

Brevet de Technicien Supérieur Bâtiment

Épreuve E4 : Étude Technique

Sous épreuve : E.41

DIMENSIONNEMENT ET VÉRIFICATION D'OUVRAGES

SESSION 2017

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé: toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186, 16/1 1/1999)

Tout autre matériel est interdit.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet

Ce sujet comporte 22 pages, numérotées de 1 à 22. Le DR1 page 22 est à rendre avec la copie.

BTS	BÂTIMENT	SESSION 2017
Dimensionnement et vérification d'ouvrages - E41	code : BTE4DVO-NC	1/22

Centre de documentation et d'information

Contenu du dossier

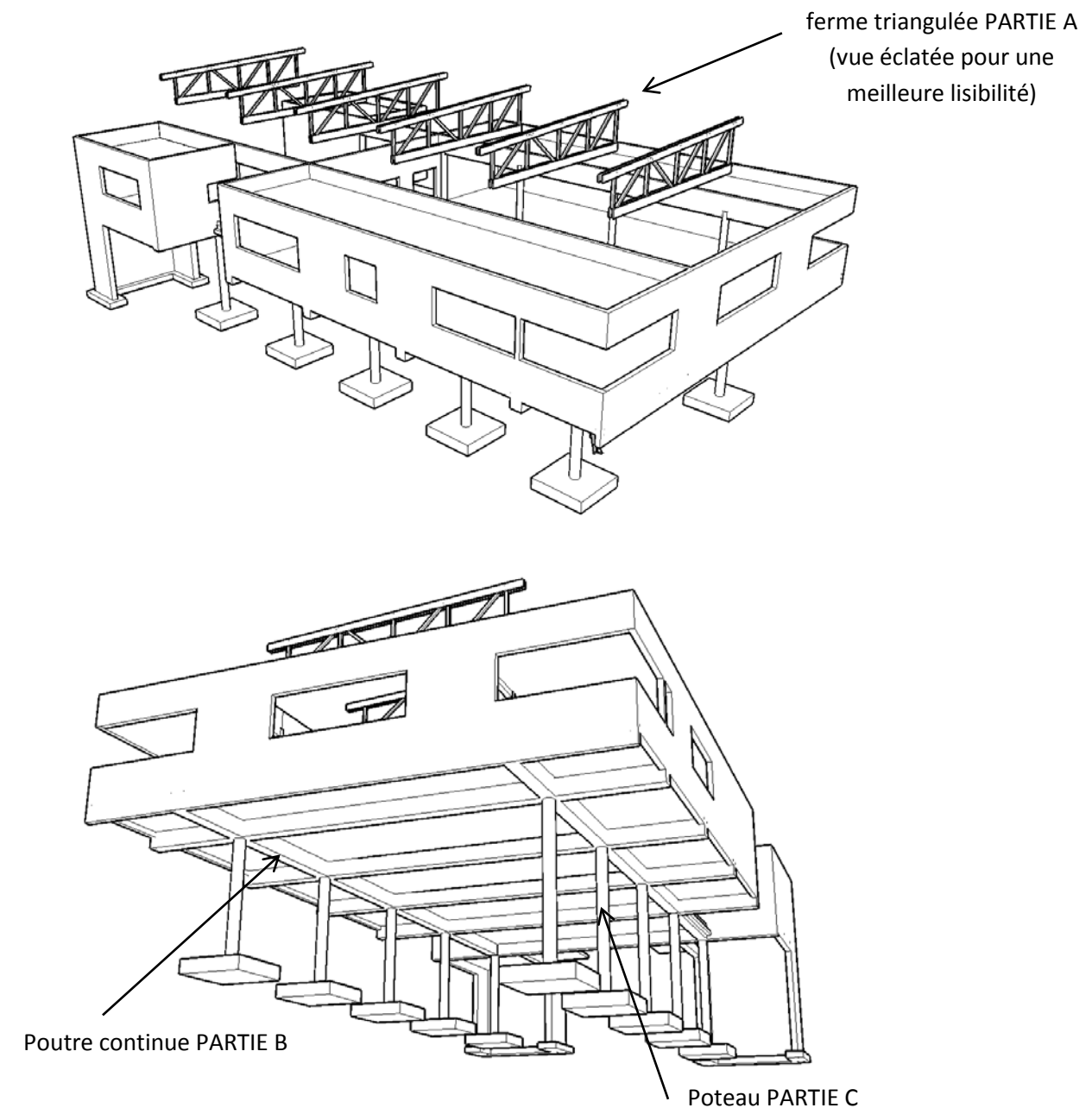
Page 2	: Présentation de l'ouvrage
Page 3	: Caractéristiques des matériaux utilisés sur l'ouvrage et charges surfaciques : Structure du sujet
Pages 4 à 7	: Travail demandé
Page 8	: DT1 - Élévation et coupe transversale de la ferme
Page 9	: DT2 - Plan de toiture
Page 10	: DT3 - Plan niveau R+1
Page 11	: DT4 - Plan niveau RDC
Page 12	: DT5 - Coupe d'architecte transversale BB
Page 13	: DT6 - Façade sud
Page 14	: DT7 - Plancher haut rez de chaussée
Page 15	: DT8 - Coupe transversale de bureau d'études techniques (BET)
Pages 16 à 21	: DT9 à DT14 Extraits du formulaire RDM / Eurocodes
Page 22	: Document réponse DR1

Barème

PARTIE A	Étude de la ferme triangulée	8 points
PARTIE B	Étude de la poutre continue en béton armé	7 points
PARTIE C	Étude d'un poteau en béton armé	5 points

Présentation de l'ouvrage (voir également l'ensemble du Dossier Technique)

L'étude porte sur un CDI (Centre de Documentation et d'Information) d'un lycée de la région Aquitaine. Le parti pris architectural porte sur plusieurs axes. Le premier axe consiste à dégager un volume important au rez de chaussée (zone extérieure) en limitant le nombre de poteaux pour une circulation aisée. Le second vise l'éclairage naturel obtenu entre autre par des ouvertures zénithales périphériques. Ce choix impose des poutres supportant la couverture, de grande portée. Ce problème est résolu par l'utilisation de poutres triangulées en matériaux mixte bois/acier que l'architecte a choisi de surdimensionner dans un but esthétique.



Caractéristiques des Matériaux

Béton armé

Béton C25/30 : $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Armatures Acier B500B : $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Poids volumique du béton armé : $\gamma_{BA} = 25 \text{ kN/m}^3$

Acier de construction métallique

Sans objet.

Bois

Sans objet.

Charges surfaciques

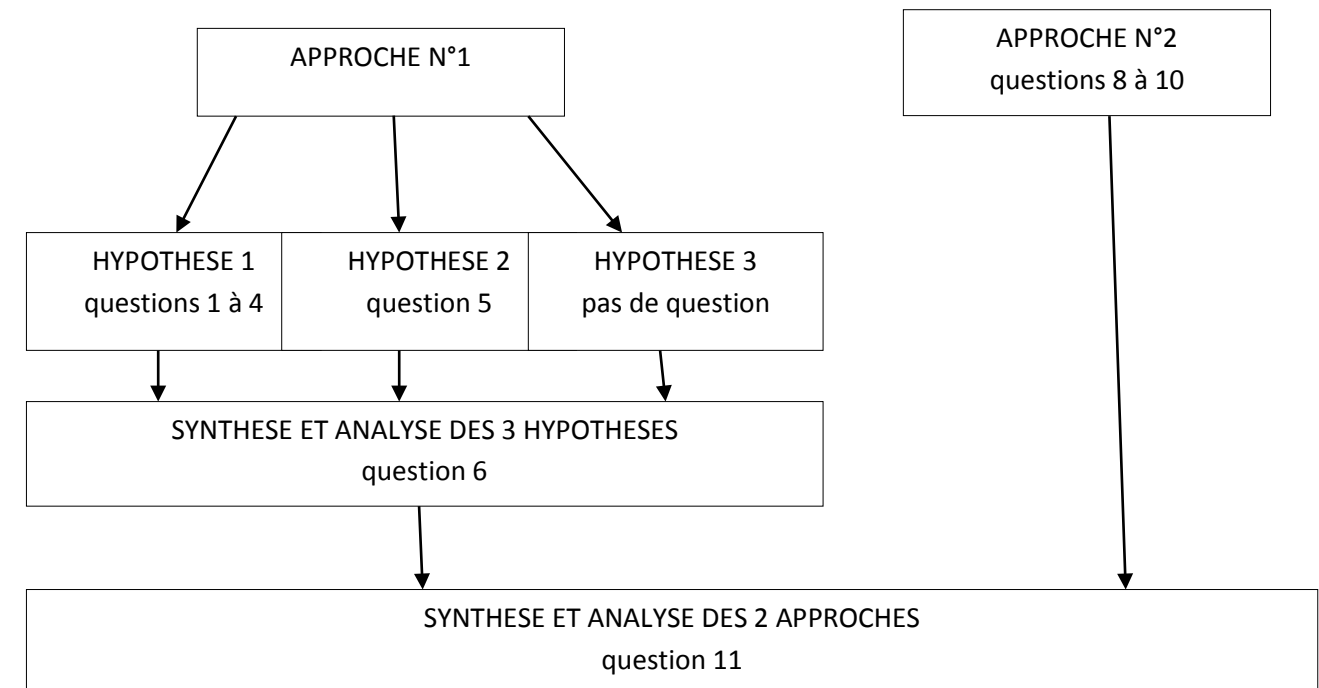
À utiliser pour la partie B

Charges permanentes hors poids propre des structures : $1,00 \text{ kN/m}^2$
Charges d'exploitation : $6,00 \text{ kN/m}^2$

Structure du sujet

PARTIE A

Cette partie permettra d'analyser la ferme triangulée repérée sur la perspective de la page 2, en suivant deux approches, comme le montre l'organigramme suivant :



PARTIE B

Questions 12 à 22

L'objectif de cette partie est de déterminer le rôle principal de la poutre continue en béton armé (repérée sur la page 2 et sur le DT 7) et d'en dimensionner les aciers.

PARTIE C

Questions 23 à 26

On souhaite ici déterminer les aciers du poteau en béton armé repéré sur la page 2 et sur le DT 7.

Travail demandé

PARTIE A : ÉTUDE DE LA FERME TRIANGULÉE (voir DT1)

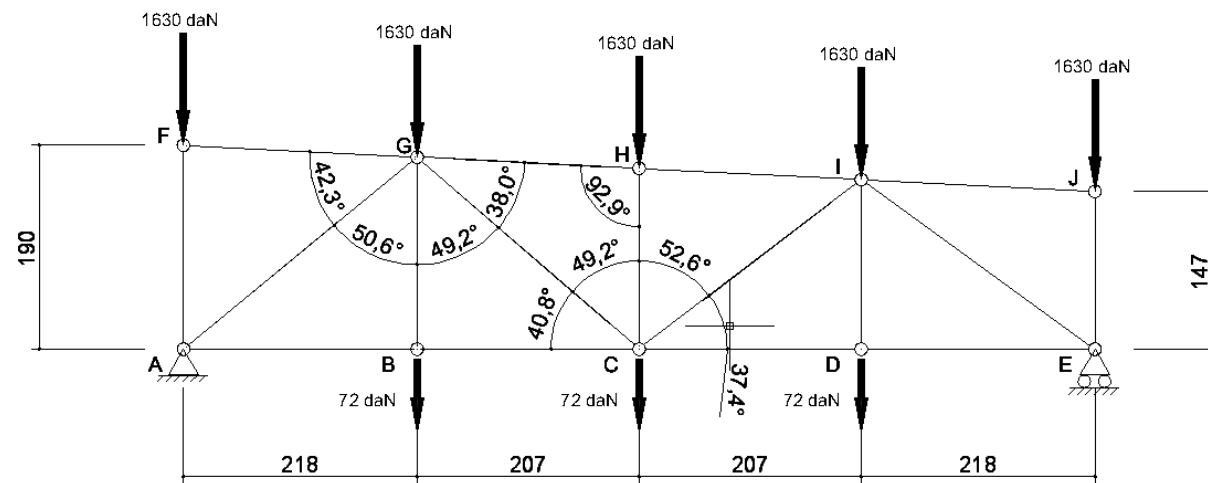
On souhaite comparer différents modèles pour analyser la ferme triangulée, déterminer les conséquences du modèle retenu sur la fabrication de la ferme et choisir le modèle le plus adapté à un calcul manuel.

