Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

Constructions Métalliques

SESSION 2013

E4 : Analyse et Calcul des structures

U4.1 Mécanique

Contenu du dossier

Page de garde (intitulé du sujet) : Page 1/13
Questionnaire : Pages 2/13 à 7/13
Documents réponses : Pages 8/13 et 9/13
Annexes : Pages 10/13 à 13/13
Nombre total de pages : 13 pages A4

Barème indicatif

Partie 1 - A : 5 points, partie 1 - B : 7 points
Partie 2 : 8 points

Recommandations

Le dossier technique d'étude est commun aux épreuves E4 et E5

Documents autorisés : **AUCUN**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

CODE ÉPREUVE : CMMECA	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTIONS METALLIQUES
SESSION 2013	SUJET	Epreuve U41 Mecanique	Calculatrice autorisée : oui
Durée : 4 h 00	Coefficient : 3	SUJET N°01VP13	Page : 1/13

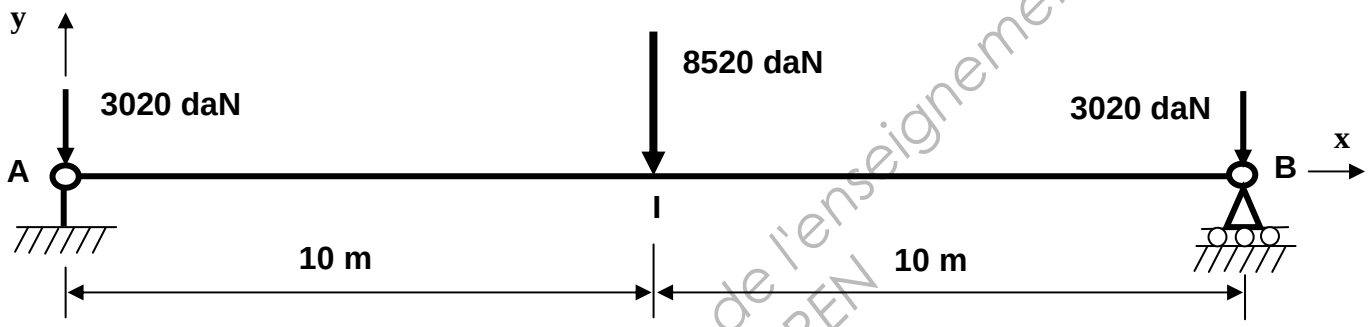
Partie 1 : Dimensionnement d'une poutre treillis :

Afin de faciliter l'entreposage et la manutention des matériaux ainsi que la circulation des engins, une solution permettant la suppression des deux poteaux de la file B situés à l'intersection des files 2 et 3 est envisagée. La suppression des potelets de file 3 est également envisagée. Ces modifications consistent principalement en l'insertion de:

- Deux poutres treillis de 20 mètres de portée en files 2 et 3, sur lesquelles reposeraient les arbalétriers.
- Une poutre treillis de 6,75 mètres de portée assurant la stabilité longitudinale en file B.

A. <u>Etude de prédimensionnement du treillis de file 2</u> : on cherche à déterminer la valeur du moment quadratique nécessaire à l'ELU et ELS.

Pour le modèle mécanique de chargement à l'ELU 1,35G+1,5S, représenté ci-dessous :

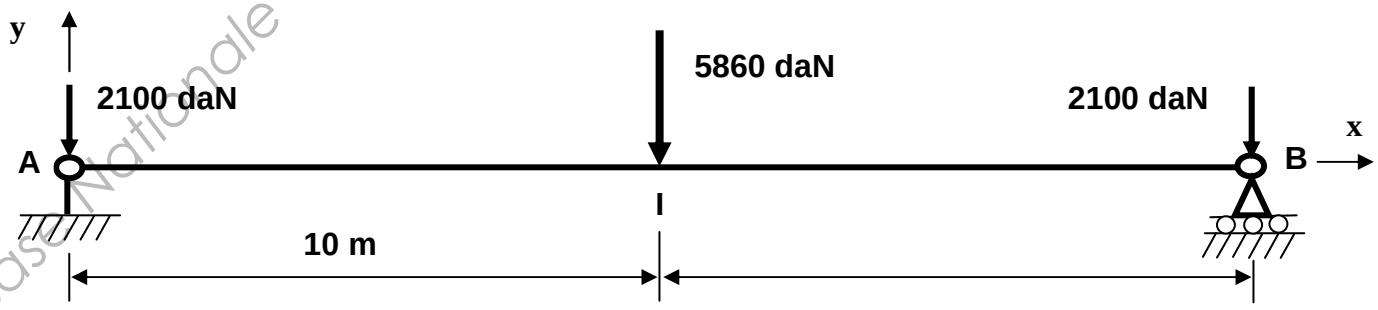


Question 1 : Déterminer les actions aux liaisons en A et B.

Question 2 : Représenter le diagramme de moment fléchissant.

Question 3 : - Déterminer, en fonction du module élastique W_{elz}, l'expression de la contrainte maximale de flexion.
- En déduire, par application du critère de résistance élastique, la valeur minimale, en cm^3, du module élastique W_{elz}.

Pour le modèle mécanique de chargement à l'ELS G+S représenté ci-dessous :



Question 4 : Représenter, en vous basant sur les résultats précédents, le diagramme de moment fléchissant.

Question 5 : Par application du théorème de la charge unité, déterminer l'expression en fonction du moment quadratique I_z de la flèche en milieu de poutre.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Question 6 : En déduire, pour une condition de flèche maximale ne pouvant excéder $\frac{L}{250}$, la valeur minimale, en cm^4, du moment quadratique I_z.

Question 7 : Un profil IPE repéré dans l'annexe 1 pourrait-il convenir ? Quelles autres solutions pourraient-être envisagées, préciser alors leurs avantages et inconvénients.

B. **<u>Etude de dimensionnement du treillis de file 2</u>** : on cherche à déterminer les caractéristiques de profil et géométrie de la poutre.

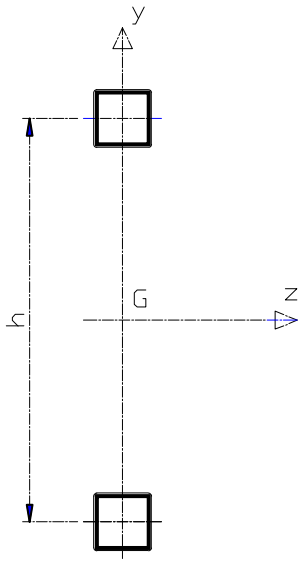


Figure 1

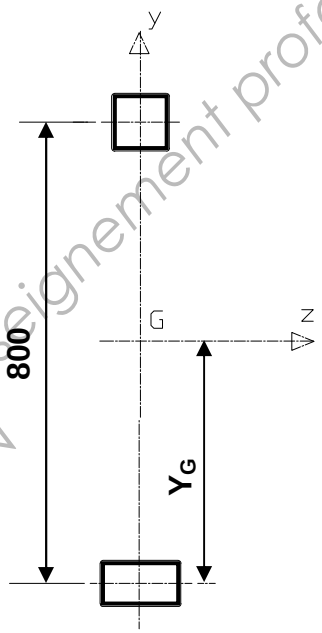


Figure 2

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Question 8 : Les membrures seules assurent la rigidité en flexion de la poutre, déterminer, à partir des caractéristiques données en annexe 2, la valeur de l'entraxe minimum h pour un moment quadratique voulu de 60 000 cm^4 pour des membrures en tube carré de 100 épaisseur 5mm (Figure 1).

