

Fanny STERN
Estelle CANONNE
Elvire LUTHAUD
Tiphaine BRETT

Étude de la rupture d'un pont



Sommaire

- I- Problème réel
- II- Modélisation *utilisation de Robot*
- III- Analyse

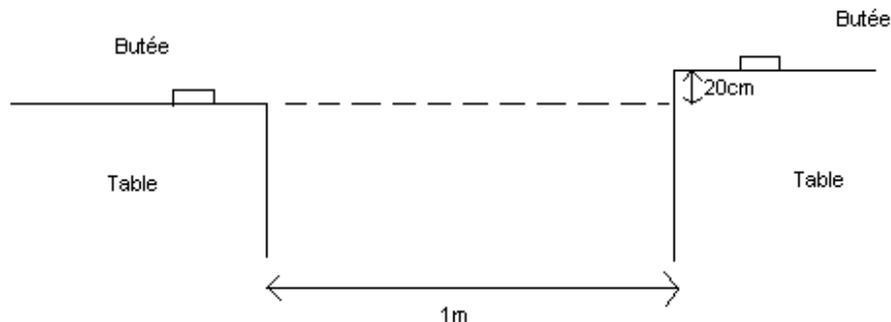
I – Problème réel

1) présentation du pont

Instructions

Les instructions données pour le franchissement étaient :

- dénivelé de 20 cm
- traversée de 1m20



Choix

Après quelques minutes de réflexion, notre attention s'est portée sur trois types de pont différents. Tout d'abord, nous avons retenu l'idée d'une poutre. Ce type de structure est avantageuse puisque l'on peut poser plus facilement des poids dessus du fait de son horizontalité. Par contre, les forces se concentrent plus au milieu de la structure et nous avons pensé qu'il ne supporterait pas une charge élevée. Notre deuxième choix était un pont sous-tendu. Un tel pont possède initialement une contrainte et les ficelles qui sous-tendent le pont permettent de récupérer une partie des forces pour avoir une meilleure répartition. Seulement, pour sous-tendre un pont, il fallait construire un mât sous le pont pour attacher des ficelles. Or, le franchissement comporte un dénivelé de 20 cm et lors de la journée de construction, il nous a semblé qu'il serait difficile, en si peu de temps, de calculer l'endroit où il fallait positionner le mât compte tenu de la dissymétrie.

Nous avons donc opté pour un pont en *arc*. En effet, ce type de pont permet de transférer une partie du poids du pont horizontalement contre les butées.

Problème : Dans un premier temps on dit que la force se concentre au milieu alors qu'en fait l'intérêt du pont en arc c'est que les poutres transversales permettent de transférer une partie des contraintes au niveau des pieds...

Description du pont

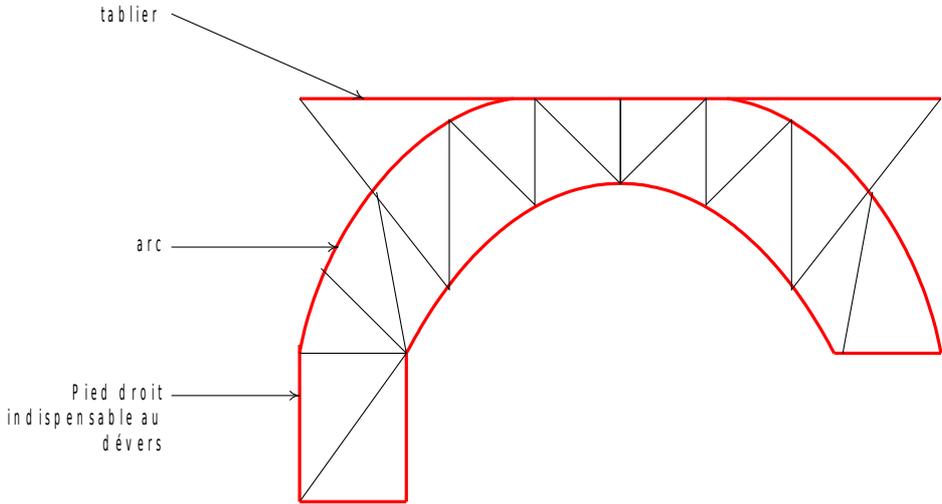
Pour faciliter la pose des poids sur le pont, nous avons installé un tablier horizontal. De plus, nous pensions que les butées étaient fixes, à une distance de 10cm du bord des tables. Par conséquent, nous avons aménagé un pied du côté du pont où il y a le devers. En effet, une