APPROCHE N°1:

On considère pour cette approche un modèle comportant toutes les barres de la ferme (concerne les questions 1 à 7)

Hypothèse 1:

On suppose toutes les barres articulées entre elles (Concerne les questions 1 à 4)



(cotes exprimées en cm)

1 - Expliquer ce que représente le degré d'hyperstaticité de la structure, noté « DH ». Préciser son utilité.

2 - Calculer le degré d'hyperstaticité DH de la ferme à l'aide de la relation suivante:

$$DH = b + r - 2n$$

Avec:

DH = degré d'hyperstaticité du treillis

b = nombre de barres

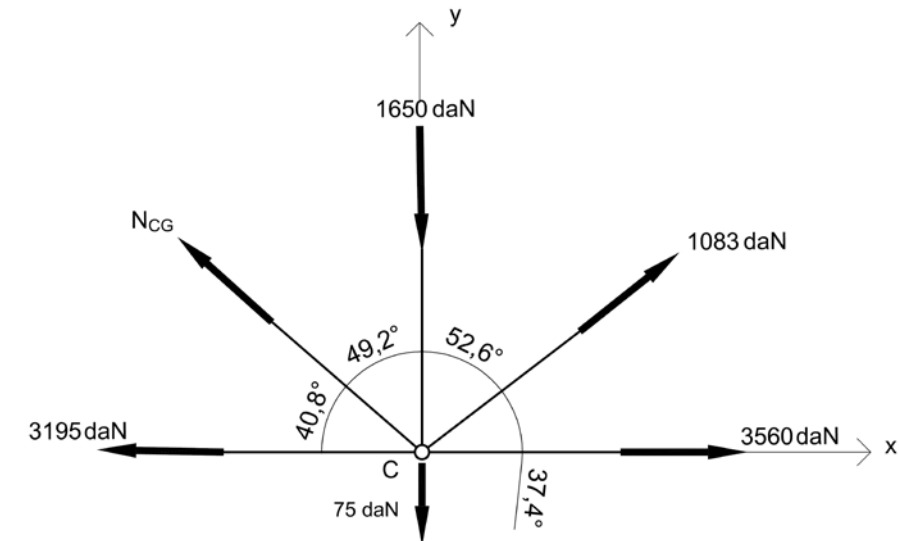
r = nombre d'actions de liaisons (réactions d'appuis)

n = nombre de nœuds

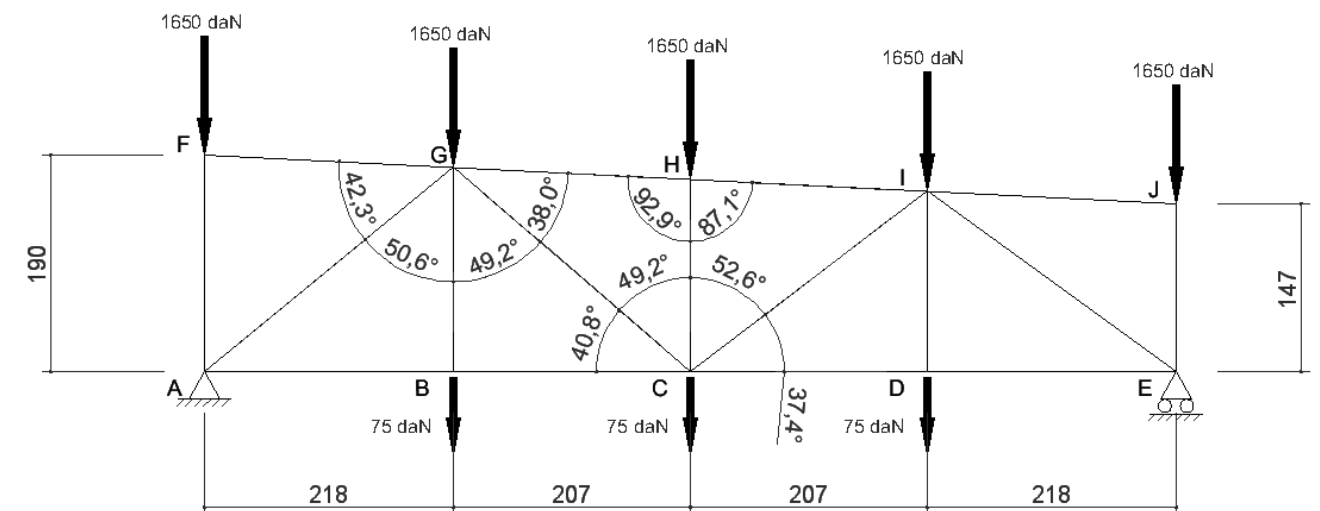
3 - Sans faire aucun calcul, donner les valeurs des moments et des efforts tranchants dans toutes les barres qui composent la ferme. Justifier votre réponse.

4 - Déterminer l'effort normal dans la diagonale N_{CG} à l'aide du schéma mécanique et des préconisations ci-dessous.

On pourra isoler le nœud C et écrire une équation de la statique projetée sur les axes (C, \vec{x}) ou (C, \vec{y}) .

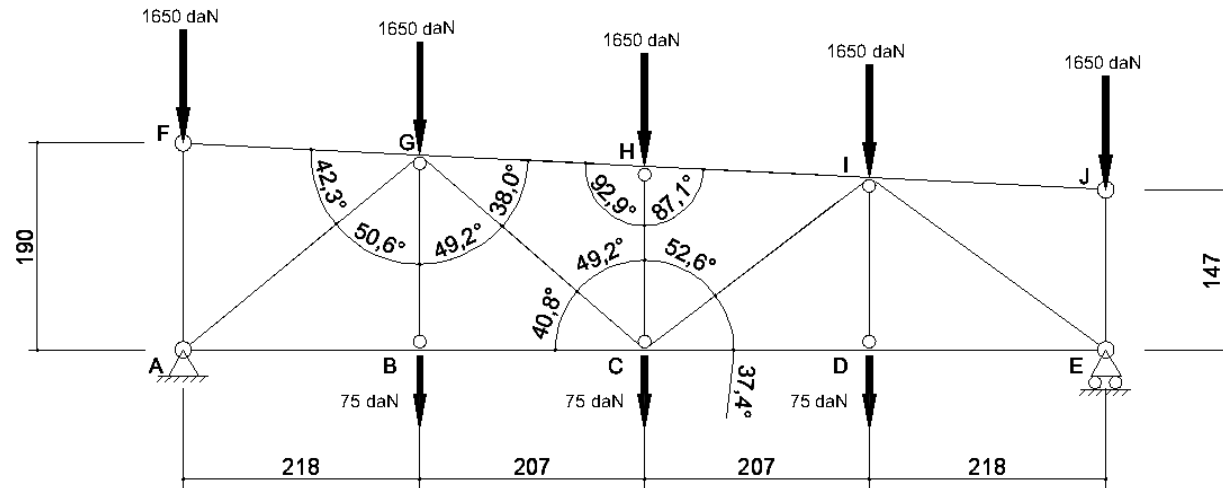


Hypothèse 2 (concerne la question 5) : on considère ici que tous les nœuds internes sont des encastremets.



5 - Sans faire le calcul, préciser si le DH sera supérieur au cas précédent ou pas. Justifier votre réponse.

Hypothèse 3 : On considère que les membrures inférieures et supérieures sont continues et que les montants et diagonales sont articulés sur les membrures.



Pour la question 6, on donne le tableau récapitulatif des valeurs maximales des moments de flexion, efforts normaux et flèches selon les 3 hypothèses précédentes (hyp1, hyp2 et hyp3).

	tout articulé (hyp1)			tout encastré (hyp2)			membrures continues (hyp3)		
	memb sup	memb inf	diag	memb sup	memb inf	diag	memb sup	memb inf	diag
Moment de flexion [kN.m]	0	0	0	1,51	0,9	0,10	1,51	0,7	0
effort normal [kN]	- 44,1	35,6	- 44	- 42,9	34,5	- 41,1	- 43	34,4	- 42,6
flèche [mm]	1,99	1,91	0	2,04	1,96	0	2	1,94	0

memb sup : membrure supérieure
 memb inf : membrure inférieure
 diag : diagonale

6 - Indiquer l'hypothèse la plus adaptée au calcul manuel. Les différences de résultats vous semblent-elles significatives? Quelle est la structure la plus rigide? Laquelle génère des difficultés supplémentaires de fabrication? Quel modèle se rapproche le plus de la structure réelle?

7 - Étude des contraintes normales

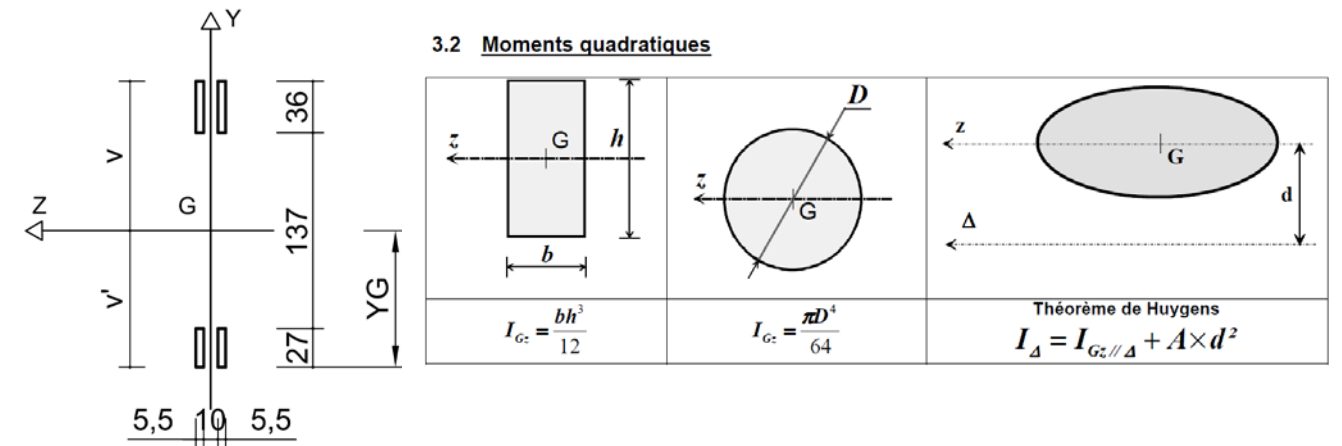
7-1 Calculer les contraintes normales dans les membrures en considérant les efforts normaux suivants:

En membrure supérieure 2 LC 5,5 x 36 $N_{\text{memb sup}} = -44,1 \text{ kN}$
 En membrure inférieure 2 LC 5,5 x 27 $N_{\text{memb inf}} = +35,6 \text{ kN}$

7-2 Montrer sur un schéma, la répartition des contraintes normales sur la hauteur de la section droite.

APPROCHE N°2 (pour questions 8 à 10) : on néglige la présence des montants et diagonales et on observera les conséquences de cette simplification.

Dans ce cas, la poutre se réduit au schéma ci-dessous (section étudiée à mi-portée et cotes en cm).

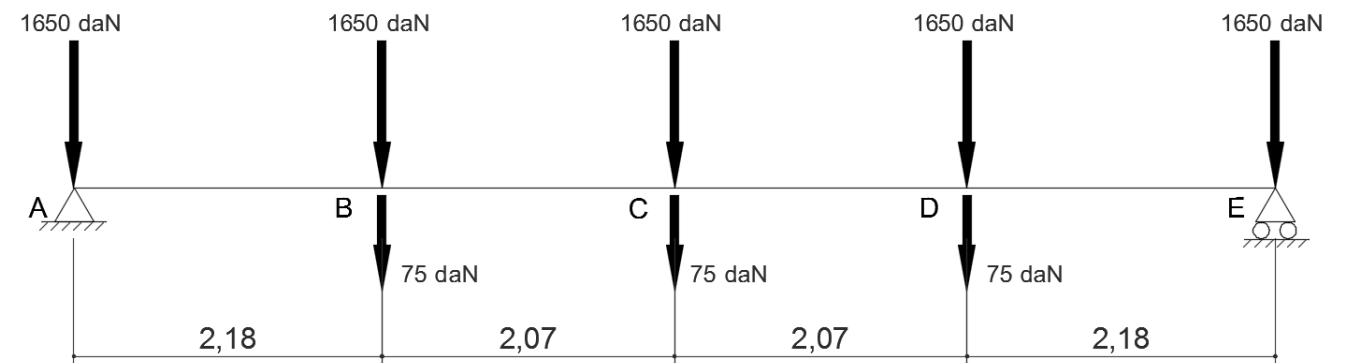


8- Étude des caractéristiques géométriques de la section.

