

La présente norme remplace la norme SN ENV 1993-1-1:1992

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-9: Fatigue

La norme européenne EN 1993-1-9:2005, complétée par l'avant-propos national, a le statut d'une norme suisse.

En suisse la présente EN est de la compétence du groupe suisse CEN/TC 250 «Eurocodes structuraux».

Numéro de référence:
SN EN 1993-1-9:2005 F

Valable dès: 01.12.2005

Éditeur:
Société suisse des ingénieurs
et des architectes
Case postale, CH-8039 Zurich

Avant-propos national

1. Généralités

La norme EN 1993-1-9:2005 a, en tant que SN EN 1993-1-9:2005, le statut de norme suisse sous la désignation SIA 263.009.

2. Compétences

La présente norme appartient au domaine de compétence du CEN/TC 250 «Eurocodes structuraux».

Les travaux ont été accompagnés au niveau national par la Commission des normes de structure (CNS) de la Société suisse des ingénieurs et des architectes.

3. Historique

Après l'établissement d'une première génération d'Eurocodes dans les années quatre-vingt, le CEN a été chargé en 1989 d'élaborer des prénormes européennes (ENV). La prénorme européenne ENV 1993-1-1:1992 achevée en 1993 a été revue par un groupe de projet CEN et adoptée en date du 23.04.2004 en tant que norme européenne EN 1993-1-9:2005.

Dans le cadre d'un accord entre les pays de l'Union Européenne (UE) et de l'Association Européenne de Libre Échange (AELE), la Suisse s'est engagée à réduire les entraves techniques aux échanges commerciaux par l'adoption de Normes Européennes harmonisées (EN).

4. Corrélations avec d'autres documents

La norme fait partie d'une série de normes traitant des actions et des calculs de dimensionnement, dont l'application n'a de sens que si elle a lieu globalement.

5. Dispositions de mise en vigueur et de remplacement

La norme SN EN 1993-1-9:2005 entre en vigueur le 01.12.2005.

Elle remplace la prénorme SN ENV 1993-1-1:1992.

6. Paramètres déterminés au niveau national (NPD)

Les Eurocodes sont complétés dans chaque pays membre par une annexe nationale mentionnant des paramètres déterminés au niveau national (NPD). De cette manière, il est tenu compte, entre autres, des particularités géographiques et climatiques spécifiques à chaque pays, des degrés de sécurité et des dispositions au niveau national.

La Suisse renonce, jusqu'à nouvel ordre à fixer des paramètres nationaux car les normes sur les structures porteuses SIA 206 à SIA 267 correspondent à une mise en pratique adéquate des Eurocodes pour les conditions suisses.

Lors de l'utilisation des Eurocodes en Suisse, les paramètres nationaux sont à fixer en relation avec le projet entre le maître de l'ouvrage et le mandataire et à documenter dans la convention d'utilisation.

Décembre 2005

Version Française

Eurocode 3: Calcul des structures en acier - Partie 1-9: Fatigue

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
- Teil 1-9: Ermüdung

Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 23 avril 2004.

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

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

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



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

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

Sommaire

Page

1	Généralités.....	7
1.1	Objet.....	7
1.2	Références normatives.....	7
1.3	Termes et définitions.....	8
1.4	Symboles	10
2	Exigences de base et méthodes.....	11
3	Méthodes de justification	12
4	Contraintes résultant des actions de fatigue.....	13
5	Calcul des contraintes.....	14
6	Calcul des étendues de contrainte	15
6.1	Généralités.....	15
6.2	Valeur de calcul de l'étendue de contrainte nominale.....	15
6.3	Valeur de calcul de l'étendue de contrainte nominale modifiée	16
6.4	Valeur de calcul de l'étendue de contrainte pour les assemblages soudés de profils creux	16
6.5	Valeur de calcul de l'étendue de contrainte pour la contrainte géométrique (au point chaud)	16
7	Résistance à la fatigue	17
7.1	Généralités.....	17
7.2	Modifications de la résistance à la fatigue	21
8	Vérification à la fatigue.....	21
Annexe A (normative)	Détermination des paramètres du chargement de fatigue et formats de vérification	36
Annexe B (normative)	Résistance à la fatigue en fonction de la contrainte géométrique (au point chaud)	39

Avant-propos

La présente Norme européenne EN 1993, Eurocode 3 : Conception de structures en acier, a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 250 "Eurocodes structurels", dont le secrétariat est tenu par BSI. Le CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes structurels.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en novembre 2005, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en mars 2010.

Le présent document remplace l'ENV 1993-1-1:1992.

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

Historique du programme des Eurocodes

En 1975, la Commission des Communautés Européennes arrêta un programme d'actions dans le domaine de la construction, sur la base de l'Article 95 du Traité. L'objectif de ce programme était la levée des obstacles aux échanges commerciaux et l'harmonisation des spécifications techniques.

Dans le cadre de ce programme d'action, la Commission prit l'initiative d'établir un ensemble de règles techniques harmonisées pour le calcul des ouvrages de construction. Ces règles, dans un premier stade, serviraient d'alternative aux règles nationales en vigueur dans les Etats Membres et, à terme, les remplaceraient.

Pendant quinze ans, la Commission, avec l'aide d'un Comité Directeur comportant des Représentants des Etats Membres, pilota le développement du programme des Eurocodes, ce qui conduisit au cours des années 80 à la première génération de codes européens.

En 1989, la Commission et les Etats Membres de l'Union Européenne (UE) et de l'Association Européenne de Libre Echange (AELE) décidèrent, sur la base d'un accord¹⁾ entre la Commission et le CEN, de transférer au CEN par une série de Mandats l'élaboration et la publication des Eurocodes, afin de leur conférer par la suite un statut de Normes européennes (EN). Ceci établit *de facto* un lien entre les Eurocodes et les dispositions de toutes les Directives du Conseil et/ou Décisions de la Commission concernant les normes européennes (par exemple la Directive du Conseil 89/106/CEE sur les Produits de Construction – DPC – et les Directives du Conseil 93/37/CEE, 92/50/CEE et 89/440/CEE sur les marchés publics de travaux et services ainsi que les Directives équivalentes de l'AELE destinées à la mise en place du marché intérieur).

Le programme des Eurocodes Structuraux comprend les normes suivantes, chacune étant en général constituée d'un certain nombre de Parties :

EN 1990	Eurocode	Bases de calcul des structures
EN 1991	Eurocode 1	Actions sur les structures
EN 1992	Eurocode 2	Calcul des structures en béton

1) Accord entre la Commission des Communautés Européennes et le Comité Européen de Normalisation (CEN) concernant le travail sur les EUROCODES pour le calcul des ouvrages de bâtiments et de génie civil (BC/CEN/03/89).

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	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
EN 1999	Eurocode 9	Calcul des structures en aluminium

Les normes Eurocodes reconnaissent la responsabilité des autorités de réglementaires dans chaque Etat Membre et ont sauvegardé le droit de celles-ci de déterminer, au niveau national, des valeurs relatives aux questions réglementaires de sécurité, là où ces valeurs continuent à différer d'un Etat à un autre.

Statut et domaine d'application des Eurocodes

Les États Membres de l'UE et de l'AELE reconnaissent que les Eurocodes servent de documents de référence pour les usages suivants :

- comme moyen de prouver la conformité des bâtiments et des ouvrages de génie civil aux exigences essentielles de la Directive 89/106/CEE du Conseil, en particulier à l'Exigence Essentielle N°1 - Stabilité et Résistance Mécanique - et à l'Exigence Essentielle N°2 - Sécurité en cas d'incendie ;
- comme base de spécification des contrats pour les travaux de construction et les services techniques associés ;
- comme cadre d'établissement de spécifications techniques harmonisées pour les produits de construction (EN et ATE).

Les Eurocodes, dans la mesure où les ouvrages eux-mêmes sont concernés par eux, ont un lien direct avec les Documents Interprétatifs²⁾ auxquels il est fait référence dans l'Article 12 de la DPC, bien qu'ils soient de nature différente de celle des normes de produits harmonisées³⁾. En conséquence, les aspects techniques des travaux effectués pour les Eurocodes nécessitent d'être pris en considération par les Comités Techniques du CEN et/ou les Groupes de Travail de l'EOTA travaillant sur les normes de produits en vue d'obtenir une complète compatibilité de ces spécifications techniques avec les Eurocodes.

Les normes Eurocodes fournissent des règles de conception structurale communes d'usage quotidien pour le calcul des structures entières et de produits composants, de nature tant traditionnelle ou innovatrice. Les formes de construction ou les conceptions inhabituelles ne sont pas spécifiquement couvertes, et il appartiendra en ces cas au concepteur de se procurer des bases spécialisées supplémentaires.

Normes nationales transposant les Eurocodes

Les Normes nationales transposant les Eurocodes comprendront la totalité du texte des Eurocodes (toutes annexes incluses), tel que publié par le CEN ; ce texte peut être précédé d'une page nationale de titres et d'un Avant-propos national, et peut être suivi d'une Annexe nationale.

L'Annexe nationale ne peut seulement contenir que des informations sur les paramètres laissés en attente dans l'Eurocode pour choix national, sous la désignation de Paramètres Déterminés au niveau national, à utiliser pour les projets de bâtiments et ouvrages de génie civil à construits dans le pays concerné ; il s'agit :

- de valeurs de coefficients partiels et/ou classes lorsque des alternatives sont données dans l'Eurocode ;
- de valeurs à utiliser lorsque seul un symbole est donné dans l'Eurocode ;
- de données géographiques et climatiques spécifiques à l'Etat Membre, par ex. carte d'enneigement ;
- de la procédure à utiliser lorsque des procédures alternatives sont données dans l'Eurocode.

Il peut aussi contenir :

- des décisions sur l'usage des annexes informatives ;
- des références à des informations complémentaires non contradictoires pour aider l'utilisateur à appliquer l'Eurocode.

2) Conformément à l'Art. 3.3 de la DPC, les exigences essentielles (EE) doivent recevoir une forme concrète dans les documents interprétatifs (DI) pour assurer les liens nécessaires entre les exigences essentielles et les mandats pour les Normes européennes (EN) harmonisées, les ATE et les guides pour ces ATE.

3) Conformément à l'Art. 12 de la DPC les documents interprétatifs doivent :

- a) donner une forme concrète aux exigences essentielles (EE) en harmonisant la terminologie et les bases techniques, et en indiquant des classes ou niveaux pour chaque exigence si nécessaire ;
- b) indiquer des méthodes de corrélation de ces classes ou niveaux d'exigence avec les spécifications techniques, par exemple des méthodes de calcul et d'essais, des règles techniques pour le calcul de projets, etc. ;
- c) servir de référence pour l'établissement de normes et directives harmonisées pour des agréments techniques européens (ATE).

Les Eurocodes, *de facto*, jouent un rôle similaire pour l'EE 1 et une partie de l'EE 2.

Liens entre les Eurocodes et les spécifications techniques harmonisées (EN et ATE) pour les produits

La cohérence est nécessaire entre les spécifications techniques harmonisées pour les produits de construction et les règles techniques pour les ouvrages ⁴⁾. En outre, toute information accompagnant le Marquage CE des produits de construction, se référant aux Eurocodes, doit clairement faire apparaître quels Paramètres Déterminés au niveau National ont été pris en compte.

Annexe nationale pour l'EN 1993-1-9

La présente norme donne des procédures, valeurs et recommandations alternatives accompagnées de notes indiquant les cas où des choix au niveau national peuvent être effectués. Il convient que la Norme nationale transposant l'EN 1993-1-9 contienne une Annexe nationale comprenant tous les Paramètres Déterminés au niveau national à utiliser pour le calcul de structures métalliques devant être construites dans le pays concerné.

Le choix national est autorisé dans les articles suivants de l'EN 1993-1-9 :

- 1.1(2)
- 2(2)
- 2(4)
- 3(2)
- 3(7)
- 5(2)
- 6.1(1)
- 6.2(2)
- 7.1(3)
- 7.1(5)
- 8(4)

4) Voir l'Art.3.3 et l'Art.12 de la DPC, ainsi que les articles 4.2, 4.3.1, 4.3.2 et 5.2 de l'DI 1.

1 Généralités

1.1 Objet

(1) L'EN 1993-1-9 donne des méthodes de justification de la résistance à la fatigue des éléments, assemblages et connexions soumis à des charges de fatigue.

(2) Ces méthodes sont fondées sur des résultats d'essais à la fatigue sur grandes éprouvettes, reproduisant les imperfections géométriques et structurelles résultant de l'élaboration des matériaux et de l'exécution (p.ex. les effets des tolérances de fabrication et des contraintes résiduelles dues au soudage).

NOTE 1 Pour les tolérances voir l'EN 1090. Tant que l'EN 1090 n'est pas publiée, le choix de la norme d'exécution peut être fait par l'Annexe Nationale.

NOTE 2 L'Annexe nationale peut donner des informations supplémentaires sur les exigences de contrôle en cours de fabrication.

(3) Les règles sont applicables aux structures dont l'exécution est conforme à l'EN 1090.

NOTE Si besoin, des exigences supplémentaires sont données dans les tables de classification des détails.

(4) Les méthodes de vérification données dans cette partie sont applicables à toutes les nuances d'acier de structure, aux aciers inoxydables et aux aciers à résistance améliorée à la corrosion non protégés, sauf indication contraire des tableaux de catégories de détails. Cette partie s'applique uniquement aux matériaux conformes aux exigences de ténacité de l'EN 1993-1-10.

