

Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau

Mantenimento di strutture portanti – Strutture in acciaio

Existing structures – Steel structures

## Maintenance des structures porteuses – Structures en acier

Les corrections et commentaires éventuels concernant la présente publication sont disponibles sous [www.sia.ch/correctif](http://www.sia.ch/correctif).

La SIA décline toute responsabilité en cas de dommages qui pourraient survenir du fait de l'utilisation ou de l'application de la présente publication.

---

2011-01 1<sup>er</sup> tirage

# TABLE DES MATIÈRES

	Page		Page
<b>Avant-propos</b> .....	4	<b>Annexe</b>	
<b>0 Domaine d'application</b> .....	5	<b>A Dénomination de la fonte et des aciers</b>	28
0.1 Délimitation .....	5	<b>B Catégorie de détails de construction</b>	
0.2 Références .....	5	<b>rivetée en fatigue</b> .....	29
0.3 Dérogations .....	5	<b>Adoption et validité</b> .....	32
<b>1 Terminologie</b> .....	6		
1.1 Termes techniques .....	6		
1.2 Notations .....	6		
<b>2 Principes</b> .....	8		
2.1 Généralités .....	8		
2.2 Examen .....	8		
<b>3 Matériaux</b> .....	9		
3.1 Généralités .....	9		
3.2 Aciers de construction anciens et fonte	9		
3.3 Moyens d'assemblage .....	10		
<b>4 Assemblages</b> .....	13		
4.1 Généralités .....	13		
4.2 Assemblages à rivets .....	13		
4.3 Assemblages à boulons .....	15		
4.4 Assemblages soudés .....	15		
<b>5 Analyse structurale et vérifications</b> ..	16		
5.1 Généralités .....	16		
5.2 Bases et modélisation .....	16		
5.3 Résistance des sections .....	18		
5.4 Stabilité .....	20		
5.5 Fatigue .....	21		
<b>6 Relevé de l'état</b> .....	23		
6.1 Généralités .....	23		
6.2 Défauts .....	23		
6.3 Détériorations .....	24		
<b>7 Interventions de maintenance</b> .....	25		
7.1 Généralités .....	25		
7.2 Assemblages à rivets .....	25		
7.3 Assemblages à boulons .....	26		
7.4 Assemblages soudés .....	26		
7.5 Détails soumis à la fatigue .....	26		
7.6 Protection contre la corrosion .....	27		

## AVANT-PROPOS

La norme SIA 269/3 fournit les procédures destinées à la maintenance des structures porteuses existantes en fonte, fer et acier et s'adresse aux professionnels de la maintenance des ouvrages. En plus, les propriétaires d'ouvrages ainsi que les professionnels de la direction des travaux et de l'exécution sont concernés.

La norme SIA 269/3 fait partie du groupe de normes SIA traitant de la maintenance des structures porteuses. Elle est complétée par les normes suivantes :

- Norme SIA 269 Maintenance des structures porteuses
- Norme SIA 269/1 Maintenance des structures porteuses – Actions
- Norme SIA 269/2 Maintenance des structures porteuses – Structures en béton
- Norme SIA 269/4 Maintenance des structures porteuses – Structures mixtes acier-béton
- Norme SIA 269/5 Maintenance des structures porteuses – Structures en bois
- Norme SIA 269/6 Maintenance des structures porteuses – Structures en maçonnerie
- Norme SIA 269/7 Maintenance des structures porteuses – Géotechnique.

L'examen des ouvrages existants face aux séismes reste fondé sur le cahier technique SIA 2018. Il est toutefois prévu de compléter les normes de maintenance par une norme SIA 269/8 *Maintenance des structures porteuses – Sécurité parasismique*.

La norme SIA 269/3 régit les aspects liés à la maintenance des structures porteuses en acier, aspects qui ne sont pas couverts dans les normes SIA 263 et SIA 263/1.

Direction du projet Maintenance des structures porteuses et groupe de travail SIA 269/3

## 0 DOMAINE D'APPLICATION

### 0.1 Délimitation

- 0.1.1 La norme SIA 269/3 régit la maintenance de structures porteuses en fonte, fer et acier considérées comme partie intégrante d'ouvrages existants.
- 0.1.2 La présente norme s'applique conjointement aux normes SIA 269 et 269/1 ainsi que la norme SIA 263. Pour des applications hors de cette norme, les principes de la norme SIA 269/3 doivent être appliqués par analogie.
- 0.1.3 Lors d'une modification d'une construction en acier, les nouveaux éléments de structure seront traités en général conformément à la norme SIA 263, et les éléments existants de structure seront traités selon les normes SIA 269 et SIA 269/3. On peut déroger à cette règle en rapport avec la détermination des actions variables si d'autres délimitations sont indiquées sur la base de considérations spécifiques.
- 0.1.4 La norme SIA 269/3 n'est pas applicable à l'étude et au dimensionnement de nouvelles structures porteuses en acier.

### 0.2 Références

- 0.2.1 Cette norme renvoie également aux normes énumérées ci-après, dont les dispositions s'appliquent en tout ou partie dans le sens du renvoi:
- EN 10025:2002, parties 1 à 6 *Produits laminés à chaud en aciers de construction – Conditions techniques de livraison*
  - EN 10045-1:1990 *Matériaux métalliques – Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy*
  - EN 1561:1997 *Fonderie – Fonte à graphite lamellaire*
  - SN EN 12944, parties 1 à 8 *Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture*
  - SN ISO 4628:2004, parties 1 à 10 *Peintures et vernis – Evaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect*
  - SN EN 1993-1-9:2005, Eurocode 3 *Calcul des structures en acier – Partie 1–9: Fatigue*
  - SN ISO 898-1 *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié – Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées – Filetages à pas gros et filetages à pas fin*
  - ISO 8504, parties 1 à 3 *Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés – Méthodes de préparation des subjectiles.*
- 0.2.2 Les normes et directives caduques n'ont aucune validité et peuvent uniquement servir de références indicatives aux fins de documentation dans la convention d'utilisation et dans la base du projet.

### 0.3 Dérogations

- 0.3.1 Des dérogations à la présente norme sont admissibles si elles sont suffisamment justifiées par des théories ou par des essais, ou si de nouveaux développements et de nouvelles connaissances dans le domaine en question permettent une telle démarche.
- 0.3.2 Les dérogations à la norme doivent être clairement mentionnées et dûment justifiées dans le dossier de l'ouvrage.

# 1 TERMINOLOGIE

## 1.1 Termes techniques

En complément aux termes techniques définis dans les normes SIA 260, SIA 263, SIA 263/1 et SIA 269, la présente norme utilise les termes techniques généraux ci-après.

Acier de construction ancien  
*Alter Baustahl*  
*acciaio da costruzione obsoleto*  
*old structural steel*

Acier spécifié sous les termes de fer puddlé, fer homogène et acier doux, produit avant 1956, voir les définitions plus complètes dans l'annexe A, Tab. 12.

Dislocation d'assemblage  
*Lockere Verbindung*  
*unione allentata, scorrimento del giunto*  
*loosing connection*

Se dit d'un assemblage, en particulier riveté ou boulonné, dont les pièces se déforment excessivement, voire se mettent à bouger les unes par rapport aux autres. Assemblage qui se démet à cause de la corrosion ou d'une autre détérioration.

Fatigue-corrosion  
*Korrosionsermüdung*  
*fatica da corrosione*  
*corrosion fatigue*

Phénomène de fissuration dans un matériau sous l'effet combiné de la fatigue (solicitations cycliques) et d'un environnement corrosif (liquide ou gazeux, avec influence de la teneur en oxygène, température, acidité), conduisant à des vitesses de propagation plus rapides que sous l'effet de la fatigue seule. Les alliages austénitiques, ou à haute résistance mécanique, y sont souvent les plus sensibles.

Matériau de soudure  
*Schweisnahtwerkstoff*  
*materiale di saldatura*  
*material of a weld*

Matériau déposé constituant la soudure (matériau fondu, MF) et la liaison au matériau de base, y compris la zone affectée thermiquement (ZAT).

Rivure  
*Heftnietung*  
*rivettatura*  
*riveting*

Agencement régulier d'un rivetage afin de lier deux éléments, en général des plaques et/ou cornières, pour ne former plus qu'un élément de structure.

## 1.2 Notations

Les notations ci-après sont utilisées dans la présente norme, en complément de celles figurant dans la norme SIA 263.

### 1.2.1 Majuscules latines

$A_s$	aire de la section résistante du boulon, partie filetée
$A_v$	aire efficace de cisaillement
$A_w$	aire de la section de l'âme, $(h-t_f)t_w$ , ou des âmes des caissons
$D$	diamètre mesuré de la tête d'un rivet, ou de la rondelle du boulon
$F_{b,Rd,act}$	valeur d'examen de la résistance à la pression latérale par boulon ou rivet
$F_{t,Rd,act}$	valeur d'examen de la résistance en traction d'un boulon ou rivet
$F_{v,Rd,act}$	valeur d'examen de la résistance d'un boulon ou rivet par plan de cisaillement
$I$	inertie
$K_v$	résilience
$R$	rayon mesuré de la tête d'un rivet
$W_{pl}$	module de section plastique

### 1.2.2

#### Minuscules latines

$b$	hauteur, largeur du panneau de voilement
$d$	diamètre du rivet brut, diamètre de la tige du boulon
$d_0$	diamètre du trou d'un boulon ou rivet
$e_0$	imperfection initiale équivalente $e_0 = e_{0,geom} + e_{0,\sigma}$
$e_{0,geom}$	défait de rectitude entre les extrémités de la barre, mesuré sur l'ouvrage
$e_{0,\sigma}$	excentricité équivalente à l'effet des contraintes résiduelles
$e_1$	pince dans la direction de l'effort dans un assemblage boulonné ou riveté
$e_2$	pince perpendiculairement à la direction de l'effort dans un assemblage boulonné ou riveté
$f_{yk}$	limite d'élasticité caractéristique du matériau de base
$f_{ykB}$	limite d'élasticité caractéristique du matériau d'un boulon
$f_{ukB}$	résistance ultime caractéristique du matériau d'un boulon ou rivet
$f_{ukE}$	résistance ultime caractéristique du matériau d'apport de soudage
$k$	hauteur mesurée de la tête d'un rivet
$k_{\gamma M}$	coefficient de correction pour les aciers de construction anciens et la fonte
$p_1$	entraxe dans la direction de l'effort entre boulons ou rivets
$p_2$	distance perpendiculairement à la direction de l'effort entre boulons ou rivets
$t$	épaisseur
$t_f$	épaisseur de l'aile d'une poutre
$t_w$	épaisseur de l'âme d'une poutre

