

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR BÂTIMENT

Épreuve E4 – Étude technique

Sous - épreuve E41
Dimensionnement et vérification d'ouvrages

SESSION 2022

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé

L'usage d'une calculatrice avec mode examen activé.
L'usage d'une calculatrice sans mémoire "type collègue".

« Tous les documents réponses, dans ce sujet identifiés **DR1** et **DR2**, même vierges, doivent être rendus avec la copie. »

Ce sujet comporte 18 pages numérotées de 1/18 à 18/18.
Dès la remise du sujet, vérifier qu'il est complet.

Projet : Restructuration d'un lycée

Dossier sujet :

Page 2	Présentation de l'ouvrage
Page 3	Caractéristiques des matériaux utilisés sur l'ouvrage et valeurs de charges
Pages 4 à 6	Travail demandé

Dossier de plans et notes de calculs :

Page 7	DT 1	Plan de masse et localisation des études
Page 8	DT 2	Plancher haut du R+2
Page 9	DT 3	Étude A : portique d'entrée
Page 10	DT 4	Décomposition de (S) - calculs de poutre PRS (étude B)
Page 11	DT 5	Extrait du plan des fondations (étude C)
Page 12	DT 6	Extrait du plan de coffrage du « Haut RdC » du bâtiment B (étude D)
Page 13	DT 7	Note de calculs des plats en fibre de carbone (étude D)

Dossier annexes et formulaires :

Page 14	DT 8	Intégrales de Mohr, Théorème de Muller-Breslau Vérification de profilé métallique (moment fléchissant) Vérification du lit inférieur sur appui d'une poutre BA
Page 15	DT 9	Théorème des trois moments et rotations aux appuis, portées efficaces
Page 16	DT 10	Longueurs d'ancrage de référence, longueurs de recouvrement, Tableau des sections de barres, calculs aciers longitudinaux en travée
Page 17	DR1	Document réponse pour les études A et B
Page 18	DR2	Document réponse pour l'étude C

Barème

Les études sont indépendantes.

ÉTUDE A	Étude du portique treillis d'entrée du bâtiment A	5 points
ÉTUDE B	Vérification d'une poutre PRS de plancher du bâtiment A	5 points
ÉTUDE C	Étude de la longrine LG11/LG12 du bâtiment A	7 points
ÉTUDE D	Vérification de la note de calculs d'une poutre renforcée	3 points

Présentation de l'ouvrage

La restructuration du lycée, comprend la construction d'un nouveau bâtiment (bâtiment A) et la réhabilitation du bâtiment D construit en 1980 (voir le plan de masse DT1).

Bâtiment A :

Les élèves, en pénétrant dans ce nouveau bâtiment à ossature bois, passent sous un grand auvent ouvert sur 2 niveaux. Une partie du bâtiment est ainsi en **porte-à-faux**. Les études A et B sont consacrées aux éléments porteurs du porte-à-faux : **portique treillis** support de l'auvent et une **poutre en PRS** (profilé reconstitué soudé) support du plancher haut du second niveau (voir DT2). Une **longrine BA** (béton armé) sera dimensionnée dans l'étude C.

Fondations profondes :

- Pieux
- Massifs
- Longrines

Plancher bas :

- Dalle pleine sur prédalles

Porteurs horizontaux en superstructure :

- Plancher massif en bois contre collé (type CLT)
- Poutres en bois lamellé collé
- Poutres en acier PRS pour les zones en porte-à-faux

Verticaux :

- Murs massifs en bois contre collé pour les refends (types TOT'm et CLT)
- Murs à ossature bois (MOB) en façade
- Poteaux massifs en bois contrecollé

Toiture :

- Caissons bois (plaques type OSB + ossature bois + isolation en fibre de bois)
- Étanchéité
- Toiture végétalisée ou équipée de panneaux photovoltaïques

Bâtiment D :

La mise en sécurité vis-à-vis de l'incendie du bâtiment D nécessite la création d'une issue de secours au milieu du bâtiment (DT1). L'évacuation se fera par l'intermédiaire d'un premier escalier métallique (escalier 2) posé sur le bâtiment B. Un second escalier (escalier 1) permet aux élèves d'atteindre les espaces verts situés au pied du bâtiment B.

Les poutres BA du plancher haut du RdC (rez de chaussée) du bâtiment B seront renforcées avec des plats en fibre de carbone. La note de calculs de ces plats sera vérifiée dans la partie D.

Ossature porteuse :

- Structure poutres / poteaux en béton armé
- Dalle pleine sur prédalles (épaisseur totale 18 cm)

CARACTÉRISTIQUES DES MATERIAUX UTILISÉS ET ACTIONS :

Portique d'entrée :

Poutre en PRS (profilé reconstitué soudé) du portique :

- ✓ Définition : PRS 600 x 1015 x 35 x 20
- ✓ Classe : 3
- ✓ Limite élastique : $f_y = 355 \text{ MPa}$
- ✓ Coefficient partiel de sécurité sur les résistances, ELU : $\gamma_{M0} = 1$
- ✓ Moments quadratiques : $I_{GY} = 1\,149\,500 \text{ cm}^4$ $I_{GZ} = 126\,063 \text{ cm}^4$
- ✓ Modules : $W_{el,y} = 22\,650 \text{ cm}^3$ $W_{el,z} = 4\,202 \text{ cm}^3$
- ✓ Section : $A = 610 \text{ cm}^2$
- ✓ Dimensions du profilé : (voir DR1) : $h = 1015 \text{ mm}$, $b = 600 \text{ mm}$

Poutre de plancher en PRS (profilé reconstitué soudé) :

- ✓ Définition : T 350 x 380 x 25 x 12
- ✓ Classe : 1
- ✓ Module d'élasticité longitudinale (module de Young) : $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
- ✓ Moments quadratiques : $I_{GY} = 58\,821 \text{ cm}^4$

Longrine LG11/LG12 :

- ✓ Béton C25/30 : $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $\gamma_c = 1,5$ $\alpha_{cc} = 1$
- ✓ Armature B500 : $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ $\gamma_s = 1,15$
- ✓ $C_{nom} = 35 \text{ mm}$

Poutres BA existantes construites en 1980 :

- ✓ Armatures Fe E 400 (en 1980) : $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$
- ✓ Coefficient de sécurité sur l'acier (en 1980) : $\gamma_s = 1,15$
- ✓ Module de Young de l'acier : $E_s = 200\,000 \text{ MPa}$
- ✓ Béton C25/30 : $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

✓ CHARGES SURFACIQUES SUR PLANCHER HAUT RDC :

Charges permanentes :

Béton armé :	25,00	kN/m ³
Faux-plafond :	0,10	kN/m ²
Toiture terrasse :		
Gravillon 5 cm :	1,00	kN/m ²
Dalles (40cm x 40cm) en béton léger ép. 2 cm	0,35	kN/m ²
Système d'étanchéité + Isolation thermique	0,15	kN/m ²

Charges variables :

Charge d'exploitation :	2,50	kN/m ²
Neige (Altitude H<200m, p=0%, zone A1) :	0,36	kN/m ²

TRAVAIL DEMANDÉ

ÉTUDE A – Étude du portique d'entrée du bâtiment A

Documents à consulter : DT1, DT2, DT3, DT8, DR1

Cette étude s'intéresse au portique d'entrée du bâtiment A. Ce portique métallique est composé d'un poteau treillis et d'une poutre en PRS (profilé reconstitué soudé) en porte-à-faux. Il est fondé sur deux ensembles de massifs et pieux (sous 20 et sous 21) (voir DT3 page 9).

Cette partie consiste à analyser le fonctionnement du portique, ainsi que des extraits de la note de calculs du bureau d'études techniques (B.E.T.).

- Q1. Expliquer** la fonction des éléments repérés 10 à 12 et 16 à 19.
- Q2. Proposer** une modélisation des liaisons entre ces éléments et les poteaux 20 et 21.
Justifier cette proposition.
Représenter ces liaisons sur le **DR1**.
Expliciter le type de sollicitation à laquelle ces éléments sont soumis.
- Q3.** Le schéma mécanique est donné partiellement sur le **DR1**.
À partir d'un extrait de la note de calculs des actions de liaison issue du B.E.T. (DT3), **justifier** la modélisation des liaisons en pieds du portique.
- Q4. Déterminer** les actions de liaison en pied des poteaux pour le cas de charge du **DR1**.
Expliquer l'incidence de ces actions sur la conception des fondations.
- Q5.** Pour le cas de charge N°6, **donner** les efforts maximums sur les parties 88 et 91 (DT3).
Expliciter les sollicitations auxquelles sont soumis les éléments 88 et 91.
Tracer le diagramme des contraintes normales dans la section la plus sollicitée de la poutre 88 sur le **DR1**.

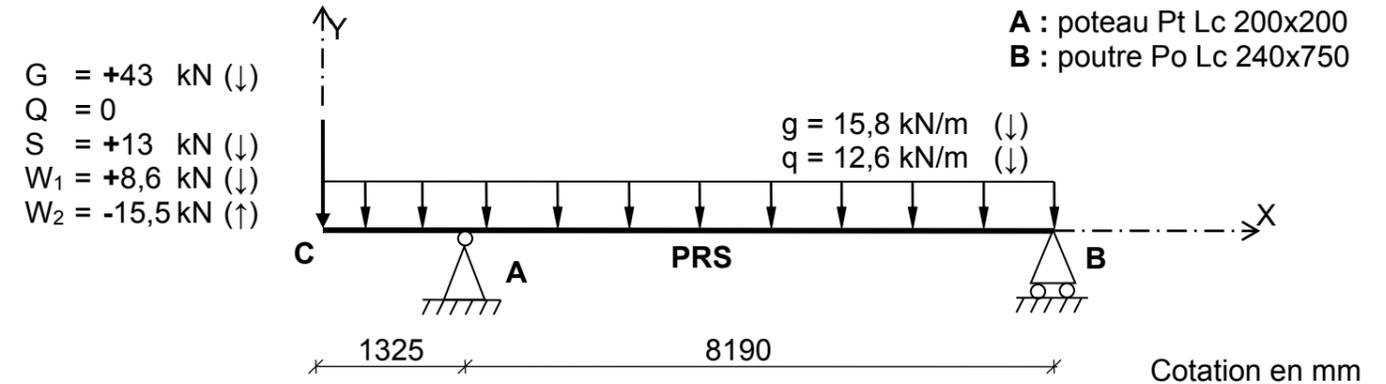
ÉTUDE B – Vérification d'une poutre PRS de plancher du bâtiment A

Documents à consulter : DT1, DT2, DT4, DT8, DR1

Cette poutre repérée sur le DT2, fait partie du plancher haut du second étage.

Elle supporte (voir schéma mécanique page suivante) :

- ⇒ une partie du plancher à usage de salle de classe :
 - charge permanente g (kN/m),
 - charge variable q (kN/m),
- ⇒ ainsi qu'à son extrémité, une poutre en lamellé-collé (PoR Lc 240x1100), support du mur de façade (mur à ossature bois MOB) :
 - propre poids du mur et le poids de la toiture (G en kN),
 - action de neige (S en kN),
 - action de vent en surpression ($W1$ en kN sens vertical descendant ↓),
 - action de vent en dépression ($W2$ en kN sens vertical ascendant ↑).