(5) Les méthodes de vérification à la fatigue autres que les méthodes $\Delta\sigma_R$ -N, telles que la méthode de la déformation à fond d'entaille ou les méthodes de la mécanique de la rupture, ne sont pas couvertes dans cette partie.

(6) Les traitements de parachèvement après soudage destinés à améliorer la résistance à la fatigue ne sont pas couverts dans cette partie, excepté le détensionnement.

(7) Les résistances à la fatigue données dans cette partie s'appliquent à des structures dans des conditions atmosphériques normales, suffisamment protégées contre la corrosion et régulièrement entretenues. L'effet de la corrosion par l'eau de mer n'est pas couvert. L'endommagement de la microstructure à haute température ($> 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) n'est pas couvert.

1.2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

EN 1090, *Exécution des structures en acier et des structures en aluminium*.

EN 1990, *Bases de calcul des structures*.

EN 1991, *Actions sur les structures*.

EN 1993, *Calcul des structures en acier*.

EN 1994-2, *Calcul des structures mixtes acier-béton – Partie 2 : Ponts*.

1.3 Termes et définitions

(1) Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

1.3.1 Généralités

1.3.1.1

fatigue

processus d'initiation et de propagation de fissures dans un élément de structure provoqué par des fluctuations de contrainte

1.3.1.2

contrainte nominale

contrainte dans le métal de base ou dans une soudure au voisinage de l'emplacement potentiel d'une fissure, calculée selon la théorie élastique, à l'exclusion de tout effet de concentration de contrainte

NOTE La contrainte nominale désigne dans cette partie les contraintes normales, les contraintes de cisaillement, les contraintes principales ou les contraintes équivalentes.

1.3.1.3

contrainte nominale modifiée

contrainte nominale multipliée par un facteur approprié de concentration de contrainte k_f permettant de tenir compte d'une discontinuité géométrique qui n'a pas été prise en considération dans la classification d'un détail constructif

1.3.1.4

contrainte géométrique

contrainte au point chaud

la contrainte principale maximale dans le métal de base, au pied du cordon de soudure, avec prise en compte des effets de concentration de contrainte dus à la géométrie d'ensemble du détail constructif

NOTE Il est inutile de considérer les effets de concentration locale de contraintes, dus par exemple au cordon de soudure (déjà inclus dans les catégories de détails de l'Annexe B).

1.3.1.5

contrainte résiduelle

les contraintes résiduelles désignent un état de contrainte permanent, auto-équilibré, et indépendant de toute action appliquée. Les contraintes résiduelles résultent du laminage, du coupage, du retrait de soudage, du défaut d'ajustement entre pièces, ou de toute séquence de chargement causant une plastification partielle dans la structure

1.3.2 Paramètres du chargement de fatigue

1.3.2.1

événement-charge

une séquence donnée de chargements appliqués à la structure, donnant naissance à un historique de contraintes, qui se répète en général un certain nombre de fois durant la vie de la structure

1.3.2.2

historique de contraintes

un enregistrement ou un calcul des contraintes en un point particulier de la structure à chaque instant d'un événement-charge

1.3.2.3

méthode de la goutte d'eau

une méthode de comptage pour l'élaboration d'un histogramme des étendues de contrainte à partir d'un historique donné

1.3.2.4**méthode du réservoir**

une méthode de comptage pour l'élaboration d'un histogramme des étendues de contrainte à partir d'un historique donné

NOTE Pour le traitement mathématique, voir l'Annexe A.

1.3.2.5**étendue de contrainte**

la différence algébrique entre les deux extrêmes d'un cycle particulier de contrainte faisant partie d'un historique de contraintes

1.3.2.6**spectre d'étendues de contrainte**

histogramme de toutes les valeurs des étendues de contraintes, enregistrées ou calculées pour un événement de charge donné

1.3.2.7**spectre de calcul**

l'ensemble de tous les spectres d'étendues de contrainte à considérer pour la vérification à la fatigue pendant la durée de vie de calcul

1.3.2.8**durée de vie de calcul**

durée de référence pendant laquelle la sécurité de la structure, avec une probabilité acceptable vis-à-vis du risque de ruine par fatigue, est exigée

1.3.2.9**durée de vie à la fatigue**

la période de temps évaluée conduisant à la ruine par fatigue sous l'effet du spectre de calcul

1.3.2.10**sommation de Miner**

calcul linéaire de l'endommagement cumulé, fondé sur la règle de Palmgren-Miner

1.3.2.11**étendue de contrainte équivalente d'amplitude constante**

étendue de contrainte d'amplitude constante qui conduirait à une durée de vie à la fatigue identique à celle obtenue pour le spectre de calcul, la comparaison étant basée sur la sommation de Miner

NOTE Pour le traitement mathématique, voir l'Annexe A.

1.3.2.12**chargement de fatigue**

ensemble de paramètres d'action basés sur des événements-charges représentatifs et décrits par les positions des charges, leur magnitude, leur phasage et leur fréquence relative d'occurrence

NOTE 1 Les actions de fatigue de l'EN 1991 sont des bornes supérieures basées sur l'analyse de mesures des effets des actions selon l'Annexe A.

NOTE 2 Les paramètres d'action donnés dans l'EN 1991 sont :

- $Q_{\max}$, $n_{\max}$, spectre standardisé ; ou
- $Q_{E, n_{\max}}$ correspondant à $n_{\max}$; ou
- $Q_{E, 2}$ correspondant à $n = 2 \times 10^6$ cycles.

Les effets dynamiques sont inclus dans ces paramètres sauf mention contraire.

1.3.2.13

chargement de fatigue équivalent d'amplitude constante

chargement simplifié d'amplitude constante donnant le même endommagement que les événements-charges réels d'amplitude variable

1.3.3 Résistance à la fatigue

1.3.3.1

courbe de résistance à la fatigue

la relation quantitative entre l'étendue des contraintes et le nombre de cycles de contrainte jusqu'à la ruine par fatigue, utilisée pour évaluer la résistance d'une catégorie de détail constructif

NOTE Les résistances à la fatigue données dans cette partie sont des bornes inférieures basées sur l'analyse de résultats d'essais sur grandes éprouvettes conformément à l'EN 1990 – Annexe D.

1.3.3.2

catégorie de détail

la désignation numérique attribuée à un détail constructif particulier pour une direction donnée de contraintes afin d'indiquer la courbe de résistance à la fatigue à appliquer pour évaluer sa résistance (ce nombre correspond à la résistance de référence à la fatigue Ds_C en N/mm^2)

1.3.3.3

limite de fatigue sous amplitude constante

valeur limite de l'étendue de contrainte normale ou de cisaillement, en dessous de laquelle aucun endommagement ne se produit au cours d'un essai à amplitude constante. Sous chargement d'amplitude variable, toutes les étendues de contrainte doivent être inférieures à cette limite pour qu'aucun endommagement ne se produise

1.3.3.4

limite de troncature

limite en dessous de laquelle les étendues de contrainte du spectre de calcul ne contribuent pas à l'endommagement calculé

1.3.3.5

endurance

durée de vie, exprimée en nombre de cycles, sous l'action d'un historique de contraintes d'amplitude constante

1.3.3.6

résistance de référence à la fatigue

étendue de contrainte à amplitude constante Ds_C correspondant à une endurance de $N = 2 \times 10^6$ cycles pour une catégorie de détail donnée

1.4 Symboles

Ds étendue de contrainte (contrainte normale)

$D\tau$ étendue de contrainte (contrainte de cisaillement)

Ds_E, Dt_E étendue de contrainte équivalente d'amplitude constante relative à n_{max}

$Ds_{E,2}, Dt_{E,2}$ étendue de contrainte équivalente d'amplitude constante relative à 2 millions de cycles

Ds_C, Dt_C valeur de référence de la résistance à la fatigue à $N_C = 2$ millions de cycles

Ds_D, Dt_D	limite de fatigue pour des étendues de contrainte d'amplitude constante, à un nombre de cycles N_D
Ds_L, Dt_L	limite de troncature pour des étendues de contrainte, à un nombre de cycles N_L
Ds_{eq}	étendue de contrainte équivalente pour les assemblages des âmes de tabliers orthotropes
$Ds_{C,red}$	valeur de référence réduite de la résistance à la fatigue
g_{Ff}	coefficient partiel pour l'étendue de contrainte équivalente à amplitude constante Ds_E, Dt_E
g_{Mf}	coefficient partiel pour la résistance à la fatigue Ds_C, Dt_C
m	pente d'une courbe de résistance à la fatigue
l_i	facteur d'équivalence d'endommagement
y_1	facteur de valeur fréquente d'une charge variable
Q_k	valeur caractéristique d'une charge variable individuelle
k_s	facteur de réduction de la résistance à la fatigue pour l'effet de dimension
k_1	facteur de majoration des contraintes nominales pour les moments de flexion secondaires dans les treillis
k_f	facteur de concentration de contrainte
N_R	durée du calcul exprimée comme un nombre de cycles relatif à une étendue de contraintes constante

2 Exigences de base et méthodes

(1) Il convient de dimensionner les éléments de structure vis-à-vis de l'état limite de fatigue, de manière à ce que leur comportement reste, avec un niveau acceptable de probabilité, satisfaisant pendant toute la durée de vie de calcul.

NOTE Les structures dimensionnées en utilisant les actions de fatigue de l'EN 1991 et la résistance à la fatigue selon cette partie sont réputées satisfaire à cette exigence.

(2) L'Annexe A peut être utilisée pour la détermination d'un chargement de fatigue spécifique, lorsque :

- aucun modèle de chargement de fatigue n'est donné dans l'EN 1991 ;
- un modèle plus réaliste de chargement de fatigue est requis.

NOTE L'Annexe Nationale peut spécifier des exigences pour la détermination de modèles de chargement de fatigue spécifiques.

(3) Des essais de fatigue peuvent être réalisés :

- pour déterminer la résistance à la fatigue de détails qui ne sont pas inclus dans cette partie ;

— pour déterminer la durée de vie à la fatigue de prototypes sous chargement réel ou sous chargement de fatigue équivalent d'amplitude constante.

(4) Pour la réalisation et l'exploitation d'essais de fatigue, il convient de prendre l'EN 1990 en considération (voir aussi 7.1).

NOTE L'Annexe nationale peut spécifier des exigences pour déterminer la résistance à la fatigue à partir d'essais.

(5) Les méthodes de justification à la fatigue données dans cette partie suivent le principe de la comparaison des effets des actions et des résistances à la fatigue; une telle comparaison n'est possible que lorsque les actions de fatigue sont déterminées avec les paramètres de résistance à la fatigue figurant dans cette norme.

(6) Les actions de fatigue sont déterminées conformément aux exigences de la vérification à la fatigue. Elles sont différentes des actions pour les justifications à l'état limite ultime ou à l'état limite de service.

NOTE L'apparition d'une fissure de fatigue au cours de la durée de vie de service ne signifie pas nécessairement la fin de la durée de vie de service. Il convient d'effectuer la réparation d'une fissure avec un soin particulier pour éviter d'introduire des conditions d'entaille plus nocives.

3 Méthodes de justification

(1) Il convient de conduire la justification à la fatigue en utilisant l'une des deux méthodes :

— la méthode de la tolérance de l'endommagement ; ou

— la méthode de la durée de vie sûre.

(2) Il convient d'appliquer la méthode de la tolérance de l'endommagement pour obtenir, avec une fiabilité acceptable, un comportement satisfaisant de la structure, à condition de mettre en œuvre pendant la durée de vie une procédure précise d'inspection et de maintenance pour détecter et remédier à l'endommagement par fatigue.

NOTE 1 La méthode de la tolérance de l'endommagement peut être employée lorsque la redistribution des charges suite à un endommagement par fatigue est possible.

NOTE 2 L'Annexe nationale peut traiter des programmes d'inspection.

NOTE 3 Les structures dimensionnées selon cette partie, dont le matériau est choisi selon l'EN 1993-1-10, et qui font l'objet d'une maintenance régulière, sont réputées tolérer l'endommagement.

(3) Il convient d'appliquer la méthode de la durée de vie sûre pour obtenir, avec une fiabilité acceptable, un comportement satisfaisant de la structure sans compter sur la détection d'un endommagement par inspection régulière en service. Il convient d'employer la méthode de la durée de vie sûre lorsque la formation d'une fissure dans un élément pourrait conduire rapidement à la ruine de cet élément ou de la structure.

(4) Pour la justification à la fatigue selon cette partie, un niveau acceptable de fiabilité est obtenu en adaptant le facteur partiel de résistance à la fatigue g_{Mf} pour tenir compte des conséquences de la ruine et de la méthode de justification.

(5) Les résistances à la fatigue sont déterminées en considérant le détail constructif avec ses effets d'entaille métallurgiques et géométriques. Le site probable d'initiation de fissure est également indiqué dans la présentation des détails figurant dans cette partie.

(6) Les méthodes d'évaluation présentées dans ces règles font appel à des courbes de résistance à la fatigue pour :

— des détails standards, en termes de contrainte nominale ;

— des configurations de base de soudures, en termes de contrainte géométrique.

(7) La fiabilité requise peut être obtenue comme suit :

a) méthode de la tolérance de l'endommagement :

- choix de détails, matériaux et niveaux de contrainte conduisant, dans l'éventualité de l'apparition d'une fissure, à une vitesse de propagation faible et à une taille critique de fissure élevée ;
- présence de chemins alternatifs de transfert des charges ;
- mise en œuvre de dispositifs d'arrêt de fissure ;
- choix de détails aisément inspectables durant les inspections périodiques ;

b) méthode de la durée de vie sûre :

- choix de détails et niveaux de contrainte conduisant à une durée de vie suffisante pour l'obtention d'un indice b égal, à l'issue de la durée de vie, à la valeur considérée aux états limites ultimes.

