

# normalisation française

**XP ENV 1993-3-2**  
Novembre 2001

Indice de classement : **P 22-332**

ICS : 91.010.30 ; 91.060.40 ; 91.080.10

Eurocode 3

## **Calcul des structures en acier et Document d'Application Nationale — Tours, mâts et cheminées**

**Partie 3-2 : Cheminées**

- E : Eurocode 3 — Design of steel structures and National Application Document — Towers, masts and chimneys — Partie 3-2 : Chimneys  
D : Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten und national Anwendungsdokument — Türme, Maste und Schornsteine — Teil 3-2 : Schornsteine

### **Norme expérimentale**

publiée par AFNOR en novembre 2001.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à AFNOR avant le 31 décembre 2001.

### **Correspondance**

Le présent document reproduit intégralement la prénorme européenne ENV 1993-3-2:1997 et intègre les adaptations nationales relatives à cette ENV.

### **Analyse**

Le présent document a été élaboré en association avec la partie 3-1 (Pylônes et mâts haubanés). Il s'applique aux calculs de structure des cheminées en console, supportées à des niveaux intermédiaires ou haubanés.

### **Descripteurs**

**Thésaurus International Technique** : structure en acier, acier de construction, cheminée, calcul, fiabilité, stabilité, sécurité, charge, charge d'exploitation, charge due aux rafales, assemblage, assemblage soudé, résistance des matériaux, résistance à la fatigue, vérification.

### **Modifications**

### **Corrections**



## Membres de la commission de normalisation

Président : M BROZZETTI

Secrétariat : M PESCATORE — BNCM

M	ARIBERT	INSA RENNES
M	BARJON	SERVICE TECHNIQUE DES REMONTEES MECANIKES
M	BAZIN	SECRÉTAIRE GÉNÉRAL CGNORBÂT-DTU
M	BORGEOT	CTICM
M	BRAHAM	ASTRON BUILDING SYSTEMS
M	BROZZETTI	CTICM
M	CHABROLIN	CTICM
M	CRETON	BNS
MME	DUSSAUGEY	SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES D'EQUIPEMENTS
M	ESTEVE	EDF DIRECTION DE L'EQUIPEMENT
M	GALEA	CTICM
M	GAULIARD	SYNDICAT DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE DE FRANCE
M	GOURMELON	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES
M	GRIMAUT	TUBEUROP FRANCE
M	IZABEL	SNPPA
M	KRUPPA	CTICM
M	LAPEYRE	C.E.P.
M	LE CHAFFOTEC	SOCOTEC
M	MAITRE	SOCOTEC
M	D. MARTIN	SNCF
M	MAYERE	BUREAU VERITAS
M	MOUTY	
M	PAMIES	CETEN APAVE
MME	PATROUILLEAU	AFNOR
MME	PECHENARD	AFFIX
M	J. PERFETTI	C.S.N.E.
M	PERNIER	MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DU TRANSPORT ET DU TOURISME
M	PESCATORE	BNCM
M	RAMEAU	EDF
M	RAOUL	SETRA
M	ROUSSEAU	INSTITUT DE SOUDURE
M	RYAN	CTICM
M	SOKOL	P.A.B.
M	VILLETTE	BAUDIN-CHATEAUNEUF
M	VOISIN	I.N.R.S.

## Avant-propos national

Cette norme française expérimentale contient des règles détaillées de calcul de cheminées en acier de section circulaire ou conique, en console, supportées ou haubanées.

Ces règles de calcul complètent ou modifient celles données dans la partie 1.

### AP.1 Introduction

La présente norme française expérimentale, dénommée EC3-3-2 DAN, reproduit intégralement l'ENV 1993-3-2 (en clair l'Eurocode 3 partie 3-2, en abrégé l'EC3-3-2), 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'EC3-3-2 dont la réunion constitue le Document d'Application Nationale (en abrégé le DAN).

Les parties de l'EC3-3-2 que le DAN n'invalide pas et les différents segments du DAN forment la norme française expérimentale qui transpose l'EC3-3-2.

### AP.2 Présentation générale de l'EC3-3-2 DAN

#### AP.2.1 Les objectifs de l'EC3-3-2 DAN

L'EC3-3-2 DAN répond à plusieurs objectifs :

- a) À la demande du CEN, produire à l'intention des pays francophones la version française in extenso de l'EC3-3-2.
- b) Présenter les adaptations nationales qui sont apportées à l'EC3-3-2 et qui, pour une part, apportent des éclaircissements pour l'application de ce dernier pendant la phase d'expérimentation, et pour une autre part, préfigurent les observations que présentera la France quand il sera question de conférer à l'EC3-3-2 le statut de norme européenne (EN).
- c) Préciser les valeurs des coefficients de sécurité qu'il incombe aux autorités de chaque État membre de fixer (voir clause (13) de l'avant-propos), en amendement éventuellement les valeurs encadrées dans l'EC3-3-2.
- d) Recenser les textes normatifs auxquels se réfère la norme française expérimentale et préciser les modalités d'application des normes ou règlements nationaux de référence dès lors que ceux-ci sont particuliers au cadre de l'EC3-3-2.
- e) Apporter aux maîtres d'ouvrages, publics et privés, les éléments d'une norme de conception et de justification des structures qui soient contractualisables en application notamment de la Directive 71/305/CEE (incluant ses amendements) sur la coordination des procédures de marchés publics de travaux et de la Directive 89/106/CEE relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres concernant les produits de construction.

#### AP.2.2 Les différentes lectures de EC3-3-2 DAN

La matérialisation de ces différents objectifs permet de produire dans un document unique trois textes bien distincts moyennant les lectures différenciées ci-après :

- a) La norme française expérimentale transposant l'EC3-3-2 est comprise dans tout ce qui n'est pas grisé.
- b) Le DAN est délimité par les zones encadrées qui sont indexées «I», «A» ou «C», et intègre aussi les valeurs encadrées de l'EC3-3-2 qui n'ont pas été invalidées.
- c) La traduction française de la version originale de l'EC3-3-2 est donc à trouver dans tout ce qui n'est pas à la fois encadré et indexé, zones grisées incluses.

### AP.2.3 Le statut prescriptif des adaptations nationales

Un statut prescriptif est attribué à chacune des adaptations nationales (voir tableau AP.1).

**Tableau AP.1 : Statuts prescriptifs des adaptations nationales**

Statut de l'adaptation	Conception de représentation du statut
PRINCIPE	P précédent le texte
RÈGLE D'APPLICATION	Écriture droite Caractère normal
COMMENTAIRE	Écriture droite Petit caractère

La portée d'une adaptation nationale vis-à-vis de la spécification européenne à laquelle elle se rapporte, a été également codifiée (cf tableau AP.2).

**Tableau AP.2 : Portée des adaptations nationales**

Catégorie d'adaptation	Codification de l'adaptation
INVALIDATION	I avec grisé de la partie de la prescription de l'EC3-3-1 invalidée
AMENDEMENT	A
COMMENTAIRE	C

### AP.2.4 Les textes normatifs de référence

Le répertoire des normes et autres textes normatifs de référence de l'EC3-3-2 DAN est donné à l'article AP.4 de cet avant-propos.

## AP.3 Modalités d'application

### AP.3.1 Domaine d'application

Le domaine d'application de l'EC3-3-2 DAN couvre la construction de pylônes en treillis et de mâts haubanés, y compris des dispositions concernant les haubans de ces derniers.

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;
- 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'EC3-3-2 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 1993-3-2 a été approuvé par le CEN le 30 juin 1997.

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 (11, avenue Francis de Pressensé — 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex) qui transmettra au BNCM.

### Évolution des adaptations nationales

Il n'est pas exclu que l'expérimentation de l'EC3-3-2 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 d'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'EC3-3-2 DAN.

Normes européennes ou internationales publiées		Normes pouvant être appliquées avec l'ENV	
Désignation	Intitulé	Désignation	Intitulé
ENV 1991-1	<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures — Partie 1 : Bases de calcul</i>	XP ENV 1991-1	<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 1 : Bases de calcul</i>
ENV 1991-2-1	<i>Eurocode 1 : Partie 2-1 : Poids volumique, poids propre et charges d'exploitation</i>	XP ENV 1991-2-1	<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 2-1 : Poids volumique, poids propre et charges d'exploitation</i>
ENV 1991-2-2	<i>Eurocode 1 : Partie 2-2 : Actions sur les structures exposées au feu</i>	XP ENV 1991-2-2	<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 2-2 : Actions sur les structures exposées au feu</i>

Normes européennes ou internationales publiées		Normes pouvant être appliquées avec l'ENV	
Désignation	Intitulé	Désignation	Intitulé
ENV 1991-2-3	<i>Eurocode 1 : Partie 2-3 : Charges de neige</i>	XP ENV 1991-2-3	<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 2-3 : Charges de neige</i>
ENV 1991-2-4	<i>Eurocode 1 : Partie 2-4 : Actions du vent</i>	XP ENV 1991-2-4	<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 2-4 : Actions du vent</i>
ENV 1991-2-5	<i>Eurocode 1 : Partie 2-5 : Actions thermiques</i>		
ENV 1993-1-1	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments</i>	XP P 22-311 ENV 1993-1-1	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments</i>
ENV 1993-1-2	<i>Eurocode 3 : Partie 1-2 : Calcul du comportement au feu</i>	XP P 22-312 ENV 1993-1-2	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-2 : Calcul du comportement au feu</i>
ENV 1993-1-3	<i>Eurocode 3 : Partie 1-3 : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid</i>	XP ENV 1993-1-3	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-3 : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid</i>
ENV 1993-1-4	<i>Eurocode 3 : Partie 1-4 : Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables</i>	XP ENV 1993-1-4	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-4 : Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables</i>
ENV 1993-1-5	<i>Eurocode 3 : Partie 1-5 : Règles supplémentaires pour les plaques planes, raidies ou non, chargées dans leur plan</i>	XP ENV 1993-1-5	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-5 : Règles supplémentaires pour les plaques planes, raidies ou non, chargées dans leur plan</i>
ENV 1993-1-6	<i>Eurocode 3 : Partie 1-6 : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coque</i>		
ENV 1993-1-7	<i>Eurocode 3 : Partie 1-7 : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des plaques planes chargées transversalement</i>		
ENV 1993-3-1	<i>Eurocode 3 : Partie 3-1 : Pylônes et mâts haubanés</i>	XP ENV 1993-3-1	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 3-2 : Pylônes et mâts haubanés</i>
ENV 1998	<i>Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes</i>		
EN 10025	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés — Conditions techniques de livraison</i>	NF EN 10025	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés — Conditions techniques de livraison</i>
EN 10088	<i>Aciers inoxydables</i>	NF EN 10088	<i>Aciers inoxydables</i>
EN 10113	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction soudables à grains fins</i>	NF EN 10113	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction soudables à grains fins</i>
EN 10137	<i>Tôles et larges plats en aciers de construction à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu ou durci par précipitation</i>	NF EN 10137	<i>Tôles et larges plats en aciers de construction à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu ou durci par précipitation</i>

Normes européennes ou internationales publiées		Normes pouvant être appliquées avec l'ENV	
Désignation	Intitulé	Désignation	Intitulé
EN 10155	<i>Aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique — Conditions techniques de livraison</i>	NF EN 10155	<i>Aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique — Conditions techniques de livraison</i>
ENV 1090	<i>Exécution des structures en acier</i>	FD ENV 1090-1 XP P 22-501-1	<i>Exécution des structures en acier — Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments</i>
ISO 1000	<i>Unités SI et recommandations concernant l'emploi de leurs multiples ainsi que de certaines autres unités</i>	NF X 02-006	<i>Le système international d'unités. Description et règles d'emploi — Choix de multiples et de sous-multiples</i>
ISO 8930	<i>Principes généraux de fiabilité des constructions — Listes de termes équivalents</i>	P 06-007	<i>Principes généraux de fiabilité des constructions — Listes de termes équivalents</i>





**Version française**

**Eurocode 3 —  
Calcul des structures en acier et Document d'Application Nationale —  
Tours, mâts et cheminées — Partie 3-2 : Cheminées**

Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion  
von Stahlbauten und national Anwendungsdokument —  
Türme, Maste und Schornsteine —  
Teil 3-2 : Schornsteine

Eurocode 3 — Design of steel structures  
and National Application Document —  
Towers, masts and chimneys —  
Partie 3-2 : Chimneys

La présente prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 30 juin 1997 comme norme expérimentale pour application provisoire. La période de validité de cette ENV est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de l'ENV en norme européenne (EN).

