

COURS STRUCTURES EN MÉTAL

TGC 10, chapitres 8 et 9:
Résistance des assemblages
Assemblages par boulons
partie 1, cisailés, tendus

Fig 9.1: Assemblages dans un cadre métallique

Assemblages traités
dans ce chapitre :

Joint de poutres

Liaison
Poutre-colonne

Assemblages traités
dans le volume 11 :

angle de cadre

pied de colonne

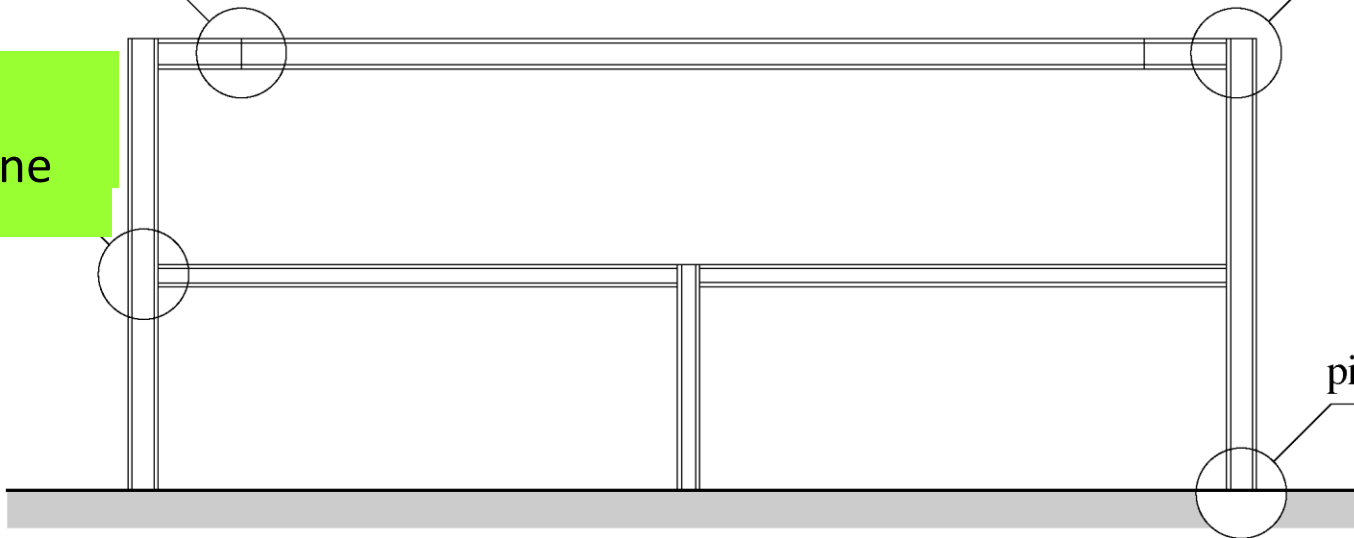


Fig 8.1: Assemblages boulonnés types

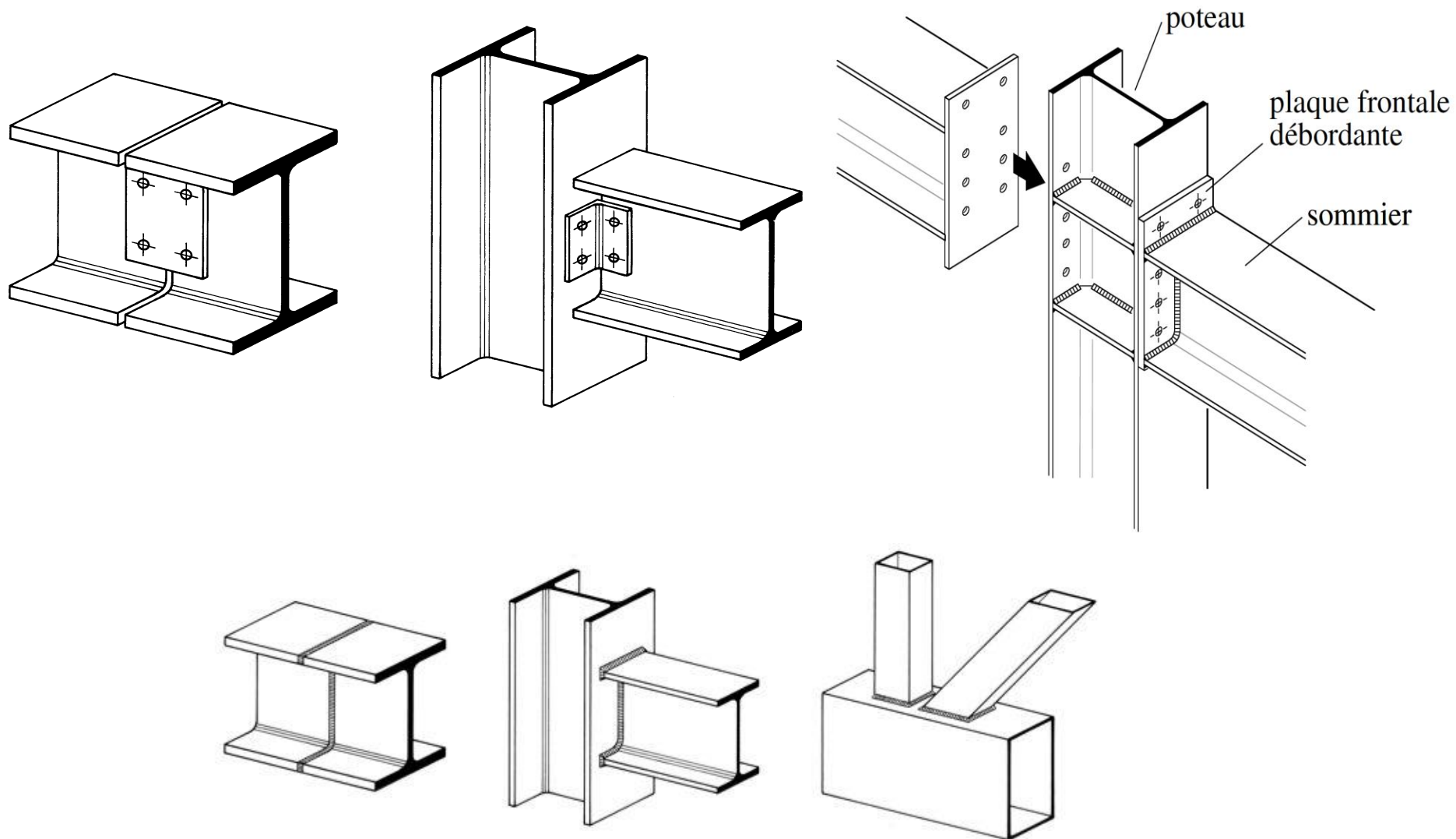
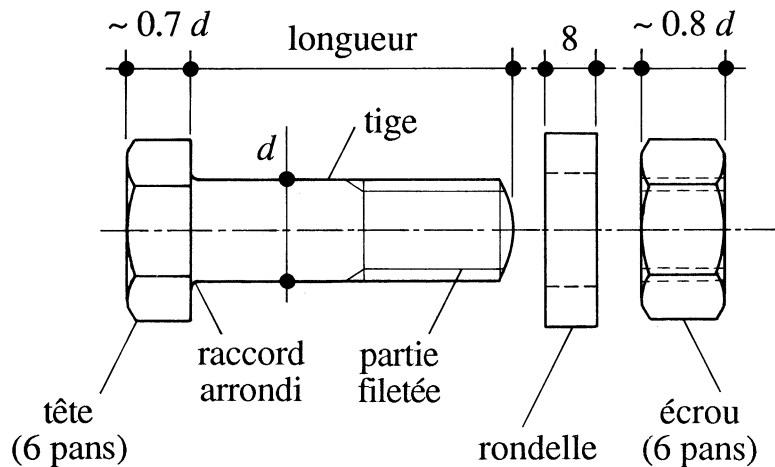
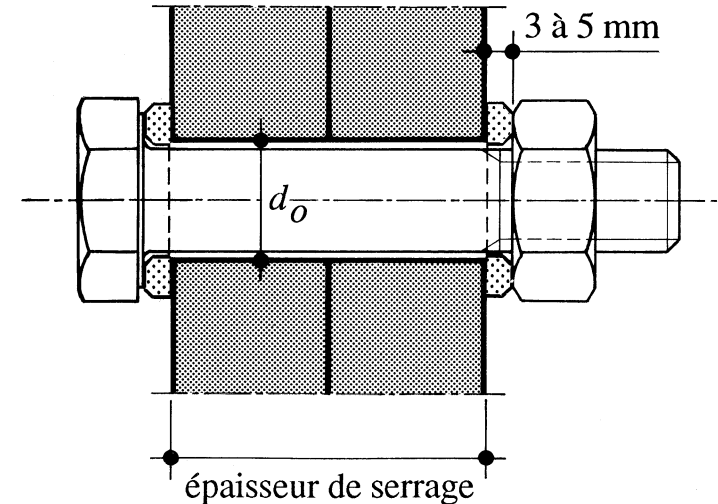


Fig 8.4: Assemblages boulonnés, notations

Boulon de charpente métallique



Boulon à haute résistance



e_i, p_i plices et entraxes entre les boulons selon la figure 38

A aire de la section de la tige du boulon: $\pi d^2/4$

A_s aire de la section résistante du boulon: $\pi d_s^2/4$; $d_s = 0,5 (d_f + d_k)$ Valeurs, voir SZS C5 p. 105

d diamètre de la tige du boulon

d_f diamètre extérieur du filetage

d_k diamètre intérieur du filetage

d_o diamètre du trou

f_{ub} résistance à la traction des boulons

f_u résistance à la traction des éléments de construction à assembler

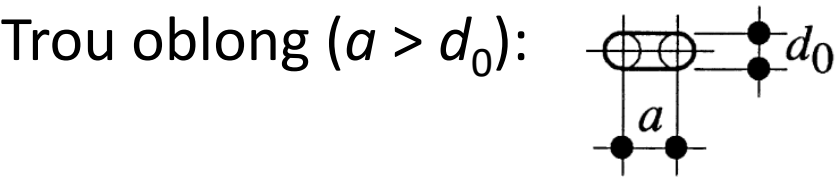
t épaisseur de l'élément à assembler

Fig 8.5: Résumé des dimensions des boulons

Jeu normal, 2 mm (M27 et sup. 3 mm)

	M 12	M 16	M 20	M 24	M 27
Diamètre de la tige d [mm]	12	16	20	24	27
Diamètre du trou d_0 [mm]	14	18	22	26	30
Section de la tige A [mm ²]	113	201	314	452	573
Section résistante A_s [mm ²]	84	157	245	353	459
Symbole boulon de charpente					
Symbole HR* non précontraint					
Symbole HR précontraint					

Boulons ajustés: jeu réduit à 0.3 mm



*En Europe, 2 systèmes boulons précontraints standardisés:
- HR (high resistance), EN 14399-3 (2005)
- HV (Hochfest Bolzen mit Vorspannung), EN 14399-4 (2005).

Avant les boulons précontraints: Les rivets

Fig 8.6: rivet ancien et moderne

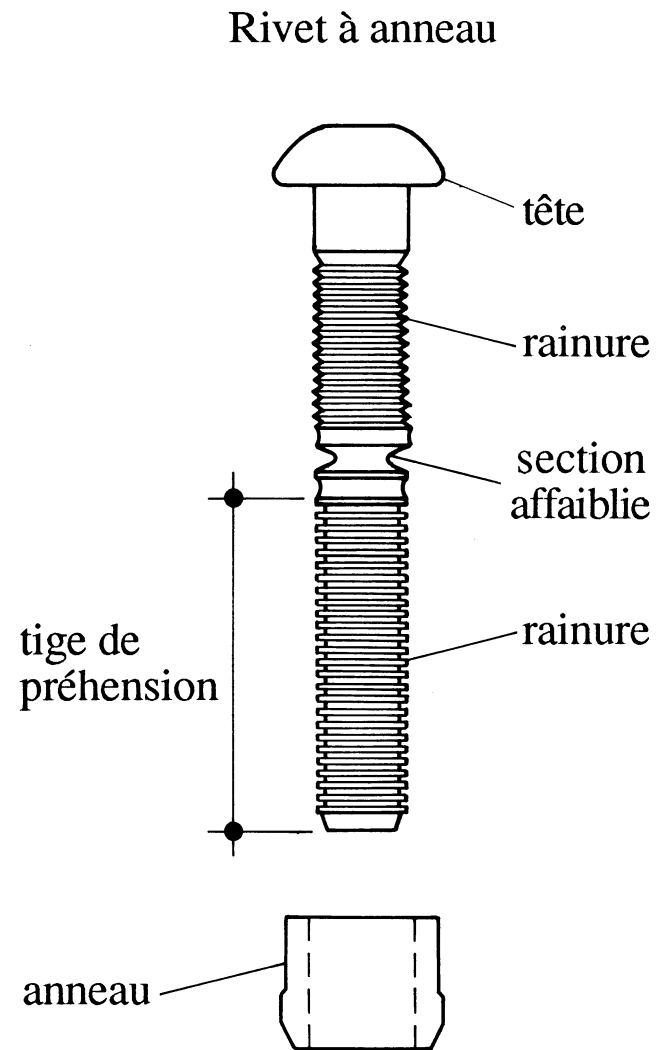
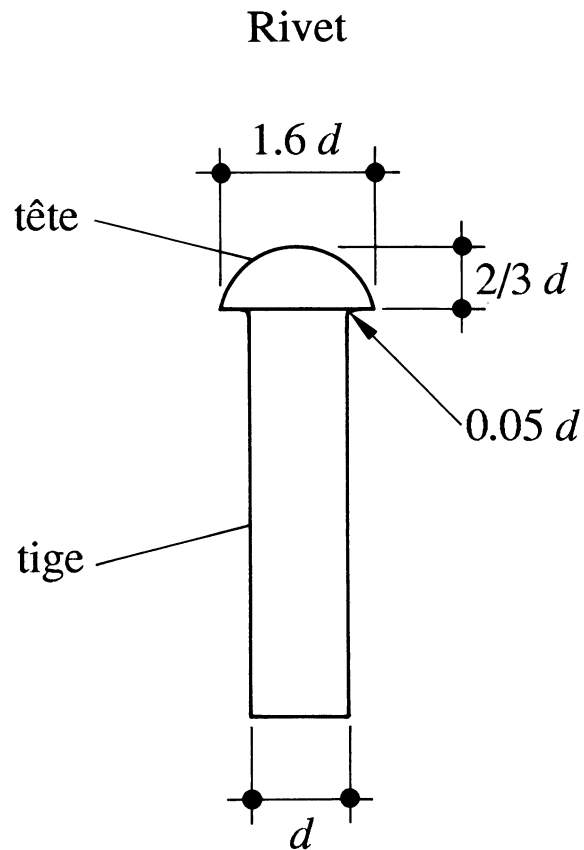
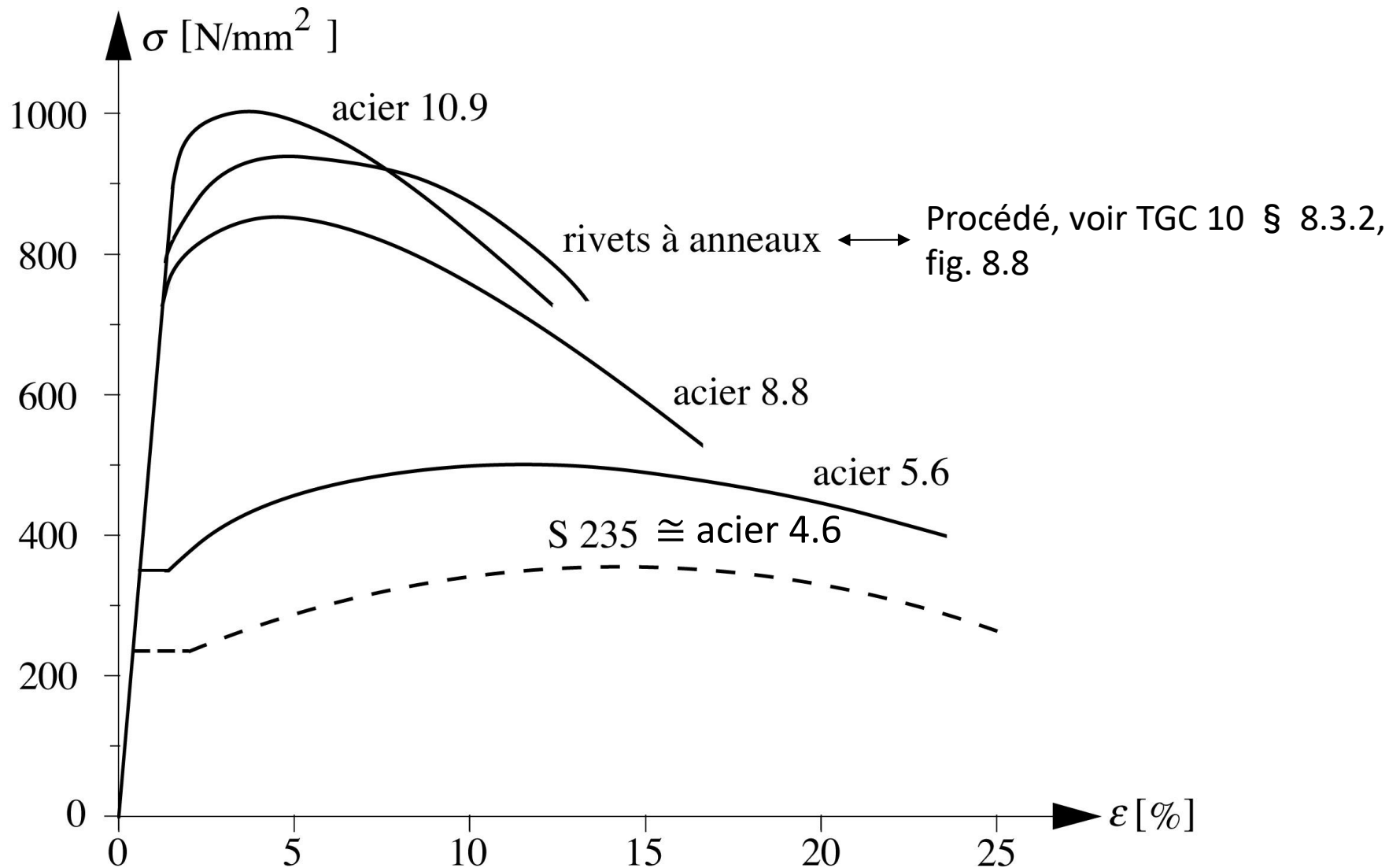

