



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**

session 2011

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR TRAVAUX PUBLICS

SESSION 2011

Documents Remis :	
Travail demandé	Pages 1/6 à 6/6
Documents Techniques	Pages 1/7 à 7/7

EPREUVE E. 4 ETUDE DES OUVRAGES

SOUS EPREUVE: U.41
**MECANIQUE DES
STRUCTURES**

Durée: 4 h
Coefficient: 3

Aucun document autorisé

Matériel autorisé :

Calculatrice (circulaire n°99-186 du 16/11/99 , BO n°42 du 25/1 1/99)

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR TRAVAUX PUBLICS

SESSION 2011

<u>Barème :</u>		<u>sur 20 points</u>
Etude I	I.1	2
	I.2	1
	I.3	1
Etude II	II.1	2
	II.2	5
	II.3	5
Etude III	III.1	1,5
	III.2	2,5

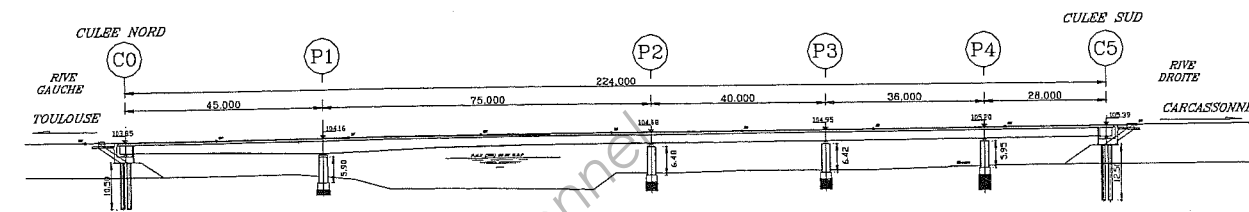
EPREUVE E.4 ETUDE DES OUVRAGES

SOUS EPREUVE: U.41
MECANIQUE DES
STRUCTURES

TRAVAIL DEMANDE

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

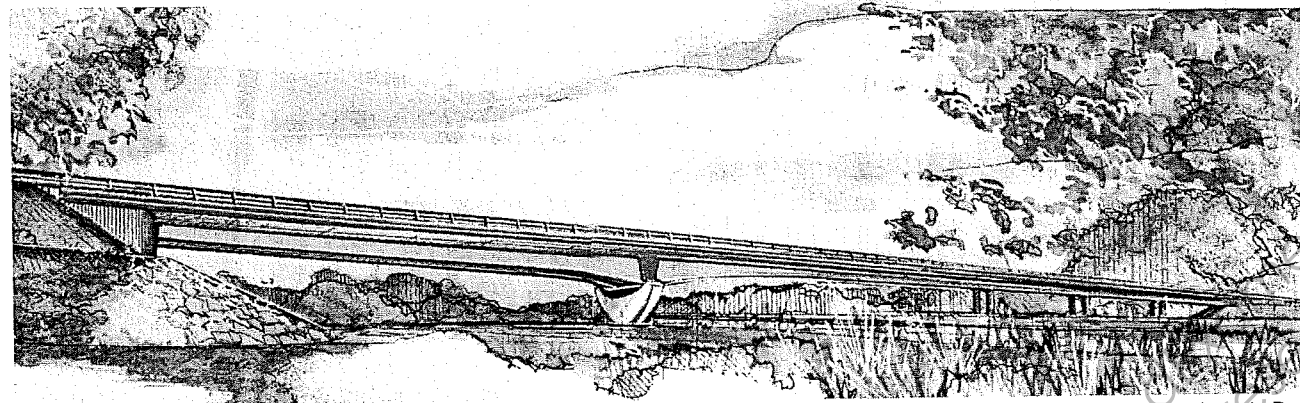
Les travées font 45 m et 75 m au-dessus de l'Aude, puis 40 m, 36 m et 28 m au delà.



Les appuis intermédiaires sont réalisés par une pile architecturée en rive gauche (P1) et par 3 piles à deux colonnes en rive droite (P2, P3 et P4).

PRESENTATION

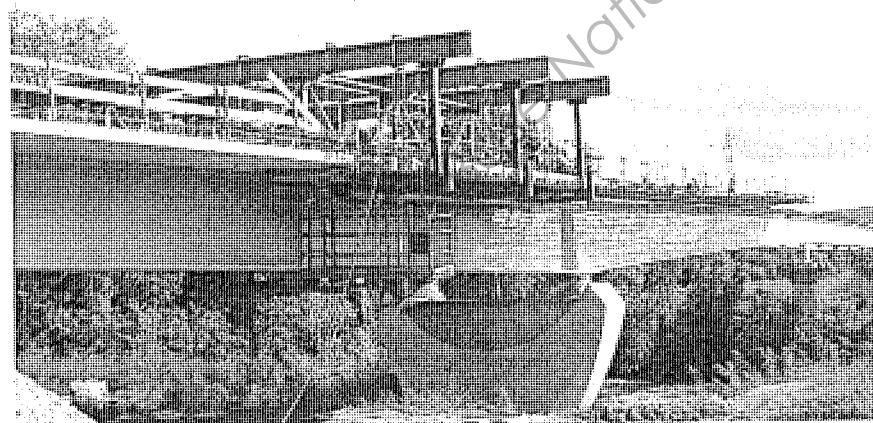
Le Pont sur l'Aude s'inscrit dans le projet de la rocade Nord - Est de Carcassonne. Long de 224 mètres, il permet le franchissement de l'Aude à deux voies de circulation de 3,50 m.



Esquisse du Pont

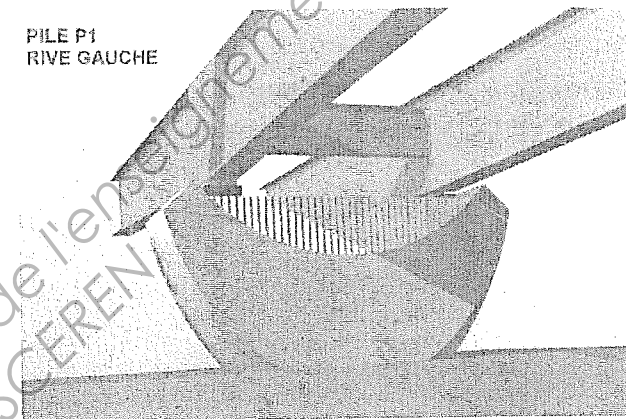
Il est de type mixte avec charpente bipoutre, sa hauteur variant de 2 m en partie courante à 3 m sur la pile P1. La structure métallique en Profilés Reconstitués Soudés (PRS) d'environ 565 tonnes sera lancée en 2 phases.

L'ossature métallique porte un hourdis béton de 28 cm d'épaisseur et de 12,40 m de largeur. Le hourdis sera coulé en 18 plots de 13 m environ.

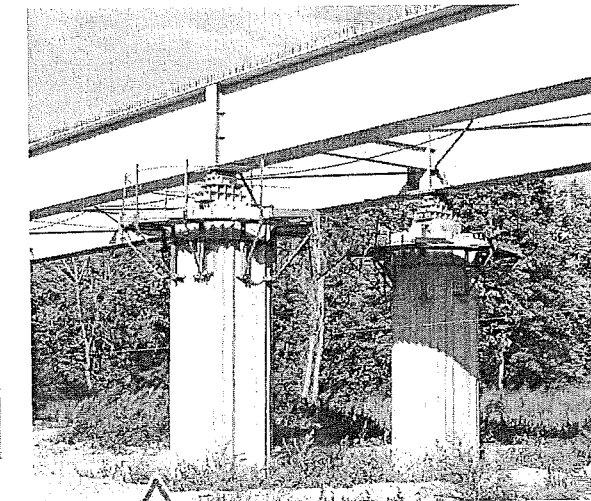


PILE P1

PILE P1
RIVE GAUCHE



PILES P2 P3 et P4



Le chantier comprend aussi la réalisation des remblais d'accès à l'ouvrage représentant environ 70 000 m³ de remblais d'apport qui constitueront en phases provisoires les plateformes de forage des pieux des culées et d'assemblage de la charpente métallique (en rive gauche de l'Aude).

