



## **NF EN 16481**

**Escaliers en bois Conception de la structure Méthodes de calcul - -**

**Ce document AFNOR est à usage exclusif et non collectif.**

**Il est mis à votre disposition pour une durée de 3 mois**

**dans le cadre des travaux de la Commission**

**BNBA/BF 018**

**La mise en réseau, la reproduction et la rediffusion sous quelque forme que ce soit, même partielle, sont strictement interdites.**

---

# norme française

**NF EN 16481**  
30 Août 2014

Indice de classement : P 21-217

---

ICS : 79.080 ; 91.060.30

## **Escaliers en bois — Conception de la structure — Méthodes de calcul**

E : Timber stairs — Structural design — Calculation methods  
D : Holztreppe — Konstruktionsentwürfe — Berechnungsmethoden

---

### ***Norme française homologuée***

par décision du Directeur Général d'AFNOR.

---

***Correspondance*** La Norme européenne EN 16481:2014 a le statut d'une norme française.

---

***Résumé*** Le présent document permet la conception par des méthodes de calcul des escaliers en bois ainsi que des éléments en bois ou en panneaux à base de bois utilisés dans les escaliers.

***Descripteurs*** **Thésaurus International Technique** : ESCALIER, PRODUIT EN BOIS, MARCHE D'ESCALIER, CONCEPTION, STRUCTURE, CALCUL, ASSEMBLAGE, MODELE, VERIFICATION, CARACTERISTIQUE MECANIQUE, DEFORMATION, LIMITE.

---

### ***Modifications***

### ***Corrections***

---

## La norme

---

**La norme** est destinée à servir de base dans les relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux.

La norme par nature est d'application volontaire. Référencée dans un contrat, elle s'impose aux parties. Une réglementation peut rendre d'application obligatoire tout ou partie d'une norme.

**La norme est un document élaboré par consensus** au sein d'un organisme de normalisation par sollicitation des représentants de toutes les parties intéressées. Son adoption est précédée d'une enquête publique.

La norme fait l'objet d'un examen régulier pour évaluer sa pertinence dans le temps.

Toute norme est réputée en vigueur à partir de la date présente sur la première page.

---

## Pour comprendre les normes

---

L'attention du lecteur est attirée sur les points suivants :

Seules les formes verbales **doit et doivent** sont utilisées pour exprimer une ou des exigences qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Ces exigences peuvent se trouver dans le corps de la norme ou en annexe qualifiée de «normative». Pour les méthodes d'essai, l'utilisation de l'infinitif correspond à une exigence.

Les expressions telles que, **il convient et il est recommandé** sont utilisées pour exprimer une possibilité préférée mais non exigée pour se conformer au présent document. Les formes verbales **peut et peuvent** sont utilisées pour exprimer une suggestion ou un conseil utiles mais non obligatoires, ou une autorisation.

En outre, le présent document peut fournir des renseignements supplémentaires destinés à faciliter la compréhension ou l'utilisation de certains éléments ou à en clarifier l'application, sans énoncer d'exigence à respecter. Ces éléments sont présentés sous forme de **notes ou d'annexes informatives**.

---

## Commission de normalisation

---

Une commission de normalisation réunit, dans un domaine d'activité donné, les expertises nécessaires à l'élaboration des normes françaises et des positions françaises sur les projets de norme européenne ou internationale. Elle peut également préparer des normes expérimentales et des fascicules de documentation.

**Si vous souhaitez commenter ce texte, faire des propositions d'évolution ou participer à sa révision**, adressez vous à <norminfo@afnor.org>.

La composition de la commission de normalisation qui a élaboré le présent document est donnée ci-après. Lorsqu'un expert représente un organisme différent de son organisme d'appartenance, cette information apparaît sous la forme : organisme d'appartenance (organisme représenté).

---

## Escaliers en bois

## BNBA BF 018

### Composition de la commission de normalisation

Président : M HENRY

Secrétariat : M RAVASSE – BNBA

M	AGNET	BOTEMO
M	BERHAULT	ESCALIERS FLIN SA
M	BLERON	UNIVERSITE LORRAINE
M	BRUNET	ENTREPRISE CORDIER
M	CAUCHARD	UMB FFB
M	CHALOPET	CNIEFEB
M	DEBRET	DEBRET ESCALIERS
M	DURAND	LEROY MERLIN
M	FERET	AFFEB FIBC
M	GRAISSAGUEL	FCBA
M	HENRY	FCBA
M	HURPEAU	HURPEAU MOUSIST SARL
M	JOUANINE	ESCARMOR SARL
M	JUVENELLE	ESCAO
M	LABY	DANESTEL
M	LEMAGOROU	FCBA
M	LEMONNIER	LAPEYRE
M	MARMORET	CAPEB
M	MARTIN	ATIBT
M	MARTINEZ	ESCALIERS FLIN SA
M	MILLEREUX	FIBC
M	MOIZARD	BELLIER SAS
M	MOLLET	LEROY MERLIN
M	MOREAU	ETS DAVY
M	NIVANEN	ESCALIERS SMT
M	PAJANIRADJA	MINISTERE ECOLOGIE ET DEVELOPPEMENT DURABLE
M	PARQUIER	UMB FFB
M	PERSON	ADEO SERVICES
M	PEYRET	MENUISERIE MAGNIN-ESCADIRECT
M	PINCON	BNTEC
M	PLASSE	ESCALIERS PLASSE
M	ROSSI	C4CI SARL
M	SORAVIA	MENUISERIE MAGNIN-ESCADIRECT



NORME EUROPÉENNE  
EUROPÄISCHE NORM  
EUROPEAN STANDARD

**EN 16481**

Juin 2014

ICS 91.060.30

Version Française

## Escaliers en bois - Conception de la structure - Méthodes de calcul

Holztreppen - Bauplanung - Berechnungsmethoden

Timber stairs - Structural design - Calculation methods

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 17 avril 2014.

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

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

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Ancienne République yougoslave de Macédoine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.



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

**CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Bruxelles**

EN 16481:2014 (F)

<b>Sommaire</b>	Page
Avant-propos.....	3
1 <b>Domaine d'application</b> .....	4
2 <b>Références normatives</b> .....	6
3 <b>Termes et définitions, symboles des formules et unités SI</b> .....	6
3.1 <b>Termes et définitions</b> .....	6
3.2 <b>Notation des symboles des formules</b> .....	7
3.3 <b>Unités SI</b> .....	10
4 <b>Principes de vérification des caractéristiques de performances mécaniques</b> .....	11
4.1 <b>Caractéristiques de performances à vérifier</b> .....	11
4.2 <b>Actions types</b> .....	11
4.3 <b>Combinaisons d'actions significatives</b> .....	12
4.3.1 <b>Généralités</b> .....	12
4.3.2 <b>Combinaisons d'actions pertinentes pour la vérification de la facilité d'usage/apptitude au service</b> .....	12
4.3.3 <b>Combinaison d'actions pour la vérification de la capacité portante</b> .....	12
4.4 <b>Résistance portante dans le cadre de la vérification de la capacité portante</b> .....	13
5 <b>Détermination des contraintes mécaniques (contraintes résultantes et déformations)</b> .....	13
5.1 <b>Généralités</b> .....	13
5.2 <b>Systèmes statiques et sections - propriétés des sections pour les marches d'escaliers</b> .....	16
5.2.1 <b>Marches droites sans contremarche</b> .....	16
5.2.2 <b>Marches droites avec contremarche</b> .....	17
5.2.3 <b>Marches balancées</b> .....	18
5.2.4 <b>Marches d'angle</b> .....	21
5.3 <b>Systèmes statiques pour les limons d'escalier et les caractéristiques de leur section transversale</b> .....	23
5.3.1 <b>Limons entaillés</b> .....	23
5.3.2 <b>Crémaillère</b> .....	26
5.4 <b>Modèles de calcul des assemblages</b> .....	30
5.4.1 <b>Généralités</b> .....	30
5.4.2 <b>Modélisation des assemblages marche-limon</b> .....	31
5.4.3 <b>Modélisation des assemblages limon-angle</b> .....	42
5.4.4 <b>Modélisation des assemblages à la construction</b> .....	44
5.5 <b>Modélisation des charges</b> .....	46
5.5.1 <b>Modélisation des charges permanentes</b> .....	46
5.5.2 <b>Modélisation de la charge verticale variable uniformément répartie <math>q_{k,1}</math></b> .....	47
5.5.3 <b>Modélisation de la charge horizontale variable et uniformément répartie <math>q_{k,2}</math></b> .....	49
6 <b>Vérification à l'état limite de facilité d'usage</b> .....	50
6.1 <b>Généralités</b> .....	50
6.2 <b>Valeurs limites de déformations</b> .....	50
6.3 <b>Vérification de l'oscillation</b> .....	51
7 <b>Vérification à l'état limite de capacité portante</b> .....	51
7.1 <b>Généralités</b> .....	51
7.2 <b>Vérification de la capacité portante des sections transversales</b> .....	51
7.3 <b>Vérification de la capacité portante des assemblages</b> .....	52
7.3.1 <b>Vérification de la capacité portante des assemblages marche-limon</b> .....	52
7.3.2 <b>Vérification de la capacité portante des assemblages limon-angle</b> .....	53
7.4 <b>Vérification de la capacité portante des assemblages d'éléments</b> .....	55
Bibliographie .....	56

## Avant-propos

Le présent document (EN 16481:2014) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 175 "Bois ronds et bois sciés", dont le secrétariat est tenu par AFNOR.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en Décembre 2014, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en Décembre 2014.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CEN et/ou le CENELEC ne saurait [sauraient] être tenu[s] pour responsable[s] de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence

Le présent document tient compte des normes suivantes :

- EN 1990;
- EN 1991-1-1;
- EN 1995-1-1.

Le présent document s'adresse aux concepteurs de structures afin qu'ils conçoivent les escaliers en bois à l'aide d'une méthode européenne commune ; le cas échéant, il convient qu'il soit utilisé par les PME comme une alternative aux essais.

La présente norme européenne tient compte de l'état actuel de la technique pour ce qui concerne la sécurité, les hypothèses de charge, la détermination des contraintes résultantes ainsi que le dimensionnement dans le domaine de la technologie du bois.

Les exigences et les procédures de vérification essentielles pour la vérification des caractéristiques de performances mécaniques, de l'aptitude au service et de la capacité portante des escaliers et de leurs éléments sont compilées et décrites dans les articles suivants.

Les caractéristiques de performances mécaniques des escaliers peuvent être vérifiées par les méthodes suivantes :

- essais des escaliers dans leur intégralité ou en partie ;
- vérification mathématique sur la base d'analyses de structure réalisées selon les principes de la présente norme européenne ;
- évaluation fondée sur l'expérience : performances conventionnelles acceptées (PCA) qui peuvent être définies dans des documents nationaux.

Toutes les méthodes présentent une validité équivalente.

Le présent document doit être lu conjointement à l'EN 15644.

Selon le Règlement Intérieur du CEN-CENELEC les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Ancienne République Yougoslave de Macédoine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.



## EN 16481:2014 (F)

### 1 Domaine d'application

La présente Norme Européenne constitue une norme cadre pour la conception, par des méthodes de calcul, des escaliers en bois ainsi que des éléments en bois et à base de bois utilisés dans les escaliers. Certaines méthodes de calcul peuvent être issues de résultats d'essai, par exemple la CEN/TS 15680. Le présent document spécifie la conception et les exigences relatives aux matériaux et aux éléments à utiliser dans ces méthodes de calcul. Il peut être complété par des documents d'application nationaux fondés sur la présente norme européenne.

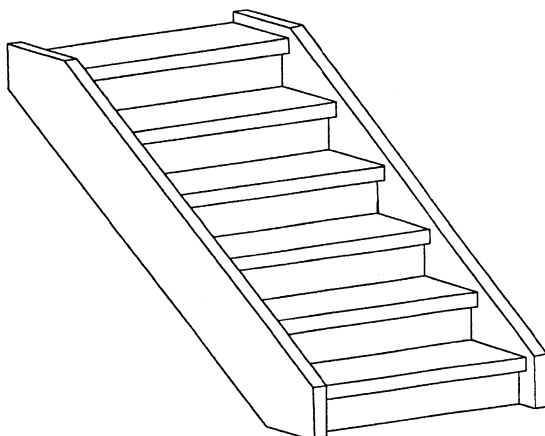
La présente Norme Européenne s'applique aux éléments revêtus et non revêtus. Le présent document couvre les éléments porteurs tels que limons, marches, contremarches, poteaux, mains courantes et balustrades. Les exigences relatives à un escalier en bois sont définies dans la norme de produit EN 15644. Le présent document ne traite pas des escaliers qui contribuent à la stabilité générale de l'ouvrage ou à la résistance de la structure.

La présente Norme Européenne est valable pour la vérification des caractéristiques de performances mécaniques, la facilité d'usage et la capacité portante ainsi que leur durabilité associée. Les autres exigences, par exemple les exigences relatives aux propriétés acoustiques, ne sont pas traitées dans la présente norme européenne.

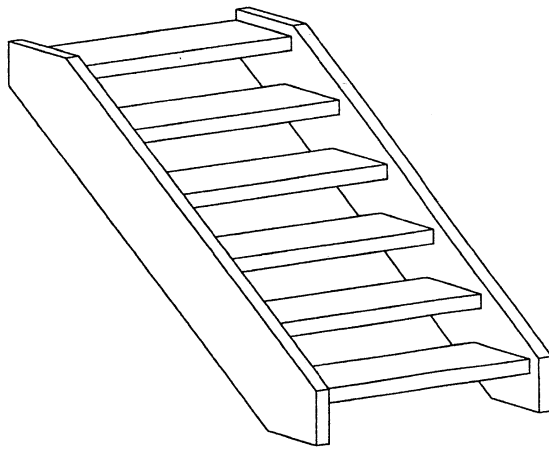
Pour la conception, le calcul et la détermination des actions qui ne sont pas uniquement des actions de repos, des exigences supplémentaires doivent être prises en compte (à vérifier).

Pour le dimensionnement avec une référence particulière à la résistance au feu et à l'action sismique, des exigences supplémentaires peuvent être prises en compte.

