

# Brevet de technicien supérieur Bâtiment

*Sujet 0 - 2012*

## Epreuve E4 : ETUDE TECHNIQUE

Sous - Epreuve : E. 41

**DIMENSIONNEMENT ET VERIFICATION D'OUVRAGES**

Durée : 4 h

Coefficient : 2

### Barème

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Etude N°1</i>                             | 12 Points |
| <i>Etude N°2</i>                             | 3 Points  |
| <i>Etude N°3</i>                             | 3 Points  |
| <i>Présentation de la<br/>note de calcul</i> | 2 Points  |

Les études sont indépendantes

### Matériel autorisé

Calculatrice électronique autonome autorisée

**COMPÉTENCES À DÉVELOPPER**

| • C5. Dimensionner et/ou vérifier des éléments simples d'un ouvrage.  |  |   |
|---|--|---|
| Données   | Compétences détaillées   | Critères et/ou indicateurs de performance   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Un dossier technique (APS, APD, DCE, analyse de la structure porteuse, solutions techniques retenues,...).</li><li>- Les contraintes d'environnement (voisinage, limite de propriété, mitoyenneté, ...).</li><li>- La documentation technique (fabricants, fournisseurs, organismes qualifiés, ...).</li><li>- Les avis techniques.</li><li>- Les normes,</li><li>- La réglementation en vigueur.</li><li>•</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Identifier</b> les normes et la réglementation en vigueur à prendre en compte.</li><li>- <b>Localiser</b> dans la structure les éléments à dimensionner et/ou à vérifier.</li><li>- <b>Inventorier</b> les charges appliquées à l'élément étudié.</li><li>- <b>Modéliser</b> l'élément à calculer.</li><li>- <b>Procéder</b> au calcul de l'élément.</li><li>- <b>Interpréter</b> les résultats.</li><li>•</li><li>- <b>Rédiger</b> la note de calcul</li><li>•</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Le choix des documents réglementaires est adapté à l'élément étudié.</li><li>- Les éléments étudiés sont repérés dans la structure.</li><li>- Pertinence des situations à prendre en compte.</li><li>- Les charges correspondent à la situation de l'élément étudié.</li><li>- Les matériaux, la géométrie, les liaisons et les charges appliquées sont définis.</li><li>- Les choix et les résultats sont cohérents et justifiés en conformité avec la réglementation en vigueur.</li><li>- La note de calcul accompagnée si nécessaire de schémas ou croquis est exploitable.</li></ul> |

Remarques préliminaires concernant le sujet, suite à la commission de validation réunie les 29 et 30/11/11 à Toulouse :

- la répartition en trois thèmes : conception d'une charpente bois, poteau en béton armé, semelle en béton armé, est liée au support choisi. Elle n'a rien d'impérative.
- Concernant le 1<sup>er</sup> thème, l'auteur du sujet s'est placé dans une optique de conception qui fait appel à de la réflexion sur la modélisation et les choix de structures. Ce n'est pas une obligation. Chaque auteur peut choisir des structures plus classiques : poutre continue en BA par exemple.
- L'une des questions consiste à comparer des structures au vu des résultats fournis par un logiciel. Il s'agit d'une piste de réflexion possible pour les futurs auteurs.
- Le module moyen d'élasticité axiale du bois choisi est de 11500 MPa. Pour un bois lamellé collé GL28h, il est en réalité de 12600 MPa.

## Présentation de l'opération

L'étude porte sur la construction d'une structure d'accueil pour adultes handicapés moteurs. Elle est composée de 4 ailes et d'une zone centrale.

Les 4 ailes sont destinées à accueillir des chambres.

L'étude proposée concerne la zone centrale.

Elle comprend :

- un vide sanitaire ;
- un RdC où l'on trouve des salles pour différentes activités (bricolage, informatique, arts plastiques), des salles destinées aux soins, des locaux administratifs, une salle à manger, des locaux destinés à préparer la cuisine, des vestiaires, un bistrot et un lieu central dénommé « la place ».

## Descriptif sommaire du gros œuvre

**Fondations** : semelles filantes, semelles isolées et longrines.

**Infrastructure** : bétons banchés, poteaux BA, poutres BA.

**Superstructure** :

- poteaux BA, poutres BA.
- Planchers : dalles alvéolées et dalles pleines coulées en place sur prédalles précontraintes.
- Dalle portée sur toutes les terrasses extérieures et les parvis situés en rez-de-chaussée.
- Murs extérieurs en maçonnerie de blocs creux.
- Voiles intérieurs en béton banché.
- Charpente en bois lamellé collé pour couvrir la zone centrale dénommée « la place ».

## Données générales

**Structure en béton armé :**

- Aciers  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$  et Béton C25/30 ( $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ )
- Charge d'exploitation des planchers :  $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$ .

**Charpente en bois lamellé collé :**

- Poutres principales en lamellé collé espacées tous les **4 m**.
- Bois lamellé collé homogène : GL28h.
- Résistance caractéristique à la flexion :  $f_{m,k} = 28 \text{ MPa}$
- Module moyen d'élasticité axiale :  $E_{0,mean} = 11500 \text{ MPa}$  .
- Coefficient partiel de sécurité sur le bois lamellé collé à l'ELU :  $\gamma_M = 1,25$  .
- Poids volumique du bois :  $5 \text{ kN/m}^3$  .
- Poids de la couverture en zinc et des pannes :  $0,15 \text{ kN/m}^2$  .
- Poids de l'isolant, du faux plafond et des éléments suspendus :  $0,30 \text{ kN/m}^2$  .
- Charge de neige :  $0,36 \text{ kN/m}^2$  .

**Tirant métallique :**

- Limite élastique de l'acier :  $f_y = 235 \text{ MPa}$  .
- Coefficient partiel de sécurité sur l'acier :  $\gamma_{M0} = 1$ .

**Sol de fondation :**

- Contrainte de calcul du sol :  $q_d = 0,30 \text{ MPa}$  .

## Contenu du dossier

**Dossier sujet :**

**DS1 à DS5** : Travail demandé

**Dossier technique :**

**DT1** : Façade Sud, façade Nord et coupe verticale sur locaux médicaux

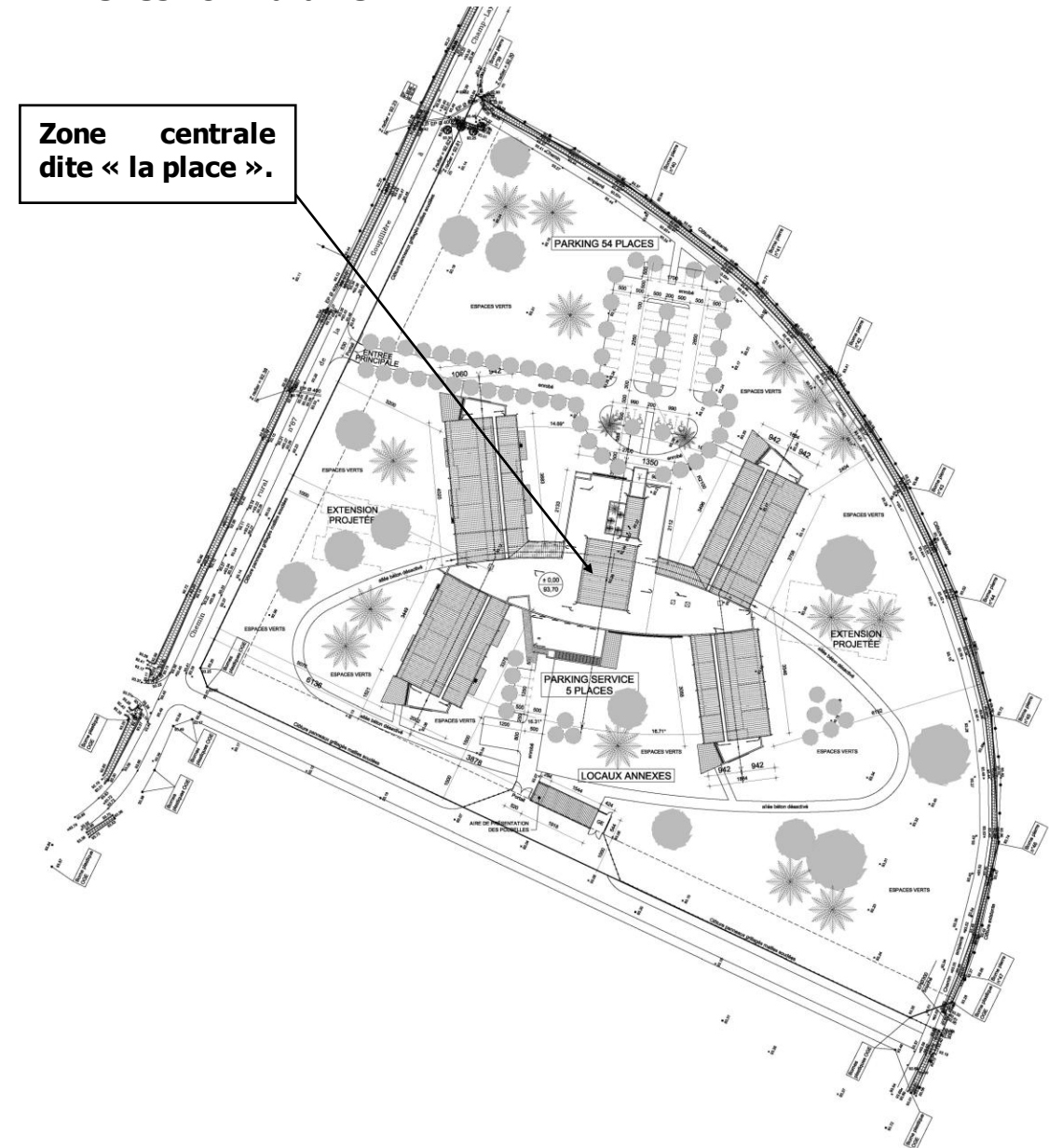
**DT2** : Plan partiel d'architecte : rez-de-chaussée – zone centrale

**DT3** : Coupe verticale sur la charpente bois couvrant le lieu dénommé « la place »

**DT4** : Plan de coffrage partiel du plancher haut du vide sanitaire – zone centrale

**DT5** : Plan partiel de fondations – zone centrale

## Annexes formulaire



**Le sujet va s'articuler autour de 3 thèmes :**

- **1<sup>er</sup> thème** : étude de la conception de la charpente ;
- **2<sup>ème</sup> thème** : poteau en béton armé support de la charpente ;
- **3<sup>ème</sup> thème** : semelle en béton armé.

# Brevet de technicien supérieur Bâtiment

*Sujet 0 - 2012*

**Epreuve E4 : ÉTUDE TECHNIQUE**

**Sous - Epreuve : U. 41**

**DIMENSIONNEMENT ET VERIFICATION D'OUVRAGES**

**DOSSIER**

**SUJET**

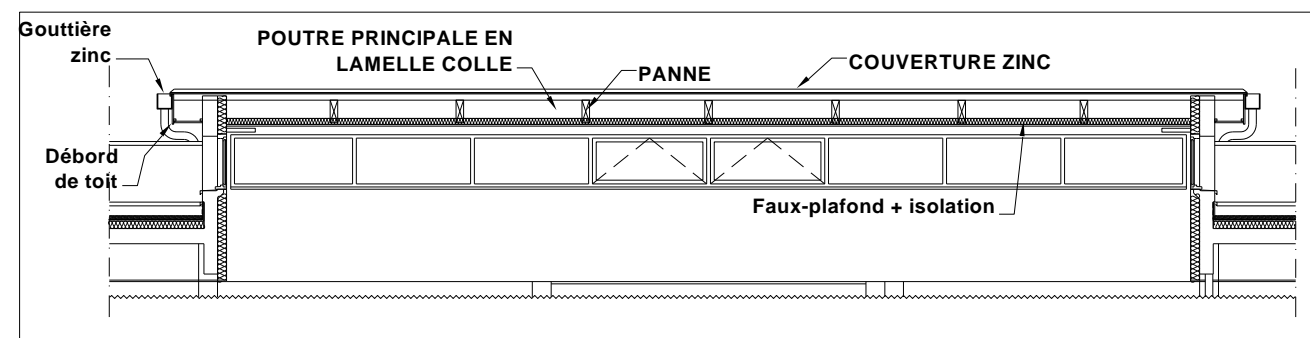
Etude N°1 : Conception de la charpente

Documents à consulter : DT2, DT3, annexes 1 et 2

Le marché de la construction d’une structure d’accueil pour adultes handicapés moteurs est un marché conception-réalisation, c'est-à-dire que la mission porte à la fois sur l’établissement des études et l’exécution des travaux.

