

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR BÂTIMENT

Épreuve E4 – Étude technique

Sous - épreuve E41

Dimensionnement et vérification d'ouvrages

SESSION 2020

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé

**L'usage de la calculatrice avec le mode examen activé est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.**

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

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet. Ce sujet comporte 19 pages numérotées de 1 / 19 à 19 / 19.

PROJET Centre sportif

Contenu du dossier

Dossier sujet

- Présentation de l'ouvrage page 2
- Caractéristiques des matériaux page 3
- Données à prendre en compte pour les descentes de charges page 3
- **Étude A** : Charpente bois page 4
- **Étude B** : Poutre continue en béton armé page 5
- **Étude C** : Poteau et semelle en béton armé page 6
- **Étude D** : Mur de soutènement page 6

Dossier de plans

- **DT1** Plans de masse page 7
- **DT2** Vues 3D page 8
- **DT3** Plan pour la charpente bois Étude A page 9
- **DT6** Plans pour la poutre Étude B page 12
- **DT7** Plans pour le poteau Étude C page 13
- **DT11** Plans mur de soutènement Étude D page 17

Dossier annexes et formulaires

- **DT4** Eurocode 5 flexion, cisaillement page 10
- **DT5** Eurocode 5 calcul des flèches page 11
- **DT8** Formule des 3 moments, rotations, portées utiles page 14
- **DT9** Combinaisons fondamentales, Eurocode 2 flexion page 15
- **DT10** Eurocode 2, poteau en béton armé page 16

Documents réponse

- **DR1** Document réponse pour l'Étude B page 18
- **DR2** Document réponse pour les Études C et D page 19

Barème

Les études sont indépendantes.

Étude A	Charpente bois	7 points
Étude B	Poutre continue en béton armé	7 points
Étude C	Poteau et semelle en béton armé	3 points
Étude D	Mur de soutènement	3 points
TOTAL		20 points

Présentation de l'ouvrage

Description

L'étude porte sur la construction d'un centre sportif composé de deux entités distinctes : une zone sport avec salles de sport et annexes (vestiaires, musculation, tir à l'arc) et une zone administration comprenant un pôle administration et formation, un pôle restauration et un pôle hébergement.



Modes constructifs

Les documents **DT1** et **DT2** permettent de visualiser le bâtiment et de localiser les éléments étudiés.

Les fondations sont de type superficielles.

Les planchers bas du rez-de-chaussée sont de type dallage, les autres sont des dalles en béton armé.

La structure principale des bâtiments est en béton armé.

Dans les salles de sport et dans certaines parties du pôle administration, certains murs sont en ossature bois.

Dans les salles de sport, les planchers sont réalisés avec des poutres précontraintes, en raison des grandes portées nécessaires (21m).

La toiture, en chevrons bois et bacs acier, est supportée par des poutres en bois lamellé collé et des pannes en bois massif.

Contraintes du projet

- Neige : Région A1.
Altitude \leq 1000 m au-dessus du niveau de la mer.

Caractéristiques des matériaux utilisés

Béton armé

- Béton armé C25/30 :
 - $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
 - $f_{cd} = 16,7 \text{ MPa}$
 - $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
 - $\gamma_c = 1,5$
- Armatures B500 :
 - $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 - $f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}$
 - $\gamma_s = 1,15$
- Poids volumique du béton armé : $\gamma_{B.A.} = 25 \text{ kN/m}^3$
- Béton intérieur : classe d'exposition XC1
- Béton de fondation : classe d'exposition XC2
- Béton extérieur : classe d'exposition XC3
- Enrobage des aciers (poteaux et poutres) : 20 mm

Aciers en barres

Diamètre mm	Poids kg/m	Périmètre cm	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

Éléments de charpentes en lamellé-collé

- Poids volumique des bois massifs : $\gamma_{BOIS} = 4,2 \text{ kN/m}^3$
- Poids volumique du lamellé-collé : $\gamma_{BOIS} = 4,4 \text{ kN/m}^3$
- Module d'élasticité du bois lamellé collé GL24h : $E = 10500 \text{ MPa}$
- Chevrons BM (bois massif) 60x80, espacés de 0,64 m, de section 60 mm x 80 mm
- Pannes BM (bois massif) 100x225, de section 100 mm x 225 mm
- Poutres principales BLC (bois lamellé collé) 140x495, de section 140 mm x 495 mm GL24h, classe de service 2, chargement court terme :
 - résistance caractéristique à la flexion du bois : $f_{mk} = 24 \text{ MPa}$
 - résistance caractéristique au cisaillement du bois : $f_{vk} = 2,7 \text{ MPa}$

Données à prendre en compte pour les descentes de charges

Charges surfaciques sur toiture

- Charges permanentes :
 - Complexe couverture (zinc, voligeage, liteaux, chevrons) : 0,23 kN/m²
 - Isolant sous toiture : 0,11 kN/m²
 - Faux-plafond isolé : 0,31 kN/m²
- Charge de neige : 0,36 kN/m²

Étude A : Charpente bois

Documents à consulter ou compléter : DT1, DT2, DT3, DT4, DT5, DT8, DT9

L'étude porte sur une partie de la charpente du bâtiment hébergement, situé en zone A2.

Des poutres principales en bois lamellé collé soutiennent des pannes en bois massif qui reprennent la toiture composée de chevrons et d'une couverture en zinc.

Cette charpente sert à reprendre également un faux plafond.

Il s'agit dans cette étude d'analyser les charges appliquées sur une panne en partie courante et de vérifier une poutre principale.

A1 Questions préliminaires

Q1 : Analyse de la charpente : **expliquer** le rôle des éléments repérés CVT.
Justifier la disposition suivant 2 directions.

Q2 : **Déterminer** la surface de toiture agissant sur une panne BM 100 x 225.

Q3 : **Proposer** une modélisation montrant les éléments agissants sur une poutre principale BLC 140 x 495. Aucun calcul n'est demandé.

A2 Étude d'une panne BM 100 x 225

On fait l'hypothèse que la pente de toiture de 5% est négligeable.

On prendra pour le dimensionnement, une panne en zone courante, c'est à dire non proche du mur et hors zone de contreventement.

Q4 : **Calculer** les charges permanentes g en kN/m de panne. **Réaliser** un schéma montrant la largeur de reprise pour un mètre de panne et la surface d'influence concernée.

Calculer la charge de neige s en kN/m de panne.

Vérifier que la charge p_u aux ELU appliquée sur la panne vaut 2,140 kN/m.

Q5 : **Tracer** les diagrammes de $V(x)$, effort tranchant à l'ELU et $M(x)$, moment fléchissant à l'ELU.

Q6 : **Calculer** la force ponctuelle F_u en kN appliquée par la panne sur la poutre principale.

A3 Étude d'une poutre principale BLC 140x495

La longueur de la poutre sera de $L = 7,20$ m.

On souhaite dans les trois questions suivantes, effectuer les vérifications à l'ELU

on prendra $p_u = 5$ kN/m (charge uniformément répartie).

Q7 : **Vérifier** que M_{ed} vaut 32,4 kN.m et que $\sigma_{m,d}$ vaut 5,7 MPa.

Q8 : **Vérifier** la résistance de la poutre vis-à-vis de la flexion aux **ELU**.

Q9 : **Vérifier** la résistance de la poutre vis-à-vis de l'effort tranchant aux **ELU**.

On calculera au préalable l'effort tranchant maximum V_{ed} dans la poutre.

On rappelle que $\tau_d = 1,5 \cdot V_{ed} / A$
avec A = section de la poutre cisailée.

On souhaite désormais dans la suite, effectuer les vérifications de flèches à l'ELS

Q10 : **Calculer** la flèche $v_{inst}(g)$.

On prendra $g = 1,3$ kN/m

Q11 : Le bureau d'études a déterminé les valeurs suivantes :

- $v_{inst}(Q) = 4,95$ mm avec $Q = 2,1$ kN/m
- $v_{net,fin} = 10,76$ mm
- $v_{fin} = 10,76$ mm (pas de contre-flèche)

Vérifier selon l'Eurocode 5 le critère de flèche.

Q12 : La flèche finale est égale à la somme de la flèche instantanée v_{inst} et de la flèche due au fluage v_{creep} .

Expliquer sommairement le phénomène de fluage.

Étude B : Poutre continue en béton armé

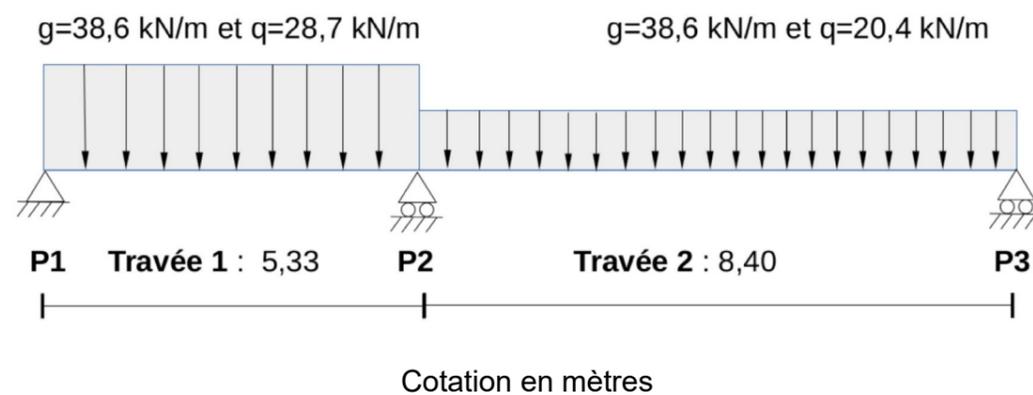
Documents à consulter ou compléter : DT1, DT2, DT6, DT8, DT9, DR1

L'étude porte sur la poutre continue à deux travées sur trois appuis P1(*), P2 et P3. Elle est dans le plancher haut du R+1 du bâtiment sport. Il s'agit de dimensionner une partie des armatures de cette poutre.

(*) L'appui P1 se situe sur le voile en béton repéré VB20 sur le DT6.

B1 Questions préliminaires :

Modèle mécanique :



Q13 : Un joint de dilatation est situé sur l'appui P3. Le choix a été de doubler la structure (deux poutres, deux poteaux).

Proposer deux autres solutions (avec des schémas) au niveau de cet appui, pour réaliser ce joint de dilatation (pour la liaison poteau-poutre).

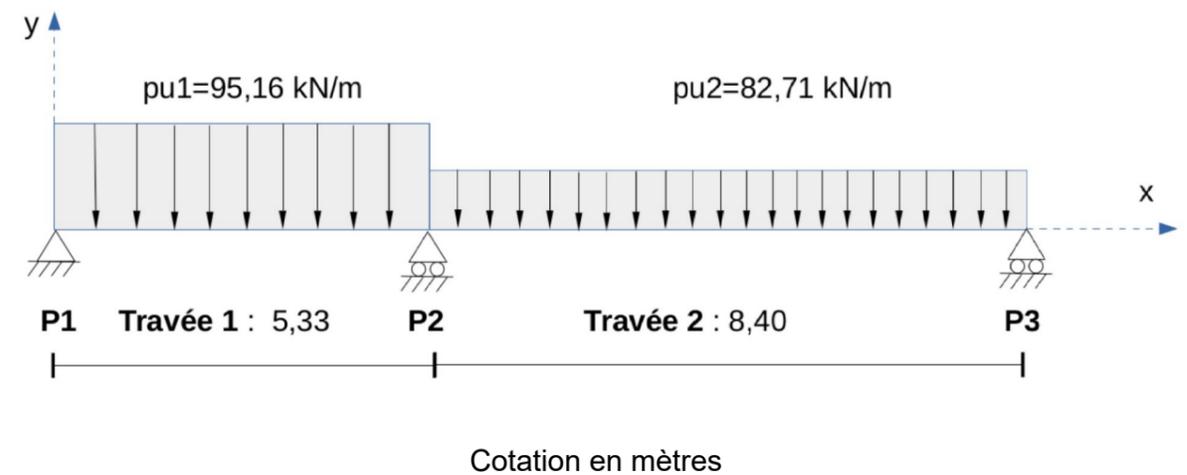
Q14 : Justifier les longueurs efficaces qui ont été retenues.

