

***norme belge  
enregistrée***

**NBN EN 1999-1-5**

1e éd., août 2007

**Indice de classement: B 51**

---

**Eurocode 9 - Calcul des structures en aluminium - Partie 1-5 : Coques (+ AC:2009)**

Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-5 : Schaalconstructies (+ AC:2009)

Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-5 : Shell structures (+ AC:2009)

---

**Autorisation de publication: 30 mai 2007**

La présente norme européenne EN 1999-1-5:2007 a le statut d'une norme belge.

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

Cette norme ne peut être utilisée en Belgique qu'en combinaison avec son annexe nationale (ANB) qui fixe principalement la valeur des paramètres à déterminer au niveau national.



**Bureau de Normalisation - Rue de Birmingham 131 - 1070 Bruxelles - Belgique**

Tél: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: [info@nbn.be](mailto:info@nbn.be) - NBN Online: [www.nbn.be](http://www.nbn.be)

Banque 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOTBEB1 TVA BE0880857592

# ***Geregistreeerde Belgische norm***

**NBN EN 1999-1-5**

1e uitg., augustus 2007

**Normklasse: B 51**

---

## **Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-5 : Schaalconstructies (+ AC:2009)**

Eurocode 9 - Calcul des structures en aluminium - Partie 1-5 : Coques (+ AC:2009)

Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-5 : Shell structures (+ AC:2009)

---

### **Toelating tot publicatie: 30 mei 2007**

Deze Europese norm EN 1999-1-5:2007 heeft de status van een Belgische norm.

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

Deze norm mag in België slechts samen met zijn nationale bijlage (ANB) worden toegepast. Deze laatste legt hoofdzakelijk de waarden van de parameters vast die op nationaal vlak worden bepaald.



**Bureau voor Normalisatie - Birminghamstraat 131 - 1070 Brussel - België**

Tel: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: [info@nbn.be](mailto:info@nbn.be) - NBN Online: [www.nbn.be](http://www.nbn.be)

Bank 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOTBEB1 BTW BE0880857592

## Avant-propos national à la NBN EN 1999-1-5:2007

1. La norme NBN EN 1999-1-5:2007 « Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium – Partie 1-5 Coques » comprend l'annexe nationale NBN EN 1999-1-5 ANB:2011 qui a un caractère normatif en Belgique.

Le corrigendum EN 1999-1-5:2007/AC 2009, tel que publié par le CEN, est joint à cette norme.

2. La version de langue française de l'EN 1999-1-5 a été rédigée en France par l'AFNOR. En conséquence, on y rencontre certaines expressions d'usage moins courant en Belgique.

Une liste de termes équivalents est donnée ci-après :

<b>Terme de l'EN 1999-1-5</b>	<b>Terme équivalent en Belgique</b>
client	le maître de l'ouvrage assisté de ses bureaux d'architectes, d'ingénierie et de consultance
poteau	colonne

3. Un corrigendum (EN 1999-1-5:2007/AC:2009) est établi au CEN et doit être utilisé avec la NBN EN 1999-1-5 et son ANB.

## Nationaal voorwoord van NBN EN 1999-1-5:2007

1. De norm NBN EN 1999-1-5:2007 « Eurocode 9 : Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies – Deel 1-5: Schaalconstructies » omvat de nationale bijlage NBN EN 1999-1-5 ANB:2011 met een normatief karakter in België.

Het corrigendum EN 1999-1-5:2007/AC:2009, zoals door CEN gepubliceerd, is na deze norm toegevoegd.

2. De Nederlandstalige versie van EN 1999-1-5 is tot stand gekomen op basis van een voorkeurterminologie die in samenwerking tussen het NBN en het NEN is opgesteld. Daarbij werd voor elk begrip een unieke woordkeuze gemaakt. Dit heeft voor gevolg dat in de norm uitdrukkingen voorkomen die in één van de twee landen minder gebruikelijk zijn. Hierna volgt een lijst met synoniemen:

Oorspronkelijke term (Engels)	Verplichte term (Nederlands)	Synoniem (B); (N)
accidental situation	buitengewone situatie	bijzondere situatie (N); buitengewone toestand (B)

- 2bis. De Europese normen (EN) waarnaar de tekst van deze norm met hun Engelse titel verwijst, dragen in België de volgende Nederlandstalige titels :

