

# Brevet de technicien supérieur Bâtiment

## Épreuve E4 : ÉTUDE TECHNIQUE

Sous - Épreuve : E. 41

**DIMENSIONNEMENT ET VERIFICATION D'OUVRAGES**

**SESSION 2015**

Durée : 4 heures

**Coefficient : 2**

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

Tous les documents réponses même vierges, doivent être rendus avec la copie

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

Ce sujet comporte 17 pages, numérotées de 1/17 à 17/17

<b>BTS</b>	<b>BATIMENT</b>	<b>SESSION 2015</b>
<b>Dimensionnement et vérification d'ouvrages – E 41</b>	<b>Code : 15NCBTE4DVO</b>	

# CENTRE AQUATIQUE

## CONTENU DU DOSSIER

Présentation, Dossier Technique : DT0 à DT6

Documents réponses : DR1 à DR3

Dossier Sujet : DS1 à DS4

Dossier Annexe - Formulaire : DA1 à DA3

## BARÈME

**Etude A : 12 points** I. 2,5 points II. 5,5 points III. 4 points

**Etude B : 8 points** I. 1,5 points II. 2 points III. 4,5 points

Toutes les parties sont indépendantes.

## PRÉSENTATION

### L'OUVRAGE

L'étude porte sur des éléments de structure d'un centre aquatique. Il présente les principales zones suivantes : **Document DT1**

Z1 : Le parvis d'entrée, l'accueil et l'administration ;

Z2 : Les vestiaires et les locaux techniques ;

Z3 : La halle du bassin sportif ;

Z4 : La halle du bassin ludique, les saunas et le hammam ;

Z5 : Le toboggan et la tour d'accès.

### DESCRIPTIF SOMMAIRE

#### Fondations superficielles

- > Semelles filantes sous voiles et ponctuelles sous poteaux, coulées sur béton de propreté.

#### Infrastructures et bassins

- > Voiles béton armé coffrés et coulés sur place.

#### Planchers hauts des sous-sol et vides sanitaires. Bassins

- > Dalles béton armé coffrées et coulées sur place. Épaisseurs 20 cm et 22 cm.

#### Élévation du RDC

- > Voiles et poteaux béton armé coffrés et coulés sur place.
- > Structure poutres-poteaux béton armé dans la zone des bassins.
- > Façade vitrée et bardage double peau.

#### Planchers hauts du RDC

- > Dalles béton armé coffrées et coulées sur place. Épaisseurs 20 cm et 22 cm.
- > Couverture des terrasses : Isolation + étanchéité bicouche + protection.

#### Toiture des bassins

- > Charpente treillis métallique sur structure béton armé pour la halle du bassin sportif .
- > Structure mobile composée de portiques métalliques sur rails béton armé pour la halle du bassin ludique.
- > Couverture multicouche : bac acier + verre cellulaire + étanchéité multicouche autoprotégée.

## DONNÉES : LES MATÉRIAUX

#### Béton Armé

- > Classe de résistance du béton C25/30  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$   
 $\gamma_c = 1,5$   $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
- > Armatures pour BA classe B500  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$   
 $\gamma_s = 1,15$
- > Classes d'exposition XC1 pour tous les éléments étudiés
- > Catégorie de durée d'utilisation : 4 Durée indicative : 50 ans
- > Classe structurale S4 pour tous les éléments étudiés

#### Acier pour charpente

- > Classe de résistance S 235 classe 1  $f_{yk} = 235 \text{ MPa}$   
 $\gamma_{M0} = 1$
- > Module d'élasticité  $E = 210000 \text{ MPa}$
- > Profil HEB 400 Classe 1  $I_{y1} = 57680 \text{ cm}^4$   $W_{el,y} = 2\,884 \text{ cm}^3$   
 $W_{pl,y} = 3\,232 \text{ cm}^3$
- Profil HEA 700 Classe 1  $I_{y2} = 215301 \text{ cm}^4$   $W_{el,y} = 6\,241 \text{ cm}^3$   
 $W_{pl,y} = 7\,032 \text{ cm}^3$

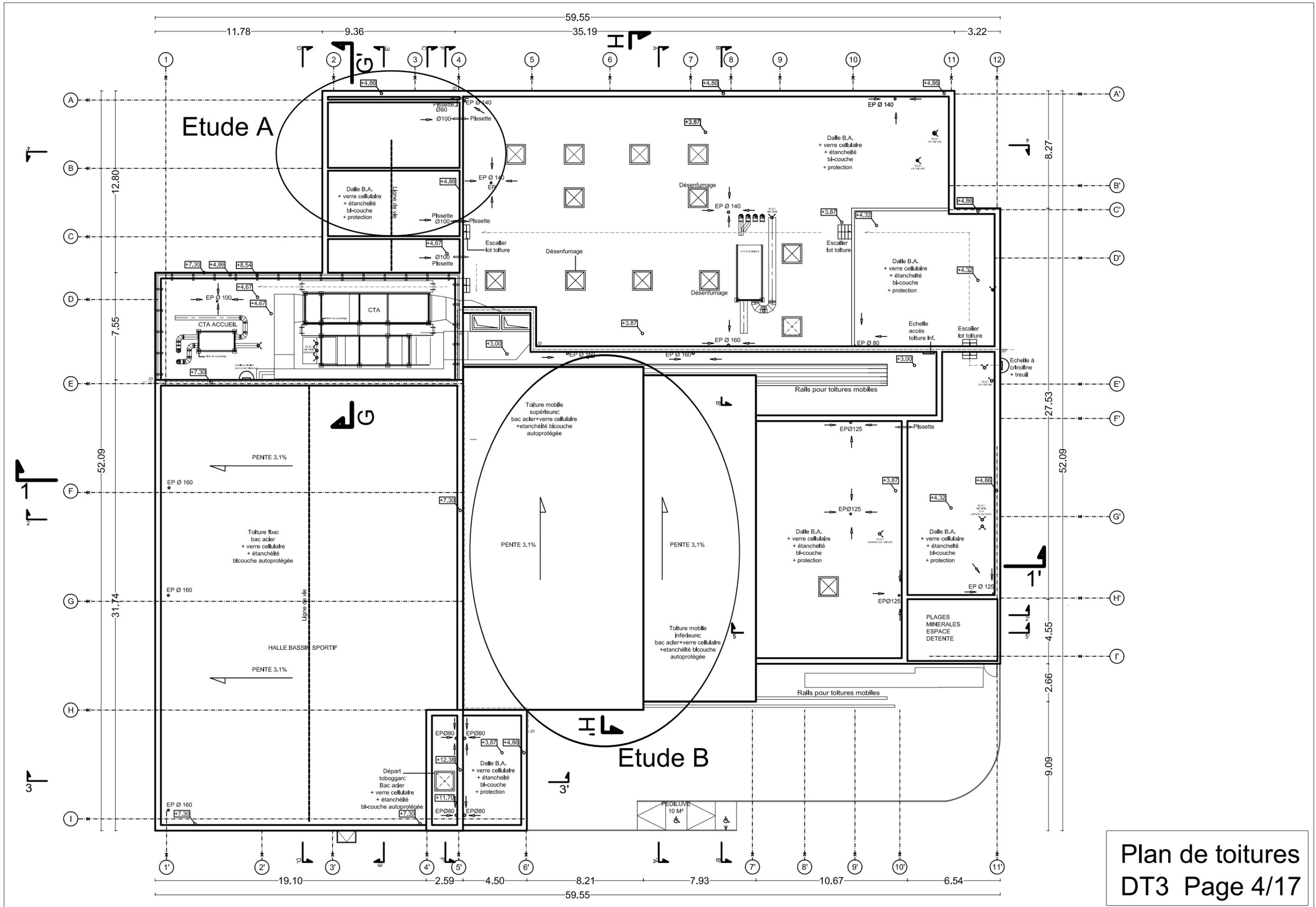
## DONNÉES : LES CHARGES

#### Structure de l'auvent du parvis d'entrée

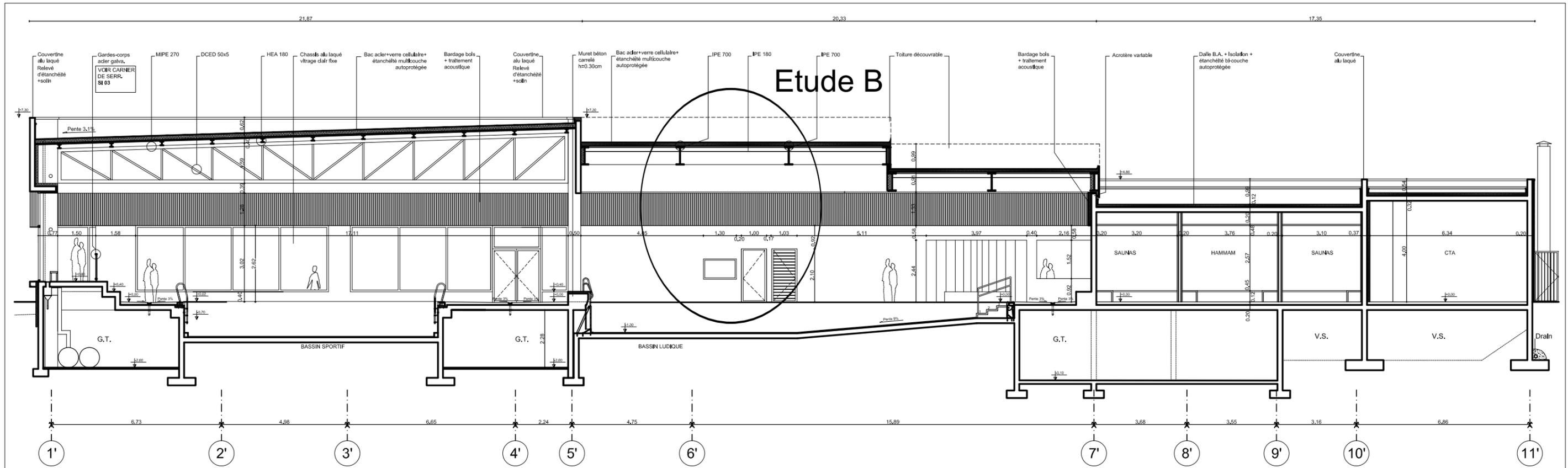
- > Poids volumique du béton armé 25 kN/m<sup>3</sup>
- > Charge permanente de terrasse Isolation + étanchéité bicouche + gravillon 1 kN/m<sup>2</sup>
- > Charge climatique de neige Région A1 0,35 kN/m<sup>2</sup>



