

EDITE LE : 30/10/2015

Réf. : 03305-NC1/E			
Affaire N° 03305	Nom : S.C.	Date : 30.06.05	Feuille : 1/13
Indice : E	Date : 01.09.15	Nom : S.C	
NOTE DE CALCULS			
STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E			

- Données :

- Matières :

- * Tube membrure \varnothing 50 ep 2

- σ_e alu 6005-T6 = 26 daN/mm²

- Module d'élasticité E = 7950 daN/mm²

- * Goupilles coniques

- σ_e S300pb = 38 daN/mm²

- * Moyeu male-male

- σ_e Alu 6060-T5 = 19 daN/mm²

- *Tube treillis \varnothing 16 ep2

- σ_e alu 6060-T5 = 19 daN/mm²

- E=6950 daN/mm²

- * Manchon femelle membrures

- σ_e alu 2030-T3 = 39 daN/mm²

- Hypothèses de calcul :

- Aucun défaut de fabrication n'est admis.
- Soudures de la structure réalisées par un opérateur certifié.
- Poids propre des structures pris en compte. (5 daN/ml)
- Goupilles coniques emmanchées au maillet (pas au marteau)

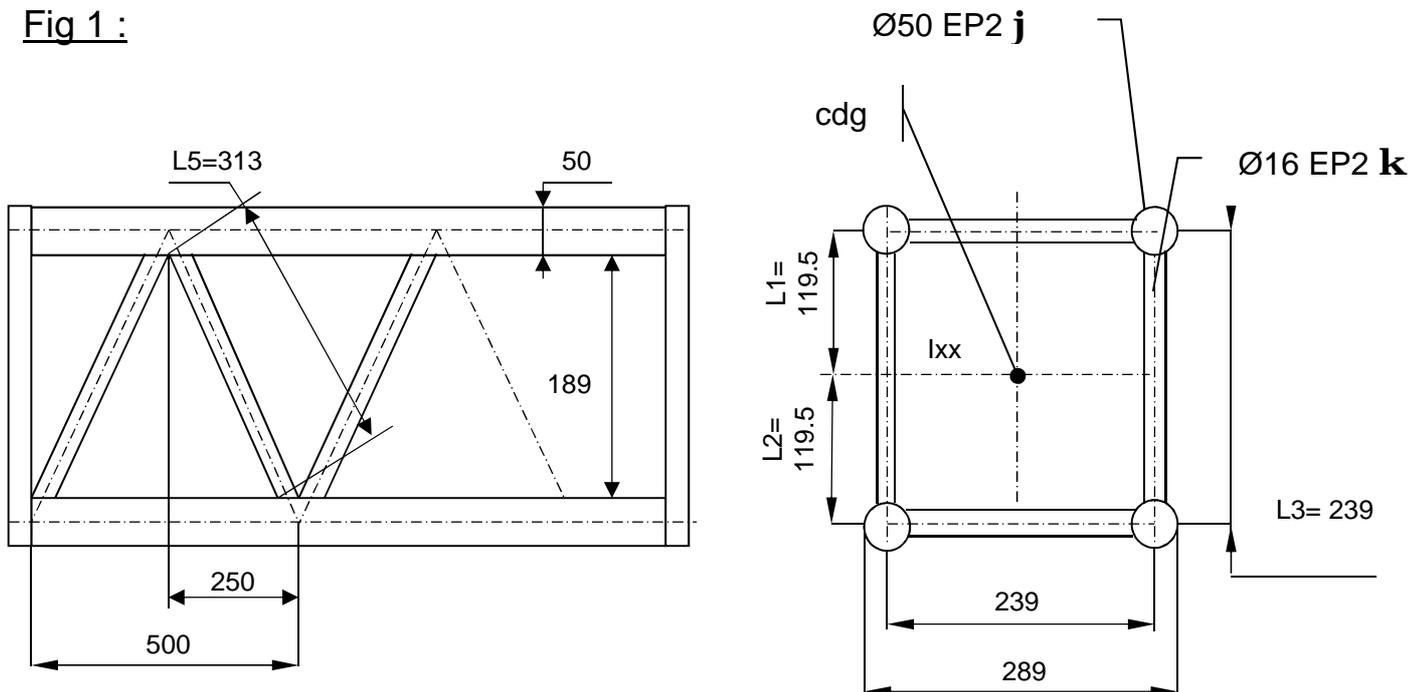
- But :

