

---

***norme belge  
enregistrée***

**NBN EN 1993-1-6**

2e éd., août 2007

**Indice de classement: B 51**

---

**Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-6: Résistance et stabilité des structures en coque (+ AC:2009)**

Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies (+ AC:2009)

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures (+ AC:2009)

---

**Autorisation de publication: 30 mai 2007**

Remplace NBN ENV 1993-1-6 (1999).

La présente norme européenne EN 1993-1-6:2007 a le statut d'une norme belge.

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

Une version en néerlandais, ayant le même statut que les versions officielles, est également disponible au NBN.

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 1993-1-6**

2e uitg., augustus 2007

**Normklasse: B 51**

## **Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies (+ AC:2009)**

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-6: Résistance et stabilité des structures en coque (+ AC:2009)

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures (+ AC:2009)

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

Vervangt NBN ENV 1993-1-6 (1999).

Deze Europese norm EN 1993-1-6:2007 heeft de status van een Belgische norm.

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

Er is bij het NBN ook een Nederlandstalige versie beschikbaar, die dezelfde status heeft als de officiële versies.

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 1993-1-6:2007

1. La norme NBN EN 1993-1-6:2007 "Eurocode 3 – Calcul des structures en acier - Partie 1-6 : Résistance et stabilité des structures en coque" comprend l'annexe nationale NBN EN 1993-1-6 ANB:2011 qui a un caractère normatif en Belgique. Elle remplace à partir de la date de publication au Moniteur Belge de l'homologation de la norme NBN EN 1993-1-6 ANB:2011 la norme suivante:

NBN ENV 1993-1-6:1999                      Eurocode 3 : Calcul des structures en acier –  
Partie 1-6 : Règles générales - Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coque".

Le corrigendum EN 1993-1-6/AC:2009, tel que publié par le CEN, est joint à cette norme.

2. La version en langue française de l'EN 1993-1-6:2007 a été rédigée en France par l'AFNOR.  
En conséquence, on peut y rencontrer certaines expressions d'usage moins courant en Belgique.

Une liste de termes équivalents est donnée ci-après :

Terme de l'EN 1993-1-6	Terme équivalent en Belgique
Aucun terme n'est repris.	

# NATIONAAL VOORWOORD VAN NBN EN 1993-1-6:2007

1. De norm NBN EN 1993-1-6:2007 «Eurocode 3 – Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies» omvat de nationale bijlage NBN EN 1993-1-6 ANB:2011 met een normatief karakter in België. Hij vervangt vanaf de datum van de publicatie in het Belgische Staatsblad van de bekrachtiging van de norm NBN EN 1993-1-6 ANB:2011 de volgende norm:

NBN ENV 1993-1-6:1999 Eurocode 3 – Ontwerp van stalen draagsystemen -  
Deel 1-6: Algemene regels – Aanvullende regels  
voor schalenbouw

Het corrigendum EN 1993-1-6/AC:2009, zoals door CEN gepubliceerd, is na deze norm toegevoegd.

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

Vermelde norm	Nederlandstalige titel (NBN)
EN 1090-2 Execution of steel structures and aluminium structures  Part 2: Technical requirements for steel structures	NBN EN 1090-2 Uitvoering van staalconstructies en aluminiumconstructies  Deel 2: Technische eisen voor staalconstructies
EN 1990 Basis of structural design	NBN EN 1990 Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp
EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures	NBN EN 1991 Eurocode 1 : Belastingen op constructies
EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures  Part 1.1: General rules and rules for buildings	NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies  Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures  Part 1.3: Cold formed thin gauged members and sheeting	NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies  Deel 1-3: Algemene regels - Aanvullende regels voor koudgevormde profielen en platen

<p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.4: Stainless steels</p>	<p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvast staal</p>
<p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.5: Plated structural steels</p>	<p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-5: Algemene regels - Constructieve plaatvelden</p>
<p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.9: Fatigue strength of steel structures</p>	<p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-9: Algemene regels - Vermoeiing</p>
<p>EN 1993 Eurocode 3 : Design of steel structures</p> <p>Part 1.10: Selection of steel for fracture toughness and through-thickness properties</p>	<p>NBN EN 1993 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies</p> <p>Deel 1-10: Algemene regels - Materiaaltaaiheid en eigenschappen in de dikterichting</p>



Version Française

## Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-6: Résistance et stabilité des structures en coque

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von  
Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6: Strength  
and Stability of Shell Structures

