

Aclaraciones al calculo

849.532

7-6-18

1^{ère} Question

D'après l'article n° 8 de la Circulaire n° 141 du 26 Octobre 1953 relative à l'emploi du béton précontraint, on pourra admettre pour le produit $\pm \lambda \pm E_b$ des valeurs comprises entre $\pm 20 \text{ kg/cm}^2$ et $\pm 30 \text{ kg/cm}^2$.

En plus d'après l'article n° 9 de la même circulaire, la valeur (E_b) du module d'élasticité différencié est égale à

$$E_b = 6.000 \sqrt{N} = 6.000 \sqrt{400} = 120.000 \text{ kg/cm}^2$$

étant $N = 400 \text{ kg/cm}^2$, la résistance du béton mesurée sur cubes, prévue dans le projet,

Or, la valeur de la déformation doit être comprise entre

$$\frac{20}{0,12} \times 10^{-6} = 167 \times 10^{-6} < \lambda \leq \frac{30}{0,12} \times 10^{-6} = 250 \times 10^{-6}$$

En admettant $\lambda = 200 \times 10^{-6}$ comme valeur moyenne, le déplacement horizontal de la pile, la plus éloignée de la culée R.G, est

$$\Delta L = \pm (22,66 \times 4 + 1,86 \times 3,5) \times 200 \times 10^{-6} = \pm 0,0194 \text{ m.}$$

Etant donné que la pile a une hauteur de 5,23 m., ce déplacement produit une rotation de la pile de

$$\text{tg } \alpha = \frac{0,0194}{5,23} = 3,715 \times 10^{-3}$$

Offre n° 1 (Piles jumelées)

Charge permanent (le reporter à l'offre n° 3)
Dalles et poutres.

$$(77,3 + 268,3) \times 2 = 691,2 \text{ t}$$

Piles $69,3 \times 2 = 138,6$ tons

Surcharge roulante due a 4 convois centrees sur le point moyen d'une travée = 288,4 tons.

Soit en total: $691,2 + 138,6 + 288,4 = \underline{1.118}$ t

Composante horizontale

$\pm 1.118 \times 3,715 \times 10^{-3} = \pm 4,15$ t

Moment flechissant horizontal dans la semelle de fondation:

$M_{max} = \pm \left(\frac{4,15}{2} \times \frac{15,6}{2} - 0,415 \times \frac{5}{2} \right) = \pm 11,0$ mt

Verification de la section

$H = 298$ cm

$H' = 260$ cm

$\omega = 4\phi 12 = 4,5$ cm²

$\omega' = 4,5$ cm²

$50y^2 + 4,5 \times 15 \times (y - 38 + y - 260) = 0$
 $50y^2 + 135y - 20115 = 0$ $y = 11,4$ cm
 $I = 100 \times \frac{11,4^3}{3} + 67,5 \times$

$50y^2 + 4,5 \times 15 \times (y - 260) = 0$

$50y^2 + 67,5y - 14.550 = 0$

$y = 18,0$ cm

$I = 100 \times \frac{18^3}{3} + 67,5 \times 242 = 4.147.000$ cm⁴

$R_b = - \frac{1100.000}{4.147.000} \times 18 = -4,8$ kg/cm²

$R_a = n \times 232 \times 15 = 930$ kg/cm²

Offre n°3 (Pile en Y)

Garge permanent

= 691,2 tons

Dalles et poutres

= 141,2 tons

Pile

Surcharge roulante de 4 convois sur une travée

= 167,0 tons

Soit

999,4 t

Composante horizontale

$$\pm 999,4 \times 3,715 \times 10^{-3} = \pm 3,7 t$$

Cet effort represente une augmentation de 13%, inferieure au 20% generalement admis dans le cas de la superposition extremement defavorable de la surcharge roulante de 4 convois dans la position la plus defavorable, de l'effet dynamique de la surcharge et de la temperature.

2eme Question

Ce type de rouleau a ete employe dans des ouvrages divers, notamment

On accompagne ~~deux~~ ^{un} dessin du Pont de la Barca. Dans ce cas, le rouleau a 13 cm de diametre et 30 cm de longueur; il doit supporter une charge de 15 tonnes au meme temps que des mouvements horizontaux sous l'effet de la temperature.

Dans le pont des Ait Quelbul, le rouleau de 11 cm de diametre et 50 cm de longueur supporte une charge de 5,5 tonnes. Il a ete essaye au laboratoire Central d'Essais, de Madrid, avec 35 cm de longueur et on a obtenu une charge minimum de rupture de 48 tonnes.