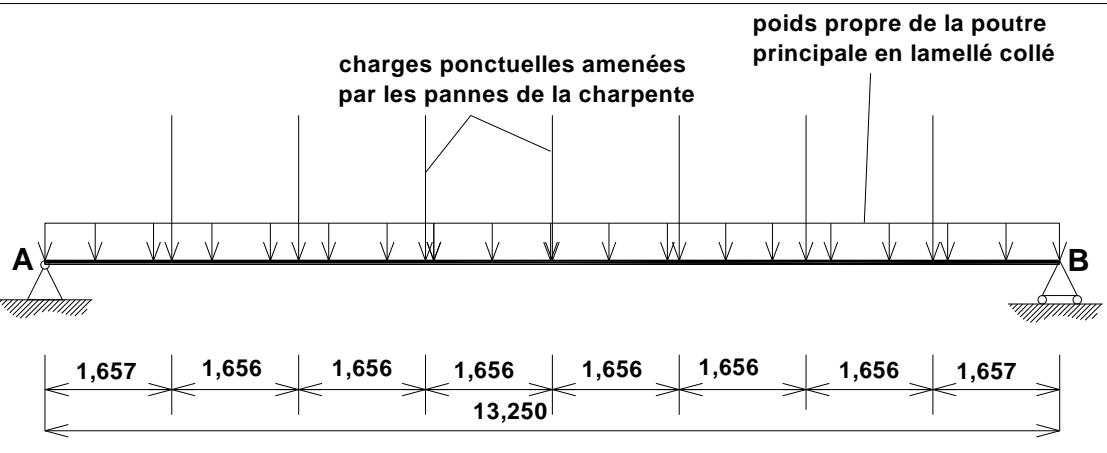
L’architecte désire soumettre au bureau d’études auquel vous appartenez plusieurs conceptions de charpente pour couvrir la zone centrale dénommée « la place ».

1.1. 1<sup>ère</sup> proposition : poutre pleine en lamellé collé.

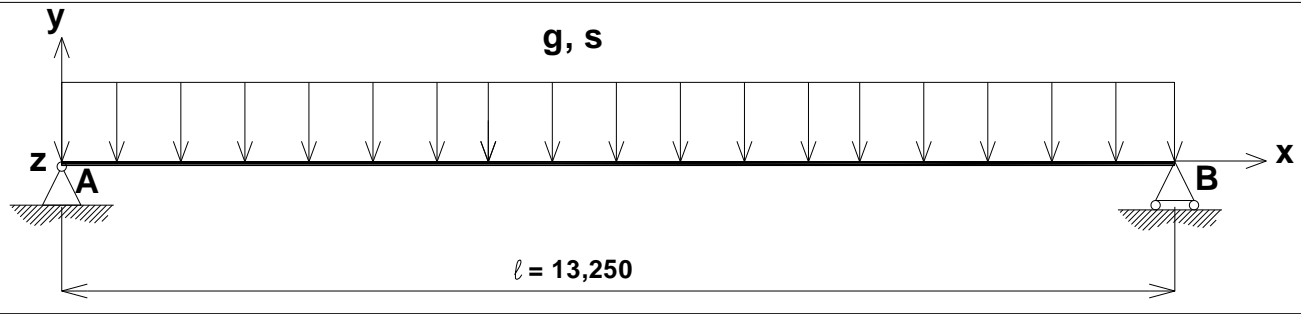


Données, hypothèses, remarques :

- Chaque poutre pleine en lamellé collé est étudiée comme une poutre sur deux appuis. Deux types de chargement sont pris en compte :
  - une charge uniformément répartie correspondant au poids propre de la poutre pleine en lamellé collé.
  - des charges ponctuelles amenées par les pannes, elles aussi en bois, qui supportent la couverture en zinc.



- Les pannes étant positionnées tous les 1,656 m, il est admissible de répartir uniformément les charges qu’elles amènent sur la poutre principale en lamellé collé. En conséquence, le modèle mécanique pris en compte est le suivant :



- La section de la poutre en lamellé collé est de : 120 x 750 mm<sup>2</sup>.
- La flèche limite autorisée est la portée de la poutre l divisée par 400.
- La flèche théorique au milieu de la portée d’une poutre sur deux appuis (articulation, appui simple) soumise à une charge uniformément répartie est :  $\frac{5 p_{ser} l^4}{384 E_{0,mean} I_{Gz}}$ .
- Le calcul de la flèche doit être mené aux Etats Limites de Service avec la combinaison de charges :  $p_{ser} = g + s$ , g représentant les charges permanentes et s la charge de neige.
- Les charges unitaires et les caractéristiques du bois sont fournies dans les données générales du sujet.
- Les poutres principales en lamellé collé sont espacées tous les 4 m.
- La classe de durée de charge est le **court terme**.
- La classe de service est la **classe 1**.

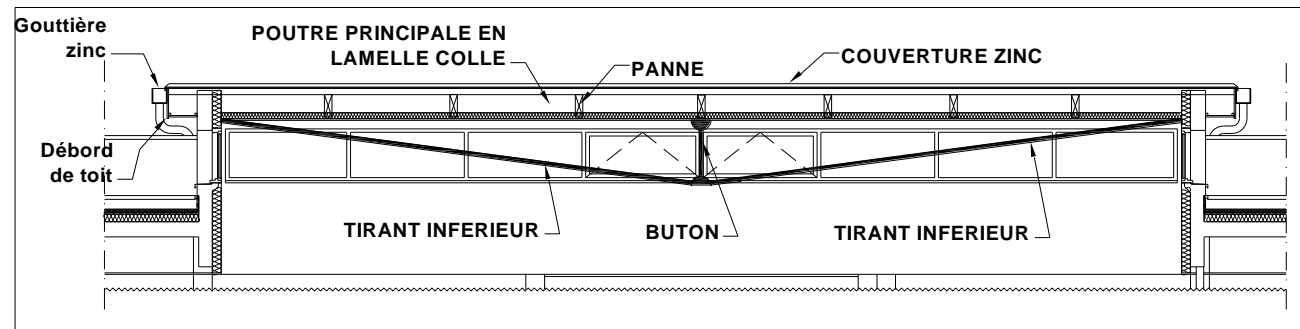
1.1.1. Calculer, en kN/m, les charges g et s appliquées à la poutre pleine en lamellé collé. En déduire la valeur de la charge répartie à l’ELS,  $p_{ser}$ .

1.1.2. En considérant une charge  $p_{ser} = 3,7 \text{ kN/m}$ , vérifier que la déformée reste admissible.

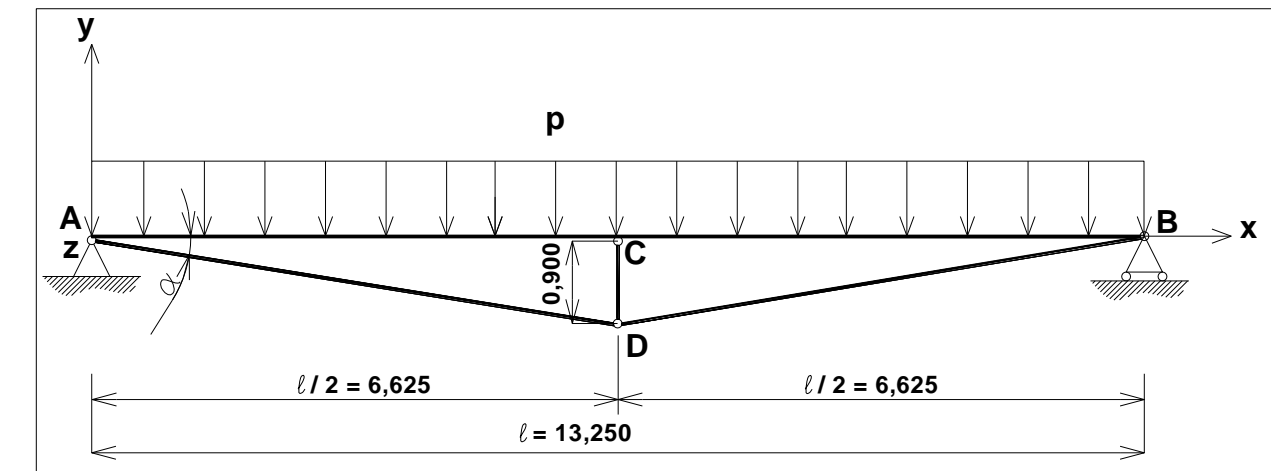
1.1.3. Représenter le modèle mécanique de la poutre pleine en lamellé collé avec un chargement  $p_u$  à l’ELU et une portée l. Tracer le diagramme du moment fléchissant en précisant l’expression littérale du moment fléchissant maximum  $M_{Ed,u}$  dans la poutre. Effectuer ensuite une application numérique en considérant une charge à l’ELU  $p_u = 5,20 \text{ kN/m}$ .

1.1.4. Vérifier la résistance de la poutre de section 120 x 750 mm vis-à-vis des contraintes normales engendrées par le moment fléchissant, conformément aux indications fournies en annexe (le coefficient de hauteur  $k_h$  vaut 1) selon l’Eurocode 5.

**1.2. 2<sup>ème</sup> proposition : poutre sous-tendue à 1 buton.**



La poutre en lamellé collé est maintenant sous-tendue. La structure est formée par une poutre en lamellé collé de section constante et un tirant qui la soutient par l'intermédiaire d'un buton vertical central.  
Le modèle mécanique retenu est le suivant :



La poutre est rectiligne, à plan moyen Axy et à fibre moyenne parallèle à Ax. Elle est appuyée en A sur une articulation et en B sur un appui simple. Le buton CD est représenté par une barre rectiligne biarticulée verticale : en l'absence de charge appliquée directement sur lui, il n'est soumis qu'à un effort normal. Le tirant est schématisé par un élément à deux tronçons rectilignes biarticulés : AD, DB.  
On néglige le poids du tirant et du buton.

**La structure est isostatique extérieurement et hyperstatique interne de degré 1.**

Vous menez des recherches sur ce type de structure. Un formulaire vous conduit aux résultats suivants, pour une charge uniformément répartie p :

- Moment fléchissant en C dans la poutre en lamellé collé AB :  $M_{fC} = \frac{p \ell^2}{8} \times \frac{k-1}{4k+1}$  ;
- Coefficient k :  $k = \frac{12 E_{0,mean} I_{Gz}}{E_S A_S \ell^2 \sin^2 \alpha \cos \alpha}$   
 $E_{0,mean}$  : Module moyen d'élasticité axiale du bois ;  
 $I_{Gz}$  : moment quadratique par rapport à l'axe Gz de la poutre en lamellé collé ;  
 $E_S$  : module d'élasticité de l'acier constitutif du tirant :  $E_S = 200000 \text{ MPa}$  ;  
 $A_S$  : aire de la section du tirant ;  
 $\alpha$  : angle formé par la fibre moyenne de la poutre en lamellé collé avec chacun des tronçons rectilignes du tirant.

**1.2.1. Lorsque le tirant est très fin ( $A_S \rightarrow 0$ ), quel modèle mécanique peut caractériser la poutre en bois ? Tracer alors l'allure de la courbe du moment fléchissant dans celle-ci en précisant l'expression littérale du moment maximum.**

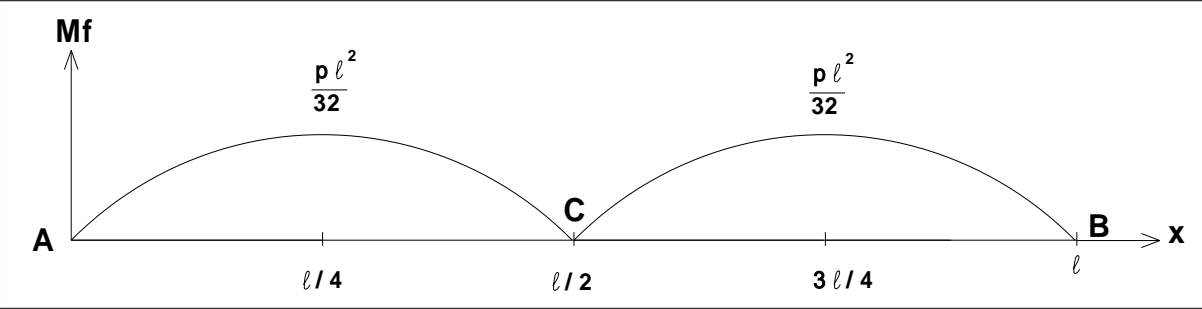
**1.2.2. Lorsque le tirant est très raide et le buton pratiquement indéformable, la dénivellation en C est quasi-nulle. Quel modèle mécanique peut alors caractériser la poutre en bois ? Tracer l'allure de la courbe du moment fléchissant dans celle-ci.**

Votre ingénieur vous suggère d'opter pour un cas intermédiaire entre les deux cas limites qui viennent d'être abordés. Il effectue quelques calculs et vous propose la **section de poutre en bois** suivante :  $120 \times 420 \text{ mm}^2$ . Il vous propose également de choisir la section du tirant de telle manière que le moment fléchissant dans la poutre en bois soit nul en C.

