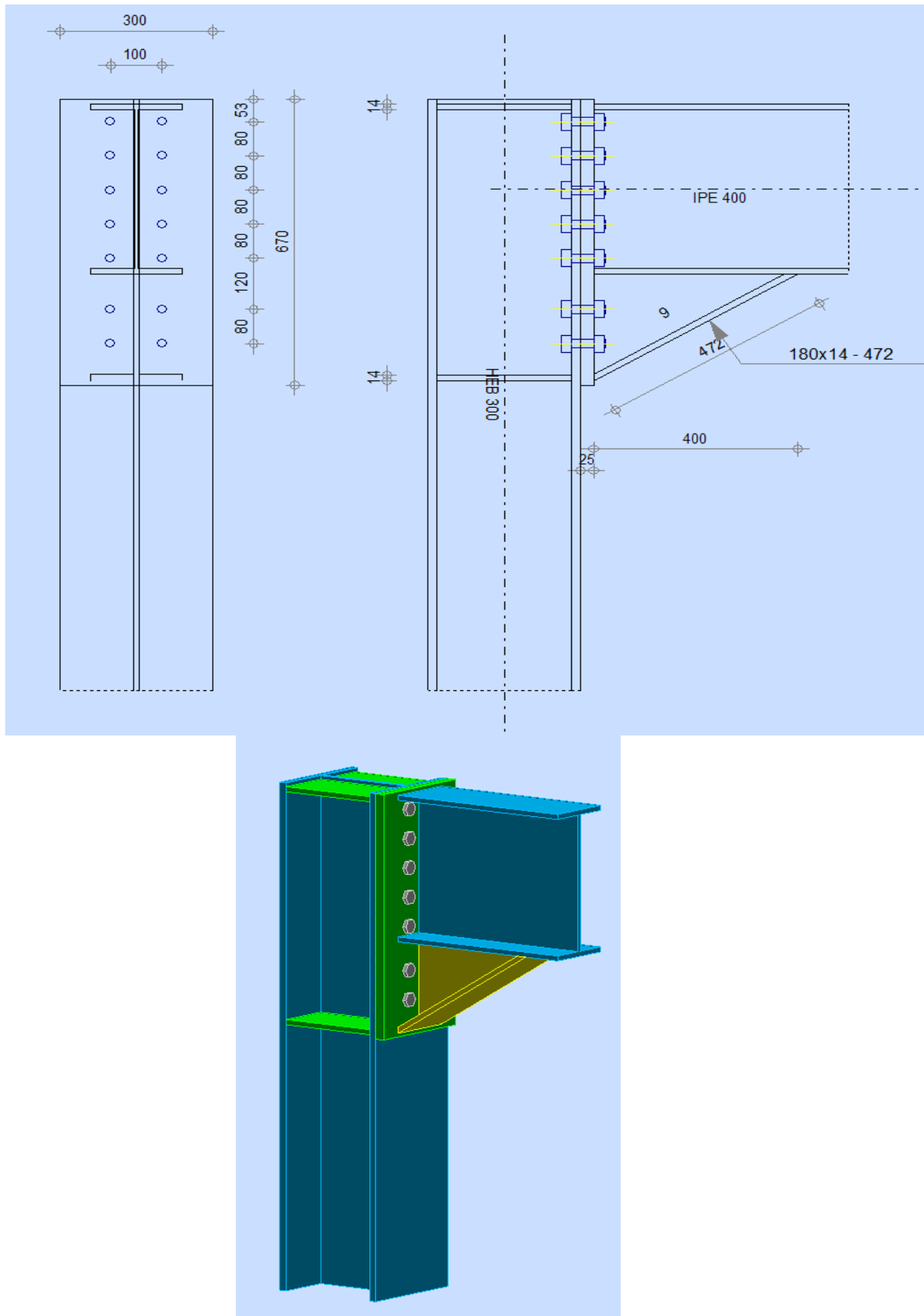
- Soit bout à bout (éclissage, rabotages).
- Soit concourantes (attaches poutre/poteau, treillis et systèmes réticulés)

Pour conduire les calculs selon les schémas classiques de la résistance des matériaux, il y a lieu de distinguer, parmi les assemblages :

- Les assemblages articulés, qui transmettent uniquement les efforts normaux et les tranchants.
- Les assemblages rigides, qui transmettent en outre les divers moments.

VII-2-Assemblage poteau HEB300 – poutre IPE400 :

A l'aide du logiciel (ROBOT 2015) nous avons obtenus les résultats ci-joints :





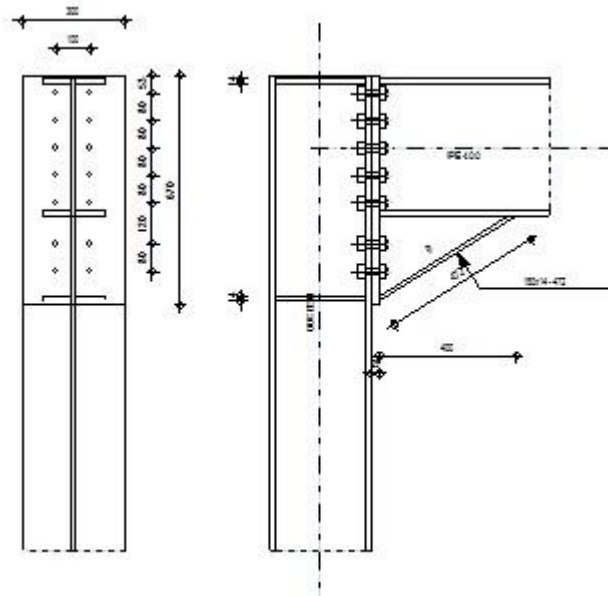
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



Ratio
0.79



A partir de l'analyse effectuée par le SAP2000, on tire les résultats suivants :

Général :

Assemblage N°: 1

Nom de l'assemblage : Angle de portique

Géométrie :

Poteau :

Profilé: **HEB 300**

 $\alpha =$ -90.0 [Deg] Angle d'inclinaison
$$h_c = 300 \text{ [mm]} \text{ Hauteur de la section du poteau}$$
$$b_{fc} = 300 \text{ [mm]} \text{ Largeur de la section du poteau}$$

$t_{wc} =$ **11 [mm]** Epaisseur de l'âme de la section du poteau

$t_{fc} =$ **19 [mm]** *Epaisseur de l'aile de la section du poteau*

 $r_c = 27 \text{ [mm]}$ Rayon de congé de la section du poteau

Profilé: HEB 300

$\alpha = -90.0$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $A_c = 149.08$ [cm²] Aire de la section du poteau
 $I_{xc} = 25165.70$ [cm⁴] Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: ACIER E28

$f_{yc} = 275.00$ [MPa] Résistance

Poutre :**Profilé: IPE 400**

$\alpha = 0.0$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_b = 400$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_f = 180$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wb} = 9$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{fb} = 14$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_b = 21$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $r_b = 21$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_b = 84.46$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{xb} = 23128.40$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: ACIER E28

$f_{yb} = 275.00$ [MPa] Résistance

Boulons :

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

$d = 20$ [mm] Diamètre du boulon

Classe HR 8.8 Classe du boulon

$F_{tRd} = 16.19$ [T] Résistance du boulon à la traction

$n_h = 2$ Nombre de colonnes des boulons

$n_v = 7$ Nombre de rangés des boulons

$h_1 = 53$ [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about

Ecartement : $e_i = 100$ [mm]Entraxe $p_i = 80; 80; 80; 80; 120; 80$ [mm]Platine : $h_p = 670$ [mm] Hauteur de la platine $b_p = 300$ [mm] Largeur de la platine $t_p = 25$ [mm] Epaisseur de la platineMatériau: **ACIER E28** $f_{yp} = 275.00$ [MPa] RésistanceJarret inférieur $w_d = 180$ [mm] Largeur de la platine $t_{fd} = 14$ [mm] Epaisseur de l'aile $h_d = 250$ [mm] Hauteur de la platine $t_{wd} = 9$ [mm] Epaisseur de l'âme $l_d = 400$ [mm] Longueur de la platine $\alpha = 32.0$ [Deg] Angle d'inclinaisonMatériau: **ACIER E28** $f_{ybu} = 235.00$ [MPa] RésistanceRaidisseur poteauSupérieur $h_{su} = 262$ [mm] Hauteur du raidisseur $b_{su} = 145$ [mm] Largeur du raidisseur $t_{hu} = 14$ [mm] Epaisseur du raidisseurMatériau: **ACIER E28** $f_{ysu} = 275.00$ [MPa] RésistanceInférieur : $h_{sd} = 262$ [mm] Hauteur du raidisseur $b_{sd} = 145$ [mm] Largeur du raidisseur $t_{hd} = 14$ [mm] Epaisseur du raidisseurMatériau: **ACIER E28**

Efforts :

$f_{ysu} = 275.00$ [MPa] Résistance

Soudures d'angle :

$a_w = 5$ [mm] Soudure âme
 $a_f = 8$ [mm] Soudure semelle
 $a_s = 5$ [mm] Soudure du raidisseur
 $a_{fd} = 5$ [mm] Soudure horizontale

Coefficients de matériau :

$\gamma_{M0} = 1.00$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]
 $\gamma_{M1} = 1.00$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]
 $\gamma_{M2} = 1.25$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]
 $\gamma_{M3} = 1.10$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]

Etat limite: ultime :

