ICS: 91.040.01 ; 91.080.10

norme belge enregistrée

NBN EN 1993-1-4

2e éd., mai 2007

Indice de classement: B 51

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-4: Règles générales - Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables

Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvast staal

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels

Autorisation de publication: 19 décembre 2006

La présente norme européenne EN 1993-1-4:2006 a le statut d'une norme belge.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français).

La présente norme européenne EN 1993-1-4:2006 a le statut d'une norme belge. La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Cette norme européenne est diffusée par le NBN dans les délais imposés par le CEN. Cette norme ne peut être utilisée en Belgique qu'en combinaison avec son Annexe Nationale (ANB) qui fixe principalement la valeur des paramètres à déterminer au niveau national.

standards for .be

Bureau de Normalisation - Avenue de la Brabançonne 29 - 1000 Bruxelles - Belgique
Tél: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: info@nbn.be - NBN Online: www.nbn.be
Banque 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOT BEB1 TVA: BE 0880.857.592

© NBN 2007

Prix: groupe 18

ICS: 91.040.01 ; 91.080.10

Geregistreerde Belgische norm

NBN EN 1993-1-4

2e uitg., mei 2007

Normklasse: B 51

Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvast staal

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-4: Règles générales - Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels

Toelating tot publicatie: 19 december 2006

Deze Europese norm EN 1993-1-4:2006 heeft de status van een Belgische norm.

Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels, Frans).

Deze Europese norm EN 1993-1-4:2006 heeft de status van een Belgische norm. Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels, Frans). Deze Europese norm is door het NBN verspreid binnen de door de CEN opgelegde termijnen. Deze norm mag in België slechts samen met haar Nationale Bijlage (ANB) worden toegepast. Deze laatste legt hoofdzakelijk de waarden van de parameters vast die op nationaal vlak te bepalen zijn.

standards for .be

Bureau voor Normalisatie Brabançonnelaan 29 B-1000 Brussel België
Tel: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: info@nbn.be - NBN Online: www.nbn.be
Bank 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOT BEB1 BTW: BE 0880.857.592

© NBN 2007

Prijsgroep: 18

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

EN 1993-1-4

Octobre 2006

ICS 91.040.01; 91.080.10

Remplace ENV 1993-1-4:1996

Version Française

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-4: Règles générales - Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln - Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostender Stählen

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 9 janvier 2006.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Centre de Gestion: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 2006 CEN Tous droits d'exploitation sous quelque forme et de quelque manière que ce soit réservés dans le monde entier aux membres nationaux du CEN.

Réf. n° EN 1993-1-4:2006 F

Sommaire

Page

Avant-propos 3

1 Généralités 4
1.1 Domaine d'application 4
1.2 Références normatives 4
1.3 Hypothèses 5
1.4 Distinction entre principes et règles d'application 5
1.5 Définitions 5
1.6 Symboles 5

2 Matériaux 6
2.1 Aciers inoxydables de construction 6
2.2 Boulons 9
2.3 Produits d'apport de soudage 9

3 Durabilité 10

4 Etats-limites de service 10
4.1 Généralités 10
4.2 Détermination des flèches 10

5 Etats-limites ultimes 12
5.1 Généralités 12
5.2 Classification des sections transversales 13
5.3 Résistance des sections transversales 19
5.4 Résistance des barres aux instabilités 19
5.5 Barres uniformes soumises à la flexion et à la compression axiale 21
5.6 Résistance au cisaillement 23
5.7 Raidisseurs d'âme transversaux 23

6 Calcul des assemblages 24
6.1 Généralités 24
6.2 Assemblages boulonnés 24
6.3 Calcul des soudures 25

7 Dimensionnement assisté par des essais 25

8 Fatigue 25

9 Résistance au feu 25

Annexe A (informative) **Durabilité** 26
A.1 Introduction 26
A.2 Types de corrosion 27
A.3 Niveaux de risque 29
A.4 Choix des matériaux 30
A.5 Conception en vue de la maîtrise de la corrosion 33
A.6 Assemblages 35

Annexe B (informative) **Acier inoxydable écroui** 38
B.1 Généralités 38
B.2 Ecrouissage par laminage à froid 38
B.3 Ecrouissage dû à la fabrication 38

Annexe C (informative) **Modélisation du comportement du matériau** 39
C.1 Généralités 39
C.2 Propriétés des matériaux 39

Avant-propos

La présente Norme Européenne EN 1993-1-4, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — — Partie 1-4 : Règles générales - Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 250 “Eurocodes structuraux”, dont le secrétariat est tenu par le BSI. Le CEN/TC250 est responsable de l’ensemble des Eurocodes structuraux.

Cette Norme Européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en avril 2007 (DOP), et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en mars 2010 (DOW).

Cet Eurocode remplace l’ENV 1993-1-4.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

Annexe Nationale pour l'EN 1993-1-4

La présente norme donne des procédures, des valeurs de calcul et des recommandations pour lesquelles des Notes indiquent les cas où des choix nationaux peuvent devoir être faits. Par conséquent, il convient de doter la Norme Nationale transposant l'EN 1993-1-4, d'une Annexe Nationale contenant tous les Paramètres Déterminés au niveau National (PDN), à utiliser pour le calcul des structures en acier dans le pays concerné.

Un choix national est autorisé dans l'EN 1993-1-4 aux paragraphes suivants :

- 2.1.4(2)
- 2.1.5(1)
- 5.1(2)
- 5.5(1)
- 5.6(2)
- 6.1(2)
- 6.2(3)

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

(1) La présente partie 1.4 de l'EN 1993 fixe des dispositions supplémentaires pour le calcul de bâtiments et d'ouvrages de génie civil qui étendent et modifient l'application des EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 et EN 1993-1-8 aux aciers inoxydables austénitiques, austéno-ferritiques et ferritiques.

NOTE 1 Des informations sur la durabilité des aciers inoxydables sont données dans l'Annexe A.

NOTE 2 L'exécution de structures en acier inoxydable est traitée dans l'EN 1090.

NOTE 3 Des conseils concernant les traitements spéciaux, y compris les traitements thermiques, sont données dans l'EN 10088.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions référencées ci après, qui constituent des dispositions applicables avec la présente norme européenne. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent pas. Les parties prenantes dont les accords sont fondés sur la présente norme européenne sont toutefois invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif auquel il est fait référence s'applique.

EN 1990 *Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures ;*

EN 508-3 *Produits de couverture en tôle métallique – Spécification pour les plaques de couverture en tôle d'acier, d'aluminium ou d'acier inoxydable – Partie 3 : acier inoxydable ;*

EN 1090-2 *Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : Exigences techniques pour l'exécution des structures en acier ;*

EN 1993-1-1 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.*

EN 1993-1-2 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-2 : Règles générales — Calcul du comportement au feu.*

EN 1993-1-3 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-3 : Règles générales — Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid.*

EN 1993-1-5 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-5 : Plaques générales.*

EN 1993-1-6 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-6 : Résistance et stabilité des structures en coque.*

EN 1993-1-8 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-8 : Calcul des assemblages.*

EN 1993-1-9 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-9 : Fatigue.*

EN 1993-1-10 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-10 : Choix des qualités d'acier.*

EN 1993-1-11 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-11 : Règles générales - Emploi des câbles de résistance élevée.*

EN 1993-1-12 *Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-12 : Règles additionnelles pour l'utilisation de l'EN 1993 jusqu'à la nuance d'acier S 700.*

EN ISO 3506-1 *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion – Partie 1 : Vis et goujons* ;

EN ISO 3506-2 *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion – Partie 2 : Écrous* ;

EN ISO 3506-3 *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion – Partie 3 : vis sans tête et éléments de fixation similaires non soumis à des contraintes de traction* ;

EN ISO 7089 *Rondelles plates – Série normale – Grade A*

EN ISO 7090 *Rondelles plates, chanfreinées– Série normale – Grade A*

EN ISO 9445 *Feuillards, larges bandes, tôles et feuillards coupés à longueur en acier inoxydable laminés à froid en continu - Tolérances sur les dimensions et la forme* ;

EN 10029 *Tôles en acier laminées à chaud, d'épaisseur égale ou supérieure à 3 mm - Tolérances sur les dimensions, la forme et la masse ;*

EN 10052 *Vocabulaire du traitement thermique des produits ferreux ;*

EN 10088-1 *Aciers inoxydables – Partie 1 : Liste des aciers inoxydables* ;

EN 10088-2 *Aciers inoxydables – Partie 2 : Conditions techniques de livraison des tôles et bandes en acier de résistance à la corrosion pour usage général* ;

EN 10088-3 *Aciers inoxydables – Partie 3 : Conditions techniques de livraison pour les demi-produits, barres, fils machines, fils tréfilés, profils et produits transformés à froid en acier résistant à la corrosion pour usage général* ;

EN 10162 *Profilés en acier formés à froid – Conditions techniques de livraison – Tolérances dimensionnelles et sur sections transversales* ;

EN 10219-2 *Profils creux de construction soudés, formés à froid en aciers non alliés et à grains fins – Partie 2 : Tolérances, dimensions et caractéristiques de profil* ;

1.3 Hypothèses

(1) En complément des hypothèses générales de l'EN 1990, les hypothèses suivantes s'appliquent:

- la fabrication et le montage sont conformes à l'EN 1090-2.

1.4 Distinction entre principes et règles d'application

(1) Les règles de l'article 1.4 de l'EN 1990 s'appliquent.

1.5 Définitions

(1) Les règles de l'article 1.5 de l'EN 1990 s'appliquent.

(2) Sauf indication contraire, la terminologie relative au traitement des produits ferreux utilisés dans l'EN 10052 s'applique.

1.6 Symboles

En complément de ceux donnés dans les normes EN 1990, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 et EN 1993-1-8, les symboles suivants sont utilisés :

$f_{u,red}$ valeur réduite de la résistance à la traction

$E_{s,ser}$ module sécant d'élasticité utilisé pour les calculs aux états limites de service

$E_{s,1}$ module sécant correspondant à la contrainte dans la semelle tendue

$E_{s,2}$ module sécant correspondant à la contrainte dans la semelle comprimée

$\sigma_{1,Ed,ser}$ contrainte de calcul à l'état limite de service

n coefficient

2 Matériaux

2.1 Aciers inoxydables de construction

2.1.1 Généralités

(1) Les dispositions énoncées dans la présente partie 1.4 s'appliquent uniquement au calcul de structures en aciers inoxydables austénitiques, austéno-ferritiques et ferritiques.

(2) Il convient d'utiliser les valeurs nominales des propriétés de matériaux données en 2.1.2 comme valeurs caractéristiques pour les calculs de structures.

(3) Pour de plus amples informations concernant les propriétés des matériaux, il convient de se reporter à l'EN 10088.

(4) Les règles de calcul énoncées dans la présente partie 1.4 sont applicables pour les matériaux de limite d'élasticité nominale f_y inférieure ou égale à 480 N/mm^2.

NOTE Les règles pour l'utilisation de matériaux écrouis de limite d'élasticité f_y > 480 N/mm^2 sont données dans l'Annexe B informative.

(5) Des valeurs de résistance supérieures d'autres matériaux (voir 2.1.2 et Annexe B) peuvent être prises en compte dans le calcul, à condition que ces valeurs soient justifiées par des essais appropriés conformément à la Section 7.

2.1.2 Propriétés des matériaux en acier inoxydable

(1) Pour les calculs de structures, il convient de tenir compte des valeurs suivantes, indépendamment du sens de laminage :

- **limite d'élasticité f_y :** contrainte nominale (limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %) spécifiée dans le Tableau 2.1 ;

- **résistance ultime à la traction f_u :** résistance nominale ultime à la traction spécifiée dans le Tableau 2.1.

(2) Les exigences de ductilité données en 3.2.2 de l'EN 1993-1-1 s'appliquent également aux aciers inoxydables. Il convient que les aciers conformes à l'une des nuances d'acier énumérées dans le Tableau 2.1 soient reconnus comme satisfaisant à ces exigences.

(3) Pour les profils creux, il convient d'utiliser les valeurs de résistance données dans le Tableau 2.1 selon le type de produit formant le matériau de base (feuillard laminé à froid, feuillard laminé à chaud ou tôle forte laminée à chaud).

(4) Pour les calculs, il peut être utilisé des valeurs de résistance supérieures, obtenues suite à l'écrouissage du matériau de base, à condition que ces valeurs soient justifiées par des essais effectués sur des éprouvettes prélevées sur le profil creux conformément à l'article 7.