NOTE L'Annexe nationale peut fixer le choix de la méthode d'évaluation, la définition des classes de conséquences et les valeurs numériques de g_{Mf} . Les valeurs de g_{Mf} recommandées sont données au Tableau 3.1.

Tableau 3.1 — Valeurs recommandées pour les facteurs partiels de résistance à la fatigue

Méthode d'évaluation	Conséquence de la ruine	
	conséquences peu importantes	conséquences importantes
Tolérance de l'endommagement	1,00	1,15
Durée de vie sûre	1,15	1,35

4 Contraintes résultant des actions de fatigue

(1) Il convient que les modèles pour évaluer les contraintes nominales tiennent compte de tous les effets des actions y compris la distorsion, et de les baser sur un comportement élastique linéaire des éléments et des assemblages.

(2) Pour les poutres en treillis constitués de profils creux, la modélisation peut faire appel à un modèle simplifié avec assemblages articulés. A condition de tenir compte des contraintes dues aux charges appliquées aux barres entre les nœuds, les effets des moments secondaires résultant de la rigidité des assemblages peuvent être pris en compte au moyen de coefficients k_1 (voir Tableau 4.1 pour les profils circulaires, Tableau 4.2 pour les profils rectangulaires).

Tableau 4-1 — Coefficients k_1 pour les profils creux circulaires avec chargement dans le plan

Type d'assemblage		Membrures	Montants	Diagonales
Assemblage à espacement	type K	1,5	1,0	1,3
	type N / type KT	1,5	1,8	1,4
Assemblage à recouvrement	type K	1,5	1,0	1,2
	type N / type KT	1,5	1,65	1,25

Tableau 4.2 — Coefficients k_1 pour les profils creux rectangulaires avec chargement dans le plan

Type d'assemblage		Membrures	Montants	Diagonales
Assemblage à espacement	type K	1,5	1,0	1,5
	type N / type KT	1,5	2,2	1,6
Assemblage à recouvrement	type K	1,5	1,0	1,3
	type N / type KT	1,5	2,0	1,4

NOTE Pour la définition des types d'assemblage, voir l'EN 1993-1-8.

5 Calcul des contraintes

- (1) Il convient de calculer les contraintes à l'état limite de service.
- (2) L'effet des charges de fatigue sur les sections de classe 4 est évalué conformément à l'EN 1993-1-5.

NOTE 1 Voir les EN 1993-2 à EN 1993-6 pour des indications.

NOTE 2 L'Annexe nationale peut donner des limitations pour les sections de classe 4.

(3) Il y a lieu d'évaluer les contraintes nominales au site potentiel d'initiation de fissure. Il convient de tenir compte des effets produisant des concentrations de contrainte qui ne seraient pas inclus dans les Tableaux 8.1 à 8.10, en évaluant une contrainte nominale modifiée à partir d'un facteur de concentration de contrainte (SCF) selon 6.3.

(4) Pour l'emploi des méthodes basées sur les contraintes géométriques (au point chaud) pour les détails couverts par le Tableau B.1, il convient d'évaluer les contraintes comme indiqué en 6.5.

(5) Les contraintes significatives dans le matériau de base sont :

- les contraintes nominales normales s ;
- les contraintes nominales de cisaillement t .

NOTE Pour les effets de contraintes nominales combinées voir 8(2).

(6) Les contraintes significatives dans les cordons de soudure sont (voir Figure 5.1 —) :

les contraintes normales s_{wf} perpendiculaires à l'axe du cordon : $s_{wf} = \sqrt{s_{\perp f}^2 + t_{\perp f}^2}$

les contraintes de cisaillement t_{wf} parallèles à l'axe du cordon : $t_{wf} = t_{\parallel f}$

pour lesquelles il y a lieu de mener deux vérifications séparées.

NOTE La procédure ci-dessus diffère de la procédure de vérification des soudures d'angle à l'état limite ultime donnée dans l'EN 1993-1-8.

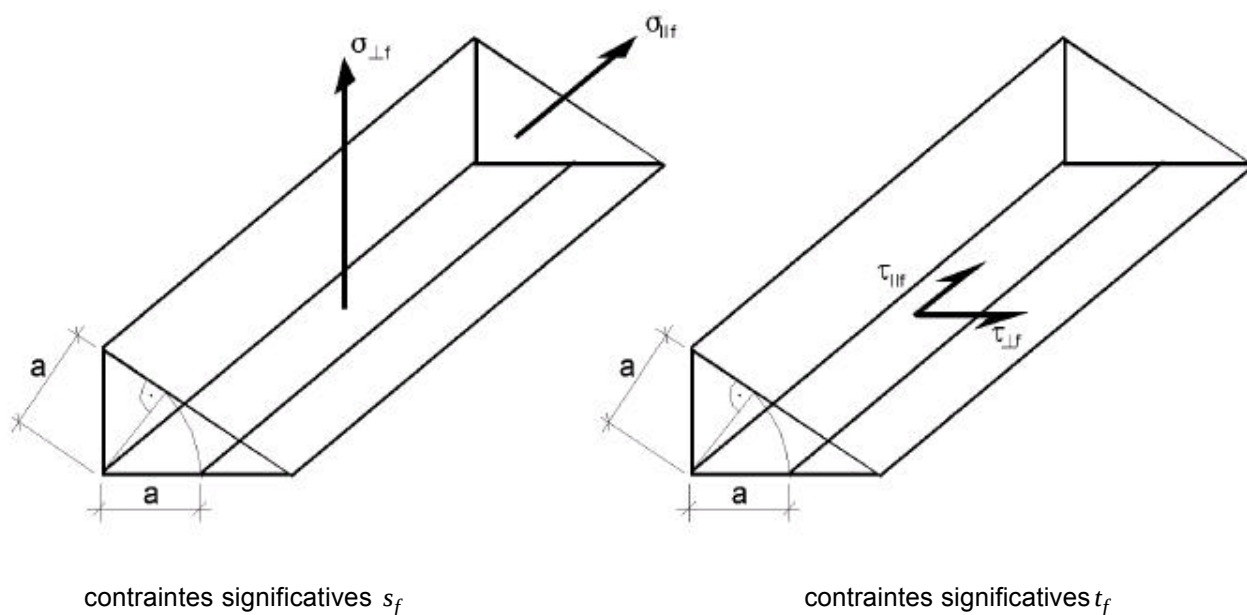


Figure 5.1 — Contraintes significatives dans les soudures d'angle

6 Calcul des étendues de contrainte

6.1 Généralités

- (1) Il convient de réaliser les justifications à la fatigue en utilisant :
- les étendues de contrainte nominale, pour les détails donnés aux Tableaux 8.1 à 8.10 ;
 - les étendues de contrainte nominale modifiée, lorsque par exemple un changement brutal de section, non pris en compte dans les Tableaux 8.1 à 8.10, se produit au voisinage du site d'initiation ; ou
 - les étendues de contrainte géométrique, dans le cas d'un gradient important de contrainte au voisinage du pied du cordon de soudure dans les assemblages couverts par le Tableau B.1.

NOTE L'Annexe nationale peut donner des informations sur l'emploi des étendues de contrainte nominale, nominale modifiée, ou géométrique. Pour les catégories de détails constructifs avec étendues de contrainte géométrique, voir l'Annexe B.

- (2) Il convient de considérer comme valeur de calcul pour la vérification à la fatigue, l'étendue de contrainte équivalente $g_{Ff}.D\sigma_{E,2}$ correspondant à $N_C = 2 \times 10^6$ cycles.

6.2 Valeur de calcul de l'étendue de contrainte nominale

- (1) Il convient de déterminer la valeur de calcul des étendues de contrainte nominale $g_{Ff}.D\sigma_{E,2}$ et $g_{Ff}.D\tau_{E,2}$ comme suit :

$$g_{Ff}.D\sigma_{E,2} = l_1 \times l_2 \times l_i \times \dots \times l_n \times D\sigma(g_{Ff} Q_k)$$

(6.1)

$$g_{Ff}.D\tau_{E,2} = l_1 \times l_2 \times l_i \times \dots \times l_n \times D\tau(\gamma_{Ff} Q_k)$$

où

$D\sigma(g_{Ff} Q_k), D\tau(\gamma_{Ff} Q_k)$ est l'étendue de contrainte produite par le chargement de fatigue spécifié dans l'EN 1991 ;

l_i sont des facteurs d'équivalence d'endommagement dépendant des spectres de calcul, comme spécifié dans les parties appropriées de l'EN 1993.

(2) Au cas où aucune valeur n'est spécifiée pour les l_i , les valeurs de calcul des contraintes nominales peuvent être déterminées d'après les principes de l'Annexe A.

NOTE L'Annexe nationale peut donner des informations en complément de l'Annexe A.

6.3 Valeur de calcul de l'étendue de contrainte nominale modifiée

(1) Il convient de déterminer la valeur de calcul des étendues de contrainte nominale modifiée $g_{Ff} D\sigma_{E,2}$ et $g_{Ff} D\tau_{E,2}$ comme suit :

$$g_{Ff} D\sigma_{E,2} = k_f \times l_1 \times l_2 \times l_i \times \dots \times l_n \times D\sigma(g_{Ff} Q_k) \quad (6.2)$$

$$g_{Ff} D\tau_{E,2} = k_f \times l_1 \times l_2 \times l_i \times \dots \times l_n \times D\tau(\gamma_{Ff} Q_k)$$

où

k_f est le facteur de concentration de contraintes qui rend compte d'une augmentation locale des contraintes, liée à la géométrie du détail, non prise en compte dans la courbe $D\sigma_{R-N}$ de référence.

NOTE Des valeurs de k_f peuvent être obtenues dans la littérature ou par des calculs aux éléments finis appropriés.

6.4 Valeur de calcul de l'étendue de contrainte pour les assemblages soudés de profils creux

(1) A défaut de calculs plus précis, il y a lieu de déterminer la valeur de calcul de l'étendue de contrainte nominale $g_{Ff} D\sigma_{E,2}$ comme suit, selon la méthode simplifiée donnée en 4(2) :

$$g_{Ff} D\sigma_{E,2} = k_1 (g_{Ff} Ds_{E,2}^*) \quad (6.3)$$

où

$g_{Ff} Ds_{E,2}^*$ est la valeur de calcul de l'étendue de contrainte pour le modèle de treillis avec assemblages articulés ;

k_1 est le coefficient d'amplification donné aux Tableaux 4.1 et 4.2.

6.5 Valeur de calcul de l'étendue de contrainte pour la contrainte géométrique (au point chaud)

(1) Il y a lieu de déterminer la valeur de calcul de l'étendue de contrainte nominale $g_{Ff} D\sigma_{E,2}$ comme suit :

$$g_{Ff} D\sigma_{E,2} = k_f (g_{Ff} Ds_{E,2}^*) \quad (6.4)$$

où

k_f est le coefficient de concentration de contrainte.

7 Résistance à la fatigue

7.1 Généralités

(1) La résistance à la fatigue pour les étendues de contraintes nominales est représentée par une série de courbes $(\log D\sigma_R) - (\log N)$ et $(\log D\tau_R) - (\log N)$ (courbes S-N), correspondant à des catégories de détails constructif typiques. Chaque catégorie de détail constructif est désignée par un nombre qui représente, en N/mm^2 , la valeur de référence $D\sigma_C$ ou $D\tau_C$ pour la résistance à la fatigue à 2 millions de cycles.

(2) Pour les contraintes nominales d'amplitude constante, les résistances à la fatigue peuvent être déterminées comme suit :

$$Ds_R^m N_R = Ds_C^m 2 \times 10^6 \text{ avec } m = 3 \text{ pour } N \leq 10^6, \text{ voir Figure 7.1.}$$

$$Dt_R^m N_R = Dt_C^m 2 \times 10^6 \text{ avec } m = 5 \text{ pour } N \leq 10^8, \text{ voir Figure 7.2.}$$

$$Ds_C = \left(\frac{2}{5}\right)^{1/3} Ds_C = 0,737 Ds_C \quad \text{est la limite de fatigue à amplitude constante, voir Figure 7.1}$$

et

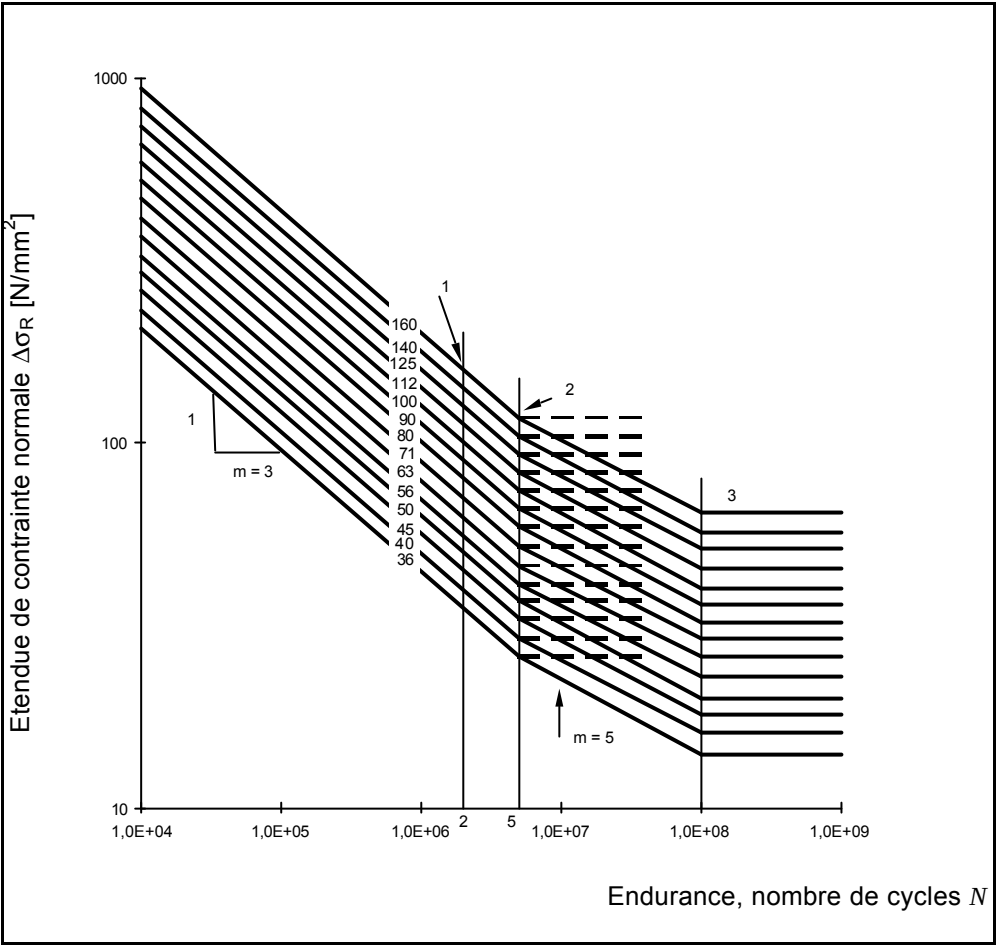
$$Dt_L = \left(\frac{2}{100}\right)^{1/5} Dt_C = 0,457 Dt_C \quad \text{est la limite de troncature, voir Figure 7.2.}$$

