

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION

SESSION 2024

DOSSIER RESSOURCES

Contenu du dossier

Formulaire des poutre simples élastiques	Page 2
Charges, combinaisons d'actions et coefficients de sécurité	Page 2
Caractéristiques des sections, aciers et boulons	Page 3

ELU : résistance section fléchie et tendue	Page 4
ELU : résistance section et barre comprimées	Page 5-6
ELU : longueur critique de flambement pour treillis	Page 6
ELS : déformations recommandées pour planchers	Page 7
Attaches : résistance des soudures	Page 7
Attaches : conditions de pas et pincés	Page 8
Attaches : résistance des boulons classiques	Page 8
Attaches : résistance des boulons précontraints	Page 9

Transport exceptionnel	Page 10
Elingues chaînes	Page 11

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 1/11

Formulaire des poutres simples élastiques

Charges exploitation (EN1991-2)

La valeur recommandée pour la charge d’exploitation sur une passerelle piéton q_k est (EN1991-2 section 5.3.2.1) en fonction de la longueur L de la passerelle en m :

10 m < L < 210 m : q_k(L) = 2 + 120 / (L + 30) (en kN/m²)

Combinaisons G + une action variable

	ELU		ELS
	Combinaisons fondamentales	Combinaisons accidentelles	Combinaisons caractéristiques
G + 1 action variable	1,35 G + 1,5 I 1,35 G + 1,5 S 1,35 G + 1,5 W G + 1,5 W (si soulèvement)	G + S _A	G + I G + S G + W

Charges

Charges propres

pois linéique du garde corps gc = 0,27 kN/m

pois volumique du bois du platelage en bois γ_b = 5 kN/m³

Coefficients de sécurité des matériaux

γ_{M0} = 1 γ_{M1} = 1 γ_{M2} = 1,25 γ_{M3} = 1,1

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 2/11

Caractéristiques géométriques des sections

RRW100x50x4

Masse linéique : $G = 8 \text{ kg/m}$
 Aire : $A = 11 \text{ cm}^2$
 Inertie de flexion : $I_{yy} = 140 \text{ cm}^4$ $I_{zz} = 46 \text{ cm}^4$

RRW 160x160x6,3

Masse linéique : $G = 31 \text{ kg/m}$
 Aire : $A = 38,31 \text{ cm}^2$
 Inertie de flexion : $I = 1500 \text{ cm}^4$
 module élastique de flexion : $W_{el} = 187 \text{ cm}^3$
 module plastique de flexion : $W_{pl} = 220 \text{ cm}^3$

IPE80

Masse linéique $G = 6 \text{ kg/m}$
 Aire $A = 7,6 \text{ cm}^2$
 Inertie de flexion $I_{yy} = 80,1 \text{ cm}^4$ $I_{zz} = 8,5 \text{ cm}^4$
 Module élastique de flexion $W_{ely} = 20,0 \text{ cm}^3$ $W_{elz} = 3,69 \text{ cm}^3$
 module plastique de flexion $W_{ply} = 23,2 \text{ cm}^3$ $W_{plz} = 5,8 \text{ cm}^3$

Caractéristiques mécaniques des aciers

module d'élasticité de l'acier $E = 210\,000 \text{ MPa}$

S235 $f_y = 235 \text{ MPa}$ $f_u = 360 \text{ MPa}$

S275 $f_y = 275 \text{ MPa}$ $f_u = 430 \text{ MPa}$
S355 $f_y = 355 \text{ MPa}$ $f_u = 510 \text{ MPa}$
S450 $f_y = 440 \text{ MPa}$ $f_u = 550 \text{ MPa}$

Caractéristiques des boulons

Classe de boulon	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (MPa)	400	400	500	500	600	800	1000

Caractéristiques géométriques (mm, mm ²)										
Désignations	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
d ₀ trou normal	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A	78,5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A _s	58	84,3	115	157	192	245	303	353	459	561
Φ rondelle	20	24	27	30	34	37	40	44	50	52
d _m	17,24	19,39	22,63	25,86	29,09	32,32	36,63	38,79	44,17	49,56

d diamètre nominal du boulon (celui de la partie non filetée).
 d₀ diamètre du trou normal
 A aire de la section de la tige lisse du boulon
 A_s section résistante de la partie filetée
 d_m moyenne entre surangle et surplat pour le calcul de B_{n,Rd} (valeurs pour les boulons HM uniquement).

