

ICS 91.010.30

Version Française

**Eurocode 1: Bases de calcul et actions sur les structures -  
Partie 5: Actions induites par les ponts roulants et autres  
machines**

Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und  
Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 5: Einwirkungen aus  
Kränen und anderen Maschinen

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures -  
Part 5: Actions induced by cranes and other machinery

La présente Prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 23 mai 1997 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.

Il est demandé aux membres du CEN 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.



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

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

## Sommaire

Avant-propos.....	5
<b>Section 1 Généralités .....</b>	<b>7</b>
1.1 Domaine d'application.....	7
1.1.1 Domaine d'application de l'ENV 1991 – Eurocode 1 .....	7
1.1.2 Domaine d'application de l'ENV 1991-5 – Actions induites par les appareils de levage et les autres machines.....	7
1.1.3 Autres parties de l'ENV 1991 .....	7
1.2 Références normatives .....	7
1.3 Distinction entre principes et règles d'application .....	8
1.4 Définitions.....	9
1.4.1 Termes et définitions spécifiques aux palans et aux appareils de levage sur poutres de roulement.....	9
1.4.2 Termes et définitions spécifiques aux actions induites par des machines .....	11
1.5 Symboles .....	12
<b>Section 2 Actions induites par les palans et les appareils de levage sur les poutres de roulement .....</b>	<b>15</b>
2.1 Domaine d'application.....	15
2.2 Classement des actions .....	15
2.2.1 Généralités.....	15
2.2.2 Actions variables .....	15
2.2.3 Actions accidentelles .....	16
2.3 Situations de projet .....	17
2.4 Représentation d'actions induites par des appareils de levage.....	17
2.5 Dispositions de charge .....	18
2.5.1 Charges verticales induites par des chariots porte-palan monorail suspendus à des poutres de roulement.....	18
2.5.2 Charges horizontales induites par des chariots porte-palan monorail suspendus à des poutres de roulement.....	18
2.5.3 Charges verticales induites par des ponts roulants .....	18
2.5.4 Charges horizontales induites par des ponts roulants .....	19
2.5.5 Action d'appareils de levage multiples.....	21
2.6 Charges verticales des appareils de levage – valeurs caractéristiques.....	21
2.7 Charges horizontales des appareils de levage – valeurs caractéristiques .....	22
2.7.1 Généralités.....	22
2.7.2 Charges longitudinales $H_{L,i}$ et charges transversales $H_{T,i}$ produites par les accélérations et les décélérations de l'appareil de levage .....	23
2.7.3 Force d'entraînement $K$ .....	25
2.7.4 Charges horizontales $H_{S,i,j,k}$ et force de guidage $S$ due à l'obliquité de l'appareil de levage .....	26
2.7.5 Charges horizontales dues aux accélérations ou décélérations du chariot .....	29
2.8 Effets de la température .....	29
2.9 Charges sur les passerelles d'accès, les escaliers, les plates-formes et les garde-fous.....	29
2.9.1 Charges verticales .....	29
2.9.2 Charges horizontales .....	29
2.10 Charges d'essai.....	29
2.11 Actions accidentelles .....	30
2.11.1 Forces de tamponnement liées au déplacement de l'appareil de levage .....	30
2.11.2 Forces de tamponnement liées aux déplacements du chariot .....	31
2.11.3 Forces de basculement .....	31
2.12 Charges de fatigue.....	31
2.12.1 Action d'un seul appareil de levage.....	31
2.12.2 Effets des plages de contraintes des actions induites par des galets multiples ou des appareils de levage.....	33
<b>Section 3 Actions induites par les machines.....</b>	<b>34</b>
3.1 Domaine d'application.....	34
3.2 Classement des actions .....	34
3.2.1 Généralités.....	34

3.2.2	Actions permanentes .....	34
3.2.3	Actions variables .....	34
3.2.4	Actions accidentelles .....	35
3.3	Cas de calcul .....	35
3.4	Représentation d'actions .....	35
3.4.1	Nature des charges.....	35
3.4.2	Modélisation des actions dynamiques .....	36
3.4.3	Modélisation de l'interaction machine-structure.....	36
3.5	Valeurs caractéristiques .....	36
3.6	Critères de service.....	38
<b>Annexe A (informative) Bases de calcul – articles complémentaires de l'ENV 1991-1 pour les poutres de roulement subissant la charge d'appareils de levage .....</b>		
		<b>40</b>
A.1	Généralités .....	40
A.2	États limites ultimes .....	40
A.2.1	Combinaisons d'actions .....	40
A.2.2	Coefficients partiels.....	41
A.2.3	Coefficients $\psi$ pour les charges dues aux appareils de levage.....	41
A.3	États limites de service .....	41
A.3.1	Combinaisons d'actions .....	41
A.3.2	Coefficients partiels.....	42
	coefficients $\psi$ pour les actions induites par les appareils de levage.....	42
A.4	Fatigue .....	42
<b>Annexe B (informative) Lignes directives pour le classement des appareils de levage du point de vue de la fatigue .....</b>		
		<b>43</b>
<b>Annexe C (informative) Bases de calcul – articles complémentaires de l'ENV 1991-1 pour les machines .....</b>		
		<b>44</b>
C.1	Généralités .....	44
C.2	États limites ultimes .....	44
C.2.1	Combinaisons d'actions .....	44
C.2.2	Coefficients partiels.....	45
C.2.3	Coefficients $\psi$ pour les actions induites par les machines.....	45
C.3	États limites de service .....	46
C.3.1	Critères de performances concernant les vibrations .....	46
C.3.2	Combinaisons d'actions .....	46
C.3.3	Coefficients partiels.....	46
C.3.4	Coefficients $\psi$ pour l'action induite par les machines .....	46
C.4	Fatigue .....	46
<b>Annexe D (informative) Prescriptions de service des machines .....</b>		
		<b>47</b>
D.1	Généralités .....	47
D.2	Détermination de la vitesse de vibration efficace $v_{eff}$ .....	47
D.3	Évaluation de l'intensité de vibration par rapport à l'admissibilité des machines .....	47
<b>Annexe E (informative) Effet sur l'environnement .....</b>		
		<b>49</b>
E.1	Généralités .....	49
E.2	Détermination d'une valeur efficace .....	49
E.3	Classement des domaines par rapport à l'intensité des vibrations .....	49
<b>Annexe F (informative) Vérifications simplifiées et critères .....</b>		
		<b>51</b>
F.1	Critères d'omission des effets dynamiques .....	51
F.2	Critères de division d'un modèle en systèmes indépendants découplés .....	51
<b>Annexe G (normative) Charges d'exploitation sur les planchers par les chariots élévateurs à fourche, les véhicules sur pneus ou sur rails, les équipements d'accès pour la maintenance et les hélicoptères .....</b>		
		<b>54</b>
G.1	Généralités .....	54
G.2	Définitions .....	54
G.3	Classement des actions.....	54
G.3.1	Généralités .....	54
G.3.2	Actions permanentes .....	55
G.3.3	Actions variables .....	55
G.3.4	Actions accidentelles .....	55
G.4	Cas de calcul .....	55
G.5	Représentation d'actions .....	55

G.5.1	Nature des charges.....	55
G.5.2	Modélisation des chariots élévateurs à fourche.....	55
G.5.3	Modélisation des véhicules de transport .....	55
G.5.4	Équipements spéciaux d'entretien.....	56
G.5.5	Hélicoptères.....	56
G.6	Dispositions de charge .....	56
G.6.1	Actions induites par les chariots élévateurs à fourche .....	56
G.6.2	Actions induites par les véhicules de transport.....	57
G.6.3	Actions induites par des équipements spéciaux d'entretien .....	57
G.6.4	Actions induites par les hélicoptères .....	57
G.7	Valeurs de charges caractéristiques .....	57
G.7.1	Chariots élévateurs à fourche .....	57
G.7.2	Véhicules de transport .....	58
G.7.3	Équipements spéciaux d'entretien.....	58
G.7.4	Hélicoptères.....	58
G.8	Charges de fatigue.....	58
G.8.1	Chariots élévateurs à fourche .....	58
G.8.2	Véhicules de transport .....	59
G.8.3	Équipements spéciaux d'entretien.....	59
G.8.4	Hélicoptères.....	59
G.9	Actions accidentelles .....	59
G.10	Articles complémentaires de l'ENV 1991-1 pour les chariots élévateurs à fourche, les véhicules sur pneus ou sur rails, les équipements d'accès pour la maintenance et les hélicoptères .....	59
G.10.1	Généralités.....	59
G.10.2	États limites ultimes .....	59

## Avant-propos

### Objectifs des Eurocodes

- (1) Les "Eurocodes structuraux" regroupent un ensemble de normes pour le calcul structural et géotechnique des ouvrages de bâtiment et de génie civil.
- (2) Ils ne traitent de l'exécution et de l'inspection que dans la mesure où il est nécessaire de préciser la qualité des produits de construction et le niveau de réalisation à satisfaire pour être conforme aux hypothèses adoptées dans les règles de calcul.
- (3) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées concernant les produits ainsi que les méthodes de contrôle de leurs performances soient disponibles, un certain nombre d'Eurocodes structuraux traiteront quelques-uns de ces aspects dans des annexes informatives.

### Fondement 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 ouvrages de bâtiment et de génie civil, règles destinées à être utilisées, au début, comme alternative aux différents règlements en vigueur dans les Etats Membres et à les remplacer ultérieurement. Ces règles techniques reçurent alors le nom de "Eurocodes structuraux".
- (5) En 1990, après consultation de ses États Membres, la CCE transféra le travail de développement, de diffusion et de mise à jour des Eurocodes structuraux au CEN et le secrétariat de l'AELE accepta de s'associer au travail du CEN.
- (6) Le comité technique CEN/TC 250 est chargé de tous les Eurocodes structuraux.

### Programme des Eurocodes

(7) Le travail est en cours sur les Eurocodes structuraux suivants, chacun étant généralement constitué de plusieurs parties :

- EN 1991 Eurocode 1 Base du 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 en 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 alliages d'aluminium.

(8) Un sous-comité distinct a été formé par le CEN/TC 250 pour chacun des Eurocodes énoncés ci-dessus.

(9) La présente partie de l'Eurocode 1, qui a été finalisée conformément au mandat délivré par la CEC, est publiée comme Prénorme Européenne (ENV) pour une durée initiale de trois ans.

(10) Cette Prénorme est destinée à une application expérimentale.

(11) Au terme d'une durée approximative de deux ans, les membres du CEN seront invités à formuler des commentaires officiels sur la présente Prénorme qui seront pris en compte pour la détermination des actions futures.

(12) En attendant, il convient d'adresser vos réactions et commentaires sur cette Prénorme au Secrétariat du sous-comité CEN/TC250/SC1 à l'adresse suivante :

SIS / BST  
Box 490 44  
S-100 28 STOCKHOLM  
SUÈDE

ou à votre organisme national de normalisation.

### **Documents d'application nationale**

(13) Pour que puissent s'exercer les responsabilités des autorités des pays membres en matière de sécurité, santé et autres points couverts par les exigences essentielles de la Directive pour les produits de construction (DPC), on a attribué à certains éléments de sécurité dans cette ENV des valeurs indicatives qui sont identifiées par  ("valeurs encadrées"). Il appartient aux autorités de chaque pays membre d'examiner les "valeurs encadrées" et d'autres valeurs définitives peuvent être substituées à ces éléments de sécurité pour l'emploi dans des applications nationales.

(14) Certaines des normes européennes ou internationales, qui sont à la base de cette Prénorme, peuvent ne pas être disponibles au moment de sa publication. Il est par conséquent prévu que chaque pays membre ou son organisme de normalisation publie un Document d'application nationale (DAN) donnant les valeurs obligatoires de substitution aux valeurs "encadrées", faisant référence aux normes de base compatibles et précisant les directives nationales d'application de cette Prénorme.

(15) Il est prévu que cette Prénorme soit utilisée conjointement avec le DAN reconnu dans le pays où les bâtiments ou les ouvrages de génie civil sont situés.

### **Contenu spécifique de cette Prénorme**

(16) Le domaine d'application de l'Eurocode 1 est défini en 1.1.1 et le domaine d'application de la présente partie de l'Eurocode 1, est défini en 1.1.2. Les parties supplémentaires de l'Eurocode 1 qui sont prévues sont indiquées en 1.1.3.

(17) La présente partie de l'Eurocode 1 est divisée en trois sections :

- une section générale 1 d'articles communs ;
- les deux sections, 2 et 3, traitant de l'action induite par les appareils de levage sur des poutres de roulement et les actions induites par les autres machines.

Les trois sections sont complétées par sept annexes, A à G, certaines étant normatives et d'autres informatives. Les annexes normatives ont le même statut que les sections auxquelles elles se rapportent.

Les limites de validité du contenu des sections sont définies. Lorsque des règles complémentaires sont nécessaires, elle doivent être données dans le DAN ou spécifiées pour le projet particulier. Les annexes A, C et G donnent des valeurs encadrées pour des coefficients de charge partielle et des coefficients  $\psi$ .

## Section 1 Généralités

### 1.1 Domaine d'application

#### 1.1.1 Domaine d'application de l'ENV 1991 – Eurocode 1

(1) P ENV 1991 fournit les principes généraux et les actions pour le calcul de dimensionnement des bâtiments et des ouvrages de génie civil, y compris certains aspects géotechniques et elle doit être utilisée conjointement avec les ENV 1992 à 1999.

(2) Elle peut également être utilisée comme base de calcul pour les structures non couvertes par les ENV 1992 à 1999 et lorsque d'autres matériaux ou d'autres actions de calcul de dimensionnement sont concernées.

(3) L'ENV 1991 couvre également le calcul de dimensionnement des conditions de construction et le calcul de dimensionnement des structures temporaires. Elle se rapporte à tous les cas où une structure est tenue d'assurer des performances suffisantes.

(4) L'ENV 1991 n'est pas directement destinée à l'évaluation structurale d'une construction existante, au développement du calcul de réparations et de modifications ni à l'estimation des changements d'usage mais elle peut être utilisée à cette fin le cas échéant.

(5) L'ENV 1991 ne couvre pas entièrement les cas particuliers de calcul qui exigent des considérations de fiabilité inhabituelles comme les structures nucléaires pour lesquelles il convient d'utiliser une autre méthode de calcul prescrite.

#### 1.1.2 Domaine d'application de l'ENV 1991-5 – Actions induites par les appareils de levage et les autres machines

(1) La partie 5 de l'ENV 1991 prescrit les charges d'exploitation (modèles et valeurs représentatives) associées aux appareils de levage sur poutres de roulement, aux machines fixes et aux véhicules de transport qui comprennent, lorsqu'elles sont appropriées, les effets dynamiques et les forces de freinage, d'accélération et accidentelles.

(2) La section 1 définit les définitions et notations communes.

(3) La section 2 spécifie les actions induites par les appareils de levage sur poutres de roulement.

(4) La section 3 spécifie les actions induites par les machines fixes.

(5) L'annexe G spécifie les charges d'exploitation sur les planchers par les chariots élévateurs à fourche, les véhicules sur pneus ou sur rails, les équipements d'accès pour la maintenance et les hélicoptères.

#### 1.1.3 Autres parties de l'ENV 1991

(1) Les autres parties de l'ENV 1991, actuellement en cours d'élaboration ou en prévision, sont données en 1.2.

### 1.2 Références normatives

(1) Cette prénorme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres normes. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications énumérées ci-après.

ISO 3898:1997, *Bases pour le calcul des structures. Notations. Symboles généraux.*

NOTE Les Prénormes européennes suivantes qui sont publiées ou en cours d'élaboration sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications énumérées ci-après.

ENV 1991-1 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 1 : Base de calcul

- ENV 1991-2-1 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 2.1 : Actions sur les structures : densités, poids propres, charges d'exploitation
- ENV 1991-2-2 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 2.2 : Actions sur les structures exposées au feu
- ENV 1991-2-3 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 2.3 : Charges de neige
- ENV 1991-2-4 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 2.4 : Actions du vent
- ENV 1991-2-5 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 2.5 : Actions thermiques
- ENV 1991-2-6 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 2.6 : Charges et déformations imposées pendant l'exécution
- ENV 1991-2-7 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 2.7 : Actions accidentelles
- ENV 1991-3 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 3 : Charges sur les ponts, dues au trafic
- ENV 1991-4 Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures - Part 4 : Actions dans les silos et les réservoirs
- ENV 1992 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton
- ENV 1993 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier
- ENV 1994 Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton
- ENV 1995 Eurocode 5 : Calcul des structures en bois
- ENV 1996 Eurocode 6 : Calcul des structures en maçonnerie
- ENV 1997 Eurocode 7 : Calcul géotechnique
- ENV 1998 Eurocode 8 : Calcul des structures pour la résistance aux séismes
- ENV 1999 Eurocode 9 : Calcul des structures en alliages d'aluminium
- ENV 13001-1 Appareils de levage à charge suspendue - Conception générale - Partie 1 : Principes généraux et prescriptions
- ENV 13001-2 Appareils de levage à charge suspendue - Conception générale - Partie 2 : Effets de charge

### **1.3 Distinction entre principes et règles d'application**

- (1) Selon le caractère des articles individuels, une distinction est faite dans la présente partie 5 de l'ENV 1991 entre les principes et les règles d'application.
- (2) Les principes comprennent :
- les énoncés et définitions d'ordre général pour lesquels il n'existe pas d'alternative ; ainsi que
  - les prescriptions et les modèles analytiques pour lesquels aucune alternative n'est admise sauf indication contraire.
- (3) Les principes sont identifiés par la lettre P après le numéro du paragraphe.
- (4) Les règles d'application sont des règles admises en général qui respectent les principes et satisfont à leurs prescriptions.



(5) Il n'est pas exclu d'utiliser des règles différentes de celles d'applications données dans le présent Eurocode à condition de démontrer que les règles de remplacement sont en accord avec les principes correspondants et qu'elles offrent au moins la même fiabilité.

(6) Dans la présente partie 5 de l'ENV 1991, les règles d'application sont identifiées par un numéro entre parenthèses comme ce paragraphe par exemple.

## 1.4 Définitions

(1) Pour les besoins de la présente Prénorme, une liste de définitions de base est fournie dans l'ENV 1991-1 "Bases de calcul" et les définitions supplémentaires données ci-dessous en 1.4.1 et 1.4.2 sont spécifiques à la présente partie de l'ENV 1991.

### 1.4.1 Termes et définitions spécifiques aux palans et aux appareils de levage sur poutres de roulement

#### 1.4.1.1

##### **coefficient dynamique**

coefficient couvrant des effets dynamiques comme ceux dus aux excitations vibratoires, aux impacts, etc.