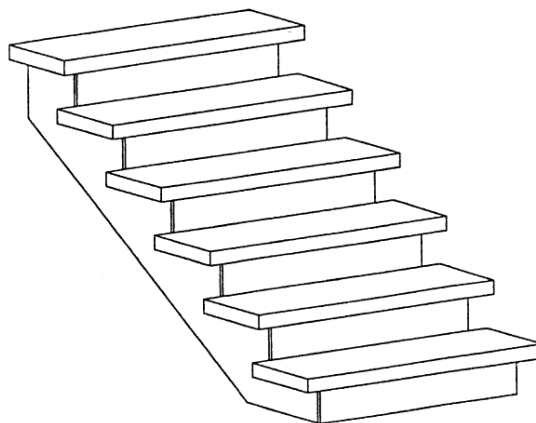
Sans vérification supplémentaire, les informations suivantes sont valables pour différents types de structures d'escaliers et leurs éléments, tels qu'illustrés dans la Figure 1 suivante :



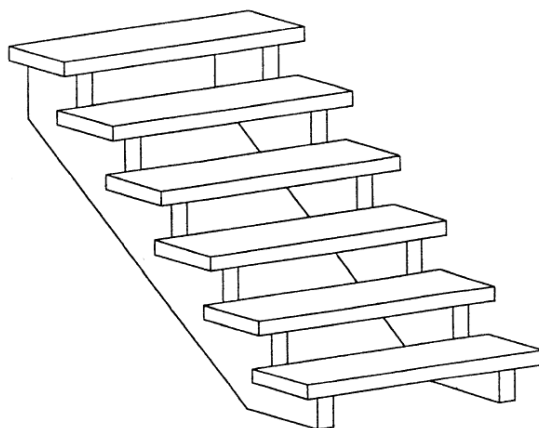
a) Escalier avec limons entaillés et contremarches



**b) Escalier avec limons entaillés sans contremarche**

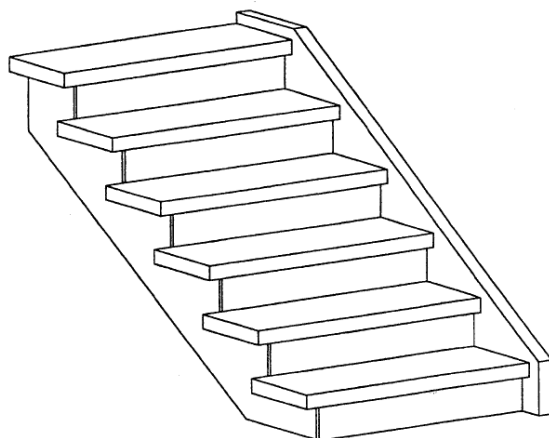


**c) Escalier avec crémaillères et contremarches**



**d) Escalier avec crémaillères sans contremarches**

## EN 16481:2014 (F)



### e) Combinaison d'escaliers avec limon entaillé et crémaillère avec ou sans contremarches

Figure 1 — Types de structure d'escaliers et leurs éléments

## 2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence (y compris les éventuels amendements) s'applique.

EN 338, *Bois de structure — Classes de résistance*

EN 1990, *Eurocode — Bases de calcul des structures*

EN 1991-1-1:2002, *Eurocode 1 — Actions sur les structures — Partie 1-1 : Actions générales — Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments*

EN 1993-1-1, *Eurocode 3 — Conception et calcul des structures en métal — Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments*

EN 1995-1-1, *Eurocode 5 — Conception et calcul des structures en bois — Partie 1-1 : Généralités — Règles communes et règles pour les bâtiments*

NOTE L'Eurocode inclut ses Documents d'Application Nationaux (DAN).

EN 14076, *Escaliers en bois — Terminologie*

EN 15644, *Escaliers préfabriqués de conception traditionnelle en bois massif – Spécifications et exigences*

EN ISO 80000-1, *Quantités et unités –Partie 1 : Généralités (ISO 80000-1)*

## 3 Termes et définitions, symboles des formules et unités SI

### 3.1 Termes et définitions

Pour l'application du présent document, les termes et définitions indiquées dans les normes EN 1990, EN 1995-1-1 et EN 14076 s'appliquent ainsi que les suivants.

NOTE Les termes généraux utilisés dans le contexte des actions et de la résistance ainsi que les termes se rapportant au concept de sécurité sont indiquées dans l'EN 1990.

Les termes spécifiques valables utilisés dans le domaine de la construction en bois sont donnés dans l'EN 1995-1-1.

Les termes spécifiques concernant la construction des escaliers sont donnés dans l'EN 14706.

### 3.1.1

#### Renfort dans un assemblage avec des tiges

système conçu pour éviter des efforts de torsions dans les limons

EXEMPLE Vis, pointes, colles

### 3.2 Notation des symboles des formules

Dans la plupart des cas, la notation des symboles des formules consiste en un symbole principal (indicateur principal) et un ou plusieurs indicateurs en indice. La liste suivante définit la notation la plus courante. L'explication de toute notation complémentaire suit immédiatement la formule dans laquelle elle apparaît ou est décrite dans le texte associé.

$\alpha$	penne de l'escalier
$\gamma$	coefficient partiel de sécurité pour les charges
$\varphi_x$	angle de torsion autour de l'axe x
$\varphi_y$	angle de torsion autour de l'axe y
$\varphi_z$	angle de torsion autour de l'axe z
$\gamma_M$	coefficient partiel de sécurité pour une propriété du matériau
$\Psi_0$	coefficient de combinaison de charge
$A$	aire de la section transversale
$A_y$	aire de la section transversale de cisaillement dans la direction de l'axe y
$A_z$	aire de la section transversale de cisaillement dans la direction de l'axe z
$A_{\text{renfort}}$	aire de la section transversale du renfort
$A_{\text{limon}}$	aire calculée de la section transversale du limon
$A_{\text{limon,I-I}}$	aire réelle de la section transversale du limon dans la section I-I
$A_{\text{limon,III-III}}$	aire réelle de la section transversale du limon dans la section III-III
$A_{y,\text{limon}}$	aire calculée projetée du limon dans la direction de l'axe y
$A_{z,\text{limon}}$	aire calculée projetée du limon dans la direction de l'axe z
angle <sub>i</sub>	trait de liaison à l'angle du limon inférieur
angle <sub>i+1</sub>	trait de liaison à l'angle du limon supérieur
$D_{\text{max}}$	distance maximale entre le bord inférieur du limon et le bord inférieur de l'entaille
$D_{\text{moyenne}}$	valeur moyenne de $D_{\text{max}}$ et $D_{\text{min}}$
$D_{\text{min}}$	distance minimale entre le bord supérieur du limon et le bord supérieur de l'entaille
$d$	épaisseur de la section transversale, indice pour la valeur nominale
$d_{\text{logement}}$	profondeur de l'entaille
$d_{\text{marche}}$	épaisseur de la marche
$d_{\text{limon}}$	épaisseur du limon
$E$	module d'élasticité
$e$	excentricité
$EA$	résistance à la traction d'un élément
$E_d$	valeur d'influence concernant la vérification
$EI_y$	résistance à la flexion autour de l'axe y

## EN 16481:2014 (F)

$EI_z$	résistance à la flexion autour de l'axe z
$EI_{y,marche}$	résistance à la flexion de la marche autour de l'axe y
$EI_{z,marche}$	résistance à la flexion de la marche autour de l'axe z
$e_{marche}$	distance entre la verticale de la marche et la verticale idéale de la crémaillère
$F$	force, charge ponctuelle
$f_1$	fréquence fondamentale
$G$	module de rigidité
$GA_y$	résistance au cisaillement d'un élément dans la direction de l'axe y
$GA_z$	résistance au cisaillement d'un élément dans la direction de l'axe z
$GI_t$	résistance à la torsion d'un élément
$G_k$	action permanente de la construction, y compris les fixations
$g$	giron
$H$	charge variable agissant horizontalement
$h$	hauteur de la section transversale
$h_{balustrade}$	distance entre la charge horizontale sur la main courante et la marche
$h_{max}$	hauteur réelle maximale de la section de la crémaillère
$h_{min}$	hauteur réelle minimale de la section de la crémaillère
$h_{c,limon,max}$	distance réelle maximale verticale entre le haut de la crémaillère et le bord inférieur du limon
$h_{c,limon,min}$	distance réelle minimale verticale entre le haut de la crémaillère et le bord inférieur du limon
$h_{crémaillère}$	hauteur maximale de la surface de la crémaillère ( $h_{crémaillère} = h_{max} - h_{min}$ )
$h_{limon}$	hauteur du limon
$h_{entaille}$	hauteur de l'entaille
$h^*_{c,limon}$	distance calculée verticale entre le haut de la crémaillère et le bord inférieur du limon
$h^*_{limon}$	hauteur calculée de la crémaillère
$H^*_{limon}$	projection verticale de la hauteur calculée de la crémaillère
$H^*_{c,limon}$	projection verticale de la distance calculée verticale entre le haut de la crémaillère et le bord inférieur du limon
$I$	moment d'inertie
$I_{renfort}$	moment d'inertie calculé du renfort lié à des escaliers comportant des crémaillères
$I_t$	moment d'inertie en torsion
$I_{t,limon}$	moment d'inertie en torsion calculé du limon
$I_y$	moment d'inertie autour de l'axe y
$I_{y,limon}$	moment d'inertie calculé du limon autour de l'axe y
$I_{y,limon, I-I}$	moment d'inertie réel du limon autour de l'axe y dans la section I-I
$I_{y,limon, III-III}$	moment d'inertie réel du limon autour de l'axe y dans la section III-III
$I_z$	moment d'inertie autour de l'axe z
$I_{z,limon}$	moment d'inertie calculé du limon autour de l'axe z
$k$	raideur du ressort
$k^D$	raideur du ressort de torsion
$k^D_y$	raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe y
$k^D_z$	raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe z
$k^F$	raideur du ressort à la traction
$k_m$	coefficient
$k_{mod}$	coefficient de modifications qui prend en compte l'impact de la classe de service et la durée de la charge sur les propriétés de résistance
$K_{forme}$	coefficient prenant en compte la forme de la section transversale
$L$	longueur de la section transversale ou longueur système

$L_a$	longueur d'appui calculée du côté mur d'une marche d'angle avant le coin
$L_b$	longueur d'appui calculée du côté mur d'une marche d'angle après le coin
$L_c$	longueur d'appui calculée du côté extérieur d'une marche d'angle avant le coin
$L_d$	longueur d'appui calculée du côté extérieur d'une marche d'angle après le coin
$L_{\text{porte-à-faux}}$	longueur calculée du débord pour une marche sur crémaillère
$L_{\text{crémaillère}}$	longueur maximale de la surface de la crémaillère
$L_{\text{charge}}$	longueur de la charge linéaire réelle
$L_{\text{escalier}}$	longueur de l'escalier
$L_{\text{marche}}$	portée calculée d'une marche
$M$	moment, moment fléchissant, charge ponctuelle
$M_{k,1}$	masse nette de la structure, y compris toutes les fixations
$M_{k,2}$	masse individuelle
$M_{\text{main courante},k}$	moment caractéristique fléchissant pour la modélisation statistique de la charge sur la main courante
$M_{x,d,\text{angle}_i}$	moment caractéristique de torsion appliqué autour de l'axe x avant le coin dû aux combinaisons de charges
$M_{x,d,\text{angle}_{i+1}}$	moment caractéristique de torsion appliqué autour de l'axe x après le coin dû à la combinaison de charges
$M_{x,Rd,\text{angle}_i}$	valeur obtenue de la torsion enregistrable déterminée par des essais de la liaison
$M_{x,d,\text{marche}}$	moment caractéristique de torsion appliqué au début du plan de marche ou à l'extrémité, dû à la combinaison de charges
$M_{x,Rd,\text{marche}}$	valeur obtenue de la torsion enregistrable dans le plan de marche déterminée par essai ou calcul
$M_{y,d,\text{angle}_i}$	moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe y avant le coin, dû aux combinaisons de charges
$M_{y,\text{angle}_{i+1}}$	moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe y après le coin, dû aux combinaisons de charges
$M_{y,Rd,\text{angle}_i}$	valeur obtenue du moment fléchissant absorbable dans l'assemblage autour de l'axe y, déterminé par des essais (angle)
$M_{y,d,\text{marche}}$	moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe y au début de la marche ou à son extrémité, dû aux combinaisons de charges
$M_{y,Rd,\text{marche}}$	valeur obtenue du moment fléchissant absorbable dans l'assemblage autour de l'axe y, déterminé par des essais (marche)
$M_{z,d,\text{angle}_i}$	moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe z avant le coin, dû aux combinaisons de charges
$M_{z,\text{angle}_{i+1}}$	moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe z après le coin, dû aux combinaisons de charges
$M_{z,Rd,\text{angle}_i}$	valeur obtenue du moment fléchissant absorbable dans l'assemblage autour de l'axe z, déterminé par des essais (angle)
$M_{z,d,\text{marche}}$	moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe z au début de la marche ou à son extrémité, dû aux combinaisons de charges
$M_{z,Rd,\text{marche}}$	valeur obtenue du moment fléchissant absorbable dans l'assemblage autour de l'axe z, déterminé par des essais (marche)
$m_{\text{inférieur}}$	marges inférieures
$m_{\text{supérieur}}$	marges supérieures
$o$	recouvrement
$Q$	action variable, charge ponctuelle
$Q_{k,1}$	charge ponctuelle concentrée
$q$	action variable, charge uniformément répartie
$q_{k,1}$	charge verticale uniformément répartie

## EN 16481:2014 (F)

$q_{k,2}$	charge horizontale uniformément répartie
$q_{k,\text{gauche}}$	valeur maximale d'une charge linéaire variable qui doit être appliquée sur une marche rayonnante
$q_{k,\text{droite}}$	valeur minimale d'une charge linéaire variable qui doit être appliquée sur une marche rayonnante
$r$	hauteur de marche
$T_{d,\text{renfort}}$	force de traction caractéristique dans le renfort due aux combinaisons de charges
$T_{Rd,\text{renfort}}$	valeur obtenue de la force de traction absorbable dans le renfort, déterminée par des essais ou par calcul
$u, v, w$	déformation, flèche
$w$	largeur de section
$w_1$	largeur réelle de la marche du côté extérieur
$w_{1,\text{id}}$	largeur idéale de la marche du côté extérieur
$w_2$	largeur réelle de la marche du côté mur
$w_{2,\text{id}}$	largeur idéale de la marche du côté mur
$w_{i,\text{escalier}}$	emmarchement
$w_{av,\text{id}}$	valeur moyenne des largeurs de marche idéales
$w_{\text{escalier}}$	largeur de volée
$w_{\text{marche}}$	profondeur de marche
$w_G$	déformation verticale due à une action permanente
$w_{q,k1}$	déformation verticale due à une charge verticale variable uniformément répartie
$w_{Q,k1}$	déformation verticale due à une charge verticale ponctuelle de 2 kN dans une position défavorable
$X$	propriété d'un matériau de construction
$X_k$	valeur caractéristique d'une propriété d'un matériau
$X_{Rd}$	valeur théorique d'une propriété d'un matériau
$x, y, z$	coordonnées
$x_{\text{renfort}}$	coordonnées sur axe x du renfort
$y_{\text{renfort}}$	coordonnées sur axe y du renfort
$z_{\text{renfort}}$	coordonnées sur axe z du renfort
$x_{\text{limon}}$	coordonnées sur axe x du limon
$y_{\text{limon}}$	coordonnées sur axe y du limon
$z_{\text{limon}}$	coordonnées sur axe z du limon
$x_{\text{marche}}$	coordonnées sur axe x de la marche
$y_{\text{marche}}$	coordonnées sur axe y de la marche
$z_{\text{marche}}$	coordonnées sur axe z de la marche

### 3.3 Unités SI

Les unités SI doivent être utilisées conformément à l'EN ISO 80000-1.

Pour les calculs, les unités suivantes doivent être utilisées :

— forces et charges :	kN, kN/m, kN/m <sup>2</sup> ;
— masse volumique apparente :	kN/m <sup>3</sup> ;
— masse volumique :	kg/m <sup>3</sup> ;
— traction, contrainte et stabilité :	N/mm <sup>2</sup> (= MN/m <sup>2</sup> ou MPa);
— modules d'élasticité et de rigidité :	N/mm <sup>2</sup> (= MN/m <sup>2</sup> ou MPa);

— moments (moment fléchissant) : kNm.