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 3/11

Résistance d'une section fléchie

(1) Il convient que la valeur de calcul M_{Ed} du moment fléchissant dans chaque section transversale satisfasse:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.12)$$

où $M_{c,Rd}$ est déterminé en prenant en compte les trous de fixation, voir (4) à (6).

(2) La valeur de calcul de la résistance d'une section transversale à la flexion par rapport à l'un de ses axes principaux est déterminée de la façon suivante :

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 1 ou 2} \quad (6.13)$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 3} \quad (6.14)$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 4} \quad (6.15)$$

où $W_{el,min}$ et $W_{eff,min}$ correspondent à la fibre subissant la contrainte élastique maximale.

Résistance d'une section tendue

(1) Il convient que la valeur de calcul de l'effort de traction N_{Ed} dans chaque section transversale

$$\text{satisfasse la condition suivante : } \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.5)$$

(2) Pour les sections comportant des trous, il convient de prendre la valeur de calcul $N_{t,Rd}$ de la résistance à la traction égale à la plus petite des valeurs suivantes :

a) la valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.6)$$

b) la valeur de calcul de la résistance ultime de la section transversale nette au droit des trous de fixation

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.7)$$

(4) Dans les assemblages de catégorie C (voir l'EN 1993-1-8, 3.4.2 (1)), il convient que la valeur de calcul $N_{t,Rd}$ de la résistance à la traction de la section nette au droit des trous de fixation telle que définie en 6.2.3 (1) soit prise égale à $N_{net,Rd}$ où :

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.8)$$

(5) Pour les cornières assemblées par une seule aile, voir également l'EN 1993-1-8, 3.10.3. Il convient de traiter de façon similaire les autres types de sections assemblées par des parois en console.

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 4/11

Résistance d’une barre comprimée

Il convient de vérifier une barre comprimée vis-à-vis du flambement de la façon suivante :

N_Ed / N_b,Rd ≤ 1,0

où N_Ed : valeur de calcul de l’effort de compression N_b,Rd : est la résistance de la barre comprimée au flambement.

L’expression de N_b,Rd est donnée par :

• Sections de Classe 1, 2 ou 3

N_b,Rd = χ * (A * f_y) / γ_M1 (6.47)

• Sections de Classe 4

N_b,Rd = χ * (A_eff * f_y) / γ_M1

Pour les barres axialement comprimées, on détermine le coefficient χ à partir des courbes de flambement en appliquant :

χ = 1 / (φ + √(φ² - λ̄²)) (avec χ ≤ 1,0) où φ = 0,5 [1 + α (λ̄ - 0,2) + λ̄²] (6.49)

Les expressions de λ̄, α, sont :

• Sections de Classe 1, 2 ou 3

λ̄ = √(A * f_y / N_cr)

• Sections de Classe 4

λ̄ = √(A_eff * f_y / N_cr)

N_cr est l’effort normal critique de flambement élastique approprié, basé sur les propriétés de la section transversale brute (force critique d’Euler : N_cr = π² * (E * I) / L_cr² avec L_cr longueur de flambement de l’élément)

α : est un facteur d’imperfection donné par le tableau suivant :

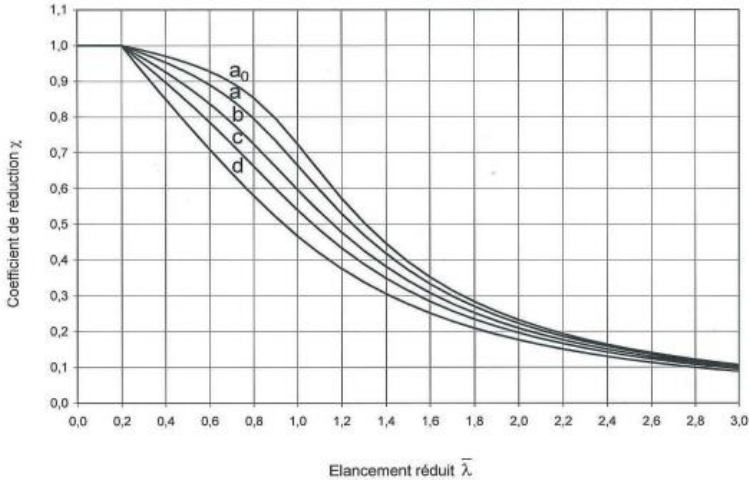
Courbe de flambement	a_0	a	b	c	d
Facteur d’imperfection α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 5/11