Q15 : Schématiser les cas de charges à l'ELU permettant d'obtenir :

- le moment fléchissant maximal sur l'appui P2
- le moment fléchissant maximal dans la première travée

B2 Courbe de moments et section d'armatures :

Modèle mécanique : chargement à l'ELU



Q16 : Calculer le moment fléchissant M_{P2} sur l'appui central.

On prendra pour la suite $M_{P2} = - 577,49$ kN.m.

Q17 : Calculer les actions sur les appuis P1, P2 et P3.

Q18 : Tracer les diagrammes $V(x)$ et $M(x)$ sur l'ensemble de la poutre, dans le document DR1. On détaillera le calcul des valeurs particulières.

Q19 : Calculer la section d'armatures longitudinales au niveau de l'appui P2, effectuer un choix des barres d'aciers HA, et compléter la section du plan d'armatures dans le document DR1. On choisira comme armatures transversales un cadre et un étrier HA8.

Q20 : Dessiner à main levée les aciers longitudinaux principaux de la poutre sur le document réponse DR1. Aucun calcul n'est demandé pour cette question. On ne dessinera pas les cadres et les armatures de montage. On supposera 2 lits d'armatures en travées et sur appui.

Étude C : Poteau et semelle en béton armé

Documents à consulter ou compléter : DT1, DT7, DT9, DT10, DR2

Il s'agit dans cette partie de dimensionner les armatures du poteau à l'intersection de la file 10 et de la file D (du bâtiment administratif A1), ceci dans la hauteur du rez de chaussée.

On donne la valeur de l'effort normal à l'ELU repris par le poteau : $N_{ED} = 700 \text{ kN}$, et la longueur efficace (ou de flambement) $L_o = 3,885 \text{ m}$.

Q21 : Préciser les données à rassembler pour établir la note de calculs permettant de produire le plan de ferrailage du poteau en béton armé.

Q22 : Calculer la section d'armatures longitudinales du poteau et choisir les aciers nécessaires (nombre et diamètre).

Q23 : Choisir les armatures transversales en partie courante. Calculer l'espacement des cadres en partie courante, et également en tête et en pied de poteau.

Q24 : Sur le document réponse DR2, compléter le ferrailage du poteau sur une section courante.

Q25 : Proposer une répartition des armatures transversales sur la hauteur du poteau.

La cote de niveau de l'arase supérieure de la fondation S8 est 10,00 m.

Compléter cette répartition sur le document DR2 (élévation du poteau).

Q26 : Sur le document DR2 (élévation du poteau), proposer et dessiner une solution pour le ferrailage de principe des attentes entre le poteau et la semelle de fondation.

Aucun calcul n'est demandé.

Étude D : Mur de soutènement

Documents à consulter ou compléter : DT1, DT2, DT11, DR2

On s'intéresse ici au mur de soutènement en périphérie de la salle 2 du bâtiment sport.

Q27 : Expliquer quels sont les risques qui peuvent affecter ce mur. Détailler votre réponse avec des schémas.

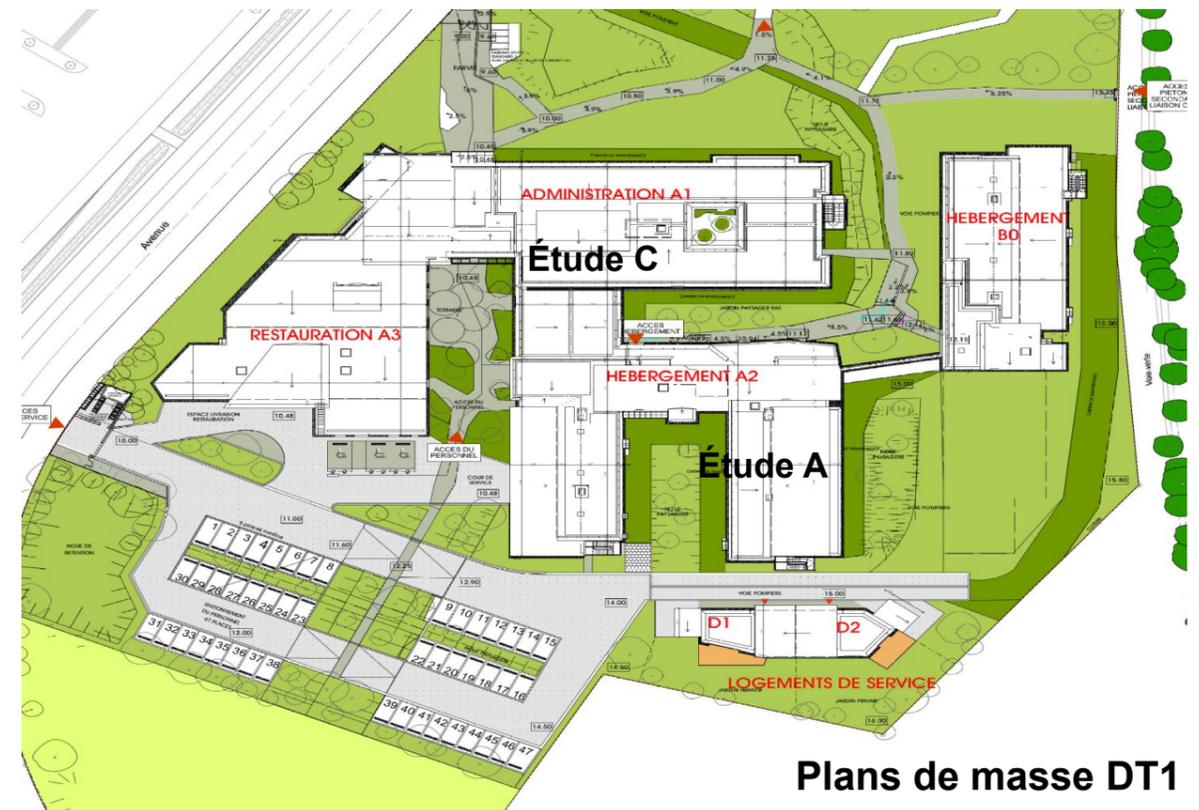
Q28 : Réaliser un bilan des forces qui agissent sur ce mur. Aucun calcul n'est demandé. Réaliser un schéma explicatif en précisant bien ce qui a été isolé.

Q29 : Le sol contre ce mur peut être saturé d'eau. Proposer des solutions pour remédier aux risques possibles.

Q30 : Compléter le document réponse DR2 pour proposer un ferrailage de principe des aciers principaux de ce mur.



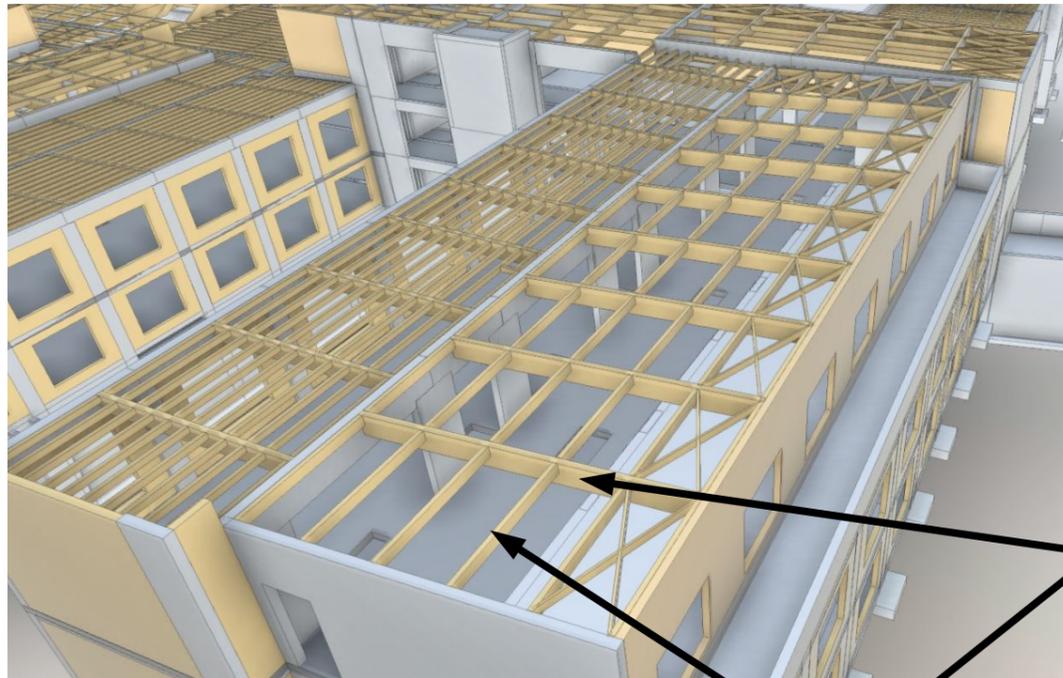
Localisation des études proposées sur les plans de masse