### 1.2.3

#### Lettres grecques

$\alpha_K$	facteur d'imperfection au flambage
$\gamma_{M,act}$	facteur de résistance actualisé
$\varepsilon_{act}$	coefficient d'influence de la résistance de l'acier actualisé
$\varepsilon_{ukB}$	valeur caractéristique d'allongement à la rupture du matériau du rivet
$\bar{\lambda}_K$	coefficient d'élancement au flambage
$\tau_{yk}$	limite d'élasticité caractéristique en cisaillement $\tau_{yk} = f_{yk}/\sqrt{3}$
$\chi_K$	facteur de réduction pour le flambage
$\Delta\sigma_C$	résistance à la fatigue à $2 \cdot 10^6$ cycles sous contraintes normales, catégorie de détail
$\Delta\tau_C$	résistance à la fatigue à $2 \cdot 10^6$ cycles sous contraintes de cisaillement, catégorie de détail

### 1.2.4

#### Abréviations

DMOS	Description de Mode Opérateur de Soudage
QMOS	Qualification de Mode Opérateur de Soudage
ZAT	Zone Affectée Thermiquement

## 2 PRINCIPES

### 2.1 Généralités

- 2.1.1 Il est admis que les structures en acier construites à partir de 1956 ont été réalisées avec un acier de construction récent qui a des propriétés similaires aux aciers de construction contemporains définis par la norme SIA 263.
- 2.1.2 Les défauts et les détériorations constatées lors d'un relevé de l'état, en particulier les conséquences de la corrosion ou de la fatigue, doivent être pris en compte pour établir les situations de risques et pour choisir les modes de ruine.

### 2.2 Examen

- 2.2.1 La géométrie d'une structure métallique existante doit satisfaire aux tolérances de la norme SIA 263/1. Si ces tolérances ne sont pas respectées, les valeurs d'examen suivantes sont à considérer dans les vérifications :
- pour les dimensions en section, il faut utiliser les valeurs nominales ou, lors d'un examen détaillé, les valeurs mesurées. En cas de perte de matière par corrosion ou usure, cette perte doit être prise en compte selon le chiffre 5.1.2
  - lors d'un calcul au 2<sup>ème</sup> ordre, il faut utiliser la géométrie effective. On mesurera la valeur effective de l'inclinaison des cadres. Pour la rectitude, y compris les déformations permanentes, on peut utiliser le chiffre 5.4.3.2 en prenant la valeur effective du défaut de rectitude.
- 2.2.2 L'influence de défauts spécifiques sur la durabilité et la résistance d'éléments de structure, ainsi que l'influence de détériorations qui pourraient en résulter, doit toujours être évaluée.
- 2.2.3 En cas de détection de fissures, leur cause et leur mécanisme doivent toujours être élucidés. Les mécanismes possibles sont dus à la fatigue, à la fatigue-corrosion, à la fragilisation par l'hydrogène, à la corrosion sous contrainte ou à une sollicitation locale élevée (effet d'entaille).
- 2.2.4 En cas de fissures dues aux mécanismes de fatigue-corrosion ou de corrosion sous contrainte, des mesures urgentes de sécurité doivent toujours être prises.
- 2.2.5 La participation à la structure porteuse d'éléments de construction en fonte, éléments auxquels cette fonction n'avait pas été attribuée, doit être évaluée selon la fiabilité de cette participation. En effet, la fonte peut provoquer des mécanismes de défaillance sans signes avertisseurs.
- 2.2.6 En cas de dislocation d'assemblages, une intervention de maintenance selon les chiffres 7.2.2 ou 7.3.2 est recommandée.
- 2.2.7 L'évaluation de la durabilité doit porter en particulier sur les endroits fortement sollicités (localement) par la corrosion (endroits humides, sales ou couverts de mousse, par exemple les détails avec stagnation d'eau).
- 2.2.8 Lors de la vérification de l'aptitude au service d'éléments rivetés, y compris des fréquences propres de vibration, les sections brutes doivent être considérées.



## 3 MATÉRIAUX

### 3.1 Généralités

3.1.1 La dénomination des aciers de construction récents est donnée dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Dénomination des aciers de construction récents

Norme SIA	SIA 161	SIA 161	SIA 161	SIA 161	SIA 263
Année d'entrée en vigueur	1956	1974	1979	1990	2003
Acier de construction, $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$	St 37	Ac 24/37	Fe 360	Fe E 235	S 235
Acier de construction, $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$	St 52	Ac 36/52	Fe 510	Fe E 355	S 355
Note : La dénomination des aciers de construction anciens et de la fonte est donnée à l'Annexe A.					

3.1.2 Pour les aciers de construction récents, les valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques sont données dans la norme SIA 263. Un contrôle tel que mentionné sous chiffre 2.1.1 doit être fait.

3.1.3 Les valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques, de l'acier de construction ou des moyens d'assemblages ainsi que la composition chimique servent en premier lieu à classer l'acier et ainsi à justifier l'utilisation des caractéristiques du tableau 2 au tableau 5. Pour autant que leur représentativité soit démontrée, les valeurs mesurées des propriétés mécaniques peuvent être utilisées dans l'actualisation des valeurs caractéristiques de l'acier.

3.1.4 Les procédures d'essais doivent suivre les instructions données dans la série de normes européennes EN 10025.

### 3.2 Aciers de construction anciens et fonte

#### 3.2.1 Généralités

3.2.1.1 Les propriétés mécaniques des aciers de construction anciens et de la fonte ainsi que leur composition chimique varient sensiblement selon le producteur, l'année et le pays de production.

3.2.1.2 Si l'acier de construction ancien ou la fonte peut être identifié de manière évidente à l'aide des documents de la construction, mais aussi à l'aide de la forme de l'élément ou la texture en surface, les caractéristiques du tableau 2 peuvent être utilisées comme valeurs caractéristiques de l'acier ou de la fonte pour les calculs.

### 3.2.2 Valeurs caractéristiques

3.2.2.1 Les valeurs caractéristiques des aciers de construction anciens et de la fonte sont données dans le tableau 2.

Tableau 2: Valeurs caractéristiques des aciers de construction anciens et de la fonte

Matériau	Utilisation <sup>1)</sup>	$f_{yk}^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{uk}^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_k$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_k^{2)}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\varepsilon_{uk}^{2)}$ [%]	$\nu$	$\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\alpha_T$ [10 <sup>-6</sup> /°C]
Fonte <sup>3)</sup>	avant 1900	+70/–200 <sup>4)</sup>	+120/–600	29 000	78 000	< 0,8	0,26 <sup>5)</sup>	7250	10
Fer puddlé	1850–1900	220	320	77 000	200 000	15	0,3	7800	10 <sup>6)</sup>
Fer homogène	1890–1900	220	320	77 000	200 000	25	0,3	7800	10 <sup>6)</sup>
	1900–1940	235	335	81 000	210 000	25	0,3	7800	
Acier doux	1925–1955	235	360	81 000	210 000	25	0,3	7850	10 <sup>6)</sup>
<sup>1)</sup> période de production principale <sup>2)</sup> parallèle à la direction du laminage (voir chiffre 3.2.2.2) <sup>3)</sup> fonte à graphite lamellaire selon EN 1561 : 1997 <sup>4)</sup> valeur conventionnelle à 0,1 % de déformation spécifique, la fonte n'ayant pas de palier plastique <sup>5)</sup> valeur moyenne pour les différents types de fonte <sup>6)</sup> pour des valeurs plus précises, on peut utiliser la norme SIA 263, valable dans ce cas pour tous les aciers									

3.2.2.2 Les valeurs caractéristiques pour les aciers de construction anciens sont fortement dépendantes de la direction de la sollicitation. Des valeurs réduites doivent être prises en compte lors de sollicitations dans le plan de la tôle et transversalement à la direction du laminage. Pour le fer puddlé, la résistance dans le sens transversal à la direction du laminage sera prise dans les calculs comme valant 80% de celle dans la direction du laminage; dans le sens perpendiculaire au plan de la tôle, on considérera une résistance nulle pour les calculs.

### 3.2.3 Groupes de qualité des aciers de construction anciens

3.2.3.1 Le groupe de qualité de l'acier de construction ancien ou de la fonte doit être déterminé par l'essai de résilience défini dans la EN 10045-1.

3.2.3.2 A part pour l'acier produit selon la méthode de fabrication Thomas et pour la fonte, les aciers de construction anciens ont une résilience minimale de  $K_V = 27 \text{ J}$  à la température de  $T_{27J} = 20^\circ \text{C}$ . Cette résilience correspond à une qualité JR selon la EN 10025.

## 3.3 Moyens d'assemblage

### 3.3.1 Rivets

3.3.1.1 La détermination des valeurs caractéristiques du matériau des rivets par des essais mécaniques est recommandée seulement si l'identification des rivets à l'aide des documents de la construction n'est pas évidente.

3.3.1.2 Les valeurs caractéristiques du matériau des rivets sont données dans le tableau 3.

Tableau 3: Valeurs caractéristiques du matériau des rivets

Matériau	Utilisation <sup>1)</sup>	$f_{ukB}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\varepsilon_{ukB}$ [%]
Fer puddlé	1850–1900	320	18
Fer homogène	1890–1940	320	28
Acier doux	dès 1925	350	30
<sup>1)</sup> période de production principale			

3.3.2 Anciens boulons

- 3.3.2.1 La détermination des valeurs caractéristiques du matériau des boulons par des essais mécaniques est recommandée seulement si l'identification des boulons à l'aide des documents de la construction n'est pas évidente, ou leur allocation selon le tableau 4 n'est pas possible.
- 3.3.2.2 La dénomination et les valeurs caractéristiques du matériau des anciens boulons sont données dans le tableau 4.

