

## **Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale**

### **Partie 1-4 : Règles générales — Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables**

E : Eurocode 3 : Design of steel structures and national application document —  
Part 1-4 : General rules — Supplementary rules for stainless steel  
D : Eurocode 3 : Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten und national  
Anwendungsdokument — Teil 1-4 : Allgemeine Bemessungsregeln —  
Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen

---

### ***Norme expérimentale***

publiée par AFNOR en août 2000.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à AFNOR avant le 30 septembre 2002.

---

### ***Correspondance***

Le présent document reproduit intégralement la prénorme européenne ENV 1993-1-4:1996 et intègre les adaptations nationales relatives à cette ENV.

---

### ***Analyse***

Cette norme française expérimentale contient des règles détaillées, supplémentaires à celles des ENV 1993-1-1 et ENV 1993-1-3, et qui étendent leur application aux aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques.

---

### ***Descripteurs***

**Thésaurus International Technique** : bâtiment, génie civil, construction métallique, acier de construction, acier inoxydable, calcul, règle de calcul, conception, règle de construction, résistance des matériaux.

---

### ***Modifications***

### ***Corrections***

---



## Membres de la commission de normalisation

Président : M BROZZETTI

Secrétariat : M PESCATORE — BNCM

|     |              |  |
|-----|--------------|--|
| M   | ARIBERT      | INSA   |
| M   | BARAKA       | CTICM  |
| M   | BARJON       | SERVICE TECHNIQUE DES REMONTEES MECANQUES                |
| M   | BAZIN        | CSTB   |
| M   | BORGEOT      | CTICM  |
| M   | BRAHAM       | ASTRON BUILDING SYSTEMS                                  |
| M   | BROZZETTI    | CTICM  |
| M   | CAMPAN       | EUROPROFIL FRANCE  |
| M   | CHABROLIN    | CTICM  |
| M   | CRETON       | BNS  |
| M   | DEFERTILLES  | INSTITUT DE SOUDURE                                      |
| MME | DUSSAUGEY    | SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES D'EQUIPEMENT            |
| M   | ESTEVE       | EDF  |
| M   | ETIENNE      | MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, TRANSPORTS ET LOGEMENT — DAEI |
| MME | FERNANDEZ    | AFNOR  |
| M   | GALEA        | CTICM  |
| M   | GAULIARD     | SYNDICAT DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE DE FRANCE         |
| M   | GOURMELON    | LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES               |
| M   | GREGOIRE     | CETEN APAVE  |
| M   | GRIMAULT     | TUBEUROP FRANCE  |
| M   | KRUPPA       | CTICM  |
| M   | LAPEYRE      | C.E.P.   |
| M   | LE CHAFFOTEC | SOCOTEC  |
| M   | LE ROUX      | EDF  |
| M   | MAITRE       | SOCOTEC  |
| M   | MARTIN       | SNCF   |
| M   | MAYERE       | BUREAU VERITAS   |
| M   | MOREAU       | SNPPA  |
| M   | MOUTY        |  |
| MME | PECHENARD    | AFFIX  |
| M   | PERFETTI     | C.S.N.E.   |
| M   | PESCATORE    | BNCM   |
| M   | RAOUL        | SETRA  |
| M   | ROCHE        | SETRA  |
| M   | RYAN         | CTICM  |
| M   | SOKOL        | PAB  |
| M   | VOISIN       | INRS   |

## Sommaire

|   | Page |
|---|------|
| <b>AP.1</b> <b>Introduction</b> .....   | 4    |
| <b>AP.2</b> <b>Relations avec les normes P 22-311 (ENV 1993-1-1) et XP ENV 1993-1-3</b> ..... | 4    |
| <b>AP.3</b> <b>Modalités d'application</b> .....  | 4    |
| AP.3.1    Domaine d'application .....   | 4    |
| AP.3.2    La référence aux textes normatifs .....   | 4    |
| AP.3.3    Modalités contractuelles .....  | 4    |
| AP.3.4    Modalités d'expérimentation .....   | 5    |
| <b>AP.4</b> <b>Liste des normes et textes normatifs de référence</b> .....                    | 5    |

## Avant-propos national

### AP.1 Introduction

La présente norme française expérimentale, dénommée EC3-1-4 DAN, reproduit intégralement l'ENV 1993-1-4 (en clair l'Eurocode 3 partie 1-4, en abrégé l'EC3-1-4), approuvée par le Comité Européen de Normalisation (CEN) en tant que prénorme européenne (ENV).

La présente norme française expérimentale spécifie, en outre, les adaptations nationales qui ont été apportées à l'EC3-1-4 dont la réunion constitue le Document d'Application Nationale (en abrégé le DAN).

### AP.2 Relations avec les normes P 22-311 (ENV 1993-1-1) et XP ENV 1993-1-3

- a) Il y a lieu de se reporter à la norme expérimentale P 22-311-0 (ENV 1993-1-1:1992 ou Eurocode 3 partie 1-1) pour obtenir les informations générales applicables à toutes les parties et, en particulier, connaître les conventions de présentation relatives au DAN.
- b) Il y a lieu également de se reporter à l'appendice de la norme expérimentale P 22-311-2 (Bases de calcul), qui fixe et récapitule les valeurs encadrées applicables à toutes les parties, sauf indication contraire dans les textes.
- c) La présente norme française expérimentale contient des règles détaillées pour le calcul de bâtiments et ouvrages de génie civil, supplémentaires à celles des ENV 1993-1-1 et ENV 1993-1-3, afin d'étendre leur application aux aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques

### AP.3 Modalités d'application

#### AP.3.1 Domaine d'application

Le domaine d'application de l'EC3-1-4 DAN couvre la construction des bâtiments et ouvrages de génie civil en aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques.

Pour les applications à la marge de ce domaine, il est recommandé de consulter la Commission de Normalisation de la Construction Métallique (CNCMét).

#### AP.3.2 La référence aux textes normatifs

Dans les répertoires de l'article AP.4 du présent avant-propos sont présentés :

- partie gauche : les normes européennes actuellement en vigueur ;
- partie droite et en regard des normes européennes, les normes nationales et autres documents s'y substituant temporairement et à utiliser, en totalité ou partiellement avec la présente norme française expérimentale.

Dans le cadre de l'application de la norme française expérimentale, on se référera aux normes répertoriées dans la partie droite de l'article AP.4. En l'absence de normes européennes, il est fait appel, pour l'essentiel aux normes nationales. Il n'a pas été jugé nécessaire, chaque fois que l'EC3-1-4 fait référence à une norme (européenne ou ISO) de mentionner dans le corps même du DAN, la (les) norme(s) nationale(s) équivalente(s). À charge pour l'utilisateur de retrouver celle(s)-ci dans l'article AP.4 par une lecture allant de la gauche vers la droite.

#### AP.3.3 Modalités contractuelles

La présente norme expérimentale n'est applicable, en totalité ou en partie, dans le cadre contractuel d'un marché public ou privé que s'il y est fait explicitement référence :

- pour les marchés publics, dans le Cahier des Clauses Administratives Particulières à l'article 2 — où la liste des pièces générales rendues contractuelles mentionnera la norme française expérimentale et en cas d'utilisation partielle les parties de celle-ci à considérer — et à l'article 10 — qui indiquera la dérogation correspondante faite au Cahier des Clauses Techniques Générales —.
- pour les marchés privés, dans des documents particuliers du marché tels que définis dans la norme NF P 03-001, septembre 1991 (Cahier des Clauses Administratives Particulières, Cahier des Clauses Spéciales, Cahier des Clauses Techniques Particulières).

### AP.3.4 Modalités d'expérimentation

L'ENV 1993-1-4 a été approuvé par le CEN le 30 septembre 1994.

Au terme d'une période expérimentale de trois ans, les pays membres du CEN auront à opter soit pour un ultime prolongement du statut de l'ENV pour une période d'au moins trois ans, soit pour le statut de norme européenne (EN).

Cette décision sera très certainement assortie d'une révision de la norme.

Dans cette perspective, les utilisateurs de la présente norme expérimentale sont invités à faire connaître leurs observations avec, si possible, propositions d'amendements à l'appui, à AFNOR (Tour Europe — CEDEX 7 — 92049 PARIS LA DÉFENSE) qui transmettra au BNCM.

### Évolution des adaptations nationales

Il n'est pas exclu que l'expérimentation de l'EC3-1-4 DAN mette en évidence certains problèmes relatifs à l'applicabilité du document, conduisant la CNCMét à formuler des amendements ou à apporter des compléments jugés indispensables aux adaptations nationales déjà produites. En cas de difficulté, il y aura lieu de se rapprocher de AFNOR ou du BNCM.

### AP.4 Liste des normes et textes normatifs de référence

Le présent article a pour objet de donner la liste des normes et autres textes normatifs auxquels il y a lieu de se référer pendant la phase d'expérimentation de l'EC3-1.4 DAN.

| Normes européennes ou internationales publiées |   | Normes pouvant être appliquées avec l'ENV |   |
|--|---|---|---|
| Désignation                                    | Intitulé  | Désignation                               | Intitulé  |
| EN 10052                                       | Vocabulaire du traitement thermique des produits ferreux  | NF EN 10052                               | Vocabulaire du traitement thermique des produits ferreux  |
| EN 10088-1                                     | Aciers inoxydables — Partie 1 : Liste des aciers inoxydables  | NF 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 pour usage général                                     | NF EN 10088-2                             | Aciers inoxydables — Partie 2 : Conditions techniques de livraison des tôles et bandes pour usage général                                     |
| EN 10088-3                                     | Aciers inoxydables — Partie 3 : Conditions techniques de livraison pour les demi-produits, barres, fils machine et profils pour usage général | NF EN 10088-3                             | Aciers inoxydables — Partie 3 : Conditions techniques de livraison pour les demi-produits, barres, fils machine et profils pour usage général |
| ENV 1090-1                                     | Exécution des structures en acier — Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments  | XP P 22-501-1                             | Exécution des structures en acier — Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments  |
| ENV 1090-2                                     | Exécution des structures en acier — Partie 2 : Règles pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid                             | DTU 32-1                                  | Construction métallique — Charpente en acier  |
| ENV 1090-6                                     | Exécution des structures en acier — Partie 6 : Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables   |   |   |

| Normes européennes ou internationales publiées |  | Normes pouvant être appliquées avec l'ENV |  |
|--|--|---|--|
| Désignation                                    | Intitulé   | Désignation                               | Intitulé   |
| ENV 1993-1-1                                   | Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments   | P 22-311                                  | Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments   |
| ENV 1993-1-2                                   | Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-2 : Règles générales — Calcul du comportement au feu  | XP ENV 1993-1-2                           | Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-2 : Règles générales — Calcul du comportement au feu  |
| ENV 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 | XP ENV 1993-1-3                           | Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-3 : Règles générales — Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid   |
| ENV 1998                                       | Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes   | NF P 06-013                               | Règles de construction parasismique — Règles PS applicables aux bâtiments, dites Règles PS 92  |
| ECISS-TC 10                                    | Système de désignation pour l'acier — Symboles supplémentaires pour les noms d'acier   |   |  |
| ISO 3506                                       | Éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion — Spécifications   | NF EN ISO 3506-1<br><br>NF EN ISO 3506-2  | Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion — Partie 1 : Vis et goujons<br><br>Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion — Partie 2 : Écrous |
| ISO 7089                                       | Rondelles plates — Série normale — Grade A   | NF E 25-514                               | Rondelles plates — Grade A   |
| ISO 7090                                       | Rondelles plates, chanfreinées — Série normale — Grade A   |   |  |

---

ICS : 91.040.01 ; 91.080.10

Descripteurs : bâtiments, génie civil, construction en acier, aciers, aciers de construction, aciers inoxydables, calcul, conception, codes de construction, calculs.

### **Version française**

#### **Eurocode 3 : Calcul des Structures en acier — Partie 1-4 : Règles générales — Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables**

La présente Prénorme Européenne (ENV) a été approuvée par le CEN le 30 septembre 1994 comme projet de norme pour une application provisoire.

La période de validité de la présente ENV est limitée initialement à trois ans. Après un délai de deux ans, il sera demandé aux membres du CEN de soumettre leurs commentaires, particulièrement sur la question de savoir si cette ENV peut être convertie en Norme Européenne (EN).

Les membres du CEN sont tenus d'annoncer l'existence de la présente ENV de la même façon que pour une EN et de rendre cette ENV rapidement disponible au niveau national sous une forme appropriée. Des normes nationales concurrentes existantes peuvent être maintenues en vigueur (parallèlement à l'ENV) jusqu'à prise de la décision finale concernant l'éventuelle conversion de l'ENV en EN.

Les membres du CEN sont les organismes de normalisation nationaux des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, et Suisse.

# **CEN**

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung  
European Committee for Standardization

**Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles**

## Sommaire

|   | Page |
|---|------|
| <b>Avant-propos</b> .....   | 4    |
| <b>1 Généralités</b> .....  | 6    |
| 1.1 Objet .....   | 6    |
| 1.2 Distinction entre principes et règles d'application .....                   | 6    |
| 1.3 Références normatives .....   | 6    |
| 1.4 Définitions .....   | 7    |
| <b>2 Matériaux</b> .....  | 7    |
| 2.1 Aciers de construction inoxydables .....                                    | 7    |
| 2.2 Boulons .....   | 9    |
| 2.3 Produits d'apport de soudage .....  | 10   |
| <b>3 Durabilité</b> .....   | 10   |
| <b>4 États limites de service</b> .....   | 10   |
| 4.1 Généralités .....   | 10   |
| 4.2 Détermination des flèches .....   | 11   |
| <b>5 États limites ultimes</b> .....  | 12   |
| 5.1 Généralités .....   | 12   |
| 5.2 Classification des sections transversales .....                             | 12   |
| 5.3 Résistance des sections transversales .....                                 | 17   |
| 5.4 Résistance des éléments aux phénomènes d'instabilité .....                  | 18   |
| 5.5 Résistance au cisaillement .....  | 20   |
| 5.6 Résistance de l'âme aux charges transversales .....                         | 21   |
| 5.7 Raidisseurs d'âme transversaux .....  | 21   |
| <b>6 Calcul des assemblages</b> .....   | 22   |
| 6.1 Généralités .....   | 22   |
| 6.2 Assemblages boulonnés .....   | 22   |
| 6.3 Assemblages soudés .....  | 22   |
| <b>7 Fabrication</b> .....  | 23   |
| <b>8 Conception et dimensionnement assistés par l'expérimentation</b> .....     | 23   |
| <b>9 Fatigue</b> .....  | 23   |
| <b>10 Résistance au feu</b> .....   | 23   |
| <b>Annexe A (informative) Données concernant les matériaux</b> .....            | 24   |
| A.1 Types d'aciers inoxydables .....  | 24   |
| A.2 Lexique des termes de traitement .....                                      | 26   |
| A.3 Affectation des aciers inoxydables aux classes de résistance nominale ..... | 27   |
| A.4 Désignation des aciers inoxydables .....                                    | 27   |
| A.5 Aciers inoxydables formés à froid .....                                     | 28   |
| A.6 Caractéristiques physiques des aciers inoxydables .....                     | 31   |
| A.7 Conditions particulières .....  | 31   |



## Sommaire (fin)

|   | Page |
|---|------|
| <b>Annexe B</b> (informative) <b>Durabilité</b> .....   | 34   |
| <b>B.1</b> Introduction .....   | 34   |
| <b>B.2</b> Types de corrosion .....   | 35   |
| <b>B.3</b> Niveaux de risque .....  | 37   |
| <b>B.4</b> Choix des matériaux .....  | 37   |
| <b>B.5</b> Conception en vue de la maîtrise de la corrosion .....   | 40   |
| <b>B.6</b> Assemblages .....  | 41   |
| <b>Annexe C</b> (informative) <b>Aspects concernant la fabrication</b> .....  | 43   |
| <b>C.1</b> Généralités .....  | 43   |
| <b>C.2</b> Stockage et manutention .....  | 44   |
| <b>C.3</b> Formage à froid .....  | 45   |
| <b>C.4</b> Marquage .....   | 45   |
| <b>C.5</b> Découpage .....  | 45   |
| <b>C.6</b> Perçage .....  | 46   |
| <b>C.7</b> Soudage .....  | 46   |
| <b>Annexe D</b> (informative) <b>Directives concernant le calcul utilisant des aciers inoxydables ferritiques</b> ..... | 52   |

## Avant-propos

### Objectifs des Eurocodes

- (1) Les Eurocodes structuraux constituent un ensemble de normes élaborées en vue du calcul géotechnique et structural des bâtiments et ouvrages de Génie Civil.
- (2) Ils ne couvrent l'exécution et le contrôle que dans la mesure où cela est nécessaire pour indiquer la qualité des produits de construction et le niveau d'exécution indispensables pour la conformité aux hypothèses des règles de calcul.
- (3) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées pour les produits et pour les méthodes d'essai de leurs comportements soit disponible, quelques-uns des Eurocodes structuraux couvrent certains de ces aspects dans des annexes informatives.

### Historique du programme des Eurocodes

- (4) La Commission des Communautés Européennes (CCE) eut l'initiative de démarrer le travail d'établissement d'un ensemble de règles techniques harmonisées pour le calcul des bâtiments et ouvrages de génie civil, règles destinées à être utilisées, au début, comme alternative aux différentes règles en vigueur dans les différents états membres et, ultérieurement, à les remplacer. Ces règles techniques se sont fait connaître sous le nom «d'Eurocodes structuraux».
- (5) En 1990, après consultation de ses états membres, la CCE a transféré le travail d'élaboration, de diffusion et de mise à jour des Eurocodes Structuraux au CEN, et le Secrétariat de l'AELE a accepté d'aider le CEN dans cette tâche.
- (6) Le Comité Technique CEN/TC 250 du CEN est responsable de tous les Eurocodes Structuraux.

### Programme des Eurocodes

- (7) Les travaux sont en cours sur les Eurocodes Structuraux suivants, chacun étant généralement constitué de plusieurs parties :

|         |            |   |
|---------|------------|---|
| EN 1991 | Eurocode 1 | Bases de calcul et actions sur les structures ; |
| EN 1992 | Eurocode 2 | Calcul des structures en béton ;                |
| EN 1993 | Eurocode 3 | Calcul des structures en acier ;                |
| EN 1994 | Eurocode 4 | Calcul des structures mixtes acier-béton ;      |
| EN 1995 | Eurocode 5 | Calcul des structures en bois ;                 |
| EN 1996 | Eurocode 6 | Calcul des structures en maçonnerie ;           |
| EN 1997 | Eurocode 7 | Calcul géotechnique ;                           |
| EN 1998 | Eurocode 8 | Résistance des structures aux séismes ;         |
| EN 1999 | Eurocode 9 | Calcul des structures en aluminium.             |
- (8) Des sous-comités distincts ont été constitués par le CEN/TC 250 pour les différents Eurocodes énoncés ci-dessus.
- (9) La présente partie 1-4 de l'ENV 1993 est publiée par le CEN en tant que Prénorme Européenne (ENV) pour une durée de vie initiale de trois ans.
- (10) La présente prénorme est destinée à une application expérimentale et est soumise à commentaires.
- (11) Au terme d'une durée approximative de deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre des commentaires formels qui seront pris en compte dans la détermination des actions futures.
- (12) Dans l'intervalle, les réactions et commentaires concernant la présente prénorme devront être adressés au Secrétariat du sous-comité CEN/TC 250/SC 3 à l'adresse suivante :

BSI Standards  
British Standards House  
389 Chiswick High Road  
Londres W4 4AL  
Angleterre

ou à votre organisme national de normalisation.

## Documents d'Application Nationale (DAN)

(13) Dans l'optique des responsabilités incombant aux autorités des pays membres en ce qui concerne la sécurité, la santé, et autres domaines couverts par les exigences essentielles de la Directive sur les Produits de Construction (DPC), certains éléments de sécurité figurant dans la présente ENV ont été affectés de valeurs indicatives identifiées par . Il appartient aux autorités de chaque pays membre de revoir les valeurs encadrées, et elles ont la faculté de substituer des valeurs alternatives définitives pour ces éléments de sécurité en vue de l'application nationale.

(14) Certaines normes européennes ou internationales de référence indispensables peuvent ne pas être disponibles à la publication de la présente prénorme. Il est par conséquent prévu qu'un Document d'Application Nationale (DAN) donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité faisant références aux normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de la présente prénorme, soit publié dans chaque état membre ou son organisme de normalisation.

