

Mars 2024

ICS 65.040.20; 91.010.30; 91.080.13

Destiné à remplacer l' EN 1993-4-1:2007

Version Française

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 4-1: Silos

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von
Stahlbauten - Teil 4-1: Silos

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 4-1: Silos

Le présent projet de Norme européenne est soumis aux membres du CEN pour enquête. Il a été établi par le Comité Technique CEN/TC 250.

Si ce projet devient une Norme européenne, les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne.

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

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

Les destinataires du présent projet sont invités à présenter, avec leurs observations, notifications des droits de propriété dont ils auraient éventuellement connaissance et à fournir une documentation explicative.

Avertissement : Le présent document n'est pas une Norme européenne. Il est diffusé pour examen et observations. Il est susceptible de modification sans préavis et ne doit pas être cité comme Norme européenne

prEN 1993-4-1 - Preview only Copy via ILNAS e-Shop



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

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Bruxelles

Sommaire

Page

Avant-propos européen.....	5
0 Introduction.....	6
1 Domaine d'application.....	9
1.1 Domaine d'application de l'EN 1993-4-1.....	9
1.2 Hypothèses.....	10
2 Références normatives.....	11
3 Termes, définitions, symboles, conventions de signe et unités.....	11
3.1 Termes et définitions.....	11
3.2 Symboles utilisés dans partie 4.1 de l'Eurocode 3.....	16
3.3 Conventions de signe.....	21
4 Bases du calcul.....	28
4.1 Exigences de base.....	28
4.2 Unités.....	29
4.3 Classifications des silos.....	29
4.4 Vérification par la méthode des coefficients partiels.....	33
4.5 Actions et influences de l'environnement.....	34
4.6 Données géométriques.....	35
4.7 Modélisation du silo pour la détermination des effets d'actions.....	35
4.8 Calcul assisté par l'expérimentation.....	35
4.9 Effets des actions pour la vérification aux états-limites.....	35
4.10 Durabilité.....	35
4.11 Résistance au feu.....	35
5 Propriétés des matériaux.....	36
5.1 Généralités.....	36
5.2 Aciers structuraux.....	36
5.3 Aciers inoxydables.....	36
5.4 Aciers alliés spéciaux.....	37
5.5 Exigences concernant la ténacité.....	37
6 Bases pour l'analyse structurale.....	37
6.1 États-limites ultimes.....	37
6.2 États-limites de service.....	39
6.3 Analyse de la structure d'un silo en coque.....	39
6.4 Analyse de la structure de caisson d'un silo en plaques.....	43
6.5 Traitement analytique de la tôle ondulée.....	44
7 Calcul de l'état-limite ultime des parois d'une coque cylindrique.....	47
7.1 Base.....	47
7.2 Distinctions entre formes de coques cylindriques.....	48
7.3 Résistance des parois cylindriques isotropes soudées ou boulonnées.....	49
7.4 Résistance des parois cylindriques isotropes à la compression axiale.....	52
7.5 Résistance des parois cylindriques isotropes à la pression extérieure, au vide partiel intérieur et au vent.....	59
7.6 Interactions entre compression axiale, compression circonférentielle et cisaillement de membrane dans les parois isotropes.....	67
7.7 Parois isotropes soumises à des charges cycliques.....	67

