

normalisation française

FD ENV 1993-4-3

Mai 2002

Indice de classement : P 22-343

ICS : 91.080.10

Eurocode 3

Calcul des structures en acier

Partie 4-3 : Silos, réservoirs et canalisations — Canalisations

E : Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 4-3: Silos, tanks and pipelines
— Pipelines

D : Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4-3: Silos,
Tankbauwerke und Rohrleitungen — Rohrleitungen

Fascicule de documentation

publié par AFNOR en mai 2002.

Correspondance

Le présent document reproduit intégralement la Prénorme européenne
ENV 1993-4-3:1999.

Analyse

Le présent document traite des principes et des règles d'application pour le calcul des structures des canalisations cylindriques en acier pour le transport de liquides ou de gaz ou de mélanges de liquides et de mélanges gazeux aux températures ambiantes, qui ne sont pas traités dans d'autres normes européennes couvrant des applications particulières.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : bâtiment, génie civil, construction métallique, acier de construction, canalisation de fluide, définition, symbole, calcul, résistance des matériaux, fiabilité, soudure, contrainte, rupture, déformation, vérification.

Modifications

Corrections

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, avenue Francis de Pressensé — 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex
Tél. : + 33 (0)1 41 62 80 00 — Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.fr



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	BRAHAM	ASTRON BUILDING SYSTEMS
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	GRIMAULT	TUBEUROP FRANCE
M	KRUPPA	CTICM
M	IZABEL	SNPPA
M	LAMADON	BUREAU VERITAS
M	LAPEYRE	C.E.P.
M	LE CHAFFOTEC	SOCOTEC
M	MAITRE	SOCOTEC
M	MARTIN	SNCF
M	MOUTY	
M	PAMIES	CETEN APAVE
MME	PATROUILLEAU	AFNOR
MME	PECHENARD	AFFIX
M	PERNIER	MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DU TRANSPORT ET DU TOURISME
M	PESCATORE	BNCM
MME	PETROVA	S.F.J.F.
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

Le présent document traite du dimensionnement des tuyauteries enterrées en acier, non couvertes par des normes relatives à des applications particulières.

Il a été décidé de ne pas établir de Document d'Application Nationale (D.A.N.).

Les observations concernant le présent fascicule de documentation sont à adresser au BNCM / CTICM, Domaine de Saint-Paul — Bâtiment 6 — 102, route de Limours — 78471 Saint-Rémy-Lès-Chevreuse.

Liste des normes et textes normatifs de référence

Normes européennes ou internationales publiées		Normes pouvant être appliquées avec l'ENV	
Désignation	Intitulé	Désignation	Intitulé
EN 1011	Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques — Lignes directrices générales pour le soudage à l'arc	NF EN 1011-1 A 89-101-1	Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques — Lignes directrices générales pour le soudage à l'arc
ENV 1090	Exécution des structures en acier	FD ENV 1090-1 XP P 22 501-1	Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
EN 1295-1	Calcul de résistance mécanique des canalisations enterrées sous diverses conditions de charge — Partie 1 : Prescriptions générales	NF EN 1295-1 P 16-120	Calcul de résistance mécanique des canalisations enterrées sous diverses conditions de charge — Partie 1 : Prescriptions générales
EN 1594	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service supérieure à 16 bar — Prescriptions fonctionnelles	NF EN 1594 M 50-009	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service supérieure à 16 bar — Prescriptions fonctionnelles
ENV 1991-1	Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures — Partie 1 : Bases de calcul	XP ENV 1991-1 P 06-101	Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale— Partie 1 : Bases de calcul
ENV 1991-2-1	Eurocode 1 : Partie 2-1 : Poids volumiques, poids propre et charges d'exploitation	XP ENV 1991-2-1 P 06-102-1	Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 2-1 : Poids volumiques, poids propre et charges d'exploitation
ENV 1991-2-2	Eurocode 1 : Partie 2-2 : Actions sur les structures exposées au feu	XP ENV 1991-2-2 P 06-102-2	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
ENV 1991-2-3	Eurocode 1 : Partie 2-3 : Charges de neige	XP ENV 1991-2-3 P 06-102-3	Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 2-3 : Charges de neige
ENV 1991-2-4	Eurocode 1 : Partie 2-4 : Actions du vent	XP ENV 1991-2-4 P 06-102-4	Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale — Partie 2-4 : Actions du vent
ENV 1991-2-5	Eurocode 1 : Partie 2-5 : Actions thermiques		
ENV 1991-4	Eurocode 1 : Partie 4 : Actions dans les silos et réservoirs	FD ENV 1991-4 P 06-104	Eurocode 1 : Partie 4 : Actions dans les silos et réservoirs
ENV 1993-1-1	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments	XP ENV 1993-1-1 P 22-311	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale — Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments
ENV 1993-1-3	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-3 : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid	XP ENV 1993-1-3 P 22-313	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
ENV 1993-1-6	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-6 : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coque	FD ENV 1993-1-6 ¹⁾ P 22-316	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-6 : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coque
ENV 1993-1-7	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-7 : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en plaques raidies chargées hors de leur plan	FD ENV 1993-1-7 ¹⁾ P 22-317	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-7 : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en plaques raidies chargées hors de leur plan
ENV 1993-4-1	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 4-2 : Silos, réservoirs et canalisations — Silos	FD ENV 1993-4-1 ¹⁾ P 22-341	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 4-2 : Silos, réservoirs et canalisations — Silos
ENV 1993-4-2	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 4-2 : Silos, réservoirs et canalisations — Réservoirs	FD ENV 1993-4-2 ¹⁾ P 22-342	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 4-2 : Silos, réservoirs et canalisations — Réservoirs

Normes européennes ou internationales publiées		Normes pouvant être appliquées avec l'ENV	
Désignation	Intitulé	Désignation	Intitulé
ENV 1997	Eurocode 7 : Calcul géotechnique	XP ENV 1997-1 P 94-250-1	Eurocode 7 : Calcul géotechnique — Partie 1 : Règles générales
ENV 1998-4	Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes — Partie 4 : Silos, réservoirs et canalisations	X P ENV 1998-4 ¹⁾ P 06-034	Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes et document d'application nationale — Partie 4 : Silos, réservoirs et canalisations
EN 10208-1	Tubes en acier pour conduites de fluides combustibles — Partie 1 : Conditions techniques de livraison	NF EN 10208-1 A 49-404-1	Tubes en acier pour conduites de fluides combustibles — Partie 1 : Conditions techniques de livraison
EN 10208-2	Tubes en acier pour conduites de fluides combustibles — Conditions techniques de livraison — Partie 2 : Tubes de la classe de prescription B	NF EN 10208-2 A 49-404-2	Tubes en acier pour conduites de fluides combustibles — Conditions techniques de livraison — Partie 2 : Tubes de la classe de prescription B
EN 12007-1	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service inférieure ou égale à 16 bar — Partie 1 : Recommandations fonctionnelles générales	NF EN 12007-1 M 50-005-1	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service inférieure ou égale à 16 bar — Partie 1 : Recommandations fonctionnelles générales
EN 12007-2	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service inférieure ou égale à 16 bar — Partie 2 : Recommandations fonctionnelles spécifiques pour le polyéthylène (MOP inférieure à 10 bar)	NF EN 12007-2 M 50-005-2	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service inférieure ou égale à 16 bar — Partie 2 : Recommandations fonctionnelles spécifiques pour le polyéthylène (MOP inférieure à 10 bars)
EN 12007-3	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service inférieure ou égale à 16 bar — Partie 3 : Recommandations fonctionnelles particulières pour l'acier	NF EN 12007-3 M 50-005-3	Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service inférieure ou égale à 16 bar — Partie 3 : Recommandations fonctionnelles particulières pour l'acier
EN 12732	Systèmes d'alimentation en gaz — Soudage des tuyauteries en acier — Prescriptions fonctionnelles	NF EN 12732 M 50-022	Systèmes d'alimentation en gaz — Soudage des tuyauteries en acier — Prescriptions fonctionnelles
ISO 1000	Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités	NF X 02-006	Normes fondamentales — Le système international d'unités — Description et règles d'emploi — Choix de multiples et sous-multiples
ISO 3183-1	Industries du pétrole et du gaz naturel — Tubes en acier pour le transport des fluides combustibles — Conditions techniques de livraison — Partie 1 : Tubes de la classe de prescription A		
ISO 3183-2	Industries du pétrole et du gaz naturel — Tubes en acier pour le transport des fluides combustibles — Conditions techniques de livraison — Partie 2 : Tubes de la classe de prescription B		
ISO 3183-3	Industries du pétrole et du gaz naturel — Tubes en acier pour le transport des fluides combustibles — Conditions techniques de livraison — Partie 3 : Tubes de la classe de prescription C		
ISO 13623	Industries du pétrole et du gaz naturel — Systèmes de transport par conduites		
ISO 13847	Industries du pétrole et du gaz naturel — Conduites pour systèmes de transport — Soudage des conduites		

1) En préparation.

Version française

**Eurocode 3 —
Calcul des Structures en acier —
Partie 4-3 : Silos réservoirs et canalisations — Canalisations**

Eurocode 3 —
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten —
Teil 4-3: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen —
Rohrleitungen

Eurocode 3 —
Design of steel structures —
Part 4-3: Silos, tanks and pipelines —
Pipelines

La présente norme européenne a été adoptée par le CEN le 25 décembre 1998.