(15) Il est prévu que la présente prénorme soit utilisée complètement avec le DAN en vigueur dans le pays où le bâtiment ou l'ouvrage de génie civil est situé.

## Spécificités de la présente Prénorme

(16) Les Parties de l'ENV 1993 dont la publication est actuellement envisagée sont les suivantes :

|              |   |
|--------------|---|
| ENV 1993-1-1 | Règles générales : Règles générales et règles pour les bâtiments ;  |
| ENV 1993-1-2 | Règles générales : Calcul du comportement au feu ;  |
| ENV 1993-1-3 | Règles générales : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid ;                     |
| ENV 1993-1-4 | Règles générales : Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables ;   |
| ENV 1993-1-5 | Règles générales : Règles supplémentaires pour les plaques planes, raidies ou non, chargées dans leur plan ;                |
| ENV 1993-1-6 | Règles générales : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coques ;                     |
| ENV 1993-1-7 | Règles générales : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des plaques planes chargées transversalement ; |
| ENV 1993-2   | Ponts métalliques ;   |
| ENV 1993-3-1 | Pylônes et mâts haubanés ;  |
| ENV 1993-3-2 | Cheminées ;   |
| ENV 1993-4-1 | Silos ;   |
| ENV 1993-4-2 | Réservoirs ;  |
| ENV 1993-4-3 | Canalisations ;   |
| ENV 1993-5   | Pieux et palplanches ;  |
| ENV 1993-6   | Chemins de roulement ;  |
| ENV 1993-7   | Structures marines et maritimes ;   |
| ENV 1993-8   | Structures agricoles.   |

(17) Cette Prénorme ne contient pas encore les dispositions concernant le calcul pour les aciers inoxydables ferritiques. Toutefois, pour ces aciers, des directives provisoires pour une approche de calcul plaçant en sécurité sont données dans l'Annexe D.

(18) Il est prévu que la future EN 1090 «Exécution des structures en acier» contienne les dispositions pour les aciers inoxydables et qui remplaceront les indications concernant la fabrication données dans l'Annexe C de cette Prénorme.

## 1 Généralités

### 1.1 Objet

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

(2)P Les dispositions appropriées de l'ENV 1993-1-1 et de l'ENV 1993-1-3 s'appliquent également, sauf mention contraire figurant dans la présente Partie 1.4.

**NOTE 1** Des informations sur les aciers inoxydables et sur leur durabilité sont données dans les annexes A et B.

**NOTE 2** Des directives concernant les aspects particuliers de fabrication à l'aide d'aciers inoxydables sont données dans l'annexe C. Il est prévu que la future EN 1090 contienne des dispositions pour la fabrication des aciers inoxydables qui remplaceront les directives données dans l'annexe C.

**NOTE 3** Des directives concernant les traitements supplémentaires, y compris les traitements thermiques, sont données dans l'EN 10088.

(3) La présente Partie 1.4 ne contient pas encore les dispositions concernant le calcul pour les aciers inoxydables ferritiques.

**NOTE** Des directives provisoires concernant une approche de calcul pour les aciers inoxydables ferritiques sont données dans l'annexe D.

(4) Pour les applications sismiques, il convient de se reporter à l'ENV 1998.

### 1.2 Distinction entre principes et règles d'application

(1)P En fonction du caractère de chaque paragraphe, une distinction est faite dans la présente Partie entre principes et règles d'application.

(2)P Les principes comprennent :

- des déclarations générales ou définitives pour lesquelles il n'existe aucune alternative ;
- des exigences et des modèles analytiques qui n'admettent aucune alternative, sauf mention contraire.

(3) Les principes sont identifiés par la lettre P à la suite du numéro de paragraphe.

(4)P Les règles d'application sont en général des règles reconnues qui respectent les principes et qui satisfont à leurs exigences. On peut utiliser des règles de calcul alternatives différentes des règles d'application données dans l'Eurocode, à condition qu'il soit démontré que la règle alternative respecte les principes concernés et présente une fiabilité au moins identique.

(5) Dans la présente Partie, les règles d'application sont identifiées par un numéro entre parenthèses, comme dans le présent paragraphe.

### 1.3 Références normatives

La présente Prénorme Européenne intègre, par référence datée ou non, des dispositions provenant d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés du texte et les publications sont indiquées ci-dessous. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de ces publications ne s'appliquent à la présente Prénorme Européenne que s'ils y sont incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, c'est la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence qui s'applique.

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

EN 10088, *Aciers inoxydables* :

Partie 1 : *Liste des aciers inoxydables* ;

Partie 2 : *Conditions techniques de livraison des tôles et bandes pour usage général* ;

Partie 3 : *Conditions techniques de livraison pour les demi-produits, barres, fils machine et profils pour usage général* ;

ENV 1090, *Exécution des structures en acier* :

- Partie 1 : *Règles générales et règles pour les bâtiments* ;
- Partie 2 : *Règles pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid* ;
- Partie 6 : *Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables* ;

ENV 1993, *Eurocode 3 : Calcul des structures en acier* :

- Partie 1.1 : *Règles générales : Règles générales et règles pour les bâtiments* ;
- Partie 1.2 : *Règles générales : Calcul du comportement au feu* ;
- Partie 1.3 : *Règles générales : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid* ;

ENV 1998, *Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes* ;

ECISS-IC 10, *Systèmes de désignation pour l'acier — Symboles supplémentaires pour les noms d'acier* ;

ISO 3506, *Éléments de fixation en acier inoxydable résistant à la corrosion — Spécifications* ;

ISO 7089, *Rondelles plates — Série normale — Grade A* ;

ISO 7090, *Rondelles plates, chanfreinées — Série normale — Grade A*.

## 1.4 Définitions

Sauf mention contraire, le lexique des termes de traitements pour les produits ferreux donné dans l'EN 10052 s'applique.

**NOTE** L'annexe A donne de brèves définitions et descriptions d'aciers inoxydables.

## 2 Matériaux

### 2.1 Aciers de construction inoxydables

#### 2.1.1 Généralités

(1)P Les dispositions énoncées dans la présente Partie 1.4 ne doivent être appliquées qu'au calcul relatif aux aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques.

**NOTE** L'annexe D donne des directives sur une approche de calcul provisoire pour les aciers inoxydables ferritiques.

(2)P Les valeurs nominales des propriétés des matériaux données en 2.1.2 peuvent être utilisées 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.

**NOTE** L'annexe A contient un tableau de corrélation des diverses désignations de nuances courantes d'aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques.

(4)P Les dispositions de calcul énoncées dans la présente Partie 1.4 ne doivent pas être utilisées pour les matériaux de résistance élastique nominale  $f_y$  supérieure à 480 N/mm<sup>2</sup>.

(5)P Dans le cas où une résistance supérieure peut être démontrée (voir 2.1.3), celle-ci peut être prise en compte dans le calcul, à condition que cette procédure soit justifiée par des essais appropriés conformes aux dispositions du Chapitre 8.

#### 2.1.2 Propriétés des matériaux pour l'acier inoxydable traité à chaud

(1)P Dans les opérations de calcul, les valeurs doivent être prises égales aux valeurs suivantes, indépendamment du sens de laminage :

- **limite d'élasticité  $f_y$**  : limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % spécifiée dans le tableau 2.1 ;
- **résistance à la traction  $f_u$**  : résistance nominale à la traction spécifiée dans le tableau 2.1.

**NOTE** L'annexe A donne les affectations aux classes de résistance nominale précisées dans le tableau 2.1 pour les aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques courants conformes à l'EN 10088.

(2)P Pour les profils creux de construction sans soudure, on doit utiliser les valeurs données dans le tableau 2.1 pour le matériau d'épaisseur appropriée, quelle que soit la forme du produit du matériau de base. Pour les profils creux de construction soudés, on doit utiliser les valeurs données dans le tableau 2.1 pour la forme de produit du matériau de base appropriée (feuillard laminé à froid, feuillard laminé à chaud ou tôle laminée à chaud).

### 2.1.3 Propriétés des matériaux pour l'acier inoxydable écroui

(1)P Pour les matériaux livrés à l'état formé à froid spécifié dans l'EN 10088, on peut adopter des valeurs nominales majorées de limite d'élasticité  $f_{yc}$  et de résistance à la traction  $f_{uc}$ .

**NOTE** L'annexe A donne des valeurs nominales  $f_{yc}$  et  $f_{uc}$  pour divers niveaux d'écrouissage, ainsi que des informations sur les aciers austénitiques et austéno-ferritiques conformes à l'EN 10088 à ces niveaux d'écrouissage.

(2)P Comme alternative, on peut adopter des valeurs majorées  $f_{yc}$  et  $f_{uc}$  pour un état écroui autre par écrouissage comme spécifié dans l'EN 10088, à condition que ces valeurs soient vérifiées par des essais sur des sections transversales en grandeur réelle conformément aux dispositions du Chapitre 8.

(3)P On ne doit pas adopter des valeurs de propriétés mécaniques majorées pour un état écroui dans le cas d'aciers inoxydables approvisionnés écrouis ou traités à chaud, tels les aciers trempés et revenus (QT), s'ils doivent être soudés ou subir un traitement thermique pendant la fabrication, sauf si l'on peut démontrer par des essais, conformément aux dispositions du Chapitre 8, que le procédé de fabrication ne réduit pas les propriétés mécaniques en deçà des valeurs à adopter.

**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 selon l'EN 10088 <sup>1)</sup>**

| Classe de résistance nominale | Forme de produit           |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                               | Feuillard laminé à froid   |                            | Feuillard laminé à chaud   |                            | Tôle laminée à chaud       |                            | Barres, ronds et profils   |                            |
|                               | Épaisseur nominale $t$     |                            |                            |                            |                            |                            |                            |                            |
|                               | $t \leq 6$ mm              |                            | $t \leq 12$ mm             |                            | $t \leq 75$ mm             |                            | $t \leq 250$ mm            |                            |
|                               | $f_y$<br>N/mm <sup>2</sup> | $f_u$<br>N/mm <sup>2</sup> | $f_y$<br>N/mm <sup>2</sup> | $f_u$<br>N/mm <sup>2</sup> | $f_y$<br>N/mm <sup>2</sup> | $f_u$<br>N/mm <sup>2</sup> | $f_y$<br>N/mm <sup>2</sup> | $f_u$<br>N/mm <sup>2</sup> |
| S 220                         | 220                        | 520                        | 200                        | 520                        | 200                        | 500                        | 180                        | 460                        |
| S 240                         | 240                        | 530                        | 220                        | 530                        | 220                        | 520                        | 200                        | 500                        |
| S 290                         | 290                        | 580                        | 270                        | 580                        | 270                        | 580                        | 270                        | 580                        |
| S 350                         | 350                        | 650                        | 330                        | 650                        | 330                        | 630                        | —                          | —                          |
| S 480                         | 480                        | 660                        | 460                        | 660                        | 460                        | 640                        | 450 <sup>2)</sup>          | 650 <sup>2)</sup>          |

1) Les valeurs nominales de  $f_y$  et  $f_u$  données dans ce tableau peuvent être utilisées dans le calcul sans tenir particulièrement compte des effets d'écrouissage par déformation ou d'anisotropie.  
2)  $t \leq 160$  mm.

(4)P On ne doit pas adopter des valeurs de propriétés mécaniques majorées pour un état écroui dans le cas d'aciers inoxydables écrouis, s'ils doivent être soudés ou traités à chaud après formage à froid, sauf si l'on peut démontrer par des essais, conformément aux dispositions du Chapitre 8, que le soudage ou le traitement thermique ne réduit pas les propriétés mécaniques en deçà des valeurs à adopter.

### 2.1.4 Propriétés des matériaux

(1)P Les valeurs suivantes des propriétés des matériaux peuvent être prises pour l'analyse globale et pour le calcul de la résistance des éléments et des sections transversales :

- module d'élasticité  $E = 200\,000$  N/mm<sup>2</sup>
- module d'élasticité transversale  $G = 77\,000$  N/mm<sup>2</sup>

**NOTE** L'annexe A donne des valeurs typiques à température ambiante de propriétés physiques d'aciers inoxydables de construction à l'état recuit.

(2) Pour le calcul des flèches, on doit utiliser le module sécant approprié à la contrainte existant dans l'élément à l'état limite de service, voir 4.2(8).

### 2.1.5 Ténacité à la rupture

(1) Les aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques couverts par la présente Partie 1.4 peuvent être supposés suffisamment tenaces et non susceptibles de rupture fragile à basse température de service jusqu'à  $-40^{\circ}\text{C}$ .

### 2.1.6 Applications amagnétiques

(1) Il est conseillé de solliciter un avis d'expert lorsque l'amagnétisme est exigé.

**NOTE** L'annexe A donne des informations sur les propriétés amagnétiques.

## 2.2 Boulons

### 2.2.1 Généralités

(1)P Les boulons et écrous en acier inoxydable doivent être conformes à l'ISO 3506. Les rondelles doivent être en acier inoxydable austénitique, et conformes à l'ISO 7089 ou à l'ISO 7090 selon le cas.

(2)P Les valeurs nominales de limite d'élasticité  $f_{yc}$  et de résistance à la traction  $f_{uc}$  pour les boulons en acier inoxydable doivent être prises dans le tableau 2.2.

(3) Dans l'attente de la publication d'une Norme Européenne appropriée, il est conseillé de vérifier les caractéristiques spécifiées 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 de  $f_{ub}$  pour les boulons en acier inoxydable**

| Groupes de matériau  | Classe selon l'ISO 3506 <sup>1)</sup> | Gamme de dimensions       | Limite d'élasticité $f_{yb}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Résistance à la traction $f_{ub}$<br>N/mm <sup>2</sup> |
|--|---------------------------------------|---------------------------|---|--|
| Austénitique et austéno-ferritique   | 50                                    | $\leq M 39$               | 210   | 500  |
|  | 70                                    | $\leq M 20$ <sup>2)</sup> | 450   | 700  |
|  | 80                                    | $\leq M 20$ <sup>2)</sup> | 600   | 800  |
| <p>1) Outre les divers types d'acier couverts par l'ISO 3506 dans les classes de caractéristiques 50, 70 et 80, on peut également utiliser d'autres types d'acier selon l'EN 10088-3.</p> <p>2) Pour les boulons de classe 70 et 80 de longueur supérieure à 8 diamètres ou de dimensions supérieures à M20, les valeurs des caractéristiques mécaniques doivent être prises d'après celles données par le fabricant de boulons.</p> |                                       |                           |   |  |

### 2.2.2 Boulons précontraints

(1)P Les boulons à haute résistance en acier inoxydable ne doivent pas être utilisés comme boulons précontraints calculés pour une résistance spécifique au glissement, sauf si l'on peut démontrer à partir de résultats d'essais qu'ils sont acceptables pour une application particulière

(2) Dans ce cas, il est conseillé de prendre en compte dans le calcul les effets à long terme en appliquant des coefficients réducteurs appropriés à la précontrainte initiale du boulon, afin d'obtenir la précontrainte de calcul  $F_{p,Cd}$ .

(3) Dans d'autres cas, on peut utiliser des boulons précontraints à condition d'adopter des procédures de mise en tension appropriées et de tenir dûment compte de la relaxation de la contrainte avec le temps.

## 2.3 Produits d'apport de soudage

- (1)P Tous les produits d'apport de soudage doivent être conformes aux exigences spécifiées au Chapitre 3 de l'ENV 1993-1-1.
- (2)P Les valeurs spécifiées de limite d'élasticité et de résistance à la traction du métal d'apport doivent être toutes deux égales ou supérieures aux valeurs correspondantes spécifiées pour la nuance d'acier à souder.
- (3)P Les électrodes de soudage doivent être capables de produire une soudure présentant une résistance à la corrosion adaptée à l'environnement de service, si le mode opératoire de soudage correct est respecté.
- (4) Les électrodes de soudage peuvent être considérées comme appropriées si la résistance à la corrosion du métal d'apport n'est pas inférieure à celle du matériau à souder.

## 3 Durabilité

- (1)P Les exigences concernant la durabilité énoncées en 2.4 de l'ENV 1993-1-1 doivent également être appliquées pour les aciers inoxydables.
- (2)P Une nuance appropriée d'acier inoxydable doit être choisie en fonction de la résistance à la corrosion exigée pour l'environnement dans lequel les éléments de construction doivent être utilisés.

**NOTE** L'annexe B donne des directives sur le choix des matériaux pour la résistance à la corrosion.

- (3)P Dans les applications esthétiques, les légères modifications éventuelles de l'état de surface pouvant se produire en raison de dépôts de saletés (qui, dans des conditions défavorables, peuvent entraîner l'apparition de crevasses et de micro-piqûres en surface) doivent également être prises en compte. Une nuance d'acier inoxydable suffisamment résistante à la corrosion doit être utilisée afin de s'assurer que seule une attaque superficielle puisse se produire au cours de la durée de vie prévue du composant.
- (4) En cas de besoin, il est conseillé de prescrire une procédure de nettoyage approprié afin de conserver l'état de surface initial.
- (5) Bien que, dans des conditions d'exposition atmosphérique clémentes, les exigences énoncées en (3)P puissent être satisfaites par la plupart des aciers inoxydables présentant une teneur d'au moins 12 % de chrome, il est conseillé 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, de l'eau salée et des brouillards salins provenant du salage de routes ou similaire.

|   |
|---|
| (5) C La teneur minimale en chrome des aciers inoxydables est de 10,5 %. Usuellement, pour les aciers inoxydables austénitiques, elle est de l'ordre de 16 %. |
|---|

**NOTE** L'annexe B donne des informations supplémentaires sur la conception en vue de la maîtrise de la corrosion.

## 4 États limites de service

### 4.1 Généralités

- (1)P Les exigences concernant l'aptitude au service énoncées au Chapitre 4 de l'ENV 1993-1-1 doivent également être appliquées pour les aciers inoxydables.
- (2) Il est conseillé d'estimer les flèches conformément aux dispositions énoncées en 4.2.



## 4.2 Détermination des flèches

- (1)P Les effets du comportement contraintes-déformations non linéaire des aciers inoxydables, ainsi que l'efficacité de la section transversale, doivent être pris en compte dans le calcul des flèches.
- (2)P Pour éviter toute déformation irréversible dans les assemblages boulonnés, les contraintes s'exerçant dans les boulons et dans les sections transversales nettes au niveau des trous de boulons sous la combinaison de charges caractéristique (rare) doivent être limitées à la limite d'élasticité.
- (3) La section transversale efficace peut être basée en toute sécurité sur les largeurs efficaces des éléments comprimés dans les sections transversales de Classe 4 déterminées selon 5.2.3.
- (4) Dans le cas d'éléments soumis à un traînage de cisaillement, la section transversale efficace peut être basée en toute sécurité sur les largeurs efficaces déterminées selon 5.2.4.
- (5) Comme alternative, on peut obtenir une estimation plus précise en utilisant une section transversale efficace basée sur les largeurs efficaces des éléments comprimés déterminées au moyen des contraintes résultant des charges d'exploitation.
- (6) Ceci peut être réalisé en obtenant  $\bar{\lambda}_p$  pour l'utilisation en 5.2.3 à partir de :

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com,Ed,ser}}}{E k_\sigma}} \quad \dots (4.1)$$

où :

$\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$  est la contrainte de compression dans l'élément approprié (calculée sur la base de la section transversale efficace) résultant du chargement d'exploitation approprié.

(7) Les valeurs de  $\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$  peuvent être basées sur la section transversale efficace déterminée comme indiqué en (3). On peut également utiliser l'itération pour affiner davantage la section transversale efficace.

(8) Il est conseillé d'estimer les flèches à l'aide du module sécant d'élasticité  $E_{s,\text{ser}}$  déterminé en tenant compte des contraintes s'exerçant dans les éléments 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 conseillé d'utiliser la valeur dans le sens longitudinal.

(9) La valeur du module sécant d'élasticité  $E_{s,\text{ser}}$  peut être obtenue par :

$$E_{s,\text{ser}} = (E_{s,1} + E_{s,2})/2 \quad \dots (4.2)$$

où :

$E_{s,1}$  est le module sécant correspondant à la contrainte  $\sigma_1$  dans la semelle tendue ;

$E_{s,2}$  est le module sécant correspondant à la contrainte  $\sigma_2$  dans la semelle comprimée.