Tableau 4: Dénomination et valeurs caractéristiques des anciens boulons

	Anciennes dénominations	Utilisation <sup>1)</sup>	$f_{ykB}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ukB}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Classe de résistance <sup>2)</sup> équivalente
Boulons « ordinaires »	4D, St 38	dès 1920	240	400	4.6
	5D	dès 1920	300	500	5.6
Boulons à haute résistance	8G	dès 1950	640	800	8.8
	10K	dès 1950	900	1000	10.9
<sup>1)</sup> période de production principale					
<sup>2)</sup> selon SN ISO 898-1					

- 3.3.2.3 Sans indication précise et sans identification fiable, les boulons d'une construction existante doivent être considérés comme des boulons de la classe de résistance équivalente à 4.6.
- 3.3.2.4 Pour les assemblages précontraints, les garnitures doivent être conformes. Un échantillonnage représentatif de boulons doit être démonté pour vérifier qu'une identification (10.9 ou 10K par ex.) est lisible sur les éléments de garniture. Dans le cas contraire, le chiffre 3.3.2.1 s'applique.

3.3.3 Anciennes soudures

- 3.3.3.1 La détermination des valeurs caractéristiques du matériau des anciennes soudures par des essais mécaniques est recommandée seulement si le contrôle de plausibilité à l'aide des documents de la construction et du tableau 5 n'est pas concluant.
- 3.3.3.2 La dénomination et les valeurs caractéristiques du matériau des anciennes soudures sont données dans le tableau 5.

Tableau 5: Dénomination et caractéristiques des matériaux des anciennes soudures

Utilisation <sup>1)</sup>	$f_{ukE}$ <sup>2)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]
1900–1924 <sup>3)</sup>	300
1925–1955 <sup>4)</sup>	360
dès 1956 <sup>4)</sup>	au moins égale au matériau de base
<sup>1)</sup> période d'utilisation principale <sup>2)</sup> valeurs de résistance des matériaux des anciennes soudures à considérer en l'absence de documents fiables ou d'essais complémentaires <sup>3)</sup> appellation d'anciens matériaux d'apport: « métal suédois » (swedish charcoal iron) ou « métal à charbon de bois » <sup>4)</sup> année charnière, publication de nouvelles normes SIA en 1956	

## 4 ASSEMBLAGES

### 4.1 Généralités

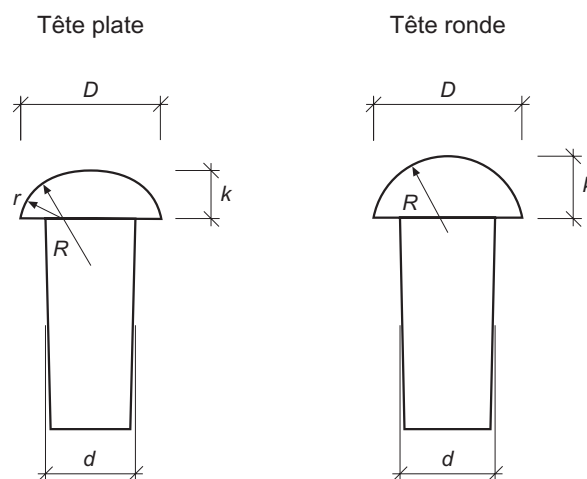
- 4.1.1 Les indications ci-dessous concernent la vérification des assemblages présents sur les structures existantes, ainsi que la vérification des assemblages réalisés entre une structure existante et une nouvelle structure.
- 4.1.2 Lorsque les assemblages sont réalisés avec les matériaux et selon les dispositions constructives définies dans la norme SIA 263, les vérifications des assemblages doivent être effectuées selon la norme SIA 263.
- 4.1.3 Un modèle de résistance élastique doit être utilisé pour les assemblages en fonte, car aucune redistribution plastique n'est admise.
- 4.1.4 La vérification des assemblages doit être effectuée avec le facteur de résistance actualisé  $\gamma_{M2,act} = \gamma_{M2} \cdot k_{\gamma M}$  défini au chiffre 5.1.1.

### 4.2 Assemblages à rivets

#### 4.2.1 Généralités

- 4.2.1.1 Après la pose d'un rivet, le trou est complètement comblé. Par conséquent, au lieu du diamètre  $d$  du rivet brut avant sa pose, le diamètre  $d_0$  du rivet après sa pose est utilisé dans les spécifications, sur les plans ou dans les vérifications.
- 4.2.1.2 A partir du diamètre  $d$  du rivet brut, le diamètre du trou de rivet  $d_0$  peut être déduit grâce à la formule (1).
- $$d_0 = d + 1 \text{ mm} \quad (1)$$
- Le diamètre du trou de rivet  $d_0$  correspond au diamètre du rivet après pose.
- 4.2.1.3 Si le diamètre  $d$  du rivet brut ne peut pas être identifié de manière évidente à l'aide des documents de la construction, il peut être estimé à partir du diamètre mesuré  $D$ , de la hauteur mesurée  $k$ , et du rayon mesuré  $R$  de la tête du rivet (figure 1).

Figure 1: Dimensions caractéristiques d'un rivet brut à tête plate ou ronde



- 4.2.1.4 Dans le tableau 6, le diamètre du rivet brut  $d$  est donné en fonction du diamètre mesuré  $D$ , de la hauteur mesurée  $k$ , et du rayon mesuré  $R$  de la tête du rivet. A cause de la multiplicité de forme de la bouterolle utilisée, les valeurs données dans le tableau 6 sont des valeurs indicatives. On peut relever deux types selon la forme de tête des rivets : les rivets à tête plate et les rivets à tête ronde (plus récents).

Tableau 6 : Estimation du diamètre du rivet brut  $d$

Rivet à tête plate	Rivet à tête ronde
$0,59D \leq d \leq 0,67D$	$0,60D \leq d \leq 0,63D$
$1,5k \leq d \leq 2,0k$	$1,56k \leq d \leq 1,82k$
$0,83R \leq d \leq 1,0R$	$1,11R \leq d \leq 1,22R$

- 4.2.1.5 Après la pose du rivet, le trou de rivet est comblé complètement. Pour cette raison, on peut admettre un assemblage riveté ajusté.

#### 4.2.2 Résistance ultime

- 4.2.2.1 Pour la vérification de la sécurité structurale des assemblages à rivets, les valeurs d'examen des résistances ultimes au cisaillement, à la pression latérale et à la traction dans la tige du rivet sont données comme suit :

Valeur d'examen de la résistance pour chaque plan de cisaillement :

$$F_{VRd,act} = 0,6 \frac{f_{ukB} \frac{\pi d_0^2}{4}}{\gamma_{M2,act}} \quad (2)$$

La valeur d'examen de la résistance à la pression latérale est valable pour les entraxes et pinces conformes à la norme SIA 263. Si les distances  $e_2$  et  $p_2$ , mesurées perpendiculairement à la direction des efforts, répondent aux conditions  $e_2 \geq 1,0 d_0$  et  $p_2 \geq 2,0 d_0$  alors :

$$F_{b,Rd,act} = 0,8 \frac{e_1}{d_0} \frac{f_{uk}}{\gamma_{M2,act}} d_0 \cdot t \quad \text{si } e_1 \leq 2 d_0 \quad (3)$$

$$F_{b,Rd,act} = 1,6 \frac{f_{uk}}{\gamma_{M2,act}} d_0 \cdot t \quad \text{si } e_1 > 2 d_0 \quad (4)$$

$$F_{b,Rd,act} = 0,8 \frac{p_1 - \frac{d_0}{2}}{d_0} \frac{f_{uk}}{\gamma_{M2,act}} d_0 \cdot t \quad \text{si } e_1 > 2 d_0 \quad (5)$$

Valeur d'examen de la résistance à la traction :

$$F_{t,Rd,act} = 0,24 \frac{f_{ukB} \frac{\pi d_0^2}{4}}{\gamma_{M2,act}} \quad (6)$$

avec:  $d_0$  diamètre du trou du rivet (= diamètre de la tige du rivet posé)

- 4.2.2.2 La valeur d'examen de la résistance réduite par affaiblissement de la section dû aux trous de rivets doit être déterminée selon la norme SIA 263, avec les résistances données dans le tableau 2 et le facteur de résistance actualisé  $\gamma_{M2,act}$ .
- 4.2.2.3 La résistance au glissement résultant de la précontrainte du rivet n'est pas considérée dans les vérifications.
- 4.2.2.4 Dans le cas où les rivets reprennent de la traction, la formule (6) pour la résistance à la traction d'un rivet doit être utilisée. L'état de contrainte auto-équilibré ne doit pas être pris en compte.
- 4.2.2.5 Lorsque les rivets sont sollicités par des efforts de traction et de cisaillement, il faut effectuer la vérification de l'interaction selon la norme SIA 263.

### 4.3 Assemblages à boulons

- 4.3.1 Dans le cas où il n'est pas possible de déterminer si le plan de cisaillement est dans la partie lisse ou filetée de la tige, la valeur d'examen de la résistance pour chaque plan de cisaillement d'un boulon doit être limitée à la valeur donnée par la formule (7).

$$F_{V,Rd,act} = 0,5 \frac{f_{ukB} \cdot A_s}{\gamma_{M2,act}} \quad (7)$$

$A_s$  aire de la section résistante du boulon, partie filetée

- 4.3.2 Dans le cas où il n'est pas possible de connaître avec certitude le diamètre du trou, la valeur d'examen de la résistance à la pression latérale pour les assemblages respectant les dispositions constructives de la norme SIA 263 doit être déterminée selon la formule (8).

$$F_{b,Rd,act} = 0,85 \frac{e_1}{d} \frac{f_{uk}}{\gamma_{M2,act}} d \cdot t \quad (8)$$

- 4.3.3 La valeur d'examen de la résistance réduite par affaiblissement de la section dû aux trous de boulons doit être déterminée selon la norme SIA 263, avec les résistances données dans le tableau 2 et le facteur de résistance actualisé  $\gamma_{M2,act}$ .