#### 1.4.1.2

##### **poids propre de l'appareil de levage $Q_C$**

poids propre de tous les éléments fixes et mobiles, y compris les équipements mécaniques et électriques d'une structure d'appareil de levage à l'exclusion toutefois de l'accessoire de levage et d'une partie des câbles ou chaînes du palan suspendu mus par la structure de l'appareil de levage (voir 1.4.1.3)

#### 1.4.1.3

##### **masse à lever $Q_H$**

comprend les masses de la charge utile, de l'accessoire de levage et d'une partie des câbles ou chaînes du palan suspendu mus par la structure de l'appareil de levage (voir Figure 1.1)

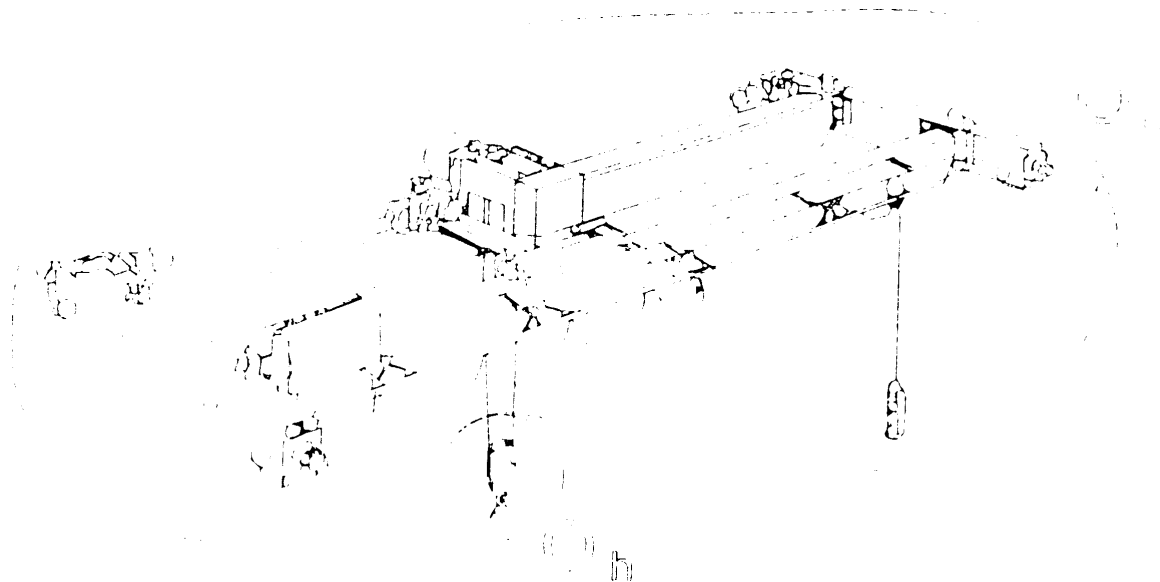


Figure 1.1 – Définition de la masse à lever et du poids propre de l'appareil de levage

#### 1.4.1.4

##### **chariot**

partie d'un pont roulant comprenant un palan et qui est capable de se déplacer sur des rails à la partie supérieure de la poutre du pont

**1.4.1.5**  
**poutre du pont**

partie d'un pont roulant comprise entre les poutres de roulement de l'appareil de levage et les supports du chariot

**1.4.1.6**  
**système de guidage**

système servant à garder un appareil de levage dans l'axe d'une poutre de roulement grâce aux réactions horizontales entre l'appareil de levage et les poutres de roulement. Le système de guidage peut se composer de flasques sur les galets de l'appareil de levage ou un système séparé de galets de guidage roulant sur le côté des rails de l'appareil de levage ou sur le flanc des poutres de roulement

**1.4.1.7**  
**palan**

machine destinée à soulever des charges

**1.4.1.8**  
**chariot porte-palan**

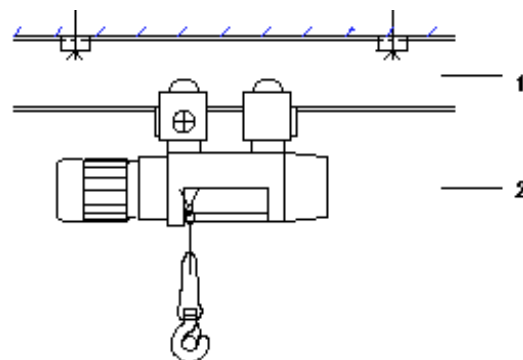
chariot suspendu comprenant un palan et capable de se déplacer sur l'aile inférieure d'une poutre, soit sur un chemin de roulement fixe (comme représenté à la Figure 1.2) soit au-dessous de la poutre d'un pont roulant (comme représenté aux Figures 1.3 et 1.4)

**1.4.1.9**  
**pont roulant**

machine destinée à soulever et à déplacer des charges qui se déplace sur des galets le long des poutres de roulement du pont roulant. Il comporte un ou plusieurs palans montés sur des chariots ou des chariots suspendus

**1.4.1.10**  
**poutre de roulement pour chariot porte-palan**

poutre de roulement d'appareil de levage prévu pour supporter un chariot porte-palan capable de se déplacer sur



son aile inférieure (voir Figure 1.2)

**Légende**

- 1 Poutre de roulement
- 2 Chariot porte-palan

**Figure 1.2 – Poutre de roulement avec chariot porte-palan**

**1.4.1.11**  
**pont roulant suspendu**

pont roulant supporté par les ailes inférieures des poutres de roulement de l'appareil de levage (voir Figure 1.3)

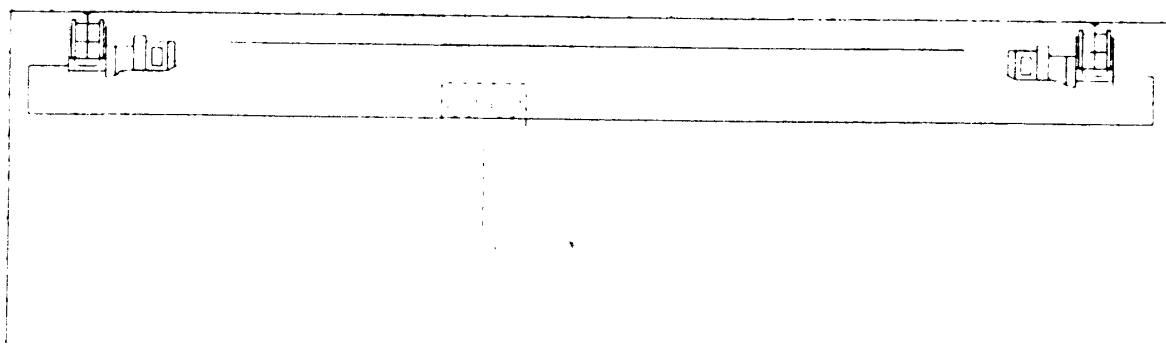


Figure 1.3 – Pont roulant suspendu avec chariot porte-palan

#### 1.4.1.12

##### **pont roulant posé**

pont roulant supporté par la partie supérieure de la poutre de roulement de l'appareil de levage. Il se déplace en général sur des rails mais parfois directement sur la partie supérieure des poutres (voir Figure 1.4)

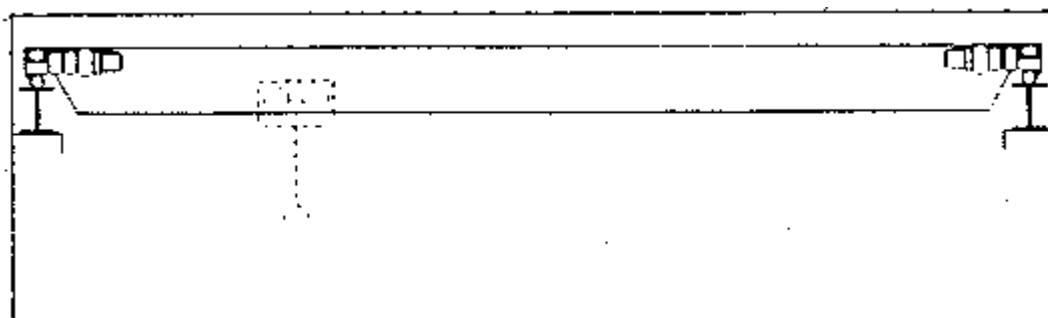


Figure 1.4 – Pont roulant posé avec chariot porte-palan

#### 1.4.2 Termes et définitions spécifiques aux actions induites par des machines

##### 1.4.2.1

##### **fréquence propre**

propriété dynamique d'un corps ou système élastique le faisant osciller de façon répétée à partir d'un point fixe de référence après avoir supprimé la force extérieure

##### 1.4.2.2

##### **vibration libre**

vibration d'un système excité initialement, qui peut se présenter sous la forme d'un déplacement ou d'une vitesse initiale, mais sans force variable avec le temps agissant sur lui

##### 1.4.2.3

##### **vibration forcée**

vibration d'un système provoquée par des charges extérieures variables avec le temps agissant sur lui

##### 1.4.2.4

##### **amortissement**

dissipation d'énergie dans un système vibratoire

#### **1.4.2.5 résonance**

la résonance d'un système en vibration forcée est une condition existant lorsqu'un changement aussi petit soit-il dans la fréquence d'excitation entraîne un affaiblissement de la réponse du système

#### **1.4.2.6 mode de vibration**

dans un système subissant des vibrations, un mode de vibration est un schéma caractéristique adopté par le système dans lequel le mouvement de chaque particule est une harmonique simple de la même fréquence. Il se peut que deux modes ou plus existent simultanément dans un système ayant plusieurs degrés de liberté

### **1.5 Symboles**

(1) Pour les besoins de la présente Prénorme, les notations suivantes s'appliquent :

NOTE La notation utilisée est basée sur l'ISO 3898:1997.

(2) Une liste de notations de base est fournie dans l'ENV 1991-1 "Bases de calcul" et les notations complémentaires ci-dessous sont spécifiques à la présente partie.

*Lettres latines majuscules :*

- $C$  nombre total des cycles de travail pendant la durée de vie de calcul d'un appareil de levage ;
- $F$  composante statique d'une action induite par un appareil de levage ;
- $F_k$  valeur caractéristique d'une action induite par un appareil de levage ;
- $F_w$  forces dues au vent de service ;
- $H_B$  force de tamponnement ;
- $H_L$  charges longitudinales dues aux accélérations et aux décélérations ;
- $H_S$  charges horizontales dues à la marche en crabe ;
- $H_T$  charges transversales dues aux accélérations et aux décélérations ;
- $H_{TA}$  force de basculement ;
- $K$  force d'entraînement ;
- $Q_c$  poids propre de l'appareil de levage
- $Q_h$  masse à lever ;
- $Q_T$  charge d'essai ;
- $S$  force de guidage  $S$  due à l'obliquité ;
- $S_B$  constante de raideur des tampons.

*Lettres latines minuscules :*

- $h$  distance entre le pôle instantané de glissement et le système de guidage ;
- $k_Q$  coefficient du spectre de charge ;
- $m_c$  masse de l'appareil de levage ;
- $m_w$  nombre de systèmes d'entraînement à un seul galet ;
- $n$  nombre de paires de galets ;
- $n_r$  nombre de poutres de roulement.

*Lettres grecques minuscules :*

- $\alpha$  angle d'obliquité ;
- $\lambda$  coefficient de dommage équivalent ;
- $\mu$  coefficient de frottement ;
- $\varphi_i$  coefficient dynamique ;
- $\varphi_{fat}$  coefficient d'impact dynamique de dommage équivalent.

NOTE Les notations et symboles qui ne figurent pas dans la liste ci-dessus sont expliqués dans le texte où ils apparaissent pour la première fois.

## Section 2 Actions induites par les palans et les appareils de levage sur les poutres de roulement

### 2.1 Domaine d'application

(1) La présente section spécifie les actions (modèles et valeurs représentatives) induites par :

- des chariots suspendus à des poutres de roulement, voir 2.5.1 et 2.5.2 ;
- des ponts roulants, voir 2.5.3 et 2.5.4.

(2) Les méthodes prescrites dans la présente section sont compatibles avec les dispositions de l'ENV 13001-1 et de l'ENV 13001-2 afin de faciliter les échanges de données avec les fournisseurs d'appareils de levage.

### 2.2 Classement des actions

#### 2.2.1 Généralités

(1) Les actions induites par des appareils de levage sont classées comme actions variables et accidentelles qui sont représentées par différents modèles.

#### 2.2.2 Actions variables

(1) Dans des conditions normales de service, les actions induites par les appareils de levage résultent de variations dans le temps et d'emplacement. Elles comprennent les charges dues à la pesanteur, y compris les masses à lever, les forces d'inertie dues aux accélérations et décélérations ainsi qu'aux effets dynamiques et à la marche en crabe.

(2) Il convient de diviser les actions variables induites par les appareils de levage en actions variables verticales dues au poids propre de l'appareil de levage et à la masse à lever et en actions variables horizontales dues aux accélérations ou décélérations ou à la marche en crabe ou à d'autres effets dynamiques.

(3) Les diverses valeurs représentatives des actions variables induites par les appareils de levage sont des valeurs caractéristiques constituées par une composante statique et une composante dynamique.

(4) Les composantes dynamiques induites par différentes charges dues à des masses et à des forces d'inertie sont données en général par des coefficients d'amplification dynamiques  $\varphi_i$  à appliquer aux valeurs des charges statiques.

$$F_k = \varphi_i F \quad (2.1)$$

où

$F_k$  est la valeur caractéristique d'une action induite par un appareil de levage ;

$\varphi_i$  est le coefficient d'amplification dynamique (voir tableau 2.1) ;

$F$  est la composante statique d'une action induite par un appareil de levage.

(5) Le tableau 2.1 donne les différents coefficients d'amplification dynamiques et leurs applications.

(6) La simultanéité des composantes de charges de l'appareil de levage peut être prise en compte en considérant des groupes de charges comme indiqué dans le Tableau 2.2. Il convient de considérer que chacun de ces groupes de charges définit une action caractéristique induite par l'appareil de levage pour la combinaison avec des charges autres que celles de l'appareil de levage.

NOTE Le regroupement implique qu'une seule action horizontale induite par l'appareil de levage soit prise en compte à la fois.

**2.2.3 Actions accidentelles**

(1) Des appareils de levage sont susceptibles de générer des actions accidentelles dues à une collision avec des tampons (forces de tamponnement) ou à une collision d'accessoires de levage avec des obstacles (forces de basculement). Il convient de tenir compte de ces actions pour le calcul de dimensionnement lorsqu'une protection appropriée n'est pas prévue.

(2) Les actions accidentelles décrites en 2.11 se rapportent à des situations courantes. Elles sont représentées par divers modèles de charges définissant des valeurs de calcul (c'est-à-dire des valeurs à utiliser avec  $\gamma_A = 1,0$ ) sous la forme de charges statiques équivalentes.

(3) La simultanéité des composantes des charges accidentelles de l'appareil de levage peut être prise en compte en considérant des groupes de charges comme indiqué dans le tableau 2.2. Chacun de ces groupes de charges définit une action induite par l'appareil de levage pour la combinaison de charges non dues à l'appareil de levage.

**Tableau 2.1 – Coefficients d'amplification dynamique  $\varphi$**

Coefficients d'amplification dynamique	Effets à prendre en compte	À appliquer à
$\varphi_1$	– 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
$\varphi_2$ ou $\varphi_3$	– effets dynamiques du transfert de la masse à lever du sol à l'appareil de levage – effet dynamique d'une libération brutale de la charge utile, par exemple en cas d'utilisation d'un grappin ou d'un aimant	masse à lever ;
$\varphi_4$	– effets dynamiques induits par le déplacement sur des rails ou des voies de roulement	Poids propre de l'appareil de levage et masse à lever
$\varphi_5$	– effets provoqués par des forces d'entraînement	Forces d'entraînement
$\varphi_6$	– lorsqu'une charge d'essai est mue par les transmissions suivant le mode d'utilisation de l'appareil de levage.	Charge d'essai ;
$\varphi_7$	– prend en compte les effets élastiques de l'impact sur les tampons.	Charges des tampons
$\varphi_8$	– coefficient de réaction aux rafales	Charges dues au vent



**Tableau 2.2 – Groupes de charges et coefficients dynamiques à considérer comme une seule action caractéristique induite par l'appareil de levage**

		Symbole	Paragraphe	Groupes de charges									
				ULS							SLS	Accidentelles	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Poids propre de l'appareil de levage	$Q_C$	2.7	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2	Masse à lever	$Q_H$	2.7	$\varphi_2$	$\varphi_3$	-	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^{1)}$	-	1	1
3	Accélération de la poutre	$H_L, H_T$	2.8	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	-	-	-	$\varphi_5$	-	-
4	Marche en crabe de la poutre	$H_S$	2.8	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Accélération ou freinage du chariot ou du chariot porte-palan	$H_{T3}$	2.8	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Vent en service	$F_W^*$	Annexe A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Charge d'essai	$Q_T$	2.11	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_6$	-	-
8	Force de tamponnement	$H_B$	2.12	-	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_7$	-
9	Force de basculement	$H_{TA}$	2.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

<sup>1)</sup>  $\eta$  est la partie de la masse à lever qui reste après avoir enlevé la charge utile mais elle n'est pas incluse dans le poids propre de l'appareil de levage.

### 2.3 Situations de projet

- (1) Les actions correspondantes induites par des appareils de levage doivent être déterminées pour chaque situation de projet identifiée conformément à l'ENV 1991-1.
- (2) Les situations de projet sélectionnées doivent être étudiées et les cas de charges critiques identifiés. Pour chaque cas de charge critique, les valeurs de calcul des effets d'actions combinées doivent être déterminées.
- (3) Les actions multiples induites par plusieurs appareils de levage sont données en 2.5.5.
- (4) L'annexe A donne les règles à suivre pour combiner des actions induites par des appareils de levage avec d'autres actions.
- (5) Pour la vérification de fatigue, des modèles de charges de fatigue sont donnés en 2.12.
- (6) En cas d'essais effectués avec des appareils de levage sur les structures supports pour la vérification de l'état limite de service, le modèle de chargement d'essai de l'appareil de levage est spécifié en 2.10.

### 2.4 Représentation d'actions induites par des appareils de levage

- (1) Il convient de ne tenir compte que des actions exercées sur les voies de roulement par les galets des appareils de levage et, éventuellement, par les galets de guidage ou d'autres moyens de guidage.
- (2) Il convient de déterminer les forces horizontales sur les bâtis support d'appareils de levage résultant des mouvements horizontaux des monorails et des palans d'appareils de levage d'après 2.5.2, 2.5.4 et 2.7.