(10) Les valeurs de  $E_{s,1}$  et  $E_{s,2}$  pour la contrainte de service de calcul appropriée  $\sigma_{i,\text{Ed,ser}}$  ainsi que sa direction peuvent être estimées au moyen de :

$$E_{s,i} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{i,\text{Ed,ser}}} \left[ \frac{\sigma_{i,\text{Ed,ser}}}{f_y} \right]^n} \quad \dots (4.3)$$

avec :

$i = 1$  ou  $2$ .

(11) Il est conseillé de baser la valeur du coefficient  $n$  sur la limite de proportionnalité, définie comme la limite conventionnelle d'élasticité à 0,01 %, et la limite d'élasticité, définie comme la limite conventionnelle à 0,2 %. Il est recommandé d'obtenir la valeur de  $n$  auprès du producteur d'acier. On peut tirer une valeur indicative du tableau 4.1.

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

**Tableau 4.1 : Valeurs indicatives de  $n$**

| Classe de résistance | Coefficient $n$ |              |
|----------------------|-----------------|--------------|
|                      | Sens long       | Sens travers |
| S 220                | 5,5             | 7,5          |
| S 240                | 6,0             | 8,0          |
| S 480                | 4,0             | 4,0          |

## 5 États limites ultimes

### 5.1 Généralités

(1)P Les dispositions énoncées au Chapitre 5 de l'ENV 1993-1-1 doivent également être appliquées pour les aciers inoxydables, sauf modifications ou remplacements figurant dans les dispositions particulières données dans la présente Partie 1.4.

(2)P Le coefficient partiel  $\gamma_M$  doit être celui indiqué en 5.1.1(2) de l'ENV 1993-1-1.

(3)P L'analyse plastique globale ne doit pas être utilisée sauf s'il existe une preuve expérimentale suffisante pour garantir que les hypothèses prises dans les calculs sont représentatives du comportement réel de la structure. En particulier, il faut démontrer que les assemblages sont capables de résister à l'augmentation des moments et efforts internes résultant de l'écroutissement par déformation.

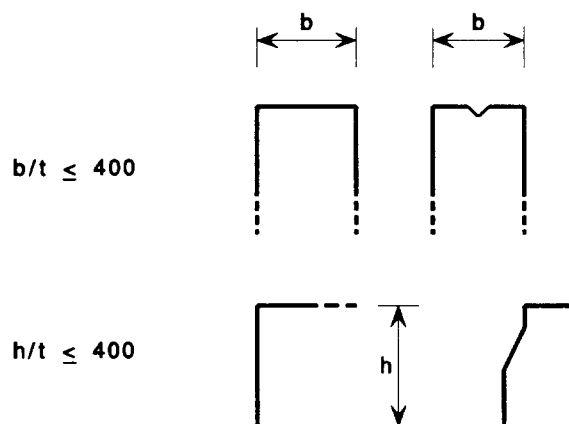
(4)P Il n'est pas nécessaire de tenir compte de la fatigue, sauf si la structure est soumise à de nombreuses variations significatives des sollicitations. Dans ce cas, la résistance à la fatigue doit être vérifiée conformément au Chapitre 9 de l'ENV 1993-1-1.

### 5.2 Classification des sections transversales

#### 5.2.1 Rapports largeur-épaisseur maximaux

(1)P Les dispositions concernant le dimensionnement par calculs 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'ENV 1993-1-3, à l'exception des rapports largeur-épaisseur hors-tout  $b/t$  et  $h/t$ , tels que définis dans l'ENV 1993-1-3, qui ne doivent pas excéder 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, il est conseillé d'appliquer, en cas de besoin, des rapports limites largeur-épaisseur hors-tout appropriés de valeurs plus faibles.

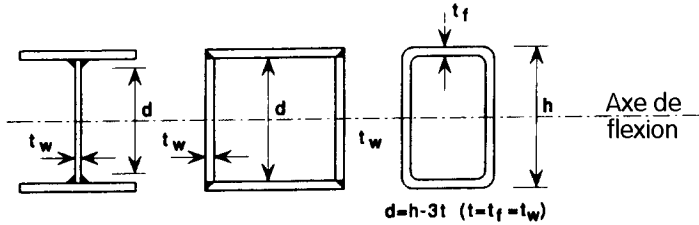
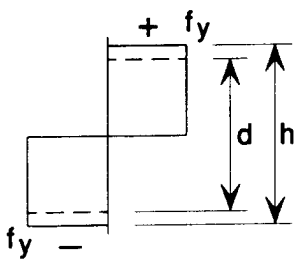
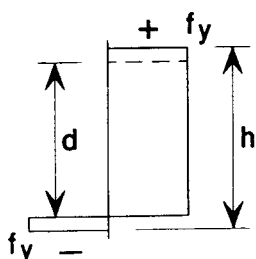
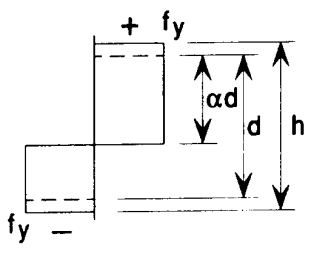
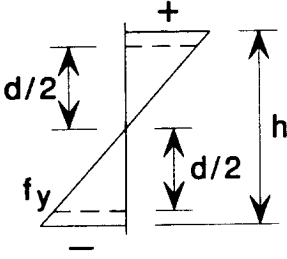
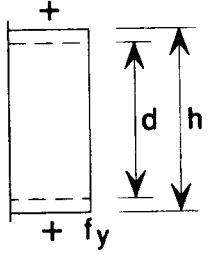
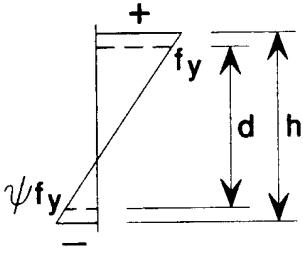


**Figure 5.1 : Rapports largeur-épaisseur maximaux**

### 5.2.2 Classification des parois comprimées

(1) Il convient de classer les parois comprimées des sections transversales en Classe 1, 2 ou 3 en fonction des limites précisées dans le tableau 5.1. Il convient de classer les parois comprimées qui ne répondent pas aux critères de la Classe 3 en parois de Classe 4.

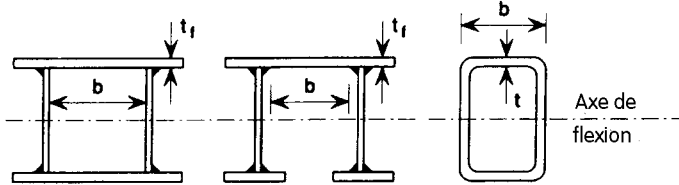
**Tableau 5.1 : Rapports largeur-épaisseur maximaux pour parois comprimées**

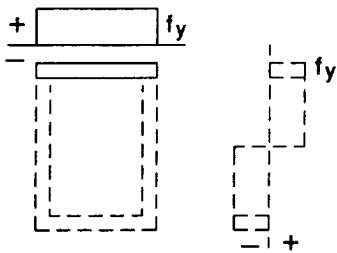
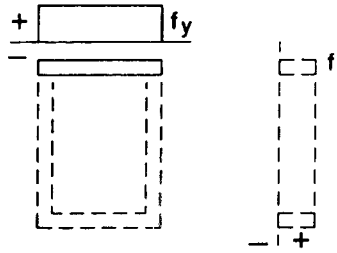
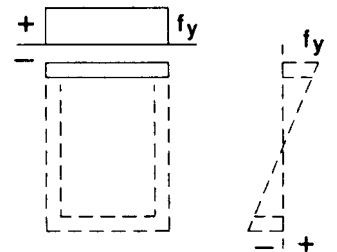
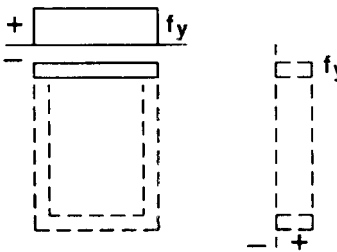
| a) Âmes : [parois internes perpendiculaires à l'axe de flexion]                    |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  |   |  |   |
| Classe   | Âme fléchie   | Âme comprimée  | Âme en flexion composée   |
| Distribution des contraintes dans la paroi (compression positive)                  |   |   |                                   |
|  | 1   | $d/t_w \leq 56,0 \varepsilon$  | $d/t_w \leq 25,7\varepsilon$  |
| 2  | $d/t_w \leq 58,2 \varepsilon$   | $d/t_w \leq 26,7 \varepsilon$  | si $a > 0,5$ :<br>$d/t_w \leq 320 \varepsilon / (13 a - 1)$<br>si $a \leq 0,5$ :<br>$d/t_w \leq 29,1 \varepsilon / a$ |
| Distribution des contraintes dans la paroi (compression positive)                  |  |  |                                  |
|  | 3   | $d/t_w \leq 74,8 \varepsilon$  | $d/t_w \leq 30,7 \varepsilon$   |
| $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$            |   | Pour $k_\sigma$ voir tableau 4.1 dans l'ENV 1993-1-3                                 |   |

(à suivre)

**Tableau 5.1 : Rapports largeur-épaisseur maximaux pour parois comprimées (suite)**

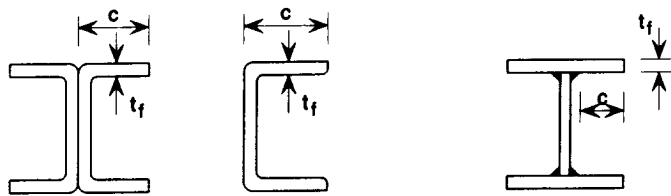
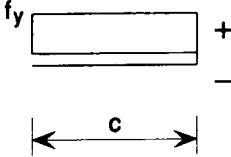
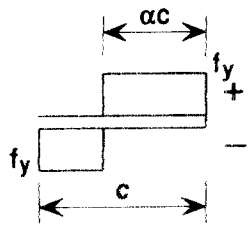
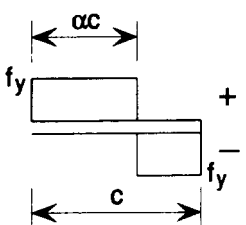
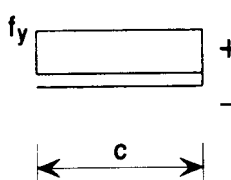
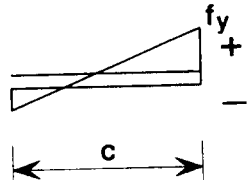
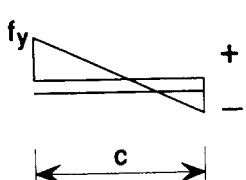
**b) Parois internes de semelles :** [parois internes parallèles à l'axe de flexion]



| Classe | Type                         | Section fléchée   | Section comprimée  |
|--------|------------------------------|---|--|
|        |                              |    |    |
| 1      | Profil creux laminé<br>Autre | $(b - 3t) / t \leq 25,7 \varepsilon$<br>$b / t_f \leq 25,7 \varepsilon$             | $(b - 3t) / t \leq 25,7 \varepsilon$<br>$b / t_f \leq 25,7 \varepsilon$              |
| 2      | Profil creux laminé<br>Autre | $(b - 3t) / t \leq 26,7 \varepsilon$<br>$b / t_f \leq 26,7 \varepsilon$             | $(b - 3t) / t \leq 26,7 \varepsilon$<br>$b / t_f \leq 26,7 \varepsilon$              |
|        |                              |  |  |
| 3      | Profil creux laminé<br>Autre | $(b - 3t) / t \leq 30,7 \varepsilon$<br>$b / t_f \leq 30,7 \varepsilon$             | $(b - 3t) / t \leq 30,7 \varepsilon$<br>$b / t_f \leq 30,7 \varepsilon$              |
|        |                              | $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$             |  |

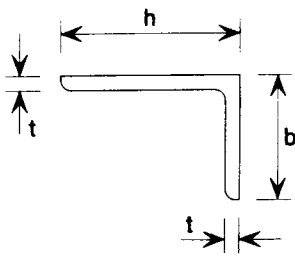
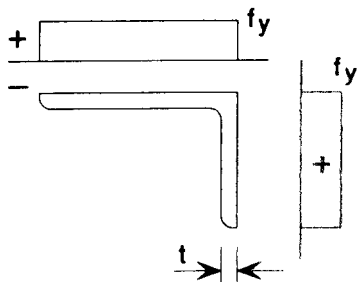
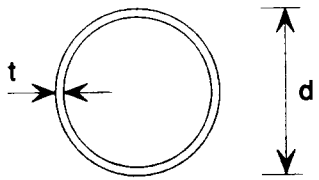
(à suivre)

Tableau 5.1 : Rapports largeur-épaisseur maximaux pour parois comprimées (suite)

| c) Semelles en console :   |                        |  |  |   |
|--|------------------------|--|--|---|
|  |                        |  |  |   |
|  |                        | Profils formés à froid   | Profils soudés   |   |
| Classe   | Type de profil         | Paroi comprimée  | Paroi en flexion composée  |   |
|  |                        |  | Bord comprimé  | Bord tendu  |
|  |                        | Distribution des contraintes dans la paroi (compression positive)<br>   |              |        |
| 1  | Formé à froid<br>Soudé | $c/t_f \leq 10,0 \varepsilon$<br>$c/t_f \leq 9,0 \varepsilon$  | $c/t_f \leq 10 \varepsilon / a$<br>$c/t_f \leq 9 \varepsilon / a$                              | $c/t_f \leq 10 \varepsilon / (a\sqrt{a})$<br>$c/t_f \leq 9 \varepsilon / (a\sqrt{a})$     |
| 2  | Formé à froid<br>Soudé | $c/t_f \leq 10,4 \varepsilon$<br>$c/t_f \leq 9,4 \varepsilon$  | $c/t_f \leq 10,4 \varepsilon / a$<br>$c/t_f \leq 9,4 \varepsilon / a$                          | $c/t_f \leq 10,4 \varepsilon / (a\sqrt{a})$<br>$c/t_f \leq 9,4 \varepsilon / (a\sqrt{a})$ |
|  |                        | Distribution des contraintes dans la paroi (compression positive)<br> |            |      |
| 3  | Formé à froid<br>Soudé | $c/t_f \leq 11,9 \varepsilon$<br>$c/t_f \leq 11,0 \varepsilon$   | $c/t_f \leq 18,1 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}$<br>$c/t_f \leq 16,7 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ |   |
| $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$            |                        |  | Pour $k_\sigma$ voir tableau 4.1 dans l'ENV 1993-1-3   |   |

(à suivre)

**Tableau 5.1 : Rapports largeur-épaisseur maximaux pour parois comprimées (fin)**

| <p><b>d) Cornières :</b></p> <p>Se référer aussi à (c) «semelles en console»</p>  |  <p>[Ne s'applique pas aux cornières en contact continu avec d'autres composants]</p> |
|---|--|
| Classe  | Section comprimée  |
| <p>Distribution des contraintes dans la section (compression positive)</p>  |    |
| <p>3</p>  | <p><math>h/t \leq 11,9 \varepsilon</math><br/> <math>(b + h) / 2t \leq 9,1 \varepsilon</math></p>  |
| <p><b>e) Profils tubulaires :</b></p>  |  |
| Classe  | Section fléchi et/ou comprimée   |
| <p>1</p>  | <p><math>d/t \leq 50 \varepsilon^2</math></p>  |
| <p>2</p>  | <p><math>d/t \leq 70 \varepsilon^2</math></p>  |
| <p>3</p>  | <p><math>d/t \leq 90 \varepsilon^2</math></p>  |
| $\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5}$   |  |

### 5.2.3 Largeurs efficaces pour les sections transversales de Classe 4

(1) Les largeurs efficaces des éléments comprimés pour les sections transversales de Classe 4 doivent être déterminées selon les dispositions du Chapitre 4 de l'ENV 1993-1-3, à l'aide du coefficient réducteur  $\rho$  obtenu par les équations suivantes :

— si  $\bar{\lambda}_p \leq 0,673$  :

$$\rho = 1,0 \quad \dots (5.1a)$$

— si  $\bar{\lambda}_p > 0,673$  :

$$\rho = (1,0 - 0,22 / \bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p \quad \dots (5.1b)$$

avec :

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{\gamma_{M1} \sigma_{com,Ed}}{E k_\sigma}}$$

où :

$b_p$  est la largeur à plat théorique d'un élément plan telle que définie dans l'ENV 1993-1-3, ou comme  $\bar{b}$  dans l'ENV 1993-1-1, selon le cas ;

$E$  est le module d'élasticité selon 2.1.4(1)P ;

$k_\sigma$  est le coefficient de flambement approprié tiré du tableau 4.1 ou 4.2 de l'ENV 1993-1-3 selon le cas ;

$\sigma_{com,Ed}$  est la contrainte de compression la plus élevée dans l'élément concerné, calculée sur la base de la section transversale efficace.

### 5.2.4 Effets du traînage de cisaillement

(1)P Les effets du traînage de cisaillement doivent être pris en compte comme spécifié en 5.4.3 de l'ENV 1993-1-3.

## 5.3 Résistance des sections transversales

### 5.3.1 Exploitation de l'écrouissage

(1)P Lorsque l'augmentation de la résistance des sections transversales résultant de l'écrouissage, associé aux opérations de formage à froid, doit être exploité, les résistances des sections transversales doivent être calculées à l'aide de la valeur majorée appropriée de la résistance élastique pour le niveau adéquat d'écrouissage, voir 2.1.3.

(2)P Dans des circonstances exceptionnelles, par exemple le cas de poutres dans des situations de calcul accidentelles, les bénéfices des propriétés d'écrouissage des aciers inoxydables austénitiques recuits peuvent être utilisés dans le calcul, sous réserve des mêmes conditions que celles spécifiées en 2.1.3(4)P concernant l'écrouissage en cours de fabrication.

(3) Ceci peut être réalisé en utilisant une limite d'élasticité améliorée  $f_{yc}$  au lieu de la limite d'élasticité  $f_y$  tirée du tableau 2.1. Il convient que les conditions suivantes soient satisfaites :

- la section transversale doit être de Classe 1 ou 2 en utilisant une valeur de  $\varepsilon$  tirée du tableau 5.1 calculée avec la limite d'élasticité majorée  $f_{yc}$  au lieu de la limite d'élasticité  $f_y$  tirée du tableau 2.1 ;
- l'élément doit être soumis uniquement à une flexion uniaxiale ;
- l'élément ne doit pas être soumis à un flambement par flexion, par torsion, par flexion-torsion, par déformation ou à un déversement, lorsque l'on utilise  $f_{yc}$  pour la vérification ;
- les assemblages doivent être capables de supporter les résistances accrues des éléments.

### 5.3.2 Section transversale nette

(1)P Les dispositions indiquées en 5.4.2.2 de l'ENV 1993-1-1 doivent également être appliquées pour les aciers inoxydables.

### 5.3.3 Résistance à la traction au niveau des trous de fixation

(1)P La résistance à la traction d'une section transversale doit être prise égale à la plus faible des deux valeurs suivantes : la résistance plastique de la section transversale brute  $N_{p\ell,Rd}$  ou la résistance à la rupture  $N_{u,Rd}$  de la section transversale nette.

(2) La résistance plastique de la section transversale brute peut être déterminée par :

$$N_{p\ell,Rd} = Af_y / \gamma_{M0} \quad \dots (5.2)$$

(3) La résistance à la rupture de la section transversale nette doit être déterminée par :

$$N_{u,Rd} = 0,9k_r A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad \dots (5.3)$$

avec :

$$k_r = (1 + 3r(d_0 / u - 0,3)) \text{ mais } k_r \leq 1$$

$$r = [\text{nombre de boulons au niveau de la section}] / [\text{nombre total de boulons dans l'assemblage}]$$

$$u = 2e_2 \text{ mais } u \leq p_2$$

où :

$A_{net}$  est l'aire de section transversale nette ;

$d_0$  est le diamètre nominal du trou de boulon ;

$e_2$  est la pince transversale entre le centre du trou de boulon et le bord adjacent, perpendiculairement au sens de transmission de charge ;

$p_2$  est l'entraxe des trous de boulons, perpendiculairement au sens de transmission de charge.