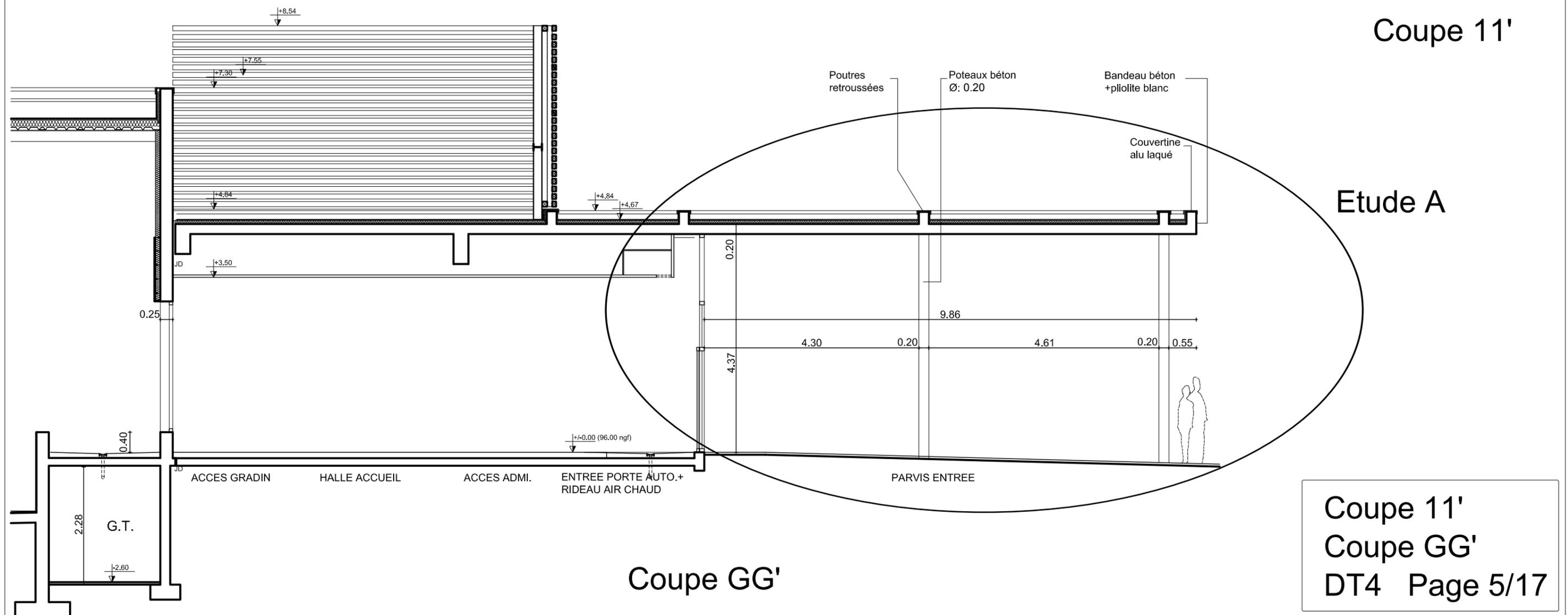




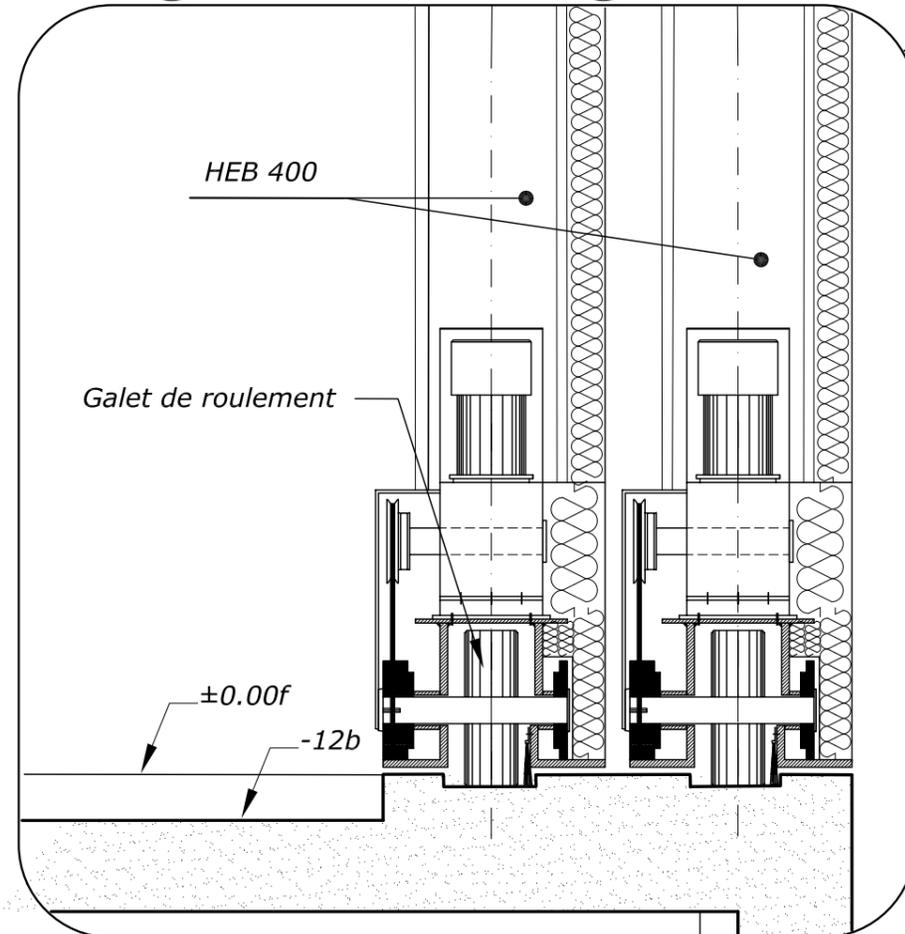
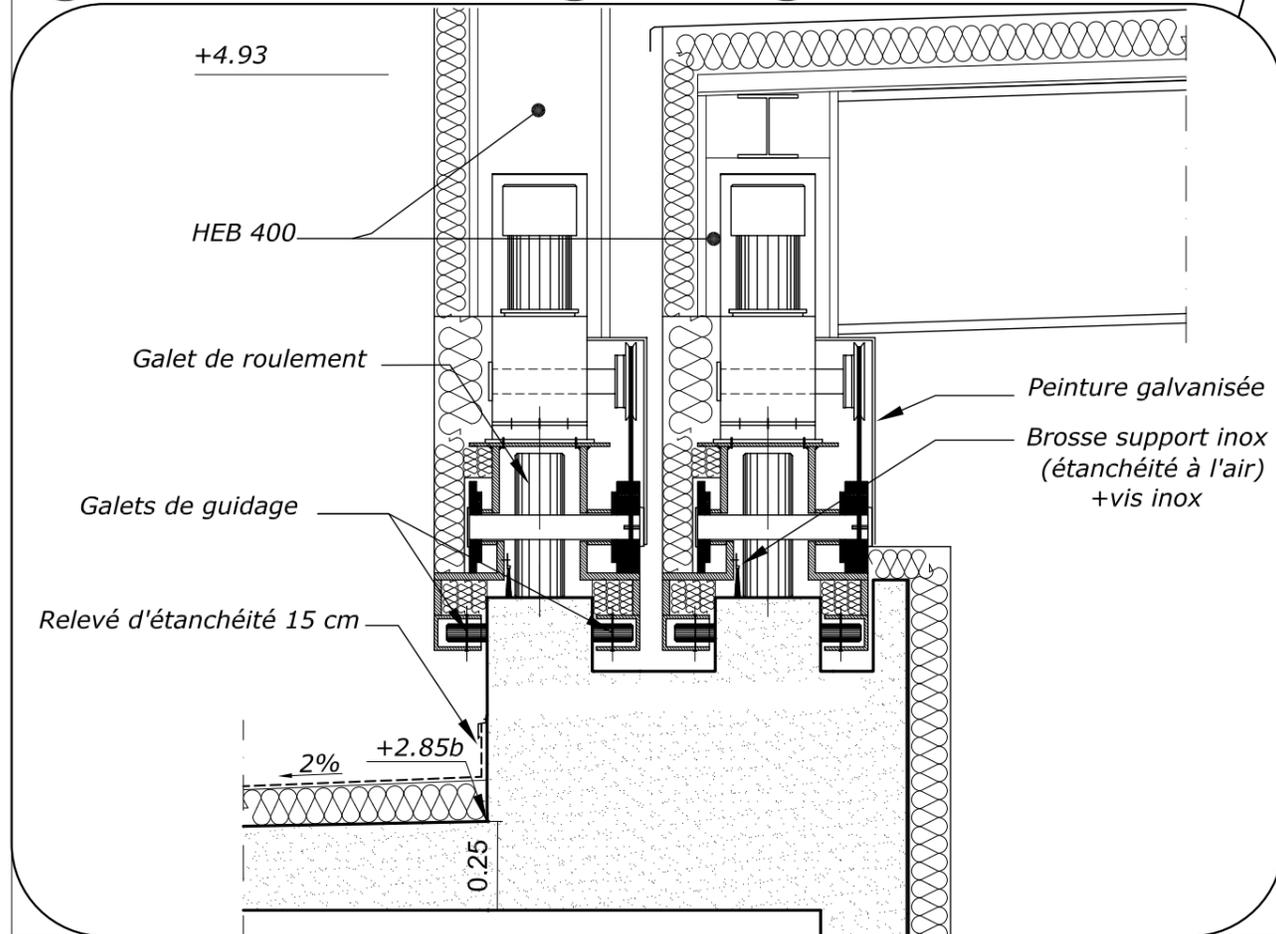
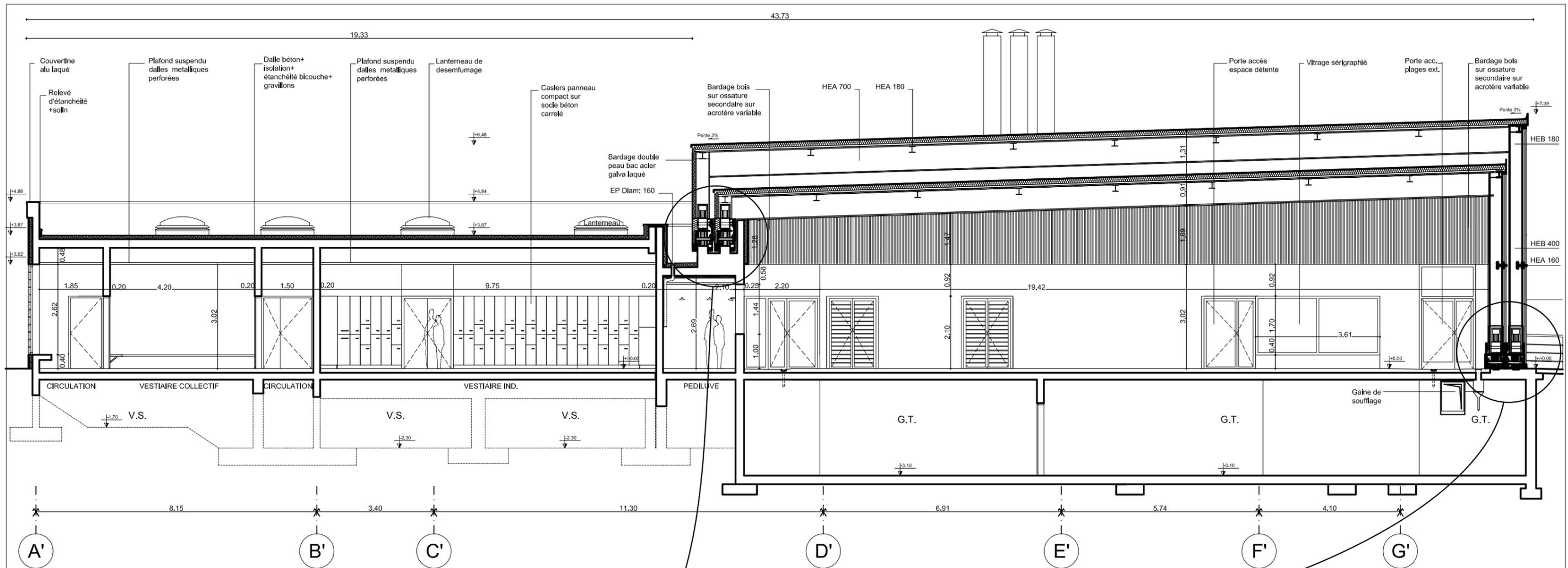
Plan de toitures  
DT3 Page 4/17