(5) Pour les matériaux écrouis, il convient que les essais de caractérisation du matériau, indiqués dans le certificat matière correspondant, requis conformément à l'EN 1090, soient effectués dans un sens permettant d'assurer l'indépendance des valeurs de résistance destinées au calcul, par rapport au sens de laminage ou d'étirage.

Tableau 2.1 — Valeurs nominales de la limite d'élasticité f_y et de la résistance ultime à la traction f_u pour les aciers inoxydables de construction conformes à l'EN 10088 [1)]

Type d'acier inoxydable	Nuance	Type de produit							
		Feuillard laminé à froid		Feuillard laminé à chaud		Tôle laminée à chaud		Barres, ronds et profils	
		Epaisseur nominale t							
		$t \leq 6$ mm		$t \leq 12$ mm		$t \leq 75$ mm		$t \leq 250$ mm	
		f_y	f_u	f_y	f_u	f_y	f_u	f_y	f_u
		N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2
Aciers ferritiques	1.4003	280	450	280	450	250[3)]	450[3)]	260[4)]	450[4)]
	1.4016	260	450	240	450	240[3)]	430[3)]	240[4)]	400[4)]
	1.4512	210	380	210	380	-	-	-	-
Aciers austénitiques	1.4306	220	520	200	520	200	500	180	460
	1.4307							175	450
	1.4541							190	500
	1.4301	230	540	210	520	210	520		
	1.4401	240	530	220	530	220	520	200	500
	1.4404								
	1.4539							230	530
	1.4571		540		540			200	500
	1.4432	240	550	220	550	220	520		
	1.4435								
	1.4311	290	550	270	550	270	550	270	550
	1.4406	300	580	280	580	280	580	280	580
	1.4439	290		270		270			
	1.4529	300	650	300	650	300	650		
	1.4547	320	650	300	650	300	650	300	650
	1.4318	350	650	330	650	330	630	-	-
Aciers austéno-ferritiques	1.4362	420	600	400	600	400	630	400 [2)]	600 [2)]
	1.4462	480	660	460	660	460	640	450	650

1) Les valeurs nominales de f_y et f_u données dans le présent Tableau peuvent être utilisées dans le calcul sans tenir particulièrement compte des effets d'anisotropie ou d'écrouissage par déformation.

2) $t \leq 160$ mm

3) $t \leq 25$ mm

4) $t \leq 100$ mm

2.1.3 Valeurs de calcul des propriétés du matériau

(1) Les valeurs suivantes des propriétés du matériau peuvent être prises pour l'analyse globale et pour la détermination des résistances des éléments et des sections transversales :

- Module d'élasticité, E :

  E = 200 000 N/mm^2 pour les nuances d'acier austénitique et austéno-ferritique données dans le Tableau 2.1 à l'exception des nuances 1.4539, 1.4529 et 1.4547

  E = 195 000 N/mm^2 pour les nuances d'acier austénitique 1.4539, 1.4529 et 1.4547

  E = 220 000 N/mm^2 pour les nuances d'acier ferritique données dans le Tableau 2.1

- Module d'élasticité en cisaillement, G, où $G = \dfrac{E}{2(1+\nu)}$

- Coefficient de Poisson en phase élastique, $\nu = 0{,}3$

Comme alternative, des courbes contrainte-déformation conformes à l'Annexe C peuvent être utilisées pour des matériaux recuits, afin de décrire leur comportement.

(2) Pour le calcul des flèches d'éléments individuels, le module sécant correspondant à la contrainte exercée sur l'élément à l'état limite de service peut être utilisé, voir 4.2(5).

2.1.4 Ténacité à la rupture

(1) Les aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques couverts dans la présente partie 1.4 peuvent être supposés suffisamment tenaces et non susceptibles de rupture fragile à des températures de service jusqu'à –40 °C.

NOTE Les aciers austénitiques peuvent également être utilisés pour des températures inférieures à –40 °C, mais il convient de déterminer les exigences spécifiques pour chaque cas particulier.

NOTE Voir l'Annexe A.5.3 concernant la fragilisation due au contact avec du zinc dans des situations d'incendie.

(2) Les règles énoncées dans l'EN 1993-1-10 donnent des recommandations concernant les aciers inoxydables ferritiques. La température d'essai et les valeurs CVN requises peuvent être déterminées à partir du Tableau 2.1 de l'EN 1993-1-10.

NOTE 1 Les aciers ferritiques ne sont pas classés en sous-nuances.

NOTE 2 L'Annexe Nationale peut fournir des informations complémentaires sur la ténacité à la rupture des aciers inoxydables ferritiques.

2.1.5 Propriétés dans le sens de l'épaisseur

(1) L'EN 1993-1-10 donne des recommandations concernant le choix des propriétés dans le sens de l'épaisseur.

NOTE L'Annexe Nationale peut fournir des informations complémentaires sur le choix des propriétés dans le sens de l'épaisseur.

2.1.6 Tolérances

(1) Pour les profils en acier inoxydables laminés et les profils creux et tôles de construction, il convient d'adopter des tolérances de dimension et de masse, conformes aux dispositions fixées par la norme de produit considérée, à moins que des tolérances plus strictes ne soient spécifiées.

NOTE Pour les informations relatives aux tolérances d'épaisseur de l'acier inoxydable laminé à froid, il convient de se reporter à l'EN ISO 9445 :2006.Pour les tôles, voir l'EN 10029.

(2) Pour les composants soudés, il convient d'appliquer les tolérances données dans l'EN 1090-2.

(3) Pour l'analyse et le calcul des structures, il convient d'utiliser les valeurs nominales des dimensions des éléments, à l'exception de l'épaisseur de calcul des bandes qu'il convient de déterminer selon 3.2.4(3) de l'EN 1993-1-3.

2.2 Boulons

2.2.1 Généralités

(1) Il convient que les boulons et écrous en acier inoxydable soient conformes à l'EN ISO 3506 - 1, 2, 3. Il convient que les rondelles soient en acier inoxydable et conformes à l'EN ISO 7089 ou à l'EN ISO 7090, selon le cas. Il convient également que la résistance à la corrosion des boulons soit équivalente ou supérieure à la résistance à la corrosion du matériau de base des éléments attachés.

(2) Il convient de choisir la limite d'élasticité nominale f_{yb} et la résistance ultime à la traction f_{ub} pour les boulons en acier inoxydable dans le Tableau 2.2.

(3) Dans l'attente de la publication d'une norme européenne spécifique, il convient de vérifier les propriétés caractéristiques au moyen d'un système de contrôle de qualité reconnu, sur des échantillons provenant de chaque lot de fixations.

Tableau 2.2 — Valeurs nominales de f_{yb} et f_{ub} pour les boulons en acier inoxydable

Groupes de matériaux	Classe de propriété selon l' EN ISO 3506	Gamme de dimensions	Limite d'élasticité f_{yb} N/mm^2	Résistance ultime à la traction f_{ub} N/mm^2
Austénitique et austéno-ferritique	50	≤ M 39	210	500
	70	≤ M 24	450	700
	80	≤ M 24	600	800

2.2.2 Boulons précontraints

NOTE Il convient de ne pas utiliser les boulons à haute résistance en acier inoxydable comme boulons précontraints avec résistance spécifique au glissement, à moins que leur aptitude pour cette utilisation particulière ne soit démontrée à partir de résultats d'essais.

2.2.3 Autres types de fixations mécaniques

(1) Les exigences relatives aux autres types de fixations mécaniques sont indiquées dans l'EN 1993-1-3.

2.3 Produits d'apport de soudage

(1) Les exigences générales relatives aux produits d'apport de soudage sont données dans l'EN 1993-1-8.

(2) En sus des exigences spécifiées dans l'EN 1993-1-8, il convient que les électrodes de soudage, associées à un mode opératoire de soudage adapté, soient capables de produire une soudure présentant une résistance à la corrosion adaptée à l'environnement de service.

(3) Les électrodes de soudage peuvent être considérées comme appropriées, si la résistance à la corrosion du métal d'apport et celle du métal soudé obtenu ne sont pas inférieures à celle du métal de base.

NOTE : Dans le cas des assemblages soudés en acier inoxydable, un avis d'expert est recommandé pour le choix du mode opératoire de soudage approprié.

3 Durabilité

(1) Il convient d'appliquer aussi aux aciers inoxydables les exigences concernant la durabilité énoncées à la Section 4 de l'EN 1993-1-1.

(2) Il convient de choisir une nuance appropriée d'acier inoxydable en fonction de la résistance à la corrosion requise pour l'environnement dans lequel les éléments de construction doivent être utilisés.

NOTE L'Annexe A donne des recommandations sur le choix des matériaux pour la résistance à la corrosion.

(3) Pour les exigences d'aspect, il convient également de tenir compte des légères modifications éventuelles de l'état de surface pouvant se produire du fait de dépôts d'impuretés (qui, dans des conditions défavorables, peuvent entraîner l'apparition de crevasses et de micro piqûres en surface). Il convient d'utiliser une nuance d'acier inoxydable suffisamment résistante à la corrosion afin de s'assurer que seule une attaque superficielle puisse se produire éventuellement au cours de la durée de vie théorique du composant.

NOTE : L'aspect de surface caractéristique des tôles laminées à chaud est décrit dans l'EN 10163.

(4) Si nécessaire, il convient de prescrire une procédure de nettoyage appropriée afin de conserver l'état de surface initial.

(5) Dans les conditions d'exposition atmosphérique courantes, les exigences énoncées en (3) peuvent généralement être satisfaites par la plupart des aciers inoxydables. Par contre, il convient de solliciter un avis d'expert si l'acier inoxydable doit être exposé à un environnement renfermant des produits chimiques, y compris les atmosphères associées à certaines fabrications industrielles, les piscines, l'eau salée et les brouillards salins provenant du salage de routes ou similaire.

NOTE L'Annexe A donne des informations supplémentaires sur la conception des ouvrages, en vue de la prévention vis-à-vis du risque de corrosion.

4 Etats-limites de service

4.1 Généralités

(1) Il convient d'appliquer les exigences concernant l'aptitude au service énoncées à la Section 7 de l'EN 1993-1-1 pour les aciers inoxydables.

(2) Il est recommandé d'évaluer les flèches des éléments conformément à 4.2.

4.2 Détermination des flèches

(1) Il convient de prendre en compte les effets du comportement non linéaire en contraintes-déformations des aciers inoxydables, ainsi que la section transversale efficace, dans le calcul des flèches.

NOTE L'Annexe informative C fournit des recommandations concernant la description du comportement non linéaire de matériaux recuits.

(2) Les exigences de base relatives aux états limites de service sont spécifiées en 3.4 de l'EN 1990.

NOTE L'EN 1990 indique les combinaisons d'actions appropriées à utiliser dans les situations suivantes :

- pour le calcul des flèches sous actions permanentes et/ou variables;
- lorsqu'il se révèle nécessaire de prendre en considération les déformations à long terme dues au retrait, à la relaxation ou au fluage ;
- si l'aspect de la structure, le confort de l'utilisateur ou le fonctionnement des machines sont pris en compte.

(3) Dans les sections transversales de Classe 4, la section efficace peut être basée sur les largeurs efficaces des parois comprimées déterminées selon 5.2.3. Comme alternative, une méthode plus précise spécifiée en 4.4(4) de l'EN 1993-1-5 peut être utilisée.

(4) Dans le cas d'éléments soumis à un traînage de cisaillement, la section transversale efficace peut être basée sur les largeurs efficaces déterminées selon 3.2 de l'EN 1993-1-5.

(5) Il convient d'évaluer les flèches à l'aide du module sécant d'élasticité $E_{\mathrm{s,ser}}$ déterminé en tenant compte des contraintes s'exerçant dans l'élément sous l'effet de la combinaison de charges pour l'état limite de service approprié et l'orientation du sens de laminage. Si l'orientation du sens de laminage est inconnue, ou ne peut pas être garantie, il est alors recommandé d'utiliser la valeur applicable au sens longitudinal. Comme alternative, les méthodes aux éléments finis spécifiées dans l'Annexe C de l'EN 1993-1-5 peuvent être utilisées, conjointement à la description du comportement non linéaire des matériaux indiqué à l'Annexe C du présent document.

(6) La valeur du module sécant d'élasticité $E_{\mathrm{s,ser}}$ peut être obtenue à partir de l'équation suivante :

$$E_{\mathrm{s,ser}} = \frac{(E_{\mathrm{s,1}} + E_{\mathrm{s,2}})}{2} \tag{4.1}$$

où :

$E_{\mathrm{s,1}}$ est le module sécant correspondant à la contrainte σ_1 dans la semelle tendue ;

$E_{\mathrm{s,2}}$ est le module sécant correspondant à la contrainte σ_2 dans la semelle comprimée.