arche seule se serait déposée sur la table à une distance supérieur à 10cm. Nous avons donc construit l'arche, dans un premier temps, de manière symétrique des deux côtés. Puis, nous avons construit le pied du pont de manière à combler les 20cm de dévers.



— Poutres permettant la répartition de la force appliquée

— Ossature du pont



2) la rupture...

Notre pont pesait 340 g et a supporté 64kg. Cela donne un ratio de 188.

La rupture du pont est due à un flambement du pied où les poutres étaient les plus longues et sans renfort. On voit sur les deux photos suivantes l'écrasement du pied gauche et son flambement.



II- Modélisation

1) Présentation des matériaux

Pour réaliser notre pont nous avons utilisé des *baguettes* de samba de différentes sections et des *ficelles*.

Les baguettes

Les baguettes ont un coefficient d'élasticité de 5420 MPa et un coefficient de poisson de 0,3. Elles ont des sections de 3*3 mm ou de 2*10 mm.

Les ficelles

En revanche nous ne connaissons pas les caractéristiques des ficelles, c'est pourquoi nous les avons modélisées par du samba de coefficient d'élasticité (E) de 5420 MPa et de coefficient de poisson de 0,3. De plus nous savons que $E*S=0,00189273$ MN, avec S la section des ficelles.

Cela nous a permis de calculer cette section ($S=0,00349\text{cm}^2$), que nous avons considérée carré, chaque côté faisant donc 0,059 cm.

2) Simplifications

Mise à plat

Nous avons « aplati » le pont afin d'obtenir une structure en 2D. Nous avons donc multiplié par 2 l'ensemble des épaisseurs de chaque barres (afin de simuler la réunion des 2 arcs du pont).

Fractionnement des arches

Pour les deux arches du pont et pour le tablier nous avons utilisé des poutres entières que nous avons courbées afin qu'elles prennent la forme désirée. Lors de la modélisation, nous avons fractionné ces grandes arches en petites poutres rectilignes, chaque fraction correspondant à un écart entre deux noeuds.

Force appliquée

Nous avons choisi d'appliquer sur notre structure une force répartie en plusieurs points. Cette force correspond à la force pour laquelle notre pont a cassé, soit environ 640N.

Nous avons réparti cette force sur les différents noeuds se trouvant sur le tablier. Pour cela nous avons considéré les milieux de chaque poutre et appliqué aux noeuds situés entre ces milieux une force proportionnelle à la force globale. Le rapport de proportionnalité était égal à la longueur entre les milieux des deux poutres encadrant le noeud divisée par la longueur totale qui était de 1,20 mètre.