Déterminer les charges centrées et réparties maximum admissibles en fonction de la longueur et du taux de flèche.

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

Fig 1 :



- Calcul du I_{xx1} du tube j :

- Dimensions : Ø50x2

- $I_{xx1} = \frac{p}{64} \times (D^4 - d^4)$

$$I_{xx1} = \frac{p}{64} \times (50^4 - 46^4) = 87\,010 \text{ mm}^4$$

- $\frac{I_{xx1}}{V} = \frac{I_{xx1}}{D/2} = \frac{87010}{25} = 3\,480 \text{ mm}^3$

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

- Calcul de la section du tube j :

$$- \text{Section : } S1 = p \times (R^2 - r^2) = p \times (25^2 - 23^2) = 302 \text{ mm}^2$$

- Calcul du Ixx de la structure assemblée:

$$- I_{xx} = 4 \left[I_{xx1} + (S1 \times L^2) \right] \times 1.2 \text{ (prise en compte des treillis suivant essais réels)}$$

$$I_{xx} = 4 \left[87010 + (302 \times 119.5^2) \right] \times 1.2$$

$$I_{xx} = 17\,575\,325 \text{ mm}^4 \times 1.2 = 21\,090\,391 \text{ mm}^4$$

$$- \frac{I_{xx}}{V} = \frac{I_{xx}}{L1+D/2} = \frac{21\,090\,391}{119.5 + 25} = 145\,954 \text{ mm}^3$$

- Résistance de la membrure supérieure à la compression (flambement) :

- Rayon de giration :

$$i = \sqrt{\frac{I_{xx1}}{S1}} = \sqrt{\frac{87010}{302}} = 17 \text{ mm}$$

- Elancement maximum :

$$\lambda = \frac{L_f}{i} = \frac{500}{17} = 55 \rightarrow k = 1,15 \text{ (suivant règles AL76)}$$

NOTE DE CALCULS (suite)**STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E**

- Calcul de la force admissible par la tube j sur une membrure supérieure :

$$F_{\max i} = \frac{S1 \times Re}{ko.S} = \frac{302 \times 26}{1.15 \times 1,7} = 4\ 005 \text{ daN}$$

$$S = 1,7 \text{ (coefficient de pondération règles AL76)}$$

- Calcul du $Mf1_{\max i}$ respectant la limite au flambement pour 2 membrures :