## 4 Principes de vérification des caractéristiques de performances mécaniques

### 4.1 Caractéristiques de performances à vérifier

L'obtention des caractéristiques de performances mécaniques suivantes doit être vérifiée :

- a) **Facilité d'usage/aptitude au service** – un escalier est considéré satisfaisant à cette exigence lorsque :
- 1) sous les actions appliquées, la déformation de l'escalier dans son ensemble et/ou de parties de celui-ci (par exemple marches et limons) ne doit en aucun point dépasser les valeurs de déformation maximale définies dans l'EN 1995-1-1 (Eurocode 5) et le Document National d'Application (DNA) le cas échéant,
  - 2) sous l'action appliquée, la plus basse fréquence propre de l'escalier dans son ensemble doit respecter la valeur définie dans l'EN 1995-1-1 (Eurocode 5) et le Document National d'Application (DNA) le cas échéant.
- b) **Capacité portante** – un escalier est considéré satisfaisant à cette exigence lorsque :
- 1) l'usage effectif de l'escalier dans son ensemble ou de l'un de ses éléments individuels sous les actions appliquées ne doit dépasser en aucun point les valeurs maximales fixées à l'échelle nationale pour ce qui concerne l'usage admissible.

La satisfaction des deux caractéristiques de performances doit être vérifiée. Dans le cadre de l'évaluation des résultats, le cas le plus défavorable est significatif.

Les escaliers évalués selon l'expérience, par exemple à partir de performances acceptées par convention (CAP) peuvent être acceptés selon des décisions nationales.

### 4.2 Actions types

Les types et valeurs des actions devant être appliquées suivent les indications données dans l'EN 1991-1-1 et sont combinés avec les réglementations nationales pertinentes. Pour vérifier les caractéristiques de performances mécaniques des escaliers, les types d'action suivants doivent être pris en compte :

- $G_k$  Poids propre de la construction, y compris toutes les fixations conformément à l'EN 1991-1-1:2002, Article 5
- $q_{k,1}$  Charge verticale uniformément répartie [kN/m<sup>2</sup>] conformément à l'EN 1991-1-1:2002, 6.3  
En l'absence d'autre valeur nationale, la valeur par défaut doit être appliquée, à savoir  $q_{k,1} = 3 \text{ kN/m}^2$ .
- $Q_{k,1}$  Charge ponctuelle concentrée [kN] conformément à l'EN 1991-1-1:2002, 6.3  
En l'absence d'autre valeur nationale, la valeur par défaut doit être appliquée, à savoir  $Q_{k,1} = 2 \text{ kN}$ .
- $q_{k,2}$  Charge horizontale uniformément répartie [kN/m] conformément à l'EN 1991-1-1:2002, 6.4  
En l'absence d'autre valeur nationale, la valeur par défaut doit être appliquée, à savoir  $q_{k,2} = 0,5 \text{ kN/m}$ .
- $M_{k,1}$  Masse permanente de la construction, y compris la masse de toutes les fixations
- $M_{k,2}$  Masse unique pour la fréquence fondamentale.  
En l'absence d'autre valeur nationale, la valeur par défaut doit être appliquée, à savoir  $M_{k,2} = 1 \text{ kN}$ .



## EN 16481:2014 (F)

### 4.3 Combinaisons d'actions significatives

#### 4.3.1 Généralités

Les types et les valeurs des combinaisons d'actions sont choisis sur la base de l'EN 1991-1-1 en combinaison avec les réglementations nationales pertinentes. Pour vérifier les caractéristiques de performances mécaniques d'un escalier préfabriqué ou de l'un de ses éléments, les combinaisons d'actions types suivantes doivent être examinées.

En l'absence de valeurs nationales, les valeurs par défaut données ci-après doivent être appliquées.

#### 4.3.2 Combinaisons d'actions pertinentes pour la vérification de la facilité d'usage/apptitude au service

La vérification de la facilité d'usage/apptitude au service doit être effectuée en utilisant trois combinaisons d'actions :

- 1) Combinaison d'actions « **Déformation**  $q_{k,1}$  »  
Les actions significatives  $E_d$  consistent en  
$$E_d = E\{1,0 \cdot G_k + 1,0 \cdot q_{k,1}\} \quad (1)$$
- 2) Combinaison d'actions « **Déformation**  $Q_{k,1}$  »  
Les actions significatives  $E_d$  consistent en  
$$E_d = E\{1,0 \cdot G_k + 1,0 \cdot Q_{k,1}\} \quad (2)$$
- 3) Combinaison d'actions « **Fréquence fondamentale**  $M_{k,2}$  »  
Les actions significatives  $E_d$  consistent en  
$$E_d = E\{1,0 \cdot M_{k,1} + 1,0 \cdot M_{k,2}\} \quad (3)$$

#### 4.3.3 Combinaison d'actions pour la vérification de la capacité portante

La vérification de la capacité portante doit être effectuée en utilisant deux combinaisons d'actions :

- 1) Combinaison d'actions « **Charge de rupture**  $q_{k,1}$  »  
Les actions significatives  $E_d$  consistent en  
$$E_d = E\{1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot q_{k,1} + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot q_{k,2}\} \quad (4)$$
  
$$= E\{1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot q_{k,1} + 1,05 \cdot q_{k,2}\}$$
- 2) Combinaison d'actions « **Charge de rupture**  $Q_{k,1}$  »  
Les actions significatives  $E_d$  consistent en  
$$E_d = E\{1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k,1}\} \quad (5)$$

#### 4.4 Résistance portante dans le cadre de la vérification de la capacité portante

Les propriétés des matériaux de construction sont indiquées par des valeurs caractéristiques,  $X_k$ .

Pour le bois et les matériaux dérivés du bois et en l'absence de directives nationales pertinentes, les valeurs d'évaluation  $X_{Rd}$  utilisées à l'état limite de la capacité portante proviennent de :

$$X_{Rd} = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_m} \quad (6)$$

Par exemple, en cas d'utilisation d'un bois massif dans la classe de service 2 ou 1, utiliser  $k_{mod} = 0,9$  et  $\gamma_m = 1,3$ .

Pour les parties métalliques, en l'absence de directives nationales pertinentes, les valeurs d'évaluation  $X_{Rd}$  utilisées à l'état limite de la capacité portante doivent être prises dans l'EN 1993-1-1.

En l'absence de directives nationales pertinentes, les indices caractéristiques de contraintes, de rigidité et de masse volumique apparente doivent être pris dans l'EN 1995-1-1.

En l'absence de directives nationales pertinentes, la charge de rupture caractéristique,  $X_k$ , utilisée est la plus faible valeur obtenue lors d'essais relatifs à la résistance des éléments, en se fondant sur trois essais d'éléments identiques.

Pour les charges de rupture issues d'essais des éléments et en l'absence de directives nationales pertinentes, les valeurs d'évaluation  $X_{Rd}$  utilisées à l'état limite de la capacité portante proviennent de :

$$X_{Rd} = \frac{X_k}{\gamma_m} = \frac{X_k}{1,5} \quad (7)$$

En l'absence d'autre valeur nationale, la valeur par défaut doit être appliquée, à savoir  $\gamma_m = 1,5$  quand un minimum de trois essais ont été réalisés et cette valeur peut être ramenée à 1,3 quand 10 essais ou plus ont été réalisés (voir ETAG 008).

## 5 Détermination des contraintes mécaniques (contraintes résultantes et déformations)

### 5.1 Généralités

- a) En principe, la présente norme européenne permet de déterminer les contraintes mécaniques (résultantes de contraintes et déformations) de deux manières différentes, à savoir :
  - 1) une détermination séparée des contraintes mécaniques des marches ou des limons, respectivement, à l'aide d'une analyse structurale cadre, dans un plan ou dans l'espace, ainsi que des systèmes statiques pour tous les éléments individuels, indépendamment les uns des autres ;
  - 2) une détermination interdépendante des contraintes mécaniques des marches et des limons à l'aide d'une analyse structurale cadre dans l'espace et d'un système statique spatial de l'escalier dans son ensemble.
- b) La détermination séparée des contraintes mécaniques est valable pour :
  - 1) toutes les formes de marches simples,
  - 2) les escaliers droits avec appuis verticaux aux emplacements décrits ci-après (voir la figure 2),

EN 16481:2014 (F)

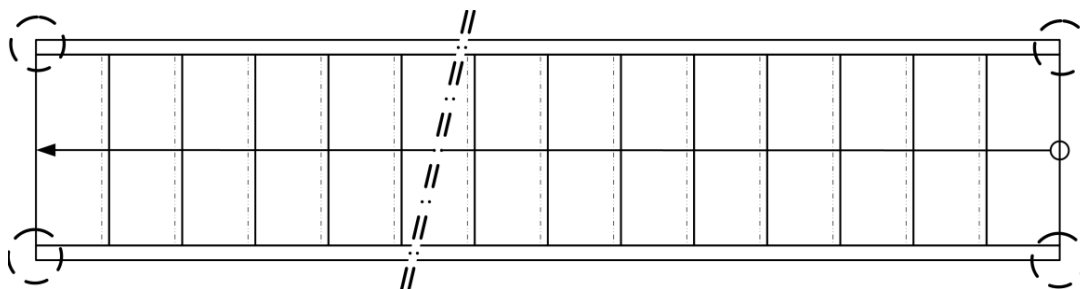


Figure 2 — Vue en plan d'un escalier droit

- 3) les escaliers tournants (escaliers tournants sans palier) avec appuis verticaux aux emplacements indiqués, où le limon change de direction (voir figure 3).

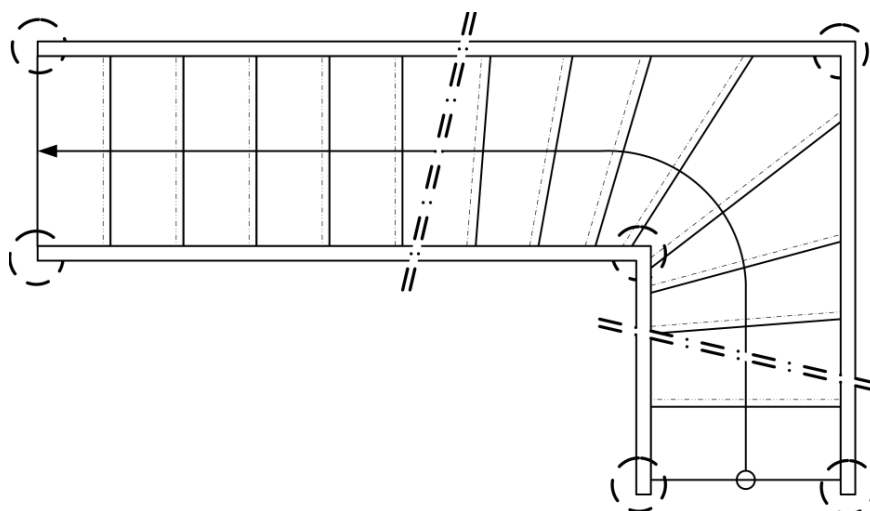


Figure 3 — Vue en plan d'un escalier tournant avec tous les angles supportés

- c) La détermination interdépendante des contraintes mécaniques des marches et des limons est nécessaire pour tous les autres plans au sol d'escalier (voir figure 4).

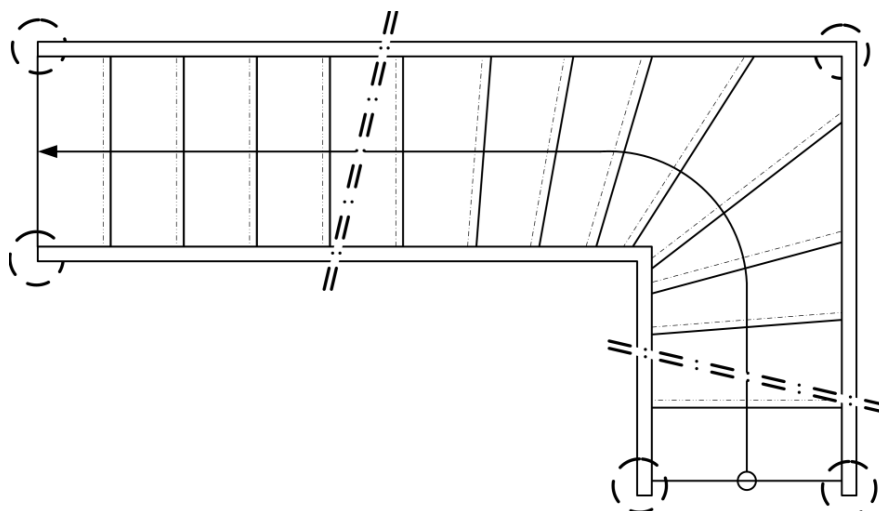


Figure 4 — Vue en plan d'un escalier tournant n'ayant pas tous les angles supportés

- d) Les méthodes de calcul suivantes sont admissibles :

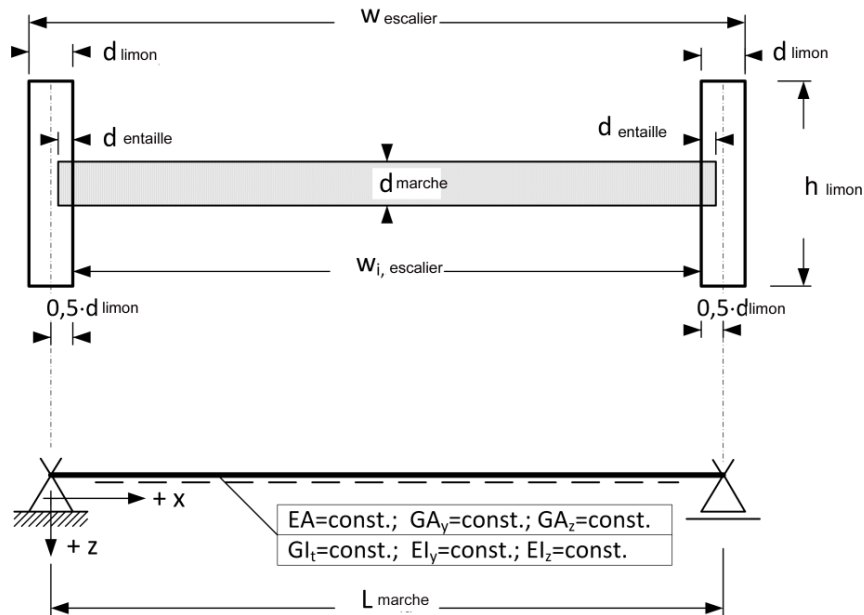
- 1) calcul de la structure portante élastique ;
  - 2) calcul de la structure portante plastique.
- e) Le calcul de la structure portante élastique peut être utilisé dans tous les cas.
- f) Le calcul de la structure portante plastique ne peut être réalisé que si la structure portante atteint une capacité de rotation suffisante, à des endroits où des liaisons plastiques sont présentes dans les éléments ou dans les assemblages. La vérification de la capacité de rotation suffisante est effectuée par le concepteur de la structure portante. La vérification peut également être effectuée par des essais sur les éléments.
- g) Tous les calculs peuvent être effectués avec les théories de base.
- h) Le modèle de calcul et les approbations générales relatives au calcul doivent être choisis de manière à refléter aussi précisément que possible le comportement à l'état limite considéré ainsi que le comportement prévu des sections transversales, des éléments, des assemblages et des fixations.
- i) Des modèles d'analyse de charpente sont généralement utilisés pour la détermination des contraintes mécaniques.