## 2.5 Dispositions de charge

### 2.5.1 Charges verticales induites par des chariots porte-palan monorail suspendus à des poutres de roulement

(1) Pour des conditions normales de service, il convient de considérer que la charge verticale est composée du poids propre du chariot porte-palan, de la masse à lever et du coefficient dynamique (voir tableaux 2.1 et 2.2).

### 2.5.2 Charges horizontales induites par des chariots porte-palan monorail suspendus à des poutres de roulement

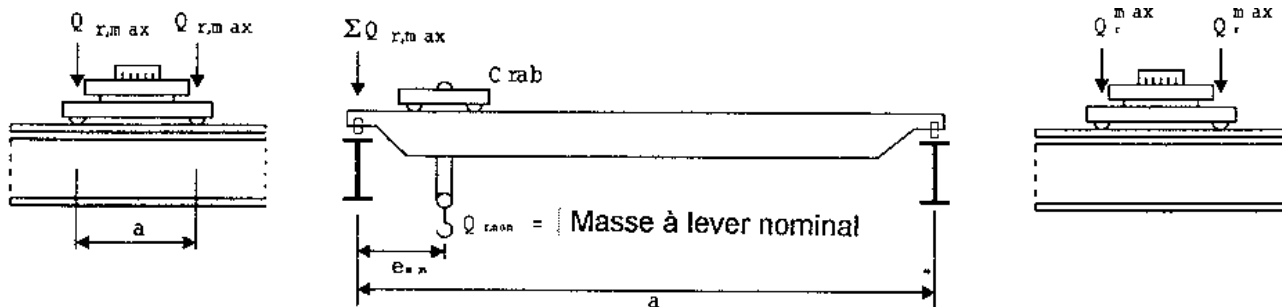
(1) Dans le cas de poutres de roulement fixes pour des chariots suspendus monorail, en l'absence d'une valeur plus précise, il convient de considérer que les charges horizontales sont égales à 5 % de la charge verticale maximale par galet en omettant le coefficient dynamique.

(2) Cette règle s'applique également aux charges horizontales dans le cas de poutres de roulement suspendues pivotantes.

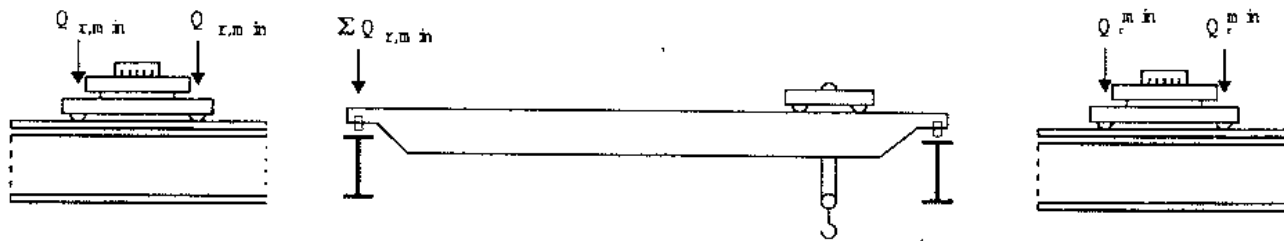
### 2.5.3 Charges verticales induites par des ponts roulants

(1) Il convient de déterminer les charges verticales par galet d'un appareil de levage sur une poutre de roulement en tenant compte des répartitions de charges illustrées à la Figure 2.5 et en utilisant les valeurs caractéristiques données en 2.6.

$Q_{r,nomm}$  = masse à lever nominal



a) Dispositions de charge de l'appareil de levage en charge pour obtenir un chargement maximal sur la poutre de roulement



b) Dispositions de charge de l'appareil de levage à vide pour obtenir un chargement minimal sur la poutre de roulement

Figure 2.5 – Répartitions de charges pour obtenir les actions verticales correspondantes sur les poutres de roulement

où

$Q_{r,max}$  est la charge par galet maximale de l'appareil de levage en charge ;

$Q_r^{max}$  est la charge par galet d'accompagnement de l'appareil de levage en charge ;

$\Sigma Q_{r,max}$  est la somme des charges maximales  $Q_{r,max}$  par poutre de roulement de l'appareil de levage en charge ;

$\Sigma Q_r^{max}$  est la somme des charges d'accompagnement  $Q_r^{max}$  par poutre de roulement de l'appareil de levage en charge ;

$Q_{r,min}$  est la charge par galet minimale de l'appareil de levage à vide ;

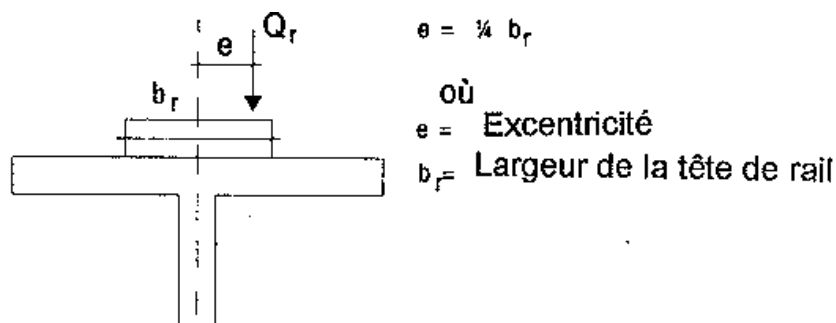
$Q_r^{min}$  est la charge par galet d'accompagnement de l'appareil de levage à vide ;

$\Sigma Q_{r,min}$  est la somme des charges minimales  $Q_{r,min}$  par poutre de roulement de l'appareil de levage à vide ;

$\Sigma Q_r^{min}$  est la somme d'accompagnement des charges minimales  $Q_r^{min}$  par poutre de roulement de l'appareil de levage à vide ;

$Q_{r,nom}$  est la masse à lever nominale.

(2) Il convient de considérer que l'excentricité d'application  $e$  d'une charge par galet sur un rail est égale au quart de la largeur de la tête du rail (voir Figure 2.6).



où

$e =$  excentricité

$b_r =$  largeur de la tête de rail

**Figure 2.6 – Excentricité de l'introduction de la charge**

#### 2.5.4 Charges horizontales induites par des ponts roulants

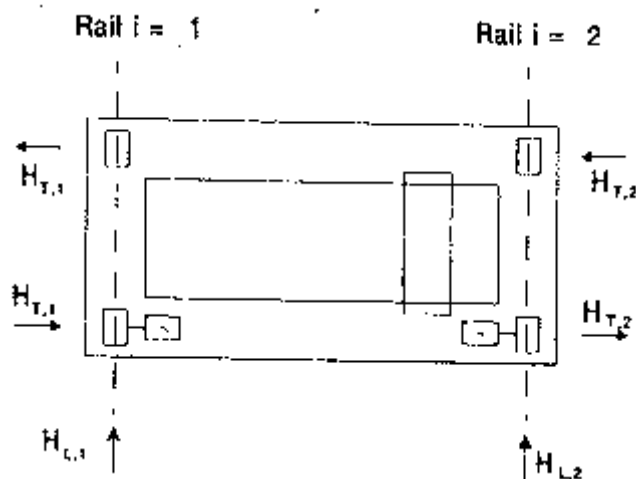
(1) Il convient de tenir compte des types suivants de charges horizontales induites par des ponts roulants :

- charges horizontales produites par les accélérations ou décélérations de l'appareil de levage en rapport avec ses déplacements sur la poutre de roulement (voir 2.7.2) ;
- charges horizontales produites par les accélérations ou décélérations du chariot ou du chariot suspendu en rapport avec ses déplacements sur la poutre (voir 2.7.5) ;
- charges horizontales produites par la marche en crabe en rapport avec ses déplacements sur la poutre de roulement (voir 2.7.4) ;
- forces de tamponnement en rapport avec les déplacements de l'appareil de levage (voir 2.11.1) ;
- forces de tamponnement en rapport avec les déplacements du chariot ou du chariot suspendu (voir 2.11.2).

(2) Sauf prescription contraire, il convient d'inclure un seul des cinq types de charge horizontale a) à e) énumérés en (1) dans le même groupe de composantes de charges simultanées des appareils de levage (voir Tableau 2.2).

(3) Pour des ponts roulants suspendus, il convient de considérer que les charges horizontales au niveau de la surface de contact des galets sont au moins égales à 10 % de la charge verticale maximale par galet en omettant la composante dynamique sauf si une valeur plus précise est justifiée.

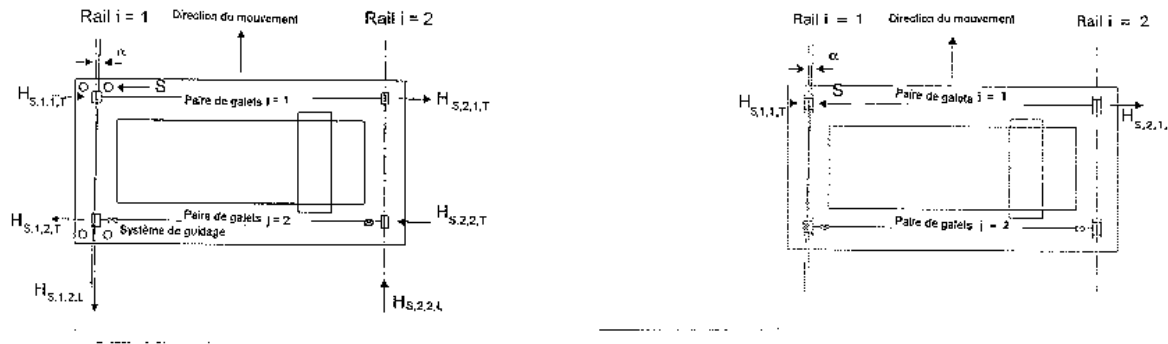
(4) Sauf spécification contraire, il convient d'appliquer les forces horizontales longitudinales des galets  $H_{L,i}$  et les forces horizontales transversales des galets  $H_{T,i}$  produites par les accélérations et les décélérations des masses de l'appareil de levage ou du chariot, etc. comme donné à la Figure 2.7. Les valeurs caractéristiques de ces forces sont données en 2.7.2.



**Figure 2.7 – Dispositions de charge induites par les forces horizontales longitudinales et transversales produites par les accélérations et les décélérations**

NOTE Ces forces ne comprennent pas les effets du levage oblique dû au défaut d'alignement de la charge et du chariot car, en général, un levage en oblique est interdit. Tous les effets des inévitables petites valeurs de levage en oblique sont inclus dans les forces d'inertie.

(5) Les forces horizontales longitudinales et transversales des galets  $H_{S,i,j,k}$  et la force de guidage due à l'obliquité sont susceptibles de se produire au niveau des systèmes de guidage des appareils de levage ou des chariots pendant leur déplacement longitudinal ou transversal en un mouvement régulier (voir figure 2.8). Ces charges sont induites par des réactions de guidage qui forcent les galets à dévier de leur direction naturelle de déplacement longitudinal ou transversal en roulant librement. Les valeurs caractéristiques sont données en 2.7.4.



a) avec un système de guidage séparé

b) avec un guidage assuré par les flasques de galets

NOTE La direction des charges horizontales dépend du type du système de guidage, de la direction du mouvement et du type d'entraînement des galets.

Figure 2.8 – Dispositions de charge induites par les forces horizontales longitudinales et transversales produites par la marche en crabe

### 2.5.5 Action d'appareils de levage multiples

(1) Les appareils de levage devant fonctionner ensemble doivent être traités comme une action d'appareil de levage unique.

(2) Si plusieurs appareils de levage sont utilisés indépendamment les uns des autres, il convient d'adopter le nombre maximal d'appareils de levage pris en compte indiqué dans le Tableau 2.3.

Tableau 2.3 – Nombre maximal d'appareils de levage à considérer dans la position la plus défavorable

	Appareils de levage sur chaque voie de roulement	Appareils de levage dans chaque travée	Appareils de levage dans des bâtiments à travées multiples	
Action verticale des appareils de levage	3	4	4	2
Action horizontale des appareils de levage	2	2	2	2

### 2.6 Charges verticales des appareils de levage – valeurs caractéristiques

(1) Il convient de déterminer les valeurs caractéristiques des charges verticales exercées par les appareils de levage sur leurs structures supports comme indiqué dans le Tableau 2.2.

(2) Pour le poids propre de l'appareil de levage et la masse à lever, les valeurs nominales spécifiées par le fournisseur de l'appareil de levage doivent être prises comme valeurs caractéristiques des charges verticales.

**Tableau 2.4 – Coefficients d'amplification dynamique  $\varphi_i$  pour des charges verticales**

$\varphi_1$	$\varphi_1 = 1 \pm a$ où $0 < a < 0,1$ Les deux valeurs $(1 + a)$ et $(1 - a)$ reflètent les valeurs supérieures et inférieures des impulsions vibratoires.
$\varphi_2$	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \dot{\varphi}_2 v_h$ $v_h$ - vitesse constante de levage en [m/s] $\varphi_{2,min}$ et $\dot{\varphi}_2$ – voir tableau 2.5
$\varphi_3$	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta_m}{m} (1 + \beta_3)$ où : $\Delta_m$ partie libérée ou tombée de la charge $m$ masse à lever totale $\beta_3 = 0,5$ pour les appareils de levage équipés de grappin ou de dispositifs similaires à libération lente $\dot{\varphi}_3 = 1,0$ pour les appareils de levage équipés d'aimants ou de dispositifs similaires à largage rapide
$\varphi_4$	$\varphi_4 = 1,0$ à condition de respecter les tolérances prescrites dans l'ENV 1993-6 pour les rails

(3) Si les coefficients d'amplification dynamique  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  et  $\varphi_4$  spécifiés dans le Tableau 2.1 ne sont pas inclus dans les spécifications du fournisseur de l'appareil de levage, les indications du Tableau 2.4 peuvent être utilisées.

(4) Il convient de se reporter à l'annexe A pour le vent en service.

**Tableau 2.5 – Valeurs de  $\beta_2$  et  $\varphi_{2,min}$**

Classe de levage de l'appareil	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

NOTE Les appareils de levage sont répartis dans les classes de levage HC1 à HC4 pour tenir compte des effets dynamiques du transfert de la charge du sol à l'appareil de levage. La sélection dépend du type particulier de l'appareil de levage, voir les recommandations de l'annexe B.

## 2.7 Charges horizontales des appareils de levage – valeurs caractéristiques

### 2.7.1 Généralités

(1) Pour les effets de l'accélération et de la marche en crabe, les valeurs nominales spécifiées par le fournisseur de l'appareil de levage doivent être prises comme valeurs caractéristiques des charges horizontales.

(2) Les valeurs caractéristiques des charges horizontales peuvent être spécifiées par le fournisseur de l'appareil de levage ou être déterminées d'après 2.7.2 à 2.7.5.

### 2.7.2 Charges longitudinales $H_{L,i}$ et charges transversales $H_{T,i}$ produites par les accélérations et les décélérations de l'appareil de levage

(1) Les charges longitudinales  $H_{L,i}$  produites par les accélérations et les décélérations des structures des appareils de levage résultent de la force d'entraînement au niveau de la surface de contact du rail avec la galet entraînée (voir Figure 2.9).

(2) Les charges longitudinales  $H_{L,i}$  appliquées sur une poutre de roulement peuvent être calculées de la manière suivante :

$$H_{L,i} = \varphi_5 K \frac{1}{n_r} \quad (2.2)$$

où

$n_r$  est le nombre de poutres de roulement ;

$K$  est la force d'entraînement selon 2.7.3 ;

$\varphi_5$  est le coefficient d'amplification dynamique (voir Tableau 2.6) ;

$i$  est le nombre entier servant à identifier la poutre de roulement ( $i = 1,2$ ).

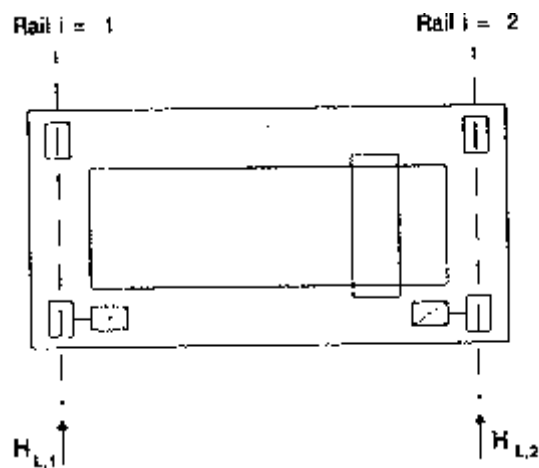


Figure 2.9 – Charges horizontales longitudinales  $H_{L,i}$

(3) Le moment  $M$  résultant de la force d'entraînement qu'il convient d'appliquer au centre de la masse est contrebalancée par les charges horizontales transversales  $H_{T,1}$  et  $H_{T,2}$  (voir figure 2.10). Les charges horizontales peuvent être obtenues de la façon suivante :

$$H_{T,1} = \varphi_5 \xi_2 \frac{M}{a} \quad (2.3)$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \xi_1 \frac{M}{a} \quad (2.4)$$

où

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r}$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1;$$

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_r^{max};$$

$\sum Q_{r,max}$  voir Figure 2.1 ;

$\sum Q_r^{max}$  voir Figure 2.1 ;

$a$  est l'espacement des galets de guidage ou des flasques de galets ;

$$M = K l_s;$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) l ;$$

$l$  est la portée de la poutre ;

$\varphi_5$  est le coefficient d'amplification dynamique (voir Tableau 2.6) ;

$K$  est la force d'entraînement (voir 2.7.3).

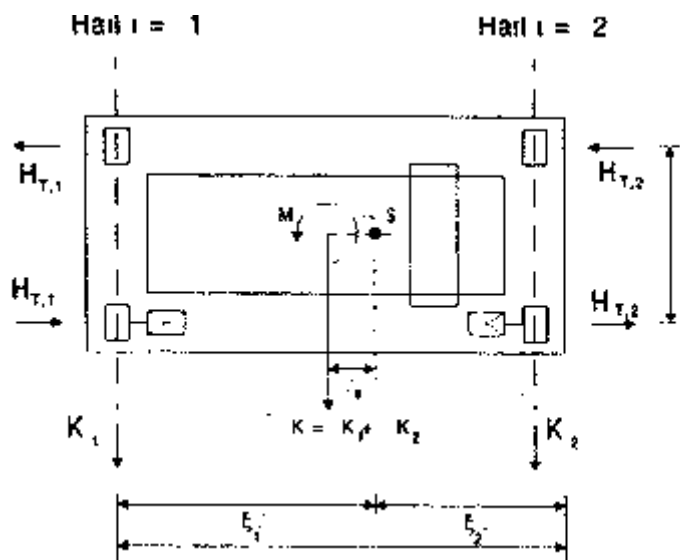


Figure 2.10 – Définition des charges transversales  $H_{T,i}$

(4) Pour les poutres de roulement courbes, il convient de multiplier la force centrifuge résultante par le coefficient dynamique  $\varphi_5$ .