Plans de masse DT1

Étude A : Charpente bois

Nota : les chevrons BM 60x80 ne sont pas représentés



Poutre principale



Panne

Étude B : Poutre continue en béton armé



Poutre et poteaux en béton armé

Études B et D : Bâtiment sport



Mur de soutènement

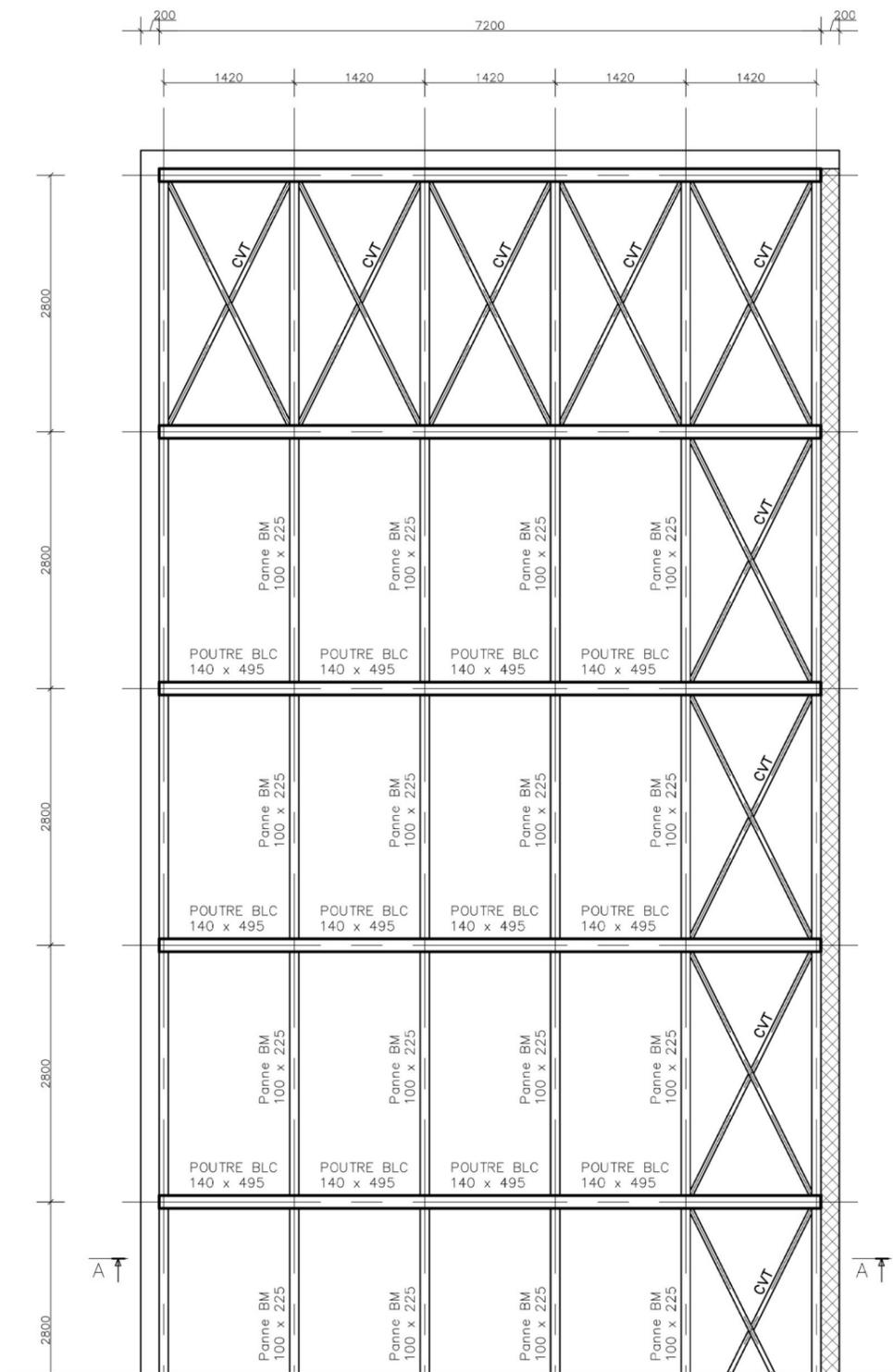
Vues 3D DT2

Plancher haut du R+3

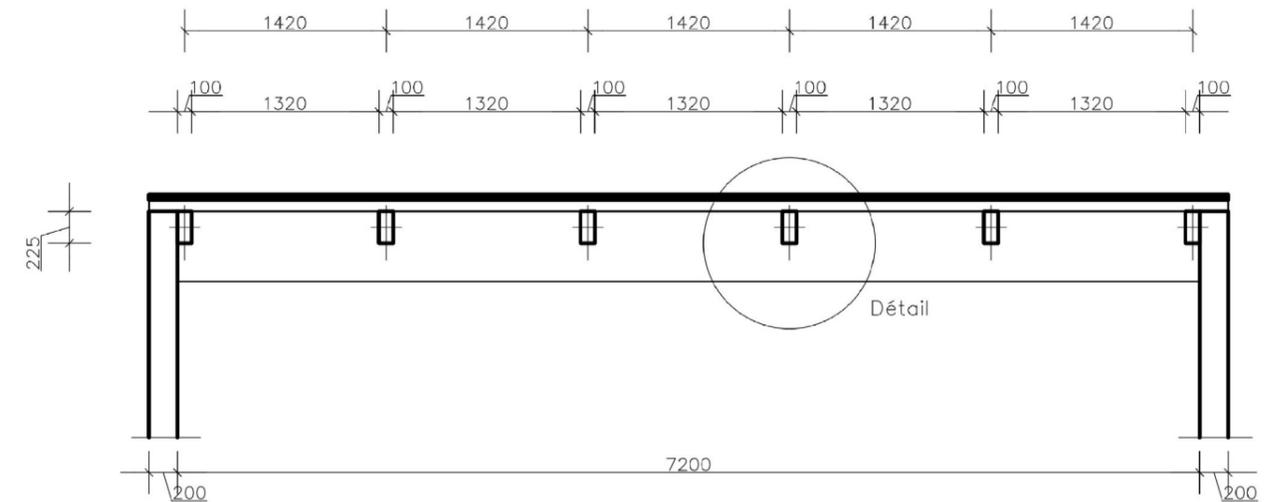
Toiture bâtiment administratif

Zone A2 avec couverture zinc

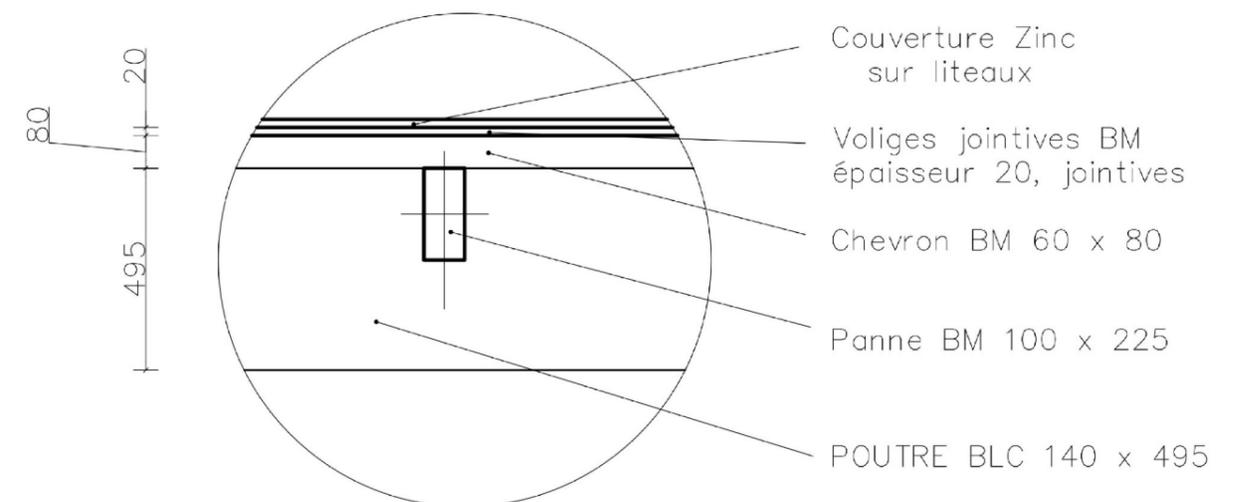
Nota : les chevrons BM 60x80, le complexe d'étanchéité l'isolant et le faux plafond, ne sont pas représentés sur le plancher haut du R+3 et la coupe AA



Coupe A-A de la toiture



Détail de la toiture



Plans pour la charpente bois Étude A (échelles non définies) DT3

Vérification simplifiée des contraintes normales selon l' Eurocode NF EN 1995 limitée à la flexion simple

Critère de résistance d'une section / contraintes normales $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

$f_{m,d}$: 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 max. de calcul en flexion (sur les fibres extrêmes) engendrée par le moment de flexion M à l'E.L.U. ;

$f_{m,k}$: résistance caractéristique à la flexion du bois ;

γ_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 charges ;

k_h : coefficient modificatif tenant compte de la hauteur de la poutre.

Vérification simplifiée des contraintes de cisaillement selon l' Eurocode NF EN 1995

Critère de résistance d'une section au cisaillement : $\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$

$f_{v,d}$: résistance de calcul au cisaillement du bois $f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$

τ_d : contrainte max. de cisaillement engendrée par l'effort tranchant V à l'E.L.U. ;

$f_{v,k}$: résistance caractéristique au cisaillement du bois ;

γ_M : coefficient partiel de propriété du matériau pour le bois à l'E.L.U. ;

k_{mod} : coefficient modificatif pour classes de service (pour tenir compte de l'humidité du matériau) et classes de durée de chargement.

Classes de durée de charge

Classe de durée de charge	Ordre de grandeur de la durée cumulée de l'application d'une action	Exemple d'action
Permanente	> 10 ans	Poids propre
Long terme	six mois à 10 ans	Stockage, équipements fixes.
Moyen terme	une semaine à six mois	Charges d'exploitation Charge d'entretien Neige : altitude $H \geq 1000$ m
Court terme	< une semaine	Neige : altitude $H < 1000$ m
Instantanée		Vent Situations et actions accidentelles : neige exceptionnelle,...

Valeur du coefficient k_{mod}

Matériau	Classe de durée de charge	Classe de service		
		1	2	3
BM : bois massif 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

Nota : lorsque dans une combinaison, on a des charges de durée variable, on prend le k_{mod} de la plus faible durée.

Coefficients partiels pour les propriétés des matériaux γ_M

ÉTATS LIMITES ULTIMES		
MATERIAUX	Bois massifs	1,30
	Lamellé collé	1,25
ÉTATS LIMITES DE SERVICES		1,00

coefficient de hauteur k_h

h est la hauteur de la pièce (pour la flexion).

k_h BM bois massif	k_h LC lamellé collé
si $h \geq 150$ mm $k_h = 1$	si $h \geq 600$ mm $k_h = 1$
si $h \leq 150$ mm $k_h = \min[1,3; (150/h)^{0,2}]$	si $h \leq 600$ mm $k_h = \min[1,1; (600/h)^{0,1}]$

Coefficient k_h pour BM

h	150	145	140	135	130	125	120	115	110	105	100	95
k_h	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,10

h	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
k_h	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,18	1,20	1,22	1,25	1,27	1,27	1,30

Coefficient k_h pour LC

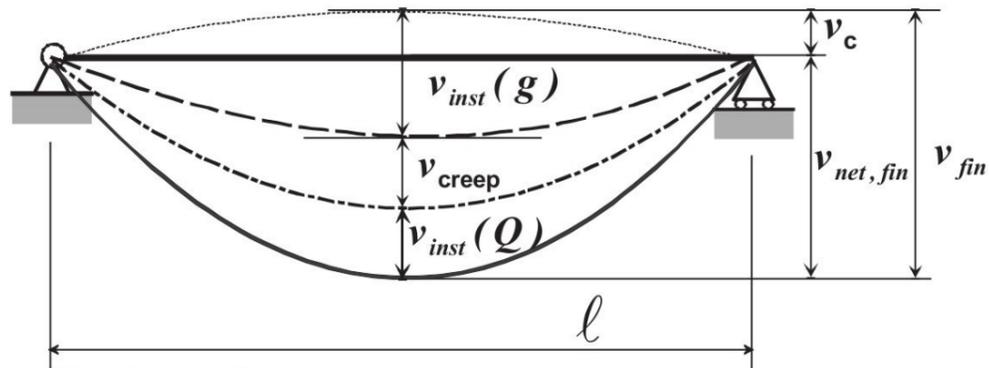
h	600 à 575	570 à 520	515 à 470	465 à 430	425 à 390	385 à 355	350 à 320	315 à 300
k_h	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07

Eurocode 5 flexion, cisaillement, caractéristiques DT4

Calcul de la flèche E.L.S.

Notations et définitions

- La contreflèche, si elle existe, est notée : v_c .
 - La flèche instantanée : v_{inst} .
 - La flèche différée (fluage), v_{creep} uniquement sous charges permanentes ou quasi permanentes.
 - La flèche finale $v_{fin} = v_{inst} + v_{creep}$.
 - La flèche résultante finale $v_{net,fin} = v_{fin} - v_c = v_{inst} + v_{creep} - v_c$.
- Dans le cas d'éléments sans contreflèche : $v_{net,fin} = v_{fin} = v_{inst} + v_{creep}$



❖ flèche instantanée

flèche instantanée due aux charges permanentes : $v_{inst}(g)$

flèche instantanée due aux charges variables : $v_{inst}(Q)$, part de la flèche instantanée due uniquement aux actions variables.

Q représente soit les charges variables d'exploitation q , soit les charges variables de neige s , soit les charges variables de vent w , soit une combinaison de plusieurs de ces actions variables.

Il convient de calculer la déformation, à partir d'une combinaison d'actions, comme la combinaison des contributions des actions individuelles. La possibilité d'avoir deux actions variables simultanées peut être prise en compte au travers des facteurs ψ_0 .

$v_{inst}(q)$ flèche instantanée due aux charges variables d'exploitation

$v_{inst}(s)$ flèche instantanée due aux charges variables de neige

$v_{inst}(w)$ flèche instantanée due aux charges variables de vent

❖ La déformation du bois sous l'effet des charges permanentes s'accroît avec le temps, c'est le phénomène de fluage. On calculera la flèche due au fluage notée v_{creep} uniquement pour les charges permanentes ou quasi permanentes de la manière suivante :

Actions permanentes (g) $v_{creep}(g) = k_{def} \times v_{inst}(g)$;

Actions quasi permanentes partie de $q = \psi_2 \times q$, ou partie de $s = \psi_2 \times s$ (si altitude > 1000 m)

$$v_{creep}(Q) = k_{def} \psi_2 \times v_{inst}(Q)$$

k_{def} coefficient prenant en compte l'augmentation de la déformation en fonction du temps sous les effets du fluage pour les 3 classes de service (fonction de l'humidité).