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 12 juin 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>5</b>
1.1 <b>Objet.....</b>	<b>5</b>
1.2 <b>Références normatives .....</b>	<b>7</b>
1.3 <b>Termes et définitions.....</b>	<b>8</b>
1.4 <b>Symboles .....</b>	<b>14</b>
1.5 <b>Conventions de signes .....</b>	<b>18</b>
<b>2 Base de calcul et de modélisation .....</b>	<b>18</b>
2.1 <b>Généralités .....</b>	<b>18</b>
2.2 <b>Types d'analyse .....</b>	<b>19</b>
2.3 <b>Conditions aux limites des coques.....</b>	<b>21</b>
<b>3 Matériaux et géométrie.....</b>	<b>22</b>
3.1 <b>Caractéristiques des matériaux .....</b>	<b>22</b>
3.2 <b>Valeurs de calcul des données géométriques.....</b>	<b>22</b>
3.3 <b>Tolérances géométriques et imperfections géométriques .....</b>	<b>23</b>
<b>4 États limites ultimes dans les coques en acier .....</b>	<b>23</b>
4.1 <b>États limites ultimes à considérer.....</b>	<b>23</b>
4.2 <b>Principes des justifications pour le calcul aux états limites des coques.....</b>	<b>26</b>
<b>5 Sollicitations et contraintes dans les coques.....</b>	<b>29</b>
5.1 <b>Sollicitations dans les coques .....</b>	<b>29</b>
5.2 <b>Modélisation de la coque en vue de l'analyse .....</b>	<b>29</b>
5.3 <b>Type d'analyse .....</b>	<b>31</b>
<b>6 État limite plastique (EL1).....</b>	<b>31</b>
6.1 <b>Valeurs de calcul des actions.....</b>	<b>31</b>
6.2 <b>Calcul des contraintes .....</b>	<b>32</b>
6.3 <b>Calcul par analyse numérique globale MNA ou GMNA .....</b>	<b>33</b>
6.4 <b>Calcul direct .....</b>	<b>34</b>
<b>7 État limite de plasticité cyclique (EL2) .....</b>	<b>34</b>
7.1 <b>Valeurs de calcul des actions.....</b>	<b>34</b>
7.2 <b>Calcul des contraintes .....</b>	<b>34</b>
7.3 <b>Calcul par analyse numérique globale MNA ou GMNA .....</b>	<b>35</b>
7.4 <b>Calcul direct .....</b>	<b>36</b>
<b>8 État limite de voilement (EL3).....</b>	<b>36</b>
8.1 <b>Valeurs de calcul des actions.....</b>	<b>36</b>
8.2 <b>Définitions et symboles particuliers.....</b>	<b>36</b>
8.3 <b>Conditions aux limites concernant le voilement .....</b>	<b>37</b>
8.4 <b>Tolérances géométriques concernant le voilement.....</b>	<b>37</b>
8.5 <b>Calcul des contraintes .....</b>	<b>44</b>
8.6 <b>Calcul par analyse numérique globale utilisant les analyses MNA et LBA.....</b>	<b>47</b>
8.7 <b>Calcul par analyse numérique globale utilisant l'analyse GMNIA .....</b>	<b>50</b>
<b>9 État limite de fatigue (EL4).....</b>	<b>55</b>
9.1 <b>Valeurs de calcul des actions.....</b>	<b>55</b>
9.2 <b>Calcul des contraintes .....</b>	<b>55</b>
9.3 <b>Calcul par analyse numérique globale LA ou GNA.....</b>	<b>57</b>
<b>Annexe A (normative) Contraintes de membrane théoriques dans les coques .....</b>	<b>58</b>



<b>Annexe B (normative) Expressions supplémentaires pour les résistances à l'effondrement plastique.....</b>	<b>63</b>
<b>Annexe C (normative) Expressions pour les contraintes élastiques linéairesde membrane et de flexion .....</b>	<b>73</b>
<b>Annexe D (normative) Expressions pour le calcul des contraintes de voilement à l'état limite.....</b>	<b>85</b>

## **Avant-propos**

Le présent document (EN 1993-1-6:2007) Eurocode 3 : Calcul des structures en acier - Partie 1-6 : résistance et stabilité des structures en coque a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 250 "Eurocodes structuraux", dont le secrétariat est tenu par BSI. Le CEN/TC 250 est chargé de gérer tous les Eurocodes structuraux.

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 présent document remplace l'ENV 1993-1-6:1999.

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.

## Annexe nationale à l'EN 1993-1-6

La présente norme fournit des procédures, valeurs et recommandations alternatives avec des notes spécifiant où il convient de faire des choix d'applications nationales. Pour cette raison, il convient que la Norme nationale appliquant l'EN 1993-1-6 soit pourvue d'une Annexe nationale contenant tous les paramètres déterminés sur le plan national devant être utilisés pour le calcul des structures en acier à construire dans le pays correspondant.

Le choix national est autorisé dans l'EN 1993-1-6 pour :

- 3.1.(4)
- 4.1.4 (3)
- 5.2.4 (1)
- 6.3 (5)
- 7.3.1 (1)
- 7.3.2 (1)
- 8.4.2 (3)
- 8.4.3 (2)
- 8.4.3 (4)
- 8.4.4 (4)
- 8.4.5 (1)
- 8.5.2 (2)
- 8.5.2 (4)
- 8.7.2 (7)
- 8.7.2 (16)
- 8.7.2 (18) (2 fois)
- 9.2.1 (2)P

## 1 Généralités

### 1.1 Objet

(1) L'EN 1993-1-6 établit les règles générales de calcul pour les structures en plaques d'acier ayant la forme d'une coque de révolution.