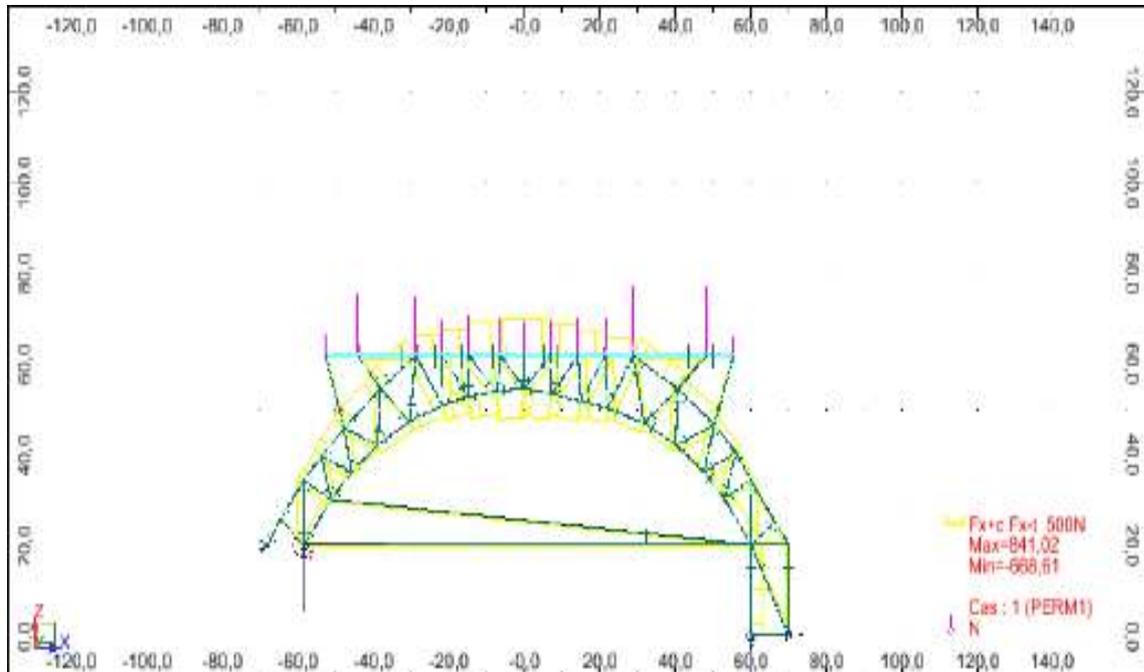
Enfin, pour avoir des résultats nous avons dû modéliser le pont comme étant composé d'un ensemble de poutres encastrées et non pas comme un treillis où toutes les poutres sont articulées.

La modélisation est présentée en annexe.

3) Résultats

Nous avons joint ci-après les différents résultats obtenus.

**Diagrammes - FX; Forces de réaction(N); Moments de réaction(N*m);
Cas : 1 (PERM1) 1**



	FX [N]
Type (couleur) de ligne	
Echelle : (cm) =	750.0
MAX	841,02
Barre	79
Point	x = 0.0000
Cas de charge	1
MIN	-668,61
Barre	32
Point	x = 0.0000
Cas de charge	1

Commentaire :

On remarque que les efforts sont relativement bien répartis, avec cependant une concentration d'efforts au niveau le plus élevé de la voûte. Les efforts en compression sont localisés dans les poutres qui sont sous le tablier. Le tablier est en traction.

Les poutres 32 (située sous la voûte) et 79 (située sur le tablier) sont en vis-à-vis au milieu du pont et supportent les efforts extrêmes.

