

## Eurocode 3

# Calcul des structures en acier et document d'application nationale

## Partie 6 : Chemins de roulement

E : Eurocode 3 — Design of steel structures and national application document — Part 6: Crane supporting structures

D : Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten und national Anwendungsdokumente — Teil 6: Kranbahnen

---

### **Norme expérimentale**

publiée par AFNOR en avril 2002.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à AFNOR avant le 30 mai 2003.

---

### **Correspondance**

Le présent document reproduit intégralement la prénorme européenne ENV 1993-6:1999.

---

### **Analyse**

Le présent document donne des principes et des règles d'application pour la conception et le calcul des poutres de roulement de ponts roulants et autres structures supportant des appareils de levage.

Ces dispositions complètent, modifient ou remplacent les dispositions équivalentes données dans la norme P 22-311 (ENV 1993-1-1), auquel il convient de se référer également.

---

### **Descripteurs**

**Thésaurus International Technique** : construction métallique, acier de construction, appareil de levage, pont roulant, poutre, matériau, calcul, conception, durabilité, contrainte, résistance à la fatigue, déformation, vérification.

---

### **Modifications**

---

### **Corrections**



## Membres de la commission de normalisation

Président : M BROZZETTI

Secrétariat : M PESCATORE — BNCM

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

## Ont participé en tant qu'experts au groupe de travail EC3 partie 6/DAN :

Animateur : D. BAUDY

MME	HOUPERT	EIFFEL
M	BAUDY	VERITAS
M	GRASMUCK	ATEIM
M	LEQUIEN	CTICM
M	MAITRE	SOCOTEC
M	MILLOT	JAILLET ROUBY
M	VILLETTE	BAUDIN CHATEAUNEUF

## Sommaire

	Page
<b>AP.1</b> <b>Introduction</b> .....	4
<b>AP.2</b> <b>Présentation générale de l'EC3-3-1 DAN</b> .....	4
AP.2.1    Les objectifs de l'EC3-3-6 DAN .....	4
AP.2.2    Les différentes lectures de EC3-3-6 DAN .....	4
AP.2.3    Le statut prescriptif des adaptations nationales .....	5
AP.2.4    Les textes normatifs de référence .....	5
<b>AP.3</b> <b>Modalités d'application</b> .....	5
AP.3.1    Domaine d'application .....	5
AP.3.2    La référence aux textes normatifs .....	5
AP.3.3    Modalités contractuelles .....	6
AP.3.4    Modalités d'expérimentation .....	6
<b>AP.4</b> <b>Liste des normes et textes normatifs de référence</b> .....	6

## Avant-propos national

### AP.1 Introduction

La présente norme française expérimentale, dénommée EC3-6 DAN, reproduit intégralement l'ENV 1993-6 (en clair l'Eurocode 3 partie 6, en abrégé l'EC3-6), approuvée par le Comité Européen de Normalisation (CEN) en tant que prénorme européenne (ENV).

La présente norme française expérimentale spécifie, en outre, les adaptations nationales qui ont été apportées à l'EC3-6 dont la réunion constitue le Document d'Application Nationale (en abrégé le DAN).

Les parties de l'EC3-6 que le DAN n'invalide pas et les différents segments du DAN forment la norme française expérimentale qui transpose l'EC3-6.

### AP.2 Présentation générale de l'EC3-6 DAN

#### AP.2.1 Les objectifs de l'EC3-6 DAN

L'EC3-6 DAN répond à plusieurs objectifs :

- a) À la demande du CEN, produire à l'intention des pays francophones la version française in extenso de l'EC3-6.
- b) Présenter les adaptations nationales qui sont apportées à l'EC3-6 et qui, d'une part, apportent des éclaircissements pour l'application de ce dernier pendant la phase d'expérimentation, et d'autre part, préfigurent les observations que présentera la France quand il sera question de conférer à l'EC3-6 le statut de norme européenne (EN).
- c) Préciser les valeurs des coefficients de sécurité qu'il incombe aux autorités de chaque Etat membre de fixer (voir clause (13) de l'avant-propos), en amendement éventuellement les valeurs encadrées dans l'EC3-6.
- d) Recenser les textes normatifs auxquels se réfère la norme française expérimentale, et préciser les modalités d'application des normes ou règlements nationaux de référence dès lors que ceux-ci sont particuliers au cadre de l'EC3-6.
- e) Apporter aux maîtres d'ouvrages, publics et privés, les éléments d'une norme de conception et de justification des structures qui soient contractualisables en application notamment de la Directive 71/305/CEE (incluant ses amendements) sur la coordination des procédures de marchés publics de travaux et de la Directive 89/106/CEE relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats membres concernant les produits de construction.

#### AP.2.2 Les différentes lectures de EC3-6 DAN

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

- a) La norme française expérimentale transposant l'EC3-6 est comprise dans tout ce qui n'est pas grisé.
- b) Le DAN est délimité par les zones encadrées qui sont indexées «I», «A» ou «C», et intègre aussi les valeurs encadrées de l'EC3-6 qui n'ont pas été invalidées.
- c) La traduction française de la version originale de l'EC3-6 est donc à trouver dans tout ce qui n'est pas à la fois encadré et indexé, zones grisées incluses.

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

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

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

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

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

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

Catégorie d'adaptation	Codification de l'adaptation
INVALIDATION	I avec grisé de la partie de la prescription de l'EC3-3-6 invalidée
AMENDEMENT	A
COMMENTAIRE	C

### AP.2.4 Les textes normatifs de référence

Le répertoire des normes et autres textes normatifs de référence de l'EC 3-6 DAN est donné à l'article AP.4 de cet avant-propos.

## AP.3 Modalités d'application

### AP.3.1 Domaine d'application

Le domaine d'application de l'EC3-6 DAN couvre la réalisation de poutres de roulement de ponts roulants et autres structures supportant des appareils de levage

Pour les applications à la marge de ce domaine, il est recommandé de consulter la Commission de Normalisation de la Construction Métallique (CNCMét).

### AP.3.2 La référence aux textes normatifs

Dans les répertoires de l'article AP.4 du présent avant-propos sont présentés :

- partie gauche : les normes européennes ;
- partie droite et en regard des normes européennes, les normes nationales et autres documents s'y substituant temporairement et à utiliser, en totalité ou partiellement avec la présente norme française expérimentale.

Dans le cadre de l'application de la norme française expérimentale, on se référera aux normes répertoriées dans la partie droite de l'article AP.4. En l'absence de normes européennes, il est fait appel, pour l'essentiel aux normes nationales. Il n'a pas été jugé nécessaire, chaque fois que l'EC3-6 fait référence à une norme (européenne ou ISO) de mentionner dans le corps même du DAN, la (les) norme(s) nationale(s) équivalente(s). À charge pour l'utilisateur de retrouver celle(s)-ci dans l'article AP.4 par une lecture allant de la gauche vers la droite.

### **AP.3.3 Modalités contractuelles**

La présente norme expérimentale n'est applicable, en totalité ou en partie, dans le cadre contractuel d'un marché public ou privé que s'il y est fait explicitement référence :

- pour les marchés publics, dans le Cahier des Clauses Administratives Particulières à l'article 2 — où la liste des pièces générales rendues contractuelles mentionnera la norme française expérimentale et, en cas d'utilisation partielle, les parties de celle-ci à considérer — et à l'article 10 — qui indiquera la dérogation correspondante faite au Cahier des Clauses Techniques Générales — ;
- pour les marchés privés, dans des documents particuliers du marché tels que définis dans la norme NF P 03-001, décembre 2000 (Cahier des Clauses Administratives Particulières, Cahier des Clauses Spéciales, Cahier des Clauses Techniques Particulières).

### **AP.3.4 Modalités d'expérimentation**

L'ENV 1993-6 a été approuvé par le CEN le 24 avril 1998.

Au terme d'une période expérimentale de trois ans, les pays membres du CEN auront à opter soit pour un ultime prolongement du statut de l'ENV pour une période d'au moins trois ans, soit pour le statut de norme européenne (EN).

Cette décision sera très certainement assortie d'une révision de la norme.

Dans cette perspective, les utilisateurs de la présente norme expérimentale sont invités à faire connaître leurs observations avec, si possible, propositions d'amendements à l'appui, à AFNOR (11, avenue François de Pressensé — 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex) qui transmettra au BNCM.

### **Évolution des adaptations nationales**

Il n'est pas exclu que l'expérimentation de l'EC3-6 DAN mette en évidence certains problèmes relatifs à l'applicabilité du document, conduisant la CNCMét à formuler des amendements ou à apporter des compléments jugés indispensables aux adaptations nationales déjà produites. En cas de difficulté, il y aura lieu de se rapprocher d'AFNOR ou du BNCM.

### **AP.4 Liste des normes et textes normatifs de référence**

Le présent article a pour objet de donner la liste des normes et autres textes normatifs auxquels il y a lieu de se référer pendant la phase d'expérimentation de l'EC3-3-1 DAN.

Normes européennes ou internationales publiées		Normes pouvant être appliquées avec l'ENV	
Désignation	Intitulé	Désignation	Intitulé
ENV 1090	<i>Exécution des structures en acier</i>		
Partie 1	<i>Règles générales et règles pour les bâtiments</i>	FD ENV 1090-1 XP P 22 501-1	<i>Exécution des structures en acier</i> <i>Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments</i>
Partie 3	<i>Règles supplémentaires pour les aciers HLE</i>		
Partie 5	<i>Règles supplémentaires pour les ponts</i>		
ENV 1991	<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures</i>		<i>Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale</i>
Partie 1-1	<i>Bases de calcul</i>	XP ENV 1991-1	<i>Partie 1-1 : Bases de calcul</i>
Partie 2-4	<i>Actions du vent</i>	XP ENV 1991-2-4	<i>Partie 2-4 : Actions du vent</i>
Partie 5	<i>Actions induites par les appareils de levage et les machines</i>		
ENV 1993	<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier</i>		<i>Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et document d'application nationale</i>
Partie 1-1	<i>Règles générales et règles pour les bâtiments</i>	XP P 22-311	<i>Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments</i>
Partie 1-2	<i>Calcul du comportement au feu</i>	XP P 22-312	<i>Partie 1-2 : Calcul du comportement au feu</i>
Partie 1-3	<i>Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid</i>	XP ENV 1993-1-3	<i>Partie 1-3 : Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid</i>
Partie 1-4	<i>Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables</i>	XP ENV 1993-1-4	<i>Partie 1-4 : Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables</i>
Partie 1-5	<i>Règles supplémentaires pour les plaques planes, raidies ou non, chargées dans leur plan</i>	XP ENV 1993-1-5	<i>Partie 1-5 : Règles supplémentaires pour les plaques planes, raidies ou non, chargées dans leur plan</i>
Partie 2	<i>Ponts métalliques</i>	XP ENV 1993-2	<i>Partie 2 : Ponts métalliques</i>
ENV 1998	<i>Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes</i>	XP ENV 1998	<i>Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes</i>
EN 13001	<i>Appareils de levage à charge suspendue — Sécurité — Conception générale;</i>		
Partie 1	<i>Principes généraux et prescriptions ;</i>		

Normes européennes ou internationales publiées		Normes pouvant être appliquées avec l'ENV	
Désignation	Intitulé	Désignation	Intitulé
Partie 2	<i>Effets de charge ;</i>	NF EN 13001-2	<i>Appareils de levage à charge suspendue — Sécurité — Conception générale — Partie 2 : Effets de charge.</i>
Partie 3	<i>États limites et preuve d'aptitude ;</i>		
EN 10025	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés. Conditions techniques de livraison</i>	NF EN 10025	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés. Conditions techniques de livraison</i>
EN 10113	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction soudables à grains fins</i>	NF EN 10113	<i>Produits laminés à chaud en aciers de construction soudables à grains fins</i>
EN 10137	<i>Tôles et larges plats en aciers de construction à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu ou durci par précipitation</i>	NF EN 10137	<i>Tôles et larges plats en aciers de construction à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu ou durci par précipitation</i>
Partie 1	<i>Conditions générales de livraison</i>	Partie 1	<i>Conditions générales de livraison</i>
Partie 2	<i>Conditions de livraison des aciers à l'état trempé et revenu</i>	Partie 2	<i>Conditions de livraison des aciers à l'état trempé et revenu</i>
EN 10210	<i>Profils creux pour la construction finis à chaud en aciers de construction non alliés et à grains fins</i>	NF EN 10210	<i>Profils creux pour la construction finis à chaud en aciers de construction non alliés et à grains fins</i>
EN 10219	<i>Profils creux pour la construction formés à froid en aciers de construction non alliés et à grains fins</i>	NF EN 10219	<i>Profils creux pour la construction formés à froid en aciers de construction non alliés et à grains fins</i>
EN 20286	<i>Système ISO de tolérances et d'ajustement</i>		
Partie 2	<i>Tables des degrés de tolérance normalisés et des écarts limites des alésages et des arbres</i>	NF EN 20286-2	<i>Tables des degrés de tolérance normalisés et des écarts limites des alésages et des arbres</i>
ISO 3898	<i>Unités SI et recommandations concernant l'emploi de leurs multiples ainsi que de certaines autres unités</i>	NF X 02-006	<i>Le système international d'unités. Description et règles d'emploi — Choix de multiples et de sous-multiples</i>
ISO 8930	<i>Principes généraux de fiabilité des constructions — Listes de termes équivalents</i>	P 06-007	<i>Principes généraux de fiabilité des constructions — Listes de termes équivalents</i>
ISO/DIS 11660	<i>Appareils de levage à charge suspendue — Moyens d'accès, dispositifs de protection et de retenue</i>		
Partie 5	<i>Ponts roulants et ponts portiques</i>		
		Règles de calcul FEM (Fédération Européenne de la Manutention)	<i>Cahier n° 3</i>

**Version française**

**Eurocode 3 —  
Calcul des structures en acier  
et document d'application nationale —  
Partie 6 : Chemins de roulement**

Eurocode 3 —  
Bemessung und Konstruktion  
von Stahlbauten und national  
Anwendungsdokumente — Teil 6: Kranbahnen

Eurocode 3 —  
Design of steel structures  
and national application document —  
Part 6: Crane supporting structures

La présente prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 24 avril 1998 comme norme expérimentale pour application provisoire. La période de validité de cette ENV est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de l'ENV en norme européenne (EN).

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

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

**CEN**

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung  
European Committee for Standardization

**Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles**

## Sommaire

	Page
<b>Avant-propos</b> .....	4
<b>1 Généralités</b> .....	7
1.1 Objet .....	7
1.2 Distinction entre principes et règles d'application .....	7
1.3 Références .....	8
1.4 Définitions .....	9
1.5 Symboles .....	9
1.6 Terminologie .....	9
<b>2 Bases de calcul</b> .....	11
2.1 Généralités .....	11
2.2 Hypothèses .....	11
2.3 Fiabilité .....	12
2.4 Durée de vie de calcul .....	12
2.5 Actions .....	12
2.6 Équilibre statique .....	12
2.7 Stabilité dynamique sous charges de vent .....	14
2.8 Vérifications aux états limites ultimes .....	14
2.9 Vérifications aux états limites de service .....	14
2.10 Charges d'épreuve pour appareils de levage .....	14
2.11 Gabarits de passage pour les appareils de levage .....	15
2.12 Conception et dimensionnement assistés par l'expérimentation .....	15
<b>3 Matériaux</b> .....	15
3.1 Aciers de construction .....	15
3.2 Rails en acier .....	15
3.3 Aciers inoxydables .....	16
3.4 Fixations .....	16
3.5 Produits d'apport de soudage .....	16
3.6 Dispositifs d'assemblages spéciaux pour rails .....	16
<b>4 Durabilité</b> .....	16
4.1 Généralités .....	16
4.2 Éléments présentant une durée de vie limitée .....	17
4.3 Assurance de la qualité .....	17
4.4 Robustesse .....	17
<b>5 Bases pour l'analyse de la structure</b> .....	18
5.1 Modélisation en vue de l'analyse de la structure et de la résistance .....	18
5.2 Modèles de calcul .....	18
5.3 Calcul des sollicitations .....	18
5.4 Contraintes locales provoquées par les charges des galets sur la semelle supérieure .....	21
5.5 Contraintes locales exercées dans les poutres en I par les chariots suspendus .....	24
5.6 Spectres des contraintes de fatigue .....	27
<b>6 États limites ultimes</b> .....	31
6.1 Bases .....	31
6.2 Classification des sections transversales .....	33
6.3 Résistance de la semelle inférieure aux charges des galets .....	33

## Sommaire (fin)

	Page
<b>7 États limites de service</b> .....	35
7.1 Bases .....	35
7.2 Limitation des déformations .....	36
7.3 Limitation des contraintes pour assurer un comportement réversible .....	36
7.4 Limitation de la respiration d'âme .....	36
7.5 Vibration .....	37
<b>8 Considérations particulières</b> .....	39
8.1 Soudures âme-semelle .....	39
8.2 Joints et raccords de rails .....	39
8.3 Dispositifs de fixation des rails .....	40
8.4 Consoles supports .....	40
8.5 Poutres horizontales .....	41
8.6 Dispositifs d'appuis horizontaux .....	42
8.7 Ancrages .....	43
8.8 Pression de contact .....	44
<b>9 Fatigue</b> .....	46
9.1 Généralités .....	46
9.2 Chargement de fatigue .....	47
9.3 Coefficients partiels pour les vérifications à la fatigue .....	47
9.4 Spectres de contraintes de fatigue .....	47
9.5 Méthode de vérification à la fatigue .....	47
9.6 Résistance à la fatigue .....	49
9.7 Moments secondaires dans les éléments triangulés .....	49
<b>10 Exécution</b> .....	51
10.1 Exigences .....	51
10.2 Informations concernant la conception et le calcul .....	52
10.3 Cahier des charges du projet .....	52
<b>Annexe A (informative) Informations à fournir</b> .....	53
A.1 Chemins de roulement .....	53
A.2 Chemins de roulement pour les ensembles treuil-chariot de monorails .....	54
<b>Annexe B (informative) Aspects concernant l'exécution</b> .....	55
B.1 Généralités .....	55
B.2 Dossier .....	55
B.3 Zones sensibles à la fatigue .....	55
B.4 Soudage .....	56
B.5 Fixations mécaniques .....	56
B.6 Montage .....	56
B.7 Tolérances de montage .....	57
<b>Annexe C (normative) Déversement</b> .....	58
C.1 Généralités .....	58
C.2 Vérifications simplifiées .....	58
C.3 Évaluations simplifiées .....	59

## 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 constituent un ensemble de normes élaborées en vue du calcul géotechnique et structural des bâtiments et ouvrages de Génie Civil.
- (2) Ils ne couvrent l'exécution et le contrôle que dans la mesure où cela est nécessaire pour indiquer la qualité des produits de construction et le niveau d'exécution indispensables pour la conformité aux hypothèses des règles de calcul.
- (3) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées pour les produits et pour les méthodes d'essai de leurs comportements soit disponible, quelques-uns des Eurocodes structuraux couvrent certains de ces aspects dans des annexes informatives.

### Historique du programme des Eurocodes

- (4) La Commission des Communautés Européennes (CCE) eut l'initiative de démarrer le travail d'établissement d'un ensemble de règles techniques harmonisées pour le calcul des bâtiments et ouvrages de génie civil, règles destinées à être utilisées, au début, comme alternative aux différentes règles en vigueur dans les différents états membres et, ultérieurement, à les remplacer. Ces règles techniques se sont fait connaître sous le nom «d'Eurocodes structuraux».
- (5) En 1990, après consultation de ses états membres, la CCE a transféré le travail d'élaboration, de diffusion et de mise à jour des Eurocodes Structuraux au CEN, et le Secrétariat de l'AELE a accepté d'aider le CEN dans cette tâche.
- (6) Le Comité Technique CEN/TC 250 du CEN est responsable de tous les Eurocodes Structuraux.

### Programme des Eurocodes

(7) Les travaux sont en cours sur les Eurocodes Structuraux suivants, chacun étant généralement constitué de plusieurs parties :

EN 1991	Eurocode 1	Bases de calcul et actions sur les structures ;
EN 1992	Eurocode 2	Calcul des structures en béton ;
EN 1993	Eurocode 3	Calcul des structures en acier ;
EN 1994	Eurocode 4	Calcul des structures mixtes acier-béton ;
EN 1995	Eurocode 5	Calcul des structures en bois ;
EN 1996	Eurocode 6	Calcul des structures en maçonnerie ;
EN 1997	Eurocode 7	Calcul géotechnique ;
EN 1998	Eurocode 8	Résistance des structures aux séismes ;
EN 1999	Eurocode 9	Calcul des structures en aluminium.

(8) Des sous-comités distincts ont été constitués par le CEN/TC 250 pour les différents Eurocodes énoncés ci-dessus.

(9) La présente partie 6 de l'ENV 1993 est publiée par le CEN en tant que Prénorme Européenne (ENV) pour une durée de vie initiale de trois ans.

(10) La présente prénorme est destinée à une application expérimentale et est soumise à commentaires.

(11) Au terme d'une durée approximative de deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre des commentaires formels qui seront pris en compte dans la détermination des actions futures.

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

BSI Standards  
British Standards House  
389 Chiswick High Road  
Londres W4 4AL  
Angleterre

ou à votre organisme national de normalisation.

### **Document 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 . Il appartient aux autorités de chaque pays membre de revoir les valeurs encadrées, et elles ont la faculté de substituer des valeurs alternatives définitives pour ces éléments de sécurité en vue de l'application nationale.

(14) Certaines normes européennes ou internationales de référence indispensables peuvent ne pas être disponibles à la publication de la présente prénorme. Il est par conséquent prévu qu'un Document d'Application Nationale (DAN) donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité faisant références aux normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de la présente prénorme, soit publié dans chaque état membre ou son organisme de normalisation.