❖ flèches finales

flèche finale due aux charges permanentes prenant en compte le fluage et l'humidité

$$v_{fin}(g) = v_{inst}(g) + v_{creep}(g) \quad \text{soit} \quad v_{fin}(g) = v_{inst}(g) \times (1 + k_{def})$$

flèche finale due aux charges variables prenant en compte le fluage et l'humidité

$$v_{fin}(Q) = v_{inst}(Q) + v_{creep}(Q) \quad \text{soit} \quad v_{fin}(Q) = v_{inst}(Q) \times (1 + \psi_2 k_{def})$$

flèche finale due aux charges variables de neige prenant en compte le fluage et l'humidité

$$\text{- si l'altitude de la construction est inférieure à 1000 m} \quad v_{fin}(s) = v_{inst}(s)$$

$$\text{- si l'altitude de la construction est supérieure à 1000 m} \quad v_{fin}(s) = v_{inst}(s) \times (1 + 0,2 k_{def})$$

flèche finale due aux charges variables d'exploitation prenant en compte le fluage et l'humidité

$$v_{fin}(q) = v_{inst}(q) \times (1 + \psi_2 k_{def})$$

les valeurs de ψ_2 sont données dans le tableau A1.1(F) du paragraphe 8.2.2

flèche finale due aux charges variables de vent

$$v_{fin}(w) = v_{inst}(w)$$

On vérifiera que les flèches $v \leq v_{lim}$ (flèches verticales ou horizontales limites)

Valeurs de k_{def}

Valeurs de k_{def}

MATERIAU	Classe de service		
	1	2	3
Bois Massif	0,60	0,80	2,00
Lamellé Collé	0,60	0,80	2,00

Valeurs limites recommandées de flèches : tableau 7.2 de l'EC5

Valeurs limites pour les flèches verticales ou horizontales	Bâtiments courants		
	$v_{inst}(Q)$	$v_{net,fin}$	v_{fin}
Type d'ouvrage			
Chevrans	-	$l/150$	$l/125$
Éléments structuraux	$l/300$	$l/200$	$l/125$

- Les trois valeurs doivent être vérifiées.

l portée de la poutre ou la hauteur de l'élément étudié pour la flèche horizontale.

- Pour les poutres en porte à faux, la longueur fictive l à considérer est égale à deux fois la longueur réelle du porte à faux ; la valeur limite minimum est de 5 mm.

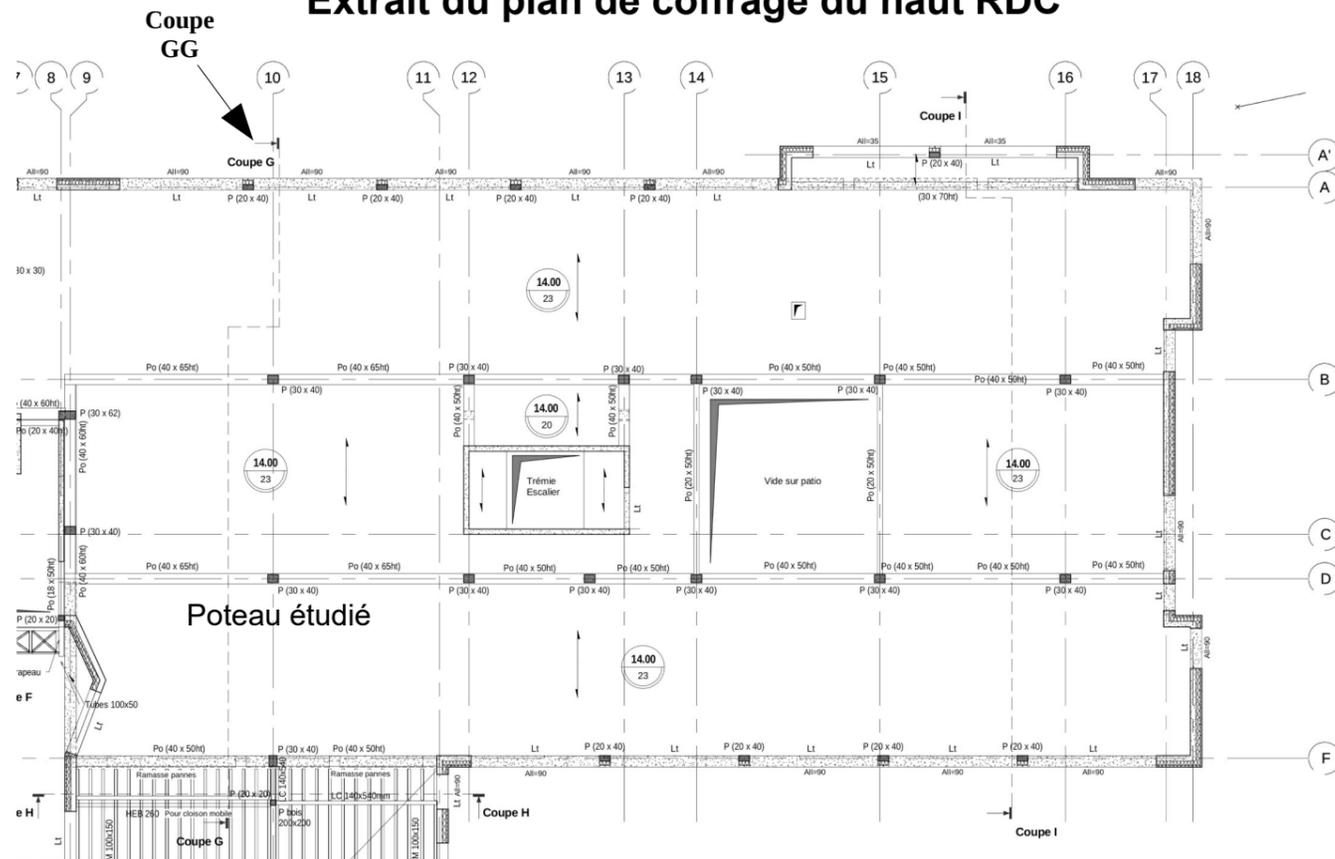
- Panneaux de planchers ou supports de toiture : $v_{net,fin} \leq l/250$.

- Dans le cas d'éléments sans contreflèche, la vérification relative à $v_{net,fin}$ est plus défavorable que celle relative à v_{fin} .

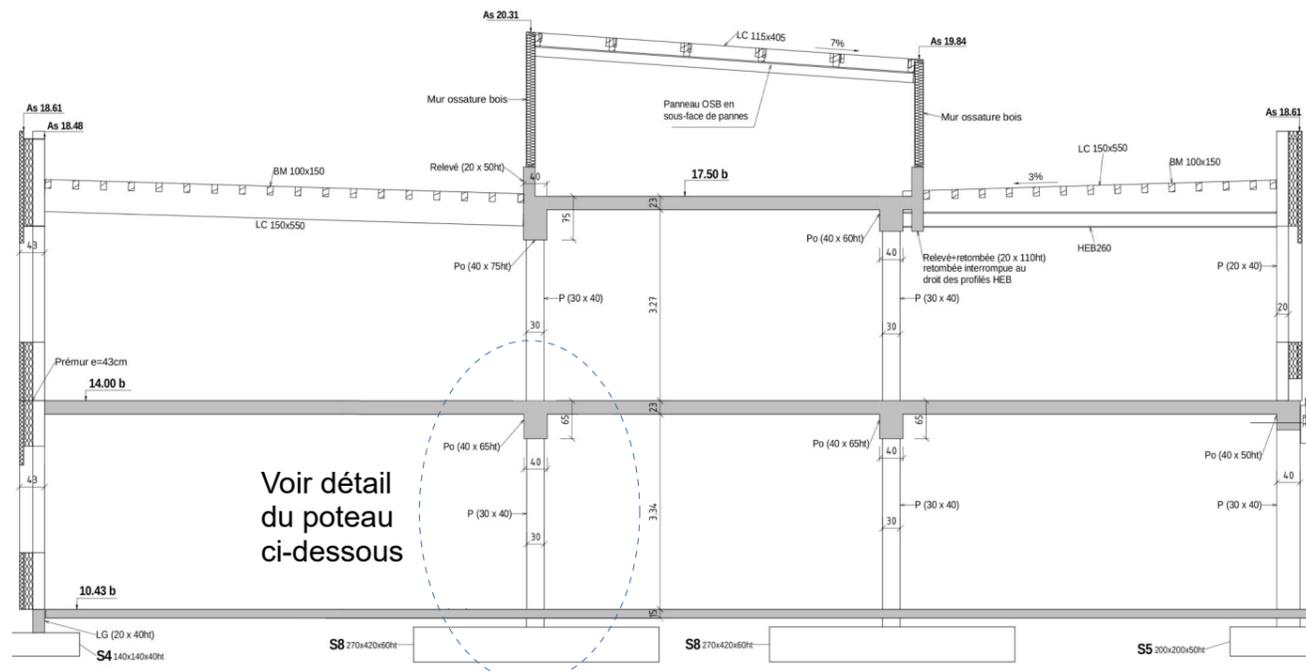
- La flèche horizontale est limitée à $l/200$ pour les éléments individuels soumis au vent ; pour les autres applications, les valeurs limites sont celles données dans le tableau 7.2 de l'EC5.