7.8	Résistance de parois isotropes avec raidisseurs verticaux.....	68
7.9	Résistance des parois cylindriques ondulées horizontalement.....	72
7.10	Parois cylindriques ondulées verticalement avec raidisseurs annulaires.....	82
7.11	Dispositions constructives pour les ouvertures dans les parois cylindriques	84
8	Conditions d'appui pour les parois cylindriques.....	85
8.1	Coque dont la base est entièrement appuyée.....	85
8.2	Coque isotrope supportée par une jupe	85
8.3	Paroi de coque cylindrique isotrope munie de poteaux prolongés	86
8.4	Appui de l'ossature sous un silo à parois isotropes	86
8.5	Coque cylindrique isotrope à appuis discrets sans poutre annulaire.....	88
8.6	Coque cylindrique isotrope à appuis discrets avec poutre annulaire.....	89
8.7	Coque cylindrique isotrope à appuis discrets avec une ceinture intermédiaire	91
8.8	Silo isotrope à appuis discrets avec des poteaux sous la trémie.....	96
8.9	Détails d'appuis locaux et raidisseurs pour l'introduction des charges dans les parois cylindriques isotropes	97
8.10	Ancrage à la base d'un silo à parois isotropes	98
8.11	Coques cylindriques isotropes avec raidisseurs verticaux dont la base est entièrement appuyée	100
8.12	Coques cylindriques ondulées raidies dont la base est entièrement appuyée	100
9	Calcul à l'état-limite ultime des trémies coniques isotropes.....	100
9.1	Base.....	100
9.2	Calcul de la paroi de trémie isotrope	101
9.3	Résistance des trémies coniques isotropes	101
9.4	Considérations concernant les structures de trémies particulières	110
10	Calcul à l'état-limite ultime des zones de transition et des poutres annulaires de base dans les silos circulaires.....	111
10.1	Base.....	111
10.2	Analyse de la zone de transition	114
10.3	Résistances structurales pour les jonctions isotropes	126
10.4	Vérifications à l'état-limite pour les zones de transition isotropes.....	132
10.5	Considérations concernant les dispositions des appuis pour la jonction.....	135
11	Calcul à l'état-limite ultime des structures de toit coniques circulaires.....	136
11.1	Base.....	136
11.2	Distinctions entre différentes formes structurales de toits.....	136
11.3	Résistance des toits isotropes coniques circulaires de silos	136
12	Calcul à l'état-limite ultime des silos rectangulaires et des silos à côtés plans	137
12.1	Base.....	137
12.2	Classification des formes structurales à côtés plans	138
12.3	Résistance des parois verticales non raidies.....	139
12.4	Résistance des parois de silos composées de plaques raidies ou ondulées.....	139
12.5	Silos à tirants internes	142
12.6	Résistance des trémies pyramidales.....	150
12.7	Raidisseurs verticaux placés sur des parois en caisson	150
12.8	Exigences relatives aux appuis pour les structures en plaques	151
13	Exigences de service	151
13.1	Généralités	151
13.2	Parois de coques isotropes et isotropes raidies cylindriques.....	151
13.3	Parois ondulées cylindriques et ondulées raidies.....	152
13.4	Trémies coniques	152
13.5	Silos rectangulaires et silos à côtés plans.....	152

Annexe A (informative) Règles simplifiées pour les silos circulaires à parois isotropes du Groupe de silos 1.....	154
A.1 Utilisation de la présente annexe	154
A.2 Domaine et champ d'application	154
A.3 Combinaisons d'actions pour le Groupe de silos 1	154
A.4 Évaluation des effets d'actions.....	154
A.5 Évaluation à l'état-limite ultime.....	154
Annexe B (informative) Règles simplifiées relatives aux poutres annulaires de zone de transition dans les silos circulaires avec paroi ondulée horizontalement et raidisseurs verticaux	161
B.1 Utilisation de la présente annexe	161
B.2 Domaine et champ d'application	161
B.3 Évaluation de l'effort circonférentiel dans l'élément annulaire de transition.....	162
B.4 Évaluation de l'effort circonférentiel dans l'élément annulaire de transition.....	163
B.5 Détermination de la résistance au flambement de l'élément annulaire de transition	165
Annexe C (informative) Expressions pour les sollicitations de membrane exercées dans les trémies coniques.....	166
C.1 Utilisation de la présente annexe	166
C.2 Domaine et champ d'application	166
C.3 Théorie générale des pressions dans les trémies (conformément à l'EN 1991-4)	166
C.4 Pression uniforme p_0 avec frottement de paroi μp_0.....	167
C.5 Pression normale variant linéairement de p_1 au sommet à p_2 à la transition avec frottement de paroi μp.....	167
C.6 « Champ de contraintes radiales » modèle de pression normale avec contrainte augmentée triangulaire sous la transition	168
Bibliographie	169

Avant-propos européen

Le présent document (prEN 1993-4-1:2024) a été élaboré par le comité technique CEN/TC 250 « Eurocodes structuraux », dont le secrétariat est tenu par BSI. Le CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes structuraux et s'est vu confier par le CEN la responsabilité des questions de calculs structuraux et géotechniques.

Il est actuellement soumis à l'Enquête CEN.

Le présent document est destiné à remplacer l'EN 1993-4-1:2007 et ses amendements et rectificatifs.

La première génération des Eurocodes EN a été publiée entre 2002 et 2007. Le présent document fait partie de la seconde génération des Eurocodes et a été élaboré dans le cadre du mandat M/515 donné au CEN par la Commission européenne et l'Association européenne de libre-échange.

Les Eurocodes ont été rédigés pour être utilisés conjointement avec les normes d'exécution, de matériaux, de produits et d'essais appropriées, et pour identifier les exigences d'exécution, de matériaux, de produits et d'essais sur lesquelles s'appuient les Eurocodes

Les Eurocodes reconnaissent la responsabilité de chaque État membre et ont safeguardé le droit de ceux-ci de déterminer, au niveau national, des valeurs liées aux questions réglementaires de sécurité par l'utilisation d'Annexes Nationales.

0 Introduction

0.1 Introduction aux Eurocodes

Les Eurocodes structuraux comprennent les normes suivantes, chacune étant en général constituée d'un certain nombre de parties :

- EN 1990, Eurocode — Bases des calculs structuraux et géotechniques ;
- EN 1991, Eurocode 1 — 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 ouvrages en maçonnerie ;
- EN 1997, Eurocode 7 — Calcul géotechnique ;
- EN 1998, Eurocode 8 — Calcul des structures pour leur résistance au séisme ;
- EN 1999, Eurocode 9 — Calcul des structures en aluminium ;
- de nouvelles parties sont en cours d'élaboration, par exemple un Eurocode pour le calcul des structures en verre.

