

Session 1999

Brevet de technicien supérieur

Travaux Publics

Epreuve E4

U41 Mécanique des structures

Durée : 4 heures

Coefficient : 3

Rocade "Est" de Reims

Document autorisé: BAEL

Matériel autorisé: calculatrice

Le sujet comporte 19 pages.

- Pages 1 à 3 : Présentation
- Page 4 : Coffrage perdu
- Pages 5 à 8 : HEB 500
- Pages 9 à 11: Corniche
- Pages 12 et 13 : Mur garde-grève
- Page 14 (données complémentaires : document 1) :
Caractéristiques des matériaux et théorème des trois moments
- Page 15 (données complémentaires : document 2) :
Poutre sur deux appuis et sections d'armatures
- Page 16 (données complémentaires : document 3) :
Intégrales de Mohr
- Page 17 (données complémentaires : document 4) :
Caractéristiques des profilés HEB
- Page 18 (document 5) : OA 15 demi-coupe longitudinale partielle
- Page 19 (document 6) : OA 15 coupe transversale partielle

Le barème (sur 200 points) est le suivant:

1.Coffrage perdu (25 points)	2.HEB 500 (85 points)	3.Corniche (45 points)	4.Garde grève (45 points)
11 - 15 points	211 - 20 points	311 - 10 points	41 - 20 points
12 - 10 points	212 - 05 points	312 - 15 points	42 - 10 points
	221 - 05 points	32 - 20 points	43 - 10 points
	222 - 45 points		44 - 05 points
	23 - 10 points		

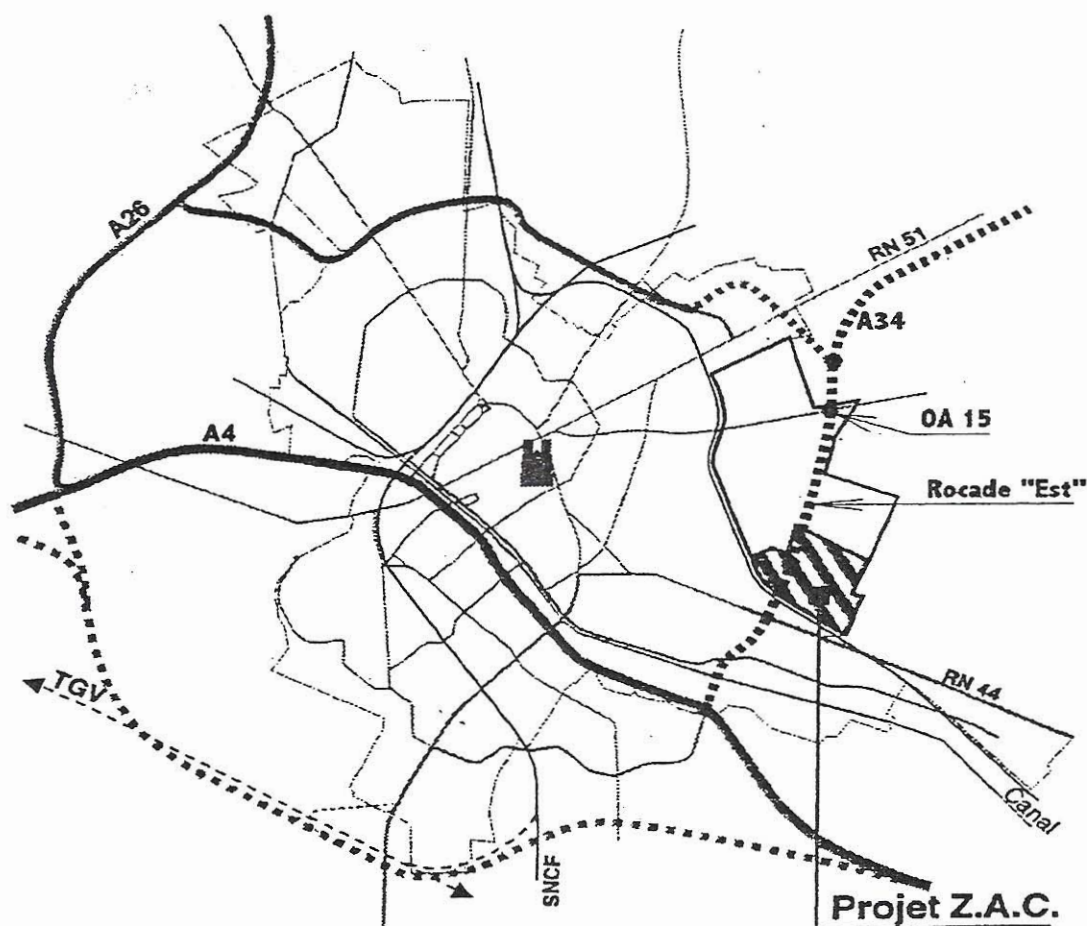
Les documents 1, 2, 3, 4, 5 et 6 des pages 14, 15, 16, 17, 18 et 19 comportent des informations. Certaines sont indispensables pour répondre aux questions posées. D'autres ne sont pas utiles. C'est au candidat d'être capable de rechercher l'information correspondant au problème posé.

Présentation de l'étude

La transformation de la RN 51 (Reims - Reims) en autoroute A34 a contraint les pouvoirs publics à décider la construction de la rocade "Est" de Reims.

Celle-ci aura deux rôles distincts. Tout d'abord, elle devra permettre la liaison entre l'autoroute A34 et l'autoroute A4 déjà en service. Ensuite, elle desservira un nouveau quartier (Z.A.C.) de 460 ha, dont l'aménagement doit s'effectuer sur plusieurs décennies.