Vue - FZ;Forces de réaction(kN); Cas : 1 (PERM1) 2

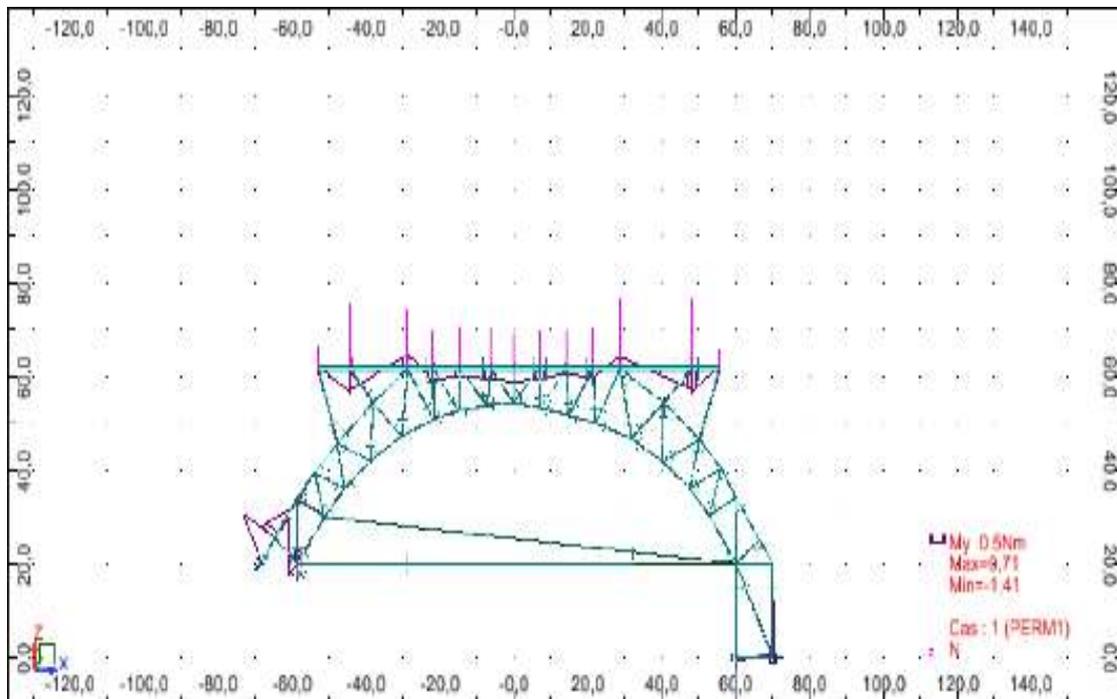


Réactions - Valeurs

Repère global - Cas: 1 (PERM1)

Noeud/Cas	FZ [kN]
1/ 1	-0,00
2/ 1	306,89
39/ 1	320,90
40/ 1	-0,00
Cas 1	
Somme totale	627,79
Somme réactions	627,79
Somme efforts	-627,79
Vérification	-0,00
Précision	1,63896e-024

**Diagrammes - MY; Forces de réaction(N); Moments de réaction(N*m);
Cas : 1 (PERM1) 1**

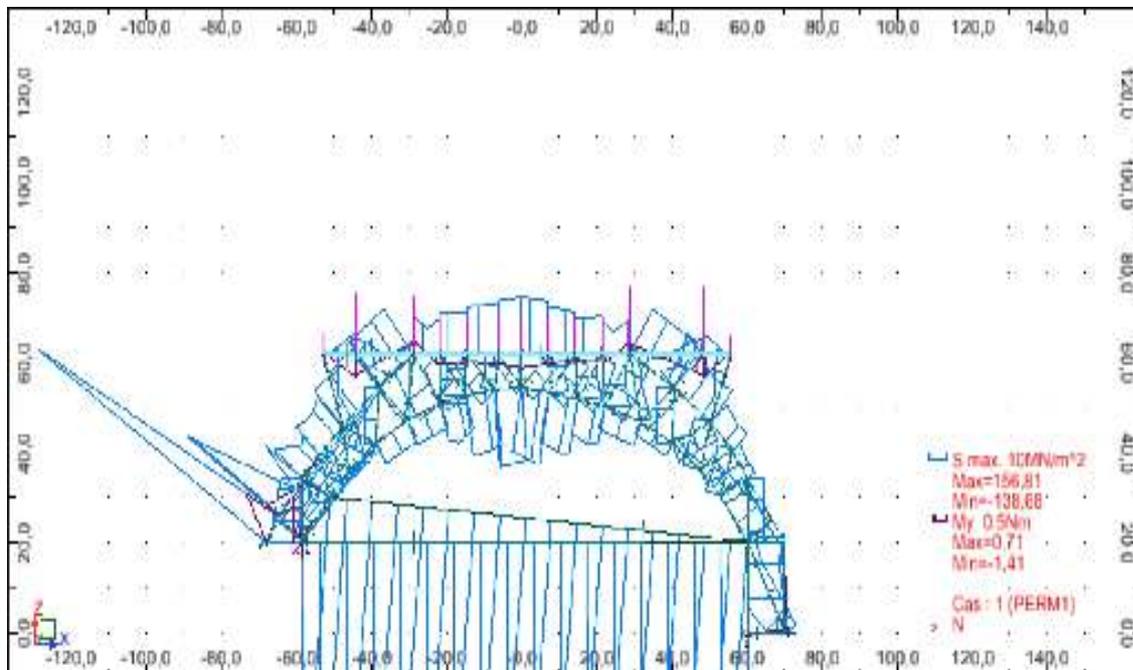


	MY [Nm]
Type (couleur) de ligne	
Echelle : (cm) =	1.00
MAX	0,71
Barre	84
Point	x = 0.0000
Cas de charge	1
MIN	-1,41
Barre	1
Point	x = 1.0000
Cas de charge	1