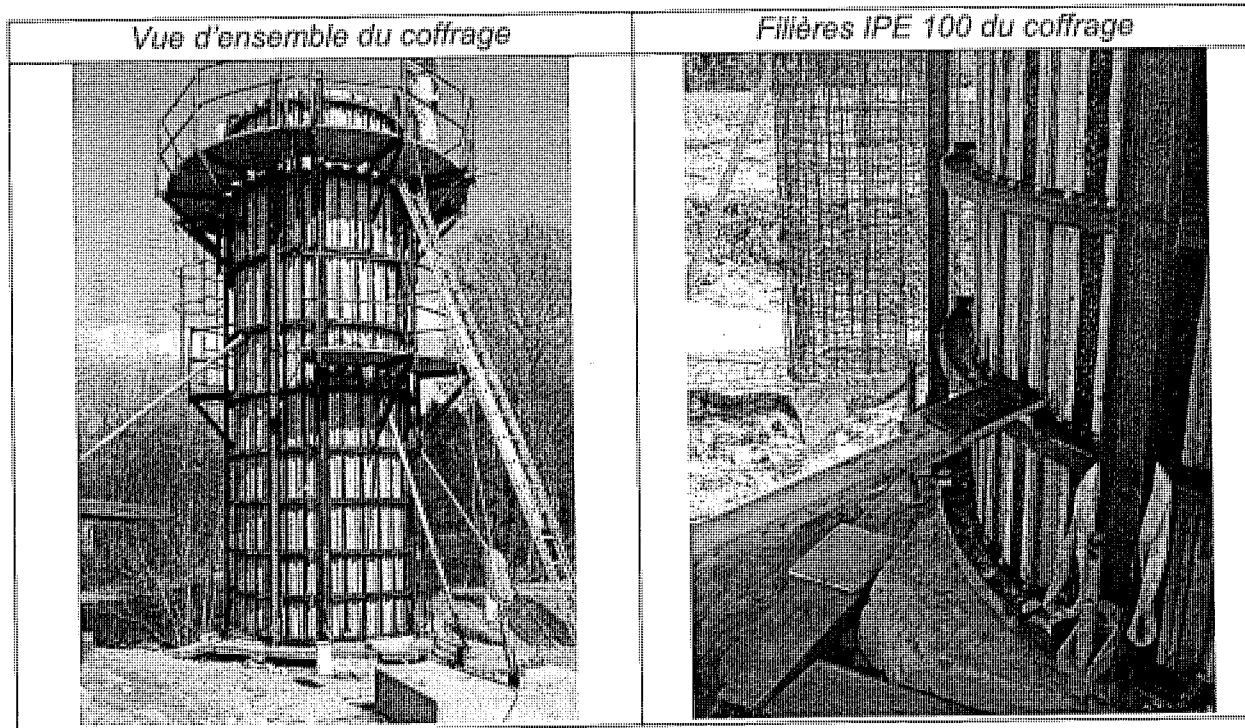
L'ouvrage nécessite 2155 m³ de béton et 307 tonnes d'armatures pour béton armé.

Le délai des travaux est de 16 mois.

Les pièces graphiques de l'ouvrage se trouvent dans les documents techniques DT1 et DT2.

ETUDE 1: REALISATION DES PILES P2 A P4 – VERIFICATION DU COFFRAGE

Les piles P2, P3 et P4 sont constituées de deux fûts cylindriques avec un parement constitué de cannelures de 15 cm de profondeur (voir DT2). Les cannelures sont coffrées avec des éléments de contre-plaqué qui sont repris par des filières métalliques. Ces filières sont réalisées avec des profilés IPE 100 cintrés à un diamètre de 2,44 m.


Objectif de l'étude :

L'objectif des calculs est de vérifier les contraintes de traction dans les filières métalliques IPE 100 qui ceinturent le coffrage lors du bétonnage.

Hypothèses :

- Aire de la Section des fûts de pile : 3,61 m²
- Cadence de bétonnage : 12 m³/h,
- Température lors de la mise œuvre 15°C
- Affaissement du béton frais : 10 cm
- Filière IPE 100 de limite élastique $f_y = 235$ MPa
- Hauteur des fûts de la Pile P2 = 6,83 m

Document Technique : DT3, DT5

Pour les fûts de la pile P2 uniquement, on vous demande de:

Questions 1.1

- Déterminer la vitesse de bétonnage V_b en m/h lors du bétonnage des fûts de la pile P2.
- En déduire la pression maximum du béton frais en kN/m² avec le document technique DT3.
- Faire un schéma de la répartition des pressions sur la hauteur du coffrage lors du bétonnage des fûts de la pile P2.

Question 1.2

- Déterminer l'effort de traction N_{ED} dans une filière basse du coffrage qui reprend une pression de béton frais constante de 130 kN/m² sur une hauteur de 0,60 m.

Par sécurité, on appliquera une majoration de 1,5 sur la pression du béton.

Questions 1.3

Nous vérifions la filière en partie courante en considérant la section A du profilé IPE 100.

- Vérifier que les contraintes dans le profilé restent inférieures à la limite élastique f_y de l'IPE 100.
- L'objectif de l'étude 1 est-il atteint ?

ETUDE 2: ETUDE DE L'OSSATURE METALLIQUE LORS DU LANCEMENT

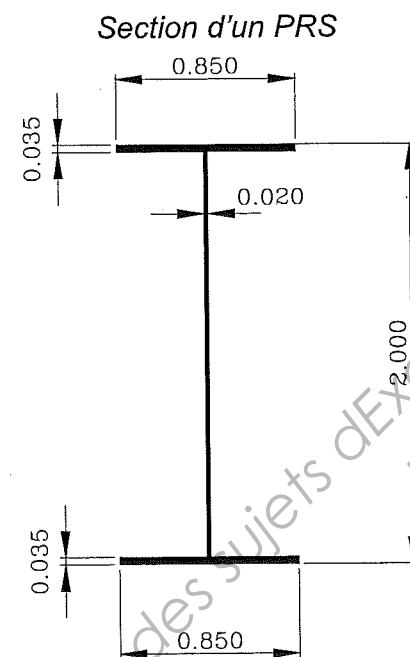
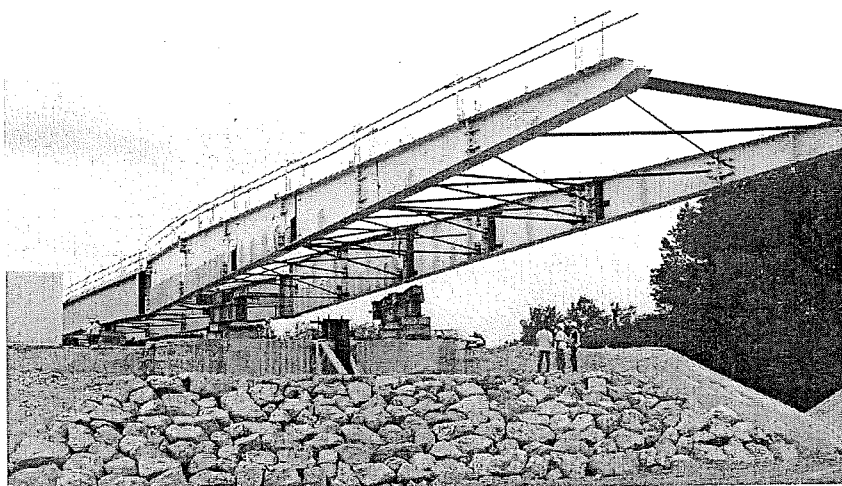
Objectif de l'étude 2 :

L'objectif de cette étude est de vérifier la résistance des poutres longitudinales de l'ossature métallique lors du lancement, en suivant les règles de l'Eurocode 3.