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

### **Spécificités de la présente 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 : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des structures en coques ;
ENV 1993-1-7	Règles générales : Règles supplémentaires pour la résistance et la stabilité des plaques planes chargées transversalement ;
ENV 1993-2	Ponts métalliques ;
ENV 1993-3-1	Pylônes et mâts haubanés ;
ENV 1993-3-2	Cheminées ;
ENV 1993-4-1	Silos ;
ENV 1993-4-2	Réservoirs ;
ENV 1993-4-3	Canalisations ;
ENV 1993-5	Pieux et palplanches ;
ENV 1993-6	Chemins de roulement ;
ENV 1993-7	Structures marines et maritimes ;
ENV 1993-8	Structures agricoles.

(17) Ce document étend l'objet de l'Eurocode 3 aux structures en acier supportant des ponts roulants et des monorails.

(18) La présente Partie 6 fait référence à la Partie 1 de l'Eurocode 3, et exceptionnellement à la Partie 2, voir (21). Les sujets qui sont déjà couverts dans ces documents ne sont en général pas reproduits ici.

(19) De même, il est également fait référence à l'Eurocode 1 : Partie 1 pour les sujets concernant les bases de calcul, au lieu de les reproduire dans le présent document.

(20) Dans chaque section du corps principal du texte, la mesure dans laquelle il modifie, complète, ou remplace les éléments correspondants de la Partie 1 de l'Eurocode 3 est indiquée spécifiquement.

(21) À titre provisoire, il est fait référence à la Partie 2 de l'Eurocode 3, plutôt qu'à la Partie 1, dans les cas où le traitement indiqué dans la Partie 2 est plus adapté ou s'il a été par ailleurs actualisé. Il n'est pas envisagé de retenir cette pratique dans la future version EN du présent document.

## 1 Généralités

### 1.1 Objet

(1)P La Partie 6 de l'ENV 1993 donne des principes et des règles d'application pour la conception et le calcul des poutres de chemins de roulement de ponts roulants et autres structures supportant des appareils de levage, y compris les poteaux et autres éléments fabriqués en acier.

(2)P Les dispositions données dans la Partie 6 complètent, modifient ou remplacent les dispositions équivalentes données dans l'ENV 1993-1-1, auquel il convient de se référer également.

(3)P Ce document couvre les chemins de roulement de ponts roulants situés à l'intérieur de bâtiments ainsi que les chemins de roulement de ponts roulants situés à l'extérieur.

(4)P Les chemins de roulement pour ponts gerbeurs situés dans des entrepôts de grande hauteur ne sont pas couverts par ce document, même si certaines de ses dispositions peuvent être adoptées pour de tels chemins de roulement.

(5)P Ce document couvre les poutres de chemins de roulement pour :

a) les ponts roulants :

- soit posés sur la partie supérieure des poutres de roulement ;
- soit suspendus sous les poutres de roulement ;

b) les treuils-chariots de monorails.

(6)P Les accessoires comprenant les rails de pont roulant, les butoirs, les consoles supports, dispositifs d'appuis horizontaux ainsi que les poutres horizontales, sont également couverts. Toutefois, les rails de ponts roulants qui ne sont pas montés sur des structures en acier, ainsi que les rails destinés à d'autres usages, sont exclus.

(7)P Les appareils de levage ainsi que toutes les autres parties mobiles sont exclus. Des dispositions concernant les appareils de levage sont données dans l'EN 13001.

(8)P Les poutres de roulement destinées aux nacelles de nettoyage de vitrage, aux nacelles d'accès des ouvrages d'art ou utilisées à d'autres fins ne sont pas couvertes dans ce document, même si certaines de ses dispositions pourraient être adoptées pour de telles structures.

(9)P Des dispositions sont également données pour les ancrages et les assemblages sur des bâtiments de dispositifs de levage fixes.

(10) Cette Partie ne couvre pas les dispositions particulières concernant le calcul parasismique, qui sont données dans l'ENV 1998.

(11) Les mesures particulières pouvant s'avérer nécessaires en vue de limiter les conséquences d'accidents ne sont pas couvertes dans cette Partie. Pour la résistance au feu, il convient de se reporter à l'ENV 1993-1-2.

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

(1)P En fonction du caractère de chaque alinéa, une distinction est faite dans la présente Partie entre principes et règles d'application.

(2)P Les principes comprennent :

- des déclarations générales ou définitives pour lesquelles il n'existe aucune alternative ;
- des exigences et des modèles analytiques qui n'admettent aucune alternative, sauf mention contraire.

(3) Les principes sont identifiés par la lettre P suivant le numéro de l'alinéa.

(4)P Les règles d'application sont en général des règles reconnues qui suivent les principes et qui satisfont leurs exigences. On peut utiliser des règles de calcul alternatives différentes des règles d'application données dans l'Eurocode, à condition qu'il soit démontré que la règle alternative respecte les principes concernés et conduit à une sécurité au moins égale.

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

### 1.3 Références

La présente Prénorme Européenne intègre, par référence datée ou non, des dispositions provenant d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés du texte et les publications sont indiquées ci-dessous. En ce qui concerne les références datées, les révisions ou amendements ultérieurs de ces publications ne s'appliquent à la présente Prénorme Européenne que lorsqu'ils y sont intégrés par amendement ou révision. Pour les références non datées, c'est l'édition la plus récente de la publication concernée qui s'applique.

ENV 1090 *Exécution des structures en acier :*

- Partie 1 Règles générales et règles pour les bâtiments ;*
- Partie 3 Règles supplémentaires pour les aciers à haute limite d'élasticité ;*
- Partie 5 Règles supplémentaires pour les ponts ;*

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

- Partie 1 Bases de calcul ;*
- Partie 2.4 Actions sur les structures — Actions du vent ;*
- Partie 5 Actions induites par les ponts roulants et autres machines ;*

ENV 1993 *Eurocode 3 : Calcul des structures en acier et Document d'Application Nationale :*

- Partie 1.1 Règles générales — Règles générales et règles pour les bâtiments ;*
- Partie 1.2 Règles générales — Calcul du comportement au feu ;*
- Partie 1.3 Règles générales — Règles supplémentaires pour les profilés et plaques à parois minces formés à froid ;*
- Partie 1.4 Règles générales — Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables ;*
- Partie 1.5 Règles générales — Règles supplémentaires pour les plaques planes, raidies ou non, chargées dans leur plan ;*
- Partie 2 Ponts métalliques ;*

ENV 1998 *Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance au séisme ;*

EN 13001 *Appareils de levage à charge suspendue — Sécurité — Conception générale ;*

- Partie 1 Principes généraux et prescriptions ;*
- Partie 2 Effets de charge ;*
- Partie 3 États limites et preuve d'aptitude ;*

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

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

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

- Partie 1 Conditions générales de livraison ;*
- Partie 2 Conditions de livraison des aciers à l'état trempé et revenu ;*

EN 10210 *Profils creux pour la construction finis à chaud en aciers de construction non alliés et à grains fins ;*

EN 10219 *Profils creux pour la construction formés à froid en aciers de construction non alliés et à grains fins ;*

EN 20286 *Système ISO de tolérances et d'ajustements :*

- Partie 2 Tables des degrés de tolérance normalisés et des écarts limites des alésages et des arbres ;*

prEN XXX *[Aciers pour rails]*

ISO 3898 *Bases de calcul des constructions — Notations — Symboles généraux ;*

ISO 8930 *Principes généraux de la fiabilité des constructions — Listes de termes équivalents ;*

ISO 11660 *Appareils de levage à charge suspendue — Moyens d'accès, dispositifs de protection et de retenue :*

- Partie 5 Ponts roulants et portiques.*

## 1.4 Définitions

- (1) Les termes qui sont définis dans l'ENV 1991-1 pour utilisation commune dans les Eurocodes Structuraux s'appliquent à cette Partie 6 de l'ENV 1993.
- (2) Sauf spécification différente, les définitions données dans l'ISO 8930 s'appliquent également à cette Partie 6.
- (3) En complément de la Partie 1 de l'ENV 1993, dans le cadre de cette Partie 6, les définitions suivantes s'appliquent.

### 1.4.1

#### **durée de vie de calcul**

période supposée pendant laquelle la structure doit être utilisée dans sa fonction prévue, avec l'entretien prévu mais sans nécessité de réparation majeure

### 1.4.2

#### **analyse globale**

détermination d'un ensemble cohérent de sollicitations internes en équilibre avec un ensemble déterminé d'actions s'exerçant sur cette structure

## 1.5 Symboles

- (1) Outre ceux donnés dans l'ENV 1993-1-1, le symbole principal suivant est utilisé :

$\phi_i$  coefficient d'amplification dynamique (avec indices  $i = 1$  à 8).

- (2) D'autres symboles sont définis lors de leur première occurrence.

**NOTE** Les symboles utilisés sont basés sur l'ISO 3898:1987.

## 1.6 Terminologie

En complément à la Partie 1 de l'ENV 1993 (et à la Partie 5 de l'ENV 1991), dans le cadre de cette Partie 6 la terminologie suivante s'applique.

**1.6.1 Chariot.** Partie d'un pont roulant qui comprend un treuil de levage et qui peut se déplacer sur des rails à la partie supérieure du pont roulant, voir Figure 1.1.

**1.6.2 Poutre de pont.** Partie d'un pont roulant disposée entre les poutres de roulement et qui supporte le chariot ou le treuil de levage, voir Figures 1.1 à 1.3.

**1.6.3 Poutre de roulement.** Poutre le long de laquelle un pont roulant peut se déplacer.

**1.6.4 Actions horizontales.** Actions dynamiques horizontales provoquées par le fonctionnement du pont roulant, agissant longitudinalement et/ou transversalement par rapport aux poutres de roulement.

**1.6.5 Dispositif de guidage.** Système utilisé pour conserver l'alignement d'un pont roulant sur un chemin de roulement, grâce à des réactions horizontales entre le pont roulant et les poutres de roulement. Le dispositif de guidage peut être constitué par les galets à boudins du pont roulant ou par un système distinct de galets de guidage disposé sur le côté des rails ou sur le côté des poutres de roulement.

**1.6.6 Treuil.** Mécanisme destiné au levage des charges.

**1.6.7 Ensemble treuil-chariot.** Chariot suspendu comprenant un treuil et capable de se déplacer sur la semelle inférieure d'une poutre, sur un chemin de roulement fixe (comme illustré dans la Figure 1.4) ou sous la poutre de pont d'un pont roulant (comme illustré dans les Figures 1.2 et 1.3).

**1.6.8 Ensemble treuil-chariot de monorail.** Ensemble supporté par une poutre de roulement fixe, voir Figure 1.4.

**1.6.9 Pont roulant.** Appareil destiné au levage et au déplacement de charges, se déplaçant sur des galets le long de poutres de roulement. Il comprend un ou plusieurs treuils montés sur des chariots posés ou suspendus.

**1.6.10 Patin résilient.** Patin breveté en élastomère renforcé pouvant être utilisé sous les rails de ponts roulants.

**1.6.11 Poutre de roulement pour ensemble treuil-chariot.** Poutre de roulement prévue pour supporter un ensemble treuil-chariot de monorail pouvant se déplacer sur sa semelle inférieure, voir Figure 1.4.

**1.6.12 Butoir.** Élément destiné à arrêter un pont roulant ou un chariot atteignant l'extrémité d'un chemin de roulement.

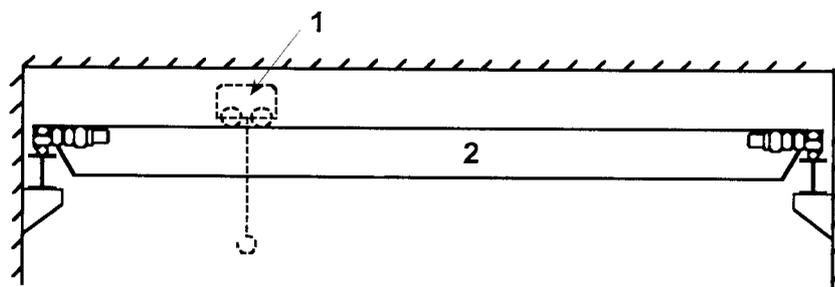
**1.6.13 Dispositif d'appui horizontal.** Assemblage transmettant les actions horizontales d'une poutre de roulement, ou d'une poutre horizontale, sur un appui.

**1.6.14 Poutre horizontale.** Poutre à âme pleine ou à treillis résistant aux actions horizontales et les transmettant aux appuis.

**1.6.15 Pont roulant posé.** Pont roulant appuyé sur la partie supérieure des poutres de roulement, voir Figures 1.1 et 1.2. Il se déplace habituellement sur des rails, mais parfois directement sur la semelle supérieure des poutres.

**1.6.16 Pont roulant suspendu.** Pont roulant appuyé sur les ailes inférieures des poutres de roulement, voir Figure 1.3.

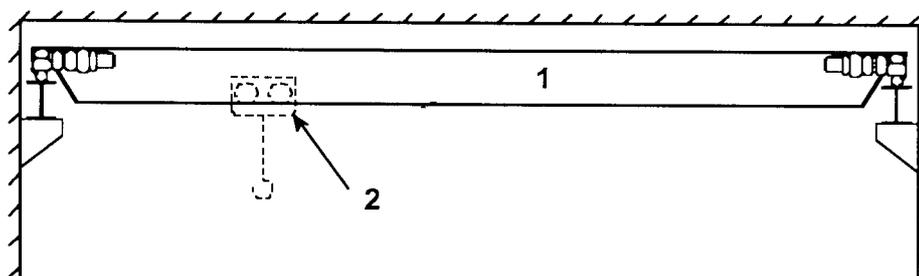
**(A) 1.6.17 Appareil de levage.** Terme désignant indifféremment un pont roulant, un ensemble treuil-chariot ou tout autre dispositif de levage.



**Légende**

- 1 Chariot
- 2 Poutre de pont

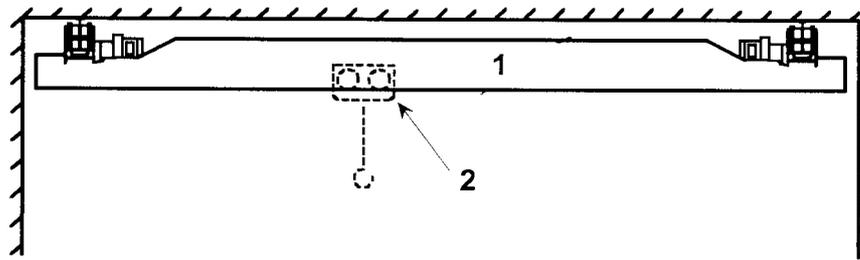
**Figure 1.1 — Pont roulant posé avec chariot**



**Légende**

- 1 Poutre de pont
- 2 Ensemble treuil-chariot

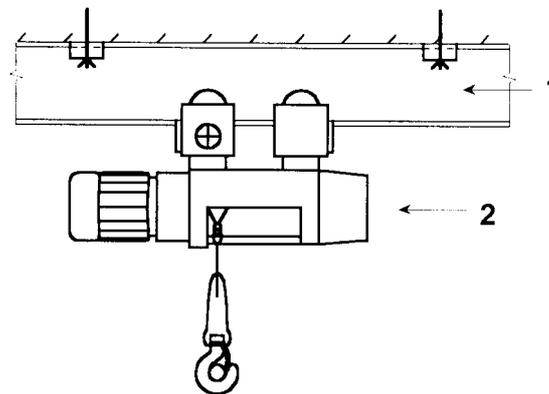
**Figure 1.2 — Pont roulant posé avec ensemble treuil-chariot**



**Légende**

- 1 Poutre de pont
- 2 Ensemble treuil-chariot

**Figure 1.3 — Pont roulant suspendu avec ensemble treuil-chariot**



**Légende**

- 1 Poutre de roulement
- 2 Ensemble treuil-chariot de monorail

**Figure 1.4 — Poutre de roulement avec ensemble treuil-chariot de monorail**

## 2 Bases de calcul

### 2.1 Généralités

- (1)P Les bases de calcul doivent être conformes à l'ENV 1991-1.
- (2)P Les dispositions particulières données de 2.3 à 2.12 doivent également être respectées.

### 2.2 Hypothèses

- (1)P Les hypothèses données dans l'ENV 1991-1 doivent s'appliquer au calcul dans cette Partie 6 de l'ENV 1993.

## 2.3 Fiabilité

(1)P La fiabilité exigée pour les chemins de roulement doit être obtenue par calcul conformément à l'ENV 1991 et à l'ENV 1993, avec une exécution conforme à l'ENV 1090.

(2) En fonction des conséquences de la ruine, différents niveaux de fiabilité peuvent en général être adoptés pour :

- la sécurité structurale ;
- l'aptitude au service ;
- la fatigue.

(3) Pour la différenciation de la fiabilité en relation avec la durabilité, voir section 4.

## 2.4 Durée de vie de calcul

(1) Sauf spécification différente dans le cahier des charges du projet, il convient que la durée de vie de calcul (voir 1.4.1) d'une poutre de roulement soit considérée identique à celle du bâtiment, prise normalement égale à 50 ans.

(2) Pour les structures provisoires supports d'appareils de levage, il convient que la durée de vie de calcul exigée fasse l'objet d'un accord entre le client, le concepteur et l'autorité compétente, en prenant en compte une réutilisation éventuelle.

(3) En ce qui concerne les éléments structuraux qui ne peuvent être conçus pour atteindre la durée de vie de calcul de la structure support d'un appareil de levage, voir 4.2.

## 2.5 Actions

(1)P Les valeurs caractéristiques des actions d'un appareil de levage doivent être déterminées par référence à l'ENV 1991-5.

(2) Il convient que, conformément à l'ENV 1991-5, les coefficients d'amplification dynamique  $\phi_i$  donnés dans le Tableau 2.1 soient incorporés dans les valeurs caractéristiques et les valeurs de calcul de toutes les actions des ponts roulants.

(3) Il convient que les actions induites par les ponts roulants soient considérées comme des groupes de charges à traiter comme une seule action caractéristique de pont roulant, conformément à l'ENV 1991-5, comme indiqué dans le Tableau 2.2.

(4)P Les autres actions associées doivent être déterminées par référence aux parties appropriées de l'ENV 1991.

## 2.6 Équilibre statique

(1)P L'équilibre statique doit être vérifié pour toutes les étapes critiques de montage (voir ENV 1991-5) ainsi que pour les conditions d'exploitation.

(2) Il convient que le chargement ainsi que les coefficients partiels soient conformes à l'ENV 1991-5.

(3) Il convient que les valeurs particulières des coefficients partiels prenant en compte une répartition éventuellement non uniforme du poids propre et utilisées pour la vérification de l'équilibre statique, soient également appliquées pour la vérification du soulèvement au niveau des appuis.

**Tableau 2.1 — Coefficients d'amplification dynamique  $\phi_i$**

Coefficient d'amplification dynamique	Effet pris en compte par le coefficient	Action amplifiée
$\phi_1$	Excitation vibratoire de la structure d'un appareil de levage due au décollage de la masse à lever du sol.	Poids propre de l'appareil de levage
$\phi_2$	Effet dynamique du transfert de la masse à lever du sol vers l'appareil de levage.	Masse à lever
$\phi_3$	Effet dynamique du relâchement soudain de la charge utile — par ex : utilisation d'aimants ou de grappin.	Masse à lever
$\phi_4$	Effets dynamiques induits par le déplacement sur le chemin de roulement.	Poids propre de l'appareil de levage et masse à lever
$\phi_5$	Effets dynamiques provoqués par les forces motrices.	Forces motrices
$\phi_6$	Levage et déplacement de la charge d'épreuve par l'appareil de levage.	Charge d'épreuve de l'appareil de levage
$\phi_7$	Effets élastiques (ressort) d'impact sur les tampons-amortisseurs.	Forces de tamponnement

NOTE Le coefficient  $\phi_8$  est un coefficient de réponse aux rafales, utilisé pour amplifier les effets du vent, voir ENV 1991-2-4.

**Tableau 2.2 — Groupes de charges et coefficients d'amplification dynamique à traiter comme une action caractéristique unique de l'appareil de levage**

Charge	ENV 1991-5		État limite et groupe de charges									
	Symbole	Référence	ELU							ELS	Accidentelle	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Poids propre de l'appareil de levage	$Q_C$	2.6	$\phi_1$	$\phi_1$	1	$\phi_4$	$\phi_4$	$\phi_4$	1	$\phi_1$	1	1
Masse à lever	$Q_H$	2.6	$\phi_2$	$\phi_3$	—	$\phi_4$	$\phi_4$	$\phi_4$	$\eta$	—	1	1
Accélération ou freinage de l'appareil de levage	$H_L$ et $H_T$	2.7	$\phi_5$	$\phi_5$	$\phi_5$	$\phi_5$	—	—	—	$\phi_5$	—	—
Marche en crabe de l'appareil de levage	$H_S$	2.7	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
Accélération ou freinage du chariot ou de l'ensemble treuil-chariot	$H_{T,3}$	2.7	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
Vent de service	$F_W^*$	Annexe A	1	1	1	1	1	—	—	1	—	—
Charges d'épreuve	$Q_T$	2.10	—	—	—	—	—	—	—	$\phi_6$	—	—
Forces de tamponnement	$H_B$	2.11	—	—	—	—	—	—	—	—	$\phi_7$	—
Force de renversement	$H_{TA}$	2.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1

NOTE 1  $\eta$  : partie de la masse à lever qui subsiste lorsque la charge utile est retirée, mais non comprise dans le poids propre de l'appareil de levage, voir ENV 1991-5 ;

NOTE 2  $\phi_i$  : coefficient d'amplification dynamique, voir 2.5(2) et Tableau 2.1.

**Tableau 2.2 (A)** : les cas mentionnés à l'ELU sont également à considérer à l'ELS.

**2.2 (C)** Pour les appareils de levage situés à l'extérieur, il convient de considérer un ELU supplémentaire constitué par le poids propre et le vent caractéristique (voir 2.8.3).

