

## **PARTIE I : ETUDE DU RISQUE SISMIQUE**

- Catégorie d'importance : III  
Zone sismique : 3
- En conséquence le risque doit être pris en compte avec un traitement selon la norme Eurocode 8 avec  $a_{gr} = 1,1 \text{ m/s}^2$

## **PARTIE II : ANALYSE STRUCTURELLE**

### **2.1 Stabilité sous les seules charges permanentes et d'exploitation $q_{GQ}$**

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon gauche				X

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon central				X

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon droit				X

Suspente AF	$\Phi$	C	T	F
			X	

Eléments C, J	$\Phi$	C	T	F
				X

Eléments IJ	$\Phi$	C	T	F
				X

### **2.2 Stabilité sous les seules charges de vent $F_v$ et $q_v$**

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon gauche		X		X

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon central				X

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon droit			X	X

Suspente AF	$\Phi$	C	T	F
	X			

Eléments CH	$\Phi$	C	T	F
		X		

Eléments IJ	$\Phi$	C	T	F
			X	

### **2.3 Stabilité sous les charges combinées $q_{GQ}$ , $F_v$ et $q_v$**

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon gauche		X		X

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon central				X

Méga-poutre AB	$\Phi$	C	T	F
Tronçon droit			X	X

Suspente AF	$\Phi$	C	T	F
			X	

Eléments CH	$\Phi$	C	T	F
		X		X

Eléments IJ	$\Phi$	C	T	F
			X	X

## **PARTIE III : ANALYSE COMPARATIVE DE COMPOSANTS**

### **31 Choix du plancher**

- Le plancher bas du dernier niveau de cet immeuble de bureaux est situé à une hauteur de 29 m au dessus du sol environnant, hauteur supérieure à 28 m. Le bâtiment rentre dans la catégorie des **immeubles de grande hauteur**. Article R 122-2

La classe du bâtiment *à usage de bureaux* est : **GHW 1**. Article R 122-5

- Degré de résistance au feu pour les composants de plancher de niveau supérieur à 8 m : **une heure**. Article R 4216-24

De plus, immeuble de grande hauteur, le degré de résistance au feu passe à **deux heures**. Arrêté du 30 décembre 2011.

- Composant Cofraplus 220 :

Le degré de résistance au feu est ici **REI 120**. Pour le Cofraplus 220 : **Hc<sub>min</sub> = 120 mm**

Poids total de plancher

$$\text{Surface totale de plancher : } S = 7 (19,5^2 - (6,9 \times 10,13)) = 2527 \text{ m}^2$$

$$\text{Poids total : } P = 2527 \times 408 = \mathbf{1031016 \text{ daN} = 1031 \text{ Tonnes}}$$

- Composant Cofradal 200

$$\text{Poids total : } P = 2527 \times 240 = 606480 \text{ daN} = \mathbf{607 \text{ Tonnes}}$$

### **32 La maîtrise d'œuvre s'oriente vers la solution Cofradal 200**

- Portée: 6,9 m
- Portée admissible: 7 m avec des aciers HA16.

## **PARTIE IV : ETUDE DE LA SUSPENTE AF**

### **41 Collecte d'informations**

- Actions surfaciques en présence sur les planchers.

Charges permanentes	Valeurs surfaciques en kN/m <sup>2</sup>
Plancher Cofradal 200	2,4
Equipements divers et revêtements sur plancher.	0,25 donné
Total	2,65

Charge d'exploitation	Catégorie d'usage	Valeur surfacique en kN/m <sup>2</sup>
	Type bureau	2,5

- Aire de reprise de plancher relative à la suspenste.

$$A = \left( \frac{10,3}{2} + 4,6 \right) \times \frac{6,9}{2} = 33,64 \text{ m}^2$$