(7) Les valeurs de $E_{\mathrm{s,1}}$ et $E_{\mathrm{s,2}}$ pour la contrainte de calcul de service appropriée $\sigma_{i,\mathrm{Ed,ser}}$ et le sens de laminage peuvent être obtenues à l'aide de l'équation :

$$E_{\mathrm{s,i}} = \frac{E}{1 + 0{,}002 \dfrac{E}{\sigma_{\mathrm{i,Ed,ser}}} \left(\dfrac{\sigma_{\mathrm{i,Ed,ser}}}{f_{\mathrm{y}}} \right)^{n}} \tag{4.2}$$

avec :

i = 1 ou 2.

(8) La valeur du coefficient n peut être celle indiquée dans le Tableau 4.1.

NOTE L'Annexe C donne une méthode d'évaluation du coefficient n pour les nuances autres que celles énumérées dans le Tableau 4.1.

(9) Par simplification, la variation de $E_{\mathrm{s,ser}}$ sur la longueur de l'élément peut être négligée et la valeur minimale de $E_{\mathrm{s,ser}}$ pour cet élément (correspondant aux valeurs maximales des contraintes $\sigma_{1,\mathrm{Ed,ser}}$ et $\sigma_{2,\mathrm{Ed,ser}}$ s'exerçant dans l'élément) peut être utilisée sur toute sa longueur.

Tableau 4.1 — Valeurs de n

Nuance d'acier	Coefficient n	
	Sens longitudinal	Sens travers
1.4003	7	11
1.4016	6	14
1.4512	9	16
1.4301 1.4306 1.4307 1.4318 1.4541	6	8
1.4401 1.4404 1.4432 1.4435 1.4539 1.4571	7	9
1.4462 1.4362	5	5

5 Etats-limites ultimes

5.1 Généralités

(1) Il convient d'appliquer les dispositions énoncées aux Sections 5 et 6 de l'EN 1993-1-1 pour les aciers inoxydables, sauf modifications ou remplacements figurant dans les dispositions particulières données dans la présente partie 1.4.

(2) Les coefficients partiels γ_M tels que définis en 2.4.3 de l'EN 1993-1-1 sont appliqués aux diverses valeurs caractéristiques de résistance mentionnées dans la présente section, telles que définies au Tableau 5.1.

Tableau 5.1 — Coefficients partiels

Résistance des sections transversales à une plastification excessive y compris le voilement local	γ_{M0}
Résistance des éléments à l'instabilité, évaluée par vérification des éléments	γ_{M1}
Résistance à la rupture des sections transversales tendues	γ_{M2}
Résistance des boulons, rivets, soudures, axes d'articulation et plaques d'appui	γ_{M2}

NOTE Les valeurs de γ_M peuvent être déterminées dans l'Annexe Nationale. Les valeurs suivantes sont recommandées :

γ_{M0} = 1,1

γ_{M1} = 1,1

γ_{M2} = 1,25

(3) Aucune règle n'est spécifiée pour l'analyse plastique globale.

NOTE Il convient de ne pas utiliser l'analyse plastique globale à moins qu'il n'existe une preuve expérimentale suffisante permettant de s'assurer que les hypothèses prises dans les calculs sont représentatives du comportement réel de la structure. En particulier, il convient de démontrer que les assemblages sont capables de résister à l'augmentation des moments et efforts internes résultant de l'écrouissage par déformation.

(4)P Les assemblages soumis à la fatigue doivent satisfaire également les principes énoncés dans l'EN 1993-1-9.

(5) Lorsque les éléments peuvent être soumis à une déformation significative, il peut être tenu compte du potentiel de résistance supplémentaire permis par les propriétés d'écrouissage de l'acier inoxydable austénitique. Lorsque cet écrouissage accroît les actions auxquelles sont soumis les éléments, il convient que les assemblages soient conçus de manière à reprendre cet accroissement de résistance, notamment dans les cas où le calcul de capacité est requis.

5.2 Classification des sections transversales

5.2.1 Rapports largeur-épaisseur maximum

(1) Les dispositions concernant le dimensionnement par calcul énoncées dans la présente partie 1.4 peuvent être considérées comme s'appliquant aux sections transversales dont les dimensions n'excèdent pas les limites données dans l'EN 1993-1-3, à l'exception du fait qu'il convient que les rapports largeur-épaisseur hors tout *b*/*t* et *h*/*t* tels que définis dans l'EN 1993-1-3 n'excèdent pas 400, voir Figure 5.1.

(2) Dans le cas où une déformation visible des parois planes de la section transversale est inacceptable sous l'effet des charges aux états limites de service, une limite de $b/t \leq 75$ peut être appliquée.

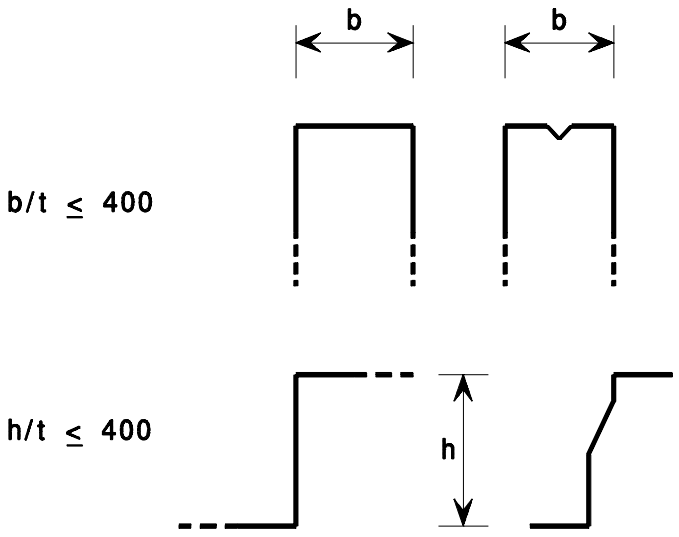


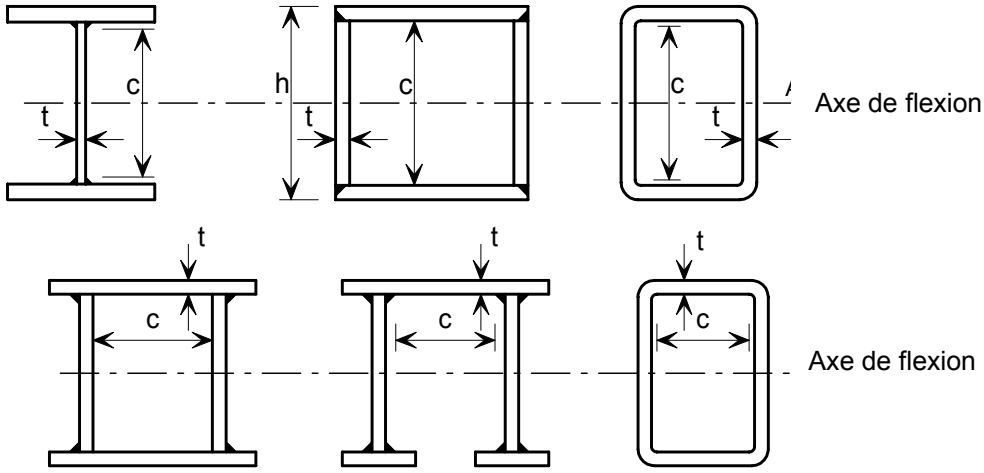
Figure 5.1 — Rapports largeur-épaisseur maximum

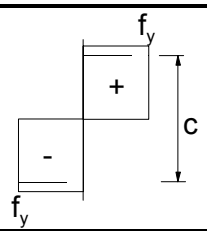
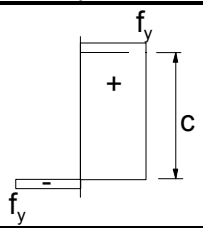
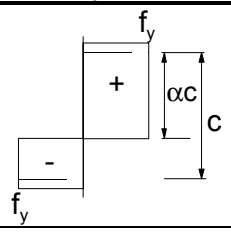
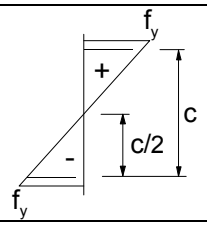
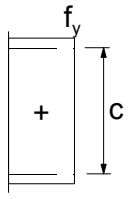
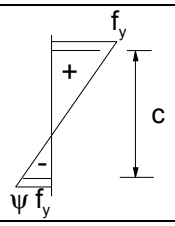
5.2.2 Classification des éléments comprimés

(1) Il convient de classer les parois comprimées des sections transversales en classe 1, 2 ou 3 en fonction des limites spécifiées dans le Tableau 5.2. Il convient de classer les parois comprimées qui ne répondent pas aux critères de la Classe 3 en parois de Classe 4.

Tableau 5.2 (feuille 1 / 3) — Rapports largeur-épaisseur maximum pour éléments comprimés

Parois comprimées internes



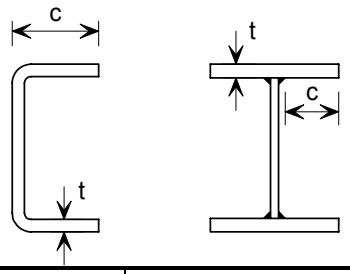
Classe	Elément soumis à la flexion	Elément soumis à la compression	Elément soumis à la flexion et à la compression
Répartition des contraintes dans les parois (compression positive)			
1	$c/t \leq 56{,}0\varepsilon$	$c/t \leq 25{,}7\varepsilon$	$lorsque\ \alpha > 0{,}5:\ c/t \leq \dfrac{308\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $lorsque\ \alpha \leq 0{,}5:\ c/t \leq \dfrac{28\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 58{,}2\varepsilon$	$c/t \leq 26{,}7\varepsilon$	$lorsque\ \alpha > 0{,}5:\ c/t \leq \dfrac{320\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $lorsque\ \alpha \leq 0{,}5:\ c/t \leq \dfrac{29{,}1\varepsilon}{\alpha}$
Répartition des contraintes dans les parois (compression positive)			
3	$c/t \leq 74{,}8\varepsilon$	$c/t \leq 30{,}7\varepsilon$	$c/t \leq 15{,}3\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Pour k_σ voir l'EN 1993-1-5

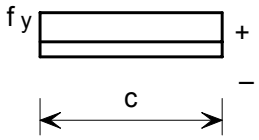
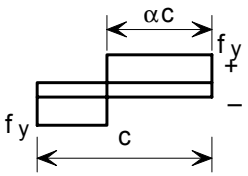
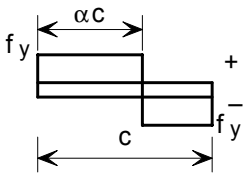
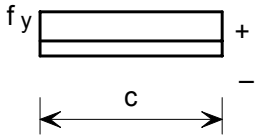
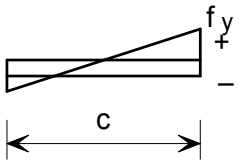
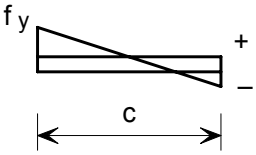
	Nuance	1.4301	1.4401	1.4462
$\varepsilon = \left[\dfrac{235}{f_y}\dfrac{E}{210\,000}\right]^{0,5}$	f_y (N/mm^2)	210	220	460
	ε	1,03	1,01	0,698

NOTE Pour les profils creux, le coefficient *c* peut, par sécurité, être pris égal à (*h*-2*t*) ou (*b*-2*t*).