### 4.4 Assemblages soudés

- 4.4.1 La valeur d'examen de la résistance des cordons d'angle doit être déterminée selon la norme SIA 263 avec les caractéristiques des matériaux du tableau 2 et du tableau 5, ainsi que le facteur de résistance actualisé  $\gamma_{M2,act}$ .
- 4.4.2 Une soudure en cordon d'angle peut être renforcée par un ajout de passes de soudure afin d'obtenir la dimension nécessaire du cordon. Dans le cas de renforcement d'une ancienne soudure, la valeur d'examen de la résistance du cordon renforcé doit être déterminée avec les caractéristiques du matériau de l'ancienne soudure.
- 4.4.3 Une soudure existante ne peut être considérée comme soudure complètement pénétrée pour la sécurité structurale que si un contrôle non-destructif adapté est réalisé lors du relevé de l'état, ou si l'on peut se baser sur des plans d'exécution fiables. Dans le cas contraire, la soudure doit être considérée comme un cordon d'angle avec les dimensions relevées sur l'ouvrage.
- 4.4.4 Pour les soudures complètement pénétrées, réalisées dès 1956, une vérification dans le matériau de base, selon la norme SIA 263, est suffisante. Pour les soudures complètement pénétrées réalisées avant 1956, la valeur d'examen de la résistance de la soudure peut être déterminée avec les caractéristiques des matériaux du tableau 5, ainsi que le facteur de résistance actualisé  $\gamma_{M2,act}$ .

## 5 ANALYSE STRUCTURALE ET VÉRIFICATIONS

### 5.1 Généralités

5.1.1 Le facteur de résistance actualisé  $\gamma_{M,act}$  est donné dans la formule (9):

$$\gamma_{M,act} = \gamma_M \cdot k_{\gamma M} \quad (9)$$

Le facteur de résistance  $\gamma_M$  est défini dans la norme SIA 263. La formule (9) est valable pour  $\gamma_{M1}$  et  $\gamma_{M2}$ .

Le coefficient  $k_{\gamma M}$  tient compte d'incertitudes propres à la fonte et aux anciens aciers de construction. Sa valeur est donnée dans le tableau 7 en fonction du matériau et de son année de production.

Tableau 7: Valeurs du coefficient  $k_{\gamma M}$  en fonction du matériau et de son année de production

Matériau	Utilisation <sup>1)</sup>	Coefficient $k_{\gamma M}$
Fonte	avant 1900	1,15
Fer puddlé	1850–1900	1,10
Fer homogène	1890–1900	1,10
	1900–1940	1,05
Acier doux	1925–1955	1,05
Aciers pour boulons	1920–1955	1,05
Matériau des anciennes soudures	1900–1924	1,50 <sup>2)</sup>
	1925–1955	1,35 <sup>2)</sup>
Acier récent (matériau de base et soudures)	dès 1956 <sup>3)</sup>	1,00
<sup>1)</sup> période de production et d'utilisation principale du matériau <sup>2)</sup> une diminution de ces valeurs est autorisée pour autant qu'elle soit justifiée par des essais non-destructifs et destructifs <sup>3)</sup> année charnière, publication de nouvelles normes SIA en 1956		

5.1.2 Pour la valeur d'examen d'une dimension géométrique actualisée  $a_{d,act}$ , on doit prendre en général:

- pour une perte de matière  $\leq 5\%$  de la valeur nominale de la dimension géométrique:  $a_{d,act} = a_d$
- pour une perte de matière  $> 5\%$  de la valeur nominale de la dimension géométrique: la dimension doit être remplacée par sa valeur effective.

### 5.2 Bases et modélisation

5.2.1 Pour les aciers de construction récents, les méthodes de calcul selon la norme SIA 263 (PP, EP, EE, EER) doivent être appliquées. La norme SIA 263 doit alors être utilisée pour les bases de l'analyse structurale, la modélisation et les vérifications.

5.2.2 Pour les aciers de construction anciens, les méthodes de calcul autorisées sont données dans le tableau 8.



Tableau 8: Méthodes de calcul autorisées en fonction du matériau

Matériau	Utilisation <sup>1)</sup>	Méthode de calcul <sup>2)</sup>
Fonte	avant 1900	EE, EER
Fer puddlé <sup>3)</sup>	1850–1900	EP <sup>4)</sup> , EE, EER
Fer homogène	1890–1900	EP, EE, EER
	1900–1940	EP, EE, EER
Acier doux	dès 1925	PP, EP, EE, EER
<sup>1)</sup> période de production principale <sup>2)</sup> voir norme SIA 263 <sup>3)</sup> parallèle à la direction du laminage, voir chiffre 3.2.2.2 <sup>4)</sup> voir chiffre 5.3.4.2		

5.2.3 Dans le cas où l'on déroge aux valeurs du tableau 2, les méthodes de calcul applicables doivent être déterminées d'après les critères de la norme SIA 263.

5.2.4 Le choix d'une méthode de calcul autorisée selon le tableau 8 doit se faire d'après les indications de la norme SIA 263, en tenant compte des classes de section. Pour cette détermination, le facteur de réduction décrivant l'influence de la limite d'élasticité doit être actualisé selon la formule (10).

$$\epsilon_{act} = \sqrt{\frac{E_k}{210\,000} \cdot \frac{235}{f_{yk}} \cdot \frac{\gamma_{M1,act}}{1,05}} \quad (10)$$

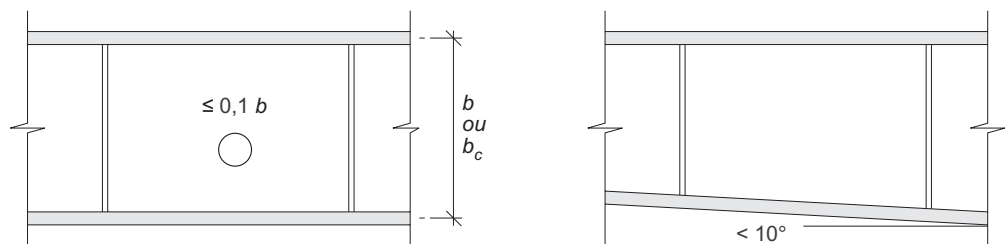
$f_{yk}$  valeur caractéristique de la limite d'élasticité

$\gamma_{M1,act}$  valeur du facteur partiel de résistance actualisé (selon chiffre 5.1.1)

5.2.5 L'utilisation des modèles de résistance basés sur les largeurs efficaces selon la norme SIA 263, de même que l'utilisation de la théorie du voilement selon le chiffre 5.4.4 ne sont admises qu'aux deux conditions cumulatives suivantes (voir figure 2):

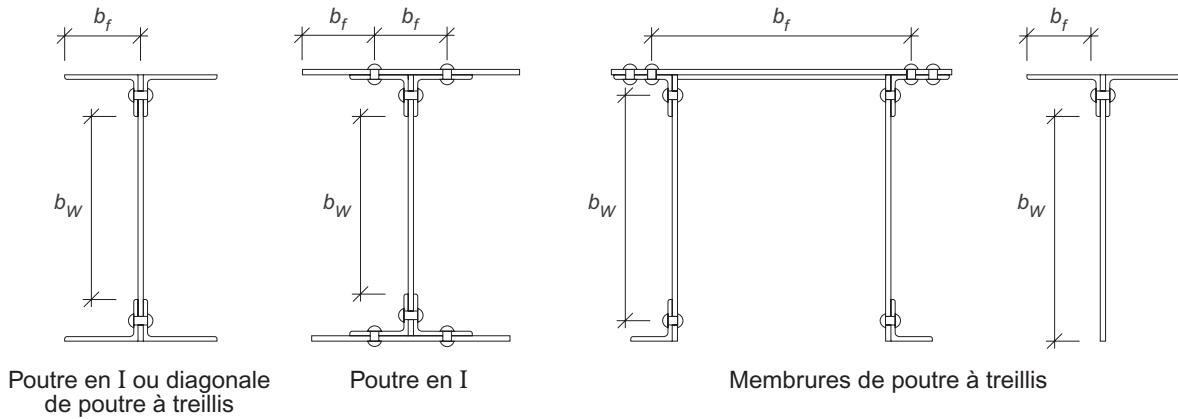
- le diamètre d'ouvertures non raidies ne dépasse pas  $0,1b$ , où  $b$  est la largeur de l'élément comprimé ou cisailé
- les panneaux sont rectangulaires ou trapézoïdaux avec un angle entre les côtés non parallèles de moins de  $10^\circ$ .

Figure 2: Conditions géométriques pour les modèles de résistance basés sur les largeurs efficaces et pour la théorie du voilement



5.2.6 Pour les éléments rivetés, la largeur du panneau de voilement à considérer,  $b_f$  ou  $b_w$ , est définie à la figure 3. Pour les panneaux rivetés dont au moins un des bords parallèles à la direction des efforts est appuyé, l'appui peut provenir de plaques ou de cornières rivetées, pour autant qu'elles soient rivetées de part et d'autre du panneau.

Figure 3: Définition de la largeur du panneau de voilement pour différents éléments rivetés



- 5.2.7 Les effets des excentricités des barres aux nœuds doivent dans tous les cas être évalués et, le cas échéant, ils doivent être prises en compte dans le modèle de la structure avec des valeurs actualisées.
- 5.2.8 Les poutres à treillis en acier de construction anciens et récents peuvent être modélisées au moyen de barres articulées entre elles. Dans le cas de la fonte, les contraintes déterminées dans le système articulé doivent être majorées par un facteur de 1,2 pour prendre en compte d'une manière forfaitaire les effets des encastres partiels aux extrémités, effets qui provoquent des contraintes de flexion secondaire.
- 5.2.9 Pour les vérifications à la fatigue, un modèle de structure détaillé qui contient la géométrie du détail de construction étudié n'est recommandé que si le détail de construction ne peut pas être classifié dans une catégorie de détail selon l'annexe B ou selon la norme SIA 263. Les résultats du modèle de structure détaillé ne peuvent être utilisés que si la vérification de la sécurité à la fatigue est effectuée avec la méthode dite de la contrainte au point chaud (hot spot stress) selon la SN EN 1993-1-9.

