

SESSION 2007

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR TRAVAUX PUBLICS

EPREUVE E4
ETUDE DES OUVRAGES

Sous épreuve : Unité U41

MECANIQUE DES STRUCTURES

Durée de l'épreuve : 4h

Coefficient : 3

Documents fournis :

Présentation générale de l'ouvrage

Sujet : 7 pages

Documents d'étude :

DE1 : Plan d'ensemble

DE2 : Vue en plan des ouvrages d'art

DE3 : Coupe longitudinale tablier amont

DE4 : Coupe transversale tablier amont

DE5 : phase de lancement

DE 6 : 1/2 Vue longitudinale d'une poutre du bi poutre

DE 7 : Caractéristiques géométriques des sections du bi poutre

DE 8 : Caractéristiques géométriques des sections IPE

DE 9 : Formulaire déplacements

DE 10 : Formule des 3 moments

DE 11 : Titre II du fascicule 61

Documents réponses :

DR 1 : Schéma mécanique en phase de lancement

DR 2 : Epure d'arrêt de barres

DR 3 : Etude hydraulique

Durées estimatives des questions et barèmes :

	Durée
Partie I : Phase lancement (7 points)	1 h 30'
1. Etude des charges 2. Schéma mécanique 3. Caractéristiques mécaniques 4. Contraintes 5. Déplacements	
Partie II : Phase définitive (7,5 points)	1 h 30'
1. Charges permanentes liées aux équipements 2. Charges d'exploitation de chaussée 3. Cas de charge 4. Sollicitations	
Partie III : Béton armé (2,5 points)	30'
1. Calcul 2. Tracé	
Partie IV : Hydraulique (3 points)	30'
1. Débit 2. Vitesse en fonction du débit 3. Vitesse en fonction de la géométrie 4. Hauteur d'eau 5. Vérification de dimensions	

Présentation générale de l'ouvrage

Pour le franchissement du BIEF DU LIEZ (MONTREAL LA CLUSE) de l'autoroute A40, il est prévu deux ouvrages d'art.

Document DE 1 : Plan d'ensemble

Un pont mixte « amont » à deux voies dans le sens OYONNAX → GENEVE-LYON

Un pont mixte « aval » à deux voies dans le sens GENEVE-LYON → OYONNAX

Document DE 2 : Vue en plan des ouvrages d'art

Chaque ouvrage de géométrie similaire repose sur deux culées C1 et C3 et sur une pile intermédiaire P2

Document DE 3 : Coupe longitudinale tablier amont

Chaque tablier en construction mixte, sera réalisé par lancement d'un bi-poutre en acier sur lequel seront clavetés des éléments préfabriqués en béton armé.

Document DE 4 : Coupe transversale tablier amont

Les rayons de courbures des ouvrages étant relativement grands, les tabliers seront étudiés sous l'hypothèse de poutres droites.

La pente du profil en long de 1% sera également négligée.

Remarque : l'ensemble de l'étude des Parties I et II portera sur une seule poutre du bi-poutre du tablier amont.

Partie I Lançage

Dans cette partie, vous allez étudier le lançage du bi-poutre du tablier amont.

La position du bi-poutre correspond au document suivant :

Document DE 5 : Phase de lançage

L'objectif est d'étudier les contraintes dans le bi-poutre et de déterminer la hauteur h de l'avant-bec.

Chaque bi-poutre est constitué de Profils Reconstitués Soudés (PRS), reliés tous les 7,90 m par des entretoises (IPE600).

La largeur des semelles des PRS est constante.

Les bi-poutres sont symétriques par rapport à leur section médiane.

La géométrie du bi-poutre est donnée sur les documents :

Document DE 6 : 1/2 Vue longitudinale d'une poutre du bi-poutre

Document DE 7 : Caractéristiques géométriques des sections du bi-poutre

Document DE 8 : Caractéristiques géométriques des sections IPE

Remarque : dans toute cette partie, l'étude portera sur une seule poutre du bi-poutre.

Hypothèse : l'action de l'avant-bec, sur chaque poutre du bi-poutre, sera simplement modélisée par une force ponctuelle $P_a = 5 \text{ kN}$ à l'extrémité de chaque poutre du bi-poutre (point **B** Document **DE5**)

1.1 Etude des charges

1.1 Poids propre du PRS

On appellera p_1 le poids linéique de la zone 1 de section 1

On appellera p_2 le poids linéique de la zone 2 de section 2

On appellera p_3 le poids linéique de la zone 3 de section 3

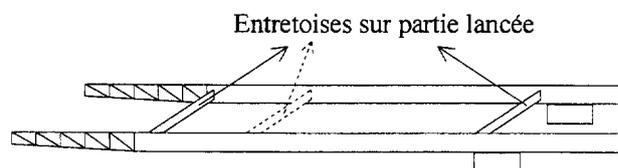
A l'aide du document **DE 7**, déterminer p_1 , p_2 et p_3 .

Données : poids volumique de l'acier : $78,5 \text{ kN/m}^3$

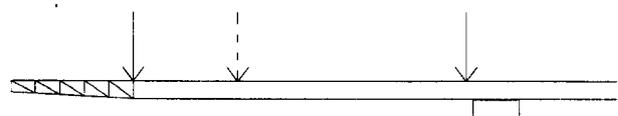
Les résultats seront donnés en kN/m

1.2 Poids propre des Entretoises

A l'aide des documents **DE 5** et **DE 6**, déterminer le nombre d'entretoises présentes dans la partie lancée du bi-poutre (**BC**).



A l'aide des documents **DE 4** et **DE 8**, déterminer le poids d'une entretoise IPE 600. En déduire la force ponctuelle exercée par chaque entretoise sur une poutre du bi-poutre.



2 Schéma mécanique

On considère la partie lancée encastrée au point C (Document DE 5)

Compléter le schéma mécanique fourni sur le document réponse :

Document DR 1 : Schéma mécanique en phase de lancement

Vous indiquerez :

- les charges réparties précédemment calculées
- les différentes longueurs des différentes zones

3 Caractéristiques géométriques

Préciser dans quelle zone se trouve la section droite en C

4 Contraintes

Cette section en C est soumise à une sollicitation de flexion simple avec un moment fléchissant de $M = - 3300 \text{ kN.m}$

Tracez la répartition des contraintes normales dans cette section (due à M)

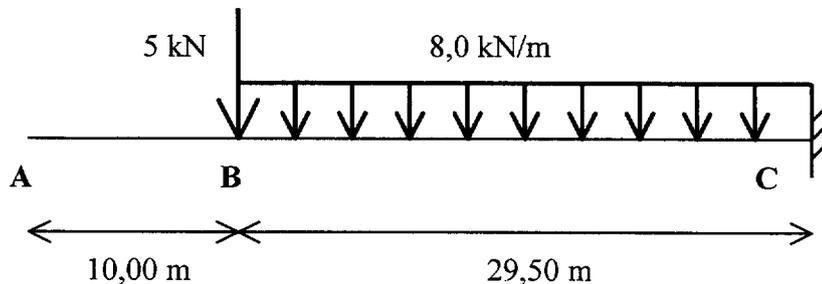
5 Déplacements

On cherche à déterminer le déplacement de l'avant-bec.

Vous disposez pour cela d'un formulaire :

Document DE 9 : Formulaire déplacements

La modélisation retenue pour cette question uniquement, est la suivante :



Section constante entre B et C $I_{Gz} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$

$E = 210\,000 \text{ MPa}$

5.1 Flèche en A sans rotation en C

A l'aide du document DE9, déterminer la flèche f_A à l'extrémité de l'avant-bec en A.