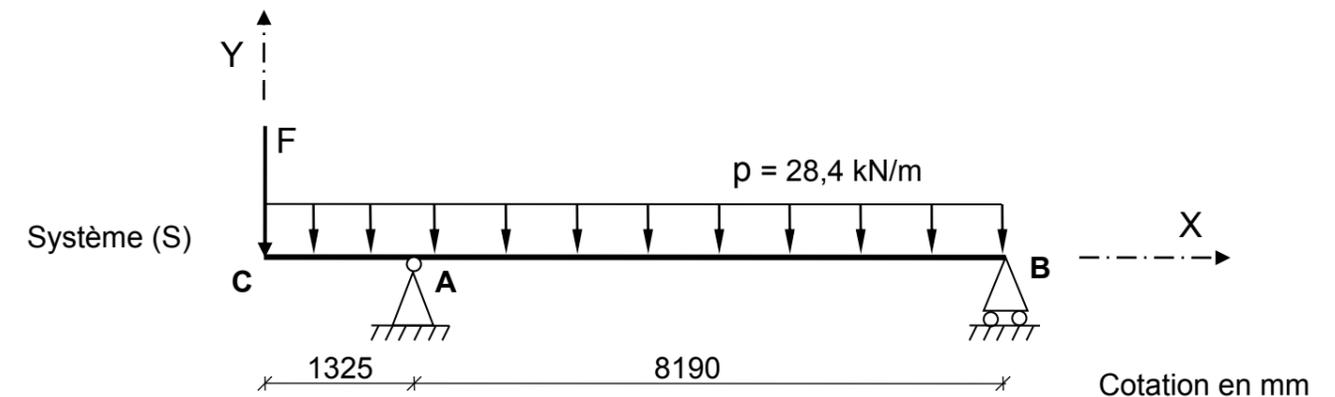


Le but de cette étude est de vérifier que le déplacement en bout de console (point C) reste admissible, pour finalement conclure sur le choix du profilé.

- Q6.** La combinaison d'actions retenue pour l'étude du déplacement au point C à l'E.L.S. est la suivante : $G + Q + 0,6.W_2$.

Justifier ce choix. Au vu du rapport des portées, quel sera le sens prévisible du déplacement (sans calcul) ?

Pour la suite du questionnement, on considère le schéma mécanique suivant :



- Q7. Calculer** la valeur de F pour la combinaison d'actions retenue.

- Q8.** Les actions de liaison sont données sur le DR1.

Tracer les diagrammes de $N(x)$, $V(x)$ et $M(x)$.

Préciser les valeurs particulières.

Pour le calcul du déplacement au point C avec le théorème de Muller-Breslau, on adoptera la décomposition du système (S) présentée sur le DT4.

- Q9. Justifier** le choix de (\bar{S}_j) , système associé à (S).

Q10. Le déplacement dû aux charges réparties (systèmes S₁ et S₂) s'élève à : $\Delta_{1+2} = \frac{-760\ 269}{E \cdot I}$, avec I en m⁴, E en Pa et Δ en m.
En appliquant le théorème de Muller-Breslau, **calculer** la part du déplacement Δ₃ due à la force ponctuelle seule (système S₃).

La maîtrise d'œuvre a fixé la flèche admissible à $\frac{L}{150}$, L désignant la longueur de la console.

Le déplacement total vaut : $\Delta = \frac{-572\ 419}{E \cdot I}$ avec I en m⁴, E en Pa et Δ en m.

Q11. Vérifier le critère de flèche.

Q12. Analyser la note de calculs issue du B.E.T. (critères dimensionnants, marges de sécurité) (DT4).

Conclure sur le choix du profilé.

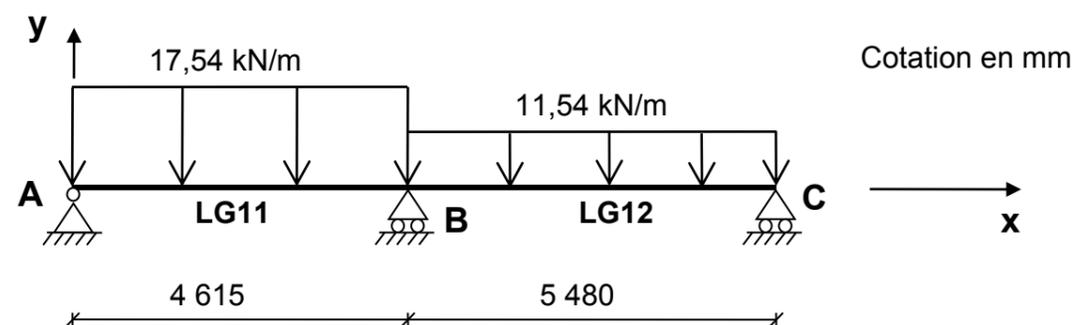
ÉTUDE C – Étude de la longrine LG11 / LG12 du bâtiment A

Documents à consulter : DT1, DT5, DT8, DT9, DT10, DR2

Après analyse des sollicitations calculées par le logiciel et proposition d'un principe d'armatures de la longrine LG11/ LG12 (300 mm x 650 mm), l'étude portera sur la conception de la liaison entre la longrine LG12 et la longrine LG35.

Partie I : Étude des sollicitations et principe d'armatures de la longrine :

On s'intéresse au cas de charge suivant :



A : appui sur Som8 B : appui sur Som1 C : appui sur LG35

Q13. Justifier la portée efficace de la travée 1 (LG11).

Q14. Déterminer le moment au niveau de l'appui B, à l'aide du théorème des 3 moments, et vérifier qu'il vaut M_B = - 44,9 kN.m.

L'entreprise de gros œuvre a opté pour la **préfabrication des soffites** (parties en retombée) des longrines LG11, LG12 et LG35.

Après définition de la poutre et des charges dans un logiciel de dimensionnement d'ouvrage en béton armé, celui-ci a généré une courbe des moments sollicitants (DR2).

Q15. À partir de la courbe des moments sollicitants issue du logiciel, compléter le principe d'armatures de l'ensemble de la poutre, sur la coupe longitudinale ainsi que sur les coupes AA et BB.

Repérer les armatures à partir du repère 10 et **expliquer** la fonction de chacune.

Partie II : Étude de la liaison entre LG12 et LG35 (appui C) :

Q16. Afin de dimensionner les aciers placés « en chapeaux » sur l'appui C, extraire la valeur du moment de la courbe des moments sollicitants.

Calculer la section d'acier (en cm²) nécessaire en « chapeaux », et **vérifier** la condition de non-fragilité (aucun choix de barres d'acier n'est demandé).

Vérifier que les aciers repérés 8 conviennent.

Q17. On considère au nu de LG35, la valeur V_{Ed,u} = 81 kN.

Calculer la section d'acier à ancrer dans l'appui (LG35), sans prendre en compte le moment fléchissant.

Expliquer quelle est la fonction principale de ces aciers.

Q18. À partir de la coupe d'armatures longitudinale (DR2) :

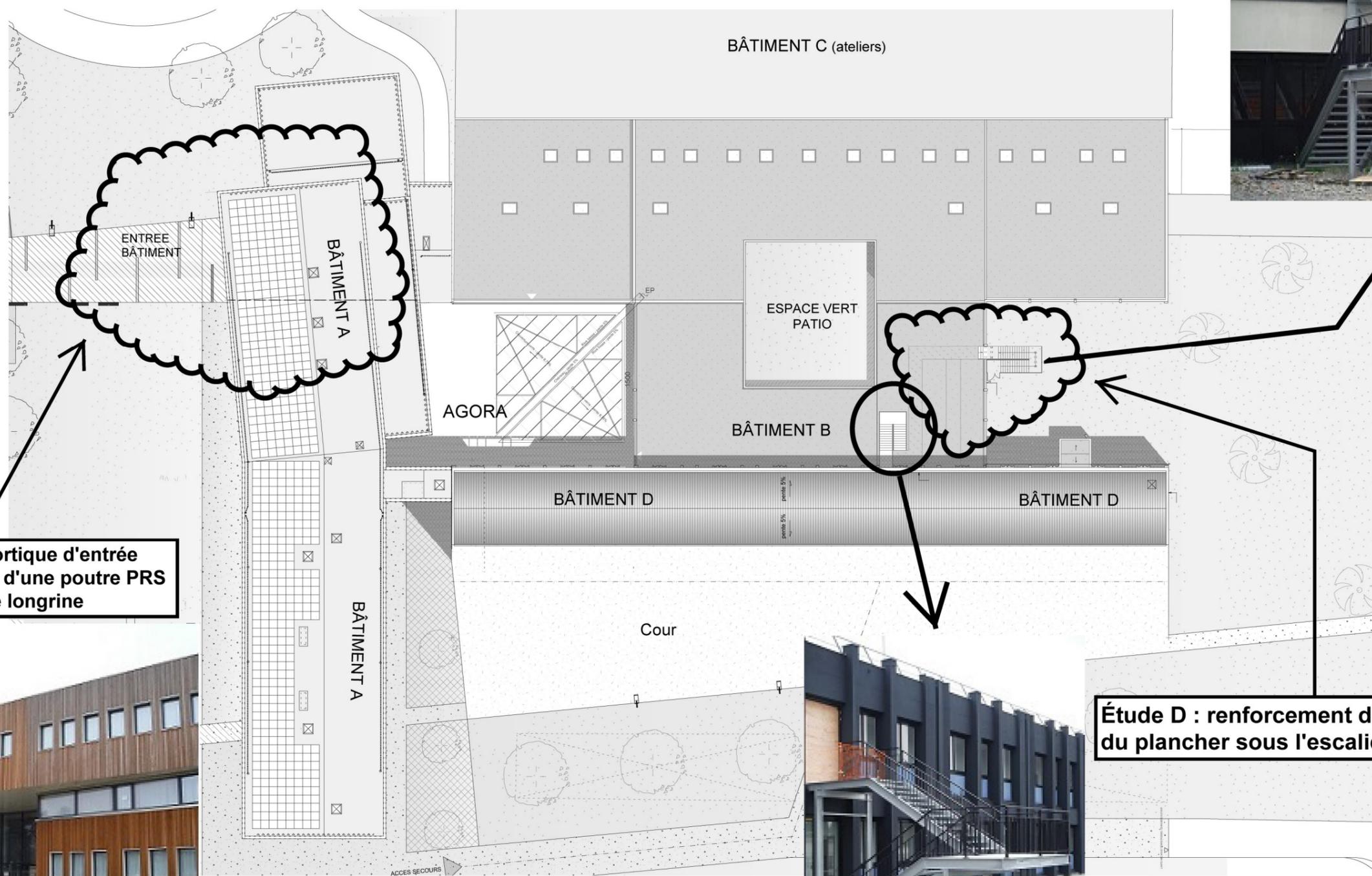
Analyser le principe d'armatures de la liaison entre LG12 et LG35, sachant que les soffites des deux poutres (parties en retombée) sont préfabriquées :

- **hachurer** la zone de clavetage entre les 2 poutres
- **expliquer** toutes les fonctions des aciers repérés 9,
- **justifier** la forme des aciers repérés 9.

Q19. Pour cette question, les aciers 9 seront composés de 4 HA10 (A_{Sprov}). La section de calcul A_{Srqd} vaut 2,34 cm². Les conditions d'adhérence sont **médiocres**.