## 2.7 Stabilité dynamique sous charges de vent

- (1) Il convient d'accorder une attention particulière aux effets du vent sur les parties élancées des chemins de roulement situées à l'extérieur, ainsi que sur la totalité de la structure, y compris l'appareil de levage, voir ENV 1991-2-4.
- (2) Il convient d'étudier la stabilité dynamique des structures supports de ponts roulants situées à l'extérieur, y compris la stabilité de chacune de leurs parties, pour toutes les étapes critiques de montage ainsi que pour les conditions d'exploitation.
- (3) Lors de ces vérifications de la stabilité, il convient de prendre en compte les effets dynamiques éventuels du vent, tel le galop (avec glace ou pluie) et les flottements.

## 2.8 Vérifications aux états limites ultimes

- (1) Il convient d'appliquer les dispositions de la section 6 aux poutres de roulement des ponts roulants ainsi qu'à toute autre structure supportant un appareil de levage. Il convient d'appliquer également les vérifications aux états limites ultimes données dans l'ENV 1993-1-1.
- (2) La résistance de la semelle inférieure d'une poutre de roulement aux charges des galets provoquées par un pont roulant suspendu ou un ensemble treuil-chariot monorail peut être vérifiée comme indiqué en 6.3, à condition de vérifier également les contraintes locales comme indiqué en 5.5 sous chargement de service, voir 2.9(3).
- (3) Il convient de vérifier les chemins de roulement des ponts roulants ou des treuils situés à l'extérieur sous chargement de vent caractéristique s'exerçant sur le pont roulant ou le treuil à vide, voir 8.7.2. Il convient d'effectuer une vérification à l'état limite ultime séparée pour le chargement avec vent de service, voir Tableau 2.2.

## 2.9 Vérifications aux états limites de service

- (1) Il convient d'appliquer les dispositions de la section 7 aux poutres de roulement de ponts roulants ainsi qu'à toute autre structure supportant un appareil de levage.
- (2) Pour les vérifications aux états limites de service, il convient de prendre les combinaisons d'actions de vent et de pont roulant dans l'ENV 1991-1. Il convient de prendre le coefficient partiel pour les actions s'exerçant sur les chemins de roulement égal à 1,0. Il convient de prendre les coefficients de combinaison pour les actions de pont roulant dans l'ENV 1991-5.

**2.9 (2) C** Ces coefficients de combinaison sont à prendre dans le Tableau A.2 de l'ENV 1991-5.

- (3) Il convient de vérifier sous charges d'épreuve pour appareils de levage les contraintes s'exerçant dans la semelle inférieure et l'âme de toutes les poutres de roulement soumises à des charges verticales provoquées par un pont roulant suspendu ou un ensemble treuil-chariot pour monorail, voir 7.3.

**2.9 (3) C** Cette clause s'inscrit dans le cadre des dispositions prévues en 2.10.

## 2.10 Charges d'épreuve pour appareils de levage

**2.10 (C)** Par charge d'épreuve, on entend, en application de l'ENV 1991-5, une charge d'épreuve statique et une charge d'épreuve dynamique.

- (1) Il convient que les chemins de roulement soumis à des charges provoquées par des épreuves d'appareils de levage soient calculés pour les actions d'appareils de levage figurant dans le groupe de charges 8 du Tableau 2.2. Il convient de traiter ces actions comme une action unique d'appareils de levage. Il convient que les coefficients partiels pour les actions soient ceux utilisés pour les vérifications aux états limites de service.
- (2) Il convient que la limite de contrainte donnée en 7.3 soit satisfaite, mais il n'est pas nécessaire que les autres critères de service donnés dans la section 7 soient satisfaits sous charges d'épreuve pour ponts roulants.
- (3) Il convient de vérifier également sous charges d'épreuve d'appareils de levage toutes les poutres de roulement soumises à des charges verticales de roulement provoquées par un pont roulant suspendu ou un ensemble treuil-chariot de monorail, voir 7.3.

## 2.11 Gabarits de passage pour les appareils de levage

(1) Il convient que les gabarits de passage entre l'appareil de levage et la structure, ainsi que les dimensions des voies d'accès aux appareils de levage pour les personnels de conduite ou d'entretien soient conformes à l'ISO/DIS 11660-5.

**2.11 (1) I** Ces dispositions sont à traiter conformément aux textes réglementaires français relatifs à la sécurité.

## 2.12 Conception et dimensionnement assistés par l'expérimentation

(1) Pour la conception et le dimensionnement assisté par l'expérimentation, il convient de se reporter à la section 8 de l'ENV 1991-1, à la section 8 de l'ENV 1993-1-1 et, le cas échéant, à la section 9 de l'ENV 1993-1-3.

# 3 Matériaux

## 3.1 Aciers de construction

### 3.1.1 Objet

(1) La présente Partie 6 de l'Eurocode 3 couvre le calcul des chemins de roulement fabriqués à partir d'acier conforme aux normes de produits mentionnées dans l'ENV 1993-1-1, y compris l'annexe D de l'ENV 1993-1-1.

(2) Elle peut être utilisée également pour d'autres aciers de construction, à condition que d'autres données appropriées existent pour justifier l'application des règles de calcul et de fabrication concernées. Il convient que les méthodes et les évaluations d'essais soient conformes à **2.12**. Il convient que les exigences concernant les essais coïncident avec celles exigées par les normes de produits mentionnées en **(1)**.

### 3.1.2 Caractéristiques des matériaux

(1) Pour les valeurs nominales de la limite d'élasticité  $f_y$  et de la résistance à la traction  $f_u$  voir Tableau 3.1 de l'ENV 1993-1-1 pour les nuances d'acier S 235, S 275 et S 355. Pour les nuances d'acier S 420 et S 460 voir Tableau D.3.1 de l'ENV 1993-1-1.

(2) Il convient que l'acier possède une ténacité suffisante pour éviter la rupture fragile à la température de service la plus basse susceptible de survenir au cours de la durée de vie de calcul de la structure. Pour les chemins de roulement, il convient de se reporter à l'ENV 1993-2 pour les qualités d'acier appropriées.

**3.1.2 (2) I** Pour rester dans la logique des règles bâtiments, on se reportera à l'annexe C de l'ENV 1993-1.

(3) Pour les profils creux de construction voir EN 10210 et EN 10219.

(4) Dans le cas de profils à parois minces formés à froid utilisés pour des poutres horizontales légères, voir les normes de produits appropriées figurant dans l'ENV 1993-1-3.

## 3.2 Rails en acier

(1) Il convient que les rails de ponts roulants fabriqués spécifiquement ou les rails de type ferroviaire soient en aciers spéciaux pour rails, voir pr EN XXXX, avec des résistances à la traction minimales spécifiées entre 500 et 1 200 N/mm<sup>2</sup>.

(2) Les carrés et autres profils utilisés comme rails peuvent également être en aciers de construction conformes aux spécifications de **3.1**.

### 3.3 Aciers inoxydables

(1) Pour les aciers inoxydables, voir les dispositions appropriées dans l'ENV 1993-1-4.

### 3.4 Fixations

(1) Il convient que les boulons ordinaires soient conformes aux normes de produits appropriées mentionnées dans l'ENV 1993-1-1.

(2) Il convient que les boulons précontraints soient en général conformes aux normes de produits appropriées mentionnées dans l'ENV 1993-1-1. Comme alternative, avec l'accord du client, du concepteur et de l'autorité compétente, d'autres fixations précontraintes peuvent être utilisées, à condition qu'elles puissent être serrées à des valeurs de précontraintes similaires en toute fiabilité.

(3) Des boulons à injection peuvent être utilisés.

**NOTE** Des informations sur les boulons à injection sont données dans l'annexe J de l'ENV 1993-2.

### 3.5 Produits d'apport de soudage

(1) Il convient que les produits d'apport de soudage soient conformes aux normes de produits appropriées mentionnées dans l'ENV 1993-1-1.

### 3.6 Dispositifs d'assemblages spéciaux pour rails

(1) Il convient que l'on ait démontré par des essais que tous les dispositifs d'assemblage spéciaux pour rails, y compris les patins de répartition en élastomère et les fixations de fabrication spéciale, sont adaptés à leur utilisation spécifiée.

## 4 Durabilité

### 4.1 Généralités

(1)P Les chemins de roulement doivent être calculés pour rester aptes à l'usage dans leur environnement pendant leur durée de vie de calcul, voir **2.4**, sous réserve d'un entretien approprié.

(2) Il convient que les chemins de roulement soient calculés de telle sorte que, avec des degrés de fiabilité appropriés, une détérioration ne réduise ni la durabilité ni le comportement de la structure, en prenant dûment en compte le niveau d'entretien prévu.

(3)P Afin de garantir une durabilité convenable de la structure, des informations suffisantes doivent être données dans le cahier des charges du projet pour permettre la prise en compte des facteurs intimement reliés suivants :

- l'utilisation future prévue et possible de la structure ;
- les critères de comportement exigés ;
- les influences environnementales prévues ;
- la composition, les caractéristiques et le comportement des matériaux ;
- le choix du système structural ;
- la forme des éléments et les dispositions constructives ;
- la qualité de fabrication et le niveau de contrôle ;
- les mesures de protection particulières ;
- l'entretien au cours de la durée de vie de calcul.

(4)P Afin de permettre la prise de dispositions appropriée pour la protection des matériaux et des produits, les conditions d'environnement doivent être évaluées au stade de la conception (plutôt que par la suite) pour établir leur influence en termes de durabilité.

- (5) Pour assurer la durabilité, il convient que les chemins de roulement ainsi que leurs éléments structuraux :
- soient calculés en prenant en compte les actions accidentelles, la fatigue ou les détériorations, susceptibles de se produire au cours de la durée de vie de calcul ;
  - ou soient protégés contre elles.

(6)P Les chemins de roulement et les parties structurales sur lesquels sont assemblés des garde-corps, doivent être calculés afin de garantir que des déformations plastiques des garde-corps peuvent se produire sans endommager les parties structurales des chemins de roulement.

**4.1 (6) I** Cette disposition, sauf spécification particulière, s'applique aux ouvrages d'art et non aux supports d'appareils de levage.

## 4.2 Éléments présentant une durée de vie limitée

(1) Il convient que les éléments structuraux qui ne peuvent être conçus avec une fiabilité suffisante pour atteindre la durée de vie de calcul des chemins de roulement puissent être remplacés. Ces pièces peuvent être :

- des joints de dilatation ;
- des garde-corps ;
- des rails de pont roulant et leurs fixations ;
- des patins en élastomère ;
- des dispositifs d'appuis horizontaux.

(2) Lorsque l'on utilise des éléments des chemins de roulement nécessitant de pouvoir être remplacés, il convient de vérifier l'éventualité de leur remplacement en sécurité en tant que situation de calcul transitoire, en permettant autant que possible la poursuite sans interruption de l'utilisation du pont roulant.

## 4.3 Assurance de la qualité

(1)P Des mesures d'assurance de la qualité appropriées doivent être prises afin d'obtenir des chemins de roulement correspondant aux exigences de calcul ainsi qu'aux hypothèses prises dans le calcul.

(2) Il convient que ces mesures comprennent la définition des exigences de fiabilité, des mesures d'organisation ainsi que des vérifications aux étapes de calcul, de fabrication, d'utilisation et d'entretien.

## 4.4 Robustesse

(1)P Les chemins de roulement doivent être conçus pour tolérer certains dommages.

(2) Il convient que la conception vis-à-vis des dommages garantisse que, lorsqu'il se produit un dommage provoqué par des actions accidentelles, une détérioration des matériaux, une corrosion ou une fatigue, la structure restante puisse résister au minimum à une combinaison d'actions convenue sans ruine au-delà d'un degré convenue, jusqu'à ce que les dommages puissent être détectés et que la structure endommagée puisse être réparée ou remplacée.

**4.4 (2) I** invalidé.

(3) Il convient que la combinaison d'actions à considérer ainsi que le degré de ruine à accepter fasse l'objet d'un accord entre le client, le concepteur et l'autorité compétente, et qu'ils soient consignés dans le cahier des charges du projet.

#### 4.4 (3) I invalidé.

(4) Afin de garantir une robustesse suffisante, il convient de prendre des dispositions pour la réalisation d'opérations de contrôle et d'entretien à des intervalles appropriés conformes aux exigences de sécurité.

(5) Il convient que toutes les parties structurales des chemins de roulement, y compris tous les assemblages, soient suffisamment accessibles pour les opérations de contrôle et d'entretien appropriées.

## 5 Bases pour l'analyse de la structure

### 5.1 Modélisation en vue de l'analyse de la structure et de la résistance

(1)P Les calculs doivent être effectués au moyen de modèles de calcul appropriés faisant intervenir toutes les variables significatives. Les modèles utilisés doivent être appropriés à la prévision du comportement de la structure et des états limites considérés.

(2) En général, une analyse de structure linéaire peut être utilisée pour les structures supports d'appareils de levage, et les effets des déplacements et des déformations peuvent être négligés.

(3) Cependant, il convient de prendre en compte les effets des déplacements et des déformations dans le cas où ils entraîneraient une augmentation des effets calculés des actions dues au pont roulant supérieure à 10 %.

(4) Les actions dynamiques des appareils de levage peuvent être considérées comme quasi-statiques. Elles peuvent être déterminées en appliquant aux actions statiques des coefficients d'amplification équivalents.

### 5.2 Modèles de calcul

(1) Des modèles de calcul séparés peuvent être utilisés pour :

- la structure de bâtiment elle-même ;
- les poutres de roulement simplement appuyées sur la structure de bâtiment.

(2) Les poutres de roulement de pont roulant peuvent être modélisées comme poutres isostatiques ou continues sur deux travées ou plus.

(3) Il n'est pas nécessaire de prendre particulièrement en compte les imperfections de structure dans l'analyse globale des structures supports d'appareils de levage.

**5.2 (3) C** La présence d'un appareil de levage dans une structure n'a pas d'incidence sur la prise en compte des imperfections dans l'analyse globale.

### 5.3 Calcul des sollicitations

#### 5.3.1 Généralités

(1) Il convient que le modèle de calcul ainsi que les hypothèses de base pour la détermination des sollicitations représentent le comportement prévu de la structure soumise au chargement d'état limite ultime.

(2) Les modèles structuraux peuvent être simplifiés dans la mesure où il peut être démontré que les simplifications utilisées donneront des estimations, plaçant en sécurité, des effets d'actions.

(3) Il convient d'une manière générale d'utiliser l'analyse globale élastique pour les chemins de roulement hyperstatiques. Il convient de ne pas utiliser l'analyse globale plastique lorsque la fatigue est significative. Si on l'utilise, il convient que la vérification à l'état limite de service donnée en 4.1(4) de l'ENV 1993-1-1 soit également satisfaite.

(4) Lorsque les effets de l'interaction sol-structure sont susceptibles d'être significatifs, il convient d'inclure les caractéristiques du sol et des fondations dans le modèle d'analyse.

**5.3.1 (4) C** Le modèle d'analyse peut devoir inclure les caractéristiques d'une sous-structure support éventuelle, comme un soubassement béton par exemple.

### 5.3.2 Effets des charges de pont roulant

(1) Il convient de prendre en compte dans le calcul des poutres de roulement de ponts roulants les sollicitations suivantes provoquées par les charges de pont roulant :

- flexion biaxiale provoquée par les actions verticales et les actions horizontales transversales ;
- traction ou compression axiale provoquée par les actions horizontales longitudinales ;
- torsion provoquée par les excentrement des actions verticales et des actions horizontales transversales, par rapport au centre de torsion de la section transversale de la poutre ;
- efforts tranchants horizontaux et verticaux provoqués par les actions verticales et les actions horizontales transversales.

**5.3.2 (1) C** On traite ici des sollicitations globales. Les contraintes locales sont traitées en 5.4 et 5.5.

(2) Il convient de calculer les moments de torsion exercés sur les poutres de roulement par les charges des galets provenant des ponts roulants posés, à partir de l'hypothèse selon laquelle les charges des galets des ponts roulants sont appliquées à la partie supérieure du rail, avec un excentrement latéral  $e_y$  comme indiqué en **5.6.3(2)**.

(3) Les moments de torsion appliqués peuvent être supportés par torsion pure et/ou par torsion de gauchissement, selon le type de section transversale, la disposition de la charge, la portée par rapport aux dimensions de section transversale et les conditions de maintien sur appuis.

**NOTE** Pour des informations sur le calcul des éléments soumis à de la torsion, voir annexe G de l'ENV 1993-1-1.

### 5.3.3 Systèmes structuraux

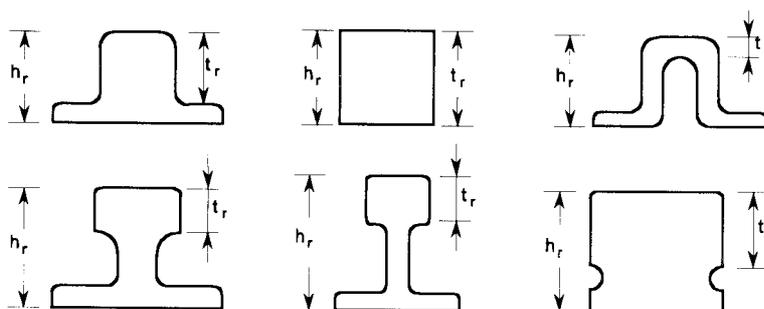
(1) Il convient que le type de section transversale utilisé pour une poutre de roulement soit adapté aux caractéristiques du pont roulant supporté et aux intensités des actions auxquelles elle doit résister. Sans exclure d'autres possibilités, on peut utiliser l'un des types de section transversale suivants :

- un profil courant en I ou en H laminé ou soudé ;
- un profil en I ou en H laminé ou soudé comportant une semelle supérieure renforcée ;
- une poutre verticale principale (soit un profil en I laminé ou soudé, soit une poutre treillis) combinée à une poutre horizontale en treillis ou à âme pleine au niveau de sa semelle supérieure ou de sa membrure supérieure ;
- une poutre-caisson à âme pleine ou en treillis.

(2) Si un rail de pont roulant d'un type quelconque est fixé de façon rigide sur la semelle supérieure, au moyen de boulons précontraints dans des assemblages de Catégorie C (calculés pour être exempts de glissement aux états limites ultimes, voir 6.5.3 de l'ENV 1993-1-1), de boulons ajustés ou de soudure, il peut être inclus comme partie de la section transversale qui est prise en compte pour calculer la résistance. Il convient que ces boulons ou soudures soient calculés pour résister aux efforts tranchants longitudinaux induits par la flexion résultant des actions horizontales et verticales cumulées aux forces provoquées par les actions horizontales de pont roulant.

(3) Pour prendre en compte l'usure, il convient de réduire la hauteur nominale du rail lors du calcul des caractéristiques de section transversale. Sauf si une valeur différente est donnée dans le cahier des charges du projet, il convient de prendre en général cette réduction égale à 25 % de l'épaisseur nominale minimale  $t_r$  au dessous de la surface d'usure, voir Figure 5.1. Pour les calculs de fatigue, seule la moitié de cette réduction est nécessaire.

**5.3.3 (3) A** Dans le cas de chariots suspendus avec service intensif, le cahier des charges du projet pourra définir une épaisseur utile pour le calcul des contraintes locales dans les semelles, tenant compte de l'usure due au roulement des galets. À défaut, l'épaisseur nominale sera réduite de 1 mm.



**Figure 5.1 — Épaisseur minimale  $t_r$  au-dessous de la surface d'usure du rail de pont roulant**

(4) Sauf lorsque l'on utilise des sections en caisson, on peut considérer que les charges de pont roulant sont supportées de la façon suivante :

- les charges verticales des galets sont reprises par la poutre principale verticale située sous le rail ;
- les charges horizontales transversales provoquées par les ponts roulants posés sont reprises par la semelle supérieure ou par la poutre horizontale ;
- les charges horizontales transversales provoquées par des ponts roulants suspendus ou par des ensembles treuils-chariots sont reprises par la semelle inférieure ;
- les moments de torsion sont convertis en couples agissant horizontalement sur les semelles supérieures et inférieures.

(5) Pour les poutres-caissons, il convient de considérer la section transversale entière comme un tout, soumise à toutes les actions appliquées, en prenant en compte leur excentrement par rapport au centre de torsion de la section transversale.

**5.3.3 (5) C** Pour les caissons souples (caissons treillis sans diaphragmes et à liaisons souples), on se reportera à 5.3.3(4).

(6) Il convient de supposer que les charges de vent de service  $F_W^*$  et les charges horizontales de pont roulant  $H_{T,3}$  provoquées par l'accélération ou le freinage du chariot ou de l'ensemble treuil-chariot sont partagées entre les poutres de roulement proportionnellement à leurs rigidités si le pont roulant est muni de galets à double boudin. Mais il convient de toutes les appliquer à une seule des poutres de roulement (celle supportant les galets de guidage) si le pont roulant utilise des galets de guidage.

(7) Il convient que les forces transversales provoquées par les ponts roulants suspendus ou par les ensembles treuil-chariot de monorails s'appuyant sur la semelle inférieure d'une poutre de roulement soient supportées :

- par la rigidité en flexion de l'âme ;
- et, si nécessaire, par des raidisseurs convenablement situés permettant la circulation du pont roulant ou du chariot.

### 5.3.4 Sollicitations appliquées aux assemblages

(1)P Les sollicitations appliquées aux assemblages doivent être déterminées à partir de l'analyse globale.

(2)P Pour le calcul des assemblages, les sollicitations doivent comprendre :

- les effets du second ordre ;
- les effets des imperfections, voir 5.2.4 de l'ENV 1993-1-1 ;
- les effets de la flexion de l'âme provoquée par la torsion des semelles ;
- les effets locaux des charges des galets, le cas échéant.

**5.3.4 (2) C** Les effets du second ordre et ceux des imperfections peuvent être négligés dans les conditions d'application de 5.1 et 5.2.