5.2 Géométrie du bi-poutre

Un calcul informatique, prenant en compte une modélisation plus fine, a donné la valeur de 20,6 cm pour la flèche en A.

L'accostage de l'avant-bec doit se faire avec une marge de sécurité de 4 cm.

A l'aide du document DE 5, déterminer la hauteur h de l'avant-bec (arrondie à 5 cm).

Partie II Phase définitive

Toutes les études de cette partie seront conduites pour un seul PRS
Les questions 4.1 à 4.4 sont indépendantes des précédentes

La réalisation du bi-poutre comporte trois phases principales :

- le lançage des PRS
- la réalisation de la dalle
- la mise en place des équipements et l'exploitation.

La phase lançage a été étudiée dans la partie I.

Nous allons conduire l'analyse et étudier l'incidence des charges dues aux équipements (trottoirs, revêtement de chaussée, glissière, corniche) et des charges d'exploitation du pont.

HYPOTHESES :

- ce pont est de type première classe conformément au titre II du fascicule 61
- l'inertie de l'ouvrage sera considérée comme constante du fait de l'association de la dalle en béton armé aux poutres en PRS

DONNEES :

Charges permanentes liées aux équipements d'une poutre PRS :

- revêtement de chaussée d'épaisseur moyenne 11 cm (hors trottoirs) d'un poids de 1,6 kN/m par cm d'épaisseur
- autres charges permanentes rapportées (glissières, trottoirs, corniches,...) d'un poids total moyen de 10 kN/m.

Charges d'exploitation de chaussée :

- à déterminer en fonction des longueurs chargées (voir titre II du fascicule 61)

TRAVAIL DEMANDE :

1 Charges permanentes liées aux équipements

Calculer les valeurs des charges permanentes liées aux équipements et revêtement.

Etablir le schéma mécanique d'un PRS du tablier amont au niveau de l'axe de la chaussée sous ces charges.

2 Charges d'exploitation de chaussée

A l'aide du document **DE 11 Titre II du fascicule 61**,

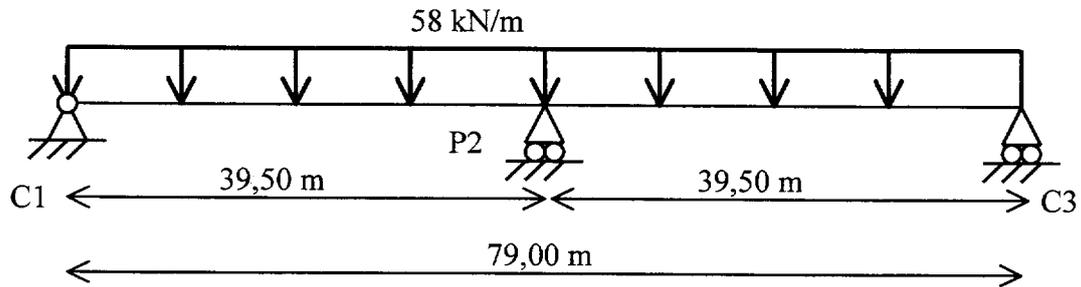
Calculer la charge d'exploitation de chaussée (système de charges A) sachant que les 2 voies de circulation sont considérées chargées sur une longueur 39.5 m correspondant à une travée complète.

3 Cas de charge

Définir, au moyen de schémas mécaniques simplifiés, les différentes combinaisons de cas de chargements qui vont permettre d'obtenir les courbes enveloppes des efforts le long du PRS. Aucun calcul de charge n'est demandé.

4 Sollicitations

L'étude du PRS pour la combinaison G + Q des charges d'équipement, de revêtement et d'exploitation appliquées sur 79 m a conduit à la modélisation suivante :



4.1 Hyperstaticité

Calculer le degré hyperstatique de la structure.

4.2 Moment de continuité

Déterminer le moment de continuité sur la pile **P2** et en déduire les réactions d'appui en **C1**, **P2** et **C3**. Vous pouvez utiliser le formulaire qui vous est fourni sur le document **DE 10**.

4.3 Tracé des diagrammes

Effectuer les tracés des diagrammes de l'effort tranchant et du moment de flexion le long de la travée **C1-P2**.

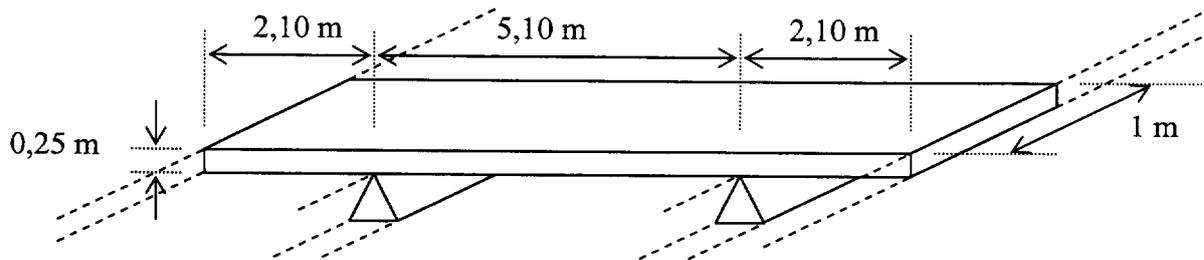
Partie III Béton Armé

L'étude porte sur les armatures nécessaires dans le sens transversal du tablier.

La géométrie réelle du problème est définie sur le document :

Document DE 4 : Coupe transversale tablier amont

En première approximation, une bande transversale du tablier, peut être schématisée comme suit :



La section droite prise en compte pour les calculs a les caractéristiques suivantes :

$$b = 1,000 \text{ m} \quad h = 0,250 \text{ m} \quad d = 0,200 \text{ m}$$

Le béton utilisé est du **B 35** ($f_{c28} = 35 \text{ MPa}$) et l'acier de nuance **Fe E 500** ($f_e = 500 \text{ MPa}$), les conditions de fissuration sont préjudiciables.

En milieu de travée, l'armature est constituée par des HA 20 espacés de 12,5 cm ; seul un sur deux est prolongé jusqu'à l'extrémité de la dalle l'autre sera arrêté dès que possible.

L'étude porte sur les armatures en travée.

1 Calcul

On donne le moment maximum en travée à l'ELS : $M_{ser} = 97 \text{ kN.m}$

1.1 Justification

Justifiez le calcul à l'ELS

1.2 Arrêt de barre

Pour le cas « 1 HA 20 tous les 25 cm » (4 HA 20 au ml soit $12,56 \text{ cm}^2/\text{ml}$),

Calculez le moment résistant M_{rb} (c'est-à-dire le moment maximum que peut reprendre la section)

On donne : le bras de levier z entre la résultante des efforts de compression dans le béton et la résultante des efforts de traction dans l'acier : $z = 20 \text{ cm}$

2 Tracé

Tracez le moment résistant sur le document **DR 2 : Epure d'arrêt de barres**

En déduire la position de l'arrêt de barre.

On rappelle la longueur de scellement droit pour les barres HA : $l_s = 50 \Phi$

Rappel :

A l'ELU

$$f_{bu} = \frac{0,85 \cdot f_{cj}}{\theta \cdot \gamma_b} \quad f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} \quad \text{avec } \theta = 1 \quad \gamma_b = 1,5 \text{ et } \gamma_s = 1,15$$

A l'ELS fissuration préjudiciable

$$f_{bs} = 0,6 \cdot f_{cj} \quad f_{ss} = \xi \quad \text{avec } \xi = \min \left[\frac{2 \cdot f_e}{3}; \max \left(\frac{f_e}{2}; 110 \cdot \sqrt{\eta \cdot f_{ty}} \right) \right]$$

$\eta = 1,6 \quad \text{et} \quad f_{ty} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{cj}$

Partie IV Hydraulique

Le but du questionnement est de vérifier le dimensionnement du caniveau :
est-il en mesure d'évacuer un débit extrême tout en limitant la vitesse d'écoulement ?