$$Mf1 = F_{\max i} \times L3 \times 2$$

$$Mf1 = 4\ 005 \times 239 \times 2$$

$$\boxed{Mf1 = 1\ 914\ 390 \text{ daN.mm}}$$

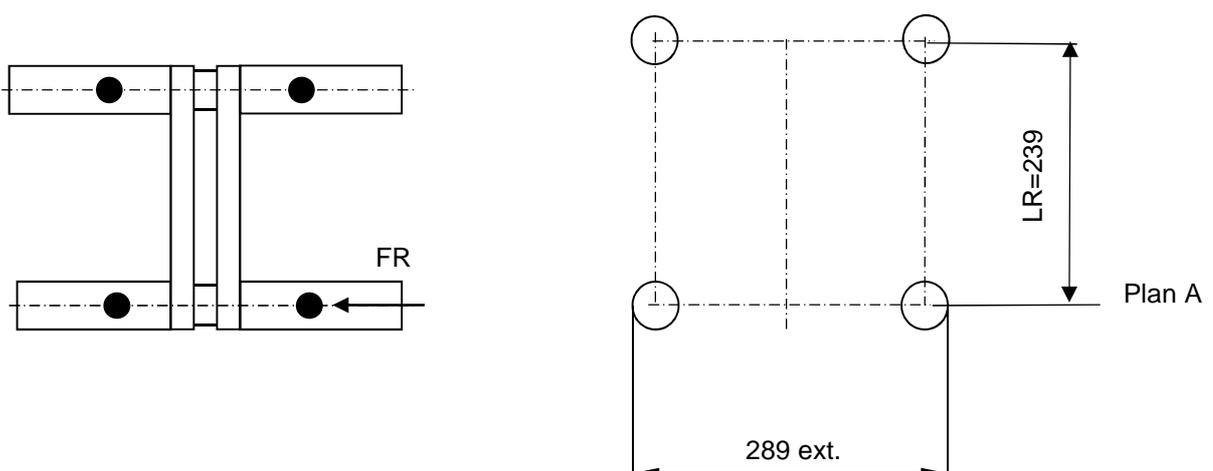
- Calcul du $Mf2_{\max i}$ respectant la contrainte normale admissible totale :

$$Mf2 = \frac{Se}{1.7} \cdot I_{xx}/v \text{ (1.7 = coefficient de pondération règles AL76)}$$

$$Mf2 = \frac{26}{1.7} \times 145\ 954$$

$$\boxed{Mf2 = 2\ 232\ 237 \text{ daN.mm}}$$

- Vérification des moyens de liaison :



NOTA : Reprise des efforts horizontaux pour les tubes intérieurs négligés

NOTE DE CALCULS (suite)**STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E**

- Vérification des goupilles de fixation dans le plan A:

Goupilles coniques \varnothing moyen = $\varnothing 10.5$

$$R_e = 38 \text{ daN/mm}^2 \text{ (Acier S300pb)}$$

$$R_{pg} = \frac{38}{1.5} = 25.3 \text{ daN/mm}^2$$

$$\text{Surface cisailée : } S = \frac{p \cdot D^2}{4} = \frac{p \cdot 10.5^2}{4} = 86.6 \text{ mm}^2$$

- Condition de résistance des goupilles des manchons dans le plan A au cisaillement :

$$\sigma_{\text{maxi}} = \frac{F_{\text{maxi}}}{S} \times \frac{1}{4} \text{ (Nb sections)} \leq R_{pg}$$

$$F_{g_{\text{maxi}}} \leq R_{pg} \times 4 \times S$$

$$F_{g_{\text{maxi}}} \leq 25.3 \times 4 \times 86.6$$

$$F_{g_{\text{maxi}}} \leq 8763 \text{ daN}$$

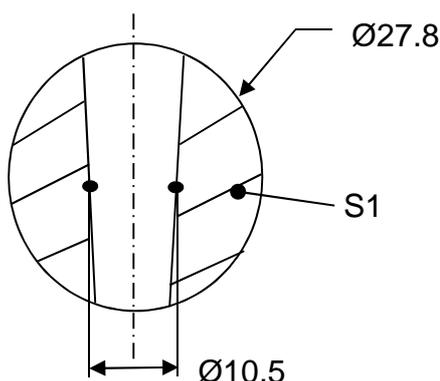
- Calcul du $M_{f3_{\text{maxi}}}$ respectant la contrainte des goupilles :

$$M_{f3} = F_{g_{\text{maxi}}} \times LR$$

$$M_{f3} = 8763 \times 239$$

$$M_{f3} = 2\,094\,357 \text{ daN.mm}$$

- Résistance du moyeu male/male :



Alu 6060-T5

$$\sigma_e = 28 \text{ daN/mm}^2$$

$$R_g = \frac{19}{1.7} = 11.2 \text{ daN/mm}^2$$

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

- Section en traction :

$$S1 = \frac{p.d^2}{4} \cdot (L \cdot h)$$

$$S1 = \frac{p \cdot 27.8^2}{4} \cdot (27.8 \times 10.5)$$

$$S1 = 315 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{maxi}} = \frac{F_{\text{MAX}}}{S1} \times \frac{1}{2} \leq Rg$$