## **42 Charges permanentes**

- Longueur de poutre périphérique reprise :  $L = 6,9/2 + 19,5/2 = 13,2 \text{ m}$   
Force résultante poutre :  $F_{GPP} = m_l \times g \times L = 75 \times 10 \times 13,2 = 9900 \text{ N} = 9,9 \text{ kN}$
- Force résultante plancher :  $F_{GPL} = \text{valeur surfacique} \times A = 2,65 \times 33,64 = 89,2 \text{ kN}$
- Force résultante totale :  $F_G = F_{GPP} + F_{GPL} = 99,1 \text{ kN}$

## **43 Charge d'exploitation**

- Force résultante:  $F_Q = \text{valeur surfacique} \times A = 2,5 \times 33,64 = 84,1 \text{ kN}$

## **44 Combinaisons de charges**

- $G + Q \quad F_{ELS} = 99,1 + 84,1 = 183,2 \text{ kN}$
- $1,35G + 1,5Q \quad F_{ELU} = 260 \text{ kN}$

## **45 Conception**

- La sollicitation en effort normal de traction diminue par palier plus les sections se rapprochent du niveau 0. Les sections peuvent donc être réduites en ce sens.

## **46 Déformation**

- Allongement du tronçon EF

$$\Delta_{EF} = \frac{183000 \times 4,75}{210000 \cdot 10^6 \times 72,91 \cdot 10^{-4}} = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,57 \text{ mm}$$

- Allongement des autres tronçons

$$\Delta_{DE} = 2\Delta_{EF} = 1,14 \text{ mm}$$

$$\Delta_{CD} = 3\Delta_{DE} = 1,71 \text{ mm}$$

$$\Delta_{AC} = 4\Delta_{DE} = 2,28 \text{ mm}$$

- Déplacement du nœud F

$$\delta_F = \Sigma \Delta_{ij} = 5,7 \text{ mm}$$

## 47 Résistance

### Vérification ELU

- Tronçon le plus sollicité : AC

Effort sollicitant :  $N_{Ed} = 1040 \text{ kN}$

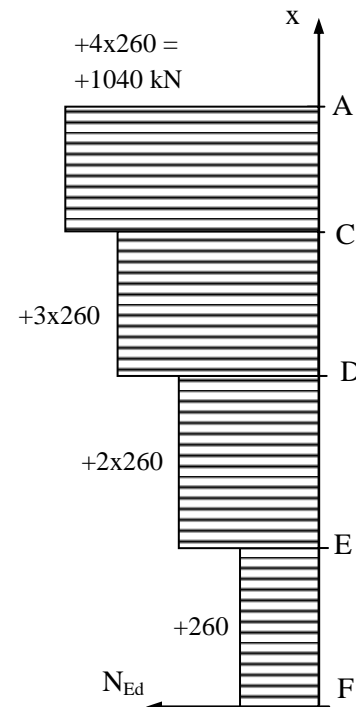
- Effort résistant :

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y = 7291 \times 355 = 2588 \text{ kN}$$

- Condition de résistance en section brute :

En traction :  $N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$

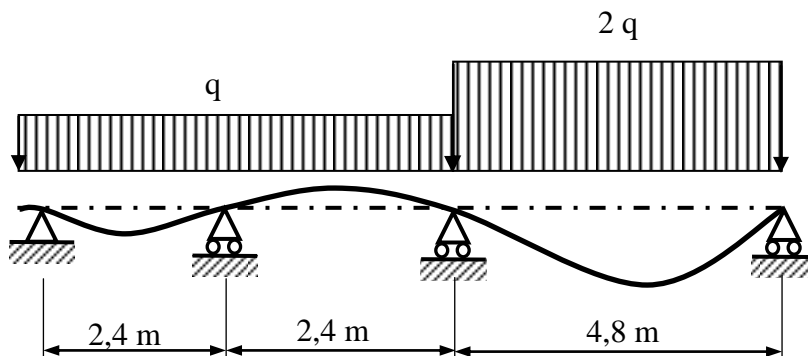
$1040 \leq 2588$  la condition est satisfaite



## PARTIE V : ETUDE DES U SUPPORT DE PLANCHER

### 51 Modélisation d'un U support de plancher

- Modélisation et déformée.