Calculer la longueur de recouvrement entre les barres 8 et 9 (DT10).

Conclure quant au recouvrement proposé par le logiciel et à la longueur de la zone de clavetage.



Escalier 2

Étude A : Étude du portique d'entrée
 Étude B : Vérification d'une poutre PRS
 Étude C : Étude d'une longrine



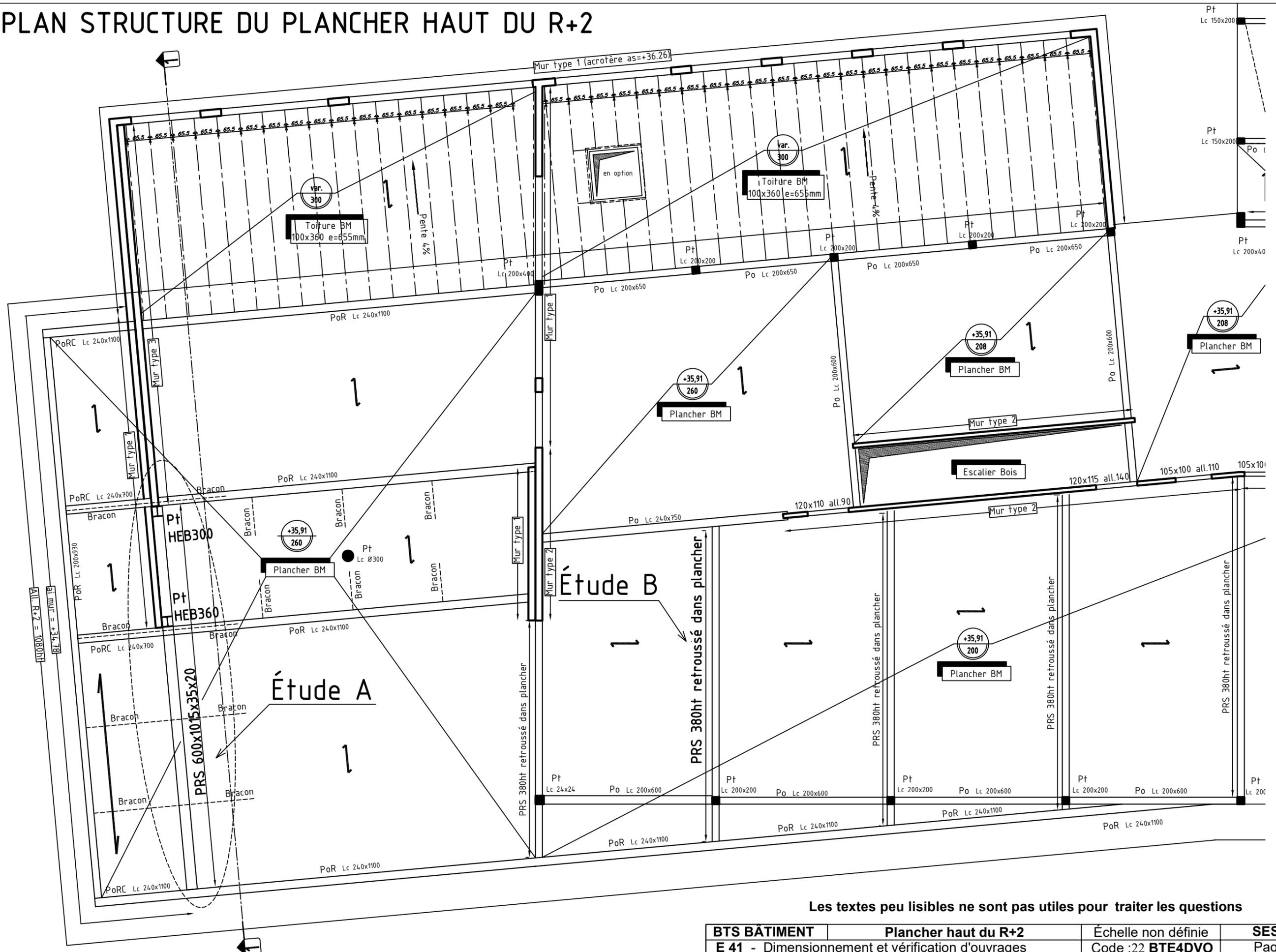
Étude D : renforcement de la structure du plancher sous l'escalier 2



Escalier 1

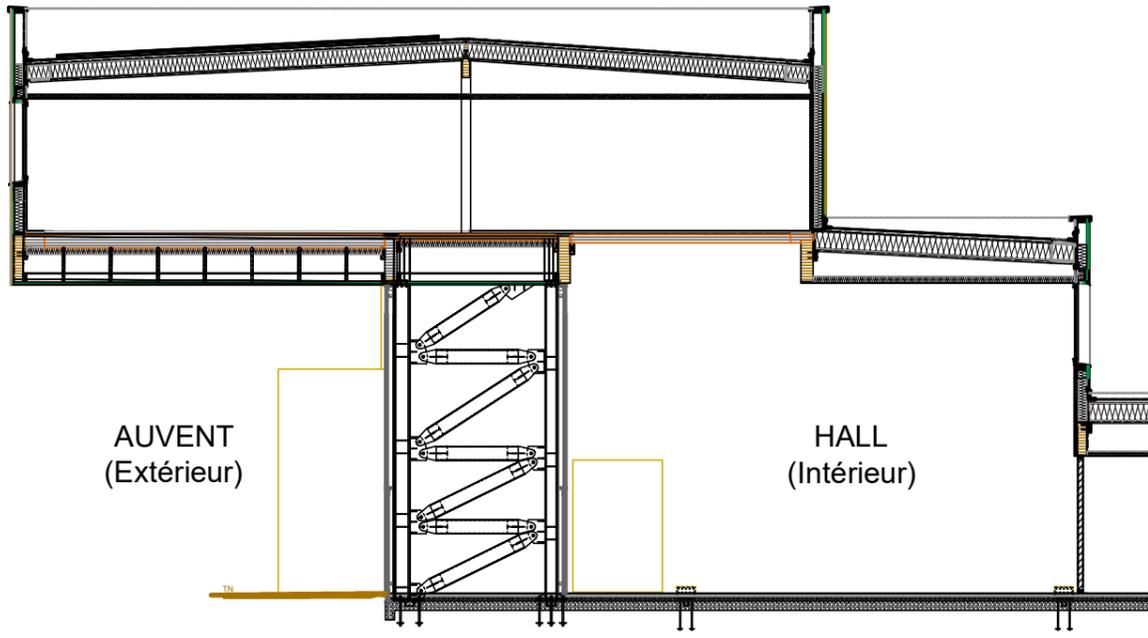
PLAN STRUCTURE DU PLANCHER HAUT DU R+2

DT 2

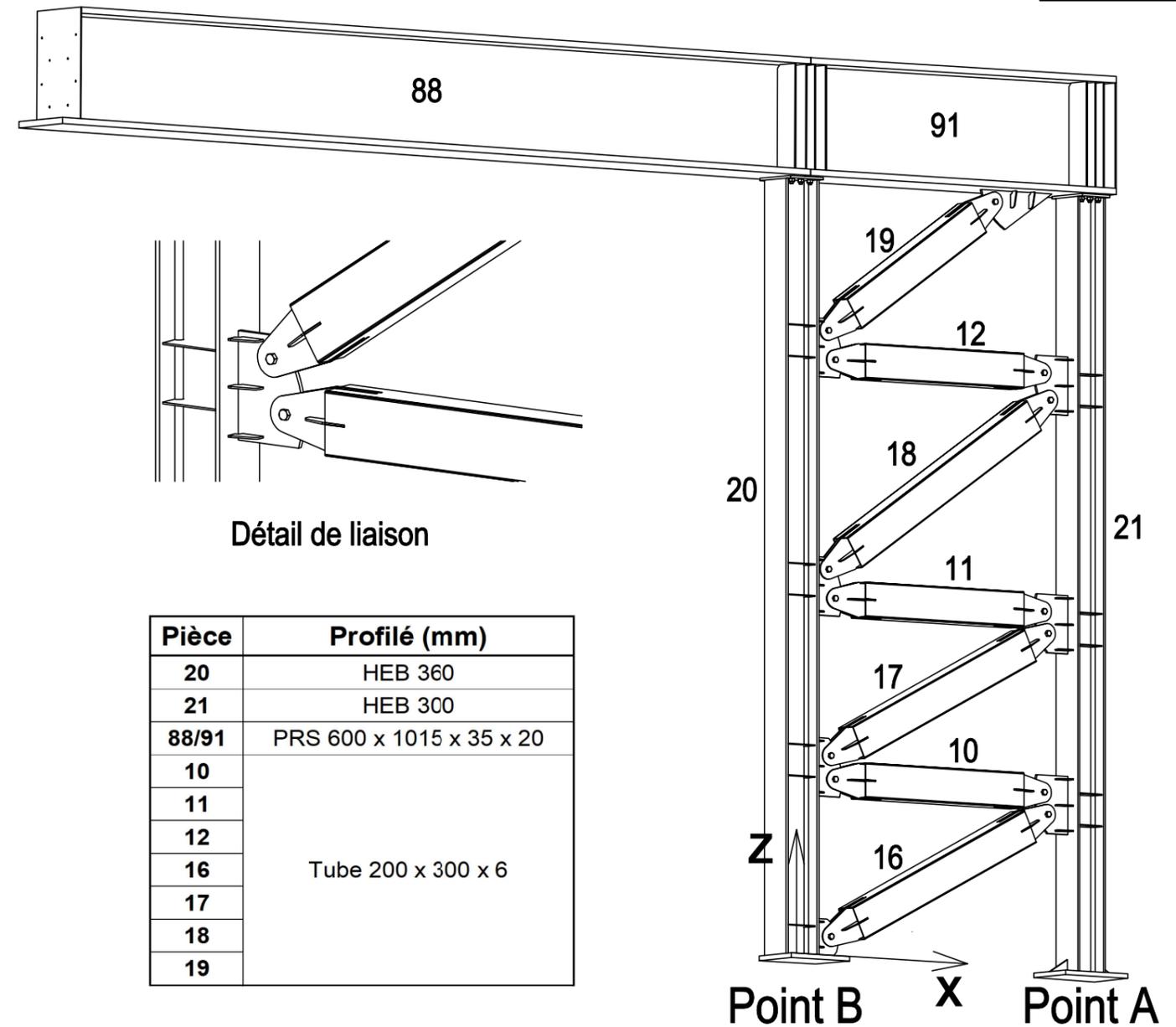


Les textes peu lisibles ne sont pas utiles pour traiter les questions

BTS BÂTIMENT	Plancher haut du R+2	Échelle non définie	SESSION 2022
E 41 - Dimensionnement et vérification d'ouvrages		Code :22 BTE4DVO	Page 8 sur 18



Coupe 1-1 sur Auvent et Hall (DT2)



Pièce	Profilé (mm)
20	HEB 360
21	HEB 300
88/91	PRS 600 x 1015 x 35 x 20
10	Tube 200 x 300 x 6
11	
12	
16	
17	
18	
19	