(Nb sections)

$$F_{m_{\text{maxi}}} \leq Rg \times S1 \times 2$$

$$F_{m_{\text{maxi}}} \leq 11.2 \times 315 \times 2$$

$$F_{m_{\text{maxi}}} \leq 7040 \text{ daN}$$

- Calcul du $Mf4_{\text{maxi}}$ respectant la contrainte des manchons coniques :

$$Mf4 = F_{m_{\text{maxi}}} \times LR$$

$$Mf4 = 7040 \times 239$$

$$Mf4 = 1\,682\,560 \text{ daN.mm}$$

NOTE DE CALCULS (suite)**STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E**

- Résistance par essais de l'assemblage complet membrure, goupille, manchon, moyeu:

Pour des raisons de sécurité et d'autocontrôle, des essais de traction sont effectués plusieurs fois par an, pour s'assurer de la qualification dimensionnelle et de la matière utilisée.

Suivant le rapport du laboratoire FAN 120214 du 20/02/12, il en résulte qu'un assemblage complet d'une membrure en $\varnothing 50 \times 2$ résiste à des efforts F_e de 2600daN et F_m de 4600daN, ce dernier provoquant la ruine de la membrure (juste après la soudure du manchon conique).

Nous appliquerons une minoration de ces valeurs pour atteindre les coefficients de sécurités suivants :

Nous minorerons forfaitairement à 2000daN aux ELS la valeur maxi pouvant être soumise à l'assemblage d'une membrure en relation également avec les essais d'épreuves réalisés par Socotec.

Le coefficient de pondération résultant de cette minoration est donc de $2600/2000 = 1.3$ au lieu de 1.7 (restant $>$ à 1.25 pour un facteur de sécurité d'exploitation final).

Si nous majorons la valeur de 2000daN par 1.25 (un facteur de sécurité d'exploitation final) = 2500daN ($<$ 2600daN), nous restons dans le domaine élastique dans le cadre d'utilisation normale client.

Le coefficient de ruine se situant lui à $4600/2000 = 2.3$

Contrôle du domaine de contrainte :

Si nous pondérons la valeur de 2000daN $\times 1.7$ (AL76) = 3400daN, nous restons $<<$ $F_m = 4600$ daN donc dans le domaine plastique de la matière aux ELU.

Si nous restons aux ELU dans le domaine plastique, un moment fléchissant M_{f5} de $2000 \times 2 \times 0.239 = 956$ daN.m aux ELS ne peut donc provoquer la ruine des assemblages de membrures de la structure.

Nous retiendrons donc la valeur de :

$$M_{f5} = 956 \text{ 000 daN.mm}$$

M_{f5} étant le plus petit, donc le plus défavorable des moments fléchissants, nous retiendrons celui-ci pour la suite des calculs.

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

Effort maxi applicable au treillis à la compression (flambement) :- Calcul du I_{xx2} du tube **k** :

- Dimensions : Ø16x2

$$- I_{xx2} = \frac{p}{64} \times (D^4 - d^4)$$

$$I_{xx1} = \frac{p}{64} \times (16^4 - 12^4) = 2\,199 \text{ mm}^4$$

$$- \frac{I_{xx2}}{V} = \frac{I_{xx2}}{D/2} = \frac{2199}{8} = 275 \text{ mm}^3$$

- Calcul de la section du tube **k** :

$$- \text{Section : } S2 = p \times (R^2 - r^2) = p \times (8^2 - 6^2) = 88 \text{ mm}^2$$

• Résistance du treillis au flambement :- Rayon de giration :

$$i = \sqrt{\frac{I_{xx2}}{S2}} = \sqrt{\frac{2199}{88}} = 5 \text{ mm}$$

- Elancement maximum :

$$\lambda = \frac{L5}{i} = \frac{313}{5} = 63$$

- Elancement critique Eulérien :