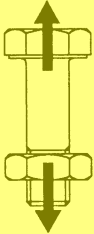
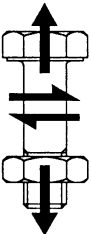
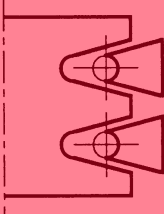
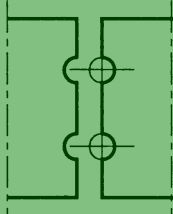
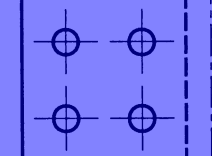
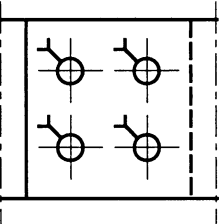


Fig 3.29: Courbes déformation spécifique - contrainte



Tab. 8.2: assemblages sous différents efforts intérieurs

Boulons			Pièces assemblées		Assemblage	
Cisaillement	Traction	Interaction	Pression latérale	Section nette / brute	Non précontraint	Précontraint
						
§ 8.4.2	§ 8.4.3	§ 8.4.4	§ 8.5.1	§ 8.5.2	Sect. 8.6	Sect. 8.7

Les efforts intérieurs et la résistance peuvent être exprimés comme force dans un boulon ou une pièce assemblée.



Exemple:
Pièces en
traction Rupture
par pression
latérale

Fig 8.25: Courbes charge-déplacement, rigidité, des assembl.

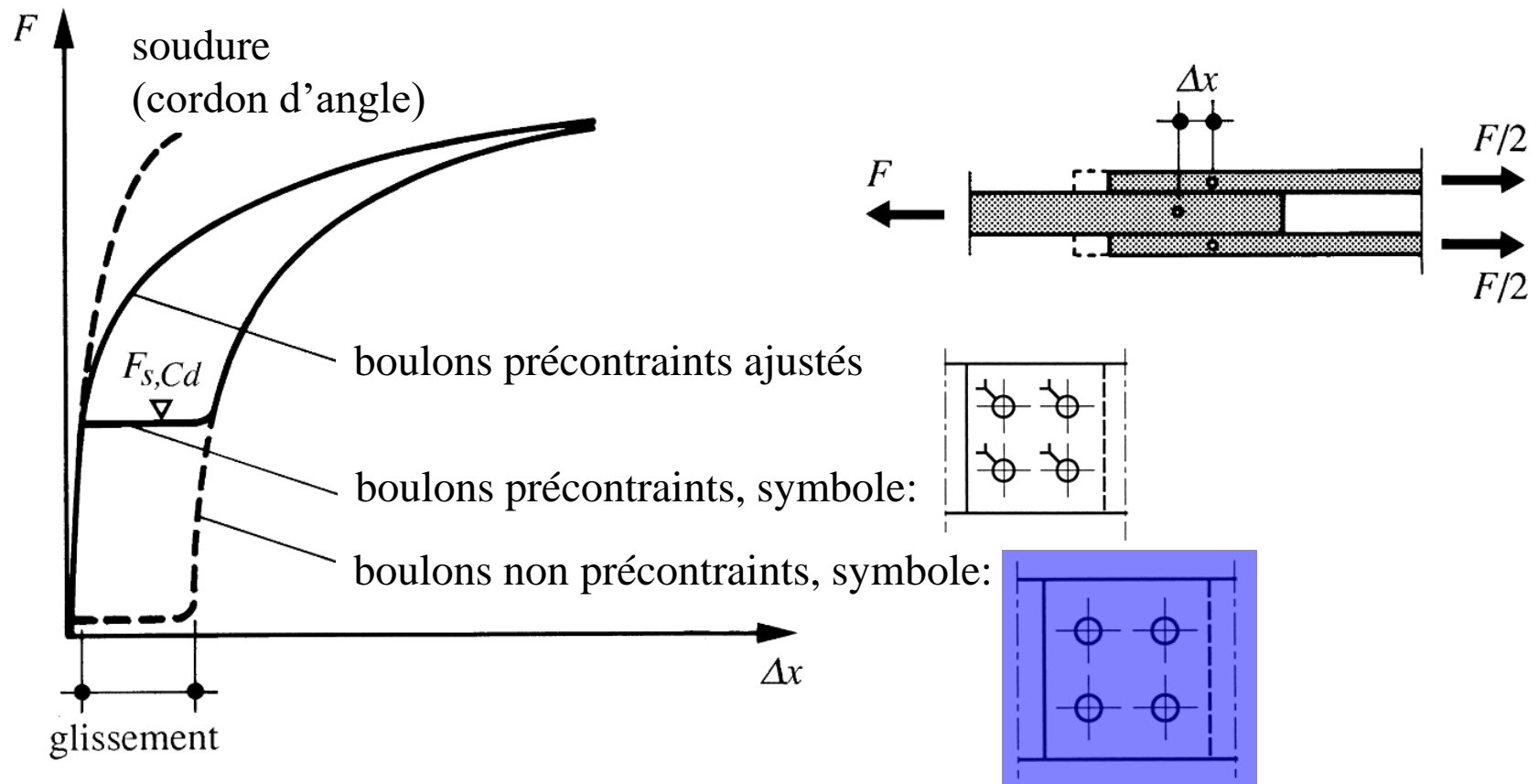
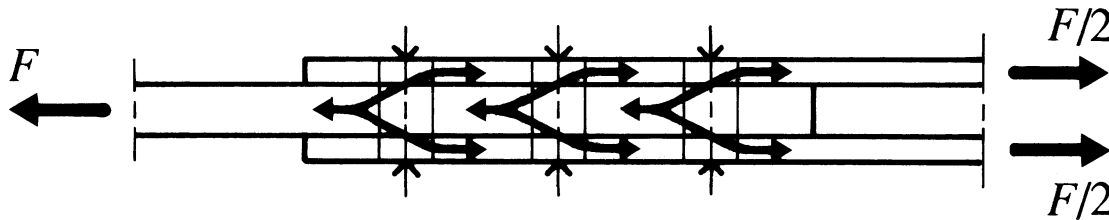
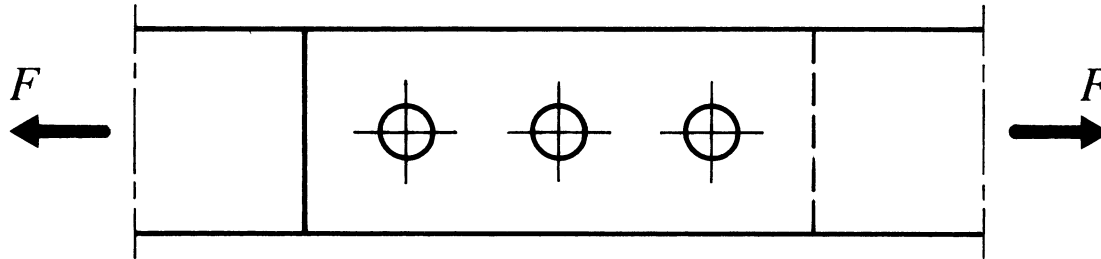
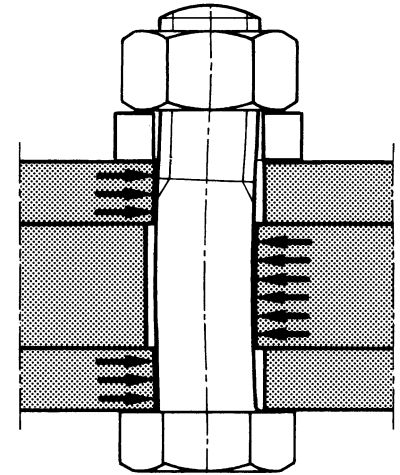


Fig 8.12: assemblage boulonné avec couvre-joints

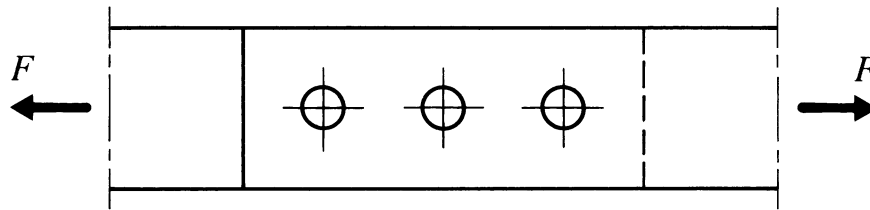
Joint boulonné



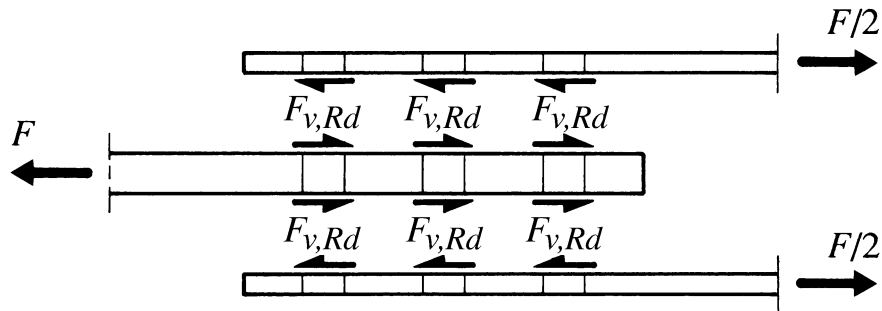
Sollicitation d'un boulon



ETUDIONS D'ABORD LES BOULONS



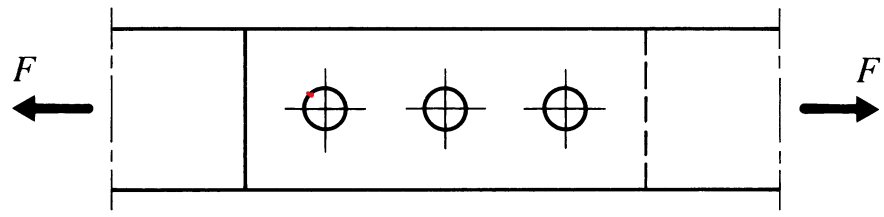
Equilibre par cisaillement



$$F_{v,Rd} = \frac{1}{\gamma_{M2}} \tau_{uB} A \quad \text{ou } A_s$$

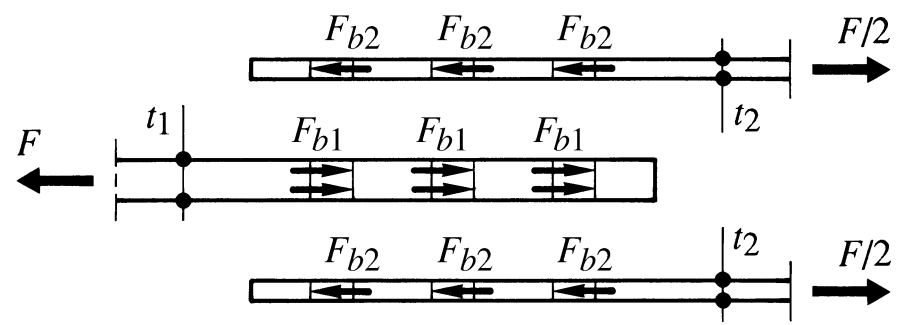
$$F_{v,Rd} = 0.6 \frac{f_{uB}}{\gamma_{M2}} A \quad (8.5a)$$