Cas: Calculs manuels

$M_{b1,Ed} = 26.00$ [T*m] Moment fléchissant dans la poutre droite

$V_{b1,Ed} = 26.72$ [T] Effort tranchant dans la poutre droite

Résultats :Résistances de la poutre :Cisaillement:

$A_{vb} = 65.19$ [cm²] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \gamma_3) / \gamma_{M0}$

$V_{cb,Rd} = 105.55$ [T] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} < 1,0$ 0.25 < 1.00 vérifié (0.25)

Fléxion – Moment plastique (sans renfort) :

$W_{plb} = 1307.15$ [cm³] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$

$M_{b,pl,Rd} = 36.66$ [T*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

Ame ou aile renfort en compression – Niveau de l'aile inferieur de la poutre :**Fléxion au contact de la plaque avec l'élément assemble :**

$W_{pl} = 2227.29 \text{ [cm}^3\text{]}$ Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$

$M_{cb,Rd} = 62.46 \text{ [T*m]}$ Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

Aile et ame en compression :

$M_{cb,Rd} = 62.46 \text{ [T*m]}$ Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_f = 635 \text{ [mm]}$ Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$

$F_{c,fb,Rd} = 98.36 \text{ [T]}$ Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

Pression diamétrale:

$\beta = 0.0 \text{ [Deg]}$ Angle entre la platine d'about et la poutre

$\gamma = 32.0 \text{ [Deg]}$ Angle d'inclinaison du renfort

$b_{eff,c,wb} = 222 \text{ [mm]}$ Largeur efficace de l'âme à la compression [6.2.6.2.(1)]

$A_{vb} = 42.69 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$\omega = 0.89$ Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement [6.2.6.2.(1)]

$\sigma_{com,Ed} = 182.45 \text{ [MPa]}$ Contrainte de compression maximale dans l'âme [6.2.6.2.(2)]

$k_{wc} = 1.00$ Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression [6.2.6.2.(2)]

$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$

$F_{c,wb,Rd1} = 76.19 \text{ [T]}$ Résistance de l'âme de la poutre [6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wb} = 331 \text{ [mm]}$ Hauteur de l'âme comprimée [6.2.6.2.(1)]

$\lambda_p = 1.06$ Elancement de plaque [6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$$d_{wb} = 331 \text{ [mm]} \text{ Hauteur de l'âme comprimée} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\rho = 0.76 \text{ Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{c,wb,Rd2} = 58.23 \text{ [T]} \text{ Résistance de l'âme de la poutre} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance de l'aile du renfort :

$$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 \gamma_{M0})$$

$$F_{c,wb,Rd3} = 88.33 \text{ [T]} \text{ Résistance de l'aile du renfort} \quad [6.2.6.7.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$$

$$F_{c,wb,Rd,low} = 58.23 \text{ [T]} \text{ Résistance de l'âme de la poutre} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistances du poteau**Panneau d'ame en cisaillement :**

$$M_{b1,Ed} = 26.00 \text{ [T*m]} \text{ Moment fléchissant dans la poutre droite} \quad [5.3.(3)]$$

$$M_{b2,Ed} = 0.00 \text{ [T*m]} \text{ Moment fléchissant dans la poutre gauche} \quad [5.3.(3)]$$

$$V_{c1,Ed} = 0.00 \text{ [T]} \text{ Effort tranchant dans le poteau inférieur} \quad [5.3.(3)]$$

$$V_{c2,Ed} = 0.00 \text{ [T]} \text{ Effort tranchant dans le poteau supérieur} \quad [5.3.(3)]$$

$$z = 559 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$

$$V_{wp,Ed} = 46.51 \text{ [T]} \text{ Panneau d'âme en cisaillement} \quad [5.3.(3)]$$

$$A_{vs} = 47.43 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de cisaillement de l'âme du poteau} \quad \begin{matrix} \text{EN1993-1-} \\ \text{1:}[6.2.6.(3)] \end{matrix}$$

$$A_{vc} = 47.43 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la section au cisaillement} \quad \begin{matrix} \text{EN1993-1-} \\ \text{1:}[6.2.6.(3)] \end{matrix}$$

$$d_s = 636 \text{ [mm]} \text{ Distance entre les centres de gravités des raidisseurs} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{pl,fc,R} = 0.76 \text{ [T*m]} \text{ Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{pl,stu} = 0.41 \text{ [T*m]} \text{ Résistance plastique du raidisseur} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$A_{vs} = 47.43 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de cisaillement de l'âme du poteau transversal supérieur en flexion	EN1993-1-1: [6.2.6.(3)]
$M_{pl,sl,R} = 0.41 \text{ [T*m]}$	Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} * f_{y,wc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sl,Rd}) / d_s)$		
$V_{wp,Rd} = 72.79 \text{ [T]}$	Résistance du panneau d'âme au cisaillement	[6.2.6.1]
$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} < 1,0$	$0.64 < 1.00$	vérifié (0.64)

Ame en compression transversale – Niveau de l'ail inferieur de la poutre :

Pression diamétrale:

$t_{wc} = 11 \text{ [mm]}$	Epaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,w} = 319 \text{ [mm]}$	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} = 47.43 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1: [6.2.6.(3)]
$\omega = 0.76$	Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} = 0.00 \text{ [MPa]}$	Contrainte de compression maximale dans l'âme	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} = 1.00$	Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression	[6.2.6.2.(2)]
$A_s = 40.46 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1: [6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,w} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$		
$F_{c,wc,Rd1} = 188.69 \text{ [T]}$	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wc} = 208 \text{ [mm]}$	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$d_{wc} = 0.79$	Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p = 0.95$	Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
$\rho = 2.36$	Elancement du raidisseur	EN1993-1-1: [6.3.1.2]
$\lambda_s = 1.00$	Coefficient de flambement du raidisseur	EN1993-1-1: [6.3.1.2]

$$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = 184.58 \text{ [T]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$$

$$F_{c,wc,Rd} = 184.58 \text{ [T]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Paramètres géométriques de l'assemblage :

Longueurs efficaces et paramètres – semelle du poteau:

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	23	-	100	-	80	144	237	144	237	152	168	152	168
2	23	-	100	-	80	144	217	144	217	160	80	80	80
3	23	-	100	-	80	144	217	144	217	160	80	80	80
4	23	-	100	-	80	144	217	144	217	160	80	80	80
5	23	-	100	-	100	144	217	144	217	200	100	100	100
6	23	-	100	-	100	144	217	144	217	200	100	100	100
7	23	-	100	-	80	144	198	144	198	152	129	129	129

Longueurs efficaces et paramètres – platine d'about:

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	40	-	100	-	80	252	397	252	397	206	294	206	294
2	40	-	100	-	80	252	285	252	285	160	80	80	80
3	40	-	100	-	80	252	285	252	285	160	80	80	80
4	40	-	100	-	80	252	285	252	285	160	80	80	80
5	40	-	100	-	100	252	285	252	285	200	100	100	100
6	40	-	100	-	100	252	285	252	285	200	100	100	100
7	40	-	100	-	80	252	285	252	285	206	183	183	183

m – Distance du boulon de l'âme

m_x – Distance du boulon de l'aile de la poutre

e – Pince entre le boulon et le bord extérieur

- m – Distance du boulon de l'âme
 e_x – Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
 p – Entraxe des boulons
 $l_{eff,cp}$ – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires
 $l_{eff,nc}$ – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires
 $l_{eff,1}$ – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1
 $l_{eff,2}$ – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2
 $l_{eff,cp,g}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
 $l_{eff,nc,g}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires
 $l_{eff,1,g}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1
 $l_{eff,2,g}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

Résistance de l'assemblage à la flexion :

- $F_{t,Rd} = 16.19 [T]$ Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]
 $B_{p,Rd} = 35.50 [T]$ Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]
 $F_{t,fc,Rd}$ – résistance de la semelle du poteau à la flexion
 $F_{t,wc,Rd}$ – résistance de l'âme du poteau à la traction
 $F_{t,ep,Rd}$ – résistance de la platine fléchie à la flexion
 $F_{t,wb,Rd}$ – résistance de l'âme à la traction
 $F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd})$ [6.2.6.4] , [Tab.6.2]
 $F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$ [6.2.6.3.(1)]
 $F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd})$ [6.2.6.5] , [Tab.6.2]
 $F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$ [6.2.6.8.(1)]

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t1,Rd,comp}$	Composant
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	32.38	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(1)} = 32.38$	32.38	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(1)} = 41.48$	41.48	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(1)} = 32.38$	32.38	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 60.68$	60.68	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 71.00$	71.00	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta = 72.79$	72.79	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} = 184.58$	184.58	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} = 98.36$	98.36	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} = 58.23$	58.23	Ame de la poutre - compression

Résistance de la rangée de boulons N° 1

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t2,Rd,comp}$	Composant
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	25.85	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(2)} = 32.38$	32.38	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(2)} = 41.48$	41.48	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(2)} = 32.38$	32.38	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 60.68$	60.68	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 71.00$	71.00	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{ti,Rd} = 72.79 - 32.38$	40.42	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 184.58 - 32.38$	152.21	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 98.36 - 32.38$	65.98	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 58.23 - 32.38$	25.85	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 60.36 - 32.38$	27.99	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 64.02 - 32.38$	31.64	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 64.76 - 32.38$	32.38	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 88.22 - 32.38$	55.84	Ame de la poutre - traction - groupe