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 Secrétariat Central ou auprès des membres du CEN.

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

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
Avant-propos	3
1 Généralités	6
2 Bases du calcul	12
3 Propriétés des matériaux	14
4 Actions	15
5 Analyses	16
6 Aspects relatifs à la fabrication et au montage dans le calcul des structures	20
Annexe A (informative) Analyses des résistances, déformations et contraintes des canalisations enterrées	21
Annexe B (informative) Références aux normes nationales et guides pour le calcul	26
Annexe C (informative) Références	27

Avant-propos

Le présent document a été préparé par le CEN/TC 250 «Eurocodes structuraux».

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus d'annoncer cette Prénorme européenne : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

Objectifs des Eurocodes

- (1) Les Eurocodes Structuraux regroupent un ensemble de normes élaborées pour le calcul structural et géotechnique des bâtiments et ouvrages de génie civil.
- (2) Ils ne traitent de l'exécution et du 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 adoptées dans 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 leur comportement soit disponible, quelques-uns des Eurocodes Structuraux couvrent certains de ces aspects dans des annexes informatives.

Historique du programme 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 reçurent alors le nom d'«Eurocodes Structuraux».
- (5) En 1990, après consultation de ses États membres respectifs, 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 de s'associer au travail du CEN.
- (6) Le Comité Technique CEN/TC 250 du CEN est chargé de tous les Eurocodes Structuraux.

Programme Eurocodes

- (7) Les travaux sont en cours sur les Eurocodes Structuraux suivants, chacun d'eux étant en général 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 mentionnés ci-dessus.
- (9) La présente Partie 4-3 de l'ENV 1993 est publiée par le CEN en tant que prénorme Européenne (ENV) pour une durée 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 pour la détermination des actions futures.

(12) Dans l'intervalle, les réactions et commentaires concernant la présente prénorme devront être adressés au Secrétariat du CEN/TC 250/SC 3 à l'adresse suivante :

BSI Standards
British Standards House
389 Chiswick High Road
London W4 4AL
England

ou à votre organisme national de normalisation.

Documents d'Application Nationale (DAN)

(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 («valeurs encadrées»). 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 des normes européennes ou internationales de référence indispensables peuvent ne pas être disponibles au moment de la publication de cette prénorme. Il est par conséquent prévu qu'un Document d'Application Nationale (DAN) donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité, faisant référence aux normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de cette prénorme, soit publié par chaque État membre ou son organisme de normalisation.

(15) il est prévu que cette prénorme soit utilisée conjointement avec le DAN en vigueur dans le pays où le bâtiment ou l'ouvrage de génie civil est situé

Points spécifiques à cette prénorme

(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 :
- ENV 1993-4-1 Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coque ;
- ENV 1993-1-7 Règles générales : Règles supplémentaires pour les plaques planes raidies chargées hors de leur plan ;
- 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 prénorme donne des méthodes de calcul des structures à l'état limite de déformation pour les canalisations conformément aux principes adoptés par le CEN/TC 250.

(18) En vertu de la Résolution du CEN BTS1 11/1992 — Révision 1995, le CEN/TC 250 a la responsabilité d'ensemble des règles de calcul des structures dans les domaines de la construction et du génie civil.

(19) Lors de la préparation de cette prénorme, il a été reconnu que les présentes Normes européennes pouvaient ne pas couvrir tous les aspects pertinents de la conception, de l'exécution, etc. des canalisations. Dans l'intervalle, il peut donc être fait référence à des normes internationales, nationales ou à d'autres normes.

(20) Les méthodes de calcul dont traite cette prénorme impliquent des propriétés de matériaux qui peuvent ne pas être encore bien traitées dans les normes de référence à disposition. En conséquence, dans cette prénorme, des exigences fonctionnelles concernant les conduites sont données en termes de :

- résistance (limite d'élasticité, résistance ultime, élasticité au coefficient de rupture) ;
- exigence de recouvrement pour les soudures ;
- ductilité, du matériau de base et du métal de soudure, avec, y compris, les effets dus aux discontinuités de soudure.

1 Généralités

1.1 Objet

(1) La partie 4.3 de l'Eurocode 3 traite des principes et des règles d'application pour le calcul des structures des canalisations cylindriques en acier pour le transport de liquides ou de gaz ou de mélanges de liquides et de mélanges gazeux aux températures ambiantes, qui ne sont pas traités dans d'autres normes européennes couvrant des applications particulières.

(2) Il convient d'utiliser à cette fin des normes traitant des applications spécifiques de canalisation, notamment :

- prEN 805 pour les réseaux d'alimentation en eau ;
- prEN 1295 pour les canalisations enterrées sous diverses conditions de charge ;
- prEN 1594 pour les canalisations pour pressions de service supérieures à 16 bar ;
- prEN 12007 pour les réseaux d'alimentation en gaz pour pressions de service jusque et y compris 16 bar ;
- prEN 12732 pour les réseaux d'alimentation en gaz — Soudage des tuyauteries en acier ;
- prEN xxxx pour les canalisations d'eaux usées ;
- prEN yyyy pour les canalisations pour le chauffage urbain ;
- prEN zzzz pour les canalisations industrielles ;
- ISO/DIS 13623 pour les systèmes de transport par conduites dans les industries du pétrole et du gaz naturel.

(3) Les règles relatives aux exigences particulières du calcul de la résistance aux séismes sont traitées dans l'ENV 1998-4 (Eurocode 8 : Partie 4 «Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes : Silos, réservoirs et canalisations») qui complète spécifiquement les règles de l'Eurocode 3 dans ce domaine.

(4) Cette prénorme est limitée aux canalisations enterrées, correspondant au domaine d'application de l'Eurocode 8 : Partie 4 pour les canalisations. Elle concerne en particulier :

- Les canalisations enterrées dans des zones d'habitation et dans des zones non habitées ;
- les canalisations enterrées traversant des digues, des routes, des voies ferrées et des canaux.

(5) Le calcul des canalisations porte sur différents aspects notamment, le tracé, les systèmes de pression de sécurité, la protection contre la corrosion, la construction, le soudage, le fonctionnement et l'entretien. Concernant des aspects autres que la conception et le dimensionnement des structures de la canalisation proprement dite, il convient de faire référence aux normes européennes pertinentes indiquées dans la liste donnée en 1.3. Il en va de même pour les éléments comme les appareils de robinetterie, les raccords, les assemblages isolants, les tés et les bouchons.

(6) Les canalisations comprennent d'ordinaire plusieurs installations auxiliaires comme les stations de pompage, les centres de commande, les stations d'entretien, etc., chacune équipée de différents types d'appareillage mécanique et électrique. Étant donné que ces installations ont une influence importante sur la continuité de fonctionnement du système, il est nécessaire de les prendre en compte de façon adéquate dans le mode de calcul de manière à répondre à l'ensemble des exigences de fiabilité. Ces installations ne sont toutefois pas explicitement traitées dans le domaine d'application de cette prénorme.

(7) Même si les canalisations de grand diamètre font partie du domaine d'application de cette prénorme, il convient de ne pas utiliser les critères de calcul correspondants pour des installations apparemment similaires comme les tunnels ferroviaires et les grands réservoirs à gaz souterrains.

(8) Les dispositions contenues dans cette prénorme ne sont pas nécessairement exhaustives pour certaines applications spécifiques. Dans ces cas précis, il convient d'adopter des dispositions complémentaires particulières aux applications concernées.

(9) Cette prénorme spécifie les exigences concernant les propriétés des matériaux des plaques et soudures en termes de résistance et de ductilité. Pour obtenir des lignes directrices et exigences détaillées concernant les matériaux et les soudures, il convient de se reporter aux normes pertinentes indiquées dans la liste figurant en 1.3.

(10) Le domaine d'application de cette prénorme est limité aux nuances d'acier ayant une limite d'élasticité minimale ne dépassant pas 690 N/mm^2 .

1.2 Distinction entre principes et règles d'application

(1)P En fonction du caractère de chaque paragraphe, 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 de paragraphe.

(4)P Les règles d'application sont en général des règles reconnues qui suivent les principes et qui satisfont leurs exigences. On peut utiliser d'autres règles de calcul différentes des règles d'application données dans l'Eurocode, à condition qu'il soit démontré que ces autres règles respectent les principes concernés et garantissent une fiabilité au moins égale.

(5) Dans la présente Partie, les règles d'application sont identifiées par un numéro entre parenthèses, comme dans le présent paragraphe.