Vermelde norm met Engelse titel	Nederlandstalige titel (NBN)
EN 1090-1 Execution of steel structures and aluminium structures – Part 1: Requirements for conformity	EN 1090-1: Uitvoering van staalconstructies en aluminiumconstructies - Deel 1: Algemene leveringsvoorwaarden
EN 1090-3 Execution of steel structures and aluminium structures – Part 3: Technical requirements for aluminium structures	EN 1090-3 Uitvoering van staalconstructies en aluminiumconstructies - Deel 3: Technische eisen voor aluminiumconstructies
EN 1990 Basis of structural design	EN 1990 Eurocode 0 - Grondslagen van het constructief ontwerp
EN 1991 Actions on structures – All parts	EN 1991 Eurocode 1 : Belastingen op constructies - Alle delen
EN 1993-1-6 Design of steel structures - Part 1-6: Shell structures	EN 1993-1-6 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies
EN 1993-3-2 Design of steel structures - Part 3-2: Chimneys	EN 1993-3-2 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 3-2: Torens, masten en schoorstenen - Schoorstenen
EN 1993-4-1 Design of steel structures - Part 4-1: Silos	EN 1993-4-1 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 4-1 : Silo's

**NBN EN 1999-1-5 ANB (2011)**

EN 1993-4-2 Design of steel structures - Part 4-2: Tanks	EN 1993-4-2 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 4-2 : Opslagtanks
EN 1993-4-3 Design of steel structures - Part 4-3: Pipelines	EN 1993-4-3 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 4-3: Buisleidingen
EN 1999-1-1 Design of aluminium structures - Part 1-1: General rules	EN 1999-1-1 Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-1: Algemene regels
EN 1999-1-2 Design of aluminium structures - Part 1-2: Structural fire design	EN 1999-1-2 Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-2 : Ontwerp en berekening van constructies bij brand
EN 1999-1-3 Design of aluminium structures - Part 1-3: Structures susceptible to fatigue	EN 1999-1-3 Eurocode 9: Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-3: Vermoeiing
EN 1999-1-4 Design of aluminium structures - Part 1-4: Cold-formed structural sheeting	EN 1999-1-4 Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-4 : Koudgevormde platen



ICS 93.020; 91.010.30

Version Française

## Eurocode 9 - Calcul des structures en aluminium - Partie 1-5 : Coques

Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von  
Aluminiumtragwerken - Teil 1-5: Schalenträgerwerke

Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-5:  
Shell structures

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 11 octobre 2006.

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

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion du CEN, 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, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.



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

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

# Sommaire

Page

Avant-propos.....	4
<b>1 Généralités .....</b>	<b>8</b>
1.1 Domaine d'application .....	8
1.1.1 Domaine d'application de l'EN 1999 .....	8
1.1.2 Domaine d'application de l'EN 1999-1-5.....	8
1.2 Références normatives .....	10
1.3 Termes et définitions.....	11
1.3.1 formes structurales et géométrie.....	11
1.3.2 Définitions spécifiques aux calculs du flambement .....	12
1.4 Symboles .....	13
1.5 Conventions de signe .....	18
1.6 Systèmes de coordonnées .....	19
<b>2 Bases de calcul.....</b>	<b>21</b>
2.1 Généralités .....	21
2.2 Classe de conséquences et classe d'exécution.....	21
<b>3 Matériaux et géométrie.....</b>	<b>21</b>
3.1 Propriétés des matériaux.....	21
3.2 Valeurs de calcul des données géométriques.....	22
3.3 Tolérances et imperfections géométriques .....	22
<b>4 Durabilité .....</b>	<b>22</b>
<b>5 Analyse structurale .....</b>	<b>22</b>
5.1 Géométrie .....	22
5.2 Conditions aux limites .....	23
5.3 Actions et influences de l'environnement.....	24
5.4 Résultantes de contraintes et contraintes .....	25
5.5 Types d'analyse .....	25
<b>6 État limite ultime .....</b>	<b>26</b>
6.1 Résistance des sections transversales.....	26
6.1.1 Valeurs de calcul des contraintes.....	26
6.1.2 Valeurs de calcul de la résistance .....	27
6.1.3 Limitation des contraintes .....	28
6.1.4 Calcul par analyse numérique.....	28
6.2 Résistance au flambement .....	29
6.2.1 Généralités .....	29
6.2.2 Tolérances géométriques pertinentes en termes de flambement.....	29
6.2.3 Coque en compression et en cisaillement.....	30
6.2.4 Effet du soudage.....	33
6.2.5 Calcul par analyse numérique.....	36
<b>7 États limites de service .....</b>	<b>37</b>
7.1 Généralités .....	37
7.2 Flèches.....	37
<b>Annexe A (informative) Expressions pour l'analyse du flambement des coques.....</b>	<b>38</b>
A.1 Coques cylindriques non raidies à parois d'épaisseur constante .....	38
A.1.1 Notations et conditions aux limites .....	38
A.1.2 Compression méridienne (axiale) .....	38
A.1.3 Compression circonférentielle.....	41
A.1.4 Effort tranchant.....	44
A.1.5 Compression méridienne (axiale) avec une pression interne concomitante.....	46