CONTACT ENTRE BOULONS & PIECES

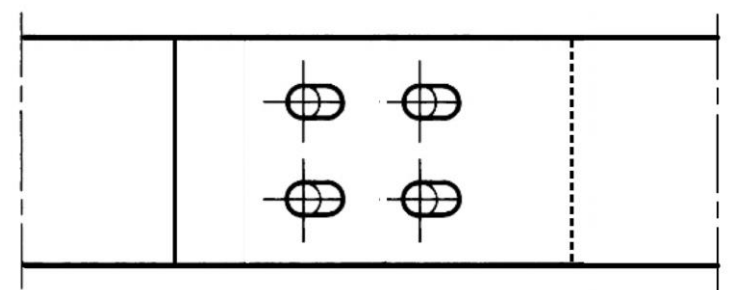
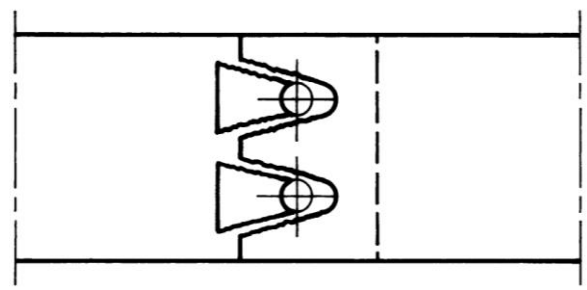


Hyp.:
Acier plaque \leq Acier boulons
 f_u déterminant

Equilibre par pression latérale



$$F_{b,Rd} = 0.85 \frac{e_1}{d_0} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} dt \leq 2.4 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} dt \quad (8.9a)$$



Résistance assemblages boulonnés: SIA 263, § 6.2, Tableau 16

Valeur de calcul de la résistance pour chaque plan de cisaillement

Le plan de cisaillement passe par la partie filetée de la tige

– Boulons des classes de résistance 4.6, 5.6 et 8.8: $F_{v,Rd} = 0,6 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ (68)

– Boulons des classes de résistance 4.8, 5.8 et 10.9: $F_{v,Rd} = 0,5 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ (69)

→ Le plan de cisaillement passe par la partie lisse de la tige: $F_{v,Rd} = 0,6 \frac{f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ (70)

Valeur de calcul de la pression latérale

Si la distance entre les boulons, mesurée perpendiculairement à la direction des efforts, répond aux conditions suivantes:

$$e_2 \geq 1,0 d_0 \text{ et } p_2 \geq 2,0 d_0$$

alors

$$F_{b,Rd} = 0,85 \frac{e_1}{d_0} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} d t \text{ mais } F_{b,Rd} \leq 2,4 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} d t \quad (71)$$

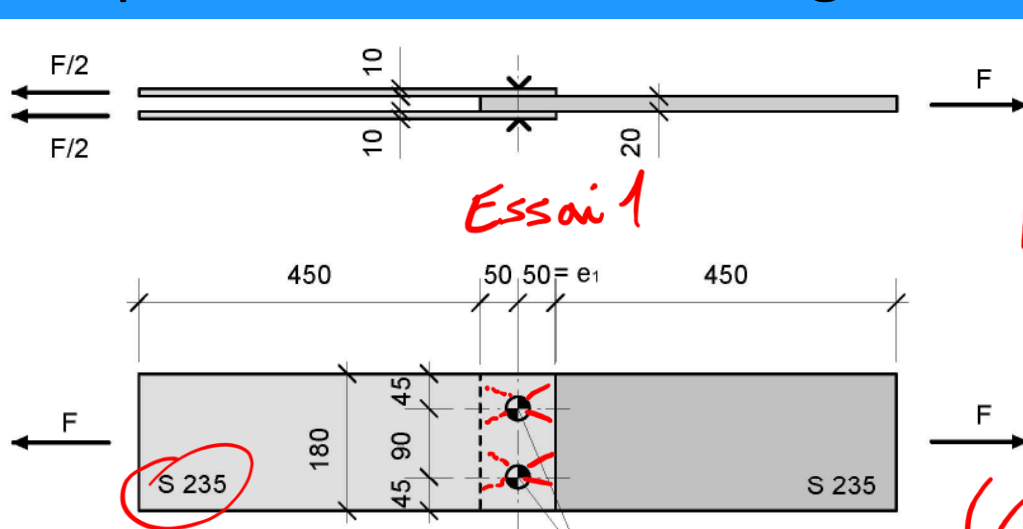
Pour des trous oblongs perpendiculaires à la direction des efforts, la pression latérale ultime doit être réduite à 60%.

Au cas où la distance entre les boulons, mesurée dans la direction des efforts, est réduite: $p_1 < e_1 + d_0/2$, il faut remplacer e_1 par la valeur $(p_1 - d_0/2)$ dans la formule (71).

Valeur de calcul de la résistance en traction

$$F_{t,Rd} = 0,9 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (72)$$

Exemple de calcul, assemblage d'essai



Essai 1

Cisaillement :

$$F_{v,Rd,tot} = 2 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{f_{ub}}{1,25} \cdot \frac{\tilde{A} \cdot 24^2}{4} = 4 \cdot 86,9 \text{ kN} = \underline{\underline{347,4 \text{ kN}}}$$

(CS: 348 kN)

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{M24 4.6}$$

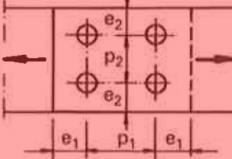
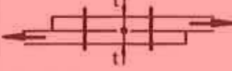

$$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

Pression latérale: 2 surfaces (20 mm)
 e_1, f_u, d, k_{trans}

$$F_{t,Rd,tot} = 2 \cdot \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 20}{26 \cdot 1,25 \cdot d_0} = 452 \text{ kN} \quad (\text{CS: } 452 \text{ kN})$$

Bemessungswerte (Grundlage: Norm SIA 263 mit $\gamma_{M2} = 1,25$)

Valeurs de calcul (Base: Norme SIA 263 avec $\gamma_{M2} = 1,25$)

Schrauben-Nenn Durchmesser / ø nominal du boulon		M 5 ①	M 6 ①	M 8 ①	M 10	M 12	M 16	M 20	M 24	M 27	M 30	
Loch ø / ø du trou		d ₀ mm	6	7	9	12	14	18	22	26	30	33
Schaft ø / ø de la tige		d mm	5	6	8	10	12	16	20	24	27	30
Schaftquerschnitt / Section de la tige		A mm ²	19,6	28,3	50,3	78,5	113	201	314	452	573	707
Spannungsquerschnitt / Section résistante ②		A _s mm ²	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	157	245	353	459	561
Tragwiderstand pro Schraube in kN / Résistance par boulon en kN (Bemessungswerte / Valeurs de calcul)	Scherwiderstand F_{v,Rd} Résistance au cisaillement ③	Festigkeitsklasse Classe de résist.	4.6 einschnittig / section simple			15,2	21,7	38,6	60,3	86,8	110	136
			SBS zweischnittig / section double			30,3	43,4	77,2	121	174	220	271
			10.9 einschnittig / section simple			37,9	54,2	96,5	151	217	275	339
			SHV zweischnittig / section double			75,8	108	193	301	434	550	679
	Lochleibungs- widerstand im Grundwerkstoff F_{b,Rd} Résistance à la pression latérale des pièces assemblées   einschnittig section simple  zweischnittig section double	Schrauben- und Randabstände / Entraxes et pinces	Minimum $e_2 \geq 1,0 d_0$ $p_2 \geq 2,0 d_0$	Abstände	e ₁ mm	15	20	25	30	35	40	45
				Entraxes, pinces	p ₁ mm	30	35	40	45	55	65	70
				S235	t = 8 mm	24,5	33,6	43,5	53,4	63,3	70,5	80,1
					t = 10 mm	30,6	42,0	54,4	66,8	79,1	88,1	100
				S355 kN	t = 8 mm	34,7	47,6	61,7	75,7	89,6	99,9	113
					t = 10 mm	43,4	59,5	77,1	94,6	112	125	142
				S460	t = 8 mm	37,4	51,3	66,5	81,6	96,7	108	122
					t = 10 mm	46,8	64,1	83,1	102	121	135	153
			Regelfall Cas usuel	Abstände	e ₁ mm	20	25	35	40	50	55	60
				Entraxes, pinces	p ₁ mm	30	40	50	60	70	80	90
				S235	t = 8 mm	32,6	42,0	60,9	71,2	90,4	96,9	107
					t = 10 mm	40,8	52,5	76,2	89,0	113	121	134
				S355 kN	t = 8 mm	46,2	59,5	86,3	101	128	137	151
					t = 10 mm	57,8	74,3	108	126	160	172	189
				S460	t = 8 mm	49,9	64,1	93,1	109	138	148	163
					t = 10 mm	62,3	80,1	116	136	173	185	204
			Maximum $e_1 \geq 2,82 d_0$ $p_1 \geq 3,32 d_0$	Abstände	e ₁ mm	35	40	55	65	75	85	95
				Entraxes, pinces	p ₁ mm	40	50	65	75	90	100	120
				S235	t = 8 mm	55,3	66,4	88,5	111	133	149	166
					t = 10 mm	69,1	82,9	111	138	166	187	207
				S355 kN	t = 8 mm	78,3	94,0	125	157	188	212	235
					t = 10 mm	97,9	118	157	196	235	264	294
				S460	t = 8 mm	84,5	101	135	169	203	228	253
					t = 10 mm	106	127	169	211	253	285	317
Zugwiderstand Résistance à la traction F_{t,Rd}	Festigkeitsklasse Classe de résistance	4.6 ⑥ SBS	16,7	24,2	45,2	70,6	102	132	162			
		⑦ 10.9 ⑧ SHV	41,8	60,5	113	176	254	331	404			
Grenzgleitkraft Résistance limite au glissement F_{s,Rd} ⑨	Festigkeitsklasse ⑧ Classe de résistance 10.9 SHV	$\mu = 0,25$ ⑩	8,4	12,2	22,8	35,6	51,3	66,8	⑫			
		$\mu = 0,4$ ⑪	13,5	19,5	36,5	57,0	82,1	107				

Remarques:

- ① pas courant en construction métallique
- ② Section résistante selon norme SIA 263 tableau 16
- ③ Les valeurs données sont basées sur la partie lisse de la tige. Si le plan de cisaillement passe par la partie filetée de la tige, il faut appliquer les éq. (73) et (74) de la norme SIA 263.
- ④ Valeur de calcul $F_{b,Rd} = 2,4 f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$ (maximum selon norme SIA 263 éq. (76))
- ⑤ Valeur de calcul selon norme SIA 263 éq. (76)

Anmerkungen:

Remarques:

Vidéos d'essais sur tirant avec boulons en cisaillement

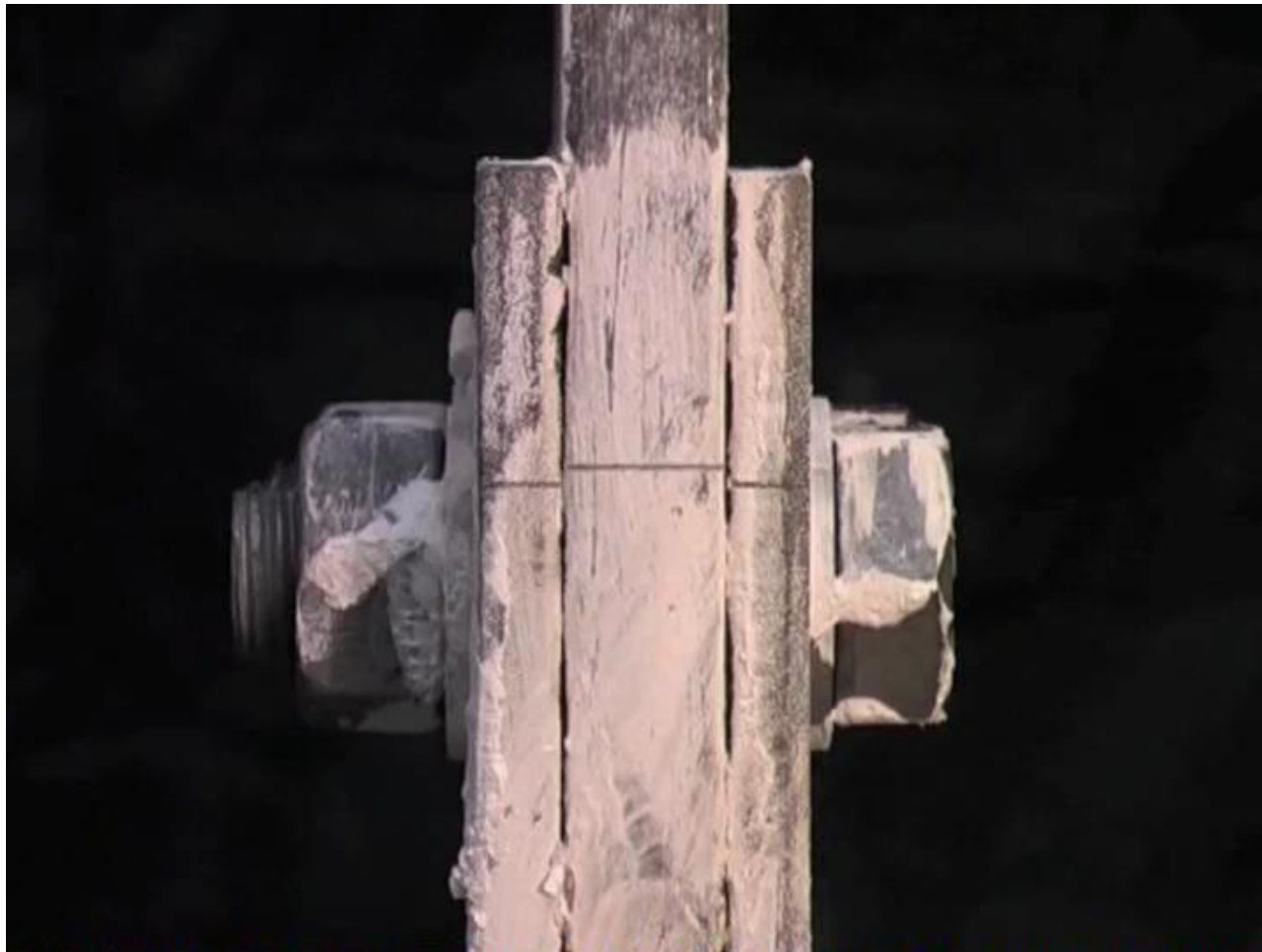
Machine d'essai et placement tirant



Vidéos d'essais sur tirant & couvre-joint avec 2 boulons

Glissement puis
rupture par cisaillement des boulons

Plaques S235
2 boulons M24, 4.6
 $e_1 = 50 \text{ mm}$



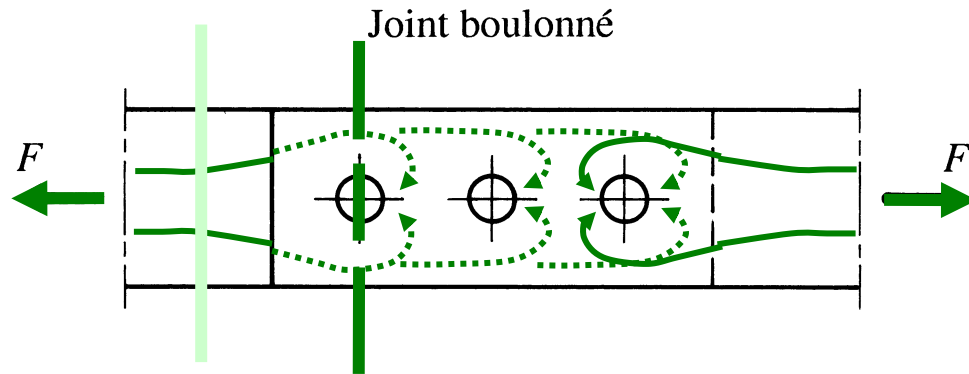
Vidéos d'essais sur tirant & couvre-joint avec 2 boulons