**Coupe 11'**



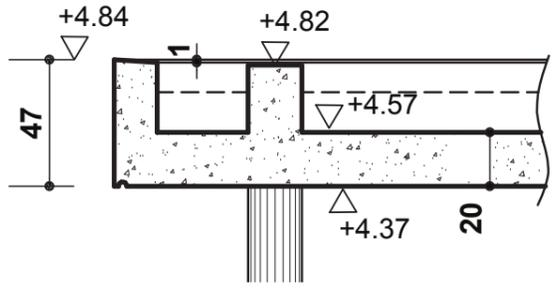
**Coupe GG'**



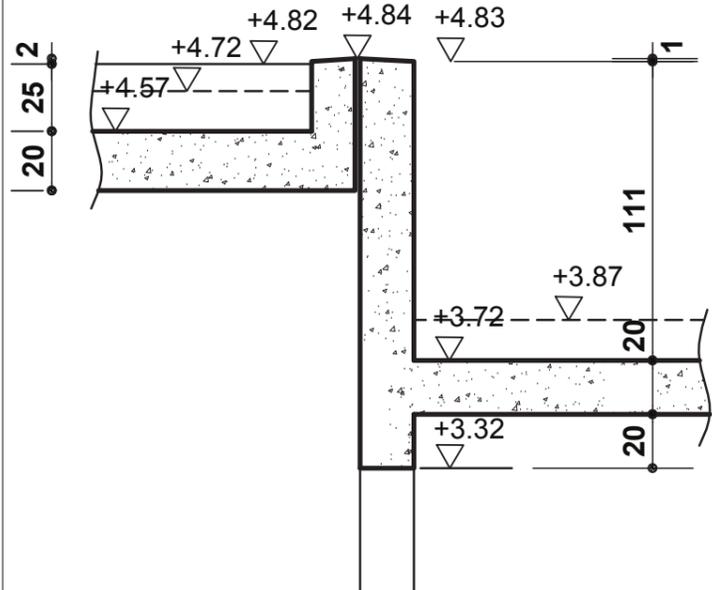
Détails des appuis des portiques des toitures mobiles

Coupe HH'  
Echelle non définie  
DT5 Page 6/17

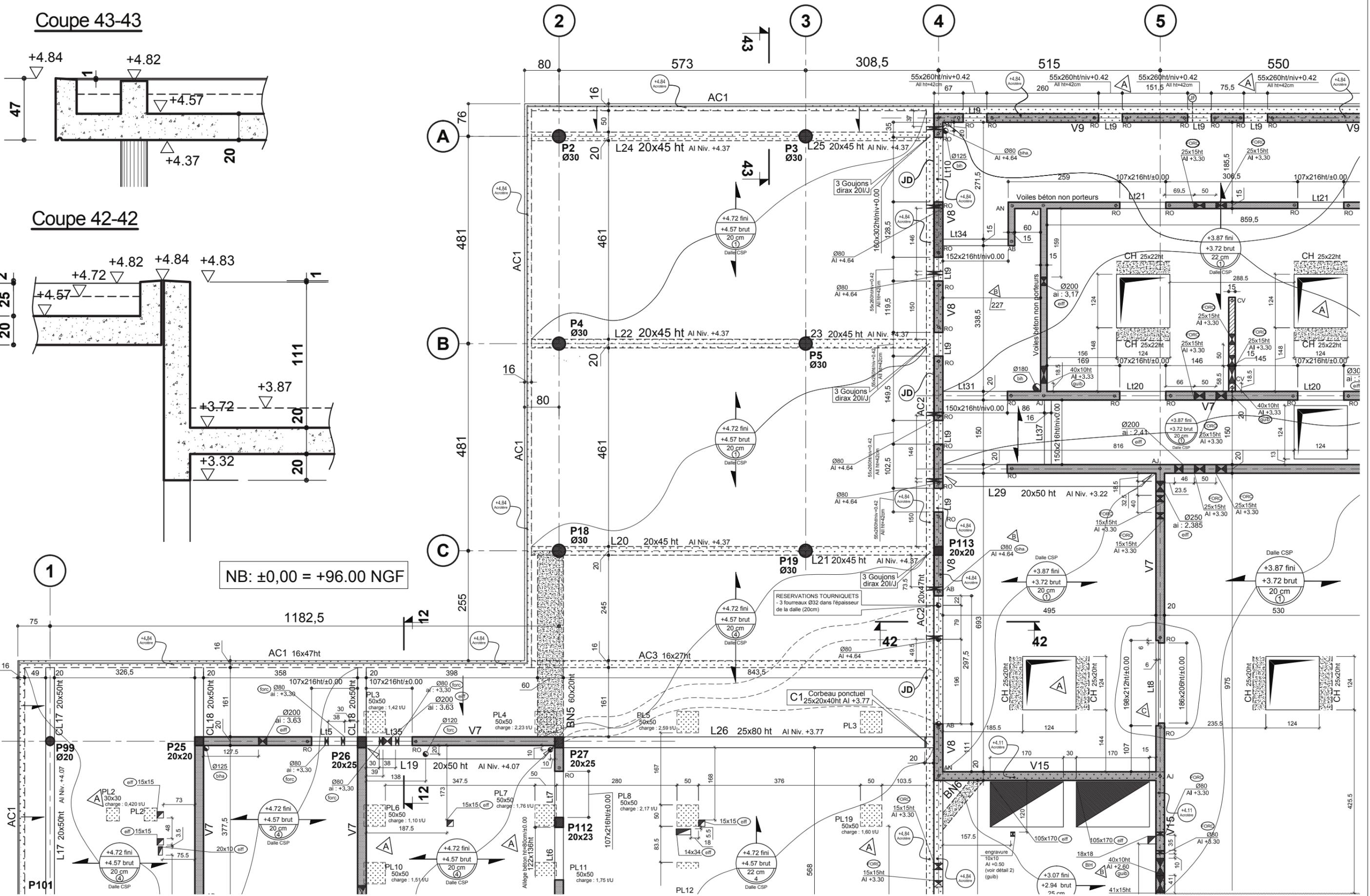
Coupe 43-43



Coupe 42-42



NB: ±0,00 = +96.00 NGF



# DOSSIER SUJET

## ETUDE A ETUDE DE LA STRUCTURE DE L'AUVENT DU PARVIS D'ENTRÉE

Documents de référence : DT3 Plan de toitures  
DT4 Coupe GG'  
DT6 Plan de coffrage Plancher haut du RDC

### DESCRIPTION

Contrainte architecturale : la sous-face de couverture béton est totalement plane, sans retombée de poutre.

Constitution de l'auvent :

- Dalle béton + Isolation + étanchéité bicouche + protection par gravillon ;
- Système porteur constitué de poutres retroussées (relevées) en files A, B et C sur 6 poteaux circulaires ;
- Fondations ponctuelles superficielles sous poteaux ;
- Acrotère périphérique non porteur ;
- Joint de dilatation file 4 entre l'auvent et la zone de vestiaire. La liaison verticale entre les deux zones est réalisée par des goujons au droit des poutres files A, B et C.

### I - ETUDE DES CHARGES

#### I.1

Les sens porteurs de la dalle de l'auvent sont définis par le plan de coffrage du document DT6.

Les charges sont définies sur le document DT0.

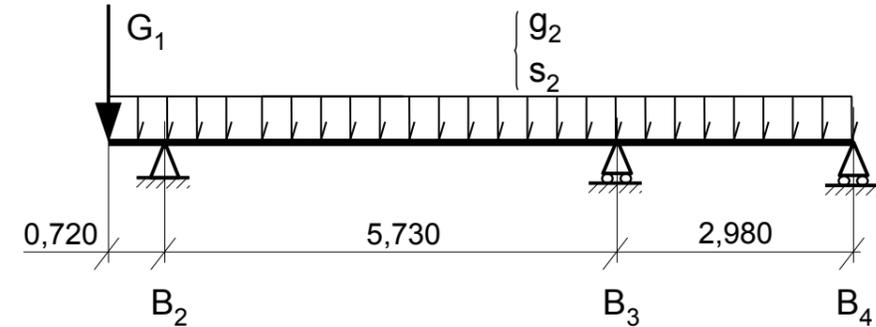
- Déterminer les valeurs des charges permanentes et climatiques pour  $1 \text{ m}^2$  de plancher courant.
- Tracer les zones d'influence des planchers sur la **poutre file B**.  
**Utiliser le document réponse DR1.**
- Calculer l'aire de la surface de charge de plancher pour un ml courant de la **poutre file B**.

#### I.2

On donne le schéma mécanique de la **poutre file B**. Elle est portée par deux poteaux et l'appui des goujons en file 4.

Les appuis sont une articulation en  $B_2$  et des appuis simples en  $B_3$  et  $B_4$ .

La charge apportée en  $B_4$  par l'acrotère file 4 est transmise directement aux goujons et n'est pas représentée sur le schéma mécanique.



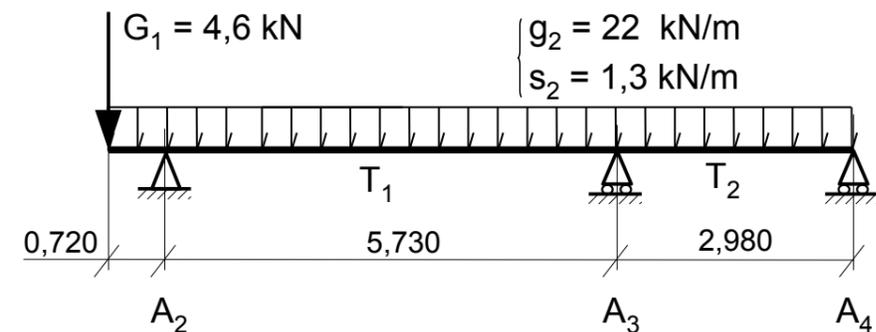
- Justifier le type de liaison utilisé en  $B_4$ .
- Calculer les valeurs des charges permanentes  $G_1$ ,  $g_2$  et climatique  $s_2$ .

### II - ETUDE DE LA POUTRE CONTINUE FILE A

#### II.1

On donne le schéma mécanique de la **poutre file A**.