### 5.3 Résistance des sections

#### 5.3.1 Effort normal

- 5.3.1.1 Si le flambage et le déversement ne sont pas empêchés, la valeur d'examen de la résistance à un effort normal  $N_{Rd,act}$  doit être déterminée selon les chiffres 5.4.1 à 5.4.2.
- 5.3.1.2 Dans le cas d'éléments rivetés en traction, la section nette doit être utilisée dans la détermination de la valeur d'examen de la résistance à la traction.

#### 5.3.2 Flexion

Pour les poutres avec rivures sollicitées en flexion, la valeur d'examen de la résistance à la flexion  $M_{Rd,act}$  doit être déterminée avec la zone tendue considérée comme section nette (section avec déduction des trous de rivets) et en utilisant les valeurs  $f_{yk}$  ainsi que  $\gamma_{M1,act}$ .

#### 5.3.3 Effort tranchant

- 5.3.3.1 Pour les aciers de construction anciens, la valeur de calcul de la résistance en cisaillement d'une section non soumise au voilement,  $V_{Rd,act}$ , est déterminée selon le chiffre 5.3.3.2. Pour cela, la section doit respecter l'éclatement de l'âme suivant (formule (11)):

$$\frac{b}{t_w} \leq \sqrt{\frac{4E_k}{f_{yk}}} \quad (11)$$

avec  $b$  obtenu en utilisant le chiffre 5.2.6.

- 5.3.3.2 Pour tous les aciers, si l'élément plan soumis au cisaillement n'est pas sujet au voilement, la valeur d'examen de la résistance à l'effort tranchant  $V_{Rd,act}$  peut être obtenue comme suit (voir figure 4):
- en général en utilisant la formule (12)

$$V_{Rd,act} = \frac{\tau_{yk} \cdot I \cdot \Sigma t_i}{\frac{W_{pl}}{2} \cdot \gamma_{M1,act}} \quad (12)$$

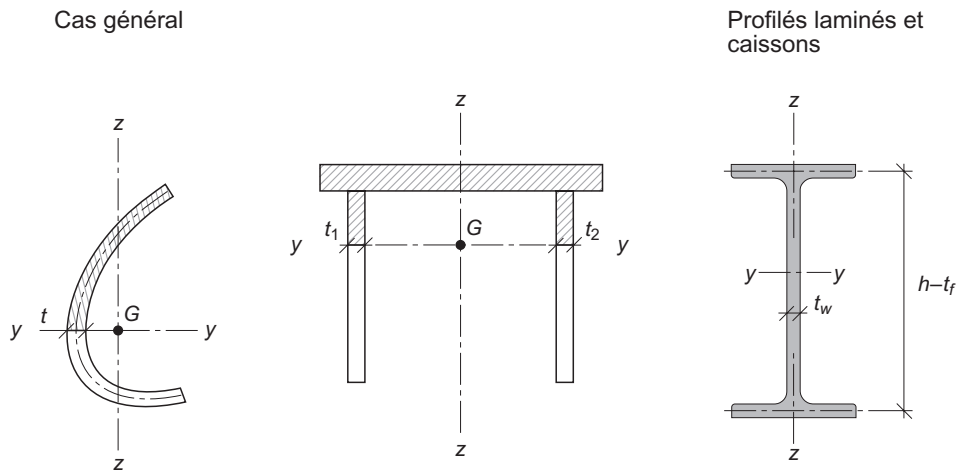
$\Sigma t_i$  somme des largeurs au niveau de l'axe

- pour les profilés laminés en double té bi-symétriques et les caissons en utilisant la formule (13)

$$V_{Rd,act} = \frac{\tau_{yk} \cdot A_w}{\gamma_{M1,act}} \quad (13)$$

$A_w$  aire de la section de l'âme  $(h-t_f) \cdot t_w$  ou des âmes des caissons

Figure 4: Dimensions utilisées dans le calcul de la résistance à l'effort tranchant (agissant verticalement)



- 5.3.3.3 Lorsque l'élancement de l'âme selon le chiffre 5.3.3.1 ne peut pas être respecté et l'élément sollicité par cisaillement est sujet au voilement, il faut utiliser les indications du chiffre 5.4.4.

### 5.3.4 Flexion et effort tranchant ou torsion

- 5.3.4.1 Lorsque la valeur d'examen de la résistance à l'effort tranchant est calculée selon la formule (13), on peut négliger l'interaction entre flexion et effort tranchant. Par contre, lorsque l'aire  $A_v$  est utilisée à la place de  $A_w$ , il faut tenir compte de cette interaction selon la SIA 263.

- 5.3.4.2 Dans le cas du fer puddlé, on doit utiliser pour l'interaction entre contraintes normales et contraintes tangentielles un critère de rupture élastique tel que celui de von Mises.

### 5.3.5 Flexion et effort normal

La vérification sous interaction d'efforts de flexion et d'effort normal s'effectue en utilisant les chiffres de la norme SIA 263, ainsi que les renvois. Pour les sections rivetées, on tiendra en outre compte du chiffre 5.3.2 de la présente norme et de l'excentricité qui en résulte.

## 5.4 Stabilité

### 5.4.1 Flambage

5.4.1.1 En général, la section brute de l'élément est utilisée dans les calculs de la valeur d'examen de la résistance au flambage. Lorsque les trous de rivets et de boulons se trouvant dans la zone de la section critique (efforts intérieurs maximaux) diminuent la section de plus de 15%, on tiendra compte du chiffre 5.3.2 pour calculer les propriétés de la section. Le coefficient d'élancement est, par contre, toujours déterminé avec la section brute.

5.4.1.2 Le coefficient d'élancement doit être calculé avec les valeurs de  $E_k$  et de  $f_{yk}$  déterminées selon le chiffre 3.2.2.

Pour les éléments et profilés anciens, les courbes de flambage selon la norme SIA 263 sont données dans le tableau 9.

Tableau 9: Choix de la courbe de flambage pour les éléments et profilés

Eléments et profilés	Courbe de flambage ou facteur de réduction pour le flambage
Profilés laminés et composés soudés en acier récent ou ancien	Selon la norme SIA 263
Eléments rivetés, composé par rivetage ou boulonnés en acier récent ou ancien	– a: pour les sections symétriques ( $\alpha_K = 0,21$ ) – b: en général ( $\alpha_K = 0,34$ )
Eléments en fonte	$\chi_K = 1/(1+0,0007 \cdot \bar{\lambda}_K^2)$

5.4.1.3 Comme alternative à l'utilisation des courbes de flambage, lorsque le défaut de rectitude ne respecte pas la tolérance géométrique de la norme SIA 263/1, la méthode de calcul décrite au chiffre 5.4.3.2 peut être employée avec  $M_{Ed} = 0$  et  $M_{Rd,act} = M_{él,Rd,act}$ .

5.4.1.4 Pour les barres de treillis rivetés, si les conditions de la norme SIA 263 sont remplies, les longueurs de flambage du tableau 10 peuvent être employées.

Tableau 10: Longueurs de flambage réduites pour les barres de treillis rivetés

Elément porteur	Longueur de flambage $L_K$ pour le flambage	
	dans le plan	hors du plan
Membrures	$0,8L$	selon la norme SIA 263
Diagonales: – simples – doubles	$0,75L$ $0,4L$	
Montants simples	$0,75L$	

### 5.4.2 Déversement des poutres fléchies

5.4.2.1 La courbe de flambage b ( $\alpha_D = 0,34$ ) doit être utilisée pour les poutres rivetées.

5.4.2.2 La vérification au déversement des poutres rivetées doit s'effectuer en prenant en compte les indications du chiffre 5.3.2.

### 5.4.3 Flexion et compression

5.4.3.1 Pour les barres à section constante, fléchies selon un ou les deux axes principaux et comprimées, la vérification de la stabilité peut être effectuée selon la méthode décrite dans la norme SIA 263; de même pour les sections des classes 1 et 2 en double té bi-symétriques. La courbe de flambage est choisie selon les indications du chiffre 5.4.1.2. La géométrie actualisée doit respecter les tolérances géométriques de la norme SIA 263/1.

5.4.3.2 Pour les barres à section constante comprimées et fléchies selon un des axes principaux, et dont le flambage hors du plan de flexion ainsi que le déversement sont empêchés, la vérification de la stabilité peut être effectuée selon la formule (14). Cette méthode doit être employée pour vérifier la stabilité d'une barre comprimée, ou comprimée et fléchiée, lorsque le défaut de rectitude ne respecte pas la tolérance géométrique de la norme SIA 263/1.

$$\frac{N_{Ed,act}}{N_{pl,Rd,act}} + \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed,act}}{N_{cr}}} \frac{\omega \cdot M_{Ed,act} + N_{Ed,act} \cdot e_0}{M_{Rd,act}} \leq 1,0 \quad (14)$$

$\omega$  facteur pour la prise en compte de la répartition des moments, selon la norme SIA 263

$e_0$  imperfection initiale équivalente,  $e_0 = e_{0,geom} + e_{0,\sigma}$

$e_{0,geom}$  défaut de rectitude initial entre les extrémités de la barre, mesuré sur l'ouvrage

$e_{0,\sigma}$  excentricité équivalente à l'effet des contraintes résiduelles sur la stabilité au flambage de la barre :

– courbe de flambage a:  $e_{0,\sigma} = L_k/500$

– courbe de flambage b:  $e_{0,\sigma} = L_k/430$

– courbe de flambage c:  $e_{0,\sigma} = L_k/330$

– courbe de flambage d:  $e_{0,\sigma} = L_k/250$

5.4.3.3 Pour les éléments en fonte, à cause du manque de ductilité du matériau, le chiffre 5.4.3.2 doit être appliqué en effectuant un calcul élastique de la résistance et en prenant une excentricité équivalente égale à  $L_k/200$ .