8-1 Calculer la position du centre de gravité "Y_G".

8-2 Déterminer le moment quadratique I_{GZ} de la poutre ainsi schématisée à l'aide des relations rappelées ci-dessus.

9 - Calculer le moment fléchissant au nœud C en considérant le schéma mécanique suivant :



(Les cotes sont exprimées en m)

NB: Il faut au préalable calculer les actions de liaison en A et E

10- Étude des contraintes normales (voir DT9).

10-1 Calculer les contraintes maximales de flexion sur la fibre supérieure puis inférieure.

On prendra:

$M_{\text{max}} = 7430 \text{ daN.m}$, $I_{GZ} = 4\,880\,000 \text{ cm}^4$, $v = 902 \text{ mm}$, $v' = 1098 \text{ mm}$

10-2 Montrer sur un schéma la répartition des contraintes sur la hauteur de la section droite.

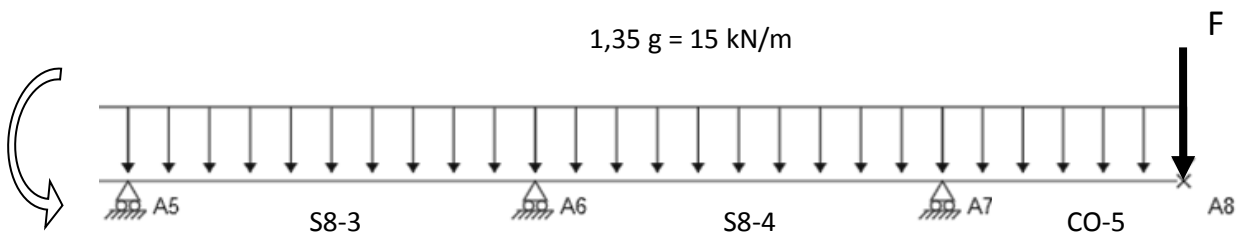
11- Comparer et commenter ces valeurs avec les résultats obtenus en question 7 avec l'approche n°1.

PARTIE B : POUTRE EN BÉTON ARMÉ (voir DT7, DT8 et DR1)

L'objectif de cette partie est de déterminer le rôle principal de la poutre continue en béton armé repérée sur le DT7 et d'en dimensionner les aciers.

12 - Calculer les charges linéiques "g" et "q" pondérées qui s'appliquent sur la poutre S8-4

13 - On retient le schéma mécanique suivant sur la poutre continue S8. La charge linéaire d'exploitation "q" n'est pas encore représentée :

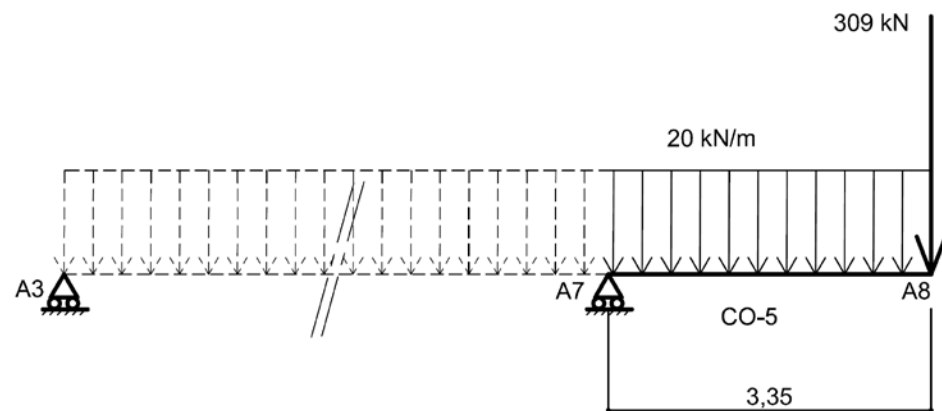


Moment de continuité

13-1 Disposer "q" de manière à obtenir le cas de charge générant le moment maximum sur l'appui A7 (voir DT10).

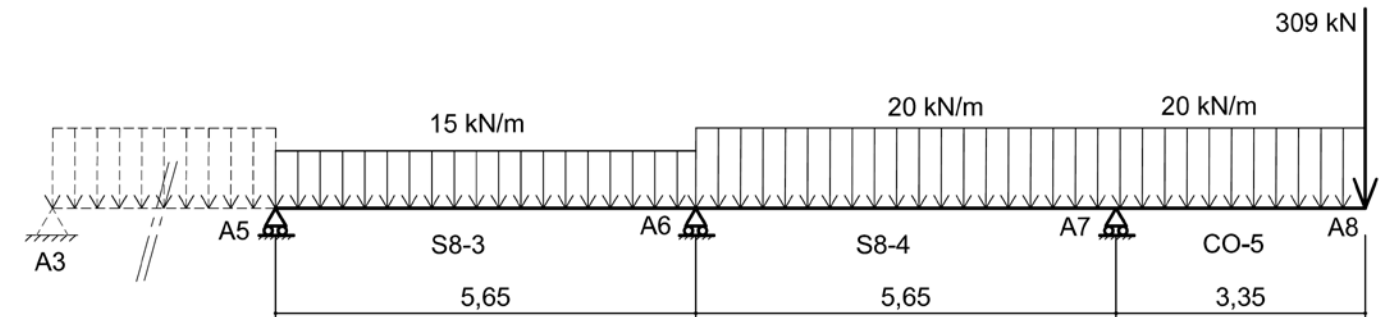
13-2 Disposer "q" de manière à obtenir **a priori** le cas de charge générant le moment maximum dans la travée S8-4

14- Calculer le moment sur l'appui A7 selon l'extrait du schéma mécanique suivant :



15 - Calculer le moment sur l'appui A6 à l'aide des informations présentées ci-dessous.

Moment de flexion sur l'appui A7 = -1147 kN.m
l'appui A5 = $-110,4 \text{ kN.m}$



16- Calculer les actions de liaisons en A6 et A7. On prendra $M_{A6} = + 245 \text{ kN.m}$

17 - Compléter sur le DR1 la courbe de l'effort tranchant sur le tronçon de poutre situé de A5 à A8. En déduire l'action de liaison en A5.

18- Compléter sur le DR1 la courbe du moment fléchissant du nœud A5 au nœud A8.

19- Indiquer, en fonction du schéma mécanique et des résultats des questions 17 et 18, le rôle de cette poutre.

20 - Calculer la section d'acier nécessaire pour reprendre le moment sur l'appui A7.

21 - Déterminer le nombre et le(s) diamètre(s) des aciers en barres correspondants.

22- Disposer sur le DR1 ces aciers sur une coupe de principe (à tracer) et sur l'élévation.

PARTIE C : POTEAU EN BÉTON ARMÉ (voir DT7, DT8 et DR1)

On souhaite dans cette partie déterminer les aciers d'un poteau en béton armé de la structure.

On donne pour le poteau considéré $N_{ed} = 1250 \text{ kN}$

23 - Calculer la longueur de flambement du poteau (détermination simplifiée) situé sur la file C₁₆.

24- Dimensionnement des armatures longitudinales

24-1 Déterminer la section d'armatures longitudinales nécessaire.

24-2 Choisir les aciers correspondants.

24-3 Vérifier que cette section d'armatures est conforme à l'exigence de section d'armatures minimale.

25- Dimensionnement des armatures transversales

25-1 Calculer la section des armatures transversales.

25-2 Calculer les espacements courants, en pied et en tête de poteau.

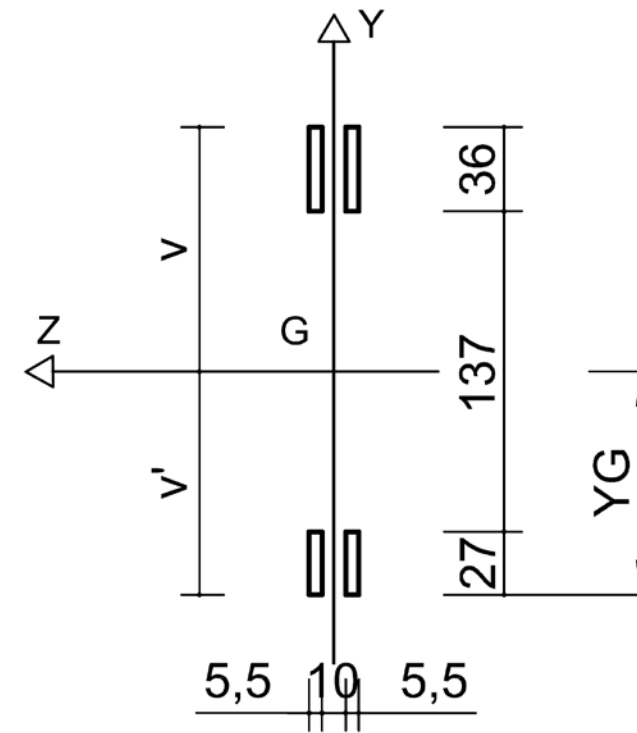
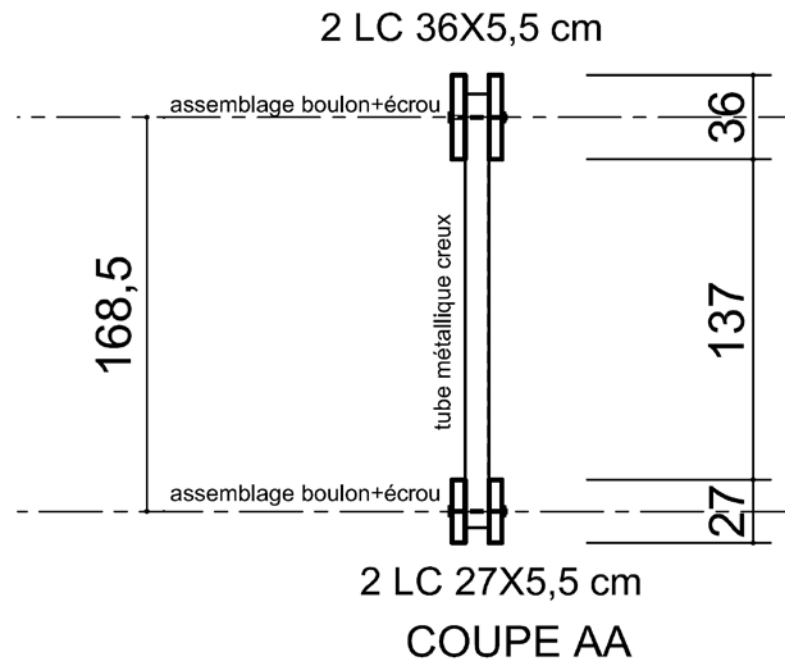
26 - Disposer sur le document réponse DR1 toutes les armatures.

Les armatures de la semelle ne sont pas à représenter.