Tableau 5.2— (feuille 2 / 3) : Rapports largeur-épaisseur maximum pour parois comprimées

Semelles en console



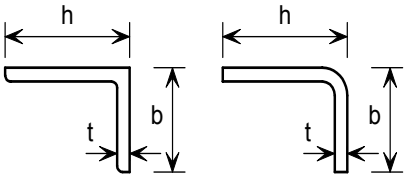
Classe	Type de profil	Elément soumis à la compression	Parois soumises à la flexion et à la compression	
			Bord comprimé	Bord tendu
Répartition des contraintes dans les parois (compression positive)				
1	Formé à froid	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \dfrac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \dfrac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Soudé	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \dfrac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \dfrac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	Formé à froid	$c/t \le 10{,}4\varepsilon$	$c/t \le \dfrac{10{,}4\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \dfrac{10{,}4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Soudé	$c/t \le 9{,}4\varepsilon$	$c/t \le \dfrac{9{,}4\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \dfrac{9{,}4\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Répartition des contraintes dans les parois (compression positive)				
3	Formé à froid	$c/t \le 11{,}9\varepsilon$	$c/t \le 18{,}1\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Pour k_σ voir l'EN 1993-1-5	
	Soudé	$c/t \le 11\varepsilon$	$c/t \le 16{,}7\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Pour k_σ voir l'EN 1993-1-5	

$\varepsilon = \left[\dfrac{235}{f_y}\dfrac{E}{210\,000}\right]^{0,5}$	Nuance	1.4301	1.4401	1.4462
	f_y (N/mm^2)	210	220	460
	ε	1,03	1,01	0,698

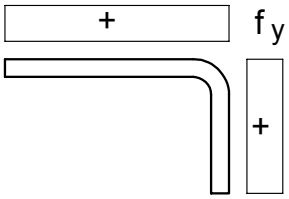
Tableau 5.2 — (feuille 3 / 3) : Rapports largeur-épaisseur maximum pour parois comprimées

Cornières

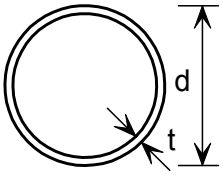
Se référer également à “semelles en console” (voir feuille 2 / 3)



Ne s'applique pas aux cornières en contact continu avec d'autres composants

Classe	Section comprimée
Répartition des contraintes dans la section (compression positive)	
3	$h / t \leq 11{,}9\varepsilon$ $\frac{b+h}{2t} \leq 9{,}1\varepsilon$

Profils tubulaires



Classe	Section fléchie jusqu’à *d* = 240mm CHS	Section comprimée
1	$d / t \leq 50\varepsilon^2$	$d / t \leq 50\varepsilon^2$
2	$d / t \leq 70\varepsilon^2$	$d / t \leq 70\varepsilon^2$
3	$d / t \leq 280\varepsilon^2$ **NOTE** Pour *d* >240 mm et $d / t > 280\varepsilon^2$ voir l'EN 1993-1-6.	$d / t \leq 90\varepsilon^2$ **NOTE** Pour $d / t > 90\varepsilon^2$ voir l'EN 1993-1-6.

$$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y}\frac{E}{210\,000}\right]^{0,5}$$

Nuance	1.4301	1.4401	1.4462
f_y (N/mm^2)	210	220	460
ε	1,03	1,01	0,698

5.2.3 Largeurs efficaces pour les sections transversales de Classe 4

(1) Les largeurs efficaces des sections transversales de Classe 4 peuvent être prises en compte pour les calculs des résistances réduites, en raison des effets du voilement local, en utilisant les paragraphes 4.4(1) à (5) de l'EN 1993-1-5, à l'exception du fait qu'il convient que le coefficient réducteur ρ soit le suivant :

— Parois internes formées à froid ou soudées:

$$\rho = \frac{0{,}772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0{,}125}{\bar{\lambda}_p^2} \qquad \text{avec} \quad \rho \leq 1 \tag{5.1}$$

— Parois en console formées à froid :

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0{,}231}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{avec} \quad \rho \leq 1 \tag{5.2}$$

— Parois en console soudées :

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0{,}242}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \text{avec} \quad \rho \leq 1 \tag{5.3}$$

où $\bar{\lambda}_p$ représente l'élancement de la paroi défini comme suit :

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28{,}4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

où

t est l'épaisseur appropriée

k_σ est le coefficient de flambement correspondant au rapport de contraintes ψ et aux conditions aux limites données dans le Tableau 4.1 ou le Tableau 4.2 de l'EN 1993-1-5 selon le cas

$\bar{b}$ est la largeur appropriée suivante :

$\bar{b}$ = d pour les âmes (sauf sections creuses laminées)

$\bar{b}$ = largeur des parois planes pour les âmes de sections creuses laminées, pouvant, par sécurité, être prise égale à h-2t

$\bar{b}$ = b pour les éléments intérieurs de semelle (sauf sections creuses laminées)

$\bar{b}$ = largeur des parois planes pour semelles de sections creuses laminées, pouvant, par sécurité, être prise égale à b-2t

$\bar{b}$ = c pour les semelles en console

$\bar{b}$ = h pour les cornières à ailes égales et les cornières à ailes inégales

ε est le facteur défini dans le Tableau 5.2.

5.2.4 Effets du traînage de cisaillement

(1) Il convient de prendre en compte les effets du traînage de cisaillement comme spécifié en 3.3 de l'EN 1993-1-5.

5.3 Résistance des sections transversales

5.3.1 Résistance à la traction au niveau des trous de fixation des boulons

(1) Il convient de prendre la résistance à la traction d'une section transversale égale à la plus faible des deux valeurs suivantes : la résistance plastique de la section transversale brute $N_{pl,Rd}$ et la résistance ultime $N_{u,Rd}$ de la section transversale nette.

(2) Il convient de déterminer la résistance plastique de la section transversale brute à l'aide de l'équation :

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} \tag{5.4}$$

(3) Il convient de déterminer la résistance ultime de la section transversale nette à partir de l'équation :

$$N_{u,Rd} = k_r A_{net} f_u / \gamma_{M2} \tag{5.5}$$

avec :

k_r = $(1 + 3r(d_o/u - 0{,}3))$ avec $k_r \leq 1$

r = [nombre de boulons au droit de la section transversale] / [nombre total de boulons dans l'assemblage]

$u = 2e_2$ mais $u \leq p_2$

où :

A_{net} représente l'aire de la section transversale nette ;

d_o représente le diamètre nominal du trou de boulon ;

e_2 représente la pince transversale entre le centre du trou de boulon et le bord adjacent, perpendiculairement à la direction de l'effort ;

p_2 représente l'entraxe des trous de boulons, perpendiculairement à la direction de l'effort.

5.4 Résistance des barres aux instabilités

5.4.1 Généralités

(1) Il convient d'appliquer aux barres en acier inoxydable, les dispositions relatives au flambement par flexion, déversement, torsion, flexion-torsion et distorsion, données dans l'EN 1993-1-1 et l'EN 1993-1-3 selon le cas, en tenant compte des modifications ou compléments figurant en 5.4.2 ou 5.4.3.

NOTE Le paragraphe 6.3.2.3 de l'EN 1993-1-1 ne s'applique pas à l'acier inoxydable.

(2) Dans les formules spécifiées dans l'EN 1993-1-1, il convient d'intégrer les sollicitations sous forme de valeurs absolues. χ_{min} est la plus petite des valeurs χ_y, χ_z, χ_T et χ_{TF} où χ_y et χ_z sont calculées sur la base du flambement par flexion, χ_T est calculée sur la base du flambement par torsion et χ_{TF} est calculée sur la base du flambement par torsion-flexion.

5.4.2 Barres uniformes comprimées

5.4.2.1 Courbes de flambement

(1) Pour les barres soumises à une compression axiale, il convient de déterminer la valeur de χ pour l'élancement réduit approprié $\bar{\lambda}$ à partir de la courbe de flambement correspondante, selon :

$$\chi = \frac{1}{\phi + \left[\phi^2 - \bar{\lambda}^2\right]^{0,5}} \leq 1 \qquad (5.6)$$

avec $\phi = 0,5\left(1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0\right) + \bar{\lambda}^2\right)$ (5.7)

où $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}}$ pour les sections transversales de classe 1, 2 et 3 (5.8)

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$ pour les sections transversales de classe 4 (5.9)

α représente le coefficient d'imperfection

N_{cr} représente l'effort normal critique pour le mode de flambement, basé sur les propriétés de la section transversale brute.

$\bar{\lambda}_0$ représente l'élancement limite

(2) Il convient déterminer les valeurs de α et $\bar{\lambda}_0$ correspondant à la courbe de flambement appropriée à partir du Tableau 5.3. Les courbes de flambement indiquées dans le Tableau 5.3 ne s'appliquent pas aux profils creux recuits après fabrication.

(3) Pour un élancement $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$ ou pour $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq \bar{\lambda}_0^2$, les effets du flambement peuvent être négligés et seules les vérifications des sections transversales s'appliquent.

Tableau 5.3 — Valeurs de α et $\bar{\lambda}_0$ pour le flambement par flexion, torsion et flexion-torsion

Mode de flambement	Type d'élément	α	$\bar{\lambda}_0$
Flexion	Profils ouverts formés à froid	0,49	0,40
	Profils creux (soudés et non soudés)	0,49	0,40
	Profils ouverts soudés (axe principal)	0,49	0,20
	Profils ouverts soudés (axe secondaire)	0,76	0,20
Torsion et flexion-torsion	Tous les éléments	0,34	0,20

5.4.3 Barres uniformes soumises à la flexion

5.4.3.1 Courbes de déversement

(1) Pour les barres en flexion de section transversale constante, il convient de déterminer la valeur de χ_{LT} pour l'élancement réduit $\bar{\lambda}_{LT}$ approprié, à partir de l'équation suivante :

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1 \qquad (5.10)$$

où

$$\phi_{LT} = 0{,}5\left(1 + \alpha_{LT}\left(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}4\right) + \bar{\lambda}_{LT}^2\right) \qquad (5.11)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \qquad (5.12)$$

α_{LT} est le coefficient d'imperfection

= 0,34 pour les profils formés à froid et les profils creux (soudés et non soudés)

= 0,76 pour les profils ouverts soudés et les autres profils pour lesquels aucune donnée d'essai n'est disponible

M_{cr} est le moment critique élastique de déversement

(2) Pour $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0{,}4$ ou pour $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0{,}16$, les effets du déversement peuvent être négligés et seules les vérifications des sections transversales s'appliquent.

5.5 Barres uniformes soumises à la flexion et à la compression axiale

(1) Il convient que les éléments soumis à une flexion et à une compression axiale combinées satisfassent les conditions suivantes :

Compression axiale et moment uni-axial autour de l'axe principal

— Equation visant à prévenir tout flambement selon l'axe principal :

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{min}} + k_y\left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed}\, e_{Ny}}{\beta_{W,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}}\right) \leq 1 \qquad (5.13)$$

— Equation visant à prévenir tout flambement et/ou déversement selon l'axe secondaire (pour les éléments soumis à un déversement) :

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{min\,1}} + k_{LT}\left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed}\, e_{Ny}}{M_{b,Rd}}\right) \leq 1 \qquad (5.14)$$

Compression axiale et moment uni-axial autour de l'axe secondaire

— Equation visant à prévenir tout flambement selon l'axe secondaire :

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{(N_{\text{b,Rd}})_{\text{min}}} + k_z \left(\frac{M_{\text{z,Ed}} + N_{\text{Ed}} e_{\text{Nz}}}{\beta_{\text{W,z}} W_{\text{pl,z}} f_{\text{y}} / \gamma_{\text{M1}}} \right) \leq 1 \qquad (5.15)$$

Compression axiale et moments bi-axiaux :

— Il convient que tous les éléments satisfassent l'équation :

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{(N_{\text{b,Rd}})_{\text{min}}} + k_y \left(\frac{M_{\text{y,Ed}} + N_{\text{Ed}} e_{\text{Ny}}}{\beta_{\text{W,y}} W_{\text{pl,y}} f_{\text{y}} / \gamma_{\text{M1}}} \right) + k_z \left(\frac{M_{\text{z,Ed}} + N_{\text{Ed}} e_{\text{Nz}}}{\beta_{\text{W,z}} W_{\text{pl,z}} f_{\text{y}} / \gamma_{\text{M1}}} \right) \leq 1 \qquad (5.16)$$

— Il convient que les éléments soumis à un risque de déversement satisfassent également l'équation :

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{(N_{\text{b,Rd}})_{\text{min1}}} + k_{LT} \left(\frac{M_{\text{y,Ed}} + N_{\text{Ed}} e_{\text{Ny}}}{M_{\text{b,Rd}}} \right) + k_z \left(\frac{M_{\text{z,Ed}} + N_{\text{Ed}} e_{\text{Nz}}}{\beta_{\text{W,z}} W_{\text{pl,z}} f_{\text{y}} / \gamma_{\text{M1}}} \right) \leq 1 \qquad (5.17)$$

Dans les expressions précédentes :

e_{Ny} et e_{Nz} représentent les excentrements par rapport aux axes neutres lorsque la section transversale est soumise à une compression uniforme

N_{Ed}, $M_{\text{y,Ed}}$ et $M_{\text{z,Ed}}$ représentent les valeurs de calcul de l'effort de compression et des moments maximum respectivement selon les axes y-y et z-z sur toute la longueur de l'élément,

$(N_{\text{b,Rd}})_{\text{min}}$ est la plus petite valeur de $N_{\text{b,Rd}}$ pour les quatre modes de flambement suivants : flambement par flexion sur l'axe y, flambement par flexion sur l'axe z, flambement par torsion et flambement par flexion-torsion.