Résistance de la rangée de boulons N° 2

$F_{t3,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t3,Rd,comp}$	Composant
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	0.00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(3)} = 32.38$	32.38	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(3)} = 41.48$	41.48	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(3)} = 32.38$	32.38	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 60.68$	60.68	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 71.00$	71.00	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^2 F_{ti,Rd} = 72.79 - 58.23$	14.56	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^2 F_{tj,Rd} = 184.58 - 58.23$	126.35	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^2 F_{tj,Rd} = 98.36 - 58.23$	40.13	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^2 F_{tj,Rd} = 58.23 - 58.23$	0.00	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 51.69 - 25.85$	25.84	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 45.45 - 25.85$	19.60	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 86.21 - 58.23$	27.98	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 76.47 - 58.23$	18.24	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 51.54 - 25.85$	25.69	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 38.59 - 25.85$	12.73	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 97.13 - 58.23$	38.90	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 109.61 - 58.23$	51.38	Ame de la poutre - traction - groupe

Résistance de la rangée de boulons N° 3

Tableau récapitulatif des efforts:

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	599	32.38	32.38	41.48	32.38	60.68	32.38	71.00
2	519	25.85	32.38	41.48	32.38	60.68	32.38	71.00
3	439	-	32.38	41.48	32.38	60.68	32.38	71.00
4	359	-	32.38	41.48	32.38	60.68	32.38	71.00
5	279	-	32.38	41.48	32.38	60.68	32.38	71.00
6	159	-	32.38	41.48	32.38	60.68	32.38	71.00
7	79	-	32.38	41.48	32.38	60.68	32.38	71.00

Résistance de l'assemblage à la flexion $M_{j,Rd}$:

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 32.81 [T*m] \text{ Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} < 1,0 \quad 0.79 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.79)$$

Résistance de l'assemblage au cisaillement :

$$\alpha_v = 0.94 \quad [3.8]$$

$$\beta_{Lf} = 3.57 \quad [T] \quad [Tableau 3.4]$$

$$F_{t,Rd,max} = 16.19 \quad [T] \quad [Tableau 3.4]$$

$$F_{b,Rd,int} = 30.20 \quad [T] \quad [Tableau 3.4]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 31.39 \quad [T] \quad [Tableau 3.4]$$

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	32.38	0.00	32.38	25.65	25.65	3.10
2	32.38	0.00	25.85	20.48	20.48	3.91
3	32.38	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14
4	32.38	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14
5	32.38	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14
6	32.38	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14
7	32.38	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14

$F_{tj,Rd,N}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

$F_{tj,Ed,N}$ – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

$F_{tj,Rd,M}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

$F_{tj,Ed,M}$ – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

$F_{tj,Ed}$ – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

$F_{vj,Rd}$ – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (n_h F_{v,Rd} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd}, n_h F_{b,Rd}))$$

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd}$$

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd}$$

$$V_{j,Rd} = 42.71 [T] \text{ Résistance de l'assemblage au cisaillement } [Tableau 3.4]$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} < 1,0 \quad 0.63 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.63)$$

Résistance des soudures :

$$A_w = 136.67 [cm^2] \text{ Aire de toutes les soudures } [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 80.22 [cm^2] \text{ Aire des soudures horizontales } [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wz} = 56.45 [cm^2] \text{ Aire des soudures verticales } [4.5.3.2(2)]$$

$$I_{wy} = \frac{73842.73}{73} [cm^4] \text{ Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz. } [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{Lmax} = \tau_{Lmax} = 84.93 [MPa] \text{ Contrainte normale dans la soudure } [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_L = \tau_L = 75.53 [MPa] \text{ Contraintes dans la soudure verticale } [4.5.3.2(5)]$$

$$\tau_{II} = 46.42 [MPa] \text{ Contrainte tangentielle } [4.5.3.2(5)]$$

$$\beta_w = 0.85 \text{ Coefficient de corrélation } [4.5.3.2(7)]$$

$$\sqrt{\sigma_{Lmax}^2 + 3(\tau_{Lmax}^2)} \leq f_{ul} / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad 169.87 < 381.18 \text{ vérifié } (0.45)$$

$$\sqrt{\sigma_L^2 + 3(\tau_L^2 + \tau_{II}^2)} \leq f_{ul} / (\beta_w \gamma_{M2}) \quad 171.13 < 381.18 \text{ vérifié } (0.45)$$

$$\sigma_L \leq 0.9 f_{ul} / \gamma_{M2} \quad 84.93 < 291.60 \text{ vérifié } (0.29)$$

Rigidité de l'assemblage :

$$t_{wash} = 4 [mm] \text{ Epaisseur de la plaquette } [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{head} = 14 [mm] \text{ Hauteur de la tête du boulon } [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{nut} = 20 [mm] \text{ Hauteur de l'écrou du boulon } [6.2.6.3.(2)]$$

$$L_b = 69 [mm] \text{ Longueur du boulon } [6.2.6.3.(2)]$$

$$k_{10} = 6 [mm] \text{ Coefficient de rigidité des boulons } [6.3.2.(1)]$$

Nr	h_j	k_3	k_4	k_5	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
					Somme	41.84	1856.88
1	599	4	74	45	2	13.37	800.65
2	519	2	41	18	1	7.60	394.60
3	439	2	41	18	1	6.43	282.34
4	359	2	41	18	1	5.26	188.82
5	279	3	51	22	2	4.80	133.93
6	159	3	51	22	2	2.74	43.51
7	79	4	66	40	2	1.65	13.04

Rigidités des rangé de boulons

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum_{i=1}^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$$

$$z_{eq} = 444 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / z_{eq}$$

$$k_{eq} = 9 \text{ [mm]} \text{ Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 47.43 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1: [6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 1.00 \text{ Paramètre de transformation} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 444 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 4 \text{ [mm]} \text{ Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en cisaillement} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \infty \text{ Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en compression} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum_j (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 11971.28 \text{ [T*m]} \text{ Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1.59 \text{ Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 7510.10 \text{ [T*m]} \text{ Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

Classification de l'assemblage par rigidité :

$$S_{j,rig} = 7924.36 \text{ [T*m]} \text{ Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 495.27 \text{ [T*m]} \text{ Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \quad \text{Rigide}$$

Composant le plus faible:

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme **Ratio 0.79**

Ame de la poutre ou ail de la contreplaque en compression

VII-3-Assemblage poutre IPE400 – solive IPE240 :

Boulons ordinaires $\Phi 16$ classe 8.8

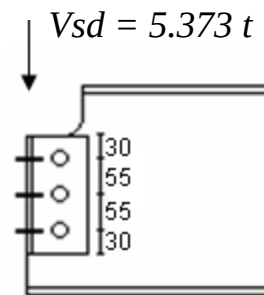
Cornières 2L 80x80x8

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 ; f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2 ; \gamma_{Mb} = 1,25$$

$$V_{sd} = q.L/2 = (1.35G + 1.5Q).esp.L/2$$

$$= (1.35 \times 550 + 1.5 \times 500) 1.2 \times 6/2$$

$$V_{sd} = 5373 \text{ kg} = 5.373 \text{ t}$$



Côté solive :

$$F_{vrd} = 2 \cdot 0,6 f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb} = 12,057 \text{ t}$$

$$F_{vv} = V_{sd} / 3 = 1.79 \text{ t}$$

$$F_{vm} = 5,373 \cdot 45 \cdot 55 / 2 \cdot 55^2 = 2,19 \text{ t}$$

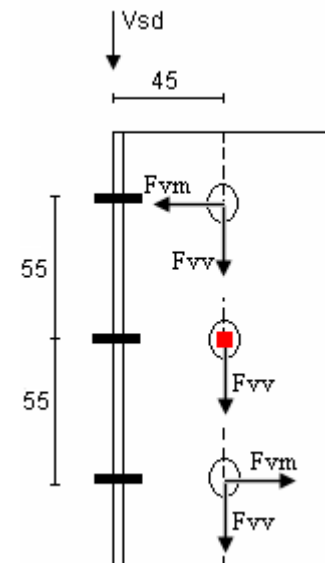
$$F_{vsd} = \sqrt{F_{vsv}^2 + F_{vm}^2} = 2.82 \text{ t} < F_{vrd} \quad \text{ok}$$

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

$$d = 16 \text{ mm} ; t = 6,2 \text{ mm} ; \gamma_{Mb} = 1,25 ; f_u = 430 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = \min (e_1/3d_0 ; p_1/3d_0 - 1/4 ; f_{ub}/f_u ; 1) = 0,55$$

$$F_{brd} = 4,7 \text{ t} > F_{vsd} = 2.82 \text{ t} \quad \text{ok}$$



Côté poutre:

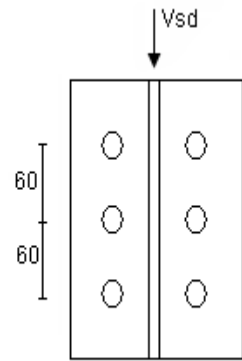
$$F_{vrd} = 0,6 f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb} = 6,028 \text{ t (1 plan de cisaillement)}$$

$$F_{brd} = 6,0544 \text{ t (avec } t = 8\text{mm)}$$

$$F_{vsd} = V_{sd} / 6 = 0.89 \text{ t}$$

$$F_{vsd} < F_{vrd} \quad \text{ok}$$

$$F_{vsd} < F_{brd} \quad \text{ok}$$



L'attache est vérifiée.