**1.2.3. Calculer l'aire de la section du tirant  $A_S$  afin que le moment fléchissant dans la poutre en bois soit nul en C :  $M_{fC} = 0$ . Vous remarquerez que cette condition est vérifiée lorsque**

$4k - 1 = 0$ , c'est-à-dire lorsque  $k = \frac{1}{4}$ .

Le diagramme du moment fléchissant le long de la poutre en bois est alors le suivant :



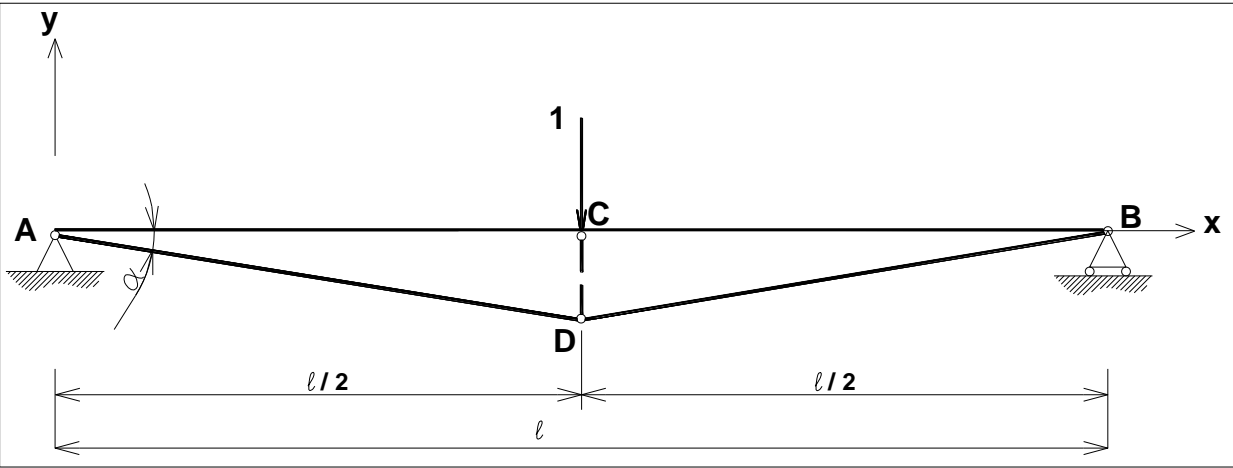
**1.2.4. En remarquant que les moments fléchissants sont nuls en A et C, que la distance entre ces deux points est  $\frac{\ell}{2}$  et qu'une charge uniformément répartie p est appliquée sur la poutre,**

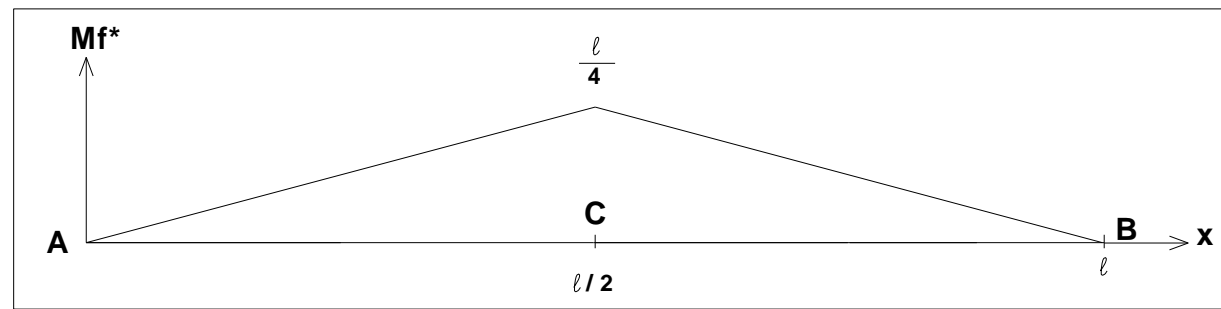
**justifier l'expression littérale du moment fléchissant maximum en  $x = \frac{\ell}{4}$  :  $M_{fmax} = \frac{p \ell^2}{32}$ .**

**Effectuer l'application numérique à l'ELU avec  $p_u = 4,930 \text{ kN/m}$ .**

**1.2.5. Par rapport à la 1<sup>ère</sup> proposition de conception de charpente, dans quelle proportion est réduit le moment fléchissant maximum dans la poutre en bois ? Vous effectuerez le raisonnement à partir des expressions littérales des moments.**

On souhaite maintenant déterminer l'expression littérale de la déformée verticale en C en appliquant le théorème de Pasternak (ou de la charge unité). On choisit une structure isostatique associée (virtuelle) dont le modèle mécanique et le diagramme de moment fléchissant sont fournis ci-après :





**1.2.6. Déterminer l'expression littérale de la déformée verticale en C. Montrer qu'elle vaut**

$$\frac{p_{\text{ser}} \ell^4}{384 E_{0,\text{mean}} I_{Gz}}. \text{ Effectuer l'application numérique à l'ELS avec } p_{\text{ser}} = 3,492 \text{ kN/m}.$$

La section de poutre en bois lamellé collé proposée :  $120 \times 420 \text{ mm}^2$  vérifie :

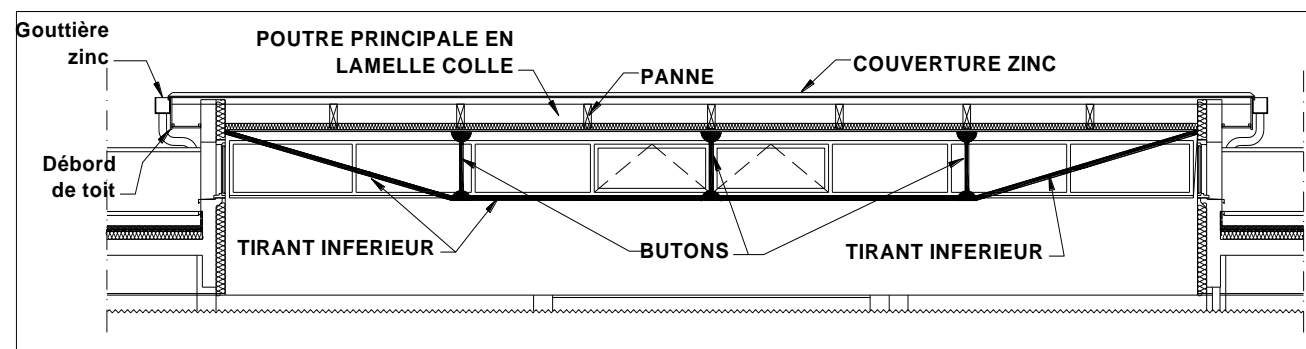
- la condition de résistance vis-à-vis des contraintes normales engendrées par le moment fléchissant et vis-à-vis des contraintes tangentielles engendrées par l'effort tranchant.
- la condition de déformée.

**1.2.7. Par rapport à la 1<sup>ère</sup> proposition de conception de charpente, quel est, en pourcentage, le gain réalisé sur le volume de bois nécessaire, avec cette nouvelle solution de structure ?**

**1.2.8. L'expression littérale de l'effort normal de compression dans la poutre en bois étant**  
 $-\frac{p \ell}{4 \tan \alpha}$ , **effectuer l'application numérique à l'ELU avec**  $p_u = 4,930 \text{ kN/m}$ . **Vers quelle valeur tendrait-il si  $\alpha$  tendait vers 0 ?**

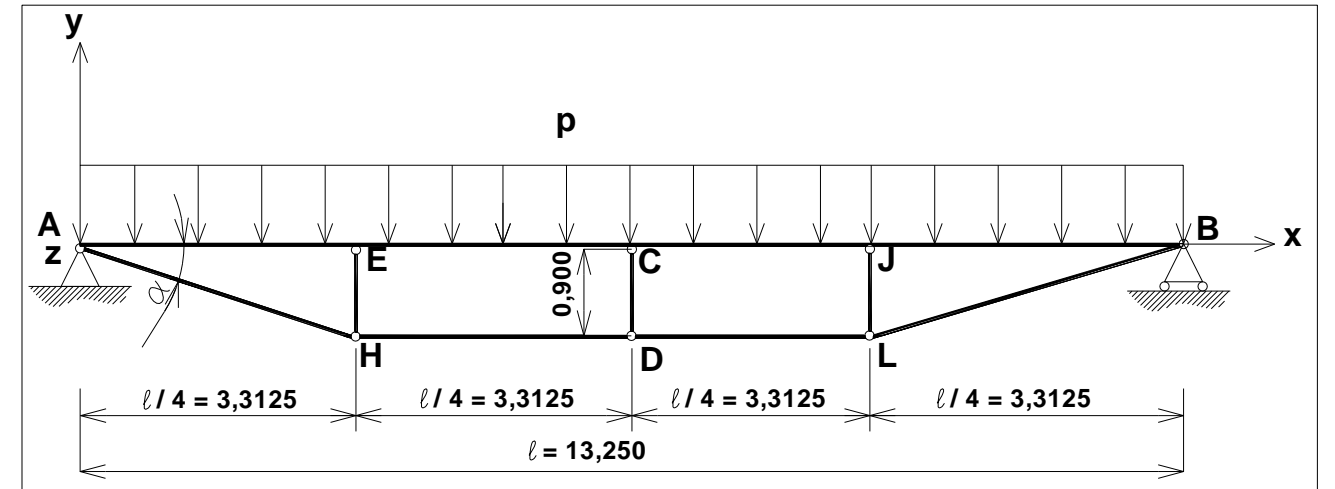
En raison de cette tendance, une nouvelle conception de charpente est proposée.

### **1.3. 3<sup>ème</sup> proposition : poutre sous-tendue à 3 butons.**



La poutre en lamellé collé est à nouveau sous-tendue par un tirant inférieur mais elle est maintenant soutenue par 3 butons verticaux répartis symétriquement.

Le modèle mécanique retenu est le suivant :



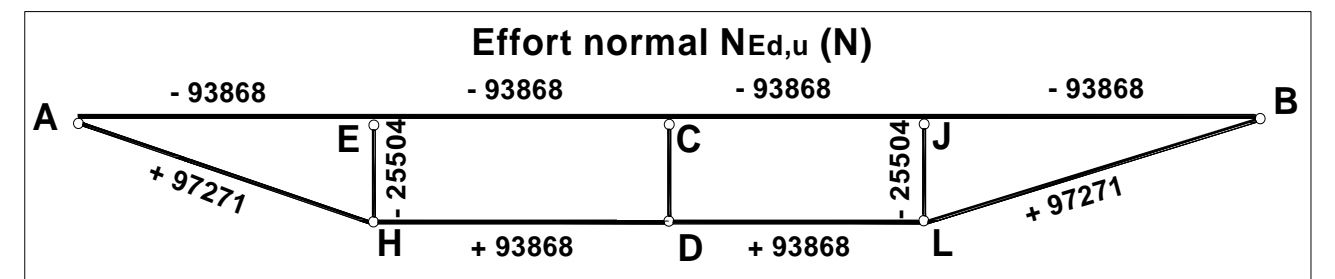
La poutre est rectiligne, à plan moyen Axy et à fibre moyenne parallèle à Ax. Elle est appuyée en A sur une articulation et en B sur un appui simple. Les butons EH, CD, JL sont représentés par des barres rectilignes biarticulées verticales : en l'absence de charges appliquées directement sur eux, ils ne sont soumis qu'à un effort normal. Le tirant est schématisé par un élément comportant des tronçons rectilignes biarticulés : AH, HD, DL, LB. On néglige le poids du tirant et des butons.

La structure est extérieurement isostatique mais hyperstatique interne de degré 1.