## EN 16481:2014 (F)

### 5.2 Systèmes statiques et sections - propriétés des sections pour les marches d'escaliers

#### 5.2.1 Marches droites sans contremarche

- Le système statique d'une marche droite dans un limon entaillé est celui d'une poutre sur appui simple (voir figure 5) :

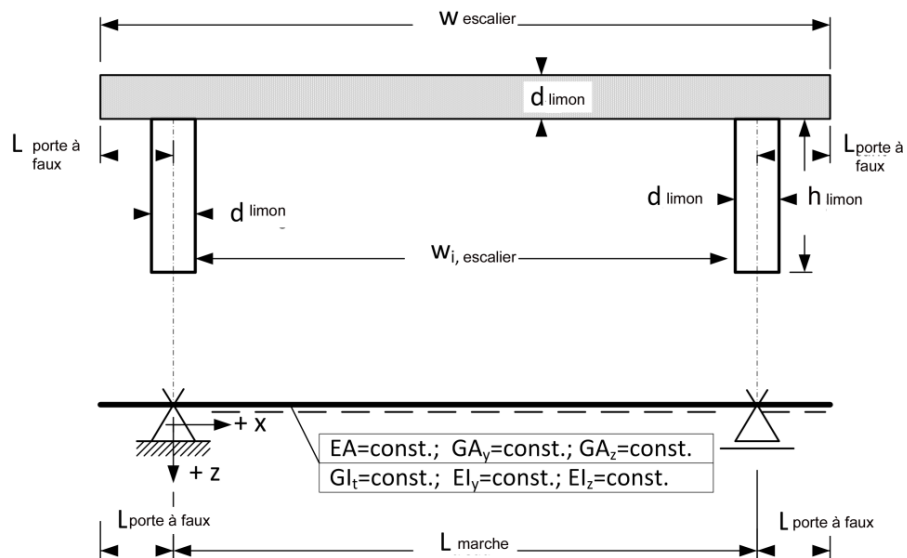


#### Légende

- $d_{\text{limon}}$  épaisseur du limon
- $d_{\text{entaille}}$  profondeur de l'entaille
- $d_{\text{marche}}$  épaisseur de la marche
- $h_{\text{limon}}$  hauteur du limon
- EA résistance à la traction de l'élément
- $EI_y$  résistance à la flexion autour de l'axe local y
- $EI_z$  résistance à la flexion autour de l'axe local z
- $GA_y$  résistance au cisaillement dans la direction de l'axe local y
- $GA_z$  résistance au cisaillement dans la direction de l'axe local z
- $GI_t$  résistance à la torsion
- $L_{\text{marche}}$  portée calculée d'une marche
- $W_{i,\text{escalier}}$  emmarchement
- $W_{\text{escalier}}$  largeur de volée

**Figure 5 — Aire de la section transversale de la marche avec limon entaillé et système statique**

- Le système statique d'une marche droite posée sur des crémaillères est celui d'une poutre sur appuis simples avec deux bras en porte-à-faux (voir figure 6) :



### Légende

- $d_{\text{limon}}$  épaisseur du limon
- $d_{\text{marche}}$  épaisseur de la marche
- $h_{\text{limon}}$  hauteur du limon
- $L_{\text{porte-à-faux}}$  longueur calculée du porte-à-faux de la marche crémaillère
- $L_{\text{marche}}$  portée calculée de la marche
- $W_{i,\text{escalier}}$  emmarchement
- $W_{\text{escalier}}$  largeur de volée

**Figure 6 — Aire de la section transversale d'une marche avec crémaillère et système statique**

- Les supports sont considérés comme des appuis doubles capables d'absorber les moments de torsion sous une charge excentrée.
- La portée calculée entre appuis,  $L_{\text{marche}}$ , d'une marche droite est la distance horizontale entre les axes neutres des limons.
- La section transversale d'une marche droite sans contremarche est un rectangle. La hauteur de la section transversale,  $d_{\text{marche}}$ , est l'épaisseur de la marche ; la largeur de la section transversale,  $w_{\text{marche}}$ , est la somme du giron et du recouvrement ( $g + o$ ). Avec ces mesures, les valeurs de la section transversale à appliquer mathématiquement (aire, aires de cisaillement  $A_y$  et  $A_z$ , moment de torsion,  $I_t$ , et moment d'inertie géométrique,  $I_y$  et  $I_z$ , respectivement) sont déterminées selon la théorie élastique.
- Le module d'élasticité,  $E$ , et le module de cisaillement,  $G$ , doivent être pris dans des normes, par exemple l'EN 1995-1-1 ou l'EN 338.

Les propriétés des matériaux peuvent également être déterminées à l'aide d'essais appropriés.

### 5.2.2 Marches droites avec contremarche

Les portées indiquées en 5.2.1 sont également valables pour des marches droites avec contremarche.

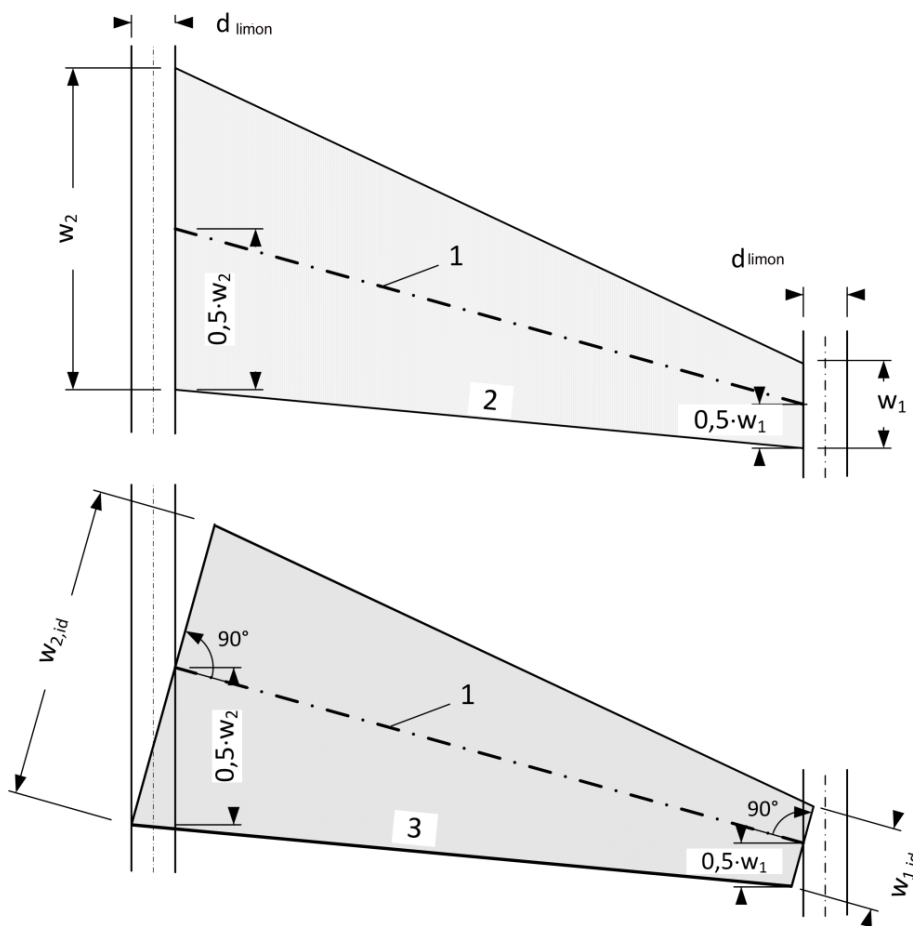
La forme de la section transversale d'une marche droite avec contremarche peut être considérée comme une poutre en T. Un assemblage à serrage par friction de la contremarche et du plan de marche est requis. Sinon, les réglementations relatives aux marches sans contremarche s'appliquent. Avec les mesures de la section transversale de la poutre en T, les valeurs de la section transversale appliquées mathématiquement (aire,

**EN 16481:2014 (F)**

aires de cisaillement  $A_y$  et  $A_z$ , moment de torsion,  $I_t$ , et moment d'inertie géométrique,  $I_y$  et  $I_z$ , respectivement) sont déterminées selon la théorie élastique.

**5.2.3 Marches balancées**

- 1) Dans le cas de marches balancées, les paramètres utilisés pour la détermination des contraintes mécaniques sont calculés à l'aide d'une vue en plan idéale de la marche, comme illustré dans la figure 7.



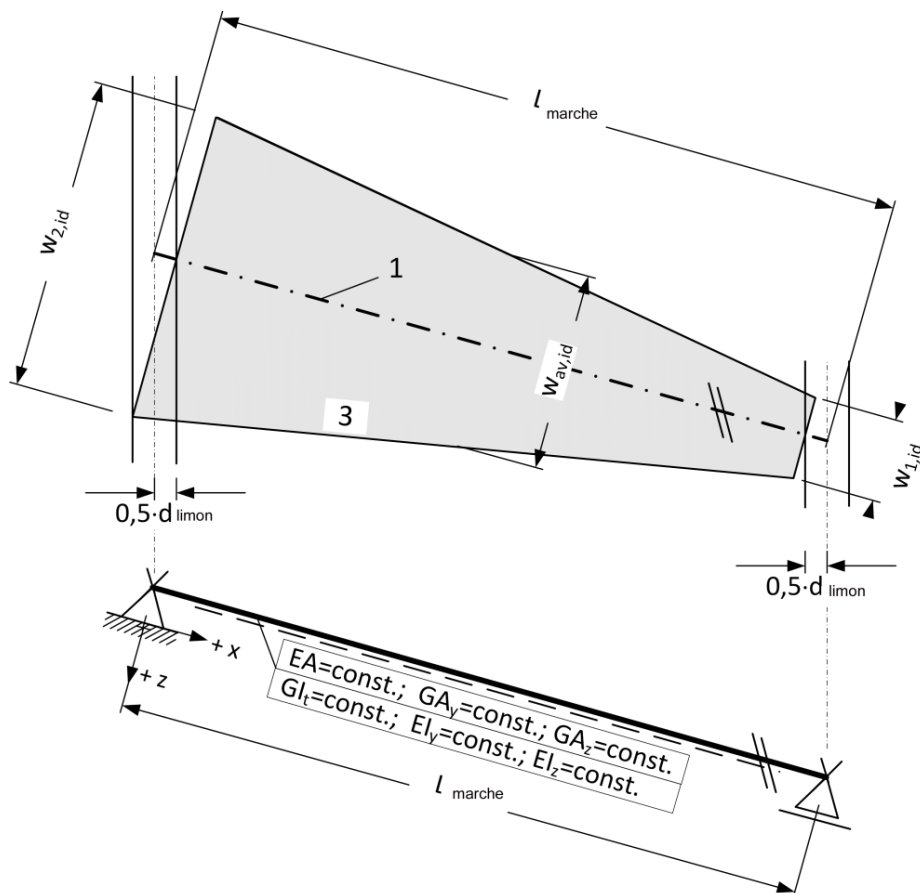
**Légende**

- 1 axe réel de la marche
- 2 vue en plan réelle de la marche
- 3 vue en plan idéale de la marche
- $d_{limon}$  épaisseur du limon
- $w_1$  largeur réelle de la marche du côté extérieur
- $w_{1,id}$  largeur idéale de la marche du côté extérieur
- $w_2$  largeur réelle de la marche du côté mur
- $w_{2,id}$  largeur idéale de la marche du côté mur

**Figure 7 — Vue en plan et vue en plan idéal de marches balancées avec limon entaillé**

En se basant sur la vue en plan idéale de substitution de la marche balancée, le système statique d'une marche balancée est modélisé comme suit.

- 2) Dans le cas de limons entaillés, le système statique d'une marche balancée est celui d'une poutre sur appuis simples (voir la figure 8).



**Légende**

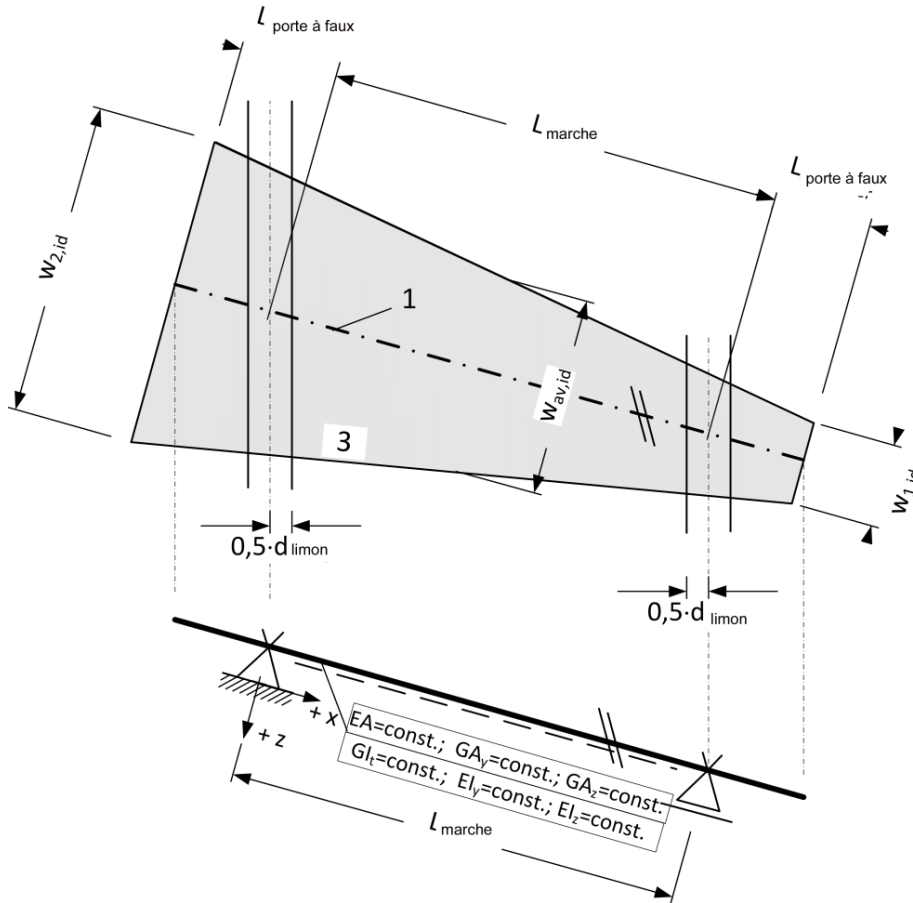
- 1 axe réel de la marche
- 3 vue en plan idéale de la marche
- $d_{\text{limon}}$  épaisseur du limon
- $L_{\text{marche}}$  portée calculée de la marche
- $w_{1,id}$  largeur idéale de la marche du côté extérieur
- $w_{2,id}$  largeur idéale de la marche du côté mur
- $w_{av,id}$  valeur moyenne des largeurs de marche idéales

**Figure 8 — Vue en plan idéal de marche balancée en cas de limons entaillés et système statique**



EN 16481:2014 (F)

- 3) Dans le cas de crémaillères, le système statique d'une marche balancée est celui d'une poutre sur appuis simples avec deux bras en porte à faux.