5.4.3.4 Lors de la vérification en flexion avec compression, il faut prendre en compte les indications du chiffre 5.4.1.1.

### 5.4.4 Voilement d'éléments plans

5.4.4.1 Le voilement local des plaques minces assemblées, ainsi que la stabilité des appuis de ces plaques, doivent être vérifiées.

5.4.4.2 En compression ou en cisaillement, tant que des conditions plus favorables ne sont pas prouvées, les éléments plans des poutres rivetées doivent être admis simplement appuyés. La largeur  $b_f$  ou  $b_w$  du panneau de voilement est définie au chiffre 5.2.6.

5.4.4.3 En cisaillement, le calcul post-critique ne peut pas être considéré pour les éléments en fer puddlé (trop forte anisotropie). Pour les autres aciers, un calcul post-critique selon la norme SIA 263 est admis en appliquant le facteur de résistance actualisé  $\gamma_{M1,act}$ .

## 5.5 Fatigue

### 5.5.1 Généralités

5.5.1.1 La résistance ultime d'un élément métallique comportant une fissure de fatigue doit en principe être évaluée par la mécanique de la rupture. Cependant, dans le cas d'aciers thermo-mécaniques, celle-ci peut être évaluée sur la base de la mécanique des milieux continus (calcul avec la section nette).

5.5.1.2 Dans une structure rivetée, les autocontraintes peuvent être négligées. Par conséquent la différence de contrainte, provenant de contraintes appliquées de traction et de compression, à prendre en compte dans les vérifications peut être réduite selon les indications de la norme SIA 263.

5.5.1.3 Pour les éléments rivetés, la différence de contrainte se calcule par rapport à la section nette.

**5.5.2 Résistance à la fatigue**

- 5.5.2.1 En principe, les catégories de détails de la norme SIA 263 sont également valables pour les structures existantes, pour autant que les exigences de la norme SIA 263 concernant les tolérances et les contrôles soient respectées.
- 5.5.2.2 En général, tout détail de construction rivetée peut être conservativement classé dans la catégorie de détail  $\Delta\sigma_C = 71 \text{ N/mm}^2$ , avec une courbe de fatigue ayant une pente  $m = 5$ .
- 5.5.2.3 Les catégories de détail correspondants aux différents détails de constructions rivetées types sont données dans le tableau 13 de l'annexe B. Les catégories correspondent à des courbes de fatigue ayant une pente  $m = 5$  selon la figure 5 de l'annexe B.
- 5.5.2.4 Le facteur de résistance à la fatigue actualisé  $\gamma_{Mf,act}$  doit être déterminé en fonction des possibilités d'inspection et de l'importance des conséquences d'une défaillance pendant la durée d'utilisation restante. Pour l'examen général, les valeurs selon le tableau 11 doivent être utilisées.

Tableau 11: Facteur de résistance à la fatigue actualisé  $\gamma_{Mf,act}$  pour l'examen général

	Dommages peu importants <sup>1)</sup>	Dommages très importants <sup>2)</sup>
Détail de construction inspecté et sans dommages de fatigue	1,0	1,0
Détail de construction impossible à inspecter	1,15	1,35 et voir chiffre 7.5.1.3
<sup>1)</sup> Correspond aux classes de conséquences CC1 et CC 2 définie dans l'EN 1990 <sup>2)</sup> Correspond à la classe de conséquence CC3 définie dans l'EN 1990		

**5.5.3 Vérification à la fatigue**

- 5.5.3.1 Lorsque l'on a à disposition l'histogramme des différences de contraintes au détail de construction, la vérification peut être effectuée à l'aide du cumul de dommage en utilisant la règle de Palmgren-Miner et une valeur limite du dommage total égale à l'unité.
- 5.5.3.2 Dans le calcul du cumul de dommage, le calcul du dommage actuel dû au trafic peut être effectué en prenant le facteur de résistance à la fatigue actualisé  $\gamma_{Mf,act} = 1,0$

**5.5.4 Estimation de l'intervalle d'inspection intermédiaire**

En cas de fissure avérée ou suspectée dans une structure, ou lorsqu'un calcul à la fatigue permet d'identifier des endroits critiques, une décision doit être prise en accord avec le maître d'ouvrage concernant l'intervalle d'inspection. Un intervalle d'inspection intermédiaire est déterminé sur la base d'une réflexion coût-bénéfice tout en respectant la sécurité structurale de la structure. Des intervalles de temps entre inspections intermédiaires compris entre 6 mois et 3 ans sont recommandés.

## 6 RELEVÉ DE L'ÉTAT

### 6.1 Généralités

- 6.1.1 La cohérence entre les plans et la structure réalisée doit être soigneusement contrôlée. En particulier, il faut contrôler si tous les boulons, rivets, soudures sont présents dans les assemblages. Il faut repérer les éléments ajoutés par soudage ou boulonnage à la structure originale.
- 6.1.2 Le relevé de l'état des assemblages soumis à la fatigue, ainsi que des détériorations y relatives, doit être effectué avec des méthodes adéquates et un soin particulier.
- 6.1.3 Lors du relevé des détériorations et lorsque les méthodes de contrôle spécifiques aux structures en acier le permettent, on différenciera les détériorations (dues à la corrosion, fatigue, ...) suivant qu'elles sont dans la phase d'initiation ou celle de propagation.
- 6.1.4 En général, on considérera les structures en fonte et en fer puddlé comme non-ductiles, à part si des essais démontrent que le matériau possède au minimum une déformation spécifique à la rupture  $\varepsilon_{uk}$  de 15% et une qualité JR selon la EN 10025 (résilience minimale de  $K_V = 27J$  à la température de  $T_{27J} = 20^\circ C$ ).

### 6.2 Défauts

- 6.2.1 Les défauts spécifiques aux structures en acier peuvent être, entre autres :
- stagnation d'eau, évacuation de l'eau entravée ou possibilité d'accumulation de débris et saletés
  - absence d'éléments, de barres de stabilisation
  - absence de rivet, de boulon, de cordon de soudure dans un assemblage
  - absence de raidisseurs ou mauvaise disposition constructive d'un raidissage
  - non-accessibilité de certaines parties d'ouvrages ou d'éléments de construction
  - défaut d'application de la protection contre la corrosion (non-respect de la SN EN 12944-8, par exemple revêtement non adéquat, retouches non effectuées)
  - absence ou insuffisance de protection contre les actions accidentelles (par exemple choc, incendie)
  - imprécisions de fabrication ou de montage (par exemple excentricités, défaut de rectitude des barres, inclinaisons)
  - cheminement défectueux des efforts (par exemple dans les systèmes de stabilisation).
- 6.2.2 Les soudures peuvent présenter des défauts externes (par exemple sous-épaisseur, sur-épaisseur, écarts d'alignement, asymétrie des cordons d'angle) et/ou internes (par exemple manque de pénétration, manque de liaison, fissures, inclusions, pores) qui peuvent être identifiés comme suit :
- les défauts externes sont en général relevés par un contrôle visuel
  - les défauts internes sont en général relevés par des méthodes d'auscultation spécifiques. Les méthodes ainsi que l'étendue de l'auscultation dépendent du degré de sollicitation de la soudure et des conséquences en cas de défaillance.
- 6.2.3 Dans le cas d'un examen détaillé, pour le relevé de l'état des soudures, il faut au préalable définir la classe de qualité selon la norme SIA 263, ceci afin de fixer les critères d'acceptation des défauts.
- 6.2.4 Si les vibrations peuvent conduire à un endommagement par fatigue, alors elles doivent être évaluées de manière quantitative.

## 6.3 Détériorations

6.3.1 Les détériorations spécifiques aux structures en acier peuvent être, entre autres :

- perte de matière par corrosion ou par usure
- gonflements entre plaques ou éléments
- fissures, en particulier aux brusques changements de géométrie (concentration de contraintes), dans les assemblages et les moyens d'assemblages
- fissures sous déplacements cycliques imposés
- déformations imprévues dans les assemblages, desserrement d'écrous, glissement dans les assemblages précontraints
- rupture des moyens d'assemblage
- déformations permanentes d'éléments (instabilité, plastification, etc.), en particulier après un choc, un séisme ou un incendie
- changements défavorables, détérioration des propriétés mécaniques de l'acier suite à un incendie
- fissuration après un choc ou un séisme, même en l'absence de déformations permanentes
- détérioration du système de revêtement (protection contre la corrosion, protection contre le feu).

6.3.2 La taille d'une fissure dans un élément ou assemblage est relevée au minimum par une mesure de sa longueur en surface.

6.3.3 Les fissures peuvent être détectées et mesurées (longueur et/ou profondeur) à l'aide des méthodes de contrôle MT, UT ou PT selon la norme SIA 263/1. La préférence devrait aller aux méthodes de contrôle MT et UT. En cas d'utilisation de la méthode de contrôle PT, un enlèvement préalable de la protection contre la corrosion est nécessaire. Durant cette opération, il faut faire attention à ne pas refermer les fissures en surface.

6.3.4 Dans le cas d'aciers patinables (à résistance à la corrosion améliorée), on peut juger de l'uniformité de la perte de matière en observant la patine et son développement. En cas de corrosion ou de développement non-uniforme de la patine, les endroits ayant perdu le plus de matière sont sélectionnés et les pertes sont relevées en mesurant l'épaisseur des tôles sur un échantillon représentatif en ces différents endroits.

6.3.5 Pour les systèmes de revêtement, l'évaluation de la détérioration s'effectue selon la SN ISO 4628.



## 7 INTERVENTIONS DE MAINTENANCE

### 7.1 Généralités

#### 7.1.1 Surveillance

La surveillance est principalement basée sur une observation visuelle de la structure. Une attention particulière doit être portée sur les défauts selon le chiffre 6.2 et les signes de détérioration selon le chiffre 6.3.