Plusieurs ouvrages d'art doivent être construits. L'étude qui suit concerne l'ouvrage d'art OA 15, passage supérieur permettant le franchissement de la rocade "Est" par la route départementale Reims - Cernay.



Présentation de l'ouvrage.

(voir les documents 5 et 6 pages 18 et 19)

L'ouvrage est un passage supérieur à deux travées fondé sur barrettes. Le tablier est constitué de profilés métalliques HEB 500 enrobés dans une dalle en béton armé. Le béton du tablier est coulé en **deux phases** (deux couches) sur des coffrages perdus. Ces coffrages sont constitués de plaques de fibre de bois-ciment d'épaisseur 20 mm en appuis sur les profilés HEB 500.

Les grandes phases de la fabrication de l'ouvrage d'art sont les suivantes :

- implantation,
- fabrication des barrettes, puis du chevêtre,
- mise en place des poutrelles (HEB 500), du coffrage perdu, du ferrailage passif, des corniches préfabriquées,
- bétonnage du tablier,
- terrassement de la rocade « Est » au niveau de l'ouvrage d'art, dégagement partiel des barrettes,
- fixation des panneaux préfabriqués décoratifs sur les faces visibles des barrettes,
- ...

On vous rappelle que des informations se trouvant sur les documents des pages 14, 15, 16, 17, 18 et 19 sont parfois utiles pour répondre aux différentes questions de ce sujet.

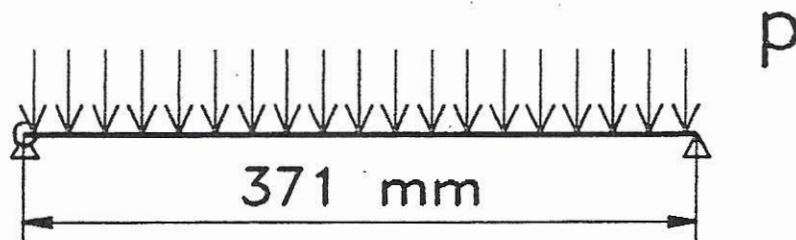
1 Coffrage perdu

Le coffrage horizontal du tablier est un coffrage perdu (représenté sur le "détail tablier" du document 6) en "fibres de bois - ciment". Il est constitué de plaques planes dont les dimensions sont $1,250 \times 470 \times 20$.

Lors du bétonnage de la première couche du tablier, les charges supportées par le coffrage sont les suivantes:

- béton: on ne considère que son action statique supposée uniformément répartie
- personnel, matériels divers et "surépaisseur" de béton: on prend forfaitairement une charge égale au dixième du poids du béton.
- poids propre des plaques.

Le schéma mécanique du coffrage perdu est le suivant:



On raisonne sur une bande de 1 m de large de coffrage perdu.

Les matériaux travaillent dans le domaine élastique.

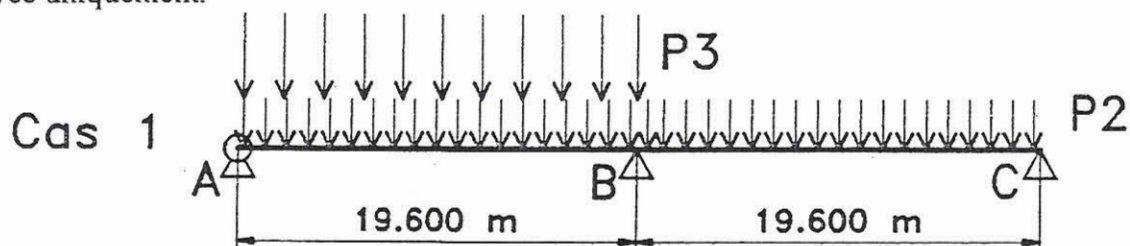
11 Les actions ne sont pas pondérées dans cette question. Déterminez l'épaisseur de béton que l'on peut mettre en place au cours de la première phase de bétonnage, si on ne considère que les conditions de déformation du coffrage perdu. La flèche admissible est égale au $1/400$ de la portée.

12 Les actions sont pondérées par 1,2 dans cette question. On met en réalité une première couche de béton de 30 cm d'épaisseur pour limiter la flèche du profilé HEB 500. Déterminer, dans le coffrage perdu, la contrainte normale maximale agissant sur une section droite. Qu'en déduisez-vous?

2 HEB 500

Aucune pondération n'est à effectuer dans cette étude.

On étudie une poutrelle HEB 500 courante au cours du bétonnage. C'est une poutre continue sur trois appuis (les deux culées et la pile centrale). On étudie le cas de charge 1 (cas 1), lorsque le béton de la première couche est mis en place sur la première travée uniquement.

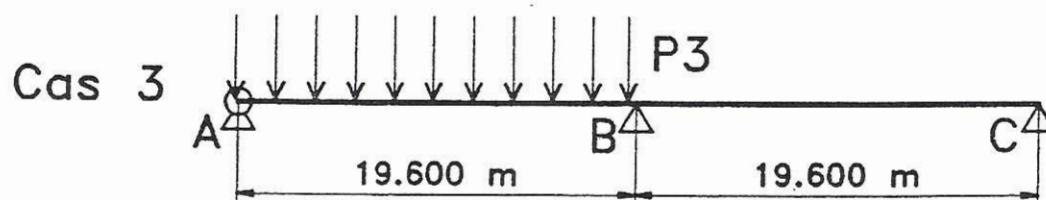
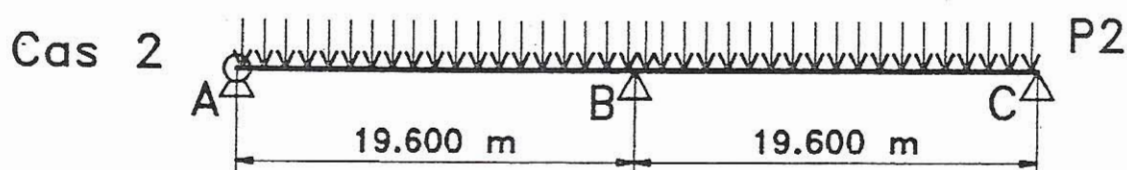


P2 : poids propre du profilé et du coffrage perdu

P3 : poids de la première couche de béton, du matériel et du personnel

On suppose que les matériaux travaillent dans le domaine élastique.