1 Débit

On considère une intensité de pluie de 20 mm/min ;
On estime la surface de ruissellement à 830 m².
Quel est le débit Q en l/s ?

On considèrera par la suite une pluie entraînant un débit de Q = 300 l/s

2 Vitesse en fonction du débit

On rappelle que $Q = V.S$ avec S section de l'écoulement.
Quelle est la vitesse d'écoulement V_1 en fonction de la hauteur d'eau h ?
Sur le document réponse DR 3 tracer la courbe représentative de $V_1(h)$

3 Vitesse en fonction de la géométrie

Selon la formule de Manning, la vitesse d'écoulement est $V = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{S_0}$

Avec n : Coefficient de Manning dépendant du matériau de revêtement, ici $n = 0,010 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$
R : rayon hydraulique $R = S/P$

Avec S : « surface mouillée » en m²

P : « périmètre mouillé » en m

S_0 : pente de fond d'écoulement ; ici la pente longitudinale de l'ouvrage : 1%

Quelle est la valeur de V_2 pour une hauteur d'eau h = 0,25 m ?

4 Hauteur d'eau

Pour un débit de 300 l/s, quelles seront la vitesse d'écoulement et la hauteur d'eau correspondante ?

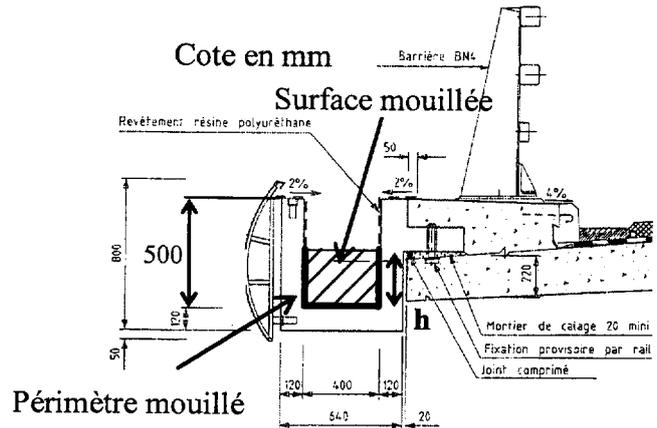
La courbe représentative de $V_2(h)$ est tracée sur le document réponse

5 Vérifications des dimensions

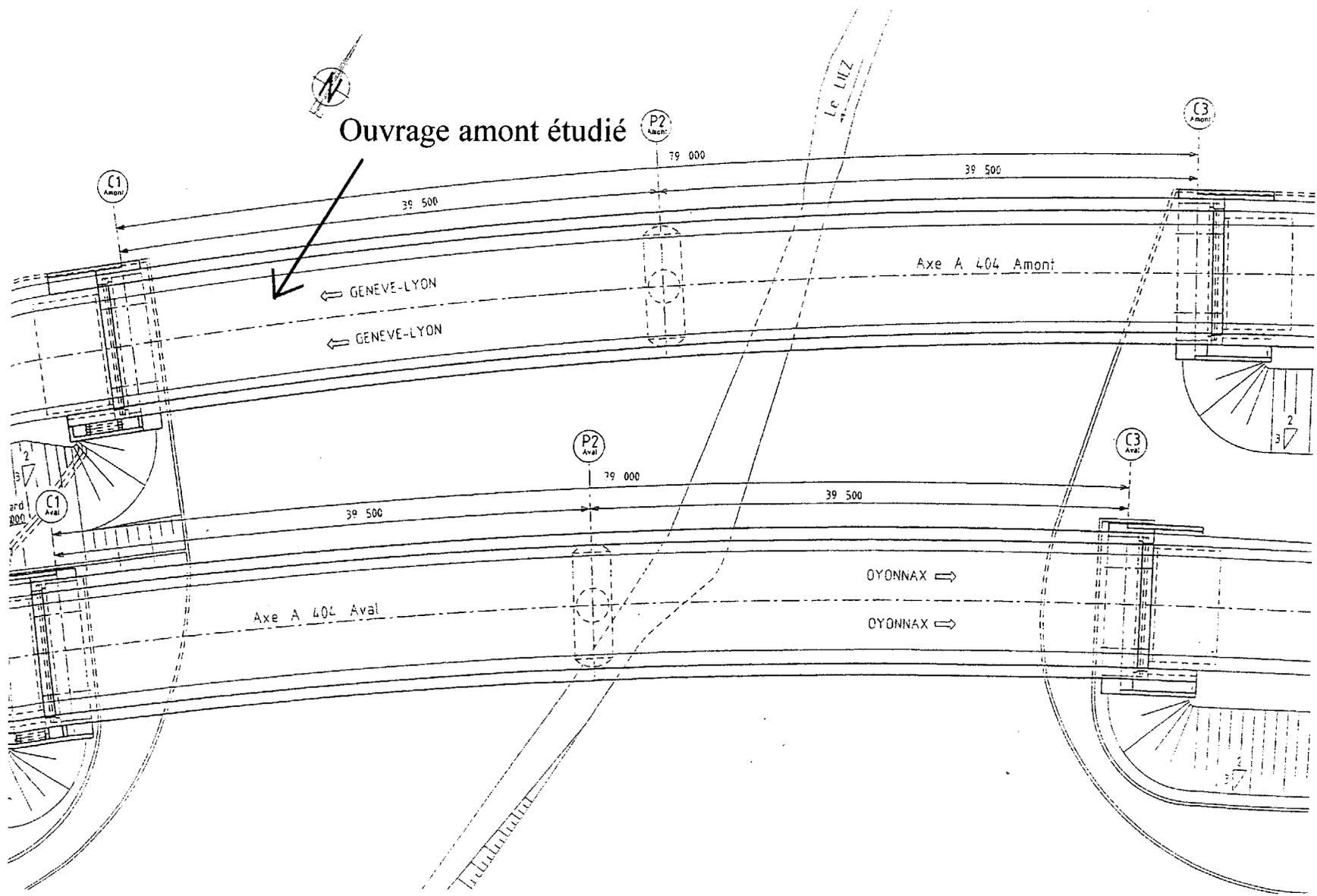
La vitesse étant limitée à 2,50 m/s,

Vérifier que la vitesse d'écoulement est bien inférieure à la vitesse limite.