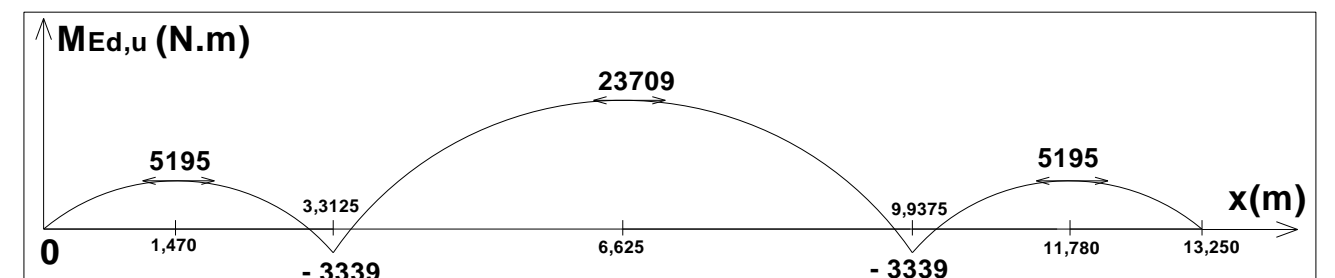
**1.3.1. Isoler le nœud D. Représenter les 3 vecteurs forces auxquelles il est soumis :**  $\vec{F}_{DC}$ ,  $\vec{F}_{DH}$ ,  $\vec{F}_{DL}$ . **En étudiant son équilibre, que pouvez-vous déduire quant à l'intensité de l'effort dans la barre DC ? Etant donné la valeur obtenue, quelle est l'utilité de cette barre ?**

On considère une poutre en lamellé collé de  $120 \times 420 \text{ mm}^2$ . Les butons et le tirant sont ronds pleins en acier et ont un diamètre de  $30 \text{ mm}$ . Le chargement est constitué des **charges permanentes** et de la **neige**. La charge à l'ELU vaut :  $p_u = 4,930 \text{ kN/m}$  et à l'ELS :  $p_{\text{ser}} = 3,492 \text{ kN/m}$ .

Un logiciel de calcul vous fournit les résultats des efforts normaux à l'ELU dans la poutre en bois, dans les butons et dans les tronçons du tirant. Ils sont indiqués sur la figure suivante (+ : traction ; - : compression).



Le diagramme du moment fléchissant dans la poutre en bois à l'ELU est le suivant.



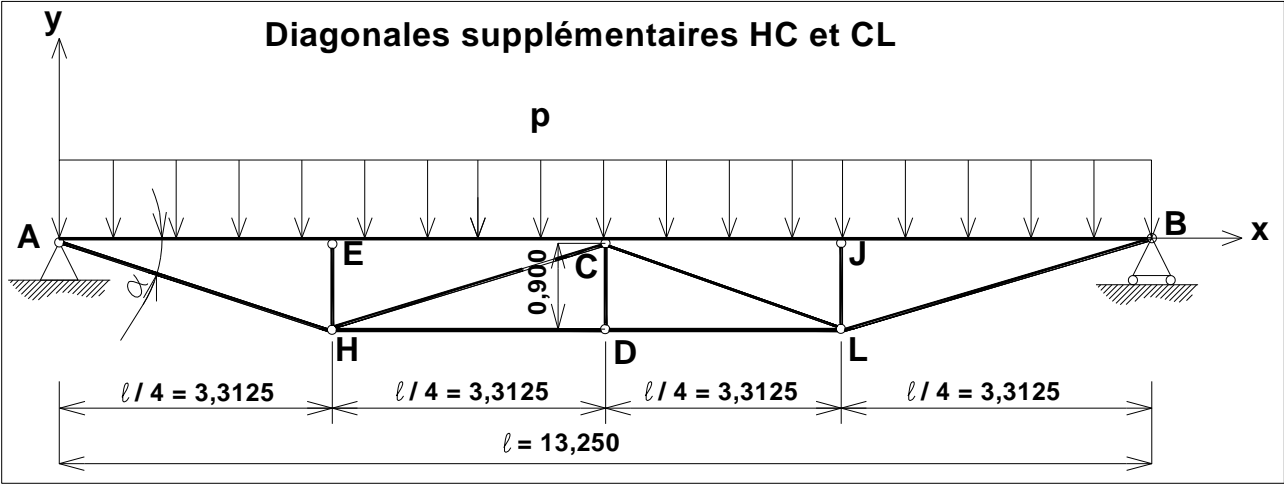
Le déplacement maximal au point C à l'ELS vaut :  $23,2 \text{ mm}$ .

1.3.2. Comparer les sollicitations (effort normal et moment fléchissant) obtenues dans la poutre en bois avec celles issues de la 2<sup>ème</sup> conception de charpente. Comparer également les déplacements maximaux au point C. Conclure.

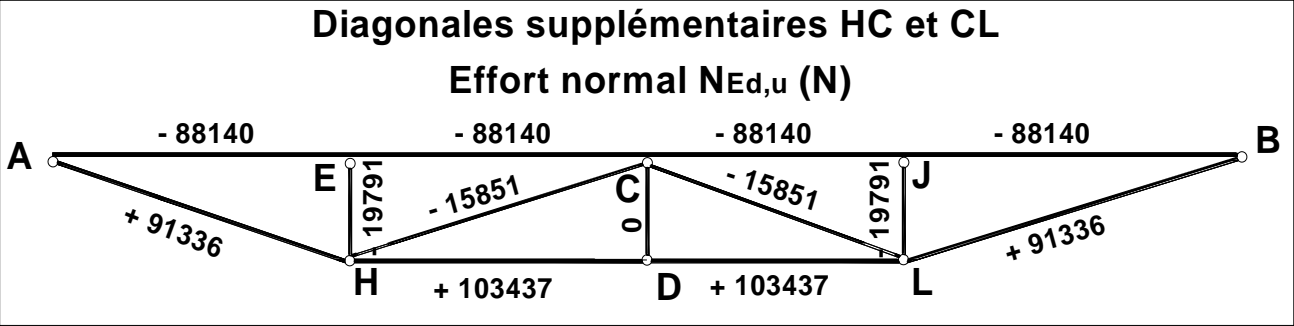
Vous vous interrogez maintenant sur l’opportunité de mettre en place deux diagonales supplémentaires en acier de 30 mm de diamètre :

- soit entre les points H et C et entre les points C et L ;
- soit entre les points E et D et entre les points D et J.

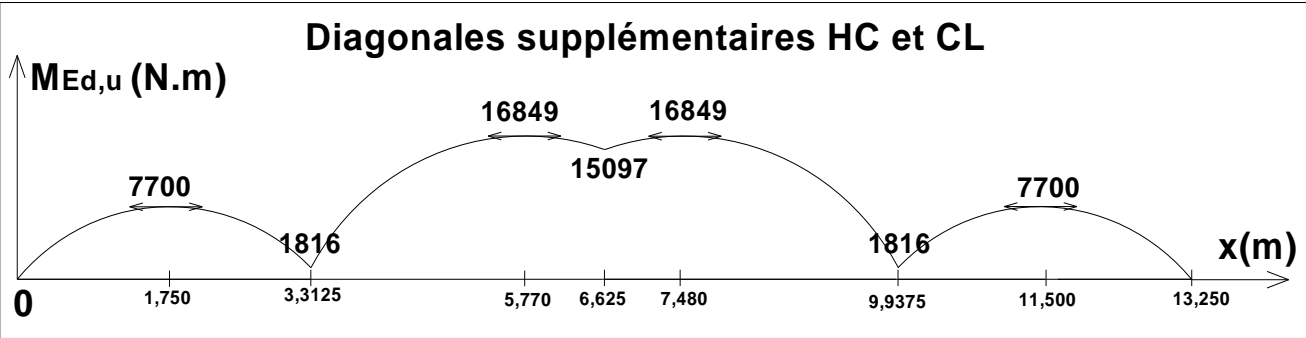
Vous testez ces deux possibilités sur un logiciel de calcul qui fournit les résultats suivants.



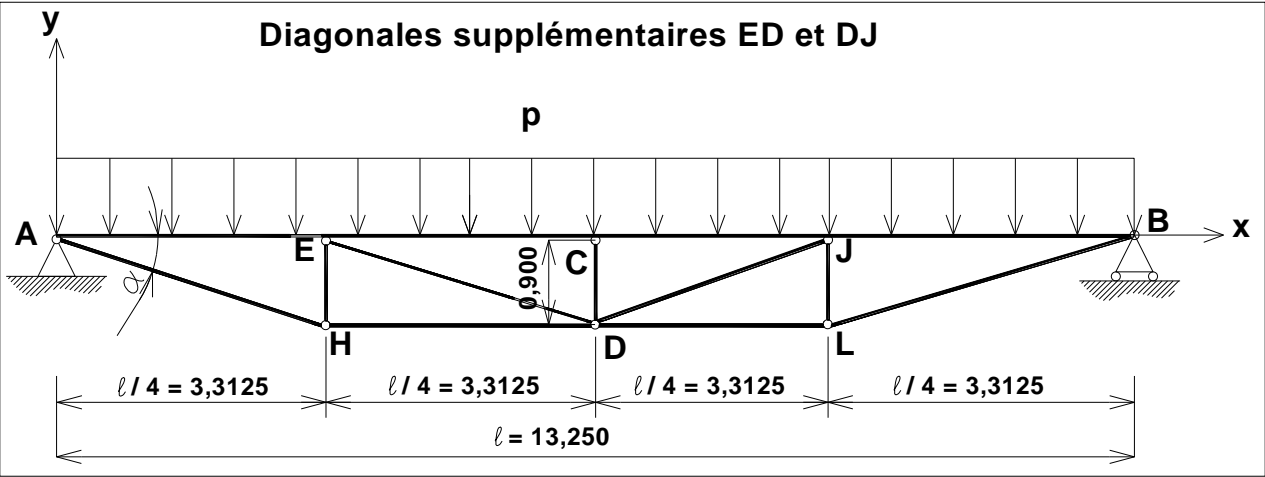
Efforts normaux à l'ELU dans la poutre en bois, dans les butons, dans les diagonales et dans les tronçons du tirant si l'on rajoute les diagonales HC et CL :



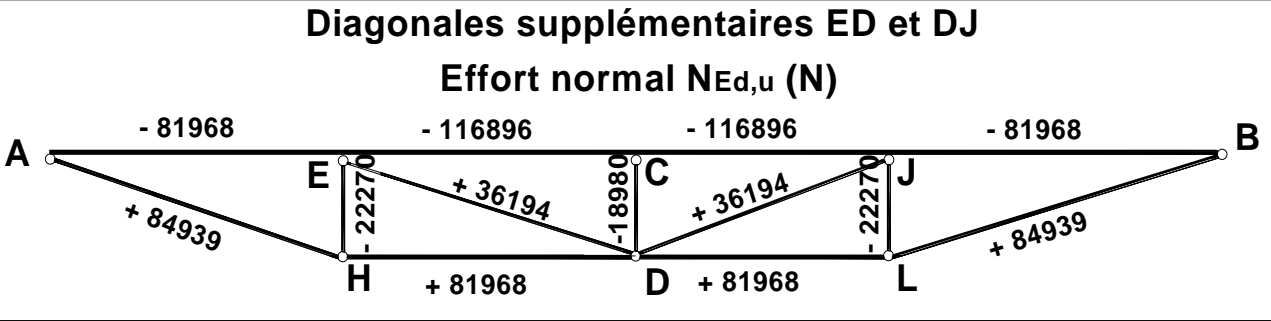
Moment fléchissant à l'ELU dans la poutre en bois si l'on rajoute les diagonales HC et CL :



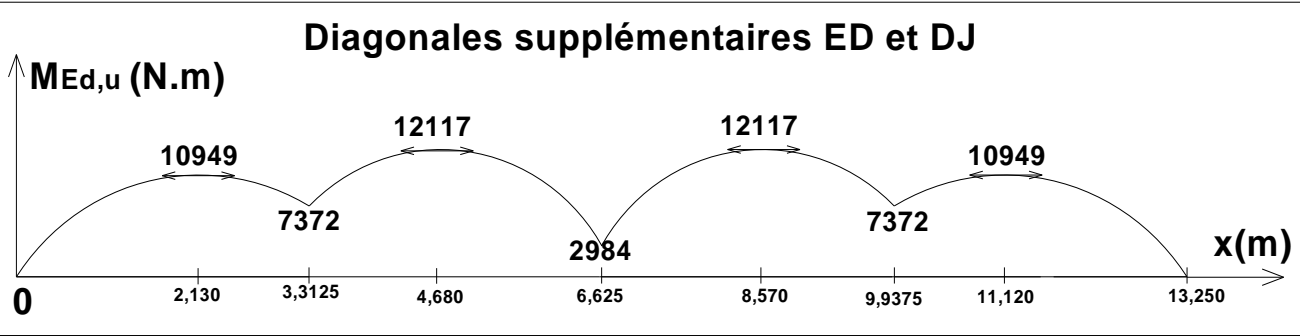
Le déplacement maximal au point C à l'ELS vaut : 21,4 mm si l'on rajoute les diagonales HC et CL.