Glissements à l'ELS, puis
rupture par pression latérale (tôle)

Plaques S235
2 boulons M24, 10.9 précontraints
 $e_1 = 30 \text{ mm}$



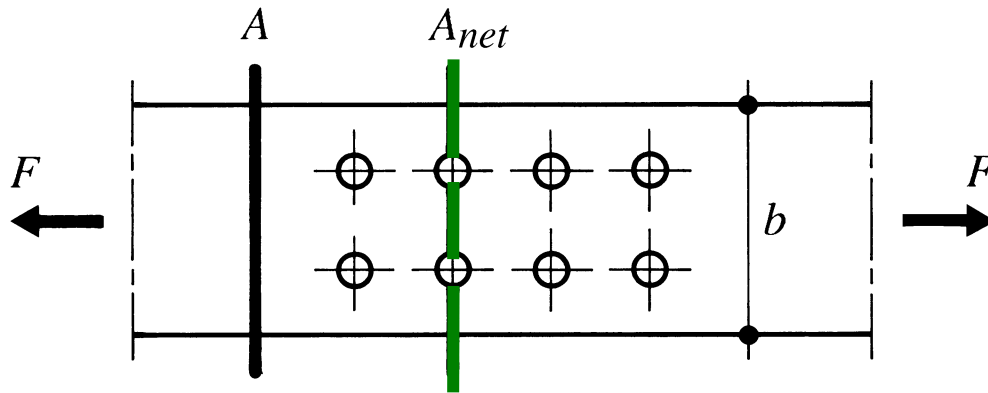
Fig 8.18: Détermination sections brute et nette (en traction)



$$F_{Rd} = \frac{f_y \times A}{g_{M1}}$$

$$F_{Rd,net} = \frac{0.9 f_u \times A_{net}}{g_{M2}}$$

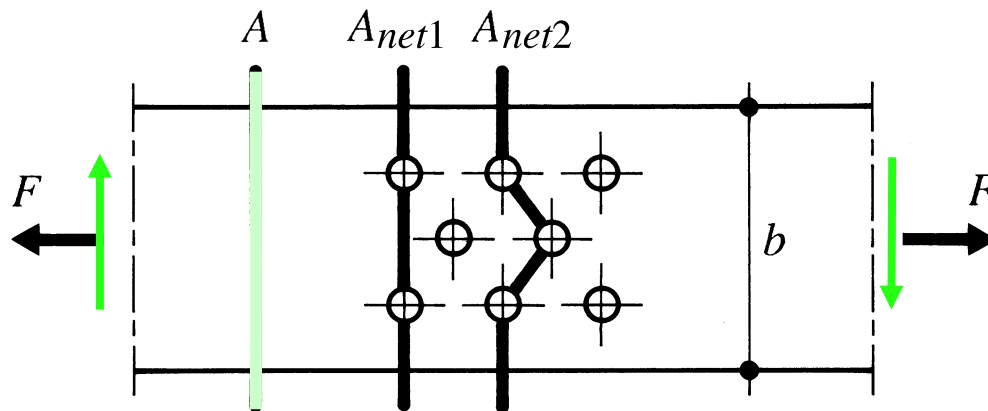
Fig 8.18: Détermination sections brute et nette (en traction)



$$A = b t$$

$$A_{net} = (b - 2d_0) t$$

t : épaisseur de la pièce
 d_0 : diamètre des trous



$$A = b t$$

$$A_{net} = \min(A_{net1}; A_{net2}) t$$

$$F_{Rd} = \frac{f_y \times A}{g_{M1}}$$

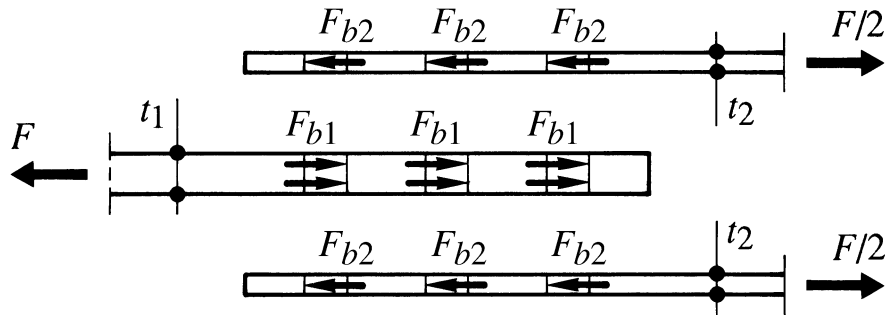
$$F_{Rd,net} = \frac{0.9 f_u \times A_{net}}{g_{M2}}$$

Note: en cisaillement,
 remplacer f_u par $f_u / \sqrt{3}$

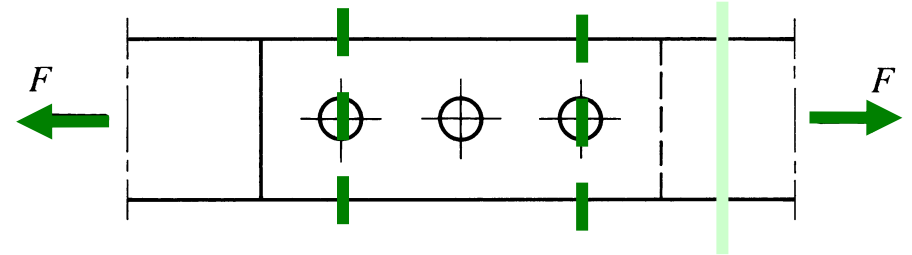
Vérification assemblage boulonné

Note: tirant déjà dimensionné avant assemblage

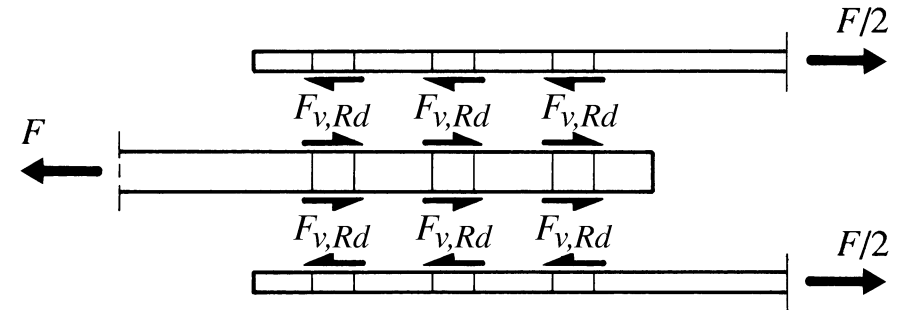
Equilibre par pression latérale



Sections nettes, brute (Couvre-Joint)

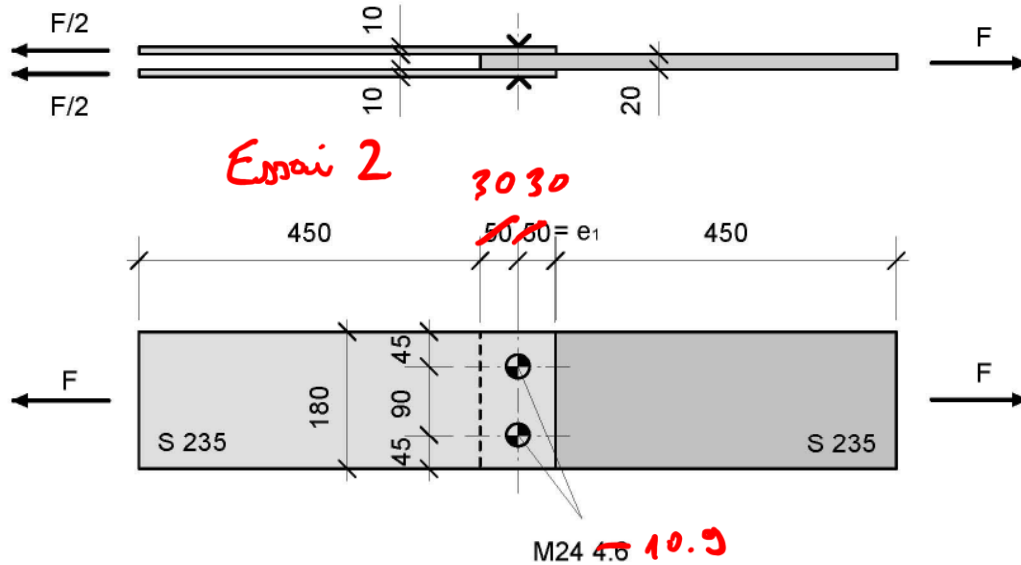


Equilibre par cisaillement



$$F_{Ed} \leq \min \left[F_{net,tirant,Rd}; 3F_{b1,Rd}; 6F_{v,Rd}; 6F_{b2,Rd}; 2F_{net,CJ,Rd}; 2F_{CJ,Rd} \right]$$

Exemple de calcul, assemblage d'essai (suite)



$$F_{v,Rd} = 867 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{0.85 \cdot 30 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 20}{26 \cdot 1.25} \cdot e_1$$

$$= \underline{\underline{271 \text{ kN}}}$$

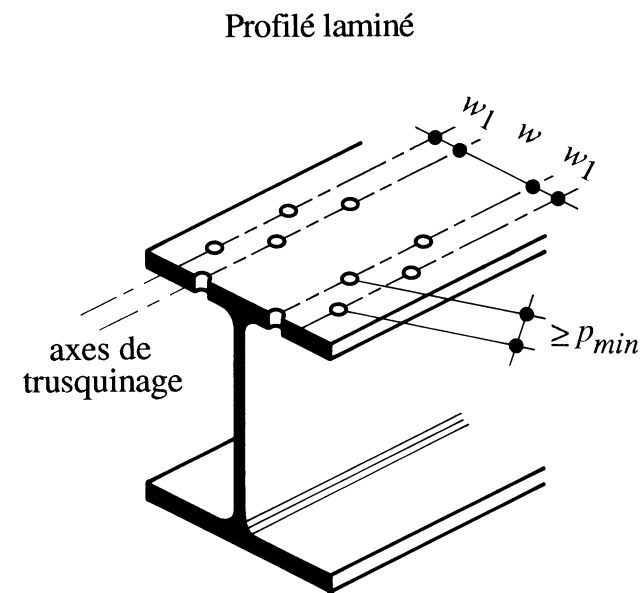
Exemple: système « Crocs » à Malley

- Importance de l'écartement, des pinces, des axes de trusquinage pour le placement des boulons, pour la mise en œuvre
- Importance de l'accessibilité des assemblages
- Tolérances de montage



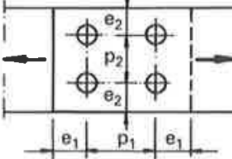
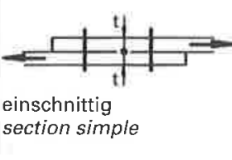
Dispositions constructives (SIA 263 Tab. 17)

- Taille boulons:
 - tôle < 10 mm (M12) M16
 - tôle 10 à 25 mm M16, M20, M24
 - tôle > 25 mm M24, M27 (M30)
- Pinces et écartements entre boulons:
- Valeurs min. à cause des outils serrage, de l'arrachement de la pince
- Valeurs max. pour garantir un bon contact, une bonne répartition des efforts, des assemblages compacts
- Valeurs usuelles: $e_1 = 2d$
 $p_1, p_2 = 3d$
- Pour chaque profilés, informations données dans SZS C5:
 - Axes de trusquinage (y.c. distance par rapport âme 1^{er}, 2^{ème} rang de boulons)
 - Diamètre maximal des boulons



Bemessungswerte (Grundlage: Norm SIA 263 mit $\gamma_{M2} = 1,25$)

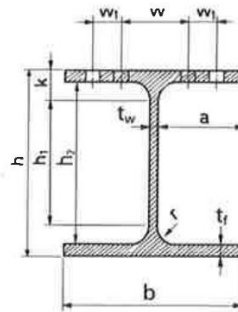
Valeurs de calcul (Base: Norme SIA 263 avec $\gamma_{M2} = 1,25$)