1.3 Références normatives

Cette Prénorme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette Prénorme européenne que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

EN 1011, *Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques — Lignes directrices générales pour le soudage à l'arc.*

ENV 1090, *Exécution des structures en acier.*

prEN 1295, *Calcul de résistance mécanique des canalisations enterrées sous diverses conditions de charge — Partie 1 : Prescriptions générales.*

prEN 1594, *Systèmes d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service supérieure à 16 bar — Prescriptions fonctionnelles.*

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

Partie 1 : *Bases du calcul.*

Partie 2.1 : *Densités, poids propres 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.*

Partie 4 : *Actions dans les silos et réservoirs.*

ENV 1993, *Eurocode 3 : Calcul des structures en acier :*

Partie 1.1 : *Règles générales et règles pour les bâtiments.*

Partie 1.3 : *Règles générales — Règles supplémentaires pour les profils et plaques à parois minces formés à froid.*

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 raidies chargées hors de leur plan.*

Partie 4.1 : *Silos.*

Partie 4.2 : *Réservoirs.*

ENV 1997, *Eurocode 7 : Calcul géotechnique.*

ENV 1998, *Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes :*
Partie 4 : *Silos, réservoirs et canalisations.*

prEN 10208, *Tubes en acier pour conduites de fluides combustibles (1993).*

prEN 10208, *Partie 1 : Tubes de la classe de prescription A.*

EN 10208, *Partie 2 : Tubes de la classe de prescription B.*

prEN 12007, *Réseaux d'alimentation en gaz — Canalisations pour pression maximale de service inférieure ou égale à 16 bar.*

Partie 1 : *Recommandations fonctionnelles générales.*

Partie 2 : *Recommandations fonctionnelles particulières pour le polyéthylène.*

Partie 3 : *Recommandations fonctionnelles particulières pour l'acier.*

prEN 12732, *Réseaux d'alimentation en gaz — Soudage des tuyauteries en acier — Prescriptions fonctionnelles.*

prEN xxxx, *Calcul, conception et montage de tubes étanches pour le chauffage urbain.*

prEN yyyy, Normes préparées par le CEN/TC 165 : *Techniques des eaux résiduaires.*

prEN zzzz, Normes préparées par le CEN/TC 207 : *Tuyauteries industrielles.*

ISO 1000, *Unités SI.*

ISO 3183, *Tubes en acier pour le transport des fluides combustibles (1996.)*

Partie 1 : *Tubes de la classe de prescription A.*

Partie 2 : *Tubes de la classe de prescription B.*

Partie 3 : *Tubes de la classe de prescription C.*

ISO/DIS 13623, *Systèmes de transport par conduites pour les industries du pétrole et du gaz naturel.*

ISO/DIS 13847, *Conduites pour système de transport — Soudage des conduites (1996).*

Partie 1 : *Soudage des conduites sur le chantier.*

Partie 2 : *Soudage des conduites en atelier.*

NOTE 1 Le prEN 1295, qui concerne l'assainissement et l'alimentation en eau, traite essentiellement des principes ; les formules ne sont présentées qu'en annexe.

NOTE 2 Le prEN 1594 est applicable aux canalisations neuves ayant une pression maximale de service (MOP) supérieure à 16 bar pour le transport de gaz naturel épuré non toxique et non corrosif selon l'ISO/DIS 13686 dans les systèmes de livraison du gaz terrestre. Il est préparé par le GT 3 du CEN/TC 234 «Fourniture de gaz».

NOTE 3 Pour obtenir des références plus complètes sur la livraison du gaz, le transport du gaz, le stockage du gaz, etc., se reporter au prEN 1594.

NOTE 4 Le prEN 12007 a également été préparé par le CEN/TC 234.

NOTE 5 Le prEN xxxx qui concerne le chauffage urbain a été préparé par un GT mixte du CEN/TC 107 et du CEN/TC 267.

NOTE 6 L'ISO/DIS 13623 est préparé par le SC2 «Système de transport par conduites pour les industries du pétrole et du gaz naturel» du TC 67 «Matériels, équipement et structures en mer, pour les industries du pétrole et du gaz naturel».

1.4 Définitions

(1) Les termes qui sont définis dans l'ENV 1991-1 pour un usage commun dans les Eurocodes traitant des structures sont applicables à cette Partie 4-3 de l'ENV 1993.

(2) Sauf indication contraire, les définitions de l'ISO 9830 sont également applicables pour cette Partie 4.3.

(3) En complément à la partie 1 de l'ENV 1993, aux fins de cette Partie 4.3, les définitions suivantes sont applicables :

1.4.1 pression : pression manométrique du gaz ou du fluide à l'intérieur du circuit, mesurée en conditions statiques

1.4.2 pression de calcul (DP) : pression pour laquelle les calculs sont effectués

1.4.3 pression de service (OP) : pression enregistrée dans un circuit en conditions normales de service

1.4.4 pression maximale de service (MOP) : pression maximale à laquelle le système fonctionne en continu dans les conditions normales

NOTE Les conditions normales se rapportent à l'absence d'anomalies dans les dispositifs ou l'écoulement.

1.4.5 température de calcul (DT) : température sur laquelle les calculs sont fondés

1.4.6 température de service (OT) : température enregistrée dans un système en conditions normales de fonctionnement

1.5 Unités SI

(1)P Les unités SI doivent être utilisées conformément à la Norme internationale ISO 1000.

(2) Les unités suivantes sont recommandées de manière systématique pour les calculs, :

- dimensions et épaisseurs :	m	mm
- poids volumique :	kN/m ³	N/mm ³
- forces et charges :	kN	N
- forces et charges de canalisation :	kN/m	N/mm
- pressions et actions réparties par surface :	kPa	MPa
- unité de masse :	kg/m ³	kg/mm ³
- accélération :	km/s ²	m/s ²
- résultantes de contrainte de membrane :	kN/m	N/mm
- résultantes de contrainte en flexion :	kNm/m	Nmm/mm
- modules de contrainte et d'élasticité :	kPa	MPa (= N/mm ²)

(3) Facteurs de conversion

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ N/m}^2 = 0,1 \text{ kPa}$$

1.6 Symboles utilisés dans la Partie 4.3 de l'Eurocode 2

1.6.1 Majuscules latines

Pour les besoins de cette prénorme, les symboles suivants sont applicables :

A	section d'un tube
C	courbure due à la flexion
D_u	diamètre extérieur
D	diamètre moyen
D	effort tranchant sur la section
E	module d'élasticité
F	effort normal dans le tube dans le sens longitudinal
M	moment fléchissant dans la canalisation assimilée à une poutre
M_p	moment plastique
M_t	moment de torsion
N	effort normal effectif dans une canalisation
Q	poussée des terres
Q_d	poussée des terres directement transmise
Q_i	poussée des terres indirectement transmise (réaction du soutènement)
Q_{eq}	poussée des terres équivalente pour transformer Q_i en une valeur Q_d qui donne les mêmes moments moyens de paroi de coque Q_i dans le sens de la circonférence
R	rayon de courbure sans contrainte

1.6.2 Minuscules latines

a	paramètre d'ovalisation
f_y	limite d'élasticité minimale spécifiée
f_u	valeur minimale spécifiée pour la résistance à la traction
m	moment de paroi de coque par largeur unitaire
m_e	moment de paroi de coque par largeur unitaire à la fin de la période de déformation
m_p	moment plastique complet par largeur unitaire de paroi de coque
m_x, m_y	moment de paroi de coque par largeur unitaire, respectivement dans le sens de la longueur et sur la circonférence
n	charge normale sur paroi de coque par largeur unitaire
n_p	charge normale plastique par largeur unitaire de paroi de coque
n_x, n_y	charge normale par largeur unitaire de paroi de coque, respectivement dans le sens de la longueur et de la circonférence
p_i	pression à l'intérieur de la canalisation (pression positive exercée vers l'extérieur)
p_u	pression à l'extérieur de la canalisation (pression négative lorsque exercée vers l'intérieur)
p	différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la canalisation $p = p_i - p_u$
r	rayon moyen d'un tube (rayon par rapport à la surface médiane)
t	épaisseur de paroi du tube
t_{min}	épaisseur de paroi minimale spécifiée (épaisseur de paroi nominale moins la tolérance spécifiée)
t_r, t_b	épaisseur de paroi du tube respectivement dans le tube droit et dans le coude

1.6.3 Lettres grecques

α, β, γ	angle de charge et angle de portée pour Q_d et pour Q_i et Q_{eq} respectivement
ΔD_v	changement dans le diamètre vertical (dans le plan du coude)
ΔD_h	changement dans le diamètre horizontal (perpendiculaire au plan du coude)
ν	coefficient de Poisson
γ_F	coefficient partiel pour les actions
γ_M	coefficient partiel pour la résistance du matériau
θ	coordonnées circonférencielles autour de la coque
σ	contrainte directe
τ	contrainte de cisaillement

1.6.4 Indices

b	flexion
k	caractéristique
min	valeur minimale autorisée
p	pression
R	résistance
u	ultime ou extérieur
y	élasticité

1.7 Terminologie

En complément à la partie 1 de l'ENV 1993 (et de la Partie 4 de l'ENV 1991), dans le cadre de la présente Partie 4.3, la terminologie suivante est applicable :

1.7.1 situation d'urgence : situation qui peut affecter la sécurité de fonctionnement de la canalisation ou la sécurité de la zone environnante nécessitant une intervention urgente

1.7.2 incident : événement imprévu risquant de conduire à une situation d'urgence ; il peut s'agir notamment d'une fuite du contenu

1.7.3 contrôle : processus de mesure, d'examen, d'essai, de relevé ou autre, destiné à déterminer l'état d'un élément d'une canalisation ou installation et à le comparer avec les exigences applicables

1.7.4 température de montage : température résultant des conditions ambiantes ou des conditions de montage durant la pose ou la construction

1.7.5 entretien : combinaison de toutes les activités techniques et administratives associées destinées à maintenir ou à remettre un élément en état de fonctionnement conforme

1.7.6 racleur : dispositif ayant différentes fonctions (selon le type de dispositif) que l'on fait passer dans une canalisation et qui est entraîné par le fluide circulant dans une conduite, notamment pour séparer des fluides, nettoyer ou inspecter l'intérieur d'une canalisation

1.7.7 canalisation : circuit de tuyauterie avec tous les équipements et stations auxiliaires jusqu'au point de livraison ; ces conduites sont essentiellement enterrées mais comprennent également toutes les parties au-dessus du sol

1.7.8 composants de canalisation : éléments avec lesquels la canalisation est construite. Les canalisations comportent différents éléments distincts, notamment :

- tube (y compris les coudes formés à froid) ;
- raccords (réducteurs, tés, coudes et courbes fabriqués en usine, brides, bouchons, brides à souder, joints mécaniques, etc.) ;
- constructions fabriquées à partir des éléments ci-dessus (collecteurs, appareils capteurs de bouchons, stations de lancement et de réception de racleurs, sections de jaugeage et passage de contrôle, etc.) ;
- auxiliaires (robinets, compensateurs de dilatation, joints isolants, régulateurs de pression, pompes, compresseurs, etc.) ;
- appareils sous pression.