**Légende**

- 1 axe réel de la marche
- 3 vue en plan idéale de la marche
- $d_{\text{limon}}$  épaisseur du limon
- $L_{\text{marche}}$  portée calculée de la marche
- $L_{\text{porte à faux}}$  longueur calculée du débord pour une marche sur crémaillère
- $w_{1,id}$  largeur idéale de la marche du côté intérieur
- $w_{2,id}$  largeur idéale de la marche du côté mur
- $w_{av,id}$  valeur moyenne des largeurs de marche idéales

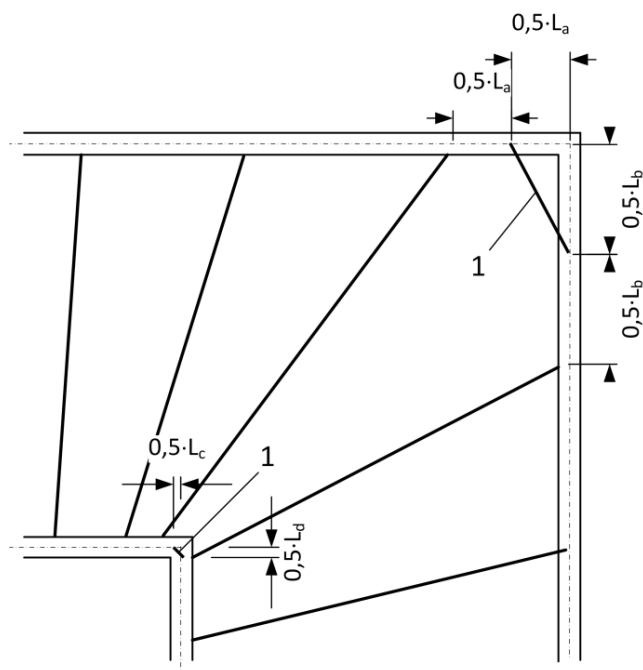
**Figure 9 — Vue en plan idéal en cas de crémaillères et système statique**

- 4) La portée calculée,  $L_{\text{marche}}$ , d'une marche balancée d'un escalier est la distance entre les axes neutres des crémaillères, mesurée sur l'axe de marche de la vue en plan idéale de substitution.
- 5) La hauteur de la section transversale,  $d_{\text{marche}}$ , est l'épaisseur de la marche ; la largeur de la section transversale,  $w_{av,id}$ , est la valeur moyenne calculée à partir des largeurs idéales de marche  $w_{1,id}$  et  $w_{2,id}$ .  
A l'aide de ces mesures, les valeurs de la section transversale mathématiquement appliquées (aire et moment d'inertie) sont déterminées selon les règles de la théorie élastique.
- 6) Le module d'élasticité et le module de cisaillement doivent tous deux être pris dans l'EN 1995-1-1.

Les propriétés des matériaux peuvent également être déterminées à l'aide d'expériences appropriées.

### 5.2.4 Marches d'angle

- 1) Dans le cas de marches d'angle, la vue en plan idéale est rapportée à la ligne d'appui illustrée dans la figure 10. Pour des limons entaillés, la ligne d'appui idéale d'une marche d'angle est centrée sur l'axe neutre des limons. Elle dépend des longueurs individuelles des lignes d'appui au niveau de l'angle.



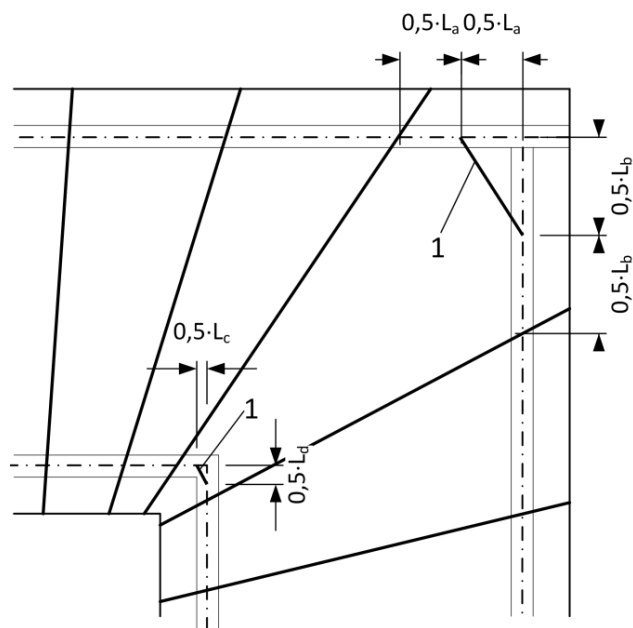
#### Légende

- 1 ligne d'appui idéale
- $L_a$  longueur d'appui calculée du côté mur d'une marche d'angle avant l'angle
- $L_b$  longueur d'appui calculée du côté mur d'une marche d'angle après l'angle
- $L_c$  longueur d'appui calculée du côté intérieur d'une marche d'angle avant l'angle
- $L_d$  longueur d'appui calculée du côté intérieur d'une marche d'angle après l'angle

Figure 10 — Vue en plan indiquant la ligne d'appui idéale en cas de marches d'angle avec limon entaillé

- 2) Pour des crémaillères, la ligne d'appui idéale d'une marche d'angle est centrée sur l'axe neutre des crémaillères. Elle dépend des longueurs individuelles des lignes d'appui au niveau de l'angle (voir figure 11).

EN 16481:2014 (F)



**Légende**

1 ligne d'appui idéale

$L_a$  longueur d'appui calculée du côté mur d'une marche d'angle avant l'angle

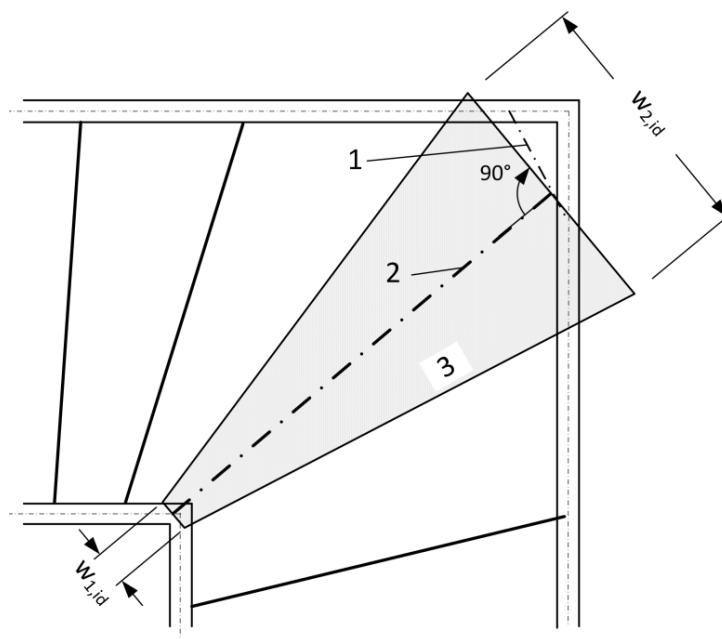
$L_b$  longueur d'appui calculée du côté mur d'une marche d'angle après l'angle

$L_c$  longueur d'appui calculée du côté intérieur d'une marche d'angle avant l'angle

$L_d$  longueur d'appui calculée du côté intérieur d'une marche d'angle après l'angle

**Figure 11 — Vue en plan indiquant la ligne d'appui idéale en cas de marches d'angle avec crémaillère**

3) De manière analogue, les vues en plan des marches d'angle sont déterminées selon la même procédure que pour les vues en plan de marche (voir figure 12).



**Légende**

- 1 ligne d'appui idéale
- 2 axe réel de la marche
- 3 vue en plan idéale de la marche
- $w_{1,id}$  largeur idéale de la marche du côté intérieur
- $w_{2,id}$  largeur idéale de la marche du côté mur

NOTE L'axe de la marche n'est pas perpendiculaire à la ligne d'appui idéale, mais est généralement la ligne médiane entre les bords avant et arrière de la marche idéale.

**Figure 12 — Vue en plan idéal en cas de marche d'angle avec limon entaillé et crémaillère**

- 4) La détermination des portées calculées, des dimensions de la section transversale et des propriétés des matériaux des marches d'angle est effectuée en se basant sur la vue en plan idéale de la marche selon les règles de la théorie élastique.

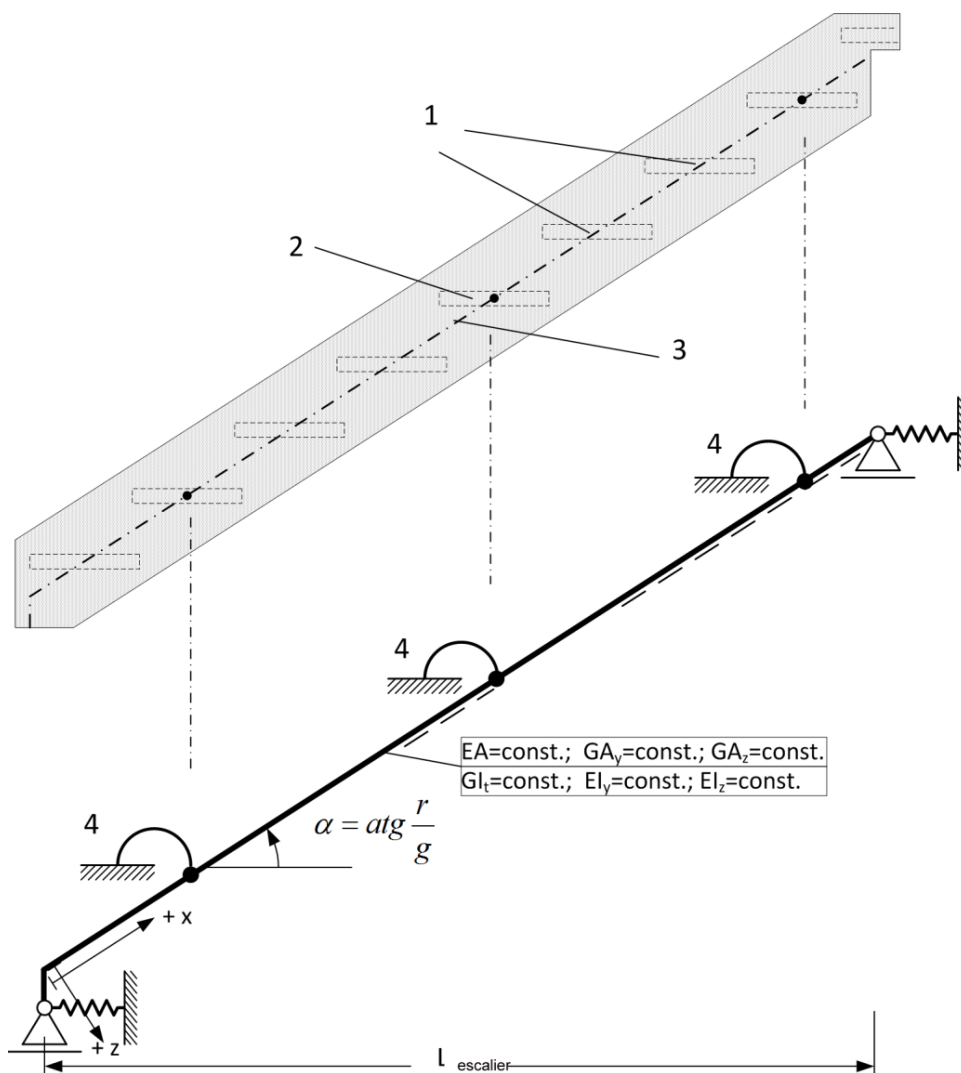
### **5.3 Systèmes statiques pour les limons d'escalier et les caractéristiques de leur section transversale**

#### **5.3.1 Limons entaillés**

- 1) Dans le cas d'escaliers à limons entaillés, le système statique du limon de l'escalier est celui d'une poutre sur appuis fixes (à un ou plusieurs appuis) ou libres (à plusieurs appuis) ayant des propriétés de section transversale permanentes.

Dans le cas d'un escalier droit, le système statique suivant peut être utilisé, les fixations étant suggérées comme suit dans la figure 13.

EN 16481:2014 (F)



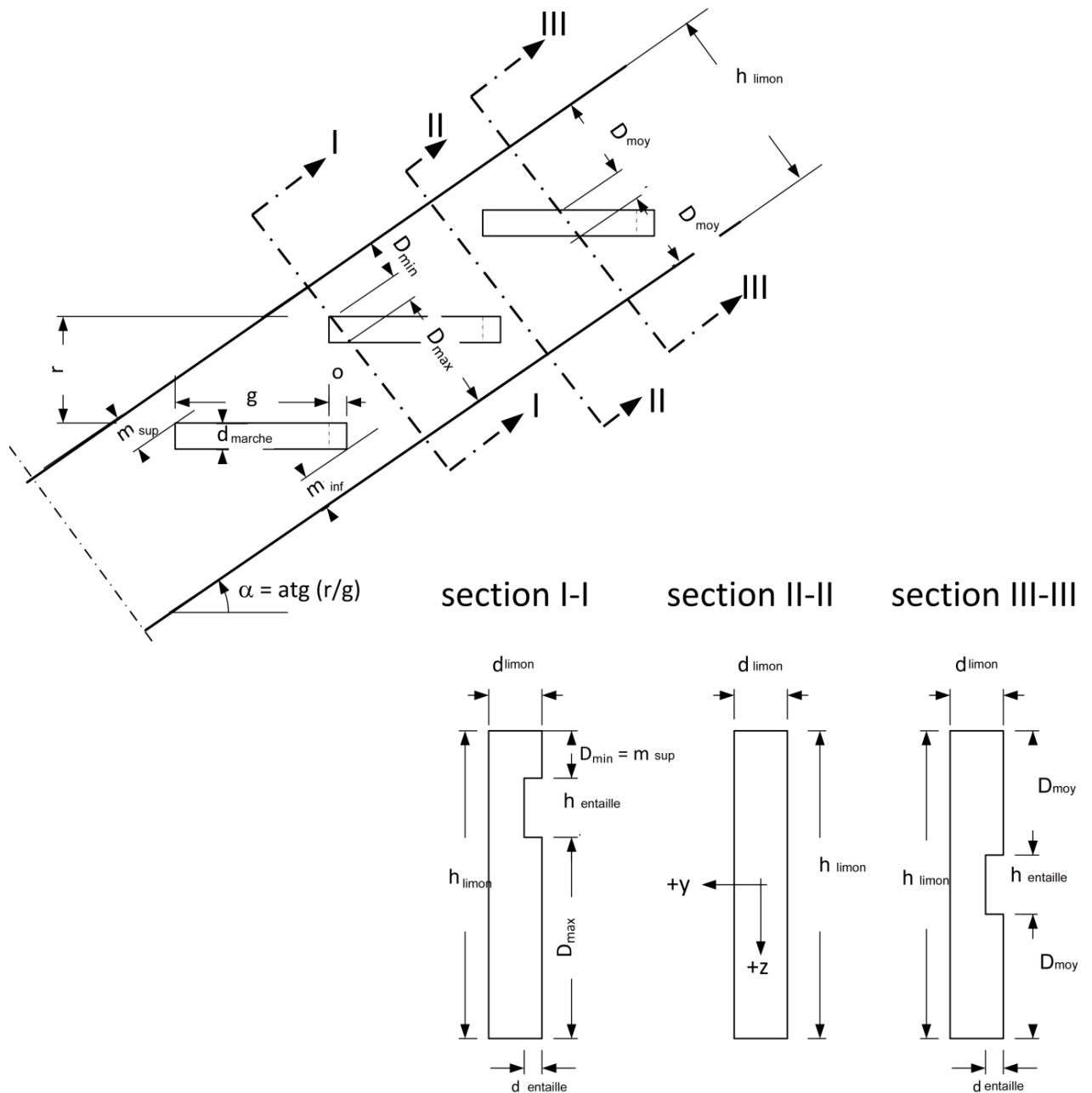
**Légende**

- 1 marche sans renfort
- 2 marche avec renfort
- 3 ligne d'appui idéale du limon
- 4 accessoire contre le mouvement de torsion
- EA résistance à la traction d'un élément
- EI<sub>y</sub> résistance à la flexion autour de l'axe y
- EI<sub>z</sub> résistance à la flexion autour de l'axe z
- g giron
- GA<sub>y</sub> résistance au cisaillement d'un élément dans la direction de l'axe y
- GA<sub>z</sub> résistance au cisaillement d'un élément dans la direction de l'axe z
- GJ<sub>t</sub> résistance à la torsion d'un élément
- L<sub>escalier</sub> longueur de l'escalier
- r hauteur de marche
- α pente de l'escalier

**Figure 13 — Exemple d'un système statique avec renfort**

- 2) La modélisation des assemblages de la construction au niveau de la marche de départ et de la marche d'arrivée est décrite en 5.4.4 de la présente norme.