Schrauben-Nennendurchmesser / ϕ nominal du boulon												M 5 ①	M 6 ①	M 8 ①	M 10	M 12	M 16	M 20	M 24	M 27	M 30	
Loch ϕ / ϕ du trou												d_0 mm	6	7	9	12	14	18	22	26	30	33
Schaft ϕ / ϕ de la tige												d mm	5	6	8	10	12	16	20	24	27	30
Schaftquerschnitt / Section de la tige												A mm ²	19,6	28,3	50,3	78,5	113	201	314	452	573	707
Spannungsquerschnitt / Section résistante ②												A_s mm ²	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	157	245	353	459	561
Tragwiderstand pro Schraube in kN / Résistance par boulon en kN (Bemessungswerte / Valeurs de calcul)	Scherwiderstand $F_{v,Rd}$ Résistance au cisaillement ③	Festigkeitsklasse Classe de résist.	4.6 einschnittig / section simple				15,2	21,7	38,6	60,3	86,8	110	136									
			SBS zweischnittig / section double				30,3	43,4	77,2	121	174	220	271									
	10.9 einschnittig / section simple	37,9	54,2	96,5	151	217	275	339														
		SHV zweischnittig / section double				75,8	108	193	301	434	550	679										
	Lochleibungs- widerstand im Grundwerkstoff $F_{b,Rd}$ Résistance à la pression latérale des pièces assemblées  einschnittig section simple  zweischnittig section double	Schrauben- und Randabstände / Entraxes et pinces	⑤ Minimum $e_2 \geq 1,0 d_0$ $p_2 \geq 2,0 d_0$	Abstände Entraxes, pinces	e_1 mm p_1 mm	15 30	20 35	25 40	30 45	35 55	40 65	45 70										
				S235	$t = 8$ mm	24,5	33,6	43,5	53,4	63,3	70,5	80,1										
					$t = 10$ mm	30,6	42,0	54,4	66,8	79,1	88,1	100										
				S355 kN	$t = 8$ mm	34,7	47,6	61,7	75,7	89,6	99,9	113										
					$t = 10$ mm	43,4	59,5	77,1	94,6	112	125	142										
				S460	$t = 8$ mm	37,4	51,3	66,5	81,6	96,7	108	122										
					$t = 10$ mm	46,8	64,1	83,1	102	121	135	153										
				⑤ Regelfall Cas usuel	Abstände Entraxes, pinces	e_1 mm p_1 mm	20 30	25 40	35 50	40 60	50 70	55 80	60 90									
			S235		$t = 8$ mm	32,6	42,0	60,9	71,2	90,4	96,9	107										
					$t = 10$ mm	40,8	52,5	76,2	89,0	113	121	134										
			S355 kN		$t = 8$ mm	46,2	59,5	86,3	101	128	137	151										
					$t = 10$ mm	57,8	74,3	108	126	160	172	189										
S460	$t = 8$ mm		49,9		64,1	93,1	109	138	148	163												
	$t = 10$ mm		62,3		80,1	116	136	173	185	204												
④ Maximum $e_1 \geq 2,82 d_0$ $p_1 \geq 3,32 d_0$	Abstände Entraxes, pinces		e_1 mm p_1 mm		35 40	40 50	55 65	65 75	75 90	85 100	95 120											
	S235		$t = 8$ mm	55,3	66,4	88,5	111	133	149	166												
			$t = 10$ mm	69,1	82,9	111	138	166	187	207												
	S355 kN		$t = 8$ mm	78,3	94,0	125	157	188	212	235												
			$t = 10$ mm	97,9	118	157	196	235	264	294												
	S460		$t = 8$ mm	84,5	101	135	169	203	228	253												
			$t = 10$ mm	106	127	169	211	253	285	317												
	Zugwiderstand $F_{t,Rd}$ Résistance à la traction		Festigkeitsklasse Classe de résistance	⑦ 10.9 ⑧ SHV	4.6 ⑥ SBS		16,7	24,2	45,2	70,6	102	132	162									
⑦ 10.9 ⑧ SHV					41,8	60,5	113	176	254	331	404											
Grenzgleitkraft $F_{s,Rd}$ Résistance limite au glissement ⑨	Festigkeitsklasse Classe de résistance		⑧	$\mu = 0,25$ ⑩		8,4	12,2	22,8	35,6	51,3	66,8	⑪										
		$\mu = 0,4$ ⑪		13,5	19,5	36,5	57,0	82,1	107													

- Remarques:
- ① pas courant en construction métallique
 - ② Section résistante selon norme SIA 263 tableau 16
 - ③ Les valeurs données sont basées sur la partie lisse de la tige. Si le plan de cisaillement passe par la partie filetée de la tige, il faut appliquer les éq. (73) et (74) de la norme SIA 263.
 - ④ Valeur de calcul $F_{b,Rd} = 2,4 f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$ (maximum selon norme SIA 263 éq. (76))
 - ⑤ Valeur de calcul selon norme SIA 263 éq. (76)
 - ⑥ Admis que pour sollicitation statique; il est recommandé de limiter le taux d'utilisation des valeurs données à 75%
 - ⑦ Les boulons doivent être précontraints (voir SIA 263 ch. 6.2.2.3)
 - ⑧ Procédés de précontrainte et forces de précontrainte nécessaires, voir page 104
 - ⑨ Valeurs de calcul par surface de frottement, pour le glissement empêché à l'état de service, trous avec jeu normal, $\gamma_{Mi} = 1,1$ selon la norme SIA 263 chiffre 6.2.3.2
 - ⑩ Coefficient de frottement pour revêtements usuels
 - ⑪ Applicable seulement si le coefficient de frottement est justifié par l'entrepreneur
 - ⑫ déconseillé

Anmerkungen:

Remarques:



HEA	m kg/m	Profilmasse <i>Dimensions de la section</i>					Konstruktionsmasse <i>Dimensions de construction</i>							Oberfläche <i>Surface</i>		HEA
		h mm	b mm	tw mm	tf mm	r mm	h1 mm	k mm	a mm	h2 mm	w mm	w1 mm	Ømax	Um m²/m	Ut m²/t	
100	16,7	96	100	5	8	12	56	20	47	80	56		M12	0,561	33,6	100
120	19,9	114	120	5	8	12	74	20	57	98	66		M16	0,677	34,0	120
140	24,7	133	140	5,5	8,5	12	91	21	67	116	76		M20	0,794	32,1	140
160	30,4	152	160	6	9	15	104	24	77	134	86		M20	0,906	29,8	160
180	35,5	171	180	6	9,5	15	121	25	87	152	100		M24	1,02	28,7	180
200	42,3	190	200	6,5	10	18	134	28	96	170	110		M24	1,14	26,9	200
220	50,5	210	220	7	11	18	152	29	106	188	120		M24	1,26	24,9	220
240	60,3	230	240	7,5	12	21	164	33	116	206	94	35	M24	1,37	22,7	240
260	68,2	250	260	7,5	12,5	24	176	37	126	225	100	40	M24	1,48	21,7	260
280	76,4	270	280	8	13	24	196	37	136	244	110	45	M24	1,60	21,0	280
300	88,3	290	300	8,5	14	27	208	41	145	262	120	45	M27	1,72	19,5	300
320	97,6	310	300	9	15,5	27	224	43	145	279	120	45	M27	1,76	18,0	320
340	105	330	300	9,5	16,5	27	242	44	145	297	120	45	M27	1,79	17,1	340
360	112	350	300	10	17,5	27	260	45	145	315	120	45	M27	1,83	16,4	360
400	125	390	300	11	19	27	298	46	144	352	120	45	M27	1,91	15,3	400
450	140	440	300	11,5	21	27	344	48	144	398	120	45	M27	2,01	14,4	450
500	155	490	300	12	23	27	390	50	144	444	120	45	M27	2,11	13,6	500
550	166	540	300	12,5	24	27	438	51	143	492	120	45	M27	2,21	13,3	550
600	178	590	300	13	25	27	486	52	143	540	120	45	M27	2,31	13,0	600
650	190	640	300	13,5	26	27	534	53	143	588	120	45	M27	2,41	12,7	650
700	204	690	300	14,5	27	27	582	54	142	636	120	45	M27	2,50	12,3	700
800	224	790	300	15	28	30	674	58	142	734	130	40	M27	2,70	12,0	800
900	252	890	300	16	30	30	770	60	142	830	130	40	M27	2,90	11,5	900
1000	272	990	300	16,5	31	30	868	61	141	928	130	40	M27	3,10	11,4	1000

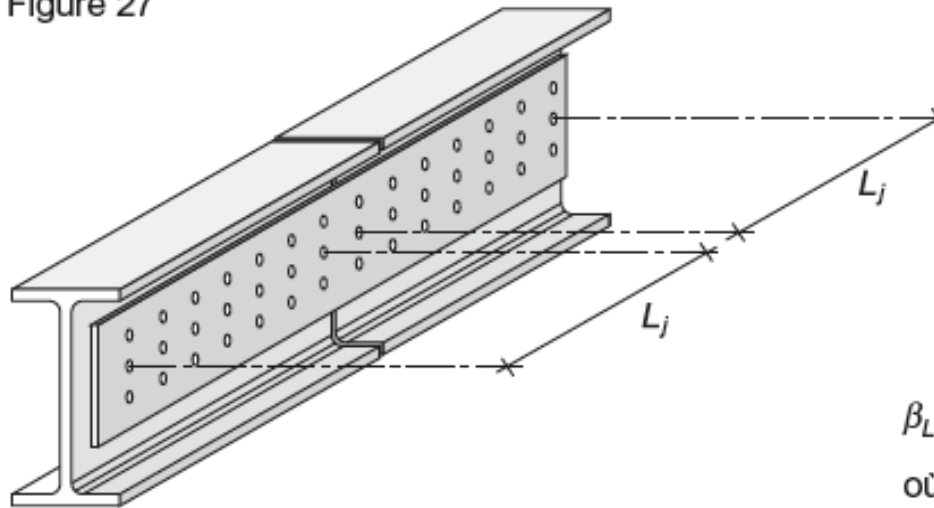
Pour assemblages avec couvre-joints (TGC 10 § 8.6.2)

SIA 263

6.2.2.2

Si la transmission des efforts est répartie sur une distance supérieure à $15d$, la résistance ultime au cisaillement $F_{v,Rd}$ doit être diminuée par un facteur de réduction β_{Lf} .

Figure 27



$$\beta_{Lf} = 1 - (L_j - 15d) / (200d); \quad 0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0$$

où: L_j longueur de la transmission des efforts

Cette réduction n'est pas nécessaire si une répartition uniforme de la transmission des efforts sur toute la longueur de l'assemblage est garantie.

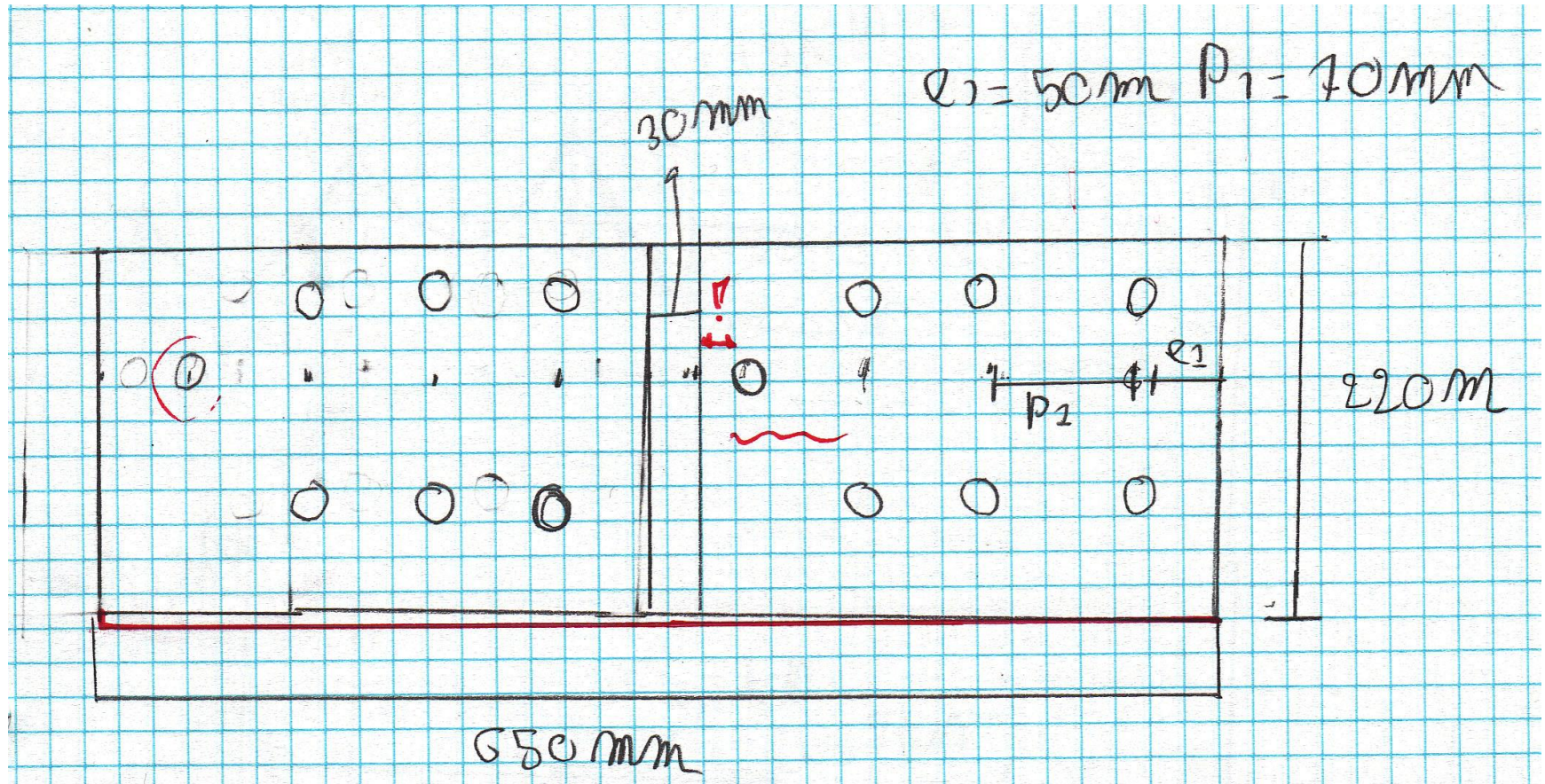
6.2.4.5

Pour les assemblages avec un seul boulon, la valeur de calcul de la résistance ultime de l'assemblage est limitée, en raison de l'excentricité, à la valeur suivante:

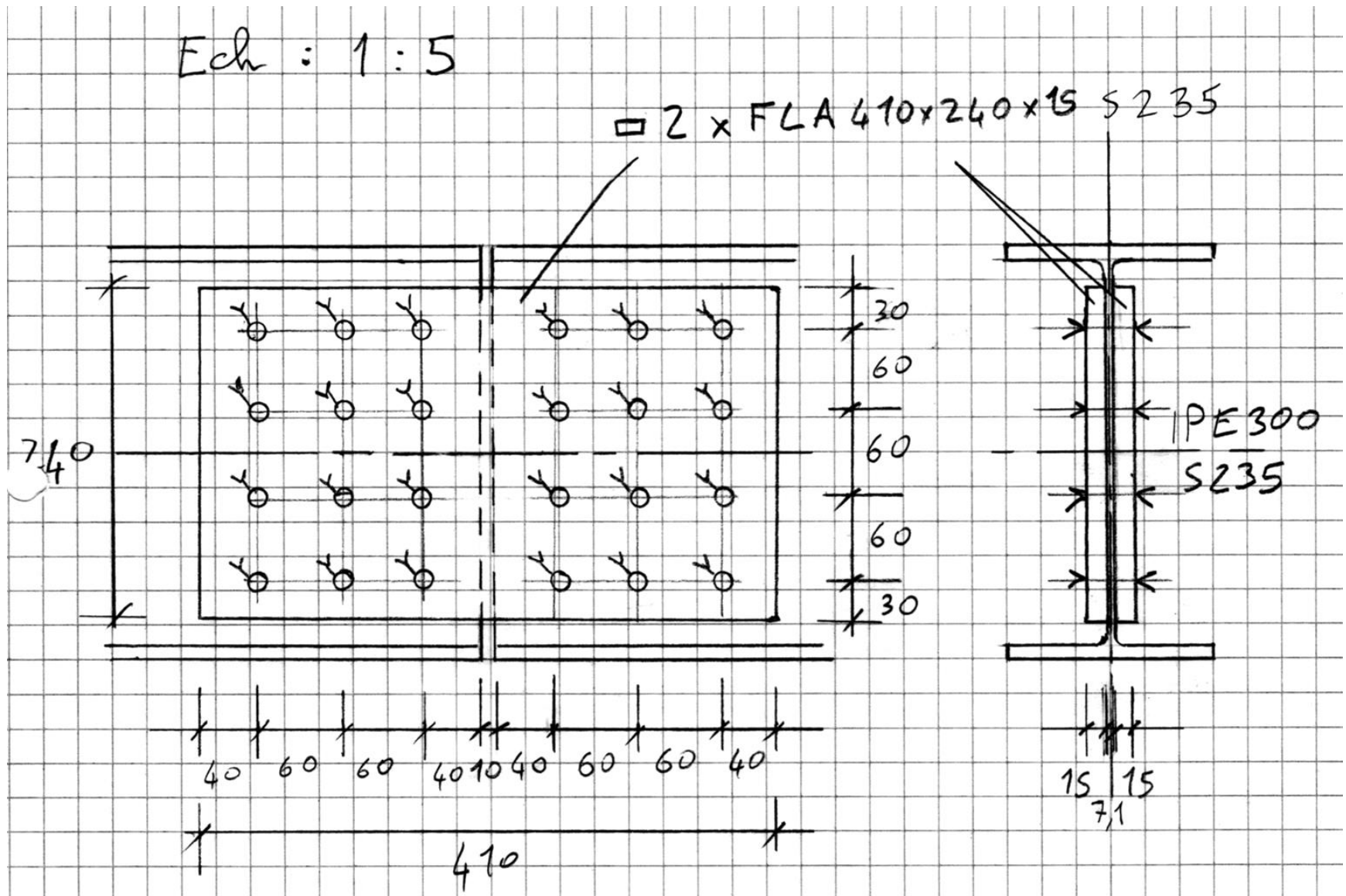
$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 f_u (2 e_2 - d_0) t}{\gamma_{M2}} \quad (79)$$