### 5.3.4 Cornières tendues

(1) Dans le cas d'une cornière assemblée par une seule aile, la résistance à la traction peut être déterminée en négligeant l'excentricité et en traitant l'élément comme s'il supportait une charge axiale, mais avec une aire nette réduite  $A_{red}$  obtenue par :

$$A_{red} = A_{1,net} + 0,5 A_2 \quad \dots (5.4)$$

où :

$A_{1,net}$  est l'aire nette de l'aile fixée ;

$A_2$  est l'aire brute de l'aile libre, mais n'excédant pas deux fois l'aire brute de l'aile fixée.

## 5.4 Résistance des éléments aux phénomènes d'instabilité

### 5.4.1 Généralités

(1)P Les dispositions concernant le flambement par flexion, torsion, flexion-torsion, le déversement et l'instabilité de forme transversale énoncées dans l'ENV 1993-1-1 et dans l'ENV 1993-1-3 selon le cas doivent également être appliquées pour les aciers inoxydables, sauf modification ou ajout figurant en 5.4.2 ou 5.4.3.

**NOTE** Pour la compression axiale, le mode par torsion ou par flexion-torsion est plus susceptible de gouverner la résistance au flambement des aciers inoxydables que celle des aciers au carbone.

(2) Pour la définition de la résistance au flambement par torsion ou par flexion-torsion d'une cornière, la définition de l'axe  $y - y$  doit être celle donnée dans l'ENV 1993-1-3 plutôt que celle donnée dans l'ENV 1993-1-1.



### 5.4.2 Flambement par flexion

(1)P Pour le flambement par flexion, le coefficient de réduction  $\chi$  doit être calculé à partir des valeurs de  $\alpha$  et de données dans le tableau 5.2, par l'équation suivante :

$$\chi = 1 / (\phi + [\phi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}) \quad \text{mais } \chi \leq 1 \quad \dots (5.5)$$

avec :

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\ell}{i} \sqrt{\frac{f_y \beta_A}{\pi^2 E}} = (\lambda / \lambda_1) [\beta_A]^{0,5}$$

$$\lambda = \ell / i$$

$$\lambda_1 = \pi [E / f_y]^{0,5}$$

$\beta_A = 1$  pour les sections transversales de Classe 1, 2 ou 3 ;

$\beta_A = A_{\text{eff}} / A$  pour les sections transversales de Classe 4.

où :

$E$  est le module d'élasticité, voir 2.1.4(1)P ;

$i$  est le rayon de giration selon l'axe approprié ( $i_y, i_z, i_u$  ou  $i_v$ ), basé sur les caractéristiques de la section transversale brute ;

$\ell$  est la longueur de flambement pour le flambement par flexion selon l'axe approprié ( $\ell_y, \ell_z, \ell_u$  ou  $\ell_v$ ) ;

$\alpha$  est le coefficient d'imperfection tiré du tableau 5.2 ;

$\bar{\lambda}_0$  est l'élanement limite tiré du tableau 5.2.

(2) Il est conseillé de se reporter à l'ENV 1993-1-1 pour la méthode de détermination de la longueur de flambement  $\ell$  pour le flambement par flexion d'un élément comprimé à partir de sa longueur d'épure  $L$ .

**Tableau 5.2 : Valeurs de  $\alpha$  et de  $\bar{\lambda}_0$  pour le flambement par flexion**

| Type d'élément                    | $\alpha$ | $\bar{\lambda}_0$ |
|-----------------------------------|----------|-------------------|
| Profil ouvert formé à froid       | 0,49     | 0,40              |
| Profil creux laminé formé à froid | 0,49     | 0,40              |
| Profil ouvert soudé               | 0,76     | 0,20              |

### 5.4.3 Déversement

(1)P Pour le déversement, le coefficient de réduction  $\chi_{LT}$  doit être calculé à partir de la valeur de  $\alpha_{LT}$  donnée dans le tableau 5.3, par l'équation suivante :

$$\chi_{LT} = 1 / (\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]^{0,5}) \quad \text{mais } \chi_{LT} \leq 1 \quad \dots (5.6)$$

avec :

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_W f_y W_{p\ell,y}}{M_{cr}}} = (\lambda_{LT} / \lambda_1) [\beta_W]^{0,5}$$

$$\lambda_1 = \pi [E / f_y]^{0,5}$$

$\beta_W = 1$  pour les sections transversales de Classe 1 ou 2 ;

$\beta_W = W_{e\ell} / W_{p\ell}$  pour les sections transversales de Classe 3 ;

$\beta_W = W_{\text{eff}} / W_{p\ell}$  pour les sections transversales de Classe 4 ;

où :

$\alpha_{LT}$  est le coefficient d'imperfection défini dans le tableau 5.3 ;

$M_{cr}$  est le moment critique élastique pour le déversement.

**NOTE** L'annexe F de l'ENV 1993-1-1 donne des informations sur le calcul de  $M_{cr}$  et  $\lambda_{LT}$ .

(2) Il inutile de tenir compte du déversement si  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ .

**Tableau 5.3 : Valeurs de  $\alpha_{LT}$  pour le déversement**

| Type d'élément   | $\alpha_{LT}$ |
|--|---------------|
| Profil ouvert formé à froid                                      | 0,34          |
| Profil creux laminé formé à froid                                | 0,34          |
| Profil ouvert soudé  | 0,76          |
| Autres cas pour lesquels aucun résultat d'essai n'est disponible | 0,76          |

## 5.5 Résistance au cisaillement

(1)P La résistance au cisaillement d'une âme  $V_{w,Rd}$  doit être prise égale à la plus faible des deux valeurs suivantes : la résistance au voilement par cisaillement  $V_{b,Rd}$  ou la résistance au cisaillement plastique  $V_{p\ell,Rd}$ .

(2) Il convient de vérifier la résistance au cisaillement plastique  $V_{p\ell,Rd}$  lorsque l'élanement relatif de l'âme  $\bar{\lambda}_w \leq 0,2$  ( $\gamma_{M0} / \gamma_{M1}$ ) ou, dans le cas d'une âme non raidie, si  $d_w / t_w \leq 17,3\varepsilon$  ( $\gamma_{M0} / \gamma_{M1}$ ),

où :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000}}$$

(3) L'élanement relatif de l'âme  $\bar{\lambda}_w$  doit être obtenu par l'équation suivante :

$$\bar{\lambda}_w = \frac{0,8d_w}{t_w} \sqrt{\frac{f_y}{k_\tau E}} \quad \dots (5.7)$$

où :

$k_\tau$  est le coefficient de voilement par cisaillement, voir 5.6.3 de l'ENV 1993-1-1.

(4) La résistance au cisaillement plastique  $V_{p\ell,Rd}$  est donnée par l'équation suivante :

$$V_{p\ell,Rd} = d_w t_w (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \quad \dots (5.8)$$

(5) La résistance au voilement par cisaillement  $V_{b,Rd}$  est donnée par l'équation suivante :

$$V_{b,Rd} = d_w t_w f_{bv} / \gamma_{M1} \quad \dots (5.9)$$

où :

$f_{bv}$  est la résistance au voilement par cisaillement selon la valeur appropriée de  $\bar{\lambda}_w$ , suivant le tableau 5.4.

**Tableau 5.4 : Résistance au voilement par cisaillement  $f_{bv}$**

| Élanement relatif de l'âme $\bar{\lambda}_w$ | Âme avec raidisseurs transversaux au niveau des appuis uniquement | Âme avec raidisseurs transversaux intermédiaires et raidisseurs transversaux au niveau des appuis |
|--|---|---|
| $0,2 < \bar{\lambda}_w \leq 0,6$             | $[1 - 0,63 (\bar{\lambda}_w - 0,2)] (f_y / \sqrt{3})$             | $[1 - 0,63 (\bar{\lambda}_w - 0,2)] (f_y / \sqrt{3})$   |
| $\bar{\lambda}_w > 0,6$                      | $[1 - 0,42 \bar{\lambda}_w] (f_y / \sqrt{3})$                     | $\left[ \frac{27 - \bar{\lambda}_w}{24 + 19\bar{\lambda}_w} \right] (f_y / \sqrt{3})$             |

## 5.6 Résistance de l'âme aux charges transversales

- (1) En l'absence de meilleures informations sur la résistance des âmes en acier inoxydable aux forces transversales appliquées par l'intermédiaire d'une semelle, on peut se reporter à l'ENV 1993-1-1 et à l'ENV 1993-1-3 selon le cas.
- (2) La nécessité de vérifier un mode de ruine particulier, en fonction du type de profil et du type d'application des charges, est indiquée dans le tableau 5.5.

**Tableau 5.5 : Vérifications de la résistance locale de l'âme**

| Type de profil et mode d'application des charges | Résistance à l'écrasement | Résistance à l'enfoncement local | Résistance au voilement |
|--|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Profil ouvert soudé :                            |                           |                                  |                         |
| — charge reprise par cisaillement dans l'âme     | ✓                         | ✓                                | —                       |
| — charge transmise à la semelle opposée          | ✓                         | —                                | ✓                       |
| Profil ouvert formé à froid                      | —                         | ✓                                | ✓                       |

## 5.7 Raidisseurs d'âme transversaux

(1)P Les raidisseurs d'âme transversaux situés au niveau des appuis et des emplacements où des charges significatives sont appliquées à l'élément par l'intermédiaire d'une semelle, doivent posséder une résistance au voilement au moins égale à la réaction ou à la charge appliquée.

(2) Les autres raidisseurs d'âme transversaux intermédiaires doivent être calculés pour résister à un effort de compression  $N_{s,Sd}$  dans le raidisseur, obtenu selon l'équation suivante :

$$N_{s,Sd} = V_{Sd} - d_w t_w \tau_{bb} \quad \text{mais} \quad N_{s,Sd} \geq 0 \quad \dots (5.10)$$

où :

$V_{Sd}$  est l'effort tranchant s'exerçant dans l'élément au niveau de l'emplacement du raidisseur ;

$\tau_{bb}$  est la résistance initiale au voilement par cisaillement de l'âme.

(3) La résistance initiale au voilement par cisaillement  $\tau_{bb}$  pour la valeur appropriée de  $\bar{\lambda}_w$  doit être tirée du tableau 5.6. Les valeurs de  $\tau_{bb}$  doivent être prises égales aux plus faibles des valeurs pour les deux panneaux adjacents au raidisseur.

(4) La résistance au flambement  $N_{b,Rd}$  du raidisseur doit être calculée selon les indications de 5.4.2 et avec  $\alpha = 0,49$  et de  $\bar{\lambda}_0 = 0,2$ . La longueur de flambement  $\ell$  du raidisseur doit être appropriée aux conditions de maintien, mais pas inférieure à  $0,75 d_w$ .

(5) Pour la vérification du flambement, l'aire de section transversale efficace d'un raidisseur doit comprendre le raidisseur lui-même plus une largeur d'âme de  $11\epsilon t_w$  de chaque côté du raidisseur. Aux extrémités de l'élément (ou aux ouvertures dans l'âme) la dimension de  $11\epsilon t_w$  doit être limitée à celle réellement disponible.

**Tableau 5.6 : Contrainte de voilement par cisaillement initiale  $\tau_{bb}$**

| Élancement relatif de l'âme $\bar{\lambda}_w$ | Résistance initiale au voilement par cisaillement $\tau_{bb}$                             |
|---|---|
| $\bar{\lambda}_w \leq 0,2$                    | $(f_y / \sqrt{3})$  |
| $0,2 < \bar{\lambda}_w \leq 0,75$             | $[1 - 0,63 (\bar{\lambda}_w - 0,2)] (f_y / \sqrt{3})$                                     |
| $0,75 < \bar{\lambda}_w \leq 2,2$             | $\left[ \frac{3,6 - \bar{\lambda}_w}{3,2 + 1,6 \bar{\lambda}_w} \right] (f_y / \sqrt{3})$ |
| $\bar{\lambda}_w > 2,2$                       | $(1 / \bar{\lambda}_w^2) (f_y / \sqrt{3})$  |

## 6 Calcul des assemblages

### 6.1 Généralités

(1)P Les dispositions énoncées au Chapitre 6 de l'ENV 1993-1-1 doivent également être appliquées pour les aciers inoxydables, sauf modifications ou remplacements figurant dans les dispositions particulières données dans la présente Partie 1.4.

**NOTE** L'annexe B donne des informations sur la durabilité. L'annexe C donne des informations sur la fabrication des assemblages.

(2) Le calcul des assemblages de tôles d'acier inoxydables utilisant des vis auto-taraudeuses avec rondelles doit être conforme aux dispositions de l'ENV 1993-1-3.

### 6.2 Assemblages boulonnés

(1) Bien que la résistance à la pression diamétrale d'un assemblage boulonné en acier inoxydable soit en général gouvernée par la nécessité de limiter l'allongement des trous sous l'effet des charges aux états limites de service, on peut éviter une vérification séparée sous charges aux états limites de service en limitant l'allongement des trous à l'état limite ultime en remplaçant  $f_u$  par une valeur réduite  $f_{u,red}$  donnée par :

$$f_{u,red} = 0,5 f_y + 0,6 f_u$$

(2) Si la pince transversale  $e_2$  est réduite en dessous de  $1,5d_0$  ou si le pas transversal  $p_2$  est réduit en dessous de  $3,0d_0$ , voir 6.5.5(9) de l'ENV 1993-1-1, la réduction donnée en 6.5.5(10) de l'ENV 1993-1-1 doit être appliquée à la résistance à la pression diamétrale basée sur  $f_u$  et non à la résistance à la pression diamétrale réduite basée sur  $f_{u,red}$ .

(3) Pour les boulons soumis à une combinaison de cisaillement et de traction, on doit utiliser l'équation (6.6) de l'ENV 1993-1-1 plutôt que l'équation (8.2) de l'ENV 1993-1-3.

(4) Lorsque l'on opère une distinction, pour les boulons en acier au carbone visés en 6.5.5 de l'ENV 1993-1-1, entre les qualités de boulons les plus ductiles 4.6, 5.6 et 8.8, et les qualités de boulons les moins ductiles 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9, les boulons en acier inoxydable conformes aux classes 50, 70 et 80 de l'ISO 3506 doivent être traités comme les qualités de boulon les plus ductiles.

(5) La résistance au cisaillement d'un boulon doit être déterminée de la façon suivante :

— si le plan de cisaillement est situé dans la partie non filetée du boulon :

$$F_{V,Rd} = 0,6f_{ub} A / \gamma_{Mb} \quad \dots (6.1)$$

— si le plan de cisaillement est situé dans la partie filetée du boulon :

$$F_{V,Rd} = 0,6f_{ub} A_s / \gamma_{Mb} \quad \dots (6.2)$$

où :

$A$  est l'aire de la section brute du boulon ;

$A_s$  est l'aire de la section résistante en traction du boulon ;

$f_{ub}$  est la résistance en traction du boulon, voir tableau 2.2.

### 6.3 Assemblages soudés

(1) Lors de la détermination de la résistance de calcul des soudures d'angle, la valeur du facteur de corrélation  $\beta_w$  doit être prise égale à 1,0 pour toutes les classes de résistance nominale d'acier inoxydable, sauf si une valeur inférieure est justifiée par des essais conformes aux dispositions du Chapitre 8.

## 7 Fabrication

(1)P Les dispositions concernant le dimensionnement par calculs données dans la présente Partie 1.4 de l'ENV 1993 peuvent être utilisées pour les structures qui répondent aux exigences énoncées dans l'ENV 1090-1 (et prENV 1090-2 dans le cas de structures faisant appel à des produits en acier de faible épaisseur formés à froid) pour les normes d'exécution et pour les tolérances de fabrication et de montage.

(2) Il est conseillé de se reporter également aux documents prENV 1090-6 et prEN... (CEN/TC 121/SC 4/WG 5 projet de *Directives de soudage pour les aciers inoxydables*).

**NOTE** L'annexe C donne des directives concernant les aspects particuliers de fabrication de structure en acier inoxydable.

## 8 Conception et dimensionnement assistés par l'expérimentation

(1) Le Chapitre 8 de l'ENV 1993-1-1 et le Chapitre 9 de l'ENV 1993-1-3 peuvent également être appliqués aux aciers inoxydables.

**NOTE** L'annexe A de l'ENV 1993-1-3 donne des directives sur l'ajustement pour la résistance et l'épaisseur des matériaux.

(2) Il convient réaliser des prototypes destinés aux essais de la même façon que les composants de la structure définitive, de telle sorte qu'ils reflètent les mêmes niveaux d'écrouissage dus à la fabrication.

(3) Il convient d'appliquer aux aciers inoxydables les mêmes précautions et exigences pour les méthodes d'essai que celles qui s'appliquent aux aciers au carbone.

**NOTE 1** Les aciers inoxydables possèdent une ductilité supérieure et un plus fort potentiel d'écrouissage par déformation que les aciers au carbone : les bancs d'essais requièrent donc des puissances supérieures ainsi qu'une aptitude à accepter de plus grandes déformations du prototype, par rapport aux capacités exigées pour les essais d'éléments en acier au carbone de résistance élastique similaire.

**NOTE 2** Pour des charges plus élevées, les effets du fluage augmentent, au point d'empêcher éventuellement la stabilisation des mesures de déformation ou de déplacement dans un délai raisonnable.

(4) En raison du fait que les aciers inoxydables peuvent présenter un caractère anisotrope, il est conseillé de préparer les prototypes à partir de la plaque ou de la tôle orientée de la même façon (c'est-à-dire transversalement ou parallèlement au sens de rotation) 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 les résultats les moins favorables.

## 9 Fatigue

(1) Le Chapitre 9 de l'ENV 1993-1-1, y compris les tableaux de classification, peut également être utilisé pour les aciers inoxydables.

(2) Il est conseillé de tenir compte des modifications de contraintes dues aux vibrations provoquées par des installations ou des machines, des fluctuations de charges de vent sur les pylônes, les mâts et les cheminées, ainsi que par les oscillations induites par le vent. Toutefois, il est inutile d'y inclure les modifications de contraintes résultant de fluctuations normales des surcharges, surcharges de neige ou de vent, sur un bâtiment.

## 10 Résistance au feu

(1)P Pour la résistance au feu des constructions, on doit se reporter à l'ENV 1993-1-2.

(2) On peut se procurer des données concernant les relations contraintes-déformations ainsi que d'autres caractéristiques des aciers inoxydables à hautes températures dans l'EN 10088 ou auprès du producteur d'acier.

## Annexe A (informative) Données concernant les matériaux

### A.1 Types d'aciers inoxydables

#### A.1.1 Généralités

- (1) Les aciers inoxydables couverts par la présente Partie 1.4 de l'ENV 1993 peuvent être classés en fonction de leur structure métallurgique et de leur composition chimique.
- (2) La classification des aciers inoxydables en fonction de leur teneur en nickel et en chrome est indiquée sur la figure A.1.

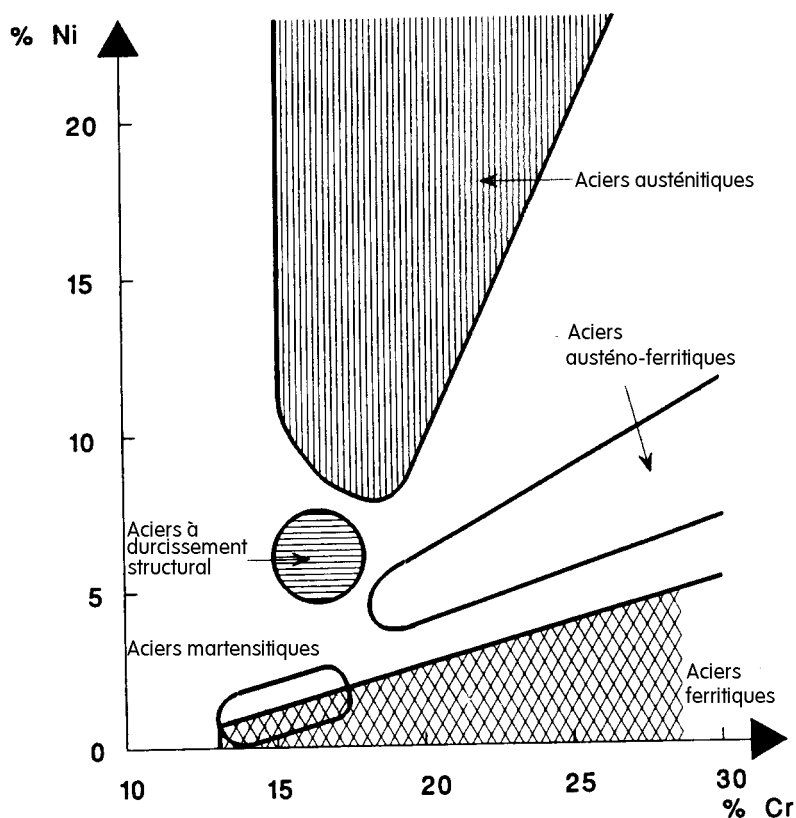


Figure A.1 : Classification des aciers inoxydables par leurs teneurs en chrome et en nickel

#### A.1.2 Aciers inoxydables ferritiques, semi-ferritiques et martensitiques

##### A.1.2.1 Généralités

- (1) Le chrome constitue l'élément d'alliage principal dans les aciers inoxydables ferritiques, semi-ferritiques et martensitiques.