(3) Pour un spectre de contraintes nominales avec une étendue de contrainte normale de part et d'autre de la limite de fatigue sous amplitude constante $D\sigma_D$, il convient d'évaluer la résistance à la fatigue à l'aide des courbes généralisées de résistance à la fatigue, comme suit :

$$Ds_R^m N_R = Ds_C^m 2 \times 10^6 \text{ avec } m = 3 \text{ pour } N \leq 5 \cdot 10^6$$

$$Ds_R^m N_R = Ds_D^m 5 \times 10^6 \text{ avec } m = 5 \text{ pour } 5 \cdot 10^6 \leq N \leq 10^8$$

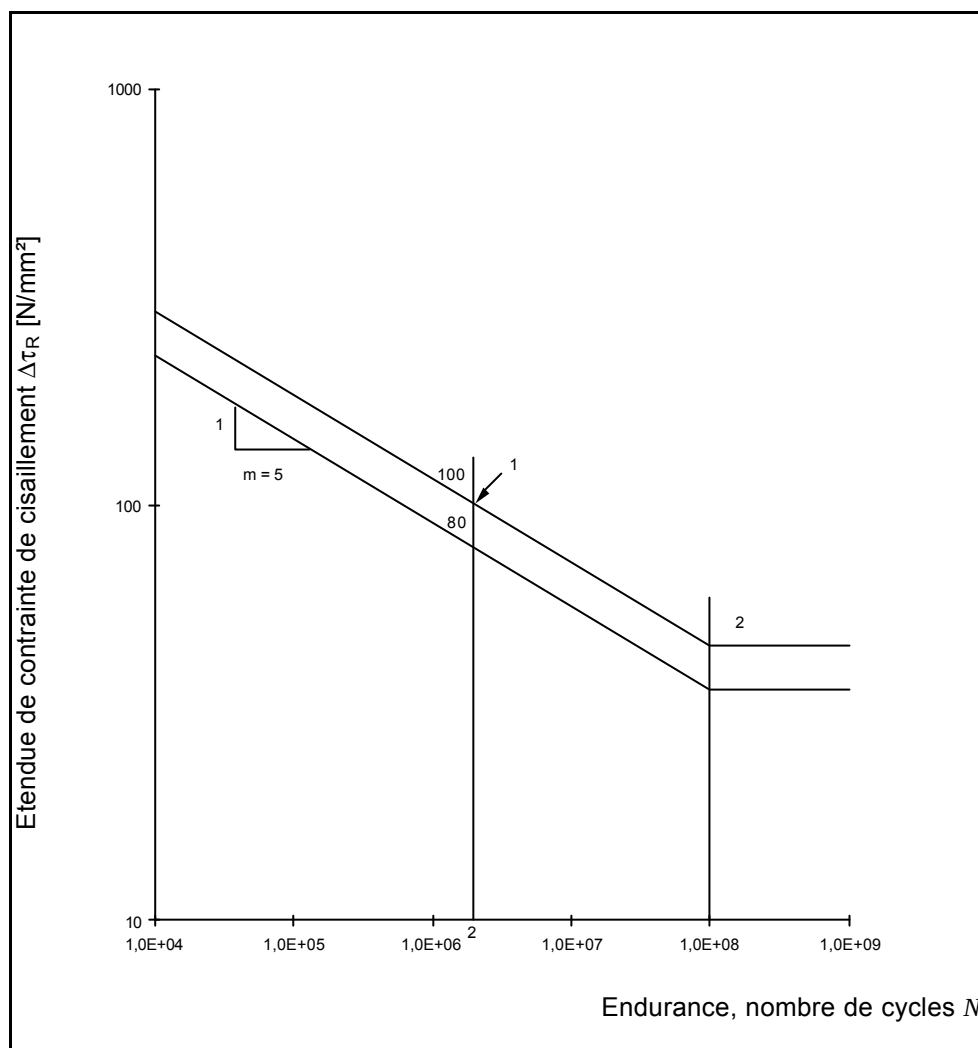
$$Ds_L = \left(\frac{5}{100}\right)^{1/5} Ds_D = 0,549 Ds_D \quad \text{est la limite de troncature, voir Figure 7.1.}$$



Légende

- 1 Catégorie de détail $\alpha_{\Delta C}$
- 2 Limite de fatigue à amplitude constante $\Delta\sigma_D$
- 3 Limite de troncature $\Delta\sigma_L$

Figure 7.1 — Courbes de résistance à la fatigue pour les étendues de contraintes normales



Légende

- 1 Catégorie de détail $\Delta\tau_C$
- 2 Limite de troncature $\Delta\tau_L$

Figure 7.2 — Courbes de résistance à la fatigue pour les étendues de contrainte de cisaillement

NOTE 1 Lors de l'exploitation des résultats d'essais pour déterminer la catégorie relative à un détail constructif particulier, la valeur caractéristique $D\sigma_C$, qui correspond à $N_C = 2$ millions de cycles, a été évaluée pour un niveau de confiance de 75 % avec une probabilité de dépassement de 95 % pour $\log N$, en considérant l'écart type, la taille de l'échantillon et les effets des contraintes résiduelles. Le nombre d'essais (au moins égal à 10) a été pris en compte dans l'analyse statistique, voir l'Annexe D de l'EN 1990.

NOTE 2 L'Annexe nationale peut autoriser l'évaluation d'une catégorie de résistance à la fatigue pour une application spécifique, sous réserve que cette évaluation soit en conformité avec la NOTE 1.

NOTE 3 Pour certains détails les résultats d'essais peuvent ne pas correspondre exactement aux courbes de résistance à la fatigue de la Figure 7.1. Pour éviter toute situation d'insécurité, ces détails, marqués d'un astérisque, sont classés une catégorie plus bas que ne l'autoriserait leur résistance à 2×10^6 cycles. En alternative, on peut conduire la justification en augmentant la classe d'un tel détail d'une catégorie, à condition d'utiliser une pente $m = 3$ jusqu'à une limite de fatigue sous amplitude constante $D\sigma_D$ portée à 10^7 cycles (voir Figure 7.3).

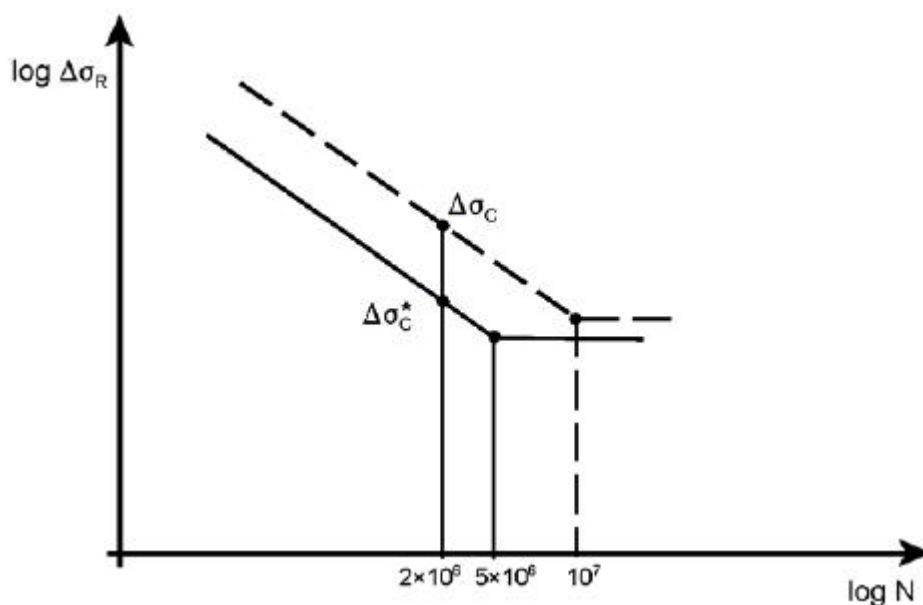


Figure 7.3 — Résistance alternative Ds_C pour des détails classés selon Ds_C^*

(4) Les catégories de résistance à la fatigue Ds_C et $D\tau_C$ pour les contraintes nominales sont données aux :

- Tableau 8.1 pour les éléments non soudés et les assemblages avec fixations mécaniques ;
- Tableau 8.2 pour les profils reconstitués soudés ;
- Tableau 8.3 pour les soudures transversales bout à bout ;
- Tableau 8.4 pour les attaches et raidisseurs soudés ;
- Tableau 8.5 pour les assemblages soudés transmettant des efforts ;
- Tableau 8.6 pour les profils creux ;
- Tableau 8.7 pour les noeuds de poutres à treillis ;
- Tableau 8.8 pour les dalles orthotropes – raidisseurs en auget ;
- Tableau 8.9 pour les dalles orthotropes – raidisseurs ouverts ;
- Tableau 8.10 pour les liaisons âme-semelle supérieure dans les poutres de roulement.

(5) Les catégories de résistance à la fatigue Ds_C pour les contraintes géométriques sont données dans l'Annexe B.

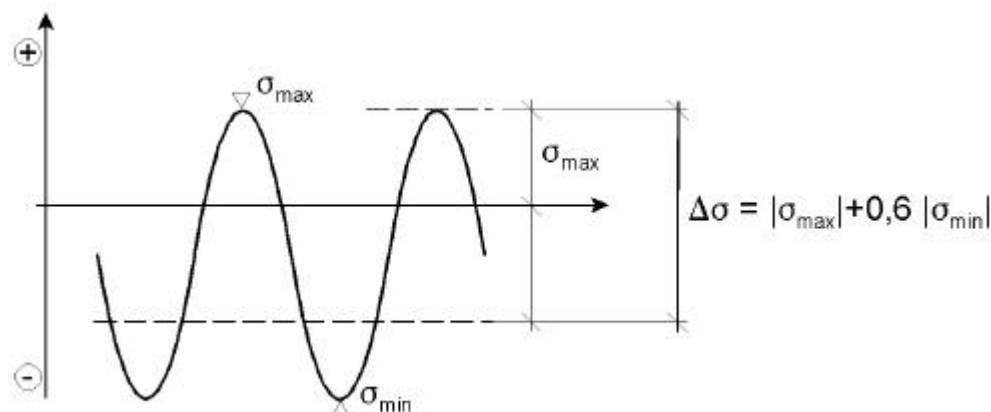
NOTE L'Annexe nationale peut donner des catégories de détail Ds_C et $D\tau_C$ pour les détails non couverts par les Tableaux 8.1 à 8.10 ou par l'Annexe B.

7.2 Modifications de la résistance à la fatigue

7.2.1 Détails non-soudés ou soumis à un traitement thermique de détensionnement

(1) Pour les détails non soudés ou soumis à un traitement thermique de détensionnement, l'influence de la contrainte moyenne sur la résistance à la fatigue peut être considérée en réduisant l'étendue de contrainte $Ds_{E,2}$ pour la vérification à la fatigue, lorsque tout ou partie du cycle de contrainte est en compression.

(2) L'étendue efficace peut être calculée en additionnant la partie en traction et 60 % de la partie en compression de l'étendue de contrainte, voir Figure 7.4.



Légende

+ traction

- compression

Figure 7.4 — Modification de l'étendue de contrainte pour détails non soudés ou détensionnés

7.2.2 Effet de dimension

(1) Il convient de prendre en compte l'effet de dimension, dû à l'épaisseur ou autre, comme indiqué dans les Tableaux 8.1 à 8.10. La résistance à la fatigue devient alors :

$$Ds_{C,red} = k_s Ds_C$$

8 Vérification à la fatigue

(1) Il convient que les étendues de contrainte nominale, nominale modifiée ou géométrique dues aux charges fréquentes $\psi_1 Q_k$ (voir EN 1990) n'excèdent pas :

$$\Delta\sigma \leq 1,5 f_y \quad \text{pour les étendues de contrainte normale} \quad (8.1)$$

$$\Delta\tau \leq 1,5 f_y / \sqrt{3} \quad \text{pour les étendues de contrainte de cisaillement}$$

(2) Il convient de vérifier, sous le chargement de fatigue, que :

$$\frac{g_{Fy} Ds_{E,2}}{Ds_C / g_{Mf}} \leq 10$$

et (8.2)

$$\frac{g_{Fy} D t_{E,2}}{D t_C / g_{Mf}} \leq 1,0$$

NOTE Les Tableaux 8.1 à 8.9 demandent pour certains détails que les étendues de contrainte soient basées sur les contraintes principales.