1.7.9 exploitant de canalisation : organisation privée ou publique autorisée à concevoir, à construire et/ou à exploiter et à entretenir un réseau d'alimentation de gaz

1.7.10 conduite : ensemble de tubes et de raccords

1.7.11 système de contrôle de la pression : système combiné comprenant des systèmes de régulation de pression, des systèmes de sûreté et, si applicable, des systèmes d'enregistrement de la pression et des systèmes d'alarme

2 Bases du calcul

2.1 Généralités

(1)P Le calcul des canalisations doit être conforme aux dispositions de l'ENV 1991-1.

(2)P Les actions sont à tirer de l'ENV 1991 et de l'ENV 1997 (Calcul géotechnique). Du fait que l'ENV 1991 et l'ENV 1997 ne couvrent pas toutes les actions applicables aux canalisations, certaines actions sont également à reprendre de normes de référence pertinentes, s'il y a lieu.

2.2 Exigences fondamentales pour les canalisations

NOTE En raison de leur pertinence pour les canalisations, les exigences suivantes de l'ENV 1991-1 sont citées ici.

(1)P La canalisation doit être calculée et réalisée de façon que :

- avec une probabilité acceptable, elle reste apte à l'utilisation pour laquelle elle a été prévue, compte tenu de sa durée de vie envisagée et de son coût, et
- avec des degrés appropriés de fiabilité, elle puisse résister à toutes les actions et autres influences susceptibles de s'exercer aussi bien pendant l'exécution que durant son exploitation et qu'elle ait une durabilité convenable en regard des coûts d'entretien ;
- des événements tels que explosions, chocs ou conséquences d'erreurs humaines, ne puisse endommager ladite canalisation de façon disproportionnée par rapport à la cause initiale.

(2)P Les dommages potentiels occasionnés à la canalisation doivent être limités ou évités par le choix d'une ou plusieurs des solutions suivantes :

- éviter, éliminer ou réduire les dangers auxquels la structure pourrait être exposée ;
- choisir une forme de structure peu sensible aux dangers à prendre en compte.

NOTE Les moyens d'éviter les dommages (causés par exemple par des excavatrices et des machines de creusement) sont notamment : augmenter l'épaisseur de paroi, augmenter la couche de terre, mettre en place une signalisation adéquate sous terre et au dessus du sol et mettre en place des dalles de béton au niveau du sol.

(3)P Pour satisfaire aux exigences énoncées ci-dessus, il convient de choisir les matériaux, de définir un dimensionnement et des détails constructifs appropriés et de spécifier des modes opératoires de contrôle adaptés à la canalisation particulière, aux stades de la production, de la construction et de l'utilisation.

2.3 Critères de fiabilité

- (1)P En fonction du type de canalisation, différents niveaux de fiabilité doivent être adoptés, selon les éventuelles conséquences économiques et sociales en cas d'effondrement.
- (2) Le niveau de fiabilité minimal à assurer est à convenir entre le concepteur, le client et l'autorité compétente.
- (3) Le niveau de fiabilité peut être exprimé par différents coefficients pour la conception et/ou les niveaux de qualité de l'exécution. Les règles fournies dans la présente prénorme correspondent à des exigences de sécurité moyennes.

NOTE Pour les différents niveaux de fiabilité, voir le prENV 1998-4. Des orientations plus complètes peuvent être obtenues dans les normes pertinentes données en 1.3.

2.4 Méthodes d'analyse

- (1)P Les méthodes d'analyse présentées dans cette prénorme pour le calcul des structures de canalisation doivent correspondre aux états limites considérés.

2.5 États limites ultimes

Les états limites ultimes fondamentaux pertinents sont :

- rupture de la paroi de tube ;
- effondrement (aplatissement de la section) ;
- perte d'équilibre statique ou de stabilité de la canalisation ou d'un quelconque de ses supports ;
- fuites du contenu dues à des causes autres que la rupture de la paroi de tube (par exemple un serrage insuffisant des raccords, la corrosion, l'intervention de tiers, entraînant des risques inacceptables pour l'environnement ou la sécurité).

- (2) Les états limites ultimes fondamentaux pertinents peuvent être vérifiés à l'aide des évaluations suivantes :

- **EL1 : Rupture** : État limite auquel se produit la rupture du tube en traction.
- **EL2 : Limite de la déformation plastique** : État limite auquel est atteinte la limite de la déformation en traction.
- **EL3 : Déformation** : État limite se rapportant à une déformation excessive. Cette déformation peut prendre différentes formes (par exemple : ovalisation excessive, flambement local, implosion ou flambement général du tube en flexion).

NOTE Dans ces situations, les déformations peuvent devenir excessives et incontrôlables et risquer d'entraîner la rupture de la paroi du tube.

- **EL4 : Fatigue** : État limite de fracture consécutif à de nombreux cycles de chargement

NOTE Le chargement cyclique peut être divisé en deux classes selon l'état limite atteint : la fatigue oligocyclique et la fatigue à grand cycle.

- **EL5 : Fuite** : État limite se rapportant aux fuites du contenu de la canalisation, dues à des causes autres que la rupture de la paroi de la canalisation (par exemple un serrage insuffisant des raccords, la corrosion ou l'intervention de tiers, si ces fuites ont des effets inacceptables sur la sécurité ou la santé des personnes et/ou sur l'environnement).

- (3) Dans l'évaluation de la déformation limite en traction (EL2), il convient de prendre en compte la présence d'imperfections dans le matériau du tube et dans les joints.

2.6 États limites de service

- (1)P Les critères fondamentaux pertinents concernant les états limites de service sont :
- déformations affectant l'exploitation efficace de la canalisation : ovalisation et flexion ;
 - vibrations incommodes ou endommageant les supports ou d'autres pièces de la canalisation ;
 - fuite de contenu ne présentant pas de risques inacceptables pour l'environnement ou la sécurité.

3 Propriétés des matériaux

3.1 Généralités

- (1)P Les aciers utilisés pour les canalisations doivent avoir des propriétés mécaniques adéquates et convenir au soudage.
- (2) Étant donné que cette prénorme ne spécifie que les exigences des propriétés mécaniques des matériaux des plaque et des soudures, pour obtenir des précisions et des indications en ce qui concerne les exigences des matériaux et des soudures, il convient de se reporter aux normes pertinentes dont la liste est donnée en 1.3.
- (3) Il convient d'adopter comme valeurs caractéristiques dans les calculs de dimensionnement les valeurs nominales des propriétés des matériaux indiquées dans cette prénorme.

3.2 Propriétés mécaniques des aciers pour canalisations

- (1)P La valeur nominale de la limite d'élasticité f_y doit être prise égale à la valeur minimale spécifiée indiquée dans la norme pertinente de la liste donnée en 1.3.
- (2)P Les valeurs maximales de la limite d'élasticité f_y et de la résistance ultime en traction (f_u) doivent être spécifiées et ne doivent dépasser de plus de $\boxed{50 \text{ MPa}}$ les valeurs minimales spécifiées de f_y et f_u .
- (3) Pour assurer une ductilité adéquate, il convient que le rapport entre la résistance ultime en traction et la limite d'élasticité f_u/f_y ne soit pas supérieur à $\boxed{1,10}$.
- (4) Il convient que l'allongement à la rupture sur une longueur entre repères de $5,65 \sqrt{A_0}$, où A_0 est la section originale, ne soit pas inférieur à $\boxed{20 \%}$.
- (5)P Le matériau doit avoir une ténacité suffisante pour éviter une rupture fragile à la température de service la plus basse prévue sur la durée de service prévue de la structure.

3.3 Propriétés mécaniques des soudures

- (1)P Il doit être démontré que si le tube fléchit, la déformation plastique intervient dans le matériau de plaque et non dans la zone de soudure.
- (2) On peut admettre que l'exigence ci-dessus est remplie si la valeur nominale de la résistance en traction du métal de soudure déposé est supérieure d'au moins $\boxed{15 \%}$ à la valeur de la résistance maximale spécifiée en traction du matériau de plaque ou de tube.
- (3) Il convient que la ductilité du métal de soudure, y compris les effets des discontinuités de soudure autorisées soient telles que, sur la zone de soudure, la déformation puisse être au moins de $\boxed{2 \%}$.
- (4) Il convient que la résistance ultime du métal de soudure déposé soit supérieure d'au moins $\boxed{15 \%}$ à la valeur de la résistance ultime maximale spécifiée du matériau de plaque ou de tube.