### **A.1.2.2 Aciers ferritiques et semi-ferritiques**

- (1) Les aciers inoxydables ferritiques ont une teneur en carbone maximale de 0,08 %. Pour cette raison, ils ne présentent pas de durcissement significatif après la trempe.
- (2) La structure ferritique dans la phase alpha et dans la phase delta (structure résiduelle après traitement à haute température) est magnétique. Cette structure est ductile dans des conditions de production spécifiques.
- (3) Les nuances ferritiques les plus couramment utilisées pour les barres reçoivent une adjonction de plus de 0,15 % de soufre destiné à faciliter l'usinage. Dans certains cas, le soufre peut être en partie remplacé par des éléments de la même famille (sélénium, tellure, etc.).
- (4) Selon leur composition chimique, certaines nuances peuvent subir une transformation martensitique partielle et sont alors appelées nuances semi-ferritiques.

### **A.1.2.3 Aciers martensitiques**

- (1) Ce sont les aciers inoxydables martensitiques qui possèdent la plus forte teneur en carbone, allant de 0,08 % à plus de 1 %. Leur résistance mécanique peut être considérablement augmentée par un traitement thermique de trempe. La structure martensitique obtenue est magnétique et fragile, et elle doit subir un traitement de revenu avant utilisation.
- (2) Certaines nuances reçoivent des adjonctions de soufre, et certaines renferment d'autres éléments de la même famille (sélénium, tellure, etc.), dans une proportion supérieure à 0,15 %, et sont adaptées à un usinage à grande vitesse.
- (3) Outre les nuances mentionnées dans la présente prénorme, il existe des nuances destinées à des applications spécifiques telles que les roulements et la coutellerie.

### **A.1.3 Aciers austénitiques**

- (1) Dans les aciers austénitiques, le chrome et le nickel sont les éléments principaux alliés avec le fer.
- (2) La structure métallurgique de ces aciers est une austénite ou phase gamma qui peut s'avérer métastable, avec éventuellement la présence d'une phase ferritique delta, résiduelle après traitement à haute température.
- (3) La phase gamma austénitique est amagnétique.
- (4) L'austénite métastable peut être transformée en martensite par déformation plastique ou par refroidissement à basse température.
- (5) La stabilité de l'austénite peut être augmentée par l'adjonction des éléments suivants : carbone, nickel, manganèse, azote, cuivre et cobalt.
- (6) Les aciers austénitiques possèdent une bonne résistance générale à la corrosion. Ils ne montrent aucun durcissement après traitement thermique ; en revanche, leur résistance mécanique peut être considérablement augmentée par l'écrouissage.
- (7) Les aciers austénitiques peuvent être classés en fonction de leur composition chimique de la façon suivante :
  - a) **Aciers austénitiques** : Ce sont les aciers qui sont le plus couramment utilisés, parce qu'ils représentent un bon compromis entre le coût et la résistance à la corrosion. Ils sont plus difficiles à usiner que les nuances ferritiques et martensitiques, et, de même que dans ces catégories, il existe des variantes soufrées (S > 0,15 % avec éventuellement sélénium, tellure, etc.).
  - b) **Aciers austénitiques au molybdène** : L'adjonction de molybdène augmente la résistance à la corrosion. Afin de ne pas perturber cet effet, il n'existe pas de variantes avec une haute teneur en soufre. Dans un environnement riche en peroxyde d'azote, les adjonctions de molybdène s'avèrent plutôt néfastes.
  - c) **Aciers austénitiques stabilisés** : L'adjonction de titane et/ou de niobium empêche la précipitation de carbures de chrome liée au traitement thermique et/ou aux opérations de soudage. Ces aciers montrent de bonnes caractéristiques mécaniques jusqu'à 600 °C.
  - d) **Aciers austénitiques supérieurs** : Ces aciers possèdent une structure austénitique stable avec une teneur totale en chrome et nickel, auxquels viennent s'ajouter d'autres éléments, de plus de 45 %. Ceci leur confère une excellente résistance à la corrosion dans des environnements agressifs.

### A.1.4 Aciers austéno-ferritiques

- (1) Les aciers inoxydables austéno-ferritiques ont en général une teneur en chrome élevée et une faible teneur en nickel, avec comme caractéristique distinctive une structure métallurgique en deux phases aux températures ambiantes (teneur en austénite entre 40 % et 60 %).
- (2) Leurs caractéristiques mécaniques sont supérieures à celles des aciers inoxydables austénitiques (résistance à la rupture en traction environ 1,2 fois plus grande, et résistance élastique environ 2 fois plus élevée).
- (3) Les aciers austéno-ferritiques présentent habituellement une meilleure résistance à la corrosion en général, à la corrosion en piqûres, et à la corrosion sous contraintes, que celle des aciers inoxydables austénitiques.

|  |
|--|
| (3) C Ceci est dû à leur teneur en chrome plus élevée. |
|--|

### A.1.5 Aciers à durcissement structural

- (1) Les aciers inoxydables à durcissement structural présentent une résistance mécanique supérieure et une bonne résistance à la corrosion, obtenues par traitement thermique effectué en fin de fabrication.
- (2) L'augmentation de la résistance résulte de la précipitation des composés intermétalliques au cours du traitement de durcissement final. Les conditions de traitement spécifiques doivent être ajustées en fonction du niveau de caractéristiques mécaniques souhaité, à l'aide des données fournies par le producteur d'acier.
- (3) Tout comme les aciers inoxydables martensitiques, les aciers à durcissement structural peuvent également être livrés à l'état traité, prêts à l'emploi.

## A.2 Lexique des termes de traitement

- A.2.1 Traitement thermique :** Série d'opérations au cours desquelles un produit ferreux massif est totalement ou partiellement exposé à des cycles thermiques destinés à provoquer une modification dans ses caractéristiques mécaniques et/ou de sa structure métallurgique.
- A.2.2 Traitement de mise en solution :** Traitement thermique destiné à dissoudre des constituants initialement précipités et à les retenir en solution.
- A.2.3 Recuit :** Traitement thermique consistant à chauffer ou à immerger à température convenable, puis à refroidir dans des conditions telles qu'après retour à la température ambiante, la structure métallurgique soit dans un état plus proche de l'équilibre.
- A.2.4 Hypertrempe:** Traitement thermique appliqué aux aciers austénitiques, consistant à chauffer à haute température puis à refroidir suffisamment rapidement pour conserver une structure austénitique homogène après retour à la température ambiante.
- A.2.5 Écrouissage :** Augmentation de dureté et de résistance produite par déformation et travail mécanique.



### A.3 Affectation des aciers inoxydables aux classes de résistance nominale

(1) Les affectations des aciers austénitiques et austéno-ferritiques courants selon l'EN 10088 dans les classes de résistance nominale spécifiées dans le tableau 2.1 sont données dans le tableau A.1.

**Tableau A.1 : Affectations des aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques courants aux classes de résistance nominale**

| Classe de résistance nominale | Microstructure     | Nuances d'acier selon l'EN 10088 |                |
|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|
|                               |                    | Appellation d'acier              | Numéro d'acier |
| S 220                         | Austénitique       | X5CrNi18-10                      | 1.4301         |
|                               |                    | X2CrNi19-11                      | 1.4306         |
|                               |                    | X2CrNi18-9                       | 1.4307         |
|                               |                    | X6CrNiTi18-10                    | 1.4541         |
| S 240                         | Austénitique       | X5CrNiMo17-12-2                  | 1.4401         |
|                               |                    | X2CrNiMo17-12-2                  | 1.4404         |
|                               |                    | X2CrNiMo17-12-3                  | 1.4432         |
|                               |                    | X2CrNiMo18-14-3                  | 1.4435         |
|                               |                    | X1CrNiMoCu25-20-5                | 1.4539         |
|                               |                    | X6CrNiMoTi17-12-2                | 1.4571         |
| S 290                         | Austénitique       | X2CrNi18-10                      | 1.4311         |
|                               |                    | X2CrNiMoN17-11-2                 | 1.4406         |
|                               |                    | X2CrNiMoN17-13-5                 | 1.4439         |
|                               |                    | X1NiCrMoCuN25-20-7               | 1.4529         |
| S 350                         | Austénitique       | X2CrNi18-7                       | 1.4318         |
| S 480                         | Austéno-ferritique | X2CrNiMoN22-5-3                  | 1.4462         |

### A.4 Désignation des aciers inoxydables

#### A.4.1 Introduction

(1) Le système de désignation utilisé dans l'EN 10088 pour les aciers inoxydables est défini dans l'EN 10027. On trouvera quelques informations supplémentaires ci-dessous.

#### A.4.2 Appellations courtes

(1) Les appellations courtes utilisent les éléments d'alliage principaux ajoutés aux aciers. Ces éléments sont énumérés dans l'ordre décroissant de teneur par poids. Nous avons donc :

- les aciers inoxydables au chrome
  - les aciers inoxydables au chrome-nickel
  - les aciers inoxydables au chrome-nickel-molybdène
- } en partie avec des éléments additionnels

(2) La première lettre de la désignation X indique un acier hautement allié, contenant au moins 5 % d'au moins un des éléments d'alliage. La lettre X est précédée de la lettre G pour les fontes. Le nombre suivant la lettre X correspond à 100 fois le pourcentage moyen de teneur en carbone, tel que spécifié dans la norme de produit appropriée, en l'occurrence l'EN 10088. On trouve ensuite les symboles chimiques des alliages qui caractérisent l'acier. Ces symboles sont suivis de deux ou plusieurs nombres consécutifs représentant le pourcentage moyen des éléments chimiques présents dans l'acier, dans l'ordre où leurs symboles sont donnés. Ces pourcentages sont arrondis au chiffre supérieur. Par exemple, la désignation d'un acier austénitique chrome-nickel typique est X5CrNi18-10.

(3) L'avantage de ce système est qu'un non-spécialiste peut comprendre immédiatement de quelle sorte d'acier il s'agit. Pour une description plus précise les nombres figurant à la fin de ces désignations font référence à la teneur en éléments sous forme de pourcentages de poids.

#### A.4.3 Numéro de matériau

(1) Ce système est défini dans l'EN 10027-2. Il s'applique aux aciers de tous types, pas seulement aux aciers inoxydables. Chaque désignation comprend 5 chiffres. Les détails concernant la composition et les caractéristiques des aciers sont données dans la norme de produit appropriée.

(2) Par exemple, le numéro de matériau 1.4306 s'explique ainsi :

- le premier chiffre «1» confirme que le matériau est un acier ;
- les deux chiffres suivants «43» signifient «acier inoxydable avec  $\geq 2,5$  % de nickel, sans molybdène, ni niobium ni titane» ;
- les deux derniers chiffres «06» définissent l'acier spécifique.

(3) Outre «43», il existe également les désignations suivantes pour les aciers inoxydables :

- «40» signifie «avec  $< 2,5$  % de nickel, sans molybdène, ni niobium ni titane» ;
- «41» signifie «avec  $< 2,5$  % de nickel et de molybdène, mais sans niobium ni titane» ;
- «44» signifie «avec  $\geq 2,5$  % de nickel, avec molybdène, mais sans niobium ni titane» ;
- «45» signifie «avec additifs spéciaux».

#### A.4.4 Corrélation entre les différentes désignations d'aciers

(1) La corrélation entre les désignations d'aciers utilisées dans divers pays pour les aciers inoxydables couramment utilisés est donnée dans le tableau A.2.

**NOTE** Ce tableau A.2 est prévu pour être supprimé à l'issue de la période ENV.

#### A.5 Aciers inoxydables formés à froid

(1) Pour les matériaux conformes à l'EN 10088 livrés à l'état formé à froid, on peut adopter pour le calcul les valeurs de résistance nominale majorée  $f_{yc}$  et  $f_{uc}$  données dans le tableau A.3 pour les tôles, plaques et feuillards, et dans le tableau A.4 pour les barres, ronds et profils.

(2) La disponibilité des aciers austénitiques et austéno-ferritiques courants conformes à l'EN 10088 aux niveaux d'érouissage donnés dans les tableaux A.3 et A.4 est indiquée dans les tableaux A.5 et A.6.

**Tableau A.2 : Corrélation entre les désignations d'aciers inoxydables**

| Nuance d'acier selon EN 10088 |        | Allemagne (DIN)    |        | R.U.                             | France           | Italie           | Suède        | Espagne | U.S.A.             |         |
|-------------------------------|--------|--------------------|--------|----------------------------------|------------------|------------------|--------------|---------|--------------------|---------|
| Appellation                   | N°     | Appellation        | N°     | BSI                              | AFNOR            | UNI              | SIS          | UNE     | AISI               | UNS     |
| X5CrNi18-10                   | 1.4301 | X5CrNi 18 10       | 1.4301 | 304 S 15<br>304 S 16<br>304 S 31 | Z 6 CN 18-09     | X5CrNi 18 10     | 2332<br>2333 | 3504    | 304                | S 30400 |
| X2CrNi19-11                   | 1.4306 | X2CrNi 19 11       | 1.4306 | 304 S 11                         | Z 2 CN 18-10     | X2CrNi 18 11     | 2352         | 3503    | 304 L              | S 30403 |
| X2CrNi18-9                    | 1.4307 | —                  | —      | —                                | —                | —                | —            | —       | —                  | —       |
| X6CrNiTi18-10                 | 1.4541 | X6CrNiTi 18 10     | 1.4541 | 321 S 31                         | Z 6 CNT 18-10    | X6CrNiTi 18 11   | 2337         | 3523    | 321                | S 32100 |
| X5CrNiMo17-12-2               | 1.4401 | X5CrNiMo 17 12 2   | 1.4401 | 316 S 31                         | Z 6 CND 17-11    | X5CrNiMo 17 12   | 2347         | 3534    | 316                | S 31600 |
| X2CrNiMo17-12-2               | 1.4404 | X2CrNiMo 17 13 2   | 1.4404 | 316 S 11                         | Z 2 CND 17-12    | X2CrNiMo 17 12   | 2348         | 3533    | 316 L              | S 31603 |
| X2CrNiMo17-12-3               | 1.4432 | —                  | —      | —                                | —                | —                | —            | —       | —                  | —       |
| X2CrNiMo18-14-3               | 1.4435 | X2CrNiMo 18 14 3   | 1.4435 | 316 S 13                         | Z 2 CND 17-13    | X2CrNiMo 17 13   | 2353         | 3533    | 316 L              | S 31603 |
| X1CrNiMoCu25-20-5             | 1.4539 | X1CrNiMoCu 25 20 5 | 1.4539 | —                                | Z 1 CNDU 25-20   | —                | 2562         | —       | 904 L              | N 08904 |
| X6CrNiMoTi17-12-2             | 1.4571 | X6CrNiMoTi 17 12 2 | 1.4571 | 320 S 31                         | Z 6 CNDT 17-12   | X6CrNiMoTi 17 12 | 2350         | 3535    | 316 Ti             | S 31635 |
| X2CrNiN18-10                  | 1.4311 | X2CrNiN 18 10      | 1.4311 | 304 S 61                         | Z 2 CN 18-10 Az  | —                | 2371         | —       | 304 LN             | S 30453 |
| X2CrNiMoN17-11-2              | 1.4406 | X2CrNiMoN 17 11 2  | 1.4406 | 316 S 32                         | Z 2 CND 17-12 Az | —                | —            | —       | 316 LN             | S 31653 |
| X2CrNiMoN17-13-5              | 1.4439 | X2CrNiMoN 17 13 5  | 1.4439 | —                                | —                | —                | —            | —       | 317 LMN            | S 31726 |
| X1NiCrMoCuN25-20-7            | 1.4529 | X1NiCrMoCuN25 20 6 | 1.4529 | —                                | —                | —                | —            | —       | —                  | —       |
| X2CrNiN18-7                   | 1.4318 | X2CrNiN 18 7       | 1.4318 | —                                | —                | —                | —            | —       | 301 LN<br>(302 LN) | —       |
| X2CrNiMoN22-5-3               | 1.4462 | X2CrNiMoN 22 5 3   | 1.4462 | Duplex<br>2205                   | Z 2 CND 22-S Az  | —                | 2377         | —       | —                  | S 31803 |

**Tableau A.3 : Valeurs de résistance nominale majorée  $f_{yc}$  et  $f_u$  pour les tôles, plaques et feuilards en acier inoxydable de construction formé à froid selon l'EN 10088-2**

| Classe de résistance d'acier formé à froid | Résistance élastique majorée $f_{yc}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Résistance à la rupture en traction majorée $f_{uc}$<br>N/mm <sup>2</sup> |
|--|--|---|
| C 700                                      | 350  | 700   |
| C 850 <sup>1)</sup>                        | 530  | 850   |
| C 1000 <sup>1)</sup>                       | 750  | 1 000   |
| C 1150 <sup>1)</sup>                       | 900  | 1 150   |
| C 1300 <sup>1)</sup>                       | —  | 1 300   |

1) Les dispositions données en vue du dimensionnement par calculs dans la présente Partie 1.4 concernent les aciers avec  $f_y \leq 480$  N/mm<sup>2</sup>.

**Tableau A.4 : Valeurs de résistance nominale majorée  $f_{yc}$  et  $f_u$  pour les barres, ronds et profils en acier inoxydable de construction formé à froid selon l'EN 10088-3**

| Classe de résistance d'acier formé à froid | Résistance élastique majorée $f_{yc}$<br>N/mm <sup>2</sup> | Résistance à la rupture en traction majorée $f_{uc}$<br>N/mm <sup>2</sup> |
|--|--|---|
| C 700                                      | 350  | 700   |
| C 800 <sup>1) 2)</sup>                     | 530  | 850   |

1) Le diamètre maximal pour la nuance d'acier est soumis à un agrément lors de la commande de l'acier, mais en aucun cas il ne doit être supérieur à 35 mm pour C 700 et à 25 mm pour C 800.  
2) Les dispositions données en vue du dimensionnement par calculs dans la présente Partie 1.4 concernent les aciers avec  $f_y \leq 480$  N/mm<sup>2</sup>.

**Tableau A.5 : Disponibilité des tôles, plaques et feuilards en acier inoxydable selon l'EN 10088-2 dans les classes de résistance formées à froid**

| Nuance d'acier selon EN 10088 |        | Classes de résistance formées à froid disponibles |                 |        |        |        |
|-------------------------------|--------|---|-----------------|--------|--------|--------|
| Appellation                   | Numéro | C 700   | C 850           | C 1000 | C 1150 | C 1300 |
| X2CrNiN18-7                   | 1.4318 | —   | ×               | ×      | —      | —      |
| X5CrNi18-10                   | 1.4301 | ×   | ×               | ×      | ×      | ×      |
| X6CrNiTi18-10                 | 1.4541 | ×   | ×               | —      | —      | —      |
| X5CrNiMo17-12-2               | 1.4401 | ×   | × <sup>1)</sup> | —      | —      | —      |
| X6CrNiMoTi17-12-2             | 1.4571 | ×   | ×               | —      | —      | —      |

1) Pour des valeurs plus élevées de  $f_{uc}$  voir Euronorm 151-2.