DESSIN, EXEMPLE A NE PAS SUIVRE:

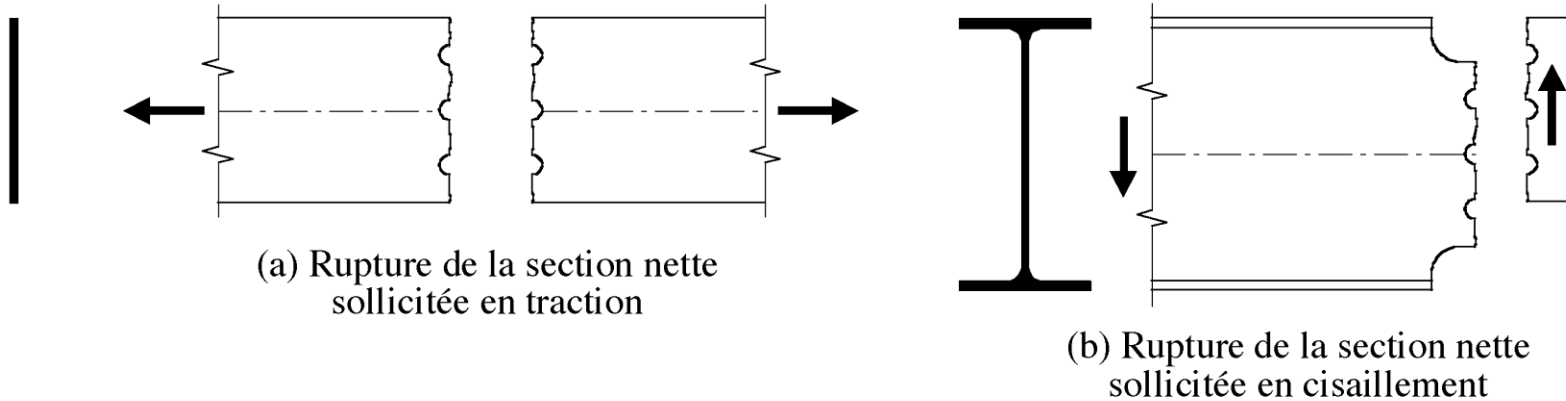
Horrible « plan » de couvre-joint



EXEMPLE de plan de couvre-joint (d'âme)



Différenciation entre sollicitation assemblage et boulons

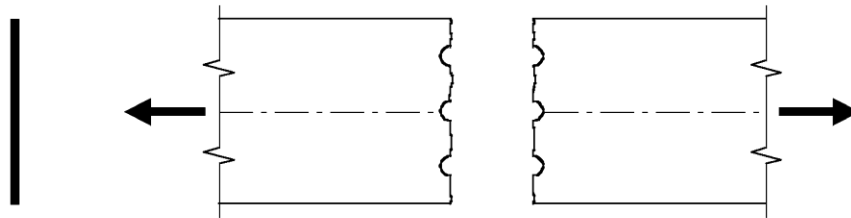


- (a) Assemblage en traction, boulons en cisaillement
- (b) Assemblage en cisaillement, boulons en cisaillement
- (c) Assemblage en traction, boulons en traction (plus tard)

Assemblages en cisaillement, formules pour section nette:
TGC 10 § 8.5.3 ou SIA 263 § 6.2.4.3

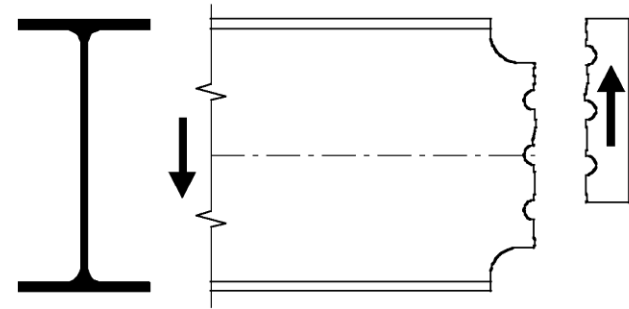
Fig. 8.19: Rupture par arrachement en bloc de sections nettes

et SIA 263 § 6.2.4 et Figs. 28, 29, 30

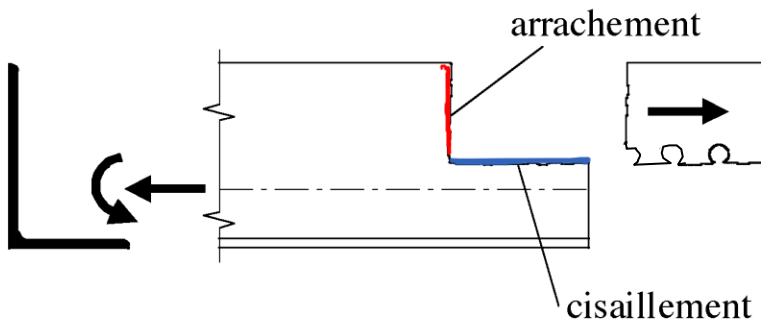


(a) Rupture de la section nette sollicitée en traction

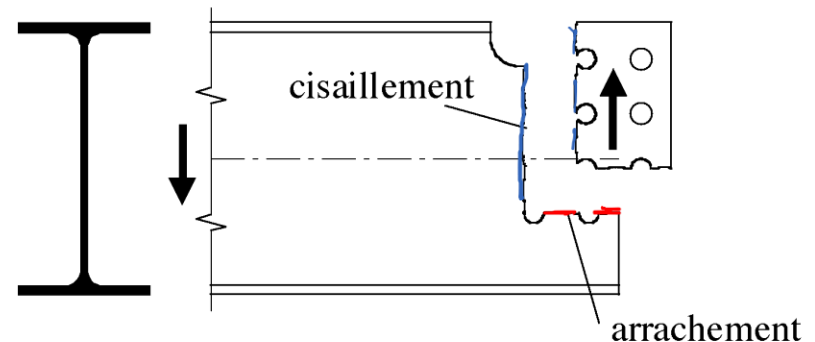
$$V_{eff,Rd} = \frac{1}{\gamma_{M2}} \frac{0.9f_u}{\sqrt{3}} A_{v,net}$$



(b) Rupture de la section nette sollicitée en cisaillement



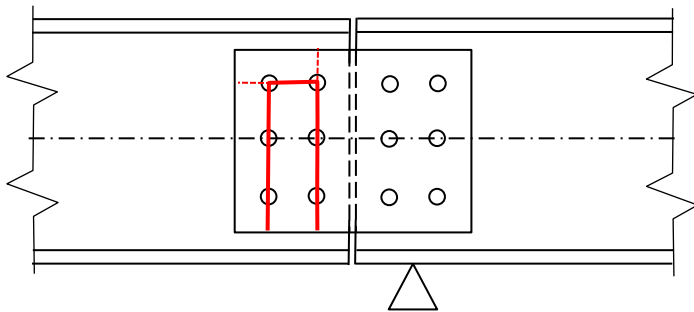
(c) Rupture par combinaison de cisaillement et d'arrachement



$$V_{eff,Rd} = \frac{1}{\gamma_{M2}} \left(\underline{0.9f_u A_{t,net}} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} \underline{A_{v,brut}} \right)$$

Couvre-joint

--- Alternatives possibles

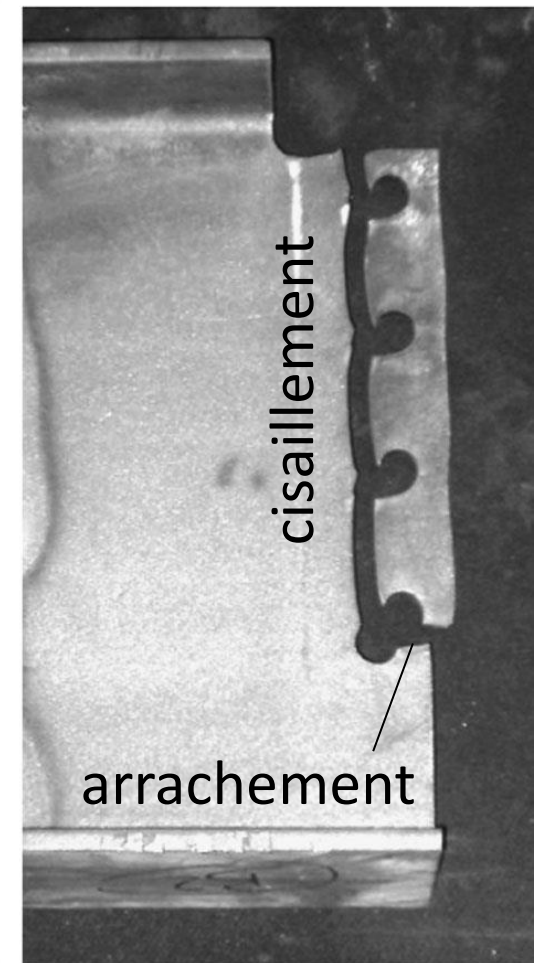
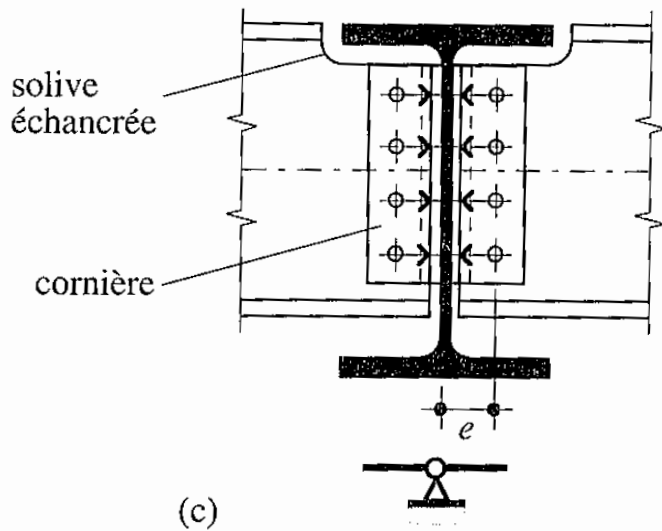


(a)



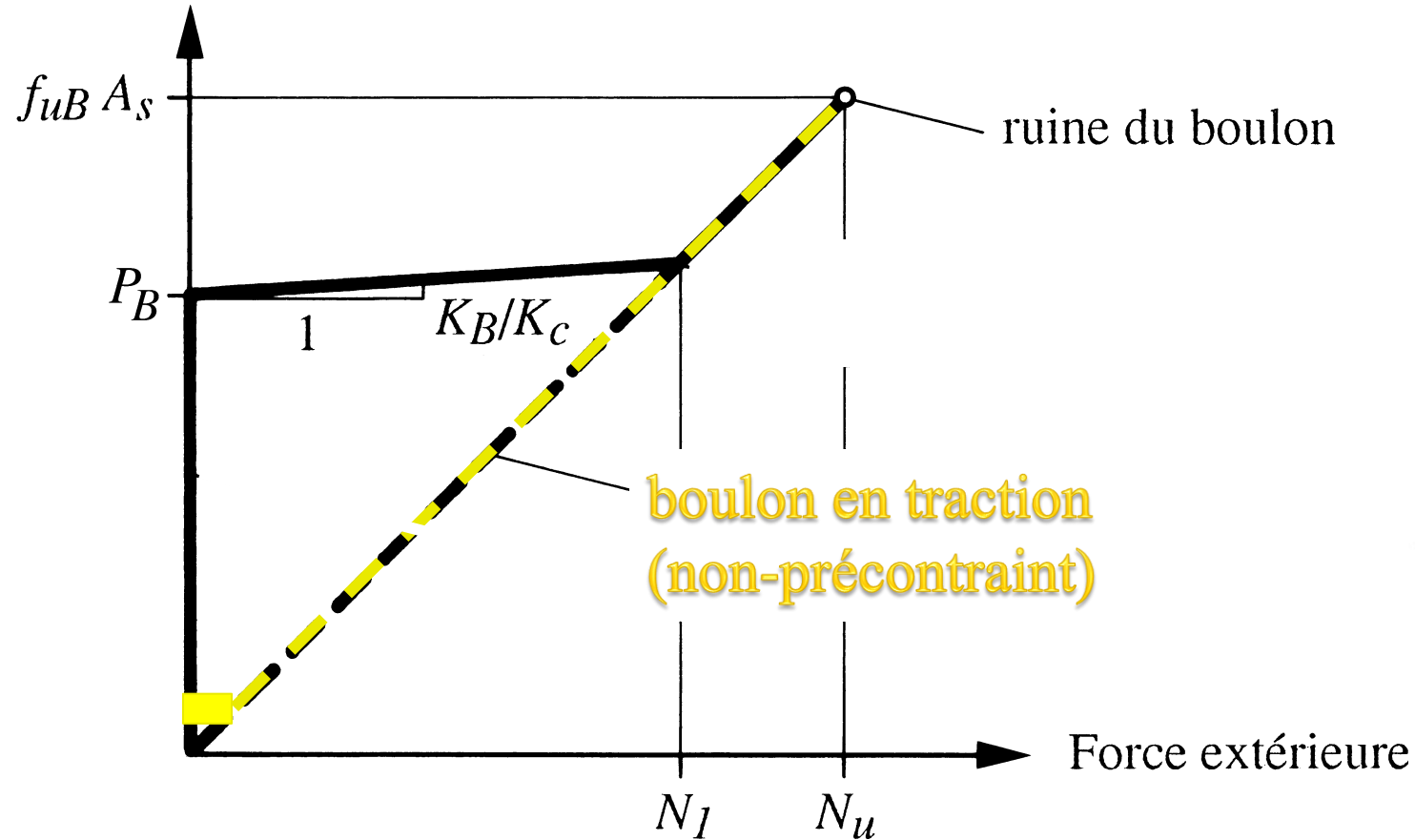
(c)