## 5.4 Contraintes locales provoquées par les charges des galets sur la semelle supérieure

### 5.4.1 Bases

(1) Il convient de prendre en compte les contraintes locales suivantes, provoquées par l'application des charges des galets par l'intermédiaire de la semelle supérieure, dans la vérification de la résistance statique des poutres de roulement de ponts roulants :

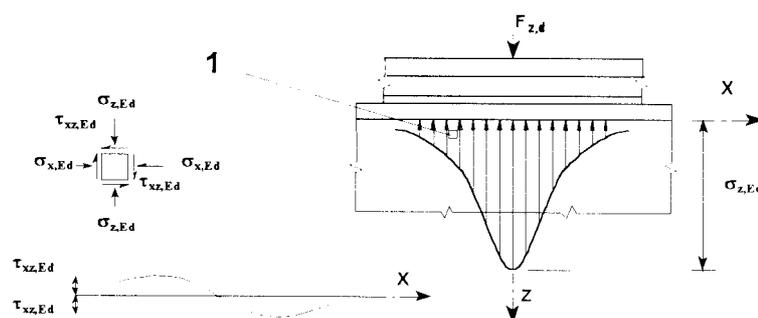
- contraintes de compression locales exercées dans l'âme, voir **5.4.2** ;
- contraintes de cisaillement locales exercées dans les soudures d'assemblage de la semelle supérieure et de l'âme.

**5.4.1 (1) A** - contraintes de flexion dans l'âme provoquée par l'excentrement des charges de galets, voir **5.4.3**.

(2) Pour les contraintes à prendre en compte dans les vérifications à la fatigue, voir **5.6**.

### 5.4.2 Contraintes de compression locales exercées dans l'âme

(1) La procédure suivante peut être utilisée pour déterminer la contrainte de compression verticale  $\sigma_z E_d$  générée dans l'âme par les charges des galets appliquées sur la semelle supérieure, voir Figure 5.2.



#### Légende

1 Élément situé à la partie supérieure de l'âme

**Figure 5.2 — Contraintes locales provoquées par les charges des galets**

(2) Les contraintes verticales  $\sigma_z E_d$  exercées à la partie supérieure de l'âme peuvent être calculées en supposant que chaque charge du galet  $F_{z,d}$  est uniformément répartie sur une longueur efficace  $\ell_{\text{eff}}$ , voir Figure 5.3. Si la distance  $X_w$  entre les axes de galets adjacents est inférieure à  $\ell_{\text{eff}}$  il convient de superposer les contraintes provoquées par les deux galets.

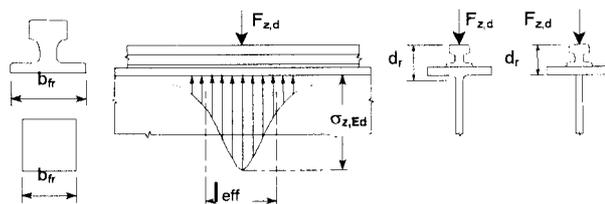


Figure 5.3 — Longueur efficace  $\ell_{\text{eff}}$

(3) Lors de la détermination de  $\ell_{\text{eff}}$  il convient d'opérer une distinction entre les cas suivants :

- a) rail de pont roulant fixé de façon rigide sur la semelle, comme défini en 8.3.2 ;
- b) rail de pont roulant monté directement sur la semelle, mais non fixé sur elle de façon rigide ;
- c) rail de pont roulant monté sur un patin approprié en élastomère résilient, voir (7).

(4) Sauf lorsque l'on utilise un patin en élastomère, il convient de déterminer la longueur efficace  $\ell_{\text{eff}}$  par :

$$\ell_{\text{eff}} = 3,25 \left[ I_{\text{rf}} / t_w \right]^{1/3} \quad \dots (5.1)$$

où :

$t_w$  épaisseur de l'âme.

(5) Il convient de prendre la valeur de  $I_{\text{rf}}$  de la façon suivante :

- a) si le rail est fixé de façon rigide sur la semelle, le moment d'inertie de flexion, selon son axe neutre horizontal, d'une section transversale comprenant le rail et une largeur efficace  $b_{\text{eff}}$  de la semelle ;

**5.4.2 (5) a) C** La section du rail comptabilisée doit tenir compte de l'usure comme indiqué en 5.3.3 (3).

- b) si le rail de pont roulant n'est pas fixé de façon rigide sur la semelle :

$$I_{\text{rf}} = I_r + I_{f,\text{eff}} \quad \dots (5.2)$$

où

$I_{f,\text{eff}}$  moment d'inertie de flexion, selon l'axe neutre horizontal de la semelle, de largeur efficace  $b_{\text{eff}}$  ;

$I_r$  moment d'inertie de flexion du rail de pont roulant selon son axe neutre horizontal, en prenant l'usure en compte, comme indiqué en 5.3.3(3).

(6) Il convient de déterminer la largeur efficace  $b_{\text{eff}}$  de la semelle supérieure qui agit en combinaison avec le rail de pont roulant au moyen de l'expression :

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{fr}} + d_r \quad \text{mais} \quad b_{\text{eff}} \leq b \quad \dots (5.3)$$

où :

$b$  largeur hors-tout de la semelle supérieure ;

$b_{\text{fr}}$  largeur du pied du rail, voir Figure 5.3 ;

$d_r$  hauteur entre le dessus du rail et le dessus de l'âme pris comme la partie supérieure de la tôle d'âme dans une section transversale soudée, ou pris au droit des congés de raccordement dans une section transversale laminée, voir Figure 5.3.

(7) Si le rail est monté sur un patin approprié en élastomère résilient d'une épaisseur d'au moins 6 mm, sauf si une meilleure valeur est établie par une analyse précise, il convient d'augmenter de 30 % la longueur efficace  $l_{\text{eff}}$  tirée de (4).

(8) La contrainte verticale  $\sigma_z E_d$  à d'autres niveaux de l'âme peut être calculée en prenant pour hypothèse une répartition de chaque charge de galet à  $45^\circ$  à partir de la longueur efficace  $l_{\text{eff}}$  au niveau du dessus de l'âme, voir Figure 5.4, à condition que, lorsque la longueur totale de répartition est supérieure à la distance  $X_m$  entre des galets adjacents, les contraintes provoquées par les deux galets soient superposées.

(9) À distance éloignée des appuis, il convient de multiplier la contrainte  $\sigma_z E_d$  calculée au moyen de cette longueur par le coefficient réducteur  $\left[1 - \left(z/b_w\right)^2\right]$ , où  $z$  représente la distance depuis le dessus de l'âme et  $b_w$  la hauteur libre de l'âme entre les congés de raccordement ou entre les soudures d'assemblage âme-semelle, voir Figure 5.4.

(10) À proximité des appuis, il convient de déterminer également la contrainte de compression verticale provoquée par une diffusion similaire de la réaction d'appui, et d'adopter la valeur la plus élevée de la contrainte  $\sigma_z E_d$ .

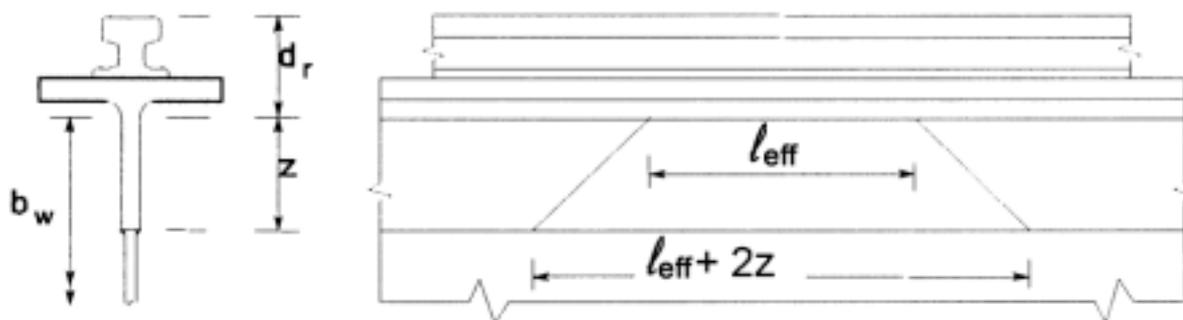


Figure 5.4 — Répartition à  $45^\circ$  à partir de la longueur efficace  $l_{\text{eff}}$

**(A) 5.4.3 Contraintes locales provoquées dans l'âme par l'excentrement des charges de galets**

On applique les formules du 5.6.3.

## 5.5 Contraintes locales exercées dans les poutres en I par les chariots suspendus

### 5.5.1 Généralités

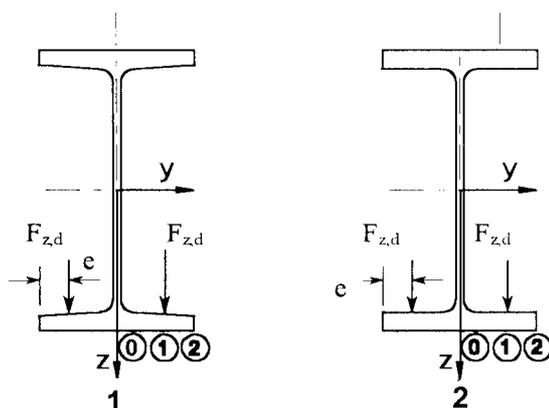
(1) Il convient de prendre en compte les contraintes de flexion locales exercées dans la semelle inférieure d'une poutre de roulement à section en I par les charges des galets qui lui sont appliquées, pour la vérification de la non-plastification sous chargement de service et pour les évaluations de la fatigue, voir **5.6.1(3)**.

**5.5.1 (1) C** La section de la semelle inférieure comptabilisée doit tenir compte de l'usure, comme indiqué en **5.3.3 (3) A**.

(2) Il convient de déterminer les contraintes de flexion provoquées par les charges des galets appliquées en des points éloignés d'une distance supérieure à  $b$  de l'extrémité de la poutre, où  $b$  représente la largeur de semelle, aux trois emplacements indiqués dans la Figure 5.5, de la façon suivante :

- emplacement **0** : jonction âme-semelle ;
- emplacement **1** : contrainte au point d'application de la charge ;
- emplacement **2** : contrainte au niveau du bord extérieur de la semelle.

(3) Il convient de prendre également en compte les contraintes de flexion locales provoquées par les charges des galets sur la semelle inférieure à l'extrémité ou à proximité de l'extrémité de la poutre.



#### Légende

- 1 Ailes d'épaisseur variable
- 2 Ailes d'épaisseur constante

**Figure 5.5 — Emplacements pour la détermination des contraintes provoquées par les charges des galets**

### 5.5.2 Détermination des contraintes locales

(1) À condition que la distance  $X_m$  le long de la poutre de roulement entre charges des galets adjacents ne soit pas inférieure à  $1,5 b$ , où  $b$  représente la largeur de semelle de la poutre, il convient de calculer les contraintes locales de flexion longitudinale  $\sigma_{ox,Ed}$  et de flexion transversale  $\sigma_{oy,Ed}$  provoquées dans la semelle inférieure par l'application d'une charge du galet éloignée d'une distance supérieure à  $b$  de l'extrémité de la poutre, au moyen des expressions :

$$\sigma_{ox,Ed} = c_x F_{z,d} / \xi_i^2 \quad \dots (5.4a)$$

$$\sigma_{oy,Ed} = c_y F_{z,d} / \xi_i^2 \quad \dots (5.4b)$$

où :

$F_{z,d}$  charge verticale du galet, comprenant le coefficient d'amplification dynamique ;

$\xi_i$  épaisseur de l'aile au point considéré ( $i = 0, 1$  ou  $2$ ).

(2) En général, les coefficients  $c_x$  et  $c_y$  pour la détermination des contraintes de flexion longitudinale et de flexion transversale aux trois emplacements 0, 1 et 2 indiqués sur la Figure 5.5, peuvent être déterminés au moyen du Tableau 5.1, selon que la poutre possède des ailes d'épaisseur variable ou constante, et en fonction de la valeur du rapport  $\mu$  donnée par :

$$\mu = 2e / (b - t_w) \quad \dots (5.5)$$

où :

$e$  distance entre l'axe de la charge et le bord libre de l'aile ;

$t_w$  épaisseur de l'âme.

**Tableau 5.1 — Coefficients  $c_{x,i}$  et  $c_{y,i}$  pour le calcul des contraintes aux points 0, 1 et 2**

Contrainte	Poutres à ailes d'épaisseur constante	Poutres à ailes d'épaisseur variable
Contrainte de flexion longitudinale $\sigma_{xEd}$	$c_{x0} = 0,050 - 0,580\mu + 0,148e^{3,015\mu}$	$c_{x0} = -0,981 - 1,479\mu + 1,120e^{1,322\mu}$
	$c_{x1} = 2,230 - 1,490\mu + 1,390e^{-18,33\mu}$	$c_{x1} = 1,810 - 1,150\mu + 1,060e^{-7,700\mu}$
	$c_{x2} = 0,730 - 1,580\mu + 2,910e^{-6,000\mu}$	$c_{x2} = 1,990 - 2,810\mu + 0,840e^{-4,690\mu}$
Contrainte de flexion transversale $\sigma_{yEd}$	$c_{y0} = -2,110 + 1,977\mu + 0,0076e^{6,530\mu}$	$c_{y0} = -1,096 + 1,095\mu + 0,192e^{-6,000\mu}$
	$c_{y1} = 10,108 - 7,408\mu - 10,108e^{-1,364\mu}$	$c_{y1} = 3,965 - 4,835\mu - 3,965e^{-2,675\mu}$
	$c_{y2} = 0$	$c_{y2} = 0$
Convention de signe : le signe de $c_{x,i}$ et $c_{y,i}$ est positif pour des contraintes de traction sur la face inférieure de l'aile.		

(3) Comme alternative, dans le cas de charges des galets appliquées à proximité des bords extérieurs de l'aile, on peut utiliser les valeurs des coefficients  $c_x$  et  $c_y$  données dans le Tableau 5.2.

**Tableau 5.2 — Valeurs de  $c_{x,i}$  et  $c_{y,i}$  pour des galets situés à proximité des bords extérieurs des ailes**

Contrainte	Coefficient	Poutres à ailes d'épaisseur constante		Poutres à ailes d'épaisseur variable
		$\mu = 0,10$	$\mu = 0,15$	$\mu = 0,15$
Contrainte de flexion longitudinale $\sigma_{xEd}$	$c_{x0}$	0,2	0,2	0,2
	$c_{x1}$	2,3	2,1	2,0
	$c_{x2}$	2,2	1,7	2,0
Contrainte de flexion transversale $\sigma_{yEd}$	$c_{y0}$	-1,9	-1,8	-0,9
	$c_{y1}$	0,6	0,6	0,6
	$c_{y2}$	0	0	0

(4) À défaut de meilleures informations, il convient de déterminer la contrainte locale de flexion  $\sigma_{end,Ed}$  provoquée dans une semelle inférieure non raidie par l'application des charges des galets à l'extrémité de la poutre, au moyen de l'expression :

$$\sigma_{end,Ed} = (5,6 - 3,225\mu - 2,8\mu^3) F_{z,d} / t_f^2 \quad \dots (5.6)$$

dans laquelle  $t_f$  représente l'épaisseur nominale (moyenne) de la semelle.

(5) Comme alternative, si la semelle inférieure est renforcée à son extrémité par soudage d'une plaque d'épaisseur similaire s'étendant sur sa largeur  $b$  et sur une distance au moins égale à  $b$  le long de la poutre, voir Figure 5.6, on peut considérer que la contrainte locale de flexion  $\sigma_{\text{end,Ed}}$  n'excède ni  $\sigma_{\text{ox,Ed}}$  ni  $\sigma_{\text{oy,Ed}}$  selon (1).

(6) Si la distance  $x_w$  entre charges des galets adjacents est inférieure à  $1,5 b$ , sauf si l'on adopte des mesures particulières (comme des essais, voir 2.8) pour déterminer les contraintes locales, il convient d'adopter une approche plaçant en sécurité en superposant les contraintes calculées pour chaque galet agissant séparément.

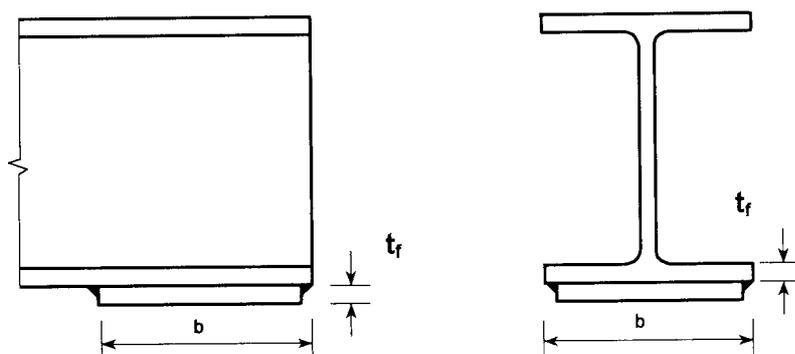


Figure 5.6 — Renfort optionnel à l'extrémité de la semelle inférieure

### 5.5.3 Charges des galets non symétriques

(1) Il convient d'éviter les configurations dans lesquelles les charges des galets ne sont pas symétriques, voir Figure 5.7.

(2) Si les charges des galets exercées au niveau d'une section transversale ne sont pas symétriques, il convient de déterminer et de prendre en compte les contraintes additionnelles provoquées par la torsion locale induite dans la semelle.

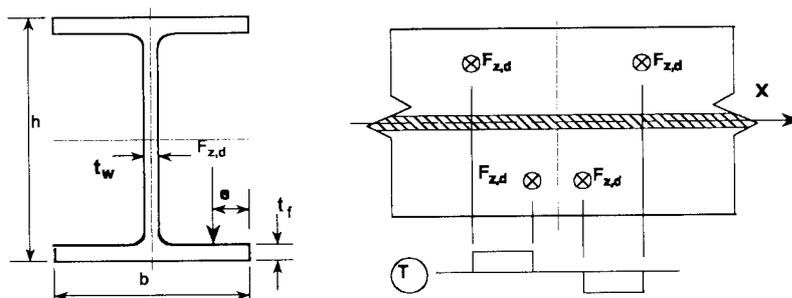


Figure 5.7 — Torsion de la poutre provoquée par des charges non symétriques

### 5.5.4 Joints biais

(1) Il convient d'éviter les joints biais dans les semelles inférieures de poutres supportant des chariots suspendus.

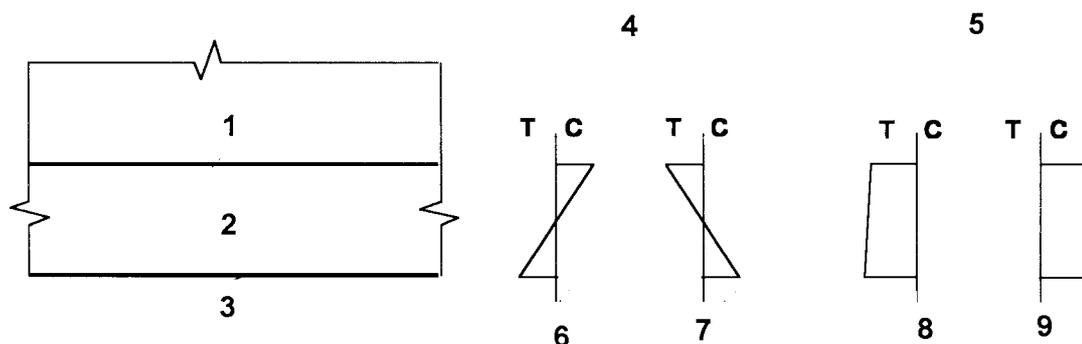
(2) Si l'on utilise des joints biais, il convient de prendre en compte la torsion provoquée dans la semelle inférieure.

### 5.5.5 Interaction entre contraintes locales et contraintes globales

(1) Il convient de déterminer la contrainte longitudinale nette  $\sigma_{x,Ed}$  exercée dans la semelle inférieure en additionnant la contrainte de flexion longitudinale locale  $\sigma_{ox,Ed}$  provoquée par les charges des galets et la contrainte longitudinale  $\sigma_{gx,Ed}$  calculée par l'analyse globale, en prenant dûment en compte le caractère de traction ou de compression de chaque contrainte, voir Figure 5.8.

(2) Il convient de déterminer la contrainte équivalente exercée dans l'aile inférieure  $\sigma_{eq,Ed}$  par l'expression :

$$\sigma_{eq,Ed} = \left[ \sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{y,Ed} \right]^{0,5} \quad \dots (5.7)$$



#### Légende

1	Dessus	6	Positive
2	Semelle inférieure	7	Négative
3	Dessous	8	Mi-portée
4	Contrainte locale $\sigma_{ox,Ed}$	9	Appuis
5	Contrainte globale $\sigma_{gx,Ed}$		

Figure 5.8 — Combinaison de contraintes longitudinales dans l'aile inférieure

## 5.6 Spectres des contraintes de fatigue

### 5.6.1 Calcul des contraintes

(1) Lorsqu'une vérification à la fatigue est nécessaire, voir 9.1.4, il convient de déterminer les contraintes par une analyse élastique de la structure sous chargement de fatigue. Il convient de prendre en compte les effets des chocs et la réponse dynamique de la structure comme spécifié dans l'ENV 1991-5.

(2) Lors de la détermination de la contrainte totale au niveau d'un détail, il convient de prendre également en compte les points suivants :

- contraintes provoquées par l'excentrement du joint ;
- contraintes provoquées par les déformations imposées ;
- contraintes secondaires provoquées par la rigidité du joint ;
- les effets de levier (voir 6.5.9 de l'ENV 1993-1-1).