Résistance d'une barre comprimée (suite)

Tableau 6.2 - Choix de la courbe de flambement pour une section transversale

Section transversale		Limites	Flamb ¹ selon l'axe	Courbe de flamb ¹		
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Sections en I laminées		h/b > 1,2	t_f ≤ 40 mm	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
			40 mm < t_f ≤ 100	y-y z-z	b c	a a
		h/b ≤ 1,2	t_f ≤ 100 mm	y-y z-z	b c	a a
			t_f > 100 mm	y-y z-z	d d	c c
Sections en I soudées		t_f ≤ 40 mm		y-y z-z	b c	b c
		t_f > 40 mm		y-y z-z	c d	c d
Sections creuses		Finies à chaud		Quelcon- que	a	a ₀
		Formées à froid		Quelcon- que	c	c



Longueur critique de flambement pour les treillis

Dispositions Constructives	Plan du treillis	
Longueur d'épure L	L : Distance entre 2 nœuds d'assemblages successifs	
	Profils ouverts	Profils creux
Membrures	$L_{cr} = 0,9.L$ (section en I ou H) $L_{cr} = L$ (autres sections)	$L_{cr} = 0,9.L$
Treillis (diagonales et montants)	$L_{cr} = L$ (si 1 bl) $L_{cr} = 0,9.L$ (si 2 bls ou +)	$L_{cr} = L$

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 6/11

Critères ELS pour les planchers

Clause 7.2.1 (1)B – flèches verticales :

(1) Les notations des valeurs limites de flèches indiquées ci-après sont représentées sur la figure 1 dans le cas de la poutre simplement appuyée.



- w₁ : Flèche due aux charges permanentes ;
- w₃ : Flèche due aux actions variables ;
- w_c : Contreflèche dans l'élément structural non chargé.

Ces flèches permettent de déterminer :

La flèche totale $w_{tot} = w_1 + w_3$
La flèche résiduelle totale w_{max} incluant la contreflèche w_c $w_{max} = w_1 + w_3 - w_c$

(2) Les valeurs limites recommandées de flèches verticales pour les poutres de bâtiments sont données au tableau 1, où L est la portée de la poutre. Pour les poutres en porte-à-faux, la longueur L à considérer est égale à 2 fois la longueur du porte-à-faux.

Tableau 1 - Valeurs limites recommandées pour les flèches verticales

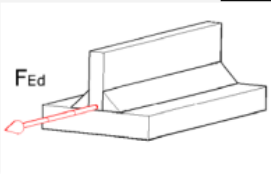
Conditions	Limites (voir figure 1)	
	w _{max}	w ₃
Toitures en général	L / 200	L / 250
Toitures supportant fréquemment du personnel autre que le personnel d'entretien	L / 200	L / 300
Planchers en général	L / 200	L / 300
Planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou en autres matériaux fragiles ou rigides	L / 250	L / 350
Planchers supportant des poteaux	L / 400	L / 500

Résistance des soudures

Tableau 4.1 - Facteur de corrélation β_w pour les soudures d'angle

Nuance	β _w	Nuance	β _w	Nuance	β _w	Nuance	β _w
S 235 ...	β _w = 0,8	S 275 ...	β _w = 0,85	S 355 ...	β _w = 0,9	S 420 ...	β _w = 1,0

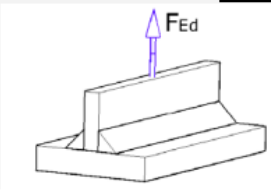
Cordons latéraux, sollicitation centrée



$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Ed}}{A_w}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = \frac{A_w f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Cordons frontaux, sollicitation centrée



$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{Ed}}{A_w} \cos(45^{\circ}) = \frac{F_{Ed}}{A_w} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$
$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = \frac{A_w f_u}{\sqrt{2} \beta_w \gamma_{M2}}$$