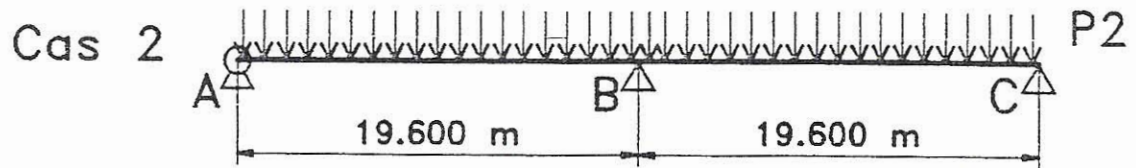
Pour simplifier les calculs, le cas de charge 1 (cas 1) est décomposé en un cas de charge 2 (cas 2) et un cas de charge 3 (cas 3).



On peut donc écrire, d'après le théorème de superposition, que le "cas 1" est égal à la somme du "cas 2" et du "cas 3".

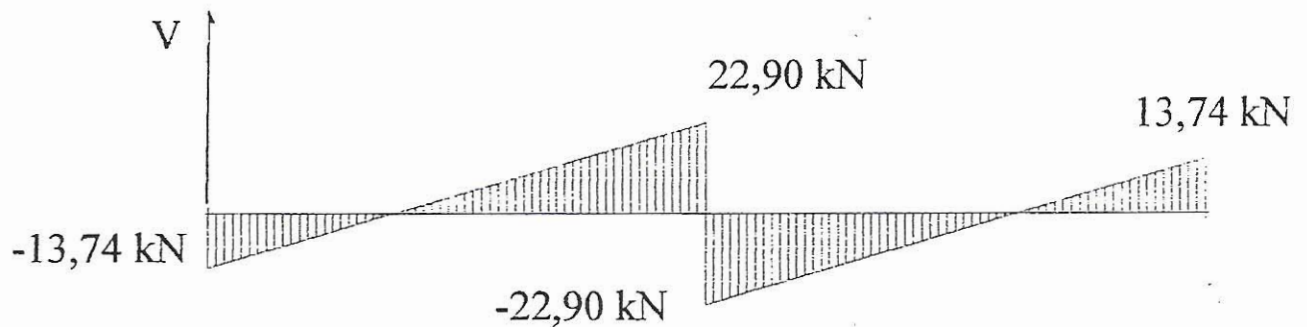
21 Etude du cas 2

Pour cette étude, on ne vous donne volontairement aucune valeur numérique des charges appliquées.

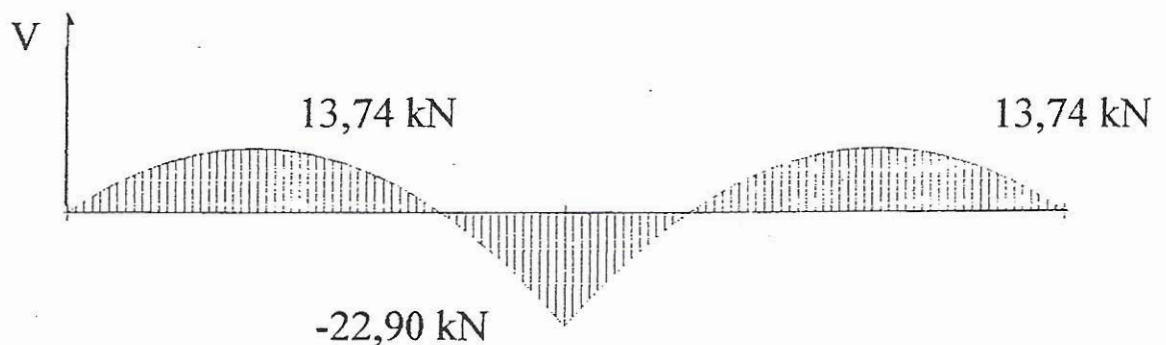


L'étude des sollicitations a été faite par votre collègue au moyen d'un logiciel. Mais cette personne ne domine pas tout à fait l'outil informatique et a commis des erreurs. Votre collègue vous propose donc quatre courbes différentes censées représenter les variations de l'effort tranchant le long de la poutre. Les quatre courbes sont définies ci-dessous.

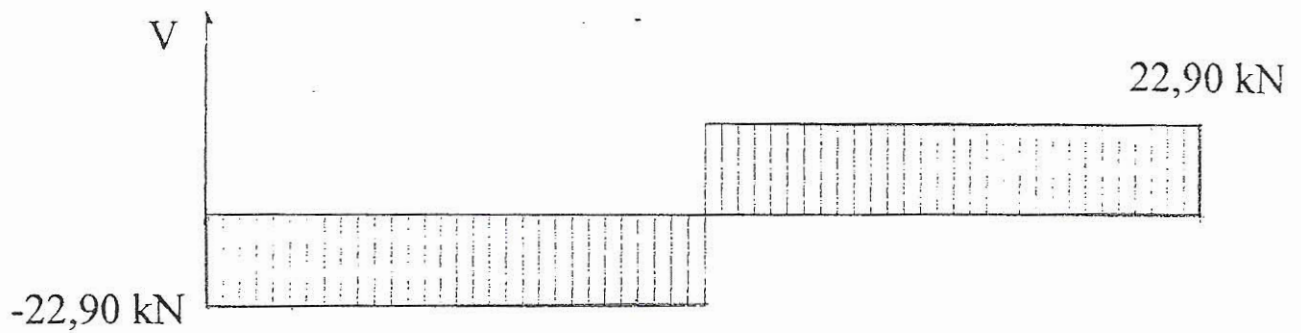
Courbe 1:



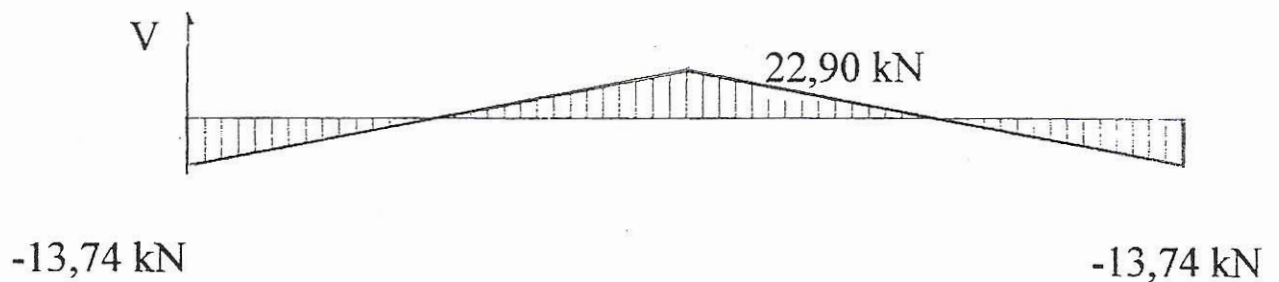
Courbe 2:



Courbe 3:



Courbe 4:

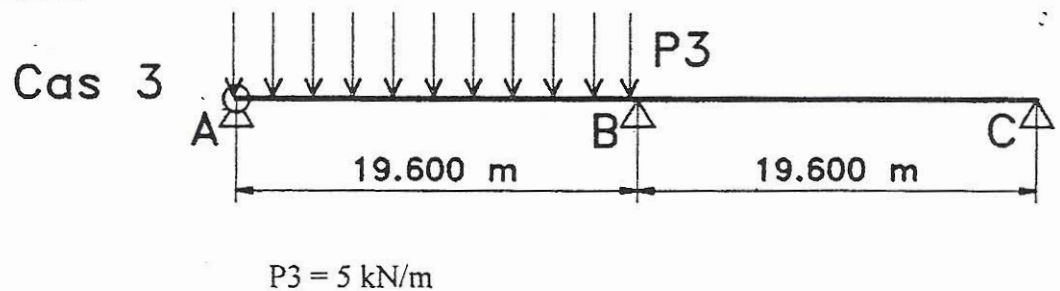


Parmi ces quatre solutions proposées, trois courbes sont fausses.

211 Indiquez, pour chaque courbe, si vous la considérez juste ou fausse. (Vous donnerez un argument au moins justifiant votre choix).

212 Donnez, à partir de la courbe juste, la valeur de chaque action de contact entre la poutre et ses appuis. (Seuls des calculs simples "de tête" sont nécessaires).

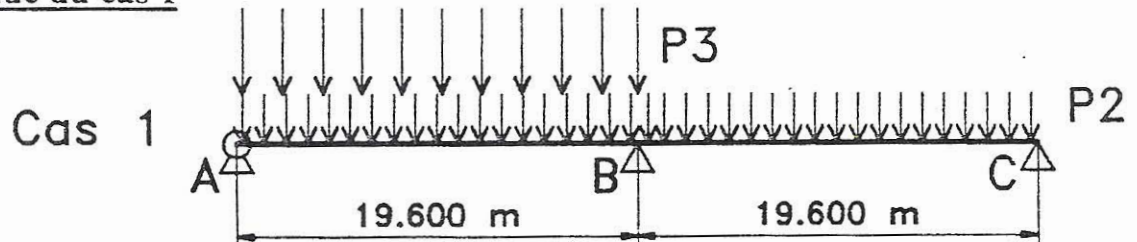
22 Etude du cas 3



221 Quel est le degré d'hyperstaticité de la poutre? Justifiez votre réponse.

222 A l'aide de la méthode de votre choix, déterminez les courbes cotées de moment fléchissant et d'effort tranchant le long du profilé. Vous justifierez les résultants obtenus et expliquerez la méthode utilisée.

23 Etude du cas 1

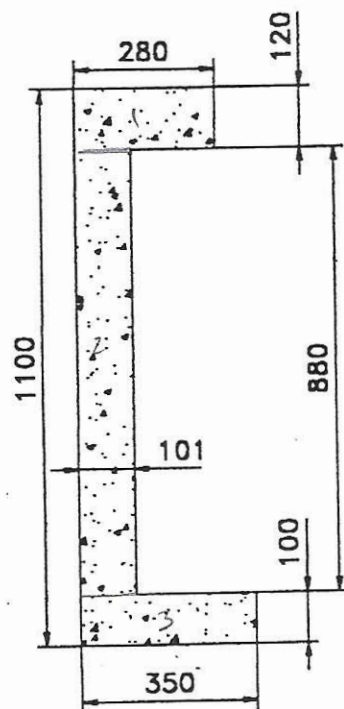


Au niveau de l'appui central, dans le cas du chargement n°3, l'effort tranchant vaut + 55 kN à gauche et - 6 kN à droite. Déterminez, en étant cohérent avec le choix effectué à la question **211**, l'effort tranchant maximal (en valeur absolue) au droit de l'appui central. En déduire la contrainte tangentielle maximale agissant dans la section droite, au droit de l'appui central.