3^{ème} Question

Le moment fléchissant maximum est: (se reporter à la vérification de la section centrale de la poutre n°1) ^{du à la surcharge}

$$M = \frac{1}{8} p l^2 = 2,7 + 77,1 = 79,8 \approx 80 \text{ mt.}$$

or,

$$p l^2 = 640.$$

La flèche produit par la surcharge maxima, au centre de la travée est

$$f = \frac{5}{384} \frac{p l^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{640 \times 22,66^2}{0,1313 \times 3600000} = 0,009 \text{ m}$$

Au droit de l'appui, la rotation causée par cette flèche est :

$$\text{tg } \theta = \frac{0,009 \times 2}{11,33} = 1,6 \times 10^{-3}$$

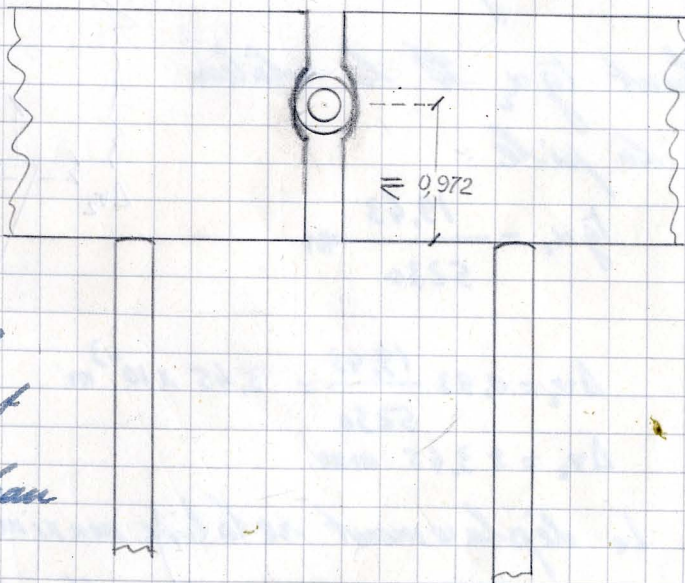
rotation qui correspond à la poutre de rive dans l'hypothèse la plus défavorable de surcharge maxima avec majoration dynamique.

Offre n°1 - Piles jumelées

Le déplacement vertical de l'extrémité de la poutre est:

$$\Delta v = 0,92 \text{ tg } \theta = 0,92 \times 1,6 \times 10^{-3}$$

$$\Delta v = 1,47 \text{ mm.}$$

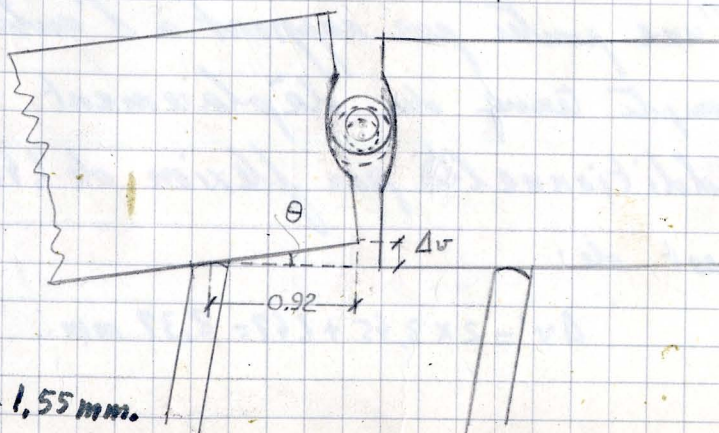


Or, la flexion d'une travée c'est le siège d'un déplacement vertical du ~~centre~~ centre du rouleur de

$$\Delta v_r = \pm \frac{1}{2} 1,47 = \pm 0,73 \text{ mm.}$$

A son tour, la rotation de la face extrême de la poutre fait naître d'un déplacement horizontal de:

$$\Delta h_1 = 0,972 \times 1,6 \times 10^{-3} = 1,555 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,55 \text{ mm.}$$



Etant donné que le déplacement horizontal par variations thermique est de 19,43 mm. au maximum, le plus grand déplacement horizontal de la tête de la pile par rapport à sa semelle de fondation est de

$$\Delta h = 1,55 + 19,43 = 20,93 \approx 21 \text{ mm}$$

~~déplacement~~ Une rotation de la pile de

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{21}{5230} = 4 \times 10^{-3}$$

naît de ce déplacement, rotation inférieure à la valeur maxima de 9,5% admise pour les rotules plastiques.

Coffre n°3. - Piles en Y

Les variations thermiques, sont, dans ce cas, l'origine d'un déplacement vertical de

$$\Delta v_2 = 0,93 \operatorname{tg} \alpha_2$$

étant $\operatorname{tg} \alpha_2$ la rotation de la pile :