(5) Si le coefficient d'amplification dynamique  $\varphi_5$  n'est pas inclus dans les documents de spécification du fournisseur de l'appareil de levage, des indications sont données dans le Tableau 2.6.



**Tableau 2.6 – Coefficients d'amplification dynamique  $\varphi_5$**

$\varphi_5 = 1,0$	pour les forces centrifuges
$1 \leq \varphi_5 \leq 1,5$	correspond aux systèmes dans lesquels les forces varient sans à-coups
$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0$	lorsque des variations brutales se produisent
$\varphi_5 = 3,0$	pour les systèmes d'entraînement comportant des jeux significatifs

### 2.7.3 Force d'entraînement $K$

- (1) Il convient d'adopter une force d'entraînement  $K$  sur le galet entraîné empêchant la rotation du galet.
- (2) La force d'entraînement  $K$  peut être calculée comme suit :

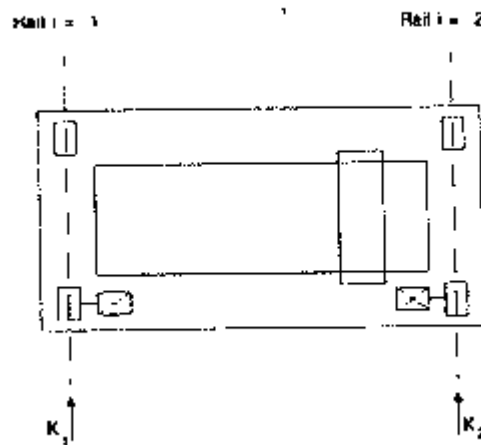
$$K = K_1 + K_2 = \mu \sum Q_{r,min}^* \quad (2.5)$$

où

$\mu$  est le coefficient de frottement (voir (3)) ;

- pour un système d'entraînement à un seul galet :  $\sum Q_{r,min}^* = m_w Q_{r,min}$ , avec  $m_w$  = nombre de systèmes d'entraînement à un seul galet ;
- pour un système d'entraînement à galet central :  $\sum Q_{r,min}^* = Q_{r,min} + Q_r^{min}$  ;

NOTE Normalement, les appareils de levage modernes ne sont pas équipés d'un système d'entraînement à galet central.



**Figure 2.11 – Définition de la force d'entraînement**

- (3) Le coefficient de frottement  $\mu$  peut être considéré comme égal à :
  - $\mu = 0,2$  pour acier sur acier ;
  - $\mu = 0,5$  pour acier sur acier caoutchouc.

#### 2.7.4 Charges horizontales $H_{S,i,j,k}$ et force de guidage $S$ due à l'obliquité de l'appareil de levage

(1) La force de guidage  $S$  et les forces transversales  $H_{S,i,j,k}$  dues à l'obliquité peuvent être obtenues d'après :

$$S = f \lambda_S \Sigma Q_{r,max} \quad (2.6)$$

$$H_{S,1,j,L} = f \lambda_{S,1,j,L} \Sigma Q_{r,max} \text{ (l'indice } j \text{ correspond à la paire de galets avec le système d'entraînement)} \quad (2.7)$$

$$H_{S,2,j,L} = f \lambda_{S,2,j,L} \Sigma Q_{r,max} \text{ (l'indice } j \text{ correspond à la paire de galets avec le système d'entraînement)} \quad (2.8)$$

$$H_{S,1,j,T} = f \lambda_{S,1,j,T} \Sigma Q_{r,max} \quad (2.9)$$

$$H_{S,2,j,T} = f \lambda_{S,2,j,T} \Sigma Q_{r,max} \quad (2.10)$$

où

$f$  est le coefficient non positif (voir (2)) ;

$\lambda_{S,i,j,k}$  correspond aux coefficients de force (voir (4)) ;

$i$  est le rail  $i$  ;

$j$  est la paire de galets  $j$  ;

$k$  est la direction de la force (L = longitudinal, T = transversal).

(2) Le coefficient non positif peut être déterminé d'après :

$$f = 0,3 (1 - \exp(-250 \alpha)) \leq 0,3 \quad (2.11)$$

où

$\alpha$  est l'angle d'obliquité (voir (3)).

(3) Il convient de choisir l'angle d'obliquité  $\alpha$  (voir figure 2.12), dont la valeur devrait être égale ou inférieure à 0,015 rad, en tenant compte de l'espace existant entre le système de guidage et le rail ainsi que d'une variation dimensionnelle et une usure raisonnables des galets de l'appareil et des rails. Il peut être déterminé comme suit :

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_o \leq 0,015 \text{ rad} \quad (2.12)$$

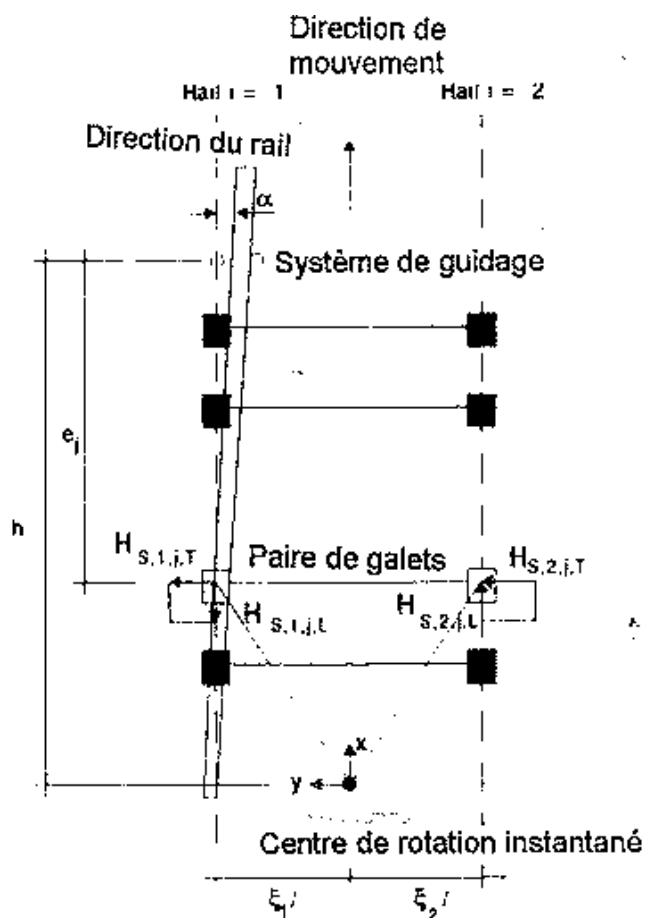
où

$\alpha_F$ ,  $\alpha_V$  et  $\alpha_o$  sont définis dans le Tableau 2.7.

**Tableau 2.7 – Définition de  $\alpha_F$ ,  $\alpha_V$  et  $\alpha_o$**

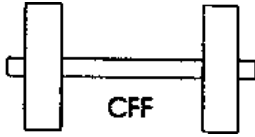
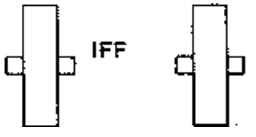
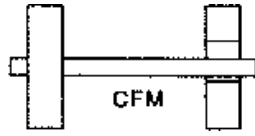

Angles $\alpha_i$	Valeurs minimales de $\alpha_i$
$\alpha_F = \frac{0,75 x}{a}$	$0,75x \geq 5$ mm pour les galets de guidage
	$0,75x \geq 10$ mm pour les flasques de galets
$\alpha_V = \frac{y}{a}$	$y \geq 0,03b$ en mm pour les galets de guidage
	$y \geq 0,10b$ en mm pour les flasques de galets
$\alpha_o = 0,001$	
Où	
$a$	est l'espacement des galets de guidage ou des flasques de galets ;
$b$	est la largeur de la tête de rail ;
$x$	est le glissement latéral ;
$y$	est l'usure du rail.

(4) Le coefficient de force  $\lambda_{S,i,j,k}$  dépend de la combinaison des paires de galets et de la distance  $h$  entre le centre de rotation instantané et le système de guidage concerné, qui est le système de guidage avant dans le sens de déplacement (voir Figure 2.12). Il est possible de prendre la distance  $h$  du Tableau 2.8. Le coefficient de force  $\lambda_{S,i,j,k}$  peut être déterminé d'après les expressions données dans le Tableau 2.9.



**Figure 2.12 – Définition de l'angle  $\alpha$  et la distance  $h$**

**Tableau 2.8 – Détermination de la distance  $h$**

	Combinaison des paires de galets		$h$
	couplés (c)	indépendants (i)	
Fixe/fixe FF			$\frac{m \xi_1 \xi_2 \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Fixe/mobile FM			$\frac{m \xi_1 \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

Où

- $h$  est la distance entre le centre de rotation instantané et le système de guidage concerné ;
- $m$  est le nombre de paires de galets accouplés ( $m = 0$  pour des paires de galets indépendants) ;
- $\xi_1 \ell$  est la distance entre le centre de rotation instantané et le rail 1 ;
- $\xi_2 \ell$  est la distance entre le centre de rotation instantané et le rail 2 ;
- $\ell$  est la portée de l'appareil ;
- $e_j$  est la distance entre la paire de galets  $j$  et le système de guidage concerné.

**Tableau 2.9 – Définition des valeurs  $\lambda_{S,i,j,k}$**

Système	$\lambda_{S,j}$	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_j}{h} \right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left( 1 - \frac{e_j}{h} \right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_j}{h} \right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \left( 1 - \frac{e_j}{h} \right)$
CFM	$\xi_1 \left( 1 - \frac{\sum e_j}{nh} \right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_j}{h} \right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left( 1 - \frac{e_j}{h} \right)$	0	0

Où

- $n$  est le nombre de paires de galets ;
- $\xi_1 \ell$  est la distance entre le centre de rotation instantané et le rail 1 ;
- $\xi_2 \ell$  est la distance entre le centre de rotation instantané et le rail 2 ;
- $\ell$  est la portée de l'appareil ;
- $e_j$  est la distance entre la paire de galets  $j$  et le système de guidage concerné ;
- $h$  est la distance entre le centre de rotation instantané et le système de guidage concerné.

### 2.7.5 Charges horizontales dues aux accélérations ou décélérations du chariot

(1) La charge horizontale due à l'accélération ou à la décélération du chariot peut être considérée comme couverte par la charge horizontale donnée en 2.11.2.

### 2.8 Effets de la température <sup>1)</sup>

(1) Les effets de l'action sur les poutres de roulement dus aux variations de température doivent être pris en compte le cas échéant. Il n'y a généralement pas lieu de tenir compte des températures non uniformément réparties.

(2) L'écart de température pour les poutres de roulement situées à l'extérieur peut être considéré comme égal à  $\pm 35$  °K pour une température moyenne de  $+20$  °C.

### 2.9 Charges sur les passerelles d'accès, les escaliers, les plates-formes et les garde-fous

#### 2.9.1 Charges verticales

(1) Sauf indication contraire, il convient d'appliquer une charge verticale  $Q$  sur les passerelles d'accès, les escaliers et les plates-formes en la répartissant sur une surface carrée de 0,3 m × 0,3 m.

(2) Lorsque des matériaux peuvent être déposés, il convient d'appliquer une charge verticale  $Q_k = 3$  kN.

(3) Si les passerelles, les escaliers et les plates-formes ne sont prévus que pour un accès, la valeur caractéristique donnée en (2) peut être réduite à 1,5 kN.

(4) La charge verticale  $Q_k$  peut être omise si tous les éléments structuraux sont soumis aux actions de l'appareil de levage.

#### 2.9.2 Charges horizontales

(1) Sauf indication contraire, il convient d'appliquer une charge horizontale unique  $H_k = 0,3$  kN sur le garde-fou.

(2) La charge horizontale  $H_k$  peut être omise dans le cas où tous les éléments structuraux seraient soumis aux actions de l'appareil de levage.

### 2.10 Charges d'essai

(1) Lorsque des essais sont effectués après l'érection des appareils de levage sur les structures supports, il convient de vérifier les structures supports en fonction des conditions de chargement d'essai.

(2) Le cas échéant, il convient de concevoir le bâti support de l'appareil de levage en fonction de ces charges d'essai.

(3) La masse à lever d'essai doit être amplifiée par un coefficient dynamique  $\varphi_6$ .

(4) Lors de l'examen de ces charges d'essai, il convient de distinguer les cas suivants :

— Charge d'essai dynamique :

La charge d'essai est mue par les transmissions suivant le mode d'utilisation de l'appareil de levage. Il convient d'adopter une charge d'essai au moins égale à 110 % de la masse à lever nominale.

$$\varphi_6 = 0,5 (1 + \varphi_2) \quad (2.13)$$

---

1) Il est prévu de transférer ultérieurement ce paragraphe 2.8 dans l'ENV 1991-2-5 "Actions thermiques".

— Charge d'essai statique :

La charge est augmentée pour l'essai en chargeant l'appareil de levage sans utiliser les transmissions. Il convient d'adopter une charge d'essai au moins égale à 125 % de la masse à lever nominale.

$$\varphi_6 = 1,0 \tag{2.14}$$

## 2.11 Actions accidentelles

### 2.11.1 Forces de tamponnement liées au déplacement de l'appareil de levage

(1) Lorsque des tampons sont utilisés, les forces exercées sur le bâti support de l'appareil de levage du fait de la collision avec les tampons doivent être calculées à partir de l'énergie cinétique de tous les éléments concernés de l'appareil de levage se déplaçant à une vitesse comprise entre 0,7 et 1,0 fois la vitesse nominale.

(2) Les forces de tamponnement multipliées par  $\varphi_7$  peuvent être calculées selon le Tableau 2.10 en tenant compte des effets dynamiques et de la répartition des masses concernées ainsi que des caractéristiques des tampons (voir Figure 2.13).

$$H_B = \varphi_7 v_1 \sqrt{m_c S_B} \tag{2.15}$$

où

$\varphi_7$  voir Tableau 2.10 ;

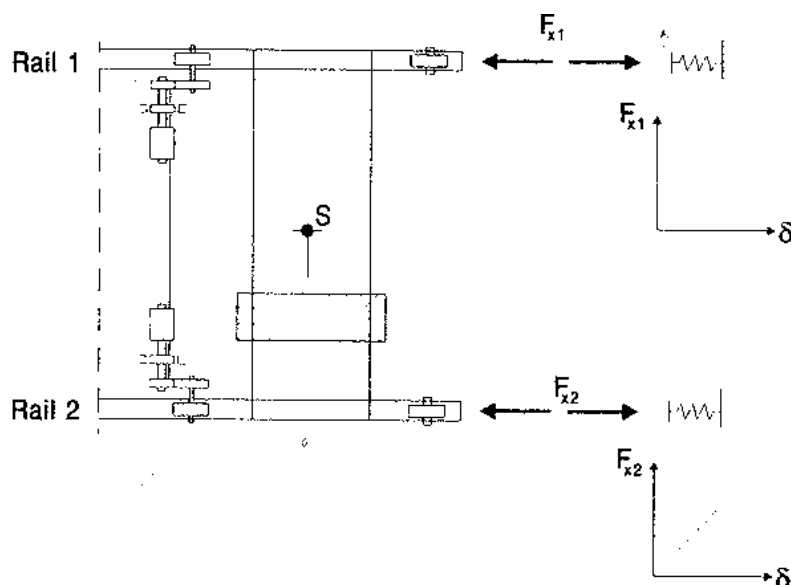
$v_1$  est égal à 70 % de la vitesse de déplacement longitudinale [m/s] ;

$m_c$  est la masse de l'appareil de levage et la masse à lever [kg] ;

$S_B$  est la constante de raideur du tampon [kN/m].

**Tableau 2.10 – Coefficient dynamique  $\varphi_7$**

$\varphi_7 = 1,25$ si $0 \leq \xi \leq 0,5$ $\varphi_7 = 1,25 + 0,7 (\xi - 0,5)$ si $0,5 \leq \xi \leq 1$ $\xi$ peut être déterminé d'après la Figure 2.14.
---



**Figure 2.13 – Forces de tamponnement**

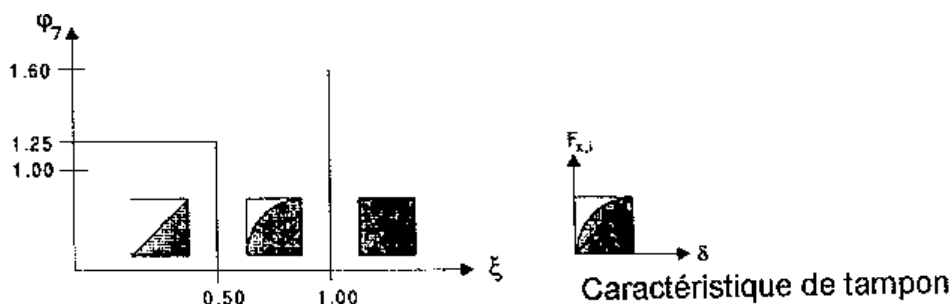


Figure 2.14 – Définition of  $\xi$

### 2.11.2 Forces de tamponnement liées aux déplacements du chariot

(1) Sous réserve que la charge utile soit libre de se balancer, la force horizontale  $H_{T,3}$ , représentant les forces de tamponnement liées au déplacement du chariot, peut être considérée comme égale à 10 % de la somme de la masse à lever et du poids du chariot. Dans les autres cas, il convient de déterminer la force de tamponnement comme pour le déplacement de l'appareil de levage (voir 2.11.1).

### 2.11.3 Forces de basculement

(1) Si un appareil de levage avec des charges maintenues horizontalement peut s'incliner lorsque sa charge ou son accessoire de levage entre en collision avec un obstacle, les forces statiques résultantes doivent être étudiées.

## 2.12 Charges de fatigue

### 2.12.1 Action d'un seul appareil de levage

(1) Les charges de fatigue doivent être déterminées de façon à tenir correctement compte de la répartition des masses à lever et des effets de la variation des positions de l'appareil de levage dans les conditions de fonctionnement suivant les détails de fatigue.

(2) Pour une condition de service normale de l'appareil de levage, les charges de fatigue peuvent être exprimées en termes de charges équivalentes du dommage en fatigue  $Q_e$  qui peuvent être prises comme une constante dans toutes les positions de l'appareil de levage afin de déterminer les effets des charges de fatigues.