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

$$\lambda_k = p \sqrt{\frac{E}{Re}} = p \sqrt{\frac{6950}{19}} = 60$$

- Elancement réduit :

$$\bar{I}k = \frac{l}{I_k} = \frac{63}{60} = 1.04 > 0.2 \text{ risque de flambement}$$

Suivant la formule AL76 :

$$\bar{I}k = 1.04 \Rightarrow \text{coefficient } k_0 = 1.75$$

- Calcul de la force admissible par la tube j sur membrure supérieure :

$$F5_{\max i} = \frac{S2 \times Re}{koxs} = \frac{88 \times 19}{1.75 \times 1.7} = 561 \text{ daN}$$

s=ponderation AL76

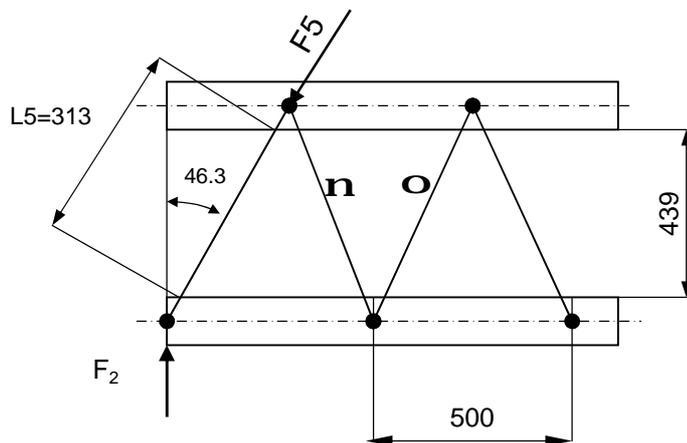
$$F5_{\max i} = 561 \text{ daN}$$

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

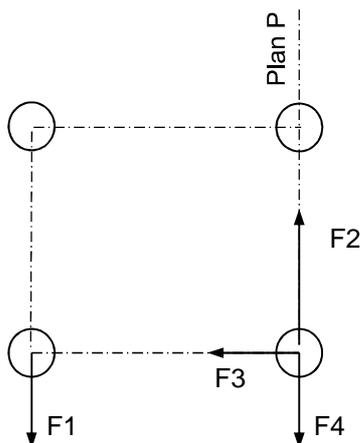
- Détermination de l'effort tranchant maximum applicable à la structure :

- Projection dans la plan P :



Les barres les plus sollicitées sont **n** et **o**

$$F_2 = F_5 \cdot \cos a = 561 \cdot \cos 46.3^\circ = 387 \text{ daN}$$



$$F_1 = F_4 = F_2 = 387 \text{ daN}$$

$$F_{\max} \text{ ou } Q_{\max} = 4 \times F_2 = 4 \times 387 \approx 1550 \text{ daN}$$

La charge maximum applicable à la structure sera donc \leq à 1550daN

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

Résumé des résultats intermédiaires :