Efforts internes simultanés pour les sections les plus sollicitées				
Pièce	Cas de charges	N (daN)	Vz (daN)	My (daN.m)
10	17	9 438	0	0
11	35	7 374	0	0
12	35	5 846	0	0
16	12	-12 867	0	0
17	3	322	0	0
17	35	-8 504	0	0
18	3	118	0	0
18	14	-7 256	0	0
19	3	3 088	0	0
19	39	-5 394	0	0
88	46	0	-28 650	208 461
88	39	0	-18 411	0
88	6	0	-62 107	460 456
88	17	0	-56 990	422 262
91	39	5 175	54 756	0
91	6	1 952	154 832	460 769
91	3	-1 579	140 858	0
91	46	-743	64 899	0

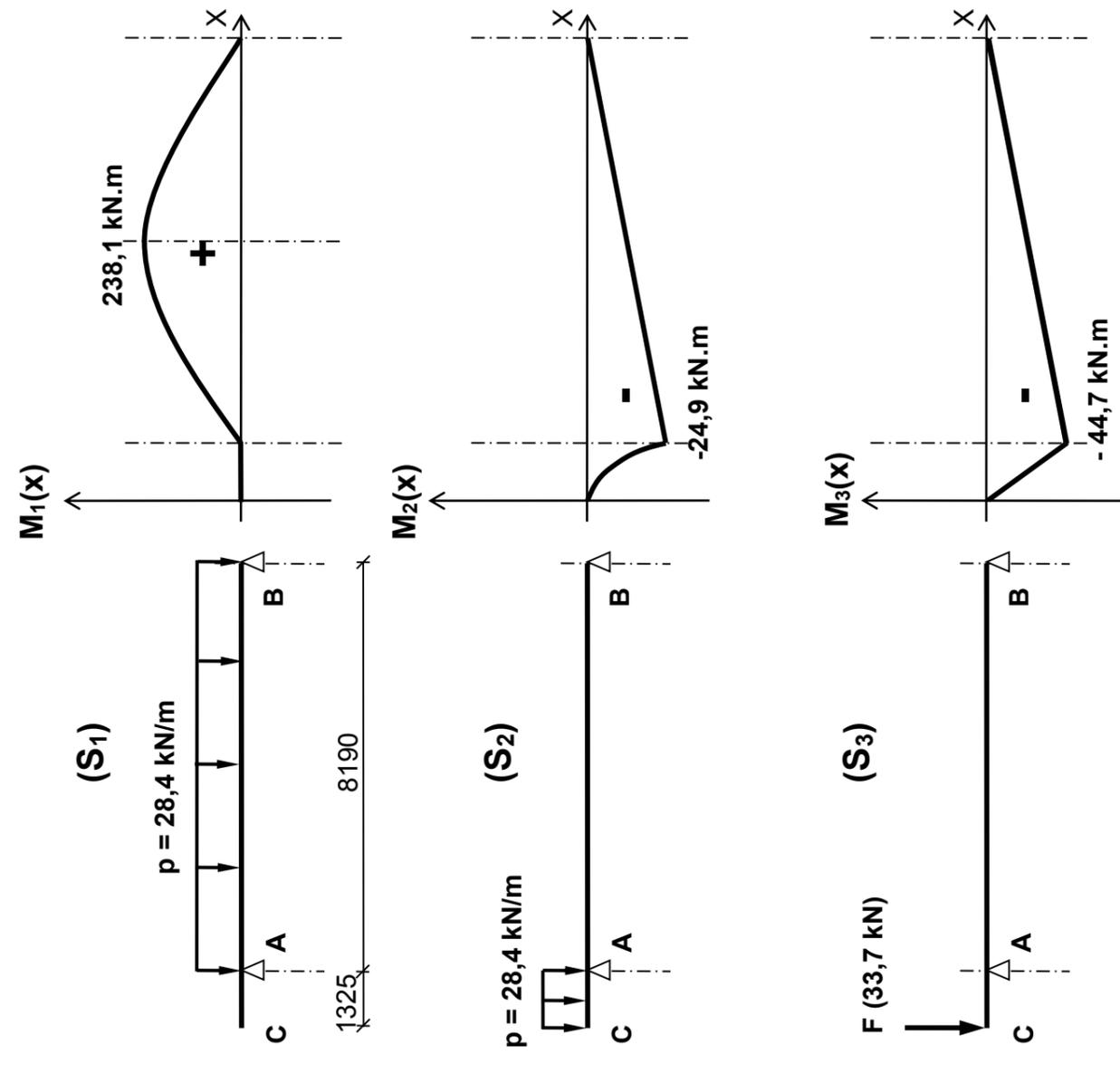
Nota : Le B.E.T. n'a pris en compte que des actions verticales.

Actions de liaison				
Point	Cas de charges	Fx (daN)	Fz (daN)	My (daN.m)
A	G+0,9.W2	0	1 152,7	0
A	G+1,5.W2	0	1 084,0	0
A	1,35.G+1,5.Q	0	2 568,2	0
A	1,35.G+1,5.W1	0	1 788,9	0
B	G+0,9.W2	0	-426,9	0
B	G+1,5.W2	0	-393,0	0
B	1,35.G+1,5.Q	0	-942,6	0
B	1,35.G+1,5.W1	0	-692,0	0

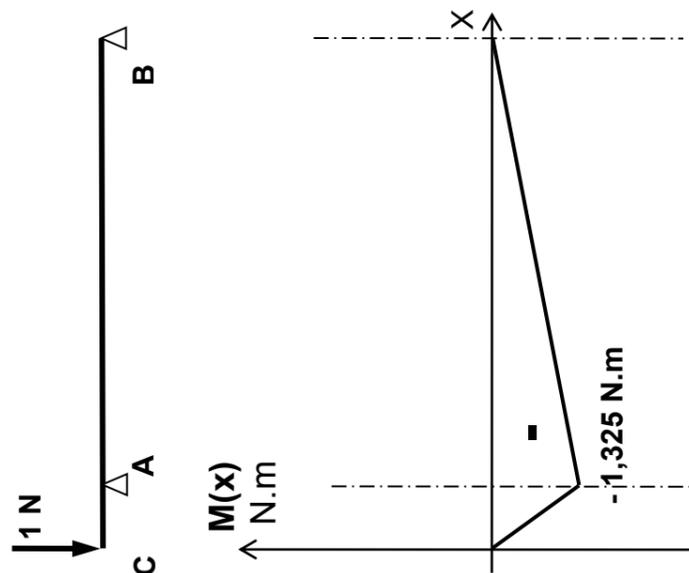
ÉTUDE B – Vérification d'une poutre PRS de plancher du bâtiment A

Données pour Q9 : Décomposition pour le calcul du déplacement en bout de console

Décomposition du système S



Système \bar{S}_j (charge unité)



DT 4

Données pour Q13 : Extrait de la note de calcul du B.E.T. :

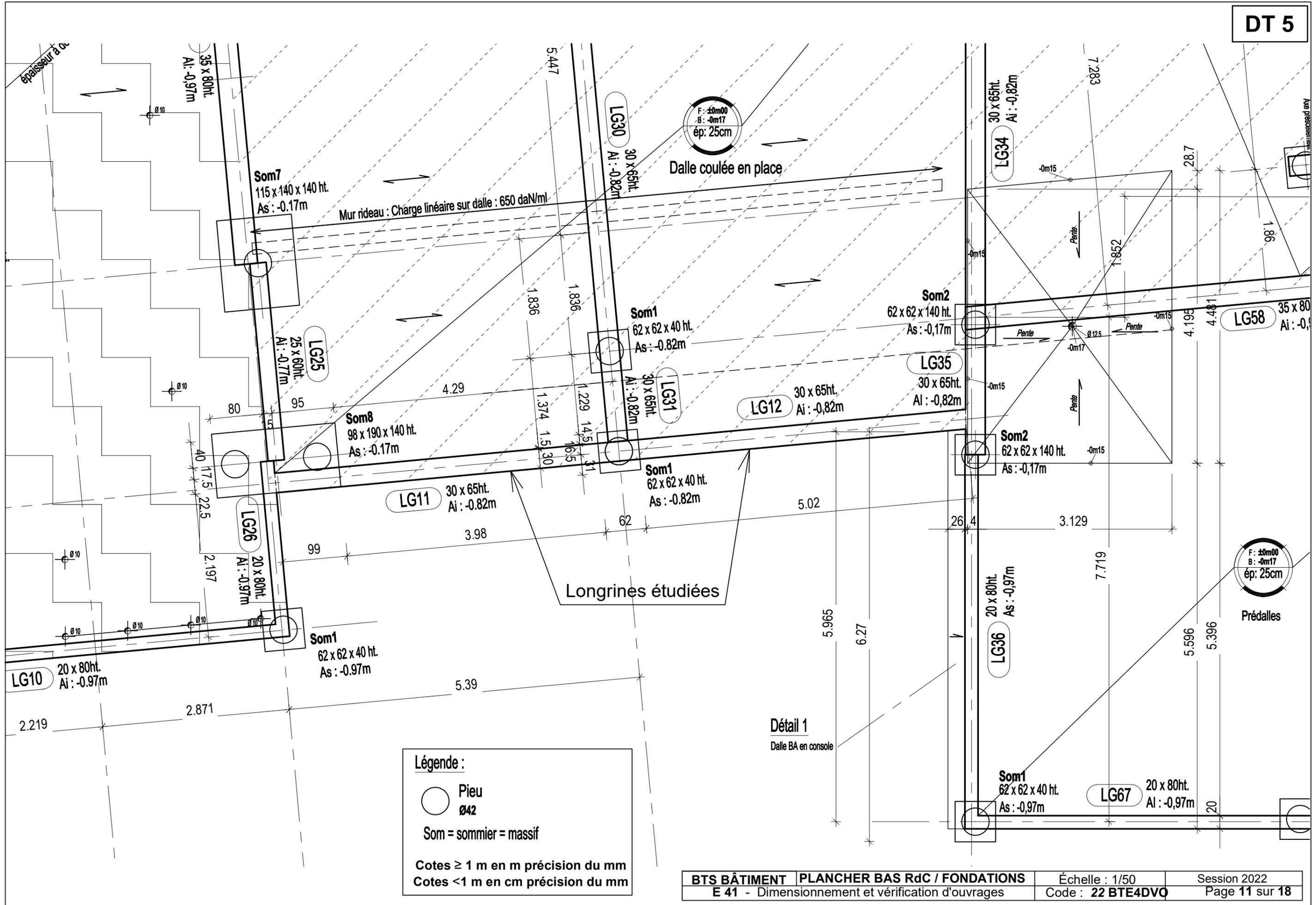
Section : T350 x 380 x 25 x 12 mm									
S	A _{v,z}	I _{gy}	I _{gz}	W _{ely}	W _{elz}	W _{ply}	W _{plz}	i _y	i _z
cm ²	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm	cm
215,5	39,6	58821	17869	3096	1021,1	3447	1544	0	0
Matériau : S 275									
E		ν		f _y		f _u			
210 000 MPa		0,3		275 MPa		430 MPa			

Résistance des sections à l'effort normal				
ELU STR	-----			
N _{Ed} = 0	$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ = 5,926 MN	N _{Ed} ≤ N _{pl,Rd}	$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0$	0 %

