



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

Campagne 2009

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TRAVAUX PUBLICS

Epreuve E4

ETUDE DES OUVRAGES

Unité U41

MECANIQUE DES STRUCTURES

Durée 4h
Coefficient 3

Matériel autorisé

Calculatrice (circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999, BO n°42 du 25 novembre 1999)

Aucun document autorisé

Ce dossier comprend 3 chemises

Une chemise contenant

- La présentation de l'ouvrage
- Le travail demandé

Une chemise contenant les documents techniques

- DT1: vue en plan du tablier (format A3)
- DT2: données pour la descente de charge
- DT3: coupe longitudinale droite
- DT4: théorème des 3 moments (formule de Clapeyron)
- DT5: rotation et flèches pour des poutres isostatiques courantes
- DT6: Caractéristique des poutrelles européennes
- DT7 : classement des sections transversales et calcul des moments résistants
- DT8 : élévation de la pile
- DT9 : coupe transversale de la pile
- DT10 : schéma des armatures de la semelle et du raidisseur
- DT11 : organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire

Une chemise contenant les documents réponses :

- DR1 à DR3

Remarque : tous les documents réponses doivent être rendus par les candidats

Barème :

1. Etude I-Partie 1 :	Descente de charges	20
2. Etude I-Parties 2 et 3 :	Modélisation et Actions d'appuis	80
3. Etude I-Partie 4 :	Etude d'un élément de l'étalement	20
4. Etude II :	Etude de la pile sous charges verticales	30
5. Etude II :	Etude de la pile sous choc frontal	30
6. Etude III :	Calcul des sections d'armatures	20

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TRAVAUX PUBLICS

Epreuve E4

ETUDE DES OUVRAGES

Unité U41

MECANIQUE DES STRUCTURES

PRESENTATION

TRAVAIL DEMANDE

PRESENTATION

L'étude porte sur un passage supérieur permettant le rétablissement d'un chemin communal.

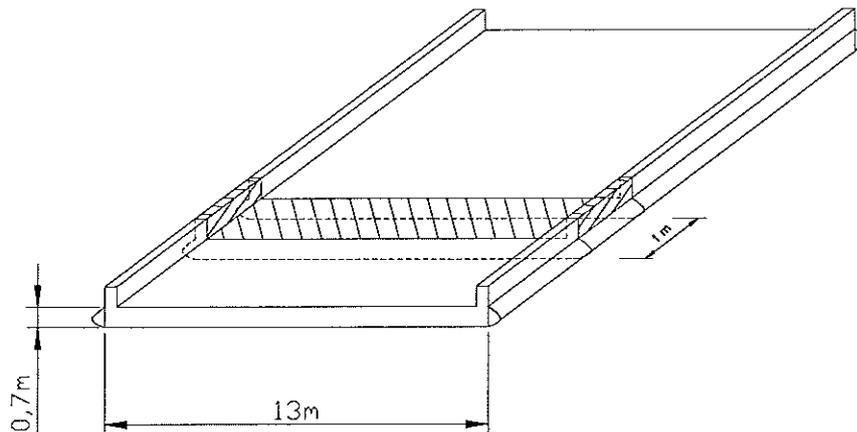
L'ouvrage est un pont en béton précontraint reposant sur deux culées et une pile centrale.

La largeur du tablier est variable mais sera prise constante pour simplifier l'étude.

De même les dénivellations entre appuis seront négligées et on considérera que le tablier est horizontal.

ETUDE I : LE TABLIER**Partie 1 : Descente de charges****Actions permanentes (DT2 : DR1)**

On raisonne sur 1m de tablier pris perpendiculairement à la section.



I-1.1. Remplir le tableau du document réponse DR1 permettant de calculer le poids propre des différents matériaux au dessus du tablier. (Bordure, chaussée, GNT, TV allégée, longrine, corniche, écran bois, étanchéité, tablier, matériau R61, enduit bicouche).

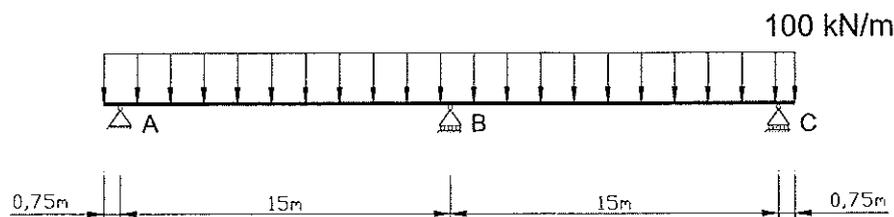
Actions d'exploitation (DT2 : DR1)

I-1.2. Compléter le tableau du document réponse DR1 afin de calculer les charges hors chaussée.

Partie 2 : Modélisation (DT3, DT4, DT5)

I-2.1. Pour une combinaison $1.35 (G) + 1.5 (Q)$, établir un schéma mécanique coté du tablier reposant sur ses appuis en précisant l'intensité du taux de charge total en kN/m

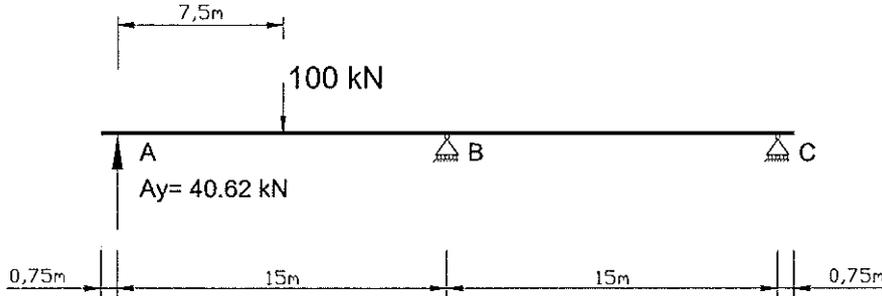
I-2.2. Pour le schéma mécanique proposé ci-dessous, calculer les moments fléchissant et les actions de liaison sur les appuis A, B, et C.