(3) Il convient également de prendre en compte les contraintes locales provoquées par l'application de charges des galets sur la semelle. Il convient d'inclure les contraintes locales suivantes dans l'évaluation de la fatigue en les cumulant aux effets globaux mentionnés en (1) et (2) :

- contraintes locales provoquées par les charges des galets sur la semelle supérieure, voir 5.6.2 ;
- contraintes locales provoquées par l'excentrement des charges des galets appliquées par l'intermédiaire d'un rail, voir 5.6.3 ;
- contraintes locales exercées dans la semelle inférieure par les charges des galets dues aux chariots suspendus, voir 5.5.1(1).

(4) Il convient de prendre en compte les contraintes provoquées par les différentes actions horizontales de ponts roulants figurant dans le Tableau 2.2 dans la vérification à la fatigue des poutres de roulement et de leurs supports, y compris les dispositifs d'appuis horizontaux, les poutres horizontales et les systèmes de contreventement, de la façon suivante :

**a) Accélération ou freinage du pont roulant ( $H_L$  et  $H_T$ ) :**

Il convient de prendre en compte le nombre de cycles de mouvements longitudinaux dans la vérification à la fatigue.

**b) Marche en crabe du pont roulant ( $H_S$ ) :**

Étant donné que ce phénomène agit de façon aléatoire et seulement occasionnellement, il est inutile de le prendre en compte dans la vérification à la fatigue.

**c) Accélération ou freinage du chariot ou de l'ensemble treuil-chariot ( $H_{T,3}$ ) :**

Il convient de prendre en compte le nombre de cycles de mouvements latéraux pour une position longitudinale donnée du pont roulant. Il convient que le cahier des charges mentionne si le fonctionnement prévu du ou des pont(s) roulant(s) implique ou non l'existence d'un nombre suffisamment élevé de ces cycles approximativement au même emplacement pour exiger leur inclusion dans la vérification à la fatigue.

**d) Charges de vent de service ( $F_W^*$ ), d'épreuve ( $Q_T$ ), forces de tamponnement ( $H_B$ ) et de renversement ( $H_{TA}$ ) :**

Il convient d'exclure ces actions dans la vérification à la fatigue.

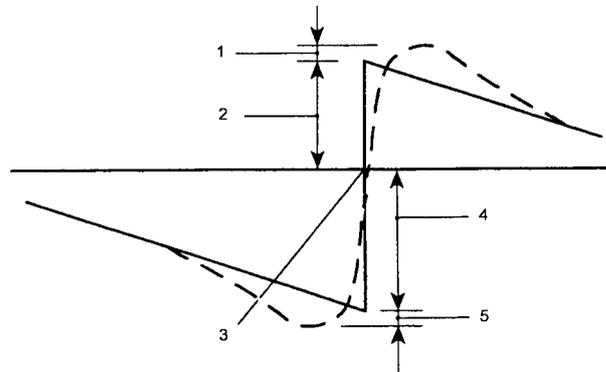
### 5.6.2 Contraintes locales dans l'âme dues aux charges des galets sur la semelle supérieure

(1) Pour une évaluation de la fatigue, il convient de déterminer la contrainte de compression verticale  $\sigma_{z,Ed}$  ainsi que la contrainte de cisaillement  $\tau_{xz,Ed}$  générées dans l'âme par les charges des galets appliquées sur la semelle supérieure, voir Figure 5.2.

(2) Il convient de calculer la contrainte de compression verticale  $\sigma_{z,Ed}$  provoquée par la charge du galet comme indiqué en 5.4.2.

(3) Il convient de considérer la contrainte de cisaillement locale  $\tau_{xz,Ed}$  en un point quelconque comme s'ajoutant à la contrainte de cisaillement globale provoquée par la même charge du galet, voir Figure 5.9. La contrainte de cisaillement locale additionnelle  $\tau_{xz,Ed}$  peut être négligée dans l'âme au-dessous du niveau  $z = 0,2 b_w$  où  $b_w$  et  $z$  sont définies en 5.4.2(9).

(4) La valeur maximale de la contrainte de cisaillement locale  $\tau_{xz,Ed}$  provoquée par une charge du galet, agissant de part et d'autre de la position de la charge du galet, peut être considérée comme égale à 20 % de la contrainte verticale maximale  $\sigma_{z,Ed}$  à ce niveau de l'âme.



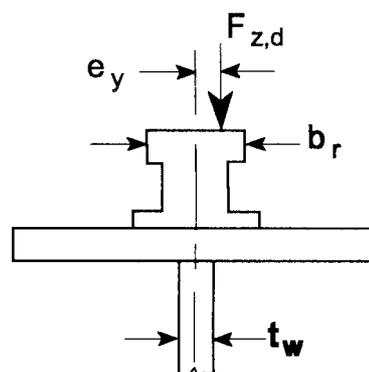
### Légende

- 1 Contrainte de cisaillement locale additionnelle
- 2 Contrainte de cisaillement globale
- 3 Position de la charge du galet
- 4 Contrainte de cisaillement globale
- 5 Contrainte de cisaillement locale additionnelle

**Figure 5.9 — Contraintes de cisaillement locale et globale provoquées par une charge de galet**

### 5.6.3 Contraintes locales provoquées dans l'âme par l'excentrement des charges des galets appliquées par l'intermédiaire d'un rail

(1) Pour une évaluation de la fatigue, il convient de déterminer la contrainte de flexion provoquée dans une âme raidie par l'excentrement des charges des galets appliquées par l'intermédiaire d'un rail (voir Figure 5.10). Il peut être tenu compte de la torsion de la semelle supérieure entre raidisseurs d'âme transversaux.



**Figure 5.10 — Torsion de la semelle supérieure**

(2) Il convient de calculer le couple de torsion  $T_{Sd}$  provoqué par l'excentrement latéral  $e_y$  de chaque charge du galet  $F_{z,d}$  au moyen de l'expression :

$$T_{Sd} = F_{z,d} e_y \quad \dots (5.8a)$$

avec :

$$e_y = 0,25 b_r \quad \text{mais} \quad e_y \geq 0,5 t_w \quad \dots (5.8b)$$

où :

$b_r$  largeur du boudin du rail ;

$t_w$  épaisseur de l'âme de la poutre.

(3) Lorsque la prise en compte de l'effort horizontal latéral de pont roulant  $H_{T,3}$  est exigée dans les calculs de fatigue (voir 5.6.1(4)(c)) il convient de calculer le couple de torsion  $T_{Sd}$  provoqué par chaque charge horizontale de galet (ou par la réaction horizontale d'autres dispositifs de guidage)  $F_{y,d}$  au moyen de l'expression :

$$T_{Sd} = F_{y,d} e_z \quad \dots (5.8c)$$

où :

$e_z$  hauteur du point d'application de  $F_{y,d}$  au-dessus du centre de torsion de la poutre

**5.6.3 (3) I**  $e_z$  hauteur du point d'application de  $F_{y,d}$  au-dessus du centre de torsion de la semelle supérieure de la poutre

(4) Il convient de déterminer la contrainte de flexion  $\sigma_{T,Ed}$  provoquée dans une âme raidie transversalement par un couple de torsion  $T_{Sd}$  en prenant en compte la torsion de la semelle supérieure au moyen de l'expression :

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 T_{Sd}}{a t_w^2} \eta \tanh(\eta) \quad \dots (5.9a)$$

**5.6.3 (4) C** La contrainte  $\sigma_{T,Ed}$  correspond à une flexion de l'âme dans le sens de son épaisseur ; elle est donc orientée perpendiculairement aux contraintes normales de flexion générale de la poutre.

avec :

$$\eta = \left[ \frac{0,75 a t_w^3}{I_t} \times \frac{\sinh^2(\pi d_w / a)}{\sinh(2\pi d_w / a) - 2\pi d_w / a} \right]^{0,5} \quad \dots (5.9b)$$

où :

$a$  espacement des raidisseurs d'âme transversaux ;

$d_w$  hauteur hors-tout de l'âme, libre entre semelles ;

$I_t$  moment d'inertie de torsion de la semelle (rail compris si celui-ci est fixé de façon rigide).

**5.6.3 (4) C** Le raidissage peut être limité aux sections d'appui. Le cas des âmes non raidies doit faire l'objet d'une étude particulière.

## 6 États limites ultimes

### 6.1 Bases

#### 6.1.1 Généralités

(1)P Toutes les parties des structures supports d'appareils de levage doivent être dimensionnées de telle sorte que les exigences fondamentales de calcul pour les états limites ultimes données dans la section 2 soient satisfaites.

(2)P Le coefficient partiel pour la résistance  $\gamma_M$  des ossatures et des éléments doit être pris égal aux valeurs suivantes :

— résistance d'une section transversale à la plastification excessive :	$\gamma_{M0} =$ <input type="text" value="1,10"/>
— résistance d'une section transversale au voilement local :	$\gamma_{M1} =$ <input type="text" value="1,10"/>
— résistance d'un élément au flambement global :	$\gamma_{M1} =$ <input type="text" value="1,10"/>
— résistance d'une section nette à la rupture en traction (au droit des trous de boulons etc.) :	$\gamma_{M2} =$ <input type="text" value="1,25"/>

**6.1.1(2) P I** Les valeurs sont celles mentionnées au chapitre 5 de l'ENV 1993-1-1 + DAN.

(3)P Tous les assemblages doivent posséder une résistance de calcul telle que la structure soit capable de satisfaire les exigences fondamentales de calcul données dans la section 2.

(4)P Le coefficient partiel  $\gamma_M$  pour la résistance des assemblages doit être pris égal aux valeurs suivantes :

— résistance des assemblages boulonnés :	$\gamma_{Mb} =$ <input type="text" value="1,25"/>
— résistance des assemblages rivés :	$\gamma_{Mr} =$ <input type="text" value="1,25"/>
— résistance des assemblages articulés :	$\gamma_{Mp} =$ <input type="text" value="1,25"/>
— résistance des assemblages soudés :	$\gamma_{Mw} =$ <input type="text" value="1,25"/>
— résistance au glissement des assemblages précontraints :	$\gamma_{Ms}$ — voir 6.5.8.1 de l'ENV 1993-1-1.

**6.1.1(4) P I** Les valeurs sont celles mentionnées au chapitre 6 de l'ENV 1993-1-1 + DAN.

(5)P Les éléments et assemblages soumis à la fatigue doivent également satisfaire les exigences données dans la section 9.

(6) Aux emplacements où peut se produire une vibration susceptible d'entraîner le desserrage de boulons, voir 6.3(1), il convient que les boulons soient munis de contre-écrous ou de rondelles-freins, ou que leur desserrage soit rendu impossible par tout autre moyen.

**6.1.1(6) C** Il s'agit du 6.3(1) de l'ENV 1993-1-1.

### 6.1.2 Vérifications

(1)P Dans le calcul, les points suivants doivent être vérifiés :

- résistance des sections transversales ;
- résistance des éléments ;
- effets locaux ;
- résistance des assemblages ;
- équilibre statique, voir 2.6 ;
- stabilité dynamique sous charges de vent, voir 2.7.

(2) Pour les vérifications à la fatigue il convient de se reporter à la section **9**.

### 6.1.3 Résistance des sections transversales

(1) Pour la vérification de la résistance des sections transversales, il convient de se reporter à la Partie 1 de l'ENV 1993.

(2) Lorsque des charges des galets sont introduites avec des excentremets par rapport au centre de torsion, il convient de vérifier également la résistance à la torsion de la section transversale.

**NOTE** Pour des informations sur le calcul des éléments soumis à de la torsion voir annexe G de l'ENV 1993-1-1.

### 6.1.4 Résistance des éléments

(1) Pour la vérification de la stabilité des éléments, il convient de se reporter à la Partie 1 de l'ENV 1993.

(2) Dans le cas de déversement, les règles simplifiées données dans l'annexe **C** peuvent être utilisées pour les poutres de roulement de ponts roulants.

### 6.1.5 Effets locaux

(1) Il convient de vérifier la résistance de poutres de roulement supportant un pont roulant posé en ce qui concerne les effets des contraintes locales induites par les charges des galets données en **5.4.1(1)**.

(2) Il convient de vérifier les âmes des poutres de roulement au moyen de l'ENV 1993-1-1 en ce qui concerne les effets suivants des charges verticales des galets :

- contraintes locales de compression entraînant un écrasement, un enfoncement local ou un voilement de l'âme ;
- contraintes locales de cisaillement au niveau de la liaison âme semelle supérieure.

(3) Il convient de vérifier la résistance d'une poutre de roulement de pont roulant suspendu ou d'un ensemble treuil-chariot de monorail en ce qui concerne les effets des charges des galets sur la semelle inférieure et la partie inférieure de l'âme.

### 6.1.6 Résistance des assemblages

(1) Pour la vérification de la résistance des assemblages, il convient de se reporter à la section 6 de l'ENV 1993-1-1.

## 6.2 Classification des sections transversales

- (1)P Lorsque l'on utilise une analyse globale plastique, les éléments doivent être capables de former des rotules plastiques avec une capacité de rotation suffisante pour la redistribution requise des moments fléchissants.
- (2)P Lorsque l'on utilise une analyse globale élastique, on peut employer des éléments de classe de section transversale quelconque à condition que leur calcul prenne en compte les limites éventuelles de résistance de section transversale imposées par le voilement local.
- (3) L'exigence formulée en (2) peut être satisfaite par une vérification de la section transversale selon l'ENV 1993-1-5.
- (4) Comme alternative à (3), la section transversale peut être vérifiée selon l'ENV 1993-1-1.

## 6.3 Résistance de la semelle inférieure aux charges des galets

- (1) Il convient de déterminer la résistance de calcul  $F_{f,Rd}$  de la semelle inférieure d'une poutre à une charge de galet  $F_{z,d}$  provoquée par un galet de pont roulant suspendu ou d'un ensemble treuil-chariot de monorail, voir Figure 6.1, au moyen de l'expression :

$$F_{f,Rd} = \frac{\ell_{eff} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}}{4m} \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_{f,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \right] \quad \dots (6.1)$$

où :

$t_f$  épaisseur de la semelle ;

$\sigma_{f,Ed}$  contrainte au niveau de l'axe médian de la semelle provoquée par le moment de flexion d'ensemble dans la poutre.

**6.3(1) C** Pour déterminer l'épaisseur de calcul de la semelle, voir 5.3.3 (3) A.

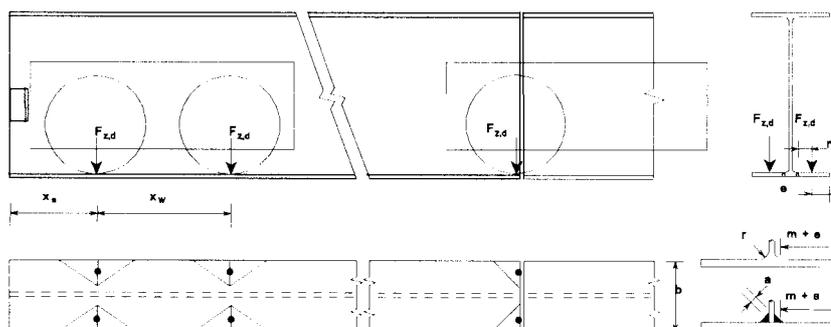


Figure 6.1 — Flexion de la semelle inférieure

- (2) Il convient de déterminer la longueur efficace d'une semelle  $\ell_{eff}$  supportant une seule charge de galet au moyen de l'expression suivante :

- a) pour un galet adjacent à un joint libre non renforcé :

$$\ell_{eff} = 2(m + e) \quad \dots (6.2)$$

- b) pour un galet éloigné de l'extrémité d'un élément :

- si l'espacement des galets  $x_w \geq 4\sqrt{2}(m + e)$  :

$$\ell_{eff} = 4\sqrt{2}(m + e) \quad \dots (6.3a)$$

- si l'espacement des galets  $x_w < 4\sqrt{2}(m + e)$  :

$$\ell_{eff} = 2\sqrt{2}(m + e) + 0,5x_w \quad \dots (6.3b)$$

c) pour un galet, adjacent à un butoir, à une distance  $x_e \leq 2\sqrt{2}(m + e)$  de l'extrémité de l'élément :

- si l'écartement des galets  $x_w \geq 2\sqrt{2}(m + e) + x_e$  :

$$\ell_{\text{eff}} = 2(m + e) \left[ x_e/m + \sqrt{1 + (x_e/m)^2} \right] \quad \text{mais} \quad \ell_{\text{eff}} \leq 2\sqrt{2}(m + e) + x_e \quad \dots (6.4a)$$

- si l'écartement des galets  $x_w < 2\sqrt{2}(m + e) + x_e$  :

$$\ell_{\text{eff}} = 2(m + e) \left[ x_e/m + \sqrt{1 + (x_e/m)^2} \right] \quad \text{mais} \quad \ell_{\text{eff}} \leq 2\sqrt{2}(m + e) + (x_w + x_e)/2 \quad \dots (6.4b)$$

où :

**e** distance entre l'axe de la charge et le bord de l'aile, voir Figure 6.1 ;

**6.3(2)c)l** **e** distance entre l'axe du galet et le bord de l'aile, voir Figure 6.1 ;

$x_e$  distance entre l'extrémité de l'élément et l'axe du galet, voir Figure 6.1 ;

$x_w$  écartement des galets, voir Figure 6.1.

(3) Dans le cas d'un galet adjacent à une extrémité totalement supportée (soit au dessous soit par une plaque d'about soudée, voir Figure 6.2), à une distance  $x_e \leq 2\sqrt{2}(m + e)$  de l'extrémité de l'élément, la longueur efficace de la semelle  $\ell_{\text{eff}}$  supportant une seule charge du galet peut être calculée de la façon suivante :

— si l'écartement des galets  $x_w \geq 2\sqrt{2}(m + e) + x_e + 2(m + e)^2/x_e$  :

$$\ell_{\text{eff}} = 2\sqrt{2}(m + e) + x_e + 2(m + e)^2/x_e \quad \dots (6.5a)$$

— si l'écartement des galets  $x_w < 2\sqrt{2}(m + e) + x_e + 2(m + e)^2/x_e$  :

$$\ell_{\text{eff}} = 2\sqrt{2}(m + e) + (x_e + x_w) + 2(m + e)^2/x_e \quad \dots (6.5b)$$

(4) Il convient de déterminer le bras de levier  $m$  de la charge du galet par rapport au raccordement de l'aile de la façon suivante :

— pour un profil laminé :

$$m = 0,5(b - t_w) - 0,8r - e \quad \dots (6.6a)$$

pour un profil soudé :

$$m = 0,5(b - t_w) - 0,8\sqrt{2}a - e \quad \dots (6.6b)$$

où :

**a** dimension de gorge d'une soudure d'angle ;

**b** largeur de semelle ;

**r** rayon du congé de raccordement ;

**t<sub>w</sub>** épaisseur d'âme.

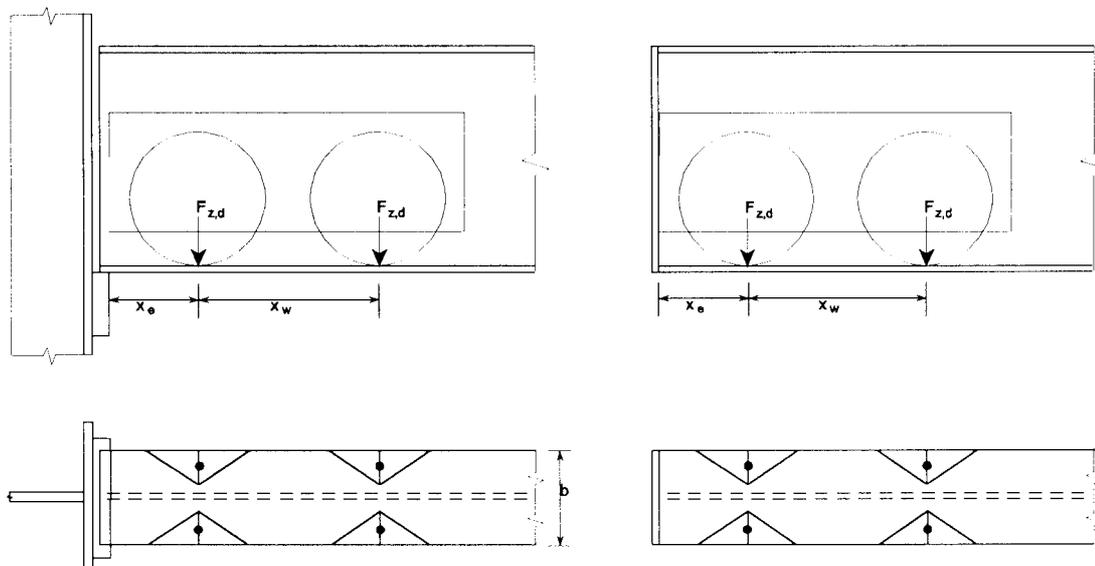


Figure 6.2 — Extrémités totalement supportées

## 7 États limites de service

### 7.1 Bases

(1) Il convient que les structures supports d'appareils de levage satisfassent les critères concernant les états limites de service donnés en 4.1 de l'ENV 1993-1-1.

(2) En outre, il convient également que les critères aux états limites de service suivants soient satisfaits :

a) déformations et déplacements :

- déformation verticale des poutres de roulement, afin d'éviter les vibrations excessives provoquées par le déplacement ou le fonctionnement du treuil ou du pont roulant ;
- déformation verticale des poutres de roulement, afin d'éviter une pente excessive du chemin de roulement ;
- déformations verticales différentielles d'une paire de poutres de roulement, afin d'éviter une inclinaison excessive du pont roulant ;
- déformation horizontale des poutres de roulement, afin de limiter la mise en crabe du pont roulant ;
- déplacement latéral d'ossatures ou de poteaux porteurs au niveau de l'appui du pont roulant, afin d'éviter une amplitude excessive des vibrations de l'ossature ;
- déplacements latéraux différentiels d'ossatures ou de poteaux adjacents, afin d'éviter des changements brusques de l'alignement horizontal des rails de roulement, provoquant l'augmentation de la mise en crabe et la déformation éventuelle du pont roulant ;
- mouvements latéraux modifiant l'entraxe d'une paire de poutres de roulement, afin d'éviter la détérioration des boudins de galets, des fixations de rails ou des structures du pont roulant ;

b) élancement des plaques (dans les éléments fabriqués à partir de plaques), afin d'exclure la respiration ou le voilement visible des plaques d'âme ;

c) contraintes sous charge d'épreuve du pont roulant, afin de garantir un comportement réversible ;

d) contraintes lorsque les galets reposent sur la semelle d'une poutre de roulement, afin de garantir un comportement réversible.