(3) La charge équivalente du dommage en fatigue  $Q_e$  peut être déterminée de façon à inclure les effets des historiques de contraintes résultant des conditions de service spécifiées ainsi que le rapport entre le nombre absolu de cycles de chargement pendant la durée de vie de calcul prévue de la structure et la valeur de référence  $N = 2,0 \times 10^6$  cycles.

**Tableau 2.11 – Classement des actions de fatigue actions induites par les appareils de levage selon l'ENV 13001-1**

Classe du spectre de charge		Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>
		$kQ \leq 0,0313$	$0,0313 < kQ \leq 0,0625$	$0,0625 < kQ \leq 0,125$	$0,125 < kQ \leq 0,25$	$0,25 < kQ \leq 0,5$	$0,5 < kQ \leq 1,0$
Classe du nombre total de cycles							
U <sub>0</sub>	$C \leq 1,6 \cdot 10^4$	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>
U <sub>1</sub>	$1,6 \cdot 10^4 < C \leq 3,15 \cdot 10^4$	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>
U <sub>2</sub>	$3,15 \cdot 10^4 < C \leq 6,30 \cdot 10^4$	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
U <sub>3</sub>	$6,30 \cdot 10^4 < C \leq 1,25 \cdot 10^5$	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
U <sub>4</sub>	$1,25 \cdot 10^5 < C \leq 2,50 \cdot 10^5$	S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
U <sub>5</sub>	$2,50 \cdot 10^5 < C \leq 5,00 \cdot 10^5$	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
U <sub>6</sub>	$5,00 \cdot 10^5 < C \leq 1,00 \cdot 10^6$	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>
U <sub>7</sub>	$1,00 \cdot 10^6 < C \leq 2,00 \cdot 10^6$	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>
U <sub>8</sub>	$2,00 \cdot 10^6 < C \leq 4,00 \cdot 10^6$	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
U <sub>9</sub>	$4,00 \cdot 10^6 < C \leq 8,00 \cdot 10^6$	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>

Où  
 $kQ$  est le coefficient de spectre de charge pour toutes les tâches de l'appareil de levage ;  
 $C$  est le nombre total des cycles de travail pendant la durée de vie de calcul de l'appareil de levage.

NOTE Les classes  $S_i$  sont classées en fonction du paramètre de l'historique des effets des charges  $s$  dans l'ENV 13001-1 qui est défini comme suit :

$$s = v kQ$$

où  
 $kQ$  est le coefficient de spectre de charge ;  
 $v$  est le nombre de cycles de charge  $C$  par rapport aux  $2,0 \times 10^6$  cycles de charge.

Le classement est basé sur une durée de vie totale en service de 25 ans.

(4) La charge de fatigue peut être spécifiée comme suit :

$$Q_{e,i} = \varphi_{fat} \lambda_i Q_{max,i} \tag{2.16}$$

où

$Q_{max,i}$  est la valeur maximale de la charge verticale caractéristique du galet  $i$  ;

$\lambda_i = \lambda_{1,i} \lambda_{2,i}$  est le coefficient de dommage équivalent pour tenir compte du spectre de charge de fatigue normalisé applicable et du nombre absolu de cycles de charge par rapport à  $N = 2,0 \times 10^6$  cycles ;

$$\lambda_{1,i} = \sqrt[m]{kQ} = \left[ \sum_j \left( \left( \frac{\Delta Q_{i,j}}{\max \Delta Q_i} \right)^m \frac{n_{i,j}}{\sum n_{i,j}} \right) \right]^{1/m} \tag{2.17}$$

$$\lambda_{2,i} = \sqrt[m]{v} = \left[ \frac{\sum_j n_{i,j}}{N_i} \right]^{1/m} \tag{2.18}$$



où

$\Delta Q_{i,j}$  est l'amplitude de la charge de la plage j pour le galet i :  $\Delta Q_{i,j} = Q_{i,j} - Q_{min,i}$  ;

$max \Delta Q_i$  est l'amplitude de charge maximale pour le galet i :  $max \Delta Q_i = Q_{max,i} - Q_{min,i}$  ;

$kQ, \nu$  est le coefficient équivalent de détérioration ;

$m$  est la pente de la courbe de résistance à la fatigue ;

$\varphi_{fat}$  est le coefficient d'impact dynamique de dommage équivalent, voir (7) ;

$i$  est le numéro du galet.

(5) Pour déterminer la valeur  $\lambda$ , l'utilisation des appareils de levage peut être classée en fonction du spectre de charge et du nombre total de cycles de charges comme indiqué dans le Tableau 2.11.

(6) Les valeurs  $\lambda$  peuvent être prise dans le Tableau 2.12 selon le classement de l'appareil de levage.

**Tableau 2.12 – Valeurs  $\lambda$  selon le classement des appareils de levage**

Classe S	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>
Contraintes normales	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
Contraintes de cisaillement	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

NOTE 1 Lors de la détermination des valeurs  $\lambda$ , on a utilisé des spectres normalisés avec une répartition gaussienne des effets des charges, la loi de Miner et les lignes S-N de résistance à la fatigue avec une pente  $m = 3$  pour des contraintes normales et  $m = 5$  pour une contrainte de cisaillement.

NOTE 2 Dans le cas où le classement de l'appareil de levage ne figurerait pas dans les documents de spécification de l'appareil de levage, des indications client sont données dans l'annexe B.

(7) Le coefficient d'impact dynamique équivalent de détérioration  $\varphi_{fat}$  dans des conditions normales peut être considéré comme égal à :

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} ; \quad \varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} . \quad (2.19)$$

### 2.12.2 Effets des plages de contraintes des actions induites par des galets multiples ou des appareils de levage

(1) La plage de contrainte due aux charges équivalentes de détérioration des galets  $Q_e$  peut être déterminée d'après l'évaluation des historiques de contrainte pour le détail de fatigue considéré.

## Section 3 Actions induites par les machines

### 3.1 Domaine d'application

(1) La présente section s'applique aux structures supportant des machines tournantes qui induisent des effets dynamiques dans un ou plusieurs plans.

(2) La présente section décrit des méthodes permettant de déterminer le comportement dynamique et les effets des actions afin de vérifier la sécurité de la structure.

NOTE Bien que l'on ne puisse pas fixer une limite précise, il est possible de considérer en général que, pour des petites machines ne comportant que des pièces tournantes et pesant moins de 5 kN ou ayant une puissance inférieure à 50 kW, les effets des actions sont inclus dans les charges d'exploitation et qu'il n'est donc pas nécessaire de s'en préoccuper séparément. Dans ce cas, l'utilisation d'amortisseurs de vibration sous le bâti support suffit à protéger la machine et les environs. Les machines à laver et les petits ventilateurs en sont des exemples.

### 3.2 Classement des actions

#### 3.2.1 Généralités

(1) Les actions induites par les machines sont classées comme actions permanentes, variables et accidentelles qui sont représentées par différents modèles.

#### 3.2.2 Actions permanentes

(1) Les actions permanentes en service comprennent le poids propre de toutes parties fixes et mobiles et les actions statiques induites par le service comme :

- le poids propre des rotors et du châssis (verticales) ;
- le poids propre des condensateurs, le cas échéant, en tenant compte du remplissage d'eau (verticales) ;
- les actions induites par la dépression pour les turbines dont les condensateurs sont reliés au châssis par des compensateurs (verticales et horizontales) ;
- les couples d'entraînement de la machine transmis à sa base par le châssis (paires de forces verticales) ;
- les forces de frottement au niveau des paliers induites par la dilatation thermique du châssis (horizontales) ;
- les actions induites par le poids propre, les forces et les moments des canalisations dus à la dilatation thermique, les actions induites par les gaz, le débit et la pression des gaz (verticales et horizontales) ;
- les effets thermiques induits par la machine et les canalisations, par exemple les différences de température entre la machine et les canalisations d'une part et la base d'autre part.

(2) Les actions permanentes pendant les phases transitoires (montage, entretien ou réparation) sont celles dues au seul poids propre, y compris celles induites par les équipements de levage, les échafaudages ou d'autres équipements auxiliaires.

#### 3.2.3 Actions variables

(1) Les actions variables induites par les machines en service normal sont des actions dynamiques produites par des masses accélérées comme :

- la fréquence périodique en fonction des forces sur les paliers dues à l'excentricité des masses tournantes dans toutes les directions, principalement dans la direction perpendiculaire à l'axe des rotors ;
- les forces des masses libres ou moments des masses ;

- les actions périodiques dues au service en fonction du type de machine et qui sont transmises par le châssis ou les paliers aux bases ;
- les forces ou moments dus à la mise sous tension ou hors tension ou à d'autres opérations transitoires comme, par exemple, les synchronisations.

### 3.2.4 Actions accidentelles

(1) Des actions accidentelles sont susceptibles d'être provoquées par :

- un accroissement accidentel de l'excentricité des masses (par exemple suite à la rupture d'aubes ou à une déformation accidentelle de pièces mobiles) ;
- un court circuit ou un défaut de synchronisation entre des générateurs et des machines ;
- les effets d'impact de canalisations lors de la mise à l'arrêt.

### 3.3 Cas de calcul

(1) Les actions correspondantes induites par des machines doivent être déterminées pour chaque situation de projet identifiée conformément à l'ENV 1991-1.

(2) Des situations de projet doivent être sélectionnées, en particulier, pour vérifier :

- que les conditions de service de la machine sont conformes aux prescriptions de service et qu'aucune détérioration n'est induite dans la structure supportant la machine et sa base par des actions accidentelles ce qui nuirait à l'utilisation de cette structure pour un autre service ;
- que l'impact sur l'environnement, par exemple la perturbation de matériel sensible, reste dans des limites acceptables ;
- qu'aucun état de limite ultime n'est susceptible de se produire dans la structure ;
- qu'aucun état limite de fatigue n'est susceptible de se produire dans la structure.

NOTE Sauf prescription contraire, il convient de déterminer les exigences de service dans des contrats et/ou dans le calcul. Les annexes D et E donnent de plus amples informations sur les exigences de service.

### 3.4 Représentation d'actions

#### 3.4.1 Nature des charges

(1) Dans la détermination des effets des actions, il faut faire une distinction entre les effets d'actions statiques et dynamiques.

(2) Dans les actions statiques, il faut inclure celles induites par la machine et celles induites par la structure.

NOTE Les actions statiques induites par la machine sont les actions permanentes définies en 3.2.2. Elles peuvent donc être utilisées pour déterminer les effets de fluage ou si des limitations des déformations statiques sont données.

(3) Les effets des actions dynamiques doivent être déterminés en tenant compte de l'interaction entre l'excitation produite par la machine et la structure.

NOTE Les actions dynamiques induites par la machine sont les actions variables définies en 3.2.3.

(4) Les effets des actions dynamiques doivent être déterminés par un calcul dynamique avec une modélisation appropriée du système vibratoire et de l'action dynamique.

(5) Les effets dynamiques peuvent être omis lorsqu'ils n'ont pas de rapport.

NOTE : L'annexe F donne quelques critères d'omission des actions dynamiques.

### 3.4.2 Modélisation des actions dynamiques

(1) Les actions dynamiques de machines ne comportant que des pièces tournantes, par exemple des compresseurs rotatifs, des turbines, des générateurs et des ventilateurs, se composent de forces à variation périodique qui peuvent être définies sous la forme d'une fonction sinusoïdale (voir Figure 3.1).

(2) Un moment de court circuit  $M_k(t)$  peut être représenté par une combinaison de courbes sinusoïdales représentant les moments en fonction du temps des interactions entre le rotor et le châssis.

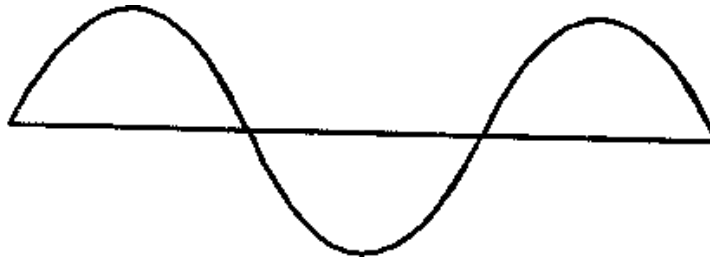


Figure 3.1 – Forces à variation périodique

### 3.4.3 Modélisation de l'interaction machine-structure

(1) Le système vibratoire composé de la machine et de la structure doit être modélisé de telle façon que les excitations, les grandeurs des masses, les propriétés de rigidité et l'amortissement soient suffisamment pris en compte pour déterminer le comportement dynamique réel.

(2) Le modèle peut être linéaire élastique avec des masses concentrées ou réparties reliées à des ressorts et montées sur des ressorts.

(3) Il convient de placer le centre de gravité commun du système (par exemple de la base et de la machine) aussi près que possible de la même droite verticale que le centroïde de la base en contact avec le sol. En tout cas, il ne convient pas que l'excentricité dans la répartition des masses dépasse 5 % de la longueur du côté de la surface d'appui. De plus, il convient, si possible, de placer le centre de gravité de l'ensemble machine et base au-dessous de la partie supérieure du bloc de la base.

(4) En général, il convient de considérer les trois degrés de liberté possibles en translation et les trois degrés de liberté en rotation ; par contre, il est inutile, en général, d'appliquer un modèle tridimensionnel.

(5) Il convient de convertir les propriétés du support de la structure de base en modèle (ressorts, constantes d'amortissement, etc.). Les propriétés exigées sont :

- pour les sols : module G dynamique et constantes d' amortissement ;
- pour les pieux : constantes de raideur dynamique pour les déplacements verticaux et horizontaux ;
- pour les ressorts : constantes de raideur horizontalement et verticalement et pour les ressorts en caoutchouc, les données d'amortissement.

(6) Pour la division du modèle en systèmes découplés isolés, voir F.2 dans l'annexe F.

### 3.5 Valeurs caractéristiques

(1) Le fabricant de la machine est tenu de fournir une compilation complète des forces statiques et dynamiques pour les différentes situations de projet ainsi que toutes les autres informations sur la machine telles que les dessins d'encombrement, le poids des pièces statiques et mobiles, les vitesses, l'équilibrage, etc.

(2) Il convient que le fabricant de la machine mette à la disposition du concepteur les informations suivantes :

- abaque de chargement de la machine montrant l'emplacement, la grandeur et la direction de toutes les charges, y compris les charges dynamiques ;
- la vitesse de la machine ;
- les vitesses critiques de la machine ;
- les cotes d'encombrement de la base ;
- le moment d'inertie massique des composants de la machine ;
- des détails sur les inserts et les scellements ;
- la disposition des canalisations, des conduites, etc. et les détails de leurs supports ;
- les températures dans les différentes zones en cours de fonctionnement ;
- les déplacements admissibles au niveau des points d'appui de la machine en fonctionnement normal.

(3) Dans les cas simples, les forces dynamiques (forces libres) des pièces tournantes de la machine peuvent être déterminées comme suit :

$$F_s = m_R \omega_s^2 e = m_R \omega_s (\omega_s e) \quad (3.1)$$

où

$F_s$  est la force libre du rotor ;

$m_R$  est la masse du rotor ;

$\omega_s$  est la fréquence circulaire du rotor ;

$e$  est l'excentricité de la masse du rotor ;

$\omega_s e$  est la précision de l'équilibrage du rotor exprimé sous la forme d'une amplitude de vitesse.

(4) Pour la précision de l'équilibrage, il convient de tenir compte des situations suivantes :

- situation persistante :

la machine est bien équilibrée. Toutefois, l'équilibrage des machines se détériore avec le temps jusqu'au point où il devient tout juste acceptable en utilisation normale. Un système d'alarme sur la machine avertit l'opérateur en cas de dépassement d'une certaine limite. Jusqu'à cet état d'équilibrage, aucune gêne vibratoire n'est permise dans la structure et les alentours et il est inévitable de satisfaire aux prescriptions relatives au niveau vibratoire.

- situation accidentelle :

l'équilibre est complètement perturbé par un événement accidentel : le système de surveillance assure la mise hors tension de la machine. Il est inévitable que la structure soit suffisamment résistante pour supporter les forces dynamiques.

(5) Dans des cas simples, l'effet d'interaction entre l'excitation d'une machine avec une masse tournante et le comportement dynamique de la structure peut être exprimé par une force statique équivalente :

$$F_{eq} = F_s \nu \quad (3.2)$$

où

$F_s$  est la force libre du rotor ;

$\nu$  est le coefficient d'amplification qui dépend du rapport entre la fréquence propre  $n_e$  (ou  $\omega_e$ ) de la structure et la fréquence de la force d'excitation  $n_s$  (ou  $\omega_s$ ) et le rapport d'amortissement  $D$ .

(6) Pour des forces à variation harmonique (forces libres d'une machine tournante), le coefficient d'amplification peut être déterminé de la manière suivante :

a) pour un petit amortissement ou loin de la résonance

$$\nu = \frac{\omega_e^2}{\omega_e^2 - \omega_s^2} \quad (3.3)$$

b) en cas de résonance  $\omega_e = \omega_s$  et un rapport d'amortissement  $D$

$$\nu = \left[ \left( 1 - \frac{\omega_s^2}{\omega_e^2} \right)^2 + \left( 2D \frac{\omega_s}{\omega_e} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

(7) Si la chronologie du moment de court circuit  $M_k(t)$  n'est pas indiquée par le fabricant, l'expression suivante peut être utilisée :

$$M_k(t) = 10 M_o \left( e^{-\frac{t}{0,4}} \sin \Omega_N t - \frac{1}{2} e^{-\frac{t}{0,4}} \sin 2 \Omega_N t \right) - M_o \left( 1 - e^{-\frac{t}{0,15}} \right) \quad (3.5)$$

où

$M_o$  est le moment nominal résultant de la puissance efficace ;

$\Omega_N$  est la fréquence du réseau électrique ;

$t$  est le temps [s].

(8) Pour des fréquences propres dans la plage comprise entre  $0,95\Omega_N$  to  $1,05\Omega_N$  , il convient d'avoir des fréquences calculées du réseau électrique identique à ces fréquences propres.

(9) Pour simplifier, une action statique équivalente peut être prise en compte pour déterminer des moments comme ci-dessous :

$$M_{k,eq} = 1,7 M_{k,max} \quad (3.6)$$

où

$M_{k,max}$  est la valeur de crête de  $M_k(t)$ .

(10) Si le fabricant ne fournit aucune indication sur  $M_{k,max}$  , la valeur suivante peut être utilisée :

$$M_{k,max} = 12 M_o . \quad (3.7)$$

### 3.6 Critères de service

(1) En général, les critères de service sont liés aux mouvements vibratoires :

- a) de l'axe de la machine et de ses paliers ;
- b) des points extrêmes de la structure et de la machine.