Efforts normaux à l'ELU dans la poutre en bois, dans les butons, dans les diagonales et dans les tronçons du tirant si l'on rajoute les diagonales ED et DJ :



Moment fléchissant à l'ELU dans la poutre en bois si l'on rajoute les diagonales ED et DJ :



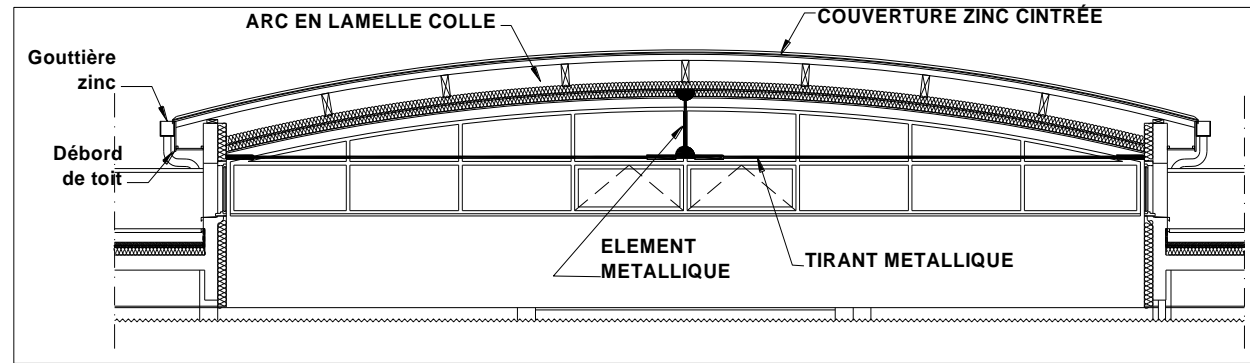
Le déplacement maximal au point C à l'ELS vaut : 17,2 mm si l'on rajoute les diagonales ED et DJ.

1.3.3. Parmi les deux options de rajout de diagonales proposées, laquelle choisissez-vous ? Justifiez votre réponse.

L'architecte, auquel vous soumettez votre choix, estime cette solution de structure métallique en treillis pour soutenir la poutre en bois lamellé collé peu esthétique. Il opte finalement pour un arc en lamellé collé avec tirant métallique horizontal et un seul bouton métallique vertical.

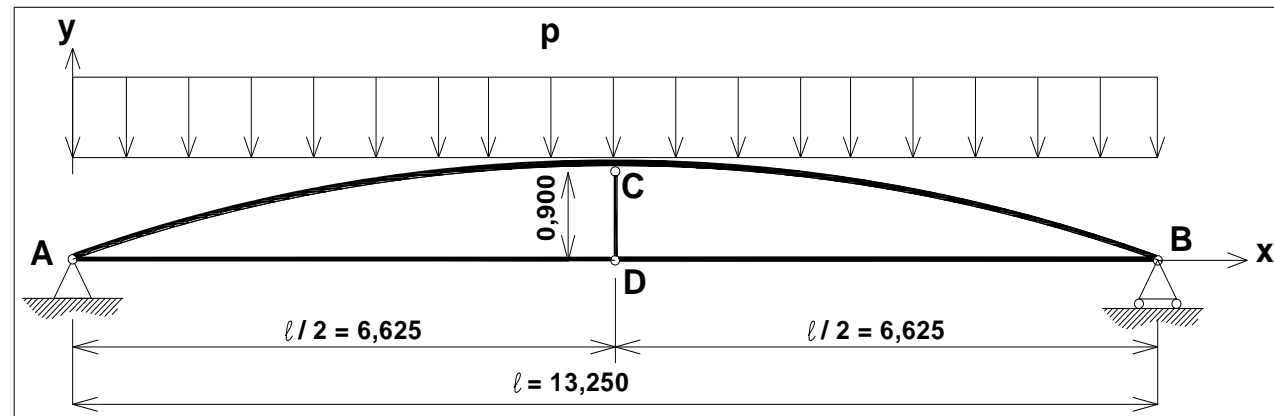


#### 1.4. 4<sup>ème</sup> proposition : arc lamellé collé, tirant métallique horizontal et buton métallique vertical.



La poutre en lamellé collé est maintenant un arc de section constante. La structure est formée par cet arc, un tirant métallique horizontal et un élément métallique vertical central. Une coupe verticale plus globale est présentée sur le Document **DT3**.

Les charges permanentes et une charge de neige sont prises en compte dans un premier temps. Le modèle mécanique retenu est le suivant :



Le tirant métallique est schématisé par un élément horizontal à deux tronçons rectilignes biarticulés : AD, DB. L'élément métallique vertical CD est représenté par une barre rectiligne biarticulée.

**1.4.1. Pourquoi ne prévoit-on pas une structure composée uniquement d'un arc en lamellé collé biarticulé en A et B (sans le tirant et sans l'élément vertical) ?**

**1.4.2. Vérifier la résistance du tirant métallique horizontal de diamètre 30 mm vis-à-vis des contraintes normales engendrées par l'effort normal ultime de traction  $N_{Ed,u} = 89,351$  kN conformément aux indications fournies en annexe selon l'Eurocode 3.**

**1.4.3. En cas de charge ascendante due au vent prépondérante par rapport aux charges permanentes descendantes, par rapport à quel type d'instabilité l'élément métallique horizontal aurait-il dû être vérifié ?**

#### Etude N°2 : Poteau en béton armé support de la charpente

**Documents à consulter :** DT2, DT4, annexes 1 et 2

Chaque charpente en lamellé collé repose sur 2 poteaux de diamètre 250 mm dont on se propose de définir les armatures.

- L'effort normal ultime en pied de poteau, poids propre compris, vaut :  $N_{Ed,u} = 235$  kN .
- La longueur est prise égale à  $\ell = 3,150$  m et la longueur efficace  $\ell_0 = \ell$  .
- Poteau coulé en place.

**2.1. A partir de la valeur de la charge en pied de poteau  $N_{Ed,u} = 235$  kN , déterminer la section d'acier à placer dans le poteau.**

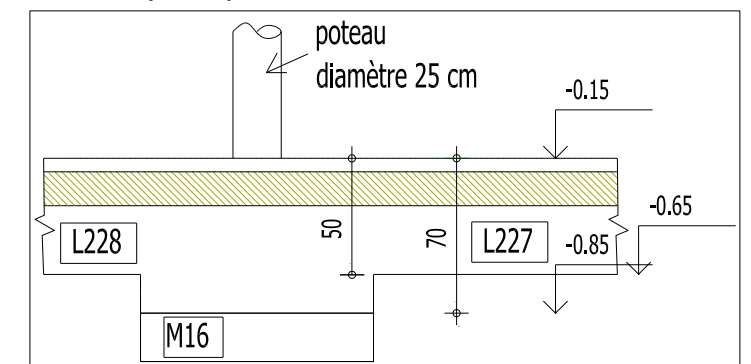
**2.2. Choisir les armatures longitudinales et transversales ainsi que leur espacement en zone courante.**

**2.3. Effectuer un schéma de la section du poteau en plaçant les armatures longitudinales et transversales.**

#### Etude N°3 : Semelle en béton armé

**Documents à consulter :** DT4, DT5, annexes 1 et 3

On se propose maintenant de définir les armatures de la semelle **M16**, située à l'aplomb du poteau support de charpente étudié précédemment. Elle est repérée sur le plan partiel de fondation de la zone centrale. Elle reçoit des longrines de 0,30 m de largeur.



- La charge verticale totale arrivant sur le dessus de la fondation vaut  $N_{Ed,u} = 560$  kN .
- Les dimensions de la semelle sont : 1,40 m x 1,40 m x 0,40 m.
- L'enrobage est de 30 mm.

