

---

Prof. Alain Nussbaumer

## COURS CIVIL 526. EXEMPLE D'EXAMEN

### **CONTRÔLE DU COURS (reprise fichier : INFO\_Notation CIVIL 526\_session2022-23-Ecrit.pdf)**

La notation est basée sur deux rendus d'exercices, pour 10% chacun, et de la note obtenue à l'examen final, pour 80%.

Les rendus d'exercices sont sur les sujets fatigue et incendie, voir le planning du cours.

L'examen, durant la session d'hiver – janvier 2023, est écrit et concerne l'ensemble de la matière enseignée au cours ainsi que l'ensemble des exercices, voir planning.

#### ***Déroulement de l'examen écrit***

Vous devrez avoir avec vous et présenter votre carte d'étudiant à l'entrée.

L'examen dure 3 h et la donnée contient 3 à 4 problèmes (si 4 alors 2 petits problèmes) à résoudre du type de ceux des exercices.

Un nombre de points est associé à chaque question de l'examen. Le total des points qu'il est possible d'obtenir en répondant juste à 100% des questions est supérieur à celui nécessaire pour obtenir un 6. Typiquement, l'examen est noté sur un nombre de points de 66 points au total, la note maximale de 6.0 étant obtenue avec 60 points. Vous pouvez donc choisir de ne pas répondre à une ou deux questions d'un problème sans pénalité.

#### ***Documentation***

**Vous avez le droit à toute la documentation et notes du cours (TGC et corrigés d'exercices y compris).**

**Vous devez avoir avec vous vos tables SZS C4 et C5 pour la construction métallique (si besoin contactez-moi au préalable pour en emprunter) et les normes SIA nécessaires.**

Les autres infos si besoin (telles que nomogramme, tableaux section mixte, poteau mixte, déversement, facteur d'intensité de contrainte, ...) seront à disposition avec la donnée.

#### ***Remarques***

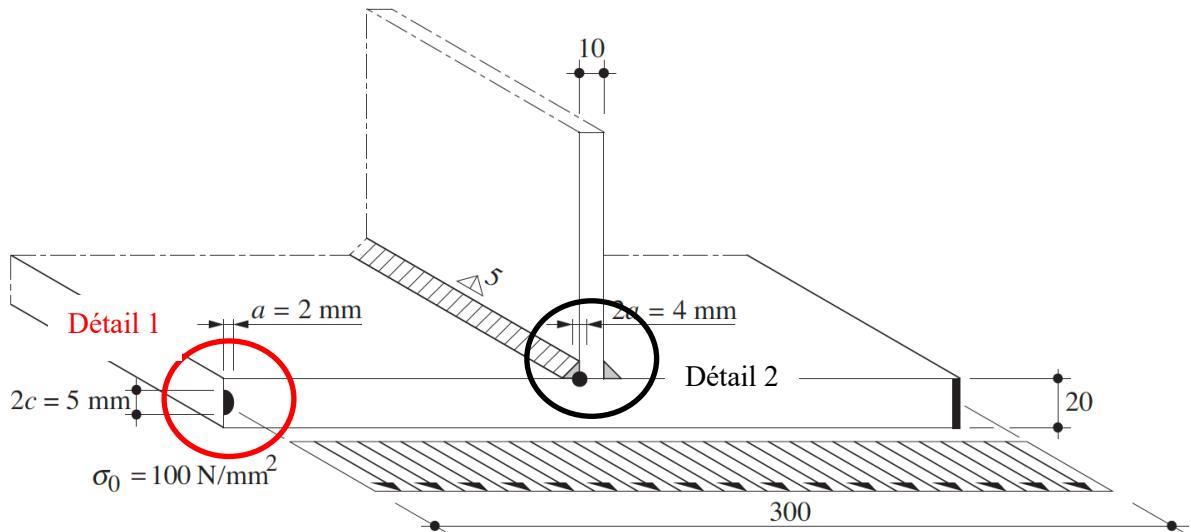
Apporter avec vous le jour de l'examen une **machine à calculer** chargée, et n'oubliez pas de prendre une règle et un crayon (vous devez pouvoir dessiner des détails de construction, et à l'échelle svp).