#### 7.1.2 Remise en état et modification

7.1.2.1 Si la structure comporte des éléments ou des assemblages inaccessibles sans mesures particulières et dont la rupture aurait des conséquences importantes, il faut y remédier en particulier par au moins l'une des actions suivantes :

- une surveillance renforcée de la structure ou partie de la structure concernée à titre de mesure de sécurité supplémentaire
- en rendant le détail accessible pour la surveillance
- en améliorant la robustesse de la structure
- en renforçant ou remplaçant des éléments de la structure.

7.1.2.2 Lors de la réalisation d'assemblages sur des aciers de construction anciens, les assemblages boulonnés seront préférés aux assemblages soudés.

7.1.2.3 L'aptitude au soudage des aciers de construction anciens est restreinte par la présence d'inclusions, d'impuretés, par une teneur en carbone-équivalent trop élevée ou une ténacité insuffisante. Par conséquent, le soudage des aciers de construction anciens est en général à éviter, à l'exception de l'acier doux. Dans le cas de structures soumises à la fatigue, le soudage est interdit.

7.1.2.4 Les travaux de soudage doivent être exécutés conformément à un descriptif d'un mode opératoire de soudage (DMOS). La qualification du mode opératoire de soudage (QMOS) s'effectue selon les indications de la norme SIA 263/1.

### 7.2 Assemblages à rivets

#### 7.2.1 Surveillance et entretien

7.2.1.1 Des indications de rouille entre la tête du rivet et la tôle ou entre les tôles rivetées sont des signes de défauts, signe que les rivets ont perdu leur force de précontrainte et par conséquent la force de frottement qu'elle induisait.

7.2.1.2 Une auscultation du rivet afin de vérifier s'il est lâche doit être effectuée en évitant si possible d'abimer inutilement la protection contre la corrosion ; on évitera de frapper les rivets.

#### 7.2.2 Remise en état et modification

7.2.2.1 Les rivets défectueux se remplacent normalement par des boulons à haute résistance précontraints. Lors de la mise en précontrainte, si d'autres rivets se desserrent, ils seront également remplacés.

7.2.2.2 Les assemblages hybrides entre rivets et soudures doivent en principe être évités à cause de leurs comportements effectifs différents.

## 7.3 Assemblages à boulons

### 7.3.1 Surveillance et entretien

La surveillance des assemblages à boulons est basée sur une observation visuelle. En cas de suspicion de desserrement de boulon, il faut procéder à des contrôles de serrage sur un échantillonnage représentatif de boulons.

### 7.3.2 Remise en état et modification

7.3.2.1 En cas de desserrement des boulons, les boulons de charpente métallique peuvent être réutilisés et doivent être resserrés. Les boulons à haute résistance précontraints doivent par contre être remplacés par des boulons équivalents neufs et précontraints.

7.3.2.2 Afin d'éviter leur desserrage sous sollicitations dynamiques, les boulons à haute résistance et les boulons à haute résistance ajustés doivent être précontraints. La précontrainte assure également le contact régulier des pièces pour limiter les détériorations dues à l'infiltration de l'humidité.

## 7.4 Assemblages soudés

### 7.4.1 Surveillance et entretien

La surveillance des assemblages soudés est basée sur une observation visuelle, cependant il n'existe pas de méthode d'entretien pour les soudures ; en cas de détérioration on doit toujours effectuer une remise en état selon le chiffre 7.4.2.

### 7.4.2 Remise en état et modification

7.4.2.1 En cas de travaux de soudage, on doit tenir compte de l'aptitude au soudage du matériau et des chiffres 7.1.2.3 et 7.1.2.4.

7.4.2.2 La remise en état de fissures ne doit en principe pas être réalisée par soudure. Avant une intervention, il est nécessaire d'étudier la cause de la fissuration et prendre ensuite les mesures adaptées à la cause.

7.4.2.3 En cas de soudage sur des éléments sous sollicitations, la séquence de soudage devra être étudiée afin de limiter l'échauffement de l'acier autour de la soudure, valeur indicative 120 °C. Ceci doit permettre d'éviter de diminuer le module d'élasticité et la résistance de l'acier pendant l'intervention tout en limitant le bridage de la soudure. Le soudage sur des éléments sous sollicitations dynamiques est interdit.

## 7.5 Détails soumis à la fatigue

### 7.5.1 Surveillance et entretien

7.5.1.1 Pour les structures soumises à la fatigue, on portera la recherche des fissures de fatigue en priorité sur les changements brusques de géométrie dans les éléments et sur les soudures. Pour les assemblages, voir chiffres 7.2.1, 7.3.1 et 7.4.1.

7.5.1.2 En cas de fissure avérée ou suspectée dans une structure, il faut introduire un intervalle d'inspection intermédiaire au sens du chiffre 5.5.4. Lorsque les fissures s'orientent perpendiculairement à la direction des contraintes principales de traction, alors une intervention de maintenance est absolument nécessaire.

- 7.5.1.3 Pour les détails de fatigue qui correspondent au chiffre 7.1.2.1, l'action préférée est de rendre le détail accessible pour la surveillance. Si cela n'est pas possible, si une surveillance renforcée de l'ensemble de la structure est faite, alors le facteur de résistance à la fatigue actualisé peut être réduit à  $\gamma_{Mf,act} = 1,25$ .

## 7.5.2 Remise en état et modification

- 7.5.2.1 Lorsque des fissures de fatigue ont été détectées, une intervention de maintenance judicieuse peut être :
- de percer des trous  $d_0 = 20$  mm au minimum aux extrémités des fissures
  - d'ajouter des couvre-joints boulonnés de renforcement avec boulons précontraints.
- 7.5.2.2 En cas de remplacement de rivets endommagés, dans un élément soumis à des sollicitations de fatigue, on les remplacera, après alésage, par des boulons à haute résistance de la classe de résistance 10.9, ajustés et précontraints.
- 7.5.2.3 Le renforcement ou la modification d'un assemblage réalisé avec des aciers anciens et soumis à la fatigue doit être spécifiquement étudié. On tiendra compte de l'article 7.1.2.3.

## 7.6 Protection contre la corrosion

### 7.6.1 Surveillance et entretien

- 7.6.1.1 La protection contre la corrosion sera entretenue durant les inspections avec l'objectif de repousser le plus possible le moment d'un renouvellement de cette protection.
- 7.6.1.2 L'entretien se définit comme le rétablissement du système de protection contre la corrosion aux zones défectueuses peu étendues.
- 7.6.1.3 La préparation des surfaces aux zones défectueuses sera effectuée à la main ou à l'aide d'outils mécaniques qui permettent de rétablir une adhérence suffisante selon la norme ISO 8504-3.

### 7.6.2 Remise en état et renouvellement

- 7.6.2.1 Le choix du procédé et des produits pour la remise en état de la protection contre la corrosion doit être étudié sur la base des caractéristiques du revêtement existant afin d'assurer la compatibilité avec le nouveau revêtement et l'adhérence de celui-ci.
- 7.6.2.2 En raison de l'épaisseur totale de la protection anticorrosion et de la possible fragilisation de la couche de fond et des couches intermédiaires existantes, le nombre de remises en état successives de la couche de finition aux mêmes endroits doit être limité.
- 7.6.2.3 Un renouvellement est nécessaire lorsque :
- la détérioration de la protection contre la corrosion et la proportion des surfaces rouillées sont très importantes, l'évaluation de la détérioration étant réalisée selon la SN ISO 4628,
  - l'efficacité de la protection contre la corrosion est insuffisante,
  - la couche de fond n'adhère plus.
- 7.6.2.4 Lors du renouvellement, la protection contre la corrosion existante doit être entièrement enlevée. La préparation des surfaces s'effectue en général à l'aide d'un sablage respectant un mode opératoire établi selon la norme ISO 8504-2.
- 7.6.2.5 Dans le cadre d'une remise en état ou d'un renouvellement, les interstices qui ne peuvent pas être sablés doivent être nettoyés, puis colmatés afin de les rendre étanches.

## ANNEXE A DÉNOMINATION DE LA FONTE ET DES ACIERS

Tableau 12: Dénomination de la fonte et des aciers

<p>Fonte (de fer)  <i>Gusseisen</i>  <i>ghisa</i>  <i>cast iron</i></p>		<p>Alliage à base de fer, dont la teneur en carbone est supérieure à 2% et qui contient également entre 1 et 4% d'autres éléments. Matériau de base obtenu directement par traitement du minerai dans un haut fourneau, puis affiné en éliminant une partie du carbone et des autres éléments pour rendre le matériau façonnable. Utilisé pour faire des pièces moulées car il possède un point de fusion plus bas que le fer. Jusqu'aux environs de 1900, sous forme de fonte à graphite lamellaire, non soudable, fragile, très dur. Après 1900, sous forme graphite sphérique.</p>
<p>Acier de construction ancien  <i>Alter Baustahl</i>  <i>acciaio da costruzione obsoleto</i>  <i>old structural steel</i></p>	<p>Fer puddlé  <i>Schweisseisen,</i>  <i>Puddeleisen</i>  <i>ferro puddellato</i>  <i>wrought iron,</i>  <i>puddle iron</i></p>	<p>Alliage de fer forgeable, peu trempable, peu soudable (QMOS nécessaire), obtenu à l'état pâteux à partir de la fonte par un procédé d'affinage par brassage appelé «puddlage». Production et utilisation dans la construction durant la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle. Teneur en carbone de 0,1 à 0,5%, anisotrope dans le sens de l'épaisseur avec des couches de fer pur et des inclusions de scories, avec de bonnes propriétés mécaniques uniquement dans le sens longitudinal. Parfois appelé improprement en allemand Schweisstahl ou en anglais wrought steel.</p>
	<p>Fer homogène  <i>Flusseisen</i>  <i>ferro omogeneo</i>  <i>mild rimmed iron</i></p>	<p>Alliage de fer forgeable, pas trempable, obtenu à l'état liquide sous forme de lingots. Dénomination selon la méthode de fabrication de Bessemer, Thomas ou Martin. Production et utilisation dans la construction entre 1890 et 1900 (Bessemer), et de 1900 à 1940 (Bessemer, Thomas, Martin). Teneur en carbone entre 0,05 et 0,25%.</p>
	<p>Acier doux  <i>Flussstahl</i>  <i>acciaio dolce</i>  <i>mild steel</i></p>	<p>Alliage de fer semblable au fer homogène, mais beaucoup plus trempable. Teneur en carbone comprise entre 0,25 et 1,6%. Utilisation à partir d'environ 1925.</p>
<p>Acier de construction récent<sup>1)</sup>  <i>Neuer Baustahl</i>  <i>acciaio da costruzione attuale</i>  <i>modern structural steel</i></p>		<p>Alliage de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,008% à environ 1,6%, mais en tous cas moins de 2%). Dans le cadre de cette norme, on parle d'acier de construction récent s'il a été produit à partir de 1956, car l'année 1956 correspond à la publication d'une nouvelle série complète de normes SIA. De tels aciers ont toutefois déjà été produits dans la période 1940–1950. Ces aciers peuvent être produits soit à partir de minerai, soit à partir de ferraille (filère électrique). Leurs propriétés sont données dans la norme SIA 263.</p>
<p><sup>1)</sup> par opposition à acier de construction ancien</p>		

## ANNEXE B CATÉGORIE DE DÉTAILS DE CONSTRUCTION RIVETÉE EN FATIGUE

Les courbes de résistance à la fatigue sont données à la figure 5 pour les détails de construction rivetés du tableau 13. Ces courbes de résistance complètent celles données dans la norme SIA 263.