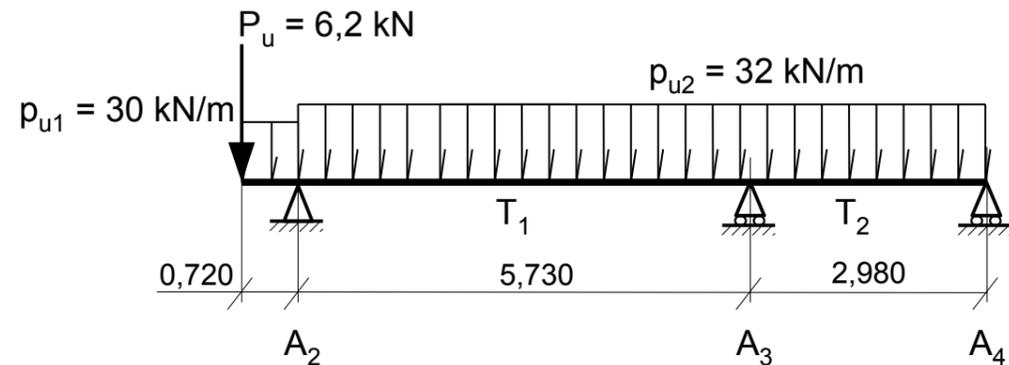
La charge apportée en  $B_4$  par l'acrotère file 4 est transmise directement aux goujons et n'est pas représentée sur le schéma mécanique.



- Définir sans calcul le cas de chargement à l'ELU afin d'obtenir le moment fléchissant maximal en travée  $T_1$ , en utilisant uniquement les combinaisons de charge suivantes :  $(1,35 G)$  ou  $(1,35 G + 1,5 S)$   
**Utiliser le document réponse DR1.**
- Sans calcul, donner l'allure de la courbe de moment fléchissant pour ce cas de charge.  
**Utiliser le document réponse DR1.**

## II.2

On donne les actions pour le cas de charge à l'ELU permettant d'obtenir le moment fléchissant maximal sur **appui A<sub>3</sub>**.



- Calculer le moment fléchissant sur **appui A<sub>2</sub>**.
- En utilisant la méthode des trois moments, calculer la valeur du moment fléchissant sur **appui A<sub>3</sub>**.

## II.3

On donne la valeur maximale du moment fléchissant positif en **travée T<sub>1</sub>** :  **$M_{Ed} = +85 \text{ kN.m}$**

- Calculer l'aire d'armature longitudinale nécessaire en **travée T<sub>1</sub>**.
- On donne l'aire d'armature longitudinale nécessaire sur **appui A<sub>3</sub>** :  **$A_s = 6,20 \text{ cm}^2$**   
Choisir les armatures sur **appui A<sub>3</sub>** et en **travée T<sub>1</sub>**.  
Réaliser les schémas de ferrailage de principe des sections **A<sub>3</sub>** et **T<sub>1</sub>**.  
**Utiliser le document réponse DR2.**
- Réaliser sans calcul le schéma de principe de ferrailage longitudinal le long de la poutre.  
**Utiliser le document réponse DR2.**

## III - ETUDE DU POTEAU P4

### III.1

Ce poteau est sollicité en compression centrée et reprend à l'ELU l'effort normal agissant en pied de poteau :  **$N_{Ed} = 162 \text{ kN}$**

Niveau de l'arase inférieure du poteau : -0,800 m ;  $l_0 = 5,170 \text{ m}$

- Calculer la section d'armature longitudinale nécessaire dans ce poteau.
- Proposer un choix d'armature longitudinale.
- Déterminer le diamètre et l'espacement des armatures transversales en zone courante et en zones d'extrémité. Prévoir le recouvrement en pied de poteau avec les armatures en attente situées dans la semelle.
- Réaliser les schémas d'armatures cotés, attentes comprises.  
**Utiliser le document réponse DR2.**

## ETUDE B

### ETUDE DES PORTIQUES DE TOITURE MOBILE DU BASSIN LUDIQUE

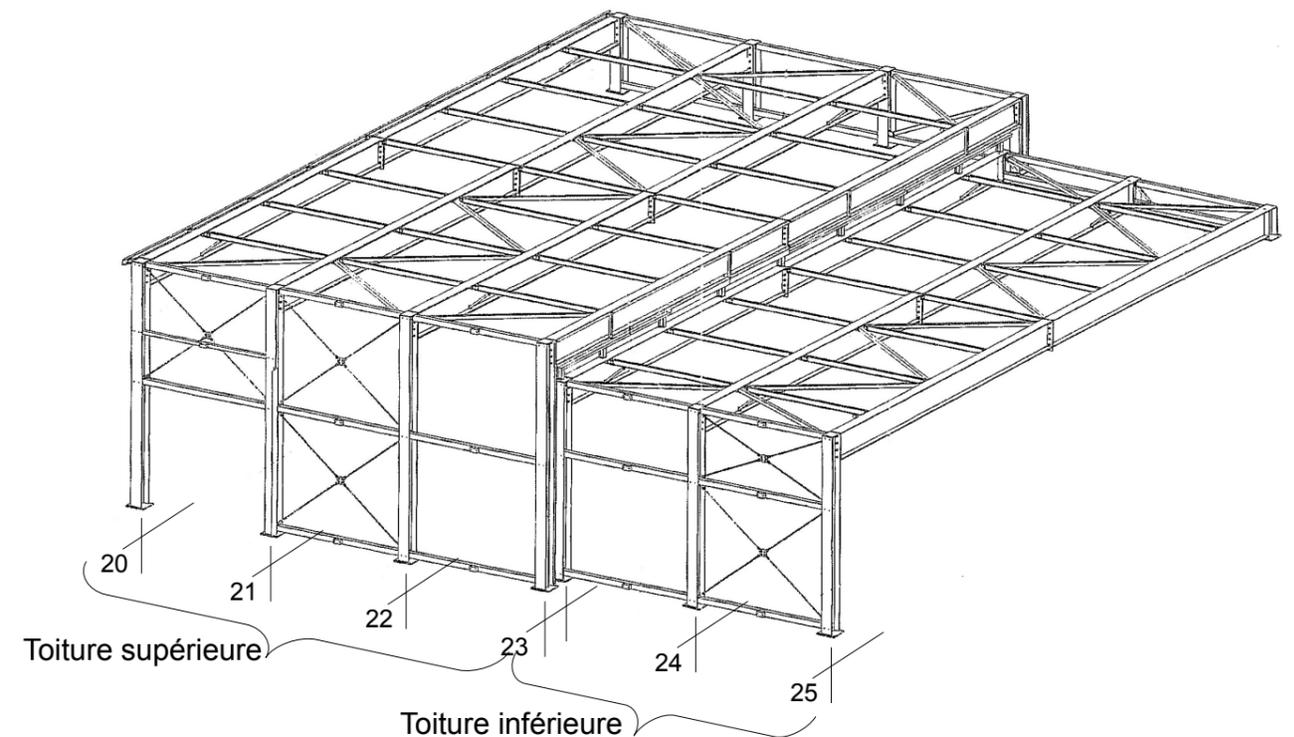
Documents de référence : DT3 Plan de toitures  
DT4 Coupe 11'  
DT5 Coupe HH' et détails des appuis des portiques

#### DESCRIPTION

Le bassin ludique peut être découvert au moyen de deux toitures mobiles qui coulisent chacune sur deux rails en béton.

Chaque toiture mobile est constituée de portiques métalliques et d'une ossature secondaire qui porte la couverture bac acier, le bardage métallique et la façade vitrée.

En position ouverte, la toiture supérieure et la toiture inférieure se superposent et viennent stationner au dessus de la zone des saunas et hammam.



Les portiques métalliques constituent l'ossature principale et assure la stabilité transversale de chaque toiture.

4 portiques espacés de 4,10 m d'entraxe pour la toiture mobile supérieure.

3 portiques espacés de 4,10 m d'entraxe pour la toiture mobile inférieure.

L'ossature secondaire qui reçoit l'enveloppe, assure la stabilité longitudinale interne de chaque toiture.

Chaque pied de portique est porté par un bogie muni de 2 galets de roulement, et éventuellement de 2 galets de guidage, en appui sur le rail en béton.

Les galets de roulement permettent le déplacement longitudinal de la toiture.

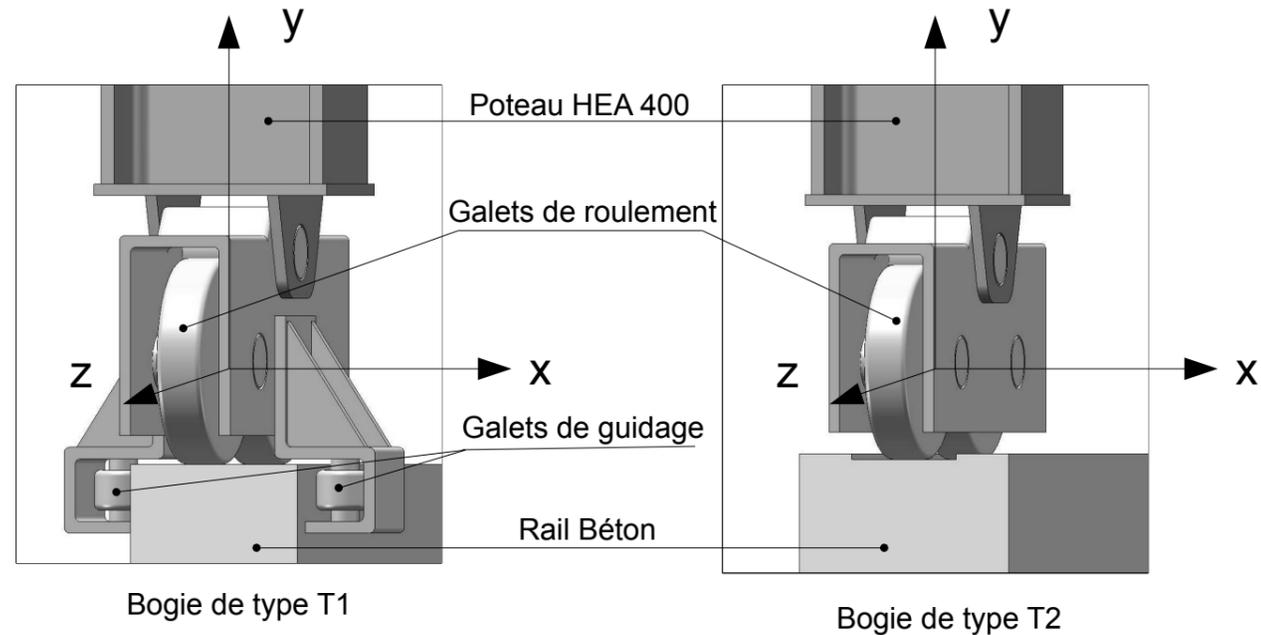
Les galets de guidage permettent le blocage transversal de l'appui.

## I - ÉTUDE DE LA MODÉLISATION DU PORTIQUE FILE 21

On étudie le portique file 21 de la couverture supérieure.  
Il est constitué d'une traverse et de deux poteaux portés par des bogies sur les rails.

Deux types de bogie constituent les appuis des portiques. **Document DT5**

L'appui gauche utilise le modèle muni de galets de guidage: bogie de type T1.  
L'appui droit utilise le modèle sans galet de guidage: bogie de type T2.



On admet que les galets de roulement peuvent glisser sur le rail béton sans frottement.  
On admet que les rotations sont possibles autour de l'axe Z.