Résistance des sections au cisaillement :				
ELU STR	1,35G + 1,5Q + 0,75S + 0,9W ₂			
V _{z,Ed} = 186,05 kN	$V_{pl,z,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$ = 39,6 · $\frac{275}{\sqrt{3} \times 1}$ · 10 ⁻¹ = 628,73 kN	V _{z,Ed} ≤ V _{pl,z,Rd}	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = 0,296$	29,6 %

Résistance des sections aux moments fléchissants :				
ELU STR	1,35G + 1,5Q + 0,75S + 0,9W ₂			
M _{y,Ed} = -305,4 kN.m	$M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ = 3447 × $\frac{275}{1}$ = 947,9 kN.m	M _{y,Ed} ≤ M _{pl,y,Rd}	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = 0,322$	32,2 %

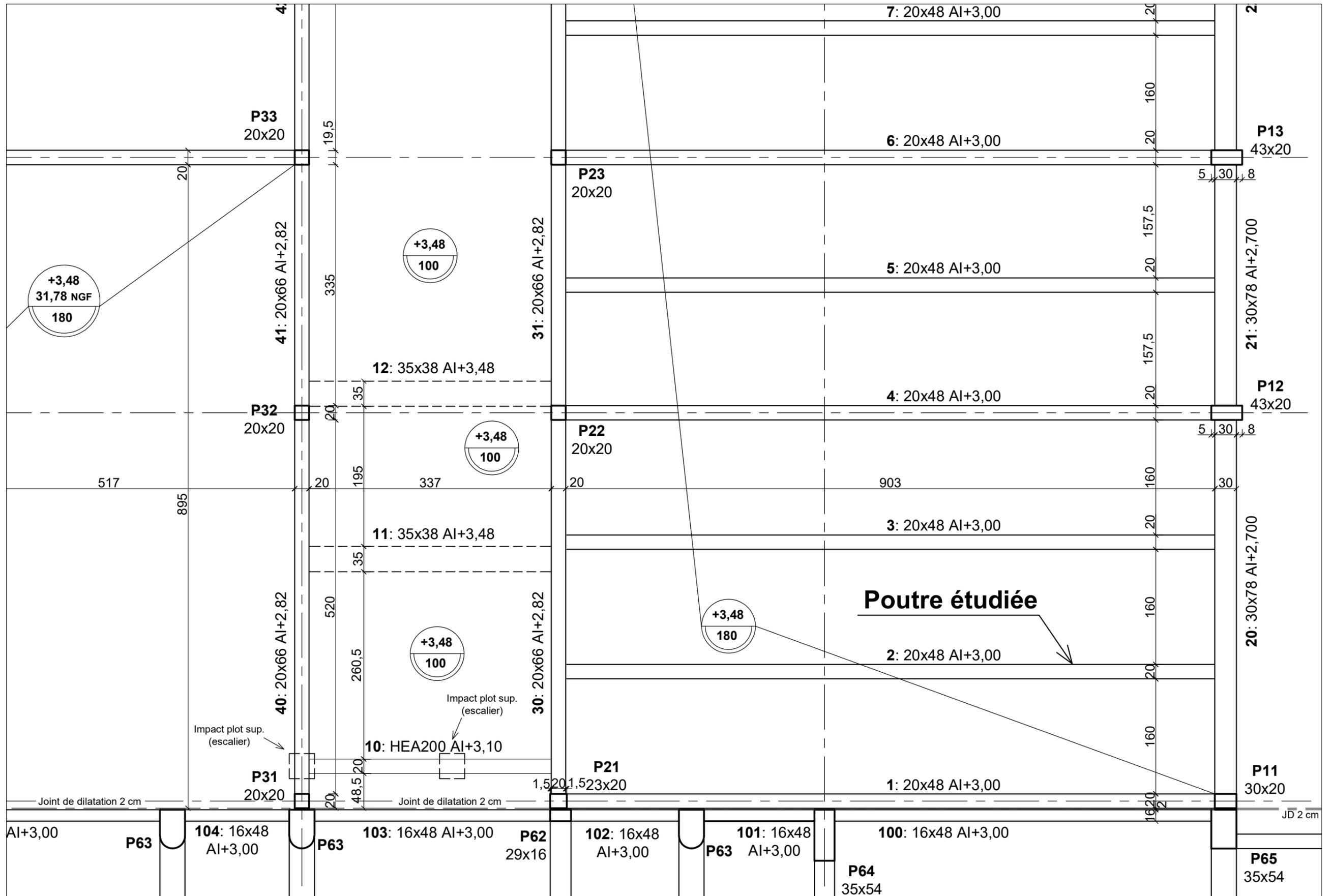
Vérifications des flèches :				
ELS	G + Q + 0,6 W ₂			
w = -4,4 mm	w _{adm} = -8,83 mm	w ≥ w _{adm}	$\frac{w}{w_{adm}} = 0,497$	49,7 %



Légende :

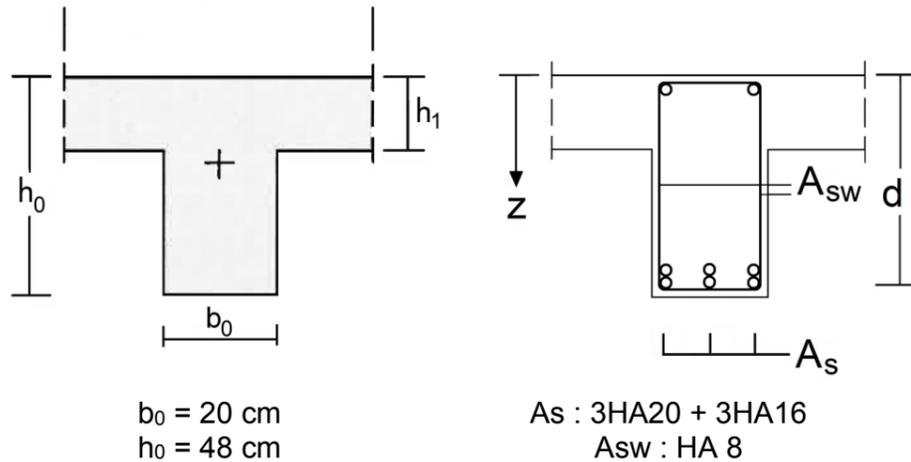
- Pieu
Ø42
- Som = sommier = massif

Cotes ≥ 1 m en m précision du mm
Cotes < 1 m en cm précision du mm



NOTE DE CALCULS
RENFORCEMENT À LA FLEXION À L'AIDE DE PLATS EN FIBRE DE CARBONE

Poutre étudiée (N°2 – 20cm x48cm) :



$b_0 = 20 \text{ cm}$
 $h_0 = 48 \text{ cm}$

$A_s : 3HA20 + 3HA16$
 $A_{sw} : HA 8$

Date de construction initiale : 1980

<p>Béton : C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ Déformations : $\epsilon_{cu} = 3,5 \text{ ‰}$ et $\epsilon_{c2} = 2 \text{ ‰}$ Coefficients : $\gamma_c = 1,5$ $\epsilon_{cc} = 1$ $\epsilon_{ct} = 1$ Autres caractéristiques : $E_{cm} = 31\,476 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 2,56 \text{ MPa}$</p>	<p>Acier : Fe E 400 (1980) $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$ Déformations : $\epsilon_{su} = 10 \text{ ‰}$ Autres caractéristiques : $E_s = 200\,000 \text{ MPa}$</p>
---	--

Armatures :

N°	Nb	Øs mm	As cm²	d cm	Type acier	f_{yk} MPa	Es MPa
1	3	20	9,42	42	FeE400	400	200 000
2	3	16	6,03				

Renfort à la flexion :

Système : S&P FRP LAMELLA – CFK 150/2000 collées en surface avec S&P Resin 220

Les lamelles sont composées d'une matrice en polymère renforcée par des fibres de carbone. Ces armatures à haute adhérence peuvent être utilisées pour le renforcement statique de toutes structures. Elles sont collées à la surface de la structure rénovée avec une colle à base de résine époxy. De faibles dimensions (50 à 140 mm x 1,2 ou 1,4 mm), elles ne surchargent pas la structure (masse volumique d'environ 1600kg/m³).



Exemple de lamelles collées en sous-face d'une poutre

Caractéristiques mécaniques des lamelles :

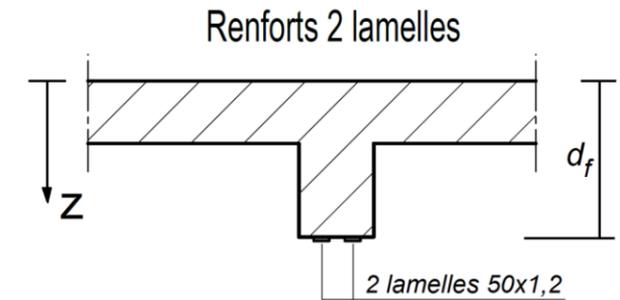
$E_{fk} = 170\,000 \text{ MPa}$
 $f_{fk} = 2550 \text{ MPa}$
 $\epsilon_{fk} = 15 \text{ ‰}$

Valeurs de calcul à l'E.L.U. / E.L.S. :

$\epsilon_{f,ELU} = 8,23 \text{ ‰}$ | $\epsilon_{f,ELS} = 7,35 \text{ ‰}$
 $\sigma_{f,ELU} = 1400 \text{ MPa}$ | $\sigma_{f,ELS} = 1250 \text{ MPa}$

Section FRP :

N°	Nb	Section mm x mm	Af cm²	df cm
1	2	50 x 1,2	1,2	48



Sollicitations :

État non renforcé : Moment en travée : $M_{E,0} = 131 \text{ kN.m}$

État renforcé : Moment en travée : $M_{Ed,f} = 260 \text{ kN.m}$

ANALYSE :

Règlements : Eurocode 2
 CSTB Avis Technique N°3/14-773

État non renforcé : Moment résistant : $M_{Rd,0} = 182 \text{ kN.m}$

État renforcé :

Degré de renforcement recherché : $\eta_M = \frac{M_{Ed,f}}{M_{Rd,0}} = 1,43$

Moment résistant de la poutre renforcée : $M_{rd,f} = 280 \text{ kN.m}$

Degré de renforcement atteint : $\eta_M = \frac{M_{Ed,f}}{M_{Rd,0}} = 1,54$

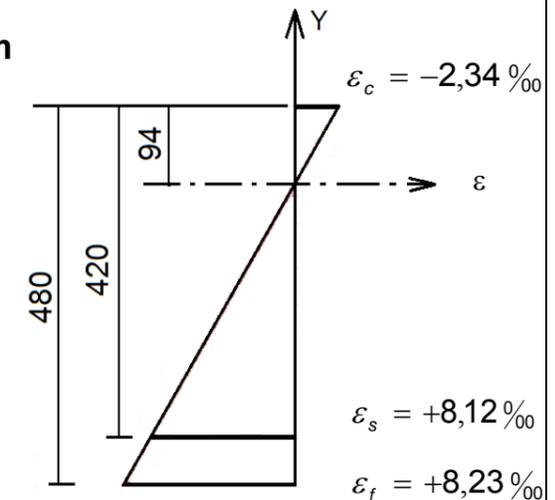


Diagramme des déformations à l'E.L.U. :

INTÉGRALES DE MOHR

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

$m_j(x)$		$LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$
$m_i(x)$		$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{6} LM_i M_j$									
		$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{6} LM_i M_j$									
		$\frac{1}{6} LM_i M_j (2M_i + M_i')$	$\frac{1}{6} LM_i M_j (M_i + 2M_i')$	$\frac{1}{12} LM_i M_j (M_i + M_i')$									
		$\frac{1}{12} LM_i M_j$	$\frac{1}{24} LM_i M_j$	$\frac{1}{48} LM_i M_j$									
		$\frac{1}{48} LM_i M_j$	$\frac{1}{96} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$
		$\frac{1}{48} LM_i M_j$	$\frac{1}{96} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$	$\frac{1}{192} LM_i M_j$

Dans le tableau, M_i , M_j , M_i' , M_j' , sont les extremums des fonctions $m_i(x)$ et $m_j(x)$. Ils sont à prendre en valeurs algébriques.