3 Corniche

La corniche préfabriquée est définie sur le document 6. Elle est mise en place sur la semelle inférieure du profilé de rive. Un câble relié à un autre profilé permet sa stabilisation. Elle sert de coffrage perdu lors de la phase de bétonnage.

Pour simplifier les calculs, on considérera que la corniche a la forme définie ci-dessous et que sa longueur est un mètre.

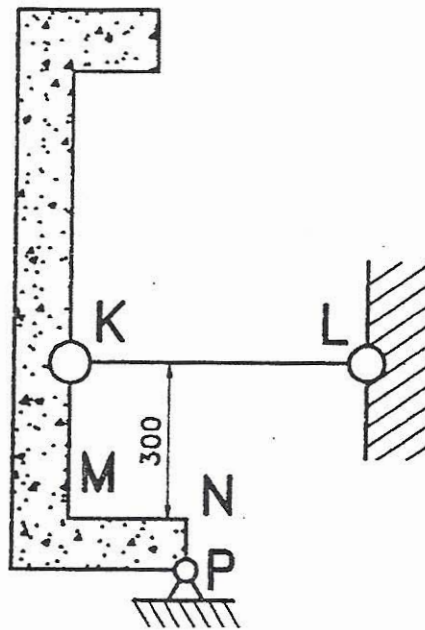


31 Etude de la corniche avant le bétonnage.

Elle est soumise aux actions suivantes:

- poids propre
- action du câble : le câble est relié à la corniche par une liaison pivot en K et au profilé par une liaison pivot en L.
- action du profilé en P. Cette action est assimilée à une liaison pivot.

Les liaisons de la corniche avec le profilé sont schématisées ci-dessous.



On néglige le poids propre du câble.

311 Déterminez le poids de la corniche et la position de son centre de gravité.

312 Déterminez l'effort dans le câble.

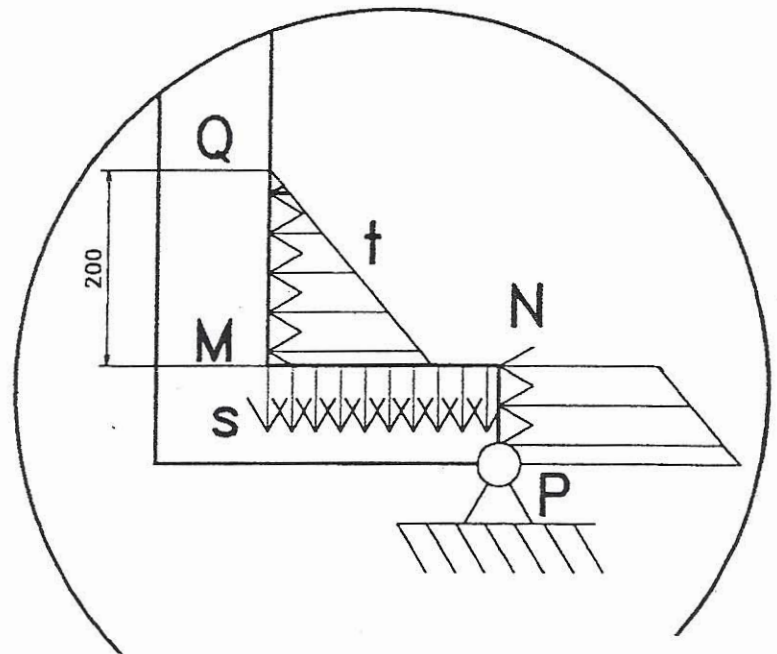
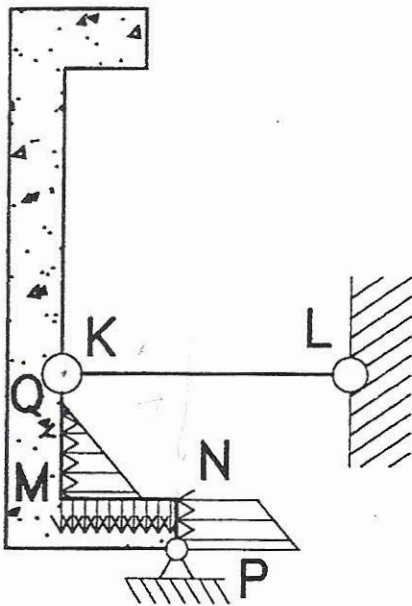
32 Etude de la corniche pendant le bétonnage.

La corniche est soumise aux actions suivantes:

- poids propre
- actions du béton
- action du câble en K
- action du profilé en P.

Le schéma mécanique est le suivant.

Actions du béton Détail



L'action "s" du béton sur la surface MN est une action verticale uniformément répartie de 5 kN/m.

L'action "t" du béton sur les surfaces QM et NP est une action horizontale variant linéairement de 0 kN/m (en Q) à 7.5 kN/m (en P).

On néglige le poids propre du câble. Les liaisons en K, L et P sont les mêmes que celles définies au paragraphe 31.

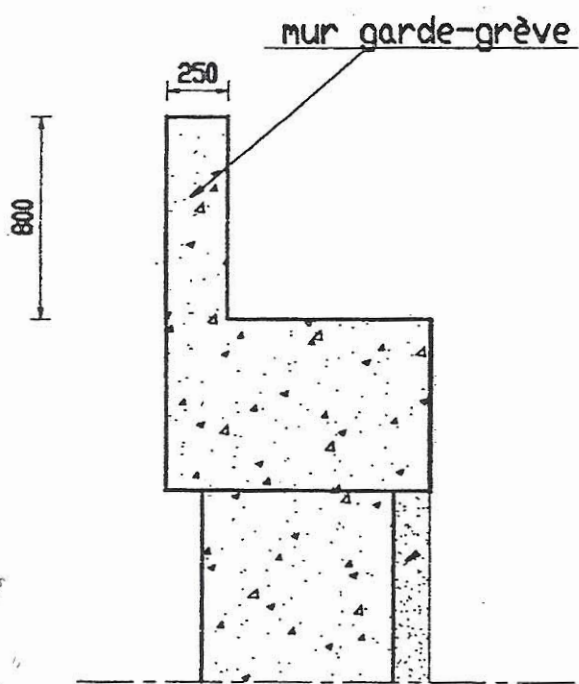
Déterminez l'action horizontale du profilé sur la corniche en P.