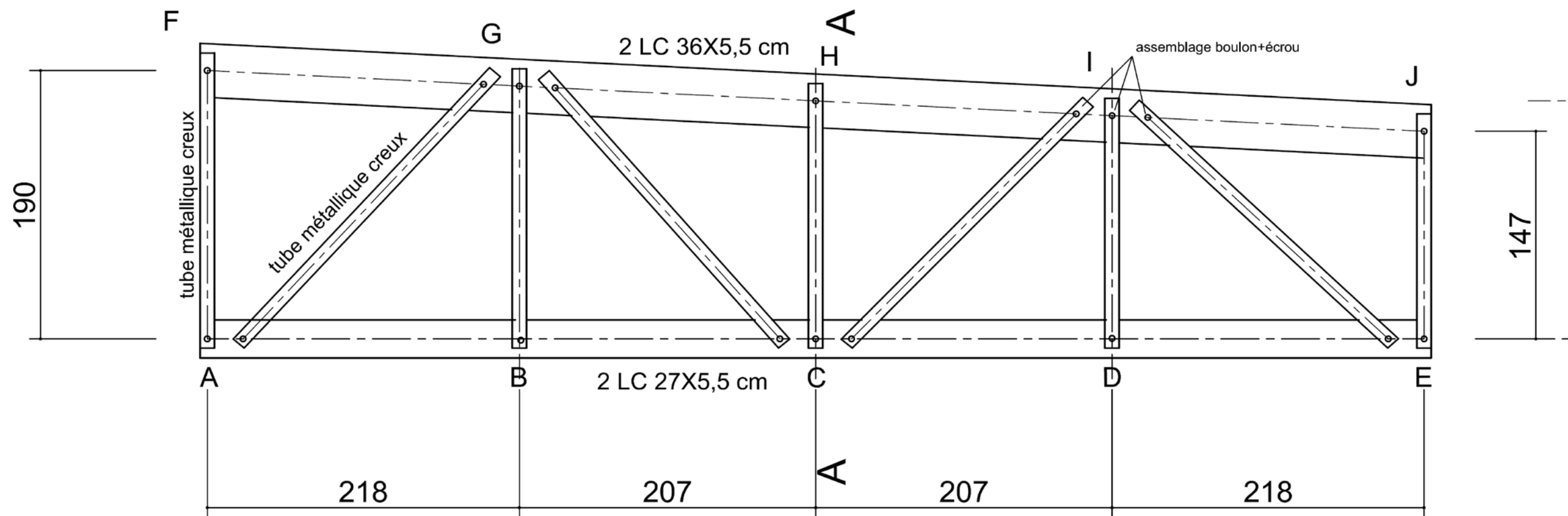
Vues sans échelle

Cotes exprimées en cm

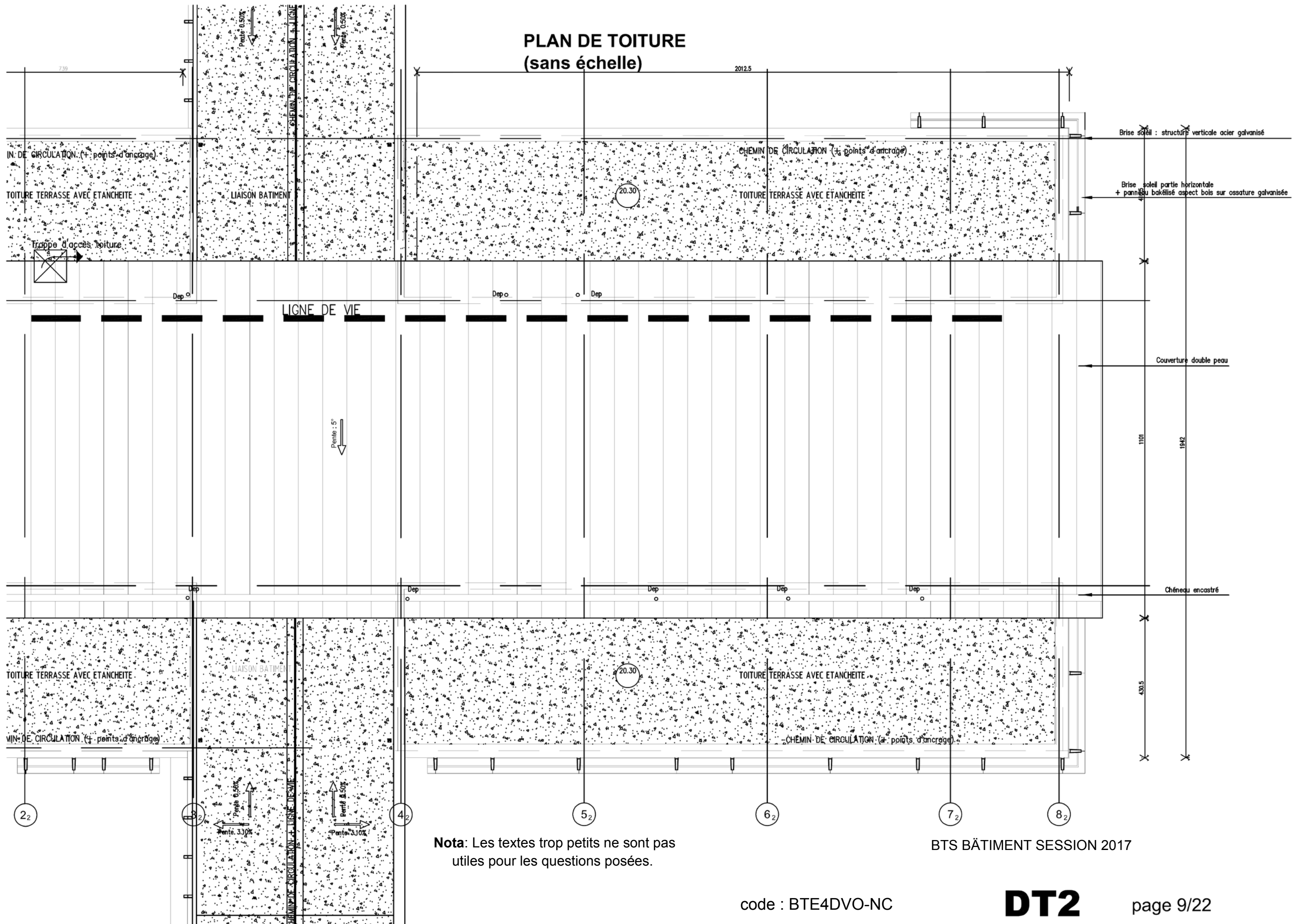
LC = lamellé collé



COUPE AA pour question 9

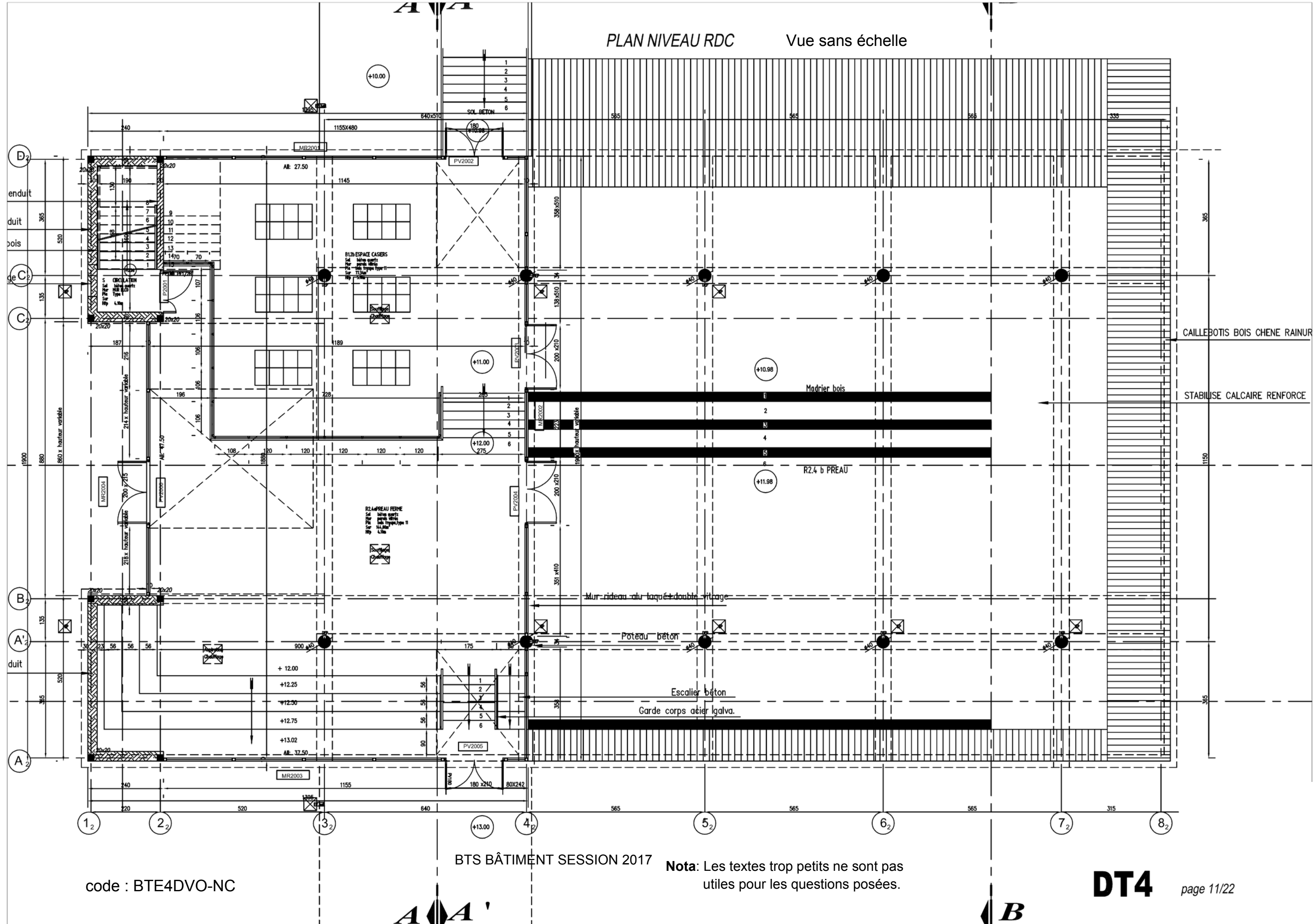


PLAN DE TOITURE (sans échelle)



Nota: Les textes trop petits ne sont pas utiles pour les questions posées.

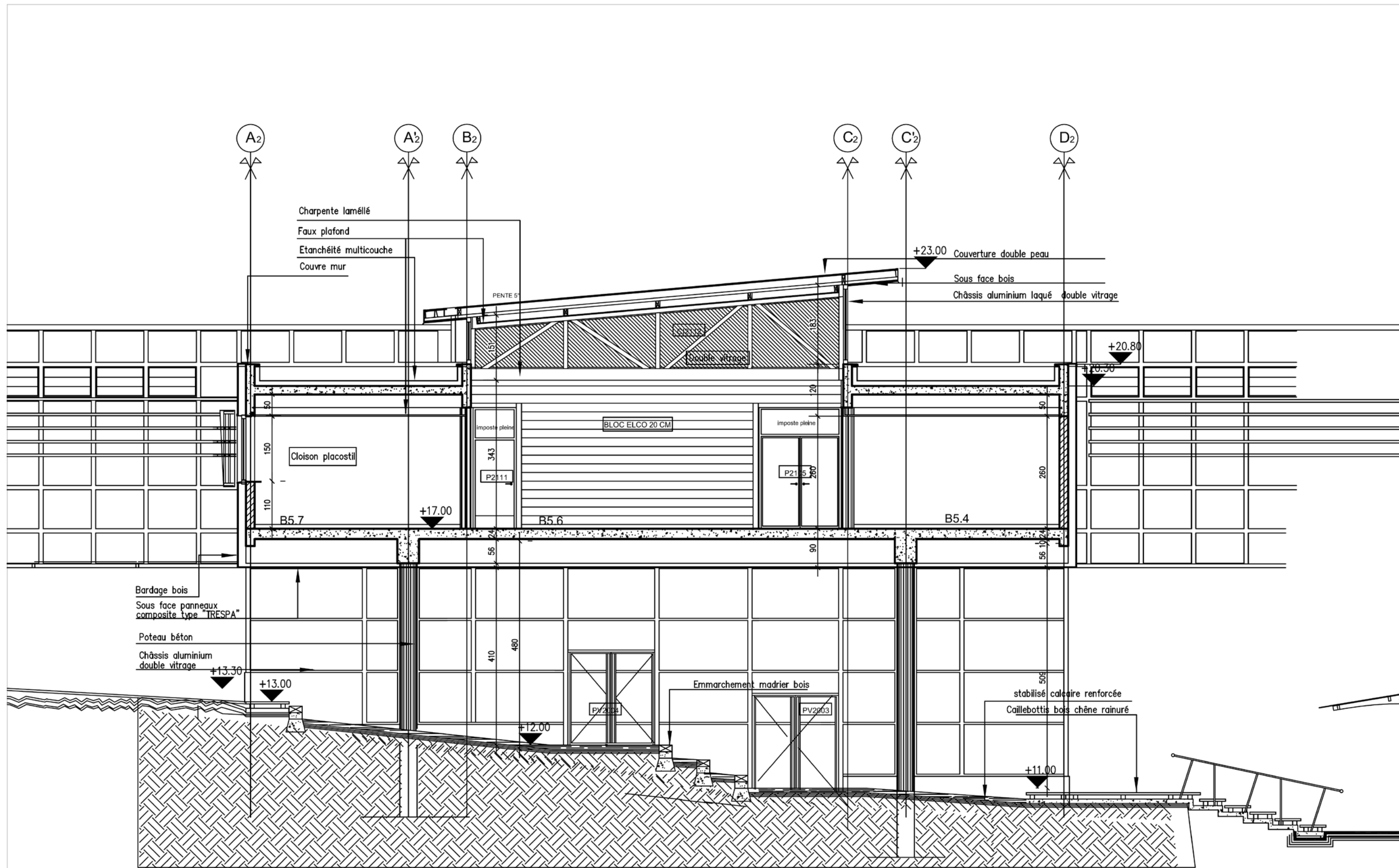
PLAN NIVEAU RDC Vue sans échelle



code : BTE4DVO-NC

BTS BÂTIMENT SESSION 2017

Nota: Les textes trop petits ne sont pas utiles pour les questions posées.