### 52 Etude statique: équilibre du tronçon CD

- 4 inconnues d'actions extérieures  $k_e$  :  $X_c$ ,  $Y_c$ ,  $M_c$  et  $Y_D$

Degré d'hyperstatisme :  $n = \sum k_e - 3 = 1$

- Inconnues restantes : PFS

$$\sum X = X_c = 0$$

$$\sum Y = Y_c + Y_D - q \cdot L = 0$$

$$\sum M = M_c(F_{ext}) = M_c + L Y_D - \frac{L}{2} \cdot (q \cdot L) = 0$$

$$X_c = 0$$

$$Y_c = -Y_D + q \cdot L = 0 = -\frac{3qL}{8} + qL = +\frac{5qL}{8} = +132 \text{ kN}$$

$$Y_D = \frac{qL}{2} - \frac{M_c}{L} = \frac{qL}{2} - \frac{qL}{8} = \frac{3qL}{8} = +79,2 \text{ kN}$$

### 53 Etude des sollicitations sur le tronçon CD

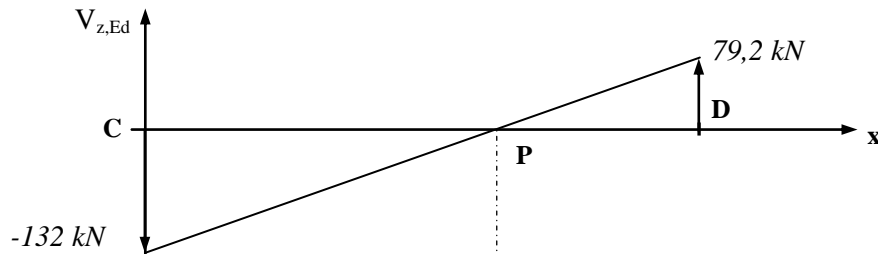
- Effort tranchant**

La charge sur le tronçon est une charge linéique uniforme, l'évolution de l'effort tranchant est représentée par une fonction affine : un segment de droite.

Deux points suffisent pour tracer :

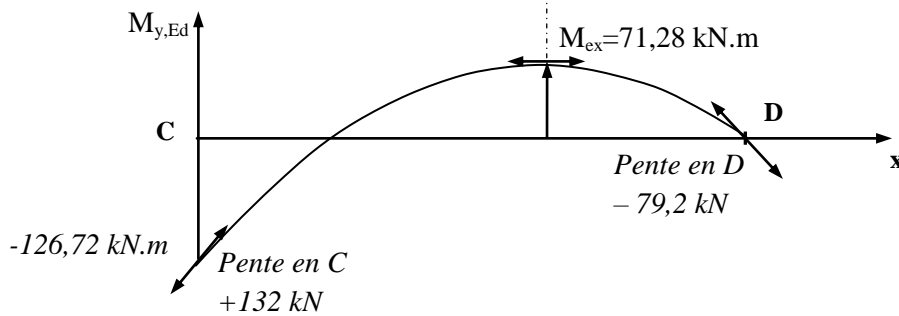
$$V_D = +Y_D = +79,2 \text{ kN} \quad V_C = -Y_C = -132,0 \text{ kN}$$

Forces de droite                      Forces de gauche



- Moment fléchissant**

La charge sur le tronçon est une charge linéique uniforme, l'évolution du moment fléchissant est représentée par une parabole.