4 Mur garde-grève

Remarque préalable: Tout résultat non justifié élaboré à l'aide d'un logiciel ne sera pas évalué.

On s'intéresse au mur garde grève défini sur le document 5. Celui-ci est encastré en H dans le chevêtre de la culée (voir les dessins ci-dessous).

Le mur est soumis à l'action du sol "U" (lors du passage des véhicules) ainsi qu'à l'action du chevêtre. Les autres actions sont négligées.



Actions
sur le mur garde-grève

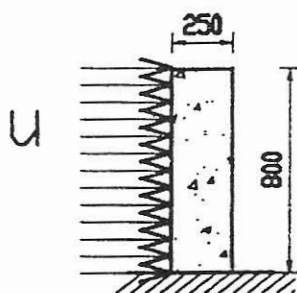
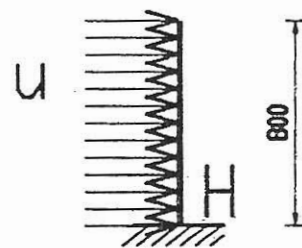


Schéma mécanique
du mur garde-grève



On raisonne sur un mètre de mur. On étudie la section "H".

A l'état limite ultime, le moment fléchissant pondéré en H vaut 85 mkN, l'effort tranchant pondéré en H vaut 212 kN.

41 Déterminez, en H, la section des aciers tendus " A_{st} " résistant au moment fléchissant. Le calcul est fait à l'ELU.

Pour répondre à cette question, vous prendrez un enrobage des aciers égal à 30 mm. Vous préciserez les dimensions de la section de béton étudiée. Vous donnerez, pour l'étude de cette section précise, la valeur de la déformation des aciers ainsi que la valeur de la contrainte dans les aciers. Vous indiquerez la distance entre la résultante des efforts de compression dans le béton et la résultante des efforts de traction dans l'acier.

Vérifier que la condition de non-fragilité est satisfaite (vous appliquerez l'article B74 en considérant que $\frac{l_x}{l_y}$ est négligeable devant 3).

Choisissez les aciers et faire un schéma coté définissant la nature et la position des aciers principaux tendus choisis, si on ne s'intéresse qu'au chargement défini ci-dessus.

42 On étudie l'ancrage en H, dans le chevêtre, des aciers " A_{st} " choisis à la question **41**. Déterminer rigoureusement la longueur **minimale** d'ancrage droit à mettre en place dans le chevêtre.

43 Vérifier, en utilisant les aciers choisis à la question **41**, si il y a adhérence entre les aciers " A_{st} " et le béton du mur garde grève. Pour cela, vous étudierez la contrainte d'entraînement (article A613).

44 Vérifier, en appliquant l'article A522, qu'aucune armature d'effort tranchant n'est nécessaire dans le mur garde-grève.

Données complémentaires : Document 1

Caractéristiques des matériaux:

Béton: - $f_{cR} = 35 \text{ MPa}$

- granulats : 0-25 mm

- poids volumique : 25 kN/m^3

Armatures: $f_{yk} = 500$

Coffrage perdu "fibre de bois - ciment"

- poids volumique : $12,5 \text{ kN/m}^3$

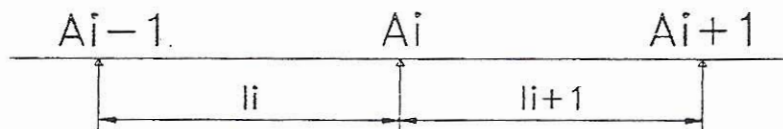
- module d'élasticité (ou module d'Young) : 4500 MPa

- Contrainte normale admissible à la flexion : 8 MPa

- Contrainte normale admissible à la traction : $2,5 \text{ MPa}$

- Contrainte tangentielle admissible : 2 MPa

Théorème des trois moments



Le chargement n'est pas représenté.

$$\frac{l_i}{6EI} M_{i-1} + \left(\frac{l_{i+1}}{3EI} + \frac{l_i}{3EI} \right) M_i + \frac{l_{i+1}}{6EI} M_{i+1} = \omega'_{i+1} - \omega''_i$$

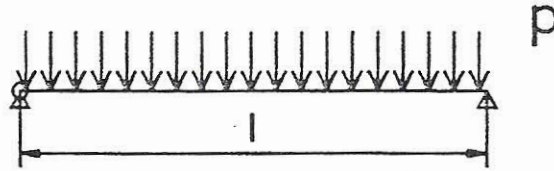
M_k est le moment sur l'appui A_k .