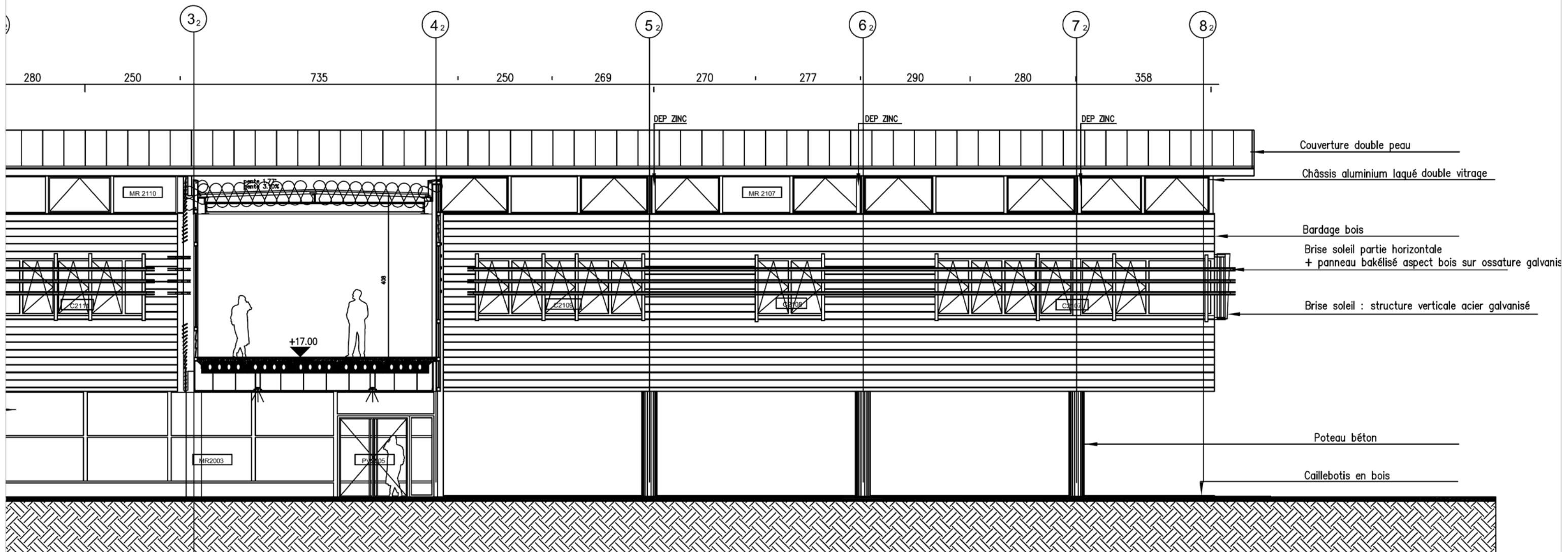


Nota: Les textes trop petits ne sont pas utiles pour les questions posées.

Vue sans échelle

code : BTE4DVO-NC

coupe transversale BB DT5



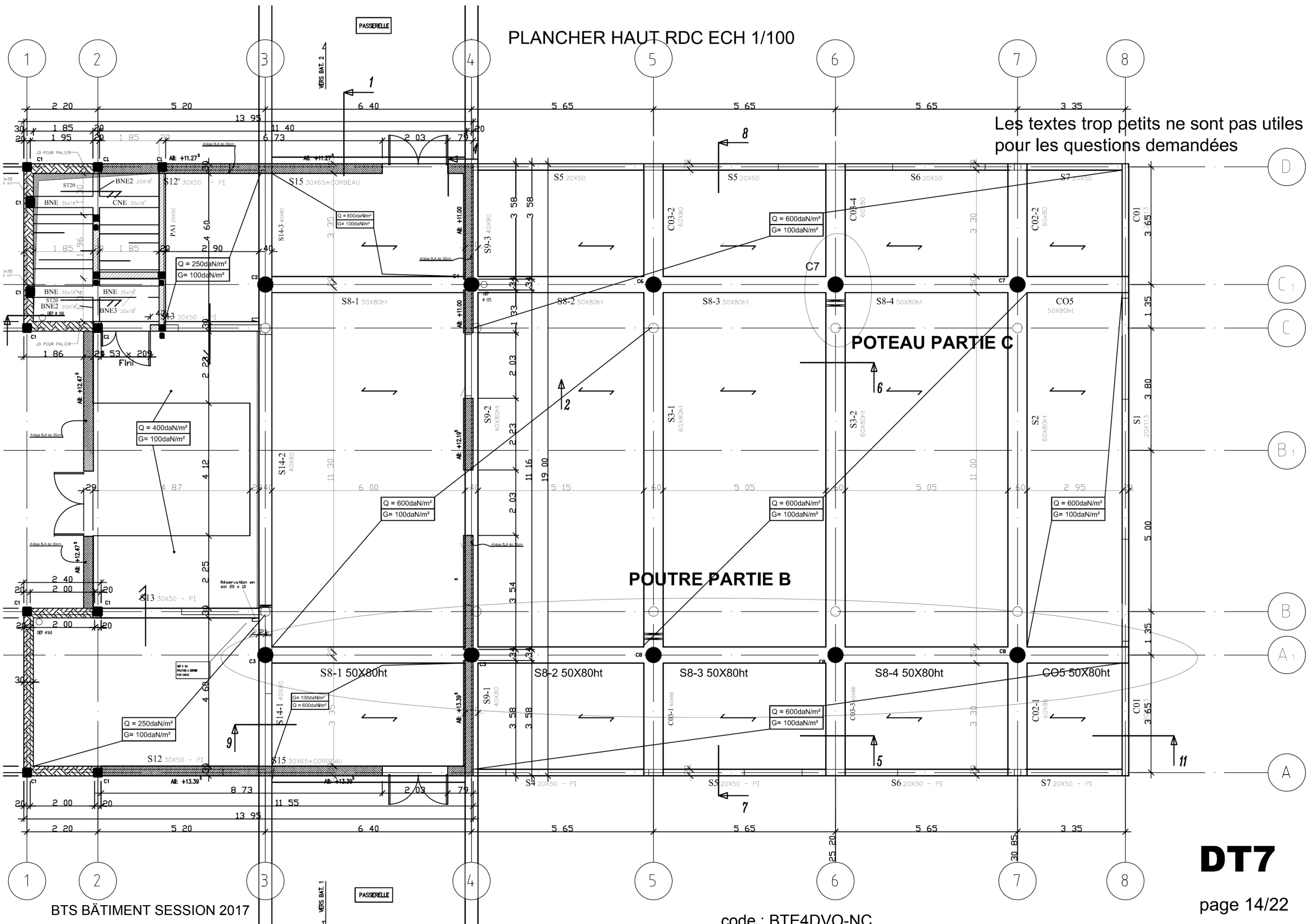
Nota: Les textes trop petits ne sont pas utiles pour les questions posées.

FACADE SUD

DT6

PLANCHER HAUT RDC ECH 1/100

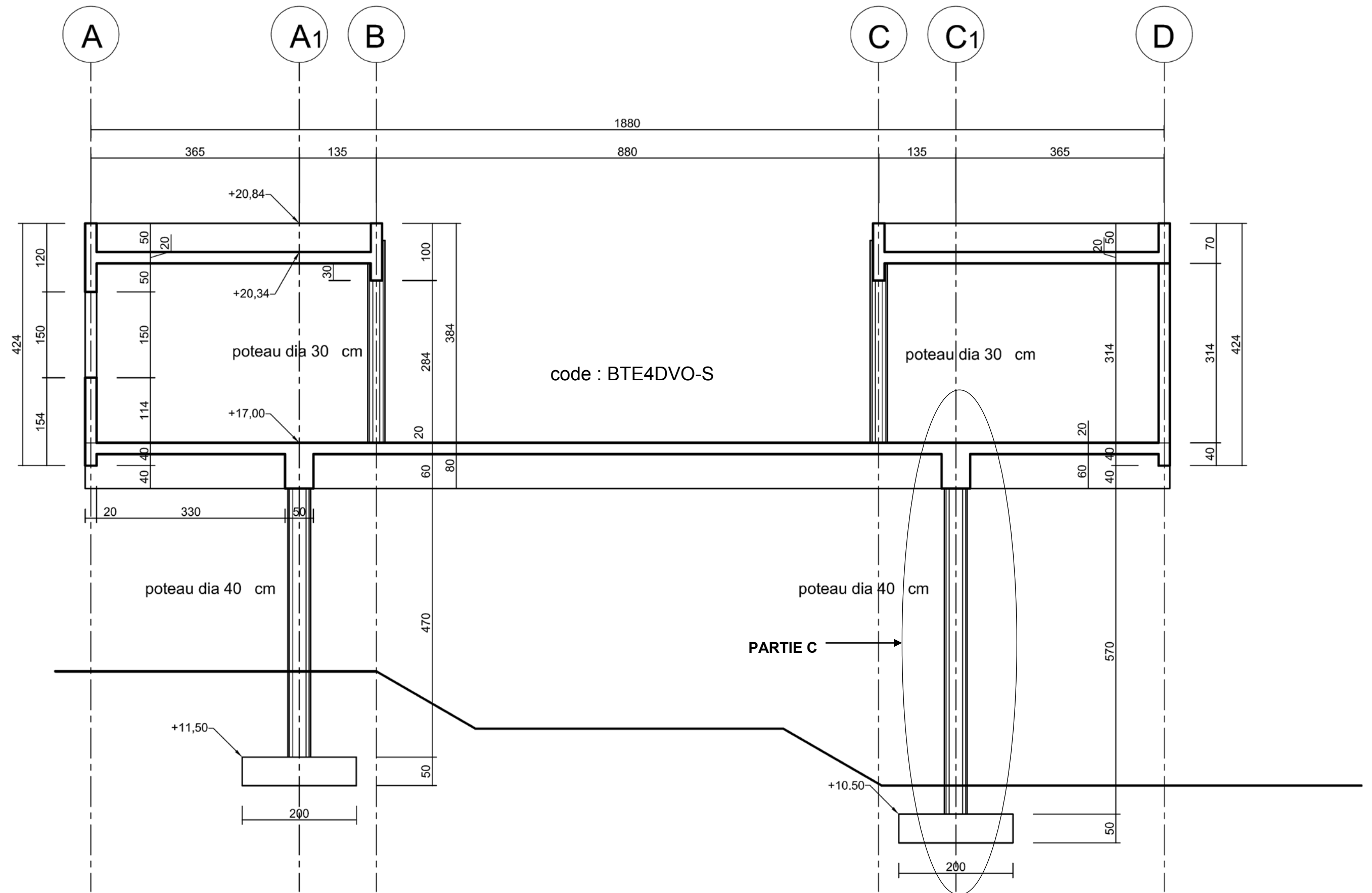
Les textes trop petits ne sont pas utiles pour les questions demandées



POUTRE PARTIE B

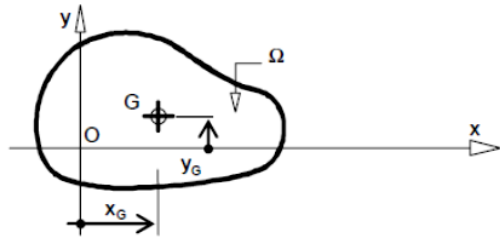
POTEAU PARTIE C

COUPE TRANSVERSALE 7-8 TYPE BET STRUCTURE



3 Caractéristiques géométriques des sections droites :

3.1 Moments statiques



Théorème :
 Le moment statique d'une surface Ω par rapport à un axe est égal au produit de l'aire A de Ω par l'ordonnée de son C. d. G. par rapport à cet axe.
 $S_x = A \times y_G$ $S_y = A \times x_G$

3.2 Moments quadratiques

$I_{Gz} = \frac{bh^3}{12}$	$I_{Gz} = \frac{\pi D^4}{64}$	<p>Théorème de Huygens</p> $I_{\Delta} = I_{Gz//\Delta} + A \times d^2$

3.3 Rayon de giration

rayon de giration relatif à l'axe Gz d'une surface plane Ω d'aire A

$$i_z = \sqrt{\frac{I_{Gz}}{A}}$$

3.4 Module de résistance élastique à la flexion d'une section droite Ω , relatif au moment M_z :

Notation : $W_{el,z}$; Expression : $W_{el,z,min} = \frac{I_{Gz}}{y_{max}}$ avec :

I_{Gz} : Moment quadratique de la section droite Ω ;

y_{max} : Distance du C. d. G. de la section droite à la fibre extrême la plus éloignée ;

↳ Pour les profilés acier commerciaux, ils sont donnés dans les tableaux de caractéristiques.