Question 9 : Afin de pouvoir assurer le maintien de portes coulissantes initialement prévues, la membrure inférieure est en tube 140×80 ép. 5 mm pour un entraxe entre membrures de 800 mm (Figure 2). A l'aide des caractéristiques données en annexes 2 et 3 :

- Déterminer la position du centre de surface Y_G de la section de poutre treillis.
- Déterminer alors la valeur du moment quadratique I_{GZ} de cette section.

Question 10 : La poutre treillis est telle que représentée en figure 3, son modèle mécanique en figure 4.

- Quelle est la barre de membrures la plus chargée ?
- Quelle serait la barre diagonale la plus chargée (indépendamment du signe)?

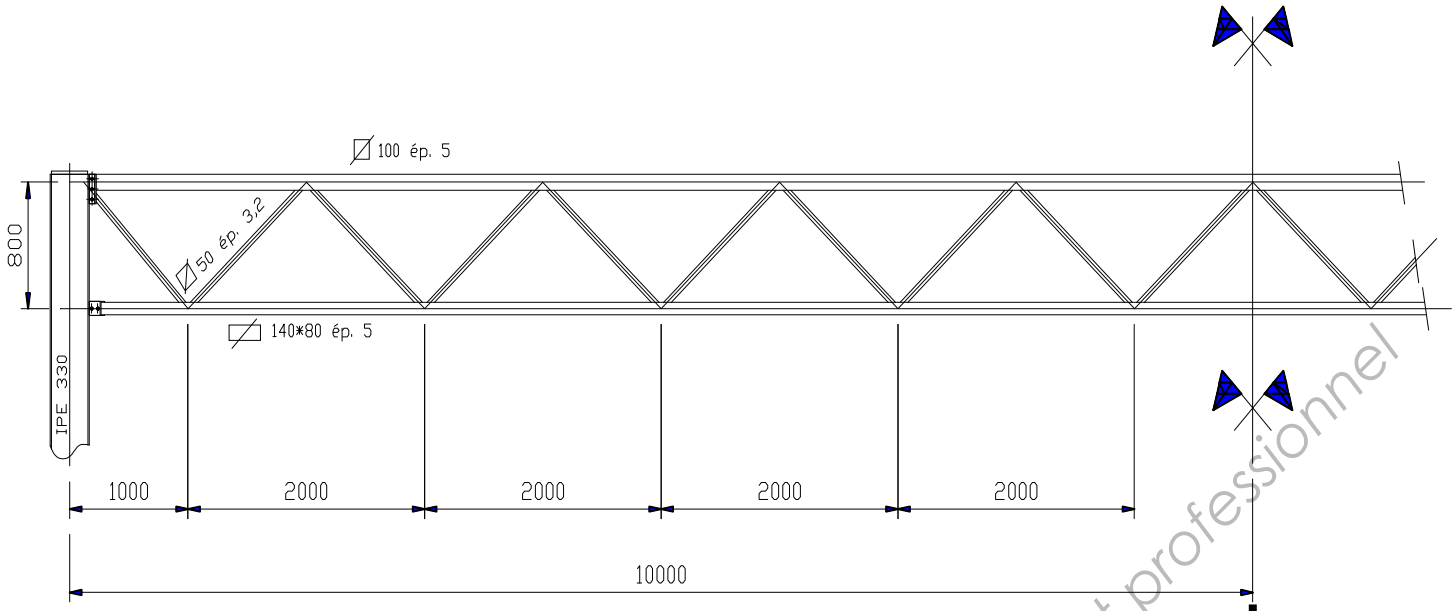


Figure 3

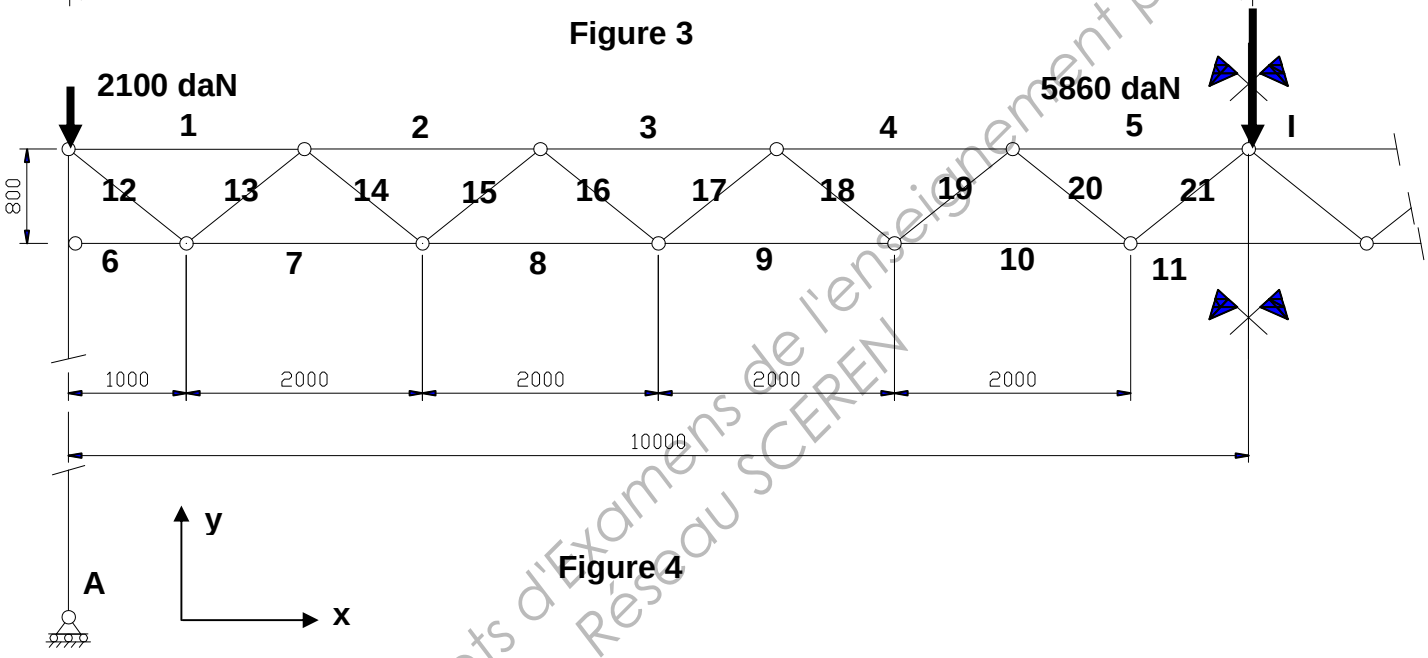


Figure 4

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Question 11 : Le modèle mécanique de la structure, tel que représenté en figure 4, est supposé appuyé en un pied (A) et articulé en l'autre (B).