Commentaire

Il semble que le tablier du pont se « gondole » : les moments changent de signe.
De plus, l'existence de moments sur le pied gauche montre que le pied a tendance à se relever et finalement que le pont tend à s'affaisser.

Diagrammes - MY;S max;Forces de réaction(N);Moments de réaction(N*m); Cas : 1 (PERM1) 1



	MY [Nm]	S max [MPa]
Type (couleur) de ligne		
Echelle : (cm) =	1.00	15.00
MAX	0,71	156,81
Barre	84	1
Point	x = 0.0000	x = 1.0000
Cas de charge	1	1
MIN	-1,41	-138,68
Barre	1	86
Point	x = 1.0000	x = 0.3400
Cas de charge	1	1

Commentaire

On ne tiendra pas compte des contraintes au niveau des ficelles car la modélisation ne le permet pas (cf la troisième partie). En revanche, on peut observer des contraintes maximales au niveau du pied gauche, sous la voûte et dans le tablier.

III- Analyse

Limites de la modélisation : le comportement des ficelles.

En ce qui concerne l'analyse, il faut tout d'abord noter que les contraintes dans les ficelles ne sont pas représentatives car le module d'élasticité E qui y a été défini est faux ainsi que la surface définie. On remarque ainsi que les contraintes données par le logiciel dans les ficelles sont très importantes car le module d'élasticité donné est trop élevé par rapport à la réalité. Cependant, il est à noter que les contraintes réelles dans les ficelles étaient quand même élevées puisque, au moment de la casse, certaines ficelles ont cédé.

Confrontation théorie-réalité

Selon la théorie, le pont aurait du céder au niveau des contraintes maximales : c'est-à-dire au niveau du pied gauche. Mais dans la réalité, il a cassé au niveau du pied droit à cause de flambements. En effet les flambements ne sont pas pris en compte dans la modélisation. Il est donc normal que nous n'obtenions pas, dans la théorie, tout à fait les résultats obtenus dans la réalité.

Les améliorations possibles

Compte tenu de ces résultats, deux méthodes auraient pu être envisagées pour pallier aux problèmes de flambements :

- la première solution aurait été de renforcer d'avantage le pied. En effet, la structure du pied n'était pas assez solide pour résister à une trop forte charge.
- Une autre solution aurait été de construire l'arche jusqu'au niveau de la table, sans pied. L'ensemble aurait été plus solidaire; ce qui aurait permis une meilleur répartition des forces. De plus, cela nous aurait permis de mieux renforcer l'extrémité de l'arche, pour augmenter sa résistance.