**Tous les téléphones portables seront éteints et déposés à l'entrée de la salle.**

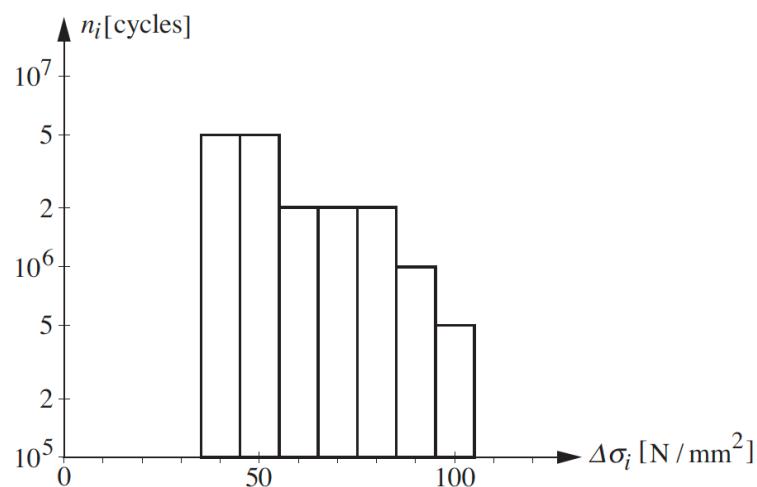
## PROBLEME 1 (18 POINTS)

### Donnée

Soit la section de la poutre composée à âme pleine donnée à la figure 1. La tôle utilisée pour la semelle a été découpée dans une plaque plus large par machine d'oxycoupage puis les bords de coupe ont été usinés ou meulés pour éliminer tout défaut de bord. La soudure longitudinale est réalisée par deux cordons d'angle, exécutés par soudage automatique par portions de 10 m de longueur (il faut alors déplacer le portique de soudage puis reprendre le soudage). Les détails sont réparables et une rupture par fatigue aurait de faibles conséquences (car redondance par ailleurs).



**Figure 1.1** –Section d'une poutre composée à âme pleine avec détails constructifs (avec fissures, dimensions pas à l'échelle!)



**Figure 1.2** – Histogramme de différences de contraintes.

### Question 1.1 (4 pts)

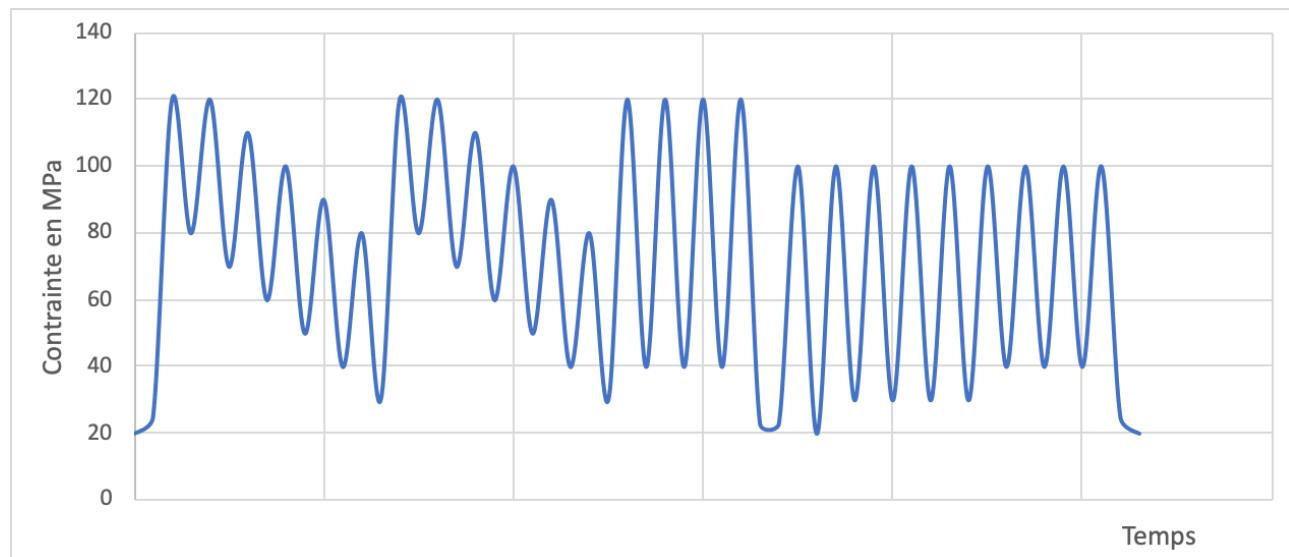
Déterminer à quels tableaux et classes de détail selon les normes (SIA 263 ou EN1993-1-9, c'est égal) correspondent les deux détails constructifs entourés dans la figure 1.1, en justifiant vos choix. Les fissures représentées ne sont qu'indicatives (elles n'affectent pas les classes de détails).