Longueur efficace : $L_{eff} = L - 2a$

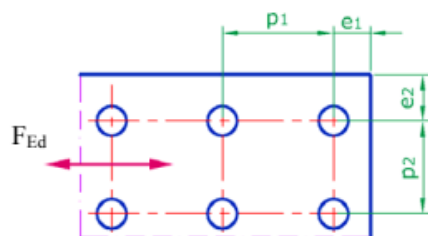
Aire du cordon : $A_w = a * L_{eff}$

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 7/11

Conditions de pas et pince

Tableau 3.3 - Pince longitudinales et transversales, entraxes minimum et maximum

Distances et entraxes	Minimum	Maximum ^{1) 2) 3)}	
		Structures réalisées en aciers conformes à l'EN 10025 à l'exception des aciers conformes à l'EN 10025-5	
voir Figure 3.1		Acier exposé aux intempéries ou autres influences corrosives	Acier non exposé aux intempéries ou autres influences corrosives
Pince longitudinale e_1	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	
Pince transversale e_2	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	
Distance e_3 pour les trous oblongs	$1,5d_0$ ⁴⁾		
Distance e_4 pour les trous oblongs	$1,5d_0$ ⁴⁾		
Entraxe p_1	$2,2d_0$	Minimum de : 14t ou 200 mm	Minimum de : 14t ou 200 mm
Entraxe $p_{1,0}$		Minimum de : 14t ou 200 mm	
Entraxe $p_{1,i}$		Minimum de : 28t ou 400 mm	
Entraxe p_2 ⁵⁾	$2,4 d_0$	Minimum de : 14t ou 200 mm	Minimum de : 14t ou 200 mm



Résistance des boulons non précontraints

Tableau 3.4 - Résistance de calcul individuelle pour les fixations sollicitées au cisaillement et/ou à la traction

Mode de ruine	Boulons
Résistance au cisaillement par plan de cisaillement	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> lorsque le plan de cisaillement passe par la partie filetée du boulon (A est l'aire de la section résistante en traction du boulon A_s) : <ul style="list-style-type: none"> - pour les Classes 4.6, 5.6 et 8.8 : $\alpha_v = 0,6$ - pour les Classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 : $\alpha_v = 0,5$ lorsque le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon (A est l'aire de la section brute du boulon) : $\alpha_v = 0,6$
Résistance en pression diamétrale ^{1), 2), 3)}	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>Où α_b est la plus petite des 3 valeurs de α_d ; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ou 1,0</p> <p>Situation du boulon dans la direction des efforts :</p> <ul style="list-style-type: none"> Boulons de rive : $\alpha_d = \frac{e_1}{3 d_0}$ Boulons intérieurs : $\alpha_d = \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}$ <p>Situation du boulon perpendiculairement à la direction des efforts :</p> <ul style="list-style-type: none"> Boulons de rive : k_1 est la plus petite des valeurs : $\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right)$ et 2,5 Boulons intérieurs : k_1 est la plus petite des valeurs : $\left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \right)$ et 2,5

(6) La résistance des boulons pleins-trous peut être calculée de la même façon que celle des boulons utilisés dans des trous avec un jeu normal.

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 8/11

Résistance des boulons précontraints

(1) Il convient de prendre la résistance de calcul au glissement d'un boulon précontraint de Classe 8.8 ou 10.9 précontraint égale à :

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \, n \, \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

où :

- k_s est donné dans le tableau 3.6
- n nombre de surfaces de frottement
- μ coefficient de frottement, obtenu par des essais spécifiques à la surface de frottement selon 2.8 normes de référence : Groupe 7, ou s'il y a lieu donné dans le tableau 3.7.

$$F_{p,C} = 0,7f_{ub}A_s$$

Tableau 3.6 - Valeurs de k_s

Description	k_s
Boulons utilisés dans des trous normaux.	1,0
Boulons utilisés soit dans des trous surdimensionnés soit dans des trous oblongs courts dont l'axe longitudinal est perpendiculaire à la direction des efforts	0,85
Boulons utilisés dans des trous oblongs longs dont l'axe longitudinal est perpendiculaire à la direction des efforts.	0,7
Boulons utilisés dans des trous oblongs courts dont l'axe longitudinal est parallèle à la direction des efforts.	0,76
Boulons utilisés dans des trous oblongs longs dont l'axe longitudinal est parallèle à la direction des efforts	0,63

Tableau 3.7 - Coefficient de frottement, μ , pour les boulons précontraints

Préparation	Classe de surfaces de frottement (voir 2.8, normes de référence : Groupe 7)	Coefficient de frottement μ
Surfaces grenaillées ou sablées, sans rouille ni piqure, ou métallisées	A	0,5
Peinture au silicate alcali-zinc appliquée après grenaillage ou sablage	B	0,4
Surfaces nettoyées à la brosse ou au chalumeau, sans rouille	C	0,3
Surfaces non traitées	D	0,2

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 9/11

Transport exceptionnel

Direction de l'information légale et administrative, Ministère chargé de l'intérieur :

“Il s'agit de la circulation en **convoi exceptionnel** d'un poids lourd avec un chargement de marchandises, d'engins ou de véhicules. Sa caractéristique est de **dépasser** les **dimensions** et le **poids** autorisés par le code de la route. Le transporteur doit faire une déclaration ou obtenir une **autorisation** préalable selon sa **catégorie**. Les **règles de circulation** sont spécifiques.