THÉORÈME DE MULLER-BRESLAU :

$$\Delta_j = \int_{structure} \frac{M \times \bar{M}_j}{EI} dx$$

E : Module d'élasticité longitudinale ou module d'Young
 I : Moment quadratique
 Δ_j : Déplacement au point j,
 M : Moment de flexion, dans la structure étudiée (S)
 \bar{M}_j : Moment de flexion, dans (\bar{S}_j) qui correspond à la structure initiale (S) soumise à un facteur sollicitant unité (force unité ou couple unité =1) appliqué au point j.

FLEXION SIMPLE : VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE vis-à-vis du MOMENT FLÉCHISSANT (M) :

On doit vérifier : $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$

où M_{Ed} = Moment fléchissant (agissant) de calcul sollicitant la section droite à l'ELU ;
 $M_{c,Rd}$ = Résistance de calcul à la flexion de la section à l'ELU.

pour une section de classe 1 ou 2	pour une section de classe 3
$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd}$ (moment résistant plastique)	$M_{c,Rd} = M_{el,Rd}$ (moment résistant élastique)
$M_{pl,Rd} = W_{pl} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$	$M_{el,Rd} = W_{el,min} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

VÉRIFICATION DU LIT INFÉRIEUR SUR APPUI

L'effort de traction à ancrer sur les appuis de rive et intermédiaires est noté F_{Ed} .
 Cet effort F_{Ed} conditionne la section droite du 1^{er} lit d'armatures longitudinales et son ancrage.

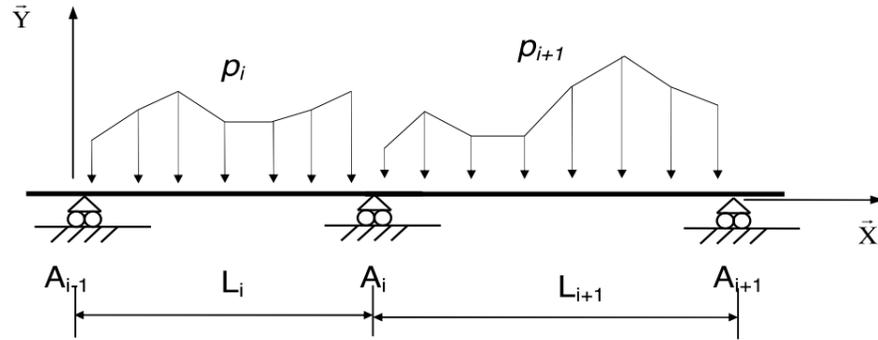
$$A_{s,appui} = \frac{F_{Ed}}{f_{yd}} \text{ avec } f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \text{ et } \gamma_s = 1,15$$

Valeurs de F_{Ed}	Poutres
Appui d'extrémité : Pour simplifier nous prenons $\cot \theta_A = 1$	$F_{Ed} = V_{Ed,u} $
Appui intermédiaire : Si $F_{Ed} \leq 0$, il faut ancrer les barres de $10 \cdot \phi$ dans l'appui. M_{Ed} est la valeur algébrique du moment sur l'appui intermédiaire.	$ V_{Ed,u} + \frac{M_{Ed,u}}{0,9d}$

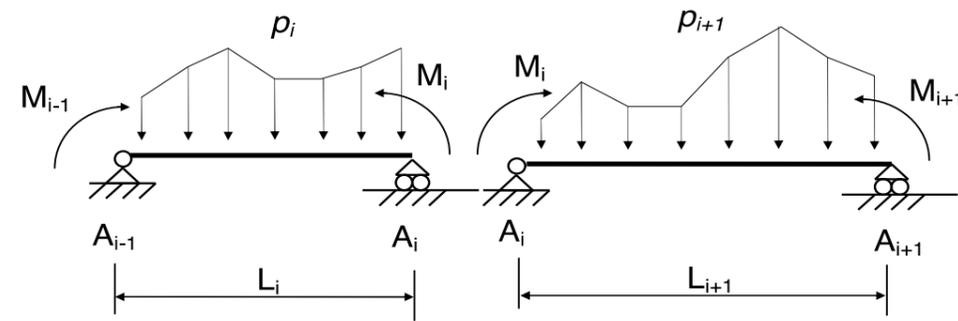
THÉORÈME DES TROIS MOMENTS (Formules de Clapeyron)

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

(S)

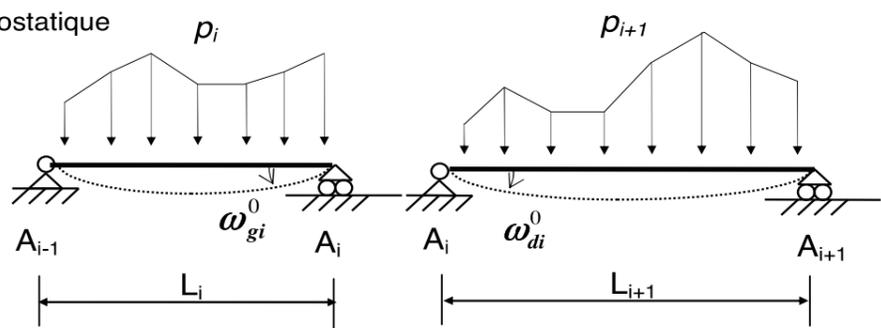


(S)



Système isostatique associé

(S⁰)



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

ROTATIONS AUX APPUIS - FLÈCHES

Schéma mécanique	Rotation aux appuis	Flèche
	$\omega_A = -\frac{pL^3}{24EI}$ $\omega_B = \frac{pL^3}{24EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{5pL^4}{384EI}$

PORTÉES EFFICACES (DE CALCUL) DES POUTRES ET DALLES DANS LES BÂTIMENTS

Différents cas sont envisagés :

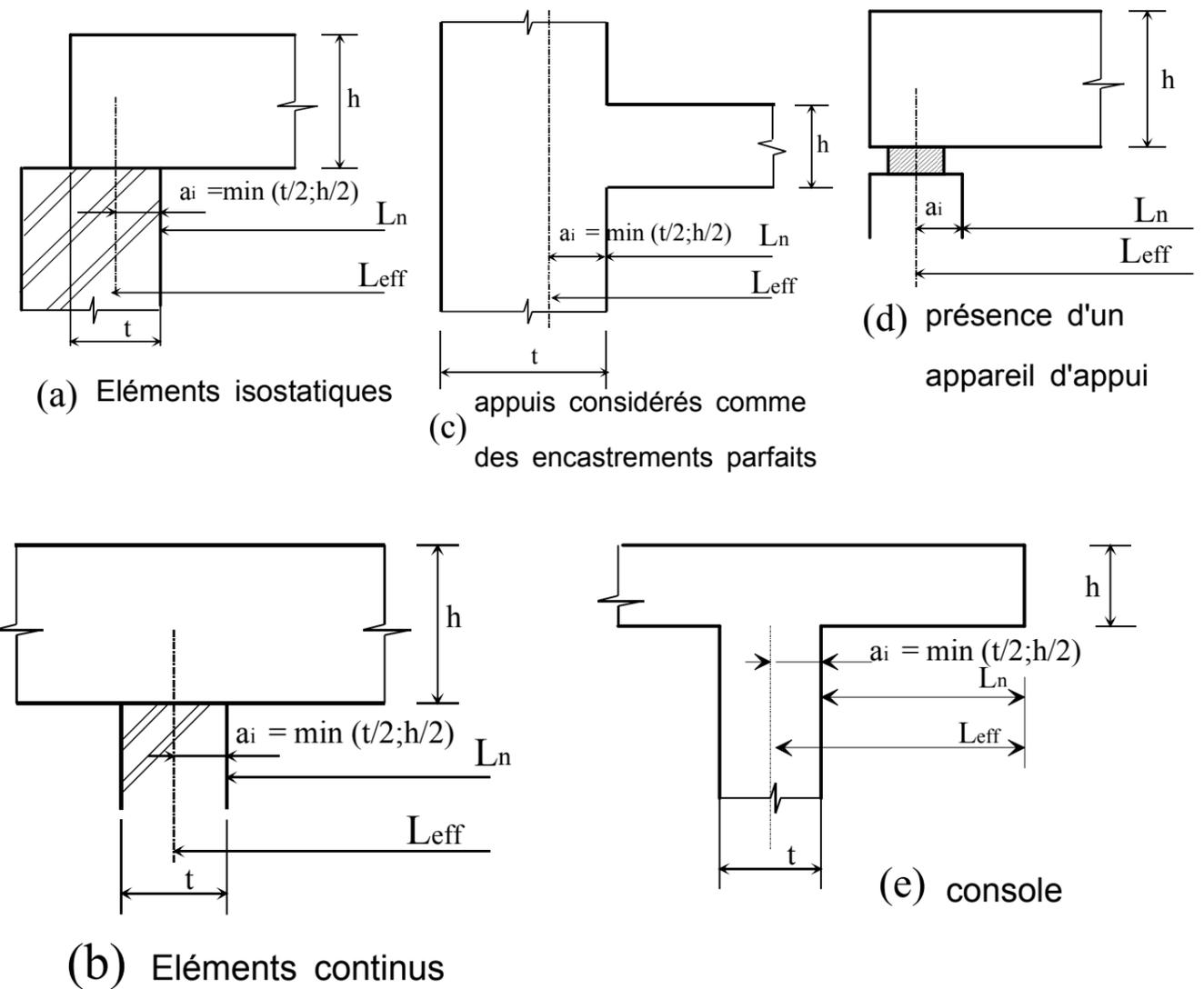
- a) éléments isostatiques
- b) éléments continus
- c) appuis considérés comme des encastremets parfaits
- d) présence d'un appareil d'appui
- e) console

La portée efficace l_{eff} d'un élément peut être calculée de la manière suivante : $l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$.

Avec l_n : distance libre entre les nus d'appuis.

Les valeurs a_1 et a_2 à chaque extrémité de la portée, peuvent être déterminées à partir des valeurs correspondantes a_i de la figure 5.4.

Figure 5.4 : Détermination de la portée de calcul L_{eff} d'après l'expression 2.15, pour différents cas d'appuis.