**3.1. Montrer que la contrainte exercée sur le sol est inférieure à la contrainte de calcul du sol.**

**3.2. Calculer les armatures de la semelle M16.**

**3.3. Effectuer un schéma de la semelle en plaçant les armatures déterminées précédemment.**

# Brevet de technicien supérieur Bâtiment

*Sujet 0 - 2012*

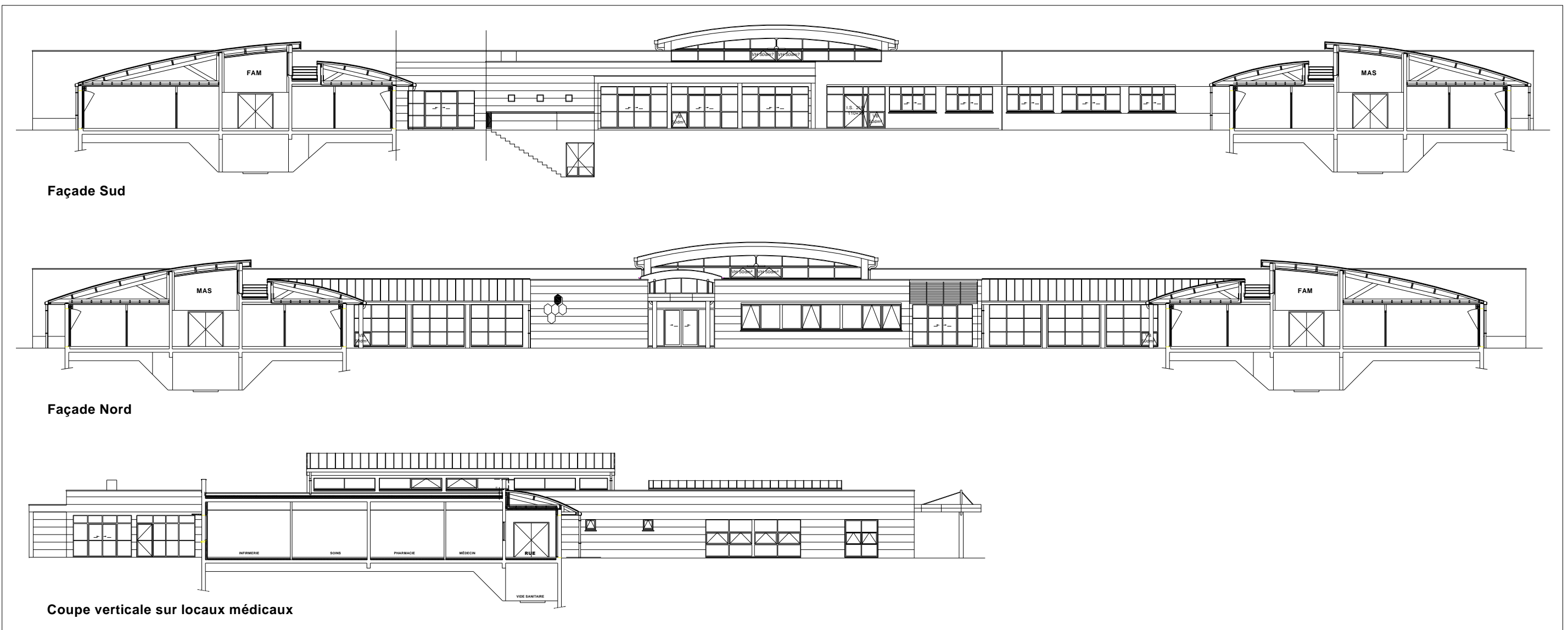
**Epreuve E4 : ETUDE TECHNIQUE**

**Sous - Epreuve : U. 41**

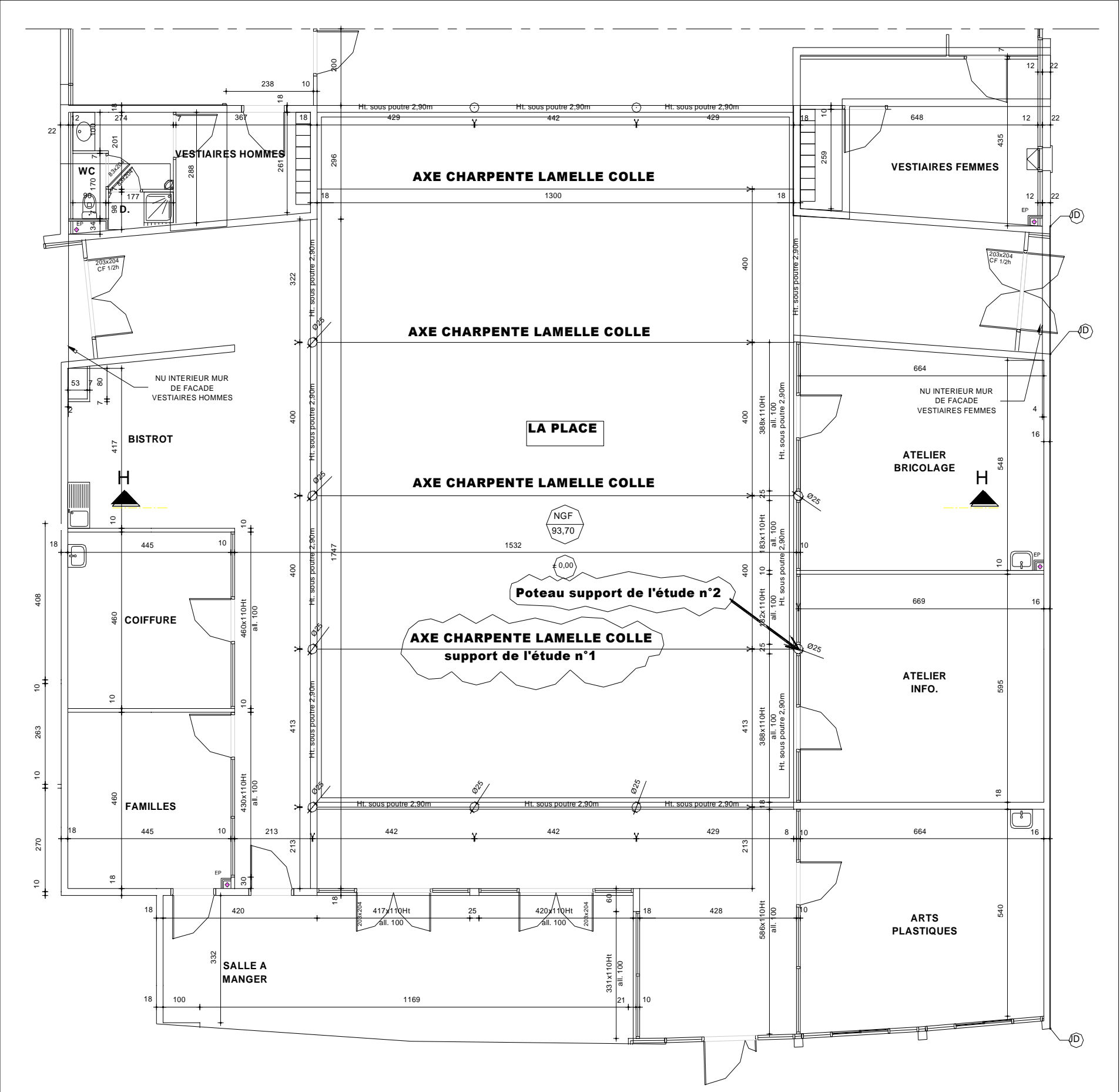
**DIMENSIONNEMENT ET VERIFICATION D'OUVRAGES**

**DOSSIER**

**TECHNIQUE**

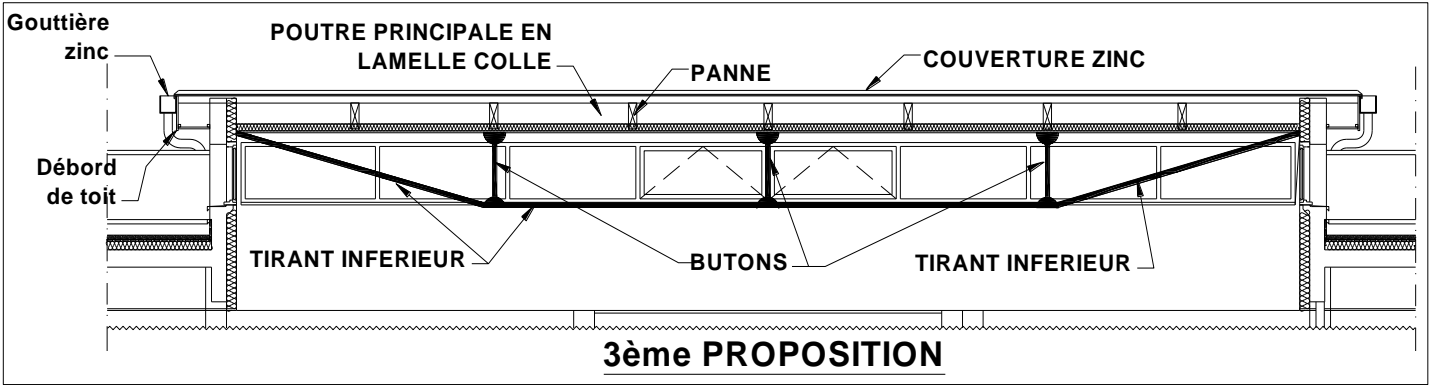
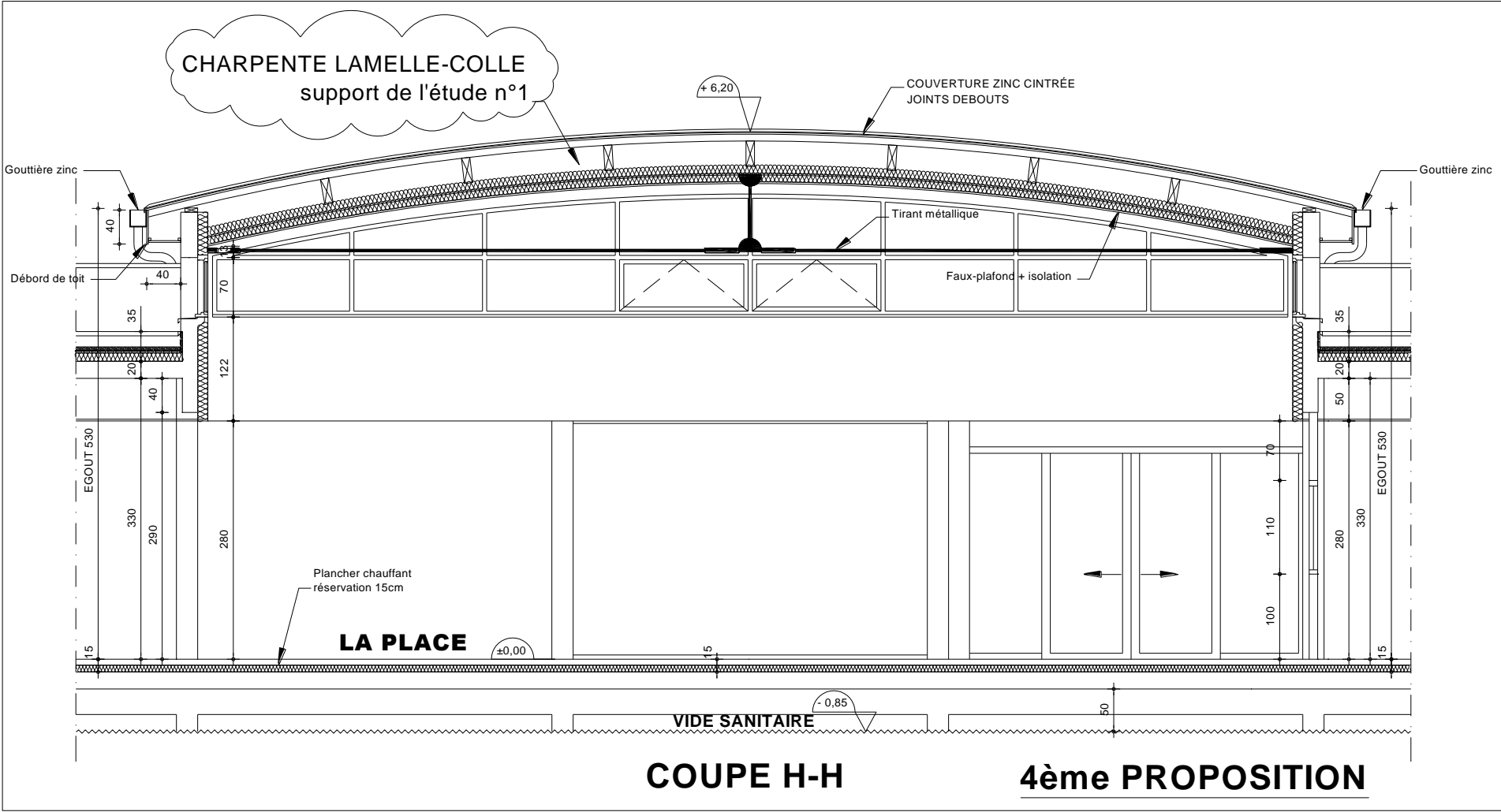
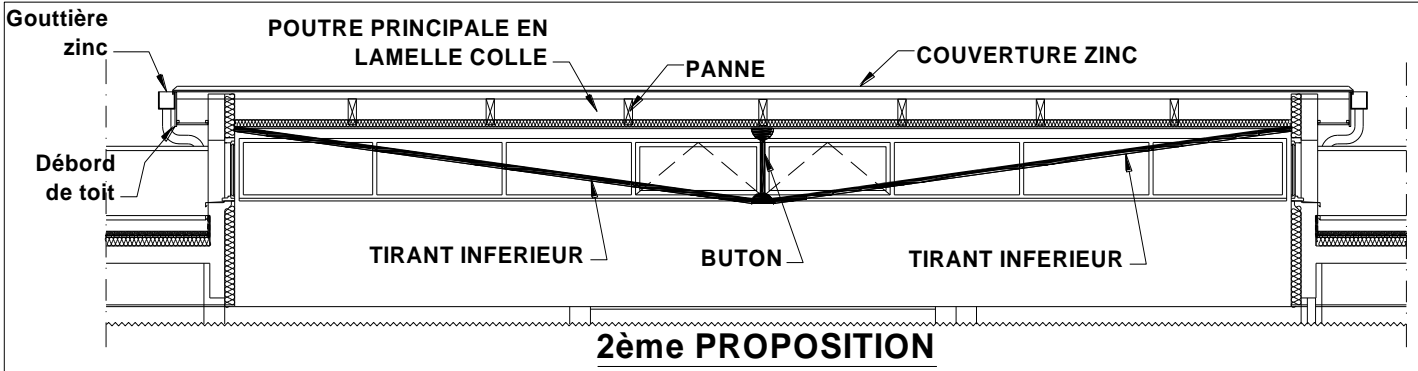
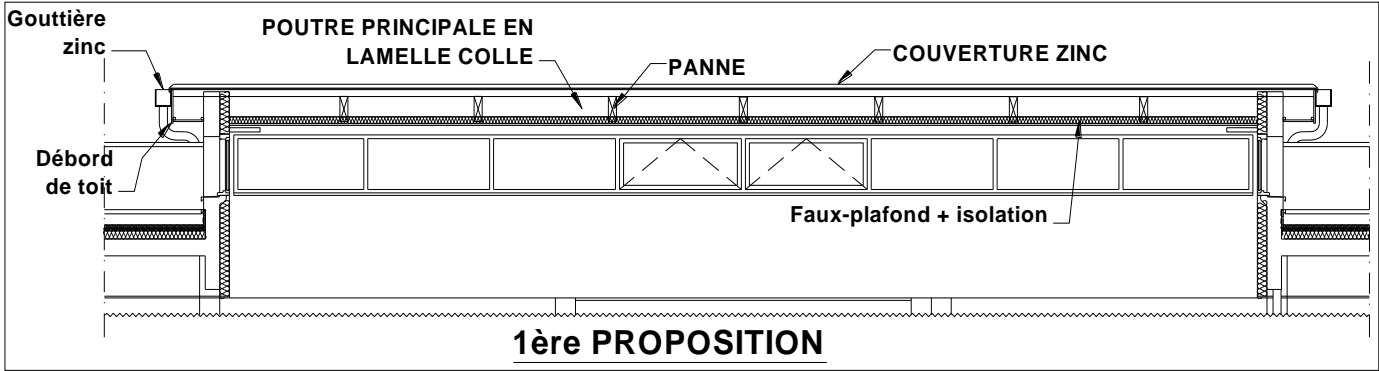