### Question 1.2 (10 pts)

A l'aide d'un cumul des dommages, vérifier si le détail le plus critique peut atteindre la durée de vie prévue par l'histogramme de contrainte de la figure 1.2, en utilisant les courbes de résistance à la fatigue des normes. Si non, justifier la classe minimale, et décrire le détail, qu'il faut choisir pour satisfaire à la vérification en fatigue.

### Question 1.3 (4 pts)

Soit l'historique de contraintes représenté ci-dessous, fig. 1.3. Une répétition de cet historique peut-elle correspondre à l'histogramme de contrainte de la figure 1.2 ? Justifier votre réponse, sans forcément effectuer le comptage complet des cycles.



**Figure 1.3 – Historique de contraintes.**

## PROBLEME 2 (18 POINTS)

### Donnée

A l'aide du nomogramme selon EN 1993-1-2: 2005 ainsi que des extraits des tables Szs fournis en annexe, répondez aux questions posées dans l'énoncé ci-dessous.

Soit une halle métallique de deux niveaux avec une affectation industrielle et une charge thermique  $q \geq 1'000 \text{ MJ/m}^2$ . Le rez-de-chaussée sert à la production de charpentes en bois et au premier étage se trouvent les bureaux de l'entreprise.

Les charges à prendre en considération sont les suivantes :

#### Toiture

Poids propre de la charpente	0.50 kN/m <sup>2</sup>
Poids propre de la tôle	0.20 kN/m <sup>2</sup>
Isolation + étanchéité	0.10 kN/m <sup>2</sup>
Gravier 8-16 mm	1.25 kN/m <sup>2</sup>
Neige (alt. 450 m)	0.9 kN/m <sup>2</sup>

#### Dalle intermédiaire

Poids propre de la structure	0.50 kN/m <sup>2</sup>
Poids propre de la dalle de 10 cm	2.50 kN/m <sup>2</sup>
Galandages	0.50 kN/m <sup>2</sup>
Chape + finition	2.50 kN/m <sup>2</sup>
Charge utile pour locaux admin.	3.00 kN/m <sup>2</sup>

Le système statique est décrit à la figure 2.1 et la halle est contreventée dans les deux directions à chaque niveau du cadre, l'entraxe entre cadre est de 6.50 m. Pour les colonnes prendre une longueur de flambage  $l_{ky} = l_{kz} = l$ . Toutes les colonnes sont exposées au feu sur les 4 côtés. Les dalles ne sont armées que contre la fissuration, sans continuité sur appui.

La descente de charge doit être faite avec toutes les surfaces chargées (pas de chargement en damier), on ne vérifie que les efforts normaux (colonnes) et de flexion (poutre), calculs EP.

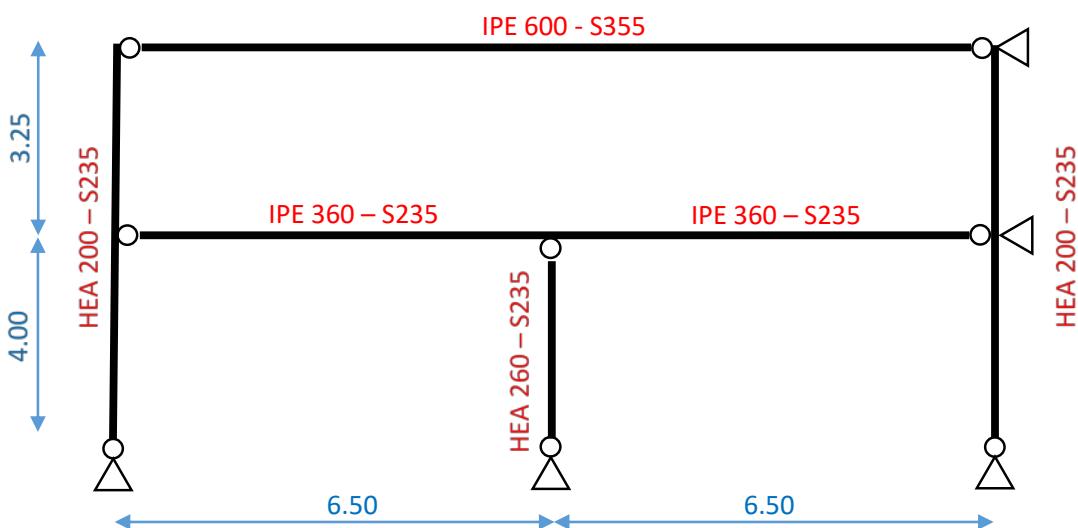


Figure 2.1 – Système statique et profilés

**Question 2.1 (2 pt)**

Déterminer l'exigence de résistance au feu des colonnes, du plancher intermédiaire et de la toiture selon les prescriptions AEA1 (pour rappel, c'est toujours l'affectation la plus pénalisante qui est déterminante).