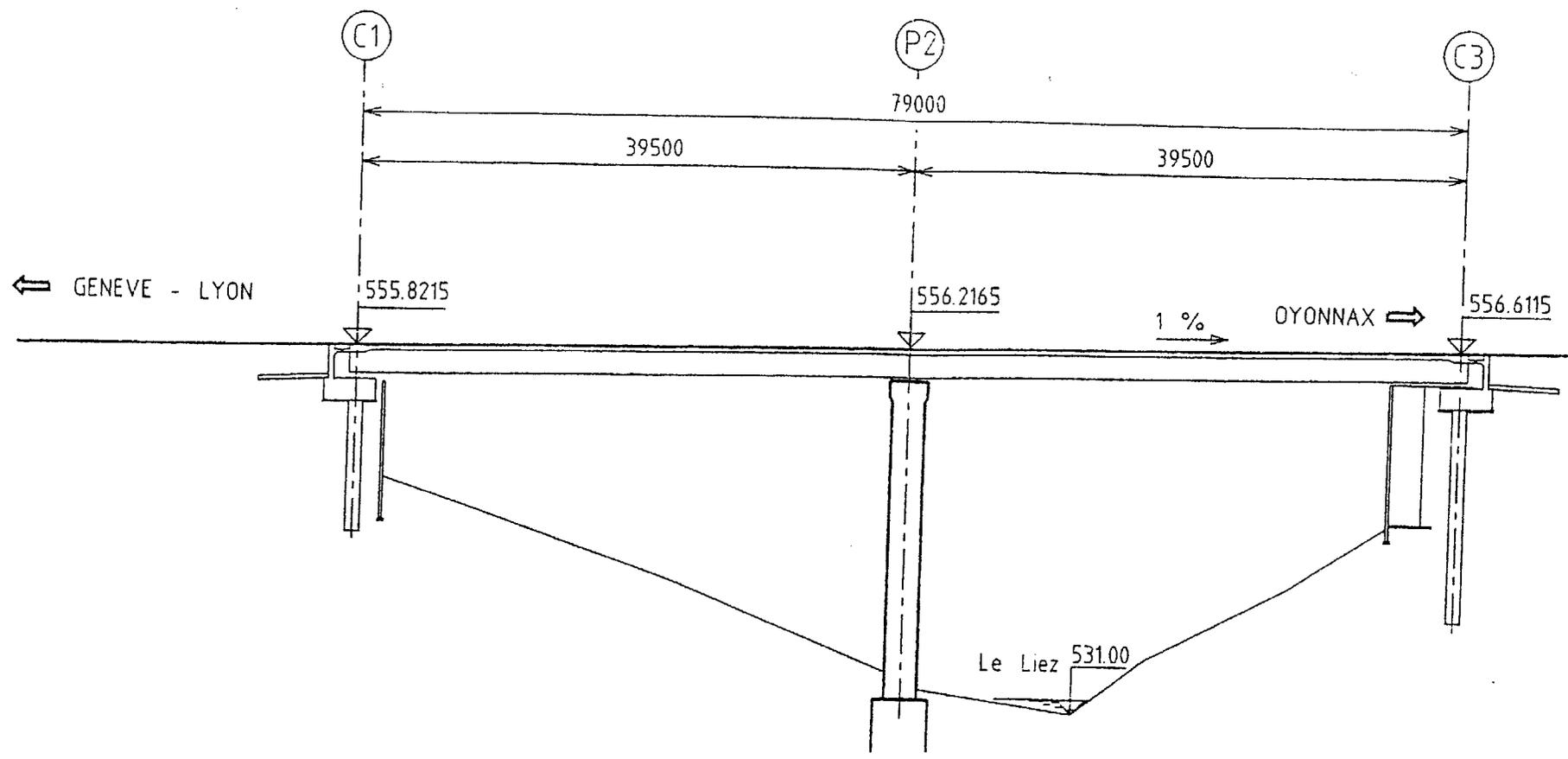
Vérifier que la hauteur d'eau est bien inférieure à la hauteur réelle du caniveau.