Eurocode 5 calcul des flèches DT5

Extrait du plan de coffrage du haut RDC

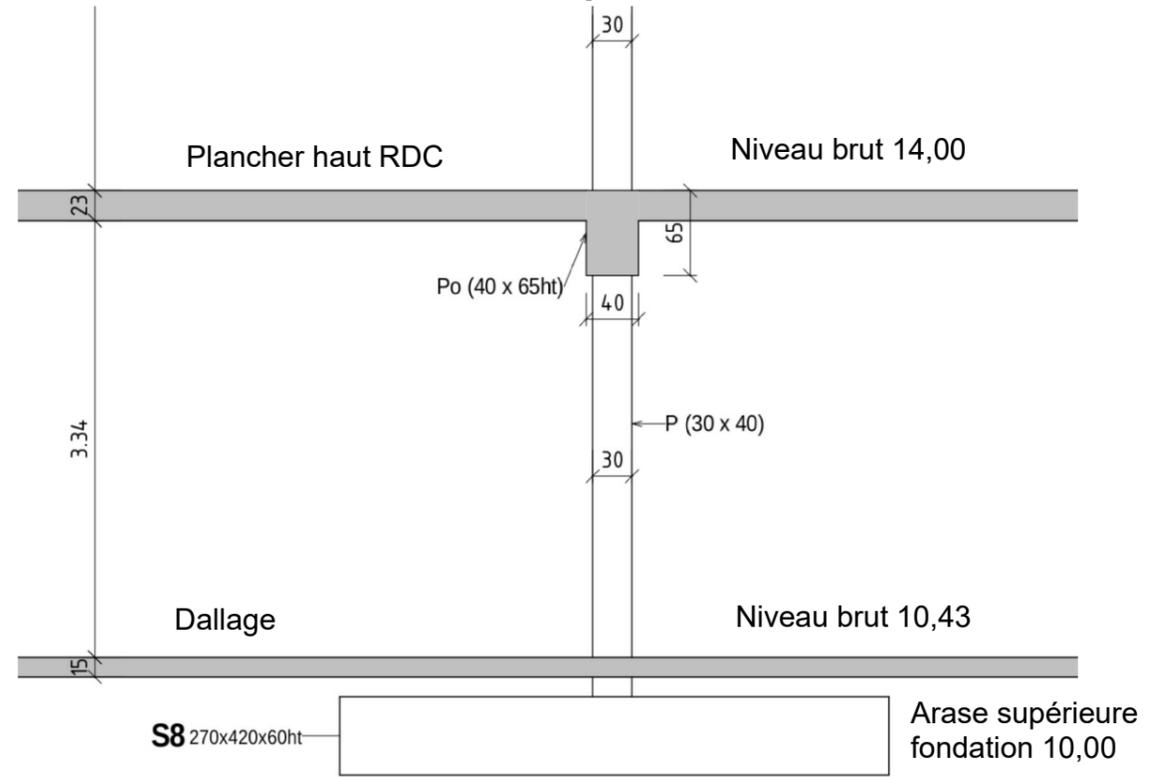


Coupe GG

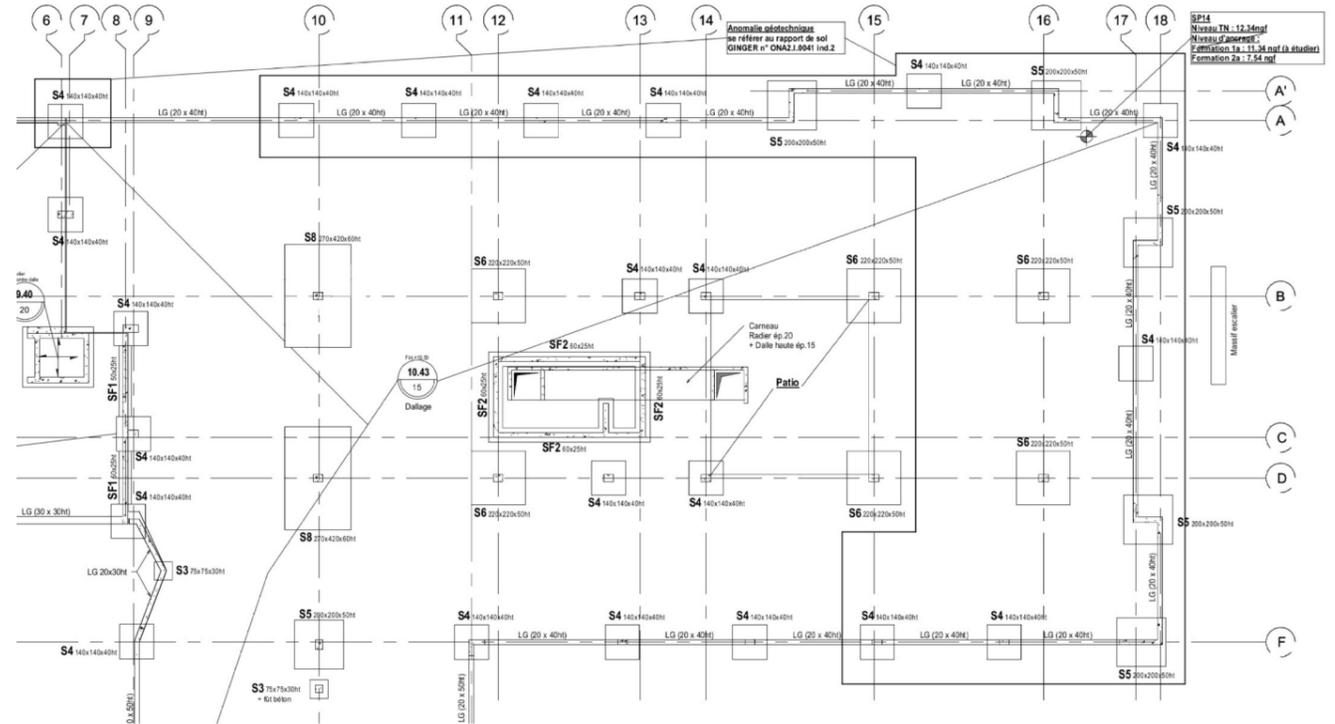


Voir détail du poteau ci-dessous

Détails du poteau



Extrait du plan de fondations



Les textes peu lisibles ne sont pas nécessaires pour traiter la question. Ces plans sont issus d'une pré étude béton (phase provisoire).

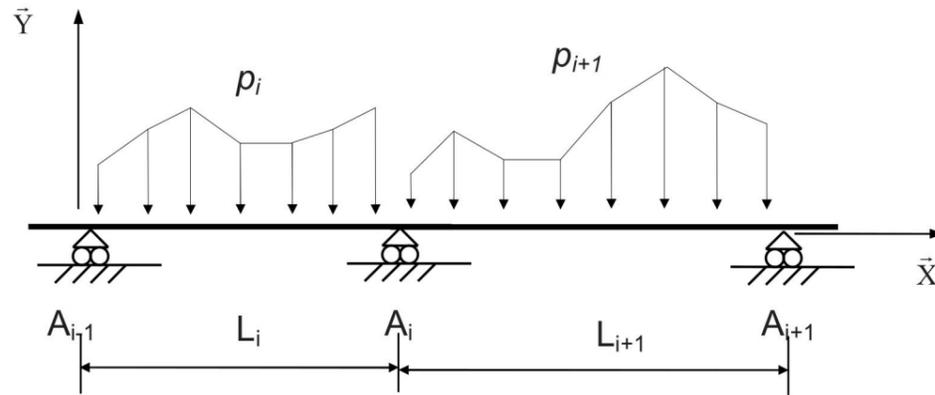
Plans pour le poteau Étude C (échelles non définies) DT7

Calcul des structures

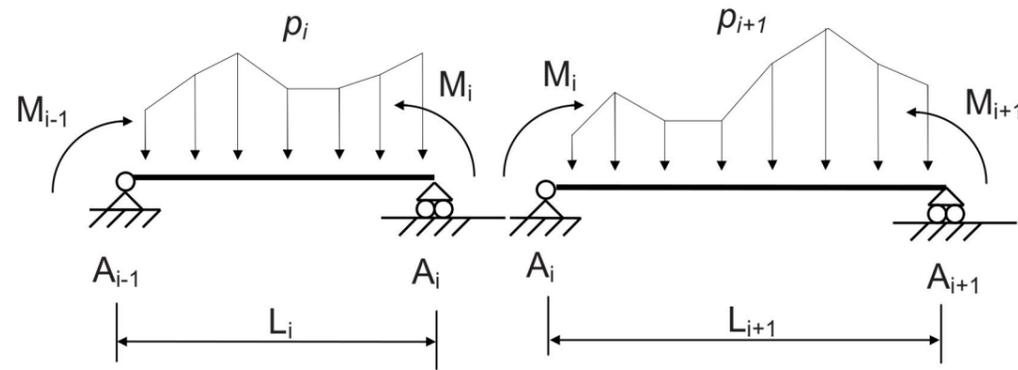
Théorème des 3 moments (formule de Clapeyron) :

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

(S)

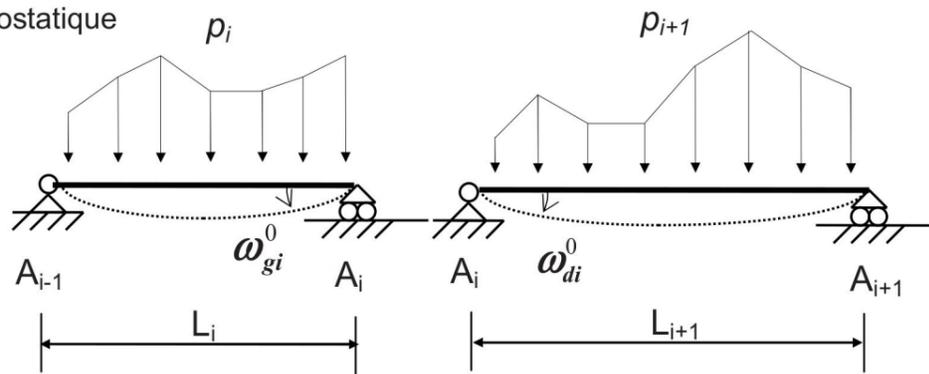


(S)



Système isostatique associé

(S^0)



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

ROTATIONS ET FLECHES POUR DES POUTRES ISOSTATIQUES COURANTES

CONVENTIONS DE SIGNES ET DE REPRÉSENTATION

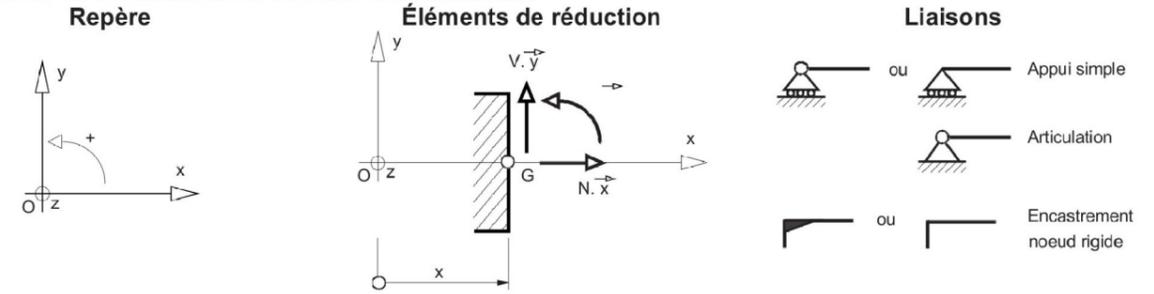


Schéma mécanique	Rotation aux appuis	Flèche
	$\omega_A = -\frac{pL^3}{24EI}$ $\omega_B = \frac{pL^3}{24EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{5pL^4}{384EI}$

Portées utiles (de calcul) des poutres et dalles dans les bâtiments

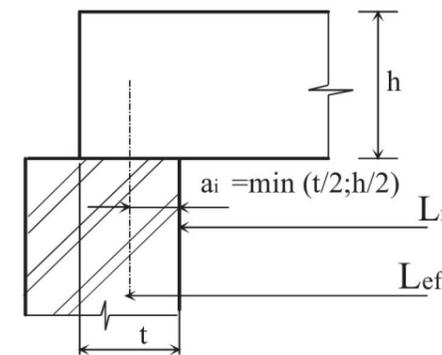
Différents cas sont envisagés :

- a) éléments isostatiques
- b) éléments continus

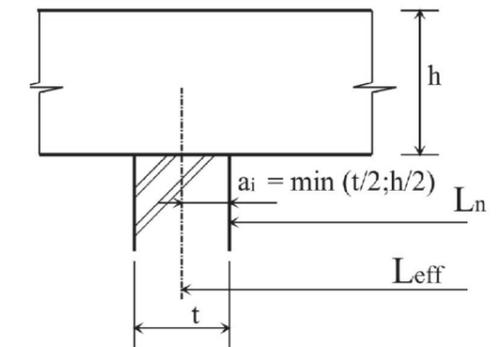
La portée utile l_{eff} d'un élément peut être calculée de la manière suivante ; $l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$

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



(a) Eléments isostatiques



(b) Eléments continus

Formule des 3 moments, rotations, portées utiles DT8

8.2 COMBINAISONS FONDAMENTALES :

8.2.1 États limites ultimes, pour les situations de projet durables et transitoires.

Lorsque la précontrainte est absente {6.10} se réduit à :

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \{6.10\} \quad \text{le symbole « + » signifie « doit être combiné à »}$$

avec :

- $G_{k,j}$: valeur caractéristique de l'action permanente j ;
- $\gamma_{G,j}$: coefficient de sécurité partiel de l'action permanente j ;
- $Q_{k,1}$: valeur caractéristique de l'action variable dite dominante ;
- $Q_{k,i}$: valeurs caractéristiques des autres actions variables dites d'accompagnement (avec $i \geq 2$) ;
- $\gamma_{Q,1}$: coefficient de sécurité partiel affecté à l'action dominante ;
- $\gamma_{Q,i}$: coefficient de sécurité partiel affecté à chaque type d'action d'accompagnement ;
- $\psi_{0,i}$: coefficients traduisant le fait qu'il soit très improbable que plusieurs actions variables atteignent toutes ensemble et au même moment leurs valeurs caractéristiques.

Approche 2 : Application de valeurs de calcul provenant du Tableau A1.2 (B) aux actions géotechniques ainsi qu'aux autres actions appliquées à la structure ou en provenance de celle-ci.

Équation {A1.2B} pour toutes les actions.