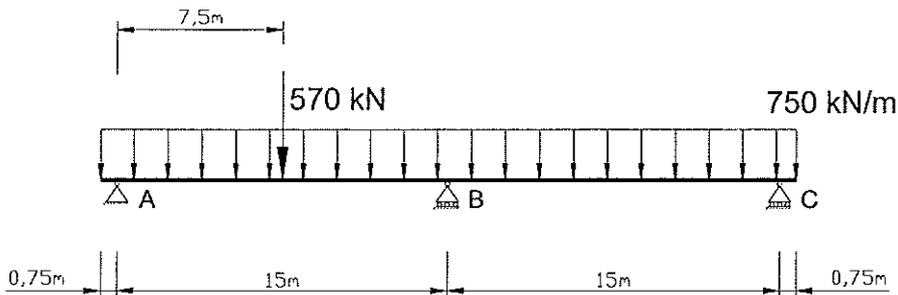
- Rappel de la formule des trois moments pour une poutre à module d'élasticité et inertie constants. voir DT4, DT5

Partie 3 : Action d'appuis

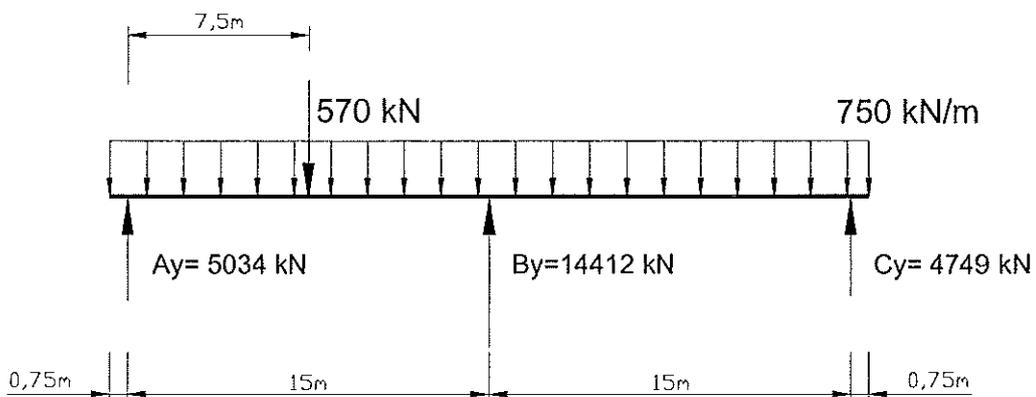
I-3.1. Connaissant l'action en A ($A_y=40.62 \text{ kN}$) calculer les actions de liaisons en B et C pour le schéma mécanique proposé ci-dessous.



I-3.2. Déduire des questions I-2.2. et I-3.1 les actions de liaisons en A, B et C pour le cas de charge ci-dessous en précisant quel principe vous utilisez et les hypothèses d'utilisation de ce principe.



I-3.3. Pour le schéma ci-dessous, tracer les diagrammes des sollicitations N, V, M le long de la structure en précisant les valeurs extrêmes.



Partie 4 : Étude d'un élément de l'étalement (DT6, DT7)

Le système de poutrason de l'étalement du pont comporte un profilé HEA 100 en acier de limite élastique $f_y = 235 \text{ MPa}$ ($\gamma_{M0} = 1$) et pour lequel W_{ely} (ou I/v) vaut 72.76 cm^3 .

Vérification du profilé quand le matériau acier travaille dans le domaine élastique. (Analogie avec une section de classe 3)

Le moment fléchissant maximal M_{max} appliqué au profilé suivant sa plus forte inertie vaut avant bétonnage vaut $M_{max} = 0.0171 \text{ m.MN}$.

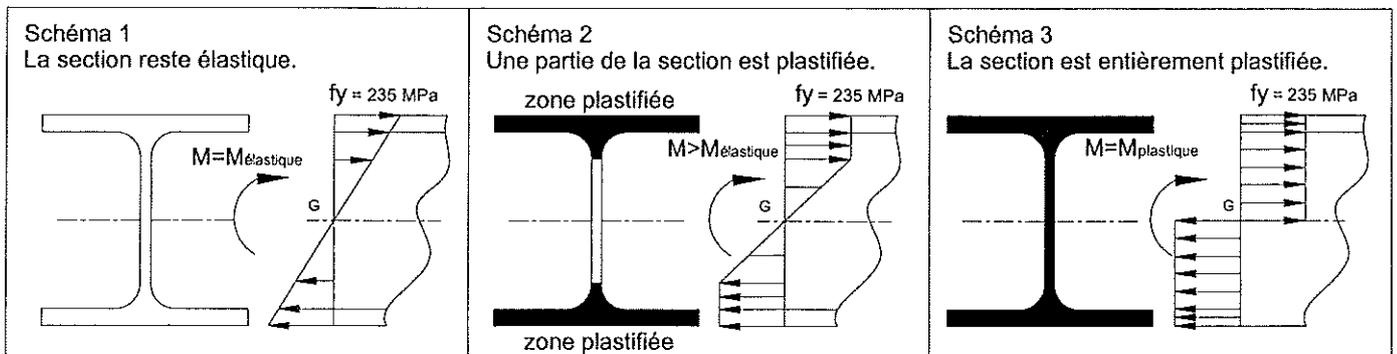
I-4.1. Calculer la contrainte σ_{max} et tracer l'allure de la répartition de contrainte dans la section du profilé.

I-4.2. En restant dans le domaine élastique le profilé peut il reprendre un moment fléchissant plus important ?

Vérification du profilé quand le matériau acier travaille dans le domaine plastique. (Analogie avec une section de classe 1)

En cours de bétonnage le moment maximal atteint la valeur de 0.018 m.MN

On souhaite alors vérifier quelle est la valeur du moment plastique ($M_{pl,Rd}$) que peut reprendre le profilé si la contrainte atteint la limite élastique sur toute sa hauteur. (cf. schéma 1, 2 et 3).



I-4.3. En utilisant les Documents techniques DT6 et DT7, calculer la valeur du moment résistant plastique $M_{pl,Rd}$ en prenant $\gamma_{M0} = 1$ et $f_y = 235 \text{ MPa}$.