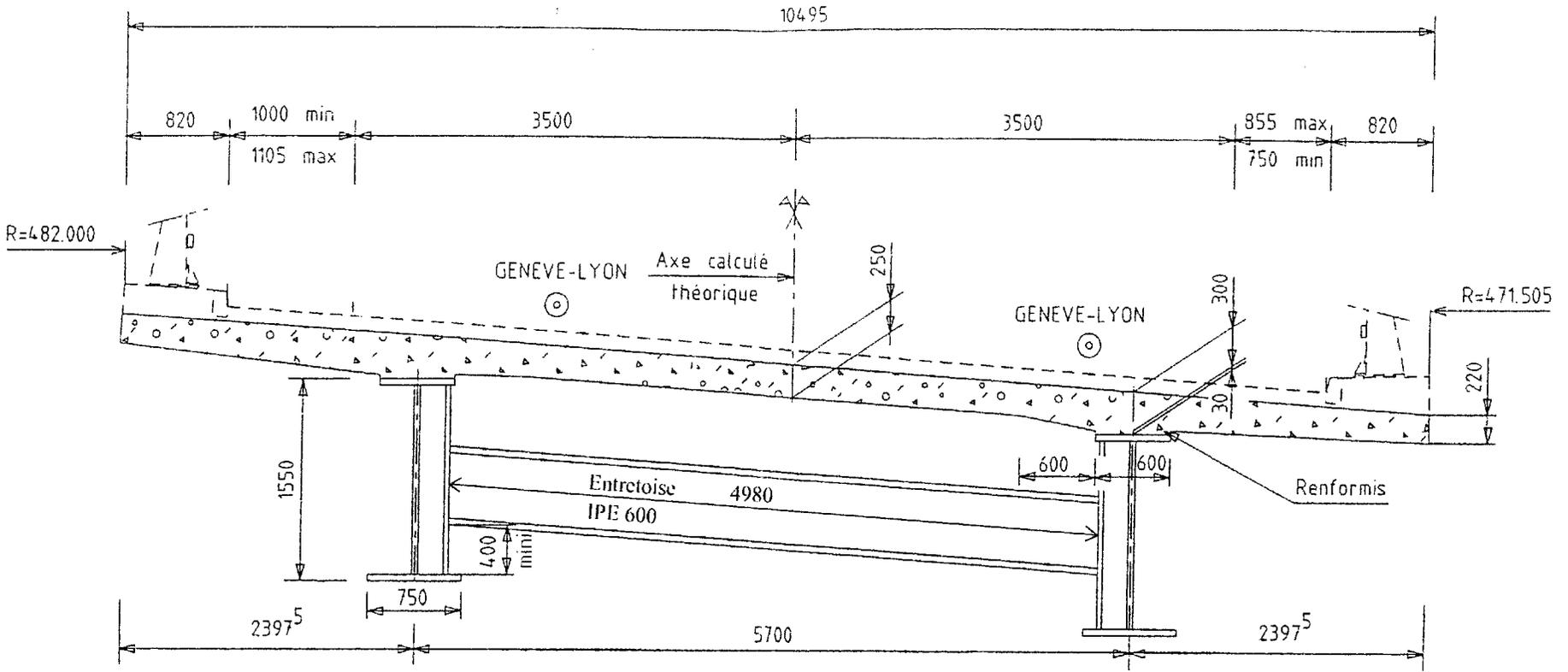
DE2 : Vue en plan des ouvrages d'art



DE 3 : Coupe longitudinale tablier amont

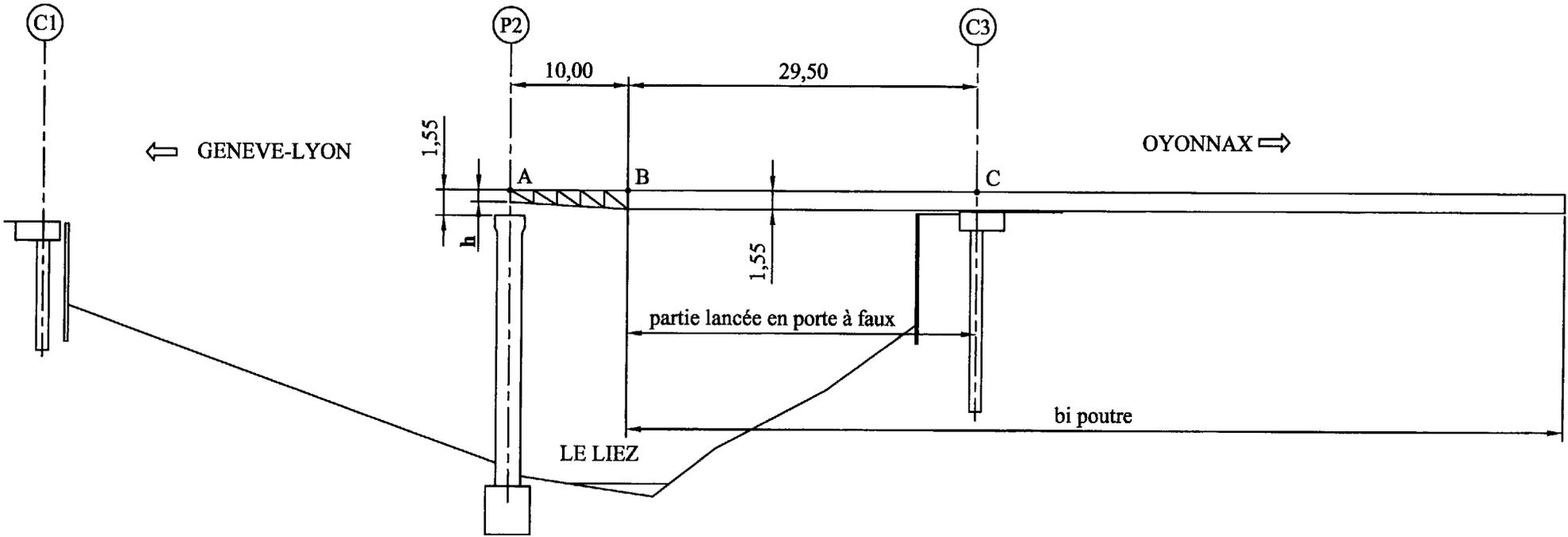


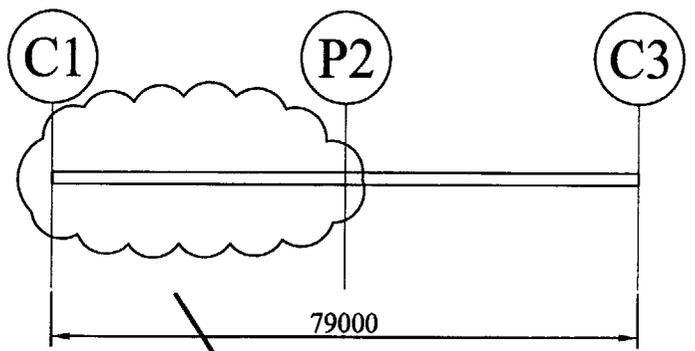
DE 4 : Coupe transversale tablier amont



Echelle : 1/500

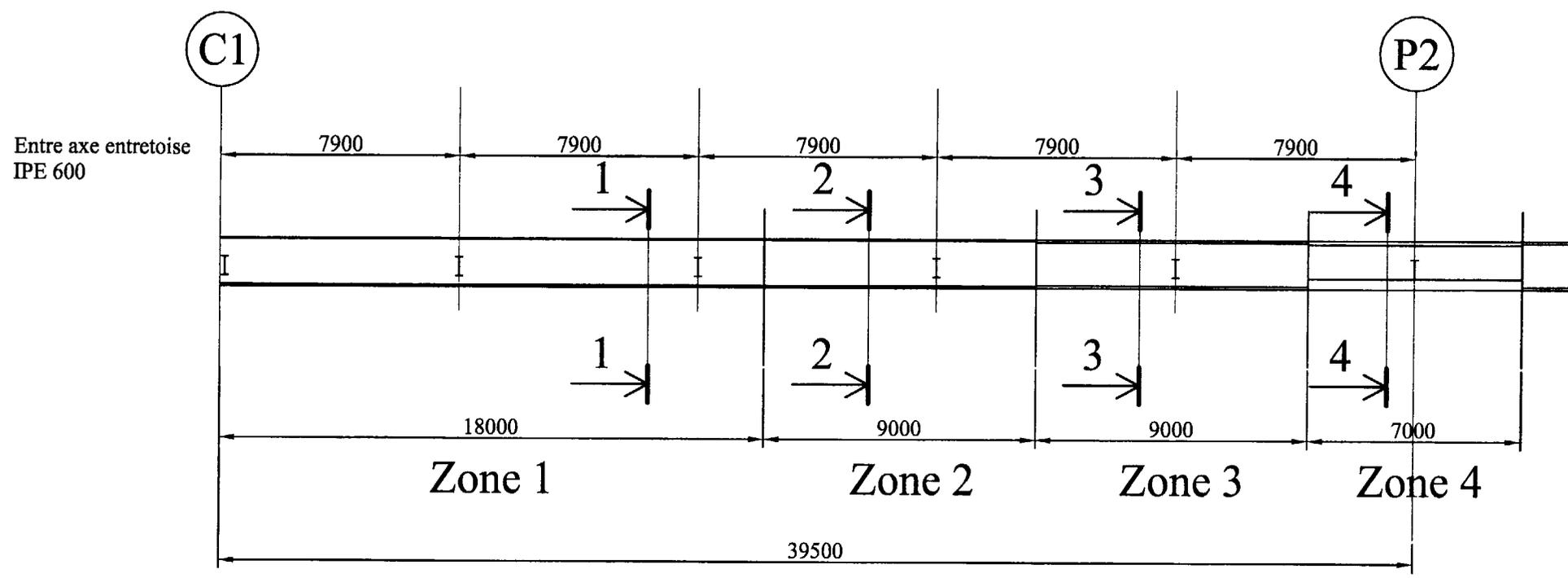
Cotes en m





Echelle : 1/1000

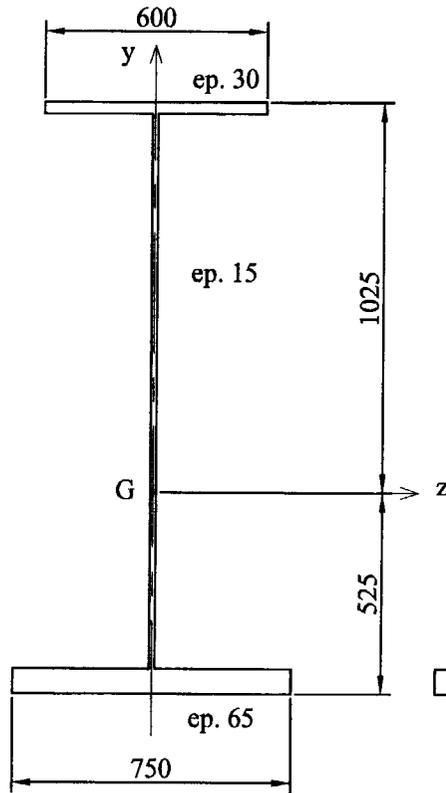
Cotes en mm



Echelle : 1/200

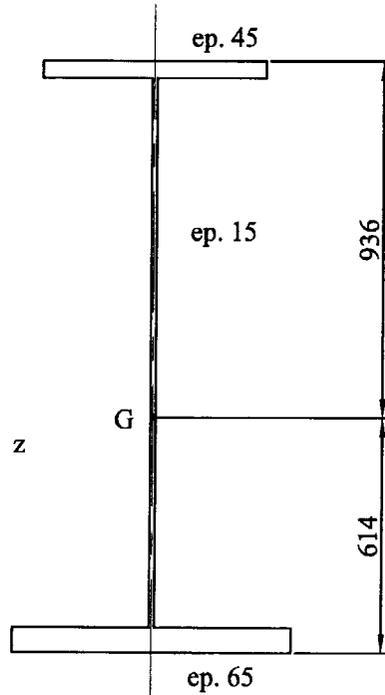
Echelle 1/20

Cotes en mm



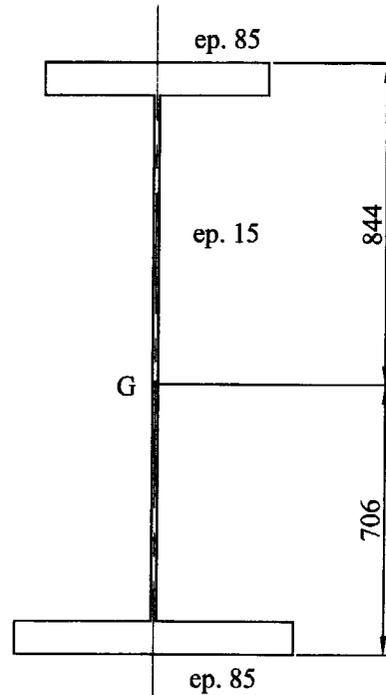
Section 1

$A = 885,75 \text{ cm}^2$
 $IGz = 3561698 \text{ cm}^4$
 $IGy = 282557 \text{ cm}^4$