### I.1 Comportement des bogies

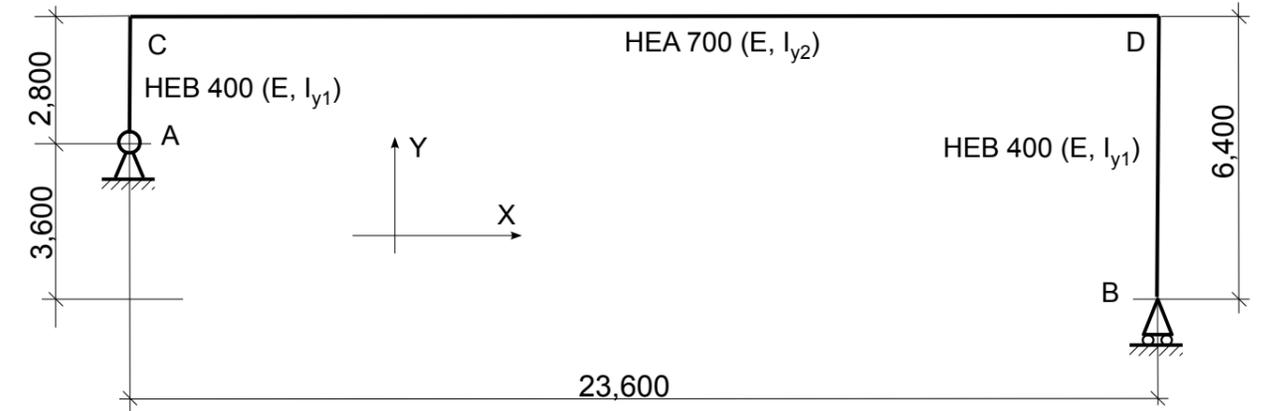
On étudie le comportement des bogies qui forment les appuis des portiques.  
La liaison entre le poteau HEA 400 et le rail béton dépend du type de bogie utilisé.

- En considérant les axes  $x$ ,  $y$  et  $z$ , donner les degrés de liberté de translation éliminés par le bogie de type T1.
- En considérant les axes  $x$ ,  $y$  et  $z$ , donner les degrés de liberté de translation éliminés par le bogie de type T2.

### I.2 Modélisation du portique

La modélisation mécanique est la suivante.

L'étude se limite au comportement du portique dans son plan (XY).  
Les appuis sont une articulation en A et un appui simple en B.  
La traverse CD est considérée horizontale.

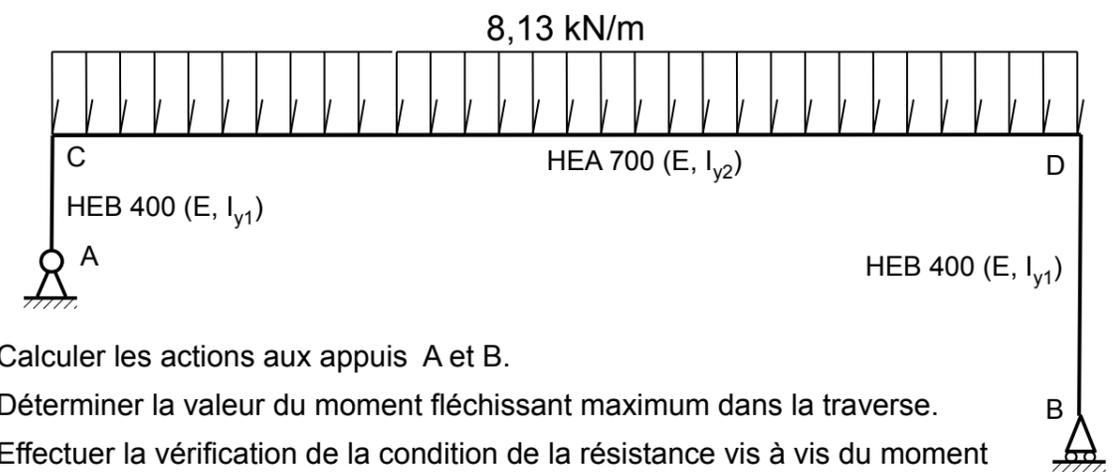


- Justifier, à partir des résultats de la question I.1, la modélisation des appuis A et B.
- Montrer que ce portique est isostatique.

## II - ÉTUDE DU PORTIQUE SOUS L'ACTION DES CHARGES PERMANENTES ET DE LA NEIGE

### II.1

Le cas de charge défavorable pour le dimensionnement à l'ELU de la traverse est le suivant.



- Calculer les actions aux appuis A et B.
- Déterminer la valeur du moment fléchissant maximum dans la traverse.
- Effectuer la vérification de la condition de la résistance vis à vis du moment fléchissant de cette traverse. Prendre  $M_{Ed} = 600 \text{ kN.m}$  valeur approchée du moment fléchissant maximum.  
Utiliser l'**Annexe DA1**.

### III - ETUDE DU PORTIQUE SOUS L'ACTION DU VENT SEUL

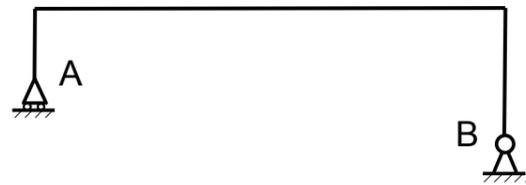
Le déplacement horizontal de l'appui simple sous l'action d'une charge variable seule, est un paramètre important à vérifier: il est impératif de le limiter afin que les galets de roulement du bogie restent opérationnels dans le rail béton. C'est pourquoi le déplacement maximal de l'appui simple doit-être limité à 40 mm.

C'est l'action du vent qui provoque la valeur maximale de ce déplacement.

L'échange des bogies des appuis A et B permet de modifier le modèle mécanique du portique. Nous allons étudier les deux solutions possibles du portique afin de choisir celle qui donne le déplacement horizontal de l'appui simple le plus faible.

#### Solution variante : modèle 1

l'appui simple est en A



#### Solution de l'architecte : modèle 2

l'appui simple est en B

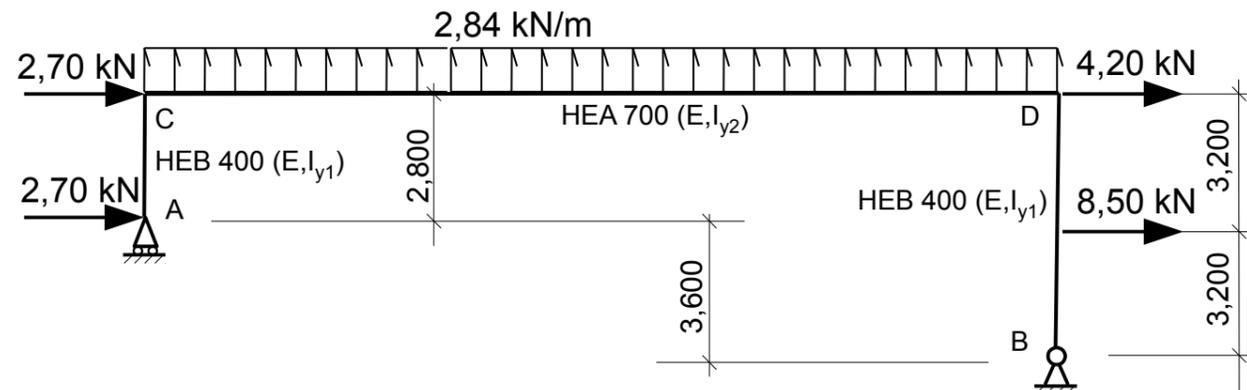


**Remarque :** les cas de charge étudiés dans cette question ne sont composés que de l'action du vent, sans les charges permanentes.

Ils permettent d'étudier les variations de déplacement par rapport à un état de la structure déformée sous les charges permanentes.

#### III.1 Etude du modèle 1

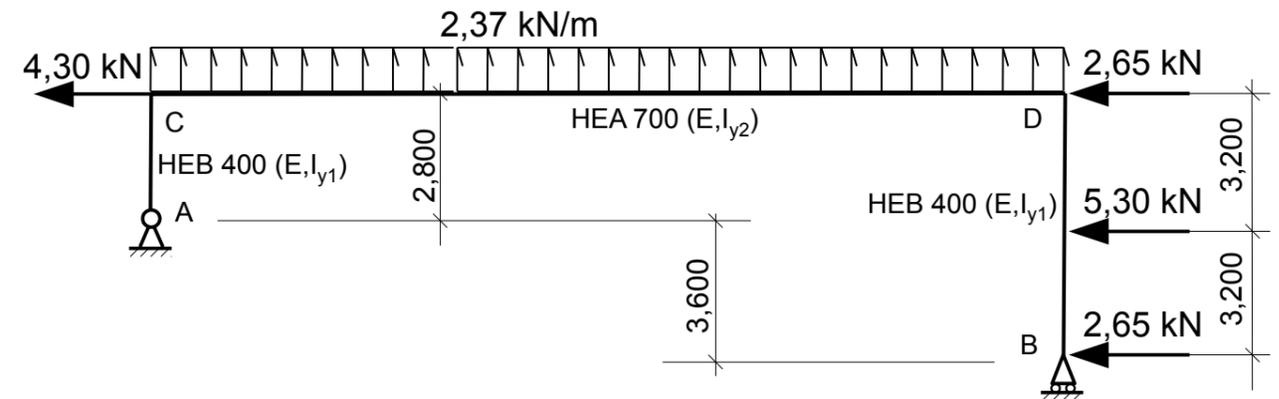
Le cas de vent défavorable pour le calcul du déplacement de l'appui A est le suivant.



- Calculer les actions aux appuis A et B.
- Pour la suite des calculs, prendre les résultats approchés donnés sur le **document réponse DR3**.  
Tracer les diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant le long de la structure.
- Pour ce cas de charge de vent seul, l'appui simple A se déplace de 56 mm vers la droite. Donner dans ce cas, l'allure de la déformée du portique.

#### III.2 Etude du modèle 2

Le cas de vent défavorable pour le calcul du déplacement à l'appui B est le suivant.



On donne le diagramme de moment fléchissant **M** le long de la structure **sur le document réponse DR3**.

**Hypothèse de calcul :** on néglige l'effet de l'effort normal et de l'effort tranchant pour le calcul du déplacement demandé.

- On désire déterminer le déplacement horizontal de l'appui B. Pour cela, on donne la structure fictive associée sur le **document réponse DR3**. On donne les actions aux appuis A et B.

Tracer le diagramme de moment fléchissant  $\bar{M}$  le long de cette structure.

- Le déplacement horizontal au point B est obtenu par le théorème de Muler-Breslau :

$$\Delta x_B = \int_{AC} \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I_{y1}} + \int_{CD} \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I_{y2}} + \int_{DB} \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I_{y1}}$$

On donne l'expression de la partie du déplacement  $\Delta x_B$  due à la traverse CD seule.

$$\int_{CD} \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I_{y2}} = \frac{-15,992}{E \cdot I_{y2}} \quad \text{Les unités utilisées sont : m, MN, MPa}$$

On donne l'expression de la partie du déplacement  $\Delta x_B$  due au poteau DB seul.