LONGUEUR D'ANCRAGE DE RÉFÉRENCE $L_{b,rqd}$:

Longueur d'ancrage total $L_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}}$ avec $\sigma_{sd} = f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ et $\phi_s \leq 32$ mm

	f_{ck} en MPa	20	25	30	35	40	45	50
Bonnes conditions d'adhérence	f_{bd} en MPa	2,32	2,69	3,04	3,37	3,68	3,99	4,28
	$\frac{L_{b,rqd}}{\phi}$	47	40	36	33	29	27	25
Conditions d'adhérence médiocres	f_{bd} en MPa	1,62	1,89	2,13	2,36	2,58	2,79	2,99
	$\frac{L_{b,rqd}}{\phi}$	67	57	51	46,1	42	39	36

LONGUEUR DE RECOUVREMENT :

Ne pas utiliser – pour information

$$L_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot L_{b,rqd} \geq L_{0,min}$$

Dans la zone étudiée :

$$\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1$$

$$\alpha_2 = 0,7$$

$$\alpha_6 = 1,5$$

$$\alpha_4 = 1 \quad \text{car les armatures transversales ne sont pas soudées :}$$

DONC, on prend :

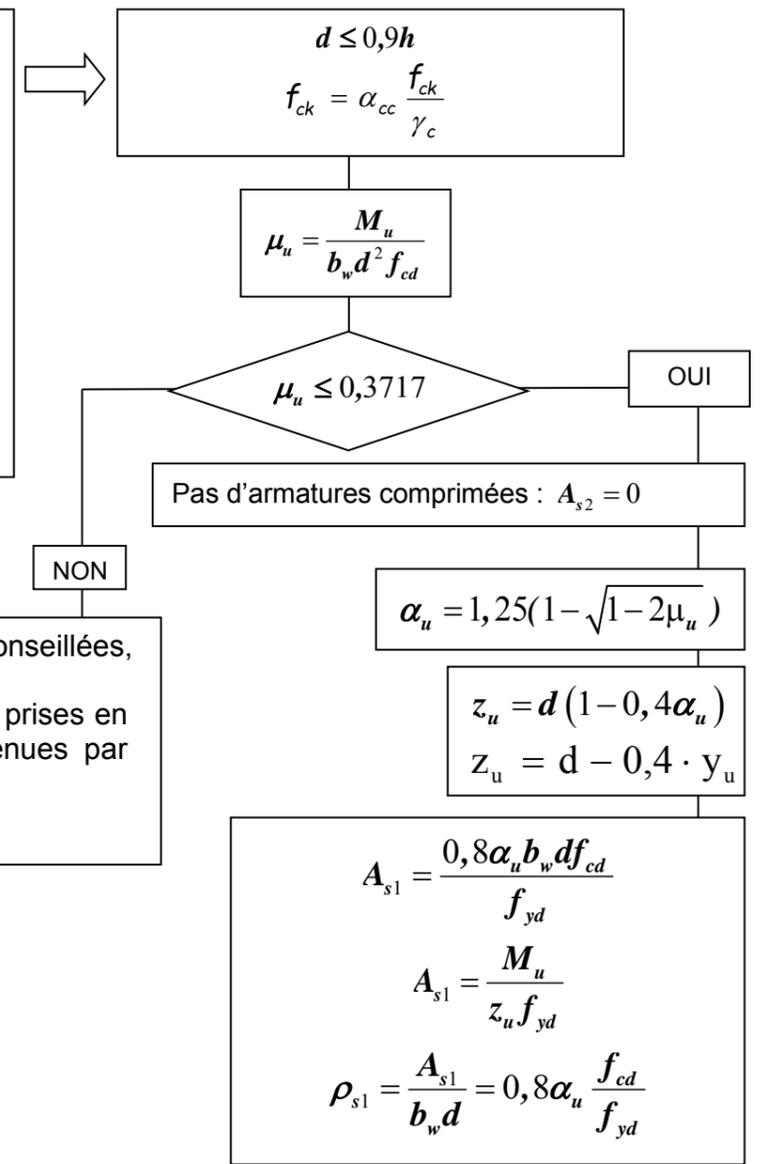
$$L_0 = 0,7 \times 1,5 \times L_{b,rqd} \times \frac{A_{s,rqd}}{A_{s,prov}}$$

SECTIONS DES 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

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
 $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$
 $p_u = 1,35g + 1,5q$ kN / m
 moment de flexion ELU $M_{Ed} = M_u$



Les armatures comprimées sont conseillées, car les aciers seraient mal utilisés. Si les armatures comprimées sont prises en compte, elles seront alors maintenues par des armatures transversales : $s \leq 15\phi$.

Sections minimale et maximale d'armatures longitudinales tendues (Clause 9.2.1.1) :

$$A_{s,1} \geq A_{s,min} = \max \left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_w \cdot d ; 0,0013 \cdot b_w \cdot d \right] \text{ avec } f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

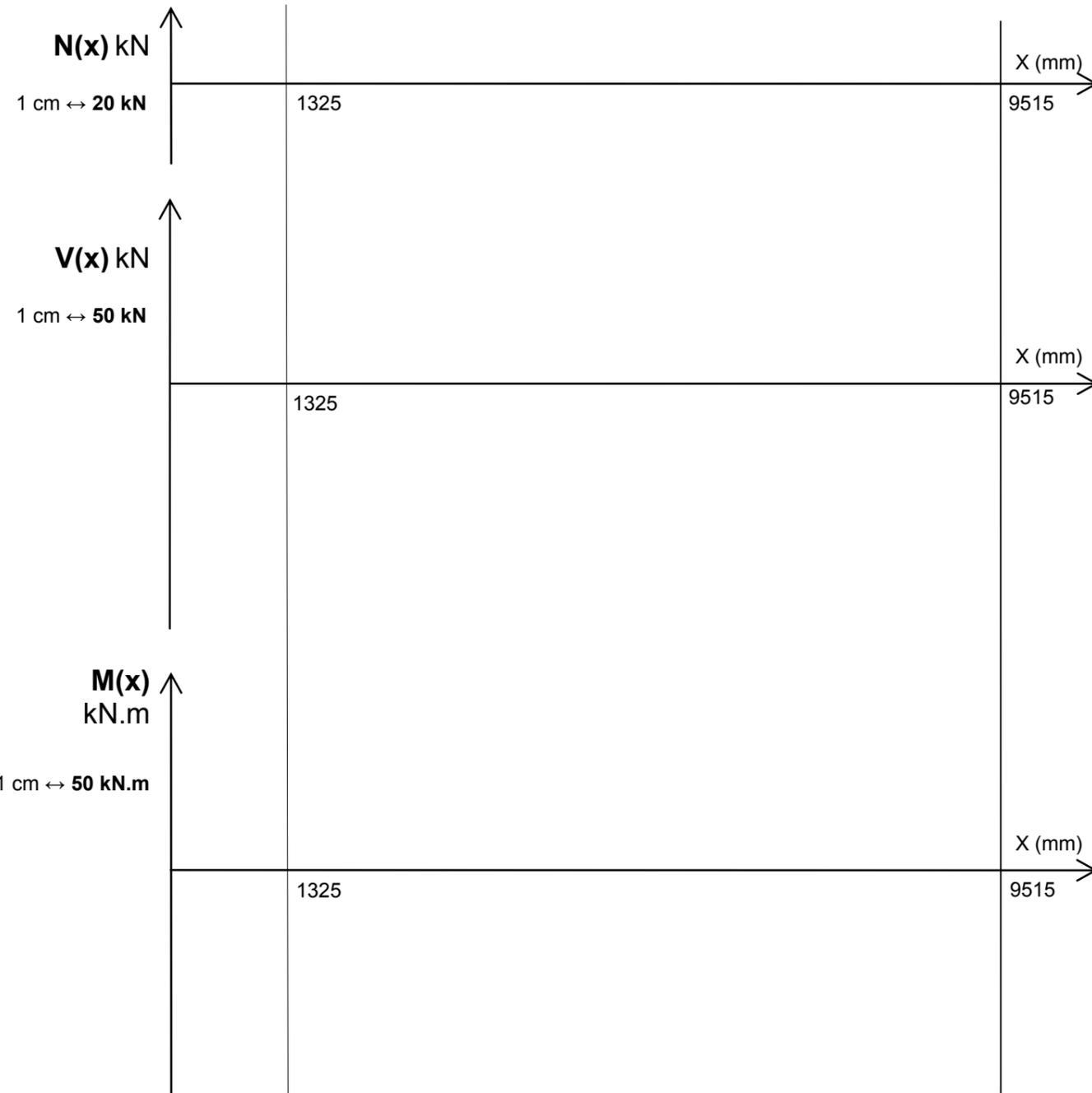
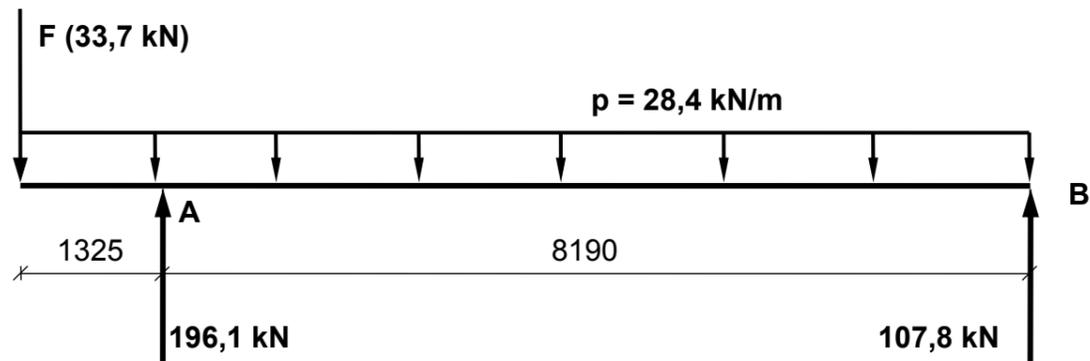
$$A_{s,1} < 0,04 A_c \quad \text{avec } A_c \text{ aire de la section droite de béton}$$