- Déterminer l'effort « signé » dans la diagonale **12.**
- Déterminer l'effort « signé » dans la diagonale **13.**
- Déterminer l'effort dans la membrure **11.**

Question 12 : On souhaite déterminer la flèche en milieu de poutre (I). On néglige l'incidence du poteau. Compléter le tableau du document réponse DR1.

- Reporter les résultats trouvés en question 11 ($\mathbf{N_i}$).
- Rappeler en bas de tableau la formule permettant le calcul d'une flèche pour une structure treillis.
- Compléter la colonne correspondant aux efforts $\overline{\mathbf{n_i}}$ pour la charge unité.
- Déterminer la valeur de la flèche (on pensera à tenir compte de la symétrie).

Dans le cadre d'une démarche complète, il resterait à vérifier la résistance au flambement des éléments du treillis. Cette partie ne sera pas traité dans ce sujet.

Partie 2 : Etude de la structure de file 2 :

Le modèle mécanique **(S)** de la structure à deux nefs de file 2, définie en page 5/10 du dossier technique, est le suivant (figure 5) pour le chargement à l'ELU $G + S_a$.

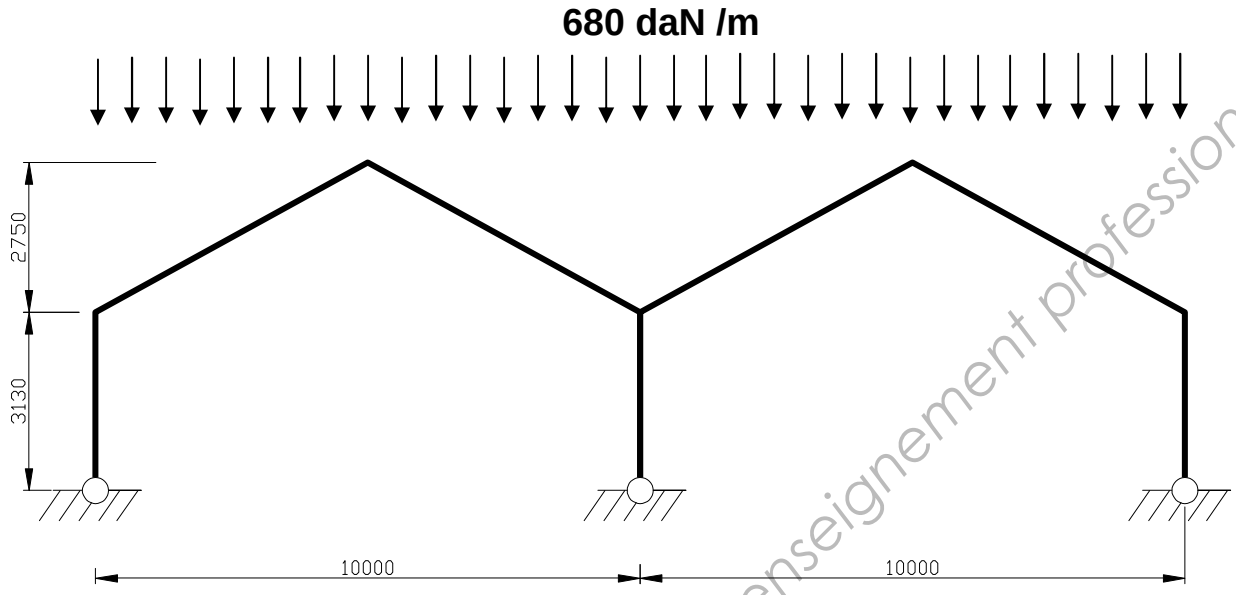


Figure 5

Question 13 : Quel est le degré hyperstatique de cette structure ?

Question 14 : Justifier le choix de la limite d'étude à la seule demie structure **(S')** représentée en figure 6. On précisera les propriétés concernant les actions de cohésion, les actions aux liaisons et la déformée. Qu'en est-il du degré hyperstatique ?

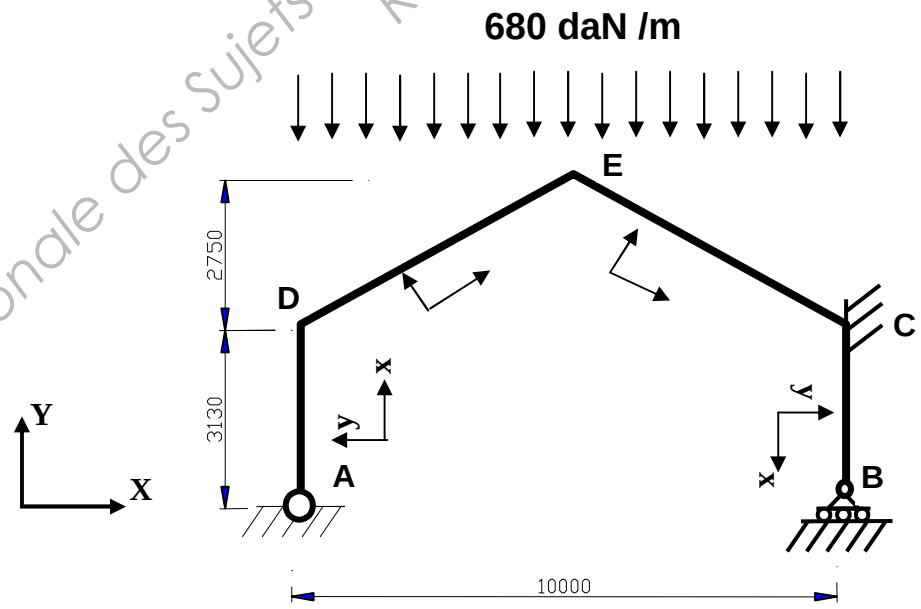


Figure 6

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Question 15 : Dans le cadre d'une résolution du problème hyperstatique par la **méthode des forces,** on choisit comme **inconnues hyperstatiques** les **actions de liaison en C.** Représenter les quatre cas de charges d'étude de la structure isostatique associée.

- $\mathbf{S_0}$ structure isostatique associée à chargement initial.
- $\mathbf{S_1}$ structure isostatique associée à charge unité correspondante à l'inconnue $\mathbf{X_C}$.
- $\mathbf{S_2}$ structure isostatique associée à charge unité correspondante à l'inconnue $\mathbf{Y_C}$.
- $\mathbf{S_3}$ structure isostatique associée à charge unité correspondante à l'inconnue $\mathbf{M_C}$.