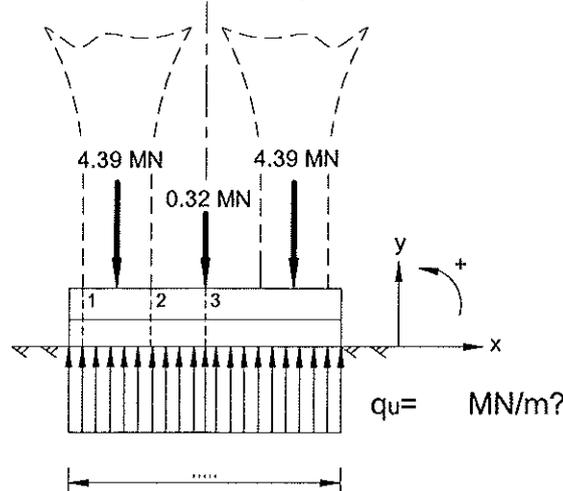
I-4.4. conclusion ?

ETUDE II : LA PILE

Sous charge verticale DT8 : DT9 : DR2

L'étude porte sur une bande de semelle de largeur 1 m. (cf. schéma ci-dessous)

- II.1. Calculer l'action q_u du sol sur la semelle, connaissant les charges pondérées appliquées par les piles à la semelle (4.39 MN par piles) et le poids de la semelle et du raidisseur (0.32 MN).
Les charges de 4.39 MN sont centrées sur les piles.

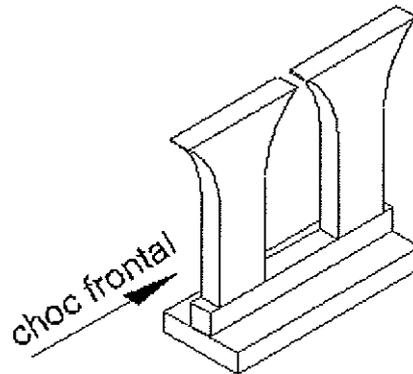


On s'intéresse à la section en T hachurée sur le DT9 composée de la semelle (épaisseur 1 m) et du raidisseur (ép. 1.143 m).

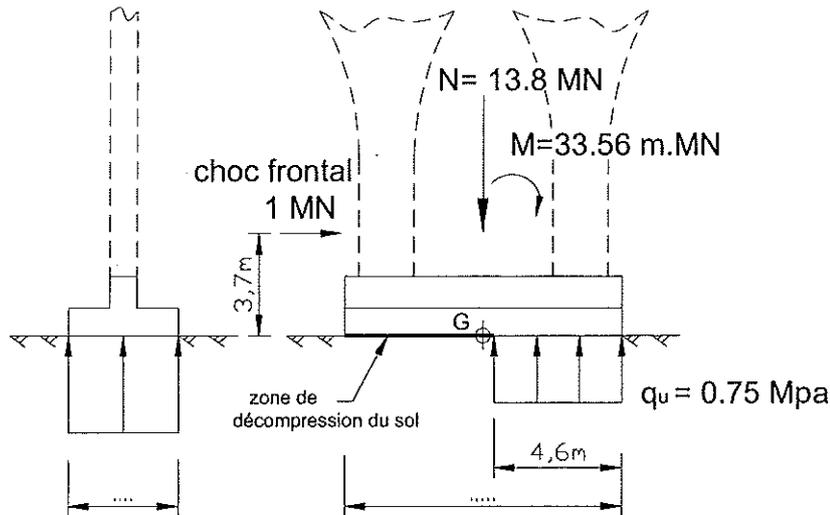
- II.2. Calculer les moments fléchissants dans la section en T (semelle et raidisseur) au centre de gravité des sections 1, 2 et 3. (la position du centre de gravité de la section en T n'est pas à déterminer)
- II.3. Etablir sur les schémas du document réponse 2 le ferrailage longitudinal de principe (coté et légendé) de la semelle et du raidisseur. Pour les sections 1, 2 et 3, on prendra 5 armatures HA 25, à positionner et à répartir dans la section de béton.
N'indiquez les armatures que dans les zones où elles sont strictement nécessaires en flexion et en tenant compte d'un ancrage forfaitaire de 40Φ .

Sous choc frontal (DT8, DT9, DR3)

On donne page suivante les actions exercées à la base de la pile au centre G du contact sol semelle. Les dimensions de la semelle seront extraites des documents techniques.

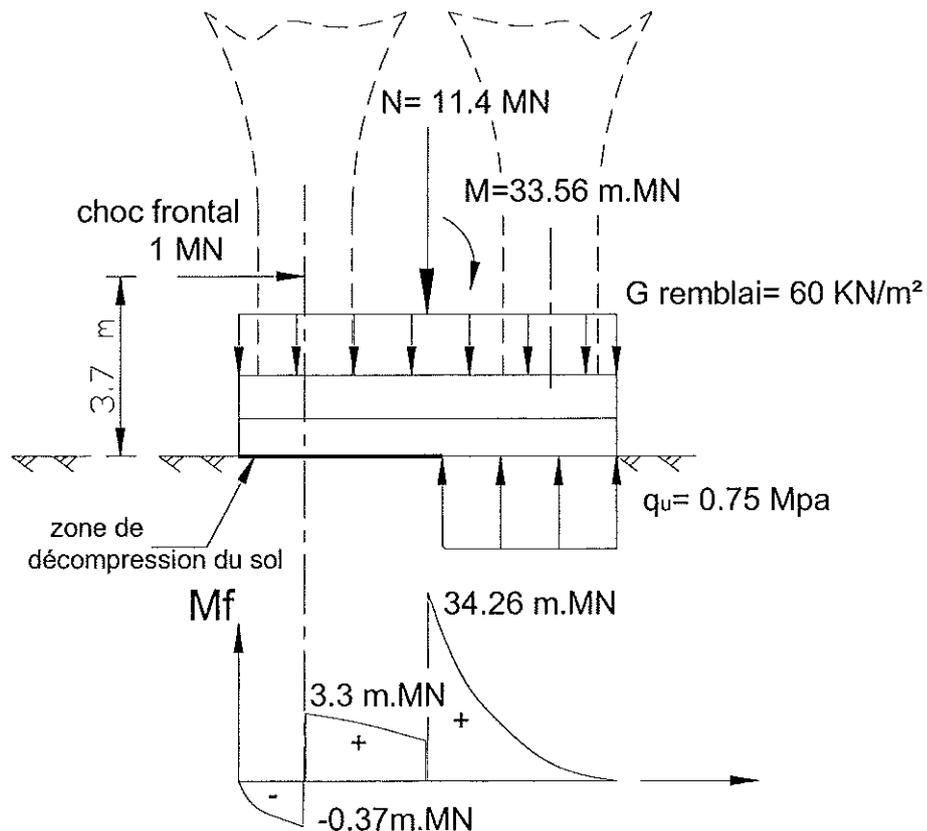


Attention l'étude porte cette fois sur toute la largeur de la semelle.