Rupture par arrachement en bloc d'un profilé avec découpe

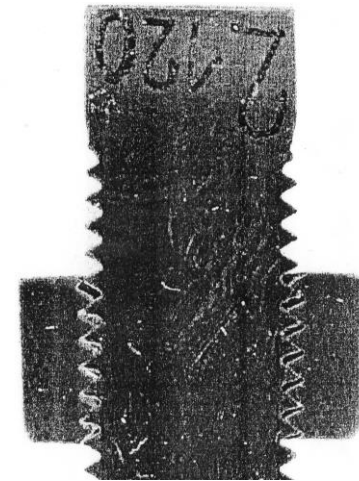
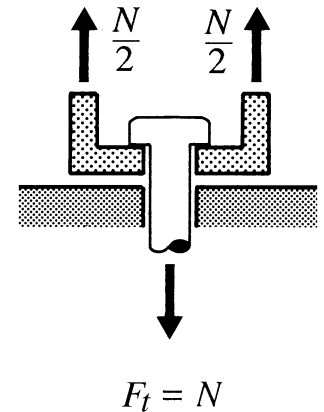


Comportement boulon en traction

Traction F_t dans le boulon



APRES
DECOLLEMENT



Résistance assemblages boulonnés: SIA 263, Tableau 16

Valeur de calcul de la résistance pour chaque plan de cisaillement

Le plan de cisaillement passe par la partie filetée de la tige

– Boulons des classes de résistance 4.6, 5.6 et 8.8: $F_{v,Rd} = 0,6 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ (68)

– Boulons des classes de résistance 4.8, 5.8 et 10.9: $F_{v,Rd} = 0,5 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ (69)

Le plan de cisaillement passe par la partie lisse de la tige: $F_{v,Rd} = 0,6 \frac{f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ (70)

Valeur de calcul de la pression latérale

Si la distance entre les boulons, mesurée perpendiculairement à la direction des efforts, répond aux conditions suivantes:

$$e_2 \geq 1,0 d_0 \text{ et } p_2 \geq 2,0 d_0$$

alors

$$F_{b,Rd} = 0,85 \frac{e_1}{d_0} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} d t \text{ mais } F_{b,Rd} \leq 2,4 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} d t \quad (71)$$

Pour des trous oblongs perpendiculaires à la direction des efforts, la pression latérale ultime doit être réduite à 60%.

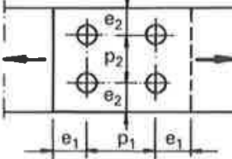
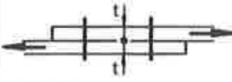

Au cas où la distance entre les boulons, mesurée dans la direction des efforts, est réduite: $p_1 < e_1 + d_0/2$, il faut remplacer e_1 par la valeur $(p_1 - d_0/2)$ dans la formule (71).

Valeur de calcul de la résistance en traction

$$F_{t,Rd} = 0,9 \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (72)$$

Bemessungswerte (Grundlage: Norm SIA 263 mit $\gamma_{M2} = 1,25$)

Valeurs de calcul (Base: Norme SIA 263 avec $\gamma_{M2} = 1,25$)

Schrauben-Nenn Durchmesser / \varnothing nominal du boulon		M 5 ①	M 6 ①	M 8 ①	M 10	M 12	M 16	M 20	M 24	M 27	M 30	
Loch \varnothing / \varnothing du trou	d_0 mm	6	7	9	12	14	18	22	26	30	33	
Schaft \varnothing / \varnothing de la tige	d mm	5	6	8	10	12	16	20	24	27	30	
Schaftquerschnitt / Section de la tige	A mm ²	19,6	28,3	50,3	78,5	113	201	314	452	573	707	
Spannungsquerschnitt / Section résistante ②	A_s mm ²	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	157	245	353	459	561	
Tragwiderstand pro Schraube in kN / <i>Résistance par boulon en kN</i> (Bemessungswerte / Valeurs de calcul)	Scherwiderstand $F_{v,Rd}$ <i>Résistance au cisaillement</i> ③	Festigkeitsklasse Classe de résist.	4.6	einschnittig / section simple	15,2	21,7	38,6	60,3	86,8	110	136	
			SBS	zweischnittig / section double	30,3	43,4	77,2	121	174	220	271	
	Festigkeitsklasse Classe de résist.	10.9	einschnittig / section simple	37,9	54,2	96,5	151	217	275	339		
		SHV	zweischnittig / section double	75,8	108	193	301	434	550	679		
	Lochleibungswiderstand im Grundwerkstoff $F_{b,Rd}$ <i>Résistance à la pression latérale des pièces assemblées</i>  Minimum $e_2 \geq 1,0 d_0$ $p_2 \geq 2,0 d_0$  einschnittig section simple  zweischnittig section double	Schrauben- und Randabstände / <i>Entraxes et pinces</i> Regelfall <i>Cas usuel</i>	Abstände <i>Entraxes, pinces</i> e_1 mm p_1 mm	15	20	25	30	35	40	45		
				30	35	40	45	55	65	70		
				S235	t = 8 mm	24,5	33,6	43,5	53,4	63,3	70,5	80,1
					t = 10 mm	30,6	42,0	54,4	66,8	79,1	88,1	100
				S355 kN	t = 8 mm	34,7	47,6	61,7	75,7	89,6	99,9	113
					t = 10 mm	43,4	59,5	77,1	94,6	112	125	142
				S460	t = 8 mm	37,4	51,3	66,5	81,6	96,7	108	122
					t = 10 mm	46,8	64,1	83,1	102	121	135	153
		Maximum $e_1 \geq 2,82 d_0$ $p_1 \geq 3,32 d_0$	Abstände <i>Entraxes, pinces</i> e_1 mm p_1 mm	20	25	35	40	50	55	60		
				30	40	50	60	70	80	90		
				S235	t = 8 mm	32,6	42,0	60,9	71,2	90,4	96,9	107
					t = 10 mm	40,8	52,5	76,2	89,0	113	121	134
				S355 kN	t = 8 mm	46,2	59,5	86,3	101	128	137	151
					t = 10 mm	57,8	74,3	108	126	160	172	189
				S460	t = 8 mm	49,9	64,1	93,1	109	138	148	163
					t = 10 mm	62,3	80,1	116	136	173	185	204
	Zugwiderstand $F_{t,Rd}$ <i>Résistance à la traction</i>	Festigkeitsklasse Classe de résistance	4.6 ⑥	SBS	16,7	24,2	45,2	70,6	102	132	162	
			⑦ 10.9 ⑧	SHV	41,8	60,5	113	176	254	331	404	
	Grenzgleitkraft $F_{s,Rd}$ <i>Résistance limite au glissement</i> ⑨	Festigkeitsklasse Classe de résistance	⑧	$\mu = 0,25$ ⑩	8,4	12,2	22,8	35,6	51,3	66,8	⑫	
			SHV	$\mu = 0,4$ ⑪	13,5	19,5	36,5	57,0	82,1	107		

Anmerkungen:

Remarques:

Prof. A. Nussbaumer

n° 36

- ⑥ Admis que pour sollicitation statique; il est recommandé de limiter le taux d'utilisation des valeurs données à 75%
- ⑦ Les boulons doivent être précontraints (voir SIA 263 ch. 6.2.2.3)
- ⑧ Procédés de précontrainte et forces de précontrainte nécessaires, voir page 104
- ⑨ Valeurs de calcul par surface de frottement, pour le glissement empêché à l'état de service, trous avec jeu normal, $\gamma_{Mi} = 1,1$ selon la norme SIA 263 chiffre 6.2.3.2
- ⑩ Coefficient de frottement pour revêtements usuels
- ⑪ Applicable seulement si le coefficient de frottement est justifié par l'entrepreneur
- ⑫ déconseillé

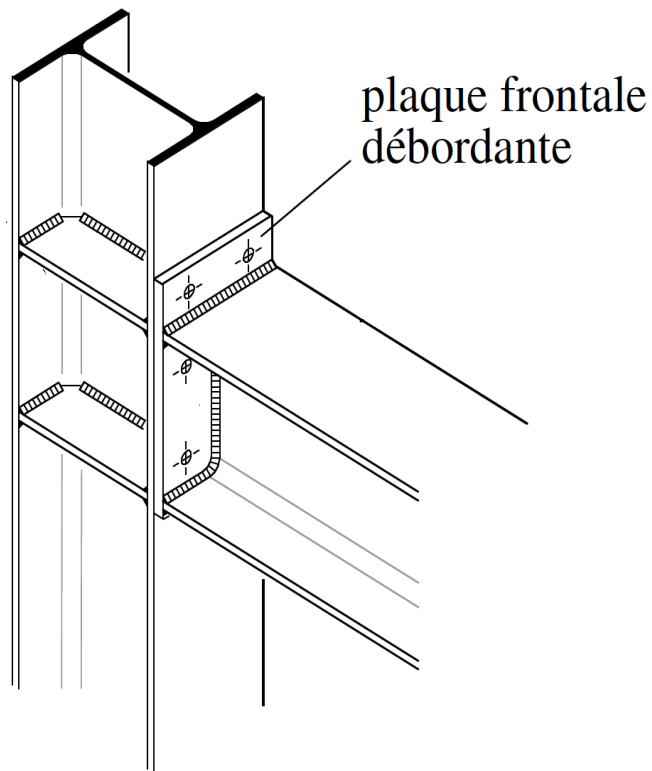


$$F_{net, Rd} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360 \cdot A_{net}}{1,25}$$

$$= 663 \text{ kN}$$

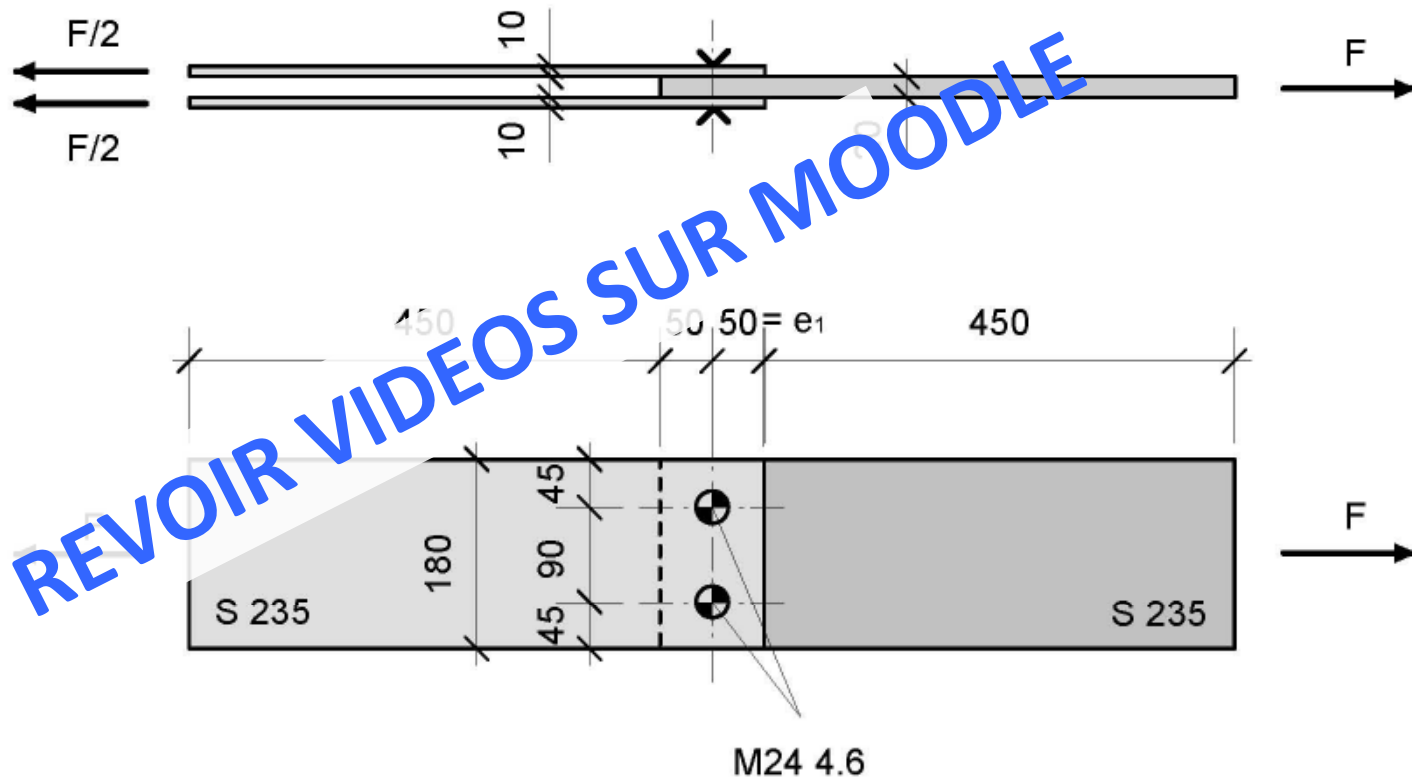
Suite dispositions constructives (SIA 263 Tab. 17)

- Cas des plaques frontales: épaisseur plaque $\approx 1.5d$
- Règles spécifiques pour trous agrandis, oblongs
- Si assemblages longs, réduction de la résistance