Hypothèses :

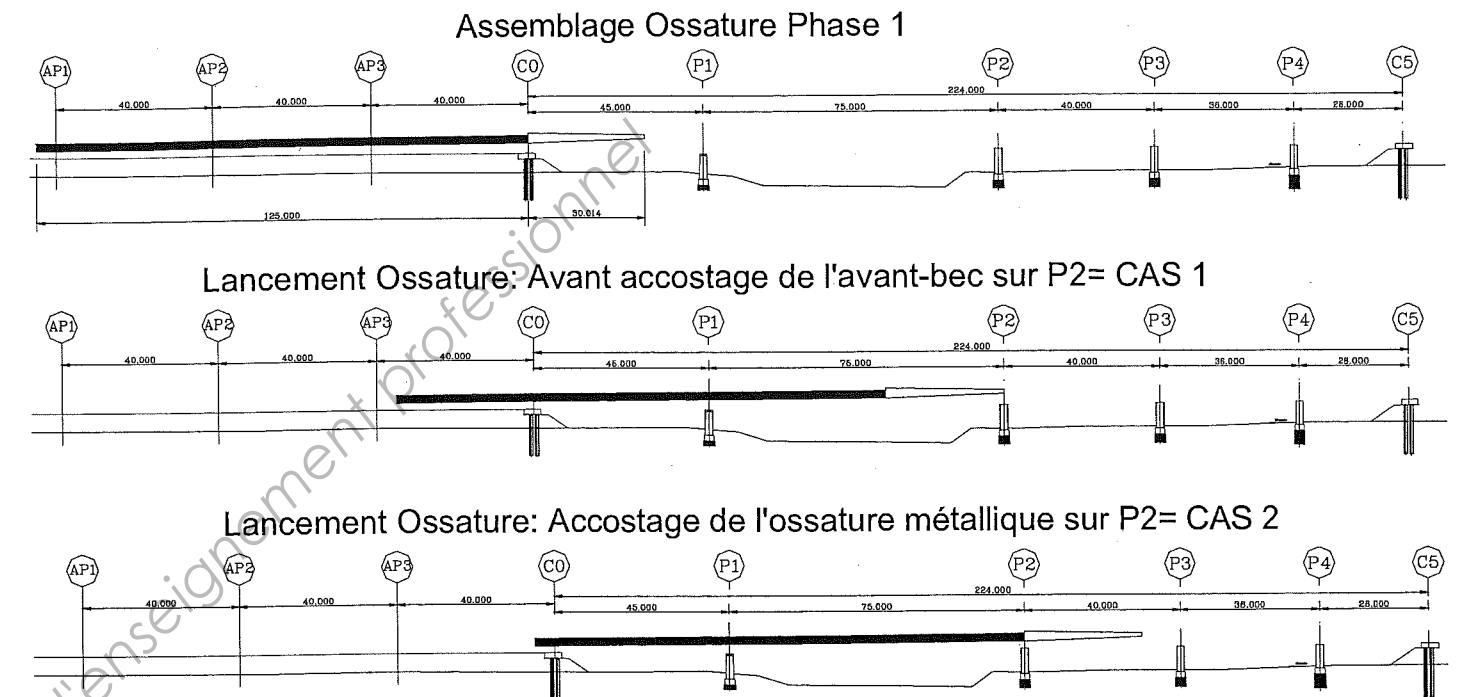
- Les 2 poutres longitudinales de l'ossature métallique sont des PRS (Profilés Reconstitués Soudés) que l'on suppose de section constante. La section est définie sur le schéma ci-dessous.
- Les 2 PRS sont reliés par des entretoises qui amènent une surcharge de poids propre sur le PRS de 1,6 kN/m.

Avant-bec de 30m



- Pour faciliter le franchissement de l'ossature métallique au-dessus de l'Aude (travée de 75 m), on met en place un avant-bec de 30 m de longueur que l'on suppose également de section constante et d'un poids de 8,5 kN/m.
- L'ensemble de l'ossature est lancée en 2 phases.

Le principe du lançage de la phase 1 est le suivant :



Caractéristiques des matériaux et des charges:

- ⇒ Ossature métallique en acier **S 355** : Limite élastique $f_y = 355$ MPa
- ⇒ Poids volumique de l'acier : $78,5$ kN / m³

Question 2.1 : Caractéristiques de l'ossature métallique (Document Technique : DT4)

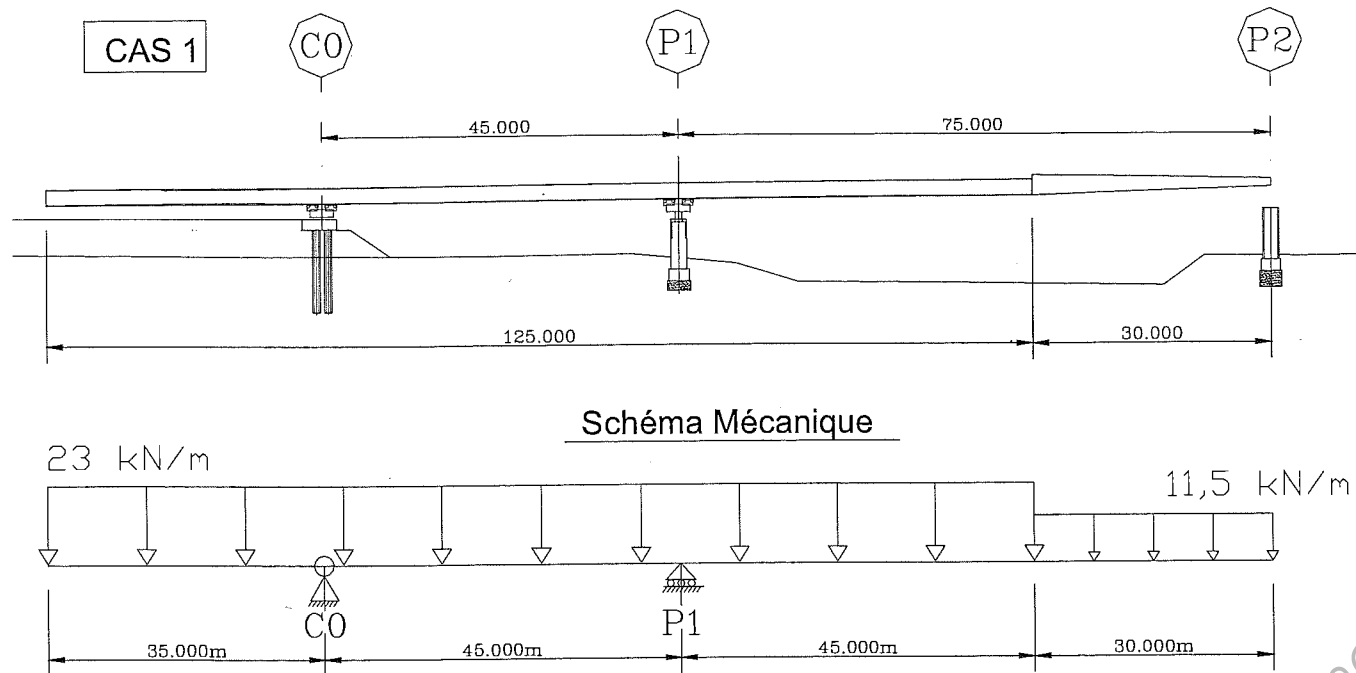
On vous demande de:

- Déterminer le poids linéique en kN/m de l'ossature métallique (2 PRS + Entretoises).
- Déterminer le moment quadratique I_{Gz} des 2 PRS.
- Déterminer le module de résistance élastique à la flexion $W_{el,z,min}$ des 2 PRS.

Question 2.2 : Etude du CAS 1 (Document Technique : DT5)

Le cas 1 est une étape du lancement lorsque l'avant-bec est juste avant l'appui P_2 , mais sans contact avec l'appui P_2 . Les PRS ont une section de Classe 3.