$$E = 7950 \text{ daN/mm}^2$$

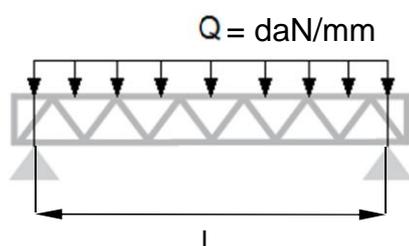
$$I_{xx} = 2109 \text{ cm}^4$$

$$M_f = 956 \text{ daN.m}$$

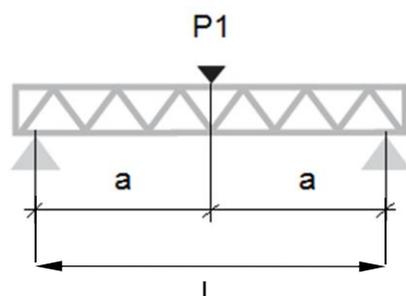
$$P_{\max} = 1550 \text{ daN}$$

Poids propre moyen: 5 daN/ml

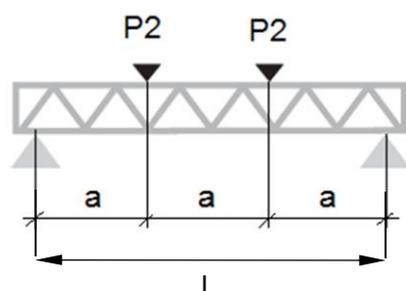
$$T_f = 1/100^e - 1/300^e$$

A) Charge uniformément répartie admissible :

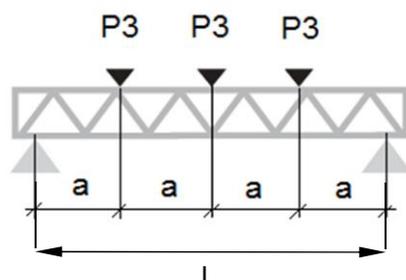
$$QM_f = \frac{M_f \times 8}{L^2} \text{ et } Q_f = \frac{L \cdot T_f \cdot 384 \cdot E \cdot I_{xx}}{5 \cdot L^4}$$

B) Charge ponctuelle P1 centrée admissible:

$$P1M_f = \frac{M_f \cdot 4}{L} \text{ et } P1f = \frac{L \cdot T_f \cdot 48 \cdot E \cdot I_{xx}}{L^3}$$

C) Charge ponctuelle P2 maxi pour de 2 points uniformément espacés:

$$P2M_f = \frac{M_f \cdot 3}{L} \text{ et } P2f = \frac{L \cdot T_f \cdot 648 \cdot E \cdot I_{xx}}{23 \cdot L^3}$$

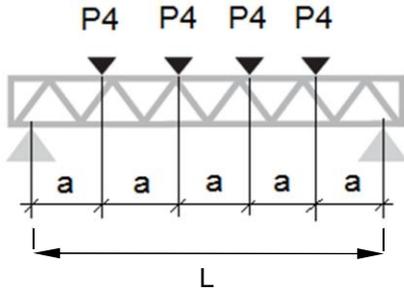
D) Charge ponctuelle P3 maxi pour de 3 points uniformément espacés:

$$P3M_f = \frac{M_f \cdot 2}{L} \text{ et } P3f = \frac{L \cdot T_f \cdot 384 \cdot E \cdot I_{xx}}{19 \cdot L^3}$$

NOTE DE CALCULS (suite)

STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

D) Charge ponctuelle P4 maxi pour de 4 points uniformément espacés:



$$P4Mf = \frac{Mf \cdot 5}{3 \cdot L} \text{ et } P3f = \frac{L \cdot Tf \cdot 1000 \cdot E \cdot I_{xx}}{63 \cdot L^3}$$

Résultantes de charges en fonction de la portée L:

poids propre 5 daN/ml
 Mf max 956 daN.m
 inertie majeure 2109 cm4
 pmax (2*tranchant treillis) 1550 daN