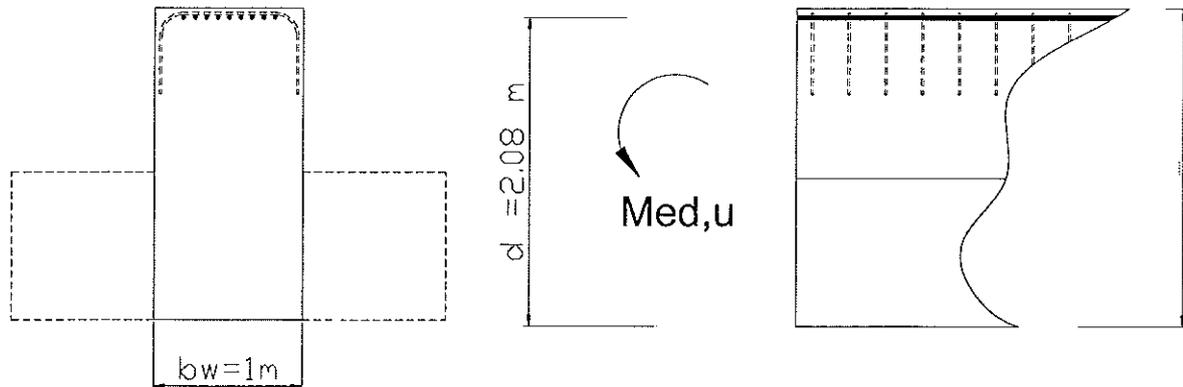
II.4. Vérifiez l'équilibre de la semelle. (La somme des moments sera calculée en G).

On donne (cf. schéma ci-dessous) le diagramme de moment fléchissant le long de la semelle pour un cas de charge avec un choc frontal appliqué à l'axe de la pile et où le poids du remblai est pris en compte sur toute la longueur de la semelle.



II.5. Dessiner sur le document réponses DR3 la position de principe des armatures longitudinales dans la semelle qui deviennent nécessaires pour ce cas de charge (le choc frontal peut survenir dans les deux sens).

N'indiquez ces armatures que dans les zones où elles sont strictement nécessaires vis-à-vis de la flexion et en tenant compte d'un ancrage forfaitaire de 40Φ .

ETUDE III : ARMATURES DU RAIDISSEUR DE LA SEMELLE**Calcul des sections d'armatures (EUROCODES) DT11**

Pour l'étude des armatures en partie supérieure, dans le raidisseur de la semelle, les débords ne sont pas pris en compte. On étudie une poutre rectangulaire au lieu d'une section en T.

Pour les données suivantes :

$M_{ed,u} = 6 \text{ m.MN}$, $f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$, $f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$, $d = 2.08 \text{ m}$, $b_w = 1 \text{ m}$, $\alpha_{cc} = 1$, $\gamma_c = 1.5$, $f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$

- Calculer la section d'armatures A_{s1} nécessaires dans la partie supérieure du raidisseur de la semelle de la pile et vérifier qu'elle respecte la clause 9.2.1.1 de sections minimales et maximales.
(La détermination de l'enrobage et le choix des armatures ne sont pas à effectuer)

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TRAVAUX PUBLICS

Epreuve E4

ETUDE DES OUVRAGES

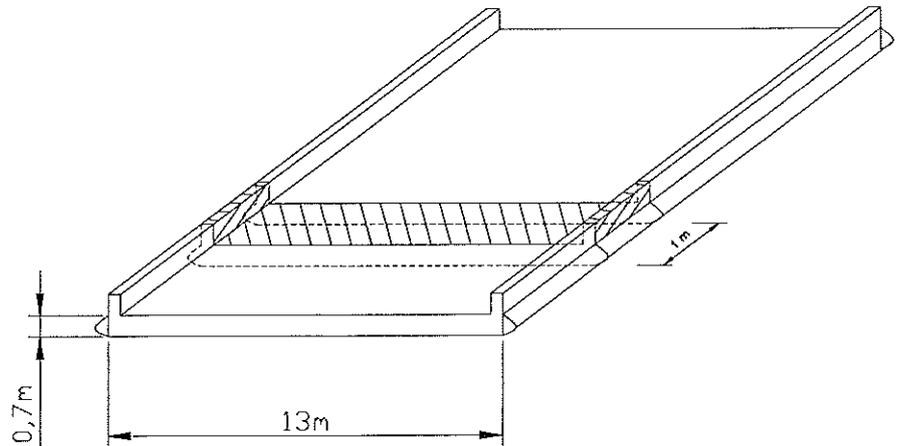
Unité U41

MECANIQUE DES STRUCTURES

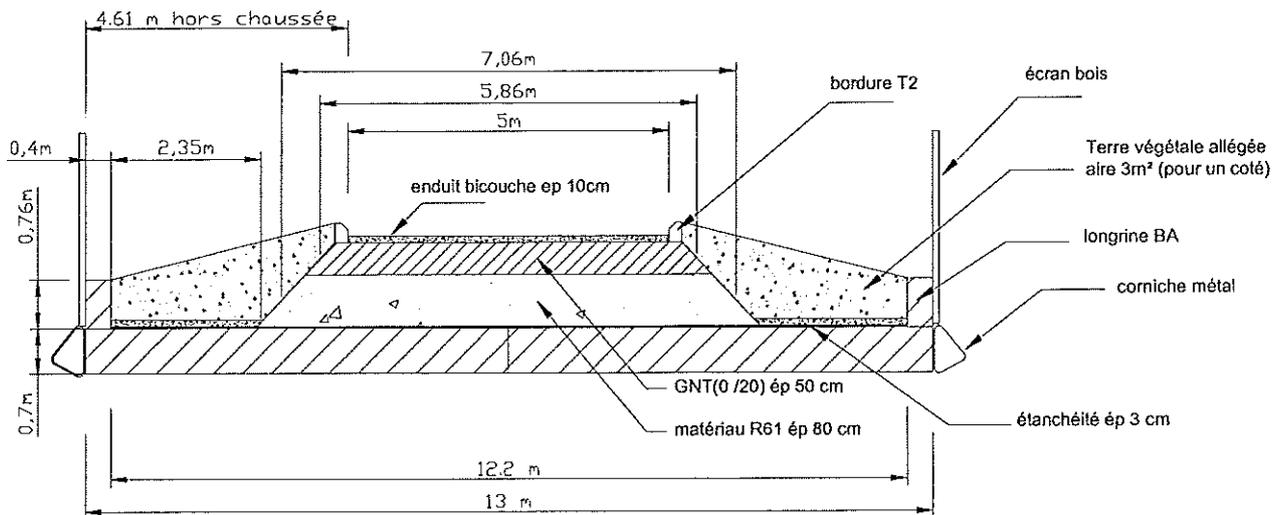
DOCUMENTS TECHNIQUES

DONNEE POUR LA DESCENTE DE CHARGE

On raisonne sur 1m de tablier pris perpendiculairement à la section.