Les membres du CEN sont tenus d'annoncer l'existence de cette ENV de la même façon que pour une EN et de rendre cette ENV rapidement disponible au niveau national sous une forme appropriée. Il est admis de maintenir (en parallèle avec l'ENV) des normes nationales en contradiction avec l'ENV en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de l'ENV en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, 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
1.5 Symboles utilisés dans la Partie 3.2 de l'Eurocode 3 .....	9
1.6 Unités .....	9
<b>2 Bases de calcul</b> .....	10
2.1 Généralités .....	10
2.2 Hypothèses .....	10
2.3 Différentiation des classes de fiabilité .....	10
2.4 Exigences fondamentales .....	10
2.5 Actions et influences de l'environnement .....	11
2.6 Modélisation de la cheminée pour la détermination des actions .....	14
2.7 Vérifications à l'état limite ultime .....	14
2.8 Données géométriques .....	15
2.9 Durabilité .....	15
<b>3 Matériaux</b> .....	15
3.1 Généralités .....	15
3.2 Aciers de construction .....	15
3.3 Assemblages .....	16
3.4 Haubans et accessoires .....	16
3.5 Exigences concernant la ténacité .....	16
<b>4 États limites de service</b> .....	17
4.1 Bases .....	17
4.2 Déplacements .....	17
<b>5 État limite ultime</b> .....	18
5.1 Bases .....	18
5.2 Calcul des sollicitations et des contraintes .....	20
5.3 Évaluation de la sécurité de l'enveloppe structurale .....	21
5.4 Évaluation de la sécurité d'autres éléments structuraux de la cheminée .....	22
<b>6 Assemblages</b> .....	22
6.1 Bases .....	22
6.2 Assemblages boulonnés .....	23
6.3 Assemblages soudés .....	26
<b>7 Fabrication et montage</b> .....	26
7.1 Généralités .....	26
7.2 Tolérances d'exécution .....	26
7.3 Qualité des soudures et fatigue .....	26
<b>8 Dimensionnement assisté par des essais</b> .....	27
8.1 Généralités .....	27

## Sommaire (fin)

	Page
<b>9</b>	<b>Vérifications à la fatigue</b> ..... 27
<b>9.1</b>	Généralités ..... 27
<b>9.2</b>	Chargement de fatigue provoqué par la résonance tourbillonnaire ..... 28
<b>9.3</b>	Résistance à la fatigue à grand nombre de cycles ..... 28
<b>9.4</b>	Évaluation de la sécurité ..... 28
<b>9.5</b>	Effets de la fatigue oligocyclique ..... 29
<b>Annexe A</b> (informative)	<b>Règles supplémentaires à l'ENV 1991-2-4 pour le calcul des cheminées</b> ..... 30
<b>A.1</b>	Généralités ..... 30
<b>Annexe B</b> (informative)	<b>Dispositifs aérodynamiques et mesures de l'amortissement</b> ..... 31
<b>B.1</b>	Généralités ..... 31
<b>B.2</b>	Dispositions aérodynamiques ..... 31
<b>B.3</b>	Absorbeur dynamique de vibrations ..... 32
<b>B.4</b>	Câbles de haubanage dotés de propriétés amortissantes ..... 32
<b>B.5</b>	Amortissement direct ..... 32
<b>Annexe C</b> (informative)	<b>Détails concernant la fatigue</b> ..... 33
<b>C.1</b>	Généralités ..... 33
<b>Annexe D</b> (informative)	<b>Évaluation des dommages pour le fluage à haute température</b> ..... 39
<b>D.1</b>	Généralités ..... 39
<b>D.2</b>	Évaluation du risque de rupture par fluage ..... 39
<b>D.3</b>	Accumulation des dommages provoqués par le fluage à haute température et la fatigue ..... 40
<b>Annexe E</b> (informative)	<b>Dimensionnement assisté par des essais</b> ..... 41
<b>E.1</b>	Généralités ..... 41
<b>E.2</b>	Définition du décrétement logarithmique d'amortissement ..... 41
<b>E.3</b>	Procédure de mesure du décrétement logarithmique d'amortissement ..... 41

## 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 3-2 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

(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 conjointement avec le DAN en vigueur dans le pays où le bâtiment ou l'ouvrage de génie civil est situé.

(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) La présente Partie 3.2 a été élaborée en association avec la Partie 3.1 : Pylônes et Mâts haubanés, afin d'éviter les chevauchements et les répétitions.

(18) Dans le cas de cheminées haubanées, il est fait référence à la Partie 3.1 pour les aspects similaires à ceux concernant les mâts haubanés.

(19) De même, la Partie 3.1 fait référence à la présente Partie pour le calcul des mâts cylindriques.

(20) Une différenciation de la fiabilité a été introduite dans la présente Partie 3.2 sous forme de trois classes, pour une utilisation en accord avec les autorités nationales compétentes par rapport aux conséquences économiques et sociales d'une ruine.

(21) Le présent document a été élaboré en consultation avec le Comité Technique CEN/TC 297 : Cheminées Industrielles.

(22) Il est demandé que, pendant la phase d'ENV, des exemples de calibrage soient effectués pour justifier ou non les valeurs numériques limitant les amplitudes dues aux effets transversaux en vue d'une comparaison avec les résultats de calculs.

## 1 Généralités

### 1.1 Objet

(1)P La présente Partie 3.2 de l'ENV 1993 s'applique au calcul de structure des cheminées en acier verticales de section circulaire ou conique. Elle couvre les cheminées en console, supportées à des niveaux intermédiaires ou haubanées.

(2)P Les dispositions figurant dans la présente Partie complètent ou modifient celles données dans la Partie 1.

(3) La présente Partie 3.2 ne concerne que les exigences de résistance (résistance, stabilité et fatigue) des cheminées en acier. Pour les dispositions concernant d'autres aspects, tels que l'attaque chimique, le comportement thermodynamique ou l'isolation thermique, voir EN .. ## [en cours d'élaboration par le TC 297: WG 1]. Pour le calcul des doublages, voir EN .. ## [en cours d'élaboration par le TC 297: WG 3], et l'ENV 1993-1-6.

(4) Les fondations en béton armé destinées aux cheminées en acier sont couvertes par l'ENV 1992 et l'ENV 1997.

(5) Les détails concernant les actions météorologiques s'exerçant sur les pylônes en treillis et les mâts haubanés devant être pris en compte dans le calcul sont donnés dans l'Annexe A de l'ENV 1993-3-1.

(6) La présente Partie ne couvre pas les dispositions particulières concernant le calcul sismique, qui sont données dans l'ENV 1998-3.

(7) Des dispositions concernant les haubans et leurs fixations sont données dans l'ENV 1993-3-1.

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

(1)P En fonction du caractère de chaque alinéa, 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 suivant le numéro d'alinéa.

(4)P Les règles d'application sont en général des règles reconnues qui suivent les principes et qui satisfont 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 alinéa.

### 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-après. En ce qui concerne les références datées, les révisions ou amendements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent à la présente Prénorme Européenne que lorsqu'ils y sont intégrés par amendement ou révision. Pour les références non datées, c'est l'édition la plus récente de la publication concernée qui s'applique.

ENV 1991, *Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures* :

Partie 1 : *Bases de calcul* ;

Partie 2.1 : *Poids volumique, poids propre et charges d'exploitation* ;

Partie 2.2 : *Actions sur les structures exposées au feu* ;

Partie 2.3 : *Charges de neige* ;

Partie 2.4 : *Actions du vent* ;

Partie 2.5 : *Actions thermiques*.

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* ;

Partie 1.4 : *Règles générales : Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables* ;

Partie 1.5 : *Règles générales : Règles supplémentaires pour les plaques planes, raidies ou non, chargées dans leur plan* ;

Partie 1.6 : *Règles générales : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coque* ;

Partie 1.7 : *Règles générales : Règles supplémentaires pour les plaques planes chargées hors de leur plan* ;

Partie 3.1 : *Pylônes et mâts haubanés* ;

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

EN 10025, *Produits laminés à chaud en aciers de construction non-alliés. Conditions techniques de livraison* ;

EN 10088, *Aciers inoxydables* ;

EN 10113, *Produits laminés à chaud en aciers de construction soudables à grains fins* ;

EN 10137, *Tôles et larges plats en acier de construction à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu ou durci par précipitation* ;

EN 10155, *Aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique. Conditions techniques de livraison* ;

ENV 1090, *Exécution des structures en acier* ;

ISO 1000, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités* ;

ISO 8930, *Principes généraux de la fiabilité des constructions — Liste de termes équivalents*.

## 1.4 Définitions

(1) Les termes qui sont définis dans l'ENV 1991-1 pour l'usage courant dans les Eurocodes structuraux s'appliquent à la présente Partie 3.2 de l'ENV 1993.

(2) Sauf indication contraire, les définitions données dans l'ISO 8930 s'appliquent également à cette Partie 3.2.

(3) Dans le cadre de la présente Partie 3.2, outre celles données dans la Partie 1 de l'ENV 1993, les définitions suivantes s'appliquent :

**1.4.1 cheminée** : Ouvrage de construction ou composants de bâtiments verticaux conduisant des gaz usagés, ou autres gaz de fumées, d'alimentations ou d'évacuations, vers l'atmosphère libre.

**1.4.2 cheminée autostable** : Cheminée dont le fût porteur n'est lié à aucune autre construction au-dessus du niveau de base.

**1.4.3 cheminée appuyée** : Cheminée dont la structure est liée à un ou plusieurs niveaux de hauteur à un bâtiment ou à tout autre système porteur.

**1.4.4 cheminée haubanée** : Cheminée dont le fût porteur est maintenu par des haubans à un ou plusieurs niveaux de hauteur.

**1.4.5 cheminée isolée** : Cheminée dont la distance à une autre cheminée interférente au vent par rapport à elle est supérieure à 30 fois le diamètre de la cheminée interférente.

**1.4.6 cheminée disposée en groupe ou en ligne** : Cheminée disposée en groupe ou en ligne, et dont la distance à la cheminée interférente est inférieure à 30 fois le diamètre de la cheminée interférente.

**1.4.7 cheminée à simple paroi** : Cheminée dont l'enveloppe structurale conduit également les gaz évacués. Elle peut être munie d'un doublage intérieur et/ou thermique.

**1.4.8 cheminée à double paroi** : Cheminée composée d'une enveloppe structurale extérieure en acier et d'un doublage intérieur conduisant les gaz évacués.

**1.4.9 cheminée à évacuations multiples** : Groupe de deux ou plusieurs cheminées situées à l'intérieur d'une ossature ou groupe de deux ou plusieurs doublages situés à l'intérieur d'une enveloppe structurale.

**1.4.10 brise-vent** : Élément structural conçu pour protéger l'évacuation contre les actions du vent. Peut également agir comme évacuation.

**1.4.11 fût porteur ou enveloppe** : Le fût porteur est le composant structural qui supporte les évacuations de gaz.

**1.4.12 élément porteur** : Partie de la structure qui résiste aux actions.

**1.4.13 évacuation intérieure** : L'évacuation intérieure est le conduit d'évacuation des gaz usagés installé à l'intérieur du fût porteur et qui protège tous les autres composants des agressions et attaques thermiques et chimiques.

**1.4.14 doublage** : Membrane structurale du système de revêtement intérieur, contenue dans l'enveloppe structurale.

**1.4.15 revêtement intérieur** : Revêtement réfractaire en métal ou en béton appliqué sur l'intérieur d'un doublage ou d'une enveloppe en acier.

**1.4.16 enveloppe structurale** : Structure porteuse principale de la cheminée, à l'exclusion de toutes brides.

**1.4.17 stabilisateur aérodynamique** : Dispositif équipant la cheminée et destiné à réduire l'excitation par le détachement tourbillonnaire sans augmenter l'amortissement structural.

**1.4.18 dispositif amortisseur** : Dispositif équipant la cheminée et destiné à réduire les oscillations résultant de l'excitation par le détachement tourbillonnaire en utilisant l'amortissement structural.

**1.4.19 déflecteur** : Dispositif fixé à la cheminée et destiné à réduire la réponse dans la direction perpendiculaire au vent.

**1.4.20 ceintures ou ailettes hélicoïdales** : Dispositifs hélicoïdaux équipant la surface extérieure d'une cheminée et destinés à réduire la réponse dans la direction perpendiculaire au vent.

**1.4.21 porte d'accès** : Porte destinée à l'entrée du personnel.

**1.4.22 platine d'embase** : Plaque horizontale fixée à la base d'une cheminée, également appelée plaque d'appui.

**1.4.23 anneau de compression** : Tôle en acier soudée sur l'enveloppe et transmettant les efforts s'exerçant sur la cheminée par suite des contraintes de compression.

**1.4.24 boulon d'ancrage** : Boulon utilisé pour l'assemblage de la cheminée sur les fondations.

**1.4.25 raidisseurs annulaires** : Éléments horizontaux destinés à prévenir l'ovalisation et à maintenir ronde l'enveloppe de la cheminée pendant la fabrication et le transport.



### 1.5 Symboles utilisés dans la Partie 3.2 de l'Eurocode 3

(1) Outre ceux donnés dans l'ENV 1993-1-1, les symboles principaux suivants sont utilisés :

c	Épaisseur de corrosion
N	Nombre de cycles
b	Diamètre
d	Distance
e	Distance
h	Hauteur
m	Pente
t	Temps
w	Pression

(2) Outre ceux donnés dans l'ENV 1993-1-1, les indices suivants sont utilisés :

ref	Référence
crit	Valeur critique
ext	Extérieur
F	Charge
f	Fatigue
int	Intérieur
lat	Latéral (perpendiculaire au vent)
top	Sommet
R	Rupture
Temp	Température

(3) Outre ceux donnés dans l'ENV 1993-1-1, les symboles grecs suivants sont utilisés :

$\lambda$	Facteur
$\eta$	Facteur

(4) D'autres symboles sont définis lors de leur première utilisation.

### 1.6 Unités

(1)P Les unités S.I. doivent être utilisées conformément à l'ISO 1000.

(2) L'utilisation des unités suivantes est recommandée pour les calculs :

— Forces et charges	: kN, kN/m, kNm <sup>2</sup> ;
— masse volumique	: kg/m <sup>3</sup> ;
— poids volumique	: kN/m <sup>3</sup> ;
— contraintes et résistances	: N/mm <sup>2</sup> (= MN/m <sup>2</sup> ou MPa) ;
— moments (fléchissants,...)	: kNm.

## 2 Bases de calcul

### 2.1 Généralités

(1)P Les bases de calcul doivent être conformes aux dispositions de l'ENV 1991-1.

### 2.2 Hypothèses

(1)P Les hypothèses spécifiées dans l'ENV 1991-1 s'appliquent à la présente Partie 3.2 de l'ENV 1993.

### 2.3 Différentiation des classes de fiabilité

(1) Différents niveaux de fiabilité peuvent être adoptés pour les cheminées, en fonction des conséquences économiques et sociales éventuelles de leur effondrement.

(2) Trois classes de fiabilité liées aux conséquences d'une ruine de structure sont utilisées dans la présente Partie, élevée (classe 3), normale (classe 2) et réduite (classe 1). Ce n'est qu'exceptionnellement que des cheminées sont considérées comme faisant partie d'autres classes que la classe de fiabilité «normale». En fonction de la classe de fiabilité, différents facteurs de sécurité sont donnés pour les états limites ultimes et de service :

— Fiabilité Élevée (Classe 3) : Cheminées érigées dans des emplacements stratégiques, comme des centrales nucléaires ou dans des zones urbaines à forte densité de population. Cheminées importantes situées dans des sites industriels habités où les conséquences économiques et sociales de leur ruine seraient considérables.