- 3) Dans le cas de marche avec renfort, le limon est fixé autour de l'axe x (torsion).
- 4) Les valeurs de la section transversale (aire, moment d'inertie en torsion et moments d'inertie) doivent être appliquées en utilisant un modèle d'analyse de charpente afin de déterminer les contraintes mécaniques du limon qui sont calculées à l'aide des dimensions du limon indiquées dans la figure 14.



Légende

## EN 16481:2014 (F)

$D_{\min}$  distance minimale entre le bord inférieur du limon et le bord supérieur de l'entaille  
 $D_{\max}$  distance maximale entre le bord supérieur du limon et le bord supérieur de l'entaille dans la section I-I  
 $D_{\text{moy}}$  valeur moyenne de  $D_{\max}$  et  $D_{\min}$   
 $d_{\text{limon}}$  épaisseur du limon  
 $d_{\text{entaille}}$  profondeur de l'entaille  
 $d_{\text{marche}}$  épaisseur de la marche  
 $g$  giron  
 $h_{\text{entaille}}$  hauteur de l'entaille  
 $h_{\text{limon}}$  hauteur du limon  
 $m_{\text{sup}}$  marge supérieure  
 $m_{\text{inf}}$  marge inférieure  
 $o$  recouvrement  
 $r$  hauteur de marche  
 $\alpha$  pente de l'escalier

### Figure 14 — Dimensions de la section transversale du limon entaillé

- 5) La hauteur du limon,  $h_{\text{limon}}$ , est calculée à partir des dimensions du giron,  $g$ , du recouvrement,  $o$ , de l'épaisseur de la marche,  $d_{\text{marche}}$ , de la marge  $m_{\text{supérieure}}$ , de la marge  $m_{\text{inférieure}}$  et de la pente de l'escalier  $\alpha$ , par :

$$h_{\text{limon}} = (g + o) \cdot \sin \alpha + d_{\text{marche}} \cdot \cos \alpha + m_{\text{supérieure}} + m_{\text{inférieure}}$$

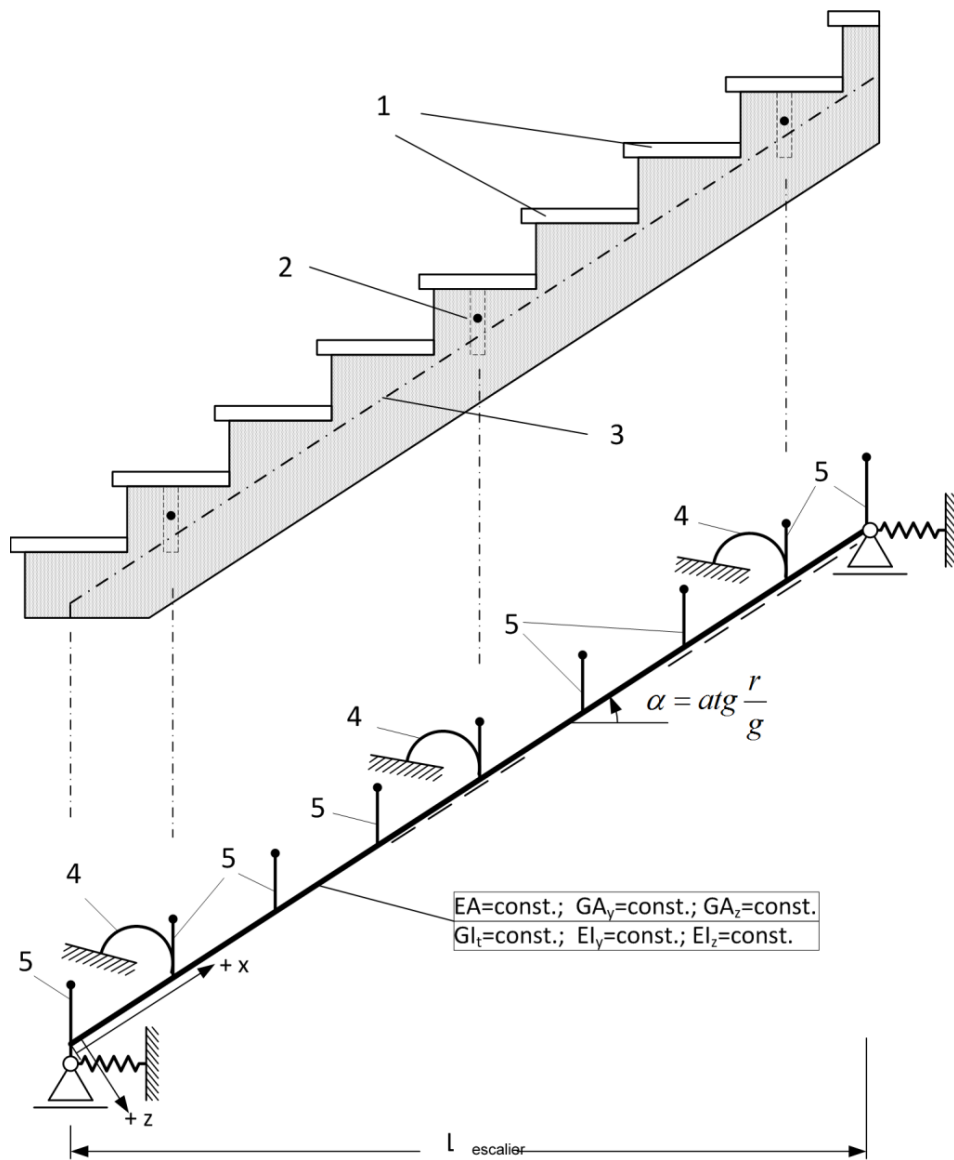
- 6) Les valeurs de la section transversale,  $A_{\text{limon}}$ ,  $A_{y,\text{limon}}$ ,  $A_{z,\text{limon}}$ ,  $I_{t,\text{limon}}$ ,  $I_{y,\text{limon}}$  et  $I_{z,\text{limon}}$  en tant que valeurs médianes appliquées dans le modèle d'analyse de charpente, sont calculées mathématiquement à partir des sections I-I et III-III. La règle est la suivante :

$$A_{\text{limon}} = \frac{A_{\text{limon},I-I} + A_{\text{limon},III-III}}{2}; I_{y,\text{limon}} = \frac{I_{y,\text{limon},I-I} + I_{y,\text{limon},III-III}}{2}; \text{etc.}$$

### 5.3.2 Crémaillère

- 1) Dans le cas d'escaliers à crémaillères, le système statique du limon de l'escalier est celui d'une poutre sur appuis fixes (à un ou plusieurs appuis) ou libres (à plusieurs appuis) ayant des propriétés de section transversale permanentes.

Dans le cas d'un escalier droit, le système statique suivant peut être utilisé, les fixations étant suggérées comme suit dans la figure 15.



Légende

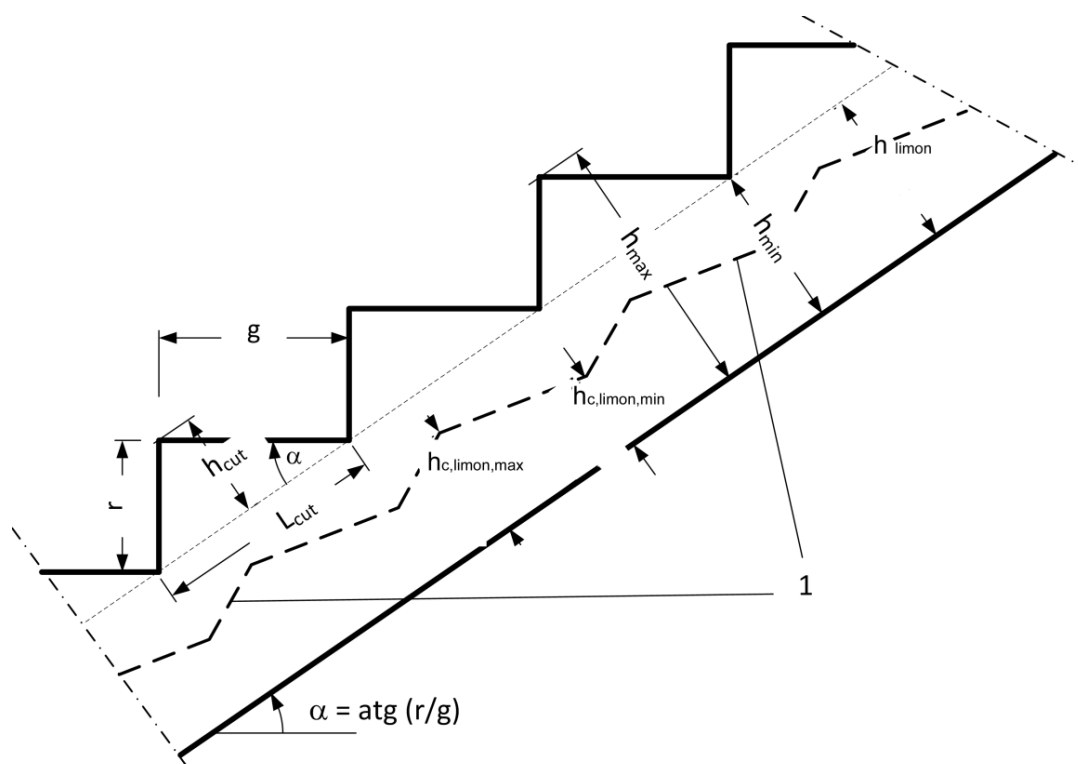


**EN 16481:2014 (F)**

- 1 marche sans renfort
- 2 marche avec renfort
- 3 ligne d'appui idéal du limon
- 4 accessoire contre le mouvement de torsion
- 5 poutre rigide sans masse
- EA résistance à la traction d'un élément
- $EI_y$  résistance à la flexion autour de l'axe y
- $EI_z$  résistance à la flexion autour de l'axe z
- g giron
- $GA_y$  résistance au cisaillement d'un élément dans la direction de l'axe y
- $GA_z$  résistance au cisaillement d'un élément dans la direction de l'axe z
- $GI_t$  résistance à la torsion d'un élément
- $L_{\text{escalier}}$  longueur de l'escalier
- r hauteur de marche
- $\alpha$  pente de l'escalier

**Figure 15 — Système statique d'un limon crémaillère pour escalier droit**

- 2) Les valeurs de la section transversale (aire, moment d'inertie en torsion et moments d'inertie) doivent être appliquées en utilisant un modèle d'analyse de charpente afin de déterminer les contraintes mécaniques du limon qui sont calculées à l'aide des dimensions du limon indiquées dans la figure 16.



**Légende**

- 1 axe réel de la crémaillère
- g giron
- $h_{c,limon,max}$  distance réelle maximale entre la verticale de la crémaillère et son bord inférieur
- $h_{c,limon,min}$  distance réelle minimale entre la verticale de la crémaillère et son bord inférieur
- $h_{cut}$  hauteur maximale de la surface de la crémaillère
- $h_{max}$  hauteur réelle maximale de la section de la crémaillère
- $h_{min}$  hauteur réelle minimale de la section de la crémaillère
- $h_{limon}$  hauteur du limon
- $L_{cut}$  longueur maximale de la surface de la crémaillère
- r hauteur de marche
- $\alpha$  pente de l'escalier

**Figure 16 — Dimensions d'élévation de la crémaillère**

- 3) La distance minimale,  $h_{c,limon,min}$  entre l'axe neutre de la crémaillère et son bord inférieur est :

$$h_{c,limon,min} = \frac{h_{limon}}{2}$$

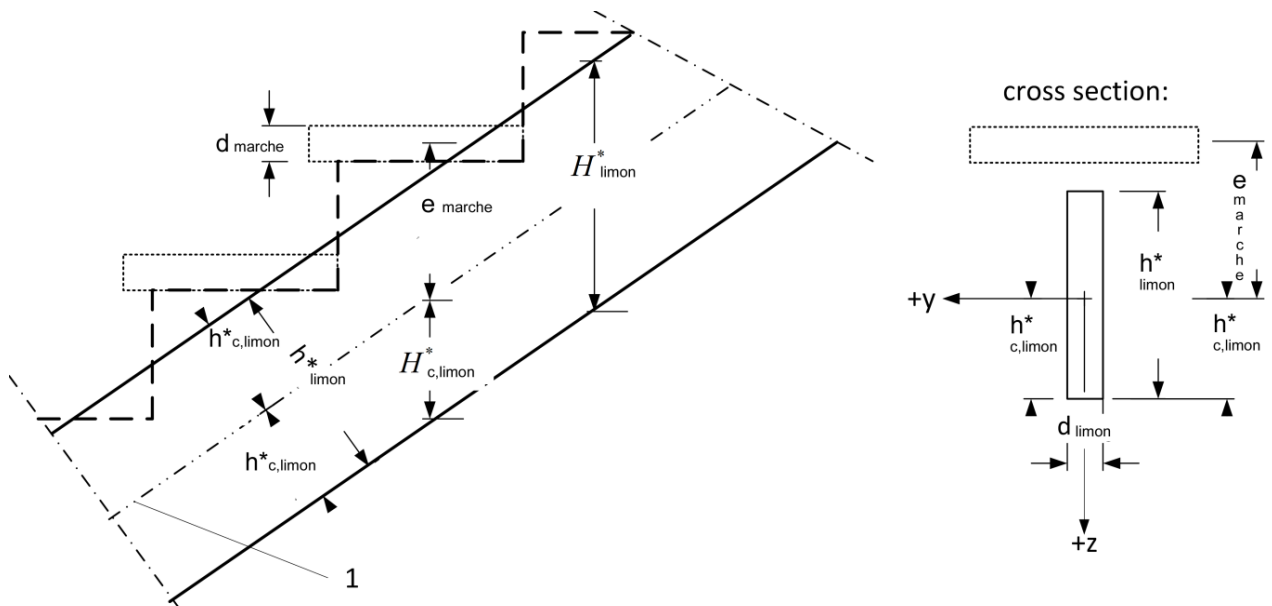
- 4) La distance maximale,  $h_{c,limon,max}$  entre l'axe neutre de la crémaillère et son bord inférieur est :

$$h_{c,limon,max} = \frac{\left[ h_{limon} \cdot \frac{g}{\cos \alpha} \cdot \frac{h_{limon}}{2} \right] + \left[ \frac{g^2}{2} \cdot \tan \alpha \cdot \left( h_{limon} + \frac{g \cdot \sin \alpha}{3} \right) \right]}{\left[ h_{limon} \cdot \frac{g}{\cos \alpha} + \frac{g^2}{2} \cdot \tan \alpha \right]}$$

- 5) La distance,  $h^*_{c,limon}$ , entre l'axe neutre de la crémaillère et son bord inférieur à utiliser dans le calcul est :

$$h^*_{c,limon} = \frac{h_{c,limon,min} + h_{c,limon,max}}{2}$$

- 6) Pour déterminer les valeurs de la section transversale d'une crémaillère idéale, les désignations suivantes sont utilisées dans la figure 17 :



## EN 16481:2014 (F)

### Légende

1 axe idéal de la crémaillère

$d_{\text{limon}}$  épaisseur du limon

$d_{\text{marche}}$  épaisseur de la marche

$e_{\text{marche}}$  = distance entre la verticale de la marche et la crémaillère

$H^*_{\text{limon}}$  = projection orthogonale de la hauteur calculée de la crémaillère

$H^*_{c,\text{limon}}$  = projection orthogonale de la distance calculée entre la verticale de la crémaillère et son bord inférieur

$h^*_{\text{limon}}$  = hauteur calculée de la crémaillère

$h^*_{c,\text{limon}}$  = distance calculée entre la verticale de la crémaillère et son bord inférieur

### Figure 17 — Dimensions de la section transversale de la crémaillère

7) La hauteur calculée du limon  $h^*_{\text{limon}}$  est :

$$h^*_{\text{limon}} = 2 \cdot h^*_{c,\text{limon}}$$

8) L'épaisseur calculée du limon  $d_{\text{limon}}$  est identique à l'épaisseur réelle du limon  $d$  :

9) La distance calculée  $e_{\text{marche}}$  entre l'axe du système de la marche et l'axe du système du limon est :

$$e_{\text{marche}} = H^*_{\text{limon}} - H^*_{c,\text{limon}} + \frac{d_{\text{marche}}}{2} = \frac{h^*_{\text{limon}}}{\cos \alpha} - \frac{h^*_{c,\text{limon}}}{\cos \alpha} + \frac{d_{\text{marche}}}{2}$$

NOTE Dans ce modèle, la distance entre l'axe du système du limon et celui de la marche est obtenue en la considérant comme une poutre rigide sans masse.