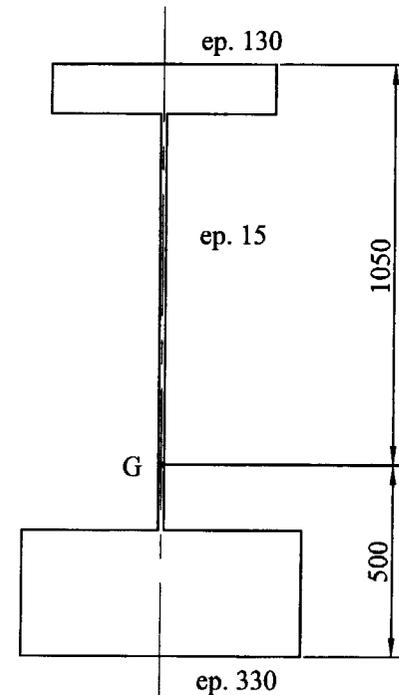
Section 2

$A = 973,50 \text{ cm}^2$
 $IGz = 4340126 \text{ cm}^4$
 $IGy = 309556 \text{ cm}^4$



Section 3

$A = 1354,50 \text{ cm}^2$
 $IGz = 6428005 \text{ cm}^4$
 $IGy = 451867 \text{ cm}^4$



Section 4

$A = 3418,50 \text{ cm}^2$
 $IGz = 10973000 \text{ cm}^4$
 $IGy = 1394187 \text{ cm}^4$

DE 8 : Caractéristiques géométriques des sections IPE

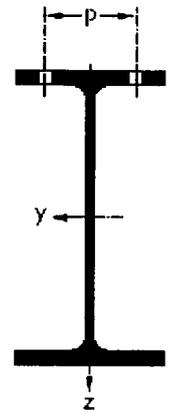
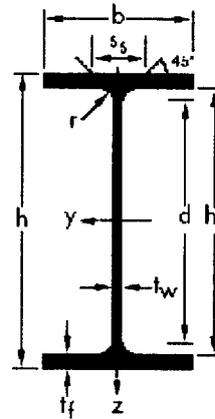
Poutrelles I européennes

Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à l'Euronorme 19-57; IPE A 80 - 600; IPE O 180 - 600, IPE 750

Tolérances: EN 10034: 1993

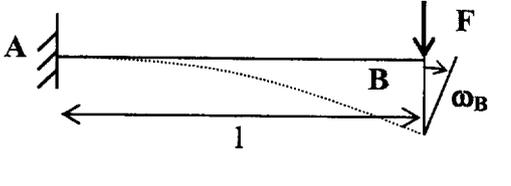
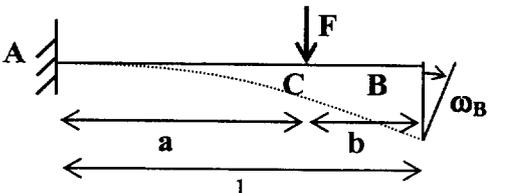
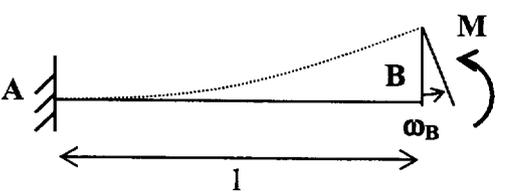
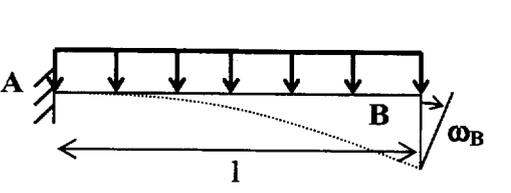
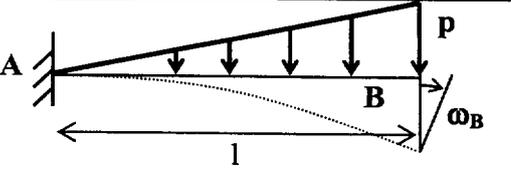
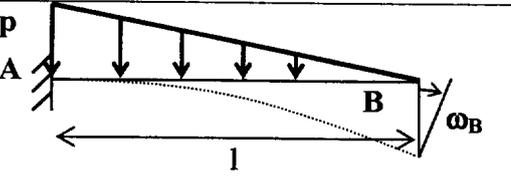
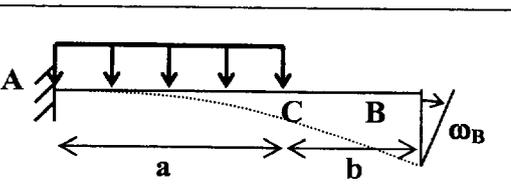
Etat de surface conforme à EN 10163-3: 1991, classe C, sous-classe 1

IPE 500-750



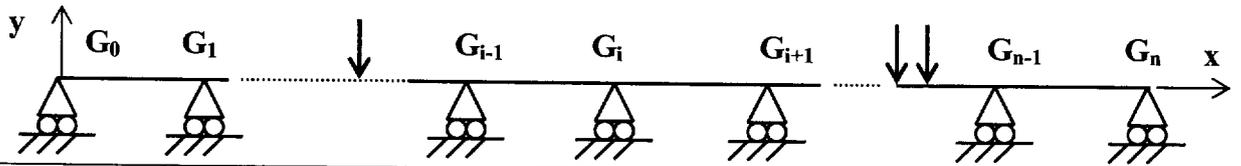
Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					A mm ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche		
	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	∅	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t	
	G kg/m													
						x 10 ²								
IPE A 500*	79,4	497	200	8,4	14,5	21	101	468	426	∅ 24	100	112	1,741	21,94
IPE 500	90,7	500	200	10,2	16	21	116	468	426	∅ 24	102	112	1,744	19,23
IPE O 500 ⁺	107	506	202	12	19	21	137	468	426	∅ 24	104	114	1,760	16,40
IPE A 550*	92,1	547	210	9	15,7	24	117	515,6	467,6	∅ 24	106	122	1,875	20,36
IPE 550	106	550	210	11,1	17,2	24	134	515,6	467,6	∅ 24	110	122	1,877	17,78
IPE O 550 ⁺	123	556	212	12,7	20,2	24	156	515,6	467,6	∅ 24	110	122	1,893	15,45
IPE A 600*	108	597	220	9,8	17,5	24	137	562	514	∅ 27	114	118	2,013	18,72
IPE 600	122	600	220	12	19	24	156	562	514	∅ 27	116	118	2,015	16,45
IPE O 600 ⁺	154	610	224	15	24	24	197	562	514	∅ 27	118	122	2,045	13,24
IPE 750 x 137*	137	753	263	11,5	17	17	175	719	685	∅ 27	102	162	2,506	18,28
IPE 750 x 147	147	753	265	13,2	17	17	188	719	685	∅ 27	104	164	2,510	17,06
IPE 750 x 173 ⁺	173	762	267	14,4	21,6	17	221	718,8	684,8	∅ 27	104	166	2,534	14,58
IPE 750 x 196 ⁺	196	770	268	15,6	25,4	17	251	719,2	685,2	∅ 27	106	166	2,552	12,96