<b>A.1.6</b>	<b>Combinaisons de compression méridienne (axiale), de compression circonférentielle et d'effort tranchant.....</b>	<b>47</b>
<b>A.2</b>	<b>Coques cylindriques non raidies et d'épaisseur de paroi en gradins .....</b>	<b>48</b>
<b>A.2.1</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>48</b>
<b>A.2.2</b>	<b>Compression méridienne (axiale).....</b>	<b>49</b>
<b>A.2.3</b>	<b>Compression circonférentielle.....</b>	<b>50</b>
<b>A.2.4</b>	<b>Effort tranchant.....</b>	<b>53</b>
<b>A.3</b>	<b>Coques cylindriques non raidies assemblées par recouvrement.....</b>	<b>54</b>
<b>A.3.1</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>54</b>
<b>A.3.2</b>	<b>Compression méridienne (axiale).....</b>	<b>54</b>
<b>A.3.3</b>	<b>Compression circonférentielle.....</b>	<b>55</b>
<b>A.3.4</b>	<b>Effort tranchant.....</b>	<b>55</b>
<b>A.4</b>	<b>Coques coniques non raidies .....</b>	<b>55</b>
<b>A.4.1</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>55</b>
<b>A.4.2</b>	<b>Contraintes de calcul au flambement.....</b>	<b>56</b>
<b>A.4.3</b>	<b>Vérification de la résistance au flambement .....</b>	<b>57</b>
<b>A.5</b>	<b>Coques cylindriques raidies d'épaisseur de paroi constante .....</b>	<b>58</b>
<b>A.5.1</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>58</b>
<b>A.5.2</b>	<b>Parois isotropes avec raidisseurs méridiens .....</b>	<b>58</b>
<b>A.5.3</b>	<b>Parois isotropes avec raidisseurs circonférentiels .....</b>	<b>60</b>
<b>A.5.4</b>	<b>Parois nervurées circonférentiellement avec raidisseurs méridiens .....</b>	<b>60</b>
<b>A.5.5</b>	<b>Parois nervurées axialement avec raidisseurs annulaires .....</b>	<b>64</b>
<b>A.5.6</b>	<b>Paroi raidie considérée comme une coque orthotrope.....</b>	<b>65</b>
<b>A.5.7</b>	<b>Propriétés orthotropes équivalentes des tôles nervurées.....</b>	<b>68</b>
<b>A.6</b>	<b>Coques sphériques non raidies sous compression circonférentielle uniforme .....</b>	<b>70</b>
<b>A.6.1</b>	<b>Notations et conditions aux limites.....</b>	<b>70</b>
<b>A.6.2</b>	<b>Contrainte critique de flambement .....</b>	<b>71</b>
<b>A.6.3</b>	<b>Paramètre de flambement circonférentiel.....</b>	<b>71</b>
<b>Annexe B (informative)</b>	<b>Expressions pour l'analyse du flambement des coques toriconiques et torisphériques.....</b>	<b>73</b>
<b>B.1</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>73</b>
<b>B.2</b>	<b>Notations et conditions aux limites.....</b>	<b>73</b>
<b>B.3</b>	<b>Pression externe.....</b>	<b>74</b>
<b>B.3.1</b>	<b>Pression externe critique.....</b>	<b>74</b>
<b>B.3.2</b>	<b>Pression externe uniforme d'écrasement limite .....</b>	<b>75</b>
<b>B.3.3</b>	<b>Paramètre de pression externe de flambement .....</b>	<b>76</b>
<b>B.4</b>	<b>Pression interne .....</b>	<b>77</b>
<b>B.4.1</b>	<b>Pression interne critique .....</b>	<b>77</b>
<b>B.4.2</b>	<b>Pression interne uniforme d'écrasement limite .....</b>	<b>78</b>
<b>B.4.3</b>	<b>Paramètre de pression interne de flambement .....</b>	<b>79</b>

## **Avant-propos**

Le présent document (EN 1999-1-5:2007) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 250 « Eurocodes structuraux », dont le secrétariat est tenu par BSI.

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

Le CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes Structuraux.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application :

Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

## **Contexte du programme Eurocodes**

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

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

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

En 1989, la Commission et les États membres de l'Union européenne et de l'AELE décidèrent, sur la base d'un accord<sup>1</sup> entre la Commission et le CEN, de transférer à ce dernier, par une série de Mandats, la préparation et la publication des Eurocodes, afin de leur donner par la suite le statut de norme européenne (EN). Ceci établit de facto un lien entre les Eurocodes et les dispositions de toutes les Directives du Conseil et/ou Décisions de la Commission concernant les normes européennes (par exemple, la Directive du Conseil 89/106/CEE sur les Produits de Construction — DPC — et les Directives du Conseil 93/37/CEE, 92/50/CEE et 89/440/CEE sur les marchés publics de travaux et services, ainsi que les Directives équivalentes de l'AELE destinées à la mise en place du marché intérieur).

---

<sup>1</sup> Accord entre la Commission des Communautés européennes et le Comité européen de normalisation (CEN) concernant le travail sur les EUROCODES pour le calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil (BC/CEN/03/89).