— Fiabilité Normale (Classe 2) : Toutes cheminées normales construites sur des sites industriels ou autres emplacements ne pouvant entrer dans les classes 1 ou 3. [Typiquement, cheminées de sites industriels, de centrales électriques ou de zones urbaines ou les résidences sont situées en dehors du rayon de chute de la cheminée, d'une hauteur inférieure à 100 m. Cheminées situées au voisinage de voies ferrées et/ou routes principales.]

— Fiabilité Réduite (Classe 1) : Cheminées construites en zone rurale ouverte et dont la ruine ne risquerait pas d'entraîner des dommages aux personnes. Cheminées d'une hauteur inférieur à 16 m en zones inhabitées.

(3) Il convient que le choix de classe de fiabilité fasse l'objet d'un accord entre le concepteur, le client et l'autorité compétente.

### 2.4 Exigences fondamentales

(1)P Une cheminée doit être calculée de telle sorte qu'elle soit capable de satisfaire les exigences fondamentales spécifiées dans l'ENV 1991-1, sous réserve d'être convenablement construite et entretenue.

(2) En outre, il convient que les cheminées haubanées de fiabilité élevée (classe 3) (selon la définition de 2.3) soient calculées pour résister à la rupture de l'un des haubans pendant un temps suffisant pour permettre son remplacement.

(3) Il convient que ce calcul soit effectué en considérant les deux conditions ultimes suivantes :

— une charge dynamique appliquée sur la cheminée pour simuler la rupture du hauban ; il convient que cette situation soit supposée en atmosphère calme.

— une analyse statique sous vitesse de vent réduite en l'absence du hauban rompu.

**NOTE** Des directives sont données dans l'annexe D de l'ENV 1993-3-1.

## 2.5 Actions et influences de l'environnement

### 2.5.1 Généralités

- (1)P Les exigences générales de la Section 4 de l'ENV 1991-1 doivent être satisfaites.
- (2)P En outre, la résistance et la stabilité des cheminées doivent être vérifiées pour les actions décrites selon 2.5.2 et 2.5.3.

### 2.5.2 Charges permanentes

- (1)P Dans le calcul du poids propre, l'épaisseur totale de la structure en acier doit être prise en compte, sans perte d'épaisseur provoquée par la corrosion.
- (2)P Les charges permanentes doivent comprendre le poids estimé de la totalité des structures permanentes et autres éléments, y compris les accessoires, l'isolation, les charges de poussière, la suie, les revêtements présents et futurs, ainsi que toutes les autres charges. Le poids de la cheminée et de son revêtement intérieur doit être déterminé conformément à l'ENV 1991-2-1 en prenant en compte les effets à long terme des fluides ou de l'humidité sur la densité des doublages, le cas échéant.

### 2.5.3 Charges variables

#### 2.5.3.1 Charges d'exploitation

- (1) Sauf exigences contraires de la part du client ou de l'autorité compétente, ou fixées dans le cahier des charges du projet, il convient de prendre pour hypothèse les surcharges suivantes :

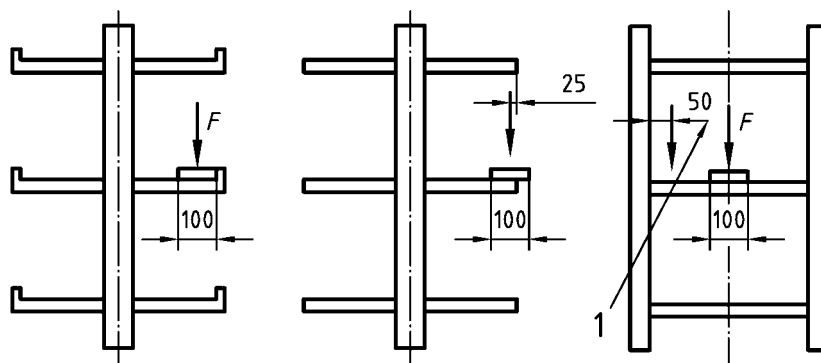
- Charges d'exploitation sur les plates-formes : **2,0 kN/m<sup>2</sup>** ... (2.1a)
- Charges horizontales sur les garde-corps : **0,5 kN/m** ... (2.1b)

(1) I La charge d'exploitation est de 2,50 kN/m<sup>2</sup>. ... (2.1a)

(2) Pour la présence de personnes sur une échelle, il convient de prendre en compte une surcharge de 1,5 kN (voir figure 2.1). Il convient de considérer cette charge sur une longueur de 100 mm sur un barreau, avec une excentricité de 300 mm mesurée depuis le barreau, voir figure 2.2.

(3) Il convient de prendre en compte une charge supplémentaire de 1,5 kN tous les 2 000 mm parallèlement à l'axe longitudinal de l'échelle.

(2) I (3) I Il convient de prendre en compte les actions résultant de l'installation de moyens d'accès permanents dont l'implantation est précisée dans les spécifications du projet et matérialisée sur l'ouvrage. La valeur de ces actions doit respecter les prescriptions des règles et normes en vigueur suivant l'Annexe E (informative) de l'ENV 1993-3-1 + DAN.



### Légende

1 Positions à considérer (séparément)

Figure 2.1 — Charges verticales sur le barreau d'une échelle

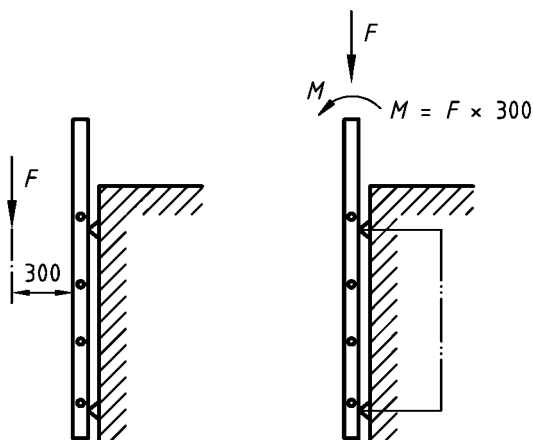


Figure 2.2 — Charge verticale sur une échelle

### 2.5.3.2 Actions du vent

(1)P Les charges globales de vent agissant sur les surfaces extérieures d'une cheminée globalement et sur les composants accessoires, par exemple une échelle, doivent être prises en compte. Outre les efforts de traînée provoqués par les rafales de vent agissant en général dans la direction du vent, les efforts provoqués par le détachement tourbillonnaire entraînant des vibrations dans la direction perpendiculaire au vent d'une cheminée doivent être pris en compte.

(2)P Les actions du vent doivent être tirées de l'ENV 1991-2-4, en tenant compte des effets d'interférence provoqués par des groupes de cheminées ou d'autres bâtiments, le cas échéant, voir annexe A.

(3)P En raison du fait que les actions du vent spécifiées dans l'ENV 1991-2-4 ne donnent pas la totalité des informations spécifiques nécessaires au calcul des cheminées haubanées, qui sont particulièrement sensibles aux actions du vent, les données de vent fondamentales figurant dans l'ENV 1991-2-4 doivent être complétées par les règles supplémentaires données dans l'annexe A de l'ENV 1993-3-1.

(4) Il convient de prendre en compte d'autres actions du vent, par exemple celles provoquées par des effets de répartition de pression de vent inégale (ovalisation) ou d'interférence, si les critères concernés sont dépassés, voir 5.2.1.

(5) Il convient d'évaluer les actions provoquées par un galop d'interférence ou par un galop classique conformément à l'ENV 1991-2-4.

(6) Si l'on prévoit que les cheminées sont sujettes à des vibrations provoquées par le vent, et sous réserve d'autres mesures prises pour réduire ce phénomène dans le calcul, il convient de prendre des dispositions pour l'installation de dispositifs d'amortissement si cela s'avère nécessaire à la lumière de l'expérience acquise. Voir annexe B.

### 2.5.3.3 Pressions intérieures

- (1)P S'il existe une possibilité d'événements pouvant entraîner des surpressions ou des dépressions élevées, ces cas doivent être traités comme des charges accidentelles.
- (2) La dépression peut être déterminée, par exemple, à partir de la vitesse du flux de gaz, de la densité de gaz, de la résistance totale au flux, et des conditions ambiantes.
- (3) Des directives pour la détermination de ces charges sont données dans l'EN ... (élaborée par le TC 297:WG 1, annexe A).

### 2.5.3.4 Actions thermiques

- (1) L'action thermique peut être composée d'une action de température uniformément répartie sur la structure et d'une action d'un gradient thermique provoqué par des effets météorologiques ou fonctionnels, y compris ceux résultant d'un flux de gaz imparfait.
- (2) À défaut d'informations spécifiques, les différences de températures maximale et minimale résultant des actions météorologiques peuvent être tirées de l'ENV 1991-2-5.
- (3) Il convient de prendre les températures résultant d'effets fonctionnels et provoquées par un flux de gaz imparfait dans le cahier des charges du projet. À défaut de meilleures informations, il convient de calculer la différence de température sur le diamètre du conduit d'évacuation des gaz à partir des températures du flux, avec une valeur minimale prise égale à  $15\text{ °C}$ .
- (4) Pour la détermination des déformations, il convient de prendre en compte soit les données météorologiques, soit le gradient de température du doublage résultant des conditions de fonctionnement.

### 2.5.3.5 Charges de givre

- (1)P Pour les cheminées susceptibles de supporter une charge de givre, les épaisseurs, densités et répartitions appropriées du givre doivent être déterminées selon l'ISO ... [en cours d'élaboration par l'ISO/TC 98/SC 3/WG 6].

**NOTE** Des directives sont données dans l'annexe B de l'EN 1993-3-1.

### 2.5.3.6 Actions sismiques

- (1)P Les actions sismiques doivent être déterminées selon l'ENV 1998-3.

### 2.5.3.7 Incendie

- (1) Il convient d'évaluer le risque de feu de cheminée. Il convient de prendre dûment en compte les feux de cheminée pouvant être provoqués par l'inflammation :
- de combustible non brûlé provenant de la chaudière ou du four associé ;
  - d'hydrocarbures non brûlés provenant d'une rupture de canalisation d'alimentation d'un four, dans les cas où le four associé fonctionne aux hydrocarbures ;
  - de dépôts de suie et de soufre ;
  - de dépôts éventuels de condensats ou de graisses dans l'industrie textile.
- (2) Il convient de s'assurer que la structure porteuse ne risque pas une ruine provoquée par l'action du feu, ou que tout autre partie située au voisinage de la cheminée ne risque pas d'être chauffée à sa température d'inflammation. S'il existe un risque de feu, il convient de prévoir un doublage réfractaire.

### 2.5.3.8 Actions chimiques

- (1) Pour les actions chimiques, voir EN ... ## [en cours d'élaboration par le TC 297].

## 2.6 Modélisation de la cheminée pour la détermination des actions

- (1)P Pour les vérifications de résistance de la cheminée, toute action mixte éventuelle entre l'enveloppe structurale et le doublage ou le tube intérieur doit être négligée.
- (2)P Les bridages du doublage ou du tube intérieur pouvant affecter défavorablement la sécurité de l'enveloppe doivent cependant être pris en compte.
- (3)P La résistance et la stabilité du doublage ou du tube intérieur doivent alors être évaluées en prenant dûment en compte la déformation imposée par l'enveloppe structurale.
- (4)P Les effets de la température sur la rigidité et la résistance des aciers utilisés dans la structure de la cheminée doivent être dûment pris en compte.
- (5)P Lors du calcul de la rigidité de la cheminée, on doit prendre l'épaisseur corrodée de l'enveloppe, sauf si l'épaisseur non corrodée induit des contraintes plus élevées. Les corrosions extérieure et intérieure doivent être dûment prises en compte conformément à 5.1.3.

## 2.7 Vérifications à l'état limite ultime

### 2.7.1 Limite d'élançement

- (1) En vue de procéder à l'évaluation de la fatigue et de l'état limite ultime, il convient de prendre en compte dans l'état limite de service une limitation de l'élançement sous forme d'amplitudes limites (voir 4.2(2)).

### 2.7.2 Facteurs partiels pour les états limites ultimes

#### 2.7.2.1 Facteurs partiels pour les actions sur les cheminées

- (1)P Les vérifications de résistance et de stabilité des cheminées doivent être effectuées pour une combinaison d'actions où l'action du vent est généralement l'action principale.
- (2) Pour les situations de calcul durables et transitoires, il convient d'utiliser les facteurs partiels donnés dans le tableau 2.2.

**Tableau 2.2 — Facteurs partiels pour les actions s'exerçant sur les cheminées pour les situations de calcul durables et transitoires**

Type d'effet	Classe de fiabilité	Actions permanentes	Actions variables
Effet défavorable	Élevée (3)	1,2	1,6
	Normale (2)	1,1	1,4
	Réduite (1)	1,0	1,2
Effet favorable	Toutes	0,9	0,0

- (3) Pour les vérifications à la fatigue, il convient de déterminer les plages de contraintes ainsi que le nombre de cycles de contraintes résultant de la résonance tourbillonnaire conformément à l'ENV 1991-2-4. Il convient de prendre en compte les effets provenant des détails constructifs, tels les découpes ou les ouvertures pour les raidisseurs, conformément à la Section 9.
- (4) Pour les actions accidentelles, il convient de prendre la valeur 1,00 pour les facteurs partiels pour les actions variables.
- (5) Lorsqu'on fait appel à des analyses de réponse dynamique (voir annexe A de l'ENV 1993-3-1), il convient de prendre le facteur partiel pour les actions permanentes égal à 1,00 pour la totalité du calcul.

### 2.7.2.2 Facteurs partiels pour les résistances

- (1) Il convient de prendre les facteurs partiels pour les résistances conformément aux paragraphes appropriés des sections 5 et 6.
- (2) Lorsque les caractéristiques de la structure sont déterminées par essais, voir section 8.
- (3) Pour les vérifications à la fatigue, voir section 9.