Question 16 : Ecrire**,** sans les résoudre, les trois équations d'équivalence entre la structure hyperstatique **(S')** et la superposition des quatre structures isostatiques : $\mathbf{S_0 + S_1 + S_2 + S_3}$.

Question 17 : Structure $\mathbf{S_1}$, déterminer puis représenter sur le document réponse DR2 :
- les actions aux liaisons en A et B : X_{A1}, Y_{A1} et Y_{B1}.
- le diagramme de moment fléchissant Mf_1.

Question 18 : Structure $\mathbf{S_2}$, déterminer puis représenter sur le document réponse DR2 :
- les actions aux liaisons en A et B : X_{A2}, Y_{A2} et Y_{B2}.
- le diagramme de moment fléchissant Mf_2.

Question 19 : Structure $\mathbf{S_3}$, déterminer puis représenter sur le document réponse DR2 :
- les actions aux liaisons en A et B : X_{A3}, Y_{A3} et Y_{B3}.
- le diagramme de moment fléchissant Mf_3.

Remarque : les diagrammes Mf1,Mf2,Mf3 pourront se tracer à partir des calculs directs des moments fléchissants aux nœuds C, D et E.

Un tronçon d'arbalétrier isolé de la structure $\mathbf{S_0}$ est représenté en figures 7 et 8.

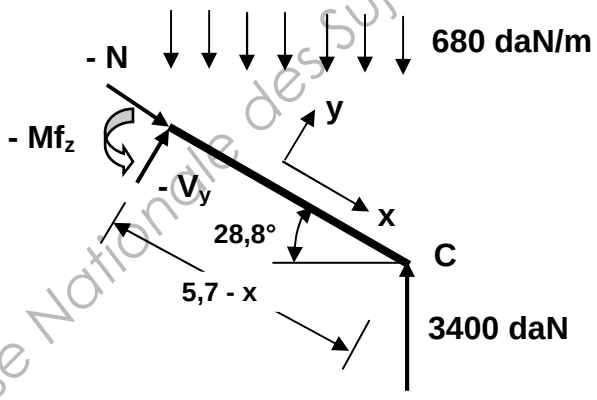


Figure 7

L_{EC} = 5,7 m

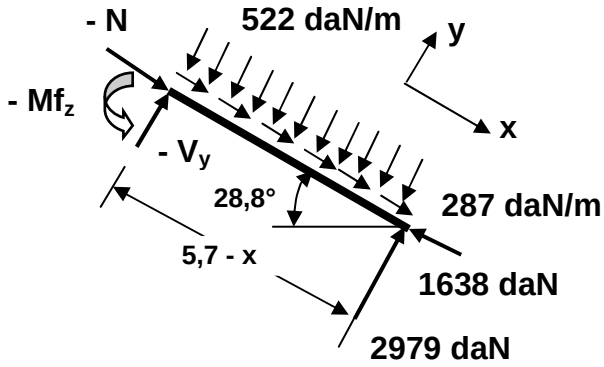


Figure 8

Question 20 :
- Montrer que les valeurs des faces extérieures projetées dans le repère local sont celles inscrites sur la figure 8 ;
- Déterminer alors l'expression des actions de cohésion :N(x),V_y(x) et M_z(x) ;
- Déterminer les valeurs particulières pour N, V_y et Mf_z.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Question 21 : La représentation de l'évolution du moment fléchissant pour S_0 étant donnée en figure 9.
Déterminer, à l'aide du tableau des intégrales de Mohr donné en annexe 4, la valeur des déplacements Δ_{01} et δ_{23}.

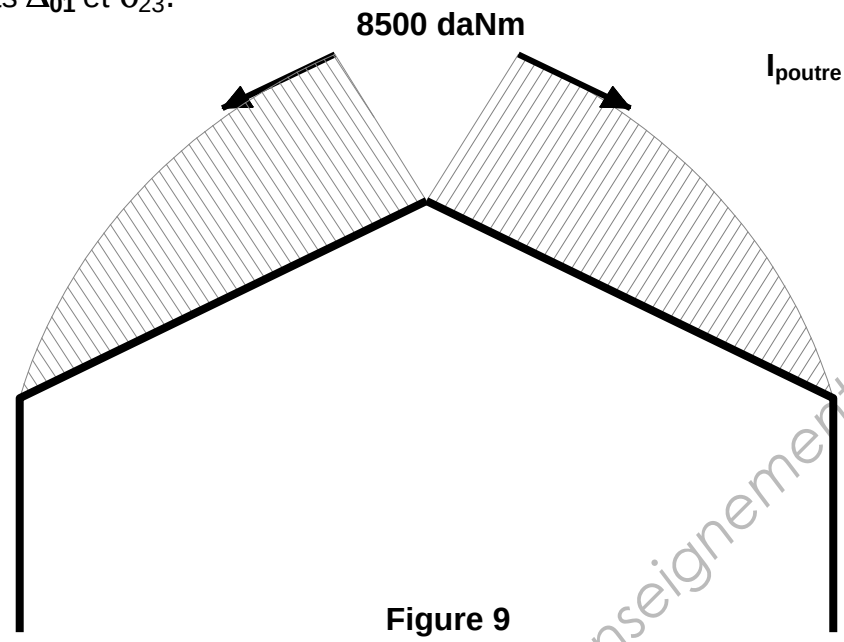


Figure 9

Question 22 : Le diagramme de moment fléchissant pour la structure (S') est donné en figure 10 avec : **X_C = - 1 310 daN** **Y_C = 3 365 daN** **M_C = - 3 748 daN.m**
Après application du principe de superposition :

- A quelles sollicitations est soumis le poteau AD ?
- Déterminer alors la valeur de la contrainte normale maximale. Conclusion.