STRUCTURE CARREE

L(m)	P1 limité par (daN)												P2 limité par (daN)												P3 limité par (daN)												P4 limité par (daN)												T limite treillis daN	Résultats sans poids propre retiré			
	1/100			1/300			1/100			1/300			1/100			1/300			1/100			1/300			au 1/100e		au 1/300e																										
	mf max	1/100	1/300	mf max	1/100	1/300	mf max	1/100	1/300	mf max	1/100	1/300	mf max	1/100	1/300	mf max	1/100	1/300	mf max	1/100	1/300	mf max	1/100	1/300	P1max	P2max	P3max	P4max	P1max	P2max	P3max	P4max																					
1	3824	80481	26827	2868	47239	15746	1912	33887	11296	1593	26614	8871	1550	1550	775	517	387	1550	775	517	387	1550	775	517	387	1550	775	517	387	1550	775	517	387																				
2	1912	20120	6707	1434	11810	3937	956	8472	2824	797	6654	2218	1550	1550	775	517	387	1550	775	517	387	1550	775	517	387	1550	775	517	387	1550	775	517	387																				
3	1275	8942	2981	956	5249	1750	637	3765	1255	531	2957	986	1550	1275	775	517	387	1275	775	517	387	1275	775	517	387	1275	775	517	387	1275	775	517	387																				
4	956	5030	1677	717	2952	984	478	2118	706	398	1663	554	1550	956	717	478	387	956	717	478	387	956	717	478	387	956	717	478	387	956	717	478	387																				
5	765	3219	1073	574	1890	630	382	1355	452	319	1065	355	1550	765	574	382	319	765	574	382	319	765	574	382	319	765	574	382	319	765	574	382	319																				
6	637	2236	745	478	1312	437	319	941	314	266	739	246	1550	637	478	319	266	637	478	319	266	637	478	319	266	637	478	319	266	637	478	319	266																				
7	546	1642	547	410	964	321	273	692	231	228	543	181	1550	546	410	273	228	546	410	273	228	546	410	273	228	546	410	273	228	546	410	273	228																				
8	478	1258	419	359	738	246	239	529	176	199	416	139	1550	478	359	239	199	478	359	239	199	478	359	239	199	478	359	239	199	478	359	239	199																				
9	425	994	331	319	583	194	212	418	139	177	329	110	1550	425	319	212	177	425	319	212	177	425	319	212	177	425	319	212	177	425	319	212	177																				
10	382	805	268	287	472	157	191	339	113	159	266	89	1550	382	287	191	159	382	287	191	159	382	287	191	159	382	287	191	159	382	287	191	159																				
11	348	665	222	261	390	130	174	280	93	145	220	73	1550	348	261	174	145	348	261	174	145	348	261	174	145	348	261	174	145	348	261	174	145																				
12	319	559	186	239	328	109	159	235	78	133	185	62	1550	319	239	159	133	319	239	159	133	319	239	159	133	319	239	159	133	319	239	159	133																				
13	294	476	159	221	280	93	147	201	67	123	157	52	1550	294	221	147	123	294	221	147	123	294	221	147	123	294	221	147	123	294	221	147	123																				
14	273	411	137	205	241	80	137	173	58	114	136	45	1550	273	205	137	114	273	205	137	114	273	205	137	114	273	205	137	114	273	205	137	114																				
15	255	358	119	191	210	70	127	151	50	106	118	39	1550	255	191	127	106	255	191	127	106	255	191	127	106	255	191	127	106	255	191	127	106																				
16	239	314	105	179	185	62	120	132	44	100	104	35	1550	239	179	120	100	239	179	120	100	239	179	120	100	239	179	120	100	239	179	120	100																				
17	225	278	93	169	163	54	112	117	39	94	92	31	1550	225	163	112	92	225	163	112	92	225	163	112	92	225	163	112	92	225	163	112	92																				
18	212	248	83	159	146	49	106	105	35	89	82	27	1550	212	146	105	82	212	146	105	82	212	146	105	82	212	146	105	82	212	146	105	82																				
19	201	223	74	151	131	44	101	94	31	84	74	25	1550	201	131	94	74	201	131	94	74	201	131	94	74	201	131	94	74	201	131	94	74																				
20	191	201	67	143	118	39	96	85	28	80	67	22	1550	191	118	85	67	191	118	85	67	191	118	85	67	191	118	85	67	191	118	85	67																				