### 2.7.3 États limites de service

- (1) Il convient de déterminer les exigences de service des cheminées en limitant les flèches dans le sens du vent ainsi que les amplitudes des vibrations perpendiculaires au vent. Voir 4.2.
- (2) Lorsque des règles de conformité simplifiées sont données dans les articles appropriés consacrés aux états limites de service, il n'est pas nécessaire d'effectuer de calculs détaillés faisant appel à des combinaisons d'actions.
- (3) Il convient de prendre les valeurs de  $\gamma_m$  égales à 1,00 pour tous les états limites de service, sauf mention contraire dans des articles particuliers.

## 2.8 Données géométriques

- (1)P Les rigidités et les résistances des parties de la structure doivent être déterminées au moyen de données géométriques nominales prenant en compte tant les considérations concernant la corrosion que celles concernant les températures, le cas échéant, voir sections 3 et 5.
- (2) Le cas échéant, il convient de prendre en compte un défaut d'aplomb initial en fonction des tolérances de montage, des excentricités, etc.
- (3) Afin de déterminer la résistance au flambement de l'enveloppe structurale, conformément à 5.3.2, il convient de ne pas dépasser certaines tolérances géométriques pour la fabrication et le montage. Ces tolérances géométriques sont données dans l'ENV 1993-1-6.

## 2.9 Durabilité

- (1) Il convient de satisfaire les exigences de durabilité par le respect de l'évaluation de la fatigue (voir section 9) ainsi que le choix de l'épaisseur d'enveloppe calculée (voir 5.1.3), ou par une protection anticorrosion appropriée.

## 3 Matériaux

### 3.1 Généralités

- (1) Pour les matériaux, il convient de se reporter à l'ENV 1991-1.

### 3.2 Aciers de construction

#### 3.2.1 Caractéristiques des matériaux pour les aciers au carbone

- (1)P Les caractéristiques mécaniques des aciers de construction S 235, S 275, S 355, S 420, S 460 selon l'EN 10025 ou l'EN 10113 ou l'EN 10137 doivent être prises dans l'ENV 1993-1-1.

(1)P C Il s'agit de l'ENV 1993-1-1 + DAN.
---

- (2)P Les caractéristiques mécaniques des aciers aux températures situées entre 0 °C et 400 °C doivent être dûment prises en compte.

- (3) À défaut d'autres informations, il convient de prendre la limite d'élasticité  $f_{yT}$  à la température  $T$  °C égale à :

$$F_{yT} = f_y \left[ 1 + \frac{T}{767 \log_e \left( \frac{T}{1750} \right)} \right] \text{ pour } 200 < T < 400 \quad \dots (3.1)$$

### 3.2.2 Caractéristiques des matériaux pour les aciers autopatinables

- (1) Les caractéristiques mécaniques des aciers autopatinables selon l'EN 10155 peuvent être déterminées comme pour les aciers de construction S 235, S 275 ou S 355.

### 3.2.3 Caractéristiques mécaniques des aciers inoxydables

- (1) Il convient de prendre les caractéristiques mécaniques concernant la résistance des aciers inoxydables dans l'ENV 1993-1-4 pour les températures jusqu'à 400 °C. Pour les caractéristiques à des températures supérieures, voir EN 10088.

- (2) Il convient de déterminer les dispositions concernant la corrosion selon 5.1.3.

### 3.2.4 Aciers alliés spéciaux

- (1) Pour les températures supérieures à 450 °C ou pour des attaques chimiques importantes, il convient d'utiliser des aciers alliés spéciaux.

- (2) Pour l'évaluation des dommages résultant des effets de la température, il convient de prendre en compte les résultats d'essais de fluage, voir annexe D.

## 3.3 Assemblages

- (1) Il convient de choisir le matériau et le type des assemblages de façon à obtenir une résistance et une durabilité appropriée, afin de prévenir toute corrosion accélérée due à une action galvanique.

- (2) Pour les matériaux, produits d'apport de soudage, etc. concernant les assemblages, il convient de se reporter aux normes de produits appropriées spécifiées dans l'ENV 1993-1-1.

## 3.4 Haubans et accessoires

- (1) Pour les haubans et accessoires, il convient de se reporter à l'annexe C de l'ENV 1993-3-1.

## 3.5 Exigences concernant la ténacité

- (1)P Les exigences concernant la ténacité des aciers doivent être déterminées conformément à l'annexe C de l'ENV 1993-2 en prenant en compte la classe de fatigue considérée dans le calcul.



## 4 États limites de service

### 4.1 Bases

- (1) Les limites des états de service pour les cheminées en acier peuvent être :
- des déformations ou des flèches dans la direction du vent et dans la direction perpendiculaire au vent affectant défavorablement l'aspect ou l'utilisation effective de la structure ;
  - des vibrations, oscillations ou défaut d'aplomb pouvant inquiéter le public ;
  - des déformations, flèches, vibrations, oscillations ou défaut d'aplomb susceptibles d'endommager les éléments non structuraux.
- (2) Sauf lorsque des valeurs limites font l'objet d'un accord entre le concepteur, le propriétaire et l'autorité compétente, il convient d'appliquer la valeur limite donnée dans cette section pour la flèche dans la direction du vent et pour l'amplitude d'oscillation dans la direction perpendiculaire au vent.
- (3)P Lorsqu'on utilise des boulons précontraints dans les assemblages de Catégorie B, les exigences données dans l'ENV 1993-1-1 en ce qui concerne la résistance au glissement à l'état limite de service doivent être satisfaites.

### 4.2 Déplacements

- (1) Il convient de prendre la valeur limite de flèche quasi statique ( $\delta_{\max}$ ) dans la direction du vent au sommet d'une cheminée autostable provoquée par la valeur fréquente de chargement de vent égale à :

$$\delta_{\max} = \boxed{h/50} \quad \dots (4.1)$$

où h représente la hauteur hors tout de la cheminée.

- (2) Il convient de déterminer les valeurs limites pour les amplitudes de vibration (moyenne à crête) provoquée par le détachement tourbillonnaire au moyen du tableau 4.1.

**Tableau 4.1 — Amplitude maximale de vibration dans la direction perpendiculaire au vent**

Classe de fiabilité	Limites proposées pour l'amplitude d'oscillation dans la direction perpendiculaire au vent
Élevée <sup>3)</sup>	$\boxed{0,05}$ diamètre extérieur
Normale <sup>2)</sup>	$\boxed{0,10}$ diamètre extérieur
Réduite <sup>1)</sup>	$\boxed{0,15}$ diamètre extérieur
<p>1) Ces valeurs sont empiriques pour donner un critère de service acceptable.</p> <p>2) Les valeurs sont appropriées au modèle de chargement utilisé.</p> <p>3) Il convient de déterminer les amplitudes calculées au moyen de 9.2(1) en utilisant une valeur de <math>\gamma_F = 1,0</math>.</p> <p>4) Voir alinéa (22) de l'Avant-propos.</p>	

## 5 État limite ultime

### 5.1 Bases

#### 5.1.1 Généralités

(1)P Les cheminées en acier ainsi que leurs composants doivent être dimensionnés de telle sorte que les exigences fondamentales concernant l'état limite ultime soient satisfaites.

(2)P Le facteur partiel  $\gamma_M$  doit être pris égal aux valeurs suivantes :

— résistance des éléments structuraux ou des éléments liés à la limite élastique  $f_y$ ,  
lorsqu'aucun flambement local ou global ne se produit

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

(2) I Il convient de retenir (selon l'ENV 1993-1-1 DAN) :

$\gamma_{M0} = 1,00$  si les produits en acier utilisés bénéficient de la marque NF Acier

$\gamma_{M0} = 1,10$  dans les autres cas

— résistance des éléments structuraux ou des éléments liés à la limite d'élasticité  $f_y$ ,  
lorsqu'un flambement local ou global est pris en compte

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

— résistance des éléments structuraux ou des éléments liés à la résistance à la traction  $f_u$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

— résistance des assemblages

voir section 6

#### 5.1.2 Vérifications exigées

(1)P Les cheminées doivent être vérifiées pour les états limites suivants :

- écoulement plastique et rupture à la traction des éléments structuraux ;
- voilement local des éléments structuraux ;
- fatigue (y compris la fatigue oligocyclique) des éléments structuraux ;
- ruine des assemblages ;
- instabilité globale ;
- équilibre statique.

(2)P Pour les éléments structuraux du type poutre/poteau/barre, les règles de l'ENV 1993-1-1 concernant la résistance des sections transversales et la stabilité des éléments doivent être respectées.

(3)P Pour les éléments structuraux du type coque, les règles de l'ENV 1993-1-6 concernant la résistance et la stabilité des coques, doivent être respectées, sous réserve des exigences de 5.3.

(4) Il convient d'effectuer la vérification à la fatigue pour les contraintes induites par les vibrations de vent en ligne, voir 9.1, et le détachement tourbillonnaire sur la cheminée, voir 9.2. Il convient que la vérification à la fatigue soit également effectuée lorsque les mouvements de la cheminée provoqués par le détachement tourbillonnaire sont réduits par des stabilisateurs ou des dispositifs d'amortissement.

(5) Il n'est pas nécessaire d'effectuer de vérification à la fatigue oligocyclique, sauf si les effets de la température sont pris en compte, voir annexe D.

#### 5.1.3 Prise en compte de la corrosion

(1)P Lorsque la corrosion est prise en compte pour les surfaces exposées, les calculs de résistance doivent être basés sur l'épaisseur corrodée de l'acier, sauf si l'épaisseur non corrodée donne des conditions de contraintes plus défavorables.

(2)P La majoration pour corrosion doit être la somme des surépaisseurs extérieure ( $C_{ext}$ ) et intérieure ( $C_{int}$ ) comme indiqué dans les tableaux 5.1 et 5.2. Ces surépaisseurs doivent être appliquées dans tout ou partie de chaque période décennale.

(3)P Cette surépaisseur totale doit être ajoutée à l'épaisseur nécessaire pour satisfaire les exigences de résistance et de stabilité des éléments.

**Tableau 5.1 — Prise en compte de la corrosion extérieure ( $C_{ext}$ )**

Exposition	Temps d'exposition	
	1 <sup>re</sup> période décennale	Chaque période décennale supplémentaire
Acier au carbone peint (sans programme préalable de réfection)	0	1 mm
Acier au carbone peint (avec programme préalable de réfection)	0	0 mm
Acier au carbone peint protégé par un isolant et un revêtement étanche	0	1 mm
Acier au carbone non protégé	1,5 mm	1 mm
Acier autopatinable non protégé (voir (5))	0,5 mm	0,3 mm
Acier inoxydable non protégé	0	0

(4) Les surépaisseurs de corrosion extérieure mentionnées dans le tableau 5.1 conviennent avec un environnement normal. Lorsqu'une cheminée est située dans un environnement agressif provoqué par la pollution industrielle, des cheminées voisines ou la proximité de la mer, il convient de considérer une augmentation de ces surépaisseurs.

(5) Si l'on utilise de l'acier autopatinable et si l'on adopte les surépaisseurs de corrosion extérieure du tableau 5.1, il convient de prendre les mesures suivantes :

- a) il convient que tous les assemblages soient calculés de manière à éliminer ou à limiter la rétention d'humidité. Par exemple, il convient de prendre en compte l'orientation des éléments, les pinces transversales et les pas, etc., ou il convient de prévoir une protection particulière de ces assemblages ;
- b) il convient d'éloigner toute végétation du pied de la structure ;
- c) il convient de prévoir le revêtement d'un scellement direct ou de fixations sur les fondations afin de limiter la corrosion potentielle due au contact avec le sol et à la présence d'une humidité permanente.

**Tableau 5.2 — Prise en compte de la corrosion intérieure ( $C_{int}$ ) pour l'acier au carbone et l'acier autopatinable**

Attaque chimique	Temps d'exposition	
	1 <sup>re</sup> période décennale	Chaque période décennale supplémentaire
Faible	1,0 mm	1,0 mm
Moyenne	2,5 mm	1,5 mm
Élevée	Utiliser une autre solution <sup>1)</sup>	Utiliser une autre solution <sup>1)</sup>
Très élevée	Utiliser autre une solution <sup>1)</sup>	Utiliser une autre solution <sup>1)</sup>

1) Il convient d'utiliser un revêtement résistant aux acides et aux températures élevées, ou un acier allié spécial. Pour les aciers alliés spéciaux, il convient de déterminer la prise en compte de la corrosion intérieure sur la base de résultats d'essais homologués, en fonction de l'action corrosive spécifique, et d'obtenir l'accord du fournisseur d'acier.

2) Dans certaines circonstances, les aciers inoxydables spécifiés dans l'EN 10088 (y compris les aciers inoxydables à forte teneur en molybdène) offrent une faible résistance à la corrosion en présence de condensation d'acide sulfurique ou autres. La résistance à la corrosion est particulièrement faible dans la plage de concentrations et de températures normalement observées au niveau de la surface gaz/métal intérieure dans des conditions d'attaque chimique «Élevée» et «Très élevée», y compris dans les conditions de condensation en aval d'équipements FGD. La présence de chlorures augmente également de façon importante les vitesses de corrosion des aciers inoxydables dans toutes les conditions d'attaque chimique.

## 5.2 Calcul des sollicitations et des contraintes

### 5.2.1 Analyse de la coque

(1)P Les sollicitations et les contraintes s'exerçant dans l'enveloppe structurale doivent être calculées conformément à l'ENV 1993-1-6, de telle sorte qu'elles soient suffisamment précises pour les vérifications à l'état limite approprié.

(2) En général, une analyse linéaire de l'enveloppe (AL), effectuée soit par des méthodes analytiques, soit par éléments finis, peut être considérée comme suffisamment précise. Des règles et des formules pour l'analyse linéaire des coques cylindriques et coniques sont données dans l'ENV 1993-1-6.

(3) Pour les enveloppes cylindriques circulaires verticales non raidies, les contraintes de membrane provoquées par les actions extérieures peuvent être déterminées par la théorie de membrane, en traitant le cylindre comme une poutre, et les effets de flexion de la coque peuvent être négligés, sauf en ce qui concerne les moments fléchissants circonférenciels provoqués par la répartition non uniforme de la pression du vent sur la circonférence, à condition que :

$$\ell/r_m \geq 0,14 r_m/t + 10 \quad \dots (5.1)$$

où :

$\ell$  est la hauteur totale ;

$r_m$  est le rayon de l'enveloppe ;

$t$  est l'épaisseur de tôle corrodée.