$(N_{\text{b,Rd}})_{\text{min1}}$ est la plus petite valeur de $N_{\text{b,Rd}}$ pour les trois modes de flambement suivants : flambement par flexion sur l'axe z, flambement par torsion et flambement par flexion-torsion

$\beta_{\text{W,y}}$ et $\beta_{\text{W,z}}$ représentent les valeurs de β_{W} déterminées respectivement pour les axes y et z, où

β_{W} = 1,0 pour les sections transversales de classe 1 ou 2

β_{W} = $W_{\text{el}}/W_{\text{pl}}$ pour les sections transversales de classe 3

β_{W} = $W_{\text{eff}}/W_{\text{pl}}$ pour les sections transversales de classe 4

$W_{\text{pl,y}}$ et $W_{\text{pl,z}}$ représentent les modules plastiques respectivement selon les axes y et z

$\text{M}_{\text{b,Rd}}$ est la résistance au déversement

k_{y}, k_{z}, k_{LT} représentent les coefficients d'interaction

NOTE 1 L'Annexe Nationale peut définir les valeurs k_y, k_z, k_{LT}. Les valeurs suivantes sont recommandées :

$$k_y = 1{,}0 + 2\left(\bar{\lambda}_y - 0{,}5\right)\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \qquad \text{avec } 1{,}2 \leq k_y \leq 1{,}2 + 2\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}$$

$$k_y = 1{,}0 + 2\left(\bar{\lambda}_z - 0{,}5\right)\frac{N_{Ed}}{\left(N_{b,Rd}\right)_{\text{min1}}} \qquad \text{avec } 1{,}2 \leq k_y \leq 1{,}2 + 2\frac{N_{Ed}}{\left(N_{b,Rd}\right)_{\text{min1}}}$$

k_{LT} = 1,0

NOTE 2 L'Annexe Nationale peut fournir d'autres formules d'interaction comme formules alternatives aux équations 5.13 à 5.17.

5.6 Résistance au cisaillement

(1) Il convient de prendre la résistance de calcul au cisaillement $V_{c,Rd}$ égale à la plus faible des deux valeurs suivantes :

la résistance au voilement par cisaillement $V_{b,Rd}$ selon 5.2(1) de l'EN 1993-1-5, modifiée par (3) et (4),

et la résistance au cisaillement plastique $V_{pl,Rd}$ selon 6.2.6(2) de l'EN 1993-1-1.

(2) Il convient de vérifier la résistance au voilement par cisaillement des plaques dont le rapport h_w/t est supérieur à $\frac{52}{\eta}\varepsilon$ pour une âme non raidie ou à $\frac{23}{\eta}\varepsilon\sqrt{k_\tau}$ pour une âme raidie,

où h_w est la hauteur d'âme libre entre les semelles, voir Figure 5.1 de l'EN 1993-1-5

ε est défini dans le Tableau 5.2

k_τ est défini en 5.3 de l'EN 1993-1-5

Il convient également que ces plaques comportent des raidisseurs transversaux au droit des appuis.

NOTE L'Annexe Nationale peut définir η. La valeur η = 1,20 est recommandée.

(3) Pour les âmes comportant des raidisseurs transversaux au droit des appuis uniquement et pour les âmes comportant des raidisseurs intermédiaires, transversaux ou longitudinaux, ou les deux à la fois, il convient de déterminer le coefficient χ_w représentant la contribution de l'âme à la résistance au voilement par cisaillement, de la manière suivante :

$$\chi_w = \eta \qquad \text{pour } \bar{\lambda}_w \leq \frac{0,6}{\eta} \qquad (5.18)$$

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{\bar{\lambda}_w} - \frac{0,05}{\bar{\lambda}_w^2} \qquad \text{pour } \bar{\lambda}_w > \frac{0,6}{\eta} \qquad (5.19)$$

où $\bar{\lambda}_w$ est la valeur donnée en 5.3(3) et 5.3(5) de l'EN 1993-1-5.

(4) Si la résistance des semelles n'est pas entièrement utilisée pour la résistance au moment fléchissant, c'est-à-dire $M_{Ed} < M_{f,Rd}$, alors un coefficient χ_f représentant la contribution des semelles peut être prise en compte pour la résistance au voilement par cisaillement.

La valeur χ_f est spécifiée en 5.4(1) de l'EN 1993-1-5 avec la valeur c ci-dessous :

$$c = \left[0,17 + \frac{3,5\, b_f\, t_f^2\, f_{yf}}{t_w\, h_w^2\, f_{yw}}\right] a \quad \text{et} \quad \frac{c}{a} \leq 0,65 \qquad (5.20)$$

5.7 Raidisseurs d'âme transversaux

(1) Les dispositions de 9.3 de l'EN 1993-1-5 s'appliquent avec les compléments spécifiés en (2) et (3).

(2) Il convient de déterminer la résistance au flambement hors du plan $N_{b,Rd}$ du raidisseur sur la base de 5.4.2 en utilisant α = 0,49 et $\bar{\lambda}_0$ = 0,2.

Lorsque les deux extrémités sont fixées latéralement, il convient que la longueur de flambement l du raidisseur soit appropriée aux conditions de maintien, mais non inférieure à 0,75 h_w,. Il est recommandé d'utiliser une valeur de l amplifiée, pour les conditions qui prévoient un maintien latéral réduit. Lorsque l'extrémité chargée du raidisseur présente une découpe, il convient de vérifier la résistance de sa section transversale au droit de ladite extrémité en tenant compte de la surface nette.

(3) Pour la vérification au flambement, il convient que l'aire de la section transversale efficace d'un raidisseur inclut le raidisseur lui-même plus une largeur d'âme de 11 εt_w de part et d'autre du raidisseur. Aux extrémités de l'élément (ou aux ouvertures dans l'âme), il convient de limiter la largeur participante à la valeur minimale entre 11 εt_w et la dimension réellement disponible.

6 Calcul des assemblages

6.1 Généralités

(1) Il convient d'appliquer pour les aciers inoxydables les dispositions énoncées dans l'EN 1993-1-8, sauf modifications ou remplacements figurant dans les dispositions particulières données en 6.2 et 6.3.

NOTE L'Annexe A donne des informations sur la durabilité. L'EN 1090-2 donne des informations sur la fabrication des assemblages.

(2) Il convient que le calcul des assemblages de tôles d'acier inoxydable utilisant des vis auto-taraudeuses soit conforme à l'EN 1993-1-3, à l'exception du fait qu'il convient de déterminer la résistance à l'arrachement par des essais.

NOTE 1 Il convient de déterminer la capacité des vis à forer et à former des filetages dans l'acier inoxydable, au moyen d'essais à défaut d'une expérience suffisante.

NOTE 2 L'Annexe Nationale peut spécifier des méthodes de calcul de la résistance à l'arrachement, basées sur des résultats d'essais, selon la Section 7.

6.2 Assemblages boulonnés

(1) Il convient de calculer la résistance en pression diamétrale en remplaçant f_u par une valeur réduite $f_{u,red}$ donnée par l'équation :

$$f_{u,red} = 0{,}5 f_y + 0{,}6 f_u \qquad \text{avec} \qquad f_{u,red} \leq f_u \tag{6.1}$$

(2) Il convient de vérifier les boulons en acier inoxydable soumis au cisaillement simple et conformes aux classes de propriété 50, 70 et 80 de l'EN ISO 3506 comme des boulons de classes de qualité 4.6, 5.6 et 8.8.

(3) Il convient de déterminer la résistance au cisaillement d'un boulon, $F_{v,Rd}$ à partir de l'équation suivante :

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha \, f_{ub} \, A}{\gamma_{M2}} \tag{6.2}$$

où :

A est l'aire de la section transversale brute du boulon (si le plan de cisaillement est situé dans la partie non filetée du boulon) ; ou l'aire de la section nette du boulon (si le plan de cisaillement est situé dans la partie filetée du boulon) ;

f_{ub} est la résistance ultime à la traction du boulon, voir Tableau 2.2.

NOTE : La valeur de α peut être définie dans l'Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont les suivantes :

- si le plan de cisaillement est situé dans la partie non filetée du boulon, $\alpha = 0{,}6$

- si le plan de cisaillement est situé dans la partie filetée du boulon, $\alpha = 0,5$

6.3 Calcul des soudures

(1) Il convient, pour déterminer la résistance de calcul des cordons de soudures, de prendre la valeur du coefficient de corrélation β_W égal à 1,0 pour toutes les classes de résistance nominale de l'acier inoxydable, à moins que des essais effectués conformément à la Section 7 ne justifient l'utilisation d'une valeur inférieure.

7 Dimensionnement assisté par des essais

(1) Le paragraphe 5.2 et l'Annexe D de l'EN 1990, ainsi que la Section 9 et l'Annexe A de l'EN 1993-1-3 s'appliquent aux aciers inoxydables.

(2) Il convient de fabriquer des prototypes destinés aux essais de la même façon que les composants du produit final, de telle sorte qu'ils reflètent les mêmes niveaux d'écrouissage.

(3) En raison du fait que les nuances d'aciers inoxydables peuvent présenter un caractère anisotrope, il convient de préparer les éprouvettes à partir de la plaque ou de la tôle orientée de la même façon (c'est-à-dire transversalement ou parallèlement au sens de laminage) que celle prévue pour la structure définitive. Si l'orientation définitive est inconnue ou ne peut être garantie, il convient de procéder à des essais pour les deux orientations et d'adopter le résultat le moins favorable.

8 Fatigue

(1) Il convient, pour déterminer la résistance à la fatigue des structures en acier inoxydable, de se reporter à l'EN 1993-1-9.

9 Résistance au feu

(1) Pour le calcul du comportement au feu, il convient d'utiliser les propriétés des matériaux à des températures élevées, données à l'Annexe C de l'EN 1993-1-2.

Annexe A
(informative)

Durabilité

A.1 Introduction

(1) La principale différence entre l'utilisation d'aciers inoxydables et celle d'aciers au carbone est que :

- pour les aciers au carbone, la protection contre les effets de l'environnement, et donc la durée de vie utile, peut être traitée de façon séparée du calcul de la structure ;

- pour les aciers inoxydables, la durée de vie utile n'est pas déterminée par des traitements de protection ultérieurs, mais par le choix initial des matériaux, les calculs et les méthodes de fabrication, ainsi que par leur adéquation aux conditions d'environnement.

(2) Pour opérer un choix d'une nuance d'acier inoxydable appropriée en vue d'une application particulière, ou pour appliquer correctement les recommandations disponibles sur la bonne conception des détails constructifs en vue d'éviter la corrosion, il est important de posséder quelques connaissances des mécanismes de corrosion qui se produisent avec l'acier inoxydable.

(3) Tous les métaux de construction courants engendrent des pellicules d'oxyde superficiel lorsqu'ils sont exposés à l'air sec. L'oxyde qui se forme sur la plupart des aciers au carbone se détruit facilement, et, en présence d'humidité, il ne se reconstitue pas. Ainsi, une réaction chimique peut se produire entre l'acier, l'humidité et l'oxygène pour former de la rouille. Excepté le cas des aciers patinables, cette rouille n'est pas protectrice et n'arrête pas le processus de corrosion.

(4) Un oxyde se forme également sur l'acier inoxydable. Il est riche en chrome, stable, non-poreux et fortement adhérent au métal. Cependant, à la différence de celui qui se forme sur les aciers au carbone, s'il est détruit (par exemple par une éraflure ou une rayure), il est capable de se reconstituer immédiatement en présence d'air ou d'un environnement oxydant. Il est également très résistant aux attaques chimiques. Pour ces raisons, il est désigné par le terme "film passif”. Bien que cette pellicule soit très mince (environ 5×10^{-6} mm), elle confère à l'acier inoxydable des propriétés de résistance à la corrosion élevées, en l’empêchant de réagir avec l'atmosphère.

(5) Le comportement du film passif dépend de la composition de l'acier, de son traitement de surface et de la nature corrosive de l'environnement. La stabilité de ce film s'accroît avec l'augmentation de la teneur en chrome. La plupart des aciers inoxydables qui sont utilisés en construction contiennent environ 18% de chrome et 10% de nickel. Certains aciers inoxydables contiennent également du molybdène afin d'améliorer encore leur résistance à la corrosion.