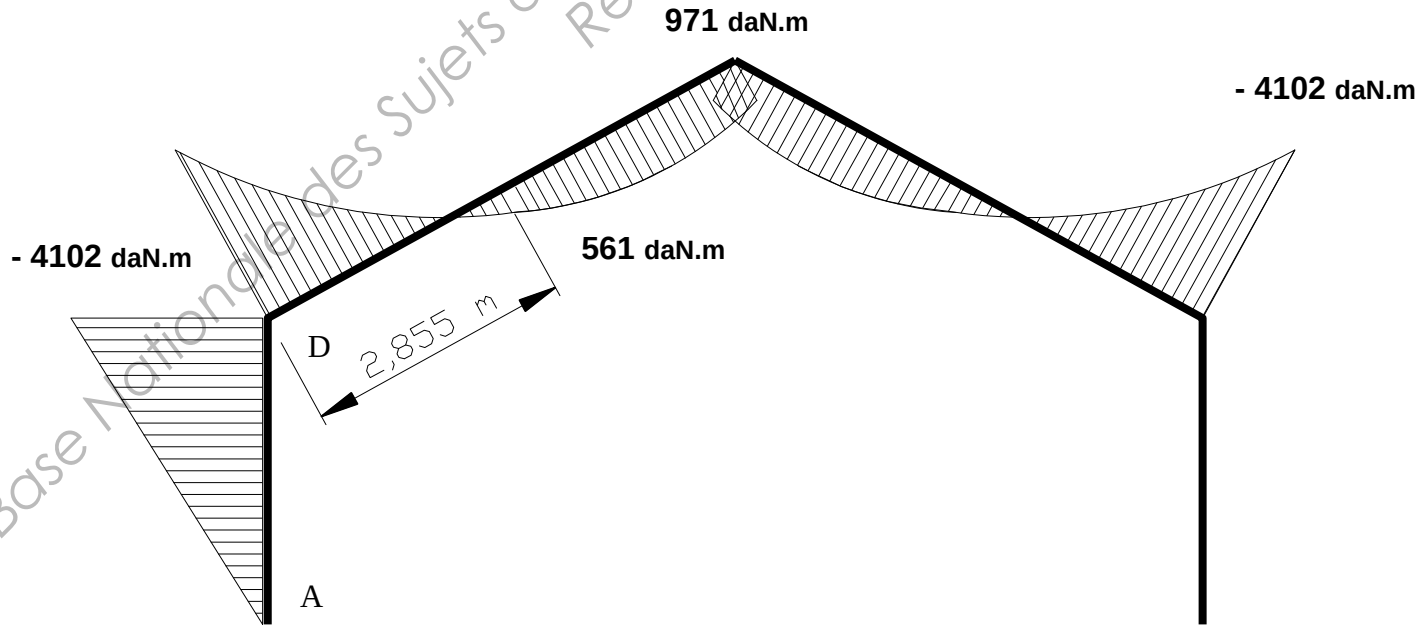


Figure 10

A_{poteau} **= 39,12 cm^2**

Wel_{poteau} **= 324,3 cm^3**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Document réponse DR 1 *A rendre avec la copie*

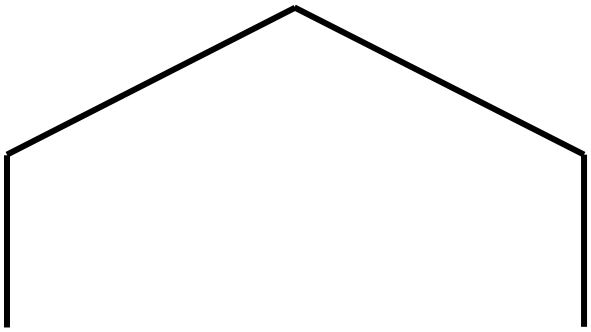
	N_i (daN)	$\bar{n}_i$	$L_i / (E\ A_i)$ (cm/daN)	δ_i (cm)
Barre 1	**- 3 663**	**- 0,6**	**$5{,}18.10^{-6}$**	**$1{,}1.10^{-2}$**
Barre 2	**-10 988**	**- 1,9**	**$5{,}18.10^{-6}$**	**$10{,}8.10^{-2}$**
Barre 3	**- 18 313**	**- 3,1**	**$5{,}18.10^{-6}$**	**$29{,}4.10^{-2}$**
Barre 4	**- 25 638**	**- 4,4**	**$5{,}18.10^{-6}$**	**$58{,}4.10^{-2}$**
Barre 5	**- 32 963**	**- 5,6**	**$5{,}18.10^{-6}$**	**$95{,}6.10^{-2}$**
Barre 6	**0**	**0**	**$2{,}3.10^{-6}$**	**0**
Barre 7	**7 325**	**1,3**	**$4{,}6.10^{-6}$**	**$4{,}4.10^{-2}$**
Barre 8	**14 650**	**2,5**	**$4{,}6.10^{-6}$**	**$16{,}8.10^{-2}$**
Barre 9	**21 975**	**3,8**	**$4{,}6.10^{-6}$**	**$38{,}4.10^{-2}$**
Barre 10	**29 300**	**5**	**$4{,}6.10^{-6}$**	**$67{,}4.10^{-2}$**
Barre 11			**$4{,}6.10^{-6}$**	
Barre 12			**$1{,}74.10^{-5}$**	
Barre 13			**$1{,}74.10^{-5}$**	
Barre 14	**4 690**	**0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Barre 15	**- 4 690**	**- 0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Barre 16	**4 690**	**0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Barre 17	**- 4 690**	**- 0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Barre 18	**4 690**	**0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Barre 19	**- 4 690**	**- 0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Barre 20	**4 690**	**0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Barre 21	**- 4 690**	**- 0,8**	**$1{,}74.10^{-5}$**	**$6{,}5.10^{-2}$**
Déplacement global Δ =				

Par convention : N> 0 barre en traction N< 0 barre en compression

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau SCEREN

Document réponse DR 2

A rendre avec la copie



Actions aux liaisons

Structure S_1

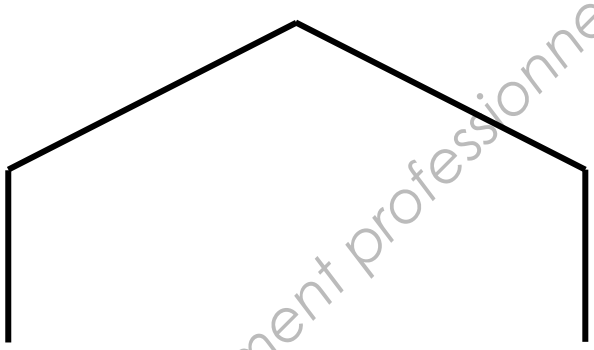
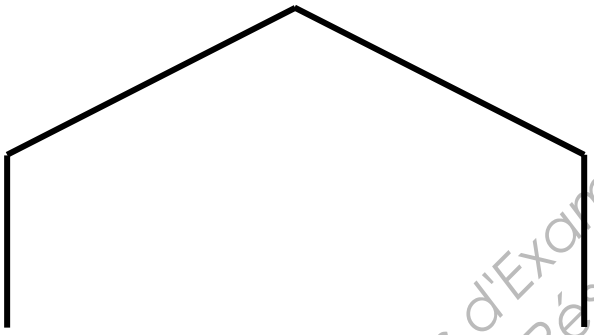