(4) Ces moments fléchissants circonférenciels peuvent être déterminés de façon approchée par l'expression :

$$M_y = 0,5 r_m^2 w_e \quad \dots (5.2)$$

où :

$w_e$  est la pression du vent agissant sur la surface extérieure d'une structure, déterminée selon 5.2 de l'ENV 1991-2-4.

(5) Les moments fléchissants circonférenciels provoqués par la pression du vent peuvent être négligés dans les coques cylindriques non raidies lorsque :

$$r_m/t \leq 160 \quad \dots (5.3)$$

(6) Pour les coques cylindriques raidies par des anneaux, et pour les ensembles de coques coniques et cylindriques raidis, les contraintes de membrane peuvent, indépendamment des rapports  $\ell/r_m$  et  $r_m/t$ , être déterminées par la théorie de membrane en traitant la structure comme une poutre. Les effets de flexion de la coque peuvent être négligés, à condition que les conditions suivantes soient satisfaites :

— il convient que les raidisseurs annulaires utilisés pour reprendre la pression du vent soient calculés pour les moments fléchissants circonférenciels ;

— il convient que les raidisseurs annulaires utilisés aux intersections entre cylindres et cônes soient calculés pour l'équilibre des forces résultant de la déviation des forces de membrane méridiennes.

(7) Il convient d'utiliser les sollicitations et les contraintes données par les calculs ci-dessus tant pour la vérification de résistance, voir 5.3.1, que pour la vérification du flambement de l'enveloppe, voir 5.3.2.

### 5.2.2 Imperfections

(1) Il convient de prendre en compte les défauts d'aplomb pour les cheminées autostables en prenant pour hypothèse un déplacement latéral au sommet par rapport à la verticale de :

$$\delta = \frac{h}{500} \sqrt{1 + \frac{50}{h}} \quad \dots (5.4)$$

où :

$h$  est la hauteur totale de la cheminée en [m].

(2) Les imperfections locales de l'enveloppe structurale sont incluses dans les formules de résistance pour la résistance au flambement données dans l'ENV 1993-1-6, et leur prise en compte n'est pas nécessaire dans l'analyse globale, à condition que les tolérances géométriques appropriées soient observées, voir 7.2.

(3) Les imperfections d'éléments en ce qui concerne d'autres éléments de la cheminée peuvent être négligées pour les éléments soumis à compression axiale lorsque le critère exposé en 5.2.4.2(4) de l'ENV 1993-1-1 est satisfait, sinon il convient d'appliquer 5.2.4.5 de l'ENV 1993-1-1.

### 5.2.3 Analyse globale

(1) Lorsque l'enveloppe structurale est calculée comme une poutre, voir 5.2.1, elle peut être calculée par la théorie des poutres en analyse au premier ordre, lorsque :

$$\frac{N_{Sd}}{N_{crit}} \leq 0,10 \quad \dots (5.5)$$

où :

$N_{Sd}$  est la valeur de calcul de la charge verticale totale, au pied de l'enveloppe,

$N_{crit}$  est la valeur critique élastique pour la ruine, au pied de l'enveloppe (voir ENV 1993-1-6).

(2) Lorsque l'enveloppe structurale est calculée comme une poutre, voir 5.2.1, et lorsque l'analyse au second ordre doit être appliquée, les moments fléchissants du second ordre  $M_{II,Sd}$  pour la poutre peuvent être déterminés de manière approchée par l'expression :

$$M_{II,Sd} = M_{I,Sd} (1 + \eta^2/8) \quad \dots (5.6)$$

avec :

$$\eta = h \sqrt{\left(\frac{N_{Sd}}{EI}\right)} \quad \dots (5.7)$$

où :

$h$  est la hauteur totale de l'enveloppe ;

$EI$  est la rigidité de flexion au pied de l'enveloppe.

(3) Cette méthode simplifiée ne peut être appliquée que lorsque :

$$\eta \leq 0,8 \text{ et} \quad \dots (5.8a)$$

$$N_{h,Sd} / N_{Sd} \leq 0,10 \quad \dots (5.8b)$$

où :

$N_{h,Sd}$  représente la valeur de calcul de la charge verticale totale au sommet de la coque.

## 5.3 Évaluation de la sécurité de l'enveloppe structurale

### 5.3.1 Vérification de la résistance

(1)P La résistance de l'enveloppe structurale doit faire l'objet de vérifications à l'état limite ultime d'écoulement plastique ou de rupture à la traction, au moyen des méthodes données dans la section 5 de l'ENV 1993-1-6.

(2) Lorsque l'enveloppe structurale est calculée pour les actions extérieures comme une poutre globale, voir 5.2.1, il convient d'appliquer le concept de calcul des contraintes donné dans l'ENV 1993-1-6.

(3)P L'affaiblissement d'éléments par des découpes et des ouvertures (par exemple : trappes de visite, évacuations, etc.) doit être compensé par un renfort convenablement dimensionné, en prenant en compte les effets de fatigue et la stabilité locale de l'enveloppe, ce qui peut entraîner la nécessité de raidisseurs sur les bordures.

**NOTE** Ceci peut en général être considéré comme satisfait si les raidisseurs dépassent au-dessus et au-dessous de l'ouverture d'au moins 0,5 fois l'espacement de ces raidisseurs.

(4) Lorsque l'on utilise des raidisseurs longitudinaux, il convient de prendre soin de s'assurer que toute contrainte de flexion circonférencielle des parois de l'enveloppe, apparaissant au voisinage des parties supérieure et inférieure des ouvertures, sont bien prises en compte dans la répartition de charges dues aux contraintes méridiennes (longitudinales).

(5) Il convient de choisir des raidisseurs longitudinaux suffisamment longs pour qu'ils soient capables de répartir les contraintes dans l'aire principale de l'enveloppe.

(6) Des raidisseurs annulaires supplémentaires fixés au niveau des bords de l'ouverture, et à l'extrémité des raidisseurs longitudinaux, peuvent être utilisés pour reprendre les contraintes de flexion circonférencielle.

(7)P Les raidisseurs annulaires doivent être vérifiés conformément à l'annexe C de l'ENV 1993-1-6.

### 5.3.2 Vérification de la stabilité

(1)P La stabilité de l'enveloppe structurale doit faire l'objet d'une vérification à l'état limite ultime de voilement local de l'enveloppe, au moyen des méthodes données dans la section 7 de l'ENV 1993-1-6.

(2) Lorsque l'enveloppe structurale est calculée pour les actions extérieures comme une poutre globale, voir 5.2.1, il convient d'appliquer le concept de calcul des contraintes donné dans l'ENV 1993-1-6.

(3)P Lorsqu'il faut appliquer la théorie de poutre en analyse au second ordre, voir 5.2.3, la vérification du flambement de l'enveloppe doit être effectuée au moyen des contraintes de compression de membrane méridiennes qui incluent les effets du second ordre.

### 5.3.3 Vérification de la résistance à la fatigue

(1)P La résistance à la fatigue de l'enveloppe structurale doit faire l'objet d'une vérification aux états limites ultimes de plasticité cyclique (fatigue oligocyclique) et de fatigue, au moyen des méthodes données dans les sections 6 et 7 de l'ENV 1993-1-6. Voir également l'annexe C.

(2) Pour des règles spécifiques supplémentaires, voir Section 9.

## 5.4 Évaluation de la sécurité d'autres éléments structuraux de la cheminée

(1)P La résistance et la stabilité des éléments du type poutre/poteau/barre de la cheminée doivent être vérifiées de façon similaire à l'enveloppe structurale, voir 5.3.

(2)P La résistance et la stabilité des doublages des cheminées à double paroi ou des cheminées à évacuations multiples doivent être vérifiées de façon similaire à l'enveloppe structurale, voir 5.3.

(3) Le cas échéant, la vérification du flambement de l'enveloppe d'un doublage peut être traitée comme une vérification de service, voir section 4.

(4) Si le système porteur de la cheminée est assemblé à d'autres éléments structuraux, il convient de vérifier la résistance et la stabilité de ces éléments et de leurs assemblages selon 5.1 à 5.3.

## 6 Assemblages

### 6.1 Bases

#### 6.1.1 Généralités

(1)P Tous les assemblages doivent posséder une résistance de calcul telle que la structure de la cheminée conserve son efficacité et que les exigences de calcul fondamentales données dans la Section 2 soient satisfaites.

(2)P Le facteur partiel  $\gamma_M$  doit être pris égal aux valeurs suivantes :

— résistance des assemblages boulonnés	$\gamma_{Mb} = 1,25$
— résistance des assemblages rivés	$\gamma_{Mr} = 1,25$
— résistance des assemblages par axe d'articulation	$\gamma_{Mp} = 1,25$
— résistance des assemblages soudés	$\gamma_{Mw} = 1,25$

(2) I Conformément à l'ENV 1993-1-1 DAN :

- la valeur de  $\gamma_{Mb}$  doit être prise égale à :
  - $\gamma_{Mb} = 1,50$  pour la résistance des boulons sollicités en traction
  - $\gamma_{Mb} = 1,25$  dans les autres cas (boulon en cisaillement, cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon et de l'écrou,...).
- la valeur de  $\gamma_{Mw}$  doit être prise égale à :
  - $\gamma_{Mw} = 1,25$  pour l'acier S235
  - $\gamma_{Mw} = 1,30$  pour l'acier S275
  - $\gamma_{Mw} = 1,35$  pour l'acier S355.

### 6.1.2 Résistance des assemblages

(1)P La résistance d'un assemblage doit être déterminée sur la base des résistances des fixations ou soudures considérées séparément.

(2) Il convient que le calcul d'un assemblage soit en général effectué par une analyse élastique linéaire. Comme alternative, on peut utiliser une analyse non linéaire de l'assemblage à condition qu'elle prenne en compte les caractéristiques de déformation sous les charges de tous les composants de l'assemblage.

### 6.1.3 Fatigue

(1)P Les assemblages des cheminées en acier doivent être vérifiés à la fatigue induite par le détachement tourbillonnaire, voir ENV 1991-2-4.

(2)P La vérification à la fatigue doit être effectuée également lorsque les mouvements de la cheminée sont limités par des stabilisateurs ou des dispositifs d'amortissement.

### 6.1.4 Classification des assemblages

(1) Pour la classification des assemblages, voir 6.4 de l'ENV 1993-1-1.

## 6.2 Assemblages boulonnés

### 6.2.1 Qualités de boulons

(1)P Les qualités des boulons utilisés dans les assemblages des cheminées en acier doivent être conformes aux dispositions de l'ENV 1993-1-1 ou de l'ENV 1993-1-4.

### 6.2.2 Positionnement des trous

(1)P Le positionnement des trous de boulons dans un assemblage doit respecter les règles données dans 6.5.1 de l'ENV 1993-1-1.

### 6.2.3 Catégories d'assemblages boulonnés

(1)P Le calcul d'un assemblage boulonné doit être conforme à la catégorie dans laquelle cet assemblage est classé, définie de la façon suivante pour les assemblages travaillant au cisaillement (voir 6.5.3.1 de l'ENV 1993-1-1) :

- Catégorie A : Travaillant à la pression diamétrale
- Catégorie B : Résistant au glissement à l'état limite de service
- Catégorie C : Résistant au glissement à l'état limite ultime

et définie de la façon suivante pour les assemblages travaillant à la traction (voir 6.5.3.2 de l'ENV 1993-1-1) :

- Catégorie D : Assemblages par boulons non précontraints
- Catégorie E : Assemblages par boulons précontraints à haute résistance.

#### 6.2.4 Résistances de calcul des boulons

- (1)P Les résistances de calcul des boulons au cisaillement, en pression diamétrale et en traction doivent être calculées conformément aux dispositions de 6.5.5 de l'ENV 1993-1-1.
- (2)P Les résistances au glissement de calcul des boulons à haute résistance précontraints doivent être calculées conformément aux dispositions de 6.5.8 de l'ENV 1993-1-1.
- (3)P L'évaluation de la fatigue pour les boulons doit être déterminée conformément aux règles de l'ENV 1993-1-1.