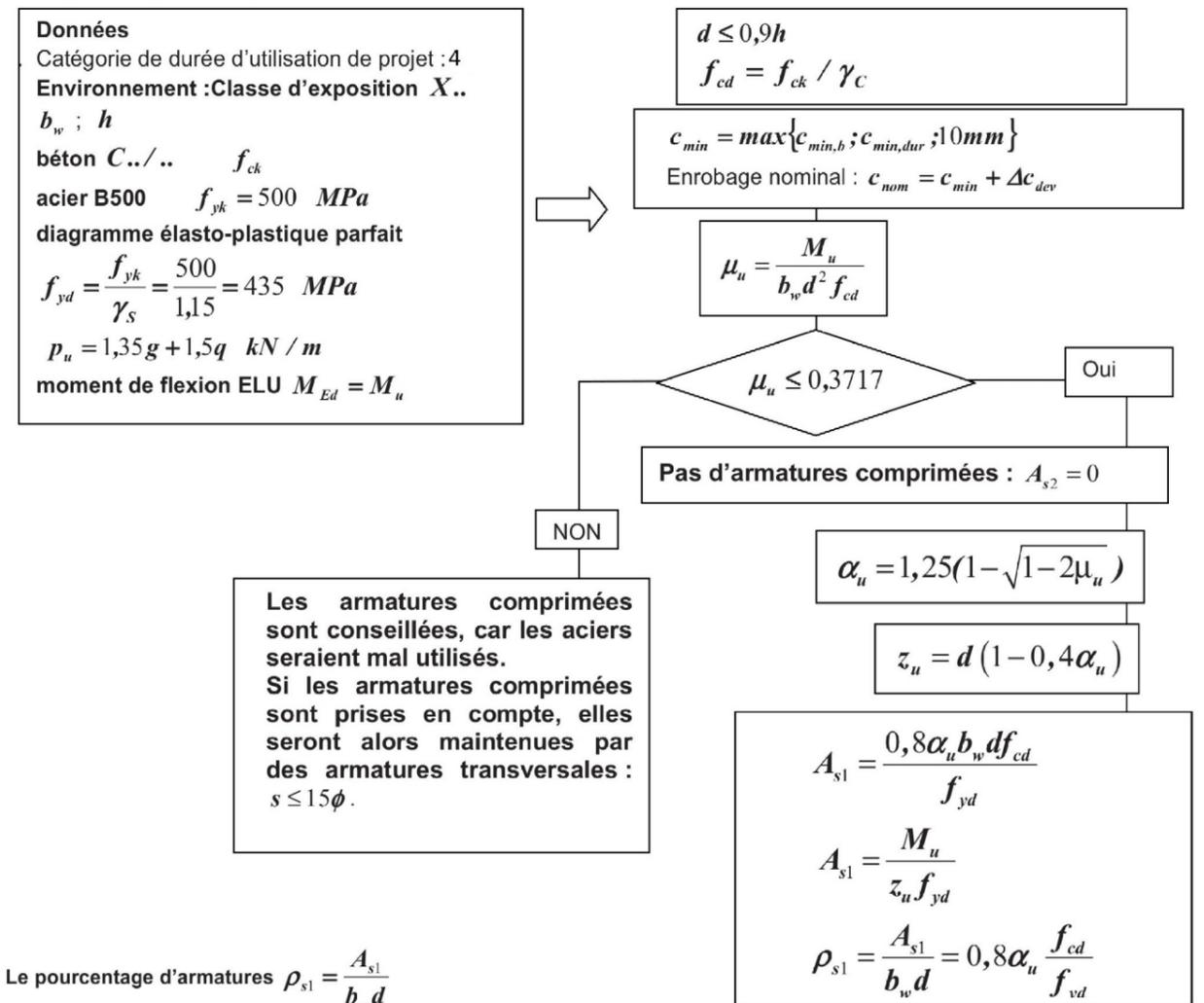
STR/GEO	6.10 tableau A1.2 (B)(F)	Pour le dimensionnement des éléments structuraux non soumis à des actions géotechniques (EN 1990 A1.3.1 (4)). {A1.2B} $1,35G_{k,sup} + 1,00G_{k,inf} + 1,50Q_{k,1} + 1,50 \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
SITUATIONS DURABLES ET TRANSITOIRES		Les valeurs caractéristiques de toutes les actions permanentes d'une même origine sont multipliées par $\gamma_{G,sup} = 1,35$ si l'effet total résultant de ces actions est défavorable, et $\gamma_{G,inf} = 1,00$ si cet effet est favorable. Par exemple, toutes les actions provenant du poids propre de la structure peuvent être considérées comme émanant d'une même origine ; cela s'applique également si différents matériaux sont concernés.

8.2.2 Tableau A1.1 (F): Valeurs des coefficients ψ pour les bâtiments

Valeur caractéristique : ψ_0 ; valeur fréquente : ψ_1 ; valeur quasi-permanente : ψ_2

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Charges d'exploitation des bâtiments, catégorie (voir EN 1991-1.1)			
- Catégorie A : habitation, zones résidentielles	0,7	0,5	0,3
- Catégorie B : bureaux	0,7	0,5	0,3
- Catégorie C : lieux de réunion	0,7	0,7	0,6
- Catégorie D : commerces	0,7	0,7	0,6
- Catégorie E : stockage	1,0	0,9	0,8
- Catégorie F : zone de trafic, véhicules de poids ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
- Catégorie G : zone de trafic, véhicules de poids compris entre 30 et 160 kN	0,7	0,5	0,3
- Catégorie H : toits	0	0	0
Charges dues à la neige sur les bâtiments (voir EN 1991-1-3) :			
- pour lieux situés à une altitude $H > 1000$ m au-dessus du niveau de la mer et pour Saint-pierre et Miquelon	0,70	0,50	0,20
- pour lieux situés à une altitude $H \leq 1000$ m au-dessus du niveau de la mer	0,50	0,20	0
Charges dues au vent sur les bâtiments (voir EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Température (hors incendie) dans les bâtiments (voir EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

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



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

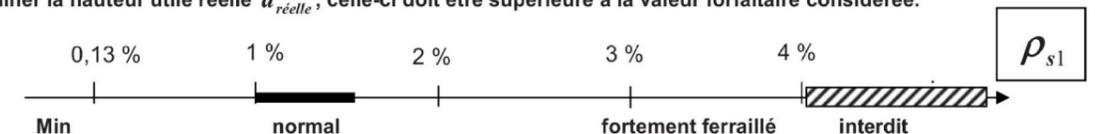
$$A_{s1} > A_{s,min} = \max \left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d ; 0,0013 b_t d \right] \quad \text{condition de non-fragilité.}$$

$$A_{s1} < 0,04 A_c \quad \text{avec } A_c \text{ aire de la section droite de béton}$$

b_t : la valeur moyenne de la largeur tendue, pour une section rectangulaire et une section en T: $b_t = b_w$

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.



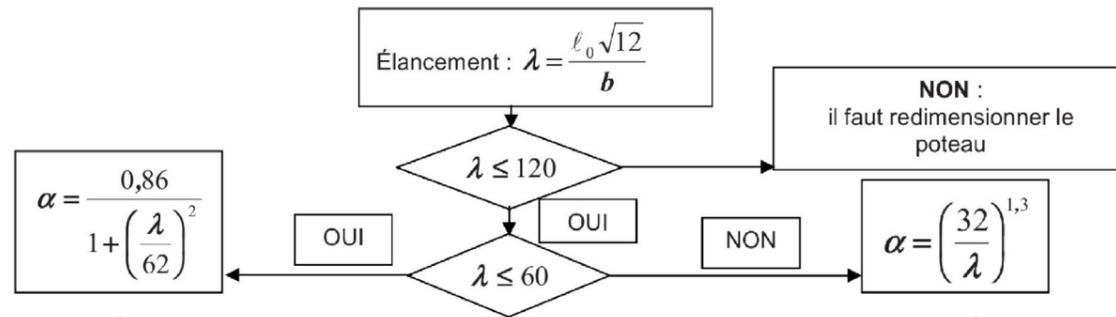
Combinaisons fondamentales, Eurocode 2 flexion DT9

ORGANIGRAMME POTEAUX RECTANGULAIRES

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 $b \times h$, avec $b \leq h$ (ou b en mètre, correspondant au sens du flambement)
- Enrobage relatif $\delta = \frac{d'}{b}$ avec $d' = c_{nom} + \phi_l + \frac{\phi_t}{2}$
- 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 $\ell_0 =$ longueur libre du poteau notée l

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



$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \text{ et } N_{Rd} = \alpha k_h [A_c f_{cd} + A_s f_{yd}] \text{ ou } N_{Rd} = \alpha k_h A_c [f_{cd} + \rho f_{yd}]$$

$$\text{avec } \rho = \frac{A_s}{A_c} \text{ et si } b < 0,500 \text{ m alors } k_h = [0,75 + 0,5b^{[m]}] [1 - 6\rho\delta] \text{ sinon } k_h = 1$$

La valeur de A_s est obtenue en résolvant l'équation du 2^e degré suivante :

$$\left(6 \frac{\delta}{A_c} f_{yd}\right) A_s^2 - (f_{yd} - 6\delta f_{cd}) A_s + \left(\frac{N_{Ed}}{K} - A_c f_{cd}\right) = 0 \text{ avec } K = \alpha(0,75 + 0,5b^{[m]}) \text{ avec } b \text{ en m}$$

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 :

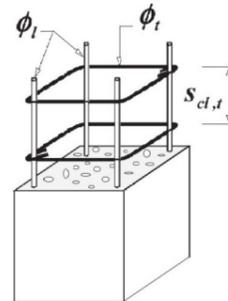
$$\phi_t \geq \max [6 \text{ mm} ; \phi_{l,max} / 4]$$

$$\text{espacement: } s_{cl,t} \leq s_{cl,t,max} = \min [400 \text{ mm} ; 20\phi_{l,min} ; b]$$

$\phi_{l,min}$ = diamètre de la plus petite armature longitudinale résistante

b = plus petite dimension transversale

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



espacement des cours $s_{cl,t}$

Il convient d'ancrer convenablement les armatures transversales.

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

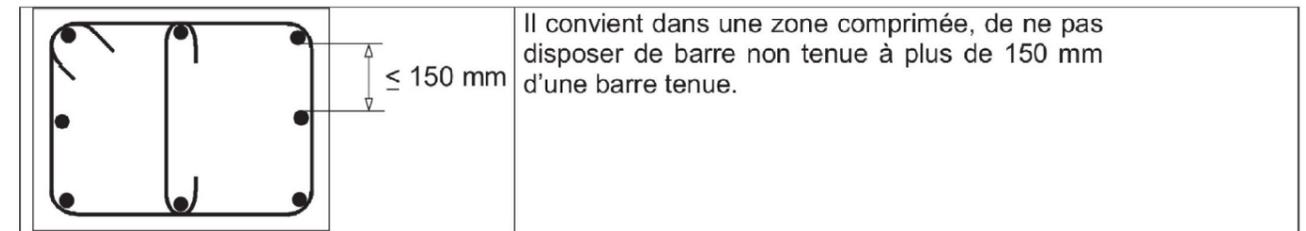
$$s_{cl,t} \leq 0,6 s_{cl,t,max} = \min [240 \text{ mm} ; 12\phi_{l,min} ; 0,6b] \text{ avec } b \text{ (ou } D) \text{ petite dimension}$$

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.

Lorsque la direction des barres longitudinales change (aux changements de dimensions du poteau par exemple), il convient de calculer l'espacement des armatures transversales en tenant compte des efforts transversaux associés. Ces effets peuvent être ignorés si le changement de direction est inférieur ou égal à 1 pour 12.

Il convient que chaque barre longitudinale (ou paquet de barres longitudinales) placé dans un angle soit maintenue par des armatures transversales.