Chapitre VIII



Etude de pieds des poteaux

VIII-Etude des pieds de poteaux

VIII-1- Introduction :

L'encastrement d'un pied de poteau sur un massif en béton est réalisé au moyen d'une platine appuyée sur le massif ancrée par des tiges de scellement.

Pour le dimensionnement de l'encastrement c'est à dire la détermination des efforts dans les tiges d'ancrages et dans la platine, le moment et l'effort normal exercé sur la base du poteau sont équilibré par la traction des tiges d'ancrages et la compression du béton

VIII-2- Définition :

VIII-2-1-La platine d'extrémité :

C'est un plat en acier rectangulaire soudé a la base du poteau par un cordon de soudure appliqué sur le pourtour de la section du profilé constituant le poteau .elle est percée sur sa ligne médiane pour recevoir les extrémités filetées de deux tiges

D'ancrages scellés dans fondation .sous l'action du serrage des écrous, la platine prend directement appui sur surface de béton de fondation, la platine peut être renforcé par un raidisseur

VIII-2-2-les tiges d'ancrage :

Elles sont droites ou recourbées à une extrémité, elles sont destinées à s'opposer à un effort très important. L'extrémité recourbée de certaines tiges s'accroche à une barre horizontale, appelée clé d'ancrage, encastrée dans le béton de fondation. L'autre extrémité, celle qui est filetée, traverse la platine sur laquelle elle est boulonnée.

➤ Hypothèse :

La liaison des poteaux à leur extrémité est considérée comme encastré dans les deux sens longitudinal et transversal.

A partir de l'analyse effectuée par le **SAP2000**, on tire les résultats suivants :

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	Fx	Fy	Fz	Mx	My
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m
4	ELU	Combination		0.25	0.00	43.17	0.00	-0.31
4	ELS	Combination		0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEX1	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEX1	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEX2	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEX2	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEY1	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEY1	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEY2	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQEY2	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EX1	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EX1	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EX2	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EX2	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EY1	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EY1	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EY2	Combination	Max	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	GQ12EY2	Combination	Min	0.18	0.00	30.95	0.00	-0.22
4	08GEX1	Combination	Max	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
4	08GEX1	Combination	Min	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
4	08GEX2	Combination	Max	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
4	08GEX2	Combination	Min	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
4	08GEY1	Combination	Max	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
4	08GEY1	Combination	Min	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
4	08GEY2	Combination	Max	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
4	08GEY2	Combination	Min	0.10	0.00	17.33	0.00	-0.12
7	ELU	Combination		-0.25	0.00	43.17	0.00	0.31
7	ELS	Combination		-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEX1	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEX1	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEX2	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEX2	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEY1	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEY1	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEY2	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQEY2	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EX1	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EX1	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EX2	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EX2	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EY1	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EY1	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EY2	Combination	Max	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	GQ12EY2	Combination	Min	-0.18	0.00	30.95	0.00	0.22
7	08GEX1	Combination	Max	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12
7	08GEX1	Combination	Min	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12
7	08GEX2	Combination	Max	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12
7	08GEX2	Combination	Min	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12
7	08GEY1	Combination	Max	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12
7	08GEY1	Combination	Min	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12
7	08GEY2	Combination	Max	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12
7	08GEY2	Combination	Min	-0.10	0.00	17.33	0.00	0.12

16	ELU	Combination		1.05	11.69	119.61	0.00	-1.31
16	ELS	Combination		0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEX1	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEX1	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEX2	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEX2	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEY1	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEY1	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEY2	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQEY2	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EX1	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EX1	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EX2	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EX2	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EY1	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EY1	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EY2	Combination	Max	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	GQ12EY2	Combination	Min	0.76	8.31	85.18	0.00	-0.95
16	08GEX1	Combination	Max	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
16	08GEX1	Combination	Min	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
16	08GEX2	Combination	Max	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
16	08GEX2	Combination	Min	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
16	08GEY1	Combination	Max	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
16	08GEY1	Combination	Min	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
16	08GEY2	Combination	Max	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
16	08GEY2	Combination	Min	0.45	4.09	43.48	0.00	-0.57
19	ELU	Combination		-1.05	11.69	119.61	0.00	1.31
19	ELS	Combination		-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEX1	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEX1	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEX2	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEX2	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEY1	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEY1	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEY2	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQEY2	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EX1	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EX1	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EX2	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EX2	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EY1	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EY1	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EY2	Combination	Max	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	GQ12EY2	Combination	Min	-0.76	8.31	85.18	0.00	0.95
19	08GEX1	Combination	Max	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57
19	08GEX1	Combination	Min	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57
19	08GEX2	Combination	Max	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57
19	08GEX2	Combination	Min	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57
19	08GEY1	Combination	Max	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57
19	08GEY1	Combination	Min	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57
19	08GEY2	Combination	Max	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57
19	08GEY2	Combination	Min	-0.45	4.09	43.48	0.00	0.57

25	ELU	Combination		0.47	0.00	100.98	0.00	-0.59
25	ELS	Combination		0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX1	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX1	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX2	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX2	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX1	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX1	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX2	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQEX2	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX1	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Max	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	GQ12EX2	Combination	Min	0.30	0.00	72.17	0.00	-0.38
25	08GEX1	Combination	Max	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
25	08GEX1	Combination	Min	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
25	08GEX2	Combination	Max	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
25	08GEX2	Combination	Min	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
25	08GEY1	Combination	Max	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
25	08GEY1	Combination	Min	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
25	08GEY2	Combination	Max	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
25	08GEY2	Combination	Min	-0.12	0.00	38.81	0.00	0.15
28	ELU	Combination		0.82	-10.40	130.83	0.00	-1.03
28	ELS	Combination		0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX1	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX1	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX2	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX2	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX1	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX1	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX2	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQEX2	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX1	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX1	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX2	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX2	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX1	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX1	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX2	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX2	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX1	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX1	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX2	Combination	Max	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	GQ12EX2	Combination	Min	0.58	-7.43	93.14	0.00	-0.73
28	08GEX1	Combination	Max	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33
28	08GEX1	Combination	Min	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33
28	08GEX2	Combination	Max	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33
28	08GEX2	Combination	Min	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33
28	08GEY1	Combination	Max	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33
28	08GEY1	Combination	Min	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33
28	08GEY2	Combination	Max	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33
28	08GEY2	Combination	Min	0.27	-3.99	47.34	0.00	-0.33

31	ELU	Combination		-0.82	-10.40	130.83	0.00	1.03
31	ELS	Combination		-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEX1	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEX1	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEX2	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEX2	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEY1	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEY1	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEY2	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQEY2	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EX1	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EX1	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EX2	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EX2	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EY1	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EY1	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EY2	Combination	Max	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	GQ12EY2	Combination	Min	-0.58	-7.43	93.14	0.00	0.73
31	08GEX1	Combination	Max	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
31	08GEX1	Combination	Min	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
31	08GEX2	Combination	Max	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
31	08GEX2	Combination	Min	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
31	08GEY1	Combination	Max	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
31	08GEY1	Combination	Min	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
31	08GEY2	Combination	Max	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
31	08GEY2	Combination	Min	-0.27	-3.99	47.34	0.00	0.33
34	ELU	Combination		-0.47	0.00	100.98	0.00	0.59
34	ELS	Combination		-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	08GEX1	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEX1	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEX2	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEX2	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY1	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY1	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY2	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY2	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15

34	ELU	Combination		-0.47	0.00	100.98	0.00	0.59
34	ELS	Combination		-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEX2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQEY2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EX2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY1	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY1	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY2	Combination	Max	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	GQ12EY2	Combination	Min	-0.30	0.00	72.17	0.00	0.38
34	08GEX1	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEX1	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEX2	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEX2	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY1	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY1	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY2	Combination	Max	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
34	08GEY2	Combination	Min	0.12	0.00	38.81	0.00	-0.15
37	ELU	Combination		0.49	0.00	101.16	0.00	-0.61
37	ELS	Combination		0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEX1	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEX1	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEX2	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEX2	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEY1	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEY1	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEY2	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQEY2	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EX1	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EX1	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EX2	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EX2	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EY1	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EY1	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EY2	Combination	Max	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	GQ12EY2	Combination	Min	0.31	0.00	72.30	0.00	-0.39
37	08GEX1	Combination	Max	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14
37	08GEX1	Combination	Min	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14
37	08GEX2	Combination	Max	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14
37	08GEX2	Combination	Min	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14
37	08GEY1	Combination	Max	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14
37	08GEY1	Combination	Min	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14
37	08GEY2	Combination	Max	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14
37	08GEY2	Combination	Min	-0.11	0.00	38.85	0.00	0.14

40	ELU	Combination		0.83	0.00	134.83	0.00	-1.04
40	ELS	Combination		0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEX1	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEX1	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEX2	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEX2	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEY1	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEY1	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEY2	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQEY2	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EX1	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EX1	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EX2	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EX2	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EY1	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EY1	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EY2	Combination	Max	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	GQ12EY2	Combination	Min	0.59	0.00	95.76	0.00	-0.74
40	08GEX1	Combination	Max	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
40	08GEX1	Combination	Min	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
40	08GEX2	Combination	Max	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
40	08GEX2	Combination	Min	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
40	08GEY1	Combination	Max	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
40	08GEY1	Combination	Min	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
40	08GEY2	Combination	Max	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
40	08GEY2	Combination	Min	0.27	0.00	47.02	0.00	-0.34
43	ELU	Combination		-0.83	0.00	134.83	0.00	1.04
43	ELS	Combination		-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEX1	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEX1	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEX2	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEX2	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEY1	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEY1	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEY2	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQEY2	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EX1	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EX1	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EX2	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EX2	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EY1	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EY1	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EY2	Combination	Max	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	GQ12EY2	Combination	Min	-0.59	0.00	95.76	0.00	0.74
43	08GEX1	Combination	Max	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34
43	08GEX1	Combination	Min	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34
43	08GEX2	Combination	Max	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34
43	08GEX2	Combination	Min	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34
43	08GEY1	Combination	Max	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34
43	08GEY1	Combination	Min	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34
43	08GEY2	Combination	Max	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34
43	08GEY2	Combination	Min	-0.27	0.00	47.02	0.00	0.34