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{19,43}{5230}$$

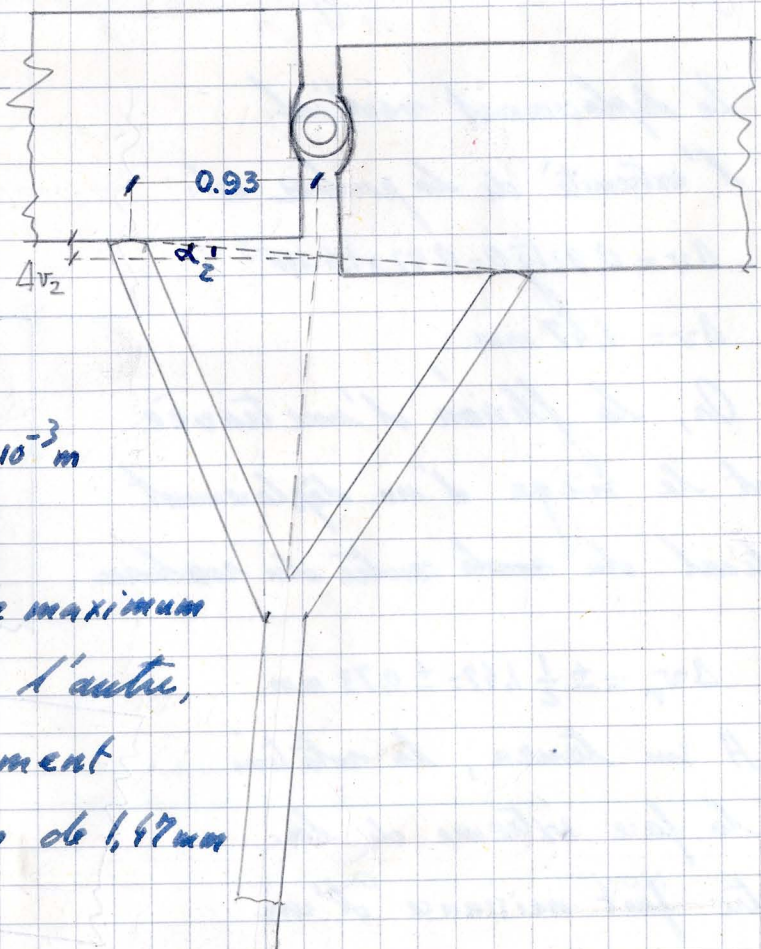
ou :

$$\Delta v_2 = 0,93 \frac{19,43}{5230} = 3,45 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta v_2 = \pm 3,45 \text{ mm.}$$

Le déplacement relative maximum d'une poutre par rapport à l'autre, compte tenu du déplacement additionnelle par flexion de 1,47 mm est de :

$$\Delta v' = 2 \times 3,45 + 1,47 = 8,37 \text{ mm.}$$



1^{ère} hypothèse - Variation thermique et surcharge agissante sur une travée.

Étant 8,37 mm. le déplacement vertical, le centre du rouleau doit subir une translation, aussi verticale de

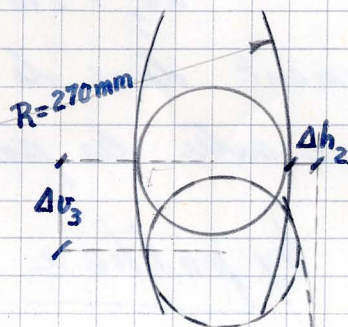
$$\Delta v_3 = \frac{1}{2} 8,37 = 4,18 \text{ mm.}$$

Avec des coquilles d'un rayon
de courbure de R = 270 mm.

l'écartement Δh_2 par ouverture
~~de la joint~~ est:

$$\Delta h_2 = R - \sqrt{R^2 - \Delta v_3^2}$$

$$\Delta h_2 = 270 - \sqrt{270^2 - 4,18^2} = 0,032 \text{ mm.}$$



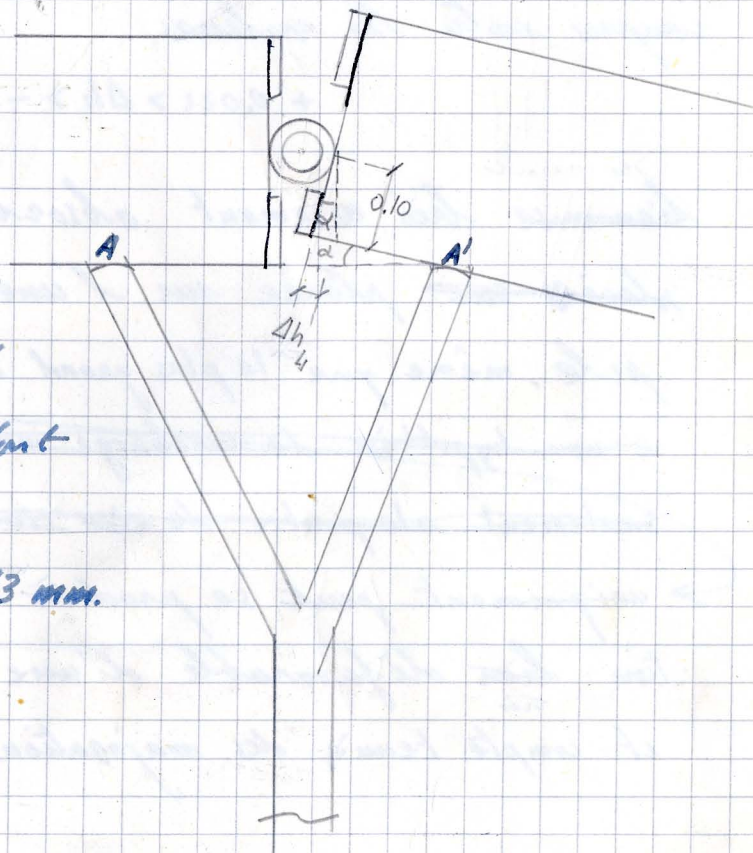
En revanche, et comme le rouleau dans ce cas de piles en Y est situé à une hauteur de 100 mm sur le bord inférieur de la poutre, se produit un ~~approchement des deux poutres~~ entre un raccourcissement de la distance AA' entre les deux points d'appui par la flexion d'une travée:

$$\Delta h_4 = 0,10 \times 1,6 \times 10^{-3} = 0,00016 \text{ m}$$

$$\Delta h_4 = 0,16 \text{ mm.}$$

En définitive, dans cette hypothèse, un rapprochement des points AA' est produit, dont sa valeur est

$$\Delta h_5 = 0,16 - 0,032 = 0,13 \text{ mm.}$$



2^{ème} hypothèse - Variation thermique sans surcharge

Le déplacement vertical est;

$$\Delta v_s = 2 \times 3,45 = 6,9 \text{ mm.}$$

Le mouvement du centre de roulement est de $\frac{1}{2} \times 6,9 = 3,45 \text{ mm.}$