Le véhicule seul ou l'ensemble routier est considéré comme un convoi exceptionnel s'il **dépasse** l'une des caractéristiques suivantes :

- Longueur de 16,5 m
- Largeur de 2,55 m
- Poids de 44 tonnes”

Catégories de transport exceptionnel

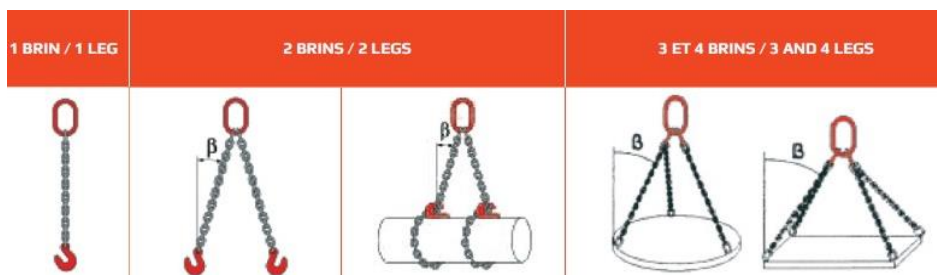
Catégories des transports exceptionnels selon leurs dimensions			
	Longueur	Largeur	Poids
1 ^{re} catégorie	Entre 16,6 et 20 m	Entre 2,6 et 3 m	Entre 44 et 48 tonnes
2 ^e catégorie	Entre 20 et 25 m	Entre 3 et 4 m	Entre 48 et 72 tonnes
3 ^e catégorie	Au-delà de 25 m	Au-delà de 4 m	Au-delà de 72 tonnes

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2024		E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES			Page : 10/11

Les élingues chaînes

Les élingues chaînes, plus résistantes que les élingues textiles, sont en général munies de crochets à leur extrémité. On en trouve de différentes longueurs et d'un nombre de brins simple ou multiple.

Des crochets se trouvant sur la partie supérieure permettent de régler la longueur de la chaîne en fonction des charges à soulever



Types d'élingues chaînes
avec la définition de leur angle d'ouverture (β)

CHAÎNE CHAIN	GRADE	1 BRINS 1 LEGS	2 BRINS 2 LEGS		4 BRINS 4 LEGS	
			$\beta < 45^\circ$	$\beta > 45 - 60^\circ$	$\beta < 45^\circ$	$\beta > 45 - 60^\circ$
8 mm	80	2,00	2,80	2,00	4,25	3,00
	100	2,50	3,50	2,50	5,25	3,75
	120	3,00	4,25	3,00	6,30	4,50
10 mm	80	3,15	4,25	3,15	6,70	4,75
	100	4,00	5,60	4,00	8,40	6,00
	120	5,00	7,10	5,00	10,60	7,50
13 mm	80	5,30	7,50	5,30	11,20	8,00
	100	6,70	9,50	6,70	14,00	10,00
	120	8,00	11,20	8,00	17,00	11,80
16 mm	80	8,00	11,20	8,00	17,00	11,80
	100	10,00	14,00	10,00	21,00	15,00
	120	12,50	17,00	12,50	26,50	19,00
20 mm	80	12,50	17,00	12,50	26,50	19,00
	100	16,00	22,40	16,00	33,60	24,00
	120	-	-	-	-	-
22 mm	80	15,00	21,20	15,00	31,50	22,40
	100	20,00	28,00	20,00	42,00	30,00
	120	-	-	-	-	-

Tableau de Charges Maximales d'Utilisation au crochet de la grue (C.M.U.) en tonnes en fonction du diamètre de la chaîne, de son grade (qualité) et de l'angle d'ouverture β .

EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2024	E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	
DOSSIER RESSOURCES		Page : 11/11