- Calculs et valeurs caractéristiques.**

$$M_C = -M_C = -\frac{qL^2}{8} = -126,72 \text{ kN.m} \quad M_D = 0.Y_D = 0$$

Forces de gauche                      Forces de droite

- Position et valeur du moment à l'extremum :

$$\text{Position telle que } M'(x_P) = -V(x_P) = 0 \quad \frac{x_P}{132} = \frac{L}{132 + 79,2} \quad x_P = 3,00 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Valeur : } M_{ex} = M_{(x_P)} &= +(L - x_P).Y_D - \frac{(L - x_P)^2}{2} \cdot q(L - x_P) \\ &= (4,8 - 3).79,2 - \frac{(4,8 - 3)^2}{2} \cdot 44 = +71,28 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Coefficients directeurs des tangentes en C et D:

$$a_C = -V_C = +132 \text{ kN} \quad a_D = -V_D = -79,2 \text{ kN}$$

## 541 ELU : vérification en section

La section est de classe 1, la vérification peut être menée en plasticité :

### Efforts résistants plastiques

$$M_{ply,Rd} = W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 358 \times 355 / 1 = 127,09 \text{ kN.m}$$

$$V_{plz,Rd} = \frac{A_{vz} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 2371 \times 355 / \sqrt{3} = 485,95 \text{ kN}$$

### Conditions de résistance

- Interaction entre effort tranchant et moment fléchissant :

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 V_{plz,Rd} ? \quad 132 \leq 242,9 \quad \text{vrai pour la section la plus chargée}$$

L'effort tranchant est négligeable de fait pour toute section, il n'y a pas d'interaction.

- Résistance au cisaillement seul :  $V_{z,Ed} \leq V_{plz,Rd} ?$

$$132 \leq 485,9 \quad \text{condition satisfaite pour la section la plus chargée et donc pour toutes les autres.}$$

Remarque : la condition d'interaction couvre la condition de résistance à l'effort tranchant.

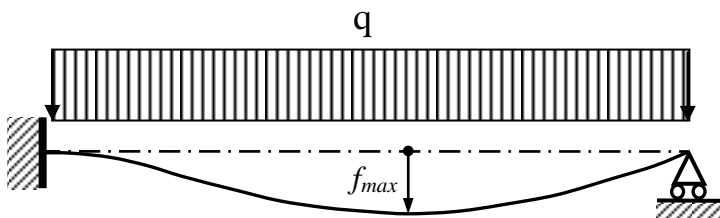
- Résistance en flexion pure :  $M_{y,Ed} \leq M_{ply,Rd} ?$

La section critique est celle de l'encastrement avec le maxi en moment.

$$126,7 \leq 127,09 \quad \text{La condition est satisfaite et la barre est vérifiée en section.}$$

## 542 ELS

- Allure de la déformée



- Valeur de la flèche admissible  $w_{max} = L/200 = 480/200 = 2,40 \text{ cm}$
- Valeur de la flèche de calcul  $f_{Ed}$  et conclusion

$$f_{Ed} = \frac{q_{ELS} \cdot L^4}{192 \cdot E \cdot I_y} = \frac{31000 \times 4,8^4}{192 \times 210000 \cdot 10^6 \times 3600 \cdot 10^{-8}} = 0,0113 \text{ m} = 1,13 \text{ cm}$$

$$\text{Condition ELS : } f_{Ed} \leq w_{max} \quad 1,13 \leq 2,40 \quad \text{la condition est satisfaite}$$

## **PARTIE VI : ETUDE D'UNE MEGA-POUTRE**

### **61 Classe d'exécution**

		Justificatif
Classe de conséquence de l'ouvrage	<b>CCO.2b</b>	hauteur > 28 m
Famille d'élément	<b>E</b>	Poutres treillis de portée inférieure ou égale à 35 mètres « Élément courant de structure principale », donc famille <b>E</b>
Classe de conséquence de l'élément structural	<b>CC2</b>	
Catégorie de service	<b>SC2</b>	Elément calculé pour les actions sismiques en classe de ductilité DCM.
Catégorie de production	<b>PC2</b>	Nuance d'acier $\geq$ S355
Classe d'exécution	<b>EX3</b>	

- Citer quelques prescriptions relatives à la classe EX3

	Prescriptions
Conception	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sections de classe 1 ou 2</li> <li>- Acier S355</li> </ul>
Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence du certificat de contrôle sur la nuance d'acier</li> <li>- Exécution du perçage, poinçonnage obligatoirement suivi d'un alésage.</li> <li>- Soudage : rédaction d'un DMOS couvert par un QMOS</li> <li>- Les soudeurs doivent être agréés</li> </ul>
Montage sur site	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérification du mode opératoire de serrage des boulons.</li> <li>- Des plans de montage doivent être fournis pour assurer la stabilité structurale pendant l'exécution.</li> </ul>