Le déplacement horizontal par courbure des coquilles:

$$\Delta h_s = 270 - \sqrt{270^2 - 3,45^2} = 0,022 \text{ mm.}$$

déplacement dans le sens d'une ~~sp~~ augmentation de la distance entre les points ~~AA'~~ H et A'

3^{ème} hypothèse - Flexion sans variation thermique.

Comme ~~il est~~ ^{il est} ~~est~~ déjà calculé, le raccourcissement de la longueur AA' est, dans ce cas:

$$\Delta h_f = 100 \times 1,6 \times 10^{-6} = 0,16 \text{ mm.}$$

Conclusions

Or, les différentes hypothèses de surcharge et variation thermique sont l'origine des petites déplacements relatifs des extrémités des branches des piles, déplacement Δh compris entre les valeurs:

$$+ 0,022 > \Delta h > - 0,16 \text{ mm.}$$

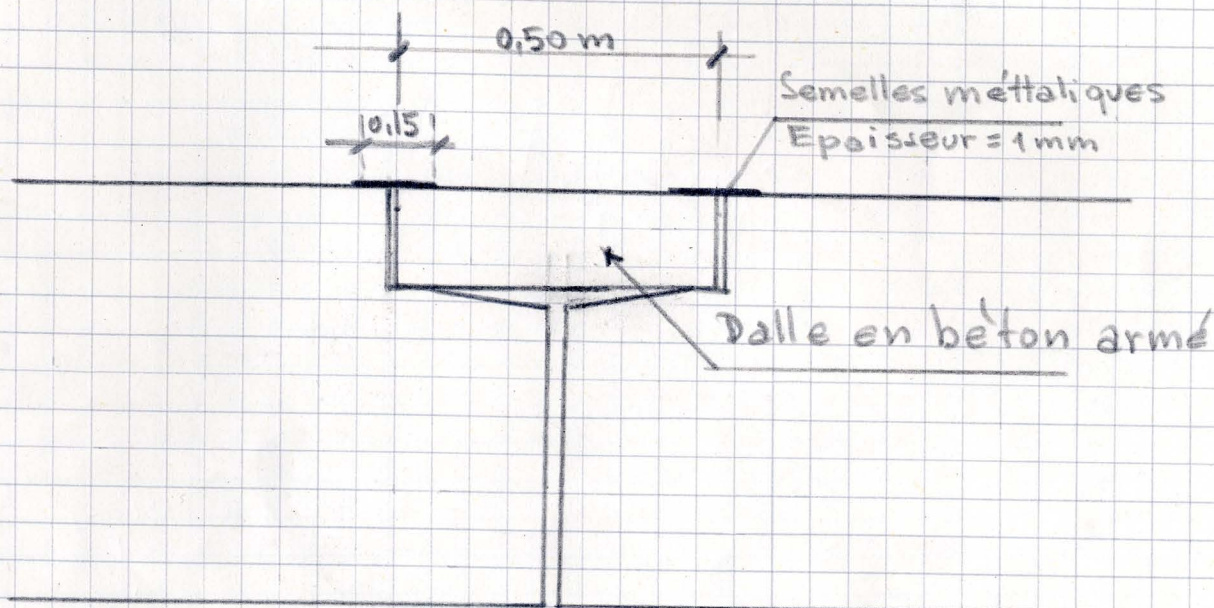
^{Des courbes} ~~sera~~ ^{ou plomb} très aisément absorbé par la plaque de néoprène placée ~~sur~~ placée sur l'une des deux branches de la pile, même que le plus grand de ces déplacements correspond à ~~une hypothèse de surcharge maxima, excentrée, en seulement~~ ~~à la poutre de rive~~

→ ~~uniquement~~ ^{uniquement} peut se produire dans la poutre de rive, sous l'action ~~très~~ défavorable d'une surcharge maxima, excentrée, et compte tenu des majorations dynamiques.

4^{ème} Question

La dénivellation est déjà calculée dans la 3^{ème} réponse. Soit 8,37 mm.

Solution proposée de la ^{dalle} course-joint



5^{ème} Question

Le câble de freinage gainé a l'intérieur d'un tube d'acier repose sur une ouverture réservée dans l'une des entretoises de l'appui; c'est-à-dire sur quatre points ~~au droit des piles~~ dans toute la longueur du pont, compris entre les deux extrémités. Il ^{librement} traverse les autres entretoises par des ouvertures allongées sans reposer sur ces points.