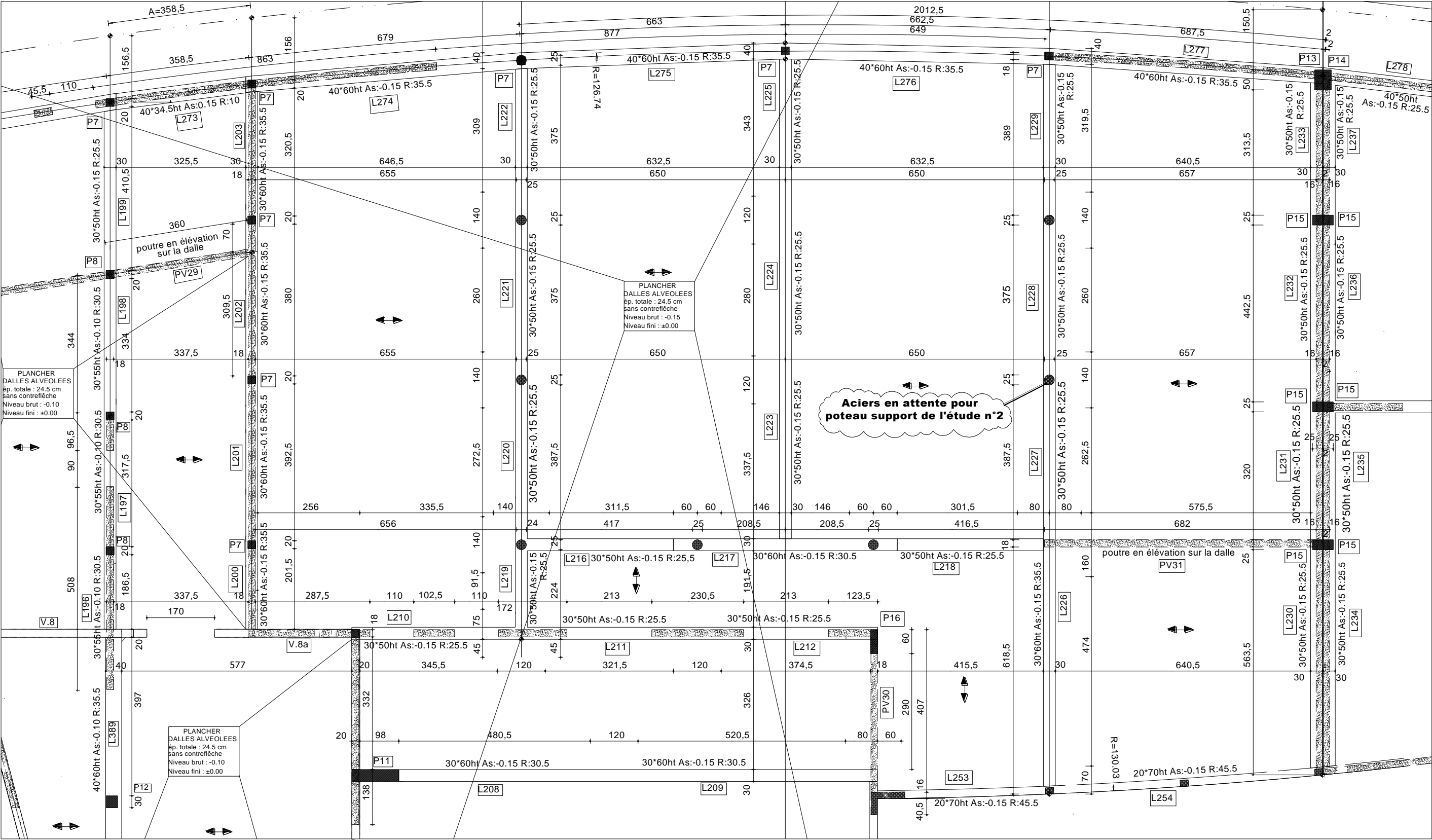
**Façade Sud, façade Nord et coupe verticale sur locaux médicaux**



plan partiel d'architecte: rez-de-chaussée - zone centrale

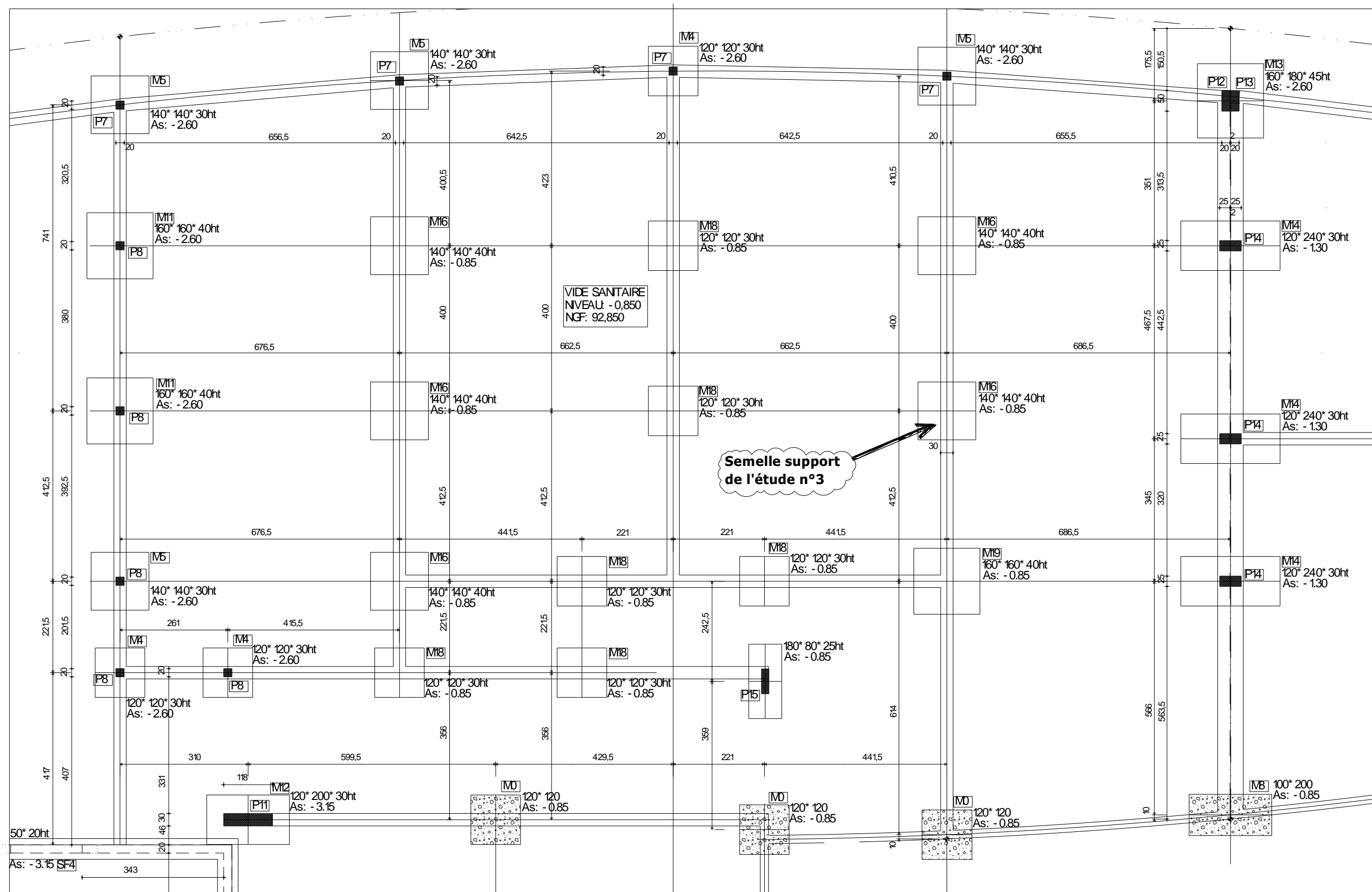
**DT2**  
**Cotes en cm**  
**Sans échelle**





plan de coffrage partiel du plancher haut du vide sanitaire - zone centrale

DT4  
Cotes en cm  
Sans échelle



plan partiel de fondations - zone centrale

DT5  
Cotes en cm  
Sans échelle

# Brevet de technicien supérieur Bâtiment

*Sujet 0 - 2012*

## Epreuve E4 : ÉTUDE TECHNIQUE

Sous - Epreuve : U. 41

**DIMENSIONNEMENT ET VERIFICATION D'OUVRAGES**

**DOSSIER :**

**ANNEXES**

**FORMULAIRE**



| Tableau des aciers en cm² |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| mm                        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9      | 10     |
| 5                         | 0.20  | 0.39  | 0.59  | 0.79  | 0.98  | 1.18  | 1.37  | 1.57   | 1.77   | 1.96   |
| 6                         | 0.28  | 0.57  | 0.85  | 1.13  | 1.41  | 1.70  | 1.98  | 2.26   | 2.54   | 2.83   |
| 8                         | 0.50  | 1.01  | 1.51  | 2.01  | 2.51  | 3.02  | 3.52  | 4.02   | 4.52   | 5.03   |
| 10                        | 0.79  | 1.57  | 2.36  | 3.14  | 3.93  | 4.71  | 5.50  | 6.28   | 7.07   | 7.85   |
| 12                        | 1.13  | 2.26  | 3.39  | 4.52  | 5.65  | 6.79  | 7.92  | 9.05   | 10.18  | 11.31  |
| 14                        | 1.54  | 3.08  | 4.62  | 6.16  | 7.70  | 9.24  | 10.78 | 12.32  | 13.85  | 15.39  |
| 16                        | 2.01  | 4.02  | 6.03  | 8.04  | 10.05 | 12.06 | 14.07 | 16.08  | 18.10  | 20.11  |
| 20                        | 3.14  | 6.28  | 9.42  | 12.57 | 15.71 | 18.85 | 21.99 | 25.13  | 28.27  | 31.42  |
| 25                        | 4.91  | 9.82  | 14.73 | 19.63 | 24.54 | 29.45 | 34.36 | 39.27  | 44.18  | 49.09  |
| 32                        | 8.04  | 16.08 | 24.13 | 32.17 | 40.21 | 48.25 | 56.30 | 64.34  | 72.38  | 80.42  |
| 40                        | 12.57 | 25.13 | 37.70 | 50.27 | 62.83 | 75.40 | 87.96 | 100.53 | 113.10 | 125.66 |

Vérification simplifiée des contraintes normales  
selon l’ Eurocode 5 en flexion simple

- Critère de résistance d’une section / contraintes normales :
- $f_{m,d}$  : résistance de calcul à la flexion du bois :  $f_{m,d} = k_h \times k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$
  - $\sigma_{m,d}$  : contrainte maximale de calcul en flexion (sur les fibres extrêmes) engendrée par le moment de flexion à l’E.L.U.
  - $f_{m,k}$  : résistance caractéristique à la flexion du bois.
  - $\gamma_M$  : coefficient partiel de propriété du matériau pour le bois à l’E.L.U.
  - $k_{mod}$  : coefficient modificatif pour classes de service et classes de durée de chargement.
  - $k_h$  : coefficient modificatif tenant compte de la hauteur de la poutre.

Valeurs du coefficient  $k_{mod}$  :

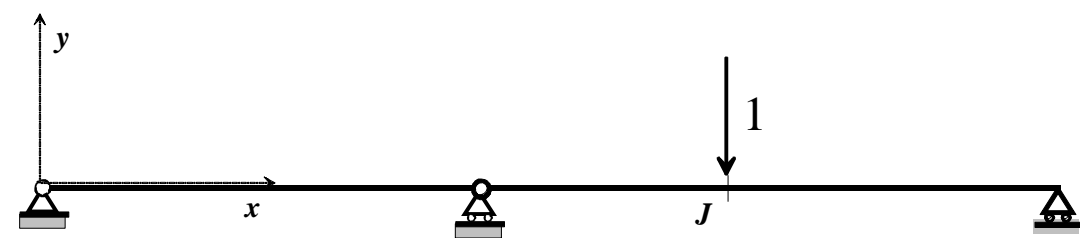
| Matériau                              | Classe de durée de charge | Classe de service |      |      |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------|------|------|
|                                       |                           | 1                 | 2    | 3    |
| BM : bois massif<br>LC :lamellé collé | Permanente                | 0,60              | 0,60 | 0,50 |
|                                       | Long terme                | 0,70              | 0,70 | 0,55 |
|                                       | Moyen terme               | 0,80              | 0,80 | 0,65 |
|                                       | Court terme               | 0,90              | 0,90 | 0,70 |
|                                       | Instantanée               | 1,10              | 1,10 | 0,90 |

Vérification simplifiée des contraintes normales  
selon l’ Eurocode 3 en traction simple

- Critère de résistance d’une section / contraintes normales :
- $$N_{Ed,u} \leq N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$
- $f_y$  : limite élastique de l’acier.
  - $N_{Ed,u}$  : effort normal de traction (agissant) sollicitant la section à l’ELU.
  - $N_{pl,Rd}$  : effort normal résistant plastique.
  - $A$  : aire brute de la section.
  - $\gamma_{M0}$  : coefficient partiel de sécurité sur la résistance de l’acier.

Théorème de Pasternak

Pour calculer le déplacement en un point J d’une structure hyperstatique suivant une direction donnée, on applique en ce point J dans une de ses structures associées isostatiques (structure virtuelle) suivant la direction souhaitée une charge unité.



- Le déplacement cherché en J est obtenu par :
- $$\Delta_j = \int_{structure} \frac{M \ x \times \bar{M}_j^0 \ x}{EI} dx$$
- $M$  : représente le moment fléchissant dans la structure réelle,
  - $\bar{M}_j^0$  : représente le moment fléchissant dans la structure associée isostatique (structure virtuelle) soumise à une charge unité appliquée au point J.