Diagramme Mf_1

Echelle : 1mm → 0,5 m



Actions aux liaisons

Structure S_2

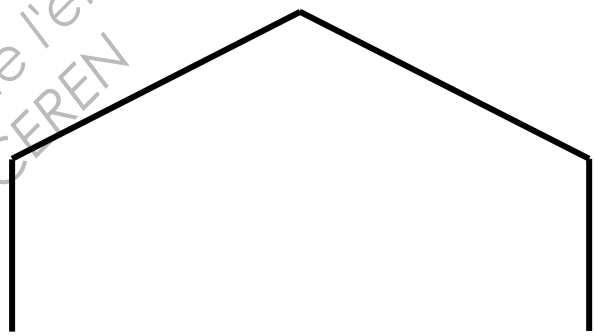
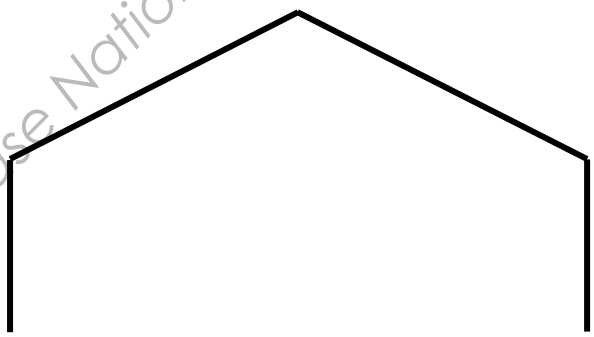


Diagramme Mf_2

Echelle : 1mm → 0,5 m



Actions aux liaisons

Structure S_3

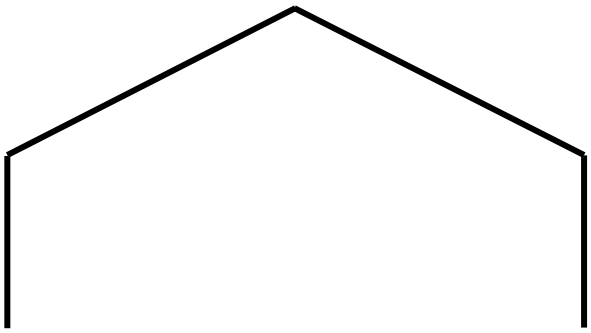


Diagramme Mf_3

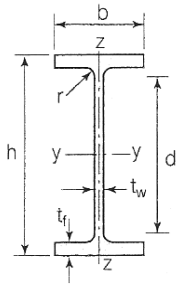
Echelle : 1mm → 0,5 m

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Annexe 1

Produits sidérurgiques – formes, dimensions, caractéristiques

NORMES DE RÉFÉRENCE	Dimensions : NF A 45-205 Tolérances : NF EN 10034



	Caractéristiques de calcul										Moment d'inertie de torsion
	I_x	I_x/v_x	i_x	–	–	I_y	I_y/v_y	i_y	–	–	J
	I_y	$W_{el.y}$	i_y	$W_{pl.y}$	A_{vz}	I_z	$W_{el.z}$	i_z	$W_{pl.z}$	A_{vy}	I_t
	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^2	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^2	cm^4
IPE 80	80,1	20,0	3,24	23,2	3,6	8,48	3,69	1,05	5,8	5,1	0,70
IPE 100	171,0	34,2	4,07	39,4	5,1	15,91	5,78	1,24	9,1	6,7	1,20
IPE 120	317,8	53,0	4,90	60,7	6,3	27,65	8,64	1,45	13,6	8,6	1,74
IPE 140	541,2	77,3	5,74	88,3	7,6	44,90	12,30	1,65	19,2	10,6	2,45
IPE 160	869,3	108,7	6,58	123,9	9,7	68,28	16,65	1,84	26,1	12,8	3,60
IPE 180	1317,0	146,3	7,42	166,4	11,3	100,81	22,16	2,05	34,6	15,3	4,79
IPE 200	1943,2	194,3	8,26	220,6	14,0	142,31	28,46	2,24	44,6	18,0	6,98
IPE 220	2771,8	252,0	9,11	285,4	15,9	204,81	37,24	2,48	58,1	21,3	9,07
IPE 240	3891,6	324,3	9,97	366,6	19,1	283,58	47,26	2,69	73,9	24,8	12,88
IPE 270	5789,8	428,9	11,23	484,0	22,1	419,77	62,19	3,02	97,0	29,0	15,94
IPE 300	8356,1	557,1	12,46	628,4	25,7	603,62	80,48	3,35	125,2	33,7	20,12
IPE 330	11766,9	713,1	13,71	804,3	30,8	788,00	98,50	3,55	153,7	38,7	28,15
IPE 360	16265,6	903,6	14,95	1019,1	35,1	1043,20	122,73	3,79	191,1	45,3	37,32
IPE 400	23128,4	1156,4	16,55	1307,1	42,7	1317,58	146,40	3,95	229,0	51,1	51,08
IPE 450	33742,9	1499,7	18,48	1701,8	50,8	1675,35	176,35	4,12	276,4	58,3	66,87
IPE 500	48198,5	1927,9	20,43	2194,1	59,9	2140,90	214,09	4,30	335,9	67,2	89,29
IPE 550	67116,5	2440,6	22,35	2787,0	72,3	2666,49	253,95	4,45	400,5	76,1	123,24
IPE 600	92083,5	3069,4	24,30	3512,4	83,8	3385,78	307,80	4,66	485,6	87,9	165,42

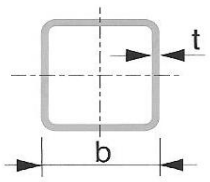
IPE (suite)