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

Moment résistant de la poutre : $M_{Rd,u} = A_s \cdot z_u \cdot f_{yd}$

ÉTUDE B – Vérification d'une poutre PRS de plancher du bâtiment A

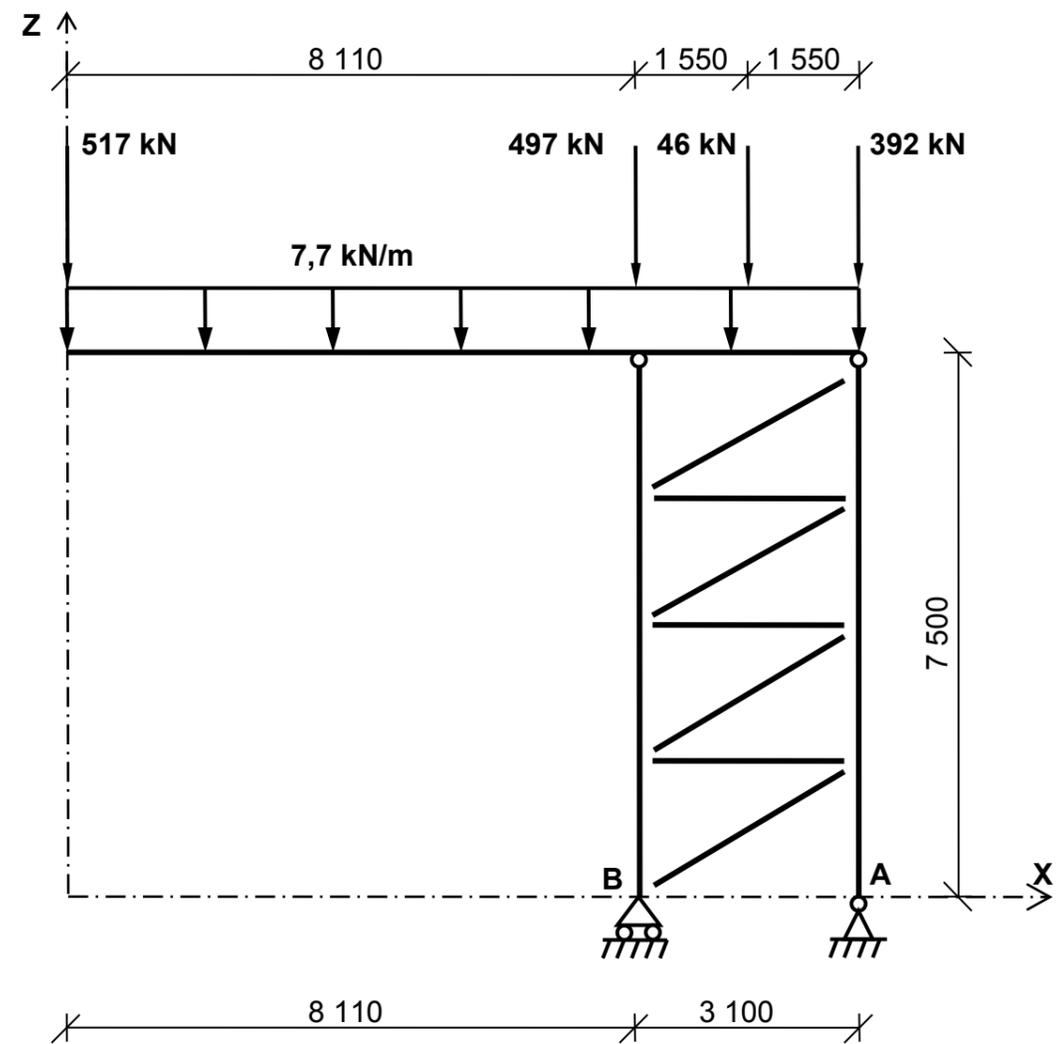
Q9 :



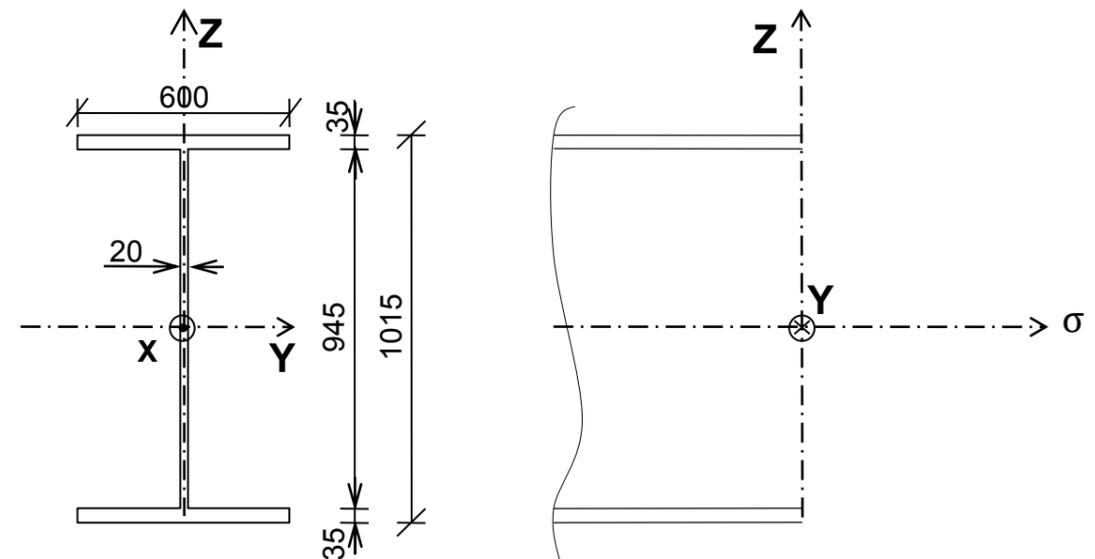
ÉTUDE A – Étude du portique d'entrée

DR 1

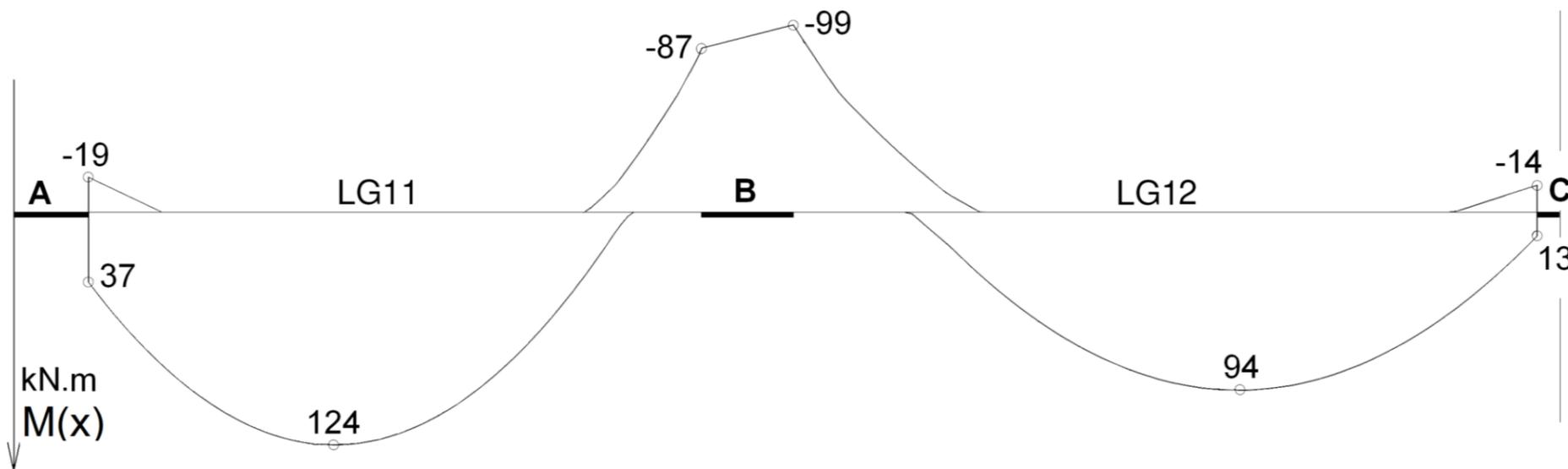
Q2 :



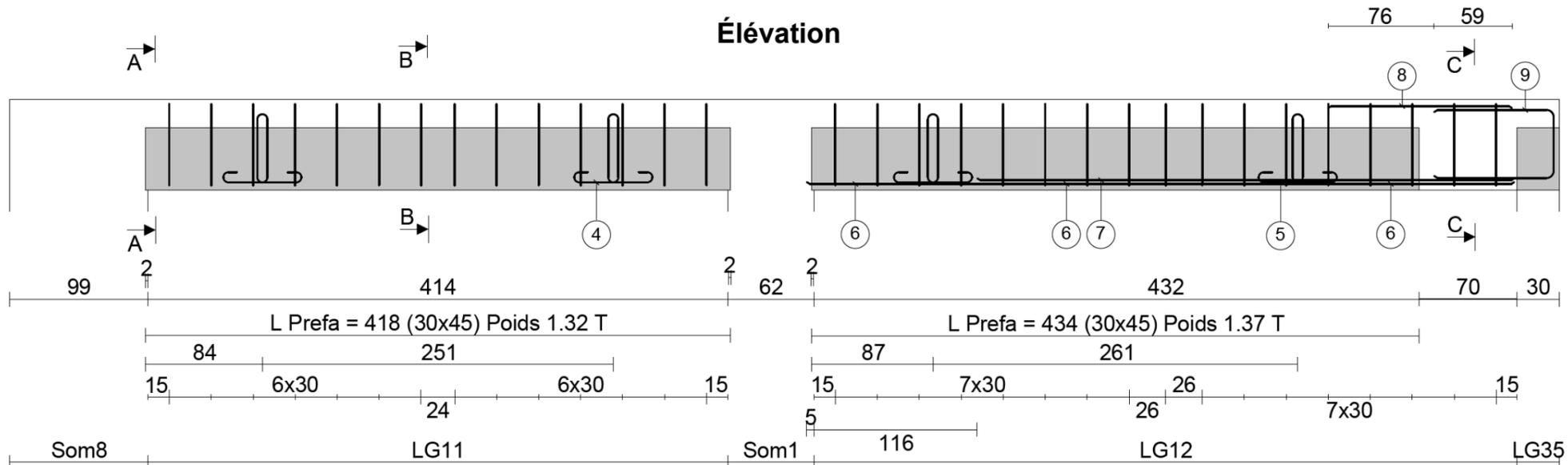
Q6 : Échelle : 50 MPa pour 1 cm



Courbe des moments fléchissants issue du logiciel :



Plan d'armatures (échelles non conventionnelles et cotation en cm) :



Coupe AA

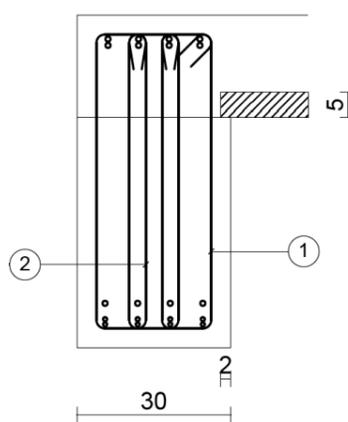
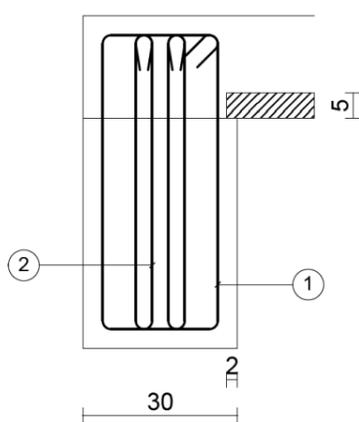
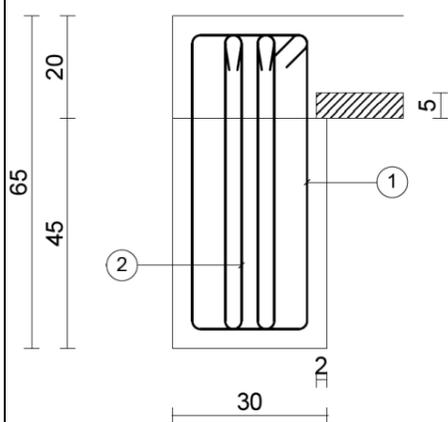
Echelle non définie

Coupe BB

Echelle non définie

Coupe CC

Echelle non définie



6	4HA8	506	506
7	4HA8	384	384
8	4HA10	132	132
9	?	226	85,5 85,5

Toutes les cases ne seront pas obligatoirement complétées.

N°	Schéma	Nom / Fonction(s)	N°	Schéma	Nom / Fonction(s)
10					
11					