↳ Relation avec la contrainte normale maximale (dans le domaine élastique) dans la section droite d'une

poutre soumise à la flexion simple : $|\sigma_{max}| = \frac{|M_z|}{W_{el,z,min}}$.

3.5 Module de résistance plastique à la flexion d'une section droite Ω : notation : $W_{pl,z}$

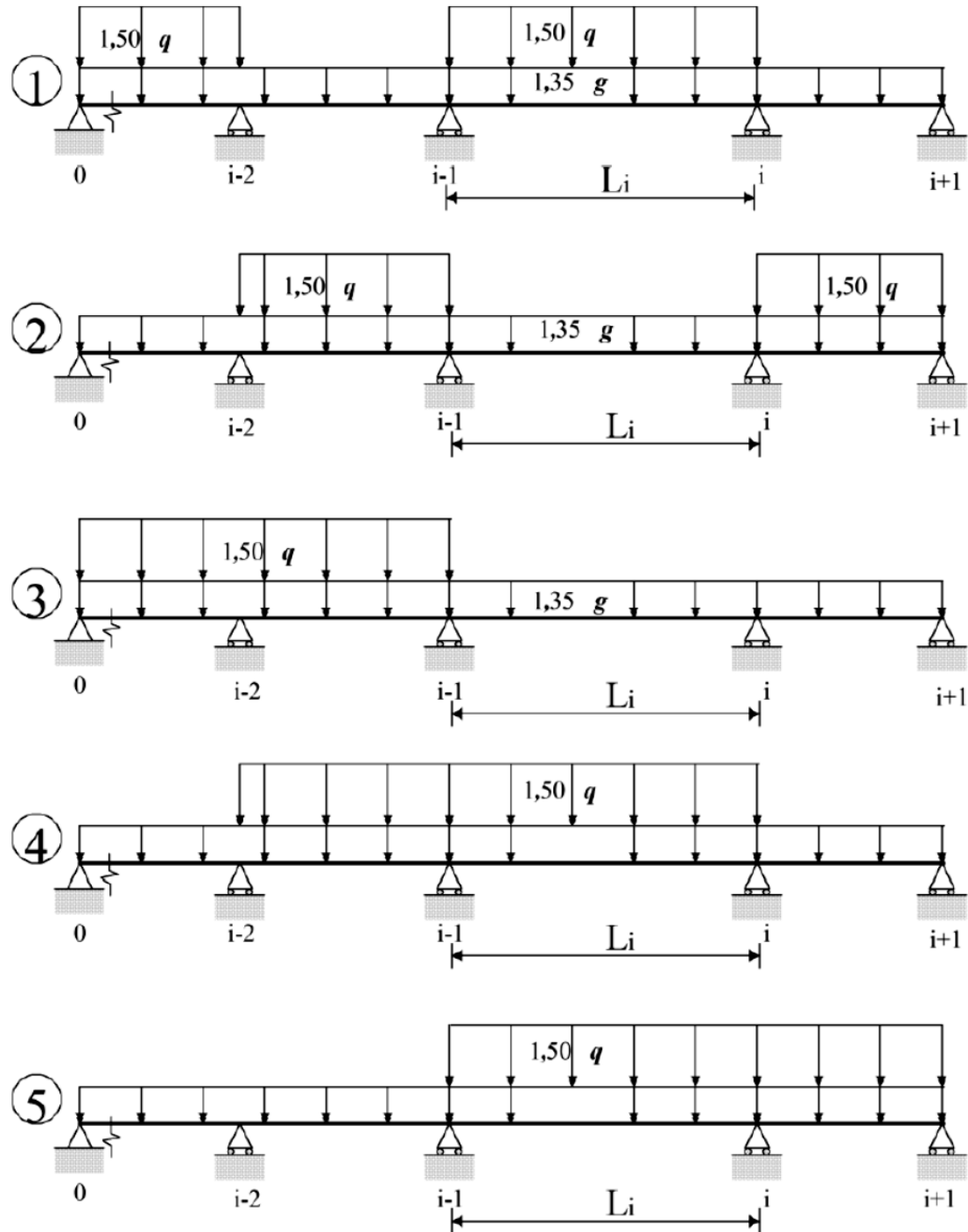
↳ Pour les profilés acier commerciaux, ils sont donnés dans les tableaux de caractéristiques.

Attention, le repère utilisé dans les catalogues des profilés est différent de celui de la RdM, il faut permuter les axes.

DT9

13.8.4 CAS DE CHARGEMENT

D'après l'article 5.1.3, les cas de chargement à l'E.L.U. à envisager pour l'étude des poutres continues sont : les cas 3, 4, 5 sont des cas de chargement simplifiés permettant d'obtenir les moments et efforts tranchants maximums aux appuis.



Pour 2 travées les 3 premiers cas de chargement
 Pour 3 travées les 4 premiers cas de chargement
 Pour 4 travées les 5 premiers cas de chargement

 Pour n travées $n + 1$ cas de chargement

DT10

6 ROTATIONS ET FLECHES POUR DES POUTRES ISOSTATIQUES COURANTES

CONVENTIONS DE SIGNES ET DE REPRÉSENTATION

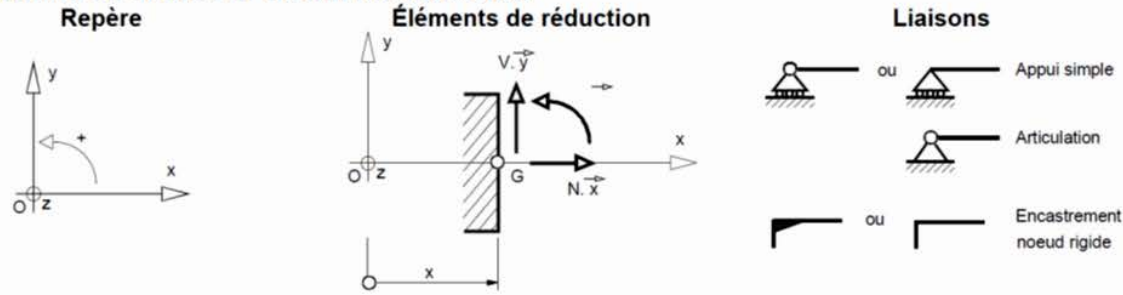


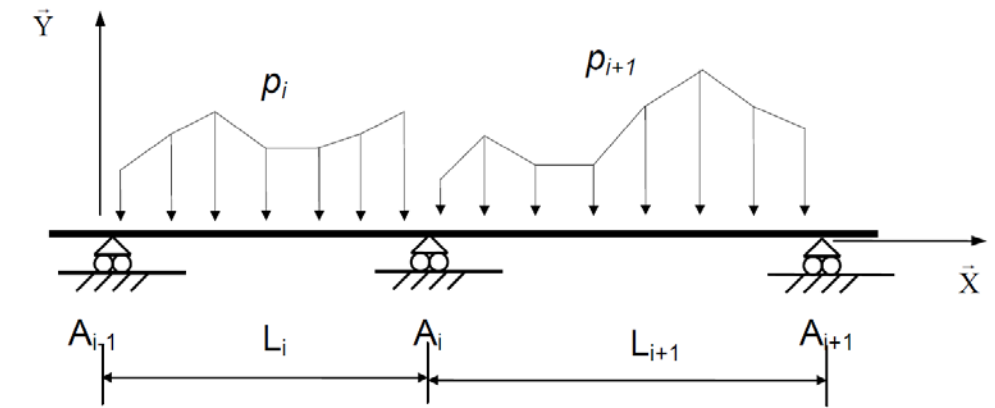
Schéma mécanique	Rotation aux appuis	Fleche
	$\omega_A = -\frac{pL^3}{24EI}$ $\omega_B = \frac{pL^3}{24EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{5pL^4}{384EI}$
	$\omega_A = -\frac{Fa}{6EI}(L-a)(2L-a)$ $\omega_B = \frac{Fa}{6EI}(L^2 - a^2)$	<p>pour $a \leq \frac{L}{2}$</p> $f_{(L/2)} = \frac{Fa}{48EI}(3L^2 - 4a^2)$
	$\omega_A = \frac{CL}{3EI}$ $\omega_B = -\frac{CL}{6EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{CL^2}{16EI}$
	$\omega_B = -\frac{pL^3}{6EI}$	$f_{(L)} = \frac{pL^4}{8EI}$
	$\omega_B = -\frac{FL^2}{2EI}$	$f_{(L)} = \frac{FL^3}{3EI}$

7 Calcul des structures

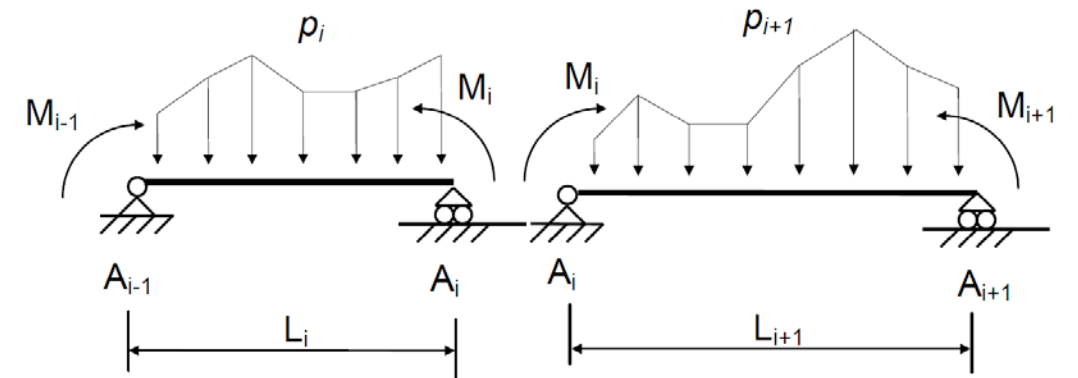
7.1 Théorème des 3 moments (formule de Clapeyron) :

Hypothèses : $EI = \text{constante sur l'ensemble de la poutre, en l'absence de dénivellations d'appuis.}$

(S)

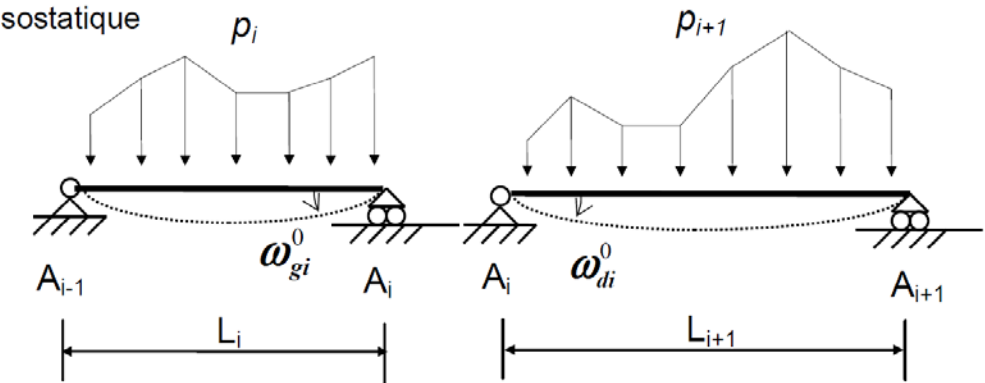


(S)