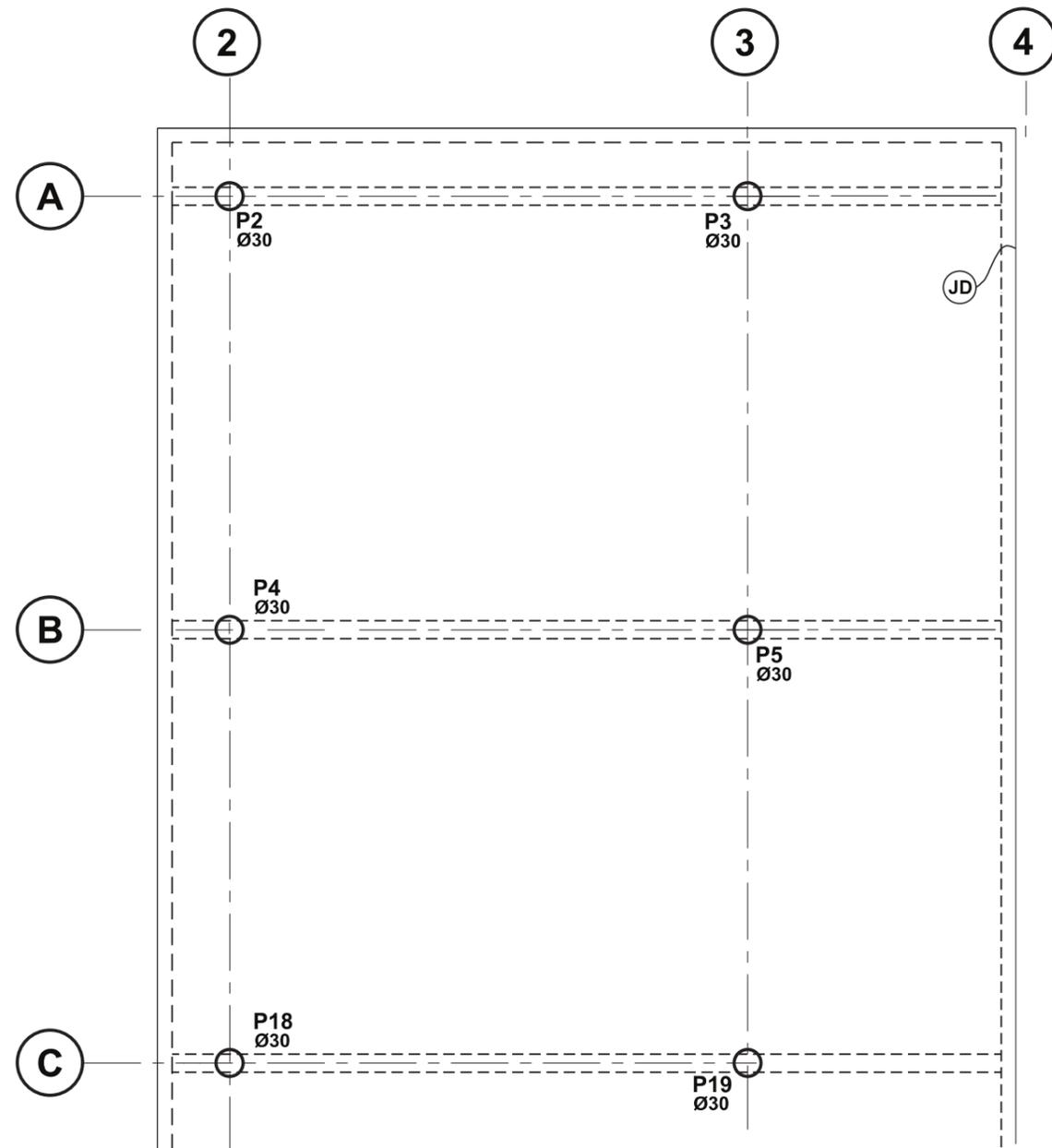
$$\int_{DB} \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I_{y1}} = \frac{-0,376}{E \cdot I_{y1}} \quad \text{Les unités utilisées sont : m, MN, MPa}$$

Déterminer l'expression  $\int_{AC} \frac{M \cdot \bar{M}}{E \cdot I_{y1}}$  de la partie du déplacement due au poteau AC seul.

- Calculer les valeurs numériques de chacune des trois parties du déplacement  $\Delta x_B$ . Donner la valeur numérique totale du déplacement horizontal de l'appui B :  $\Delta x_B$ .
- Le déplacement maximal admissible de l'appui simple est 40 mm. Quel modèle 1 ou 2, est le meilleur vis à vis de ce critère de déplacement ? Expliquer pourquoi le choix du profil de la traverse CD est prépondérant vis à vis de ce déplacement.

**Etude A - Etude des charges**

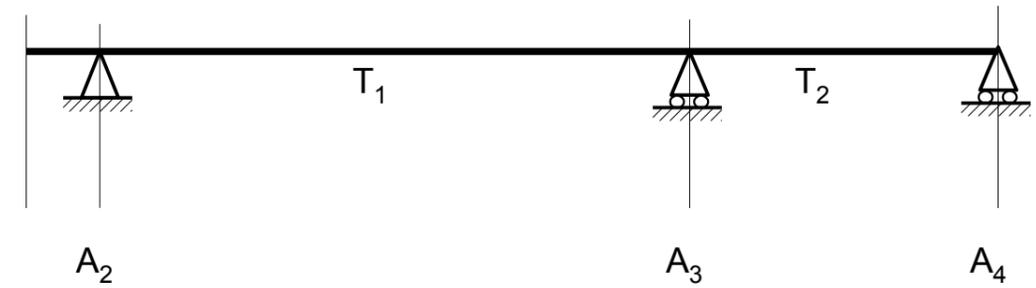
I.1



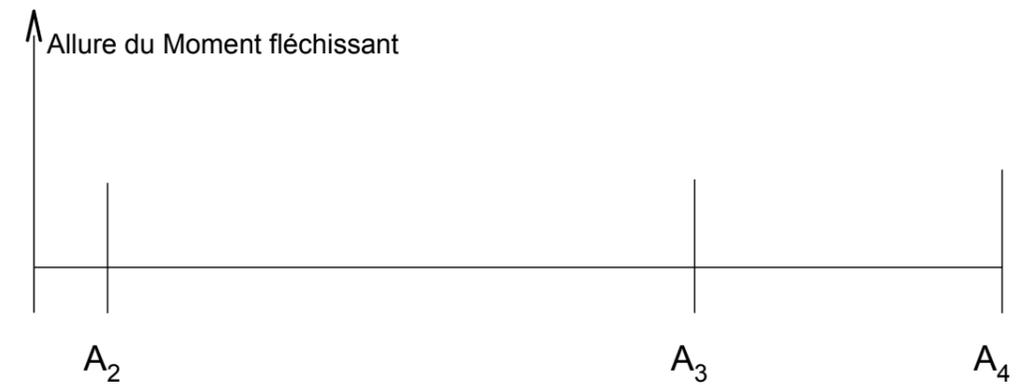
**Etude A - Etude de la poutre continue file A**

II.1

a.

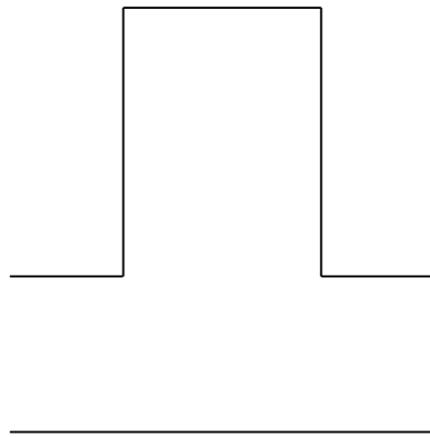


b.

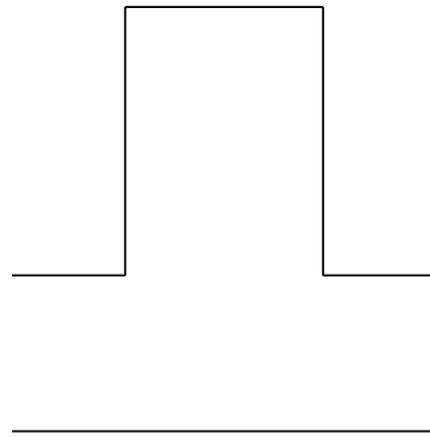


**Etude A - Etude de la poutre continue file A**

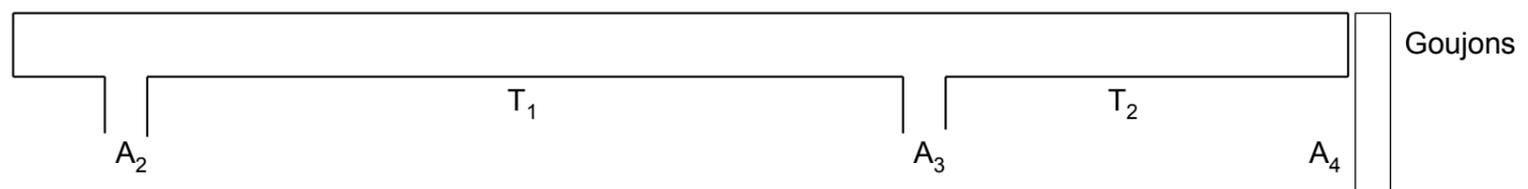
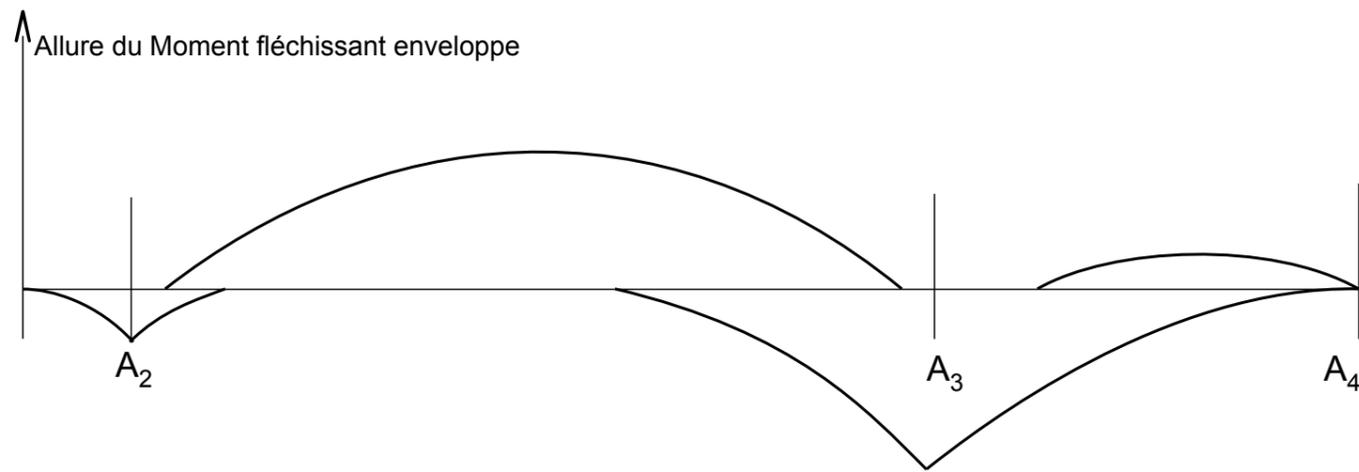
**II.3**