La rotation des abouts des poutres est le siège d'une courbure du câble. Cette rotation est égale (3^{ème} réponse) à

$$\operatorname{tg} \theta = 1,6 \times 10^{-3}$$

Le moment flechissant produit par cette rotation est égale à

$$M = \frac{EI \operatorname{tg} \theta}{L}$$

et la contrainte dans le mortier de l'enrobage résulte

$$\sigma_b = \frac{M d}{2I} = \frac{E d \operatorname{tg} \theta}{2L}$$

Étant $d = 2,5 \text{ cm}$ le diamètre du câble on a

$$\sigma_b = \frac{2 \times 10^5 \times 2,5 \times 1,6 \times 10^{-3}}{2 \times 2,266} = 0,17 \text{ kg/cm}^2$$

Le taux de travail incapable de produire des fissures dans le mortier.

Non décalage dans la variation thermique entre le tablier et le câble, ne produit pas des glissements dans les points d'appui du câble, car la longueur totale est toujours égale à

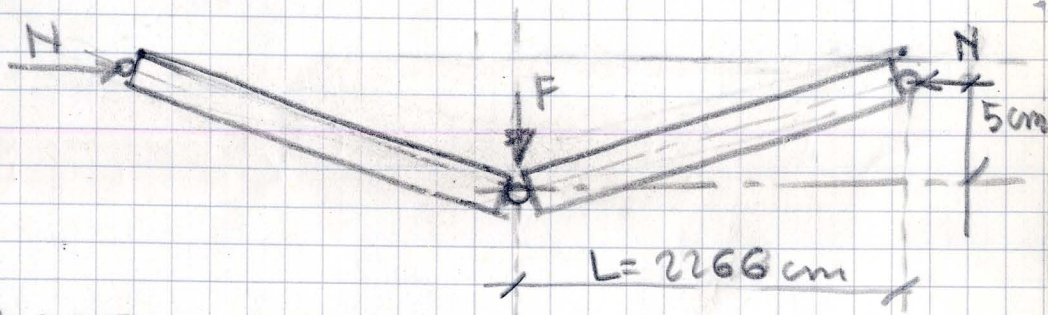
la longueur du pont. Des chutes au fur et à mesure des petites augmentations des contraintes de l'acier provoquées par la différence de température sont donc prévisibles avec des faibles variations dans les flèches des câbles du câble.

Il est donc bien certain que tous ces changements de longueur sont proportionnels à la distance au point fixe (Bulée R.G). Une homothétie peut être établie en prenant comme centre ce point fixe. Aucun glissement par différence de variation de longueur n'est donc à craindre.

6^{ème} Question

La disposition des rouleaux entre les travées, n'introduit aucune réaction dans la libre rotation des abouts des poutres. Les rouleaux comprimés par la précontrainte des câbles de freinage produisent des compressions additionnelles sur les poutres. ~~L'action~~ ~~de ces efforts de compression est bien localisée~~, étant donné que les rouleaux sont des points de passage obligés pour ces efforts, la compression est bien localisée.

~~Un~~ tassement d'un appui de 5 centimètres, par exemple, est l'origine d'une réaction verticale supplémentaire de :



$$F = \frac{5N}{L} = \frac{5 \times 33.000}{2.266} = 73 \text{ kg}$$

Même dans cette hypothèse invraisemblable d'un tassement de 5 cm, la rotation produit des contraintes négligeables dans le mortier du câble.