Système isostatique associé

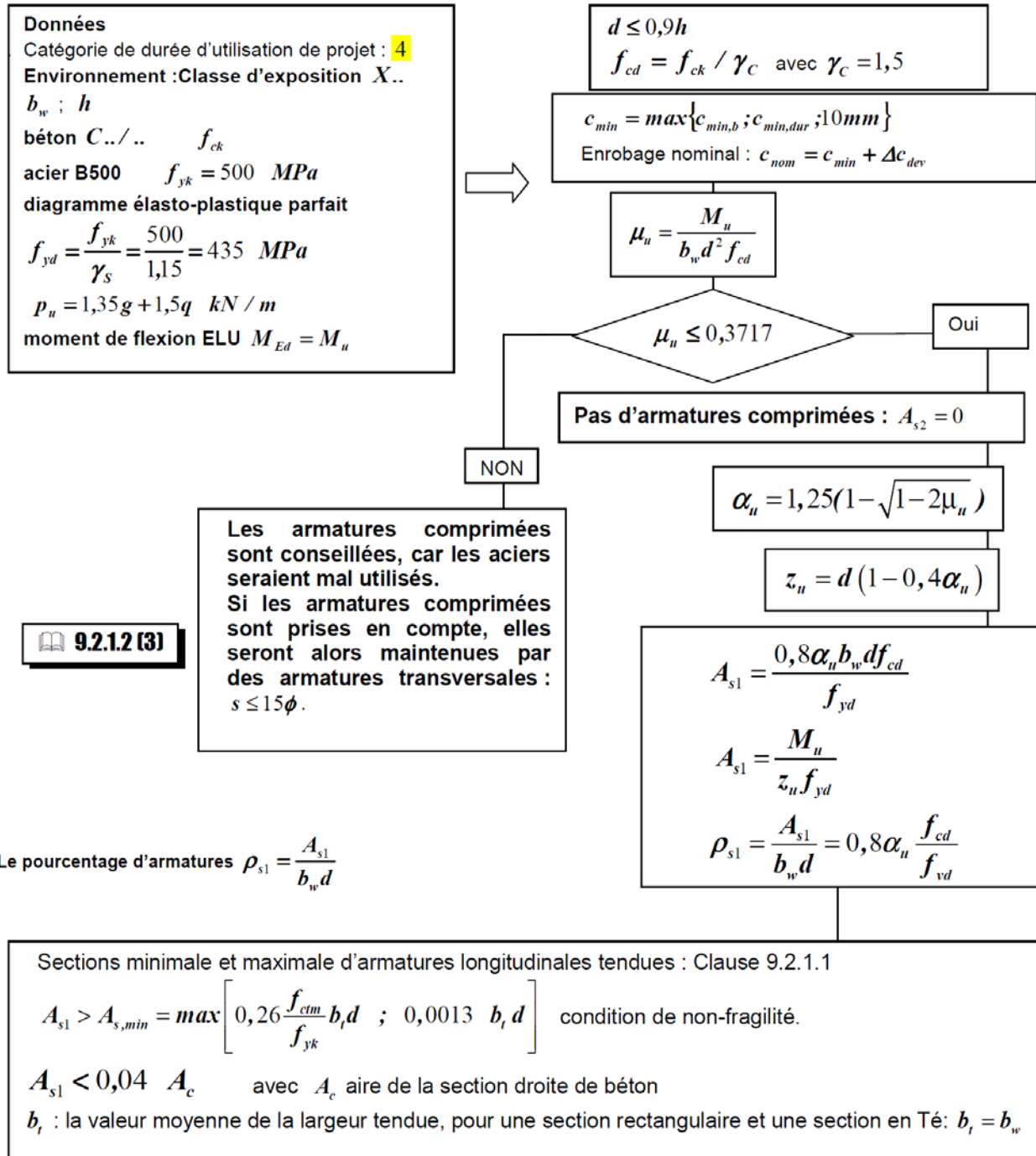
(S⁰)



$$L_i M_{i-1} + 2(L_i + L_{i+1})M_i + L_{i+1}M_{i+1} = 6EI(\omega_{di}^0 - \omega_{gi}^0)$$

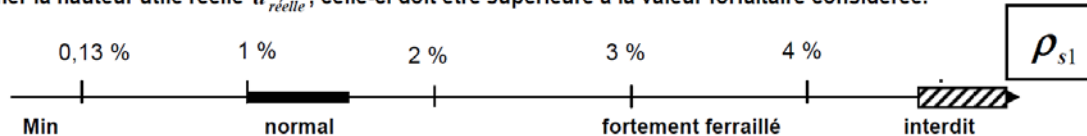
DT11

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

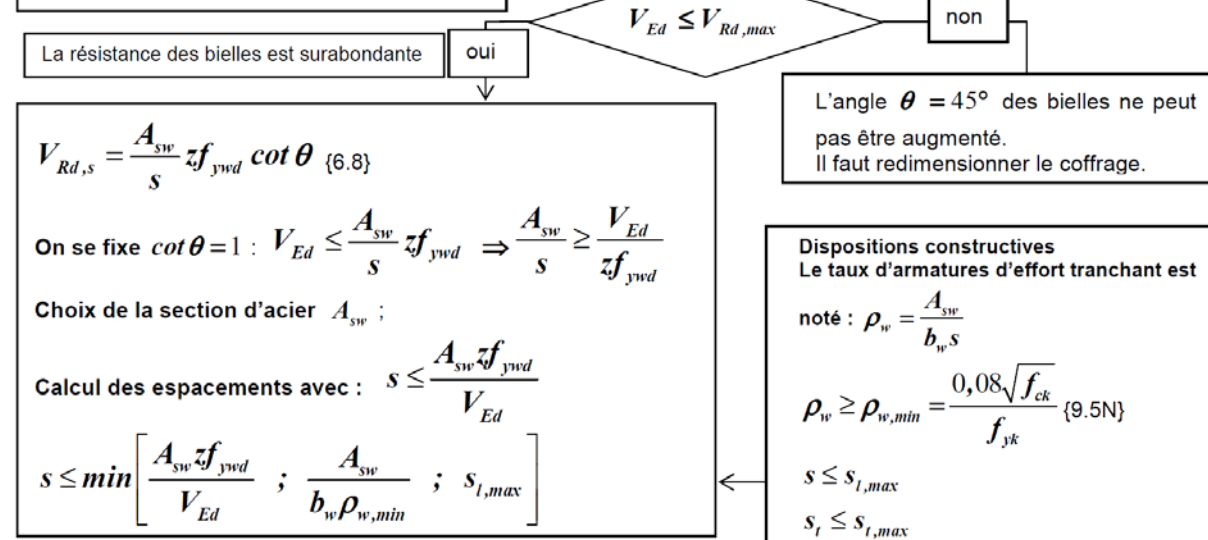


Équation alternative du bras de levier $z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = d \frac{(1 + \sqrt{1 - 2\mu_u})}{2}$

Il faut déterminer la hauteur utile réelle $d_{réelle}$, celle-ci doit être supérieure à la valeur forfaitaire considérée.



Données :
 Catégorie de durée d'utilisation de projet : 4
 Environnement : Classe d'exposition X..
 Béton C../.. ; $f_{ck} \text{ (MPa)}$ $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$
 Enrobage nominal : $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$
 $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10mm\}$
 $d ; z$ inconnu $\Rightarrow z = 0,9d$
 b_w plus petite largeur de la section droite dans la zone tendue
 $v_1 = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck} \text{ (MPa)}}{250}\right]$
 Acier B500 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 $f_{ywd} = \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$
 $p_u = 1,35g + 1,5q \text{ kN/m}$
 Effort tranchant de calcul V_{Ed}



DT 12

13.16.4 ORGANIGRAMME POTEAUX CIRCULAIRES

Données : Catégorie de durée d'utilisation de projet : 4 ; Classe d'exposition X ... donnant un enrobage nominal c_{nom}

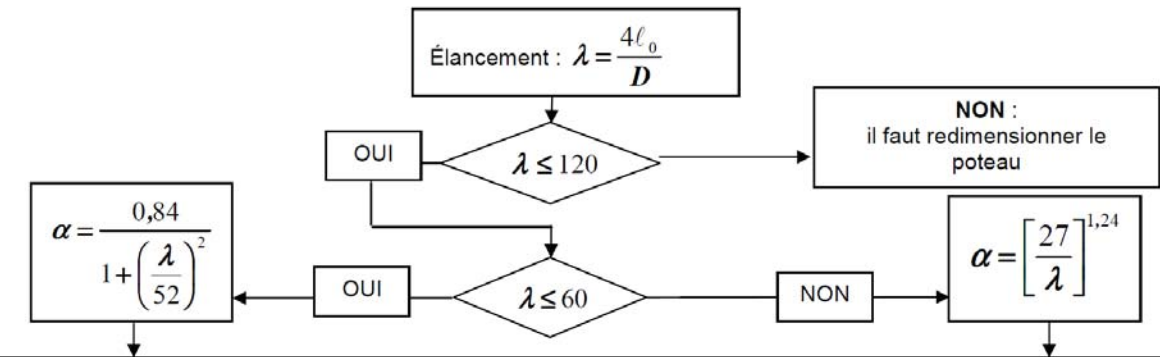
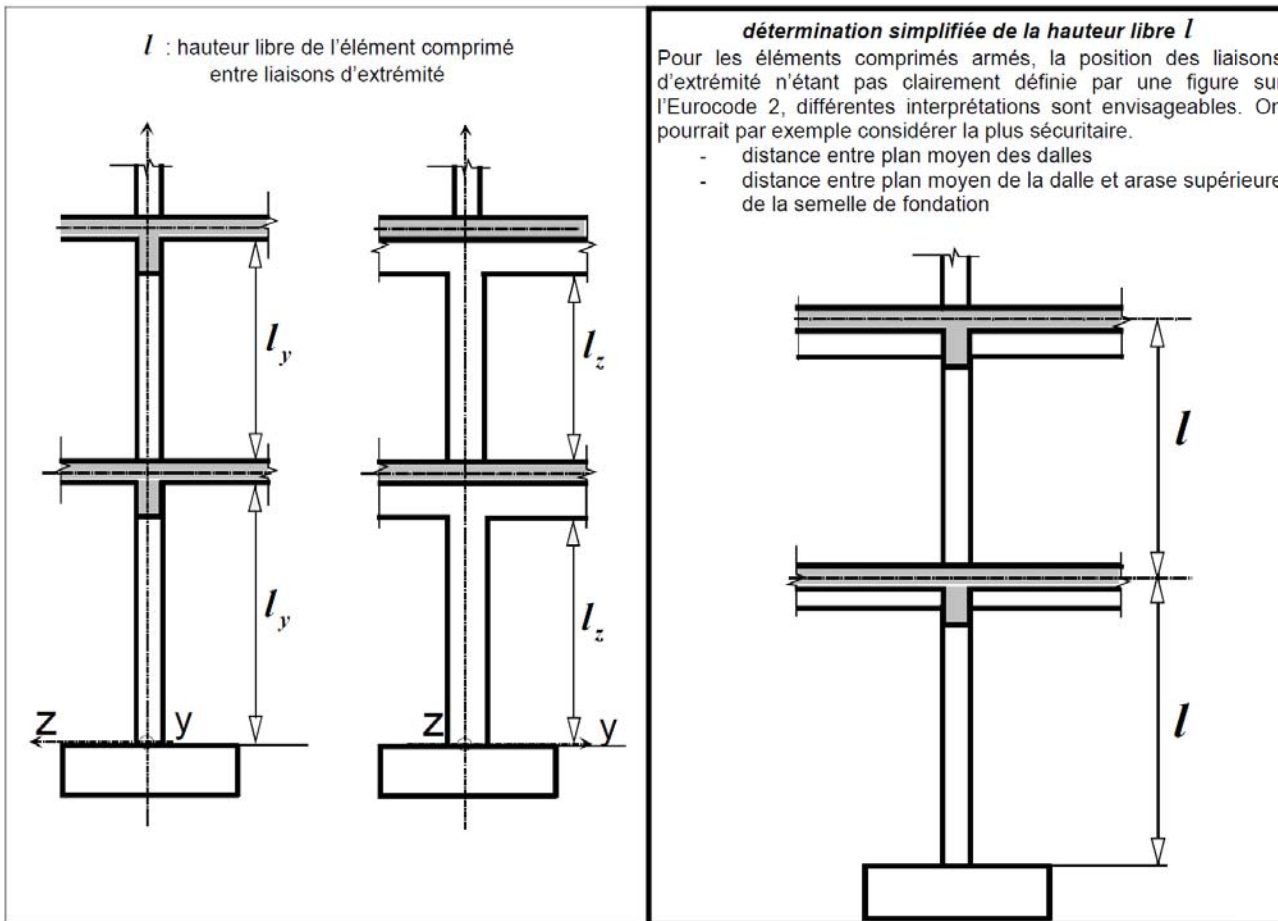
- N_{Ed} , effort normal centré aux ELU
- A_c , aire du béton $A_c = \frac{\pi D^2}{4}$, D en mètres
- Enrobage relatif $\delta = \frac{d'}{D}$ avec $d' = c_{nom} + \phi_t + \frac{\phi_t}{2}$
- Classe du béton C ... donnant f_{ck} et $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5}$ (âge du béton > 28 jours)
- Acier B500 donnant $f_{yk} = 500$ MPa et $f_{yd} = f_{yk}/1,15 = 434,8$ MPa
- Longueur efficace (ou de flambement) notée = ℓ_0 = longueur libre du poteau notée l

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

13.16.2.2 Définition de la hauteur libre de l'élément comprimé entre liaisons d'extrémité

Les extrémités devraient être interprétées comme les interfaces des éléments poutres ou dalles avec l'élément poteau. La hauteur libre correspond à la distance entre l'arase supérieure de la dalle et le nu inférieur de la poutre ou de la dalle supportée.