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Annexe 2

PROFILS CREUX POUR LA CONSTRUCTION FINIS À FROID
NF EN 10219

Dimensions et caractéristiques des profils creux de section carrée



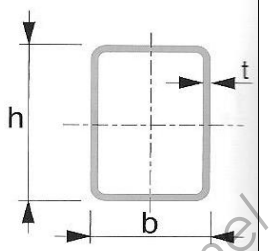
Côté extérieur b mm	Épaisseur t mm	Masse M kg/m	Aire de la section A cm^2	Moment d'inertie de flexion I cm^4	Rayon de giration i cm	Module de flexion élastique W_{el} cm^3	Module de flexion plastique W_{pl} cm^3	Moment d'inertie de torsion I_t cm^4	Constante de torsion C_t cm^3	Surface à peindre A_L m^2/m	Longueur L m/t
100	**3**	8,96	11,4	177	3,94	35,4	41,2	279	53,2	0,39	112
100	**4**	11,7	14,9	226	3,89	45,2	53,2	362	68,1	0,386	85,2
100	**5**	14,4	18,4	270	3,84	54	64,5	441	81,7	0,383	69,4
100	**6**	17	21,6	310	3,78	62	74,9	514	94,1	0,379	58,9
100	**6,3**	17,5	22,2	311	3,74	62,3	76,1	536	97	0,373	57,3
100	**8**	21,4	27,2	360	3,64	72	90,4	645	114	0,366	46,8
100	**10**	25,6	32,6	400	3,51	80	104	750	130	0,357	39,1
100	**12**	28,3	36,1	382	3,26	76,4	107	794	136	0,338	35,3
100	**12,5**	29,1	37	381	3,21	76,3	108	804	137	0,336	34,4
120	**3**	10,8	13,8	312	4,75	52	60,2	488	78,2	0,47	92,3
120	**4**	14,2	18,1	402	4,7	67	78,3	637	101	0,466	70,2
120	**5**	17,5	22,4	484	4,65	80,7	95,4	778	122	0,463	57
120	**6**	20,7	26,4	560	4,6	93,4	111	913	141	0,459	48,2
120	**6,3**	21,4	27,3	568	4,56	94,7	114	955	146	0,453	46,7
120	**8**	26,4	33,6	670	4,46	112	137	1 163	175	0,446	37,9
120	**10**	31,8	40,6	763	4,34	127	161	1 376	203	0,437	31,4
120	**12**	35,8	45,7	774	4,12	129	171	1 518	219	0,418	27,9
120	**12,5**	36,9	47	781	4,08	130	174	1 551	223	0,416	27,1
140	**4**	16,8	21,3	651	5,52	93	108	1 023	140	0,546	59,7
140	**5**	20,7	26,4	789	5,47	113	132	1 256	170	0,543	48,3
140	**6**	24,5	31,2	918	5,42	131	155	1 479	198	0,539	40,8
140	**6,3**	25,4	32,3	937	5,38	134	159	1 550	205	0,533	39,4
140	**8**	31,4	40	1 119	5,29	160	194	1 901	248	0,526	31,8
140	**10**	38,1	48,6	1 296	5,17	185	229	2 274	291	0,517	26,2
140	**12**	43,4	55,3	1 361	4,96	194	250	2 567	322	0,498	23,1
140	**12,5**	44,8	57	1 383	4,92	198	256	2 634	329	0,496	22,3
150	**4**	18	22,9	807	5,93	108	125	1 265	162	0,586	55,5
150	**5**	22,3	28,4	981	5,88	131	153	1 554	197	0,583	44,9
150	**6**	26,4	33,6	1 143	5,83	152	180	1 833	230	0,579	37,9
150	**6,3**	27,4	34,8	1 169	5,79	156	185	1 922	239	0,573	36,6
150	**8**	33,9	43,2	1 403	5,7	187	225	2 364	289	0,566	29,5
150	**10**	41,3	52,6	1 636	5,58	218	268	2 839	341	0,557	24,2
150	**12**	47,1	60,1	1 739	5,38	232	295	3 231	380	0,538	21,2
150	**12,5**	48,7	62	1 772	5,34	236	302	3 321	389	0,536	20,5
150	**16**	58,7	74,8	1 916	5,06	255	344	3 830	440	0,518	17
160	**4**	19,3	24,5	986	6,34	123	143	1 541	185	0,626	51,9
160	**5**	23,8	30,4	1 201	6,29	150	175	1 896	226	0,623	42
160	**6**	28,3	36	1 403	6,24	175	206	2 239	264	0,619	35,4
160	**6,3**	29,3	37,4	1 438	6,2	180	212	2 349	275	0,613	34,1
160	**8**	36,5	46,4	1 732	6,11	216	260	2 897	334	0,606	27,4
160	**10**	44,4	56,6	2 030	5,99	254	310	3 490	395	0,597	22,5
160	**12**	50,9	64,9	2 181	5,8	273	343	3 997	443	0,578	19,6
160	**12,5**	52,6	67	2 226	5,76	278	352	4 114	455	0,576	19
160	**16**	63,7	81,2	2 446	5,49	306	406	4 799	520	0,558	15,7

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Annexe 3

PROFILS CREUX POUR LA CONSTRUCTION FINIS À FROID
NF EN 10219

Dimensions et caractéristiques des profils creux de section rectangulaire



Dimensions extérieures h	b	Ép. t	Masse M	Aire de la section A	Moment d'inertie de flexion I_y	I_z	Rayon de giration i_x	i_z	Module de flexion élastique W_{el-y}	W_{el-z}	Module de flexion plastique W_{pl-y}	W_{pl-z}	Moment d'inertie de torsion I_t	Constante de torsion C_t	Surface à peindre A_L	Longueur L
mm		mm	kg/m	cm^2	cm^4		cm		cm^3		cm^3		cm^4	cm^3	m^2/m	m/t
100	60	2,5	5,96	7,59	103	46,8	3,68	2,48	20,6	15,6	25,1	17,7	103	26,2	0,311	168
100	60	3	7,07	9,01	120	54,5	3,66	2,46	24,1	18,2	29,5	20,8	122	30,6	0,31	141
100	60	4	9,22	11,7	152	68,4	3,6	2,41	30,4	22,8	37,9	26,6	156	38,7	0,306	108
100	60	5	11,3	14,4	180	80,3	3,54	2,36	36	26,8	45,5	31,8	188	45,8	0,303	88,7
100	60	6	13,2	16,8	204	90,3	3,48	2,32	40,7	30,1	52,4	36,5	216	51,9	0,299	75,7
100	60	6,3	13,5	17,2	201	89,3	3,41	2,28	40,1	29,8	52,5	36,6	223	53	0,293	74
100	80	2,5	6,74	8,59	127	90,1	3,84	3,24	25,3	22,5	30	25,8	166	35,7	0,351	148
100	80	3	8,01	10,2	149	105	3,82	3,21	29,7	26,4	35,4	30,4	196	41,9	0,35	125
100	80	4	10,5	13,3	189	134	3,76	3,17	37,8	33,4	45,6	39,1	254	53,4	0,346	95,4
100	80	5	12,8	16,4	225	159	3,71	3,12	45	39,7	55	47,1	308	63,7	0,343	77,9
100	80	6	15,1	19,2	257	181	3,65	3,07	51,4	45,2	63,7	54,5	357	73	0,339	66,2
100	80	6,3	15,5	19,7	256	181	3,6	3,03	51,2	45,1	64,3	55,1	371	75	0,333	64,6
120	60	2,5	6,74	8,59	161	55,1	4,33	2,53	26,8	18,4	33,2	20,5	133	31,7	0,351	148
120	60	3	8,01	10,2	189	64,3	4,3	2,51	31,5	21,4	39,2	24,2	156	37,1	0,35	125
120	60	4	10,5	13,3	240	81	4,24	2,46	40	27	50,4	31	201	47	0,346	95,4
120	60	5	12,8	16,4	286	95,5	4,18	2,42	47,6	31,8	60,9	37,3	242	55,8	0,343	77,9
120	60	6	15,1	19,2	326	108	4,12	2,37	54,3	35,9	70,4	42,9	280	63,6	0,339	66,2
120	60	6,3	15,5	19,7	324	108	4,05	2,33	53,9	35,8	70,9	43,4	289	65,1	0,333	64,6
120	60	8	18,9	24	368	121	3,91	2,24	61,4	40,2	83,4	50,7	340	75	0,326	53
120	80	3	8,96	11,4	230	123	4,49	3,29	38,3	30,8	46,2	35	255	50,8	0,39	112
120	80	4	11,7	14,9	294	157	4,43	3,24	49	39,2	59,7	45,2	331	64,9	0,386	85,2
120	80	5	14,4	18,4	352	187	4,38	3,19	58,7	46,8	72,4	54,6	402	77,8	0,383	69,4
120	80	6	17	21,6	404	214	4,32	3,14	67,4	53,4	84,1	63,4	469	89,4	0,379	58,9
120	80	6,3	17,5	22,2	405	215	4,27	3,11	67,5	53,7	85,3	64,4	488	92,1	0,373	57,3
120	80	8	21,4	27,2	469	247	4,15	3,01	78,2	61,8	101	76,3	584	108	0,366	46,8
140	80	4	13	16,5	429	180	5,09	3,3	61,3	45	75,5	51,3	412	76,5	0,426	77
140	80	5	16	20,4	516	215	5,03	3,25	73,7	53,8	91,7	62,1	501	91,8	0,423	62,6
140	80	6	18,9	24	595	247	4,97	3,2	85	61,7	107	72,3	584	106	0,419	53
140	80	6,3	19,4	24,8	599	249	4,92	3,17	85,5	62,3	109	73,7	609	109	0,413	51,4
140	80	8	23,9	30,4	700	289	4,79	3,08	100	72,2	130	87,8	731	129	0,406	41,8
150	100	4	14,9	18,9	594	318	5,6	4,1	79,2	63,6	95,6	72,4	662	105	0,486	67,2
150	100	5	18,3	23,4	718	383	5,54	4,05	95,7	76,6	117	88,2	809	127	0,483	54,5
150	100	6	21,7	27,6	832	443	5,49	4	111	88,5	137	103	948	147	0,479	46,1
150	100	6,3	22,4	28,5	844	450	5,44	3,97	113	90	140	106	992	152	0,473	44,6
150	100	8	27,7	35,2	999	530	5,33	3,88	133	106	169	127	1 206	182	0,466	36,1
150	100	10	33,4	42,6	1 145	603	5,19	3,77	153	121	198	149	1 426	211	0,457	29,9
150	100	12	37,7	48,1	1 166	616	4,93	3,58	156	123	212	160	1 573	229	0,438	26,5
150	100	12,5	38,9	49,5	1 179	622	4,88	3,54	157	124	216	163	1 606	233	0,436	25,7
160	80	4	14,2	18,1	597	203	5,74	3,35	74,6	50,8	92,8	57,3	494	88	0,466	70,2
160	80	5	17,5	22,4	720	243	5,68	3,3	90	60,8	113	69,6	601	106	0,463	57
160	80	6	20,7	26,4	833	280	5,62	3,25	104	69,9	132	81,1	702	122	0,459	48,2
160	80	6,3	21,4	27,3	842	283	5,55	3,22	105	70,9	135	83	732	126	0,453	46,7
160	80	8	26,4	33,6	992	330	5,43	3,13	124	82,6	162	99,4	882	150	0,446	37,9
160	80	10	31,8	40,6	1 128	371	5,27	3,03	141	92,8	190	115	1 031	172	0,437	31,4
160	80	12	35,8	45,7	1 127	371	4,97	2,85	141	92,9	201	122	1 111	183	0,418	27,9
160	80	12,5	36,9	47	1 135	373	4,91	2,82	142	93,4	205	124	1 129	185	0,416	27,1