(3) Sauf si des valeurs limites particulières font l'objet d'un accord entre le client, le concepteur, le fournisseur de pont roulant et l'autorité compétente, il convient d'appliquer les valeurs limites recommandées données dans la présente section 7.

(4) Il convient de vérifier les contraintes limites par calcul. D'autres critères de service peuvent être satisfaits soit par calcul soit par une conception appropriée des détails.

## 7.2 Limitation des déformations

### 7.2.1 Exigences

- (1)P Les structures supports d'appareils de levage doivent être dimensionnées afin que les flèches restent dans les limites convenues entre le client, le concepteur, le fournisseur de pont roulant et l'autorité compétente.
- (2) Il convient d'appliquer les valeurs de calcul des actions pour la combinaison caractéristique en relation avec les valeurs limites données en **7.2**.
- (3) Sauf spécification contraire, il convient que les actions de pont roulant incluent des coefficients d'amplification dynamique appropriés.
- (4) En l'absence d'autres informations, on peut appliquer les limites recommandées pour les flèches verticales et horizontales données en **7.2.2**. Des valeurs plus faibles peuvent leur être substituées si nécessaire pour des raisons de fonctionnement ou de structure suivant accord entre le client, le concepteur et le fournisseur de ponts roulants.

### 7.2.2 Valeurs limites recommandées

- (1) Pour les chemins de roulement, on peut adopter les valeurs limites recommandées données dans le Tableau 7.1 pour les flèches verticales et dans le Tableau 7.2 pour les flèches horizontales, voir **7.2.1(4)**.
- (2) Comme alternative à la limite de déplacement horizontal donnée en (b) dans le Tableau 7.2, on peut effectuer une analyse des vibrations.

**NOTE** Des informations sur les valeurs limites appropriées sont données dans l'annexe F de l'ENV 1991-5.

- (3) Dans le cas d'une poutre de roulement destinée à un ensemble treuil-chariot de monorail, on peut adopter la valeur limite recommandée donnée dans le Tableau 7.1 pour la déformation verticale par rapport à ses appuis, voir **7.2.1(4)**.

## 7.3 Limitation des contraintes pour assurer un comportement réversible

- (1) Afin de vérifier le comportement réversible des chemins de roulement soumis à des charges d'épreuve pour ponts roulants, voir **2.10**, il convient de déterminer la contrainte équivalente  $\sigma_{eq,Ed}$  sous la combinaison caractéristique de charges pour ponts roulants, voir **2.9**.
- (2) Afin de vérifier le comportement réversible dans les ailes inférieures de toutes les poutres de roulement destinées aux ensembles treuil-chariot de monorails et ponts roulants suspendus, il convient de déterminer la contrainte équivalente  $\sigma_{eq,Ed}$  provoquée par les charges d'épreuve pour ponts roulants, voir **2.10**, en prenant en compte les contraintes locales de flexion provoquées par les charges des galets ainsi que les contraintes globales provoquées par la flexion d'ensemble de la poutre de roulement, voir **5.5.5(2)**.
- (3) Afin de garantir un comportement réversible, il convient de limiter la contrainte équivalente  $\sigma_{eq,Ed}$  à la valeur de la limite élastique de calcul  $f_{yd}$  de l'élément, en satisfaisant l'expression :

$$\sigma_{eq,Ed} \leq f_y / \gamma_{M,ser} \quad \dots (7.1)$$

où :

$$\gamma_{M,ser} = 1,0$$

**7.3 A (4)** Les contraintes individuelles  $\sigma_{x,Ed}$  et  $\sigma_{y,Ed}$  de **5.5** doivent également satisfaire l'expression (7.1).

## 7.4 Limitation de la respiration d'âme

- (1) Pour la limitation de la respiration d'âme, il convient de se reporter à l'article 4.4 de l'ENV 1993-2.

## 7.5 Vibration

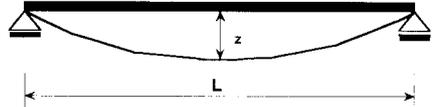
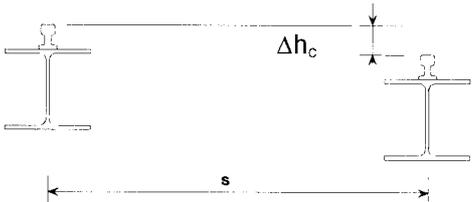
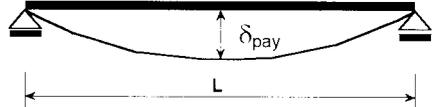
(1) Il convient de réduire la possibilité de vibration significative dans la semelle inférieure d'une poutre de roulement provoquée par le déplacement ou le fonctionnement du pont roulant en limitant l'élanement  $L/i_z$  de la semelle inférieure à 250, où  $i_z$  représente le rayon de giration de la semelle inférieure et  $L$  sa longueur entre points de maintien.

(2) Comme alternative, on peut effectuer une analyse des vibrations.

**NOTE** Des informations sur les valeurs limites appropriées sont données dans l'annexe F de l'ENV 1991-5.

**Table 7.1 — Valeurs limites des flèches verticales**

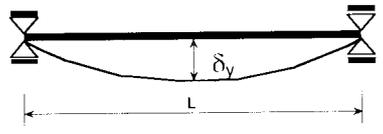
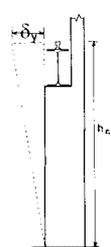
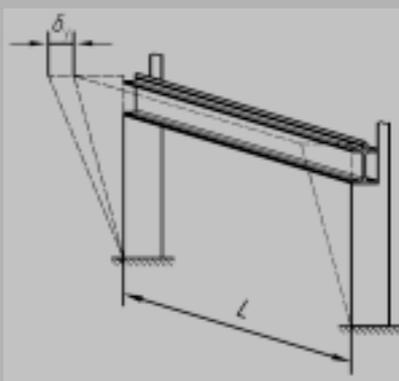
Tableau 7.1 a) et b) **C** Il est rappelé que les flèches sont calculées avec prise en compte du coefficient d'amplification dynamique approprié (voir 7.2.1(3)).

Description de la flèche (déformation ou déplacement)	Diagramme
<p>a) Déformation verticale <math>\delta_z</math> d'une poutre de roulement :</p> $\delta_z \leq L/600 \quad \text{et} \quad \delta_z \leq 25 \text{ mm}$ <p>Il convient de prendre la déformation verticale <math>\delta_z</math> égale à la déformation totale provoquée par les charges verticales, diminuée de la contreflèche préalable, comme pour <math>\delta_{\max}</math> dans la Figure 4.1 de l'ENV 1993-1-1.</p>	
<p>b) Différence <math>\Delta h_c</math> entre les déformations verticales de deux poutres formant un chemin de roulement :</p> $\Delta h_c \leq s/600$	
<p>c) Déformation verticale <math>\delta_{\text{pay}}</math> d'une poutre de roulement destinée à un ensemble treuil-chariot de monorail, par rapport à ses appuis, provoquée par la charge utile uniquement, sans aucun coefficient d'amplification dynamique :</p> $\delta_{\text{pay}} \leq L/500$	

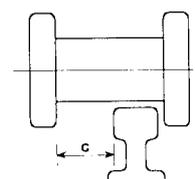
**Table 7.2 — Valeurs limites des flèches horizontales**

**Tableau 7.2 C** Il est rappelé que les flèches sont calculées avec prise en compte du coefficient d'amplification dynamique approprié (voir 7.2.1(3)).

**Tableau 7.2 b) C** Le critère s'applique sans considérer l'action du vent. Si on la considère, on applique 4.2.2(4) A de l'ENV 1993-1-1 + DAN en limitant  $\delta_y$  à  $h/180$ .

Description de la flèche (déformation ou déplacement)	Diagramme
<p>d) Déformation horizontale <math>\delta_y</math> d'une poutre de roulement, mesurée au niveau de la partie supérieure du rail de pont roulant :</p> $\delta_y \leq L/600$	
<p>e) Déplacement horizontal <math>\delta_y</math> d'une ossature (ou d'un poteau) au niveau de l'appui du pont roulant :</p> $\delta_y \leq h_c/400$ <p>où <math>h_c</math> représente la hauteur du niveau de l'appui du pont roulant (sur un rail ou sur une semelle).</p>	
<p>f) Différence <math>\Delta\delta_y</math> entre les déplacements horizontaux d'ossatures (ou de poteaux) adjacentes supportant les poutres d'un chemin de roulement de pont roulant situé à l'intérieur :</p> $\Delta\delta_y \leq L/600$	
<p>g) Différence <math>\Delta\delta_y</math> entre les déplacements horizontaux de poteaux (ou d'ossatures) adjacents supportant les poutres d'un chemin de roulement de pont roulant situé à l'extérieur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- provoquée par la combinaison d'efforts latéraux de pont roulant et de l'action du vent de service :</li> </ul> $\Delta\delta_y \leq L/600$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- provoquée par la charge du vent hors service :</li> </ul> $\Delta\delta_y \leq L/400$	
<p>Modification de l'écartement entre les axes de rails de pont roulant, y compris les effets des variations thermiques :</p> <p><math>\Delta s \leq 10 \text{ mm}</math> [voir note]</p> <p><math>\Delta s \leq s/600</math> ou 25 mm</p>	

**NOTE** Les flèches et les écarts horizontaux des chemins de roulement ne sont pas considérés séparément dans le calcul des ponts roulants. Les tolérances et les flèches acceptables dépendent des détails et des jeux dans les dispositifs de guidage. À condition que le jeu  $c$  entre les boudins des galets de pont roulant et le rail (ou entre d'autres dispositifs de guidage et la poutre de roulement) soit également suffisant pour rattraper les tolérances nécessaires, des limites de flèches plus grandes peuvent être données dans le cahier des charges du projet avec l'accord du client, du concepteur et du fournisseur de pont roulant.



## 8 Considérations particulières

### 8.1 Soudures âme-semelle

(1) Il convient que les soudures liant l'âme et la semelle supérieure d'une poutre de roulement supportant un pont roulant posé soient calculées pour résister aux effets locaux des actions verticales et horizontales transversales de pont roulant transmises à l'âme, ainsi qu'à leurs effets globaux.

(2) Il convient que les soudures liant l'âme et la semelle inférieure d'une poutre de roulement supportant un ensemble treuil-chariot de monorail ou un pont roulant suspendu soient calculées pour résister aux effets locaux des charges des galets transmises à l'âme, ainsi qu'aux effets globaux des actions verticales et horizontales de pont roulant.

(3) Il convient que les soudures soumises aux effets locaux provoqués par les charges des galets soient d'une catégorie de détail, voir section 9, présentant une résistance à la fatigue suffisante pour l'utilisation et la durée de vie de calcul exigées de la poutre de roulement.

### 8.2 Joints et raccords de rails

(1) Il convient d'opérer une distinction entre :

- a) les raccords de rails destinés à raccorder des longueurs élémentaires de rails ;
- b) les joints de dilatation destinés à absorber les mouvements longitudinaux.

(2) Selon le type de rail et l'utilisation exigée, les raccords de rails peuvent être réalisés par soudures bout-à-bout à pleine pénétration, assemblages boulonnés par éclisses ou joints simples sans continuité directe entre rails.

(3) Il convient que les raccords et les joints de dilatation de rails soient normalement situés à faible distance des joints des poutres de roulement.

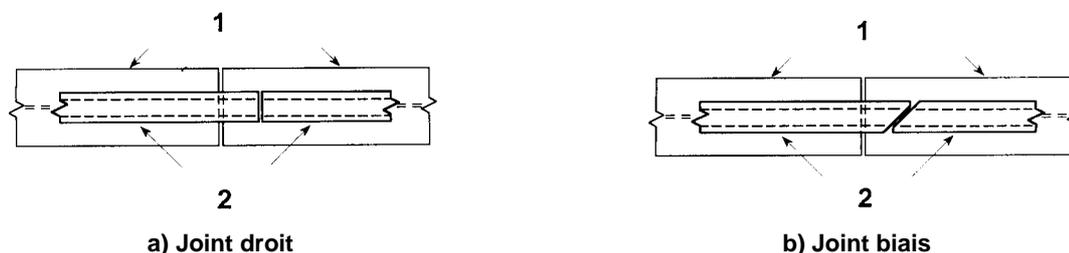
(4) Afin de limiter les impacts au niveau des raccords et joints de dilatation de rails, il convient que les rails soient alignés tant horizontalement que verticalement de façon à réduire autant que possible les ressauts.

(5) Au niveau des raccords et des joints de dilatation de rails, il convient de prévoir le bon fonctionnement des dispositifs de guidage (comme les galets à boudins ou les galets de guidage), particulièrement si les raccords de rails ne sont pas soudés bout-à-bout.

(6) Les joints de rail simples peuvent être des joints droits ou des joints biais, voir Figure 8.1.

(7) Il convient que le choix des joints de rails soit basé sur les considérations suivantes :

- avec des joints droits, un certain niveau de choc est inévitable ;
- les joints biais permettent une transition continue, avec moins de choc qu'avec les joints droits ;
- le jeu séparant les rails dans un joint droit évolue en fonction des variations de température, entraînant une augmentation du choc ;
- les pressions de contact plus élevées au droit du joint provoquent une augmentation locale de l'usure pour les deux types de joint ;
- les pressions de contact sont plus faibles au droit des joints biais, provoquant une usure moindre qu'au niveau des joints droits ;
- les joints droits sont plus faciles à usiner, à poser et à remplacer.



#### Légende

- 1 Poutre de roulement
- 2 Rails

Figure 8.1 — Raccords de rails simples

## 8.3 Dispositifs de fixation des rails

### 8.3.1 Modélisation

(1)P Quel que soit le type de dispositif de fixation de rail utilisé, les fixations de rails doivent être déterminées pour transmettre les efforts de cisaillement longitudinaux et transversaux entre le rail et la poutre.

(2) En fonction de leurs détails, les fixations de rails de ponts roulants peuvent être modélisées pour l'analyse de structure de l'une des façons suivantes :

- rigides ;
- crapaudées ;
- indépendantes.

(3) Il convient que chaque fixation mécanique de rail soit normalement déterminée pour résister à l'effort horizontal transversal maximal provoqué par un seul galet de roulement. Si l'écartement des galets  $x_w$  est inférieur à l'espacement des fixations de rail, il convient d'augmenter leur résistance en conséquence.

### 8.3.2 Fixations rigides de rail

(1) Une fixation de rail peut être modélisée comme rigide si elle est capable de transmettre le cisaillement et la traction entre le rail de pont roulant et la poutre de roulement.

(2) Il convient de traiter les types de fixations de rail suivants comme rigides :

- a) rails soudés sur les poutres de roulement ;
- b) rails assemblés sur les poutres de roulement au moyen de boulons ajustés ou de boulons précontraints traversant la semelle du rail ;
- c) rails assemblés sur les poutres de roulement au moyen de crapauds boulonnés rigides.

(3) Les rails maintenus par des fixations rigides peuvent être inclus dans la section transversale de la poutre, voir **5.3.3(2)**.

### 8.3.3 Fixations crapaudées de rail

(1) Il convient qu'une fixation de rail soit modélisée comme crapaudée s'il existe un matériau d'assise élastique entre le rail de pont roulant et la poutre de roulement et que les crapauds empêchent tout soulèvement éventuel du rail.

(2) Il convient que le rail soit bloqué en position latéralement par les crapauds ou par des plaques de maintien.

(3) Les rails de ponts roulants crapaudés peuvent être traités comme faisant partie de la section transversale de la poutre, si un tel comportement est confirmé par des essais, voir **2.12**.

## 8.4 Consoles supports

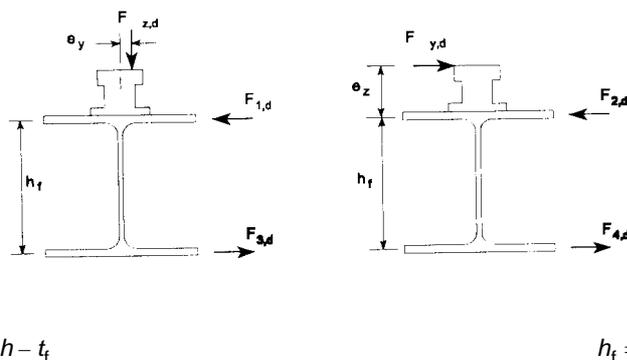
(1) En général, il convient que les assemblages entre consoles supports de poutres de roulements et poteaux soient rigides.

(2) Ces assemblages peuvent être calculés en utilisant une adaptation appropriée de l'annexe J de l'ENV 1993-1-1.

(3) Il convient de ne pas utiliser d'assemblages semi-rigides sauf si leur adéquation est confirmée par des essais, voir **2.12**.

## 8.5 Poutres horizontales

- (1) Il convient d'utiliser des poutres horizontales lorsque cela est exigé (en général pour de grandes portées ou de fortes charges utiles de ponts roulants).
- (2) Il convient que les poutres horizontales, lorsqu'elles sont utilisées, soient calculées pour résister à l'effort latéral total au niveau de la semelle supérieure  $F_{h,d}$  résultant de la somme de toutes les charges verticales et transversales de pont roulant  $F_{z,d}$  et  $F_{y,d}$  agissant sur la poutre de roulement, voir Figure 8.2.



$$F_{1,d} = \frac{\sum F_{z,d} e_y}{h_f}$$

$$F_{2,d} = \frac{\sum F_{y,d} (h_f + e_z)}{h_f}$$

$$F_{h,d} = F_{1,d} + F_{2,d}$$

**Figure 8.2 — Force latérale  $F_{h,d}$**

- (3) Comme alternative simple à une analyse détaillée, la section transversale efficace d'une poutre horizontale fabriquée à partir de plaques peut être considérée comme comprenant la semelle supérieure de la poutre de roulement ainsi que le 1/5 adjacent de sa hauteur d'âme.
- (4) Il convient d'analyser les poutres horizontales à treillis selon la méthode élastique, sans tenir aucun compte de la redistribution plastique.
- (5) Les poutres horizontales à treillis peuvent être modélisées comme des poutres sur appuis simples, même si la poutre de roulement est continue.

**8.5 (5) C** Les dispositifs d'appui devront être compatibles avec les conditions de liaison prévues, notamment en permettant les mouvements associés aux rotations d'appui, voir 8.6.

- (6) Les poutres horizontales à treillis peuvent être calculées au moyen de règles d'application similaires à celles utilisées pour les autres poutres à treillis.
- (7) Si l'on utilise la partie supérieure de la poutre de roulement pour former membrure d'une poutre horizontale à treillis, il convient de prendre en compte les moments fléchissants provoqués par le chargement latéral entre les nœuds.
- (8) Si la poutre de roulement, ou la poutre horizontale, supporte ou comprend une passerelle, il convient de calculer les semelles ou les membrures de la poutre horizontale pour qu'elles résistent aux effets du chargement vertical s'exerçant sur la passerelle, ainsi qu'aux effets des actions horizontales de pont roulant.

**8.5 (8) C** En règle générale, les actions de passerelle ne se cumulent pas avec les actions des ponts roulants.

- (9) Il convient de calculer et de concevoir les détails des poutres horizontales en prenant dûment en compte la rotation d'extrémité de la poutre de roulement, tant dans le plan horizontal que dans le plan vertical, voir Figure 8.3 et Figure 8.4.

## 8.6 Dispositifs d'appuis horizontaux

(1) Il convient de calculer les dispositifs d'appuis horizontaux reliant la semelle supérieure d'une poutre de roulement à la structure support pour qu'ils résistent aux réactions provoquées par la force latérale totale  $F_{h,d}$  indiquée dans la Figure 8.2.

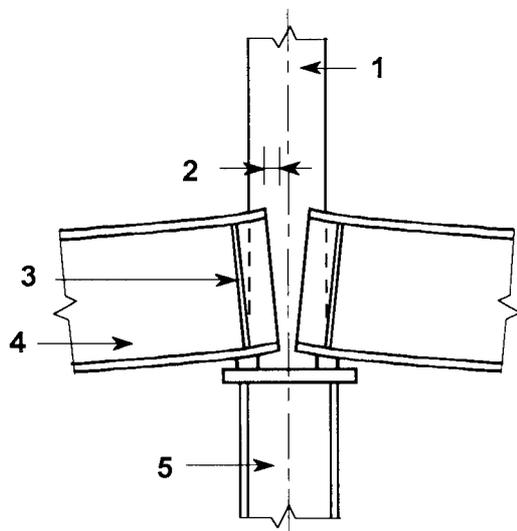
(2) Il convient que les dispositifs d'appuis horizontaux soient capables de supporter :

— les mouvements générés par la rotation d'extrémité de la poutre de roulement provoquée par le chargement vertical, voir Figure 8.3 ;

— les mouvements générés par la rotation d'extrémité de la semelle supérieure de la poutre de roulement provoquée par les forces latérales de pont roulant, voir Figure 8.4 ;

— les mouvements verticaux associés à la compression verticale de la poutre de roulement et de ses appuis plus l'usure et le tassement des supports de la poutre de roulement.