**Question 2.2 (10 pt)**

Déterminer si la résistance des éléments de construction métallique est suffisante sous l'action du feu selon ISO 834 pour atteindre l'exigence de la directive AEA1 ? Justifier votre réponse par le calcul ( $t_{crit}, R$ ).

**Question 2.3 (3 pt)**

Quelle est la différence fondamentale entre un feu ISO et un incendie naturel ?

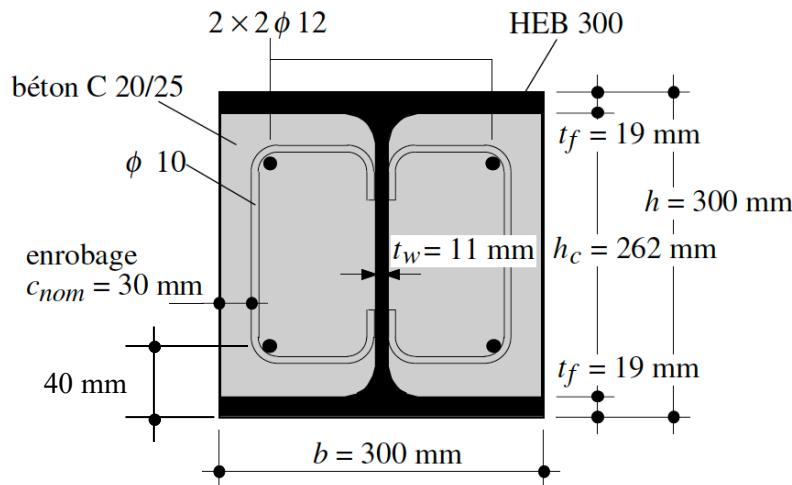
**Question 2.4 (3 pt)**

L'hypothèse sur les longueurs de flambage des différentes colonnes est-elle conservatrice ou non ? Justifier votre réponse.

## PROBLEME 3 (30 POINTS)

### Donnée

Soit un bâtiment pour lequel les charges et actions ont été déterminées, puis la descente des charges effectuée. Il s'agit de vérifier deux des poteaux mixtes de ce bâtiment. Les poteaux sont interrompus à chaque étage, donc bi-articulés dans les deux directions. Pour les niveaux 1 à 3, le prédimensionnement a donné un profilé HEB 300 en acier S 235, dont les parties entre les ailes sont remplies de béton, comme montré à la figure 3.1 ci-dessous.



Béton :

$$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2, f_{cm} = 28 \text{ N/mm}^2, E_{c,eff} = 30 \text{ kN/mm}^2 (= E_{cm} \text{ par simplification})$$

Armature  $\phi 12$  mm, acier B500B

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2, E_s = 205 \text{ kN/mm}^2$$

$$\text{Rigidités caractéristiques : } (EI)_{y,eff,\lambda} = 61.8 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4 (= (EI)_{y,eff,d} \text{ simplification})$$

$$(EI)_{z,eff,\lambda} = 29.6 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4$$

**Figure 3.1 – Section transversale du poteau mixte, caractéristiques des matériaux et section**

Les valeurs de calcul des efforts intérieurs pour le cas de charge déterminant pour chacun des deux poteaux sont données dans le tableau 3.2.

Poteau	Valeurs de calcul des efforts				
	Niveau	Hauteur [m]	$N_{Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	Autres efforts ( $M_{z,Ed}$ , $V_{i,Ed}$ )
3	5.0	2145	146 (constant)		$\cong 0$
1	5.0	3160	0		$\cong 0$

**Tableau 3.2 – Efforts pour les cas de charges déterminants résultant de la descente des charges**

### Question 3.1 (15 pts)

Vérifier la sécurité structurale du poteau au niveau 3. Ne pas vérifier l'introduction des forces.

### Question 3.2 (12 pts)

Vérifier la sécurité structurale du poteau au niveau 1. Ne pas vérifier l'introduction des forces.

### Question 3.3 (3 pts)

Que représente le terme  $kN_{Ed}e_1$ ? Refaire la vérification de la sécurité structurale du poteau au niveau 3 en le considérant.