ω'_{i+1} est la rotation de l'appui A_i dans la travée $A_i A_{i+1}$ isostatique

ω''_i est la rotation de l'appui A_i dans la travée $A_{i-1} A_i$ isostatique

Données complémentaires : Document 2

Poutre sur deux appuis



La flèche maximale vaut $f = \frac{5pl^4}{384EI}$

La rotation aux abouts vaut, en valeur absolue, $\omega = \frac{pl^3}{24EI}$

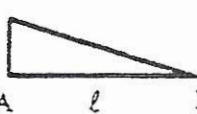
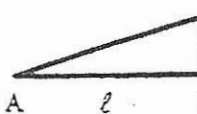
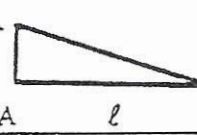
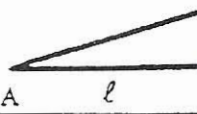
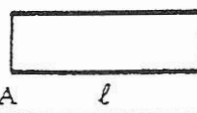
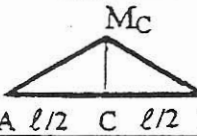
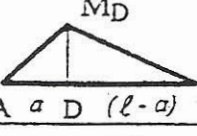
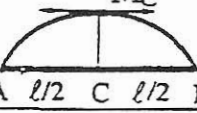
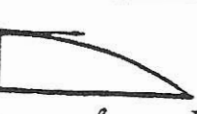
Sections d'armatures

Tableau des sections en cm²

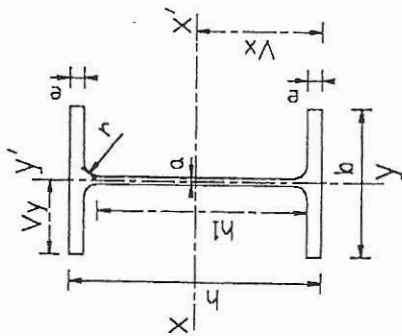
Nombre de barres	Diamètre ϕ en mm										
	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
1	0,20	0,28	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57
2	0,39	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	16,08	25,13
3	0,59	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,73	24,13	37,70
4	0,79	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,64	32,17	50,27
5	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	40,21	62,83
6	1,18	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,06	18,85	29,45	48,25	75,40
7	1,37	1,98	3,52	5,50	7,92	10,78	14,07	21,99	34,36	56,30	87,96
8	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	64,34	100,5
9	1,77	2,54	4,52	7,07	10,18	13,85	18,10	28,27	44,18	72,38	113,1
10	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	80,42	125,7
11	2,16	3,11	5,53	8,64	12,44	16,93	22,12	34,56	54,00	88,47	138,2
12	2,36	3,39	6,03	9,42	13,57	18,47	24,13	37,70	58,91	96,51	150,8
13	2,55	3,68	6,53	10,21	14,70	20,01	26,14	40,84	63,81	104,6	163,4
14	2,75	3,96	7,04	11,00	15,83	21,55	28,15	43,98	68,72	112,6	175,9
15	2,95	4,24	7,54	11,78	16,96	23,09	30,16	47,12	73,63	120,6	188,5
16	3,14	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	50,27	78,54	128,7	201,1
17	3,34	4,81	8,55	13,35	19,23	26,17	34,18	53,41	83,45	136,7	213,6
18	3,53	5,09	9,05	14,14	20,36	27,71	36,19	56,55	88,36	144,8	226,2
19	3,73	5,37	9,55	14,92	21,49	29,25	38,20	59,69	92,27	152,8	238,8
20	3,93	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	160,8	251,3

Données complémentaires : Document 3

Intégrales de Mohr

$\begin{array}{c} M^* \\ \swarrow \\ M \end{array}$			
	$M_A \cdot M^* \cdot \frac{\ell}{2}$	$M_A \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{3}$	$M_A \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{6}$
	$M_B \cdot M^* \cdot \frac{\ell}{2}$	$M_B \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{6}$	$M_B \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{3}$
	$M \cdot M^* \cdot \ell$	$M \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{2}$	$M \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{2}$
	$(M_A + M_B) M^* \cdot \frac{\ell}{2}$	$(2M_A + M_B) M_A^* \cdot \frac{\ell}{6}$	$(M_A + 2M_B) M_B^* \cdot \frac{\ell}{6}$
	$M_C \cdot M^* \cdot \frac{\ell}{2}$	$M_C \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{4}$	$M_C \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{4}$
	$M_D \cdot M^* \cdot \frac{\ell}{2}$	$M_D \cdot M_A^* \cdot \frac{2\ell - a}{6}$	$M_D \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell + a}{6}$
	$M_C \cdot M^* \cdot \frac{2\ell}{3}$	$M_C \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{3}$	$M_C \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{3}$
	$M_A \cdot M^* \cdot \frac{\ell}{3}$	$M_A \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{4}$	$M_A \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{12}$
	$M_B \cdot M^* \cdot \frac{\ell}{3}$	$M_B \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{12}$	$M_B \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{4}$
	$M_A \cdot M^* \cdot \frac{2\ell}{3}$	$M_A \cdot M_A^* \cdot \frac{5\ell}{12}$	$M_A \cdot M_B^* \cdot \frac{\ell}{4}$
	$M_B \cdot M^* \cdot \frac{2\ell}{3}$	$M_B \cdot M_A^* \cdot \frac{\ell}{4}$	$M_B \cdot M_B^* \cdot \frac{5\ell}{12}$