L(m)	Q limité par fleche (daN/m)			Q limite treillis daN/ml	Résultats sans poids propre retiré	
	mf max	1/100	1/300		au 1/100e au 1/300e	
					Qmax	Qmax
1	7648	128769	42923	1550	1550	1550
2	1912	16096	5365	775	775	775
3	850	4769	1590	517	517	517
4	478	2012	671	387	387	387
5	306	1030	343	310	306	306
6	212	596	199	258	212	199
7	156	375	125	221	156	125
8	120	252	84	194	120	84
9	94	177	59	172	94	59
10	76	129	43	155	76	43
11	63	97	32	141	63	32
12	53	75	25	129	53	25
13	45	59	20	119	45	20
14	39	47	16	111	39	16
15	34	38	13	103	34	13
16	30	31	10	97	30	10
17	26	26	9	91	26	9
18	24	22	7	86	22	7
19	21	19	6	82	19	6
20	19	16	5	77	16	5

NOTE DE CALCULS (suite)

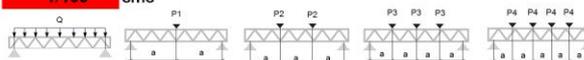
STRUCTURE SZ290 (50x2) ind.E

Conclusion :

Tableau de charges utiles de service maximales sur SZ290 (50x2)

Structure SZ290

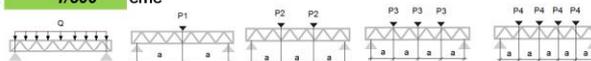
Taux de flèche maxi : 1/100 ème



Portée	Flèche maxi tolérée	Q	P1	P2	P3	P4	SW
		Charge uniformément répartie admissible	Charge ponctuelle P1 centrée admissible	Charge ponctuelle maxi pour de 2 points uniformément espacés	Charge ponctuelle maxi pour de 3 points uniformément espacés	Charge ponctuelle maxi pour de 4 points uniformément espacés	
L(m)	mm	kg/ml	kg	kg/pt2	kg/pt3	kg/pt4	kgs
1	10	1545	1545	772	515	366	5
2	20	770	1540	770	513	385	10
3	30	512	1260	767	512	384	15
4	40	382	936	707	471	382	20
5	50	301	740	561	374	312	25
6	60	207	607	463	309	258	30
7	70	151	511	392	261	219	35
8	80	115	438	339	226	189	40
9	90	89	380	296	197	166	45
10	100	71	332	262	175	147	50
11	110	58	293	233	155	131	55
12	120	48	259	209	139	118	60
13	130	40	229	188	125	106	65
14	140	34	203	170	113	96	70
15	150	29	180	154	102	87	75
16	160	25	159	139	93	80	80
17	170	21	140	121	84	71	85
18	180	17	122	101	75	60	90
19	190	14	106	83	62	50	95
20	200	11	91	68	51	42	100

Structure SZ290

Taux de flèche maxi : 1/300 ème



Portée	Flèche maxi tolérée	Q	P1	P2	P3	P4	SW
		Charge uniformément répartie admissible	Charge ponctuelle P1 centrée admissible	Charge ponctuelle maxi pour de 2 points uniformément espacés	Charge ponctuelle maxi pour de 3 points uniformément espacés	Charge ponctuelle maxi pour de 4 points uniformément espacés	
L(m)	mm	kg/ml	kg	kg/pt2	kg/pt3	kg/pt4	kgs
1	3	1545	1545	772	515	366	5
2	7	770	1540	770	513	385	10
3	10	512	1260	767	512	384	15
4	13	382	936	707	471	382	20
5	17	301	740	561	374	312	25
6	20	194	607	422	304	239	30
7	23	120	511	304	219	172	35
8	27	79	379	226	163	129	40
9	30	54	286	172	124	98	45
10	33	38	218	132	96	76	50
11	37	27	167	103	75	60	55
12	40	20	126	79	58	47	60
13	43	15	94	61	45	36	65
14	47	11	67	45	34	28	70
15	50	8	44	32	25	21	75
16	53	5	25	22	17	15	80
17	57	4	8	12	11	9	85
18	60	2		4	5	5	90
19	63	1				1	95
20	67	0					100