**Tableau A.6 : Disponibilité des barres, ronds et profils en acier inoxydable selon l'EN 10088-3 dans les classes de résistance formées à froid**

| Nuance d'acier selon EN 10088 |        | Classe de résistance formée à froid disponible | Pourcentage minimum d'allongement après rupture |
|-------------------------------|--------|--|---|
| Appellation                   | Numéro |  |   |
| X2CrNi18-9                    | 1.4307 | C 700  | 20  |
|                               |        | C 800  | 12  |
| X2CrNi19-11                   | 1.4306 | C 700  | 20  |
|                               |        | C 800  | 12  |
| X5CrNi18-10                   | 1.4301 | C 700  | 20  |
|                               |        | C 800  | 12  |
| X6CrNiTi18-10                 | 1.4541 | C 700  | 20  |
|                               |        | C 800  | 12  |
| X2CrNiMo17-12-2               | 1.4404 | C 700  | 20  |
|                               |        | C 800  | 12  |
| X5CrNiMo17-12-2               | 1.4401 | C 700  | 20  |
|                               |        | C 800  | 12  |
| X6CrNiMoTi17-12-2             | 1.4571 | C 700  | 20  |
|                               |        | C 800  | 12  |

## A.6 Caractéristiques physiques des aciers inoxydables

(1) Des caractéristiques physiques à température ambiante typiques de nuances sélectionnées à l'état recuit sont données dans le tableau A.7.

## A.7 Conditions particulières

### A.7.1 Hautes températures

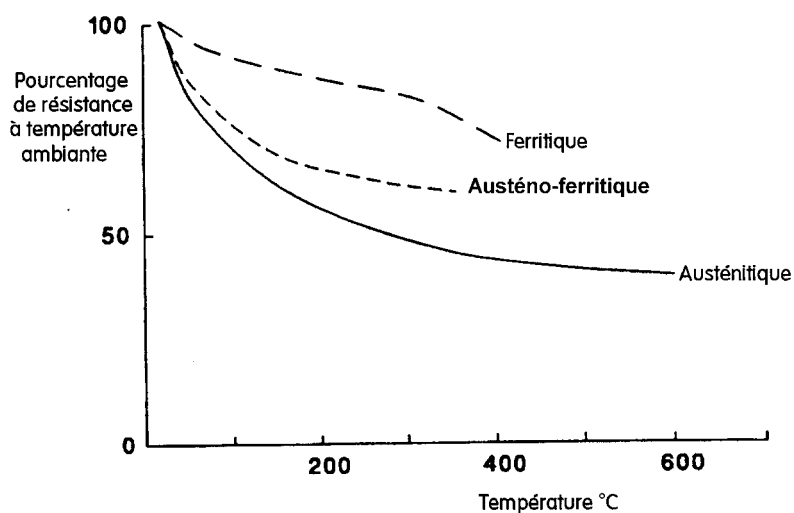
(1) Chacune des trois grandes catégories d'aciers inoxydables, austénitiques, ferritiques et austéno-ferritiques, possède des caractéristiques de résistance relative légèrement différentes à haute température, voir figure A.2.

(2) En général, par rapport aux valeurs appropriées à température ambiante des limites conventionnelles d'élasticité à 0,2 % ou 1 %, la résistance diminue aux températures élevées. Alors que les aciers austénitiques et austéno-ferritiques se caractérisent par une chute rapide de leur résistance jusqu'à 200 °C environ, ce phénomène est moins évident pour les aciers ferritiques. Au-dessus de cette température et jusqu'à 600 °C environ, la baisse de résistance des aciers austénitiques est progressive. Au-dessus de 600 °C pour les aciers austénitiques et de 400 °C environ pour les aciers ferritiques et austéno-ferritiques, apparaît le phénomène de fluage.

(3) Il est conseillé d'étudier l'aptitude des aciers inoxydables à supporter une exposition prolongée aux températures élevées pour les cas particuliers. Par exemple, certains aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques hautement alliés risquent de subir la formation de phases intermétalliques après une longue exposition.

**Tableau A.7 : Données de référence concernant certaines caractéristiques physiques des aciers inoxydables**

| Nuance d'acier selon EN 10088 |        | Densité<br>kg/m <sup>3</sup> | Coefficient de dilatation<br>thermique entre<br>20 °C et 100 °C × 10 <sup>-6</sup> /K |
|-------------------------------|--------|------------------------------|---|
| Appellation                   | Numéro |                              |   |
| X2CrNi18-7                    | 1.4318 | 7,9                          | 16,0  |
| X2CrNi18-9                    | 1.4307 |                              |   |
| X2CrNi19-11                   | 1.4306 |                              |   |
| X2CrNi18-10                   | 1.4311 |                              |   |
| X5CrNi18-10                   | 1.4301 |                              |   |
| X6CrNiTi18-10                 | 1.4541 |                              |   |
| X2CrNiMo17-12-2               | 1.4404 | 8,0                          | 16,5  |
| X2CrNiMoN17-11-2              | 1.4406 |                              |   |
| X5CrNiMo17-12-2               | 1.4401 |                              |   |
| X6CrNiMoTi17-12-2             | 1.4571 |                              | 16,0  |
| X2CrNiMo17-12-3               | 1.4432 |                              |   |
| X2CrNiMo18-14-3               | 1.4435 |                              |   |
| X2CrNiMoN17-13-5              | 1.4439 |                              |   |
| X1NiCrMoCuN25-20-7            | 1.4529 | 8,1                          | 15,8  |
| X2CrNiMoN22-5-3               | 1.4462 | 7,8                          | 13,0  |



**Figure A.2 : Résistance des aciers inoxydables à hautes températures**

## A.7.2 Magnétisme

(1) Les aciers inoxydables austénitiques sont en général considérés comme amagnétiques lorsqu'ils sont totalement adoucis. Cependant, il subsiste habituellement de petites quantités de la phase ferritique ferromagnétique après traitement thermique. Un acier inoxydable totalement austénitique présente une perméabilité magnétique relative en lui-même, mais la présence de ferrite fait augmenter cette caractéristique dans une proportion dépendant de sa composition. Des valeurs typiques de perméabilité magnétique relative sont données dans le tableau A.8 pour de certaines nuances d'acier inoxydable austénitique.

(2) L'écroissage des aciers inoxydables austénitiques les moins stables (en général ceux dont la teneur en nickel est la plus faible) entraîne la formation de la phase martensitique ferromagnétique. Ce phénomène augmente sensiblement la perméabilité magnétique relative proportionnellement au degré d'écroissage. Lorsque l'on utilise des aciers austénitiques dans des structures où une faible perméabilité magnétique est primordiale, il est alors important de spécifier une nuance stable de telle sorte que l'exigence concernant la perméabilité magnétique puisse être respectée dans la structure définitive.

(3) Les aciers inoxydables martensitiques et ferritiques sont totalement ferromagnétiques. Leurs inductions magnétiques sont en général réduites par l'augmentation des teneurs en chrome et en nickel. Par conséquent, ces aciers sont moins adaptés aux applications magnétiques que d'autres nuances d'alliage plus faible, à moins que d'autres caractéristiques régissent le choix pour une application particulière.

**Tableau A.8 : Valeurs typiques pour la perméabilité magnétique relative de nuances sélectionnées d'acier inoxydable austénitique à l'état recuit**

| Type d'acier   | Numéro d'acier | Perméabilité magnétique relative <sup>1)</sup> |
|--|----------------|--|
| X5CrNi18-10  | 1.4301         | 1,1  |
| X2CrNi19-11  | 1.4306         | 1,05   |
| X2CrNiN18-10   | 1.4311         | 1,005  |
| X1CrNi25-21  | 1.4335         | 1,005  |
| X5CrNiMo17-12-2  | 1.4401         | 1,1  |
| X2CrNiMo17-12-2  | 1.4404         | 1,05   |
| X2CrNiMo18-14-3  | 1.4435         | 1,05   |
| X2CrNiMoN17-11-2   | 1.4406         | 1,005  |
| X2CrNiMoN17-13-5   | 1.4439         | 1,005  |
| X6CrNiMoTi17-12-2  | 1.4571         | 1,1  |
| X6CrNiTi18-10  | 1.4541         | 1,2  |
| X6CrNiNb18-10  | 1.4550         | 1,2  |
| 1) La présence de faibles quantités de ferrite et/ou de martensite engendrée par la déformation à froid augmente sensiblement la perméabilité magnétique relative. |                |  |

## **Annexe B**

### (informative)

### **Durabilité**

#### **B.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 l'espérance de vie, est traitée de façon séparée du calcul de la structure ;
  - pour les aciers inoxydables, l'espérance de vie 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 raisonné d'une nuance d'acier inoxydable appropriée en vue d'une application particulière, ou pour appliquer correctement les directives disponibles sur la bonne pratique du calcul des détails constructifs en vue d'éviter la corrosion, il est important de posséder quelques connaissances du mécanisme de corrosion qui se produit dans 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 répare pas. Ainsi, une réaction chimique peut se produire entre l'acier, l'humidité et l'oxygène pour former de la rouille. Mis à part 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 coupure), il est capable de s'auto-réparer immédiatement en présence d'air ou d'un environnement oxydant. Il est également très résistant aux attaques chimiques. Pour ces raisons, on l'appelle «couche passive» ou «film passif». Bien que cette pellicule soit très mince (environ  $5 \times 10^{-6}$  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 ce film est important, car toute condition 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 faut donc choisir soigneusement la nuance d'acier inoxydable la mieux adaptée à une application donnée. En général, plus grande est l'exigence de résistance à la corrosion, plus élevé est le coût du matériau.
- (8) Il peut arriver qu'une nuance particulière d'acier inoxydable ne réponde pas aux attentes en ce qui concerne la résistance à la corrosion, et les raisons peuvent notamment en être :
- a) une évaluation incorrecte de l'environnement, ou une exposition à des conditions imprévues (telle une contamination insoupçonnée par des ions chlorure) ;
  - b) 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 disgracieuses sur les surfaces extérieures peuvent tout de même être considérées 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 B.2, mais seules les corrosions en piqûres, cavernueuses et galvaniques sont susceptibles de se produire dans des bâtiments.

## **B.2 Types de corrosion**

### **B.2.1 Piqûres**

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

(2) Dans la plupart des applications de construction, les piqûres superficielles sont en général limitées et acceptables, car la réduction de section du composant est négligeable. Cependant, les produits de la corrosion peuvent tacher les éléments architecturaux. Il convient d'adopter une attitude moins tolérante 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 conseillé d'adopter une nuance d'acier inoxydable appropriée ; en général, celle-ci présente une teneur en éléments d'alliages plus élevée contenant du molybdène.

### **B.2.2 Corrosion cavernueuse**

(1) La corrosion cavernueuse 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 de constituer un problème, sauf dans les solutions stagnantes où une accumulation de chlorures peut se produire. La gravité de la corrosion cavernueuse dépend très largement de la géométrie des cavités : plus celles-ci sont étroites et profondes, plus grave est la corrosion.

(2) La corrosion cavernueuse 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 en piqûres et cavernueuse sont des phénomènes similaires, mais les attaques débutent plus facilement dans une crevasse que sur une surface libre.

### **B.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. C'est dans les dispositifs de fixation au niveau des joints que l'on trouve le plus souvent des rapports de surfaces défavorables.

(3) Il est conseillé d'éviter l'utilisation de boulons en acier au carbone dans les éléments en acier inoxydable, car le rapport de surfaces d'acier inoxydable et d'acier au carbone est élevé, et les boulons sont sujet à corrosion. À 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 est donc conseillé de les utiliser avec précaution et uniquement pour l'évaluation initiale.

(5) Les aciers inoxydables austénitiques forment habituellement 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, que l'on doit en général éviter, sauf dans des conditions clémentes. Un contact entre des aciers inoxydables austénitiques et de l'aluminium ou du zinc peut entraîner une certaine corrosion supplémentaire de ces derniers. Ce phénomène est en général peu important en termes de structure, mais la poudre blanchâtre qui en résulte peut s'avérer disgracieuse.

(6) On peut prévenir la corrosion galvanique en excluant l'eau du détail constructif (par exemple par peinture ou revêtement de l'assemblage) ou en isolant électriquement les métaux entre eux (par exemple en peignant les surfaces de contact des métaux différents). On peut réaliser une isolation autour des assemblages boulonnés 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 chantier. De plus, il n'est généralement pas réalisable de prévoir le niveau nécessaire de contrôles sur chantier pour vérifier que toutes les rondelles et entretoises ont été correctement installées.

#### **B.2.4 Fissures par corrosion sous contraintes**

(1) L'apparition de fissures par corrosion sous contraintes suppose la présence simultanée d'efforts de traction et de facteurs d'environnement spécifiques qui sont peu susceptibles d'être rencontrés dans des atmosphères de bâtiments normales. Les efforts ne doivent pas nécessairement être très élevés par rapport à la résistance élastique du matériau. Ils peuvent résulter du chargement ou de contraintes résiduelles provenant des méthodes de fabrication, comme le soudage ou l'écrouissage. Il est conseillé de prendre des précautions lorsque des éléments en acier inoxydable présentant de fortes contraintes résiduelles (comme celles dues à l'écrouissage) sont utilisés dans des environnements riches en chlorures comme les piscines ou les structures maritimes, y compris les plates-formes de haute mer.

(2) La probabilité d'apparition de fissures par corrosion sous contraintes s'accroît avec l'augmentation de l'effort de traction et de la température. Dans les aciers inoxydables austénitiques au chrome-nickel, le nickel est l'élément d'alliage qui réduit le plus fortement la susceptibilité aux fissures par corrosion sous contraintes.

#### **B.2.5 Corrosion générale**

(1) La corrosion générale est beaucoup moins grave dans l'acier inoxydable que dans les autres aciers. Elle ne se produit pas, sauf si l'acier inoxydable est exposé à un pH soit très faible (environnements acides), soit très élevé (environnements alcalins).

(2) Cette forme de corrosion n'est pas un problème pour les nuances d'acier inoxydable couramment utilisées dans les applications de bâtiment normales. On peut se reporter aux tableaux figurant dans la documentation des producteurs. Il est également conseillé 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.

#### **B.2.6 Attaque 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 solution solide et entraîne une pauvreté en chrome à proximité immédiate des limites du grain. On dit des aciers se trouvant dans cet état qu'ils sont «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'altération due à la soudure» lorsqu'il se produit dans la zone thermiquement affectée du soudage.

(3) Il existe trois solutions pour 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 soudage, même pour les tôles d'une épaisseur allant jusqu'à 20 mm, si les opérations sont réalisées par soudage à l'arc (qui produit une chauffe et un refroidissement rapides).

### B.3 Niveaux de risque

(1) Le niveau de risque dépend des matériaux, de la configuration et des conditions d'environnement. On peut opérer une distinction entre trois niveaux de risque, de la façon suivante :

- **Risque de niveau 1** : Seule une modification de l'aspect de surface (micro-piqûres) survient dans une durée de vie prévue de 50 ans. L'entretien n'est pas nécessaire pour l'intégrité de la structure, mais peut être requis pour préserver l'aspect originel. La plupart des aciers inoxydables courants satisfont à cette exigence pour des conditions de corrosion atmosphérique modérément agressives.
- **Risque de niveau 2** : Risque de corrosion par piqûres ou cavernes, 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 du risque de rétention dans une durée de vie de 50 ans. Ceci s'applique à des structures exposées à des atmosphères polluées chimiquement par des environnements marins ou industriels lourds, ou 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 localement de fissures par corrosion sous contraintes. 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 en environnements spécifiques, tels ceux que l'on rencontre 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.

(2) Si l'on peut donner des directives générales sur le choix des matériaux pour les risques de niveau 1 et de niveau 2, il est essentiel de demander l'avis d'un expert dans le cas de risque de niveau 3.

### B.4 Choix des matériaux

#### B.4.1 Généralités

(1) Le choix de la nuance d'acier inoxydable même la mieux adaptée doit prendre en compte l'environnement de la structure, le processus de fabrication, la mise en œuvre du métal, la finition de surface et l'entretien prévu de la structure. Même si les aciers inoxydables n'exigent que peu d'entretien, il convient d'accorder une considération particulière à la conception de l'ouvrage en vue de sa résistance à la corrosion lorsque le matériau est choisi pour une utilisation en environnement corrosif.

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

- fissures par corrosion sous contraintes ;
- 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 gouvernée 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, 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 s'avérer nécessaire de quantifier les effets des cycles de chauffage et de refroidissement. La facilité de fabrication, la disponibilité des formes 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. En ce qui concerne les environnements atmosphériques, le tableau B.1 donne des directives de 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 B.1, il est également nécessaire de distinguer entre :

- **les applications esthétiques** : dans 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** : dans lesquelles ce sont les caractéristiques mécaniques qui constituent le souci premier.

(8) Dans le cas d'applications esthétiques, il est nécessaire de prendre en compte non seulement l'atmosphère de l'environnement, mais aussi 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'ont pas d'effet néfaste sur les aciers inoxydables.

(10) Les aciers inoxydables austénitiques conviennent à de nombreuses applications dans des piscines intérieures et extérieures. Pour les éléments porteurs situés en atmosphères chargées en chlorures, tels les espaces vides situés au-dessus des piscines, il est conseillé d'envisager l'utilisation d'aciers austénitiques spéciaux à 6 % de molybdène selon l'EN 10088 (comme les 1.4529 ou 1.4547), outre les nuances courantes comme les 1.4439, 1.4539 ou 1.4462.

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

**Tableau B.1 : Nuances conseillées pour applications atmosphériques**

| Nuance d'acier selon EN 10088        | Type d'environnement et catégorie de corrosion |      |        |        |      |        |            |      |        |        |      |        |
|--------------------------------------|--|------|--------|--------|------|--------|------------|------|--------|--------|------|--------|
|                                      | Rural  |      |        | Urbain |      |        | Industriel |      |        | Marin  |      |        |
|                                      | Faible   | Moy. | Élevée | Faible | Moy. | Élevée | Faible     | Moy. | Élevée | Faible | Moy. | Élevée |
| 1.4301<br>1.4311<br>1.4541<br>1.4318 | ✓  | ✓    | ✓      | ✓      | ✓    | (✓)    | (✓)        | (✓)  | X      | ✓      | (✓)  | X      |
| 1.4401<br>1.4404<br>1.4406<br>1.4571 | □  | □    | □      | □      | ✓    | ✓      | ✓          | ✓    | (✓)    | ✓      | ✓    | (✓)    |
| 1.4439<br>1.4462<br>1.4529<br>1.4539 | □  | □    | □      | □      | □    | □      | □          | □    | ✓      | □      | □    | ✓      |

**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.

Moy. : Assez typiques pour ce type d'environnement.

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

**Légende :**

□ Surestimation potentielle du point de vue de la corrosion.

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

X Susceptible de subir une corrosion excessive.

(✓) Digne d'être envisagé à condition de prendre des précautions appropriées (c'est-à-dire de prévoir une surface relativement lisse et un lavage ultérieur régulier).

#### B.4.2 Boulons

(1) Pour les boulons, le matériau de nuance A4 selon l'ISO 3506 est équivalent en ce qui concerne sa résistance à la corrosion aux nuances 1.4401, 1.4404 et 1.4571, et la nuance A2 selon l'ISO 3506 présente une résistance à la corrosion équivalente aux nuances 1.4301 et 1.4541. La nuance A1 offre une résistance à la corrosion inférieure, et il est conseillé 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 est conseillé d'utiliser des boulons fabriqués à partir de ces mêmes aciers pour obtenir une même résistance à la corrosion homogène de l'assemblage.

(3) La prudence est recommandée lorsque l'on envisage l'utilisation 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.

## B.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 d'obtenir son plein potentiel de résistance à la corrosion.

(2) Dans la liste de conseils proposée ci-dessous, certains d'entre eux 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 indispensables dans des environnements présentant une faible corrosivité ou pour des structures soumises à un entretien régulier.

(3) Il est conseillé de respecter 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 est recommandé de veiller aux points suivants :

a) Éviter les pièges à corrosion, voir figure B.1, en respectant les précautions suivantes :

- orienter les profils en U et en L de sorte à limiter l'éventualité de rétention d'agents corrosifs ;
- 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 en gousset 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.

b) Éviter les crevasses, voir figure B.2, en respectant les précautions suivantes :

- utiliser des assemblages soudés plutôt que boulonnés ;
- utiliser des soudures de bouchage ou des mastics de remplissage ;
- profiler ou dresser les soudures dans la mesure du possible ;
- prévenir la pollution biologique (Noter que la chloration de l'eau peut provoquer de la corrosion par piqûres).

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

- limiter les contraintes de fabrication en choisissant soigneusement l'ordre de soudage ;
- procéder à un grenailage (Éviter l'utilisation de grenaille en fer ou en acier).

|   |
|---|
| c) A (Éviter également l'utilisation de grenaille en fonte ou en acier au carbone). |
|---|

d) Il est conseillé de toujours nettoyer les soudures pour rétablir leur résistance à la corrosion. Réduire le risque de piqûres s'obtient en respectant les précautions suivantes :

- éliminer les éclaboussures de soudure ;
- décaper l'acier inoxydable pour éliminer les produits de soudage indésirables (Les réactifs fortement oxydants contenant des chlorures tels le chlorure ferrique sont à éviter. Il est conseillé d'utiliser, à leur place, un bain ou une pâte décapants, contenant tous deux un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique. Après décapage, il est nécessaire 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) ;
- observer un programme d'entretien approprié.