(3) Sauf mention contraire pour les catégories de détails des Tableaux 8.1 et 8.9, il convient de vérifier en cas de combinaison d'étendues de contrainte $D s_{E,2}$ et $D t_{E,2}$ que :

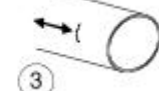
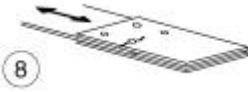
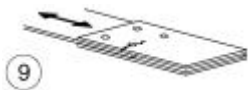
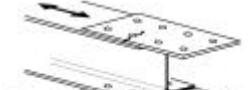
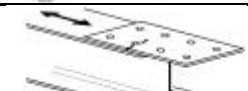
$$\left(\frac{g_{Ff} D s_{E,2}}{D s_C / g_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{g_{Ff} D t_{E,2}}{D t_C / g_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0 \quad (8.3)$$

(4) Si $D s_{E,2}$ ou $D t_{E,2}$ ne sont pas connus, la vérification peut être faite selon le format de l'Annexe A.

NOTE 1 L'Annexe A donne des étendues de contraintes normales ; cette présentation peut être adaptée aux étendues de contraintes de cisaillement.

NOTE 2 L'Annexe nationale peut fournir des informations sur l'utilisation de l'Annexe A.

Tableau 8.1 — Détails non soudés, assemblages avec fixations mécaniques

Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
160	NOTE La courbe de résistance à la fatigue associée à la catégorie 160 est la plus haute. Aucun détail ne peut atteindre une meilleure résistance quelque soit le nombre de cycles.   	<u>Produits laminés et extrudés :</u> 1) Plaques et larges plats. 2) Profilés laminés. 3) Tubes sans soudure, soit rectangulaires soit circulaires.	<u>Détails 1) à 3) :</u> Arêtes vives, défauts de surface et de laminage améliorés par meulage jusqu'à élimination et réalisation d'une transition régulière.
140		<u>Plats oxycoupés ou cisailés :</u> 4) Oxycoupage ou cisailage avec parachèvement consécutif ; 5) Oxycoupage automatique, avec lignes de fusion peu profondes et régulières ; ou oxycoupage manuel avec élimination consécutive de tout défaut de bord.	4) Élimination de toute trace visible de défaut de bord. Les bords de coupe doivent être usinés ou meulés et toutes les bavures enlevées. Toute strie produite p. ex. par meulage doit être parallèle aux contraintes.
125		Pour l'oxycoupage automatique, qualité selon EN 1090.	<u>Détails 4) et 5) :</u> Amélioration des angles rentrants par meulage (pente $\leq 1/4$) ou évaluation avec les coefficients de concentration de contraintes appropriés. Pas de réparation par rechargement.
100 m = 5	 	6) et 7) : Produits laminés et extrudés, comme les détails 1), 2), 3).	Détails 6) et 7) : $\Delta \tau \text{ calculé à partir de : } t = \frac{VS(t)}{It}$
Pour les détails 1 – 5 en acier à résistance améliorée à la corrosion, utiliser les catégories immédiatement inférieures.			
112		8) Assemblages à double recouvrement avec boulons HR précontraints.	8) D_s à calculer sur la section brute.
		8) Assemblages à double recouvrement avec boulons précontraints injectés.	8) ... section brute.
		9) Assemblages à double recouvrement avec boulons calibrés.	9) ... section nette.
		9) Assemblages à double recouvrement avec boulons non précontraints injectés.	9) ... section nette.
90		10) Assemblages à simple recouvrement avec boulons HR précontraints.	10) ... section brute.
		10) Assemblages à simple recouvrement avec boulons précontraints injectés.	10) ... section brute.
		11) Élément de structure avec perçage(s) soumis à la flexion et à l'effort normal	11) ... section nette.
80		12) Assemblages à simple recouvrement avec boulons calibrés.	12) ... section nette..
		12) Assemblages à simple recouvrement avec boulons non précontraints injectés.	12) ... section nette..
50		13) Assemblages à simple recouvrement ou à double recouvrement avec boulons non précontraints dans des trous normaux. Pas d'inversion de l'effort.	13) ... section nette..

« à suivre »

Tableau 8.1 (fin)

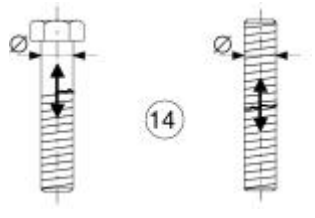
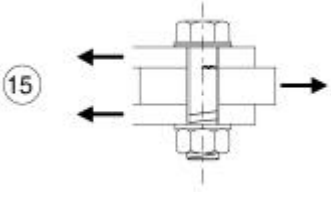
Catégorie de détail	Détail constructif		Description	Exigences
50	effet de dimension pour $F > 30 \text{ mm}$: $k_s = (30/F)^{0,25}$		14) Boulons et tiges en traction avec filets roulés ou usinés. Pour des diamètres importants (tiges d'ancrage), l'effet de dimension doit être pris en compte avec k_s .	14) D_s est à calculer par rapport à la section de la partie non filetée du boulon. La flexion et la traction provenant de l'effet de levier, et les contraintes de flexion provenant d'autres effets doivent être prises en compte. Pour les boulons précontraints, la réduction de l'étendue de contrainte peut être prise en compte.
100 $m = 5$			<u>Boulons sollicités en simple ou double cisaillement.</u> Le plan de cisaillement ne passe pas par le filetage. 15) - Boulons calibrés. - Boulons normaux sans inversion d'effort (boulons de nuance 5.6, 8.8 ou 10.9).	15) D_t calculé par rapport à la section de la tige.

Tableau 8.2 — Profils reconstitués soudés

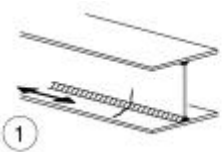
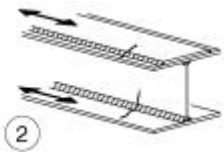
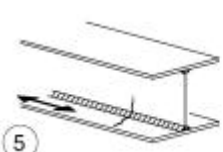
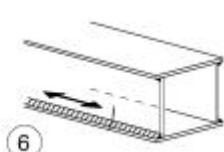
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
125	 	<u>Soudures longitudinales continues :</u> 1) Soudure automatique pleine pénétration exécutée des deux côtés ; 2) Soudure d'angle automatique; extrémités des plats de renfort vérifiées selon le détail 6) ou 7) du Tableau 8.5.	<u>Détails 1) et 2) :</u> Aucun arrêt/reprise n'est admis sauf si la réparation est exécutée par un spécialiste et l'exécution correcte de la réparation contrôlée par inspection.
112	 	3) Soudure automatique, d'angle ou pleine pénétration, exécutée des deux côtés mais avec arrêt/reprise. 4) Soudure automatique, exécutée d'un seul côté, sur une latte de soudage continue, sans arrêt/reprise.	4) Si ce détail comporte des arrêts/reprises, la catégorie 100 doit être utilisée.
100	 	5) Soudure manuelle, d'angle ou pleine pénétration. 6) Soudure pleine pénétration manuelle ou automatique, exécutée d'un seul côté, en particulier dans les poutres en caisson.	5), 6) Un très bon ajustement entre les semelles et les âmes est essentiel. Préparer le bord de l'âme afin que le talon permette une pénétration à la racine régulière sans interruption.
100		7) Réparation d'une soudure d'angle ou pleine pénétration, manuelle ou automatique	7) Le meulage exécuté par un spécialiste pour éliminer toute trace visible de défaut et le contrôle approprié peuvent restaurer la catégorie d'origine.
« à suivre »			

Tableau 8.2 (fin)

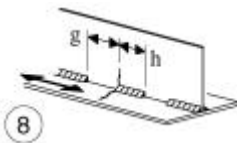
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
80	 $g/h = 2,5$	8) Soudures d'angle longitudinales discontinues.	8) D_s est basé sur la contrainte normale dans la semelle.
71	 9	9) Soudure longitudinale pleine pénétration, d'angle ou discontinue, avec trou de souris d'une hauteur n'excédant pas 60 mm. Pour les trous de souris > 60mm voir détail 1) au Tableau 8.4.	9) D_s est basé sur la contrainte normale dans la semelle.
125	 10	10) Soudure longitudinale pleine pénétration, arasée des deux côtés par meulage parallèlement à la direction de la contrainte, Contrôle CND 100 %	
112		10) Sans meulage ni arrêt/reprise	
90		10) Avec des positions d'arrêts/reprises	
140	 11	11) Soudure longitudinale automatique de profils creux, sans arrêt/reprise	11) Exempte de défauts hors des tolérances de l'EN 1090. Epaisseur de paroi $t \leq 12,5$ mm.
125		11) Soudure longitudinale automatique de profils creux, sans arrêt/reprise	11) Epaisseur de paroi $t > 12,5$ mm.
90		11) Avec arrêt et reprise de la soudure	
Pour les détails 1 à 11 réalisés par soudage entièrement mécanisé, les catégories des détails en soudage automatique s'appliquent.			

Tableau 8.3 — Soudures transversales bout à bout

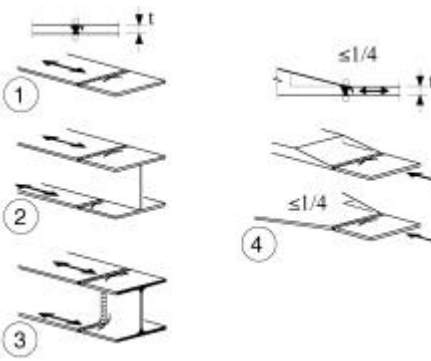
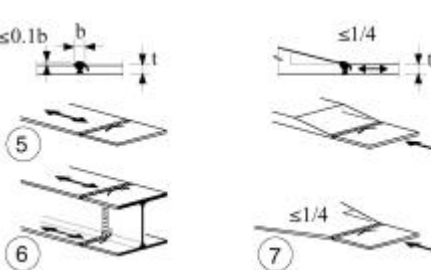
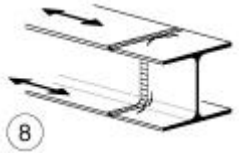
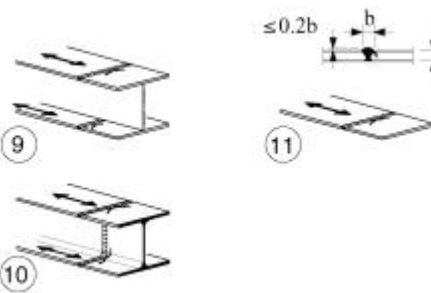
Catégorie de détail		Détail constructif	Description	Exigences
112	Effet de dimension pour $T > 25\text{mm}$: $k_s = (25/t)^{0,2}$		<u>Sans latte de soudage :</u> 1) Raboutages transversaux de plats et de larges plats. 2) Raboutages de semelles ou d'âmes avant reconstitution de poutres. 3) Raboutages avec pleine pénétration de sections laminées, sans découpe en trou de souris. 4) Raboutages transversaux de plats ou larges plats biseautés en largeur ou en épaisseur, avec une pente $\leq 1/4$.	Tous les cordons de soudure doivent être arasés par meulage parallèlement à la direction de la flèche. Appendices enlevés après soudage, angles de plats à araser par meulage parallèlement à la contrainte. Soudure des deux côtés, à vérifier par CND. <u>Détail 3)</u> : Uniquement pour profil laminé coupé et réassemblé.
90	Effet de dimension pour $t > 25\text{ mm}$: $k_s = (25/t)^{0,2}$		5) Raboutages transversaux soudés de plats ou de larges plats. 6) Raboutages avec pleine pénétration de sections laminées, sans découpe en trou de souris. 7) Raboutages transversaux de plats ou larges plats, avec une pente $\leq 1/4$ en largeur ou épaisseur. Transition des soudures à parachever pour éliminer les entailles.	La hauteur du bombé ne doit pas dépasser 10 % de la largeur du cordon, avec une transition douce vers la surface du plat. Appendices enlevés après soudage, bords à araser par meulage parallèlement à la contrainte. Soudure des deux côtés, à contrôler par CND. <u>Détails 5 et 7 :</u> Soudures en position à plat.
90	Effet de dimension pour $t > 25\text{mm}$: $k_s = (25/t)^{0,2}$		8) Raboutages avec pleine pénétration et découpe en trou de souris de sections laminées	Tous les cordons de soudure doivent être arasés par meulage parallèlement à la direction de la flèche. Appendices enlevés après soudage, bords arasés par meulage parallèlement à la contrainte. Soudure des deux côtés, à contrôler par CND. Dimensions des deux sections laminées identiques sans écart de tolérance.
80	Effet de dimension pour $t > 25\text{mm}$: $k_s = (25/t)^{0,2}$		9) Raboutages transversaux de poutres reconstituées soudées sans trou de souris. 10) Raboutages avec pleine pénétration et découpe en trou de souris de sections laminées. 11) Raboutages transversaux de plats, larges plats, profils laminés ou poutres reconstituées.	Le bombé ne doit pas excéder 20 % de la largeur du cordon, avec transition douce vers la surface du plat. Soudure non arasée par meulage. Appendices enlevés après soudage, bords arasés par meulage parallèlement à la contrainte. Soudure des deux côtés, à contrôler par CND. <u>Détail 10:</u> La hauteur du bombé ne doit pas dépasser 10 % de la largeur du cordon, avec une transition douce vers la surface du plat.
« à suivre »				