Étant la rotation de

$$t_g \theta = \frac{5}{2266} = 2,2 \times 10^{-3}$$

la contrainte produite est de

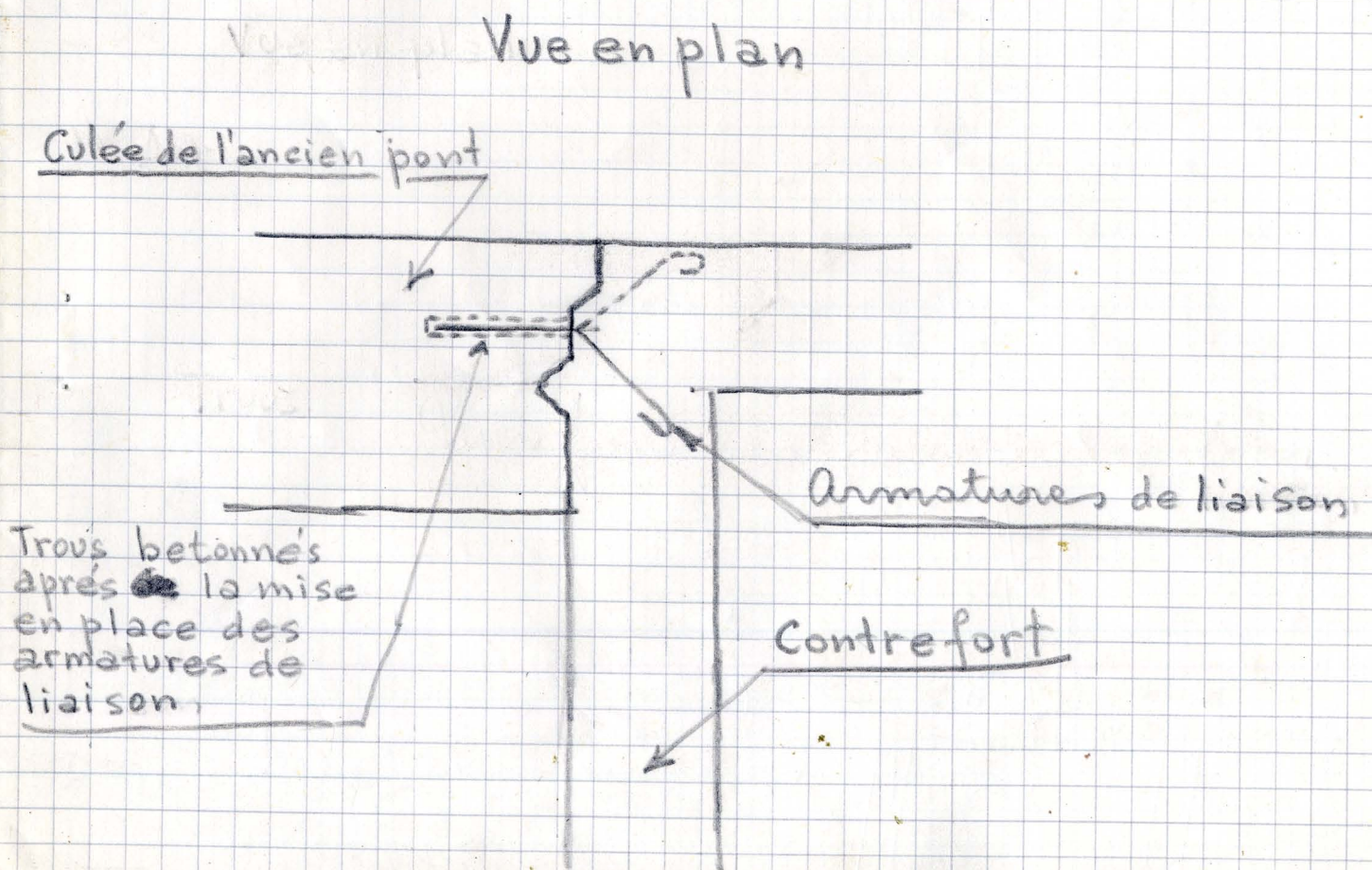
$$\sigma_b = \frac{2,2}{1,6} \times 0,17 = 0,54 \text{ kg/cm}^2$$

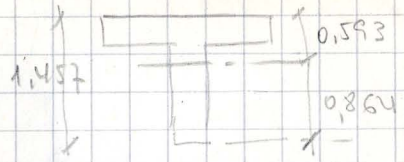
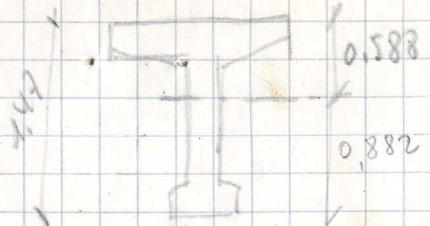
7^{ème} Question

(Se reporter à la note de calcul de l'offre n°1)

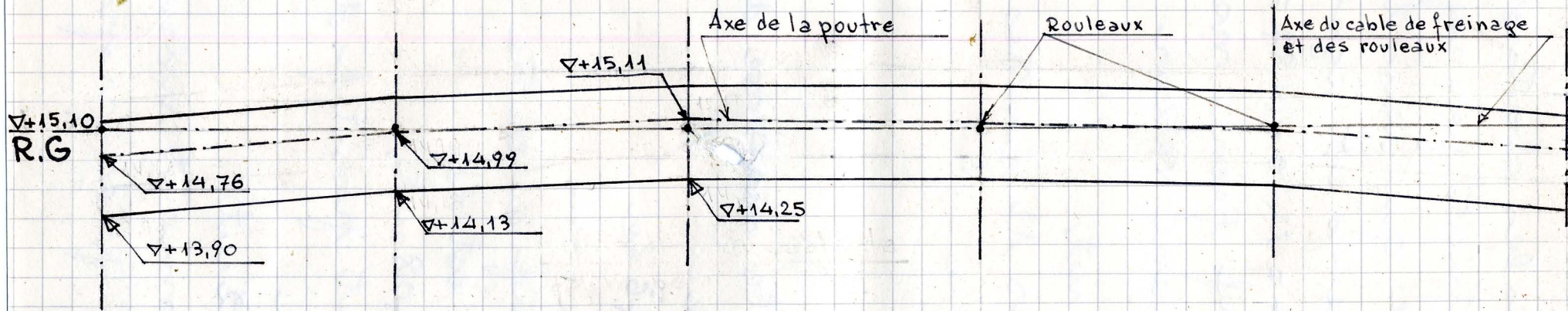
Pour la stabilité de la culée Rive gauche sous l'effort horizontal (33 tonnes) du aux cables de freinage, seulement sont envisagés ~~des~~ trois contreforts; ~~c'est-à-dire, qu'on n'a pas~~ ^{se} ~~eu~~ tenu compte du mur frontal et des murs en retour, ~~bien entendu~~ ^{de ce qui sera} que ces derniers collaboreront à la stabilité de l'ensemble ~~par~~ la liaison horizontale qui entraîne ~~nt~~ les voûtes.