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

- assurer l'isolation électrique ;
- utiliser les peintures de façon appropriée ;
- limiter les périodes humides.

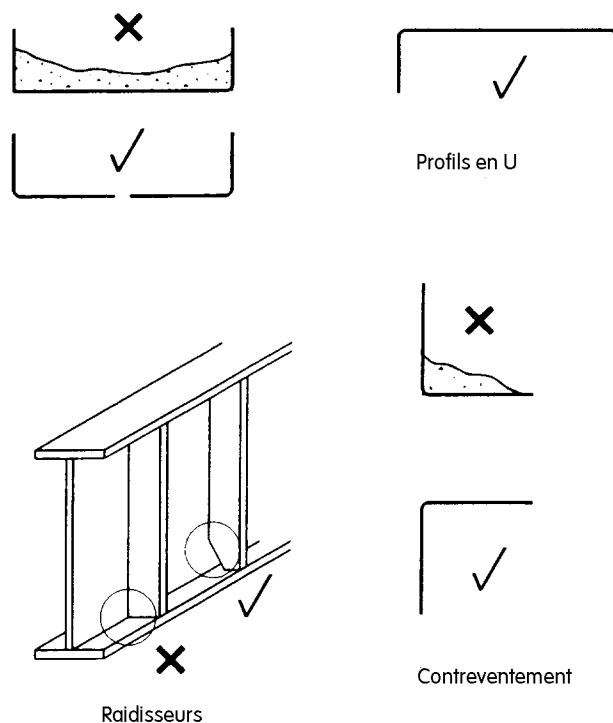


Figure B.1 : Prévention des pièges à corrosion

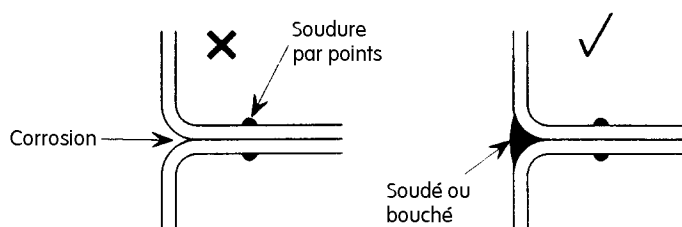


Figure B.2 : Prévention des crevasses

## B.6 Assemblages

### B.6.1 Généralités

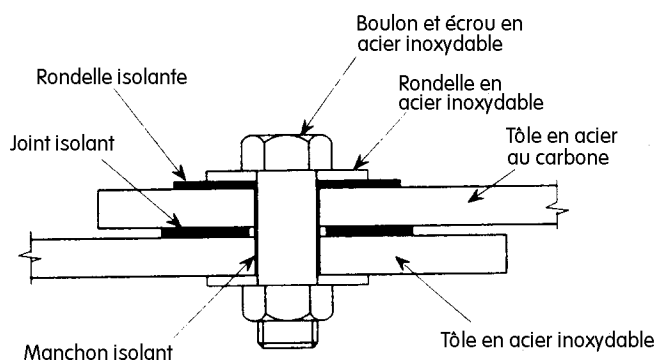
- (1) La conception des assemblages, en particulier boulonnés, requiert un soin attentif en vue de préserver une résistance à la corrosion optimale.
- (2) Ceci est particulièrement le cas pour les assemblages exposés à l'humidité due aux intempéries, brouillard, immersion, condensation ou autres. Il convient d'étudier les possibilités d'éviter ou de réduire par ailleurs les problèmes de corrosion qui en découlent en positionnant ces assemblages loin de la source d'humidité. Il peut également s'avérer 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.

(2) A Une autre solution consiste à colmater les interstices.

- (3) S'il n'est pas possible de préserver de l'humidité un assemblage composé d'acier au carbone et d'acier inoxydable, il convient d'envisager une protection contre la corrosion galvanique.
- (4) Il est conseillé de déterminer et d'enregistrer aussi complètement et aussi exactement que possible les influences des charges et de la corrosion dans les conditions d'exploitation.

### B.6.2 Assemblages boulonnés

- (1) Il est recommandé 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 soumis à une corrosion inacceptable, il est conseillé de prendre des dispositions pour isoler électriquement les éléments en acier au carbone de ceux en acier inoxydable. Ceci implique en général l'utilisation de rondelles, et éventuellement de manchons, isolants. La figure B.3 illustre un détail typique approprié. Le matériau formant l'isolation doit être 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 cavernieuse dans les assemblages boulonnés, il est conseillé de choisir avec soin les matériaux appropriés à l'environnement donné.
- (3) Les boulons doivent être au moins aussi résistants à la corrosion à long terme dans les conditions d'exploitation que les éléments assemblés.
- (4) Tous les assemblages boulonnés doivent être lisses et ne présenter aucun jeu entre les éléments assemblés.
- (5) Sauf dans le cas d'assemblages composés d'acier inoxydable et d'acier au carbone, il est conseillé 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 d'acier au carbone.



**Figure B.3 : Prévention de la corrosion galvanique dans l'assemblage de matériaux différents**

### B.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 peut arriver 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 «altération de soudure». 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 est conseillé 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. De même, ne pas effectuer de soudures discontinues lorsqu'une corrosion cavernieuse est susceptible de se produire.

A (4) Après soudage, il est conseillé de procéder à un décapage mécanique ou chimique de la zone oxydée. Voir B.5.3 d).



## Annexe C (informative) Aspects concernant la fabrication

**NOTE** L'objet de la présente Partie 1.4 de l'ENV 1993 est, au final, de couvrir les aciers inoxydables austénitiques, austéno-ferritiques, et ferritiques, mais également d'inclure uniquement les dispositions de fabrication qui sont pertinentes pour la conception. Au stade actuel de rédaction, dans l'attente de la disponibilité de dispositions concernant les aciers inoxydables dans l'EN 1090 *Exécution des structures en acier*, l'annexe C contient également, à titre provisoire, des dispositions concernant le processus de fabrication lui-même, mais elle ne s'applique qu'aux aciers inoxydables austénitiques et austéno-ferritiques. Il est prévu que la future EN 1090 contienne des dispositions appropriées concernant la totalité des aciers inoxydables de construction, dispositions qui remplaceront les présentes dispositions provisoires.

### C.1 Généralités

(1) L'objet de la présente annexe est de mettre en lumière les aspects appropriés de la fabrication en acier inoxydable à l'intention de l'ingénieur concepteur, et de donner des recommandations concernant la bonne pratique. Son objet est également de permettre une évaluation préliminaire de l'aptitude d'un fabricant donné à réaliser l'ouvrage.

(2) L'acier inoxydable n'est pas un matériau difficile à mettre en œuvre. Cependant, à certains égards, il est différent de l'acier au carbone et doit être traité en conséquence. De nombreux modes opératoires de fabrication et d'assemblage sont semblables à ceux utilisés pour l'acier au carbone, mais les différences de caractéristiques de l'acier inoxydable exigent une attention particulière dans un certain nombre de domaines. Il est important d'établir une réelle communication entre le concepteur et le fabricant suffisamment tôt pour garantir que des pratiques de fabrication appropriées peuvent être adoptées et le seront.

(3) Un objectif primordial est de préserver la résistance de l'acier à la corrosion. Il est essentiel de prendre des précautions, à tous les stades du stockage, de la manutention, du formage et du soudage, pour limiter les détériorations mécaniques ou autres de la surface (c'est-à-dire de la couche d'oxyde). Bien qu'elles soient capitales, ces précautions sont simples et font en général appel à la bonne pratique technique.

(4) Il est important de préserver le bon aspect de surface de l'acier inoxydable au cours de la fabrication. Non seulement les défauts de surface sont disgracieux, mais ils sont en général inacceptables et leur réparation entraîne une perte de temps et d'argent. Alors que les défauts de surface sont normalement masqués par de la peinture dans les structures en acier au carbone, ceci est rarement le cas pour les structures en acier inoxydable.

(5) La forme de la structure peut être dictée par la disponibilité des matériaux. Il doit être admis que la gamme disponible de profils en acier inoxydable laminés à chaud est plus limitée que pour l'acier au carbone. Cet état de fait entraîne une plus grande utilisation d'éléments formés à froid et soudés. De même, en raison des capacités en longueur des presses, seules de faibles longueurs sont disponibles, ce qui entraîne une multiplication des rabotages. Lors du calcul des assemblages, il convient d'apporter un soin particulier aux jeux prévus pour les boulons à proximité des rayons de courbure, et aux éventuels problèmes d'ajustage provoqués par les déformations dues au soudage.

(6) La fabrication d'éléments en acier inoxydable fait obligatoirement appel à des composants plus nombreux et plus petits que celle d'éléments en acier au carbone, qui peuvent être livrés en grande longueur sans problèmes ni délais. Par conséquent, les structures en acier inoxydables sont susceptibles de comporter un plus grand nombre d'assemblages parce que les éléments manufacturés disponibles sont de moindres longueurs. Cet état de fait exige davantage de prévision et d'attention aux détails lors de l'implantation de la structure. Une plus grande attention doit également être apportée à l'encastrement de ces assemblages, particulièrement s'ils tombent dans la longueur d'éléments comprimés. En conséquence, les éléments comprimés tendent à être plus faibles que des éléments équivalents en acier au carbone pour un élancement identique, et ceci doit être pris en compte dans le calcul.

## C.2 Stockage et manutention

(1) Il est conseillé de stocker tous les aciers inoxydables avec soin, de sorte que les surfaces soient protégées de toute détérioration et de toute contamination. Les zones de stockage doivent être propres et sèches. L'utilisation de pellicules protectrices peut s'avérer bénéfique pour les applications architecturales.

(2) En général, le stockage et la manutention de l'acier inoxydable requièrent un plus grand soin que ceux de l'acier au carbone, afin d'éviter d'endommager la finition de surface (en particulier les finitions «recuit brillant» ou «poli») et pour prévenir la contamination par de l'acier au carbone ou du fer. Les procédures de stockage et de manutention devraient faire l'objet d'un accord entre les parties concernées préalablement à la fabrication, et de manière suffisamment détaillée pour tenir compte d'éventuelles exigences particulières.

(3) Il convient que ces procédures couvrent, par exemple, les exigences suivantes :

- l'acier doit faire l'objet d'un contrôle d'état de surface immédiatement après la livraison ;
- l'acier peut être revêtu d'une protection en plastique ou autre. Cette protection doit être laissée en place aussi longtemps que possible, et ôtée juste avant la fabrication finale. Si un revêtement protecteur est exigé, par exemple dans le cas de finition recuit brillant, ceci doit être mentionné dans le cahier des charges du projet ;
- il est conseillé d'éviter tout stockage en atmosphère saline humide ;
- les râteliers de stockage doivent être dépourvus de surfaces de frottement en acier au carbone, et doivent donc être protégés par des gaines ou des lattes en bois, en caoutchouc ou en plastique ;
- il est conseillé de stocker les produits plats verticalement de préférence, pour éviter que des tôles empilées horizontalement soient piétinées, ceci pouvant entraîner une contamination par du fer et une détérioration superficielle ;
- il est conseillé d'éviter les accessoires de levage en acier au carbone, tels chaînes, crochets et tasseaux. Il vaut mieux utiliser des matériaux isolants ou des ventouses pour prévenir la contamination par du fer. Les fourches des chariots-élévateurs doivent également être protégés de la même façon ;
- il est conseillé d'éviter tout contact avec des produits chimiques, y compris des quantités anormales d'huiles et de graisses (qui peuvent tacher certaines finitions) ;
- il est recommandé d'utiliser de préférence des zones de fabrication séparées pour l'acier au carbone et l'acier inoxydable. Des outils distincts doivent être réservés à l'utilisation avec de l'acier inoxydable uniquement, particulièrement en ce qui concerne les meules et les brosses métalliques ;
- les brosses métalliques et la laine d'acier doivent être en acier inoxydable, de préférence d'une nuance austénitique. Il est déconseillé d'utiliser des brosses en acier inoxydable ferritique sur des aciers inoxydables austénitiques ;
- à titre préventif, il est conseillé d'éliminer toute bavure acérée en cours de fabrication et de montage ;
- des mesures particulières peuvent s'avérer nécessaires pour la protection des fabrications en acier pendant le transport.

(4) Il est nécessaire d'empêcher toute contamination de la surface des composants en acier inoxydable par de l'acier au carbone à tous les stades de la fabrication, manutention, stockage, transport et montage. En particulier, il faut veiller à empêcher la contamination par l'emploi de zones de travail séparées afin d'éviter tout contact avec des particules d'acier au carbone pendant le laminage ou provenant de poussières de meulage ou de limailles pouvant rouiller lors d'une exposition à l'humidité et tacher la surface.

(5) Lorsque le matériel de levage ou de manutention comporte des parties en acier au carbone comme des liens, des crochets, des chaînes ou des rouleaux, il convient d'interposer un matériau de protection approprié entre l'acier inoxydable et l'acier au carbone afin de prévenir les détériorations. Pour ce faire, on peut utiliser du carton épais et propre, ou du contre-plaqué mince. L'outillage de montage, comme les clés et les broches, doit être en acier inoxydable pour prévenir toute contamination de surface. Il est également conseillé de réserver des meuleuses à usage exclusif sur l'acier inoxydable.

(6) Il est conseillé d'éviter tout contact avec des polluants organiques, comme les huiles, graisses, teintures, colles, rubans adhésifs et autres produits similaires. Lorsqu'ils sont nécessaires, leur adéquation doit préalablement être vérifiée auprès de leur fabricant. Certains produits chimiques peuvent modifier l'aspect de l'acier inoxydable, et il convient donc de procéder à des vérifications pour s'assurer que d'éventuelles marques superficielles de montage peuvent être facilement effacées.

(7) Il est impératif de faire figurer toute exigence d'aspect dans le cahier des charges du projet, de sorte que toutes les précautions soient prises pour protéger la surface concernée.

(8) Si les composants doivent être nettoyés pour des raisons d'esthétique, on peut alors utiliser des brosses douces avec du savon, un détergent ou une solution d'ammoniacale. L'acier inoxydable doit être rincé à l'eau claire après brossage, puis essuyé. Pour les éléments architecturaux exposés, il est recommandé de procéder à un contrôle afin de détecter tout signe de détérioration mécanique, de contamination superficielle ou de début de corrosion.

(9) Les solutions acides fortes servant parfois à nettoyer la maçonnerie et les carrelages de bâtiments ne doivent jamais être mis en contact avec un métal quelconque, y compris l'acier inoxydable. Si une telle pollution se produit, il est recommandé d'éliminer immédiatement la solution acide en rinçant abondamment à l'eau claire.

### C.3 Formage à froid

(1) L'acier inoxydable se travaille facilement par des techniques de formage à froid couramment utilisées telles que le cintrage, l'estampage, le matriçage et l'emboutissage. Pour les applications de construction, la technique la plus appropriée est le cintrage à la presse. Cependant, pour des produits de faible épaisseur et de volume important, le profilage peut s'avérer plus économique.

(2) L'acier inoxydable requiert en outre une puissance de cintrage plus élevée que les éléments en acier au carbone de géométrie similaire en raison de l'écroissage (d'environ 50 % dans le cas d'aciers austénitiques, ou même davantage dans le cas d'acier austéno-ferritique 1.4462). De même, afin de compenser les effets de retour élastique, l'acier inoxydable doit être surcintré légèrement plus que l'acier au carbone. Pour les sections transversales complexes, il est prudent d'associer le fabricant à la conception, le plus tôt possible.

(3) La ductilité élevée de l'acier inoxydable permet d'obtenir de faibles rayons de courbure, pouvant aller jusqu'à la moitié de l'épaisseur dans les matériaux recuits. Cependant, il est en général recommandé d'adopter les valeurs minimales suivantes :

- $2t$  pour les nuances austénitiques 1.4301, 1.4401, 1.4404, 1.4541 et 1.4571 ;
- $2,5t$  pour la nuance austéno-ferritique 1.4462.

où  $t$  représente l'épaisseur du matériau.

(4) Lors du cintrage de tubes ronds, il convient de respecter les directives suivantes :

- pour éviter un outillage coûteux, le rapport du diamètre hors-tout et de l'épaisseur de paroi ne doit pas excéder 15 ;
- le rayon de courbure (au niveau de l'axe du tube) ne doit pas être inférieur à  $2,5d$  où  $d$  représente le diamètre hors-tout du tube ;
- tout joint soudé dans la section transversale doit être positionné à proximité de l'axe neutre afin de réduire les contraintes de cintrage au niveau de la soudure.

### C.4 Marquage

(1) D'une façon générale, il est conseillé d'effectuer le marquage au moyen de marqueurs ou de crayons dont les traces sont facilement effaçables et qui ne tachent pas. Si la méthode de marquage affecte la résistance à la corrosion, la durabilité ou l'aspect esthétique de l'acier inoxydable, ceci doit être mentionné dans le cahier des charges du projet. Une autre solution possible consiste à utiliser un film de protection et à appliquer tous les marquages sur celui-ci.

### C.5 Découpage

(1) L'acier inoxydable peut être découpé au moyen de méthodes courantes comme le cisailage et le sciage, mais il faut davantage de puissance que pour des épaisseurs similaires d'acier au carbone en raison de l'écroissage. Autant que possible, le découpage (ainsi que l'usinage en général) doit être réalisé sur métal à l'état recuit, afin de limiter l'écroissage et l'usure des outils.

(2) Pour le découpage en ligne droite, on peut utiliser une cisaille à guillotine. En utilisant une cisaille à lames libres, il est possible de réaliser une coupe continue de longueur supérieure à la longueur des lames, mais au risque de former des petites irrégularités sur les bords de coupe.

(3) On peut utiliser des techniques au plasma. Elles sont particulièrement recommandées pour le découpage de profils et de tôles de forte épaisseur et lorsque les bords de coupe doivent être usinés, par exemple pour la préparation avant soudure. Le découpage des aciers inoxydables au chalumeau oxyacétylénique n'est pas satisfaisant sauf avec des flux en poudre.

(4) On peut utiliser le découpage au laser, particulièrement pour les éléments de grandes dimensions et lorsqu'il est nécessaire de limiter l'étendue de la zone thermiquement affectée.

(5) On peut également utiliser le découpage par jet d'eau abrasif. Cette méthode s'avère excellente dans les cas où il est nécessaire d'éviter toute modification métallurgique induite par la chaleur dans le matériau.

A (6) Lorsque l'acier inoxydable a été découpé par un procédé thermique, il est conseillé de procéder à un décapage mécanique ou chimique de la zone oxydée. Les précautions à prendre pour le décapage sont identiques à celles indiquées en B.5.3 d) après soudage.

## C.6 Perçage

(1) Les trous peuvent être obtenus par forage ou poinçonnage. Cependant, l'écroûissage résultant d'un cisailage ou d'un poinçonnage augmente le risque de corrosion du matériau, et il faut par conséquent être prudent lorsque l'on utilise des trous poinçonnés dans des environnements agressifs comme les atmosphères marines et industrielles lourdes. Dans de tels environnements, et au niveau des charges dynamiques présentant un risque de corrosion par fatigue, il est conseillé de détensionner les trous poinçonnés.

(2) Il est également important de s'assurer que les surfaces de coupes ainsi que les trous poinçonnés sont bien pris en compte par rapport aux évaluations de la fatigue. Ces éléments doivent, si besoin, être convenablement finis. Dans des situations de sollicitation à la fatigue, les trous doivent être réalisés de sorte que leur surface intérieure soit lisse. Il est préférable de recourir au forage, mais on peut également utiliser l'alésage si le matériau peut être coupé.

(3) Les jeux maximum pour les trous normalisés sont les suivants :

- 1 mm pour les boulons M12 et M14 ;
- 2 mm pour les boulons M16 à M24 ;
- 3 mm pour les boulons M27 et au-delà.