Le schéma mécanique pour un calcul à l'ELU est alors le suivant :



On vous demande de:

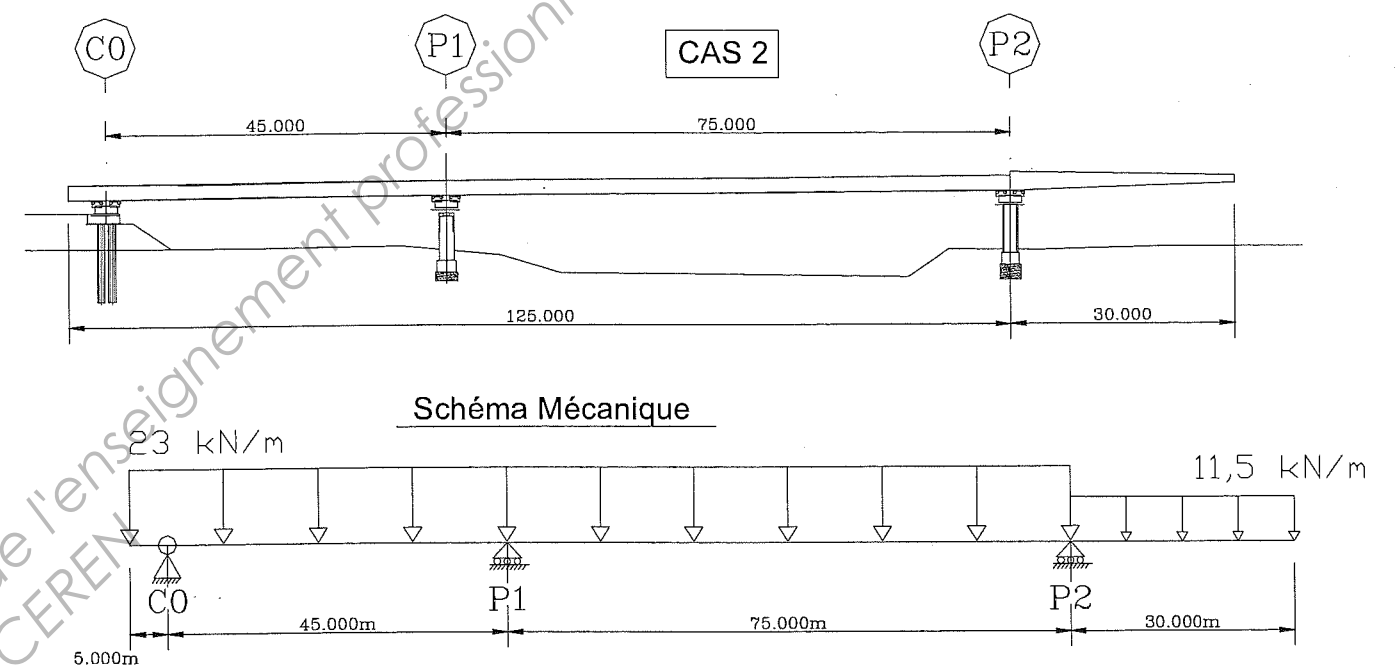
- Déterminer les actions de liaisons en C_0 et en P_1 .
- Tracer les diagrammes représentatifs des Efforts Tranchants $V(x)$ et des Moments Fléchissants $M(x)$ le long des PRS et de l'avant-bec en indiquant les valeurs particulières.
- Calculer l'effort tranchant résistant $V_{pl,Rd}$ des 2 PRS (nuance S355).
- Calculer le Moment résistant élastique $M_{el,Rd}$ des 2 PRS (Profilés de classe 3, Nuance S 355).
- L'objectif de l'étude 2 est-il atteint pour le cas 1 ?

On prendra comme valeur de module résistant élastique des 2 PRS $W_{el,min} = 0,13884 \text{ m}^3$

Question 2.3 : Etude du CAS 2 (Documents Techniques : DT5 & DT6)

Le cas 2 correspond à la fin du lancement lorsque l'ossature métallique est en appui sur P_2 . Les PRS ont une section de Classe 3.

Le schéma mécanique pour un calcul à l'ELU est alors le suivant :



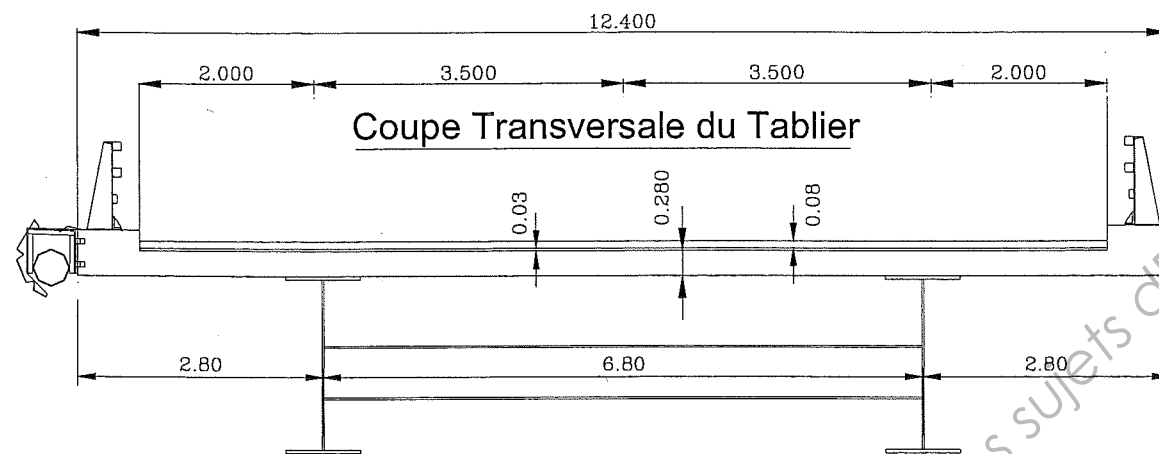
On vous demande de:

- Calculer les moments fléchissant M_0 et M_2 sur les appuis C_0 et P_2 .
- En utilisant le théorème des 3 moments, calculer le moment fléchissant M_1 .
- Tracer les diagrammes représentatifs des Efforts Tranchants $V(x)$ et des Moments Fléchissant $M(x)$ le long des PRS et de l'avant-bec en indiquant les valeurs particulières.
- L'objectif de l'étude 2 est-il atteint pour le cas 2 ?

ETUDE 3: Etude transversale de la dalle béton armé du tablier:

Objectif de l'étude 3 : L'objectif de cette étude est de calculer les armatures transversales du tablier au droit des poutres métalliques en suivant les règles de l'Eurocode 2.