#### 6.2.5 Assemblages à brides boulonnés

- (1)P Les contraintes s'exerçant dans les boulons doivent être calculées en prenant en compte l'excentricité du chargement transmis par l'enveloppe.
- (2)P Les brides doivent être soudées de façon continue sur l'enveloppe structurale. On ne doit pas utiliser de soudure discontinue.
- (3)P Les brides doivent être planes avec une tolérance de  $0,5$  mm par 100 mm de largeur, et la tolérance totale sur la circonférence ne doit pas être supérieure à  $1,0$  mm.
- (4) Il convient que l'entraxe maximal entre les boulons soit de  $14d$  (compte tenu des effets de défaut d'étanchéité, on utilise normalement  $10d$ ) où  $d$  représente le diamètre du boulon.
- (5) Il convient que le diamètre minimal du boulon soit  $d = 12$  mm.
- (6) Il convient que les brides soient de forme circulaire s'adaptant avec précision sur l'enveloppe structurale. Il convient que tout jeu entre la bride et l'enveloppe structurale soit conforme au cahier de soudage.
- (7) À l'ajustage avant boulonnage, il convient que le jeu éventuel entre brides ne soit pas supérieur à  $1,5$  m. Il convient que ce jeu disparaisse après réalisation du boulonnage.
- (8) Il convient que les équations suivantes soient satisfaites pour un assemblage à brides :

— Brides présentant une surface de contact plane (voir figure 6.1) :

$$e_1 \leq 2d \quad \dots (6.1a)$$

$$e_2 \geq 1,45e_1 \quad \dots (6.1b)$$

$$p/d \leq 2 \quad d/t \leq 10 \quad \dots (6.1c)$$

$$t_f \geq 1,5d \quad \text{mais} \quad t_f \geq 4t \quad \text{pour} \quad r/t \leq 50 \quad \dots (6.1d)$$

$$\text{mais} \quad t_f \geq 3t \quad \text{pour} \quad r/t = 100 \quad \dots (6.1e)$$

$$\text{mais} \quad t_f \geq 2t \quad \text{pour} \quad r/t \geq 200 \quad \dots (6.1f)$$

— Les limites de  $t_f$  pour  $50 < r/t < 100$  et pour  $100 < r/t < 200$  peuvent être obtenues par interpolation.

où :

$d$  est le diamètre des boulons

$t$  est l'épaisseur de tôle de l'enveloppe

$t_f$  est l'épaisseur de la bride

$e_1$  est la distance entre les axes des boulons et le bord de la bride adjacent à l'enveloppe

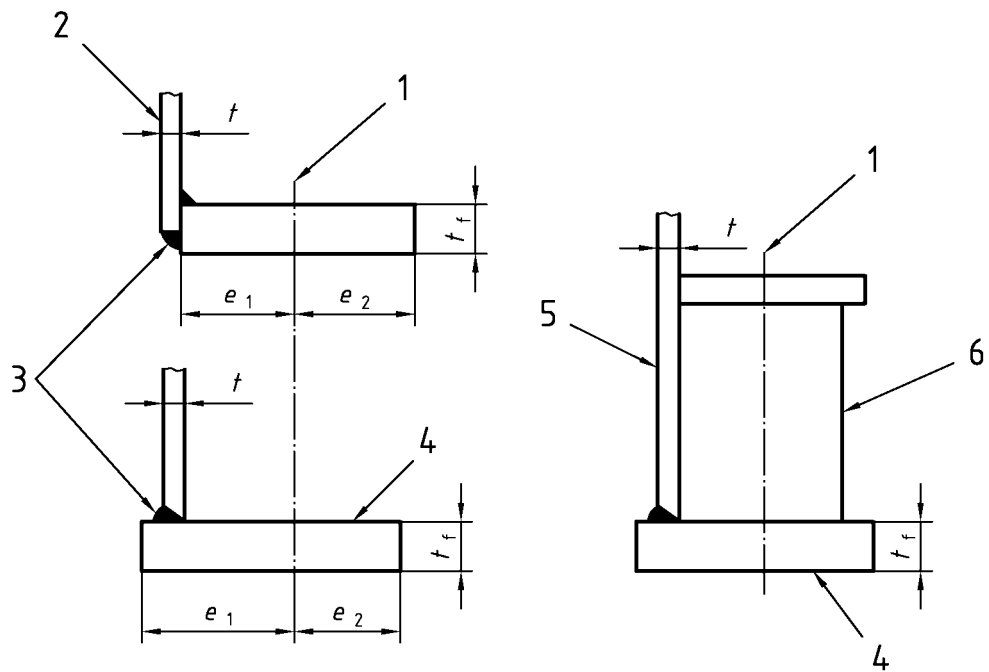
$e_2$  est la distance entre les axes des boulons et le bord libre de la bride

$p$  est l'entraxe circonférenciel des boulons

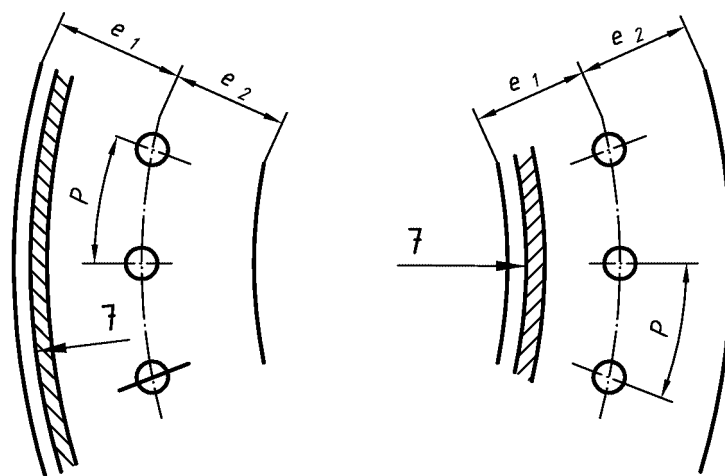
$r$  est le rayon de l'enveloppe.

- (9) Il convient d'utiliser des boulons précontraints à haute résistance.





Coupes



Plan

a)

b)

**Légende**

- 1 Diamètre des boulon «d» pas des boulons «p»
- 2 Enveloppe
- 3 Exemples types d'assemblages soudés
- 4 Bride
- 5 Enveloppe
- 6 Raidisseur
- 7 Rayon r
- a) Bride intérieure
- b) Bride extérieure

**Figure 6.1 — Assemblages à brides typiques**

## 6.2.6 Assemblage de la cheminée sur la fondation ou sur la structure porteuse

(1) L'assemblage de l'enveloppe en acier sur la fondation en béton ou sur la structure porteuse peut être réalisé par toute technique appropriée, à condition que l'ouvrage résiste convenablement au moment de renversement, à l'effort normal et à l'effort tranchant développés à la base de l'enveloppe, et que ces forces soient transmises à la fondation.

(2) Lorsque l'assemblage est réalisé au moyen d'une platine d'embase et de boulons d'ancrage, il convient de vérifier ces boulons à la fatigue. Ils peuvent être précontraints ou non en fonction de l'importance prévue des oscillations de la cheminée.

**NOTE** Il est possible, par exemple, que des boulons non précontraints satisfassent les exigences concernant la fatigue si les oscillations sont limitées de façon significative par l'utilisation d'amortisseurs aérodynamiques ou autres dispositifs d'amortissement.

(3) Si l'on utilise d'autres méthodes d'assemblage de l'enveloppe en acier sur la fondation, par exemple en ralongeant et en scellant l'enveloppe directement dans la fondation en béton, il convient de démontrer que le modèle de calcul est fiable en ce qui concerne la structure, et de prendre en compte les détails constructifs particuliers associés à la méthode adoptée.

## 6.3 Assemblages soudés

### 6.3.1 Dispositions générales

(1)P Pour les détails des assemblages soudés dans les cheminées en acier, il convient de se reporter aux sections 3, 7 et 9 de l'ENV 1993-1-1.

### 6.3.2 Calcul des soudures

(1)P Le calcul des soudures doit être conforme aux dispositions de 6.6 de l'ENV 1993-1-1.

## 7 Fabrication et montage

### 7.1 Généralités

(1)P Les cheminées doivent être fabriquées et montées conformément à la norme d'exécution des structures soumises à un chargement de fatigue ENV 1090-5.

(2)P Il convient de prendre en compte dans le calcul les tolérances d'exécution données en 7.2, dans l'attente de l'intégration de dispositions appropriées dans l'ENV 1090.

(3)P Les règles concernant la résistance et la stabilité données dans la présente Partie ne doivent être appliquées que si les tolérances d'exécution particulières données en 7.2 sont respectées.

### 7.2 Tolérances d'exécution

(1) Il convient que l'écart admissible par rapport à la verticale de l'enveloppe en acier à un niveau h (en m) quelconque au-dessus de la base d'une cheminée autostable soit le suivant :

$$\delta = \frac{h}{1\,000} \sqrt{1 + \frac{50}{h}} \quad \dots (7.1)$$

(2) Il convient que cette tolérance s'applique également au centre de gravité du doublage.

### 7.3 Qualité des soudures et fatigue

(1)P La qualité des soudures choisie lors de la sélection de la classe de fatigue appropriée d'un détail constructif, voir 9.3, doit être spécifiée sur les plans d'exécution de la cheminée et doit être soumise à une inspection et à un contrôle selon les prescriptions du cahier des charges du projet.

## 8 Dimensionnement assisté par des essais

### 8.1 Généralités

(1) Il convient de respecter les dispositions concernant le dimensionnement assisté par des essais données dans l'ENV 1991-1.

**NOTE** Des informations supplémentaires sont données dans l'annexe D de l'ENV 1991-1 et dans l'annexe Z de l'ENV 1993-1-1.

(2) Il convient de prendre la valeur de décrétement logarithmique d'amortissement de la cheminée selon les indications de l'ENV 1991-2-4.

(3) Il convient qu'un décrétement logarithmique différent de celui indiqué dans l'ENV 1991-2-4 soit démontré par des essais.

**NOTE** Pour des directives concernant la détermination du décrétement logarithmique d'amortissement pour les cheminées au moyen d'essais, se reporter à l'annexe E.

## 9 Vérifications à la fatigue

### 9.1 Généralités

(1)P Les effets de fatigue éventuels provoqués par les étendues de contraintes induites par les forces dans le sens du vent et dans la direction perpendiculaire au vent doivent être pris en compte.

(2)P Étant donné que la fatigue provoquée par les vibrations dans la direction perpendiculaire au vent est déterminante, la vérification à la fatigue concernant les effets d'un grand nombre de cycles de résonance tourbillonnaire doit être satisfaite.

(3) En général, les effets de fatigue provoqués par les forces dans le sens du vent sont moins significatifs que ceux provoqués dans la direction perpendiculaire au vent (voir 9.2). Cependant, il convient de combiner les dommages accumulés provoqués par les deux effets au niveau d'un point donné conformément à la procédure de Palmgren-Miner (voir 9.5 de l'ENV 1993-1-1), sauf s'il peut être démontré que les effets dans le sens du vent sont négligeables au niveau de ce point.

(4) Outre les inspections effectuées à intervalles réguliers, il convient d'envisager l'inspection de la cheminée à la suite de tempêtes sévères ou de périodes prolongées d'observations de vibrations afin de détecter toute détérioration prématurée due à la fatigue.

(5) Pour l'évaluation de la fatigue à grand nombre de cycles, il convient que les règles de l'ENV 1993-1-1 soient satisfaites.

(6) Il convient que les règles supplémentaires à l'ENV 1993-1-1, s'appliquant aux structures d'enveloppes recouvertes de tôles, données dans la section 8 de l'ENV 1993-1-6, soient satisfaites, voir annexe C.

(7) Pour les cheminées d'une hauteur inférieure à 5 m, il est inutile de procéder à une vérification à la fatigue concernant les effets d'un grand nombre de cycles de résonance tourbillonnaire.

(8) Si la vitesse de vent critique de la cheminée pour l'excitation par turbulences est supérieure à 20 m/sec, il est inutile de prendre en compte la (les) longueur(s) de corrélation au-dessous de 16 m par rapport au sol, voir ENV 1991-2-4.

(9) Pour tous les détails constructifs spécifiés en 9.3, les contraintes nominales peuvent être utilisées pour l'évaluation de la fatigue, étant donné que les concentrations de contraintes résultant des imperfections de géométrie et de structure sont comprises dans la résistance à la fatigue, voir section 8 de l'ENV 1993-1-6 et annexe C.

(10) Lorsqu'un détail constructif est réalisé, par exemple au niveau des ouvertures ou en raison d'une forme particulière d'assemblage, à un endroit où des concentrations de contraintes supplémentaires non comprises dans la classe de détail peuvent apparaître, ces concentrations de contraintes peuvent être prises en compte par l'application de facteurs de concentration de contraintes géométriques aux étendues de contraintes nominales. Pour des directives concernant la détermination des facteurs de concentration de contraintes étendues, voir ENV 1993-1-6.

(11)P Pour les cheminées réalisées en aciers alliés résistants à la chaleur, qui sont utilisés pour des températures supérieures à 400 °C, il convient de vérifier en outre les détériorations causées au matériau par la température, voir 5.1.5. Dans tous les cas où une telle détérioration se produit, il convient d'ajouter les détériorations provoquées par la température aux dommages provoqués par la fatigue.

(12)P Les effets de la fatigue oligocyclique résultant de bridages provoqués par les effets de températures différentes doivent être évalués conformément à 9.5.

## 9.2 Chargement de fatigue provoqué par la résonance tourbillonnaire

(1) Il convient de déterminer l'évaluation des contraintes de fatigue provoquées sur les cheminées par le détachement tourbillonnaire à partir de l'amplitude maximale pour le mode de vibration approprié selon 2.4 de l'annexe C de l'ENV 1991-2-4, et du nombre de cycles de contraintes  $N$  selon 2.9 de l'annexe C de l'ENV 1991-2-4. Sauf si elles sont prises dans l'ENV 1991-2-4, il convient de justifier les valeurs d'amortissement par des essais (voir section 8).

(2) Pour les cheminées très élancées (c'est-à-dire avec  $h/d > 40$ ), il convient de procéder à des études particulières prenant en compte les effets d'accrochage où les turbulences tendent à suivre le mouvement de la cheminée, en augmentant éventuellement la charge équivalente donnée dans l'annexe C de l'ENV 1991-2-4.

(3) Les valeurs nominales des étendues de contraintes dans l'enveloppe peuvent être déterminées à partir des forces d'inertie par unité de longueur comme indiqué dans l'annexe C de l'ENV 1991-2-4.

## 9.3 Résistance à la fatigue à grand nombre de cycles

(1) Pour des tableaux de résistances à la fatigue concernant les détails constructifs de structures d'enveloppes soudées comme les cheminées, voir annexe C.

(2) Dans ces tableaux, il convient d'accorder une attention particulière à la qualité des soudures associée à la classe de fatigue, voir 7.3.

(3) Si la corrosion est prise en compte pour l'épaisseur de tôle au lieu d'un système de protection anticorrosion, il convient de classer les détails dans une catégorie au-dessous de la valeur donnée dans les tableaux de catégories de détails, voir annexe C.

## 9.4 Évaluation de la sécurité

(1)P L'évaluation de sécurité pour la fatigue provoquée par la résonance tourbillonnaire doit être effectuée conformément à la section 9 de l'ENV 1993-1-1.

$$\gamma_{Ff} \lambda \Delta\sigma_s \leq \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf} \quad \dots (9.1)$$

où :

$\gamma_{Ff}$  est le facteur partiel pour le chargement de fatigue ;

$\lambda$  est le facteur d'équivalence pour le transfert de  $\Delta\sigma_s$  vers  $N_c = 10^6$  cycles ;

$\Delta\sigma_s$  est l'étendue de contraintes associée à  $N$  cycles (voir 9.2) prenant en compte les facteurs de concentration de contraintes le cas échéant ;

$\Delta\sigma_c$  est la valeur de résistance à la fatigue à  $N_c = 2 \times 10^6$  cycles pour la classe de fatigue du détail considéré ;

$\gamma_{Mf}$  est le facteur partiel pour la résistance à la fatigue.