3.4 Exigences de ténacité des matériaux et des soudures

- (1) Les exigences de ductilité avant fracture des matériaux de plaque et des soudures définies dans les sections précédentes peuvent être démontrées en appliquant les méthodes adéquates définies dans le prEN 1594.

NOTE Dans l'attente d'une Norme européenne relative aux exigences de ténacité des matériaux de canalisation et des zones de soudure et des discontinuités autorisées, le document PD 6493:1991 «Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures» de la British Standards Institution, ou d'autres documents nationaux peuvent être utilisés.

- (2)P Les dispositions de cette norme ne sont applicables que si la qualité du matériau de tube et des soudures remplissent les exigences indiquées dans le prEN 1594 ou dans le prEN 12732.
- (3) Les valeurs de résistance de la déformation limite $\varepsilon_{\ell,R,k}$ peuvent être prises égales à :

$$\varepsilon_{\ell,R,k} = 0,5 \%$$

3.5 Fixations

(1)P Les fixations doivent satisfaire aux dispositions de l'ENV 1993-1-1 ou à d'autres normes de référence pertinentes.

3.6 Propriétés des sols

(1)P Les valeurs théoriques des propriétés des sol (paramètres géotechniques) doivent être calculées conformément à l'ENV 1997 ou à d'autres normes de référence pertinentes.

4 Actions

4.1 Actions à prendre en considération

(1)P Les actions suivantes doivent être examinées comme il convient :

- pression interne ;
- pression externe ;
- poids propre de la canalisation ;
- poids du contenu de la canalisation (produit à transporter et présence éventuelle d'autres matériaux, par exemple l'eau utilisée pour l'essai hydrostatique ou la poussière) ;
- charges sur le sol ;
- charges dues au trafic ;
- variations de température ;
- charges de construction ;
- déformation imposée, due à des tassements différentiels, affaissement de surface et glissements de terrain ;
- charges sismiques (se reporter à l'Eurocode 8).

(2)P Les valeurs caractéristiques des charges à considérer doivent être prises dans l'ENV 1991-1 ou d'autres normes de référence pertinentes.

4.2 Coefficients partiels se rapportant aux actions

(1)P Les coefficients partiels doivent être fondés sur les normes de référence pertinentes et sur le niveau de fiabilité requis.

4.3 Combinaison de charges se rapportant aux états limites ultimes

(1)P Les combinaisons suivantes d'actions théoriques se rapportant aux états limites ultimes doivent être prises en compte :

a) **Pression interne** : Différence de pression entre la pression interne maximale et la pression externe la plus faible.

NOTE Cette état limite est généralement utilisé en premier pour la détermination de l'épaisseur de paroi.

b) **Pression interne plus autres charges pertinentes** : Les conditions de pression interne et externe définies en (a) avec les autres charges de calcul pertinentes supplémentaires.

NOTE Cet état limite est généralement utilisé ensuite pour vérifier les déformations critiques.

c) **Pression externe plus autres charges pertinentes** : La différence entre la pression externe maximale et la pression interne la plus faible avec les autres charges de calcul pertinente.

NOTE Cet état limite est généralement utilisé ensuite pour vérifier l'ovalisation, les déformations critiques, le flambement local, etc.

d) **Variation de la pression dans le temps plus autres charges de calcul pertinentes** : Ce cas est examiné avec les actions cycliques exercées sur le tube.

NOTE Cet état limite est en général utilisé en dernier pour vérifier la fatigue.

4.4 Combinaisons de charge pour les états limites de service

(1)P Les combinaisons suivantes de charge de calcul se rapportant aux états limites de service doivent être considérées :

- a) **Pression interne plus autres charges pertinentes** : La différence entre la pression interne maximale et la pression externe la plus faible avec les autres charges de calcul pertinentes.
- b) **Pression externe plus autres charges pertinentes** : La différence entre la pression externe maximale et la pression interne la plus faible avec les autres charges de calcul supplémentaires pertinentes.

5 Analyses

5.1 Modèles de structure

5.1.1 Méthode de calcul simplifiée pour le calcul de l'état limite ultime.

NOTE La méthode de calcul simplifiée indiquée ci-dessous est fondée sur les résultats d'une série complète de calculs plus précis.

(1) Dans le cas où les conditions indiquées en (2) à (13) sont remplies, seule la combinaison de charge (a) indiquée en 4.3 (1)P est à prendre en considération (pression interne seule).

(2) Il convient de prendre les valeurs suivantes pour les coefficients partiels γ_F :

$\gamma_F = 1,39$ pour les tronçons utilisés en campagne ;

$\gamma_F = 1,49$ pour les routes, digues, traversées de canaux et de cours d'eau sans dispositifs contre les inondations.

(3) En fonction de la résistance de calcul f_y , il convient que le rapport D_u/t_{\min} corresponde aux valeurs suivantes :

— pour $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$: $D_u/t_{\min} \leq \boxed{70}$... (5.1)

— pour $f_y = 360 \text{ N/mm}^2$: $D_u/t_{\min} \leq \boxed{80}$... (5.2)

— pour $f_y = 415 \text{ N/mm}^2$: $D_u/t_{\min} \leq \boxed{92}$... (5.3)

— pour $f_y = 480 \text{ N/mm}^2$: $D_u/t_{\min} \leq \boxed{106}$... (5.4)

(4) Il convient que l'épaisseur de la couche de terre recouvrant la canalisation ne dépasse pas 2,5 m. Ce critère n'est pas applicable s'il peut être démontré que la contrainte effective au sommet du tube ne dépasse pas 65 kN/m^2 .

(5) Il convient que l'épaisseur de paroi spécifiée utilisée dans le tube ne soit pas inférieure à 4,8 mm.

(6) Il convient que le tassement différentiel du à la consolidation ne dépasse pas 100 mm. Il convient que le tassement différentiel augmente progressivement de la valeur zéro à la valeur maximale et revienne à zéro sur une distance d'au moins $2 \times 20 \text{ m}$.

(7) Il convient que les valeurs du tassement de la construction ne dépassent pas les valeurs prévues dans les pratiques normales d'exécution d'une canalisation n'ayant fait l'objet d'aucune mesure particulière.

(8) Il convient que la canalisation ne croise pas les surfaces de fracture potentielles ou des zones d'affaissement de terrain.

(9) Il convient que le tronçon de canalisation concerné ne comporte pas de coudes d'un rayon inférieur à $20 D_u$.

(10) Il convient que la différence maximale entre la température de montage et la température maximale ou minimale, selon ce qui convient, ne dépasse pas $35 \text{ }^\circ\text{C}$.

(11) Il convient que la plage de température se situe entre $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ et $+60 \text{ }^\circ\text{C}$. Dans le cas de soulèvement par le gel, il convient de se reporter au prEN 1594.

(12) Dans le cas où sont utilisés des coudes avec un rayon inférieur à $20 D_U$, il convient de respecter les critères supplémentaires suivants :

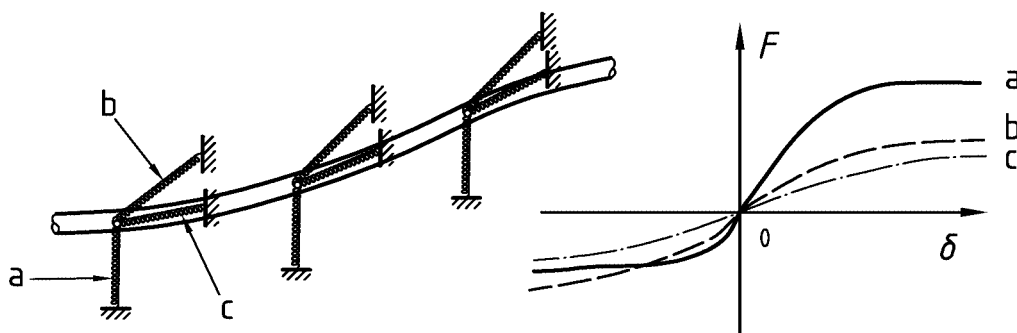
- lorsque des coudes horizontaux sont présents, il convient que la différence maximale entre la température de montage et la température maximale ou minimale ne dépasse pas 20 °C (au lieu de 35 °C) pour les diamètres D_U n'excédant pas 300 mm .
- lorsque $D_U < 450\text{ mm}$, il convient que la distance entre coudes horizontaux soit supérieure à $2,0\text{ m}$.

(13) Pour les intersections installées par forage ou fonçage, dans des excavations de bâtiments et où des coudes d'un rayon inférieur à $20 D_U$ sont appliqués dans l'excavation, il convient que les critères supplémentaires suivants soient remplis:

- dans le calcul de l'épaisseur de paroi des coudes, il convient d'utiliser un coefficient partiel $\gamma_F = 1,8$ (comme pour l'intersection).
- pour $D_U \leq 450\text{ mm}$, il convient que le coude soit situé du côté extérieur de l'excavation de bâtiment.
- pour les tubes droits, il convient que le rapport D_U/t_{\min} respecte les valeurs suivantes :
 - pour $f_y = 240\text{ N/mm}^2$: $D_U/t_{\min} \leq 57$... (5.5)
 - pour $f_y = 360\text{ N/mm}^2$: $D_U/t_{\min} \leq 61$... (5.6)
 - pour $f_y = 415\text{ N/mm}^2$: $D_U/t_{\min} \leq 70$... (5.7)
 - pour $f_y = 480\text{ N/mm}^2$: $D_U/t_{\min} \leq 81$... (5.8)

5.1.2 Méthode d'analyse si les conditions de la méthode de calcul simplifiée ne sont pas remplies

(1) Il convient de traiter les canalisations enterrées comme des poutres sur appui élastique de configuration tridimensionnelle. Dans le calcul, il convient en général de représenter les propriétés du sol par des ressorts comme illustré à la Figure 5.1 :



- a Ressort vertical latéral du sol
- b Ressort latéral horizontal du sol
- c Ressort de frottement longitudinal du sol (également ressort de frottement de torsion du sol)

Figure 5.1 — Schéma d'une canalisation avec «ressorts de sol»

(2) Dans l'analyse, il convient de tenir compte du caractère non linéaire des différents ressorts de sol.