(2) Les caractéristiques des mouvements sont :

- l'amplitude du trajet  $A$  ;
- l'amplitude de la vitesse  $\omega_s A$  ;
- l'amplitude de l'accélération  $\omega_s^2 A$ .

(3) Lors du calcul des amplitudes du système, les vibrations de translation ainsi que les vibrations de rotation produites par les forces dynamiques et les moments doivent être prises en compte ainsi que la diffusion des propriétés de rigidité de la base et du support (sol, pieux).

(4) Dans le cas simple d'un système à ressort avec une seule masse (figure 3.2), les amplitudes de trajet peuvent être calculées comme suit :

$$A = \frac{F_{eq}}{k} \quad (3.8)$$

où

$k$  est la constante de raideur du système.

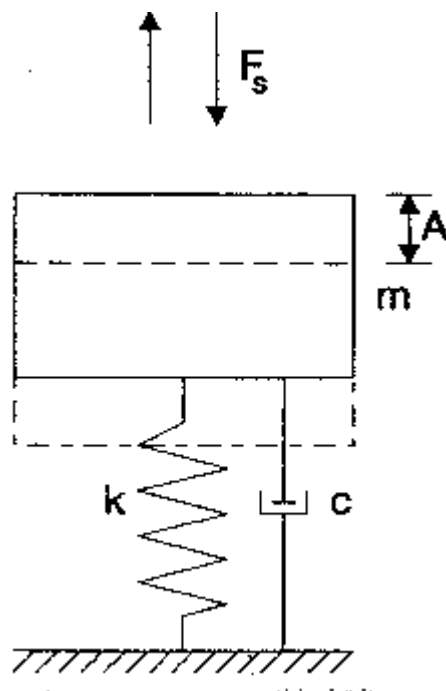


Figure 3.2 – Système à ressort et masse

## Annexe A (informative)

### Bases de calcul – articles complémentaires de l'ENV 1991-1 pour les poutres de roulement subissant la charge d'appareils de levage

#### A.1 Généralités

(1) La présente annexe donne des règles concernant les coefficients partiels d'actions (coefficients  $\gamma$ ) et les charges combinées d'appareils de levage sur des poutres de roulement avec actions permanentes, actions d'un vent semi-statique, de la neige et de la température ainsi que coefficients  $\psi$  correspondants.

(2) S'il est nécessaire de tenir compte d'autres actions (par exemple un affaissement minier), il convient de compléter les combinaisons pour les prendre en compte. Il convient également de compléter les combinaisons et de les adapter aux phases de construction.

(3) Lors de la combinaison d'un groupe de charges dues à des appareils de levage avec d'autres actions, il convient de considérer ce groupe de charges comme une seule action.

(4) Si l'on considère des combinaisons d'actions induites par les charges dues à des appareils de levage avec d'autres actions, il convient de distinguer les cas suivants :

- a) chemins de roulement à l'extérieur des bâtiments ;
- b) chemins de roulement à l'intérieur de bâtiments résistant aux actions climatiques et dont les éléments structuraux sont également susceptibles de subir directement ou indirectement des charges dues aux appareils de levage.

(5) Pour les chemins de roulement situés à l'extérieur des bâtiments, l'action caractéristique du vent sur la structure de la grue et le matériel de levage dans l'ENV 1991-2 à 4 peut être évaluée comme force caractéristique  $F_{wk}$ .

(6) Lors de l'étude des combinaisons de masses à lever avec l'action du vent, il convient de tenir compte également de la force de vent maximale compatible avec l'utilisation de l'appareil de levage. Cette force  $F_w^*$  correspond à une vitesse de vent égale à 20 m/s. Il convient de déterminer la surface de référence  $A_{ref,x}$  de la charge à lever pour chaque cas particulier.

(5) Pour les chemins de roulement à l'intérieur des bâtiments, les charges dues au vent et à la neige sur la structure des appareils de levage peuvent être négligées ; par contre, dans les parties structurales du bâtiment subissant les charges du vent, de la neige et de l'appareil de levage, il convient de réaliser les combinaisons de charges appropriées.

#### A.2 États limites ultimes

##### A.2.1 Combinaisons d'actions

(1) Pour chaque cas critique de charge, il convient de déterminer les valeurs de calcul des effets d'actions en combinant les valeurs des actions qui se produisent simultanément conformément à l'ENV 1991-1.

(2) Lorsqu'une action accidentelle est à prendre en compte, il n'y a généralement pas lieu de considérer qu'une autre action accidentelle ou une action du vent ou de la neige se produit simultanément.



## A.2.2 Coefficients partiels

(1) Pour les vérifications dictées par la résistance du matériau structural ou du sol, le Tableau A.1 donne les coefficients partiels des actions pour les états limites ultimes dans les situations persistantes, transitoires et accidentelles de calcul.

NOTE Pour le calcul de poutre de roulement, le tableau A.1 et les notes suivantes couvrent les cas B et C spécifiés pour les bâtiments dans le Tableau 9.2 de l'ENV 1991-1. Pour le cas A, voir (2) ci-dessous.

**Tableau A.1 – Coefficients partiels**

Action	Symbole	Situation	
		P/T	A
Actions variables de l'appareil de levage			
défavorables	$\gamma_{Gsup}$	1,35	1,00
favorables	$\gamma_{Ginf}$		
en cas de présence		1,00	1,00
en cas d'absence		0	0
autres actions variables	$\gamma_Q$	1,50	1,00
défavorables		0	0
favorables			
Actions accidentelles	$\gamma_A$		1,00

P – Situation persistente    T – Situation transitoire    A – Situation accidentelle.

(2) Pour des vérifications concernant la perte d'équilibre statique et le soulèvement des paliers, il convient de considérer les parties favorables et défavorables des actions variables induites par les appareils de levage comme des actions individuelles et, sauf spécification contraire (voir en particulier les Eurocodes de calcul correspondants), il convient d'associer les parties défavorables et favorables respectivement avec  $\lambda_{Gsup} = 1,05$  et  $\lambda_{Ginf} = 0,95$ . Les autres coefficients partiels sur les actions (surtout sur les actions variables) sont comme en (1).

## A.2.3 Coefficients $\psi$ pour les charges dues aux appareils de levage

(1) La tableau A.2 donne les coefficients  $\psi$  pour les charges dues aux appareils de levage.

**Tableau A.2 – Coefficients  $\psi$  pour les charges dues aux appareils de levage**

Action	Symbole	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Groupes de charges induites par les appareils de levage	$Q_r$	1,00	0,90	- <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Rapport entre l'action permanente de l'appareil de levage et l'action totale induite par celui-ci.

## A.3 États limites de service

### A.3.1 Combinaisons d'actions

(1) Pour la vérification des états limites de service, il convient de tirer les diverses combinaisons de l'ENV 1991-1.

(2) Lors d'essais, il convient de considérer le chargement d'essai de l'appareil de levage (voir 2.10) comme étant l'action induite par l'appareil de levage.

### **A.3.2 Coefficients partiels**

(1) Dans les états limites de service et sauf spécification contraire, il convient de prendre 1,0 comme coefficient partiel des actions concernant les structures de soutènement de l'appareil de levage.

### **A.3.3 $\psi$ coefficients $\psi$ pour les actions induites par les appareils de levage**

(1) Le Tableau A.2 donne les valeurs des coefficients  $\psi$ .

## **A.4 Fatigue**

(1) Les règles de vérification de la fatigue dépendent du modèle de charge de fatigue à utiliser et elles sont prescrites dans les Eurocodes de calcul.

## Annexe B (informative)

### Lignes directives pour le classement des appareils de levage du point de vue de la fatigue

**Tableau B.1 – Recommandations pour les classes de chargement**

N° d'ordre	Type d'appareil de levage	Classe de levage	Classe S
1	Appareils de levage manœuvrés à la main	HC 1	S0, S1
2	Appareils de levage d'assemblage	HC1, HC2	S0, S1
3	Appareils de levage de centrale électrique	HC1	S1, S2
4	Appareils de levage de stockage – avec utilisation intermittente	HC2	S4
5	Appareils de levage de stockage, appareils de levage à cadre de préhension, appareils de levage de parc à ferrailles – avec utilisation continue	HC3, HC4	S6, S7
6	Appareils de levage d'atelier	HC2, HC3	S3, S4
7	Ponts roulants, appareils de levage de marteau-pilon – avec utilisation d'un grappin ou d'un aimant	HC3, HC4	S6, S7
8	Appareils de levage de fonderie	HC2, HC3	S6, S7
9	Appareils de levage de four à recuire	HC3, HC4	S7, S8
10	Pont démouleur, pont de manutention	HC4	S8, S9
11	Appareils de levage de forge	HC4	S6, S7
12	Ponts transbordeurs, semi-portiques, portiques avec chariot ou appareil de levage tournant – avec utilisation d'un crochet	HC2	S4, S5
13	Ponts transbordeurs, semi-portiques, portiques avec chariot ou appareil de levage tournant – avec utilisation d'un grappin ou d'un aimant	HC3, HC4	S6, S7
14	Portique à courroie transporteuse avec courroie(s) fixe(s) ou coulissante(s)	HC1	S3, S4
15	Appareils de levage de chantier naval, appareils de levage de cale de halage, appareils de levage d'achèvement – avec utilisation d'un crochet	HC2	S3, S4
16	Appareils de levage d'embarcadère, appareils de levage pivotants, flottants, appareils de levage pivotant à variation de volée – avec utilisation d'un crochet	HC2	S4, S5
17	Appareils de levage d'embarcadère, appareils de levage pivotants, flottants, appareils de levage pivotant à variation de volée – avec utilisation d'un grappin ou d'un aimant	HC3, HC4	S6, S7
18	Appareils de levage flottants à usage intensif, ponts portiques	HC1	S1, S2
19	Appareils de levage pour fret à bord d'un navire – avec utilisation d'un crochet	HC2	S3, S4
20	Appareils de levage pour fret à bord d'un navire – avec utilisation d'un grappin ou d'un aimant	HC3, HC4	S4, S5
21	Appareils de levage pivotants sur pylône pour l'industrie de la construction	HC1	S2, S3
22	Appareils de levage de montage, appareils de levage à volée variable	HC1, HC2	S1, S2
23	Appareils de levage pivotants montés sur rails – avec utilisation d'un crochet	HC2	S3, S4
24	Appareils de levage pivotants montés sur rails – avec utilisation d'un grappin ou d'un aimant	HC3, HC4	S4, S5
25	Appareils de levage de transbordement autorisés sur trains	HC2	S4
26	Appareils de levage de camion, appareils de levage mobile – avec utilisation d'un crochet	HC2	S3, S4
27	Appareils de levage de camion, appareils de levage mobile – avec utilisation d'un grappin ou d'un aimant	HC3, HC4	S4, S5
28	Appareils de levage de camion à usage intensif, appareils de levage mobile à usage intensif	HC1	S1, S2

## Annexe C (informative)

### Bases de calcul – articles complémentaires de l'ENV 1991-1 pour les machines

#### C.1 Généralités

(1) La présente annexe donne des règles concernant les coefficients partiels d'actions (coefficients  $\gamma$ ) et les combinaisons d'actions induites par les machines avec actions permanentes, actions d'un vent semi-statique, de la neige et de la température ainsi que coefficients  $\psi$  correspondants.

(2) S'il est nécessaire de tenir compte d'autres actions, il convient de compléter les combinaisons pour les prendre en compte. Il convient également de compléter les combinaisons et de les adapter aux phases de construction.

(3) Lors de la combinaison d'actions statiques induites par les machines avec d'autres actions, il convient de considérer ces actions induites par les machines comme une seule action.

(4) Si l'on considère des combinaisons d'actions statiques induites par les machines avec d'autres actions, il convient de distinguer les cas suivants :

- a) machines à l'extérieur des bâtiments ; les machines sont alors totalement exposées aux actions climatiques ;
- b) machines à l'intérieur de bâtiments résistant aux actions climatiques et dont les éléments structuraux sont également susceptibles de subir directement ou indirectement les actions induites par les machines.

(5) Pour les machines situées à l'extérieur des bâtiments, l'action caractéristique du vent sur la structure des machines dans l'ENV 1991-2 à 4 peut être évaluée comme force caractéristique  $F_{wk}$ . Lors de l'étude des combinaisons d'actions induites par les machines avec l'action du vent, il convient de tenir compte également de la force de vent maximale compatible avec l'utilisation des machines. Cette force  $F_w$  correspond à une vitesse de vent égale à  $\boxed{20}$  m/s. Il convient de déterminer la surface de référence  $A_{ref,x}$  pour l'action induite par les machines pour le cas particulier.

(6) Pour les machines situées à l'intérieur des bâtiments, les charges dues au vent et à la neige sur la structure des machines peuvent être négligées ; par contre, dans les parties structurales du bâtiment subissant les charges du vent, de la neige et les actions induites par les machines, il convient de réaliser les combinaisons de charges appropriées.

(7) Il n'y a généralement pas lieu de combiner les forces horizontales dues aux machines avec les charges de vent.

(8) Il n'y a généralement pas lieu de combiner les effets de contraintes dues aux actions thermiques avec les charges de vent.

#### C.2 États limites ultimes

##### C.2.1 Combinaisons d'actions

(1) Pour chaque cas critique de charge, il convient de déterminer les valeurs de calcul des effets d'actions en combinant les valeurs des actions qui se produisent simultanément conformément à l'ENV 1991-1.

(2) Lorsqu'une action accidentelle est à prendre en compte, il ne convient pas de considérer qu'une autre action accidentelle ou une action du vent ou de la neige se produit simultanément.

### C.2.2 Coefficients partiels

(1) Pour les vérifications dictées par la résistance du matériau structural ou du sol, le Tableau C.1 donne les coefficients partiels des actions pour les états limites ultimes dans les situations persistantes, transitoires et accidentelles de calcul.

NOTE Pour le calcul des structures de machines, le tableau C.1 et les notes suivantes couvrent les cas B et C spécifiés pour les bâtiments dans le Tableau 9.2 de l'ENV 1991-1. Pour le cas A, voir (2) ci-dessous.

**Tableau C.1 – Coefficients partiels**

Action	Symbole	Situation	
		P/T	A
Actions permanentes induites par les machines Poids propre des éléments structuraux et non structuraux			
défavorables	$\gamma_{Gsup}$	1,35	1,00
favorables	$\gamma_{Ginf}$	1,00	1,00
actions variables induites par les machines	$\gamma_Q$		
défavorables		1,35	1,00
favorables		0	0
autres actions variables	$\gamma_Q$		
défavorables		1,50	1,00
favorables		0	0
Actions accidentelles	$\gamma_A$		1,00

P – Situation persistente    T – Situation transitoire    A – Situation accidentelle.

(2) Pour des vérifications concernant la perte d'équilibre statique et le soulèvement des paliers, il convient de considérer les parties favorables et défavorables des actions permanentes comme des actions individuelles et, sauf spécification contraire (voir en particulier les Eurocodes de calcul correspondants), il convient d'associer les parties défavorables et favorables respectivement avec  $\gamma_{Gsup} = 1,05$  et  $\gamma_{Ginf} = 0,95$ . Les autres coefficients partiels sur les actions (surtout sur les actions variables) sont comme en (1).

### C.2.3 Coefficients $\psi$ pour les actions induites par les machines

(1) Sauf spécification contraire (par exemple dans la partie appropriée de l'ENV 1991 traitant des actions spécifiques), le Tableau C.2 donne les coefficients  $\psi$  pour les actions induites par les machines.

**Tableau C.2 – Coefficients  $\psi$  pour les actions induites par les machines**

Action	Symbole	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
actions induites par les machines	$F_s$	1,00	0,90	- <sup>1)</sup>
Action du vent	$F_{wK}$	0,30	0,50	0
	$F_w^*$	1,00	-	-
Effets de la température	$T_K$	0	0,60	0,50

<sup>1)</sup> Rapport entre l'action permanente induite par les machines et l'action totale induite par celles-ci.

### **C.3 États limites de service**

#### **C.3.1 Critères de performances concernant les vibrations**

(1) Les annexes D et E donnent les limites de vibrations dont il faut tenir compte dans le calcul des structures en ce qui concerne les exigences de service des machines, les conditions de confort, le rendement, l'hygiène ou la sécurité.

#### **C.3.2 Combinaisons d'actions**

(1) Pour la vérification des états limites de service, il convient de tirer les diverses combinaisons de l'ENV 1991-1.

#### **C.3.3 Coefficients partiels**

(1) Dans les états limites de service et sauf spécification contraire, il convient de prendre 1,0 comme coefficient partiel pour les actions induites par les machines.

#### **C.3.4 Coefficients $\psi$ pour l'action induite par les machines**

(1) Le Tableau C.2 donne les valeurs des coefficients  $\psi$ .

### **C.4 Fatigue**

(1) Les règles de vérification de la fatigue dépendent du modèle de charge de fatigue à utiliser et elles sont prescrites dans les Eurocodes de calcul.

## Annexe D (informative)

### Prescriptions de service des machines <sup>2)</sup>

#### D.1 Généralités

- (1) La vitesse de vibration efficace  $v_{\text{eff}}$  est désignée comme étant la quantité déterminante pour l'intensité de vibration des machines.
- (2) La vitesse de vibration efficace  $v_{\text{eff}}$  est définie en D.2.
- (3) Une directive est donnée en D.3 pour l'évaluation de l'intensité de vibration en fonction du classement des machines.

#### D.2 Détermination de la vitesse de vibration efficace $v_{\text{eff}}$

- (1) En cas de vibrations harmoniques, la valeur efficace de la vitesse de vibration  $v_{\text{eff}}$  correspond à la racine de la moyenne des carrés des vitesses de vibrations.
- (2) La valeur efficace de la vitesse de vibration  $v_{\text{eff}}$  peut être mesurée directement à l'aide de dispositifs de mesurage électroniques appropriés.
- (3) Si l'on connaît les chronologies non harmoniques, périodiques ou non périodiques des vibrations, la valeur efficace de la vitesse de vibration  $v_{\text{eff}}$  peut être déterminée par :

$$v_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} . \quad (\text{D.1})$$

- (4) Au cas où la chronologie des vibrations aurait été déjà analysée en fonction des fréquences  $\omega_i$  et des amplitudes des vibrations  $\hat{s}_i$  ou des vitesses  $\hat{v}_i$ , la valeur efficace de la vitesse de vibration  $v_{\text{eff}}$  peut être déterminée comme suit :

$$v_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_i \hat{s}_i^2 w_i^2} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_i \hat{v}_i^2} . \quad (\text{D.2})$$

#### D.3 Évaluation de l'intensité de vibration par rapport à l'admissibilité des machines

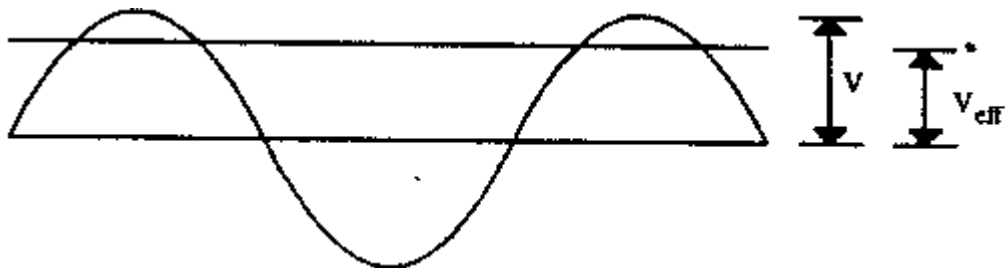
- (1) L'évaluation de l'intensité de vibration des machines peut être basée sur le Tableau D.1 dans lequel, en fonction de la vitesse efficace  $v_{\text{eff}}$  et du point déterminant des paliers, un qualificatif est attribué en quatre niveaux (bon, utilisable, encore admissible et inadmissible) à quatre groupes de machines (S, M, L et T).
- (2) Le Tableau D.2 donne la définition des groupes de machines.