(6) Ce concept de formation de film passif est important, car tout évènement perturbant la formation de celui-ci, ou causant sa destruction, entraînera également une perte de résistance à la corrosion. La corrosion de l'acier inoxydable survient donc lorsque la couche passive est endommagée et ne peut se reformer.

(7) Les aciers inoxydables sont en général très résistants à la corrosion, et ils se comportent de façon satisfaisante dans la plupart des environnements. La limite de résistance à la corrosion pour un acier inoxydable donné dépend de ses éléments d'alliage, ce qui signifie que chaque nuance réagit différemment lorsqu'elle est exposée à un environnement corrosif. Il est donc nécessaire de sélectionner la nuance d'acier inoxydable la mieux adaptée à une application donnée.

(8) Les raisons potentielles de l’inadaptation d'une nuance particulière d'acier inoxydable aux prévisions relatives à la résistance à la corrosion peuvent être dues :

a) à une évaluation incorrecte de l'environnement, ou une exposition à des conditions imprévues (telle une contamination insoupçonnée par des ions chlorure) ;

b) à l'introduction d'un état non envisagé dans l'évaluation initiale, par la façon dont l'acier inoxydable a été traité ou mis en œuvre.

(9) Bien que les aciers inoxydables puissent être sujets à des colorations ou à des taches (souvent dues à la contamination par de l'acier au carbone), ils sont extrêmement durables dans les bâtiments. Dans les environnements agressifs industriels et marins, les essais n'ont mis en évidence aucune indication de réduction de la résistance du composant, même lorsqu'une légère diminution de poids est intervenue. Cependant, l'apparition de taches de rouille sur les surfaces extérieures peut tout de même être considérée comme un défaut par l'utilisateur. L'expérience montre que les problèmes de corrosion grave apparaissent le plus souvent au cours des deux ou trois premières années de service.

(10) Dans certains environnements agressifs, certaines nuances d'acier inoxydable sont susceptibles de subir une attaque localisée. Six types possibles de corrosion sont décrits en A.2, mais seules les corrosions par piqûres, caverneuses et galvaniques sont susceptibles de se produire dans des bâtiments.

A.2 Types de corrosion

A.2.1 Piqûres

(1) Les piqûres constituent une forme localisée de corrosion qui peut survenir à la suite d'une exposition à des environnements spécifiques, le plus souvent ceux renfermant des ions chlorure. Les piqûres apparaissent parce que les ions chlorure pénètrent le film passif aux emplacements présentant des faiblesses. Ceci donne lieu à la formation d'une pile locale, avec la zone attaquée comme anode et le film passif environnant comme cathode. Etant donné que la surface d'anode est petite et que la surface de cathode est étendue, la densité de courant devient très élevée et provoque par cela même une forte vitesse de corrosion à la surface de l'anode.

(2) Dans la plupart des applications de construction, les piqûres superficielles sont susceptibles d'être limitées et acceptables, car la réduction de section du composant est négligeable. Cependant, les particules issues de la corrosion peuvent tacher les éléments architecturaux. Il convient d'adopter une vigilance accrue vis-à-vis des piqûres pour les installations telles que les conduites, les tuyaux et les structures de rétention de fluides. S'il existe un risque connu, il est recommandé d'adopter une nuance d'acier inoxydable appropriée ; en général, celle-ci présente une teneur en éléments d'alliages plus élevée contenant des ajouts de molybdène.

A.2.2 Corrosion caverneuse

(1) La corrosion caverneuse est une forme localisée d'attaque provoquée par les différentiels de niveaux d'oxygène entre les régions crevassées et exposées. Ceci n'est pas susceptible d'entraîner des désordres, sauf dans les solutions stagnantes où une accumulation de chlorures peut se produire. La gravité de la corrosion caverneuse dépend très largement de la géométrie de la cavité ; plus celle-ci est étroite et profonde, plus grave est la corrosion.

(2) La corrosion caverneuse apparaît typiquement entre les écrous et les rondelles, ou autour du filetage d'une vis ou de la tige d'un boulon. Elle peut également apparaître dans des soudures dont la pénétration est insuffisante, ainsi que sous les dépôts en surface de l'acier. En principe, la corrosion par piqûres et la corrosion caverneuse sont des phénomènes similaires, mais les attaques débutent plus facilement dans une crevasse que sur une surface libre.

A.2.3 Corrosion galvanique

(1) La corrosion galvanique est susceptible de se produire lorsque des métaux différents sont en contact électrique dans un électrolyte quelconque, y compris l'eau de pluie, la condensation, etc. Si un courant électrique circule entre les deux, le métal le moins noble (anode) se corrode plus rapidement que si les métaux n'étaient pas en contact.

(2) La vitesse de corrosion dépend également des étendues relatives des surfaces des métaux en contact, de la température et de la composition de l'électrolyte. En particulier, plus la surface de la cathode est grande par rapport à celle de l'anode, plus rapide est l'attaque. Des rapports de surfaces défavorables apparaissent le plus souvent dans les dispositifs de fixation au niveau des joints.

(3) Il convient d'éviter l'utilisation de boulons en acier au carbone avec les éléments en acier inoxydable, car le rapport de surfaces d'acier inoxydable et d'acier au carbone est élevé, et les boulons sont sujets à corrosion. A l'inverse, la vitesse d'attaque d'un élément en acier au carbone par un boulon en acier inoxydable est beaucoup plus faible. Il est en général utile de se reporter à une expérience antérieure dans des environnements similaires, car des métaux différents peuvent souvent être associés en toute sécurité, sans effets néfastes dans des conditions d'humidité ou de condensation occasionnelles, particulièrement lorsque la conductivité de l'électrolyte est faible.

(4) Il est difficile de prévoir ces effets car la vitesse de corrosion dépend d'un certain nombre de facteurs complexes. L'utilisation de tables de potentiels ignore la présence de pellicules d'oxydes superficiels, les effets des rapports de surfaces, et les différences dans la chimie de l'électrolyte. En fin de compte, une utilisation inconsidérée de ces tables peut entraîner des résultats erronés. Il convient par conséquent de les utiliser avec précaution et uniquement pour l'évaluation initiale.

(5) Les aciers inoxydables austénitiques forment souvent la cathode dans une pile galvanique et ils ne subissent donc pas de corrosion. Ceci n'est pas vrai dans un couple réalisé avec du cuivre, qu'il convient en général d'éviter, sauf dans des conditions favorables. Un contact entre des aciers inoxydables austénitiques et de l'aluminium ou du zinc peut entraîner une certaine corrosion supplémentaire de ces deux derniers métaux. Ce phénomène est en général peu important en termes de structure, mais la poudre blanchâtre qui en résulte peut s'avérer disgracieuse.

(6) La corrosion galvanique peut être évitée en évitant le contact direct de l'eau (par exemple par peinture ou revêtement de l'assemblage) ou, de préférence, en isolant électriquement les métaux entre eux (par exemple en peignant les surfaces de contact des métaux différents). Une isolation autour des assemblages boulonnés peut être réalisée au moyen de joints de caoutchouc ou de plastique non-conducteur, et de rondelles et manchons en Nylon ou en Téflon. Ce système prend du temps à mettre en œuvre sur un chantier. De plus, il n'est généralement pas facile de prévoir le niveau nécessaire de contrôles sur chantier pour vérifier que toutes les rondelles et entretoises ont été correctement installées.

A.2.4 Fissuration par corrosion sous contrainte

(1) L'apparition de fissures par corrosion sous contrainte requiert la présence simultanée de contraintes de traction et de facteurs d'environnement spécifiques qui sont peu susceptibles d'être rencontrés dans des atmosphères de bâtiment normales. Il n'est pas nécessaire que les contraintes soient très élevées par rapport à la limite d'élasticité du matériau. Elles peuvent résulter du chargement ou de contraintes résiduelles provenant des méthodes de fabrication, comme le soudage ou l'écrouissage. Il convient d'accorder une attention toute particulière à l'utilisation des éléments en acier inoxydable présentant de fortes contraintes résiduelles (comme celles dues à l'écrouissage) dans des environnements riches en chlorures comme les piscines ou les structures marines ou maritimes, y compris les plates-formes de haute mer (voir A.4.1(10)).

(2) La probabilité d'apparition de fissuration par corrosion sous contrainte s'accroît avec l'augmentation de la contrainte de traction et de la température. Dans les aciers inoxydables austénitiques, la présence d'une forte teneur en nickel diminue fortement le risque de fissuration par corrosion sous contrainte.

A.2.5 Corrosion générale

(1) La corrosion générale est beaucoup moins grave dans l'acier inoxydable que dans les autres aciers.

(2) Cette forme de corrosion n'est pas un problème pour les nuances d'acier inoxydable couramment utilisées dans les applications de bâtiment normales. Il peut être fait référence aux tableaux figurant dans la documentation des constructeurs ; alternativement, il convient de solliciter l'avis d'un ingénieur spécialiste de la corrosion, en particulier si l'acier inoxydable doit être mis en contact avec des produits chimiques.

A.2.6 Corrosion inter-granulaire et altération due à la soudure

(1) Lorsque les aciers inoxydables austénitiques sont soumis à une chauffe prolongée entre 450 °C et 850 °C, le carbone présent dans l'acier se diffuse jusqu'aux limites du grain et précipite le carbure de chrome. Ce phénomène fait disparaître le chrome de la microstructure et entraîne une teneur moins élevée en chrome à proximité immédiate des limites du grain. Les aciers dans cet état sont appelés aciers “sensibilisés”.

(2) Les limites du grain deviennent sensibles à une attaque préférentielle lors d'une exposition ultérieure dans un environnement corrosif. Ce phénomène est connu sous le terme « d’attaque à la soudure» (ou «zone déstabilisée») lorsqu'il se produit dans la zone thermiquement affectée par le soudage.

(3) Il existe trois méthodes permettant d'éviter la corrosion inter-granulaire :

- utiliser un acier de faible teneur en carbone ;

- utiliser un acier stabilisé avec du titane ou du niobium, car ces éléments se combinent de façon préférentielle avec le carbone pour former des particules stables, réduisant ainsi le risque de formation de carbure de chrome ;

- recourir au traitement thermique, mais cette méthode est rarement utilisée en pratique.

(4) Les nuances présentant une faible teneur en carbone (environ 0,03 %) ne sont pas sensibles à la corrosion inter-granulaire après des procédures de soudage appropriée.

A.3 Niveaux de risque

(1) Le niveau de risque dépend des matériaux, de la configuration et des conditions d'environnement. Trois niveaux de risque peuvent être différenciés, de la façon suivante :

- **Risque de niveau 1 :** Seule une modification de l’aspect de surface (micro-piqûres) survient au cours d’une durée de vie théorique de 50 ans. L'entretien n'est pas nécessaire pour l'intégrité de la structure, mais peut être requis pour préserver l'aspect d’origine. La plupart des aciers inoxydables courants satisfait à cette exigence pour des conditions de corrosion atmosphérique légèrement ou modérément agressives.

- **Risque de niveau 2 :** Risque de corrosion par piqûres ou caverneuses, entraînant une diminution de section ou des pénétrations de corrosion, ce qui peut exiger un contrôle ou une réparation pour des raisons de ruine de structure ou de risque de rétention d’eau au cours d'une durée de vie théorique de 50 ans. Ceci s'applique à des structures exposées à des atmosphères polluées chimiquement par des environnements marins ou industriels lourds, ou à des atmosphères intérieures associées à certains procédés et certaines fabrications.

- **Risque de niveau 3 :** Risque d'attaque localisée par des substances agressives (par exemple des dépôts de chlorures acides, ou du zinc liquide) pouvant entraîner une perte d'intégrité de la structure du fait de l'apparition de mécanismes de fissuration localisée (par exemple fissuration par corrosion sous contrainte ou corrosion inter-granulaire). La durée de vie et la fréquence des contrôles sont déterminées par la combinaison du choix des matériaux et de la sévérité des conditions de service ainsi que de la probabilité de l'exposition à des substances agressives. Ceci s'applique à l'exposition à des environnements spécifiques, tels ceux rencontrés au-dessus de certaines piscines couvertes, où il peut se produire des dépôts agressifs contenant de fortes concentrations de chlorures. Ceci s'applique également s'il existe un risque de feu dans des structures comportant des composants en acier galvanisé ou revêtu de zinc. Dans le cas d'un feu, il convient que le zinc liquide ne puisse pas s'écouler sur l'acier inoxydable.