DE 9 : Formulaire déplacements

Poutres	Rotations	Flèches
	$\omega_B = -\frac{Fl^2}{2EI}$	$f_B = -\frac{Fl^3}{3EI}$
	$\omega_B = \omega_C = -\frac{Fa^2}{2EI}$	$f_B = -\frac{Fa^2}{2EI} \left(1 - \frac{a}{3}\right)$
	$\omega_B = \omega_C = \frac{Ml}{EI}$	$f_B = \frac{Ml^2}{2EI}$
	$\omega_B = -\frac{pl^3}{6EI}$	$f_B = -\frac{pl^4}{8EI}$
	$\omega_B = -\frac{pl^3}{8EI}$	$f_B = -\frac{11 pl^4}{120 EI}$
	$\omega_B = -\frac{pl^3}{24EI}$	$f_B = -\frac{pl^4}{30EI}$
	$\omega_B = \omega_C = -\frac{pa^3}{6EI}$	$f_B = -\frac{pa^3}{24EI} (3a + 4b)$

DE 10 : Formule des 3 moments

NOTATIONS



Travée :	1	i	i+1	n
Longueur :	λ_1	λ_i	λ_{i+1}	λ_n
Inertie I_{Gz} :	I_1	I_i	I_{i+1}	I_n

FORMULE

M_i : moment fléchissant sur l'appui G_i

En isolant la travée i,

ω'_i : rotation à gauche de la travée i considérée isostatique

ω''_i : rotation à droite de la travée i considérée isostatique

Cas : Déformations d'effort tranchant négligées devant celles du moment fléchissant.

E et I_{Gz} sont constants dans chaque travée.

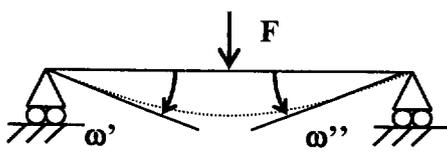
Pas de dénivellation d'appuis.

$$\frac{l_i}{6E_i I_i} M_{i-1} + 2 \left(\frac{l_i}{6E_i I_i} + \frac{l_{i+1}}{6E_{i+1} I_{i+1}} \right) M_i + \frac{l_{i+1}}{6E_{i+1} I_{i+1}} M_{i+1} = \omega'_{i+1} - \omega''_i$$

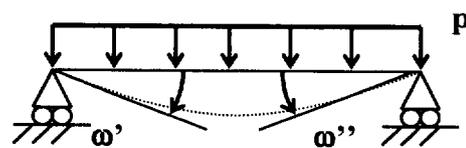
Cas : Poutre continue d'inertie constante I et de module d'élasticité constant E.

$$l_i M_{i-1} + 2(l_i + l_{i+1}) M_i + l_{i+1} M_{i+1} = 6EI(\omega'_{i+1} - \omega''_i)$$

ROTATIONS



$$\omega' = -\frac{Fl^2}{16EI} \quad \omega'' = \frac{Fl^2}{16EI}$$



$$\omega' = -\frac{pl^3}{24EI} \quad \omega'' = \frac{pl^3}{24EI}$$

DE 11 : Titre II du fascicule 61 (extraits)

Article 4 – Système de charges A

4.1. Pour les ponts comportant des portées unitaires atteignant au plus 200 m, la chaussée supporte une charge uniforme dont l'intensité est égale au produit de la valeur $A(l)$ donnée ci-après par les coefficients résultants de l'application du paragraphe 4.2.

La masse $A(l)$ exprimée en kilogrammes par mètre carré (kg/m^2) est donnée en fonction de la longueur chargée l exprimée en mètres par la formule :

$$A(l) = 230 + \frac{36000}{l+12}$$

La largeur et les longueurs des zones chargées sont choisies d'après les règles qui sont formulées ci-après, de manière à produire les effets maximaux dans l'élément d'ouvrage dont on a en vue la justification.

Pour les ponts comportant une ou plusieurs portées unitaires dépassant 200 m, le C.P.S. fixe l'intensité des charges à prendre en compte.

4.2. Dans le sens transversal, la largeur de la zone chargée comprend un nombre entier de voies de circulation.

4.2.1. En fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées, la valeur de $A(l)$ est multipliée par un coefficient a_1 du tableau suivant :

Nombre de voies chargées		1	2	3	4	≥ 5
	Première	1	1	0.9	0.75	0.7
Classe du pont	Deuxième	1	0.9	"	"	"
	Troisième	0.9	0.8	"	"	"

En outre lorsque la valeur de la charge répartie trouvée après application des coefficients ci-dessus est inférieure à $(400 - 0,2 l) \text{ kg/m}^2$, expression dans laquelle la longueur l est exprimée en mètres, c'est cette dernière valeur qui doit être prise en compte.

4.2.2. La charge $A_1 = a_1 \times A$ obtenue après application du paragraphe 4.2.1. est multipliée par un coefficient $a_2 = \frac{v_0}{v}$.

v étant la largeur d'une voie et v_0 ayant les valeurs suivantes :

3,5 m pour les ponts de première classe

3,0 m pour les ponts de deuxième classe

2,75 m pour les ponts de troisième classe.

La charge $A_2 = a_1 \times a_2 \times A$ ainsi obtenue est appliquée uniformément sur toute la largeur de chacune des voies considérées.

NE RIEN ÉCRIRE

Examen ou concours : Série * :

Spécialité / option :

Repère de l'épreuve :

Épreuve / sous-épreuve :

(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

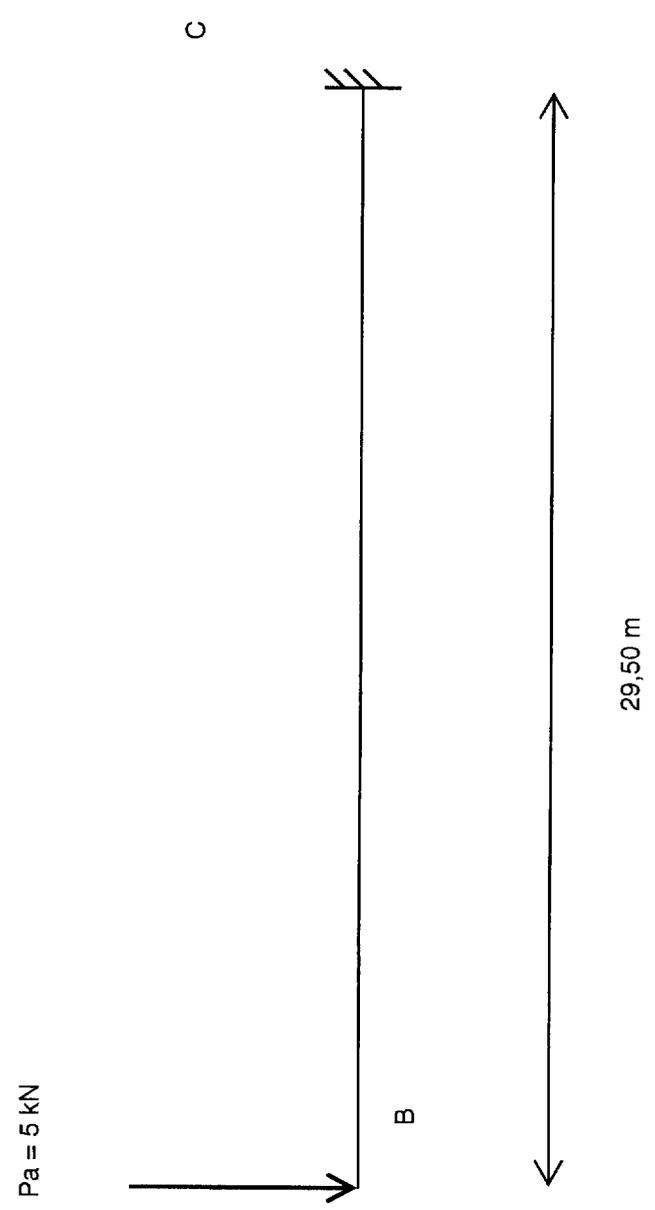
Note : 20

Appréciation du correcteur (uniquement s'il s'agit d'un examen) :