---

<sup>2)</sup> La présente annexe est basée sur VDI 2056.

**Tableau D.1 – Évaluation de l'intensité de vibration des machines**

Vitesse efficace $v_{eff}$		Vitesse Amplitude $\bar{v}$		Niveaux d'évaluation			
				Groupes de machines			
mm/s		mm/s		S	M	L	T
----	0,28	----	0,4	----	bon		
----	0,45	----	0,63	----		bon	
----	0,71	----	1,00	-----			bon
----	1,12	----	1,60	-----	utilisable	-----	
----	1,8	----	2,50	-----		utilisable	-----
----	2,8	----	4,00	-----	encore admissible	-----	utilisable
----	4,5	----	6,30	-----		encore admissible	-----
----	7,1	----	10,0	-----	inadmissible	-----	encore admissible
----	11,2	----	16,0	-----		inadmissible	encore admissible
----	18,0	----	25,0	-----			inadmissible
----	28,0	----	40,0	-----			inadmissible
----	45,0	----	63,0	-----			inadmissible



$$v_{eff} = \frac{1}{2} \sqrt{2} \bar{v}$$

**Figure D.1 – Définition de la vitesse efficace  $v_{eff}$**

**Tableau D.2 – Définition des groupes de machines**

Groupe S :	Petites machines, parties spécifiques de machines qui, dans des conditions de service, sont solidement reliées à la machine complète, en particulier moteurs électroniques jusqu'à 15 kW montés en série.
Groupe M :	Machines moyennes, en particulier électromoteurs de 15 kW à 75 kW de puissance sans fondations spéciales, ainsi que parties de machines supportées rigidement (jusqu'à 300 kW environ) avec masses tournantes uniquement.
Groupe L :	Grandes machines sur des fondations suraccordées rigides ou lourdes, grandes machines avec masses tournantes uniquement.
Groupe T :	Turbomachines, grandes machines avec masses tournantes uniquement, reposant sur des fondations sous-accordées ; par exemple, des turbogroupes en particulier sur des fondations construites selon des recommandation de légèreté.



## Annexe E (informative)

### Effet sur l'environnement <sup>3)</sup>

#### E.1 Généralités

- (1) Les machines provoquent des vibrations qui peuvent gêner le confort, le rendement, la santé ou la sécurité.
- (2) Des vibrations dans des bâtiments risquent d'entraîner la formation de fissures dans le plâtre et les murs, une facture de fatigue ou un effondrement d'éléments de structure.
- (3) La détérioration des bâtiments dépend de l'accélération, de la grandeur des déplacements et du nombre de répétitions des vibrations.
- (4) Les conséquences pour les personnes présentes dans les bâtiments dépendent de la grandeur, de la fréquence, de la durée et du nombre de répétitions des vibrations.
- (5) La tolérance des personnes à certaines vibrations est fonction du moment de la journée, de la saison de présence ou du type de travail effectué dans les bâtiments.
- (6) La valeur efficace  $x_{\text{eff}}$  définie en E.2 est désignée comme étant la grandeur déterminante pour l'intensité des vibrations par rapport à la tolérance des personnes et des bâtiments.
- (7) Une directive est donnée en E.3 pour l'évaluation de l'intensité des vibrations par rapport aux personnes et aux bâtiments.

#### E.2 Détermination d'une valeur efficace

- (1) Dans de nombreux cas, les vibrations causées par des machines peuvent être décrites au moyen de vibrations harmoniques.
- (2) Au lieu de la valeur de crête, une valeur efficace du déplacement, sa vitesse ou son accélération peut être déterminée afin d'évaluer les vibrations non harmoniques.
- (3) La valeur efficace du déplacement  $x$  est définie par :

$$x_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x_t^2 dt} \quad (\text{E.1})$$

- (4) Une directive est donnée en E.3 pour l'évaluation de l'intensité des vibrations.

#### E.3 Classement des domaines par rapport à l'intensité des vibrations <sup>4)</sup>

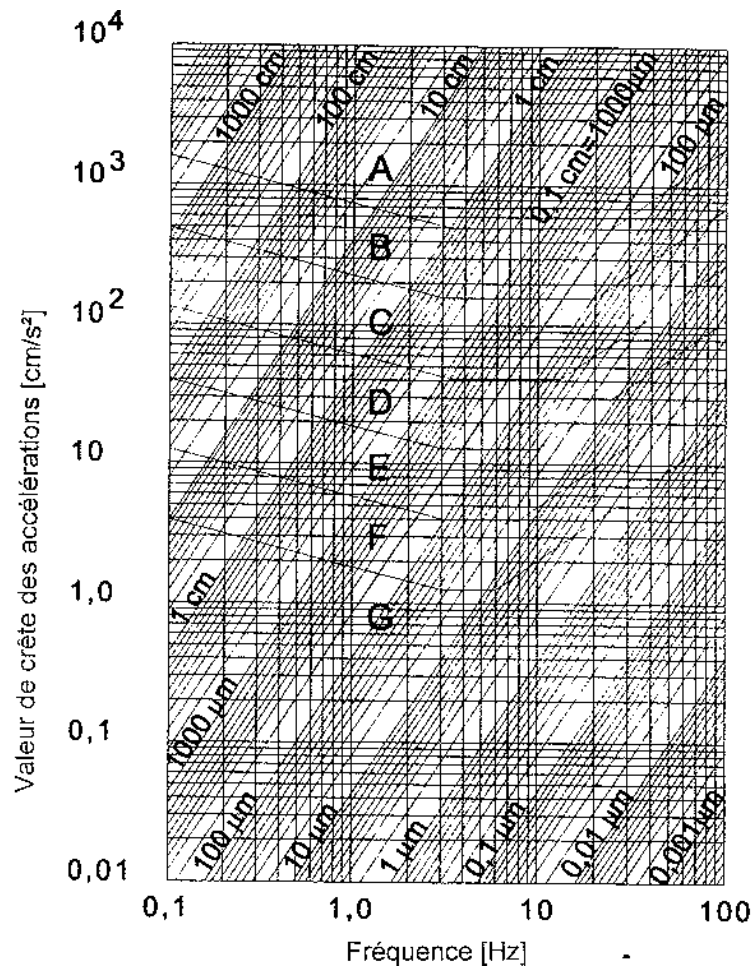
- (1) En fonction de la fréquence du mouvement et de la définition par les accélérations et les déplacements des vibrations dans la figure du Tableau E.1, on distingue et on classe un certain nombre de zones en tenant compte de la sensibilité des personnes, de l'accessibilité de la zone et de l'effet sur la structure du bâtiment.

---

3) Cette annexe est basée sur l'ISO 2631.

4) Ce classement est basé sur le rapport CUR 57.

**Tableau E.1 – Limites des mouvements dynamiques**



à suivre

**Tableau E.1 – Limites des mouvements dynamiques (suite)**

Limites des mouvements dynamiques				
	Description de la sensibilité	Tolérance des personnes dans les bâtiments	Évaluation globale de l'effet sur les bâtiments	Exemples
A	Insupportable	Inadmissible	Danger d'effondrement	Cas d'urgence
B	Désagréable, rapidement fatigant	Inadmissible	Domage localisé	Arrêt brutal d'une automobile
C	fortement perceptible	Tout juste admissible	Formation de fissures dans la maçonnerie	Ascenseur, tramway
D	nettement perceptible	Admissible durant un travail manuel grossier	Début de formation de légères fissures	Début de mal de mer
E	Perceptible	Admissible pendant un court instant dans des logements	Sans effets sur des bâtiments normaux	-
F	Difficilement perceptible	Admissible pendant un long moment dans des logements	Sans effets	-
G	Non perceptible	-	Sans effets	-

## Annexe F (informative)

### Vérifications simplifiées et critères

#### F.1 Critères d'omission des effets dynamiques

(1) Les effets dynamiques peuvent être omis lorsque les masses tournantes de la machine  $m_{rot}$  représentent moins de 1/200ème du total des masses de la machine et de son bâti support.

(2) Ceci s'applique également à un ensemble tournant particulier d'une machine qui comporte plusieurs ensembles avec des fréquences différentes.

(3) Les effets dynamiques peuvent également être omis si les deux conditions suivantes s'appliquent en ce qui concerne les fréquences propres  $f_i$  et la fréquence en service  $f_m$  de la machine.

— la fréquence propre inférieure  $f_i$  remplit l'une des conditions suivantes :

$$f_i \geq 1,25f_m \text{ ou } f_i \leq 0,8f_m \quad (\text{F.1})$$

— les fréquences propres supérieures  $f_n$  qui se rapprochent de la fréquence de service de la machine remplissent l'une des conditions suivantes :

$$f_n \leq 0,9f_m \text{ ou } f_{n+1} \geq 1,1f_m \quad (\text{F.2})$$

(4) Si les conditions en (3) ne sont pas remplies, les effets dynamiques peuvent être également omis si les conditions suivantes sont remplies à toutes les fréquences  $f_n$ .

$$\chi_{in} \left| \frac{f_n^2}{f_n^2 - f_m^2} \right| < 3 \quad (\text{F.3})$$

où

$\chi_{in}$  est le mouvement relatif au niveau des paliers  $i$  des pièces tournantes déterminé d'après la forme du mode de vibrations propres normalisé à la valeur de crête 1 à la fréquence  $f_n$ .

(5) Pour les structures en acier et les structures en composite ayant des fréquences de service telles que  $f_m < 75$  Hz et  $f_m > f_n$ , il convient d'effectuer dans tous les cas une analyse dynamique.

#### F.2 Critères de division d'un modèle en systèmes indépendants découplés

(1) Un modèle peut être séparé en systèmes découplés si les critères suivants sont remplis :

a) pour des vibrations horizontales en général, le bâti support peut être modélisé par un ressort horizontal et le support vertical peut être considéré comme étant rigide ;

b) pour les vibrations verticales, la structure soutenue par des ressorts peut être considérée comme rigide pour des fréquences de corps rigide et la raideur des ressorts peut être omise aux fréquences plus élevées si le critère suivant est rempli (voir Figure F.2.1) :

$$\frac{EI}{\ell^3 \sum_i c_i} \geq \frac{1}{50} \tag{F.4}$$

c) pour les vibrations verticales de structures qui sont soutenues par des ressorts ayant une raideur  $c_F$  sur une sous-structure ayant une raideur  $c_u$ , la structure peut être considérée comme rigide si le critère suivant (expression F.5) est rempli :

$$\frac{c_u}{c_F} \geq 10 \tag{F.5}$$

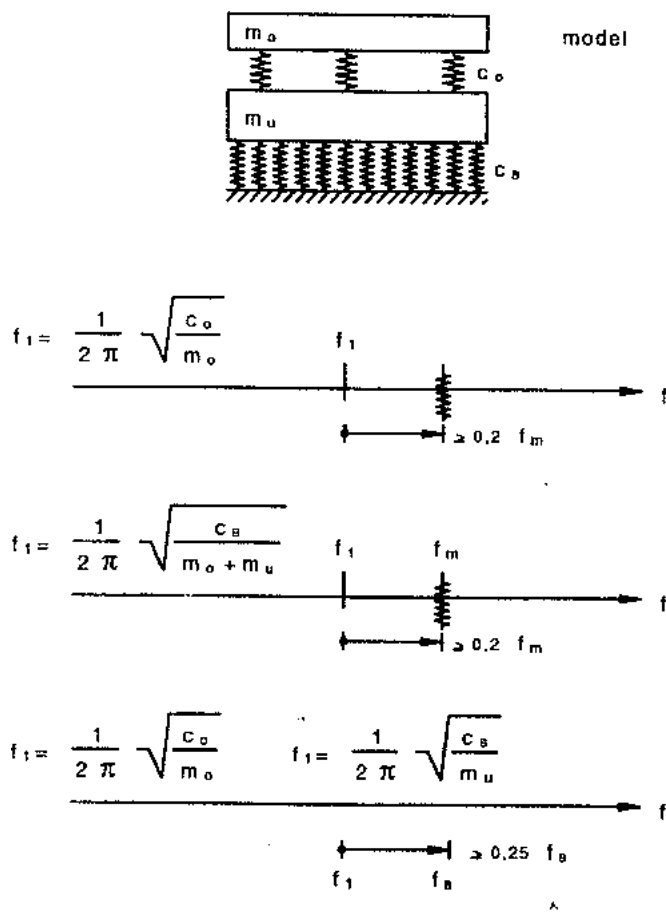


Figure F.2.1 – Séparation en systèmes découplés

d) Le sol et la sous-structure peuvent être considérés comme rigides si l'une des conditions suivantes est remplie (voir Figure F.2.2) :

- la fréquence propre inférieure  $f_i$  de la structure avec la machine  $m_o$  montée sur ressorts sur le support supposé rigide est inférieure à 20 % de la fréquence de service la plus basse  $f_m$  de la machine ;
- la fréquence propre inférieure  $f_i$  du système complet  $m_o + m_u$  supposé vibrer comme un corps rigide sur le sol élastique est inférieure à 20 % de la fréquence de service la plus basse  $f_m$  de la machine ;
- la fréquence propre inférieure  $f_i$  de la structure avec la machine montée sur ressorts sur le support supposé rigide est inférieure à 25 % de la fréquence propre inférieure  $f_u$  de la sous-structure considérée comme vibrant comme un corps rigide sur le sol élastique sans la structure.

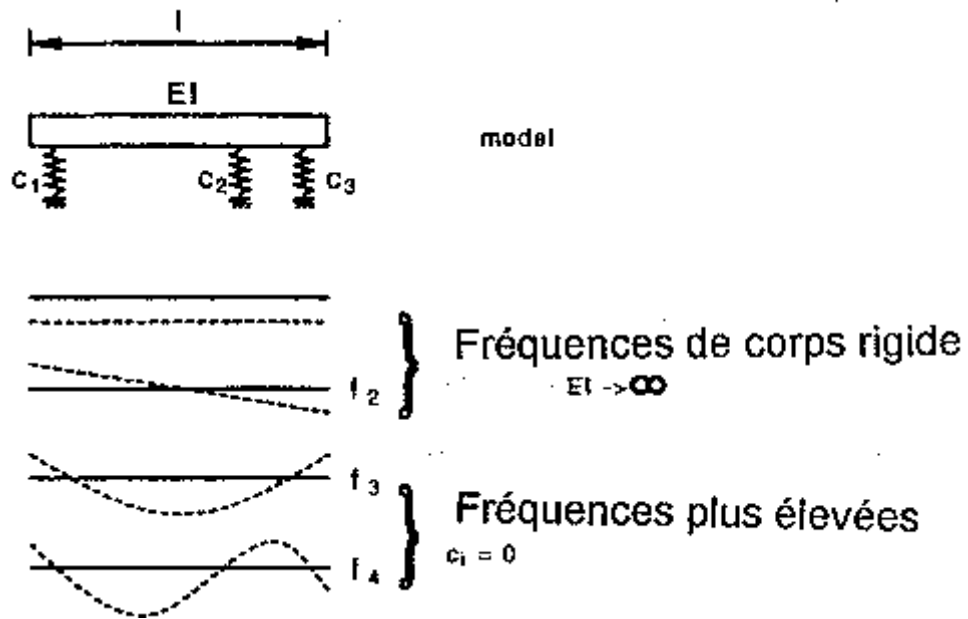


Figure F.2.2 – Courbes de déflexion d'une structure

## **Annexe G (normative)**

### **Charges d'exploitation sur les planchers par les chariots élévateurs à fourche, les véhicules sur pneus ou sur rails, les équipements d'accès pour la maintenance et les hélicoptères <sup>5)</sup>**

#### **G.1 Généralités**

(1) La présente annexe s'applique aux structures supportant des véhicules de transport qui sont prévus dans l'usage normal de bâtiments ou pour des besoins particuliers comme l'installation de matériel ou l'entretien.

(2) La présente annexe spécifie les actions induites par :

- les chariots élévateurs à fourche ;
- les véhicules routiers ou ferroviaires ;
- les équipements spéciaux d'entretien ;
- les hélicoptères.

#### **G.2 Définitions**

##### **G.2.1 chariot élévateur à fourche**

Véhicule monté sur galets et équipé d'un matériel de levage fonctionnant librement ou guidé par des rails.

##### **G.2.2 véhicules sur pneus ou sur rails**

Véhicules de transport se déplaçant sur le sol librement ou guidés par des rails.

##### **G.2.3 équipements spéciaux d'entretien**

Véhicules et machines se déplaçant à l'extérieur ou à l'intérieur des bâtiments, des points ou d'autres ouvrages de génie civil. Ils sont destinés à assurer un libre accès au personnel effectuant les travaux de contrôle, d'entretien ou de petite réparation.

#### **G.3 Classement des actions**

##### **G.3.1 Généralités**

(1) Les actions induites par des chariots élévateurs à fourche, des véhicules routiers ou ferroviaires, des équipements d'accès pour la maintenance et des hélicoptères sont classées actions libres. Elles sont aussi classées comme actions permanentes, variables et accidentelles qui sont représentées par différents modèles.

(2) Il convient de considérer ces actions comme des charges concentrées conjointement avec la charge uniformément répartie définie dans l'ENV 1991-2-1.

---

5) La présente annexe est destinée à passer dans l'ENV 1991-2-1.

### **G.3.2 Actions permanentes**

(1)P Les actions permanentes  $G$  induites par des véhicules de transport doivent comprendre leur poids propre.

### **G.3.3 Actions variables**

(1)P Dans des conditions normales d'utilisation, les charges utiles  $Q$  déplacées par des véhicules de transport sont considérées comme des actions variables.