(2) La présente Norme est destinée à être utilisée en conjonction avec les EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-4, EN 1993-1-9 et avec les parties applicatives appropriées de l'EN 1993, à savoir :

- la Partie 3.1 pour les pylônes et mâts ;

## EN 1993-1-6:2007 (F)

- la Partie 3.2 pour les cheminées ;
- la Partie 4.1 pour les silos ;
- la Partie 4.2 pour les réservoirs ;
- la Partie 4.3 pour les tuyauteries.

(3) La présente Norme définit les valeurs caractéristiques et de calcul de la résistance de la structure.

(4) La présente Norme énonce les exigences pour le calcul aux états limites ultimes de :

- plastification ;
- plasticité cyclique ;
- voilement ;
- fatigue.

(5) L'équilibre global de la structure (glissement, soulèvement, renversement) n'est pas considéré dans la présente Norme, mais est traité dans l'EN 1993-1-1. Des considérations particulières concernant des applications spécifiques figurent dans les parties applicatives appropriées de l'EN 1993.

(6) Les dispositions de la présente Norme s'appliquent aux coques axisymétriques ainsi qu'aux plaques annulaires ou circulaires, poutres annulaires et raidisseurs verticaux associés lorsqu'ils font partie de la structure complète. Les procédures générales pour les calculs sur ordinateur de toutes les formes de coques sont couvertes. Les expressions détaillées pour le calcul manuel des cylindres et cônes non raidis sont données en Annexes.

(7) Les panneaux cylindriques et coniques ne sont pas explicitement couverts par la présente Norme. Cependant, les dispositions peuvent être applicables si les conditions aux limites appropriées sont dûment prises en compte.

(8) La présente Norme est destinée à être appliquée aux structures de coques en acier. Cependant, s'il n'existe pas de Norme pour des structures réalisées avec d'autres matériaux, ces dispositions peuvent s'appliquer à d'autres coques à condition que les caractéristiques appropriées des matériaux soient dûment prises en compte.

(9) Les dispositions de la présente Norme sont destinées à être appliquées dans la plage de température définie dans les parties applicatives appropriées de l'EN 1993. La température maximale est limitée de façon à pouvoir négliger les effets du fluage si les effets du fluage à haute température ne sont pas couverts par la partie applicative appropriée.

(10) Les dispositions de la présente Norme s'appliquent aux structures qui satisfont aux dispositions concernant la rupture fragile données dans l'EN 1993-1-10.

(11) Les dispositions de la présente Norme s'appliquent au calcul structural sous l'effet des actions qui peuvent être traitées comme essentiellement quasi-statiques.

(12) Dans la présente Norme, on suppose que les charges de vent et les flux de matières en vrac peuvent, en général, être traitées comme des actions quasi-statiques.

(13) Il convient de prendre en compte les effets dynamiques conformément à la partie appropriée de l'EN 1993, y compris les conséquences pour la fatigue. Cependant, les sollicitations provoquées par le comportement dynamique sont traitées dans cette partie comme quasi-statiques.

(14) Les dispositions de la présente Norme s'appliquent aux structures qui sont construites conformément à l'EN 1090-2.

(15) La présente Norme ne couvre pas les aspects concernant aux fuites.

(16) La présente Norme s'applique aux structures dans les limites suivantes :

- températures de calcul du métal se situant dans la plage de  $- 50\text{ °C}$  à  $+ 300\text{ °C}$  ;
- ratios rayon-épaisseur se situant dans la plage de 20 à 5 000.

NOTE Il convient de noter que les règles de calcul des contraintes de cette Norme peuvent être plutôt conservatoires lorsqu'elles sont appliquées à certaines géométries et conditions de charge pour des coques à paroi relativement épaisse.

## 1.2 Références normatives

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

EN 1090-2	<i>Structures en acier et structures en aluminium — Partie 2 : Exigences techniques pour l'exécution des structures en acier</i>
EN 1990	<i>Base de calcul des structures</i>
EN 1991	<i>Eurocode 1 : Actions sur les structures</i>
EN 1993	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier</i>
Partie 1.1 :	<i>Règles générales et règles pour les bâtiments</i>
Partie 1.3 :	<i>Profilés et plaques à parois minces formés à froid</i>
Partie 1.4 :	<i>Aciers inoxydables</i>
Partie 1.5 :	<i>Plaques planes</i>
Partie 1.9 :	<i>Fatigue</i>
Partie 1.10 :	<i>Choix des aciers</i>
Partie 1.12 :	<i>Règles supplémentaires pour l'extension de l'EN 1993 à des nuances d'acier allant jusqu'à S 700</i>
Partie 2 :	<i>Ponts métalliques</i>
Partie 3.1 :	<i>Pylônes et mâts</i>
Partie 3.2 :	<i>Cheminées</i>
Partie 4.1 :	<i>Silos</i>