NOTE En général, une analyse aux éléments finis est nécessaire pour ce système.

(3) Pour l'analyse, il convient d'avoir en données d'entrée les propriétés du sol, les propriétés de la canalisation, les tassements imposés (déplacements) et autres actions.

NOTE Les propriétés requises de la canalisation se rapportent au schéma moment fléchissant-courbure et, lorsqu'une torsion intervient, au schéma moment de torsion-rotation. Les formules permettant d'obtenir ces schémas sont données à l'annexe A.

(4) À partir de l'analyse de poutre tridimensionnelle mentionnée ci-dessus, il convient de déterminer les valeurs suivantes sur chaque section de canalisation :

- moment fléchissant et courbure ;
- moment de torsion et rotation ;
- effort normal et allongement ou raccourcissement ;
- effort tranchant et déformation d'effort tranchant ;
- pression du sol et variations correspondantes ;
- frottement du sol et variations correspondantes.

(5) Des vérifications plus complètes de l'ensemble de la série de déformations peuvent être effectuées à l'aide de l'analyse de section élastique-plastique complète décrite à l'annexe A.

NOTE Des orientations et des informations plus complètes sont données à l'annexe A, dans le document de A.M. Gresnigt, «Plastic Design of Buried Pipelines in Settlement Areas», HERON, Vol. 31, No. 4, 1986, ou dans les autres publications citées en référence à l'annexe C.

5.2 Vérifications de l'état limite ultime

5.2.1 EL1 : Rupture

(1) Il convient que les contraintes obtenues par l'analyse répondent au critère de contrainte de von Mises :

$$\sigma_{eRd} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad \dots (5.9)$$

$$\sigma_{eRd} \leq f_y / \gamma_M \quad \dots (5.10)$$

5.2.2 EL2 : Limite de la déformation plastique

(1) Il convient que la déformation maximale en traction ε_{\max} ne dépasse pas la déformation limite ε_{lRk} définie en 3.4.

(2)P Il doit être démontré que la paroi du tube avec les zones de soudures et les discontinuités admises a la capacité de déformation (déformation limite) requise pour l'analyse structurelle.

5.2.3 EL3 : Déformation

(1) Pour éviter le cloquage de la section, il convient de limiter l'ovalisation excessive de la section.

(2) Il convient de limiter le paramètre d'ovalisation a donné par la valeur :

$$a = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{4} \quad \dots (5.11)$$

à la valeur de a_{\max} suivante :

$$a_{\max} = \boxed{0,05} D_u \quad \dots (5.12)$$

(3) Il convient d'évaluer le voilement local à l'aide de la déformation critique ε_{cr} . Pour évaluer ε_{cr} , il convient d'évaluer en premier l'ovalisation due à la pression non uniforme du sol à l'aide du paramètre a , où a est égal à la moitié de la modification du diamètre due à la pression du sol. Il convient ensuite d'utiliser la valeur de a pour déterminer le rayon local de courbure r_0 à la partie la plus comprimée de la circonférence, voir Figure 5.2. Il convient de considérer la pression p comme positive dans le cas d'une pression interne et comme négative dans le cas d'une pression externe.

(4) Il convient de déterminer la valeur critique de la déformation de compression ε_{cr} à partir des valeurs suivantes :

$$\varepsilon_{cr} = 0,25 \frac{t}{r_o} + 3\,000 \left(\frac{pr_o}{Et} \right)^2 \frac{|p|}{p} - 0,0025 \text{ pour } \frac{r_o}{t} \leq 60 \quad \dots (5.13)$$

$$\varepsilon_{cr} = 0,10 \frac{t}{r_o} + 3\,000 \left(\frac{pr_o}{Et} \right)^2 \frac{|p|}{p} \text{ pour } \frac{r_o}{t} > 60 \quad \dots (5.14)$$

dans lesquelles :

$$r_o = \frac{r}{1 - \frac{3a}{r}} \quad \dots (5.15)$$

(5) Il convient de montrer que :

$$\varepsilon_{max} \leq \varepsilon_{cr} \quad \dots (5.16)$$

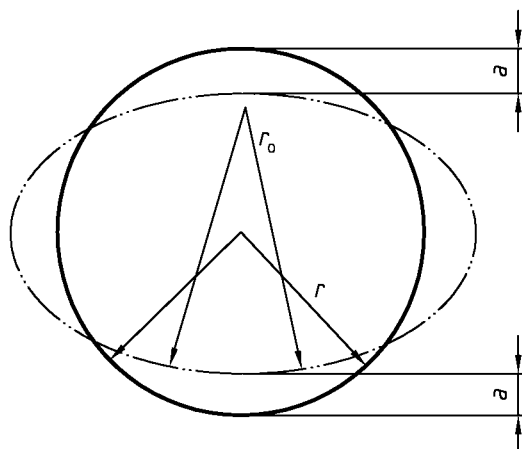


Figure 5.2 — Définition de r_o

(6) Dans les canalisations à parois minces soumises à une pression externe élevée, il convient d'examiner la possibilité de rupture (implosion de la section), selon les dispositions de l'ENV 1993-1-6.

(7)P Lorsqu'un flambement général par flexion est susceptible de se produire, le calcul doit être évalué en suivant les dispositions de l'ENV 1993-1-1.

5.2.4 EL4 : Fatigue

Le calcul doit être conforme à l'ENV 1993-1-1 et aux autres normes de référence pertinentes.

5.2.5 EL5 : Fuite

(1)P Les conséquences d'éventuelles fuites du contenu de la canalisation dues à des causes autres que la rupture de la paroi de canalisation (par exemple un serrage insuffisant des raccords, la corrosion, l'intervention de tiers) doivent être prises en considération dans le calcul.

(2) Il convient de se reporter aux normes de référence pertinentes.

5.3 Vérifications de l'état limite de service

(1)P La vérification de l'état limite de service EL6 doit être conforme aux critères de service se rapportant à l'ovalisation, à la flexion, à la vibration et aux fuites.

(2)P Les normes pertinentes doivent être prises en référence.

(3) Les critères relatifs à chaque état limite de service (notamment en ce qui concerne les exigences concernant les racleurs) peuvent être convenus entre le concepteur et le client.

(4) Des limites particulières de fuites peuvent être convenues entre le concepteur, le client et les autorités compétentes selon les conditions de calcul (par exemple, la nature de la canalisation et de son contenu et l'environnement).

6 Aspects relatifs à la fabrication et au montage dans le calcul des structures

(1)P Les exigences des normes d'application pertinentes doivent être respectées.

Annexe A (informative)

Analyses des résistances, déformations et contraintes des canalisations enterrées

A.1 Mode opératoire et domaine de l'analyse

(1) *L'analyse s'opère généralement en différentes phases décrites de (2) à (7) ci-dessous.*

(2) *Recueil des données de calcul.*

Selon la nature et la taille du réseau de canalisation, des données de calcul sont nécessaires pour les études de conception et les calculs des contraintes. Ces données sont définies en détail dans les normes de référence correspondantes.

(3) *Schématisation et découpage de la canalisation en tronçons pour l'analyse.*

Aux fins de l'analyse, la canalisation, y compris les charges qui y sont appliquées, est schématisée et découpée en tronçons.

(4) *Détermination des actions et des combinaisons d'actions à prendre en compte dans l'analyse ainsi que des coefficients partiels associés.*

En principe, il convient d'étudier chaque tronçon du système de canalisation afin de déterminer les effets des charges mentionnées en (1). Il convient de déterminer sur cette base les charges correspondant à chaque tronçon de canalisation. Le calcul est fondé sur les charges théoriques. Il convient de se reporter aux normes de référence pertinentes pour les valeurs des coefficients partiels à adopter.

(5) *Calcul des forces, moments et déplacements relatifs.*

Il convient de déterminer la forme et l'amplitude des forces et des moments, et, si nécessaire, de la déformation de la canalisation, non seulement en fonction de la longueur du système complet de canalisation, mais également, s'il y a lieu, en fonction du temps. Ceci est également applicable aux forces exercées par la canalisation sur son environnement (le sol, les supports, les structures à point fixe et à enveloppe, etc.).

(6) *Calcul des contraintes et des déformations.*

Il convient de déterminer les valeurs positives et négatives des contraintes et des déformations qui peuvent s'exercer dans les parois des éléments de la canalisation, si nécessaire, en indiquant l'étendue ou l'amplitude et les fréquences des variations dans ces contraintes et/ou déformations.

Lorsque certains éléments de la canalisation, par exemple les coudes, subissent des contraintes plus fortes, il convient d'en tenir compte dans l'analyse.