(2) Le facteur d'équivalence  $\lambda$  peut être déterminé au moyen de l'expression suivante :

$$\lambda = \left( \frac{N}{2 \times 10^6} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \dots (9.2)$$

où :

$m$  est la pente de la courbe S-N.

(3) Il convient de prendre les facteurs partiels pour la fatigue dans le tableau 9.1 en fonction de la classe de fiabilité appropriée et des conditions d'inspection / de contrôle spécifiées.

(4) Si la structure est soumise à une surveillance de la sécurité, les facteurs du tableau 9.1 peuvent être réduits à des valeurs minimales de  $\boxed{1,0}$  pour  $\gamma_{Ff}$  pour toutes les classes et de  $\boxed{1,0}$  pour  $\gamma_{Mf}$ . Il convient de ne pas utiliser ces réductions sauf si elles font l'objet d'un accord entre le concepteur, le propriétaire et l'autorité compétente, et de les soumettre à des visites de contrôle annuelles du propriétaire, à un entretien régulier et à une signalisation de défauts éventuels accompagnée d'un plan de réparations.

(5) Il convient de n'utiliser les facteurs réduits donnés en (4) que s'il a été démontré que le système statique présente une hyperstaticité suffisante pour tolérer la ruine d'un seul élément ou assemblage sans effondrement global.

**Tableau 9.1 — Facteurs partiels de sécurité pour la fatigue**

Facteur partiel	Classe de fiabilité	Facteur <sup>1)</sup>
$\gamma_{Ff}$	Élevée (Classe 3)	$\boxed{1,40}$
	Normale (Classe 2)	$\boxed{1,20}$
	Réduite (Classe 1)	$\boxed{1,10}$
$\gamma_{Mf}$	Toutes Classes	$\boxed{1,15}$

1) Ces facteurs ne supposent aucune surveillance de la fissuration des soudures. Il est également supposé qu'une inspection et un entretien réguliers seront effectués conformément aux exigences du client.

2) Ces facteurs supposent que les courbes S-N et les classifications de détails utilisées pour le calcul représentent les valeurs de probabilité (caractéristiques) de 5 %.

## 9.5 Effets de la fatigue oligocyclique

(1)P Lorsque de nombreux changements de température ou de températures différentielles entraînent des cycles de déformations répétés provoqués par l'existence de bridages dans la structure, la sécurité pour la fatigue oligocyclique doit être évaluée en vérifiant l'état limite de plasticité cyclique conformément à la section 6 de l'ENV 1993-1-6, voir annexe C.

(2) Cette évaluation peut être effectuée soit en limitant les étendues de contraintes maximales induites par les déformations à la valeur :

$$\max \Delta\sigma \leq \frac{1,5 f_y}{\gamma_{Mf}} \quad \dots (9.3)$$

où :

$f_y$  est la limite d'élasticité applicable à la température élevée

$\gamma_{MF}$  peut être pris égal à  $\boxed{1,00}$

soit en utilisant une courbe S-N adaptée aux déformations  $\Delta\epsilon$ -N, qui a été déterminée pour la température élevée.

**Annexe A**  
(informative)  
**Règles supplémentaires à l'ENV 1991-2-4**  
**pour le calcul des cheminées**

**NOTE** Il est prévu de transférer la présente annexe dans l'EN 1991-2-4.

### A.1 Généralités

- (1) En l'absence de règles couvrant les effets d'interférence entre les cheminées en ligne dans l'ENV 1991-2-4, il convient de suivre les directives ci-dessous.
- (2) Lorsque des cheminées sont disposées en ligne, il convient de modifier le coefficient de force  $c_{f0}$ , qui dépend de la direction du vent ainsi que du rapport de la distance  $a$  entre les cheminées à leur diamètre  $b$ , par rapport à celui utilisé pour une cheminée isolée.
- (3) Sauf spécification contraire (par exemple : à la suite d'essais en soufflerie) il convient de multiplier la valeur  $c_{f0}$  de chaque cheminée prise séparément, selon 10.8.2 de l'ENV 1991-2-4, par le facteur  $K$  donné dans le tableau A.1.

**Tableau A.1 — Facteur  $K$  pour le coefficient de force  $c_{f0}$  des cheminées disposées en ligne**

$a/b$	$K$
$\leq 3,5$	1,15
3,5 ... 30	$K = \frac{210 - \frac{a}{b}}{180}$
$> 30$	1,0
a Distance entre axes des cheminées b Diamètre extérieur des cheminées	

- (4) Il convient de prendre dûment en compte les effets d'interférence sur la réponse dans la direction perpendiculaire au vent des cheminées disposées en ligne ou en groupes. Voir annexe C de l'ENV 1991-2-4.

## Annexe B (informative)

### Dispositifs aérodynamiques et mesures de l'amortissement

#### B.1 Généralités

(1) Conformément aux méthodes courantes d'aérodynamique et de mécanique des vibrations, on peut réduire efficacement les vibrations par l'application de mesures complémentaires isolées ou combinées, notamment :

- méthodes aérodynamiques, telles l'utilisation de ceintures hélicoïdales, déflecteurs ou carénages
- absorbeurs de vibrations
- câbles de haubanage dotés de propriétés amortissantes
- amortissement direct (au niveau d'un point fixe)

#### B.2 Dispositions aérodynamiques

(1) Des dispositions aérodynamiques, telles les ceintures, carénages ou ailerons, qui contrarient la formation de tourbillons, peuvent être utilisées pour réduire la force d'excitation. Les cheminées en acier équipées de ceintures hélicoïdales peuvent être calculées au moyen des critères suivants. En ce qui concerne d'autres dispositions aérodynamiques, il convient de démontrer l'efficacité de chacune d'entre elles, par exemple par des résultats d'essais en soufflerie.

(2) Si des ailettes hélicoïdales sont disposées au sommet de la cheminée, la valeur de base du coefficient d'excitation aérodynamique  $c_{lat}$  sur la totalité de la hauteur de la cheminée peut être multipliée par un facteur  $\alpha$  obtenu par l'expression suivante :

$$\alpha = \left(1 - \frac{l_s}{h}\right)^3 \quad \dots \text{(B.1)}$$

où :

$l_s$  est la longueur de l'enveloppe munie des ceintures ;

$h$  est la hauteur totale de la cheminée.

(3) Il convient de n'utiliser l'équation (B.1) que si la géométrie des ceintures hélicoïdales est la suivante :

— ceintures triples

— pas des ceintures  $h_s = 4,5 d$  à  $5,0 d$  ... (B.2a)

— hauteur des ceintures  $t = 0,10 d$  à  $0,12 d$  ... (B.2b)

— ceintures s'étendant sur une longueur  $l_s$  d'au moins  $0,3 h$ , et normalement de  $0,3 h$  à  $0,5 h$ . Cependant, une partie supérieure n'excédant pas  $1,0 d$  dépourvue de ceintures est autorisée et peut être comprise dans la longueur  $l_s$  de l'équation (B.1).

**NOTE** Dans l'équation (B.1), le facteur de longueur de corrélation est supposé être  $K_w = 1,0$ .

(4) Pour deux ou plusieurs cheminées similaires situées à proximité les unes des autres, des ceintures peuvent s'avérer moins efficaces que les indications données par l'équation (B.1). Si l'espacement entre axes des cheminées est inférieur à  $5d$ , il convient d'étudier particulièrement les effets de ceintures sur le détachement tourbillonnaire, ou de considérer les ceintures comme inefficaces.

### **B.3 Absorbeur dynamique de vibrations**

- (1) Un absorbeur dynamique de vibrations composé d'une masse auxiliaire vibratoire à support élastique, peut être utilisé pour limiter les vibrations. Il convient d'accorder l'amortissement et la fréquence naturelle de la masse par rapport à la structure, afin d'améliorer son amortissement.
- (2) Il convient de déterminer l'importance de l'amortissement effectif requis au moyen de l'analyse de la vibration provoquée dans la direction perpendiculaire au vent, comprenant les effets de fatigue.
- (3) Si aucune expérience pratique de l'efficacité de l'absorbeur dynamique de vibrations n'est disponible, il convient d'apporter la preuve de la capacité de fonctionnement, d'adaptation à la fréquence et d'amortissement du système. Il convient de produire un certificat attestant que l'amortissement réalisé est en accord avec l'analyse fournie.
- (4) Si des amortisseurs doivent être installés, il convient que leurs fabricants précisent la fréquence selon laquelle les opérations de contrôle et/ou d'entretien de ces amortisseurs doivent être effectuées.

### **B.4 Câbles de haubanage dotés de propriétés amortissantes**

- (1) Des haubans dotés de propriétés amortissantes peuvent être utilisés comme dispositif d'amortissement supplémentaire. Voir section 11 de l'ENV 1993-1-1.
- (2) L'énergie de vibration peut être dissipée par les caractéristiques du type de matériau du câble ou d'autres éléments fixés dans ce but, ou si l'on exploite la non-linéarité des caractéristiques des câbles.
- (3) Il convient de démontrer l'efficacité de ces dispositions de dissipation par des essais appropriés effectués sur la cheminée achevée.
- (4) Si les extrémités des câbles ont été fixés fermement, il convient de fournir également une évaluation du calcul de la structure pour la charge maximale de vent rencontrée, comprenant les haubans.

### **B.5 Amortissement direct**

- (1) Si l'on dispose d'un point fixe à proximité du corps de cheminée et à une hauteur suffisante, un amortissement direct peut être réalisé en disposant un élément amortisseur entre le corps et le point fixe.

**NOTE** Pour des corps identiques assemblés et de même fréquence naturelle, aucune augmentation de l'amortissement structurel en raison du couplage ne peut être autorisée.



**Annexe C**  
 (informative)  
**Détails concernant la fatigue**

**C.1 Généralités**

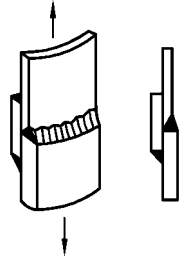
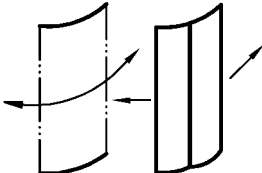
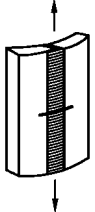
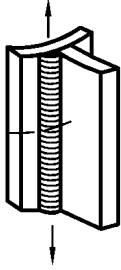
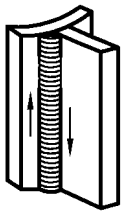
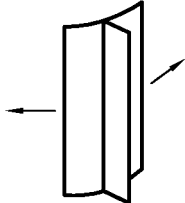
- (1) La résistance à la fatigue de détails types peut être prise dans le Tableau C.1.
- (2) Les types de soudage désignés dans le Tableau C.1 sont définis dans le Tableau C.2.
- (3) Les exigences de niveau de qualité pour les divers types de soudage, en fonction de différentes imperfections, peuvent être prises dans le Tableau C.2.

**Tableau C.1 — Résistance à la fatigue de détails types (5 pages)**

Cas N°	Catégorie de détail	Détails constructifs		Description
		Type de soudure ; restrictions géométriques	Dessin du détail	
1.1	125	1		Joints transversaux de l'enveloppe. Soudure bout-à-bout effectuée des deux côtés.
1.2	112	2 à plat		
1.3	90	2		
2	80	3		Joints transversaux de l'enveloppe. Soudure bout-à-bout effectuée d'un seul côté.
3	71	4		Joints transversaux de l'enveloppe. Soudure bout-à-bout effectuée sur support envers permanent.

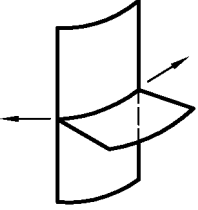
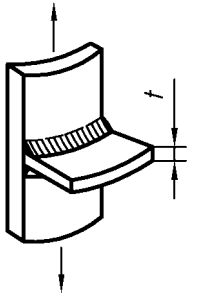
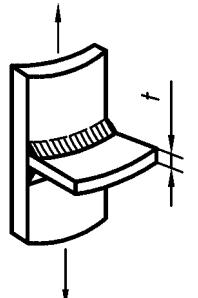
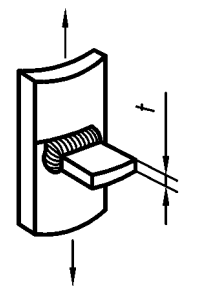
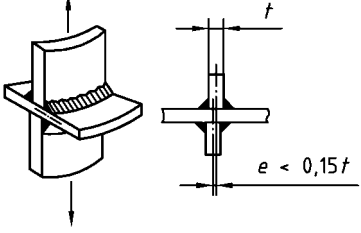
(à suivre)

**Tableau C.1 — Résistance à la fatigue de détails types (5 pages) (suite)**

Cas N°	Catégorie de détail	Détails constructifs		Description
		Type de soudure ; restrictions géométriques	Dessin du détail	
4	50	4		<p>Joint transversaux de l'enveloppe.</p> <p>Soudure bout-à-bout effectuée d'un seul côté.</p>
5	Voir description	Voir description		<p>Joint transversal avec contraintes parallèles à la soudure, voir cas n° 6</p> <p>Joint longitudinal avec contraintes perpendiculaires à la soudure, voir cas n° 1 à 4</p>
6.1	125	1 et 2		Joint longitudinal de l'enveloppe soudure continue automatique
6.2	112	3		
7.1	125	5 à 7		Fixations longitudinales continues
7.2	112	8		
8	80	5 à 8		Fixations longitudinales continues avec flux de cisaillement (fixation transversale continue cf. également ce cas n° 8)
9	voir description	voir description		<p>Fixation longitudinale continue avec contraintes perpendiculaires à la soudure.</p> <p>Voir cas n° 11, 12, 13.</p>