Pour déterminer l'élançement max., il faut envisager les 2 directions orthogonales : $\lambda_{max} = \max[\lambda_y; \lambda_z]$; $\lambda_y = l_y/i_y$; $\lambda_z = l_z/i_z$



$N_{Ed} \leq N_{Rd}$ et $N_{Rd} = \alpha k_h [A_c f_{cd} + A_s f_{yd}]$ ou $N_{Rd} = \alpha k_h A_c [f_{cd} + \rho f_{yd}]$
avec $\rho = \frac{A_s}{A_c}$ et si $D < 0,600$ m alors $k_h = [0,7 + 0,5D^{(m)}][1 - 8\rho\delta]$ sinon $k_h = 1$
La valeur de A_s est obtenue en résolvant l'équation du 2^e degré suivante :
 $(8 \frac{\delta}{A_c} f_{yd}) A_s^2 - (f_{yd} - 8\delta f_{cd}) A_s + (\frac{N_{Ed}}{K} - A_c f_{cd}) = 0$ avec $K = \alpha(0,7 + 0,5D^{(m)})$ avec D en m
En première approximation, pour obtenir une valeur approchée de A_s : $N_{Ed} = \alpha k_h A_c [f_{cd} + \rho f_{yd}]$ avec $k_h = 0,93$

Section minimale des armatures longitudinales

$A_{s,min} = \max \left[0,10 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} ; 0,002 A_c \right] \{9.12N\}$ A_c = aire de la section brute transversale de béton
 f_{yd} limite élastique de calcul de l'armature
Le diamètre des barres longitudinales $\phi_l \geq \phi_{l,min} = 8$ mm

Section maximale des armatures longitudinales

en dehors des zones de recouvrement $A_{s,max} = 0,04 A_c$ dans les zones de recouvrement $A_{s,max} = 0,08 A_c$

Armatures transversales :

$\phi_t \geq \max[6 \text{ mm}; \phi_{l,max}/4]$

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

D = diamètre du poteau

Les armatures transversales doivent maintenir toutes les barres prises en compte dans les calculs de résistance.

Il convient de réduire l'espacement $s_{cl,t,max}$ d'un facteur 0,6 (multiplier $s_{cl,t,max}$ par 0,6):

$s_{cl,t} \leq 0,6 s_{cl,t,max} = \min[240 \text{ mm}; 12\phi_{l,min}; 0,6b]$ avec b (ou D) petite dimension

transversale du poteau

* dans les sections situées à une distance égale à la plus grande dimension de la section transversale du poteau (h ou D) au-dessus ou au-dessous d'une poutre ou d'une dalle.

* dans les jonctions par recouvrement d'armatures longitudinales lorsque le diamètre maximal des barres longitudinales est supérieur à 14 mm ($\phi_l > 14$). Un minimum de 3 barres (cours d'armatures) transversales régulièrement disposées dans la longueur de recouvrement est nécessaire.

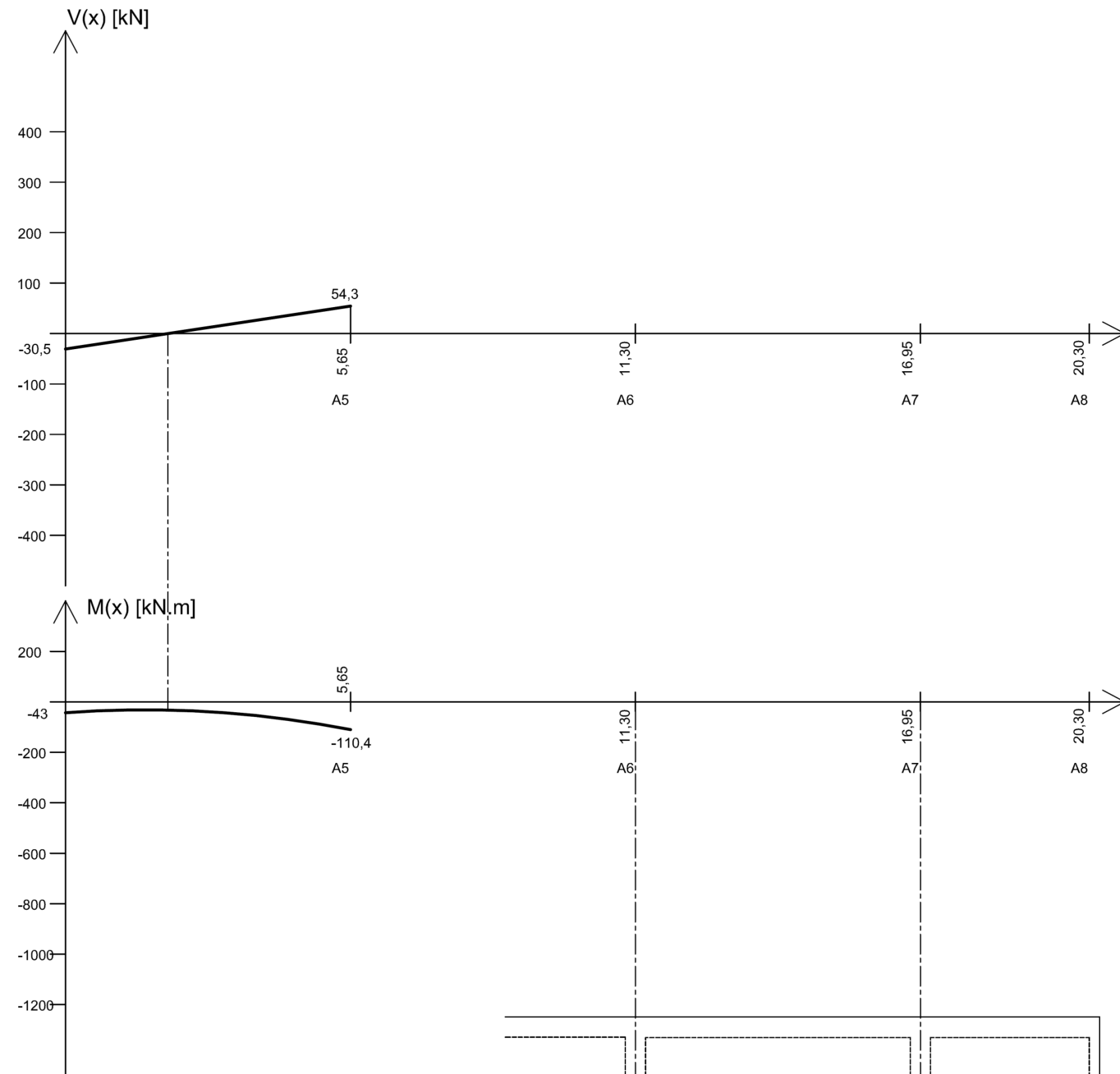
DT13

13.19 Aciers en barres

Diamètre	Poids	Périmètre	Section pour N barres en cm ²									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,154	1,57	0,196	0,393	0,589	0,785	0,982	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
6	0,222	1,88	0,283	0,565	0,848	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,395	2,51	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	3,14	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,888	3,77	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,208	4,40	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	1,578	5,03	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
20	2,466	6,28	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	3,853	7,85	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	6,313	10,05	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
40	9,865	12,57	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,53	113,10	125,66

DT14

DR1 pour questions 17 18 et 22

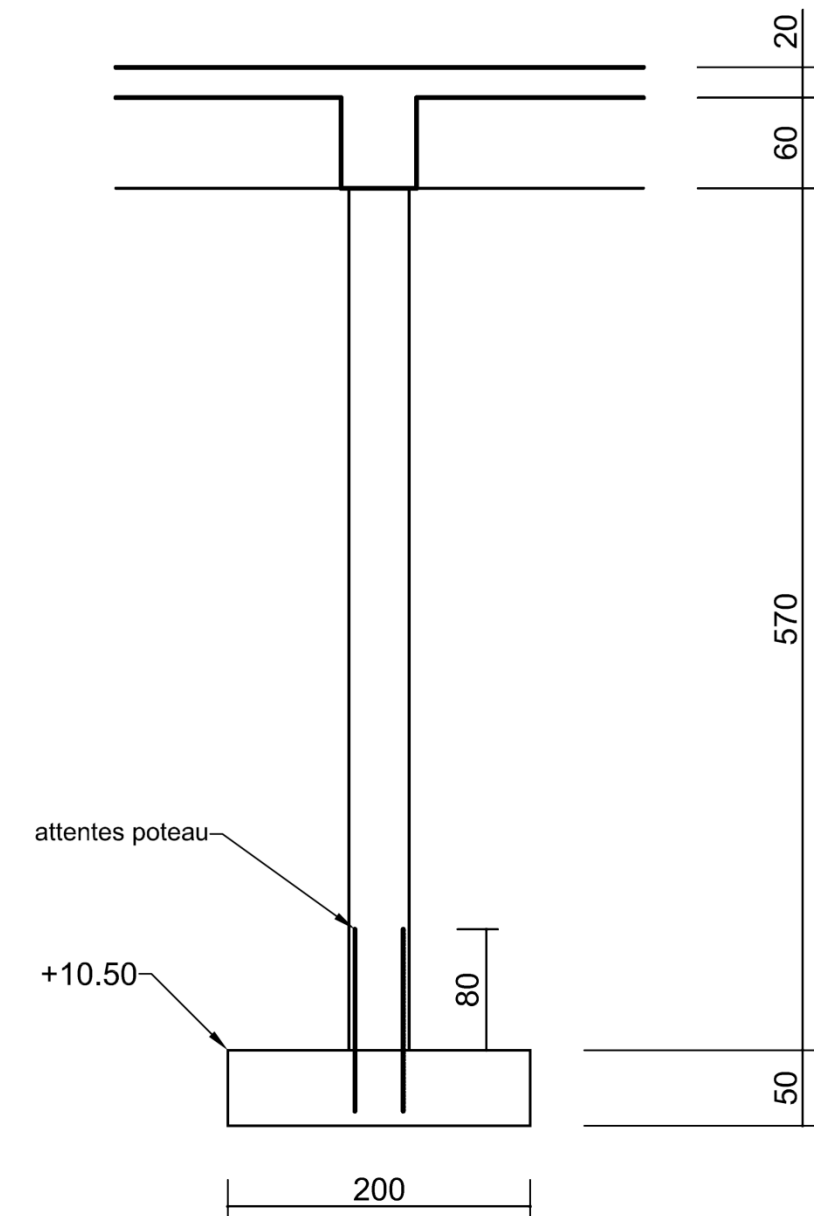


COUPE question 22
(à faire)

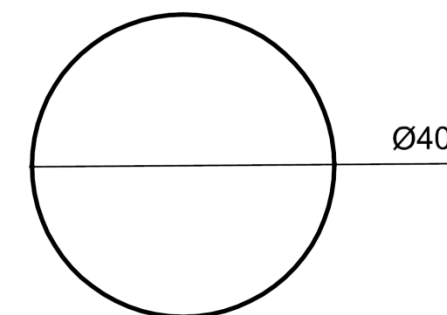
ELEVATION question 22
(échelle dilatée dans le sens de la hauteur)

DR1 pour question 26

ELEVATION ech $\frac{1}{50}$



COUPE ech 1/10



DR1