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

DR1 : Schéma mécanique en phase de lancement

Echelle géométrique : 1/200



29,50 m

$P_a = 5 \text{ kN}$

B

TVE4MDS

N°
... / ...

Examen ou concours : _____ Série * : _____

Spécialité / option : _____

Repère de l'épreuve : _____

Épreuve / sous-épreuve : _____

(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

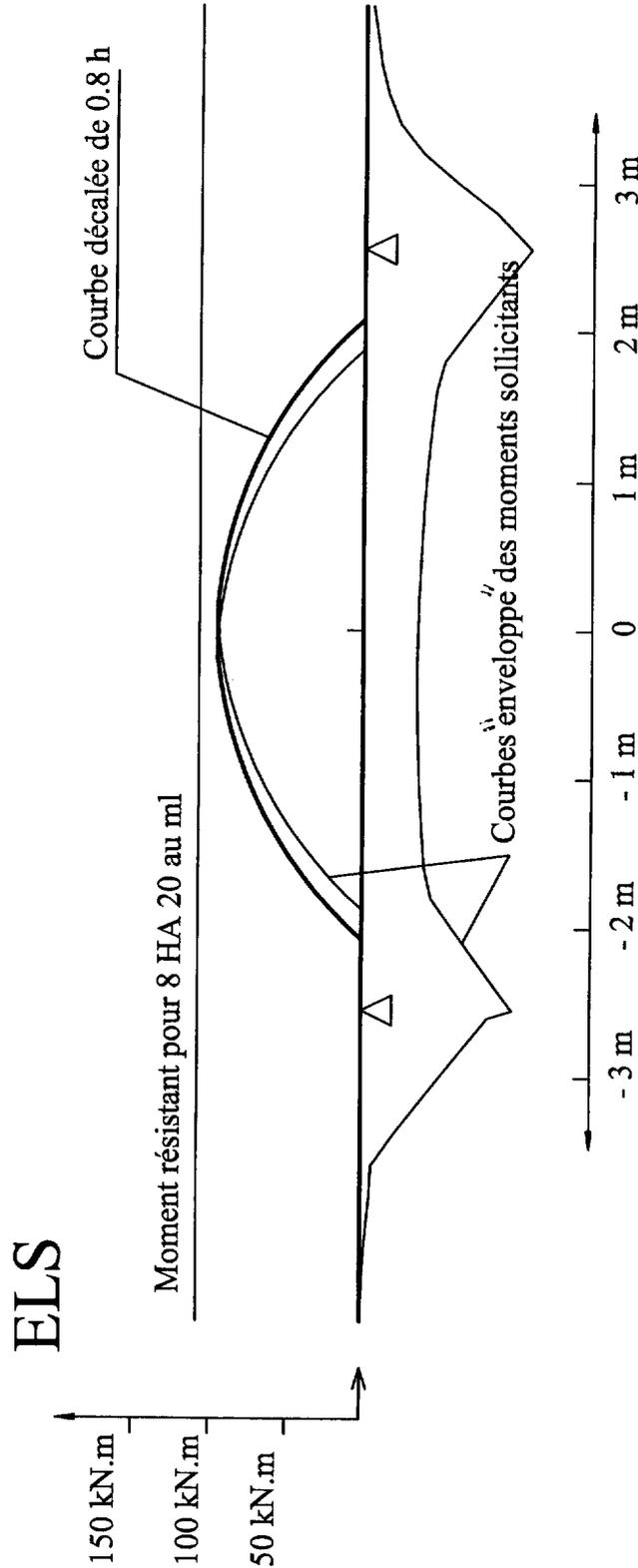
Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Note :
 20

Appréciation du correcteur (uniquement s'il s'agit d'un examen) :

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

DR 2 : Epure d'arrêt de barres



Echelle : 1/50

N°
 ... / ...

Exàmen ou concours :

Série * :

Spécialité / option :

Repère de l'épreuve :

Épreuve / sous-épreuve :

(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

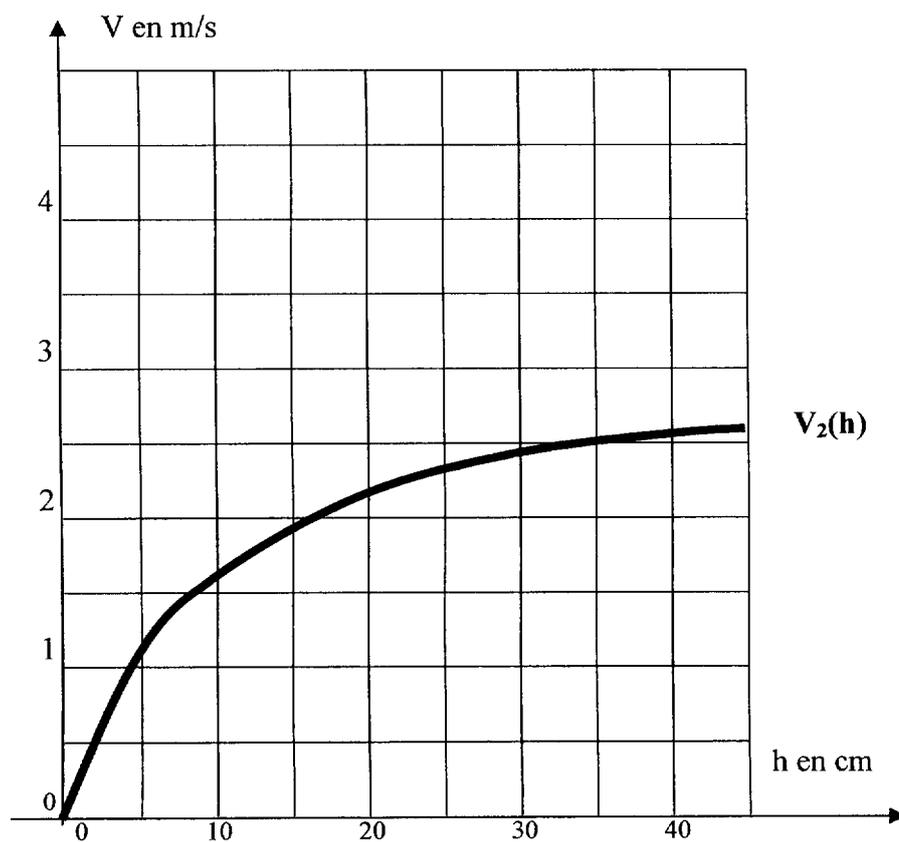
Note :

20

Appréciation du correcteur (uniquement s'il s'agit d'un examen) :

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

DR 3 : Etude hydraulique



N°
... / ...