10) La modélisation des assemblages avec la construction au niveau de la marche de départ et de la marche d'arrivée est décrite en 5.4.4 de la présente norme.

11) Dans le cas de marches avec renfort, le limon est fixé autour de l'axe x (c'est-à-dire, en torsion).

## 5.4 Modèles de calcul des assemblages

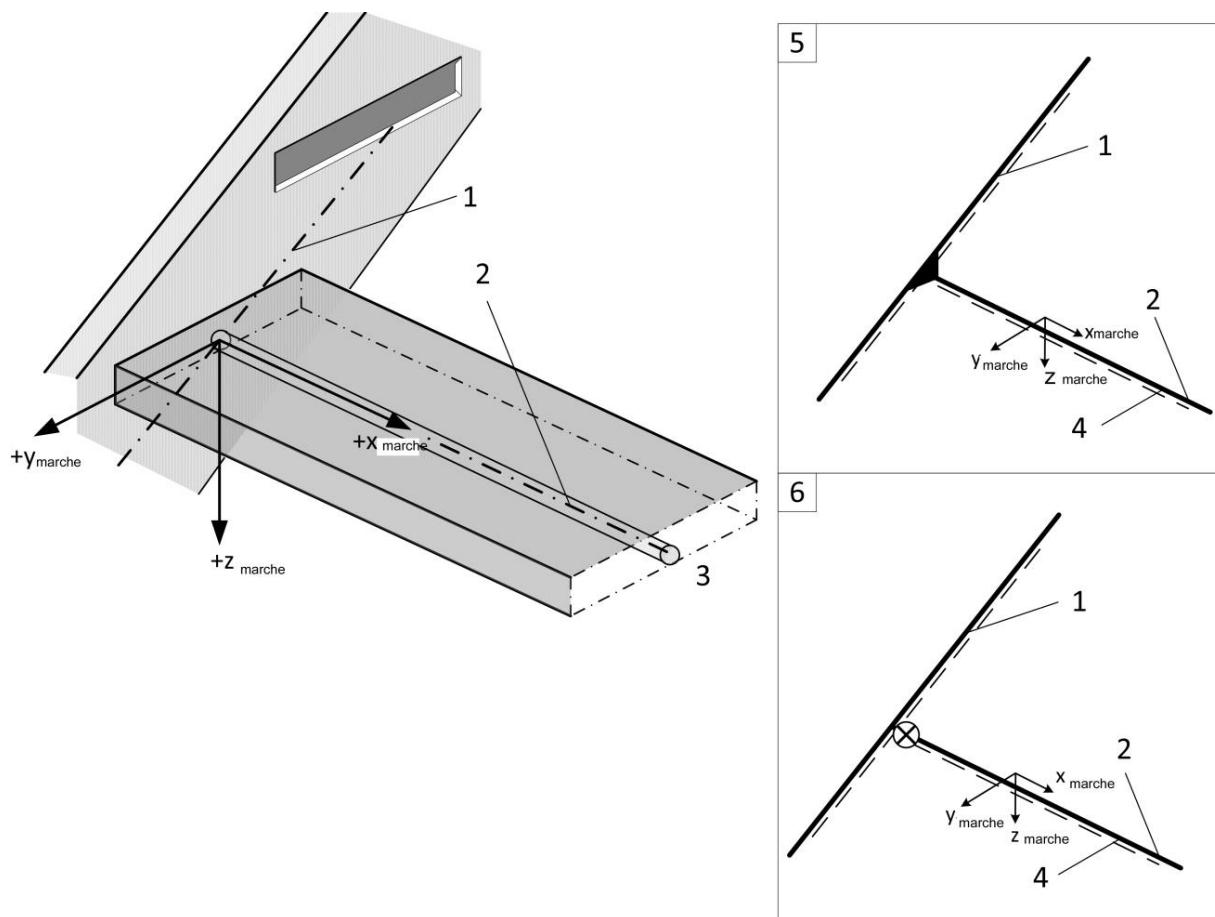
### 5.4.1 Généralités

Lors de la détermination des contraintes mécaniques (contraintes résultantes et déformations) des escaliers en utilisant des modèles d'analyse de charpente, les types suivants d'assemblages sont admissibles :

- assemblages ayant du jeu, s'il peut être supposé que l'assemblage ne transmet aucun moment fléchissant ;
- assemblages rigides, si la rigidité et/ou la capacité portante de l'assemblage permet de les considérer dans le calcul comme des éléments reliés de façon rigide ;
- assemblages déformables, si le comportement à la déformation de l'assemblage doit être pris en compte pour son dimensionnement.

### 5.4.2 Modélisation des assemblages marche-limon

#### 5.4.2.1 Assemblage de type 1 : marche d'escaliers à limons entaillés - renfort de marche - sans contremarche



#### Légende

- 1 trait de l'élément limon
- 2 trait de l'élément marche
- 3 exemple de démonstration de renfort avec des tiges
- 4 valeurs de section transversale liées à la section rectangulaire du plan de marche
- 5 propriétés vérifiées de l'assemblage
- 6 propriétés non vérifiées de l'assemblage
- $x_{marche}$  axe local x de la marche
- $y_{marche}$  axe local y de la marche
- $z_{marche}$  axe local z de la marche

**Figure 18 — Assemblage de type 1 : marche d'escaliers à limons entaillés – renfort de marche – sans contremarche**

- 1) Le trait de l'élément marche avec renfort est fixé de manière à supprimer la déformation horizontale et verticale par rapport au trait de l'élément limon.
- 2) Le trait de l'élément marche avec renfort est relié au trait de l'élément limon de façon rigide autour de l'axe x de rotation relative entre la marche et le limon ( $\Delta\varphi_x = 0$ ).

**EN 16481:2014 (F)**

- 3) Les propriétés de l'assemblage, relatives aux rotations associées autour de l'axe y, entre le trait de l'élément marche avec renfort et le trait de l'élément limon doivent être vérifiées. Sans cette vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage ayant du jeu autour de l'axe y de la marche.

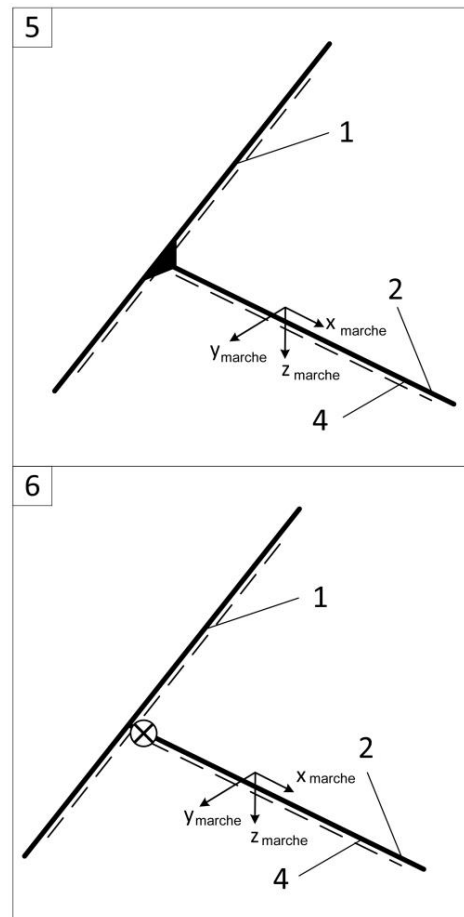
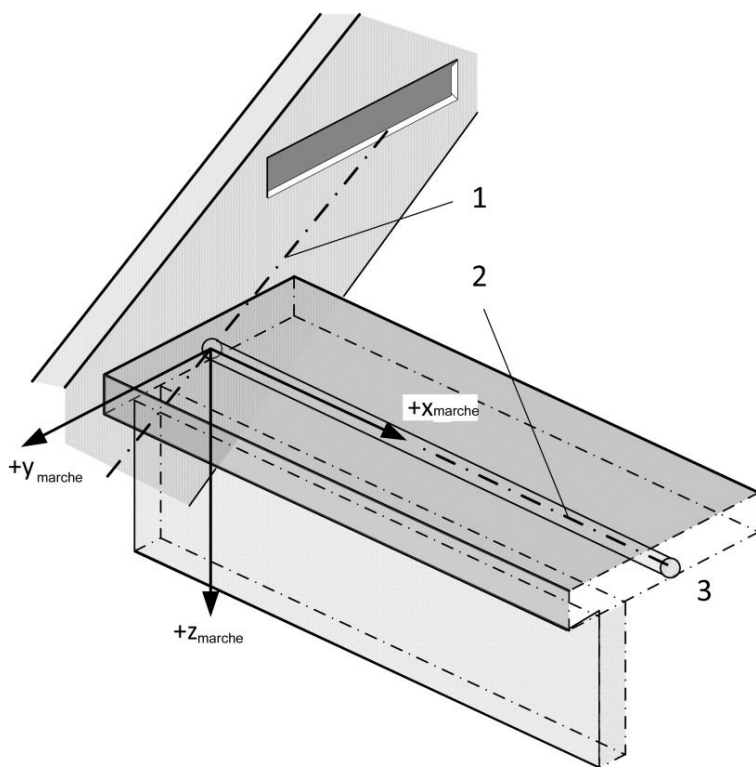
Si la profondeur minimale de l'entaille,  $d_{\text{entaille}}$ , est d'au moins 14 mm, l'assemblage peut être modélisé comme résistant à la flexion autour de l'axe y de la marche (rotation relative  $\Delta\varphi_y = 0$ ). D'autres profondeurs d'entaille peuvent être acceptées pourvu qu'il puisse être démontré qu'elles atteignent la performance nécessaire.

- 4) Les propriétés de l'assemblage relatives à la rotation mutuelle autour de l'axe z entre le trait de l'élément marche avec renfort et le trait de l'élément limon doivent être vérifiées.

Sans cette vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage à joint (ayant du jeu) autour de l'axe z de la marche.

Si, en raison du renfort, un couple peut être induit entre la marche et le limon autour de l'axe z, l'assemblage peut être modélisé comme un assemblage rigide autour de l'axe z de la marche (rotation relative  $\Delta\varphi_z = 0$ ).

**5.4.2.2 Assemblage de type 2 : marche d'escaliers à limons entaillés– renfort de marche – avec contremarche**



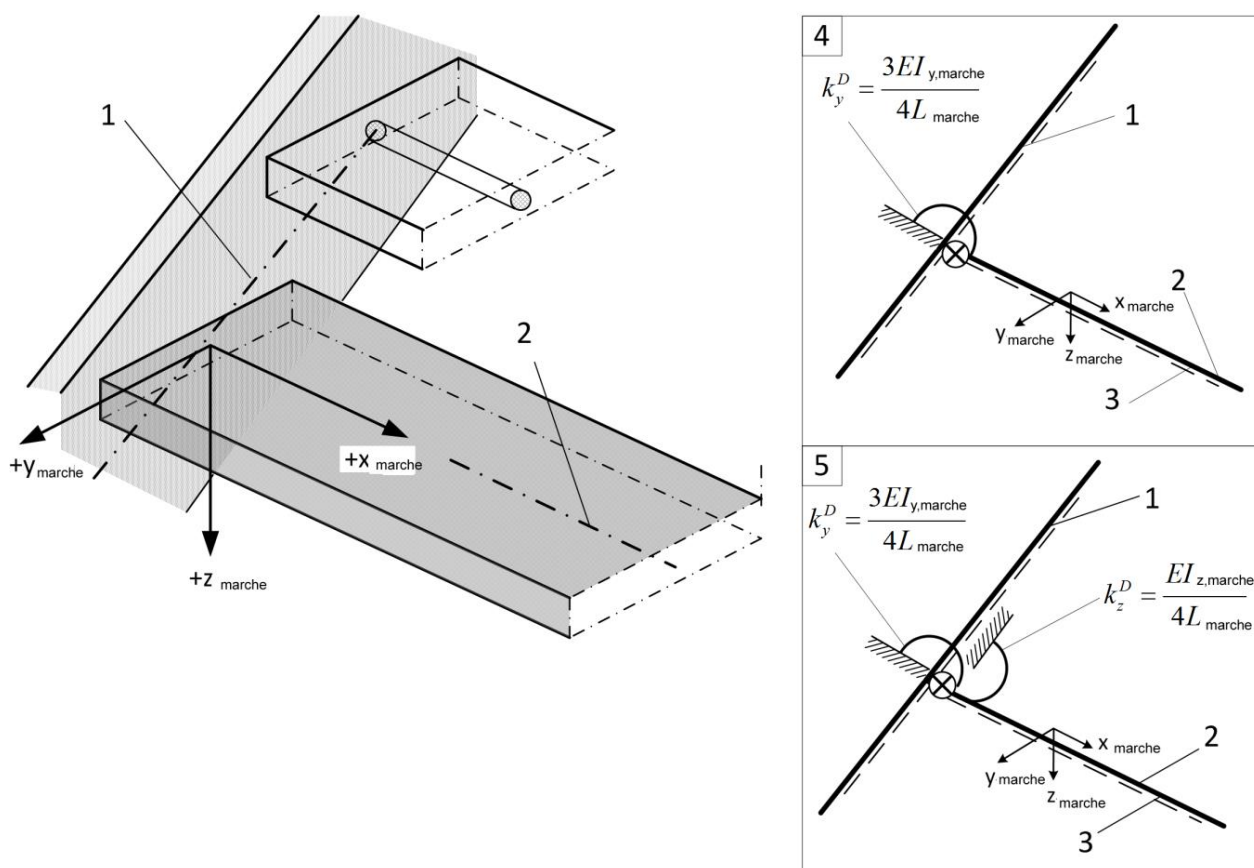
**Légende**

- 1 trait de l'élément limon
  - 2 trait de l'élément marche
  - 3 exemple de démonstration de renfort
  - 4 valeurs de section transversale liées à la section du plan de marche et de la contremarche
  - 5 propriétés vérifiées de l'assemblage
  - 6 propriétés non vérifiées de l'assemblage
- $x_{marche}$  axe local x de la marche  
 $y_{marche}$  axe local y de la marche  
 $z_{marche}$  axe local z de la marche

**Figure 19 — Assemblage de type 2 : marche d'escaliers à limons entaillés- renfort de marche avec contremarche**

- 1) Les règles formulées pour un assemblage de type 1 sont également valables pour une marche avec renfort et contremarche.
- 2) Lors de la modélisation de l'assemblage entre marche et limon, le trait de l'élément marche avec contremarche est toujours appliqué en prenant l'axe du système de la section transversale rectangulaire de la marche, indépendamment de la section transversale de la marche seule.