## C.7 Soudage

### C.7.1 Généralités

(1) Les aciers inoxydables peuvent être soudés de façon satisfaisante au moyen de procédés de soudage usuels. Les modes opératoires de soudage doivent être basés sur ceux utilisés pour les aciers au carbone, mais en employant un matériel et des produits d'apport appropriés aux aciers inoxydables. Il convient de se reporter à l'EN 24063 pour la désignation des procédés de soudage.

(2) Il est important d'observer une bonne propreté générale et de veiller à l'absence de toute contamination pour atteindre un niveau de qualité de soudure satisfaisant. Les traces d'huile, ou autres hydrocarbures, et de crayon de cire doivent être éliminées pour éviter leur décomposition lors du soudage et le risque de carburation de l'acier qui s'ensuivrait. La soudure doit être exempte de zinc dans le cas d'assemblages entre des éléments en acier inoxydable et en acier au carbone galvanisé, y compris le zinc provenant des produits galvanisés, mais également exempte de cuivre et de ses alliages. Le plus grand soin est nécessaire lorsque l'on utilise des lattes de support envers en cuivre : la latte doit comporter une rainure dans la zone de fusion. Il faut également éviter toute contamination du bain de fusion par des résidus soufrés afin de réduire le risque de fissuration à chaud dans les aciers inoxydables austénitiques.

(3) Il est plus important dans les aciers inoxydables que dans les aciers au carbone de limiter les emplacements où il peut s'installer une corrosion cavernueuse. Les défauts de soudures, comme les caniveaux, les pénétrations insuffisantes, la présence d'éclaboussures, de laitier, et les amorçages d'arc constituent tous des sites potentiels de corrosion, et doivent donc être réduits au minimum. Les amorçages d'arc erratiques, ainsi que la production d'un arc aux prises de masse, endommagent aussi la couche passive, et peuvent éventuellement entraîner un risque de corrosion mettant en péril l'aspect d'une structure. Toute bavure résultant d'un « coup d'arc » doit être éliminée si elle est susceptible d'entraîner des taches ou une rétention d'impuretés.

(4) Lorsque l'aspect des soudures est important, les exigences concernant le profil brut de soudage et l'état de surface doivent être mentionnées dans le cahier des charges du projet. Ceci peut affecter le choix du procédé de soudage ou le traitement après soudage. Il faut également choisir avec soin l'emplacement des soudures, afin de s'assurer que l'application du traitement après soudage approprié est réalisable. Il est conseillé d'éviter tout traitement thermique des joints soudés dans les aciers inoxydables austénitiques.

(5) Il est nécessaire de contrôler l'apport thermique et les températures entre les passes afin de limiter les déformations dues au soudage (voir C.7.4) et d'éviter les problèmes métallurgiques éventuels (voir C.7.5).

(6) L'application d'un cahier de soudage approprié est d'une importance capitale. L'ignorer peut entraîner une grave altération du comportement des soudures en termes de résistance et de corrosion. Le mode opératoire de soudage choisi peut être basé sur la société ou sur le produit, ou encore découler d'une norme nationale ou internationale. En l'absence de mode opératoire de soudage convenable, il convient de consulter un spécialiste de soudage. Le mode opératoire de soudage doit comporter les éléments suivants :

- vérification de la méthode de soudage par une étude détaillée de l'origine des modes opératoires de soudage et des exigences d'essais associées ;
- certification des soudeurs ;
- contrôle des opérations de soudage pendant la préparation, le soudage proprement dit, et le traitement après soudage ;
- niveau de contrôle et techniques d'essais non destructifs à appliquer ;
- critères d'acceptation pour le niveau admis de défauts des soudures.

(7) Sous réserve de respecter des modes opératoires appropriés, on ne devrait rencontrer aucun problème de soudage. Toutefois, les déformations par soudage sont en général plus importantes dans l'acier inoxydable que dans l'acier au carbone, voir C.7.4.

## C.7.2 Procédés

(1) Les procédés usuels de soudage par fusion peuvent être utilisés pour l'acier inoxydable. Le tableau C.1 montre l'adaptation de divers procédés de soudage en fonction des épaisseurs et autres critères.

**Tableau C.1 : Procédés de soudage et leurs possibilités**

| Procédé de soudage selon EN 24063 | Formes de produits | Types de joints soudés | Épaisseurs de matériau | Positions de soudage      | Soudage en atelier ou sur chantier |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 111                               | Toutes             | Tous                   | $\geq 3 \text{ mm}^1$  | Toutes                    | Tous                               |
| 121                               | Toutes             | Tous                   | $\geq 3 \text{ mm}^1$  | À plat<br>(de préférence) | Tous                               |
| 13                                | Toutes             | Tous                   | $\geq 2 \text{ mm}^1$  | Toutes                    | Tous <sup>2)</sup>                 |
| 141                               | Toutes             | Tous                   | $\leq 10 \text{ mm}$   | Toutes                    | Tous <sup>2)</sup>                 |
| Par résistance <sup>3)</sup>      | Tôle               | Tous                   | $\leq 3 \text{ mm}$    | Toutes                    | Tous                               |

1) Selon le type de joint soudé utilisé.

2) Plus sensible aux conditions atmosphériques que les autres procédés de soudage, nécessite donc une meilleure protection contre l'environnement.

3) Soudage par points.

- (2) Dans le soudage à l'arc avec gaz de protection, celui-ci est de l'argon pur ou un mélange d'argon et certaines proportions d'hélium, d'hydrogène, d'oxygène ou parfois de gaz carbonique, selon le métal de base et la position de soudage (par exemple, pour le soudage vertical et au plafond, on utilise de l'argon pur).
- (3) Pour le soudage à l'arc électrique avec fil fourré, le gaz de protection peut être de l'argon (pour toutes positions), du gaz carbonique (pour les positions à plat uniquement) ou un mélange d'argon et de gaz carbonique.
- (4) Dans le cas de soudage TIG, le gaz de protection est de l'argon ou un mélange d'argon et d'hélium, parfois avec une adjonction d'hydrogène.
- (5) Dans tous les procédés, on utilise de l'argon ou un gaz à base d'argon pour l'envers des joints soudés.
- (6) Il faut tenir compte de la nécessité d'éviter toute carburation de l'acier dans le choix du procédé de soudage et du gaz de protection. Ceci revêt une importance particulière pour les aciers inoxydables à très faible teneur en carbone. Dans ce cas, il ne faut pas utiliser de gaz carbonique dans le gaz de protection.
- (7) Lors du soudage des aciers inoxydables austéno-ferritiques, ou de certains aciers inoxydables à forte teneur en azote, il peut s'avérer nécessaire d'ajouter un faible pourcentage d'azote.

### C.7.3 Produits d'apport de soudage

- (1) Les produits d'apport de soudage ont été formulés pour donner des dépôts présentant une solidité et une résistance à la corrosion équivalentes à celles du métal de base, et pour limiter le risque de fissuration lors de la solidification. Un guide des désignations des produits d'apport est donné dans les tableaux C.2 à C.4. Pour les applications spéciales, comme les environnements particulièrement agressifs ou lorsque des propriétés amagnétiques sont exigées, il convient de consulter les producteurs d'acier et les fabricants de produits d'apport. Tous les produits d'apport doivent être protégés des contaminations et stockés conformément aux instructions du fabricant.
- (2) Si les assemblages soudés sont soumis à un traitement thermique après soudage, ou s'ils sont utilisés à des températures supérieures à 400 °C, il est conseillé d'utiliser des produits d'apport à base de nickel pour les zones de transition entre aciers inoxydables et aciers au carbone.

**Tableau C.2 : Produits d'apport de soudage austénitiques pour les assemblages hétérogènes entre aciers inoxydables et aciers au carbone**

| Matériaux du joint |                                 | Procédé de soudage et numérotation du produit d'apport selon EN 24063 |                    |                     |
|--------------------|---------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| Matériau A         | Matériau B                      | 111<br>Électrodes   | 13<br>Fil d'apport | 141<br>Fil d'apport |
| Acier au carbone   | Acier inoxydable selon EN 10088 | 1.4370  | 1.4370             | 1.4370              |

**Tableau C.3 : Produits d'apport de soudage à base de nickel pour les assemblages hétérogènes entre aciers inoxydables et aciers au carbone soumis à des températures supérieures à 300 °C ou à un traitement thermique après soudage**

| Matériaux du joint |                                 | Procédé de soudage et numérotation du produit d'apport selon EN 24063 |                    |                     |
|--------------------|---------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| Matériau A         | Matériau B                      | 111<br>Électrodes   | 13<br>Fil d'apport | 141<br>Fil d'apport |
| Acier au carbone   | Acier inoxydable selon EN 10088 | 2.4620<br>2.4621  | 2.4806<br>2.4831   | 2.4806<br>2.4831    |

**NOTE** Les produits d'apport de soudage à base de nickel ne doivent pas être utilisés avec des produits d'apport en acier inoxydable lors du soudage d'un joint de transition.

**Tableau C.4 : Produits d'apport de soudage en acier inoxydable pour les procédés de soudage à l'arc**

| Matériau A                  | Matériau B  |                         |                           |                             |
|-----------------------------|---|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|                             | X4CrNi18-10<br>1.4301   | X6CrNiTi18-10<br>1.4541 | X4CrNiMo17-12-2<br>1.4401 | X6CrNiMoTi17-12-2<br>1.4571 |
|                             | Numérotation des produits d'apport de soudage appropriés selon EN 24063 |                         |                           |                             |
| X4CrNi18-10<br>1.4301       | 1.4316  |                         |                           |                             |
| X6CrNiTi18-10<br>1.4541     | 1.4551  |                         |                           |                             |
| X4CrNiMo17-12-2<br>1.4401   | 1.4430  |                         |                           |                             |
| X6CrNiMoTi17-12-2<br>1.4571 | 1.4576  |                         |                           |                             |

#### C.7.4 Déformation par soudage

(1) Tout comme d'autres matériaux, l'acier inoxydable subit des déformations pendant le soudage. Les types de déformations (angulaire, cambrure, retrait, etc.) sont similaires à ceux de l'acier au carbone. Cependant, l'ampleur des déformations est plus importante avec les aciers inoxydables, particulièrement les nuances austénitiques, qu'avec l'acier au carbone en raison de coefficients de dilatation thermique supérieurs et de conductivités thermiques inférieures (ce qui provoque des gradients de température plus élevés). La déformation par soudage est moindre avec les aciers austéno-ferritiques qu'avec les aciers austénitiques.

(2) La déformation par soudage ne peut être que maîtrisée, mais jamais éliminée.

(3) Le concepteur doit prendre les dispositions suivantes afin de limiter la déformation et ses effets :

- éviter la nécessité de souder ;
- limiter la quantité de soudage ;
- limiter la surface des soudures. Par exemple dans les profils épais, prescrire des préparations de soudures en V double, en U ou en U double plutôt qu'en V simple ;
- utiliser des joints symétriques ;
- prévoir des tolérances dimensionnelles plus importantes dans la conception.

(4) Le fabricant doit prendre les dispositions suivantes afin de limiter la déformation et ses effets :

- utiliser des dispositifs de maintien efficaces. Si possible, le serre-joint doit comporter des barres en cuivre ou en aluminium pour faciliter l'évacuation de la chaleur de la zone soudée ;
- lorsqu'un maintien efficace est impossible, utiliser des soudures de pointage rapprochées et alternées de façon équilibrée ;
- s'assurer que l'ajustage et l'alignement sont corrects avant de procéder au soudage ;
- utiliser l'apport thermique le plus faible compatible avec le procédé de soudage choisi, sauf pour le soudage de deux aciers austéno-ferritiques ;
- utiliser le soudage alterné ainsi des ordres de soudage appropriés, comme des séquences en bloc et des retours en arrière.

## **C.7.5 Aspects métallurgiques**

### **C.7.5.1 Généralités**

- (1) Le cahier des charges du projet doit normalement comprendre les détails des modes opératoires à utiliser lors de l'exécution des assemblages soudés.
- (2) Toute restriction éventuelle concernant les constituants de microstructure autorisés dans la zone de fusion, ou dans la zone thermiquement affectée, doit figurer dans le cahier des charges du projet.
- (3) Les modes opératoires à utiliser pour les assemblages soudés doivent être donnés dans le cahier des charges du projet.
- (4) Les modes opératoires à utiliser pour les assemblages soudés doivent comporter tous les détails appropriés en ce qui concerne :
  - le procédé de soudage à utiliser ;
  - la préparation des bords à souder ;
  - les produits d'apport à utiliser (y compris la pureté des gaz éventuels) ;
  - la maîtrise du cycle thermique dans la zone de fusion et dans le métal de base immédiatement adjacent ;
  - tout traitement après soudage éventuel du joint soudé ;
  - toutes restrictions éventuelles sur l'action du fabricant dans le cas où des soudures de réparation sont nécessaires.
- (5) Le mode opératoire doit être élaboré en prenant dûment en compte :
  - l'économie ;
  - l'aspect ;
  - la facilité d'exécution ;
  - la solidité, la résistance, la ténacité ainsi que la résistance à la corrosion de la zone de fusion ;
  - la solidité, la ténacité et la résistance à la corrosion du métal de base adjacent ;
  - la nécessité de maîtriser la déformation provoquée par le soudage.

### **C.7.5.2 Exigences particulières concernant les aciers inoxydables austénitiques**

- (1) Le mode opératoire doit garantir la limitation à un niveau acceptable du risque de fissuration du métal d'apport lors de la solidification.
- (2) Le mode opératoire doit garantir la limitation à un niveau acceptable du risque de sensibilisation de la zone thermiquement affectée.
- (3) La fissuration du métal fondu durant la phase de solidification peut être évitée par la présence d'une proportion convenable de ferrite delta dans la microstructure du métal fondu (joint).
- (4) Lors de l'élaboration du mode opératoire, on peut utiliser l'une quelconque des méthodes suivantes pour estimer la proportion de ferrite delta dans la microstructure du métal fondu (joint) :
  - l'expérience antérieure de cas identiques ou très proches ;
  - les informations données par les producteurs d'acier ou les fabricants de produits d'apport ;
  - des essais de soudage ;
  - des calculs basés sur les compositions des métaux fondus.
- (5) Lors de l'élaboration du mode opératoire, on peut utiliser l'une quelconque des méthodes suivantes pour estimer le risque de sensibilisation de la zone thermiquement affectée :
  - l'expérience antérieure de cas identiques ou très proches ;
  - les informations données par les producteurs d'acier ou les fabricants de produits d'apport ;
  - des essais de soudage.



(6) Le risque de sensibilisation de la zone thermiquement affectée peut être limité par l'une des méthodes suivantes :

- choix d'un acier d'une teneur en carbone inférieure à 0,03 % en poids ;
- choix d'un acier avec adjonction délibérée d'éléments formant des carbures, tels le titane ou le niobium.

### **C.7.5.3 Aciers inoxydables austéno-ferritiques**

(1) Le mode opératoire doit normalement garantir la limitation à un niveau acceptable du risque de fragilisation.

(2) Lors de l'élaboration du mode opératoire, on peut utiliser l'une quelconque des méthodes suivantes pour estimer le risque de fragilisation :

- l'expérience antérieure de cas identiques ou très proches ;
- les informations données par les producteurs d'acier ou les fabricants de produits d'apport ;
- des essais de soudage.

(3) En l'absence de plus amples informations, le phénomène connu sous le nom de «fragilisation à 475 °C» doit être considéré comme un risque lorsque l'acier est maintenu, ou refroidi lentement, dans la plage approximative de températures situées entre 550 °C et 440 °C.

(4) En l'absence de plus amples informations, le phénomène connu sous le nom de «fragilisation sigma» doit être considéré comme un risque lorsque l'acier est exposé à une température située dans la plage allant de 565 °C à 900 °C pendant une période supérieure à 30 min environ.

(5) En l'absence de plus amples informations, la fragilisation «sigma» et la fragilisation à 475 °C doivent toutes deux être considérées comme des risques lors du soudage de profils lourds, ou lorsqu'on laisse la température excéder 200 °C entre les passes.

### **C.7.6 Traitement après soudage**

(1) Il est préférable, techniquement comme économiquement, de produire la structure à l'état «brut de soudage». Toutefois, un certain traitement de finition après soudage peut s'avérer nécessaire dans certains cas, comme exposé dans les paragraphes suivants. Il est important de définir le traitement de finition exigé après soudage afin d'éviter un coût excessif et le risque d'un comportement peu satisfaisant en exploitation.

(2) Les procédés habituellement utilisés pour la finition des soudures sont le brossage, la finition et/ou le meulage. Il est conseillé de réduire la finition au minimum, et de préférence de la limiter à un brossage, ceci parce que la chaleur produite par la finition et le meulage peut affecter la résistance à la corrosion. Il est à noter que les brosses métalliques et les abrasifs doivent être exempts de fer. Les brosses métalliques et les abrasifs ou les meules doivent être réservés à l'usage exclusif sur les matériaux austénitiques, et n'avoir pas été utilisés antérieurement sur des aciers ferritiques.

(3) L'exigence fondamentale pour l'obtention d'une résistance à la corrosion optimale est une surface métallique propre ; par exemple, toute coloration de recuit résultant du soudage doit en général être éliminée. Elle ne doit être laissée qu'exceptionnellement. Toutefois, il est inutile de l'éliminer lorsque l'acier inoxydable offre une bonne marge de résistance pour l'environnement donné. Néanmoins, dans le cas contraire, ou lorsque la coloration n'est pas acceptable pour des raisons d'esthétique, on peut l'éliminer par décapage ou par sablage à la bille de verre. Le décapage peut être effectué par immersion dans un bain ou au moyen de pâtes, conformément aux instructions du fabricant.

(4) Le martelage de la surface d'une soudure constitue un traitement après soudure bénéfique. Il induit des contraintes de compression dans la surface, ce qui améliore la résistance à la fatigue et à la fissuration par corrosion sous contraintes, ainsi que l'aspect esthétique.

(5) L'élimination de métal lors d'un usinage important entraîne une relaxation des contraintes et, par conséquent, la déformation du produit brut de soudage. Dans les cas où la déformation est telle que les tolérances dimensionnelles ne peuvent plus être respectées, un traitement thermique des contraintes est nécessaire. En général, ceci n'est réalisable que pour les composants de faibles dimensions, et uniquement pour les nuances à faible teneur en carbone ou pour les nuances stabilisées, afin d'éviter la sensibilisation.

## Annexe D (informative)

### Directives concernant le calcul utilisant des aciers inoxydables ferritiques

**NOTE** Il est prévu que la présente Partie 1.4 de l'ENV 1993 contienne plus tard des dispositions concernant le calcul appropriées et couvrant les aciers inoxydables austénitiques, austéno-ferritiques, et ferritiques. En raison du fait qu'au stade actuel de rédaction les dispositions concernant le calcul excluent les aciers inoxydables ferritiques, des directives provisoires sur une approche de calcul sûre sont données dans la présente annexe D. Il est prévu que les présentes dispositions provisoires seront remplacées par des dispositions de calcul approuvées pour les aciers inoxydables ferritiques lorsque celles-ci seront disponibles.

(1) En l'absence de plus amples informations, le calcul utilisant des aciers inoxydables ferritiques peut être basé sur les dispositions de l'ENV 1993-1-1 (y compris l'annexe D de l'amendement ENV 1993-1-1/A1) et de l'ENV 1993-1-3.

(2) On peut trouver des informations sur les caractéristiques des matériaux dans l'EN 10088.

(3) Pour les calculs utilisant des combinaisons de charges aux états limites ultimes, la valeur de la limite d'élasticité  $f_y$  peut être la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %, à condition que :

— l'on utilise le module sécant d'élasticité  $E_s$  correspondant aux 0,2 % de la contrainte d'épreuve (au lieu du module d'élasticité tangent initial  $E$ ) ;

— la valeur de  $\varepsilon$  soit obtenue par :

$$\varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E_s}{210\,000} \right]^{0,5} \quad \dots \text{(D.1)}$$

(4) Pour la détermination des flèches sous combinaisons de charges aux états limites de service, le module sécant d'élasticité  $E_{s,ser}$  peut être calculé comme indiqué en 4.2 et les largeurs efficaces des éléments comprimés aux états limites de service peuvent être obtenues à l'aide de la valeur de  $\varepsilon$  calculée par :

$$\varepsilon = \left[ \frac{235}{\sigma_{com,Ed,ser}} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5} \quad \dots \text{(D.2)}$$

où :

$\sigma_{com,Ed,ser}$  est la contrainte de compression, déterminée comme indiqué en 4.2.