~~Cependant, si ça sera de l'agrément de l'Administration~~ On peut assurer ~~par~~ l'adhérence des deux bétons en faisant le renforcement indiqué ci dessous. en schéma.

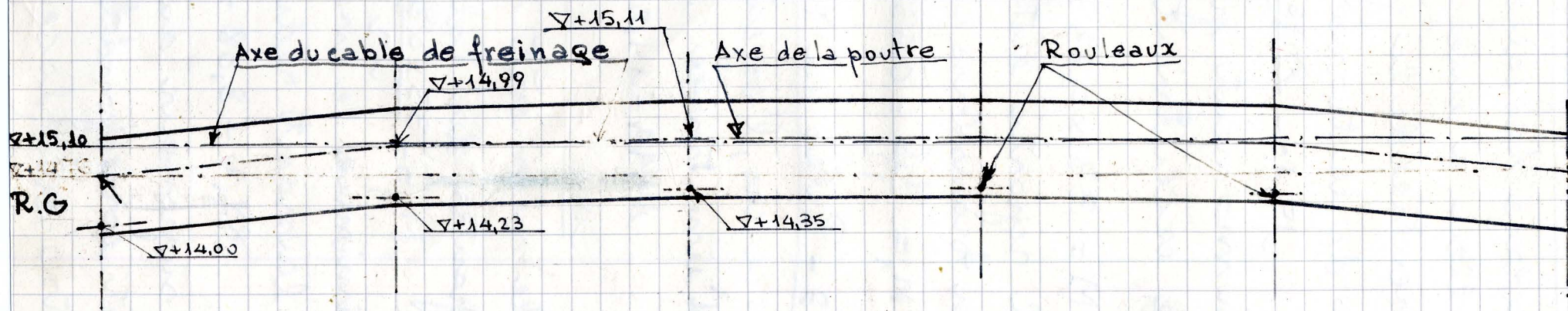




Piles jumelées



Piles en Y



Position du câble et des rouleaux

Influence des cables de freinage dans les poutres

Offre n°1. - Piles jumelées

L'ancrage des cables dans les abouts extremes donne lieu a une excentricité par rapport a l'axe neutre de la poutre que dans la section centrale de la travée extreme est égale a

$$15,10 - \frac{14,76 + 14,99}{2} = 15,10 - 14,87 = 0,23 \text{ m.}$$

Or un moment positif prene naissance en cette excentricité d'une valeur de

$$M = 33 \times 0,23 = 7,6 \text{ mt.}$$

lequel reparti entre les 12 poutres de la section transversale donne

$$M_1 = \frac{7,6}{12} = 0,63 \text{ mt.}$$

Offre n°3 - Piles en Y

Dans ce cas, l'excentricité maximale dans le centre d'une travée est de

$$14,99 - 14,23 = 0,76 \text{ m}$$

D'où le moment negatif au centre pour chaque poutre du tablier est de

$$M_1 = - \frac{33 \times 0,76}{12} = 2,08 \text{ mt.}$$

qui diminue le moment positif de 87,2 mt en le laissant réduit a

$$87,2 - 2,08 = 85,12 \text{ mt}$$

encore supérieur au moment minimale de

81,7 mt correspondant au poids propre pendant la mise en place.

Flèche du câble de freinage

Poids propre du câble et de l'encrobage en mortier est de

$$\frac{3,14 \times 2,5^2}{4} \times 2,4 + 3 \times \frac{3,14 \times 0,4^2}{4} \times (7,85 - 2,4) = 1,82$$

Soit 2 kg au mètre linéaire

Pour une portée de 24,52 m le poids propre est de 49 kg.

La réaction ~~verticale~~ sur l'appui est de 24,5 kg, que c'est la composante verticale de la traction dans la chaînette tandis que la composante horizontale est de 11.000 kg. Au droit de l'appui l'angle formé avec l'horizontal est donc de

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Y}{H} = \frac{24,5}{11.000} = 2,22 \times 10^{-3} = \sqrt{\left(\frac{Y}{H}\right)^2 - 1}$$

$$\operatorname{tg}^2 \theta = 4,93 \times 10^{-6} = \left(\frac{Y}{H}\right)^2 - 1$$

$$\frac{Y}{H} = \sqrt{1 + 4,93 \times 10^{-6}} = 1,00000246$$

Comme la demi longueur du câble est de 12,26 m

$$12,26 = h \operatorname{tg} \theta = 2,22 \times 10^{-3} h$$

d'où

$$h = \frac{12,26}{2,22} \times 10^3 = 5,522 \text{ m.}$$

La flèche est donc

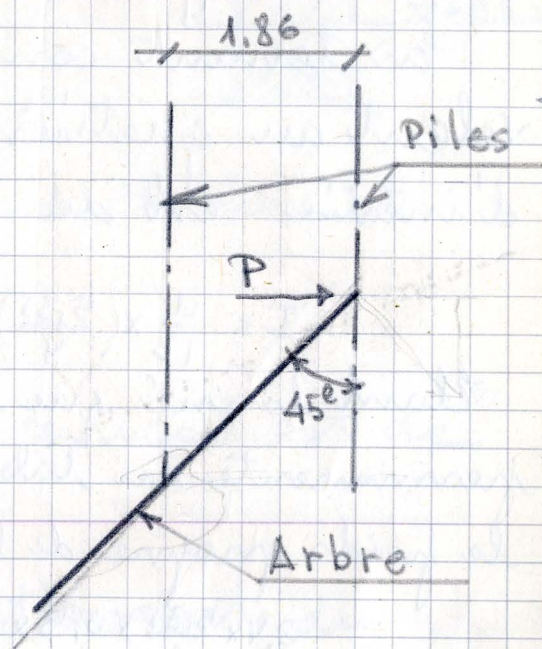
$$f = Y - h = h(1,00000246 - 1) = 0,0138 \text{ m.}$$