Mise en place
des cages
d'armatures
préfabriquées
du tablier

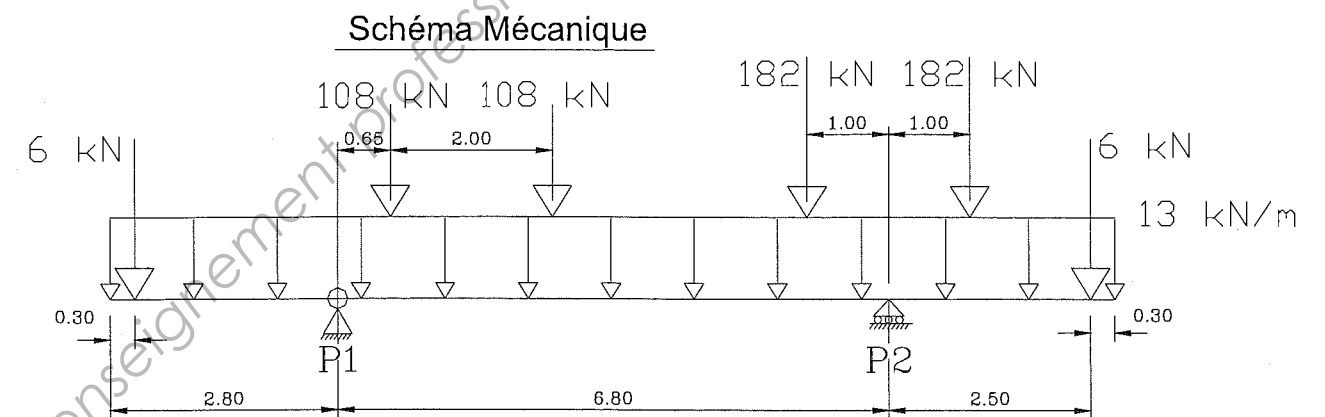


- ⇒ L'étude portera sur une tranche de 1.00 m de tablier.
- ⇒ Les appuis constitués par les poutres métalliques de l'ossature seront positionnés sur l'axe des poutres (Appui P_1 et P_2).
- ⇒ Béton de la dalle du tablier: C 35/45 dosé à 400 kg/m^3 de CEM I 42.5
Poids volumique du béton armé : 25 kN/m^3
Armatures HA de la dalle du tablier de classe S 500
Enrobage des armatures du tablier : 30 mm
- ⇒ Revêtements sur Tablier
Chape d'étanchéité de 3 cm d'épaisseur et de poids volumique 23 kN/m^3
Couche de roulement de 8 cm d'épaisseur et de poids volumique 24 kN/m^3
- ⇒ Les corniches, contre-corniches et barrières amèneront une action ponctuelle supplémentaire aux ELU de 6 kN à 30 cm des extrémités de la dalle.
- ⇒ Les actions variables sont les actions des roues des véhicules qui sont modélisées par des actions ponctuelles. Aux ELU, ces actions valent 108 et 182 kN.

Question 3.1 : Moment fléchissant M_2 sur l'appui P_2

On vous demande de:

- Montrer que le poids du tablier et des revêtements amènent une action linéaire répartie aux ELU de 13 kN/m (pondération de 1,35).



A partir du schéma mécanique aux ELU ci-dessus, calculer le moment M_2 sur l'appui P_2 .

Question 3.2 – Dimensionnement ELU de la section de la dalle au droit de l'appui P_2

Hypothèses :

- L'étude portera toujours sur une tranche de 1.00 m de tablier, donc $b_w = 1.00 \text{ m}$
- Le moment sur l'appui P_2 vaut : $M_{ED} = - 248 \text{ kN.m}$
- Les conditions d'enrobage des armatures nous imposent une hauteur utile $d = 23 \text{ cm}$.

Document Technique : DT7

On vous demande de:

- Déterminer les valeurs de calcul de la contrainte de compression du béton f_{cd} et de la contrainte de traction des armatures f_{yd} aux ELU.
- Calculer le bras de levier acier-béton z_u .
- Calculer la section d'armatures tendues A_s .
- Choisir des armatures et dessiner une coupe schématique des armatures dans la section étudiée.
- Calculer le pourcentage d'acier mis en œuvre. Est-il correct ?