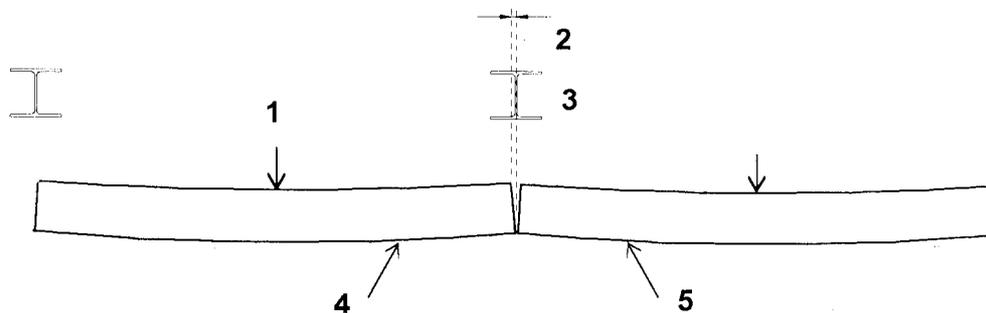
(3) Il convient que la conception détaillée des dispositifs d'appuis horizontaux et de leurs assemblages prenne en compte la possibilité d'un réglage latéral des poutres de roulement destiné à conserver l'alignement du chemin de roulement, tout en respectant également la tolérance de position du rail par rapport à l'axe de l'âme de la poutre de roulement.



### Légende

- 1 Poteau de bâtiment
- 2 Mouvement de la semelle supérieure par rapport au poteau de bâtiment
- 3 Raidisseur d'appui
- 4 Poutre de roulement
- 5 Poteau support de pont roulant

Figure 8.3 — Rotation d'extrémité de poutres de roulement



### Légende

- 1 Force(s) latérale(s) de pont roulant
- 2 Déplacements provoqués par la rotation de la semelle supérieure et la rotation d'extrémité de la poutre
- 3 Force(s) latérale(s) de pont roulant
- 4 Vue en plan de la semelle supérieure
- 5 Vue en plan de la semelle supérieure

**Figure 8.4 — Rotation d'extrémité de poutres de roulement provoquée par les forces latérales de pont roulant**

## 8.7 Ancrages

### 8.7.1 Appareils de levage statiques

(1)P Lorsque des appareils de levage sont ancrés ou fixés à des structures, la modélisation de l'appareil de levage, des ancrages et de la structure pour l'analyse de la détermination des sollicitations doit prendre en compte la totalité des rigidités appropriées et des points de maintien éventuels.

(2) Il convient en général que les liaisons avec les ancrages s'effectuent au moyen de plats de liaison et d'axes d'articulation.

(3) Il convient que les ancrages ainsi que leurs assemblages soient calculés pour résister à toutes les sollicitations provoquées par l'utilisation de l'appareil de levage, y compris celles provoquées par les actions thermiques, le vent et le tassement du sol.

(4) Il convient que la conception des ancrages et de leurs assemblages prenne en compte les tolérances de la structure et de l'appareil de levage.

### 8.7.2 Treuils et ponts roulants extérieurs

(1) Il convient que tous les ponts roulants extérieurs et tous les ensembles treuil-chariot de monorails extérieurs soient munis de points d'ancrages fixes.

(2) Il convient que les points d'ancrage soient calculés pour résister aux actions du vent s'exerçant sur le treuil ou le pont roulant à vide, voir 2.8(3).

## 8.8 Pression de contact

**8.8(A)** Comme alternative à la méthode ci-après, il est possible d'utiliser la méthode définie dans le cahier 3 de la FEM (Fédération Européenne de la Manutention).

### 8.8.1 Généralités

(1) Il convient que la pression de contact (pression de Hertz) entre les galets du pont roulant et les rails soit limitée à une valeur appropriée. Il convient que le choix des rails du pont roulant prenne en compte les éléments suivants :

- le matériau des rails ;
- la charge du galet ;
- le matériau des galets ;
- le diamètre des galets ;
- l'utilisation du pont roulant.

(2) Il convient de limiter la pression de contact à une valeur appropriée afin :

- de réduire le frottement ;
- d'éviter une usure excessive du rail ;
- d'éviter une usure excessive des galets.

### 8.8.2 Charge du galet

(1) Pour le choix des rails, il convient d'utiliser les charges caractéristiques des galets calculées sans les coefficients d'amplification dynamique spécifiés dans l'ENV 1991-5. Il convient de déterminer la charge de calcul au galet  $F_{wd}$  au moyen de l'expression :

$$F_{wd} = \left( 2F_{wk,max} + F_{wk,min} \right) / 3 \quad \dots (8.1)$$

où :

$F_{wk,max}$  réaction caractéristique maximale de roulement en fonctionnement normal du pont roulant ;

$F_{wk,min}$  réaction caractéristique minimale de roulement pour un pont roulant à pleine charge.

### 8.8.3 Matériau des rails et durée de vie de calcul

(1) Il convient que l'acier des rails soit conforme aux exigences de **3.2**. En général, il convient de choisir une nuance appropriée pour conférer au rail une durée de vie de calcul  $L_r$  égale à celle de la structure supportant le pont roulant, voir **2.4**. Lorsque cela n'est pas réalisable, il convient de prendre en compte la nécessité de remplacement des rails dans le choix des fixations de rails, voir **8.3**.

### 8.8.4 Capacité portante des rails

(1) Il convient que la charge de calcul au galet  $F_{wd}$  déterminée selon les spécifications de **8.8.2** n'excède pas la capacité portante du rail par galet  $F_{w,Cd}$  calculée au moyen de l'expression :

$$F_{w,Cd} = \beta_r b_{r,eff,dcw} \left[ 20\,000 / (n_{cw})^{2/3} \right] \quad \dots (8.2)$$

où :

$b_{r,eff}$  largeur efficace du champignon du rail en mm ;

$d_{cw}$  diamètre des galets de pont roulant, en mm ;

$n_{cw}$  nombre de cycles de charge du galet pour la portion de rail la plus fréquemment utilisée, mais sous réserve des limites suivantes :  $8 \times 10^5 \leq n_{cw} \leq 38 \times 10^5$  ;

$\beta_r$  coefficient de résistance du rail.

(2) Il convient que le nombre de cycles de charge du galet  $n_{cw}$  appliqués en un point quelconque soit basé sur l'utilisation prévue des ponts roulants. Il convient de considérer qu'un cycle de charge du galet se produit lorsque la pression de contact provoquée par les galets de pont roulant fluctue sur un cycle complet soit en raison du déplacement du pont roulant sur le rail, soit en raison de la variation des charges des galets lorsque la charge utile est soulevée et reposée, le pont roulant étant stationnaire.

(3) À défaut de meilleures informations, la valeur de  $n_{cw}$  peut être déterminée par l'expression :

$$n_{cw} = \left( L_r / L_c \right) C n_w \quad \text{mais} \quad 8 \times 10^5 \leq n_{cw} \leq 38 \times 10^5 \quad \dots (8.3)$$

où :

$C$  nombre de cycles de charge du pont roulant au point considéré, voir Tableau 8.1 ;

$L_c$  durée de vie de calcul du pont roulant (que l'on peut considérer égale à 25 années) ;

$L_r$  durée de vie de calcul exigée du rail de pont roulant, voir **8.8.3** ;

$n_w$  nombre de galets de pont roulant se déplaçant sur le rail de pont roulant.

(4) Il convient de prendre le coefficient de résistance des rails  $\beta_r$  égal aux valeurs suivantes :

— pour les aciers spéciaux pour rails dont la résistance à la traction  $f_{ur} \geq 500 \text{ N/mm}^2$  :

$$\beta_r = \left[ \text{6,0} \right] \times \left( f_u + 200 \right) / 750 \quad \dots (8.4a)$$

— pour les nuances d'acier de construction dont la limite d'élasticité  $f_{yr} \leq 460 \text{ N/mm}^2$  :

$$\beta_r = \left[ \text{6,0} \right] \times \left( f_{yr} / 460 \right)^2 \quad \dots (8.4b)$$

(5) Il convient de calculer la largeur efficace du champignon du rail  $b_{r,eff}$  au moyen de l'expression suivante :

1) si la face supérieure du rail est plane :  $b_{r,eff} = b_r - 2 r_r \quad \dots (8.5a)$

2) pour les rails dont la face supérieure est convexe :  $b_{r,eff} = b_r - (4/3) r_r \quad \dots (8.5b)$

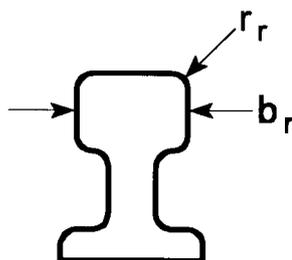
où :

$b_r$  largeur hors-tout du champignon du rail, voir Figure 8.5 ;

$r_r$  rayon de congé supérieur du champignon du rail, voir Figure 8.5.

**Table 8.1 — Nombre de cycles de charge de pont roulant C en un point donné**

Fréquence d'utilisation des déplacements du pont roulant	Classe d'utilisation des déplacements du pont roulant	Nombre de cycles maximum C
Utilisation rare	U <sub>0</sub>	1,60 × 10 <sup>4</sup>
	U <sub>1</sub>	3,15 × 10 <sup>4</sup>
	U <sub>2</sub>	6,30 × 10 <sup>4</sup>
	U <sub>3</sub>	1,25 × 10 <sup>5</sup>
Utilisation assez fréquente	U <sub>4</sub>	2,50 × 10 <sup>5</sup>
Utilisation fréquente	U <sub>5</sub>	5,00 × 10 <sup>5</sup>
Utilisation très fréquente	U <sub>6</sub>	1,00 × 10 <sup>6</sup>
Utilisation continue ou quasi continue	U <sub>7</sub>	2,00 × 10 <sup>6</sup>
	U <sub>8</sub>	4,00 × 10 <sup>6</sup>
	U <sub>9</sub>	8,00 × 10 <sup>6</sup>



**Figure 8.5 — Dimensions de section de rail**

## 9 Fatigue

### 9.1 Généralités

(1)P Les structures supports d'appareils de levage doivent être dimensionnées vis-à-vis de l'état limite de fatigue afin de garantir que, avec un niveau acceptable de probabilité, leur comportement reste satisfaisant pendant leur durée de vie de calcul, c'est à dire qu'elles ne soient pas susceptibles de subir une ruine par fatigue ou de nécessiter la réparation de détériorations provoquées par la fatigue.

(2)P Les dispositions données dans la section 9 de l'ENV 1993-1-1 doivent être complétées, modifiées ou remplacées (selon le cas) par les dispositions données dans la présente section 9 de la Partie 6.

(3) Il convient de considérer que les procédures d'évaluation de la fatigue ne sont pas valables si les chemins de roulement ne sont pas inspectés et entretenus périodiquement.

(4) Une évaluation de la fatigue n'est normalement pas exigée si le nombre de cycles, à plus de 50 % de la pleine charge utile, n'est pas supérieur à **10 000**.

**NOTE** 50 % correspond à un facteur de spectre de charge de pont roulant Q<sub>0</sub> à Q<sub>4</sub>.

**9.1 (4) NOTE C** Q<sub>0</sub> à Q<sub>4</sub> selon Tableau 2.11 de l'ENV 1991-5.

## 9.2 Chargement de fatigue

(1) Il convient de déterminer le chargement de fatigue provoqué par les ponts roulants selon l'ENV 1991-5 et le cahier des charges du projet.

## 9.3 Coefficients partiels pour les vérifications à la fatigue

(1) Sauf spécification contraire dans le cahier des charges du projet, il convient que les valeurs des coefficients partiels, pour les vérifications à la fatigue à utiliser pour les chemins de roulement, soient conformes à celles données en 9.3 de l'ENV 1993-1-1.

## 9.4 Spectres de contraintes de fatigue

(1) Il convient de déterminer les contraintes maximales  $\sigma_{p,max,Ed}$  et  $\tau_{p,max,Ed}$  ainsi que les contraintes minimales  $\sigma_{p,min,Ed}$  et  $\tau_{p,min,Ed}$  en appliquant le chargement de fatigue de calcul donné dans l'ENV 1991-5.

(2) Il convient de calculer les étendues de contraintes de référence  $\Delta\sigma_{p,Ed}$  et  $\Delta\tau_{p,Ed}$  pour la détermination des endommagements résultant du spectre d'étendue de contrainte au moyen des expressions suivantes :

$$\Delta\sigma_{p,Ed} = |\sigma_{p,max,Ed} - \sigma_{p,min,Ed}| \quad \dots (9.1a)$$

$$\Delta\tau_{p,Ed} = |\tau_{p,max,Ed} - \tau_{p,min,Ed}| \quad \dots (9.1b)$$

(3) L'endommagement résultant du spectre des étendues de contraintes peut être représenté par l'étendue de contrainte équivalente d'amplitude constante pour 2 millions de cycles, donnée par les expressions suivantes :

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda_i \phi_{fat} \Delta\sigma_p \quad \dots (9.2a)$$

$$\Delta\tau_{E2} = \lambda_i \phi_{fat} \Delta\tau_p \quad \dots (9.2b)$$

où :

$\lambda_i$  coefficient d'équivalence de dommage tiré de 2.12.1 de l'ENV 1991-5 ;

$\phi_{fat}$  coefficient d'impact en équivalence de dommage tiré de 2.12.1 de l'ENV 1991-5.

## 9.5 Méthode de vérification à la fatigue

(1) Il convient d'effectuer la vérification de sécurité en fonction des étendues de contraintes équivalentes  $\Delta\sigma_E$  et  $\Delta\tau_E$  en les comparant avec les résistances à la fatigue  $\Delta\sigma_C$  et  $\Delta\tau_C$  à  $2 \times 10^6$  cycles de contraintes pour la catégorie de dispositions constructives appropriée, voir 9.6. On peut utiliser les étendues de contraintes équivalentes à amplitude constante pour 2 millions de cycles  $\Delta\sigma_{E2}$  et  $\Delta\tau_{E2}$ .

(2) Il convient d'inclure à la fois les effets globaux et les effets locaux. En fonction des dispositions constructives, il convient que l'évaluation de la fatigue soit basée sur l'étendue de contrainte normale ou sur l'étendue de contrainte de cisaillement ou sur les deux, voir 9.6.

(3) Pour un élément chargé par un seul pont roulant, il convient d'appliquer les critères suivants, selon les dispositions constructives utilisées, voir 9.6 :

— pour une évaluation faisant appel à l'étendue de contrainte normale uniquement :

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E2} \leq \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf} \quad \dots (9.3a)$$

pour une évaluation faisant appel à l'étendue de contrainte de cisaillement uniquement :

$$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E2} \leq \Delta\tau_C / \gamma_{Mf} \quad \dots (9.3b)$$

— pour la combinaison de l'étendue de contrainte normale et de l'étendue de contrainte de cisaillement :

$$\left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \right]^5 \leq 1 \quad \dots (9.3c)$$

(4) Pour un élément chargé par deux ponts roulants ou plus, il convient que le dommage total satisfasse le critère suivant :

$$\sum_i D_i + D_{\text{dup}} \leq 1 \quad \dots (9.4)$$

où :

$D_i$  dommage provoqué par un seul pont roulant  $i$  agissant isolément ;

$D_{\text{dup}}$  dommage supplémentaire provoqué par la combinaison de deux ponts roulants ou plus agissant occasionnellement ensemble.

(5) Il convient de calculer le dommage  $D_i$  provoqué par un seul pont roulant  $i$  agissant isolément à partir de l'étendue de contrainte normale ou de l'étendue de contrainte de cisaillement, ou des deux, selon la disposition constructive utilisée, voir 9.6, au moyen de l'expression :

$$D_i = \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E2,i}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E2,i}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \right]^5 \quad \dots (9.5)$$

où :

$\Delta \sigma_{E2,i}$  étendue de contrainte normale équivalente à amplitude constante pour un seul pont roulant  $i$  ;

$\Delta \tau_{E2,i}$  étendue de contrainte de cisaillement équivalente à amplitude constante pour un seul pont roulant  $i$ .

(6) Il convient de calculer le dommage supplémentaire  $D_{\text{dup}}$  provoqué par deux ponts roulants, ou plus, agissant occasionnellement ensemble à partir de l'étendue de contrainte normale ou de l'étendue de contrainte de cisaillement, ou des deux, selon la disposition constructive utilisée, voir 9.6, au moyen de l'expression :

$$D_{\text{dup}} = \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E2,\text{dup}}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E2,\text{dup}}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \right]^5 \quad \dots (9.6)$$

où :

$\Delta \sigma_{E2,\text{dup}}$  étendue de contrainte normale équivalente d'amplitude constante pour les ponts roulants agissant ensemble ;

$\Delta \tau_{E2,\text{dup}}$  étendue de contrainte de cisaillement équivalente d'amplitude constante pour les ponts roulants agissant ensemble.

(7) À défaut de meilleures informations, les étendues de contraintes équivalentes à amplitude constante provoquées par deux ponts roulants, ou plus, agissant occasionnellement ensemble, peuvent être obtenues en appliquant des coefficients de dommages équivalents  $\lambda_{\text{dup}}$  égaux aux valeurs de  $\lambda_i$  selon 2.13 de l'ENV 1991-5 pour une classe de chargement  $S_i$  de la façon suivante :

— **pour 2 ponts roulants** : 2 classes au-dessous de la classe de chargement du pont roulant de classe de chargement la plus faible ;

— **pour 3 ponts roulants ou plus** : 3 classes au-dessous de la classe de chargement du pont roulant de classe de chargement la plus faible.

(8) Si deux ponts roulants sont prévus pour agir ensemble (en tandem ou autre) dans une mesure significative, il convient de traiter ces deux ponts roulants comme ne constituant qu'un seul pont roulant.

## 9.6 Résistance à la fatigue

(1) Il convient de prendre la résistance à la fatigue, pour une catégorie de détail donnée, égale à la valeur de  $\Delta\sigma_C$  ou  $\Delta\tau_C$  de la résistance à la fatigue à 2 millions de cycles pour la courbe S-N appropriée de 9.6 de l'ENV 1993-1-1.

(2) Il convient de considérer que les catégories de détail concernant les dispositions constructives figurant dans les Tableaux L.1 à L.7 de l'ENV 1993-2 remplacent celles figurant dans les Tableaux 9.8.1 à 9.8.7 de l'ENV 1993-1-1.

(3) Lorsque la catégorie de détail donnée dans les Tableaux L.1 à L.7 de l'ENV 1993-2 varie en fonction de l'épaisseur, il convient de ne pas appliquer la modification de résistance à la fatigue en fonction de l'épaisseur donnée en 9.7.2 de l'ENV 1993-1-1.

**NOTE** Cette référence croisée est utilisée parce que les Tableaux de la Partie 2 ont été actualisés. Il n'est pas prévu de la conserver dans la future version EN du présent document.

(4) Il convient d'utiliser les catégories de détail figurant dans le Tableau 9.1 pour la jonction entre la semelle supérieure et l'âme d'une poutre de roulement soumise à des charges des galets appliquées sur la semelle supérieure.

(5) Il convient de considérer, soit l'étendue de contrainte normale, soit l'étendue de contrainte de cisaillement, soit les deux, comme indiqué pour la classe particulière de disposition constructive, ou comme spécifié en 9.5.2.4 de l'ENV 1993-1-1.

(6) Pour les soudures, il convient de se reporter à 9.4.3 de l'ENV 1993-1-1 et 9.5.2.4(7) de l'ENV 1993-1-1.

## 9.7 Moments secondaires dans les éléments triangulés

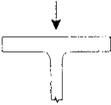
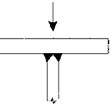
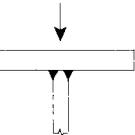
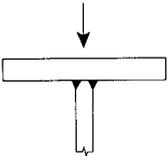
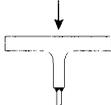
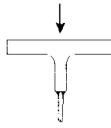
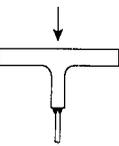
(1) Il convient de prendre en compte les contraintes supplémentaires provoquées par les moments secondaires dans les étendues de contraintes utilisées pour la vérification à la fatigue des éléments de poutres à treillis, de poutres à treillis horizontales et de panneaux de contreventement triangulés.

(2) À défaut d'analyse rigoureuse et de modélisation des assemblages, les contraintes supplémentaires provoquées par les moments secondaires peuvent être prises en compte en multipliant les étendues de contraintes provoquées par les efforts axiaux exercés dans les éléments par des coefficients appropriés. Les efforts axiaux exercés dans les éléments peuvent être basés sur une analyse supposant des nœuds articulés, en négligeant les effets de la rigidité des assemblages. Il convient de calculer les moments provoqués par les charges appliquées entre les nœuds en supposant que les éléments sont simplement appuyés au droit des nœuds.

(3) Il convient de calculer les coefficients destinés à prendre en compte les contraintes secondaires de la façon suivante :

- a) Pour les éléments en profils ouverts, les coefficients donnés dans le Tableau 9.2 peuvent être utilisés pour la prise en compte des moments secondaires provoqués par la rigidité des assemblages.
- b) Pour les éléments en profils creux de construction avec des assemblages soudés, les coefficients détaillés en 9.6.2.2 de l'ENV 1993-1-1 peuvent être utilisés pour la prise en compte des moments secondaires provoqués par la rigidité des assemblages, ainsi que de ceux provoqués par les excentremets des nœuds dans les limites données dans l'annexe K de l'ENV 1993-1-1.

**Table 9.1 — Jonction âme-semelle supérieure de poutres de roulement**

Catégorie de détail	Détail constructif	Description	Conditions requises pour les détails
160		Profil laminé en I ou H	Contrainte de compression verticale dans l'âme provoquée par les charges des galets
71		Soudure en bout en T à pleine pénétration	Contrainte de compression verticale dans la soudure provoquée par les charges des galets
36*		Soudure en bout en T à pénétration partielle, ou soudure en bout en T à pénétration pleinement efficace conforme aux dispositions de 6.6.6.3(1) de l'ENV 1993-1-1	Contraintes exercées sur la gorge de la soudure par la compression verticale provoquée par les charges des galets
36*		Soudures d'angle	Contraintes exercées sur la gorge de la soudure par la compression verticale provoquée par les charges des galets
71		Semelle de profil en T avec soudure en bout en T à pleine pénétration	Contrainte de compression verticale dans la soudure provoquée par les charges des galets
36*		Semelle de profil en T avec soudure en bout en T à pénétration partielle, ou soudure en bout en T à pénétration pleinement efficace conforme aux dispositions de 6.6.6.3(1) de l'ENV 1993-1-1	Contraintes exercées sur la gorge de la soudure par la compression verticale provoquée par les charges des galets
36*		Semelle de profil en T avec soudures d'angle	Contraintes exercées sur la gorge de la soudure par la compression verticale provoquée par les charges des galets

(C) Pour la catégorie de détail 36\* : voir 9.7.3 de l'ENV 1993-1-1.