Base nationale des sujets d'examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Annexe 4

Résultats à multiplier par :
L/ (EA) pour les efforts normaux
L/ (EI) pour les moments

Cas M \ Cas m	⑧ m, ℓ/2	⑨ m_g	⑩ m_d	⑪ m, ℓ/2	⑫ m_g	⑬ m_d	⑭ m_g, m_d, m_0, m_t, ℓ/2
ⓐ M	$\frac{1}{2}$ M . m	$\frac{1}{3}$ M . m_g	$\frac{1}{3}$ M . m_d	$\frac{2}{3}$ M . m	$\frac{2}{3}$ M . m_g	$\frac{2}{3}$ M . m_d	$\frac{1}{6}$ M . ($m_g + 4m_t + m_d$)
ⓑ M_g M_t M_d, ℓ/2	$\frac{1}{4}(M_g + M_d)$.m	$\frac{1}{12}(3M_g + M_d).m_g$	$\frac{1}{12}(M_g + 3M_d).m_d$	$\frac{1}{3}(M_g + M_d).m$	$\frac{1}{12}(5M_g + 3M_d).m_g$	$\frac{1}{12}(3M_g + 5M_d).m_d$	$\frac{1}{6}(M_g.m_g + 4M_t.m_t + M_d.m_d)$
ⓒ M_g M_t M_d, ℓ/2	$\frac{1}{4}(M_g + M_d).m$	$\frac{1}{12}(3M_g + M_d).m_g$	$\frac{1}{12}(M_g + 3M_d).m_d$	$\frac{1}{3}(M_g + M_d).m$	$\frac{1}{12}(5M_g + 3M_d).m_g$	$\frac{1}{12}(3M_g + 5M_d).m_d$	$\frac{1}{6}(M_g.m_g + 4M_t.m_t + M_d.m_d)$
ⓓ M_g M_d, ℓ/2, $M_g = -M_d$	0	$\frac{1}{6}M_g.m_g$	$\frac{1}{6}M_d.m_d$	0	$\frac{1}{6}M_g.m_g$	$\frac{1}{6}M_d.m_d$	$\frac{1}{6}M_g.(m_g - m_d)$
ⓔ M_g	$\frac{1}{4}M_g.m$	$\frac{1}{4}M_g.m_g$	$\frac{1}{12}M_g.m_d$	$\frac{1}{3}M_g.m$	$\frac{5}{12}M_g.m_g$	$\frac{1}{4}M_g.m_d$	$\frac{1}{6}M_g.(m_g + 2m_t)$
ⓕ M_d	$\frac{1}{4}M_d.m$	$\frac{1}{12}M_d.m_g$	$\frac{1}{4}M_d.m_d$	$\frac{1}{3}M_d.m$	$\frac{1}{4}M_d.m_g$	$\frac{5}{12}M_d.m_d$	$\frac{1}{6}M_d.(2m_t + m_d)$
ⓖ M, a, b	$\frac{1}{12}$M.m.(3 − 4α²)/β $\frac{1}{3}$M.m pour a = b	$\frac{1}{12}$M.m_g.(1 + β + β²)	$\frac{1}{12}$M.m_d.(1 + α + α²)	$\frac{1}{3}$M.m.(1 + αβ)	$\frac{1}{12}$M.m_g.(5 − α − α²)	$\frac{1}{12}$M.m_d.(5 − β − β²)	$\frac{1}{6}$M.[−2m_0.(1 + α + α²) + (4m_0 − m_g + m_d).(1 + α) + 3m_g]

Introduire les valeurs de **M et m** avec **leur signe** avec $\alpha = \frac{a}{\ell}$ et $\beta = \frac{b}{\ell}$

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.