(2) Bien que des recommandations générales sur le choix des matériaux pour les risques de niveau 1 et de niveau 2 puissent être fournies, il est essentiel de demander l’avis d'un expert dans le cas de risque de niveau 3.

A.4 Choix des matériaux

A.4.1 Généralités

(1) Il convient que le choix de la nuance d'acier inoxydable la mieux adaptée prenne en compte l'environnement de service, le processus de fabrication, la capacité d'usinage du matériau, la finition de surface et l'entretien de la structure. Bien que les aciers inoxydables n'exigent que peu d'entretien, une considération toute particulière doit être accordée à la conception de l'ouvrage en vue de sa résistance à la corrosion lorsque le matériau est choisi pour une utilisation dans un environnement corrosif.

(2) Il convient de considérer les risques suivants, pendant toute la durée de vie de calcul de la structure :

- fissuration par corrosion sous contrainte ;
- corrosion caverneuse ;
- corrosion galvanique ;
- piqûres ;
- tâches ;
- perte d'épaisseur.

(3) La première étape consiste à caractériser l'environnement de service. La corrosivité d'un environnement est régie par un certain nombre de variables, comme l'humidité, la température de l'air, la présence de produits chimiques et leur concentration, la teneur en oxygène, etc. La corrosion ne peut pas survenir en l'absence d'humidité. Par exemple, les bâtiments chauffés et ventilés peuvent être classés comme secs, et il est peu probable qu'une corrosion se produise dans de tels environnements. Le risque de condensation est plus élevé dans les zones comme les cuisines et les buanderies. Les régions côtières sont très corrosives en raison de la présence de fortes concentrations d'ions chlorure dans l'air, et par conséquent, les structures exposées aux embruns sont particulièrement sujettes aux attaques corrosives.

(4) Après avoir caractérisé l'environnement général, il est alors nécessaire de prendre en compte l'effet du voisinage immédiat sur l'acier inoxydable (par exemple les éléments et substances avec lesquels le matériau peut entrer en contact). L'état de surface, la température de l'acier et la contrainte d'exploitation prévue peuvent également être des paramètres importants.

(5) Il convient de considérer les caractéristiques mécaniques et les effets du type de chargement, y compris les charges d'exploitation, charges cycliques, vibrations, charges sismiques, etc. Il peut se révéler nécessaire de quantifier les effets des cycles de chauffage et de refroidissement. La facilité de fabrication, la disponibilité des types de produits, la finition de surface et les coûts nécessitent également une prise en compte dans le choix final.

(6) La meilleure approche de l'évaluation de l'adéquation des nuances s'effectue par référence à l'expérience de l'utilisation d'aciers inoxydables dans des applications et environnements similaires. Pour différents environnements atmosphériques, le Tableau A.1 donne des recommandations pour le choix de nuances adaptées du point de vue de la corrosion.

(7) Outre la classification des aciers inoxydables en fonction des applications atmosphériques, comme dans le Tableau A.1, il est également nécessaire de distinguer entre :

- **les applications esthétiques :** pour lesquelles le souci premier dans le choix du matériau est de préserver l'aspect pendant la durée de vie du produit [dans ce cas il est nécessaire de faire une distinction entre les applications intérieures et extérieures] ;
- **les applications structurales :** pour lesquelles les caractéristiques mécaniques sont considérées en priorité.

(8) Dans le cas d'applications esthétiques, il est nécessaire de prendre en compte non seulement l'atmosphère de l'environnement, mais également la disposition des composants et la possibilité de leur nettoyage naturel par les agents atmosphériques. Si ces composants sont situés sous abri (comme des toitures), ils doivent être nettoyés plus souvent.

(9) Dans le cas d'applications structurales, pour lesquelles les caractéristiques mécaniques sont essentielles, la plupart des atmosphères naturelles n'a pas d'effet néfaste sur les aciers inoxydables.

(10)Certains aciers inoxydables conviennent à de nombreuses applications pour des piscines intérieures et extérieures. Pour les éléments porteurs situés dans des atmosphères chargées en chlorures ne pouvant faire l'objet d'un nettoyage régulier (par exemple les plafonds suspendus situés au-dessus des piscines), il convient d'utiliser les nuances suivantes :

— Eau de piscine contenant ≤ 250 mg/l d'ions chlorures : 1.4539, 1.4529, 1.4547, 1.4565

— Eau de piscine contenant > 250 mg/l d'ions chlorures : 1.4529, 1.4547, 1.4565

NOTE D'autres nuances, qui se sont révélées présenter une résistance équivalente à la fissuration par corrosion sous contrainte dans ce type d'atmosphère, peuvent également être utilisées.

(11) Il convient de toujours consulter un expert pour des applications plus spéciales, comme l'emploi d'acier inoxydable en contact ou immergé dans des produits chimiques.

Tableau A.1 — Nuances conseillées d'acier inoxydable pour différentes conditions atmosphériques

Nuance d'acier conforme à l'EN 10088	Type d'environnement et catégorie de corrosion											
	Rural			Urbain			Industriel			Marin		
	Faible	Moyenne	Elevée	Faible	Moyenne	Elevée	Faible	Moyenne	Elevée	Faible	Moyenne	Elevée
1.4003 1.4016	Y[I]	X	X	Y[I]	X	X	X	X	X	X	X	X
1.4301 1.4311 1.4541 1.4318	Y	Y	Y	Y	Y	(Y)	(Y)	(Y)	X	Y	(Y)	X
1.4362 1.4401 1.4404 1.4406 1.4571	O	O	O	O	Y	Y	Y	Y	(Y)	Y	Y	(Y)
1.4439 1.4462 1.4529 1.4539	O	O	O	O	O	O	O	O	Y	O	O	Y

Conditions de corrosion :

Faible : Conditions corrosives les plus réduites pour ce type d'environnement. Par exemple les cas tempérés par une faible humidité ou de basses températures.

Moyenne : Conditions assez typiques pour ce type d'environnement.

Elevée : Corrosion susceptible d'être plus forte que dans les conditions typiques pour ce type d'environnement. Par exemple, corrosion aggravée par une humidité élevée persistante, des températures ambiantes élevées, ou des polluants atmosphériques particulièrement agressifs.

Légende :

O Surestimation potentielle du point de vue de la corrosion.

Y Probablement le meilleur choix pour la résistance à la corrosion et le coût.

Y[I] Applications intérieures uniquement. Il convient d'éviter toute utilisation d'aciers inoxydables ferritiques pour les applications esthétiques.

X Susceptible de subir une corrosion excessive.

(Y) Choix envisageable à condition de prendre des mesures appropriées [c'est-à-dire de spécifier une surface relativement lisse et un lavage ultérieur régulier].

A.4.2 Boulons

(1) Pour le matériau constitutif des boulons, conforme à l'EN ISO 3506 – 1 :

- A2 est équivalent en termes de résistance à la corrosion à la nuance 1.4301,
- A3 est équivalent en termes de résistance à la corrosion à la nuance 1.4541,
- A4 est équivalent en termes de résistance à la corrosion aux nuances 1.4401 et 1.4404,
- A5 est équivalent en termes de résistance à la corrosion à la nuance 1.4571,

La nuance A1 offre une résistance à la corrosion inférieure, et il est recommandé de ne pas l'utiliser pour les boulons.

(2) Dans le cas des nuances d'acier 1.4439, 1.4539, 1.4529 et 1.4462, il convient d'utiliser des boulons fabriqués à partir de l'un de ces aciers pour obtenir une même résistance à la corrosion.

(3) Il convient d'accorder une attention toute particulière à l'utilisation potentielle d'aciers inoxydables "facilement usinables" pour les dispositifs de fixation. L'adjonction de soufre à la composition de ces aciers (comme la nuance austénitique 1.4305) les rend plus sensibles à la corrosion, particulièrement dans des environnements industriels et marins.

A.5 Conception en vue de la maîtrise de la corrosion

(1) L'étape la plus importante dans la prévention des problèmes liés à la corrosion est le choix d'une nuance d'acier inoxydable appropriée, accompagnée de méthodes de fabrication adaptées pour l'environnement donné. Toutefois, même après avoir prescrit un acier particulier, il est nécessaire de soigner les détails constructifs afin de conserver son potentiel de résistance à la corrosion.

(2) Dans la liste de contrôle proposée ci-dessous, certains points peuvent ne pas être optimum pour la résistance de la structure, et d'autres ne sont pas prévus pour être appliqués dans tous les environnements. En particulier, nombre d'entre eux ne sont pas nécessaires dans des environnements présentant une faible corrosivité ou pour des structures soumises à un entretien régulier.

(3) Il convient d'obtenir un équilibre entre l'utilisation du soudage et du boulonnage afin de garantir une performance optimale contre la corrosion avec un minimum de déformations dues au soudage. Il convient de prendre en considération les points suivants :

a) Eviter tout piégeage des impuretés, voir Figure A.1, en respectant les mesures suivantes :

- orienter les profils en U et en L de sorte à limiter l'éventualité de rétention d'impuretés ;
- prévoir des trous de drainage, en s'assurant que leur dimension est suffisante pour éviter le colmatage ;
- éviter les surfaces horizontales ;
- prescrire une légère pente pour les raidisseurs qui sont normalement en position horizontale ;
- utiliser des profils tubulaires et en barres [Sceller les tubes avec de l'air ou un gaz sec lorsqu'il existe un risque de formation de condensation dangereuse] ;
- prescrire des finitions lisses ($R_a \leq 0{,}5$ µm est une valeur appropriée pour les applications externes).

b) Eviter les crevasses, voir figure A.2, en respectant les mesures suivantes :

- utiliser des assemblages soudés plutôt que boulonnés ;

— utiliser des soudures de bouchage ou des mastics de remplissage ;

— profiler ou dresser les soudures dans toute la mesure du possible ;

— prévenir l'encrassement biologique [Noter que la chloration de l'eau peut provoquer de la corrosion par piqûres].

c) Réduire l'éventualité de fissuration par corrosion sous contrainte dans les environnements spécifiques où elles sont susceptibles de se produire, en respectant les mesures suivantes :

— limiter les contraintes de fabrication en choisissant soigneusement l'ordre de soudage ;

— procéder à un grenaillage [Ne pas utiliser de grenaille de fer ou d'acier].

d) Il convient de toujours nettoyer les soudures pour rétablir leur résistance à la corrosion. Réduire le risque de piqûres en respectant les mesures suivantes :

— éliminer les projections de soudure ;

— brosser l'acier inoxydable à l'aide d'une brosse métallique en fils d'inox, ou le décaper, pour éliminer les produits de soudage indésirables [Il convient d'éviter les réactifs fortement oxydants contenant des chlorures tels le chlorure ferrique. Il convient, en revanche, d'utiliser un bain ou une pâte décapants, contenant tous deux un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique. Après décapage, il convient de rincer abondamment à l'eau claire.] ;

— éviter la contamination par des particules d'acier au carbone [Par exemple, utiliser des zones de travail et des outils spécialement réservés à l'acier inoxydable] ;

— suivre un programme d'entretien approprié.

e) Réduire l'éventualité de corrosion galvanique en respectant les mesures suivantes :

— assurer l'isolation électrique ;

— utiliser les peintures de façon appropriée ;

— limiter les périodes humides.

f) Réduire toute probabilité d'attaque par du zinc en fusion afin de prévenir toute fragilisation spontanée.