46	ELU	Combination		-0.49	0.00	101.16	0.00	0.61
46	ELS	Combination		-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEX1	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEX1	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEX2	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEX2	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEY1	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEY1	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEY2	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQEY2	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EX1	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EX1	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EX2	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EX2	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EY1	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EY1	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EY2	Combination	Max	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	GQ12EY2	Combination	Min	-0.31	0.00	72.30	0.00	0.39
46	08GEX1	Combination	Max	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
46	08GEX1	Combination	Min	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
46	08GEX2	Combination	Max	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
46	08GEX2	Combination	Min	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
46	08GEY1	Combination	Max	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
46	08GEY1	Combination	Min	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
46	08GEY2	Combination	Max	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
46	08GEY2	Combination	Min	0.11	0.00	38.85	0.00	-0.14
64	ELU	Combination		0.24	0.00	43.30	0.00	-0.30
64	ELS	Combination		0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEX1	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEX1	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEX2	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEX2	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEY1	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEY1	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEY2	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQEY2	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EX1	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EX1	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EX2	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EX2	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EY1	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EY1	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EY2	Combination	Max	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	GQ12EY2	Combination	Min	0.18	0.00	31.03	0.00	-0.22
64	08GEX1	Combination	Max	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12
64	08GEX1	Combination	Min	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12
64	08GEX2	Combination	Max	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12
64	08GEX2	Combination	Min	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12
64	08GEY1	Combination	Max	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12
64	08GEY1	Combination	Min	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12
64	08GEY2	Combination	Max	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12
64	08GEY2	Combination	Min	0.10	0.00	17.35	0.00	-0.12

99	ELU	Combination		0.33	0.00	80.62	0.00	-0.42
99	ELS	Combination		0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEX1	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEX1	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEX2	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEX2	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEY1	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEY1	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEY2	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQEY2	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EX1	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EX1	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EX2	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EX2	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EY1	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EY1	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EY2	Combination	Max	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	GQ12EY2	Combination	Min	0.21	0.00	57.74	0.00	-0.26
99	08GEX1	Combination	Max	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
99	08GEX1	Combination	Min	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
99	08GEX2	Combination	Max	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
99	08GEX2	Combination	Min	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
99	08GEY1	Combination	Max	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
99	08GEY1	Combination	Min	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
99	08GEY2	Combination	Max	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
99	08GEY2	Combination	Min	-0.11	0.00	31.94	0.00	0.13
100	ELU	Combination		-0.33	0.00	80.62	0.00	0.42
100	ELS	Combination		-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEX1	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEX1	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEX2	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEX2	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEY1	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEY1	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEY2	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQEY2	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EX1	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EX1	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EX2	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EX2	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EY1	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EY1	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EY2	Combination	Max	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	GQ12EY2	Combination	Min	-0.21	0.00	57.74	0.00	0.26
100	08GEX1	Combination	Max	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13
100	08GEX1	Combination	Min	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13
100	08GEX2	Combination	Max	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13
100	08GEX2	Combination	Min	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13
100	08GEY1	Combination	Max	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13
100	08GEY1	Combination	Min	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13
100	08GEY2	Combination	Max	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13
100	08GEY2	Combination	Min	0.11	0.00	31.94	0.00	-0.13

101	ELU	Combination		0.21	5.85	45.42	0.00	-0.26
101	ELS	Combination		0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEX1	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEX1	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEX2	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEX2	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEY1	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEY1	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEY2	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQEY2	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EX1	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EX1	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EX2	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EX2	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EY1	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EY1	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EY2	Combination	Max	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	GQ12EY2	Combination	Min	0.14	4.20	32.61	0.00	-0.18
101	08GEX1	Combination	Max	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
101	08GEX1	Combination	Min	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
101	08GEX2	Combination	Max	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
101	08GEX2	Combination	Min	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
101	08GEY1	Combination	Max	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
101	08GEY1	Combination	Min	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
101	08GEY2	Combination	Max	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
101	08GEY2	Combination	Min	0.02	2.40	18.63	0.00	-0.03
102	ELU	Combination		-0.21	5.85	45.42	0.00	0.26
102	ELS	Combination		-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEX1	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEX1	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEX2	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEX2	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEY1	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEY1	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEY2	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQEY2	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EX1	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EX1	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EX2	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EX2	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EY1	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EY1	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EY2	Combination	Max	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	GQ12EY2	Combination	Min	-0.14	4.20	32.61	0.00	0.18
102	08GEX1	Combination	Max	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
102	08GEX1	Combination	Min	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
102	08GEX2	Combination	Max	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
102	08GEX2	Combination	Min	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
102	08GEY1	Combination	Max	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
102	08GEY1	Combination	Min	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
102	08GEY2	Combination	Max	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
102	08GEY2	Combination	Min	-0.02	2.40	18.63	0.00	0.03
103	ELU	Combination		-0.20	-8.15	56.12	0.00	0.25
103	ELS	Combination		-0.14	-5.74	39.85	0.00	0.17
103	GQEX1	Combination	Max	-0.14	-5.74	39.85	0.00	0.17
103	GQEX1	Combination	Min	-0.14	-5.74	39.85	0.00	0.17

112	ELU	Combination		-0.24	0.00	43.30	0.00	0.30
112	ELS	Combination		-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEX1	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEX1	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEX2	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEX2	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEY1	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEY1	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEY2	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQEY2	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EX1	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EX1	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EX2	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EX2	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EY1	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EY1	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EY2	Combination	Max	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	GQ12EY2	Combination	Min	-0.18	0.00	31.03	0.00	0.22
112	08GEX1	Combination	Max	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
112	08GEX1	Combination	Min	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
112	08GEX2	Combination	Max	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
112	08GEX2	Combination	Min	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
112	08GEY1	Combination	Max	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
112	08GEY1	Combination	Min	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
112	08GEY2	Combination	Max	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
112	08GEY2	Combination	Min	-0.10	0.00	17.35	0.00	0.12
200	ELU	Combination		-4.15	0.00	73.79	0.00	-0.65
200	ELS	Combination		-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEX1	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEX1	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEX2	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEX2	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEY1	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEY1	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEY2	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQEY2	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EX1	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EX1	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EX2	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EX2	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EY1	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EY1	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EY2	Combination	Max	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	GQ12EY2	Combination	Min	-2.99	0.00	52.92	0.00	-0.46
200	08GEX1	Combination	Max	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24
200	08GEX1	Combination	Min	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24
200	08GEX2	Combination	Max	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24
200	08GEX2	Combination	Min	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24
200	08GEY1	Combination	Max	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24
200	08GEY1	Combination	Min	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24
200	08GEY2	Combination	Max	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24
200	08GEY2	Combination	Min	-1.82	0.00	29.79	0.00	-0.24

203	ELU	Combination		4.15	0.00	73.79	0.00	0.65
203	ELS	Combination		2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEX1	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEX1	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEX2	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEX2	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEY1	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEY1	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEY2	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQEY2	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EX1	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EX1	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EX2	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EX2	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EY1	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EY1	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EY2	Combination	Max	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	GQ12EY2	Combination	Min	2.99	0.00	52.92	0.00	0.46
203	08GEX1	Combination	Max	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
203	08GEX1	Combination	Min	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
203	08GEX2	Combination	Max	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
203	08GEX2	Combination	Min	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
203	08GEY1	Combination	Max	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
203	08GEY1	Combination	Min	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
203	08GEY2	Combination	Max	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
203	08GEY2	Combination	Min	1.82	0.00	29.79	0.00	0.24
213	ELU	Combination		7.00	-4.34	60.63	0.00	-0.53
213	ELS	Combination		5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEX1	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEX1	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEX2	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEX2	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEY1	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEY1	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEY2	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQEY2	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EX1	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EX1	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EX2	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EX2	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EY1	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EY1	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EY2	Combination	Max	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	GQ12EY2	Combination	Min	5.01	-3.13	43.66	0.00	-0.36
213	08GEX1	Combination	Max	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07
213	08GEX1	Combination	Min	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07
213	08GEX2	Combination	Max	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07
213	08GEX2	Combination	Min	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07
213	08GEY1	Combination	Max	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07
213	08GEY1	Combination	Min	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07
213	08GEY2	Combination	Max	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07
213	08GEY2	Combination	Min	2.71	-1.89	25.92	0.00	-0.07