Coupe longitudinale partielle du pont

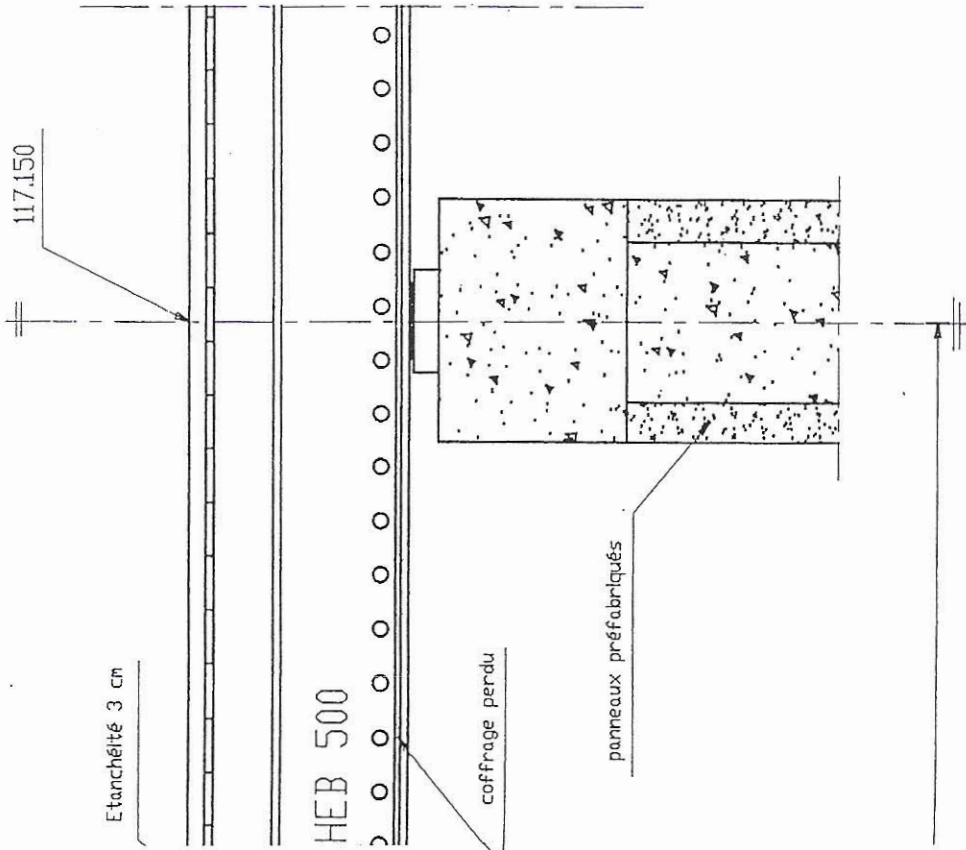


Données complémentaires : Document 4

Caractéristiques des profilés HEB

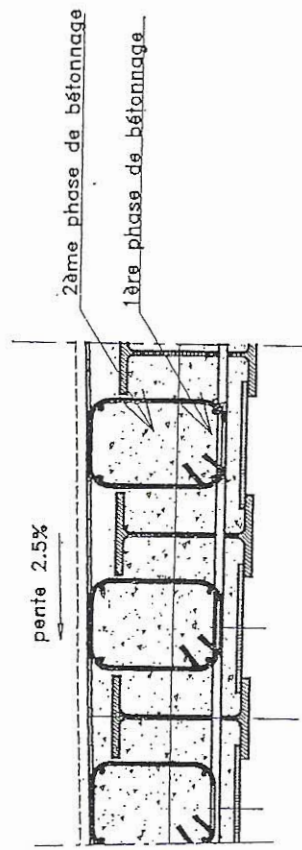
Profilés	Dimensions						Partie droite de l'âme h ₁ mm
	h	b	a	e	r		
100	100	100	6	10	12		56
120	120	120	6,5	11	12		74
140	140	140	7	12	12		92
160	160	160	8	13	15		104
180	180	180	8,5	14	15		122
200	200	200	9	15	18		134
220	220	220	9,5	16	18		152
240	240	240	10	17	21		164
260	260	260	10,5	17,5	24		177
280	280	280	10,5	18	24		196
300	300	300	11	19	27		208
320	320	300	11,5	20,5	27		225
340	340	300	12	21,5	27		243
360	360	300	12,5	22,5	27		261
400	400	300	13,5	24	27		298
450	450	300	14	26	27		344
500	500	300	14,5	27	27		390
550	550	300	15	29	27		438
600	600	300	15,5	30	27		486

Profilés	Caractéristiques rapportées à l'axe neutre									
	I_x cm ⁴	I_y cm ⁴	I_{xy} cm ⁴	I_x cm ⁴	I_y cm ⁴	I_{xy} cm ⁴	Moment statique S cm ³	Distance des centres cm	I_{xx} cm ⁴	I_{yy} cm ⁴
100	450	90	4,16	52,1	8,63	4,41	10,5	10,5	5,39	3,18
120	864	144	5,83	82,6	10,5	5,39	12,3	12,3	6,41	3,58
140	1509	216	6,78	123	12,3	6,41	14,1	14,1	7,30	3,58
160	2492	311	7,65	177	14,1	7,30	15,9	15,9	8,32	4,05
180	3831	426	8,54	241	15,9	8,32	17,7	17,7	9,30	4,57
200	5586	570	9,43	321	17,7	9,30	19,6	19,6	10,29	5,07
220	8091	736	10,3	414	19,6	10,29	21,4	21,4	11,27	5,59
240	11260	938	11,2	527	21,4	11,27	23,3	23,3	12,36	6,08
260	14920	1150	12,1	641	23,3	12,36	25,1	25,1	13,40	6,58
280	19270	1380	13,0	767	25,1	13,40	26,9	26,9	14,36	7,09
300	25170	1690	13,8	934	26,9	14,36	28,7	28,7	15,19	7,58
320	30820	1930	14,6	1070	28,7	15,19	30,4	30,4	16,12	8,06
340	36660	2160	15,5	1200	30,4	16,12	32,2	32,2	16,90	8,53
360	43190	2400	16,4	1340	32,2	16,90	35,7	35,7	18,58	9,02
400	57680	2880	17,1	1620	35,7	18,58	40,1	40,1	20,76	10,14
450	79590	3550	19,1	1990	40,1	20,76	44,5	44,5	22,94	11,20
500	107180	4290	21,2	2410	44,5	22,94	48,9	48,9	24,97	12,62
550	136590	4970	23,2	2800	48,9	24,97	53,2	53,2	26,89	13,53
600	171040	5700	25,2	3210	53,2	26,89				



échelle 1/20

Coupe transversale partielle



Détail tablier

les aciers "haute adhérence" ne sont pas dessinés

échelle 1/10