Tableau 8.3 (fin)

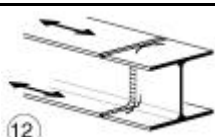
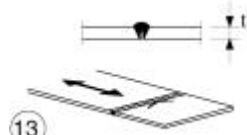
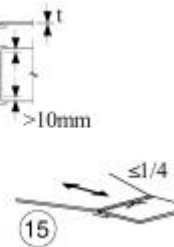
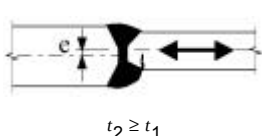
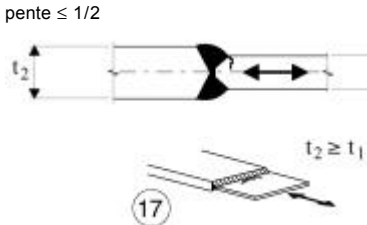
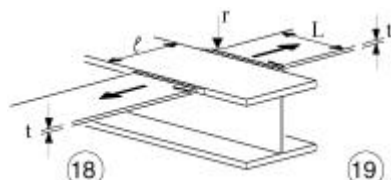
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences	
63		12) Raboutage avec pleine pénétration de sections laminées, sans découpe en trou de souris.	Appendices enlevés après soudage, bords à araser par meulage parallèlement à la contrainte. - Soudure des deux côtés.	
36		13) Soudure bout à bout exécutée d'un seul côté.	13) Sans latte de soudage	
71		13) Soudure bout à bout exécutée d'un seul côté, uniquement si pleine pénétration contrôlée par CND approprié.		
71	Effet de dimension pour $t > 25\text{mm}$: $k_s = (25/t)^{0,2}$	 	<u>Avec latte de soudage:</u> 14) Raboutage transversal. 15) Soudure bout à bout, débardage en largeur ou en épaisseur avec une pente $\leq 1/4$. Valable aussi pour plats cintrés.	<u>Détails 14) et 15):</u> Soudures d'angle attachant la latte de soudage se terminant à au moins 10 mm des bords du plat sollicité. Soudures de pointage noyées dans la soudure définitive.
50	Effet de dimension pour $t > 25\text{mm}$: $k_s = (25/t)^{0,2}$		16) Soudure bout à bout sur latte support permanente, pente $\leq 1/4$ si débardage en largeur ou en épaisseur. Valable aussi pour plats cintrés.	16) le cordon d'angle de la latte de soudage s'arrête à moins de 10 mm du bord du plat, ou bien un bon ajustement ne peut être garanti.
71	Effet de dimension pour $t > 25\text{mm}$ et/ou effet de l'excentrement : $k_s = \left(\frac{25}{t_1} \right)^{0,2} / \left(1 + \frac{6e}{t_1} \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}} \right)$  $t_2 \geq t_1$	 pente $\leq 1/2$ $t_2 \geq t_1$	17) Soudure bout à bout, épaisseurs différentes sans transition, feuillets moyens alignés.	
Comme détail 1 du Tableau 8.5		18) Soudure bout à bout au croisement de semelles.	<u>Détails 18) et 19)</u> La résistance à la fatigue dans la direction perpendiculaire doit être vérifiée avec le Tableau 8.4, détail 4 ou 5.	
Comme détail 4 du Tableau 8.4		19) Avec un congé de raccordement selon le détail 4 du Tableau 8.4.		

Tableau 8.4 — Attaches et raidisseurs soudés

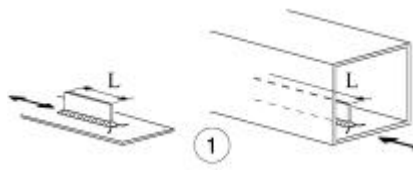
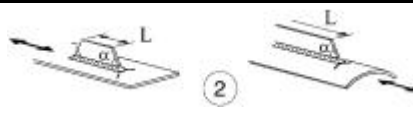
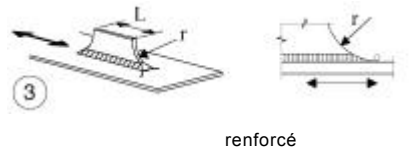
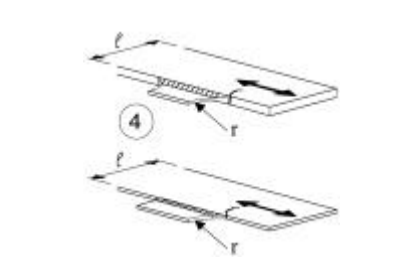
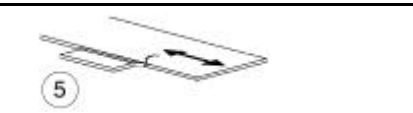
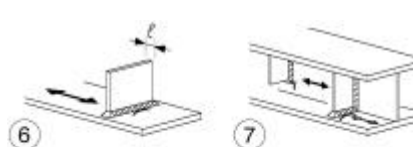
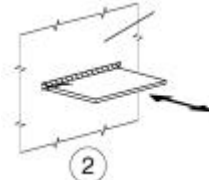
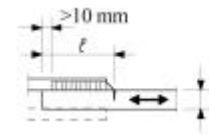
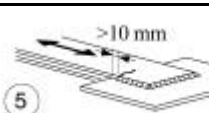
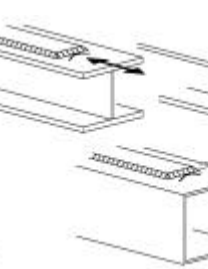
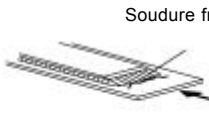
Catégorie de détail	Détail constructif		Description	Exigences
80	$L \leq 50\text{mm}$		<u>Attaches longitudinales :</u> 1) La catégorie de détail varie avec la longueur L de l'attache.	L'épaisseur de l'attache doit être plus petite que sa hauteur. Si ce n'est pas le cas, voir le Tableau 8.5 — détail 5 ou 6.
71	$50 < L \leq 80\text{mm}$			
63	$80 < L \leq 100\text{ mm}$			
56	$L > 100\text{ mm}$			
71	$L > 100\text{ mm}$ $\alpha < 45^\circ$		2) Attache longitudinale sur un plat ou un tube.	
80	$r > 150\text{ mm}$	 renforcé	3) Gousset soudé avec congé de raccordement par un cordon d'angle longitudinal au plat ou au tube ; l'extrémité du cordon d'angle est renforcée (pleine pénétration).	<u>Détails 3) et 4) :</u> Congé de raccordement en arc de cercle réalisé par usinage ou oxydécoupage du gousset avant soudage, puis meulage de la zone de soudure parallèlement à la direction de la flèche de façon à aaser complètement le pied du cordon frontal.
90	$\frac{r}{L} \geq \frac{1}{3}$ ou $r > 150\text{ mm}$	 L : longueur d'attache selon détails 1, 2 ou 3	4) Gousset soudé sur le chant d'un plat ou d'une semelle de poutre.	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$			
40			5) brut de soudage, sans congé de raccordement.	
80	$l \leq 50\text{ mm}$		<u>Attaches transversales :</u> 6) Soudées sur un plat. 7) Raidisseurs verticaux soudés sur une poutre laminée ou reconstituée soudée. 8) Diaphragmes de poutres en caisson soudés sur une âme ou une semelle. Peut ne pas être réalisable dans un petit profil creux. Les catégories sont également valables pour les raidisseurs annulaires.	<u>Détails 6) et 7) :</u> Les extrémités des soudures doivent être soigneusement meulées pour éliminer tout caniveau. 7) D_s à calculer en utilisant les contraintes principales si le raidisseur se termine dans l'âme, voir la partie gauche de la figure.
71	$50 < l \leq 80\text{ mm}$			
80			9) Concerne l'effet sur le métal de base des connecteurs soudés.	

Tableau 8.5 — Assemblages soudés transmettant des efforts

Catégorie de détail	Détail constructif		Description	Exigences
80	$l < 50$	tout t	<u>Assemblages en croix et en T :</u> 1) Concerne une fissure en pied de cordon d'une soudure à pleine pénétration, et dans tous les assemblages à pénétration partielle.	1) Après contrôle, aucune discontinuité ou défaut d'alignement hors des tolérances de l'EN 1090. 2) Pour le calcul de D_s , on utilise la contrainte nominale modifiée. 3) Dans les assemblages à pénétration partielle deux vérifications à la fatigue sont exigées. En premier lieu la fissuration en racine est évaluée par rapport aux contraintes définies dans la section 5, en prenant les catégories 36* pour s_w et 80 pour t_w . En second lieu, la fissuration en pied de cordon est évaluée en déterminant $\Delta\sigma$ dans le plat sollicité.
71	$50 < l \leq 80$	tout t		
63	$80 < l \leq 100$	tout t		
56	$100 < l \leq 120$	tout t		
56	$l > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$ $l > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$	2) Concerne une fissure au bord du plat attaché, la concentration de contraintes aux extrémités des soudures résultant de la flexibilité de la plaque receveuse.	<u>Détails 1) à 3) :</u> Il convient que le défaut d'alignement des plats sollicités ne dépasse pas 15 % de l'épaisseur du plat intermédiaire.
40	$l > 300$	$t > 50$		
Comme détail 1) du Tableau 8.5	Plaque flexible 		3) Concerne une fissure en racine dans les soudures en T à pénétration partielle ou pleine pénétration efficace, ou dans les soudures d'angle en T.	4) Dans le plat principal, $\Delta\sigma$ à calculer sur la base de la surface indiquée sur le schéma. 5) D_s à calculer dans les plats de recouvrement. <u>Détails 4) et 5) :</u> La soudure se termine à plus de 10 mm du bord du plat. Il convient de vérifier le cisaillement dans la soudure suivant le détail 8).
36*			<u>Assemblages soudés à recouvrements :</u> 4) Assemblages à recouvrement soudés par cordons d'angle.	
Comme détail 1) du Tableau 8.5	 calcul des contraintes dans le plat principal : pente 1/2		<u>Plats de recouvrement :</u> 5) Assemblages à recouvrement soudés par cordons d'angle.	
45*			<u>Plats de recouvrement sur poutres laminées ou reconstituées soudées</u> 6) Zones d'extrémités des plats de recouvrement simples ou multiples, avec ou sans soudure frontale.	6) Si le plat de recouvrement est plus large que la semelle, une soudure frontale est nécessaire. Il convient de meuler soigneusement cette soudure pour éliminer les caniveaux. La longueur minimale du plat de recouvrement est de 300 mm. Pour l'effet de dimension dans des attaches plus courtes voir détail 1.
	$t_c < t$	$t_c \geq t$		
56*	$t \leq 20$	-		
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$		
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$		
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$		
36	-	$t > 50$		
56	Soudure frontale renforcée 		7) Plats de recouvrement sur poutres laminées ou reconstituées soudées. $5 t_c$ est la longueur minimale de la soudure renforcée.	7) Soudure frontale arasée par meulage. De plus, si $t_c > 20$ mm, l'extrémité du plat est meulée dans l'épaisseur avec une pente $< 1/4$.

« à suivre »

« à suivre »

Tableau 8.5 (fin)

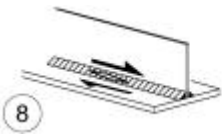
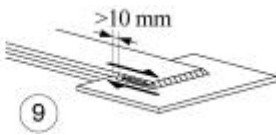
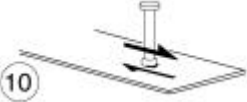
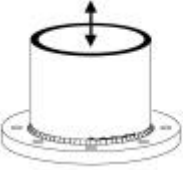
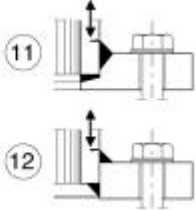
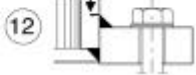
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
80 $m = 5$	 	8) Soudures d'angle continues transmettant un cisaillement, tel que dans une poutre reconstituée soudée. 9) Assemblages à recouvrement soudés par cordons d'angle.	8) D_t à calculer à partir de la section de gorge de la soudure. 9) D_t à calculer à partir de la section de gorge de la soudure en considérant la longueur totale de la soudure. Les extrémités de la soudure doivent être à plus de 10 mm du bord du plat.
voir EN 1994-2 (90 $m = 8$) X		Soudures sollicitées en cisaillement : 10) Pour applications mixtes.	10) D_t à calculer à partir de la section nominale du goujon.
71	 	11) Assemblage d'un tube sur une bride avec soudure à 80 % de pénétration.	11) Le pied du cordon est meulé. D_s est calculé dans le tube.
40	 	12) Assemblage d'un tube sur une bride par soudures d'angle.	12) D_s est calculé dans le tube.