216	ELU	Combination		-7.00	-4.34	60.63	0.00	0.53
216	ELS	Combination		-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEX1	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEX1	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEX2	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEX2	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEY1	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEY1	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEY2	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQEY2	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EX1	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EX1	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EX2	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EX2	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EY1	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EY1	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EY2	Combination	Max	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	GQ12EY2	Combination	Min	-5.01	-3.13	43.66	0.00	0.36
216	08GEX1	Combination	Max	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
216	08GEX1	Combination	Min	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
216	08GEX2	Combination	Max	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
216	08GEX2	Combination	Min	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
216	08GEY1	Combination	Max	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
216	08GEY1	Combination	Min	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
216	08GEY2	Combination	Max	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
216	08GEY2	Combination	Min	-2.71	-1.89	25.92	0.00	0.07
220	ELU	Combination		-5.74	0.00	114.88	0.00	-1.06
220	ELS	Combination		-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEX1	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEX1	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEX2	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEX2	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEY1	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEY1	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEY2	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQEY2	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EX1	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EX1	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EX2	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EX2	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EY1	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EY1	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EY2	Combination	Max	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	GQ12EY2	Combination	Min	-4.04	0.00	80.20	0.00	-0.73
220	08GEX1	Combination	Max	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24
220	08GEX1	Combination	Min	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24
220	08GEX2	Combination	Max	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24
220	08GEX2	Combination	Min	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24
220	08GEY1	Combination	Max	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24
220	08GEY1	Combination	Min	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24
220	08GEY2	Combination	Max	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24
220	08GEY2	Combination	Min	-1.73	0.00	28.94	0.00	-0.24

223	ELU	Combination		5.74	0.00	114.88	0.00	1.06
223	ELS	Combination		4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEX1	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEX1	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEX2	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEX2	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEY1	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEY1	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEY2	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQEY2	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EX1	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EX1	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EX2	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EX2	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EY1	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EY1	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EY2	Combination	Max	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	GQ12EY2	Combination	Min	4.04	0.00	80.20	0.00	0.73
223	08GEX1	Combination	Max	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
223	08GEX1	Combination	Min	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
223	08GEX2	Combination	Max	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
223	08GEX2	Combination	Min	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
223	08GEY1	Combination	Max	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
223	08GEY1	Combination	Min	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
223	08GEY2	Combination	Max	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
223	08GEY2	Combination	Min	1.73	0.00	28.94	0.00	0.24
236	ELU	Combination		-11.65	5.35	85.60	0.00	1.76
236	ELS	Combination		-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEX1	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEX1	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEX2	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEX2	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEY1	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEY1	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEY2	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQEY2	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EX1	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EX1	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EX2	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EX2	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EY1	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EY1	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EY2	Combination	Max	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	GQ12EY2	Combination	Min	-8.10	3.79	60.16	0.00	1.18
236	08GEX1	Combination	Max	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05
236	08GEX1	Combination	Min	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05
236	08GEX2	Combination	Max	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05
236	08GEX2	Combination	Min	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05
236	08GEY1	Combination	Max	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05
236	08GEY1	Combination	Min	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05
236	08GEY2	Combination	Max	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05
236	08GEY2	Combination	Min	-2.63	1.82	24.76	0.00	0.05

237	ELU	Combination		11.65	5.35	85.60	0.00	-1.76
237	ELS	Combination		8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEX1	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEX1	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEX2	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEX2	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEY1	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEY1	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEY2	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQEY2	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EX1	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EX1	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EX2	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EX2	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EY1	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EY1	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EY2	Combination	Max	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	GQ12EY2	Combination	Min	8.10	3.79	60.16	0.00	-1.18
237	08GEX1	Combination	Max	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05
237	08GEX1	Combination	Min	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05
237	08GEX2	Combination	Max	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05
237	08GEX2	Combination	Min	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05
237	08GEY1	Combination	Max	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05
237	08GEY1	Combination	Min	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05
237	08GEY2	Combination	Max	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05
237	08GEY2	Combination	Min	2.63	1.82	24.76	0.00	-0.05



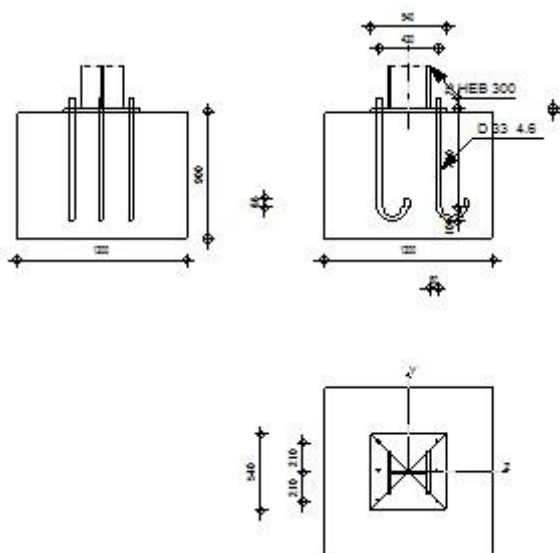
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014



Calcul du Pied de Poteau encastré

Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009 + CEB
Design Guide: Design of fastenings on concrete

Ratio
0.49



VIII-3-Calcul du Pied de Poteau encastré :

Général

Assemblage N°: 2
 Nom de l'assemblage : Pied de poteau encastré

Géométrie :

Poteau :

Profilé:

HEB 300

$L_c =$	5.00	[m]	Longueur du poteau
$\alpha =$	0.0	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	300	[mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	300	[mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	11	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	19	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau

$L_c =$	5.00	[m]	Longueur du poteau
$r_c =$	27	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	149.08	[cm ²]	Aire de la section du poteau
$I_{yc} =$	25165.70	[cm ⁴]	Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: ACIER E28

$f_{yc} =$	275.00	[MPa]	Résistance
$f_{uc} =$	405.00	[MPa]	Résistance ultime du matériau

Platine de prescellement :

$l_{pd} =$	540	[mm]	Longueur
$b_{pd} =$	540	[mm]	Largeur
$t_{pd} =$	25	[mm]	Epaisseur

Matériau: ACIER E28

$f_{ypd} =$	275.00	[MPa]	Résistance
$f_{upd} =$	405.00	[MPa]	Résistance ultime du matériau

Ancrage :

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

Classe =	4.6	Classe de tiges d'ancrage
$f_{yb} =$	240.00	[MPa] Limite de plasticité du matériau du boulon
$f_{ub} =$	400.00	[MPa] Résistance du matériau du boulon à la traction
$d =$	33	[mm] Diamètre du boulon
$A_s =$	6.94	[cm ²] Aire de la section efficace du boulon
$A_v =$	8.55	[cm ²] Aire de la section du boulon
$n_H =$	2	Nombre de colonnes des boulons
$n_V =$	3	Nombre de rangées des boulons
Ecartement $e_{Hi} =$	420	[mm]
Entraxe $e_{Vi} =$	210	[mm]

Dimensions des tiges d'ancrage :

$L_1 =$	75	[mm]
$L_2 =$	700	[mm]
$L_3 =$	200	[mm]
$L_4 =$	66	[mm]

Platine : $l_{wd} = 0 \text{ [mm]}$ Longueur $b_{wd} = 0 \text{ [mm]}$ Largeur $t_{wd} = 0 \text{ [mm]}$ Epaisseur**Coefficients de matériau :** $\gamma_{M0} = 1.00$ Coefficient de sécurité partiel $\gamma_{M2} = 1.25$ Coefficient de sécurité partiel $\gamma_c = 1.50$ Coefficient de sécurité partiel**Semelle isolée :** $L = 1200 \text{ [mm]}$ Longueur de la semelle $B = 1200 \text{ [mm]}$ Largeur de la semelle $H = 900 \text{ [mm]}$ Hauteur de la semelle**Béton :****Classe****BETON 20** $f_{ck} = 20.00 \text{ [MPa]}$ Résistance caractéristique à la compression**Mortier de calage :** $t_g = 0 \text{ [mm]}$ Epaisseur du mortier de calage $f_{ck,g} = 12.00 \text{ [MPa]}$ Résistance caractéristique à la compression $C_{f,d} = 0.30$ Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton**Soudures :** $a_p = 4 \text{ [mm]}$ Plaque principale du pied de poteau**Efforts****Cas: Calculs manuels** $N_{j,Ed} = -85.60 \text{ [T]}$ Effort axial $V_{j,Ed,y} = 5.35 \text{ [T]}$ Effort tranchant $V_{j,Ed,z} = -11.65 \text{ [T]}$ Effort tranchant $M_{j,Ed,y} = 1.76 \text{ [T*m]}$ Moment fléchissant

Résultats :**Zone comprimée :****Compression du béton :**

$f_{cd} = 13.33$ [MPa]	Résistance de calcul à la compression	EN 1992-1:[3.1.6.(1)]
$f_j = 19.75$ [MPa]	Résistance de calcul du matériau du joint sous la plaque d'assise	[6.2.5.(7)]
$c = t_p \sqrt{f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{M0})}$		
$c = 54$ [mm]	Largeur de l'appui additionnelle	[6.2.5.(4)]
$b_{eff} = 127$ [mm]	Largeur efficace de la semelle de tronçon T	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} = 408$ [mm]	Longueur efficace de la semelle de tronçon en T	[6.2.5.(3)]
$A_{c0} = 516.61$ [cm ²]	Zone de contact de la plaque d'assise avec la fondation	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$A_{c1} = 4561.58$ [cm ²]	Aire de calcul maximale de la répartition de la charge	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$F_{rd,u} = A_{c0}*f_{cd}*\sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \leq 3*A_{c0}*f_{cd}$		
$A_{c1} = 4561.58$ [cm ²]	Aire de calcul maximale de la répartition de la charge	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$\beta_j = 0.67$	Coefficient réducteur pour la compression	[6.2.5.(7)]
$f_{jd} = \beta_j * F_{rd,u} / (b_{eff} * l_{eff})$		
$f_{jd} = 26.41$ [MPa]	Résistance de calcul du matériau du joint	[6.2.5.(7)]
$A_{c,n} = 1216.38$ [cm ²]	Aire de compression efficace	[6.2.8.2.(1)]
$A_{c,y} = 516.61$ [cm ²]	Aire de flexion My	[6.2.8.3.(1)]
$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} * f_{jd}$		
$F_{c,Rd,n} = 327.62$ [T]	Résistance du béton à la compression	[6.2.8.2.(1)]
$F_{c,Rd,y} = 139.14$ [T]	Résistance du béton à la flexion My	[6.2.8.3.(1)]