Soit 13,8 millimètres.

Effort de l'abattage d'un arbre contre les piles jumelées

Des renforcements dans les étraves des piles sont prévus dans le projet. Dans ces étraves l'épaisseur est variable; à demi hauteur de la pile centrale l'épaisseur est de 0,55 m; l'hauteur de cette pile est de 5,35 m.

L'hypothèse la plus défavorable correspond à l'abattage d'un arbre placé précisément à 45° par rapport à l'axe des piles et dans le cas où il soit arrêté au niveau de la demi hauteur de la pile. C'est dans cette hypothèse que le moment flechissant exercé par l'arbre sur les piles soit maximum.



Dans la limite la poussée la plus grande que l'arbre peut exercer correspond à la résistance à la flexion propre de l'arbre.

En admettant un arbre de 45 cm de diamètre le moment flechissant de rupture atteint la valeur:

$$M = \frac{32 \sigma_R}{\pi d^3} = \frac{32 \times 2.500}{3,14 \times 0,45^3} = 28 \text{ mt}$$

c'est-à-dire qu'à ce moment là, l'arbre doit se rompre.

La poussée perpendiculaire à la pile, provoquée par ce moment, ne pourra pas dépasser la valeur

$$P = \frac{28}{1,86\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 7,53 \text{ t}$$

Or le moment flechissant maximale qui peut agir sur la pile est de

$$M = \frac{1}{4} PL = \frac{1}{4} \times 7,53 \times 5,3 = 10 \text{ mt.}$$

En tenant compte d'une largeur du mur équivalente au quart de l'hauteur ($H=5,35$) le moment d'inertie est de

$$I = \frac{1}{12} \times \frac{5,35}{4} \times 0,55^3 = 0,0185 \text{ m}^4$$

Etant donné que la compression exercée par la charge permanente du tablier est de $77,3 + 268,3 = 345,6 \text{ t}$ et que le poids propre de la demi-hauteur de la pile vaut

$$2,4 \times \frac{5,35}{2} \times 0,3 \times 14,0 = 32,7 \text{ t}$$

la contrainte verticale de compression est de moyenne

$$\sigma = - \frac{345,6 + 32,7}{0,3 \times 14,0} = - 7,42 \text{ kg/cm}^2$$

Donc les contraintes extrêmes sont

$$\sigma = - 7,42 \pm \frac{10 \times \frac{14,82}{2} \times 0,55}{0,0185} \times \frac{1}{10} = \begin{cases} + 7,4 \text{ kg/cm}^2 \\ - 21,2 \text{ "} \end{cases}$$

Pour un béton de 350 kg/cm^2 de résistance à la compression, la résistance prévisible à la traction est de 35 kg/cm^2 . Or, le coefficient de sécurité disponible dans cette hypothèse est de

$$k = \frac{35}{7,4} = 4,7.$$

Marge de sécurité surabondante.

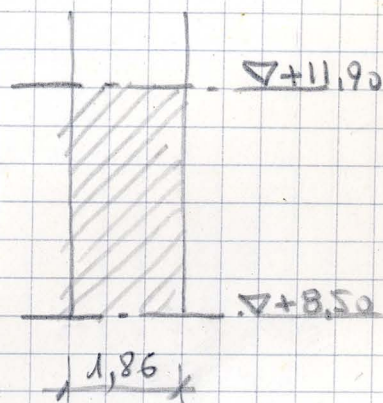
Obstruction totale entre piles jumelées.

D'autre part; si on envisage la possibilité d'une obstruction totale entre les piles jumelées jusqu'au niveau des plus hautes eaux ($\nabla + 11,90$), la pression hydrostatique maximum est

$$11,90 - 8,5 = 3,4 \text{ t/m}^2$$

si l'on suppose qu'à l'aval l' hauteur de l'eau est nulle la poussée totale est de

$$\frac{1}{2} \times 3,4^2 \times 1,86 = 10,4 \text{ t.}$$



Comme la charge permanente totale des tabliers et des piles est de 443,

$$443,4 \times 2 = 886,8 \text{ t}$$

l'angle de la résultante avec le vertical est de

$$\frac{10,4}{886,8} = 0,011$$

très inférieur au coefficient de frottement du béton, même en négligeant l'effet des armatures et de l'adhérence du béton dans l'articulation.

Cet effort horizontal agissant sur la tête des piles est très inférieur aux 64 tonnes admises par les deux piles inclinées extrêmes.