Il n'est pas nécessaire d'inclure dans l'analyse les contraintes, déformations et écarts non significatifs.

(7) *Évaluation*

Il convient que les valeurs des contraintes, déformations et autres, obtenues en appliquant des charges théoriques ne dépassent pas les valeurs limites.

NOTE On peut trouver d'autres informations sur les sujets traités dans cette annexe et des orientations pour l'analyse pratique dans A.M. Gresnigt, «Plastic Design of Buried Pipelines in Settlement Areas», HERON, Vol. 31, No. 4, 1986 ou dans d'autres publications citées à l'annexe C.

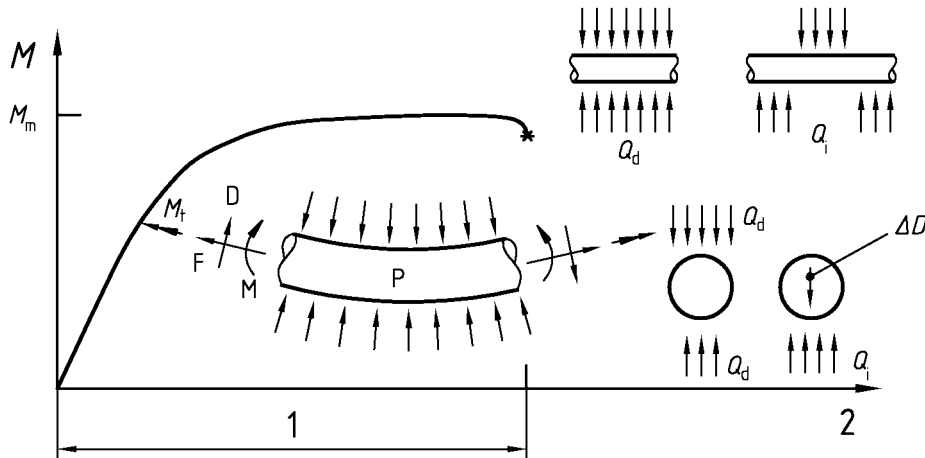
A.2 Analyse des tubes droits

A.2.1 Définitions des paramètres clés

Diamètre moyen	$D = D_u - t$
Paramètre d'ovalisation	$a = (D_{\max} - D_{\min}) / 4$
Rayon moyen d'une canalisation	$r = D / 2$
Moment plastique de la section de canalisation	$M_p = 4 r^2 t f_y$
Moment de paroi de coque par largeur unitaire à l'extrémité du domaine élastique	$m_e = t^2 f_y / 6$
Moment plastique complet par largeur unitaire de paroi de coque	$m_p = t^2 f_y / 4$
Effort normal plastique par largeur unitaire de paroi de coque	$n_p = t f_y$

A.2.2 Expressions des interactions

(1) La Figure A.1 représente le schéma possible moment-courbure pour un tube droit sur lequel s'exercent plusieurs autres actions telles qu'un effort normal, un effort tranchant, une pression interne, et la poussée des terres.



Légendes

- 1 Capacité de déformation
- 2 Courbure

Figure A.1 — Moment-courbure pour un tube droit

(2) La résistance complète à la flexion plastique M_m de la section d'un tube droit chargée par un effort externe axial F peut être obtenue par la formule :

$$\frac{M_m}{M_{dp\text{tr}}} + \left(\frac{N_m}{N_{pd\text{tr}}} \right)^{1,7} = 1 \quad \dots \text{(A.1)}$$

$$N_m = F - p\pi r^2 \quad \dots \text{(A.2)}$$

où :

M_m est le moment fléchissant maximal en plasticité complète ;

N_m est l'effort normal maximal effectif en plasticité complète.

(3) La résistance sous flexion simple est donnée par :

$$M_{pdr} = M_{pr} \sqrt{1 - \left(\frac{D}{D_{pr}} + \frac{M_t}{M_{tpr}} \right)^2} \quad \dots (A.3)$$

où :

$$M_{pr} = gh M_p \quad \dots (A.4)$$

$$g = \left(\frac{C_1}{6} + \frac{C_2}{3} \right) \quad \dots (A.5)$$

$$h = \left(1 - \frac{2a}{3r} \right) \quad \dots (A.6)$$

(4) La résistance sous compression axiale simple est donnée par :

$$N_{pdr} = N_{pr} \sqrt{1 - \left(\frac{D}{D_{pr}} + \frac{M_t}{M_{tpr}} \right)^2} \quad \dots (A.7)$$

où :

$$N_{pr} = g N_p \quad \dots (A.8)$$

(5) Les facteurs modifiant la résistance fondamentale en flexion ou compression sont :

$$M_{tpr} = g M_{tp} \quad \dots (A.9)$$

$$M_{tp} = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^2 t f_y \quad \dots (A.10)$$

$$M_p = 4 r^2 t f_y \quad \dots (A.11)$$

$$N_p = 2 \pi r t f_y \quad \dots (A.12)$$

$$D_{pr} = g D_p \quad \dots (A.13)$$

$$D_p = \frac{4}{\sqrt{3}} r t f_y \quad \dots (A.14)$$

$$c_1 = \sqrt{4 - 3 \left(\frac{n_y}{n_p} \right) - 2 \sqrt{3} \frac{|m_y|}{m_p}} \quad \dots (A.15)$$

$$c_2 = \sqrt{4 - 3 \left(\frac{n_y}{n_p} \right)^2} \quad \dots (A.16)$$

(6) L'effort axial élastique n_y par largeur unitaire de paroi de coque se calcule comme suit :

$$n_y = n_{yq} + n_{yk} + n_{yp} \quad \dots (A.17)$$

$$n_{yq} = 0,25 Q_d + 0,125 Q_i \quad \dots (A.18)$$

$$n_{yk} = 0,20 \frac{M_m C}{r} \quad \dots (A.19)$$

$$n_{yp} = p r \quad \dots (A.20)$$

$$n_p = t f_y \quad \dots (A.21)$$

(7) Le moment élastique m_y par largeur unitaire de plaque se calcule comme suit :

$$m_y = m_{yq} + m_{yk} + m_{yp} \quad \dots \text{(A.22)}$$

$$m_{yk} = 0,071 M_m C \eta_o \quad \dots \text{(A.23)}$$

$$m_{yp} = -p r a \quad \dots \text{(A.24)}$$

$$m_{yq} = m_{yqd} + m_{yqi} \quad \dots \text{(A.25)}$$

$$m_{yqd} = 0,25 Q_d r \left(1 - 0,25 \left(\sin \frac{\alpha}{2} + \sin \frac{\beta}{2} \right) \right) \eta_o \quad \dots \text{(A.26)}$$

$$m_{yqi} = 0,25 Q_i r \left(0,5 - 0,25 \sin \frac{\gamma}{2} \right) \eta_o \quad \dots \text{(A.27)}$$

$$\eta_o = 1 + \frac{a}{r} \quad \dots \text{(A.28)}$$

$$m_p = 0,25 t^2 f_y \quad \dots \text{(A.29)}$$

(8) Les expressions suivantes sont à retenir :

$$Q_{eq} = Q_i \frac{2 - \sin \frac{\gamma}{2}}{4 - \sin \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\beta}{2}} \quad \dots \text{(A.30)}$$

$$M_e = \pi r^2 t f_y \quad \dots \text{(A.31)}$$

$$m_e = \frac{1}{6} t^2 f_y \quad \dots \text{(A.32)}$$

A.2.3 Schéma moment-courbure

(1) La composante élastique-plastique du schéma moment-courbure, comme représenté à la Figure A.1, peut être établie à l'aide des expressions suivantes :

$$M = \frac{1}{2} \left(\frac{\theta}{\sin \theta} + \cos \theta \right) M_m \quad \dots \text{(A.33)}$$

$$C = 2 \frac{\varepsilon}{D} \quad \dots \text{(A.34)}$$

$$\varepsilon_y = \text{déformation à la limite d'élasticité } (\varepsilon_y = f_y / E) \quad \dots \text{(A.35)}$$

$$\mu = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y} \quad \dots \text{(A.36)}$$

$$\theta = \arcsin (1/\mu) \text{ avec } 0 < \theta \leq \pi/2 \text{ où } \mu \geq 1 \quad \dots \text{(A.37)}$$

où :

M est le moment fléchissant à la courbure C ;

C est la courbure du tube ;

θ est un paramètre dépendant de la déformation maximale en flexion ε dans la direction axiale ;

ε est la déformation maximale en flexion dans la direction axiale.

NOTE La composante élastique du schéma moment-courbure se termine à $\theta = \pi/2$. Le moment fléchissant et la courbure à ce point sont donnés par la formule :

$$M_e^* = \frac{\pi}{4} M_m \quad \dots \text{(A.38)}$$

$$C_e^* = 2 \frac{\varepsilon_y}{D} \frac{M_m}{M_p} \quad \dots \text{(A.39)}$$

A.2.4 Calcul de l'ovalisation et des déformations

- (1) Aux courbures inférieures à C_e^* , l'ovalisation et les déformations dans les directions axiale et circonférencielle peuvent être obtenues en appliquant la théorie de l'élasticité.
- (2) Aux courbures supérieures à C_e^* , il convient d'obtenir l'ovalisation et les déformations dans les directions axiale et circonférencielle en tenant compte du principe de normalité des déformations.