Tableau 8.6 — Profils creux ($t \leq 12,5$ mm)

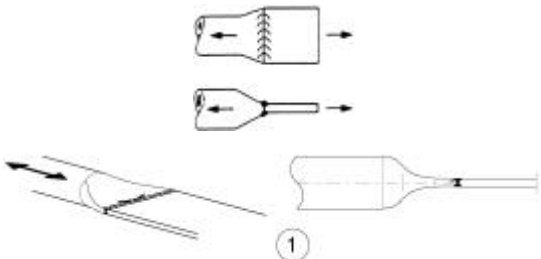
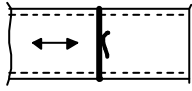
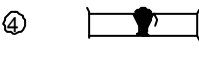
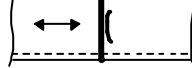
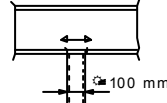
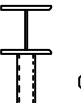
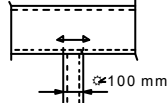
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
71		1) Assemblages tube-plat, tubes aplatis, soudés en bout (chanfrein en X).	1) D_s à calculer dans le tube. Validité limitée à un diamètre inférieur à 200 mm.
71	$\alpha \leq 45^\circ$	2) Jonction tube-plat, tube refendu et soudé sur le plat. Trous ménagés à l'extrémité de la fente.	2) D_s à calculer dans le tube. La fissuration par cisaillement dans la soudure est à vérifier en utilisant le Tableau 8.5, détail 8).
63	$\alpha > 45^\circ$		
71	  	Soudure transversale bout à bout : 3) Assemblage par soudure bout à bout de profils creux circulaires.	Détails 3) et 4) : - Bombé ≤ 10 % de la largeur du cordon, avec transition douce. - Soudage en position à plat; absence, après contrôle, de défauts hors des tolérances de l'EN 1090.
56	  	4) Assemblage par soudure bout à bout de profils creux rectangulaires.	Classée deux catégories de détail au-dessus si $t > 8$ mm.
71	   	Attaches soudées: 5) Assemblage par cordons d'angle d'un profil creux circulaire ou rectangulaire sur un autre.	5) - Soudures ne transmettant pas d'efforts. - Largeur parallèle à la direction des contraintes $l \leq 100$ mm. - Autres cas voir Tableau 8.4
« à suivre »			

Tableau 8.6 (fin)

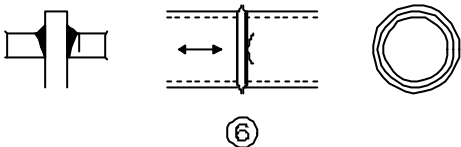
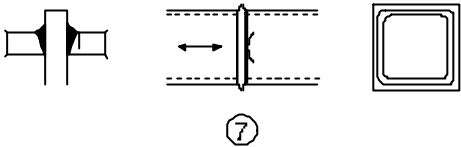
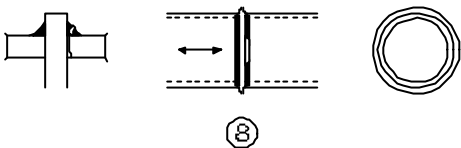
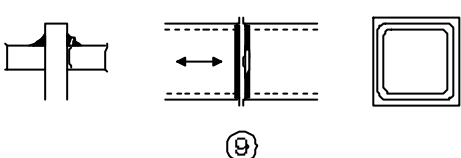
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
50		Raboutages soudés: 6) Profils creux circulaires raboutés par soudures bout à bout sur un plat intermédiaire	Détails 6) et 7) : - Soudures transmettant des efforts. - Absence, après contrôle, de défauts hors des tolérances de l'EN 1090.
45		7) Profils creux rectangulaires raboutés par soudure bout à bout sur un plat intermédiaire.	- Classées une catégorie de détail au-dessus si $t > 8$ mm.
40		8) Profils creux circulaires raboutés par soudure d'angle sur un plat intermédiaire.	Détails 8) et 9) : - Soudures transmettant des efforts. - Epaisseur de paroi $t \leq 8$ mm.
36		9) Profils creux rectangulaires raboutés par soudure d'angle sur un plat intermédiaire.	

Tableau 8.7 — Assemblages de poutres à treillis

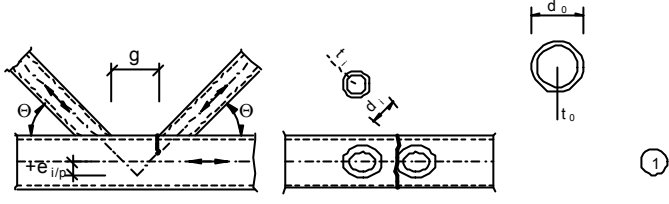
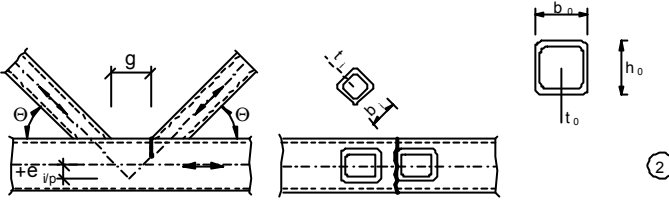
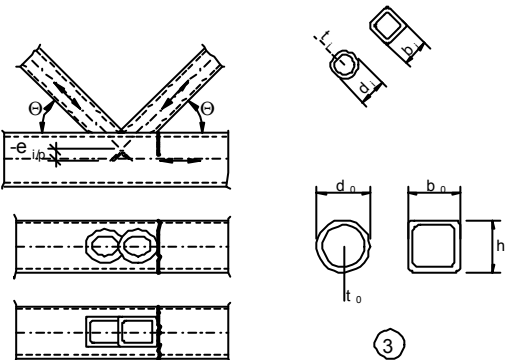
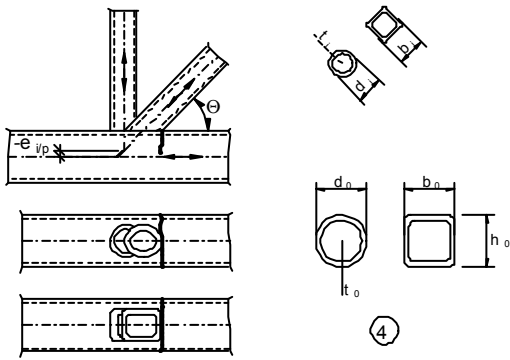
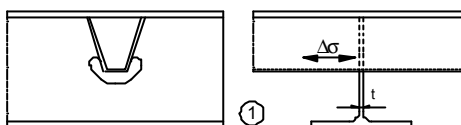
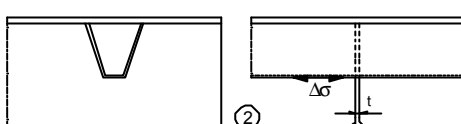
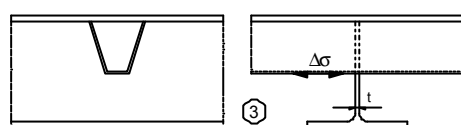
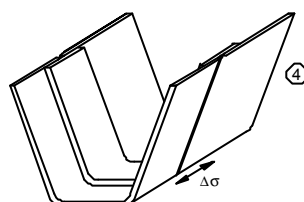
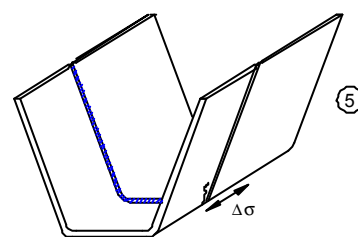
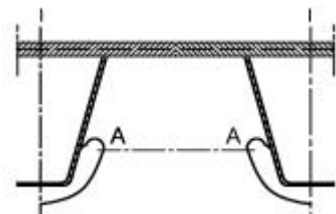
Catégorie de détail		Détail constructif	Exigences
90 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 2,0$	Assemblages à espacement : Détail 1): assemblages en K et N, profils creux circulaires : 	Détails 1) et 2) : Evaluations séparées pour les membrures et les entretoises. Pour des valeurs intermédiaires de t_o/t_i interpoler linéairement entre les catégories de détail. Les soudures d'angle sont autorisées pour les entretoises avec une épaisseur de paroi $t \leq 8$ mm. t_o et $t_i \leq 8$ mm $35^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$ $b_d/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ $d_d/t_o \times t_o/t_i \leq 25$
45 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 1,0$		
71 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 2,0$	Assemblages à espacement : Détail 2): assemblages en K et N, profils creux rectangulaires : 	$0,4 \leq b_d/b_o \leq 1,0$ $0,25 \leq d_d/d_o \leq 1,0$ $b_o \leq 200$ mm $d_o \leq 300$ mm $-0,5h_o \leq e_{ip} \leq 0,25h_o$ $-0,5d_o \leq e_{ip} \leq 0,25d_o$ $e_{o/p} \leq 0,02b_o$ ou $\leq 0,02d_o$ [$e_{o/p}$ est l'excentrement hors plan] Détail 2): $0,5(b_o - b_i) \leq g \leq 1,1(b_o - b_i)$ et $g = 2 t_o$
36 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 1,0$		
71 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 1,4$	Assemblages à recouvrement : Détail 3): assemblages en K, profils creux circulaires ou rectangulaires : 	Détails 3) et 4): $30\% = \text{recouvrement} \leq 100\%$ $\text{recouvrement} = (q/p) \times 100\%$ Evaluations séparées pour les membrures et les entretoises. Pour des valeurs intermédiaires de t_o/t_i interpoler linéairement entre les catégories de détail. Les soudures d'angle sont autorisées pour les entretoises avec une épaisseur de paroi $t \leq 8$ mm. t_o et $t_i \leq 8$ mm $35^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$ $b_d/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ $d_d/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ $0,4 \leq b_d/b_o \leq 1,0$ $0,25 \leq d_d/d_o \leq 1,0$ $b_o \leq 200$ mm $d_o \leq 300$ mm $-0,5 h_o \leq e_{ip} \leq 0,25 h_o$ $-0,5 d_o \leq e_{ip} \leq 0,25 d_o$ $e_{o/p} \leq 0,02 b_o$ ou $\leq 0,02 d_o$ [$e_{o/p}$ est l'excentrement hors-plan] Définition de p et q: 
56 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 1,0$		
71 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 1,4$	Assemblages à recouvrement: Détail 4): assemblages en N, profils creux circulaires ou rectangulaires. 	
50 $m = 5$	$\frac{t_o}{t_i} \geq 1,0$		

Tableau 8.8 — Dalles orthotropes – raidisseurs en auget

Catégorie de détail	Détail constructif		Description	Exigences
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		1) Raidisseur longitudinal continu, avec découpe additionnelle dans la poutre transversale.	1) Evaluation basée sur l'étendue de contrainte de flexion D_s dans le raidisseur.
71	$t > 12 \text{ mm}$			
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		2) Raidisseur longitudinal continu, sans découpe additionnelle dans la poutre transversale.	2) Evaluation basée sur l'étendue de contrainte de flexion D_s dans le raidisseur.
71	$t > 12 \text{ mm}$			
36			3) Raidisseur longitudinal discontinu de part et d'autre de la poutre transversale.	3) Evaluation basée sur l'étendue de contrainte de flexion D_s dans le raidisseur.
71			4) Assemblage dans le raidisseur, soudure bout à bout pleine pénétration sur tôle de support en acier.	4) Evaluation basée sur l'étendue de contrainte de flexion D_s dans le raidisseur.
112	Comme détails 1, 2, 4 du Tableau 8.3 —		5) Soudure bout à bout pleine pénétration des deux côtés dans le raidisseur, sans tôle de support.	5) Evaluation basée sur l'étendue de contrainte de flexion D_s dans le raidisseur.
90	Comme détails 5, 7 du Tableau 8.3 —			
80	Comme détails 9, 11 du Tableau 8.3 —			
71			6) Section critique entre découpes dans l'âme d'une poutre transversale.	6) Evaluation basée sur l'étendue de contrainte dans la section critique, compte tenu des effets Vierendeel : NOTE La catégorie de détail 112 peut être utilisée si l'étendue de contrainte est déterminée selon l'EN 1993-2, 9.4.2.2(3).

« à suivre »

Tableau 8.8 (fin)

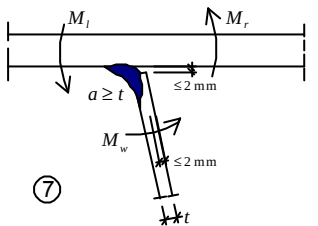
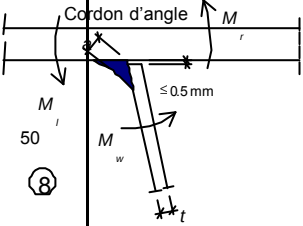
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
71		<u>Soudure entre la tôle de platelage et un raidisseur trapézoïdal ou en V</u> 7) Soudure à pénétration partielle avec $a \geq t$. $D_s = \frac{DM_w}{W_w}$	7) Evaluation basée sur la contrainte de flexion dans la tôle.
50		8) Soudure d'angle ou soudure à pénétration partielle ne relevant pas du détail 7)	8) Evaluation basée sur la contrainte de flexion dans la tôle.