Section en travée T1



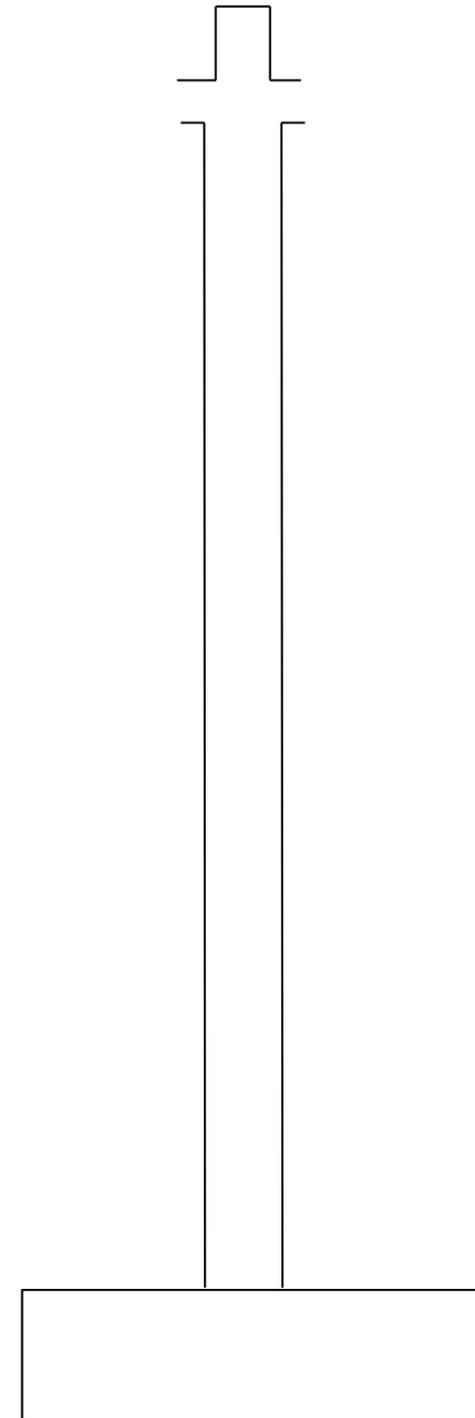
Section sur appui A3



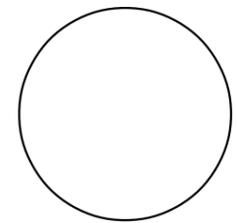
Coupe longitudinale

**Etude A - Etude du poteau**

**III.1**

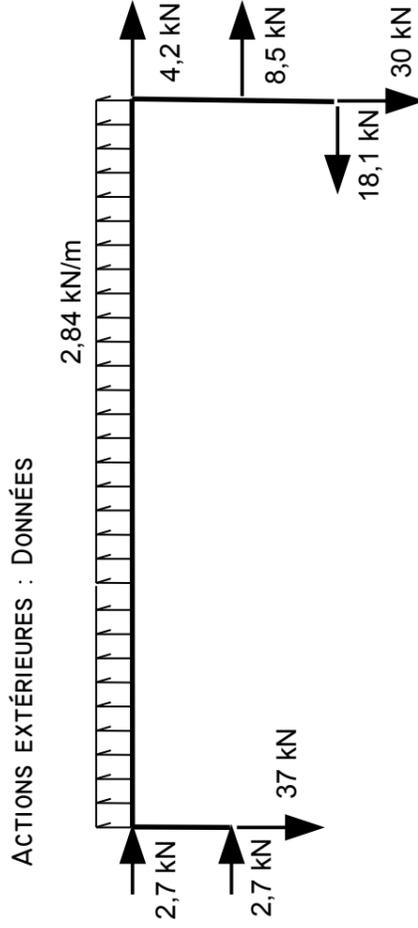


Section du poteau

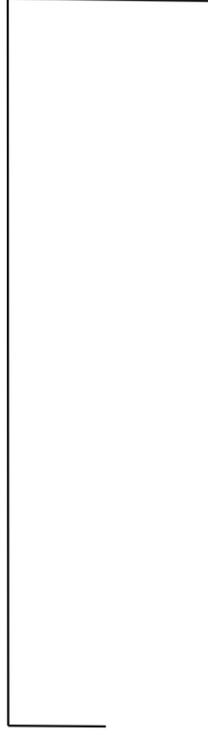


**Etude B - Etude des portiques de toiture**

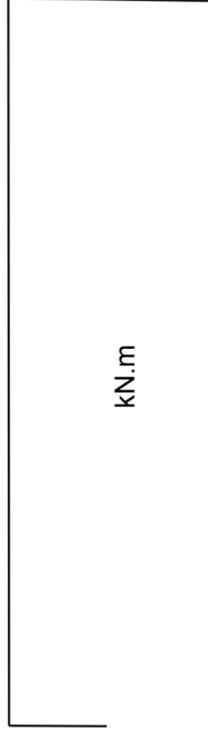
**ETUDE DU MODÈLE I**  
III.1



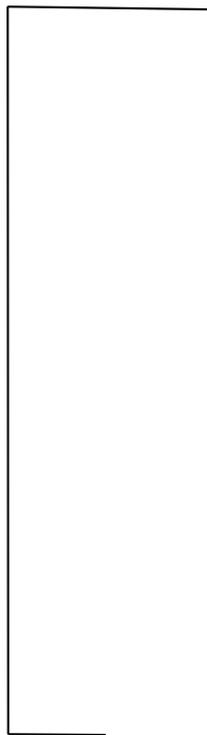
EFFORT TRANCHANT : A COMPLÉTER



MOMENT FLÉCHISSANT : A COMPLÉTER



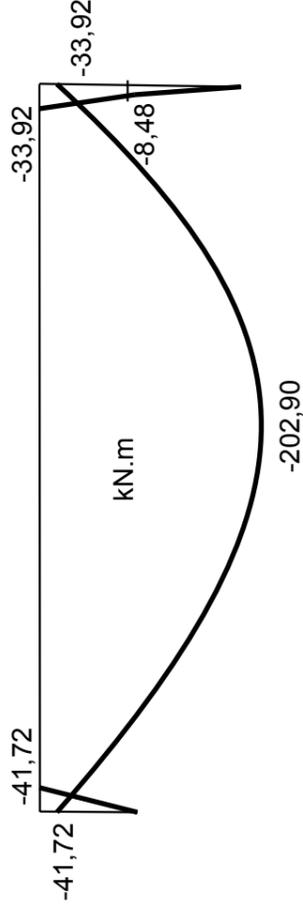
ALLURE DE LA DÉFORMÉE : A COMPLÉTER



**ETUDE DU MODÈLE 2**

III.2

DIAGRAMME DE MOMENT FLÉCHISSANT M: DONNÉ



**ETUDE DU MODÈLE 2**

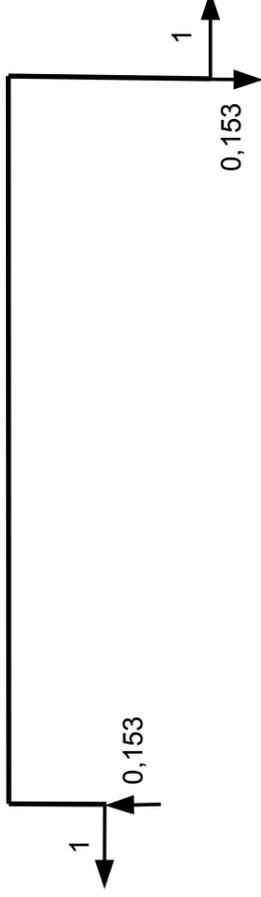
III.2

STRUCTURE FICTIVE ASSOCIÉE

SCHÉMA MÉCANIQUE : DONNÉ



ACTIONS EXTÉRIEURES : DONNÉES



EFFORT TRANCHANT : DIAGRAMME NON EXIGÉ

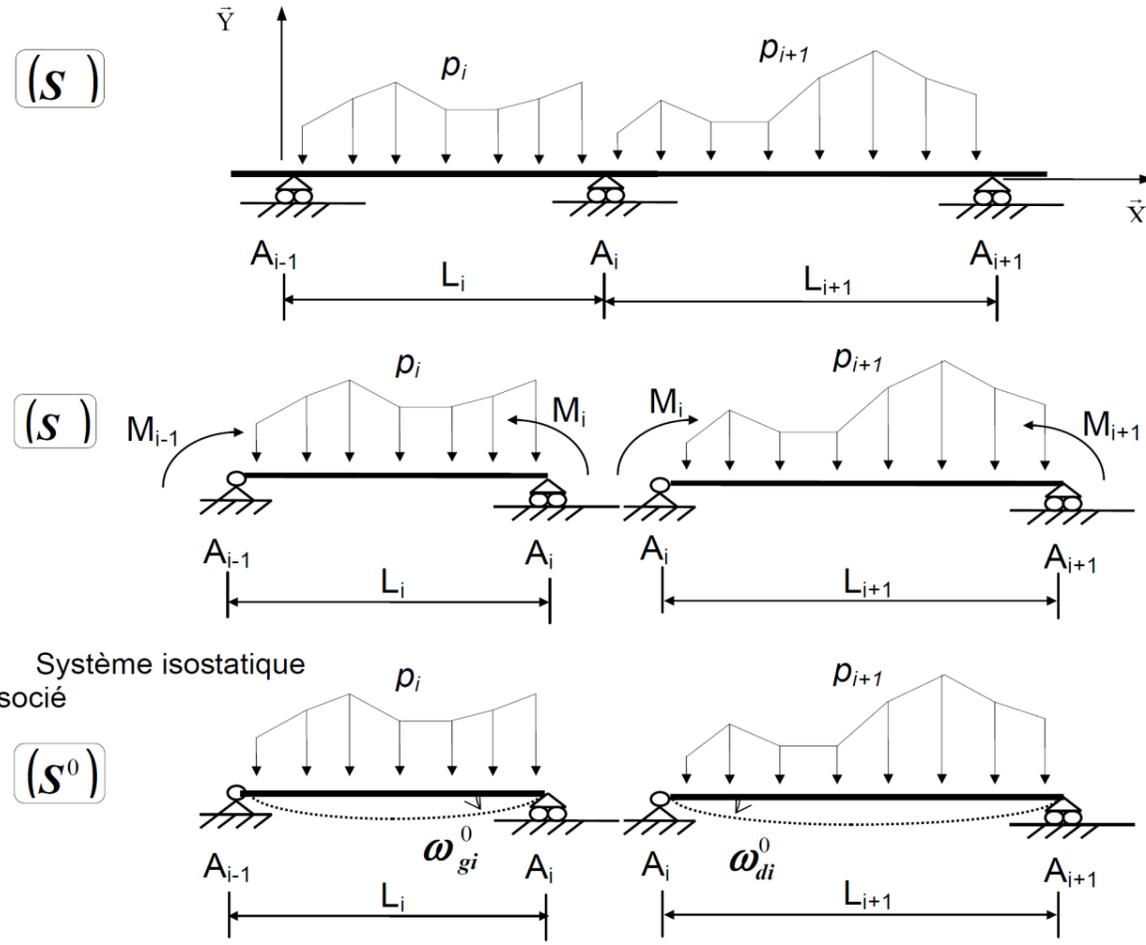


MOMENT FLÉCHISSANT  $\bar{M}$  : A COMPLÉTER



### Résistance des matériaux : Théorème des trois moments (formule de Clapeyron)

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



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

### Résistance des matériaux : Rotations et flèches pour des poutres isostatique courantes

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

### Eurocode 3 : Vérification simplifiée en flexion simple

#### Vérification du moment de flexion

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)
$M_{pl,Rd} = W_{pl} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$	$M_{el,Rd} = W_{el,min} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