NOTE Des orientations peuvent être trouvées dans A.M Gresnigt, «Plastic Design of Buried Pipelines in Settlement Areas», HERON, Vol. 31, No. 4, 1986 ou dans d'autres publications citées à l'annexe C.

A.3 Analyse des coudes

Il convient de se reporter aux normes de référence pertinentes ainsi qu'aux documents suivants :

- A.M. Gresnigt : «Plastic Design of Buried Pipelines in Settlement Areas», HERON, Vol. 31, No.4, 1986 ;
- autres publications citées pour référence à l'annexe C.

Annexe B (informative)

Références aux normes nationales et guides pour le calcul

BS 8010 (1989-1993) Code of practice for pipelines. *British Standards Institution*.

Part 1: Pipelines on land: general.

Part 2: Pipelines on land: design, construction and installation.

Part 3: Pipelines subsea: design, construction and installation.

Part 4: Pipelines on land and subsea: operation and maintenance.

Gresnigt, A.M. (1986) «Plastic design of buried steel pipelines in settlement areas,» *HERON*, Vol. 31, no 4, Delft Université de technologie.

NEN 3650 (1992) «Exigences pour les systèmes transport par canalisation d'acier», *Nederlands Normalisatie Instituut (Institut hollandais de normalisation)*, Delft (en hollandais) une traduction non officielle peut être obtenue sur demande.

NEN 3651 (1994) «Exigences complémentaires pour les canalisations en acier traversant des grands ouvrages publics (digues, canaux, voies navigables, routes)», *Nederlands Normalisatie Instituut (Institut hollandais de normalisation)*, Delft (en hollandais); une traduction non officielle peut être obtenue sur demande.

PD 6493 (1991) «Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures», *British Standards Institution*.

TGSL-1986 (1986) «Principes techniques du calcul des canalisations en acier enfouies», *TNO-IBBC Report BI-86-110* (en hollandais).

American Petroleum Institute :

API-5L : Specification for Line Pipe.

API-5LX : Specification for high-test Line Pipe.

API-5LS : Specification for spiral welded Line Pipe.

API-1104 : Specification for Field Welding of Pipelines.

API-1105 : Recommended Practice on Construction of steel Pipelines.

Deutsches Institut für Normung :

DIN 2413 : Stahlrohre — Berechnung der Wanddicke gegen Innendruck.

DIN 2470 : Richtlinien für Gasrohrleitungen von mehr als 1 atü Betriebs-druck aus Stahlrohren mit geschweissten Verbindungen.

DIN 17172 : Stahlrohre für Fernleitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase, technische Lieferbedingungen.

Annexe C
(informative)
Références

C.1 Références générales concernant les canalisations

- Chen, S.L. et Li, S.F. (1994) «Study on the nonlinear buckling in thin-walled members with arbitrary initial imperfection», *Thin walled structures, Elsevier Science Limited*, Vol 19, pp 253-268.
- Corona, E. et Kyriakides, S. (1988) «Collapse of pipelines under combined bending and external pressure», *BOSS, Trondheim*, pp 953-964.
- Findlay, G.E., et Spence, J. (1979) «Stress analysis of smooth curved tubes with flanged end constraints», *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol 7, 83-103.
- Garwood, S.J., Willoughby, A.A. et Rietjens, P. (1981) «The application of CTOD methods for safety assessment in ductile pipeline steels», *Conference on Fitness for Purpose Validation of Welded Constructions*, novembre, 1981, London.
- Gresnigt, A.M. (1989) «Ultimate strength and deformation capacity of pipelines», *Eighth International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, La Haye, mars 19-23, pp 183-191.
- Gresnigt, A.M. et Foeken, R.J. van (1990) «Strength and deformation capacity of pipelines loaded by local loads and bending», *Pipeline Technology Conference*, Ostende, Belgique, octobre 1990.
- Gresnigt, A.M. et Foeken, R.J. van (1995) «Strength and deformation capacity of bends in pipelines», *International Journal of Offshore and Polar Engineering (Transactions of The ISOPE)*, Vol. 5, n° 4, décembre 1995, pp. 294-307.
- Gresnigt, A.M., Dijkstra, O.D. et Van Rongen H.J.M. (1994) «Design of pipelines in high strength steel», *Proceedings of the Fourth International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE)*, Vol. II, Osaka, avril 10-15, 1994, pp. 186-194.
- Gresnigt, A.M. et Van Foeken, R.J. (1996) «Experiences with Strain Based Limit State Design in The Netherlands», *Proceedings ASPECT '96. Advances in Subsea Pipeline Engineering and Technology*, Aberdeen, 27-28 novembre 1996, pp. 111-134.
- Kafka, P.G. et Dunn, M.B. (1956) «Stiffness of curved circular tubes with internal pressure», *Transactions of the ASME*, Vol 78, 247-254.
- Karman, Th. von (1911) «Über die Formänderung dünnwandiger Rohre, insbesondere federnder Ausgleichrohre», *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, Band 55, No.45, 1889-1895.
- Karamanos S.P. et Tassoulas J.L. (1991) «Stability of inelastic tubes under external pressure and bending», *Journal of engineering mechanics*, Vol 17, No 12, 2845-2861.
- Korol, R.M. (1979) «Critical buckling strains of round tubes in flexure», *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 21, pp. 719-730.
- Kyriakides, S. et Corona, E. (1991) «On the effect of the UOE manufacturing process on the collapse pressure of long tubes», *Offshore Technology Conference, OTC 6758*.
- Murphy, C. et Langner, C. (1985) «Ultimate pipe strength under bending, collapse and fatigue», *Proceedings of the 4th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE)*, Dallas, février 1985.
- Rodabaugh, E.C., et George H.H. (1957) «Effect of internal pressure on flexibility and stress intensification factors of curved pipe or welding elbows», *Transactions of the ASME*, Vol 79.
- Schaap, D., Van Foeken, R.J. et De Winter, P.E. (1988) «Deformation capacity of steel tubulars subjected to internal or external pressure», *BOSS, Trondheim*, pp. 1271-1283.

Spiekhout, J. (1988) «Fitness-for-Purpose Assessment of Weld Flaws — Application of Various Fracture Mechanics Codes», *Welding Journal*, septembre, 1988.

Thomson, G. et Spence, J. (1983) «Maximum stresses and flexibility factors of smooth pipe bends with tangent pipe terminations under in-plane bending», *Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol 105, 329-335.

Vigness, I. (1943) «Elastic properties of curved tubes», *Transactions of the ASME*, 105-120.

Walker A.C. et Williams, K.A.J. (1996) «The safe use of strain based criteria for the design and assessment of offshore pipelines», *Proceedings Offshore Pipeline Technology (OPT '96-IBC Technical Services LTD London)*, Amsterdam, février 15-16, 1996.

Whatham, J.F. (1986) Pipe bend analysis by thin shell theory, *Journal of applied mechanics*, Vol 53, 153-180.

Yoosef-Ghodsi, N., Kulak, G.L. et Murray, D.W. (1995) «Some test results for wrinkling of girth welded line pipe», *Proceedings of the 14th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE), Vol V — Pipeline Technology*, Copenhagen, juin 18-22, 1995, pp. 379 — 388.

Zimmerman, T.J.E., Stephens, M.J., De Geer, D.D. et Chen, Q. (1995) «Compressive strain limits for buried pipelines», *Proceedings of the 14th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE), Vol V — Pipeline Technology*, Copenhagen, juin 18-22, 1995, pp. 365 — 378.

C.2 Références concernant le calcul géotechnique

ASCE, (1984) «Guidelines for the seismic design of oil and gas pipelines», American Society of Civil Engineers, New York.

Audibert et Nymann (1977) «Soil restraint against horizontal motion of pipes», *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 103, No. GT10, octobre 1977.

Brinch Hansen, J. (1961) «The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces», *Danish Geotechnical Institute, Bulletin 12*, Copenhagen.

Brinch Hansen, J. (1970) «A revised and extended formula for bearing capacity», *Danish Geotechnical Institute, Bulletin No. 28*, Copenhagen, pp. 5-11.

Clarke (1967) «Buried pipelines», *McLaren and Sons*, Londres.

Hergarden, H.J.A.M. et Rol, A.H. (1984) "Grondonderzoek gedrag buisleiding in klei - onderzoek uitgevoerd te Kesteren in 1984 (en hollandais), *Delft Geotechnics*, Rapport CO-272040/75.

Hergarden, H.J.A.M. (1992) «Enkele geotechnische aspecten bij de aanleg van leidingen -- Some geotechnical aspects of pipeline construction» (in Dutch), *Delft Geotechnics*, Rapport CO-322680/7, mars 1992.

Matyas, Davis (1983) «Prediction of the vertical earth loads on rigid pipes», *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 109, No. 2, février 1983.

Spangler, M.G. (1951) «Soil Engineering», *International Textbook Company*, Scranton.

Terzaghi, K. (1944) «Theoretical soil mechanics», 2^e édition 1944, page 194-202.

Terzaghi, K. (1966) «Fundamentals of soil mechanics», *John Wiley and Sons*, New York.

Thomas (1978) «Discussion of soil restraint against horizontal motion of pipes», *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 104, No. GT9, septembre 1978.

Trautmann et O'Rourke (1985) «Lateral force-displacement response of buried pipe», *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 111, No 9, septembre 1985.

Winterkorn, H.F. et Hsai-Yang, (1975) «Foundation Engineering Handbook», *Van Nostrand Reinhold*, New York, Londres.