Longueur de recouvrement des armatures en attente

❖ pour les poteaux bi-articulés en compression centrée

Comme la proportion ρ_l de barres avec recouvrement est supérieure à 50% : $\alpha_6 = 1,5$

Pour un recouvrement classique (armatures transversales non soudées) la longueur de recouvrement : l_0

$$l_0 = \alpha_6 l_{b,rqd} = 1,5 \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \quad l_{0,min} > \max (0,3\alpha_6 l_{b,rqd} ; 15\phi ; 200 \text{ mm})$$

avec $f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{cd}$ ($\eta_2 = 1$ pour $\phi \leq 32$ mm) et ($\eta_1 = 1$ bonnes conditions d'adhérence)

Pour un $f_{ck} = 25$ MPa $\sigma_{sd} = f_{yd} = 435$ MPa $l_0 / \phi = 60$

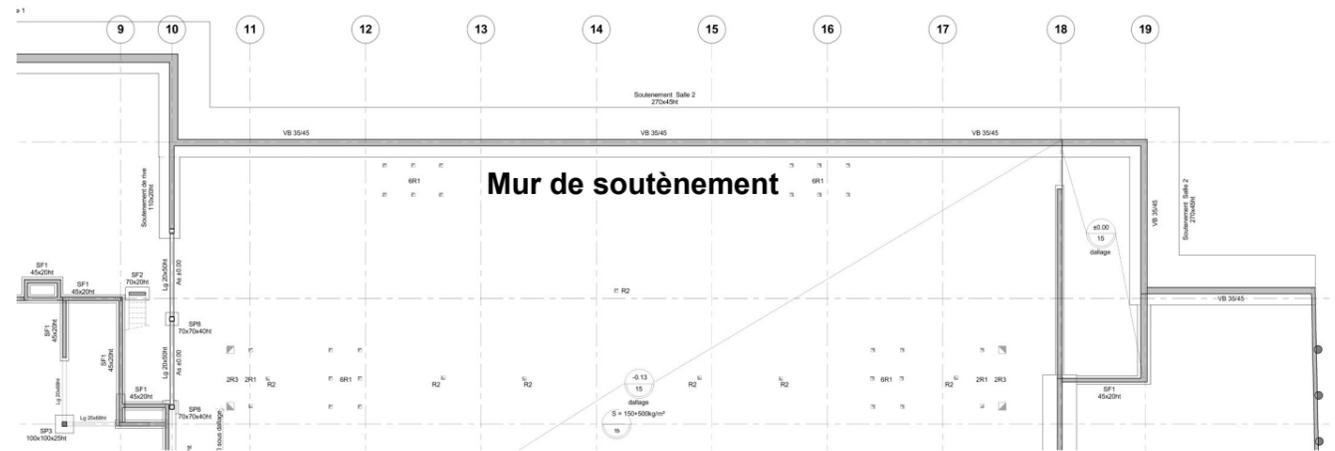
Pour un $f_{ck} = 30$ MPa $\sigma_{sd} = f_{yd} = 435$ MPa $l_0 / \phi = 54$

Pour les poteaux toujours sollicités en compression centrée, pour simplifier, la longueur des attentes sera déterminée forfaitairement : $l_0 = 30\phi$.

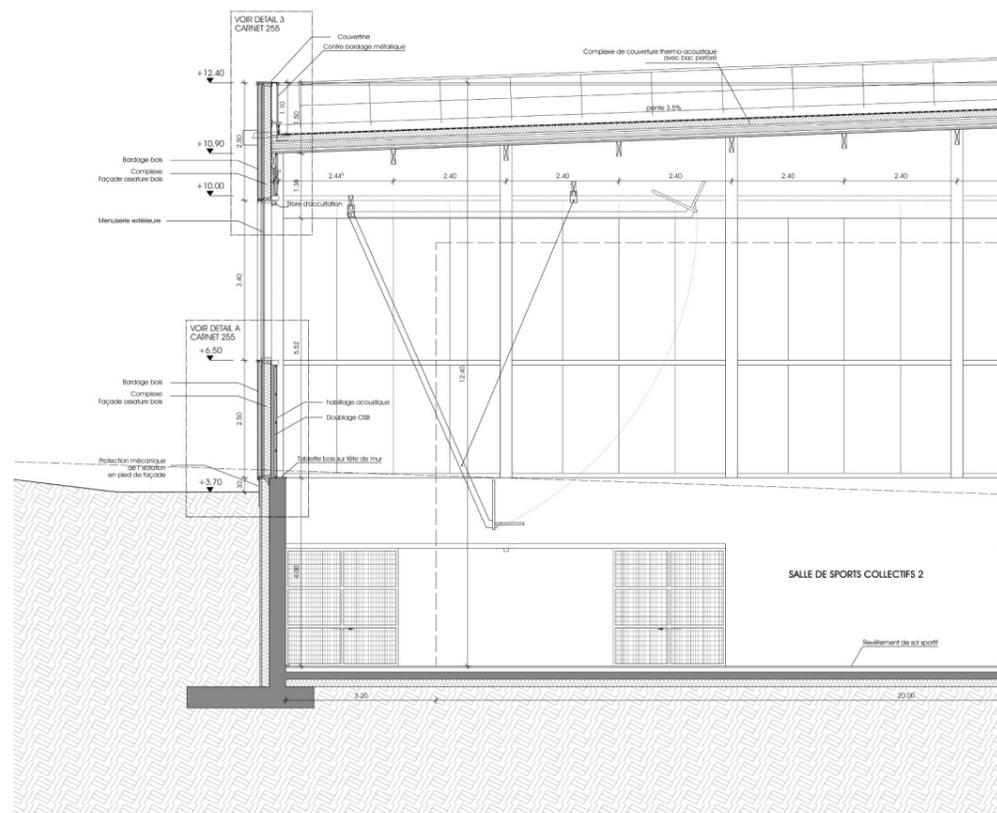
Pour la disposition des armatures transversales dans les zones de recouvrement des barres toujours comprimées, il convient de se reporter au paragraphe 13.6.7.3 Armatures transversales (clause 8.7.4.2).