Annexes

NOTE DE CALCUL

Projet: modélisation du pont n° 56



**Auteur: BRETT TIPHAINE
CANONNE ESTELLE
LUTHAUD ELVIRE
STERN FANNY**

Données

Noeuds

Noeud	X [cm]	Z [cm]	Code de l'appui	Appui
1	-68,00	20,00	lbl	Appui simple
2	-58,50	20,00	lbb	appui
3	-64,70	25,70		
4	-51,20	30,00		
5	-58,50	34,20		
6	-45,90	36,00		
7	-53,90	39,50		
8	-47,80	45,70		
9	-38,90	42,00		
10	-38,10	54,40		
11	-30,40	47,20		
12	-28,80	61,70		
13	-21,70	50,80		
14	-21,80	61,70		
15	-14,90	52,70		
16	-14,70	61,70		
17	-7,20	53,90		
18	-6,20	61,70		
19	0,0	54,50		
20	0,0	61,70		
21	7,30	53,30		
22	7,00	61,70		
23	15,00	51,70		
24	14,20	61,70		
25	22,20	50,10		
26	21,40	61,70		
27	28,80	61,70		
28	31,80	46,80		
29	40,70	54,40		
30	40,20	42,00		
31	50,40	46,50		
32	47,60	36,10		
33	56,20	40,40		
34	53,00	30,30		
35	60,10	34,20		
36	60,20	20,10		
37	66,60	25,10		
38	70,20	20,10		
39	60,20	0,0	lbb	appui
40	70,20	0,0	lbb	ap
41	-52,70	61,70		
42	-44,20	61,70		
43	48,20	61,70		
44	55,60	61,70		

Barres

Barre	Noeud 1	Noeud 2	Section	Matériau	Longueur [cm]	Gamma [Deg]	Type de barre
1	1	3	3x6	samba	6,59	0,0	inexistant
2	2	3	3x6	samba	8,42	0,0	inexistant
3	2	4	3x6	samba	12,38	0,0	inexistant
4	2	5	3x6	samba	14,20	0,0	Poutre
5	3	5	3x6	samba	10,52	0,0	Poutre
6	5	4	3x6	samba	8,42	0,0	Poutre
7	4	6	3x6	samba	8,01	0,0	Poutre
8	6	7	3x6	samba	8,73	0,0	Poutre
9	4	7	3x6	samba	9,88	0,0	Poutre
10	5	7	3x6	samba	7,02	0,0	Poutre
11	7	8	3x6	samba	8,70	0,0	Poutre
12	6	8	3x6	samba	9,88	0,0	Poutre
13	6	9	3x6	samba	9,22	0,0	Poutre
14	8	9	3x6	samba	9,64	0,0	inexistant
15	8	41	3x6	samba	16,73	0,0	Poutre
16	8	10	3x6	samba	13,03	0,0	Poutre
17	9	11	3x6	samba	9,96	0,0	Poutre
18	11	10	3x6	samba	10,54	0,0	Poutre
19	9	10	3x6	samba	12,43	0,0	Poutre
20	10	42	3x6	samba	9,51	0,0	Poutre
21	11	13	3x6	samba	9,42	0,0	Poutre
22	11	12	3x6	samba	14,59	0,0	Poutre
23	10	12	3x6	samba	11,82	0,0	Poutre
24	13	12	3x6	samba	13,01	0,0	Poutre
25	13	15	3x6	samba	7,06	0,0	Poutre
26	15	14	3x6	samba	11,34	0,0	Poutre
27	14	13	3x6	samba	10,90	0,0	Poutre
28	15	17	3x6	samba	7,79	0,0	Poutre
29	15	16	3x6	samba	9,00	0,0	Poutre
30	17	16	3x6	samba	10,82	0,0	Poutre
31	17	18	3x6	samba	7,86	0,0	Poutre
32	17	19	3x6	samba	7,22	0,0	Poutre
33	19	20	3x6	samba	7,20	0,0	Poutre
34	19	18	3x6	samba	9,50	0,0	Poutre
35	19	22	3x6	samba	10,04	0,0	Poutre
36	19	21	3x6	samba	7,40	0,0	Poutre
37	21	24	3x6	samba	10,87	0,0	Poutre
38	21	23	3x6	samba	7,86	0,0	Poutre
39	21	22	3x6	samba	8,41	0,0	Poutre
40	23	26	3x6	samba	11,87	0,0	Poutre
41	23	24	3x6	samba	10,03	0,0	Poutre
42	23	25	3x6	samba	7,38	0,0	Poutre
43	25	27	3x6	samba	13,35	0,0	Poutre
44	25	26	3x6	samba	11,63	0,0	Poutre
45	25	28	3x6	samba	10,15	0,0	Poutre
46	28	29	3x6	samba	11,70	0,0	Poutre
47	29	43	3x6	samba	10,47	0,0	Poutre
48	27	28	3x6	samba	15,20	0,0	Poutre
49	27	29	3x6	samba	13,96	0,0	Poutre
50	29	31	3x6	samba	12,51	0,0	Poutre
51	29	30	3x6	samba	12,41	0,0	Poutre
52	28	30	3x6	samba	9,67	0,0	Poutre
53	30	31	3x6	samba	11,15	0,0	Poutre
54	31	33	3x6	samba	8,42	0,0	Poutre
55	31	32	3x6	samba	10,77	0,0	Poutre
56	31	44	3x6	samba	16,06	0,0	Poutre
57	30	32	3x6	samba	9,46	0,0	Poutre
58	32	33	3x6	samba	9,62	0,0	Poutre
59	33	35	3x6	samba	7,32	0,0	Poutre