COUPE TRANSVERSALE SUR TABLIER



Charge d'exploitation hors chaussée : 430 daN/m^2 .

Poids volumique du béton armé : 2500 daN/m^3

Poids au mètre des bordures T2 : 83 daN/m

Poids au m³ enduit bicouche : 2400 daN/m^3

Poids volumique GNT : 2000 daN/m^3

Poids volumique matériau R61 : 2000 daN/m^3

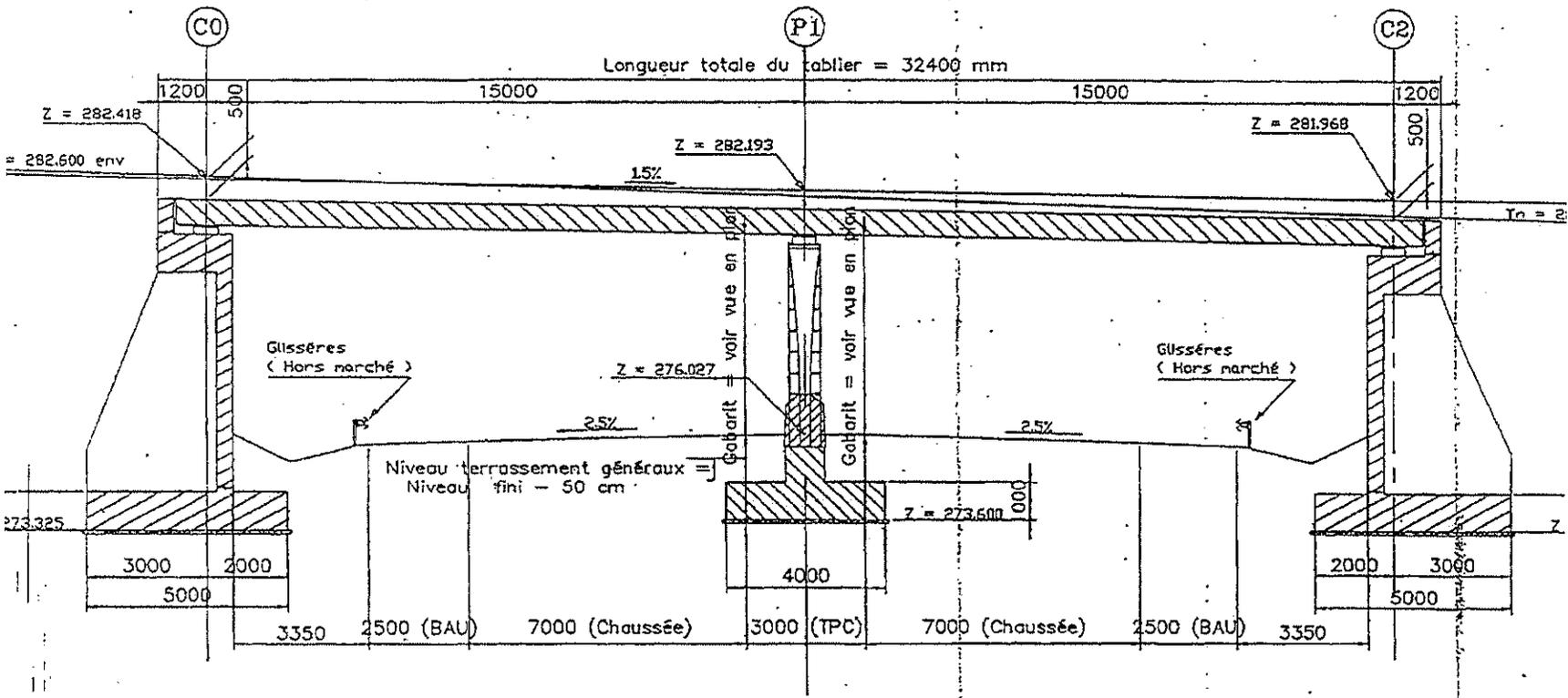
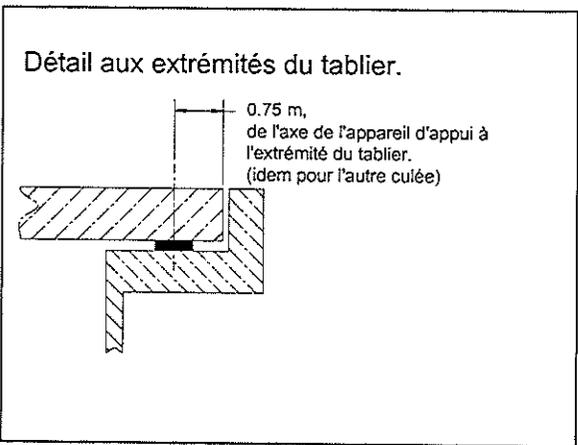
Poids volumique terre végétale allégée : 1300 daN/m^3