0.2 Introduction à l'EN 1993 (toutes les parties)

L'EN 1993 s'applique au calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil en acier. Elle est conforme aux principes et exigences concernant la sécurité et l'aptitude au service des structures, aux bases de calcul et aux vérifications données dans l'EN 1990 — Bases des calculs structuraux et géotechniques.

L'EN 1993 concerne uniquement les exigences de résistance, d'aptitude au service, de durabilité et de résistance au feu des structures en acier. Les autres exigences, par exemple concernant l'isolation thermique ou phonique, ne sont pas considérées.

L'EN 1993 est subdivisée en différentes parties :

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

EN 1993-2, *Calcul des structures en acier — Partie 2 : Ponts ;*

EN 1993-3, *Calcul des structures en acier — Partie 3 : Tours, mâts et cheminées ;*

EN 1993-4, *Calcul des structures en acier — Partie 4 : Silos et réservoirs ;*

EN 1993-5, *Calcul des structures en acier — Partie 5 : Pieux et palplanches ;*

EN 1993-6, *Calcul des structures en acier — Partie 6 : Structures supportant des appareils de levage ;*

EN 1993-7, *Calcul des structures en acier — Partie 7 : Panneaux sandwich.*

L'EN 1993-1 n'existe pas en tant que document physique, mais elle comprend les 14 parties distinctes suivantes, la partie de base étant l'EN 1993-1-1 :

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

EN 1993-1-2, *Calcul des structures en acier — Partie 1-2 : Calcul du comportement au feu ;*

EN 1993-1-3, *Calcul des structures en acier — Partie 1-3 : Profilés et plaques formés à froid ;*

NOTE Les profils creux de construction formés à froid fournis conformément à l'EN 10219 sont couverts dans l'EN 1993-1-1.

EN 1993-1-4, *Calcul des structures en acier — Partie 1-4 : Structures en acier inoxydable ;*

EN 1993-1-5, *Calcul des structures en acier — Partie 1-5 : Éléments structuraux constitués de plaques ;*

EN 1993-1-6, *Calcul des structures en acier — Partie 1-6 : Résistance et stabilité des structures en coque ;*

EN 1993-1-7, *Calcul des structures en acier — Partie 1-7 : Éléments structuraux constitués de plaques sollicitées hors plan ;*

EN 1993-1-8, *Calcul des structures en acier — Partie 1-8 : Assemblages ;*

EN 1993-1-9, *Calcul des structures en acier — Partie 1-9 : Fatigue ;*

EN 1993-1-10, *Calcul des structures en acier — Partie 1-10 : Ténacité du matériau et propriétés dans le sens de l'épaisseur ;*

EN 1993-1-11, *Calcul des structures en acier — Partie 1-11 : Éléments tendus ;*

EN 1993-1-12, *Calcul des structures en acier — Partie 1-12 : Règles supplémentaires pour les aciers jusqu'à la nuance S960 ;*

EN 1993-1-13, *Calcul des structures en acier — Partie 1-13 : Poutres avec grandes ouvertures dans l'âme ;*

EN 1993-1-14, *Calcul des structures en acier — Partie 1-14 : Calcul assisté par des analyses par éléments finis.*

Toutes les parties suivantes de l'EN 1993-1-2 à l'EN 1993-1-14 traitent de sujets généraux qui sont indépendants du type de structure, tels que le calcul du comportement au feu, les profilés et plaques formés à froid, les aciers inoxydables, les plaques planes, les structures en coques, etc.

Toutes les parties suivantes numérotées de l'EN 1993-2 à l'EN 1993-7 traitent de sujets propres à un type de structure spécifique tels que les ponts en acier, les tours, les mâts et les cheminées, les silos et les réservoirs, les pieux et palplanches, les chemins de roulement, etc. Les EN 1993-2 à EN 1993-7 font référence aux règles générales de l'EN 1993-1 et les complètent, les modifient ou les remplacent.

0.3 Introduction au prEN 1993-4-1

Le prEN 1993-4-1 donne des recommandations pour la conception relative aux calculs structuraux des silos ainsi que pour les règles de calcul qui complètent les règles génériques énoncées dans les parties de l'EN 1993-1.

Le prEN 1993-4-1 est destiné aux clients, aux concepteurs, aux entrepreneurs et aux autorités compétentes.

0.4 Formes verbales utilisées dans les normes Eurocodes

La forme verbale « doit » exprime une exigence à respecter strictement et à laquelle aucune dérogation n'est autorisée afin d'être conforme aux Eurocodes.