Ail et âme du poteau en compression :

$CL = 1.00$	Classe de la section	EN 1993-1-1:[5.5.2]
$W_{pl,y} = 1868.67$ [cm ³]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{c,Rd,y} = 52.40$ [T*m]	Résistance de calcul de la section	EN1993-1-1:[6.2.5]

Ail et âme du poteau en compression :

$CL = 1.00$ Classe de la section à la flexion EN 1993-1-1:[5.5.2]

$h_{f,y} = 281$ [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

$$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$$

$F_{c,fc,Rd,y} = 186.48$ [T] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

Résistance de la semelle dans la zone comprimée :

$$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$$

$N_{j,Rd} = 327.62$ [T] Résistance de la semelle à l'effort axial [6.2.8.2.(1)]

$$F_{C,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$$

$F_{C,Rd,y} = 139.14$ [T] Résistance de la semelle dans la zone comprimée [6.2.8.3]

Contrôle de la résistance de l'assemblage :

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \text{ (6.24)} \quad 0.26 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.26)$$

$e_y = 21$ [mm] Excentricité de l'effort axial [6.2.8.3]

$z_{c,y} = 141$ [mm] Bras de levier $F_{C,Rd,y}$ [6.2.8.1.(2)]

$z_{t,y} = 210$ [mm] Bras de levier $F_{T,Rd,y}$ [6.2.8.1.(3)]

$M_{j,Rd,y} = 4.99$ [T*m] Résistance de l'assemblage à la flexion [6.2.8.3]

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0 \text{ (6.23)} \quad 0.35 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.35)$$

Cisaillement :**Pression du boulon d'ancrage sur la plaque d'assise :****Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$:**

$\alpha_{d,y} = 0.57$ Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$\alpha_{b,y} = 0.57$ Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$ [Tableau 3.4]

$k_{1,y} = 2.50$ Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} * \alpha_{b,y} * f_{up} * d * t_p / \gamma_{M2}$$

$F_{1,vb,Rd,y} = 38.94$ [T] Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise [6.2.2.(7)]

Cisaillement par l'effort $V_{i,Ed,z}$:

$\alpha_{d,z} = 0.57$ Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$\alpha_{b,z} = 0.57$ Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$ [Tableau 3.4]

$k_{1,z} = 2.50$ Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$F_{1,vb,Rd,z} = 38.94 [T]$ Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise [6.2.2.(7)]

Cisaillement du boulon d'ancrage:

$\alpha_b = 0.37$ Coef. pour les calculs de la résistance $F_{2,vb,Rd}$ [6.2.2.(7)]

$A_{vb} = 8.55 [cm^2]$ Aire de la section du boulon [6.2.2.(7)]

$f_{ub} = 400.00 [MPa]$ Résistance du matériau du boulon à la traction [6.2.2.(7)]

$\gamma_{M2} = 1.25$ Coefficient de sécurité partiel [6.2.2.(7)]

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$F_{2,vb,Rd} = 10.27 [T]$ Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier [6.2.2.(7)]

Rupture du béton par effet de levier:

$N_{Rk,c} = 14.34 [T]$ Résistance de calc. pour le soulèvement CEB [9.2.4]

$k_3 = 2.00$ Coef. dépendant de la longueur de l'ancrage CEB [9.3.3]

$\gamma_{Mc} = 2.16$ Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$$

$F_{v,Rd,cp} = 13.28 [T]$ Résistance du béton à l'effet de levier CEB [9.3.1]

Ecrasement du bord du béton:**Cisaillement par l'effort $V_{i,Ed,y}$:**

$V_{Rk,c,y}^0 = 74.39 [T]$ Résistance caractéristique du boulon d'ancrage CEB [9.3.4.(a)]

$\psi_{A,v,y} = 0.67$ Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage CEB [9.3.4]

$\psi_{h,v,y} = 1.00$ Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation CEB [9.3.4.(c)]

$\psi_{s,v,y} = 0.90$ Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement CEB [9.3.4.(d)]

$V_{Rk,c,y}^0 = 74.39 [T]$	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(a)]
$\psi_{ec,V,y} = 1.00$	Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(e)]
$\psi_{\alpha,V,y} = 1.00$	Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	CEB [9.3.4.(f)]
$\psi_{ucr,V,y} = 1.00$	Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB [9.3.4.(g)]
$\gamma_{Mc} = 2.16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y}^0 * \psi_{A,V,y} * \psi_{h,V,y} * \psi_{s,V,y} * \psi_{ec,V,y} * \psi_{\alpha,V,y} * \psi_{ucr,V,y} / \gamma_{Mc}$		
$F_{v,Rd,c,y} = 20.66 [T]$	Résistance du béton pour l'écrasement du bord	CEB [9.3.1]

Cisaillement par l'effort $V_{i,Ed,z}$:

$V_{Rk,c,z}^0 = 74.39 [T]$	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(a)]
$\psi_{A,V,z} = 0.67$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.3.4]
$\psi_{h,V,z} = 1.00$	Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation	CEB [9.3.4.(c)]
$\psi_{s,V,z} = 0.90$	Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement	CEB [9.3.4.(d)]
$\psi_{ec,V,z} = 1.00$	Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(e)]
$\psi_{\alpha,V,z} = 1.00$	Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	CEB [9.3.4.(f)]
$\psi_{ucr,V,z} = 1.00$	Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB [9.3.4.(g)]
$\gamma_{Mc} = 2.16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z}^0 * \psi_{A,V,z} * \psi_{h,V,z} * \psi_{s,V,z} * \psi_{ec,V,z} * \psi_{\alpha,V,z} * \psi_{ucr,V,z} / \gamma_{Mc}$		
$F_{v,Rd,c,z} = 20.66 [T]$	Résistance du béton pour l'écrasement du bord	CEB [9.3.1]

Glissement de la semelle :

$C_{f,d} = 0.30$	Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed} = 85.60 [T]$	Effort de compression	[6.2.2.(6)]
$F_{f,Rd} = C_{f,d} * N_{c,Ed}$		

$$F_{f,Rd} = 25.68 \text{ [T]} \quad \text{Résistance au glissement} \quad [6.2.2.(6)]$$

Contrôle du cisaillement :

$$V_{j,Rd,y} = n_b * \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd,y}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,y} = 87.30 \text{ [T]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0.06 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.06)$$

$$V_{j,Rd,z} = n_b * \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd,z}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,z} = 87.30 \text{ [T]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

$$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0.13 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.13)$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0.19 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.19)$$

Soudures entre le poteau et la plaque d'assise :

$$\sigma_{\perp} = 83.14 \text{ [MPa]} \quad \text{Contrainte normale dans la soudure} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{\perp} = 83.14 \text{ [MPa]} \quad \text{Contrainte tangentielle perpendiculaire} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{y||} = 11.13 \text{ [MPa]} \quad \text{Contrainte tangentielle parallèle à } V_{j,Ed,y} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{z||} = -54.51 \text{ [MPa]} \quad \text{Contrainte tangentielle parallèle à } V_{j,Ed,z} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\beta_w = 0.85 \quad \text{Coefficient dépendant de la résistance} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\sigma_{\perp} / (0.9 * f_{uL} / \gamma_{M2}) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0.29 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.29)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{y||}^2 + \tau_{z||}^2)) / (f_{uL} / (\beta_w * \gamma_{M2}))} \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0.44 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.44)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{z||}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_{uL} / (\beta_w * \gamma_{M2}))} \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0.49 < 1.00 \quad \text{vérifié} \quad (0.49)$$

Rigidité de l'assemblage :

Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$:

$$b_{eff} = 127 \text{ [mm]} \quad \text{Largeur efficace de la semelle de tronçon T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$l_{eff} = 408 \text{ [mm]} \quad \text{Longueur efficace de la semelle de tronçon en T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$k_{13,y} = E_c * \sqrt[3]{(b_{eff} * l_{eff}) / (1.275 * E)}$$

$$k_{13,y} = 25 \text{ [mm]} \quad \text{Coef. de rigidité du béton comprimé} \quad [\text{Tableau 6.11}]$$

$$l_{eff} = 253 \text{ [mm]} \quad \text{Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2} \quad [6.2.6.5]$$

$$m = 55 \text{ [mm]} \quad \text{Pince boulon-bord de renforcement} \quad [6.2.6.5]$$

$$k_{15,y} = 0.425 * l_{eff} * t_p^3 / (m^3)$$

$$k_{15,y} = 10 \text{ [mm]} \quad \text{Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction} \quad [\text{Tableau 6.11}]$$

$$L_b = 306 \text{ [mm]} \quad \text{Longueur efficace du boulon d'ancrage} \quad [\text{Tableau 6.11}]$$

$$k_{16,y} = 1.6 * A_b / L_b$$

$k_{16,y} = 4$ [mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,y} = 0.44$	Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,y} = 21530.56$ [T*m]	Rigidité en rotation initiale	[Tableau 6.12]
$S_{j,rig,y} = 32333.96$ [T*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$	<u>semi rigide</u>	[5.2.2.5.(2)]

Composant le plus faible:

Soudures assemblant le fut du poteau a plaque d'assise

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme	Ratio	0.49
---	-------	------



Chapitre IX



Protection de la structure

IX-Protection de la structure

IX-1-Résistance vis-à-vis la corrosion :

La corrosion est un facteur parmi plusieurs facteurs qu'on doit prendre en compte pour la protection des structures, intervienne la durée de vie planifiée de la construction et le type d'environnement dans lequel elle sera érigée .les différents procédés de préparation de surface sont passés en revue.