### **62 Caractéristiques de la section de la diagonale IJ**

- Caractéristiques du plat :

$$A_p = 3 \times 40 = 120 \text{ cm}^2$$

$$I_{Gy} = 3 \times 40^3 / 12 = 16000 \text{ cm}^4 \quad I_{Gz} = 40 \times 3^3 / 12 = 90 \text{ cm}^4$$

- Aire de la section brute :  $A = 120 + 2 \times 76,35 = 272,7 \text{ cm}^2$
- $I_{Gy} = 16000 + 2 \times 2851 = 21702 \text{ cm}^4$
- $I_{Gz} = 90 + 2(2851 + 76,35 \times (5,68 + 1,5)^2) = 13664 \text{ cm}^4$

### 63 Vérification ELU de la diagonale comprimée IJ

- $L_{cry} = 0,9 L = 7,13 \text{ m}$   
 $L_{crz} = L = 7,93 \text{ m}$
- Effort normal résistant au flambement :

$$\lambda_y = L_{cry}/i_y = 7,13/0,0892 = 79,93$$

$$\overline{\lambda}_y = \lambda_y / \lambda_1 = 79,93/76,4 = 1,046 \left. \begin{array}{l} \text{abaque : } \chi_y = 0,53 \\ \text{courbe c} \end{array} \right\} N_{by,Rd} = \chi_y \cdot A \cdot f_y = 0,53 \times 27270 \times 355 = 5130 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = L_{crz}/i_z = 7,93/0,0708 = 112,00$$

$$\overline{\lambda}_z = \lambda_z / \lambda_1 = 112/76,4 = 1,466 \left. \begin{array}{l} \text{abaque : } \chi_z = 0,33 \\ \text{courbe c} \end{array} \right\} N_{bz,Rd} = \chi_z \cdot A \cdot f_y = 0,33 \times 27270 \times 355 = 3194 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd} ; N_{b,z,Rd}) = 3194 \text{ kN}$$

- Vérification de la barre:  
Condition de résistance  $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$   
 $2460 \leq 3194$  la condition est satisfaite

### 71 Vérification partielle de l'assemblage de la membrure supérieure

- Identifier les modes de ruine à envisager
  - Résistance des boulons au cisaillement
  - Résistance de l'âme et des éclisses à la pression diamétrale
  - Résistance en section nette de l'âme du HEA500
  - Résistance en section nette des éclisses
  - Résistance à l'arrachement de bloc

- **Spécificité des assemblages longs pour la résistance des boulons au cisaillement..**

$$L_j = 8 \times 150 = 1200 \text{ mm} \quad 15.d = 15 \times 30 = 450 \text{ mm}$$

Ici  $L_j > 15.d$  il faut donc réduire la résistance des boulons au cisaillement du coefficient  $\beta_{LF}$

$$\beta_{LF} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200 d} = 1 - \frac{1200 - 15 \cdot 450}{200 \cdot 30} = 0,075 \quad \text{mais limitation : } \beta_{LF} = 0,75$$

- **Vérification des boulons au cisaillement**

$$\text{Ici deux plans de cisaillement, l'effort sollicitant par plan vaut : } F_{v,Ed} = \frac{3310}{2 \times 18} = 91,95 \text{ kN}$$

$$\text{Effort résistant par plan de cisaillement : } F_{v,Rd} = \beta_{LF} \cdot \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = 0,75 \cdot \frac{0,6 \times 800 \times 561}{1,25} = 161,5 \text{ kN}$$

$$\text{Condition de résistance : } F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} \text{ soit } 91,75 \leq 161,5 \text{ La condition est vérifiée}$$



## 72 Conception de l'assemblage de la membrure inférieure