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR TRAVAUX PUBLICS

SESSION 2011

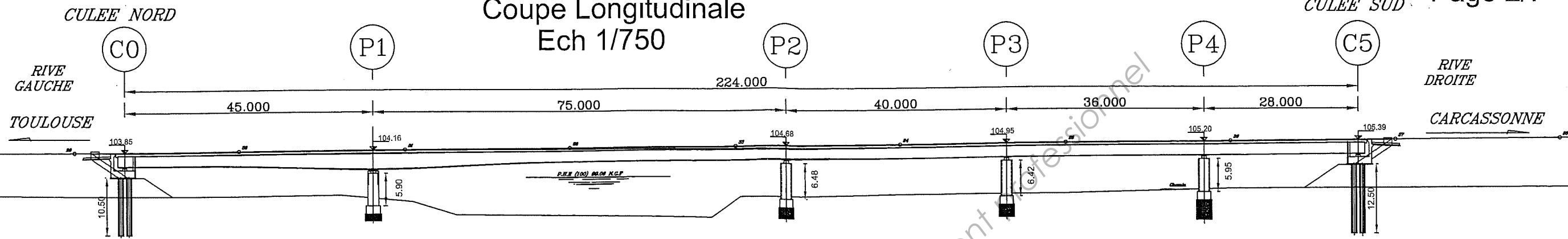
EPREUVE E. 4
ETUDE DES OUVRAGES

SOUS EPREUVE: U.41
**MECANIQUE DES
STRUCTURES**

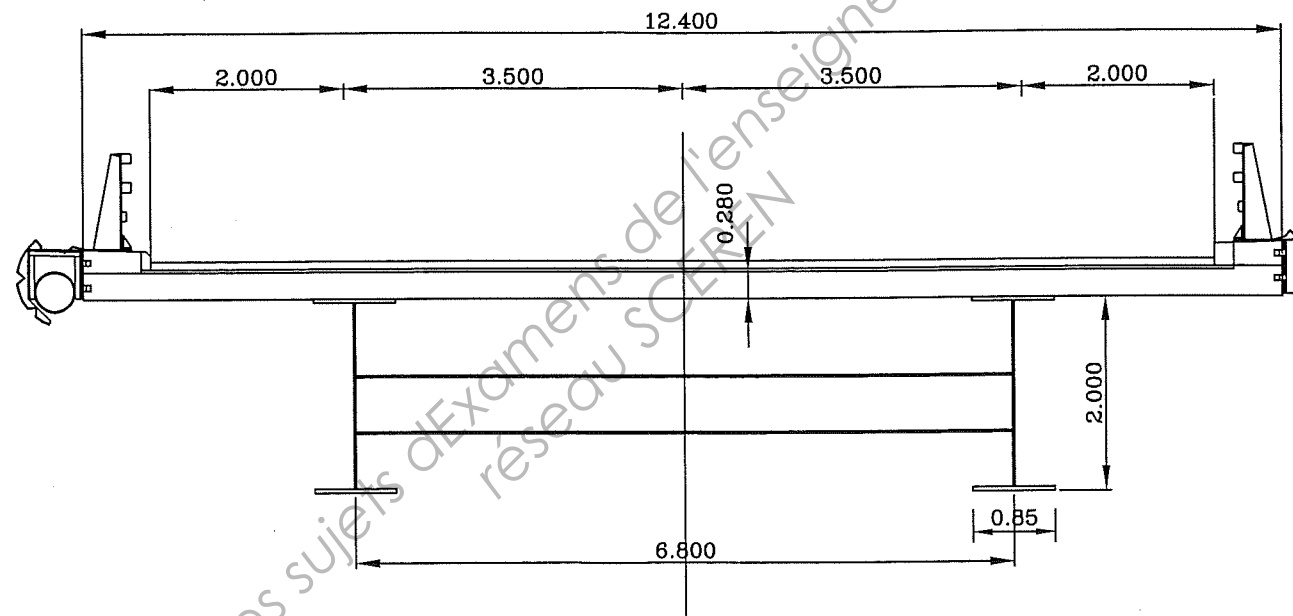
DOCUMENTS TECHNIQUES

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
réseau SCEREN

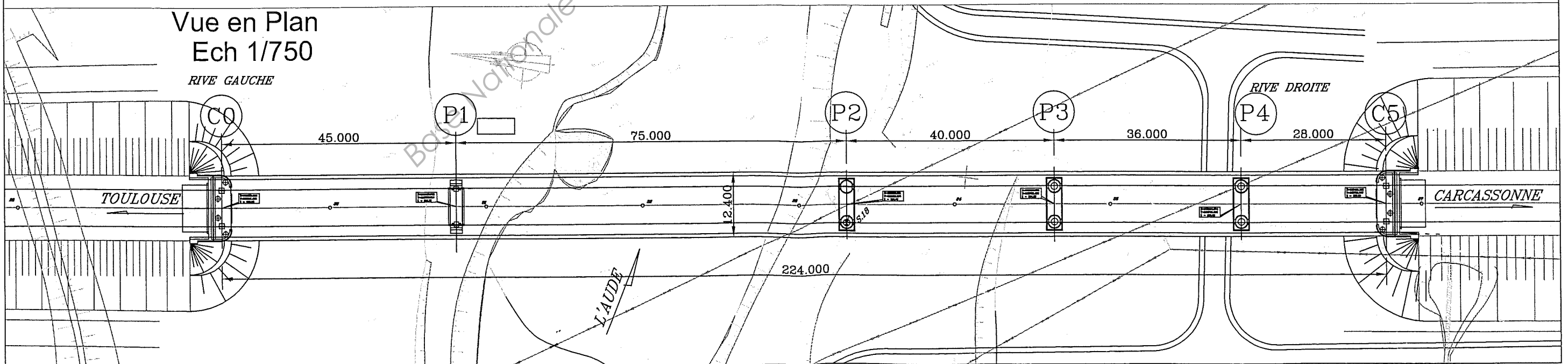
Coupe Longitudinale Ech 1/750



Coupe Transversale Tablier Simplifié Ech 1/75



Vue en Plan Ech 1/750

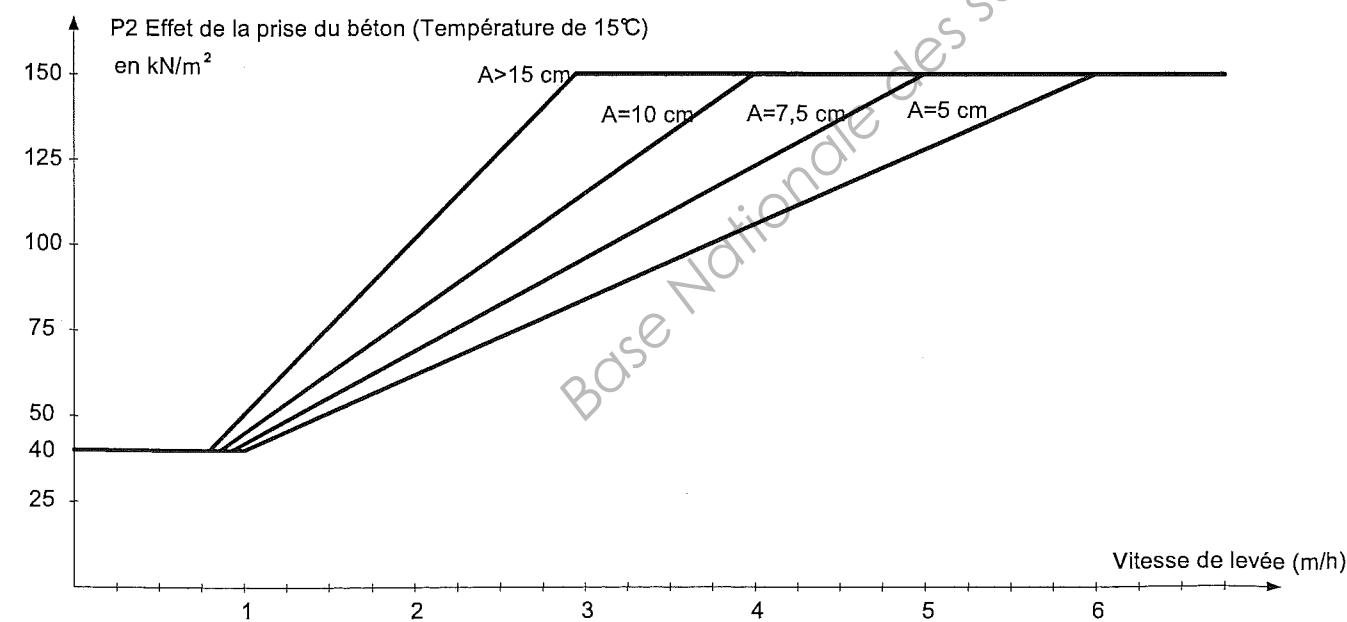
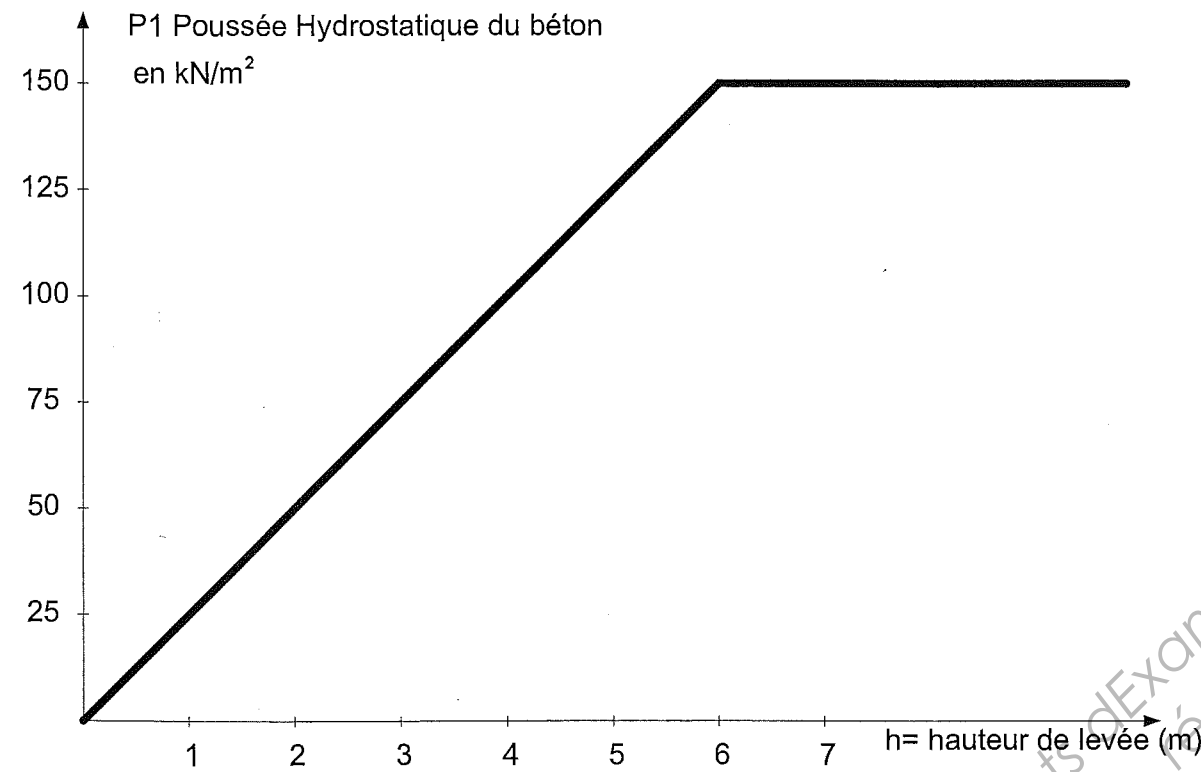