**Table 9.2 — Coefficients pour les contraintes secondaires dans les éléments en profils ouverts**

a) Poutres à treillis chargées uniquement aux nœuds			
Étendue des valeurs $L/y$	$L/y \leq 20$	$20 < L/y < 50$	$L/y \geq 50$
Éléments de membrures Éléments intérieurs et d'extrémité	1,57	$\frac{1,1}{0,5 + 0,01 L/y}$	1,1
Éléments secondaires, voir Note	1,35	1,35	1,35
b) Poutres à treillis dont les éléments de membrures sont chargés entre nœuds			
Gamme des valeurs $L/y$	$L/y < 15$	$L/y \geq 15$	
Membrures chargées	$\frac{0,4}{0,25 + 0,01 L/y}$	1,00	
Éléments de membrure non chargés Éléments secondaires, voir Note	1,35	1,35	
Barres de treillis des panneaux d'extrémité	2,50	2,50	
Barres de treillis courantes	1,65	1,65	
<b>Légende</b>			
$L$ longueur entre nœuds de l'élément ;			
$y$ distance, mesurée dans le plan de triangulation, entre l'axe neutre et la fibre extrême appropriée de la section transversale de l'élément, prise de la façon suivante :			
- membrure comprimée : dans le sens opposé au sens d'application des charges ;			
- membrure tendue : dans le sens d'application des charges ;			
- autres éléments : la distance la plus grande.			
NOTE Les éléments secondaires comprennent les éléments utilisés pour réduire les longueurs de flambement des autres éléments ou pour transmettre aux nœuds les charges appliquées. Dans une analyse supposant des nœuds articulés, les efforts exercés dans les éléments secondaires ne sont pas affectés par les charges appliquées aux autres nœuds.			

## 10 Exécution

### 10.1 Exigences

(1) P Afin de respecter les hypothèses des règles de dimensionnement données dans la présente partie de l'ENV 1993, les matériaux et les produits utilisés doivent être conformes aux spécifications de la section 3, et les dispositions concernant les matériaux et l'exécution données dans l'ENV 1090 doivent être respectées.

(2) P Les exigences minimales spécifiées dans l'ENV 1090-1 doivent être considérées comme suffisantes uniquement pour les structures soumises à un chargement statique prédominant. Dans le cas de structures supportant des appareils de levage dans lesquelles la fatigue est prédominante, des exigences d'exécution plus sévères et des niveaux d'inspection et d'essais plus rigoureux sont exigés. Dans l'attente de la disponibilité de dispositions spécifiques concernant les chemins de roulement dans l'ENV 1090, il est possible de se référer aux dispositions appropriées spécifiées pour les ponts dans les ENV 1993-2 et ENV 1090-5.

(3) P Les tolérances de montage concernant les voies de roulement spécifiées dans l'ENV 1090-1 doivent être considérées comme suffisantes. Les tolérances plus strictes exigées pour certaines voies de roulement de ponts roulants doivent figurer dans le cahier des charges du projet, si nécessaire.

**NOTE** Dans l'attente de l'inclusion de dispositions spécifiques concernant les chemins de roulement dans l'ENV 1090, des directives provisoires sont données dans l'annexe B.

## **10.2 Informations concernant la conception et le calcul**

(1) Pour les informations sur les dimensions, et autres paramètres concernant la fabrication et le montage, qui sont nécessaires pour la conception et pour le calcul, il convient de se reporter à la section 7 de l'ENV 1993-1-1.

## **10.3 Cahier des charges du projet**

(1) Pour les indications sur les exigences particulières liées au calcul et concernant la fabrication et le montage, qu'il convient de donner dans le cahier des charges du projet le cas échéant, voir section 7 de l'ENV 1993-1-1.

(2) Il convient de fournir également, le cas échéant, des informations supplémentaires sur les exigences particulières concernant les chemins de roulement soumis à la fatigue, ou présentant des exigences particulières de tolérances.

**NOTE** Dans l'attente de l'inclusion de dispositions spécifiques pour les chemins de roulement dans l'EN 1090, des directives provisoires sont données dans l'annexe B.

## **Annexe A**

(informative)

### **Informations à fournir**

#### **A.1 Chemins de roulement**

(1) Pour le calcul des chemins de roulement, il convient de fournir dans le cahier des charges du projet des informations concernant les points suivants :

- caractéristiques requises des ponts roulants ;
- détails des ponts roulants devant être supportés ;
- détails des gabarits de passage exigés entre les ponts roulants et la structure, voir **2.11** ;
- emplacements et dimensions des voies d'accès pour les opérateurs de ponts roulants et le personnel d'entretien.

(2) Il convient de fournir les informations suivantes en ce qui concerne les caractéristiques requises des ponts roulants :

- nombre de ponts roulants devant être supportés ;
- intensité de la charge la plus forte devant être soulevée ;
- portée du pont roulant, en termes d'entraxes des voies de roulement ;
- conditions de fonctionnement, sous forme des classifications utilisées dans l'EN 13001-1 ;
- pour les ponts roulants extérieurs, dimensions de la charge soulevée en ce qui concerne sa prise au vent ;
- hauteur de levage ;
- nombre de levages par jour, ou par an ;
- couverture de la zone de travail, sous forme de plan d'implantation ;
- hauteur libre disponible au-dessus du niveau spécifié du rail de pont roulant, etc. ;
- vitesses de levage — vitesse unique, ou vitesse rapide et lente ;
- vitesse de déplacement et nombre de mouvements par jour ou par an ;
- méthode de commande du pont roulant — cabine sur le pont roulant, boîte à boutons pendante, télécommande, etc. ;
- système d'alimentation électrique — conducteurs fixes ou câble caténaire ;
- type d'accès pour l'entretien et les réparations.

(3) Il convient de fournir les informations suivantes pour chaque pont roulant devant être supporté :

- écartement des galets de roulement ;
- réactions maximales et minimales du galet du pont roulant en charge ;
- réactions maximales et minimales du galet du pont roulant à vide ;
- type d'entraînement des galets moteurs et de maintien latéral (CFF, IFF, CFM ou IFM — voir EN 13001-2) ;
- nombre de galets moteurs et de galets fous ;
- présence éventuelle de galets de guidage, et leurs emplacements ;
- distance entre la voie de roulement la plus proche et le centre de gravité du pont roulant, y compris la cabine si elle est solidaire ;
- poids du chariot (ou de l'ensemble treuil-chariot) et cote d'approche minimale à la voie de roulement ;

- vitesse de levage ;
- vitesse de translation du pont roulant ;
- vitesse de direction du chariot (ou ensemble treuil-chariot) ;
- dimensions des galets de pont roulant ou dimensions requises du rail de pont roulant ;
- jeu entre le rail et les boudins de galets ;
- distance entre l'axe du treuil et le butoir ;
- hauteur du tampon-amortisseur du pont roulant.

## **A.2 Chemins de roulement pour les ensembles treuil-chariot de monorails**

(1) Pour le calcul des chemins de roulement destinés aux ensembles treuil-chariot de monorails, il convient de fournir les informations concernant les points suivants dans le cahier des charges du projet :

- les caractéristiques requises des ensembles treuil-chariot ;
- les détails des ensembles treuil-chariot devant être supportés.

(2) Il convient de fournir les informations suivantes en ce qui concerne les caractéristiques requises des ensembles treuil-chariot :

- nombre d'ensembles treuil-chariot devant être supportés ;
- intensité de la charge la plus forte devant être soulevée ;
- conditions de fonctionnement, sous forme des classifications utilisées dans l'EN 13001-1 ;
- pour les ensembles treuil-chariot extérieurs, dimensions de la charge soulevée en ce qui concerne sa prise au vent ;
- hauteur de levage ;
- nombre de levages par jour, ou par an ;
- couverture de la zone de travail, sous forme de plan d'implantation ;
- hauteur libre disponible au-dessus du niveau spécifié de la semelle inférieure ;
- méthode de levage (électrique ou manuelle) et vitesse ;
- méthode de déplacement (électrique ou manuelle) et vitesse, ainsi que le nombre de mouvements par jour ou par an ;
- méthode de commande — boîte à boutons pendante, télécommande etc. ;
- système d'alimentation électrique — conducteurs fixes ou câble caténaire ;
- type d'accès pour l'entretien et les réparations.

(3) Il convient de fournir les informations suivantes sur chaque ensemble treuil-chariot devant être supporté :

- largeur requise de la semelle support de la poutre de roulement ;
- disposition et écartement des galets le long de la poutre de roulement ;
- écartement des galets sur la largeur de la semelle support de poutre de roulement ;
- réactions des galets de l'ensemble treuil-chariot en charge ;
- réactions des galets de l'ensemble treuil-chariot à vide ;
- poids de l'ensemble treuil-chariot ;
- vitesse de levage ;
- vitesse de translation ;
- distance entre l'axe du treuil et le butoir.

## **Annexe B**

### **(informative)**

### **Aspects concernant l'exécution**

**NOTE** La finalité de la présente Partie 6 de l'ENV 1993 est de couvrir l'exécution, uniquement dans la mesure nécessaire, pour indiquer la qualité des matériaux et produits de construction qu'il convient d'utiliser, ainsi que la qualité d'exécution nécessaire au respect des hypothèses de calcul.

Au stade actuel d'élaboration, dans l'attente de la disponibilité de dispositions spécifiques concernant les chemins de roulement dans l'ENV 1090 *Exécution des structures en acier*, cette annexe B donne des directives concernant la fabrication et le montage. Il est prévu que, dans l'avenir, l'EN 1090 contiendra des dispositions appropriées qui remplaceront la présente annexe.

#### **B.1 Généralités**

- (1) L'objet de cette annexe est d'identifier les aspects particuliers de la fabrication et du montage des chemins de roulement, pour lesquels certaines dispositions nécessitent d'être prises.
- (2) Les dispositions contenues dans cette annexe sont destinées à compléter ou remplacer celles qui sont données dans l'ENV 1090-1 en ce qui concerne les chemins de roulement de ponts roulants et les poutres de roulement destinées aux ensembles treuil-chariot de monorails.

#### **B.2 Dossier**

- (1) Il convient que le cahier des charges du projet ainsi que le dossier du constructeur évoqué dans l'ENV 1090-1 comprennent les aspects particuliers concernant les chemins de roulement.
- (2) Lorsque l'obtention de catégories de fatigue spécifiques est applicable, il convient que le cahier des charges contienne des informations complètes sur les conditions requises. Par exemple :
  - fixations requises de treuils provisoires et détails concernant leur retrait ;
  - finitions requises pour les profils soudés ;
  - méthode pour l'exécution des soudures en bout à pleine pénétration réalisées d'un seul côté ;
  - matériau des lattes de support envers ne faisant pas partie de la structure ;
  - emplacements où des surfaces de contact direct sont nécessaires.

#### **B.3 Zones sensibles à la fatigue**

##### **B.3.1 Généralités**

- (1) Il convient que toutes les zones sensibles à la fatigue soient clairement identifiées sur les plans.
- (2) Il convient d'appliquer les restrictions particulières spécifiées suivant **B.3.2** à **B.3.4** dans toutes ces zones sensibles à la fatigue.

##### **B.3.2 Restrictions concernant la fabrication**

- (1) Il convient de n'utiliser ni l'estampage des éléments ni le marquage au poinçon pour le repérage.
- (2) Il convient d'éliminer tous les matériaux écrouis.
- (3) Il convient que les trous destinés aux fixations ou aux axes d'articulation soient forés à leur dimension définitive ou poinçonnés à une dimension inférieure, puis alésés afin d'éliminer le matériau écroui.
- (4) Il convient de ne pas réaliser d'assemblages d'éléments provisoires, sauf s'ils sont prévus dans le cahier des charges du projet. Il convient que les détails concernant le soudage et le retrait de ces assemblages soient conformes aux dispositions données dans le cahier des charges du projet.

## **B.4 Soudage**

### **B.4.1 Généralités**

- (1) Il convient que les modes opératoires de soudage pour les aciers à haute limite d'élasticité soient conformes à l'ENV 1090-3.
- (2) Il convient que les conditions du soudage des zones déformées à froid et des matériaux adjacents soient conformes aux spécifications de l'annexe K de l'ENV 1993-1-1 pour les profils creux de construction ou de l'ENV 1993-2 pour les profils ouverts.

### **B.4.2 Soudage des rails en acier**

- (1) Pour les raccords de rails soudés bout-à-bout, il convient d'utiliser un procédé de soudage particulier approprié à la teneur en carbone et en manganèse de l'acier des rails.
- (2) Il convient d'utiliser des électrodes spéciales pour l'assemblage des rails sur les chemins de roulement au moyen de soudures d'angles.
- (3) Il convient de prendre en compte l'épaisseur des pièces assemblées pour le choix d'un mode opératoire de soudage approprié, voir ENV 1090.

## **B.5 Fixations mécaniques**

- (1) Il convient que les épaisseurs des éléments séparés faisant partie d'un empilage commun ne diffèrent pas de plus de 1 mm.
- (2) Il convient que les tiges des axes et boulons ajustés soient de classe de tolérance h12, et que les trous de boulons soient de classe de tolérance H12 selon l'EN 20286-2, sauf mention différente dans le cahier des charges du projet.
- (3) Il convient que la partie filetée d'un boulon ajusté ne s'étende pas dans l'épaisseur du matériau assemblé.
- (4) Il convient d'utiliser des rondelles afin de limiter les détériorations locales des revêtements de protection appliqués en usine.

## **B.6 Montage**

- (1) Il convient que la description du programme de montage comprenne les points suivants pour les structures supports de ponts roulants :
  - position et type des joints à réaliser sur chantier ;
  - emplacement, poids et dimension maximum des pièces ;
  - unités de transport et accessoires de manutention ;
  - positions et conditions des appuis et points de vérinage ;
  - ordre des opérations de montage ;
  - contreflèches et réglages préalables requis, y compris les valeurs à vérifier au stade de la fabrication ;
  - concept de stabilité pour la structure partiellement montée, y compris toutes exigences éventuelles concernant les ancrages, étaiyages ou contreventements provisoires ;
  - déformations attendues de la structure partiellement montée pour des conditions particulières de température et de vent ;
  - conditions pour la dépose des contreventements ou étaiyages provisoires de la structure ;
  - conditions susceptibles de mettre en péril la sécurité au cours de la construction.

## B.7 Tolérances de montage

### B.7.1 Limites concernant les voies de roulement de ponts roulants

(1) Pour des raisons structurelles et de fonctionnement, il convient que l'espacement spécifié pour les rails de la voie de roulement du pont roulant soit maintenu en tout point de la structure.

(2) Il convient que les écarts sur l'entraxe  $s$  des rails de ponts roulants par rapport à la valeur spécifiée ne soient pas supérieurs à  $\Delta s$  donnée par les expressions suivantes :

— pour  $s \leq 16$  m :  $\Delta s = \pm 5$  mm ... (B.1a)

— pour  $s > 16$  m :  $\Delta s = \pm [5 + 0,25 (s - 16)]$  mm ... (B.1b)

où :

$s$  entraxe (en mètres) des rails de pont roulant.

### B.7.2 Position du champignon de rail dans le plan

(1) Il convient que chaque rail ne présente pas d'écart supérieur à  $\pm 10$  mm par rapport à la position théorique de son champignon.

(2) En outre, il convient que chaque champignon de rail ne présente pas d'écart de rectitude supérieur à  $\pm 1$  mm sur une longueur étalon de 2,0 m mesurée le long du rail.

(3) Dans le cas de ponts roulants guidés sur leurs deux côtés par des galets horizontaux, les valeurs spécifiées en (1) et (2) s'appliquent également aux bandes de roulement. Dans le cas de ponts roulants guidés sur un seul côté, il convient de réduire l'écart admissible à  $\pm 5$  mm.

(4) Lorsqu'un rail de pont roulant est prévu pour être axé sur l'âme de la poutre porteuse, il convient que l'axe du champignon du rail ne s'écarte pas de sa position théorique par rapport à l'axe de l'âme porteuse de plus de  $\pm 0,5 t_w$ , où  $t_w$  représente l'épaisseur minimale de l'âme porteuse.

### B.7.3 Niveau de la partie supérieure du rail

(1) Il convient que la partie supérieure du rail ne présente pas d'écart supérieur à  $\pm 10$  mm par rapport au niveau prévu.

(2) En outre, il convient que la partie supérieure du rail ne présente pas d'écart supérieur à  $\pm 2$  mm par rapport au niveau prévu sur une longueur étalon de 2,0 m mesurée le long du rail.

(3) Le niveau prévu peut être constant, ou présenter une inclinaison intentionnelle due à la contreflèche.

(4) Il convient que les niveaux relatifs des rails situés des deux côtés d'un chemin de roulement ne varient pas en un point quelconque d'une valeur supérieure à  $\Delta z$  donnée par les expressions suivantes :

— pour  $s \leq 10$  m :  $\Delta z = \pm 10$  mm ... (B.2a)

— pour  $s > 10$  m :  $\Delta z = \pm s$  mm ... (B.2b)

où :

$s$  entraxe (en mètres) des rails de pont roulant.

### B.7.4 Alignement des joints de rails

(1) Il convient que les défauts d'alignement des joints de rails ne soient pas supérieurs à 1 mm, tant en plan qu'en élévation. Le cas échéant, il convient de régler le niveau des joints de rail, par exemple par meulage.

### B.7.5 Positions des butoirs

(1) Il convient que les butoirs ne présentent pas d'écart dans leurs positions respectives dans le sens de circulation sur le chemin de roulement, de plus de 0,1 % du gabarit d'écartement de la voie, et, dans tous les cas, de plus de 10 mm.

## Annexe C

(normative)

### Déversement

#### C.1 Généralités

(1) Dans la détermination de la résistance au déversement, il convient de tenir compte de la méthode d'application des charges du pont roulant ou de l'ensemble treuil-chariot sur la poutre.

#### C.2 Vérifications simplifiées

(1) Comme alternative à la méthode donnée en 5.5 de l'ENV 1993-1-1 la résistance au déversement d'une poutre de roulement courante à section transversale en I peut être vérifiée par la méthode suivante.

(2) Il convient d'accepter comme totalement maintenue vis à vis du déversement une poutre à section en I symétrique selon son axe de faible inertie et dont la semelle supérieure est maintenue latéralement en un certain nombre de points intermédiaires espacés d'une distance  $c$ , si la condition suivante est satisfaite :

$$c \leq 0,4 i_{z,g} \lambda_1 \left[ \frac{M_{p\ell,y,Rd}}{M_{Sd}} \right]^{0,5} \quad \dots \text{(C.1)}$$

où :

$i_{z,g}$  rayon de giration selon l'axe de forte inertie de la semelle comprimée plus 1/5 de l'âme ;

$\lambda_1$  selon la définition donnée en 5.5.1.2(1) de l'ENV 1993-1-1.

(3) Si la condition donnée en (2) n'est pas satisfaite, le flambement par flexion de la semelle comprimée peut être vérifié comme pour un élément comprimé soumis à une charge axiale au moyen du critère suivant :

$$N_{f,Sd} \leq \frac{\chi A_{f,g} f_{yf}}{\gamma_{M1}} \quad \dots \text{(C.2)}$$

où :

$A_{f,g}$  aire de section transversale de la semelle comprimée plus 1/5 de l'âme ;

$\chi$  coefficient de réduction tiré du Tableau 5.5.2 de l'ENV 1993-1-1 pour une valeur de  $\bar{\lambda} = (c/i_{z,g})/\lambda_1$  en utilisant la courbe de flambement **a** pour les profilés laminés ou la courbe de flambement **c** pour les profilés soudés.

(4) Si le critère donné en (3) n'est pas satisfait, la résistance au déversement peut être déterminée en toute sécurité selon 5.5.2 de l'ENV 1993-1-1 en prenant pour hypothèse que la poutre est soumise à un moment uniforme.

### C.3 Évaluations simplifiées

(1) Si les charges des galets du pont roulant sont appliquées sur une poutre de roulement par l'intermédiaire d'un rail sans patin résilient, il est possible de prendre en compte l'effet stabilisateur du décalage horizontal du point d'application de la réaction de roulement verticale sur le rail, qui se produit en cas de rotation de torsion. À condition que la section transversale de la poutre soit un profil en I, simple ou renforcé, à défaut d'une analyse plus précise, l'hypothèse consistant à supposer que la réaction de roulement verticale est effectivement appliquée au niveau du centre de torsion peut être considérée comme offrant toute sécurité.

(2) Si les charges des galets sont appliquées par l'intermédiaire d'un rail supporté par un patin résilient, ou appliquées directement sur la semelle supérieure d'une poutre de roulement, il convient de ne pas se fier aux effets détaillés en **(1)**, et de considérer que la réaction de roulement verticale est effectivement appliquée au niveau de la partie supérieure de la semelle.

(3) Dans le cas de charges des galets exercées par un ensemble treuil-chariot de monorail ou un pont roulant suspendu, il convient de prendre en compte l'effet stabilisateur de l'application des charges sur la semelle inférieure. Toutefois, en raison des effets éventuels du balancement des charges soulevées, à défaut d'une analyse plus précise, il convient de ne pas considérer que la réaction verticale est effectivement appliquée au-dessous du niveau de la surface supérieure de la semelle inférieure.