L'emploi des peintures pour les structures est traité sous ses principaux aspects :

- *Bases de choix des peintures et des systèmes de peinture.*
- *modes d'application et travaux d'entretien des peintures*
- *les produits grenaillés et peints font partie des solutions possibles.*

Parmi les revêtements métalliques des structures, le zinc est la plus utilisé en raison de sa protection sacrificielle, aussi bien la galvanisation par trempage à chaud

IX-1-1-Considération à la protection à la corrosion :

L'acier est un alliage de fer de carbone, d'autres éléments étant ajoutés selon le procédé de fabrication et la performance finale exigée. Les aciers de construction contiennent de 0,12à0, 24%de carbone. L'acier se combine facilement avec l'oxygène et l'eau pour produire un oxyde de fer ressemblant au minerai de fer d'origine.

La corrosion électrochimique peut être concentrée en certains points .dans ce cas, un taux élevé de destruction aux points ne représentant pas plus de 1% de la surface totale peut affecter la résistance d'un composant en acier.

L'explication de cette concentration élevée due essentiellement à la présence de calamine qui est un matériau physiquement instable, n'est pas une couche continue et ne représente pas une barrière protectrice

IX-1-2-Milieus corrosifs :

La corrosion est susceptible de se produire lorsqu'une ou plusieurs conditions sont présentes :

- *Un taux d'humidité supérieur à 60%*
- *Une pollution atmosphérique qui apporte des impuretés comme les sulfites et les chlorites*
- *La présence de calamine avec des cassures ou discontinuités.*

Avant de décider de la manière de protéger l'acier, il convient de s'avoir :

- 1. les conditions générales d'environnement.*
- 2. la susceptibilité de ses conditions de se modifier dans un avenir prévisible.*

3. *une pollution locale, à titre d'exemple par le dioxyde de soufre, pourrait-elle rendre l'environnement plus agressif qu'il y paraît à première vue.*
4. *lorsqu'il s'agit de déterminer le système de protection d'un projet, celui-ci doit-il être divisé en différentes parties du point de vue environnemental ou bien le cas le plus défavorable peut-il être généralisé.*
5. *des conditions spéciales, telle que des taches d'eau ou des poches d'eau résiduelles pourraient-elle exclure l'usage de revêtements déterminés ?*
6. *l'entretien du système de protection choisi peut-il être réalisé efficacement et économiquement pendant toute la durée de vie exigée de la structure ?*

IX-2-Résistance au feu :

Bien qu'il n'existe pas de règlement Algérien pour l'étude du comportement des structures métalliques vis à vis du feu, certaines dispositions doivent être prises pour se prémunir des risques occasionnés par le feu sur la structure.

La résistance au feu est le temps pendant lequel un élément de construction peut jouer le rôle qui lui est dévolu, malgré l'action de l'incendie.

Matériau incombustible, l'acier n'en est pas moins un bon conducteur de chaleur. Non protégées, les sections en acier s'échauffent alors rapidement au cours d'un incendie et la température atteinte par les profilés dépend de leur massivité. Cette notion désigne le quotient de la masse linéique par la surface exposée linéique. Dans les tableaux, on exprime aussi de façon pratique cette grandeur par le facteur de massivité défini comme le quotient du périmètre exposé au feu p (m) par la section A (cm²), soit Facteur de massivité : p/A (en m-1)

IX-3-Les types de protection :

La durée de stabilité au feu d'un profilé métallique sans traitement spécifique n'excède que rarement la demi-heure lorsqu'il est placé sous une charge courante.

Pour augmenter le délai et ainsi satisfaire aux exigences, il est donc nécessaire de limiter l'échauffement des profilés en acier.

La première solution est basée sur la mise en œuvre d'un élément entre l'acier et la zone de feu. Cet élément de protection thermique interposé peut être de nature diverse et en contact ou non avec l'acier conduisant à une famille de trois systèmes :

- *la protection par écran, horizontal ou vertical.*
- *le refroidissement par eau.*
- *Protection par matériel contre incendies.*

IX-3-1-La protection par écran :

C'est le principe le plus couramment utilisé. La notion de protection rapportée est associée à l'utilisation du facteur de massivité pour la détermination des températures atteintes par les profils et par conséquent pour la composition des éléments de protection. On distingue trois types de produits :

- **Les produits projetés ou flocages :**

Peuvent être fibreux ou pâteux. Ils sont généralement composés de fibres minérales, de vermiculite, de laitier ou de plâtre accompagnés d'un liant. Effectuée à l'aide d'un appareillage spécial, la projection a lieu en milieu humide. Plusieurs couches peuvent être nécessaires allongeant alors les temps de séchage.

Les durées de stabilité au feu obtenues peuvent atteindre 6 heures.

- **Les peintures intumescentes :**

Ce sont des produits dont la particularité réside dans la transformation à la chaleur.

A froid, l'épaisseur du film varie de 0,5 à 4 mm d'épaisseur. Porté à une Température entre 100°C et 200°C, le produit gonfle et se transforme en mousse, atteignant des épaisseurs de 30 à 40 mm, qui assure la protection de l'élément métallique.

Ces peintures sont mises en œuvre selon un mode traditionnel : pistolet ou brosse, mais nécessitent une grande rigueur dans leur phase d'application afin de s'assurer de l'homogénéité de la protection.

La conservation de l'esthétique de l'acier constitue le principal intérêt de ce type de protection qui peut atteindre des degrés de résistance de 1h voire pour certaines solutions 1h½ à 2h.

- **Les produits en plaques :**

Se sont à base de plâtre, de vermiculite, de fibres Minérales ou de composés silico-calcaires.

Le principe consiste à former un caisson autour de l'élément métallique. Les modes de fixation sont mécaniques (vis, agrafes) ou par collage.

Les risques de passage de gaz chauds au droit des joints requièrent une attention

Particulière lors de l'exécution.

IX-4-Les systèmes irrigués :

Ce procédé est employé avec des profils creux remplis en permanence d'eau, amenée ou non à circuler selon les systèmes. Il repose sur le maintien contrôlé de la température.

Dans les cas de circulation d'eau, il y a échauffement au niveau du foyer d'incendie puis déplacement de l'eau chauffée et remplacement par de l'eau froide grâce à un principe de thermosiphon au sein du circuit. Sans circulation, chaque poteau est rempli d'eau et possède un dispositif autonome de régulation.

$T_{\text{eau}} < 110^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{\text{acier}} < 250^{\circ}\text{C}$

Complexe à mettre en œuvre, ce type de procédé nécessite un entretien régulier.

a) Protection par matériel contre incendies : pour ce type de protection, il faut utiliser des extincteurs à anhydrique carbonique liquéfié placés dans différents endroits accessibles de la structure et des systèmes sprinkler à déclenchement automatique liés à une alarme antiincendie.

Conclusion

Conclusion

La réalisation du présent mémoire a été pour moi une occasion d'utiliser et d'approfondir les connaissances théoriques acquises durant le cycle de formation De Master, et surtout d'apprendre les différentes techniques de calcul et Règlements régissant le domaine étudié.

De plus, l'utilisation de l'outil informatique pour l'analyse et le calcul des Structures est très bénéfique en temps et en effort à condition de maîtriser les Notions de bases des sciences de l'ingénieur, ainsi que le logiciel lui-même.

Aussi, il est important de mentionner que beaucoup reste à faire pour enrichir Mes connaissances et seul le travail continu et la volonté de recherche pourront M'aider à atteindre tous les objectifs tracés.

En dernier, ce travail m'a permis de bien mettre en œuvre mes modestes connaissances de génie civil, et de les élargir, chose qui m'aidera dans la vie professionnelle.

Bibliographie

Bibliographie

- ❖ Titre : ***DTR Règlement Neige et vent RNV 99***
-Edition : ***ISBN, Alger, 2003***
- ❖ Titre : ***DTR Règles parasismiques algériennes RPA 99 version 2003***
-Edition : ***ISBN, Alger, 2000***
- ❖ Auteur : ***Jacques BROZZETTI***
Titre : ***EROCOUDE 3 Calcul des structures en acier***
Partit1-1 : ***Règles générales et règles pour les bâtiments***
-Edition : ***EYROLLES, paris, 1996***
- ❖ Auteur : ***Jean MOREL***
Titre : ***Calcul des structures métalliques selon L'EROCOUDE3***
-Edition : ***EYROLLES, paris, quatrième Tirage 1999***
- ❖ Auteur : ***Jean MOREL***
Titre : ***structures métalliques CM66-additif 80-EROCOUDE 3***
-Edition : ***EYROLLES, paris, 1995***