Tableau 8.9 — Dalles orthotropes – raidisseurs ouverts

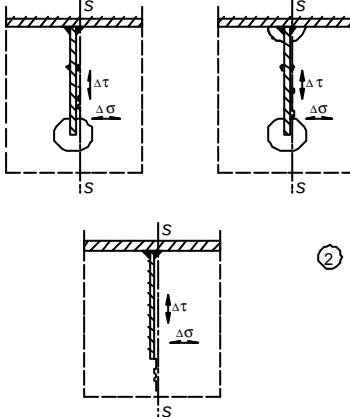
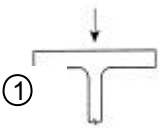
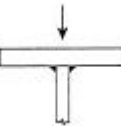
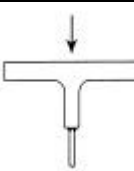
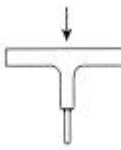
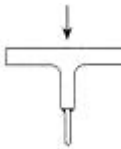
Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
80	$t \leq 12 \text{ mm}$	1) Assemblage d'un raidisseur longitudinal et d'une poutre transversale.	1) Evaluation basée sur l'étendue de contrainte de flexion D_s dans le raidisseur.
71	$t > 12 \text{ mm}$		
56		2) Assemblage d'un raidisseur longitudinal continu et d'une poutre transversale. $D_s = \frac{DM_s}{W_{net,s}}$ $D_t = \frac{DV_s}{A_{w,net,s}}$ Vérifier également l'étendue de contrainte entre raidisseurs comme défini dans l'EN 1993-2.	2) Evaluation basée sur l'étendue équivalente de contrainte combinaison de l'étendue de cisaillement D_t et de l'étendue de contrainte de flexion D_s dans l'âme de la poutre transversale : $D_{s\,eq} = \frac{1}{2} \left(D_s + \sqrt{D_s^2 + 4D_t^2} \right)$

Tableau 8.10 — Liaison âme-semelle supérieure dans les poutres de roulement

Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
160		1) Sections laminées en I ou H.	1) Etendue de contrainte verticale de compression $D_{s_{vert}}$ dans l'âme due aux charges roulantes.
② 71		2) Soudure à pleine pénétration.	2) Etendue de contrainte verticale de compression $D_{s_{vert}}$ dans l'âme due aux charges roulantes.
③ 36*		3) Soudure à pénétration partielle, ou soudure à pleine pénétration effective conformément à la partie 1.8.	3) Etendue de contrainte verticale de compression $D_{s_{vert}}$ dans l'âme due aux charges roulantes.
④ 36*		4) Soudure par cordons d'angle.	4) Etendue de contrainte verticale de compression $D_{s_{vert}}$ dans l'âme due aux charges roulantes.
⑤ 71		5) Semelle en T avec soudure à pleine pénétration.	5) Etendue de contrainte verticale de compression $D_{s_{vert}}$ dans l'âme due aux charges roulantes.
⑥ 36*		6) Semelle en T avec soudure à pénétration partielle, ou soudure à pleine pénétration effective conformément à l'EN 1993-1-8.	6) Etendue de contrainte verticale de compression $D_{s_{vert}}$ dans l'âme due aux charges roulantes.
⑦ 36*		7) Semelle en T avec soudure par cordons d'angle.	7) Etendue de contrainte verticale de compression $D_{s_{vert}}$ dans l'âme due aux charges roulantes.

Annexe A (normative)

Détermination des paramètres du chargement de fatigue et formats de vérification

A.1 Détermination des événements charge

(1) Il convient de déterminer, en se basant sur des cas antérieurs similaires, des séquences de chargement types qui puissent être considérées comme enveloppes de tous les événements de charges de service attendus au cours de la durée de vie à la fatigue, voir Figure A.1 a).

A.2 Historique des contraintes pour le détail constructif

(1) Pour chaque événement charge, il convient de déterminer un historique de contraintes pour le détail constructif, en considérant la nature et la forme de la ligne d'influence ainsi que les effets d'amplification dynamique, voir Figure A.1 b).

(2) Les historiques de contrainte peuvent également être déterminés au moyen de mesures sur des structures similaires ou d'analyses dynamiques de la structure.

A.3 Comptage des cycles

(1) L'historique de contrainte peut être analysé avec les méthodes de comptage suivantes :

- méthode de la goutte d'eau ;
- méthode du réservoir, voir Figure A.1 c).

On détermine ainsi :

- les étendues de contrainte et leur nombre ;
- la contrainte moyenne, si son influence est à considérer.

A.4 Spectre des étendues de contrainte

(1) Le spectre des étendues de contrainte est déterminé en classant les étendues de contrainte et les nombres de cycles correspondants par ordre décroissant, voir Figure A.1 d).

(2) Les spectres d'étendues de contrainte peuvent être modifiés en négligeant les étendues les plus élevées, si elles représentent moins d'un pour cent de l'endommagement, ainsi que les faibles étendues de contrainte, se situant sous la limite de troncature.

(3) Les spectres d'étendues de contrainte peuvent être normalisés, selon leur forme, p.ex. avec les coordonnées $\overline{Ds} = 1,0$ et $\overline{\sum n} = 1,0$.

A.5 Nombre de cycles à la ruine

(1) Lors de l'utilisation du spectre de calcul il convient de multiplier les étendues de contrainte appliquée Ds_i par g_{Ff} et de diviser les résistances à la fatigue Ds_C par g_{Mf} pour obtenir l'endurance N_{Ri} correspondant à chaque plage du spectre. Il convient de déterminer l'endommagement D_d pour la durée de vie de calcul comme suit :

$$D_d = \sum_1^n \frac{n_{Ei}}{N_{Ri}} \quad (\text{A.1})$$

où

n_{Ei} est le nombre d'occurrences de cycles d'étendue de contrainte $\gamma_{Ff}\Delta\sigma_i$ pour la plage i du spectre pondéré ;

N_{Ri} est l'endurance (en cycles) obtenue avec la courbe pondérée $\frac{Ds_C}{g_{Mf}} - N_R$, pour une étendue de contrainte $\gamma_{Ff}\Delta\sigma_i$.

(2) Sur la base d'un endommagement équivalent à D_d , les étendues de contrainte de calcul peuvent être transformés en étendues de contrainte de calcul équivalentes quelconques, par exemple en une étendue de contrainte constante équivalente, elle-même correspondant à une charge de fatigue équivalente Q_e associée au nombre de cycles $n_{\max} = \Sigma n_i$, ou encore à $Q_{E,2}$ associée au nombre de cycles $N_C = 2 \times 10^6$.

A.6 Formats de vérification

(1) Il convient, pour vérifier à la fatigue à partir de l'endommagement cumulé, de satisfaire à l'un des critères :

— sur la base du cumul d'endommagement :

$$D_d \leq 1,0 \quad (\text{A.2})$$

— sur la base de l'étendue de contrainte :

$$g_{Ff} Ds_{E,2} = \sqrt[m]{D_d} \frac{Ds_C}{g_{Mf}} \quad \text{avec } m = 3 \quad (\text{A.3})$$

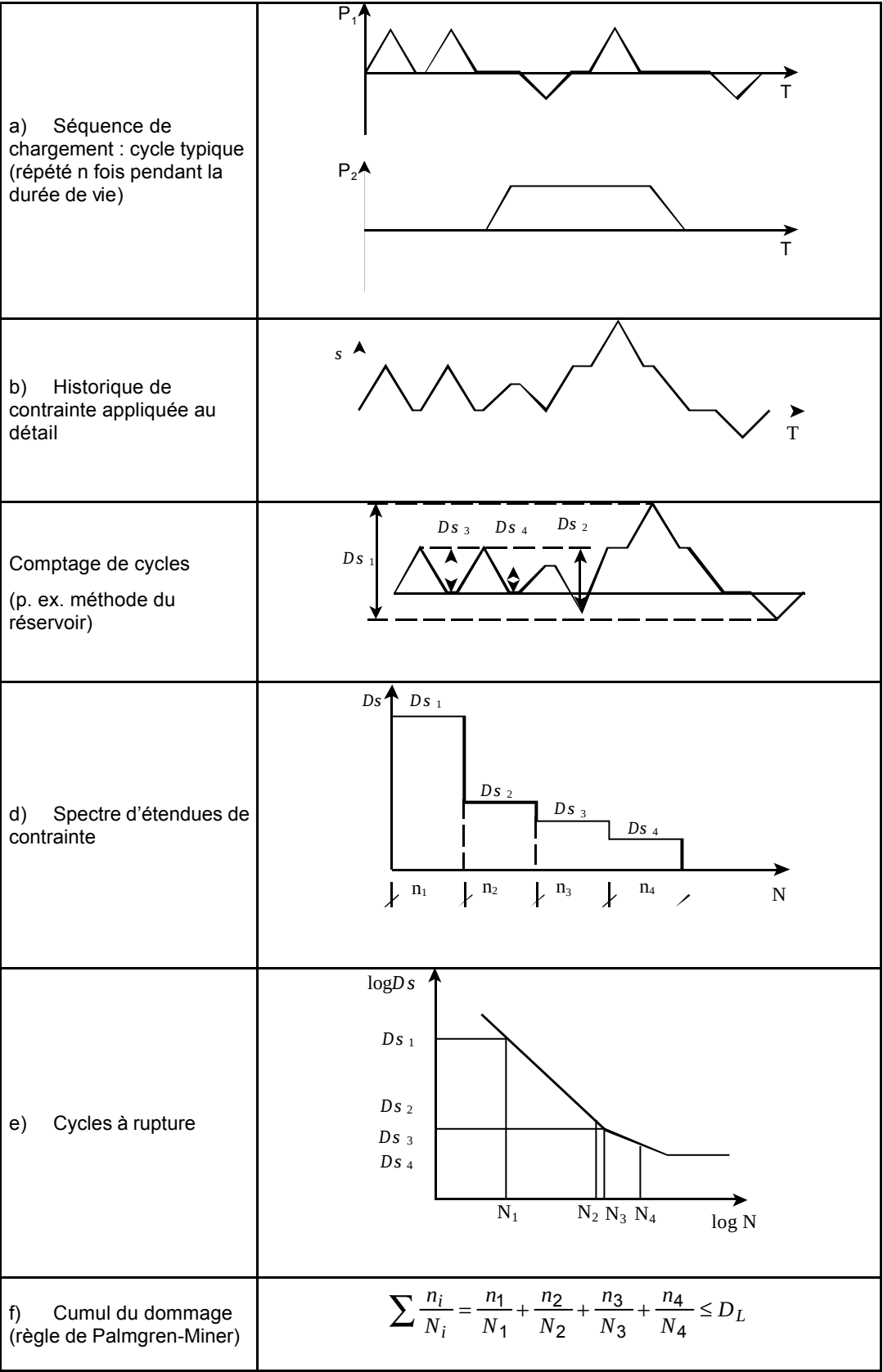


Figure A.1 — Méthode du cumul de dommage

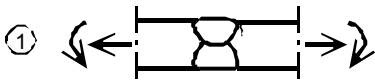
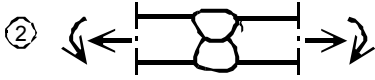
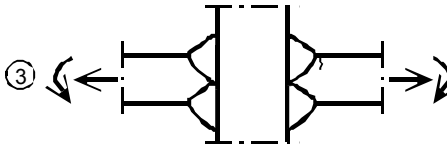
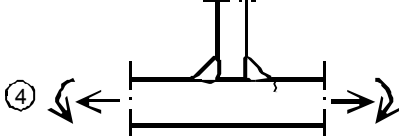
Annexe B (normative)

Résistance à la fatigue en fonction de la contrainte géométrique (au point chaud)

(1) En ce qui concerne l'application de la méthode de la contrainte géométrique, le Tableau B.1 donne des catégories de détails pour des fissures s'initiant :

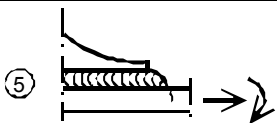
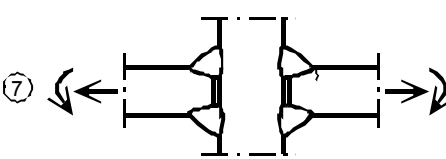
- au pied d'une soudure bout à bout ;
- au pied d'une soudure d'angle ;
- au pied d'une soudure d'angle dans les assemblages en croix.

Tableau B.1 — Catégories de détail pour la méthode de la contrainte géométrique (au point chaud)

Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
112	① 	1) Assemblage bout à bout pleine pénétration.	1) - Tous les cordons de soudure doivent être arasés par meulage parallèlement à la direction de la flèche. - Appendices enlevés après soudage, bords arasés par meulage dans la direction de la contrainte. - Soudure des deux côtés à contrôler par END. - Pour les effets d'excentrement voir la NOTE 1.
100	② 	2) Assemblage bout à bout pleine pénétration.	2) Cordons de soudure non arasés. Appendices enlevés après soudage, bords arasés par meulage dans la direction de la contrainte. Soudure des deux côtés. Pour les effets d'excentrement voir la NOTE 1.
100	③ 	3) Assemblage en croix, pleine pénétration, préparation en K.	3) Angle du pied de cordon $\leq 60^\circ$ Pour les effets d'excentrement voir la NOTE 1.
100	④ 	4) Cordons d'angle ne transmettant pas d'effort.	4) - Angle du pied de cordon $\leq 60^\circ$ - Voir aussi la NOTE 2.

« à suivre »

Tableau B.1 (fin)

Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Exigences
100		5) Extrémité d'attache ou de raidisseur longitudinal.	5) - Angle du pied de cordon $\leq 60^\circ$. - Voir aussi la NOTE 2.
100		6) Plat de recouvrement et assemblages similaires.	6) - Angle du pied de cordon $\leq 60^\circ$. - Voir aussi la NOTE 2.
90		7) Assemblage en croix, cordons d'angle transmettant les efforts.	7) - Angle du pied de cordon $\leq 60^\circ$. - Pour les effets d'excentrement voir la NOTE 1. - Voir aussi la NOTE 2.

NOTE 1 Le Tableau B.1 ne couvre pas les effets d'excentrement. Ils doivent être considérés explicitement lors de la détermination des contraintes.

NOTE 2 Le Tableau B.1 ne couvre pas l'initiation en racine suivie d'une propagation dans la gorge.

NOTE 3 Pour la définition de l'angle du pied du cordon de soudure, voir l'EN 1090.