**Intégrales de Mohr (à diviser par E I<sub>Gz</sub>)**

*Remarque* : Dans le tableau, M<sub>i</sub>, M<sub>j</sub>, M'<sub>i</sub> et M'<sub>j</sub> sont les extremums des fonctions m<sub>i</sub>(x) et m<sub>j</sub>(x). Ils sont à prendre en valeurs absolues. La valeur algébrique du résultat de l'intégration dépend du signe des diagrammes.

**Tableau des intégrales de MOHR :**  $\int_0^L m_i(x) m_j(x) dx$

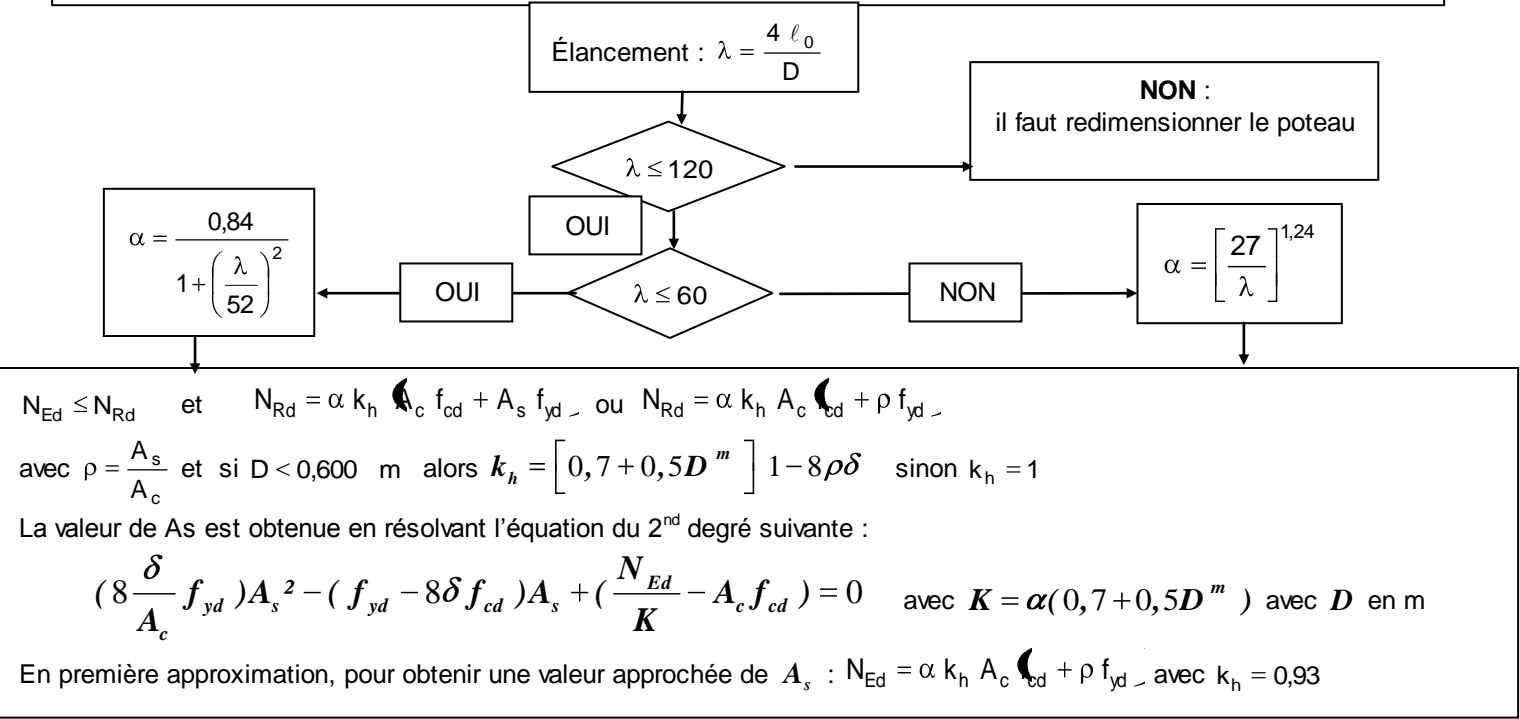
|                                 |                                 |                                 |                                   |                                  |  |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
|                                 |                                 |                                 |                                   |                                  |  |
| $LM_i M_j$                      | $\frac{1}{2} LM_i M_j$          | $\frac{2}{3} LM_i M_j$          | $\frac{2}{3} LM_i M_j$            | $\frac{1}{3} LM_i M_j$           |  |
| $\frac{1}{2} LM_i M_j$          | $\frac{1}{3} LM_i M_j$          | $\frac{1}{3} LM_i M_j$          | $\frac{5}{12} LM_i M_j$           | $\frac{1}{4} LM_i M_j$           |  |
| $\frac{1}{2} LM_i M_j$          | $\frac{1}{6} LM_i M_j$          | $\frac{1}{3} LM_i M_j$          | $\frac{1}{4} LM_i M_j$            | $\frac{1}{12} LM_i M_j$          |  |
| $\frac{1}{2} LM_j (M_i + M'_i)$ | $\frac{1}{6} LM_j (M_i + M'_i)$ | $\frac{1}{3} LM_j (M_i + M'_i)$ | $\frac{1}{12} LM_j (M_i + 3M'_i)$ | $\frac{1}{12} LM_j (M_i + M'_i)$ |  |

Dans le tableau, M<sub>i</sub>, M<sub>j</sub>, M'<sub>i</sub>, M'<sub>j</sub>, sont les extremums des fonctions m<sub>i</sub> et m<sub>j</sub>. Ils sont à prendre en valeurs absolues. La valeur algébrique du résultat de l'intégration dépend du signe des diagrammes.

**Organigramme poteaux circulaires en béton armé**

- Données :-**
- Classe structurante S4 ; Classe d'exposition X ... donnant un enrobage nominal c<sub>nom</sub>
  - N<sub>Ed</sub>, effort normal centré aux ELU
  - A<sub>c</sub>, aire du béton  $A_c = \frac{\pi D^2}{4}$ , D en mètres
  - Enrobage relatif  $\delta = \frac{d'}{D}$  avec  $d' = c_{nom} + \phi_t + \frac{\phi_l}{2}$
  - Classe du béton C ../.. donnant f<sub>ck</sub> et f<sub>cd</sub> =  $\frac{f_{ck}}{1,5}$  (âge du béton > 28 jours)
  - Acier B500 donnant f<sub>yk</sub> = 500 MPa et f<sub>yd</sub> = f<sub>yk</sub> / 1,15 = 434,8 MPa
  - Longueur efficace (ou de flambement) notée = ℓ<sub>0</sub> = longueur libre du poteau notée l

Si d' est inconnu, prendre :  
40 mm pour XC1  
55 mm pour XC4



**Section minimale des armatures longitudinales**

$$A_{s,min} = \max \left[ \frac{0,10 N_{Ed}}{f_{yd}}; \frac{0,2}{100} A_c \right] \{9.12N\}$$

A<sub>c</sub> = aire de la section brute transversale de béton  
f<sub>yd</sub> limite élastique de calcul de l'armature  
Le diamètre des barres longitudinales  $\phi_l \geq \phi_{min} = 8 \text{ mm}$

**Armatures transversales :**

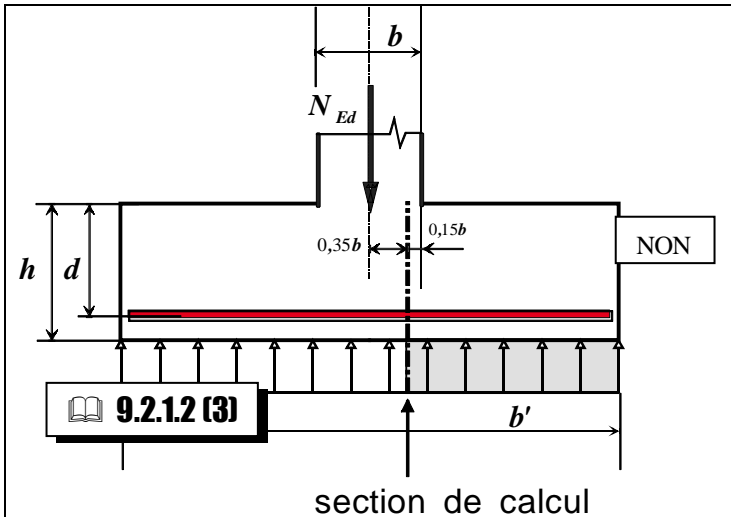
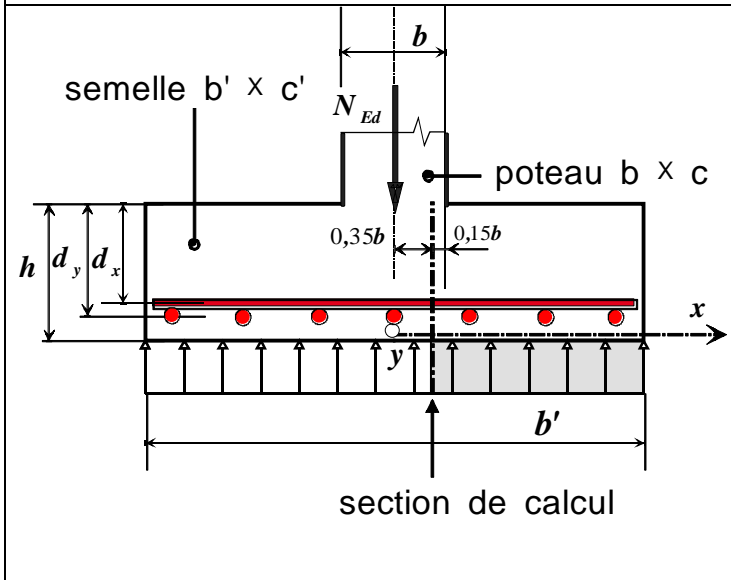
$\phi_t \geq \max \left[ \frac{N_{Ed}}{A_s}; \phi_{l,max} / 4 \right]$   
espacement:  $s_{cl,t} \leq s_{cl,t,max} = \min [400 \text{ mm} ; 20 \phi_{l,min} ; D]$   
 $\phi_{l,min}$  = diamètre de la plus petite armature longitudinale résistante  
D = diamètre du poteau  
Les armatures transversales doivent maintenir toutes les barres prises en compte dans les calculs de résistance

## Calcul des semelles sous charge centrée

### Sol de fondation

- soit  $V_d$  la charge verticale agissante de calcul (ELU) au niveau de la base de la fondation (assise).
- Cette charge ultime extérieure tient compte du poids de la semelle, du sol situé au-dessus, du dallage éventuel et de la charge variable sur le dallage.
- soit  $A'$  l'aire de la surface effective de la fondation (en compression centrée, aire totale de la surface horizontale de la fondation en contact avec le sol ; si le chargement est excentré, utiliser la méthode de Meyerhof).
- la valeur de la portance de calcul du sol de fondation est notée :  $R_d$  (soit la contrainte de calcul  $q_d = \frac{R_d}{A'}$ ).
- critère de résistance :  $V_d \leq R_d$ .

### Expression du moment réglementaire

|   |  |
|---|--|
|  <p>section de calcul</p>  | <p><b>semelle filante</b></p> <p>L'Eurocode NF EN 1992-1-1 propose de calculer le moment dans une section située à <math>0,35b</math> de l'axe du poteau, en prenant en compte que les charges du sol sur la semelle. Pour une semelle filante sous chargement centré et pour un tronçon de 1 m de longueur le moment de flexion a pour expression: <math>M_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{8b'} [1 - 0,7b]^2</math>.</p> |
|  <p>section de calcul</p> | <p><b>Semelle rectangulaire</b></p> $M_{Edx} = \frac{N_{Ed}}{2b'} \left[ \frac{b'}{2} - 0,35b \right]^2 = \frac{N_{Ed}}{8b'} [1 - 0,7b]^2$ $M_{Edy} = \frac{N_{Ed}}{2c'} \left[ \frac{c'}{2} - 0,35c \right]^2 = \frac{N_{Ed}}{8c'} [1 - 0,7c]^2$  |

## Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire

### Données

Classe structurale : **S4**

Environnement : Classe d'exposition **X..**

$b_w$  ;  $h$

béton **C.. / ..**  $f_{ck}$

acier **B500 classe B**  $f_{yk} = 500$  **MPa**

diagramme élasto-plastique parfait

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

$$p_u = 1,35g + 1,5q \text{ kN / m}$$

$$\text{moment de flexion ELU } M_{Ed} = M_u$$