DOCUMENT TECHNIQUE DT3

Pression du béton frais

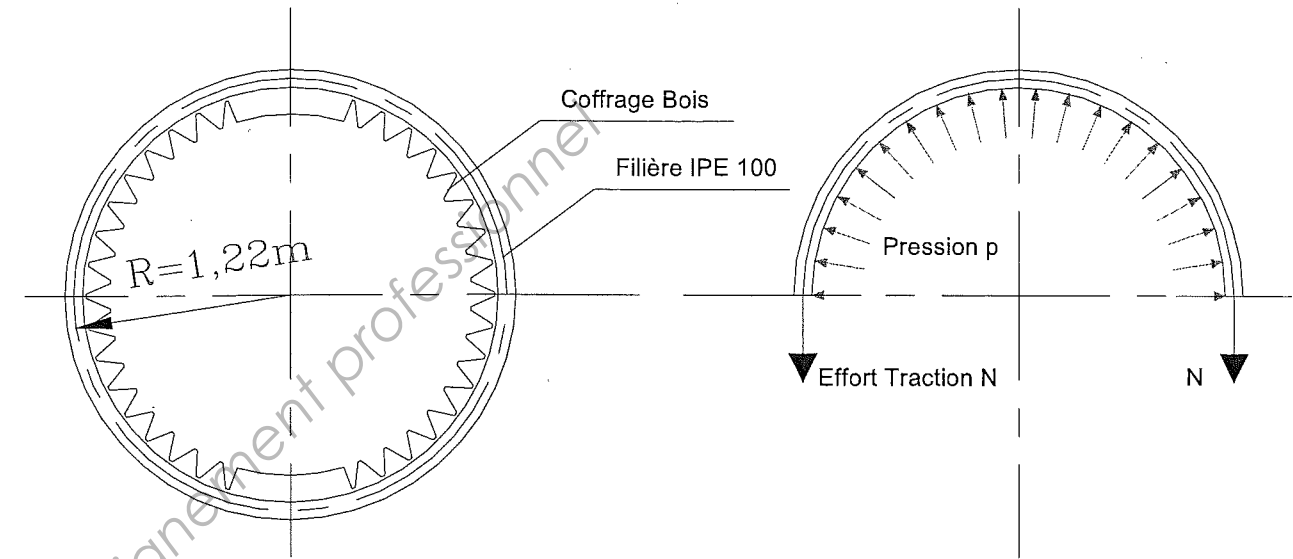
Dans notre cas de coffrage, la poussée P du béton frais à retenir est la plus faible des 2 valeurs P1 ou P2.

$$P = \text{Min} (P1, P2)$$



DOCUMENT TECHNIQUE DT3

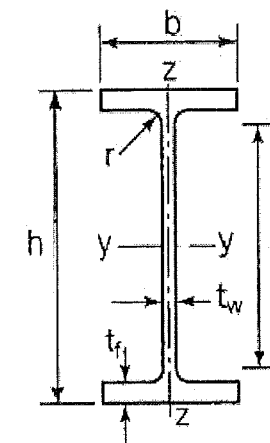
Formule des tuyaux



Effort de Traction dans les filières :

$$N_{ED} = p \times R \times h$$

p pression du béton
R Rayon à l'axe de la filière
h Hauteur de reprise de la filière



Caractéristiques des profilés IPE

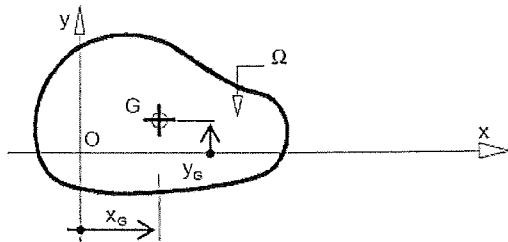
Les axes et désignations sont conformes à l'Eurocode 3.

Profil	h	b	t _w	t _f	r	Masse par mètre P	Aire de la section A	Moment quadratique I _y	Module de résistance élastique à la flexion W _{el,y}	Rayon de giration i _y	2 · S _y
											Module plastique W _{pl,y}
	mm	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³
80	80	46	3,8	5,2	5	6,0	7,64	80,1	20,0	3,24	23,2
100	100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,3	171,0	34,2	4,07	39,4
120	120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,2	317,8	53,0	4,90	60,7
140	140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,4	541,2	77,3	5,74	88,3
160	160	82	5,0	7,4	9	15,8	20,1	869,3	108,7	6,58	123,9
180	180	91	5,3	8,0	9	18,8	23,9	1 317,0	146,3	7,42	166,4
200	200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,5	1 943,2	194,3	8,26	220,6

DOCUMENT TECHNIQUE DT4 : Caractéristiques des Sections

3 Caractéristiques géométriques des sections droites :

3.1 Moments statiques



Théorème :
Le moment statique d'une surface Ω par rapport à un axe est égal au produit de l'aire A de Ω par l'ordonnée de son C. d. G. par rapport à cet axe.

$$S_x = A \times y_G \quad S_y = A \times x_G$$

3.2 Moments quadratiques

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

3.3 Rayon de giration

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DOCUMENT TECHNIQUE DT5 : EUROCODE 3 Aciers

11.4 Flexion simple : Moment fléchissant et effort tranchant (M et V) vérification simplifiée

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

11.4.1.2 Pour l'effort tranchant

On doit vérifier : $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$

Calcul plastique $V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,58 A_v \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

où V_{Ed} : effort tranchant (agissant) de calcul à l'E.L.U. ;

$V_{pl,Rd}$: effort tranchant résistant à l'E.L.U. ;

A_v : aire de cisaillement donnée dans les catalogues des caractéristiques des profilés.

	Laminés marchands : Les valeurs de l'aire plastifiée (A_v) sont données dans les tableaux de caractéristiques des profilés.		Profilés Reconstitués Soudés : Pour les P.R.S., la valeur de A_v est celle de l'âme seule
--	---	--	---

11.2 Valeurs des coefficients partiels de sécurité γ_M

Valeurs des coefficients partiels de sécurité γ_M sur les résistances pour le calcul aux ELU			
Résistance concernée	Symbole utilisé	Domaine d'application	Valeurs EC3-DAN
Résistance des sections	γ_{M0}	<ul style="list-style-type: none"> Résistance des sections : <ul style="list-style-type: none"> de classes 1, 2 ou 3 bénéficiant de la marque NF Acier dans les autres cas de classe 4 	1,00 1,00 1,00
	γ_{M2}	<ul style="list-style-type: none"> Résistance de section nette au droit des trous de boulons 	1,25

DOCUMENT TECHNIQUE DT6 : Rotations aux Appuis

6 ROTATIONS ET FLECHES POUR DES POUTRES ISOSTATIQUES COURANTES

CONVENTIONS DE SIGNES ET DE REPRÉSENTATION

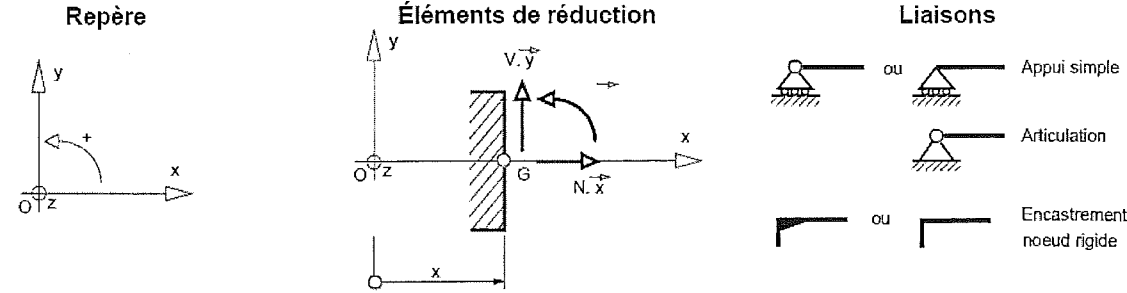


Schéma mécanique	Rotation aux appuis	Flèche
	$\omega_A = -\frac{pL^3}{24EI}$ $\omega_B = \frac{pL^3}{24EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{5pL^4}{384EI}$
	$\omega_A = -\frac{Fa}{6EIL}(L-a)(2L-a)$ $\omega_B = \frac{Fa}{6EIL}(L^2-a^2)$	pour $a \leq \frac{L}{2}$ $f_{(L/2)} = \frac{Fa}{48EI}(3L^2-4a^2)$
	$\omega_A =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