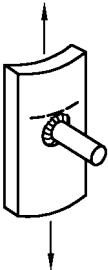
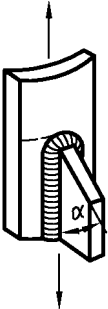
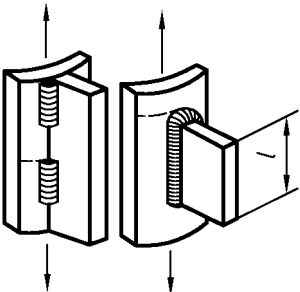
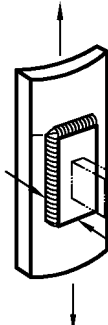
(à suivre)

Tableau C.1 — Résistance à la fatigue de détails types (5 pages) (suite)

Cas N°	Catégorie de détail	Détails constructifs		Description
		Type de soudure ; restrictions géométriques	Dessin du détail	
10	voir description	voir description		Fixations transversales continues avec contraintes parallèles à la soudure, cf cas n° 7, 8, 16, 17
11.1	112	5 à 7 $t \leq 12$ mm		Fixation transversale continue
11.2	90	5 à 7 $t > 12$ mm		
12.1	80	8 $t \leq 12$ mm		Fixation transversale continue
12.2	71	8 $t > 12$ mm		
13.1	80	5 à 8 $t \leq 12$ mm		Fixation transversale courte (également pour fixations transversales continues avec soudures discontinues)
13.2	71	5 à 8 $t > 12$ mm		
14.1	71	5		Joints en croix avec soudures à pénétration partielle
14.2	56	6 ou 7		
14.3	36	8		

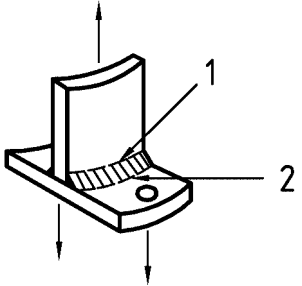
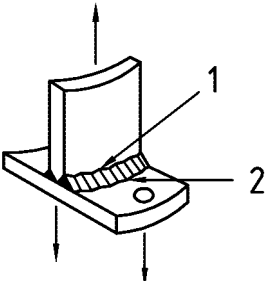
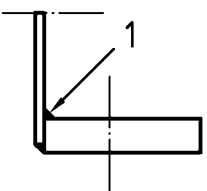
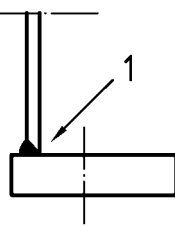
(à suivre)

**Tableau C.1 — Résistance à la fatigue de détails types (5 pages) (suite)**

Cas N°	Catégorie de détail	Détails constructifs		Description
		Type de soudure ; restrictions géométriques	Dessin du détail	
15	90			Effet de l'assemblage soudé sur le matériau de base
16.1	90	5 à 8 $\alpha \leq 15^\circ$		Fixations longitudinales
16.2	71	5 à 8 $15^\circ < \alpha \leq 60^\circ$		
16.3	56	5 à 8 $60^\circ < \alpha$		
17.1	71	5 à 8 $50 \text{ mm} \leq t \leq 100 \text{ mm}$		Fixations longitudinales courtes (également pour fixations longitudinales continues avec soudures discontinues)
17.2	56	5 à 8 $100 \text{ mm} < t$		
18.1	50	7 à 8 $t \leq 25$		Plaque de renfort (avec ou sans autres fixations)
18.2	36	7 à 8 $t > 25$		

(à suivre)

**Tableau C.1 — Résistance à la fatigue de détails types (5 pages) (fin)**

Cas N°	Catégorie de détail	Détails constructifs		Description
		Type de soudure ; restrictions géométriques	Dessin du détail	
19.1	idem 14	5 à 8	 <p>1 Voir 14 2 Voir 11, 12</p>	Semelle avec soudure d'angle
19.2	idem 11, 12	5 à 8		
20.1	idem 1, 2	1 à 3	 <p>1 Voir 1, 2 2 Voir 11, 12</p>	Semelle avec soudure bout-à-bout
20.2	idem 11, 12	1 à 3		
21	45	8		Assemblage de bride par soudure d'angle *)
22	90	1 à 3		Assemblage de bride par soudure bout-à-bout *)

\*) Pour les détails constructifs des boulons, voir 6.2.5.

**Tableau C.2 — Exigences de niveau de qualité pour divers types de soudures**

Assemblages en acier soudés à l'arc selon ISO 5817, EN 25 817		Type de soudure							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Fissures	B	B	C	C	C	C	C	C
2	Fissures de cratère	C	C	D	D	D	D	D	D
3	Soufflures et soufflures sphéroïdales	C	C	C	C	C	C	C	C
4	Nid de soufflures	B	B	C	C	C	C	C	C
5	Soufflures allongées, soufflures vermiculaires	C	C	C	C	C	D	D	D
6	Inclusions solides (autres que cuivre)	B	B	C	C	D	D	D	D
7	Inclusions de cuivre	B	B	C	C	C	C	C	C
8	Manque de fusion (collage)	B	B	C	D	C	C	C	D
9	Manque de pénétration	B	C	C	C	B	C	B	C
10	Mauvais ajustage et manque de pénétration soudures d'angle	—	—	—	—	C	C	C	C
11	Caniveau ou morsure	B	C	D	D	C	D	C	D
12	Surépaisseur excessive	C	C	C	C	—	—	—	—
13	Convexité excessive	—	—	—	—	C	D	C	D
14	Soudure d'angle ayant une épaisseur totale supérieure à l'épaisseur nominale	—	—	—	—	C	C	C	D
15	Soudure d'angle ayant une épaisseur totale inférieure à l'épaisseur nominale	—	—	—	—	C	C	B	D
16	Excès de pénétration	C	C	C	C	—	—	—	—
17	Surépaisseur locale	B	C	C	C	C	C	C	C
18	Défaut d'alignement	B	C	C	D	—	—	—	—
19	Manque d'épaisseur, Effondrement	B	C	C	D	—	—	—	—
20	Défaut de symétrie de soudure d'angle	—	—	—	—	D	D	B	C
21	Retassure à la racine, Retassure	C	C	C	D	—	—	—	—
22	Débordement	B	C	D	D	—	—	—	—
23	Mauvaise reprise	B	C	C	C	C	C	B	D
24	Coup d'arc	—	—	—	—	—	—	—	—
25	Projections (perles)	—	—	—	—	—	—	—	—
26	Défauts multiples dans une même section	B	C	C	C	C	C	B	D

**NOTE** Type de soudure :

- 1 soudures bout-à-bout, lorsqu'une haute qualité doit être réalisée et vérifiée :
  - racine développée, contre-passe de finition
  - surface meulée dans la direction des contraintes
- 2 soudure bout-à-bout : racine développée, contre-passe de finition
- 3 soudure bout-à-bout :
  - soudure d'un seul côté
  - soudage pénétrant des racines continues et des surfaces planes
  - utilisation de support envers par exemple : latte céramique ou cuivre
- 4 soudure d'angle : soudure d'un seul côté
- 5 Joint en T par soudure d'angle avec double chanfrein
- 6 Soudure bout-à-bout en T ou en Y avec large méplat
- 7 Joint en T avec soudure d'angle double de qualité spéciale
- 8 Joint en T : soudures d'angle doubles

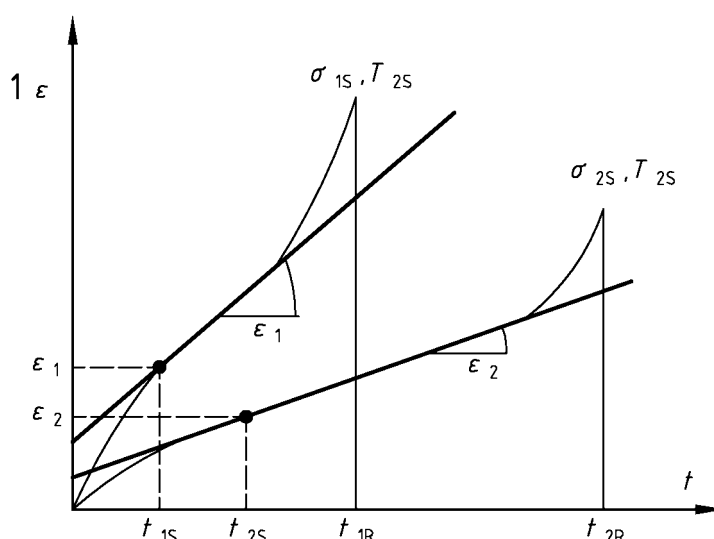
B, C et D sont des niveaux de qualité conformes à l'EN 25817 «Assemblages en acier soudés à l'arc ; Guide des niveaux d'acceptation des défauts» (ISO 5817:1992)

## Annexe D (informative)

### Évaluation des dommages pour le fluage à haute température

#### D.1 Généralités

- (1) Pour les températures supérieures à 400 °C, il convient d'évaluer les effets du fluage dû à la température afin d'éviter la ruine par fluage.
- (2) Pour l'évaluation des risques de rupture par fluage, les résultats d'essais de fluage du matériau utilisé peuvent être pris en compte, voir figure D.1.



#### Légende

- 1 Déformation

**Figure D.1 — Résultats d'essais de fluage**

- (3) Cette évaluation peut être effectuée conformément à D.2.
- (4) Dans le cas d'une combinaison haute température et fatigue, il convient de prendre en compte les dommages combinés conformément à D.3.

#### D.2 Évaluation du risque de rupture par fluage

- (1) Pour les aciers alliés résistant à des températures supérieures à 400 °C susceptibles de subir des détériorations en raison du fluage, l'évaluation des dommages peut être effectuée selon la règle de fraction de durée de vie :

$$D_{\text{Tem}} = \sum \frac{t_{i,S}}{t_{i,R}} \leq 1,0 \quad \dots (D.1)$$

où :

- $t_{i,S}$  sont les intervalles de temps pendant lesquels les contraintes  $\sigma_{i,S}$  et températures  $T_{i,S}$  constantes sont appliquées
- $t_{i,R}$  sont les valeurs respectives de temps de rupture des courbes de fluage, pouvant être déterminées par des essais, voir D.1.

### D.3 Accumulation des dommages provoqués par le fluage à haute température et la fatigue

(1) Pour les aciers alliés résistants aux hautes températures et susceptibles de subir des détériorations en raison du fluage, voir D.2, les dommages provoqués par la fatigue  $D_{Fat}$  calculés selon 9.2 et 9.3 peuvent être ajoutés aux dommages provenant de  $D_{Temp}$  conformément aux indications de la figure D.2, où les dommages provoqués par la fatigue peuvent être exprimés par :

$$D_{Fat} = \left( \frac{\gamma_{Ff} \lambda \Delta \sigma_s}{\frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \right) \quad \dots (D.2)$$

(2) Pour la somme L d'accumulation des dommages, les valeurs données dans la figure D.2 peuvent être utilisées.

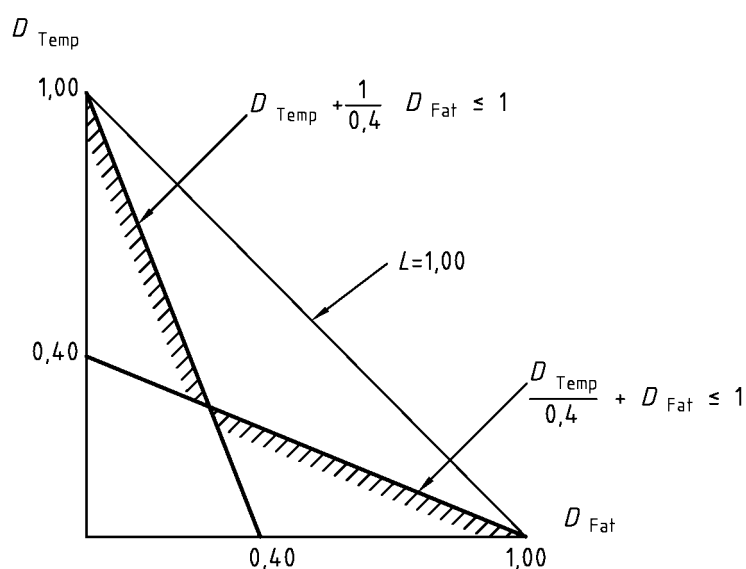


Figure D.2 — Dommages de fatigue provoqués par le fluage à haute température



## **Annexe E** (informative)

### **Dimensionnement assisté par des essais**

#### **E.1 Généralités**

(1) Lorsque les valeurs de décrétement logarithmique d'amortissement données dans l'ENV 1991-2-4 sont considérées comme impropres ou lorsque après l'installation de dispositifs d'amortissement les effets de ces amortisseurs doivent être vérifiés, il convient d'utiliser les directives suivantes pour déterminer le décrétement logarithmique d'amortissement pour les cheminées par des essais.

#### **E.2 Définition du décrétement logarithmique d'amortissement**

(1) Pour la définition du décrétement logarithmique d'amortissement, voir annexe D de l'ENV 1991-2-4.

#### **E.3 Procédure de mesure du décrétement logarithmique d'amortissement**

(1) Le signal de la mesure peut être obtenu par l'accélération, la flèche, les forces ou les déformations observées pour la cheminée.

(2) Différentes méthodes de mesure peuvent être utilisées, notamment la méthode par courbe d'extinction, la méthode d'autocorrélation ou la méthode par demi-largeur de bande.

(3) Il convient de s'assurer que les mesures comprennent l'énergie totale de vibration, et donc d'effectuer ces mesures dans deux directions orthogonales simultanément.

(4) Il convient de prendre en compte la dépendance des amplitudes de vibration dans l'analyse des données mesurées.

(5) Il convient que l'amplitude utilisée pour l'essai se situe dans la plage d'amplitude estimée du calcul de la cheminée provoquée par la formation du détachement tourbillonnaire, ou il convient de s'assurer que l'amortissement de cette amplitude estimée présente une marge de sécurité suffisante.

(6) Il convient de soustraire l'influence de l'amortissement aérodynamique de la valeur mesurée si le vent souffle pendant l'essai. Pour la définition de l'amortissement aérodynamique, voir annexe D de l'ENV 1991-2-4.