Poids au mètre de l'écran bois : 125 daN/m

Poids volumique étanchéité : 2400 daN/m^3

DOCUMENT TECHNIQUE 2:DT2

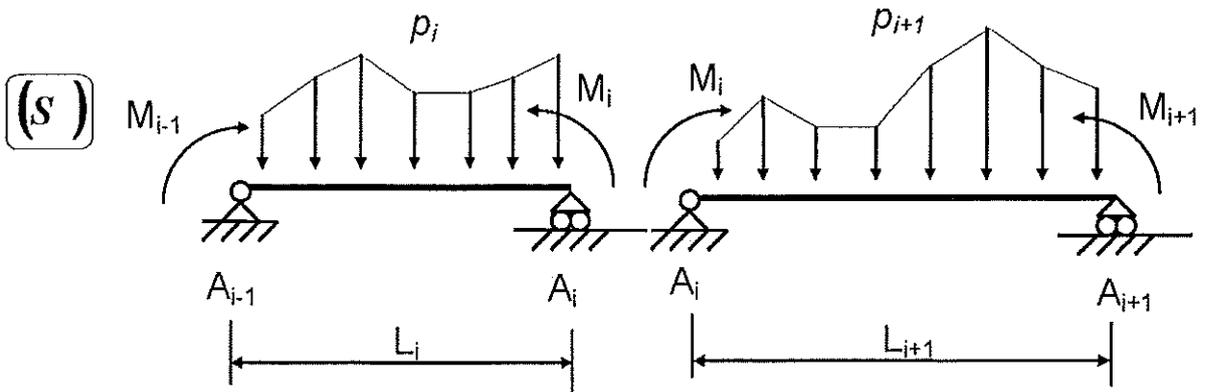
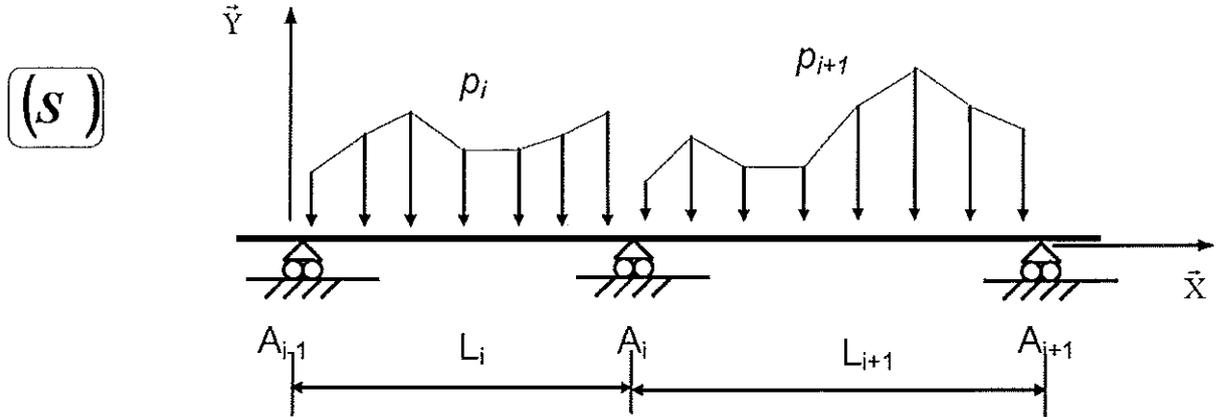
COUPE LONGITUDINALE DROITE



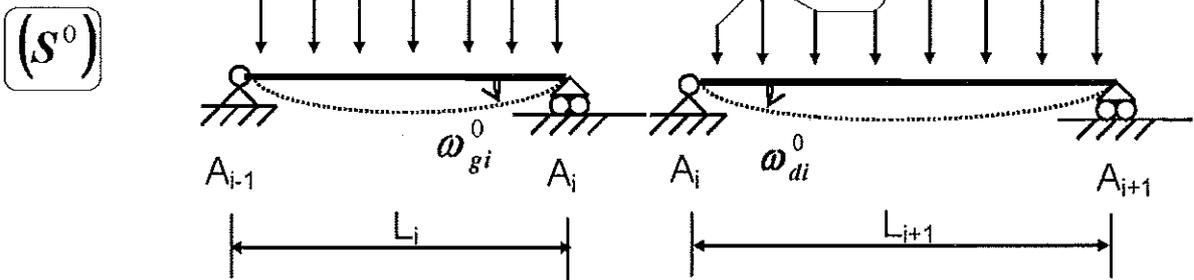
DOCUMENT TECHNIQUE 3 :DT3

7.1 Théorème des 3 moments (formule de Clapeyron) :

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



Système isostatique associé

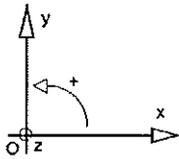


$$L_i M_{i-1} + 2(L_i + L_{i+1}) M_i + L_{i+1} M_{i+1} = 6EI (\omega_{di}^0 - \omega_{gi}^0)$$

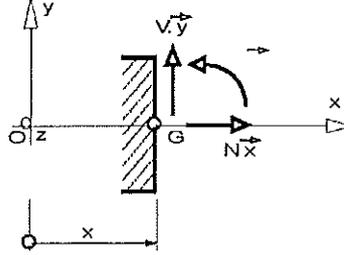
6 ROTATIONS ET FLECHES POUR DES POUTRES ISOSTATIQUES COURANTES

CONVENTIONS DE SIGNES ET DE REPRÉSENTATION

Repère



Éléments de réduction



Liaisons

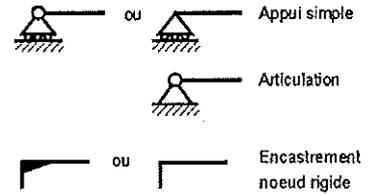
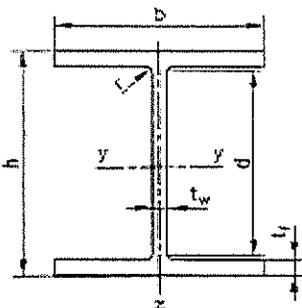


Schéma mécanique	Rotation aux appuis	Flèche
	$\omega_A = -\frac{pL^3}{24EI}$ $\omega_B = \frac{pL^3}{24EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{5pL^4}{384EI}$
	$\omega_A = -\frac{Fa}{6EIL}(L-a)(2L-a)$ $\omega_B = \frac{Fa}{6EIL}(L^2-a^2)$	pour $a \leq \frac{L}{2}$ $f_{(L/2)} = \frac{Fa}{48EI}(3L^2-4a^2)$
	$\omega_A =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