DOCUMENT TECHNIQUE DT6 : Théorème des 3 Moments

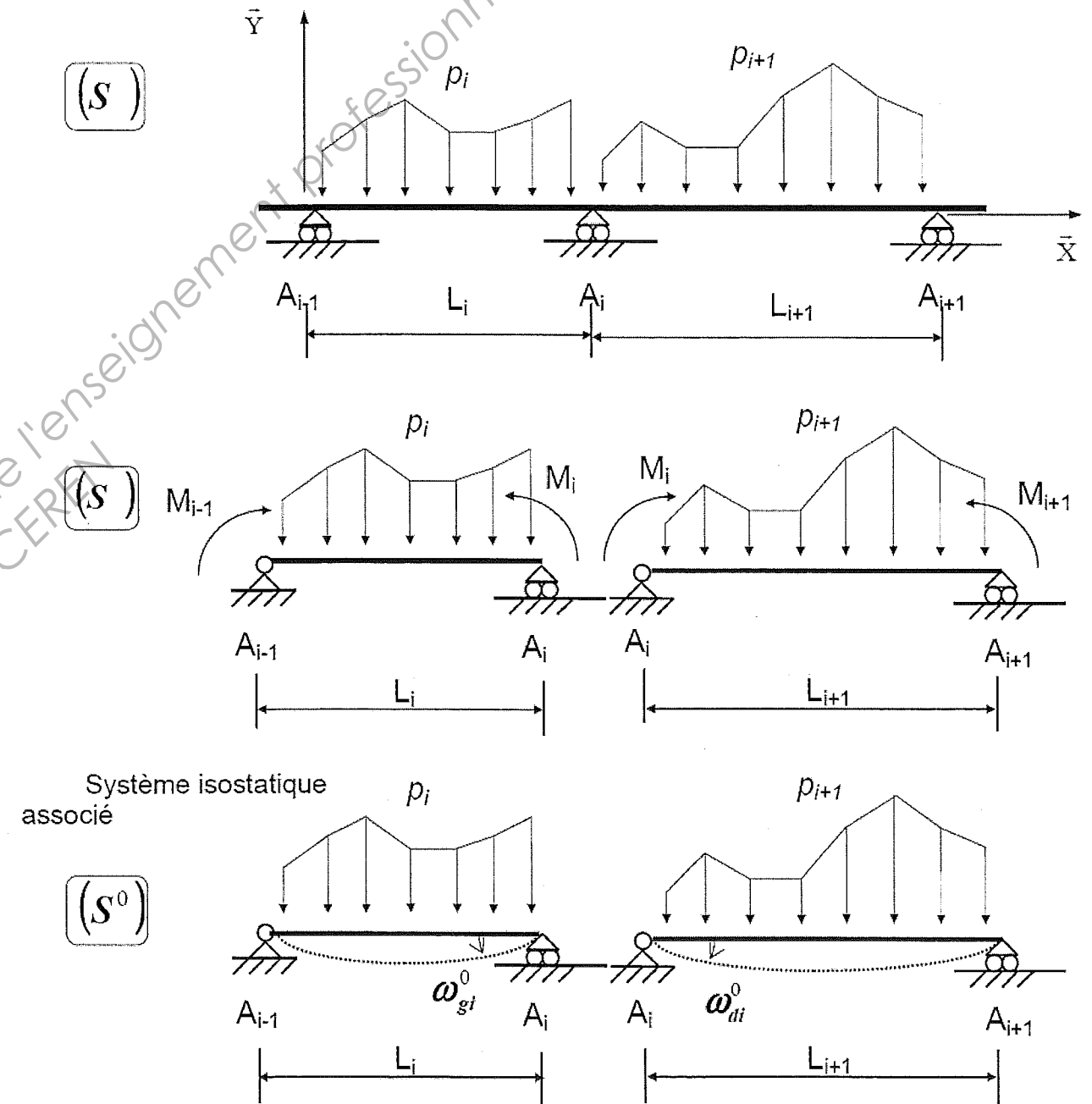
7.1 Théorème des 3 moments (formule de Clapeyron) :

Hypothèses : EI = constante sur l'ensemble de la poutre, en l'absence de dénivellations d'appuis.

(S)

(S)

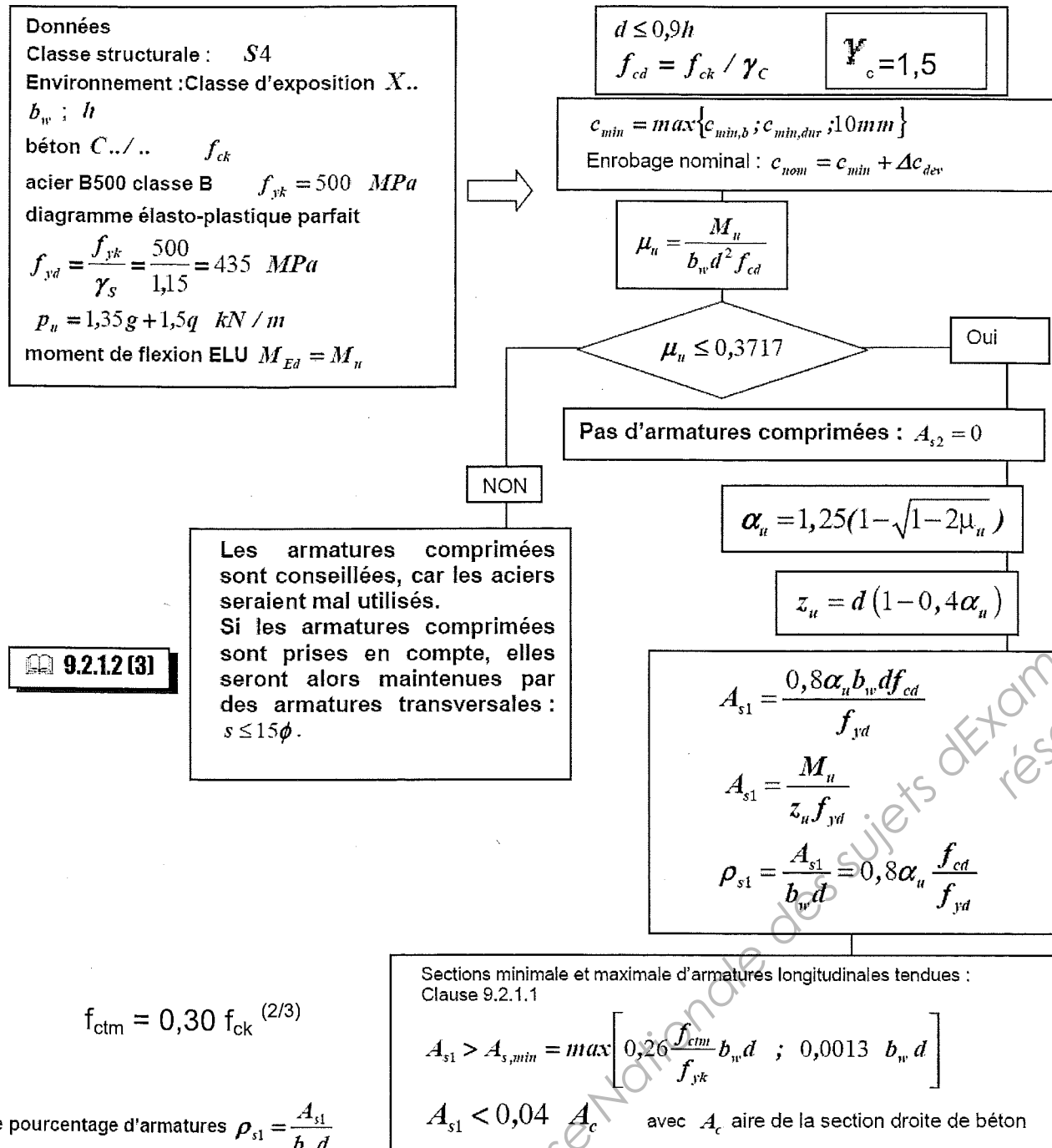
(S⁰)



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

DOCUMENT TECHNIQUE DT7 : EUROCODE 2 Béton

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



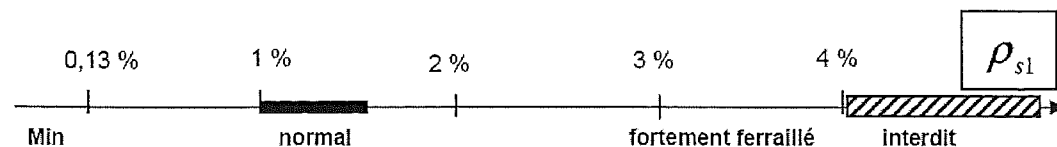
$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)}$

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.



13.19 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