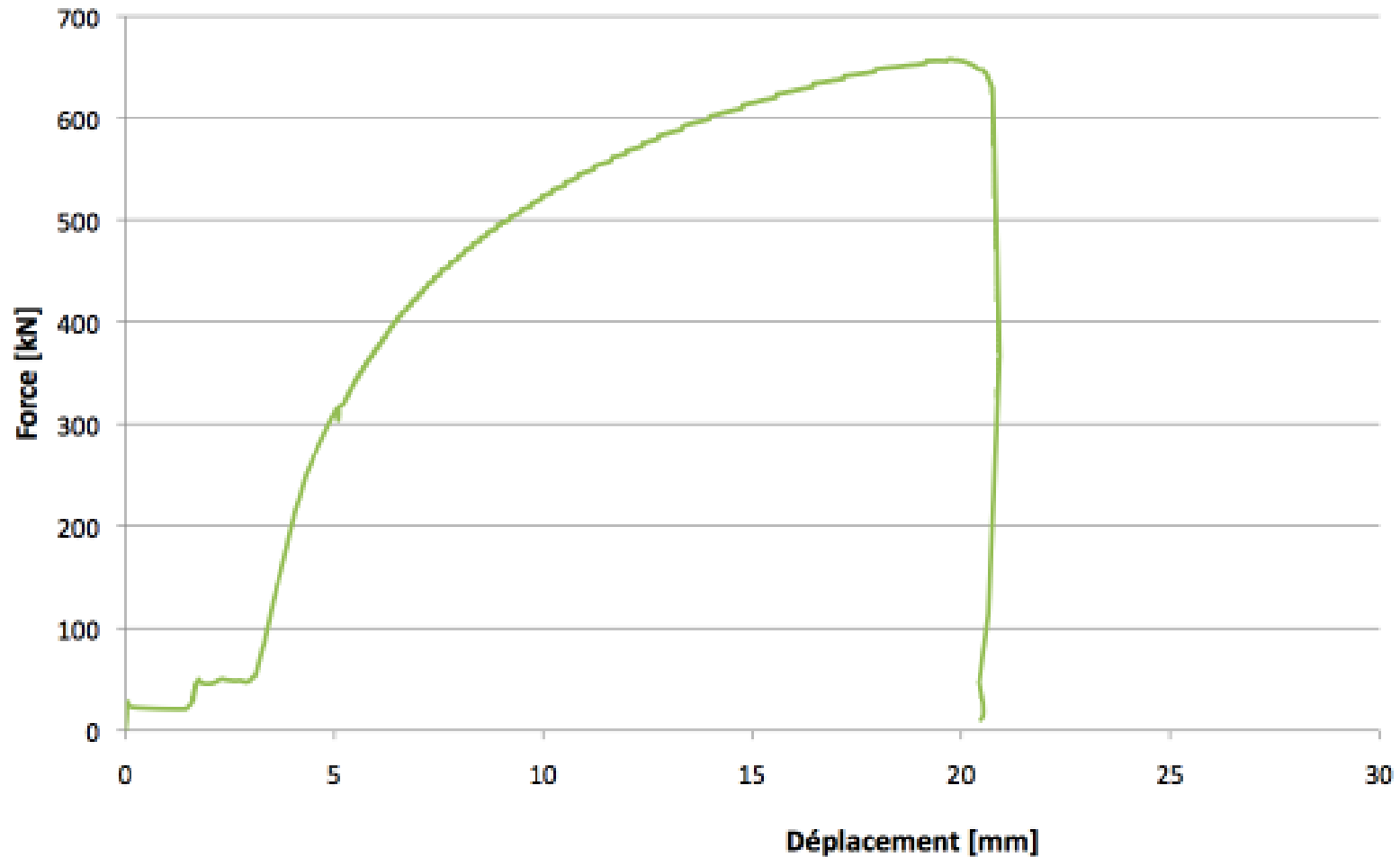


ANNEXE: Essais d'assemblage boulonné



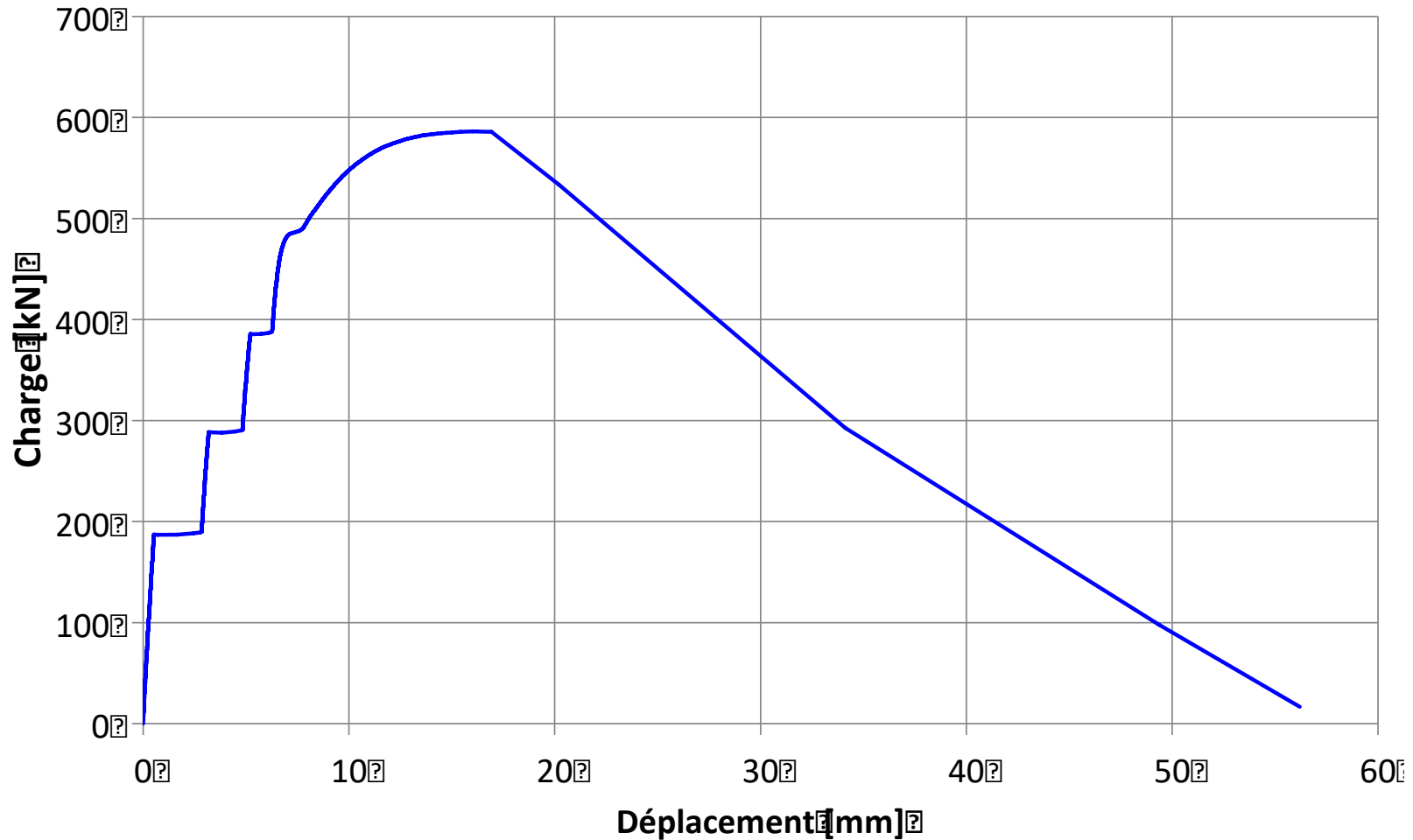
- Pour l'essai 1a, des boulons M24, acier 4.6, sont utilisés.
- Pour l'essai 1b, les boulons (M24) sont à haute résistance (acier 10.9), précontraints, et la pince e_1 est réduite à 30 mm.

Annexe: Exemple de comportement pour l'essai 1a: rupture par cisaillement des boulons



Dépouillement essai du 17 décembre 2008

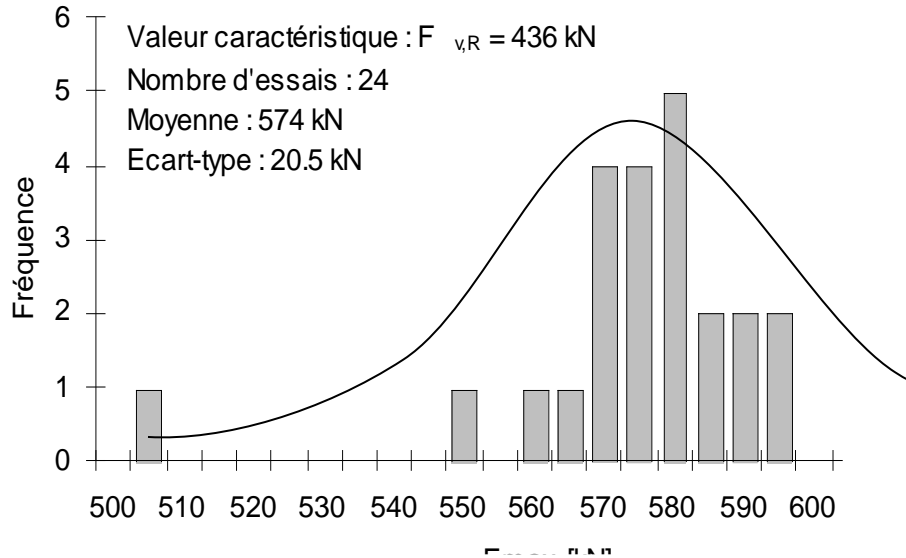
Annexe: Exemple de comportement pour l'essai 1b: rupture par pression latérale



Dépouillement essai du 14 mars 2011

Annexe: Dépouillement statistique des résultats des essais

ESSAI 1a
Cisaillement des boulons



1a) val. caractéristique min. à partir SZS C5 (boulons M24):

$$F_{R,\min} = F_{v,R} = 2 \cdot 174 \cdot 1.25 = 436 \text{ kN}$$

(déduite des essais: $F_{R,5\%} = 533 \text{ kN}$)

1b) val. caractéristique min. à partir SZS C5 (mais pour pince $e_1 = 35 \text{ mm}$):

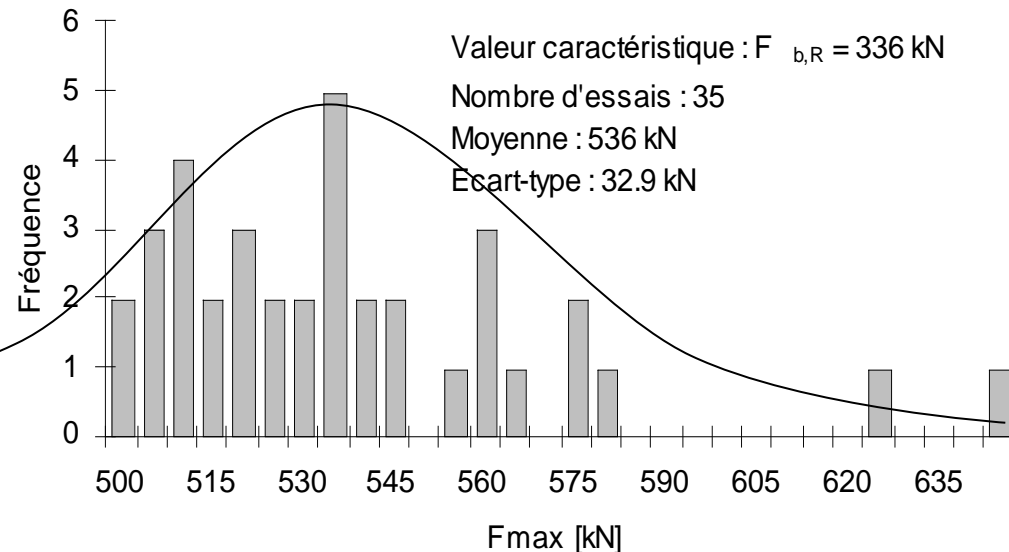
$$F_{R,\min} = F_{b,R} = 2 \cdot 2 \cdot 79.1 \cdot 1.25 = 395 \text{ kN}$$

Pour pince de 30 mm:

$$F_{b,R} = 339 \text{ kN}$$

(déduite des essais: $F_{R,5\%} = 470 \text{ kN}$)

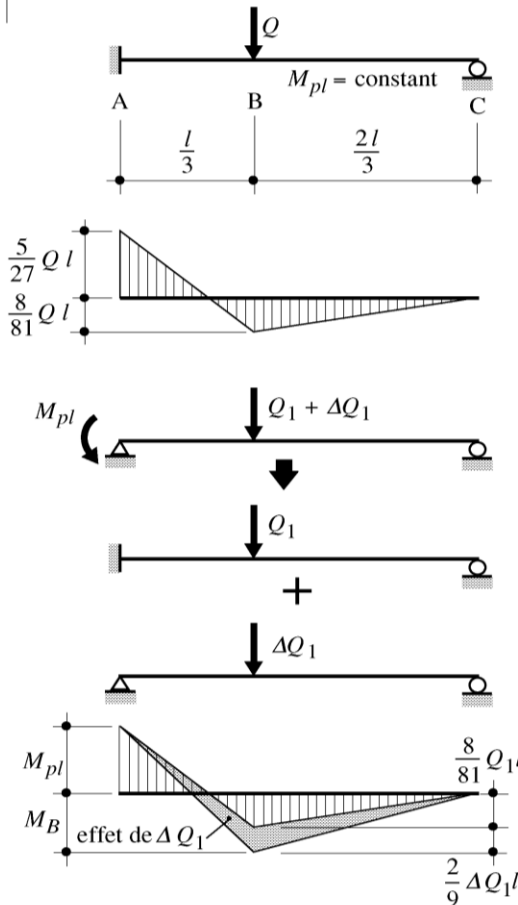
ESSAI 1b
Pression latérale des tôles



TGC 11, Fig. 11.17: analyse d'une poutre hyperstatique

TGC 11 p. 454

Aides S75 C4



Système statique de départ

Hyperstaticité : $n_0 = 1$

Première rotule en A quand :

$$M_A = \frac{5}{27} Q_1 l = M_{pl} \text{ d'où : } Q_1 = \frac{27}{5} \frac{M_{pl}}{l} = 5.4 \frac{M_{pl}}{l}$$

Flèche verticale en B : $w_1 = 0.00503 \frac{Q_1 l^3}{EI} = 0.0271 \frac{M_{pl} l^2}{EI}$

Nouveau système statique

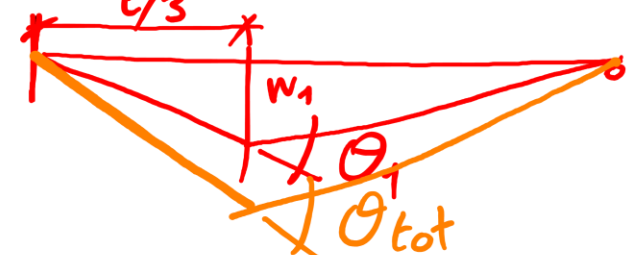
Hyperstaticité : $n_1 = n_0 - 1 = 0 \Rightarrow$ Système isostatique

Deuxième rotule en B quand :

$$M_B = \frac{8}{81} Q_1 l + \frac{2}{9} \Delta Q_1 l = M_{pl} \text{ d'où : } \Delta Q_1 = 2.1 \frac{M_{pl}}{l}$$

Augmentation de flèche : $\Delta w_1 = 0.0165 \frac{\Delta Q_1 l^3}{EI} = 0.0346 \frac{M_{pl} l^2}{EI}$

Détermination des rotations
Modèle simplifié rigide-plastique



$$\theta_{tot} = \theta_1 + \Delta \theta_1$$

$$\frac{w_1}{l/3} + \frac{w_1}{2l/3} + \frac{\Delta w_1 \cdot 9}{2 \cdot l}$$

Par exemple : HEA 180 S235 $l = 6,5 \text{ m}$

$$\theta_{tot} = 0,0115 + 0,0146 = 0,026 \text{ rad} \approx 1,5^\circ$$

Angles typiques (fct système statique) : 0,2 à 6,4°