CARACTERISTIQUE DES POUTRELLES EUROPEENNES

3.6 Extraits catalogue de profilés



Poutrelles HEA (HEA 100 à 600)
NF A 45-201

	Dimensions						Masse par mètre P kg/m	Aire de la section Aire de cm ²	Surface de peinture		Caractéristiques de calcul									
	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	d mm			m ² /m	m ² /t	I _y cm ⁴	W _{el,y} cm ³	I _y cm	W _{pl,y} cm ³	A _{ex} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el,z} cm ³	I _z cm	W _{pl,z} cm ³	A _{eff} cm ²
HEA 100	98	100	5.0	8.0	12	58	18.7	21.2	0.581	33.68	349.2	72.8	4.06	83.0	7.6	133.9	28.8	2.51	41.1	18.9
HEA 120	114	120	5.0	8.0	12	74	19.9	25.3	0.677	34.06	606.2	106.9	4.89	119.5	8.5	230.9	38.5	3.02	58.9	20.1
HEA 140	133	140	5.5	8.5	12	92	24.7	31.4	0.794	32.21	1033.1	155.4	5.73	173.5	10.1	399.3	55.8	3.52	84.8	24.8
HEA 160	152	160	6.0	9.0	15	104	33.4	38.8	0.908	29.78	1679.0	220.1	6.57	245.1	13.2	615.5	76.8	3.98	117.6	30.1
HEA 180	171	180	6.0	9.5	15	122	35.5	45.3	1.024	28.93	2510.3	293.8	7.45	324.9	14.5	924.6	102.7	4.52	156.5	35.5
HEA 200	190	200	6.5	10.0	18	134	42.3	53.8	1.138	28.89	3602.2	388.8	8.28	429.5	18.1	1335.6	139.8	4.88	203.8	41.8

❖ Classement des sections transversales

La classification des sections transversales permet de préjuger de leur résistance ultime en flexion et / ou compression, compte tenu du risque de voilement local. Elle permet :

- de guider le choix du type d'analyse globale de la structure (élastique ou plastique),
- de fixer les critères à vérifier pour les sections et les éléments.

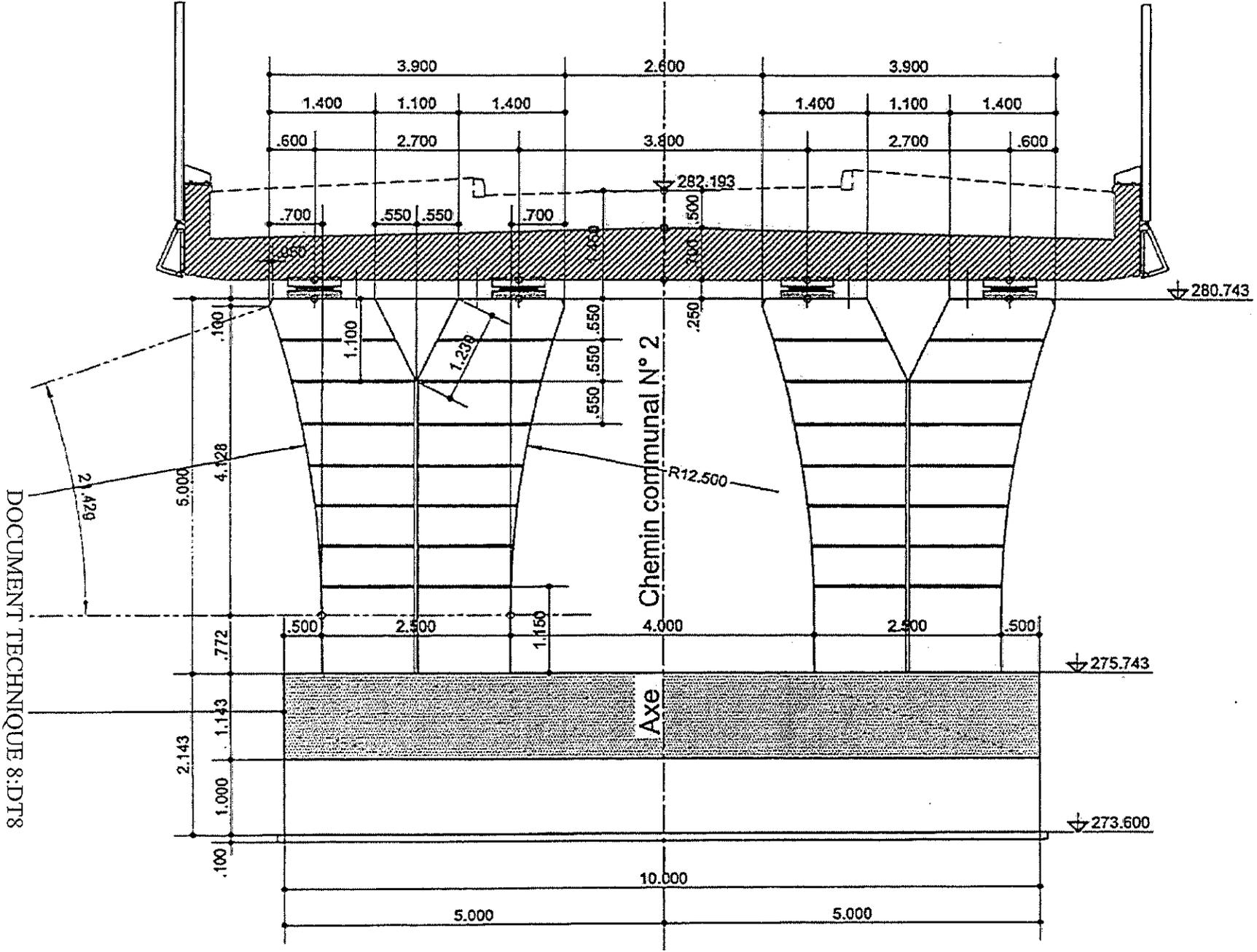
<p>L'Eurocode 3 définit une classification des sections en fonction des critères :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Élancement des parois, • Nature de la sollicitation, • Résistance de calcul, • Capacité de rotation plastique, • Risque de voilement local, etc ... 	➔	<p>Les différentes sections ont été réparties en 4 classes allant de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la classe 1 (la plus performante) <li style="text-align: center;">à - la classe 4 (la plus fragile).
--	---	---