#### Tableau des armatures en barre pour béton armé

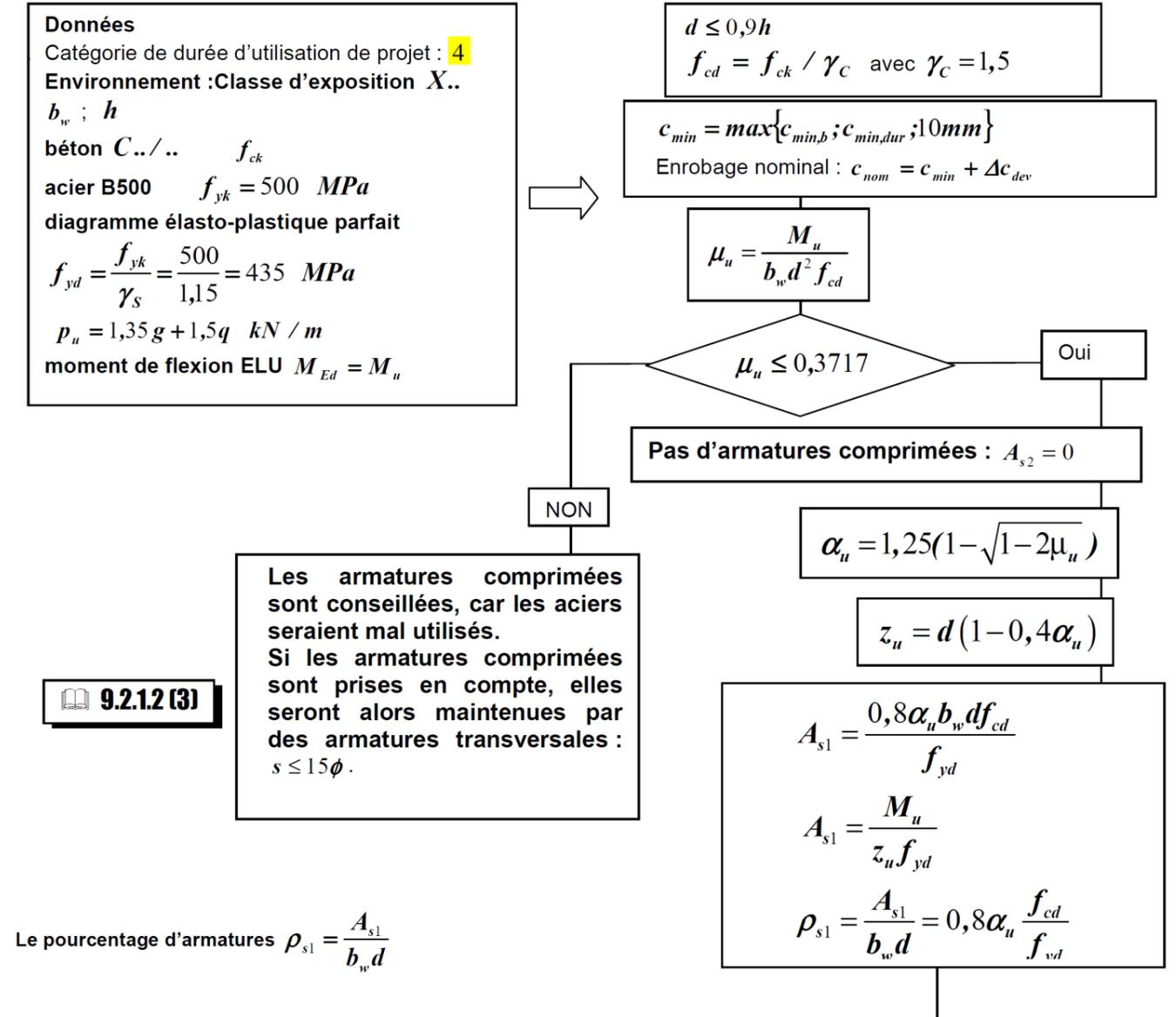
Diamètre	Poids	Périmètre	Section pour N barres en cm <sup>2</sup>									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,154	1,57	0,196	0,393	0,589	0,785	0,982	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
6	0,222	1,88	0,283	0,565	0,848	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,395	2,51	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	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

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

	$\frac{1}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{12} LM_i M_j$	$\frac{1}{4} LM_i M_j$	$\frac{1}{12} LM_j \times (M_i + 3M'_i)$	$\frac{1}{12} LM_i M_j \times \left( \frac{3x}{L} + \frac{x^2}{L^2} \right)$	$\frac{7}{48} LM_i M_j$
	$\frac{1}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{4} LM_i M_j$	$\frac{1}{12} LM_i M_j$	$\frac{1}{12} LM_j \times (3M_i + M'_i)$	$\frac{1}{12} LM_i M_j \times \left( \frac{3x'}{L} + \frac{x'^2}{L^2} \right)$	$\frac{7}{48} LM_i M_j$
	$\frac{2}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{4} LM_i M_j$	$\frac{5}{12} LM_i M_j$	$\frac{1}{12} LM_j \times (3M_i + 5M'_i)$	$\frac{1}{12} LM_i M_j \times \left( 3 + \frac{3x}{L} - \frac{x^2}{L^2} \right)$	$\frac{17}{48} LM_i M_j$
	$\frac{2}{3} LM_i M_j$	$\frac{5}{12} LM_i M_j$	$\frac{1}{4} LM_i M_j$	$\frac{1}{12} LM_j \times (5M_i + 3M'_i)$	$\frac{1}{12} LM_i M_j \times \left( 3 + \frac{3x'}{L} - \frac{x'^2}{L^2} \right)$	$\frac{17}{48} LM_i M_j$
	$\frac{2}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{3} LM_j (M_i + M'_i)$	$\frac{1}{3} LM_i M_j \left( 1 + \frac{3x'}{L^2} \right)$	$\frac{5}{12} LM_i M_j$
	$\frac{1}{2} LM_i (M_j + M'_j)$	$\frac{1}{6} LM_i (2M_j + M'_j)$	$\frac{1}{6} LM_i (M_j + 2M'_j)$	$\frac{1}{6} LM_j (2M_i + M'_i) + \frac{1}{6} LM_i (M_j + M'_j)$	$\frac{1}{6} LM_i M_j \left[ \left( 1 + \frac{x'}{L} \right) + M'_j \left( 1 + \frac{x}{L} \right) \right]$	$\frac{1}{4} LM_i (M_j + M'_j)$
	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{3} LM_i M_j$	$\frac{1}{6} LM_i M_j$	$\frac{1}{6} LM_j (2M_i + M'_i)$	$\frac{1}{6} LM_i M_j \left( 1 + \frac{x'}{L} \right)$	$\frac{1}{4} LM_i M_j$
	$LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_j (M_i + M'_i)$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$
	$LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_j (M_i + M'_i)$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$	$\frac{1}{2} LM_i M_j$

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

Eurocode 2 : Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire



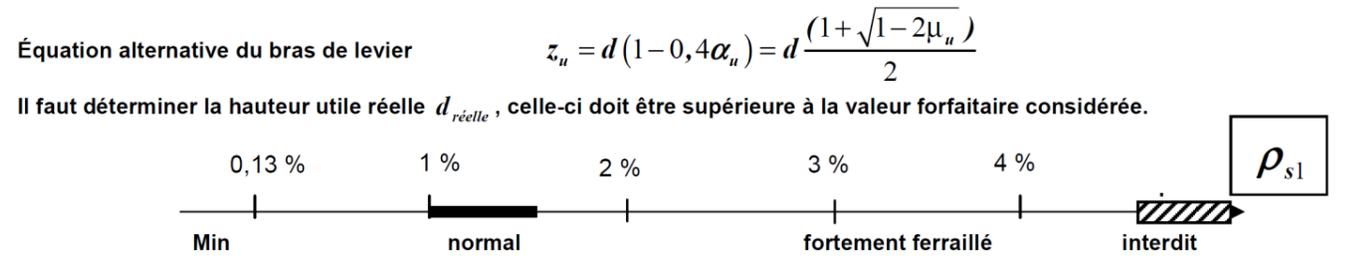
Le pourcentage d'armatures  $\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w d}$

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

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

$A_{s1} < 0,04 A_c$  avec  $A_c$  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:  $b_t = b_w$



## Eurocode 2 : Organigramme de calcul, poteau circulaire

**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 =  $\ell_0$  = longueur libre du poteau notée  $l$

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

$$\text{Élancement : } \lambda = \frac{4\ell_0}{D}$$

OUI

$\lambda \leq 120$

NON :  
il faut redimensionner le poteau

$$\alpha = \frac{0,84}{1 + \left(\frac{\lambda}{52}\right)^2}$$

OUI

$\lambda \leq 60$

NON

$$\alpha = \left[\frac{27}{\lambda}\right]^{1,24}$$

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

$$\text{avec } \rho = \frac{A_s}{A_c} \quad \text{et si } D < 0,600 \text{ m alors } k_h = [0,7 + 0,5D^{[m]}][1 - 8\rho\delta] \quad \text{sinon } k_h = 1$$

La valeur de  $A_s$  est obtenue en résolvant l'équation du 2<sup>e</sup> degré suivante :

$$\left(8 \frac{\delta}{A_c} f_{yd}\right) A_s^2 - (f_{yd} - 8\delta f_{cd}) A_s + \left(\frac{N_{Ed}}{K} - A_c f_{cd}\right) = 0 \quad \text{avec } K = \alpha(0,7 + 0,5D^{[m]}) \quad \text{avec } D \text{ en m}$$

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  $\phi_l \geq \phi_{l,min} = 8 \text{ mm}$

### 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 :

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

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

$\phi_{l,min}$  = 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.

## Eurocode 2 : Espacement des cours d'armatures transversales des poteaux $s_{cl,t}$

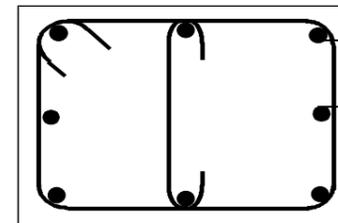
Il convient d'ancrer convenablement les armatures transversales.

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

- dans les sections situées à une distance égale à la plus grande dimension de la section transversale du poteau 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. 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.



Il convient dans une zone comprimée, de ne pas disposer de barre non tenue à plus de 150 mm d'une barre tenue.

## Eurocode 2 : Longueur de recouvrement des armatures en attente

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