(2)P Les différentes valeurs représentatives des charges utiles variables sont des valeurs caractéristiques qui sont soit statistiques soit nominales.

### **G.3.4 Actions accidentelles**

(1) Des véhicules de transport sont susceptibles de générer des actions accidentelles dues à une collision avec des obstacles. Il convient de tenir compte de ces actions dans le calcul de dimensionnement lorsqu'une protection appropriée n'est pas prévue.

(2) Les actions accidentelles induites par les véhicules de transport peuvent être tirées de l'ENV 1991-2-7.

## **G.4 Cas de calcul**

(1)P Les actions correspondantes induites par des véhicules de transport doivent être déterminées pour chaque situation de projet identifiée conformément à l'ENV 1991-1.

(2)P Les situations de projet appropriées doivent être étudiées et les cas de charges critiques identifiés. Pour chaque cas de charge critique, les valeurs de calcul des effets d'actions combinées doivent être déterminées.

(3) Les règles de combinaison des actions induites par plusieurs véhicules de transport et par des véhicules de transport et d'autres actions sont données en G.11.

## **G.5 Représentation d'actions**

### **G.5.1 Nature des charges**

(1) Les actions induites par des véhicules de transport résultent des forces dues à la pesanteur et aux forces d'inertie provoquées par l'accélération ou la décélération.

### **G.5.2 Modélisation des chariots élévateurs à fourche**

(1)P Il faut tenir compte comme il convient des actions exercées par les galets sur le sol. Elles sont verticales et horizontales et composées d'effets statiques et dynamiques.

(2) Les effets dynamiques induits par différentes charges dues à des masses et à des forces d'inertie sont donnés en général par des coefficients d'amplification dynamiques  $\varphi_1$  à appliquer aux valeurs des charges statiques.

(3) Les chariots élévateurs à fourche normalisés sont répartis en 4 classes FL 1 à FL 4 se distinguant par leur poids propre, leurs dimensions et leurs masses à lever (voir figure G.1 et tableau G.1).

### **G.5.3 Modélisation des véhicules de transport**

(1) Il convient de déterminer les actions induites par des véhicules de transport se déplaçant sur le sol librement ou guidés par des rails au moyen d'un ensemble de charges par galet.

(2) Pour les équipements de transport qui se déplacent verticalement comme les ascenseurs, voir l'annexe D.

(3) Il convient d'obtenir les effets dynamiques induits par différentes charges dues à des masses et à des forces d'inertie en appliquant des coefficients d'amplification dynamiques  $\varphi_1$  aux valeurs des charges statiques.

(4) Il convient de donner les valeurs statiques des charges verticales par galet en termes de poids permanents  $G_K$  et de charges utiles variables  $Q_K$  y compris leurs spectres pour définir les coefficients de combinaison et les charges de fatigue.

### G.5.4 Equipements spéciaux d'entretien

(1) Il convient de modéliser les équipements spéciaux d'entretien en tant que charges dues aux véhicules de transport.

### G.5.5 Hélicoptères

(1) Il convient de modéliser les actions induites par les hélicoptères sur les hélisurfaces au moyen d'une charge concentrée verticale sur une aire chargée carrée. Il convient de tenir compte des effets statiques et dynamiques.

(2) Les effets dynamiques dus à l'impact peuvent généralement être exprimés en appliquant un coefficient d'amplification dynamique  $\varphi$  aux valeurs de charges statiques.

(3) Les hélicoptères normalisés sont répartis en deux classes H1 et H2 se distinguant par leur poids propre et les dimensions (voir Tableau G.2).

## G.6 Dispositions de charge

### G.6.1 Actions induites par les chariots élévateurs à fourche

(1) Pour déterminer les effets correspondants des charges verticales par galet sur le sol, il convient de tenir compte des dispositions de charge illustrées à la Figure G.1.

(2) Il convient de prendre les dimensions des chariots élévateurs à fourche dans le tableau G.1 selon leur classe applicable.

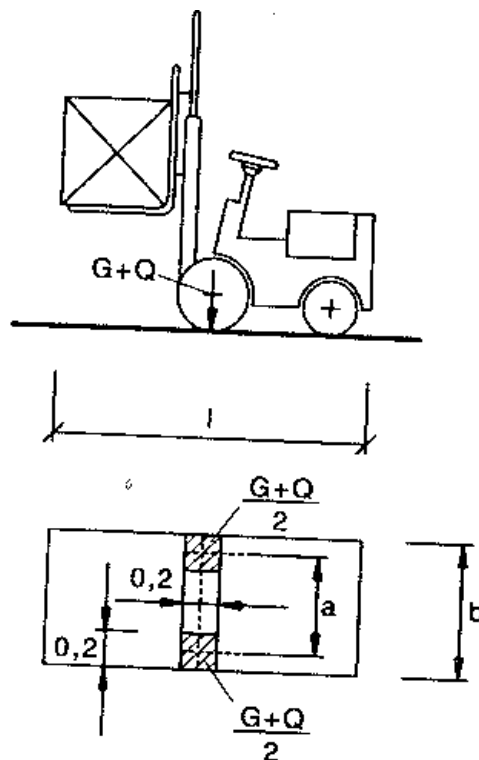


Figure G.1 – Dimensions des chariots élévateurs à fourche



**Tableau G.1 – Dimensions des chariots élévateurs à fourche selon les classes FL**

Classe du chariot élévateur à fourche	Poids permanent $G$ [kN]	Masse à lever $Q$ [kN]	Largeur moyenne $a$ [m]	Largeur hors tout $b$ [m]	Longueur hors tout $l$ [m]
FL 1	25	6	0,8	1,0	2,4
FL 2	35	10	0,8	1,0	2,8
FL 3	70	25	1,0	1,2	3,4
FL 4	130	50	1,2	1,5	3,6

### G.6.2 Actions induites par les véhicules de transport

(1) Il convient de déterminer les dispositions de charge y compris les dimensions correspondant au calcul pour chaque cas particulier.

### G.6.3 Actions induites par des équipements spéciaux d'entretien

(1) Il convient de déterminer les répartitions des charges y compris les dimensions correspondant au calcul pour chaque cas particulier.

### G.6.4 Actions induites par les hélicoptères

(1) La zone soumise aux charges verticales des hélicoptères sur les hélicoptères doivent avoir les dimensions données dans le Tableau G.2 selon la classe correspondante des hélicoptères.

**Tableau G.2 – Dimensions de la zone soumise à la charge des hélicoptères selon les classes H**

Classe d'hélicoptère	Dimensions de la zone chargée (m x m)
H1	0,2 x 0,2
H2	0,3 x 0,3

## G.7 Valeurs de charges caractéristiques

### G.7.1 Chariots élévateurs à fourche

#### G.7.1.1 Charges verticales

(1) La charge verticale par galet  $Q_k$  peut être tirée du tableau G.3 pour les chariots élévateurs à fourche (voir figure G.1) selon leur classe applicable.

(2) Pour les chariots élévateurs à fourche ayant un poids permanent supérieur à 130 kN, il convient de définir les charges au moyen d'une analyse plus précise.

(3) Le coefficient dynamique  $\phi$  à appliquer sur les charges verticales pour tenir compte des effets de l'inertie provoqués par l'accélération et la décélération peut être considéré comme égal à :

—  $\phi=1.40$  pour les pneumatiques ;

—  $\phi=2.00$  pour les bandages pleins.

**Tableau G.3 – Charges par galet des chariots élévateurs à fourche**

Classe des chariots élévateurs à fourche	Charge par galet $Q_k$ (kN)
FL 1	20
FL 2	30
FL 3	65
FL 4	120

**G.7.1.2 Charges horizontales**

(1) Les charges horizontales dues à l'accélération ou à la décélération des chariots élévateurs à fourche peuvent être considérées comme égales à 30 % des charges verticales sans appliquer de coefficient dynamique  $\phi$ .

**G.7.2 Véhicules de transport**

(1) Il convient de déterminer les charges horizontales et verticales par galet pour chaque cas particulier.

**G.7.3 Équipements spéciaux d'entretien**

(1) Il convient de déterminer les charges horizontales et verticales par galet pour chaque cas particulier.

**G.7.4 Hélicoptères**

(1) La valeur caractéristique de la charge concentrée exercée par les hélicoptères peut être tirée du tableau G.4 selon la classe des hélicoptères.

**Tableau G.4 – Charges des hélicoptères au décollage**

Classe d'hélicoptère	Charges au décollage $Q_k$ (kN)
H1	20
H2	60

(3) La valeur  $\phi=1.40$  peut être prise comme coefficient dynamique  $\phi$  à appliquer à la charge de décollage pour tenir compte des effets d'impact.

**G.8 Charges de fatigue**

**G.8.1 Chariots élévateurs à fourche**

(1) Les charges de fatigue induites par les chariots élévateurs à fourche peuvent être considérées comme suit :

$$Q_e = \phi_{fat} \lambda Q_k \tag{G.1}$$

où

$Q_k$  est la charge verticale caractéristique ;

$\lambda$  est le coefficient de dommage équivalent pour tenir compte du spectre de charge de fatigue normalisé applicable et du nombre absolu de cycles de charge par rapport à  $N = 2\,000\,000$  cycles ;

$\phi_{fat}$  est le coefficient d'impact dynamique de dommage équivalent, voir (3).

(2) Pour déterminer la valeur  $\lambda$ , l'utilisation des chariots élévateurs à fourche peut être classée en fonction des spectres normalisés et du nombre de cycles de charges comme indiqué dans les Tableaux 2.11 et 2.12.

(3)  $\varphi_{fat}$  peut être pris comme étant égal à  $\varphi=1.20$ .

### **G.8.2 Véhicules de transport**

(1) Les charges de fatigue induites par les véhicules de transport peuvent être déterminées comme prescrit en G.9.1.

### **G.8.3 Equipements spéciaux d'entretien**

(1) Les charges de fatigue induites par des équipements spéciaux peuvent en général être omises pour les travaux d'entretien.

### **G.8.4 Hélicoptères**

(1) Les charges de fatigue induites par les hélicoptères peuvent être déterminées pour chaque cas particulier.

## **G.9 Actions accidentelles**

(1) Les actions accidentelles dues aux collisions peuvent être tirées de l'ENV 1991-2-7.

## **G.10 Articles complémentaires de l'ENV 1991-1 pour les chariots élévateurs à fourche, les véhicules sur pneus ou sur rails, les équipements d'accès pour la maintenance et les hélicoptères**

### **G.10.1 Généralités**

(1) La présente annexe donne des règles concernant les coefficients partiels d'actions (coefficients  $\gamma$ ) et les charges combinées de véhicules de transport sur des poutres de roulement avec actions permanentes, actions d'un vent semi-statique, de la neige et de la température ainsi que les coefficients  $\psi$  correspondants.

(2) S'il est nécessaire de tenir compte d'autres actions (par exemple un affaissement minier), il convient de compléter les combinaisons pour les prendre en compte. Il convient également de compléter les combinaisons et de les adapter aux phases de construction.

### **G.10.2 États limites ultimes**

#### **G.10.2.1 Généralités**

(1) Pour toutes les combinaisons de charges dues aux véhicules de transport ainsi que les actions spécifiées dans d'autres parties de l'ENV 1991, ces combinaisons doivent être considérées comme une seule action.

(2) Si l'on considère des combinaisons de charges dues à des véhicules de transport avec d'autres actions, il convient de distinguer les cas suivants :

— véhicules de transport à l'extérieur des bâtiments ; les poutres de roulement sont alors totalement exposées aux actions climatiques ;

— véhicules de transport à l'intérieur de bâtiments résistant aux actions climatiques ; les éléments structuraux peuvent également être soumis directement ou indirectement aux charges des véhicules de transport.

(3) Pour les véhicules de transport situés à l'extérieur des bâtiments, l'action caractéristique du vent sur les véhicules de transport selon l'ENV 1991-2 à 4 peut être évaluée comme force caractéristique  $F_{wk}$ . Lors de l'étude des combinaisons de charges de véhicules de transport avec une action de vent, il convient de tenir compte également de la force de vent maximale compatible avec l'utilisation des véhicules. Cette force  $F_w^*$  correspond à une vitesse de vent égale à  $\boxed{20}$  m/s. Il convient de déterminer la surface de référence  $A_{ref,x}$  de la charge à lever pour le cas particulier.

(4) Pour les véhicules de transport à l'intérieur des bâtiments, les charges dues au vent et à la neige sur les véhicules peuvent être négligées ; par contre, dans les parties structurales du bâtiment subissant les charges du vent, de la neige et du véhicule, il convient de réaliser les combinaisons de charges appropriées.

(5) Il n'y a généralement pas lieu de combiner les forces horizontales dues aux véhicules avec les charges de vent.

(6) Il n'y a généralement pas lieu de combiner les effets de contraintes dues aux actions thermiques avec les charges de vent.

(7) Lorsqu'une action accidentelle est à prendre en compte, il n'y a généralement pas lieu de considérer qu'une autre action accidentelle ou une action du vent ou de la neige se produit simultanément.

**G.10.2.2 Combinaisons d'actions**

(1) Pour chaque cas critique de charge, les valeurs de calcul des effets d'actions doivent être déterminées en combinant les valeurs des actions qui se produisent simultanément. 9.4.2 de l'ENV 1991-1 s'applique.

**G.10.2.3 Coefficients partiels pour les véhicules de transport**

(1) Pour les vérifications dictées par la résistance du matériau structural ou du sol, le tableau G.5 donne les coefficients partiels des actions pour les états limites ultimes dans les situations persistantes, transitoires et accidentelles de calcul.

NOTE Le tableau G.5 et les notes suivantes couvrent les cas B et C spécifiés pour les bâtiments dans le tableau 9.2 de l'ENV 1991-1. Pour le cas A, voir (2) ci-dessous.

**Tableau G.5 – Coefficients partiels**

Action	Symbole	Situation	
		P/T	A
Actions permanentes			
Défavorables	$\gamma_{Gsup}$	$\boxed{1,35}$	$\boxed{1,00}$
Favorables	$\gamma_{Ginf}$		
En cas de présence		$\boxed{1,00}$	$\boxed{1,00}$
en cas d'absence		$\boxed{0}$	$\boxed{0}$
les actions variables	$\gamma_Q$		
défavorables		$\boxed{1,35}$	$\boxed{1,00}$
favorables		$\boxed{0}$	$\boxed{0}$
autres actions variables	$\gamma_Q$		
défavorables		$\boxed{1,50}$	$\boxed{1,00}$
favorables		$\boxed{0}$	$\boxed{0}$
Actions accidentelles	$\gamma_A$		$\boxed{1,00}$
P – Situation persistente    T – Situation transitoire    A – Situation accidentelle.			

(2) Pour des vérifications concernant la perte d'équilibre statique et le soulèvement des paliers, il convient de considérer les parties favorables et défavorables des actions permanentes comme des actions individuelles et, sauf spécification contraire (voir en particulier les Eurocodes de calcul correspondants), il convient d'associer les parties défavorables et favorables respectivement avec  $\gamma_{Gsup} = 1,00$  et  $\gamma_{Ginf} = 0,95$ . Les autres coefficients partiels sur les actions (surtout sur les actions variables) sont comme en (1).

#### G.10.2.4 Coefficients $\psi$ pour les charges des véhicules de transport

(1) Sauf spécification contraire (par exemple dans les parties appropriées de l'ENV 1991 traitant des actions spécifiques), le tableau G.6 donne les coefficients  $\psi$  pour les actions induites par les charges d'appareils de levage.

**Tableau G.6 – Coefficients  $\psi$  pour les charges dues aux véhicules**

Action	Symbole	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Actions induites par les véhicules	$F_S$	1,00	0,90	0
Force de vent	$F_{wK}$	0,30	0,50	0
	$F_w^*$	1,00	0	0
Effets de la température	$T_K$	0	0,60	0,50

## CORRIGENDUM à l'ENV 1991-5

### 1.1.2 Modifier

« La partie 5 de l'ENV 1991 prescrit les charges d'exploitation (modèles et valeurs représentatives) causées par les appareils de levage à charge suspendue sur les chemins de roulement... »

*Raison : il convient de préciser qu'il s'agit des actions causées par les appareils de levage à charge suspendue (traduction de « crane » pour le CEN/TC 147) et pas des actions causées à l'appareil de levage. Il est important d'ajouter « à charge suspendue » afin de bien exclure les transtockeurs, les tables élévatrices.*

(3) Modifier :

« appareils de levage à charge suspendue sur les chemins de roulement »

#### 1.4.1.2

Ajouter au titre « à charge suspendue »

Modifier

« ... à l'exclusion toutefois de l'équipement de préhension, du moufle inférieur et d'une des parties des câbles ou chaînes suspendus, des mécanismes de levage mus par la structure de l'appareil de levage à charge suspendue »

#### 1.4.1.8

Remplacer « chariot porte palan » par « palan avec chariot »

#### 1.4.1.10

Remplacer par

« - poutre de roulement pour palan avec chariot

Poutre de roulement prévue pour supporter un palan avec chariot capable de se déplacer sur son aile inférieure »

#### Figure 1.2

Légende 2 remplacer par « palan avec chariot »

Idem pour le titre

#### Figure 1.3

Modifier le titre voir figure 1.2

### Section 2

Remplacer dans l'ensemble de la section 2 « appareils de levage » par « appareils de levage à charge suspendue »

#### 2.2.3

(1) remplacer « accessoires de levage » par « équipements de préhension »

(2) remplacer « courantes » par « classiques »

#### Tableau 2.1

Remplacer pour  $\phi 6$  « transmissions » par « systèmes d'entraînement »

#### Tableau 2.2

3) remplacer « accélération de la poutre » par « accélération »

4) remplacer « Marche en crabe de la poutre » par « Marche en crabe »

#### 2.5

Remplacer « chariot porte palan » par « palan avec chariot »

#### 2.7.3

(3) Remplacer «  $\mu = 0,5$  pour acier sur acier caoutchouc » par «  $\mu = 0,5$  pour bandage élastomère sur acier »

#### 2.9.2

Remplacer « garde fou » par « main courante »

#### G.2.1

Remplacer « galets » par « roues » et « rails » par « mats »

#### G.5.2

(1) remplacer « galets » par « roues »

(3) remplacer « normalisés » par « standards »

#### G.6.1

Remplacer « galet » par « roue »

#### Tableau G.1

Remplacer « poids permanent » par « poids propre »

Remplacer « masse à lever » par « capacité nominale »

#### G.7.1

Remplacer « galet » par « roue »

Remplacer « poids permanent » par « poids propre »

#### Tableau G.3

Remplacer « charge par galet » par « charge sur l'essieu avant »