Figure 5: Résistance à la fatigue selon la catégorie de détails de construction rivetés

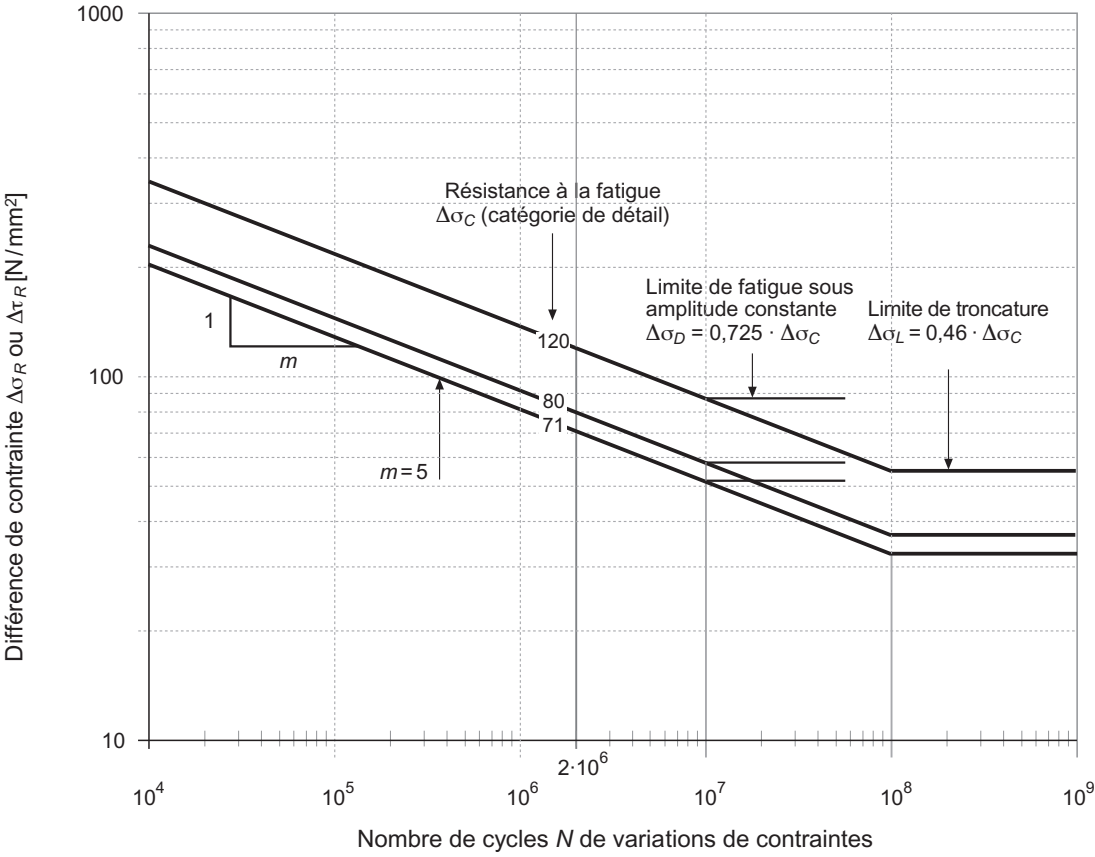
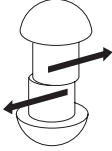
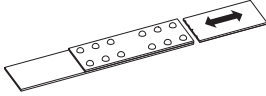
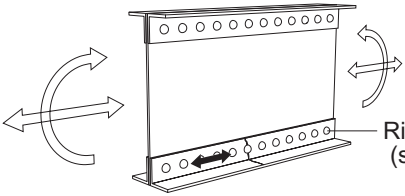
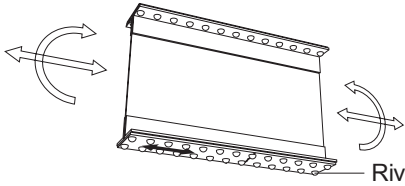
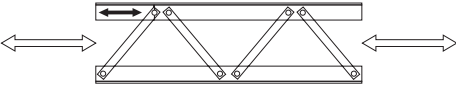
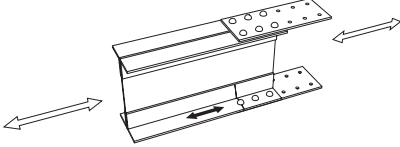
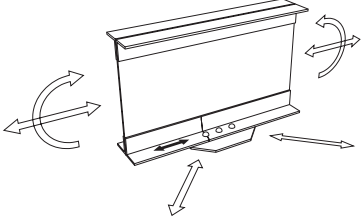
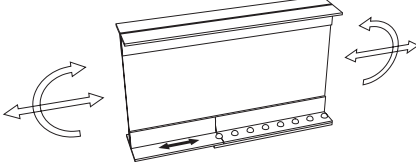


Tableau 13: Détails de construction rivetés

Catégorie de détail [N/mm <sup>2</sup> ]	Détail de construction	Description
$\Delta\tau_c = 120$	 <b>1</b>	Rivets dans des assemblages à une ou plusieurs plaques, sollicités en cisaillement.
$\Delta\sigma_c = 80$	 <b>2</b>	Couvre-joints symétriques.
$\Delta\sigma_c = 80$	 <b>3</b> Rivure double (symétrique)	Rivures entre cornière de la semelle et l'âme d'une poutre rivetée sollicitée en flexion. $\Delta\sigma_{E2}$ près des rivets dans l'âme.
$\Delta\sigma_c = 80$	 <b>4</b> Rivure simple	Rivures entre cornière de la semelle et des plaques de renfort. $\Delta\sigma_{E2}$ près des rivets dans la semelle.
$\Delta\sigma_c = 80$	 <b>5</b>	Barre à treillis ou poutre étrésoignée sollicitée en traction ou compression.
$\Delta\sigma_c = 71$	 <b>6</b>	Couvre-joint non-symétrique.
$\Delta\sigma_c = 71$	 <b>7</b>	Connexion d'un contreventement à la semelle en traction d'une poutre en flexion.
$\Delta\sigma_c = 71$	 <b>8</b>	A l'extrémité d'une plaque de renfort.

---

Abréviations des organisations représentées dans la Commission SIA 263

CFF	Chemins de Fer Fédéraux Suisses
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH Zürich	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
SZS	Centre suisse de la construction métallique

---

---

**Direction du projet**  
**Maintenance des structures porteuses**

Paul Lüchinger, dr ing. dipl. EPF, Zurich (présidence)  
 Eugen Brühwiler, prof. dr ing. dipl. EPF, Lausanne  
 Thomas P. Lang, ing. dipl. EPF, Berne  
 Thomas Vogel, prof. ing. dipl. EPF, Zurich

**Groupe de travail SIA 269/3**  
**Maintenance des structures porteuses –**  
**Structures en acier**

Alain Nussbaumer, prof. dr ing. dipl. EPF, Lausanne (présidence)  
 Pierre Bays, ing. dipl. EPF, Montreux  
 André Flückiger, ing. dipl. EPF, Echallens  
 Senta C. Haldimann-Sturm, dr ing. dipl. EPF, Berne  
 Jean-Jacques Reber, ing. dipl. EPF, Lausanne  
 Tamar Sommerstein, ing. dipl. EPF, Lausanne  
 Michel Thomann, dr ing. dipl. EPF, Lausanne

---

**Commission SIA 263 « Construction en acier »**

<b>Président</b>	Alain Nussbaumer, prof. dr ing. dipl. EPF, Lausanne	EPFL
<b>Vice-prés.</b>	Hans Tschamper, dr ing. dipl. EPF, Zurich	Bureau d'études
<b>Membres</b>	Ruedi Aepli, ing. dipl. EPF, Gossau/SG	Entreprise
	Pierre Bays, ing. dipl. EPF, Montreux	Bureau d'études
	Mario Fontana, prof. dr ing. dipl. EPF, Zurich	ETH Zürich
	André Flückiger, ing. dipl. EPF, Yverdon	Haute école spécialisée
	Christoph Gemperle, ing. dipl. EPF, Wil	Bureau d'études
	Urs Kern, ing. dipl. EPF, Frauenfeld	Entreprise
	Jean-Jacques Reber, ing. dipl. EPF, Lausanne	CFF
	Werner Rinderknecht, ing. dipl. EPF, Lucerne	Haute école spécialisée
	Stephan Zingg, ing. dipl. EPF, Zurich	SZS

---

**Adoption et validité**

La Commission centrale des normes et règlements de la SIA a adopté la présente norme SIA 269/3 le 23 novembre 2010.  
 Elle est valable à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2011.

---

 Copyright © 2011 by SIA Zurich

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie intégrale ou partielle (photocopie, microcopie CD-ROM, etc.) d'enregistrement sur ordinateur et de traduction sont réservés.