Eurocode 2 poteau béton armé DT10

Vue générale mur de soutènement

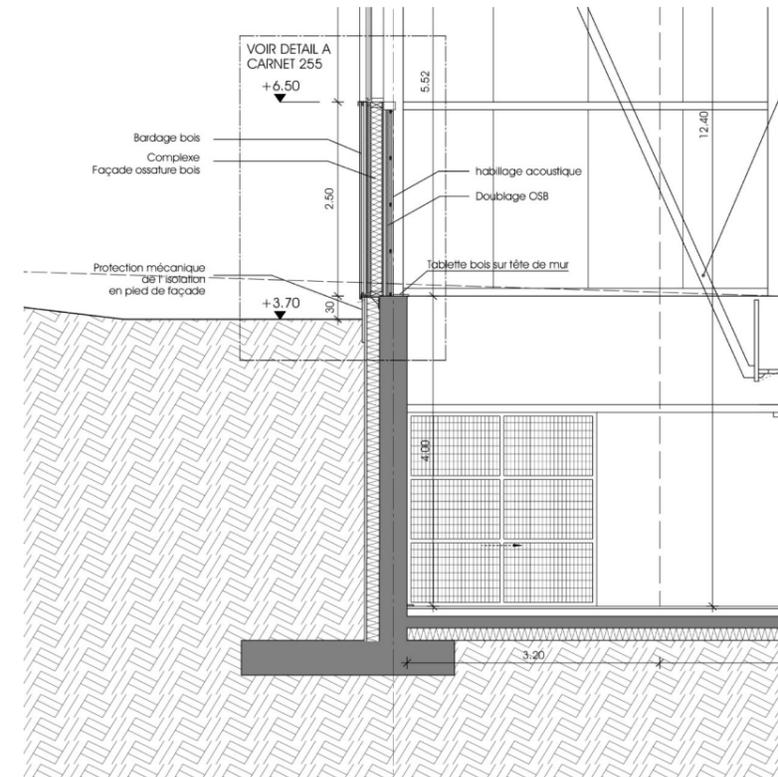


Coupe générale

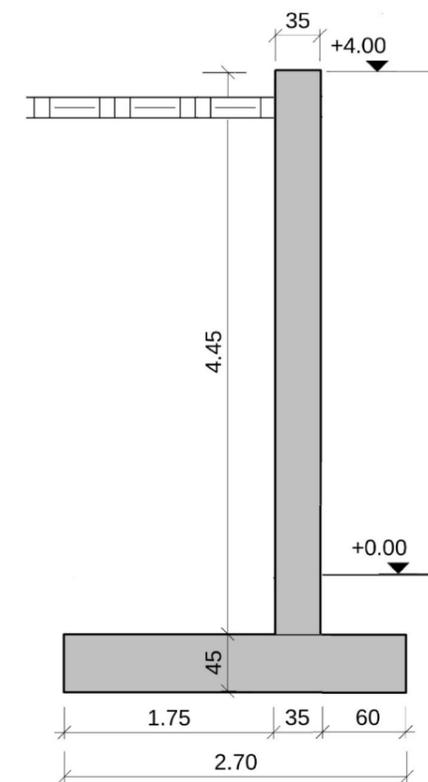


Les textes peu lisibles ne sont pas nécessaires pour traiter la question

Détail

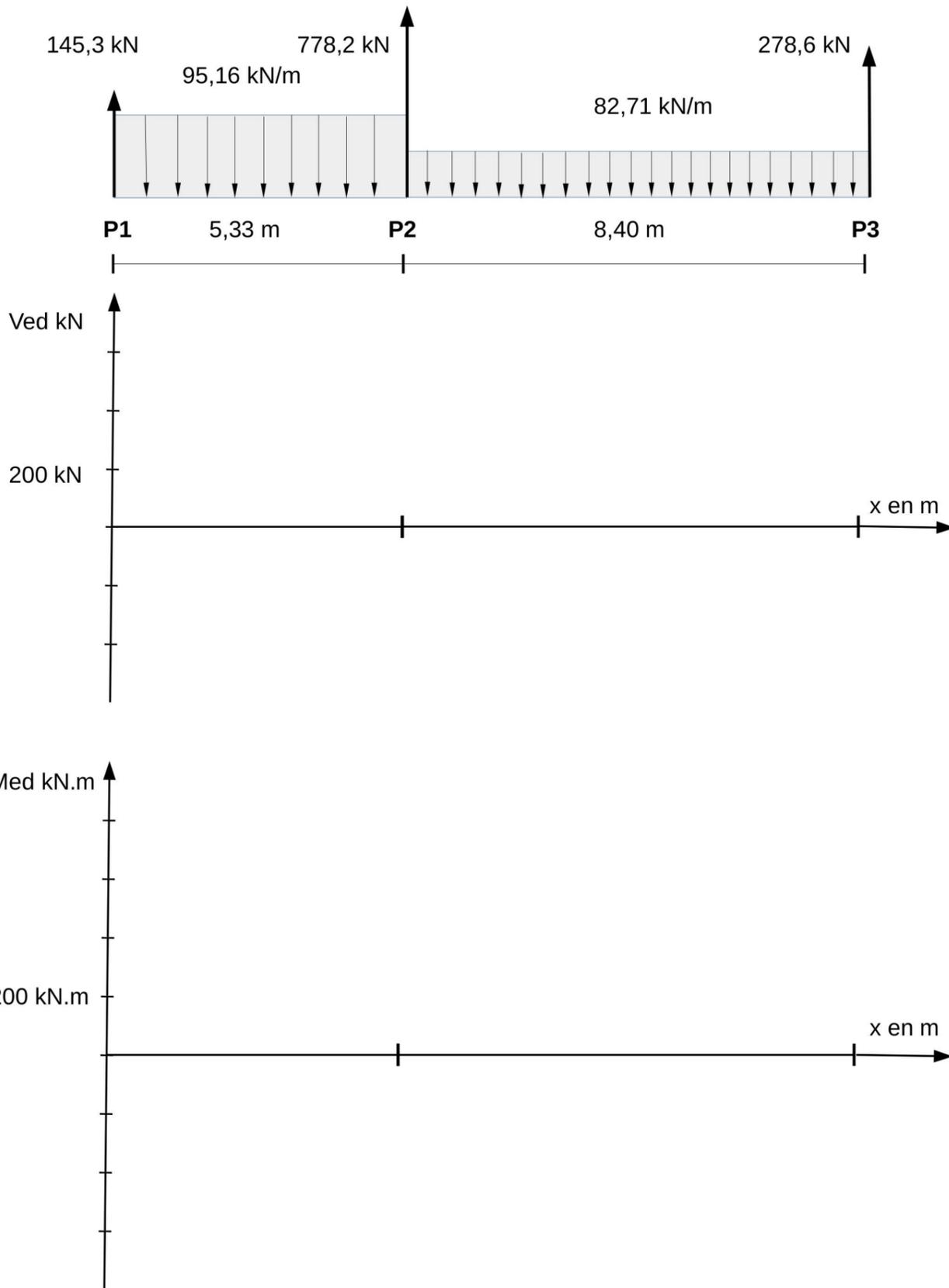


Dimensions du mur de soutènement

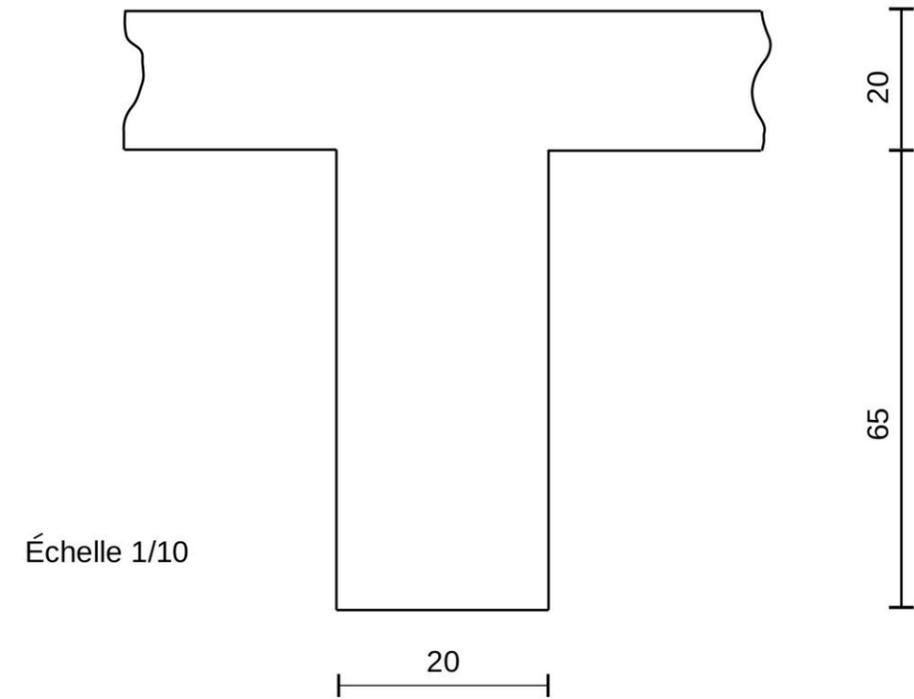


Plans mur de soutènement Étude D (échelles non définies) DT11

Q18 Sur le **DR1 (à rendre avec la copie)**, tracer les diagrammes $V(x)$ et $M(x)$ sur l'ensemble de la poutre. On détaillera le calcul des valeurs particulières.



Q19 Compléter la coupe du plan d'armatures.



Q20 Dessiner à main levée les aciers longitudinaux principaux de la poutre.

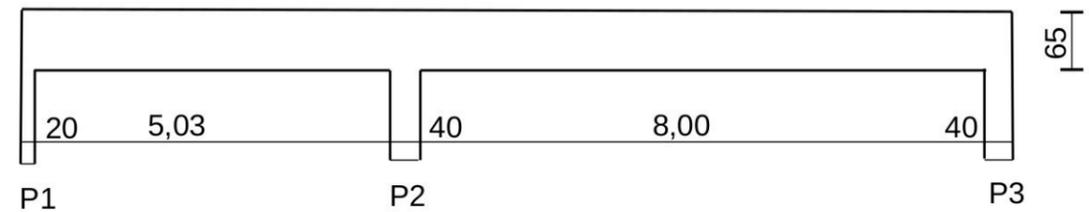
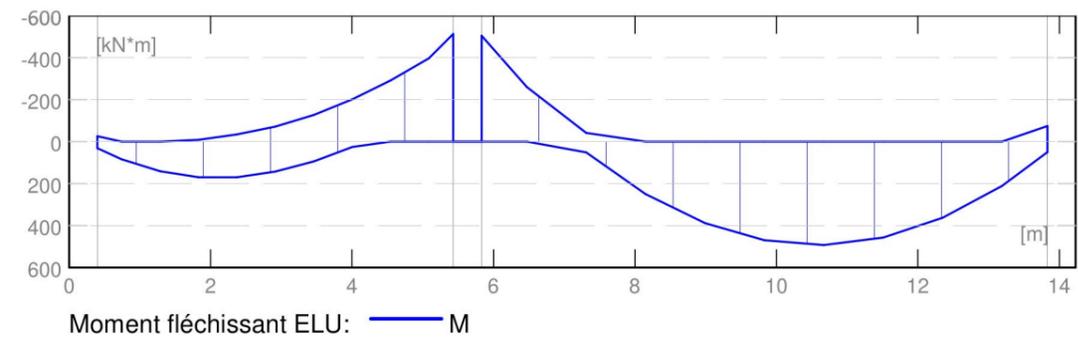
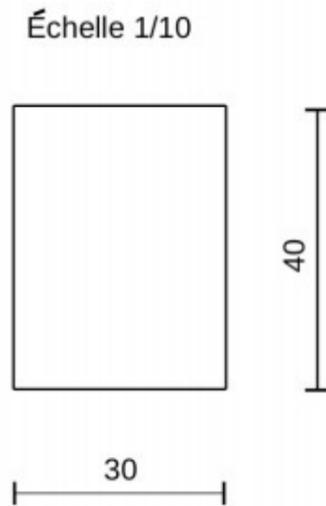


Diagramme enveloppe des moments



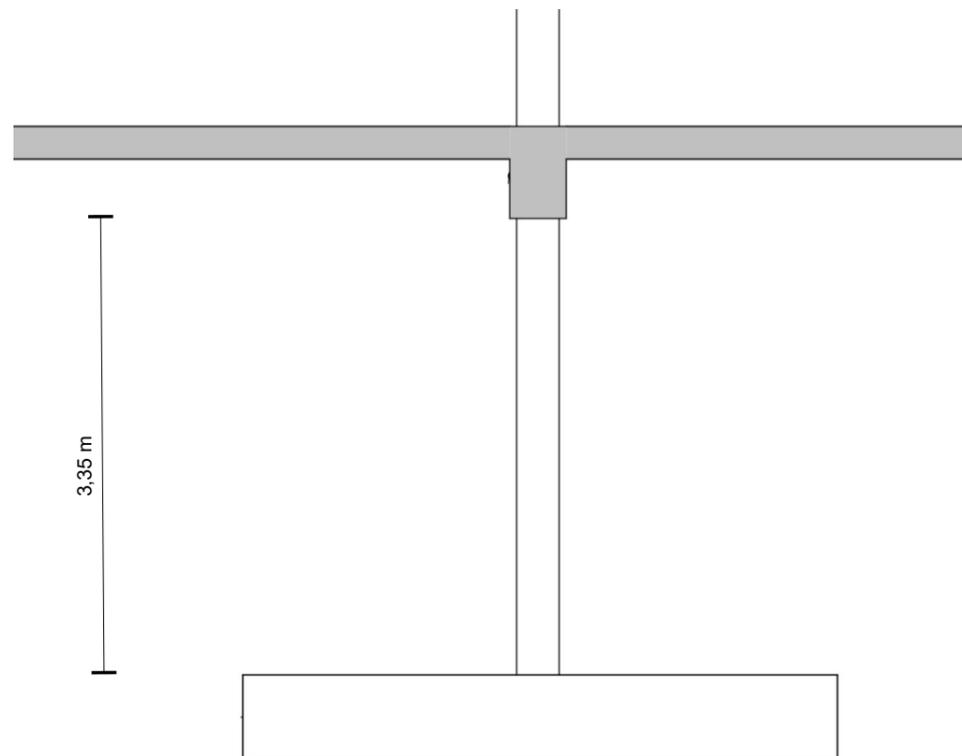
Document réponse pour l'Étude B DR1

Q24 Compléter le ferrailage du poteau sur une section courante.



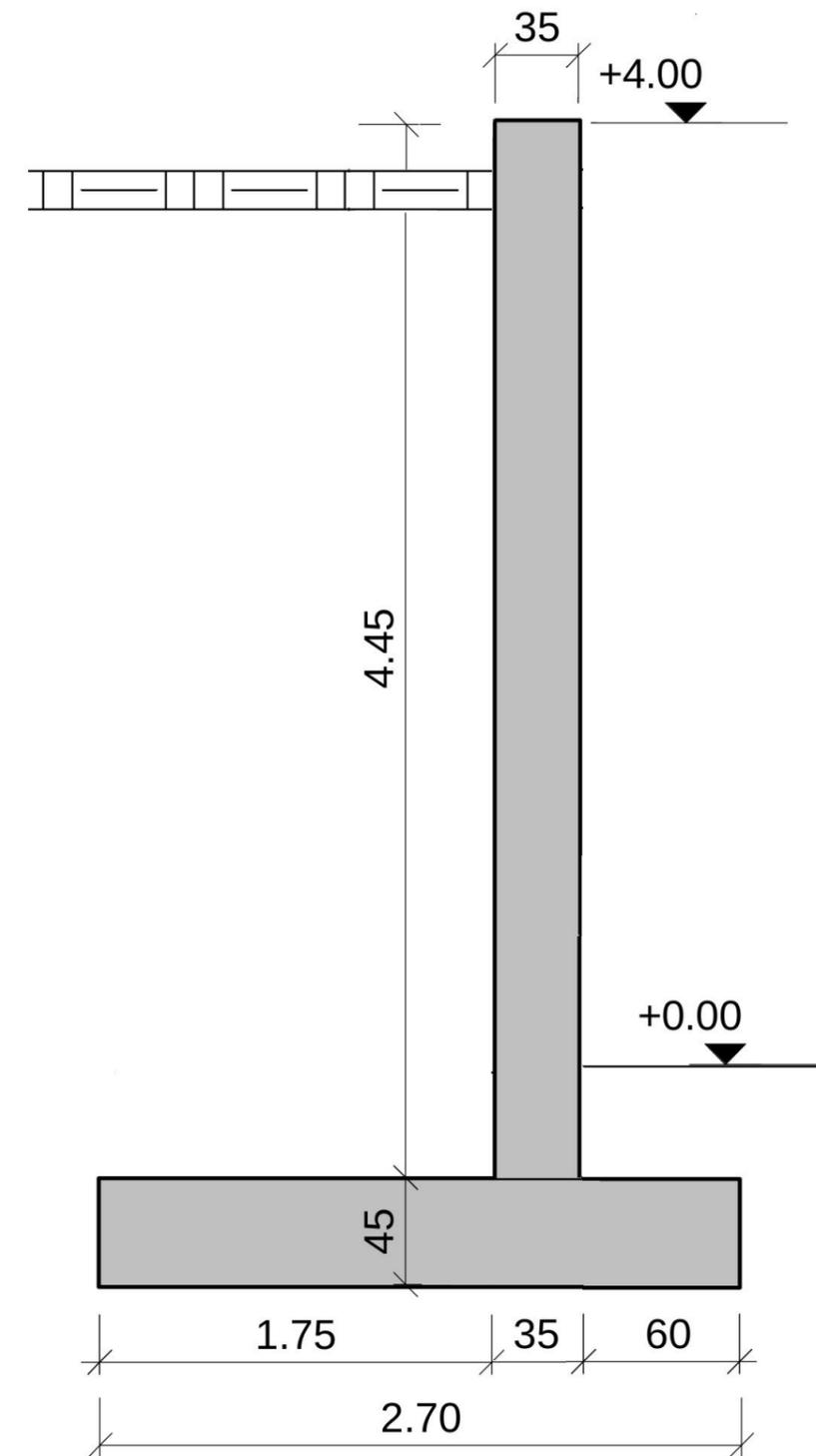
Q25 Compléter la répartition des armatures transversales sur la hauteur du poteau 30x40

Q26 Proposer une solution pour le ferrailage de principe des attentes entre le poteau et la semelle
(échelle non définie sur le plan).



Q30 Proposer un ferrailage de principe des aciers principaux de ce mur.

(échelle non définie sur le plan)



Document réponse pour les Études C et D DR2