60	32	34	3x6	samba	7,92	0,0	Poutre
61	34	35	3x6	samba	8,10	0,0	Poutre
62	34	33	3x6	samba	10,59	0,0	Poutre
63	35	37	3x6	samba	11,18	0,0	Poutre
64	37	36	3x6	samba	8,12	0,0	Poutre
65	36	34	3x6	samba	12,49	0,0	Poutre
66	35	36	3x6	samba	14,10	0,0	Poutre
67	37	38	3x6	samba	6,16	0,0	Poutre
68	36	38	3x6	samba	10,00	0,0	Poutre
69	36	39	3x6	samba	20,10	0,0	Poutre
70	38	40	3x6	samba	20,10	0,0	Poutre
71	39	40	3x6	samba	10,00	0,0	inexistant
72	36	40	3x6	samba	22,45	0,0	inexistant
73	43	44	4x10	samba	7,40	0,0	Poutre
74	43	27	4x10	samba	19,40	0,0	Poutre
75	27	26	4x10	samba	7,40	0,0	Poutre
76	26	24	4x10	samba	7,20	0,0	Poutre
77	22	24	4x10	samba	7,20	0,0	Poutre
78	22	20	4x10	samba	7,00	0,0	Poutre
79	18	20	4x10	samba	6,20	0,0	Poutre
80	18	16	4x10	samba	8,50	0,0	Poutre
81	16	14	4x10	samba	7,10	0,0	Poutre
82	14	12	4x10	samba	7,00	0,0	Poutre
83	12	42	4x10	samba	15,40	0,0	Poutre
84	42	41	4x10	samba	8,50	0,0	Poutre
85	36	4	ficelle	samba	111,84	0,0	Poutre
86	2	36	ficelle	samba	118,70	0,0	Poutre

Sections

Nom de la section	Liste des barres	AX [cm ²]	AY [cm ²]	AZ [cm ²]	IX [cm ⁴]	IY [cm ⁴]	IZ [cm ⁴]
3x6	1A72	0,180	0,150	0,150	0,004	0,001	0,005
4x10	73A84	0,400	0,333	0,333	0,016	0,033	0,005
ficelle	85 86	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000

Matériaux

	Matériau	E [MPa]	G [MPa]	NU	LX [1/°C]	RO [N/cm ³]	Re [MPa]
1	samba	5420,0 0	2085,0 0	0,30	0,00	0,08	235,00

Chargements - Cas

Cas	Nom du cas	Nature	Type d'analyse
1	PERM1	permanente	Statique linéaire

Chargements - Valeurs

- Cas: 1

Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge
1	force nodale	41	FZ=-24,64[N]
1	force nodale	42	FZ=-69,28[N]
1	force nodale	12	FZ=-64,90[N]
1	force nodale	14	FZ=-40,87[N]
1	force nodale	16	FZ=-45,20[N]
1	force nodale	18	FZ=-42,61[N]
1	force nodale	20	FZ=-38,26[N]
1	force nodale	22	FZ=-41,16[N]
1	force nodale	24	FZ=-41,74[N]
1	force nodale	26	FZ=-42,32[N]
1	force nodale	27	FZ=-77,68[N]
1	force nodale	43	FZ=-77,68[N]
1	force nodale	44	FZ=-21,45[N]