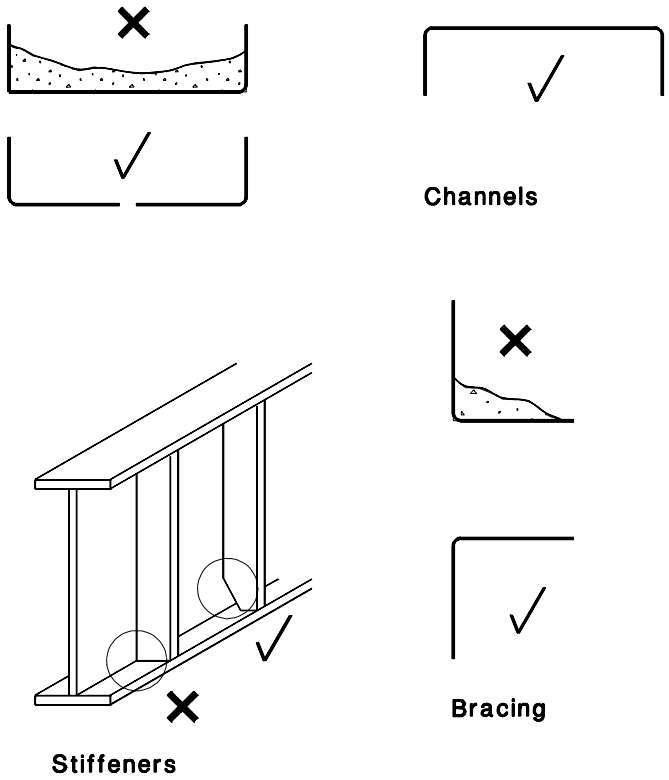


Figure A.1 — Eviter tout piégeage d'impuretés

Légende

Channels	Profils en U
Stiffeners	Raidisseurs
Bracing	Contreventement

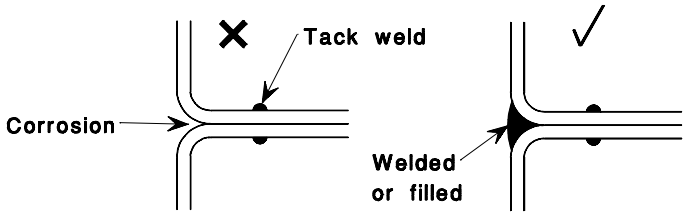


Figure A.2 — Eviter la formation de crevasses

Légende

Tack weld	Soudure de pointage
Welded or filled	Soudé ou rempli

A.6 Assemblages

A.6.1 Généralités

(1) La conception des assemblages requiert un soin tout particulier en vue de préserver une résistance à la corrosion optimale.

(2) Ceci est particulièrement le cas pour les assemblages pouvant être exposés à l'humidité due aux intempéries, brouillard, immersion, condensation ou autres. Il convient d'étudier les possibilités d'éviter ou de réduire les problèmes de corrosion associés en positionnant ces assemblages loin de la source d'humidité. Il peut également se révéler possible d'éliminer la source d'humidité ; par exemple, dans le cas de condensation, par une ventilation appropriée ou en s'assurant que la température ambiante à l'intérieur de la structure reste supérieure au point de rosée.

(3) S'il n'est pas possible de préserver de l'humidité un assemblage composé à la fois d'acier au carbone et d'acier inoxydable, il convient d'accorder une attention toute particulière à la prévention de la corrosion galvanique.

(4) Il convient de déterminer et d'enregistrer, d'une manière aussi complète et exacte que possible, les influences des charges et de la corrosion dans les conditions d'exploitation.

A.6.2 Assemblages boulonnés

(1) Il convient de toujours éviter l'emploi de boulons en acier au carbone avec des éléments de structure en acier inoxydable. Dans le cas d'assemblages boulonnés susceptibles d'être soumis à un niveau de corrosion inacceptable, il convient de prévoir l'isolement électrique des éléments en acier au carbone de ceux en acier inoxydable. Ceci implique en général l'utilisation de rondelles, et éventuellement de manchons, isolants non métalliques. La Figure A.3 illustre un détail typique approprié. Il convient que le matériau formant l'isolation soit suffisamment robuste pour empêcher l'acier au carbone et l'acier inoxydable d'entrer en contact au cours de l'exploitation.

(2) Pour éviter la corrosion caverneuse dans les assemblages boulonnés, il convient d'accorder une attention toute particulière au choix de matériaux appropriés à l'environnement donné.

(3) Il convient que les boulons soient au moins aussi résistants à la corrosion à long terme dans les conditions d'exploitation que les éléments assemblés.

(4) Il y a lieu que tous les assemblages boulonnés soient lisses et ne présentent aucun jeu entre les éléments assemblés.

(5) Sauf dans le cas d'assemblages composés d'aciers au carbone et d'aciers inoxydables, il convient d'éviter la présence d'épaisseurs intermédiaires devant transmettre des charges dans l'assemblage.

(6) Il est recommandé d'utiliser des rondelles de plus grand diamètre que dans le cas de l'acier au carbone.

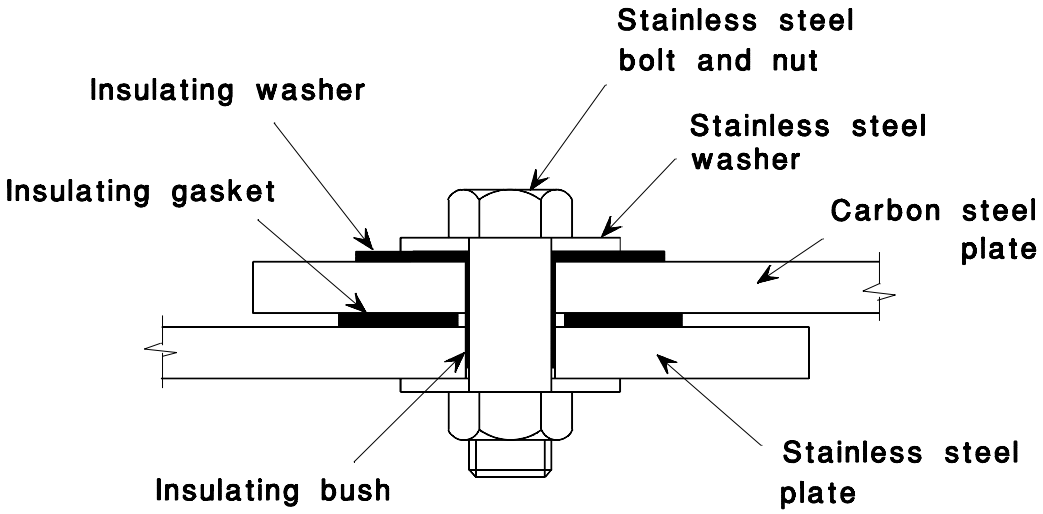


Figure A.3 — Prévention de la corrosion galvanique dans l'assemblage de matériaux différents

Prévention de la corrosion galvanique dans l'assemblage de matériaux différents

Légende

Insulating washer	Rondelle isolante
Insulating gasket	Joint isolant
Insulating bush	Bague isolante
Stainless steel bolt and nut	Boulon en acier inoxydable
Stainless steel washer	Rondelle en acier inoxydable
Carbon steel plate	Plaque en acier au carbone
Stainless steel plate	Plaque en acier inoxydable

A.6.3 Assemblages soudés

(1) Pour les assemblages soudés composés d'acier au carbone et d'acier inoxydable, il est en général recommandé que tout système de peinture appliqué sur l'acier au carbone recouvre l'ensemble soudé ainsi qu'une partie de la région en acier inoxydable si l'assemblage risque d'être sujet à corrosion.

(2) Il est possible que les caractéristiques du métal de base soient modifiées par le soudage, entraînant ainsi la réduction de la résistance à la corrosion. Ce phénomène est connu sous le terme « attaque à la soudure » ou « zone déstabilisée ». Le cycle de chauffe et de refroidissement provoqué par le soudage affecte la microstructure de tous les aciers inoxydables, mais certaines nuances y sont plus sensibles que d'autres. Ceci revêt une importance particulière pour les matériaux austéno-ferritiques. Par conséquent, il est essentiel d'utiliser des modes opératoires de soudage ainsi que des produits d'apport appropriés, et de faire effectuer le soudage par des soudeurs dûment qualifiés.

(3) Il convient de ne pas effectuer de soudures bout à bout à pénétration partielle sur une seule face dans les environnements fortement pollués ou dans les environnements marins agressifs. Il convient de ne pas effectuer de soudures discontinues lorsqu'une corrosion caverneuse est susceptible de se produire.

Annexe B
(informative)

Acier inoxydable écroui

B.1 Généralités

(1) La présente Annexe énonce des règles d'utilisation de l'acier inoxydable écroui, soit par laminage à froid, soit par un procédé de fabrication de l'élément de construction, ou une combinaison des deux.

(2) Les règles sont applicables uniquement si les propriétés sont conservées au cours de la fabrication et du montage de la structure, et tout au long de la durée de vie théorique de la structure. Il convient de ne pas procéder au soudage ou au traitement thermique des produits à moins que des essais puissent démontrer, conformément à la Section 7, que le montage de la structure ne réduit pas les valeurs des propriétés mécaniques à un niveau inférieur aux valeurs à adopter.

B.2 Ecrouissage par laminage à froid

(1) Pour le matériau livré à l'état « travaillé à froid » spécifié dans l'EN 10088, des valeurs nominales plus élevées de la limite d'élasticité f_y et de la résistance ultime à la traction f_u peuvent être adoptées. La résistance à la rupture indiquée dans l'EN 10088 peut être considérée comme la résistance caractéristique, voir Tableau B.1. La limite d'élasticité définie dans le Tableau B.1 peut être utilisée comme résistance caractéristique, sous réserve qu'elle soit garantie par le constructeur.

(2) Les règles de calcul énoncées dans la présente partie 1-4 sont applicables pour des nuances de matériaux jusqu'à C700 et CP350. Pour des nuances plus élevées, il convient que le dimensionnement soit assisté par des essais conformément à la Section 7, à l'exception de la résistance des sections transversales sans instabilité locale ou globale qui peut être calculée conformément à la Section 5 pour les classes de sections transversales 1, 2 et 3.

Tableau B.1 — Valeurs nominales de la limite d'élasticité f_y et de la résistance ultime à la traction f_u pour les aciers de construction inoxydables écrouis conformes à l'EN 10088

Type d'acier inoxydable	Niveau de résistance à la charge d'épreuve à 0,2 % à l'état écroui Désignation	f_y N/mm^2	Niveau de résistance à la traction à l'état écroui Désignation	f_u N/mm^2
Aciers austénitiques	CP350	350	C700	700
	CP500	500	C850	850
	CP700	700	C1 000	1 000

B.3 Ecrouissage dû à la fabrication

(1) L'écrouissage au cours de la fabrication des éléments de structure peut être utilisé dans le dimensionnement à condition que l'effet de l'écrouissage ait fait l'objet d'une justification par des essais en vraie grandeur conformément à la Section 7.

(2) Pour la vérification des assemblages qui ne font pas partie intégrante des essais en vraie grandeur, il convient d'utiliser les valeurs de résistance nominales.

Annexe C
(informative)

Modélisation du comportement du matériau

C.1 Généralités

(1) La présente Annexe fournit des recommandations pour la modélisation du comportement des matériaux.

C.2 Propriétés des matériaux

(1) Il convient de considérer les propriétés de matériaux E, f_y et f_u pour les calculs aux éléments finis (MEF) comme des valeurs caractéristiques. Les règles applicables au dimensionnement par des méthodes aux éléments finis sont données dans l'Annexe informative C de l'EN 1993-1-5.

(2) En fonction de la précision requise et des déformations maximales attendues, les méthodes suivantes applicables à la modélisation du comportement des matériaux peuvent être utilisées :

a) courbe contrainte-déformation avec écrouissage, calculée de la manière suivante :

$$\varepsilon = \begin{cases} \dfrac{\sigma}{E} + 0{,}002\left(\dfrac{\sigma}{f_y}\right)^n & \text{pour} \quad \sigma \le f_y \\ 0{,}002 + \dfrac{f_y}{E} + \dfrac{\sigma - f_y}{E_y} + \varepsilon_u\left(\dfrac{\sigma - f_y}{f_u - f_y}\right)^m & \text{pour} \quad f_y < \sigma \le f_u \end{cases} \tag{C.1}$$

où :

n est un coefficient défini comme suit $n = \dfrac{\ln(20)}{\ln(f_y / R_{p0,01})}$

où $R_{p0,01}$ représente la limite d'élasticité conventionnelle à 0,01 %.

n peut être pris dans le Tableau 4.1 ou calculé à partir des propriétés mesurées

E_y représente le module tangent de la courbe contrainte-déformation à la limite d'élasticité définie selon l'estimation :

$$E_y = \frac{E}{1 + 0{,}002n\, E/f_y}$$

ε_u représente la déformation totale, correspondant à la résistance à la rupture f_u, où ε_u peut être obtenue comme suit :

$\varepsilon_u = 1 - \dfrac{f_y}{f_u}$ avec $\varepsilon_u \le A$ où A est l'allongement après rupture défini dans l'EN 10088.

m représente un coefficient pouvant être déterminé sous la forme suivante $m = 1 + 3{,}5\dfrac{f_y}{f_u}$

b) courbe contrainte-déformation calculée comme en a) ci-dessus à partir des propriétés mesurées

c) courbe contrainte-déformation réelle calculée à partir d'une courbe contrainte-déformation mesurée comme suit :

$$\sigma_{true} = \sigma(1+\varepsilon)$$
$$\varepsilon_{true} = \ln(1+\varepsilon) \qquad \text{(C.2)}$$