Tableau : classification des sections

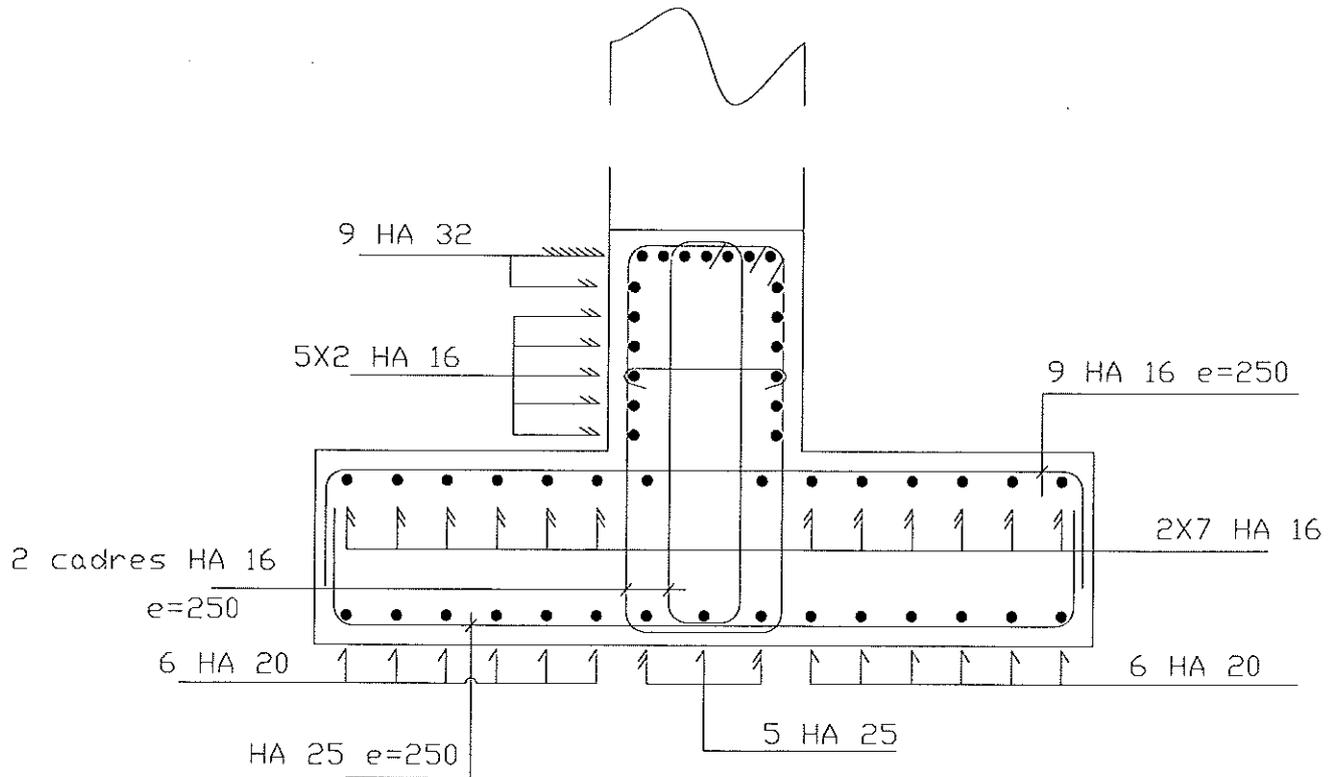
Classe	Modèle de comportement	Résistance de calcul	Capacité de rotation plastique
1			Importante
2			Limitée
3			Aucune
4			Aucune

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

ÉLEVATION DE LA PILE



SCHEMA DES ARMATURES DE LA SEMELLE ET DU RAIDISSEUR DE LA PILE



DOCUMENT TECHNIQUE 10:DT10

13.10 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 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 diagramme élasto-plastique parfait
 $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$
 $p_u = 1,35g + 1,5q \text{ kN/m}$
 moment de flexion ELU $M_{Ed} = M_u$

$d \leq 0,9h$
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$
 $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10\text{mm}\}$
 Enrobage nominal : $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w d^2 f_{cd}}$$

Decision diamond: $\mu_u \leq 0,3717$

Oui
 Pas d'armatures comprimées : $A_{s2} = 0$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$$

$$z_u = d(1 - 0,4\alpha_u)$$

$$A_{s1} = \frac{0,8\alpha_u b_w d f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$A_{s1} = \frac{M_u}{z_u f_{yd}}$$

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w d} = 0,8\alpha_u \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

NON
 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 : $s \leq 15\phi$.

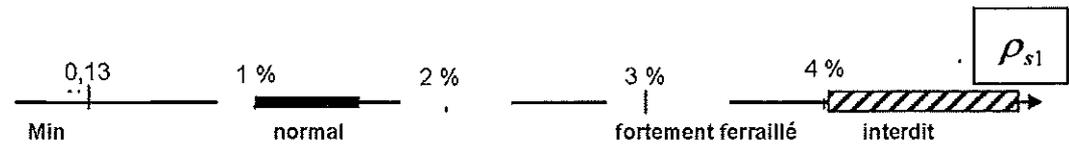
9.2.1.2 (3)

Sections minimale et maximale d'armatures longitudinales tendues :
 Clause 9.2.1.1
 $A_{s1} > A_{s,min} = \max\left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_w d ; 0,0013 b_w d\right]$
 $A_{s1} < 0,04 A_c$ avec A_c aire de la section droite de béton

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

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.



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TRAVAUX PUBLICS

Epreuve E4

ETUDE DES OUVRAGES

Unité U41

MECANIQUE DES STRUCTURES

DOCUMENTS REPONSES

C.R.D.P.

75, cours Alsace et Lorraine
33075 BORDEAUX CEDEX
Tél. : 05 56 01 56 70

ACTION PERMANENTES (G1)	nombre	dimension transversale (m)	épaisseur (m)	pois volumique daN/m ³	pois daN/ml			
Enduit bicouche ép 10 cm								
GNT (0/20) ép 50 cm								
Matériau R61 ép 80 cm								
étanchéité ép 3 cm								
longrine BA								
TABLIER BETON								
Terre végétale allégée	2	3 m ²					coefficient	sous total pondéré
				sous total non pondéré				
ACTION PERMANENTES (G2)				nombre	pois au m daN/m	pois daN/ml		
écran bois								
Bordure T2							coefficient	sous total pondéré
					sous total non pondéré			
ACTIONS D'EXPLOITATION (Q)		nombre	longueur (m)	surface m ²	charge au m ² daN/m ²	pois daN/ml	coefficient	sous total pondéré
charges hors chaussée								
							total	1,35 (G) +1,5 (Q)