**5.4.2.3 Assemblage de type 3 : marche d'escaliers à limons entaillés- pas de renfort de marche - pas de contremarche**



**Légende**

## EN 16481:2014 (F)

- 1 trait de l'élément limon
  - 2 trait de l'élément marche
  - 3 valeurs de section transversale liées à la section rectangulaire de la marche
  - 4 propriétés de l'assemblage conformément à 3) ci dessous
  - 5 propriétés de l'assemblage conformément à 4) ci-dessous
- $E_{I_{y,marche}}$  résistance à la flexion de la marche autour de l'axe y  
 $E_{I_{z,marche}}$  résistance à la flexion autour de l'axe z  
 $k_y^D$  raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe y  
 $k_z^D$  raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe z  
 $L_{marche}$  portée calculée d'une marche  
 $x_{marche}$  axe local x de la marche  
 $y_{marche}$  axe local y de la marche  
 $z_{marche}$  axe local z de la marche

### Figure 20 — Assemblage de type 3 : marche d'escaliers à limons entaillés – pas de renfort de marche – pas de contremarche

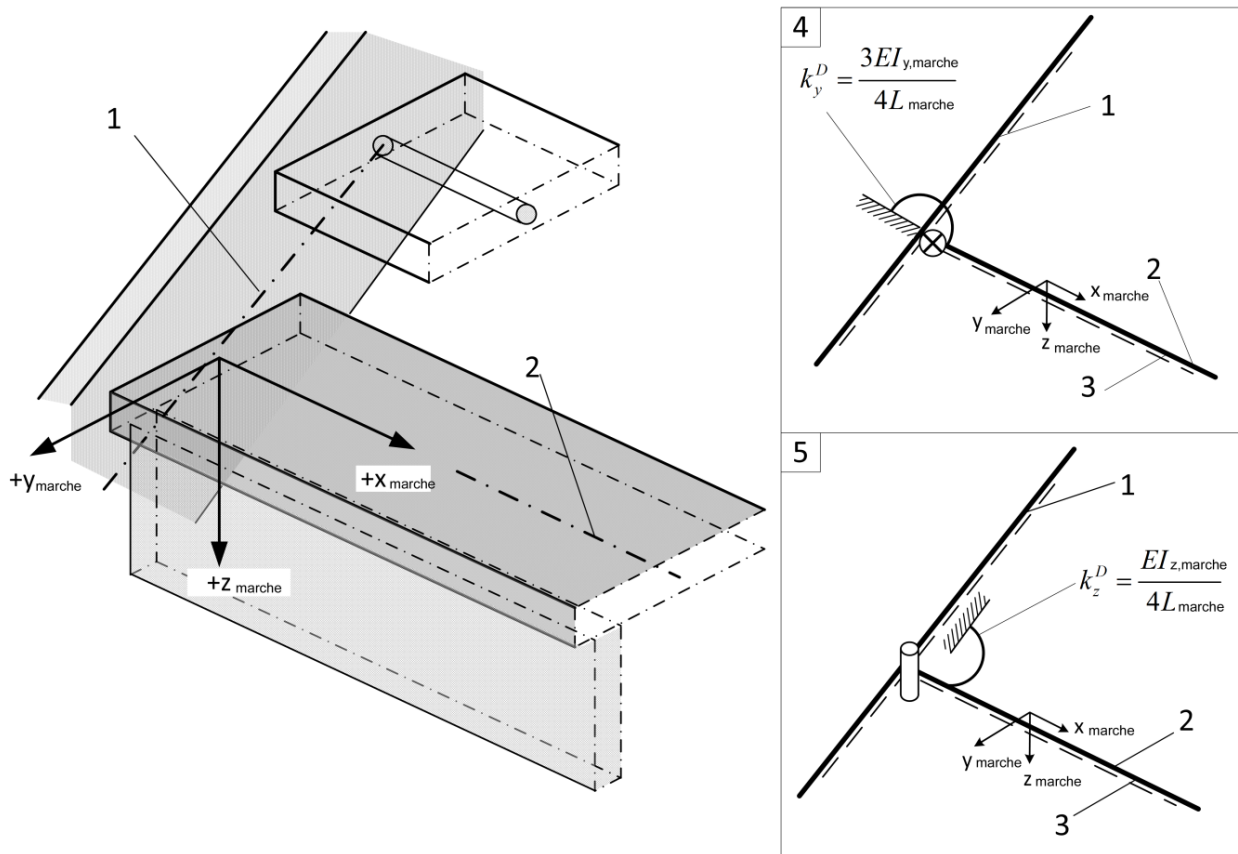
- 1) Le trait de l'élément marche sans renfort est fixé de manière à supprimer la déformation horizontale et verticale par rapport au trait de l'élément limon.
- 2) Le trait de l'élément marche sans renfort est relié de façon rigide à l'axe du système du limon autour de l'axe x de la marche.
- 3) Les propriétés de l'assemblage relatives à la rotation mutuelle autour de l'axe y entre le trait de l'élément marche sans renfort et le trait de l'élément limon doivent être vérifiées. Sans cette vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage à pivot autour de l'axe y de la marche.

Si la profondeur minimale de l'entaille,  $d_{entaille}$ , est d'au moins 14 mm, l'assemblage peut être modélisé comme un assemblage semi-flexible avec une raideur de ressort de torsion de  $k_y^D = \frac{3EI_{y,marche}}{4L_{marche}}$  autour de l'axe y de la marche. D'autres profondeurs d'entaille peuvent être acceptées pourvu qu'il puisse être démontré qu'elles atteignent la performance nécessaire.

- 4) Les propriétés de l'assemblage relatives à la rotation mutuelle autour de l'axe z entre le trait de l'élément marche sans renfort et le trait de l'élément limon doivent être vérifiées. Sans cette vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage articulé autour de l'axe z de la marche.

Pour la vérification sous la combinaison d'actions « Fréquence fondamentale  $M_{k,2}$  », l'assemblage peut être modélisé comme un assemblage semi flexible ayant une raideur de ressort de torsion de  $k_z^D = \frac{EI_{z,marche}}{4L_{marche}}$  autour de l'axe z de la marche, si la profondeur de l'entaille/évidement,  $d_{entaille}$ , est d'au moins 14 mm. D'autres profondeurs d'entaille peuvent être acceptées pourvu qu'il puisse être démontré qu'elles atteignent la performance nécessaire.

**5.4.2.4 Assemblage de type 4 : marches d'escaliers à limons entaillés- pas de renfort de marche - avec contremarche**



**Légende**

- 1 trait de l'élément limon
- 2 trait de l'élément marche
- 3 valeurs de section transversale liées à la section rectangulaire de la marche
- 4 propriétés de l'assemblage conformément à 5.4.2.3, 3)
- 5 propriétés de l'assemblage conformément à 5.4.2.3, 4)
- $E_{I_{y,marche}}$  résistance à la flexion de la marche autour de l'axe y
- $E_{I_{z,marche}}$  résistance à la flexion autour de l'axe z
- $k_y^D$  raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe y
- $k_z^D$  raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe z
- $L_{marche}$  portée calculée d'une marche
- $x_{marche}$  axe local x de la marche
- $y_{marche}$  axe local y de la marche
- $z_{marche}$  axe local z de la marche

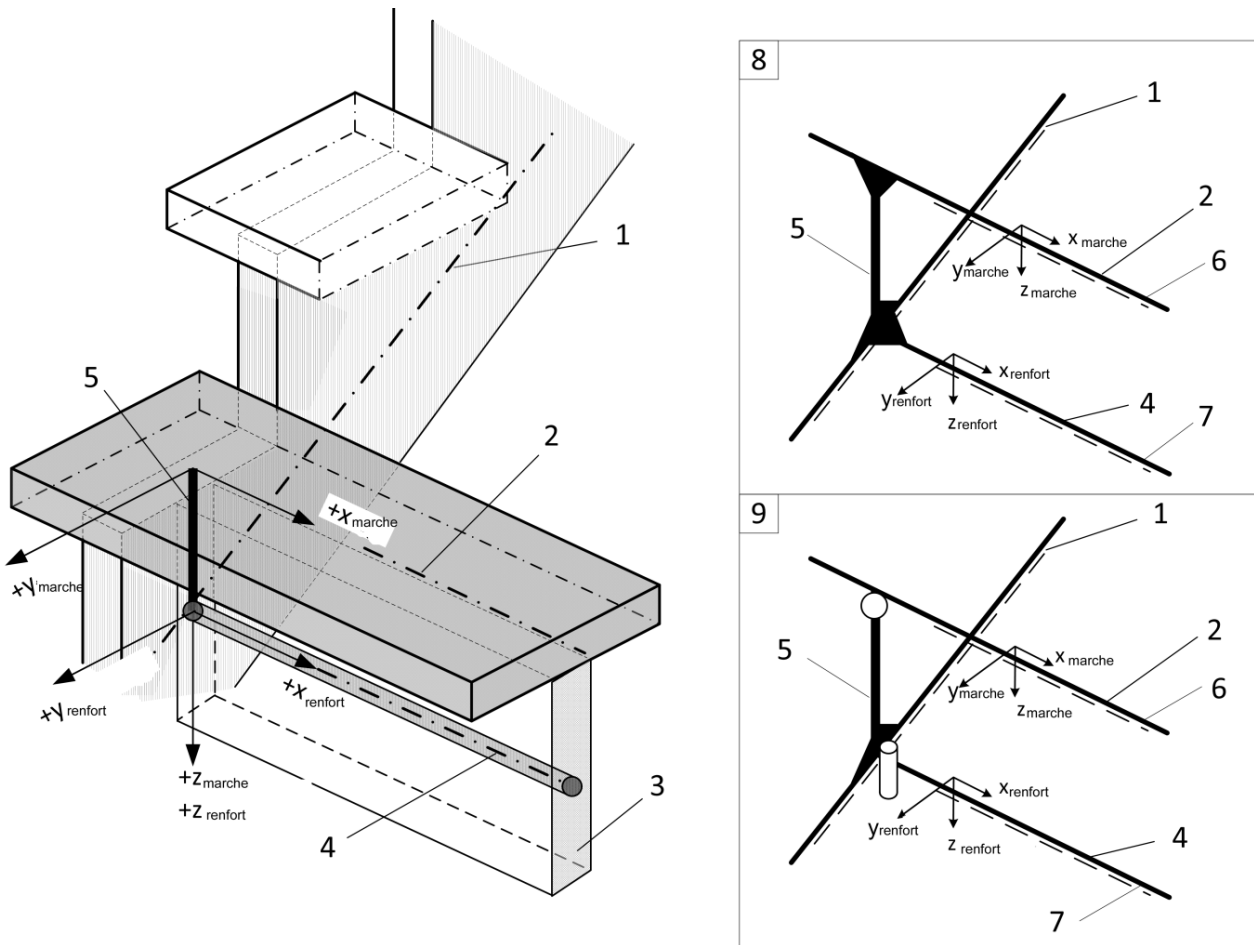
**Figure 21 — Assemblage de type 4 : marches d'escalier à limons entaillés – pas de renfort de marche – avec contremarches**

- 1) Les règles formulées pour le type 3 en ce qui concerne la modélisation de l'assemblage sont également valables pour une marche avec contremarche et sans renfort.
- 2) Lors de la modélisation de l'assemblage entre marche et limon, le trait de l'élément marche avec contremarche est toujours appliqué en prenant le trait de l'élément de la section transversale rectangulaire de la marche, indépendamment de la section transversale de la marche seule.



EN 16481:2014 (F)

5.4.2.5 Assemblage de type 5 : marche d'escaliers avec crémaillères – avec renfort



Légende

- 1 trait de l'élément crémaillère
- 2 trait de l'élément marche
- 3 exemple de démonstration d'un renfort
- 4 trait de l'élément renfort
- 5 trait de l'élément poutre de liaison rigide sans masse
- 6 valeurs de section transversale liées à la section rectangulaire de la marche
- 7 valeurs de section transversale liées à la section rectangulaire du renfort
- 8 propriété de l'assemblage – renfort collé
- 9 propriétés de l'assemblage – renfort non collé
- $X_{renfort}$  axe local x du renfort
- $Y_{renfort}$  axe local y du renfort
- $Z_{renfort}$  axe local z du renfort
- $X_{marche}$  axe local x de la marche
- $Y_{marche}$  axe local y de la marche
- $Z_{marche}$  axe local z de la marche

Figure 22 — Assemblage de type 5 : marches d'escaliers avec crémaillères –avec renfort

- 1) Le trait de l'élément marche avec renfort est relié de façon excentrée au trait de l'élément limon à une distance  $e_{marche}$ .

**EN 16481:2014 (F)**

Dans le contexte du modèle d'analyse de charpente, cette excentricité est modélisée par une poutre rigide et sans masse de longueur  $e_{\text{marche}}$  qui est assemblée au limon de façon rigide.

- 2) Le trait de l'élément crémaillère avec renfort est relié de façon non repositionnable au trait de l'élément poutre de liaison.
- 3) Les propriétés de l'assemblage relatives à la rotation mutuelle entre le trait de l'élément marche avec renfort et le trait de l'élément poutre de liaison doivent être vérifiées. Sans vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage présentant un jeu.

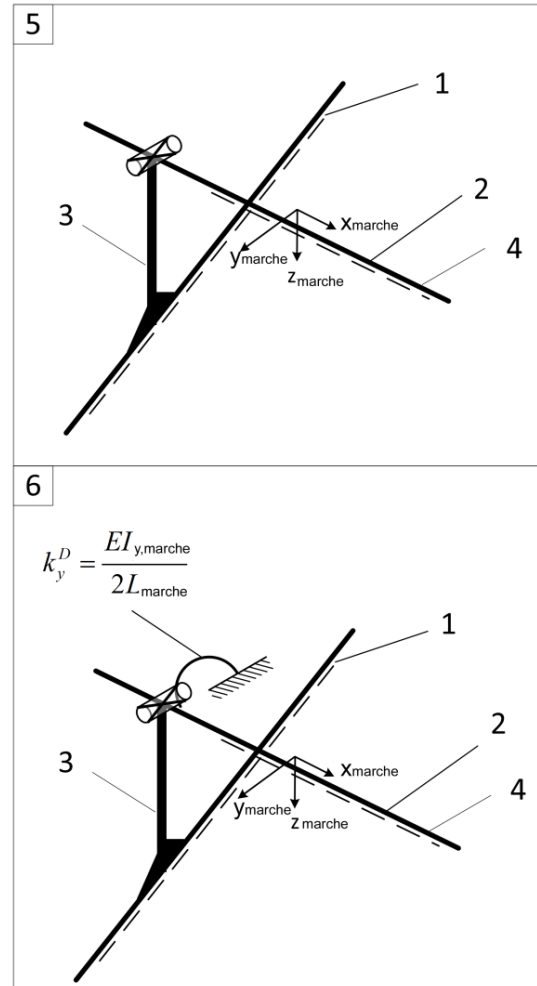
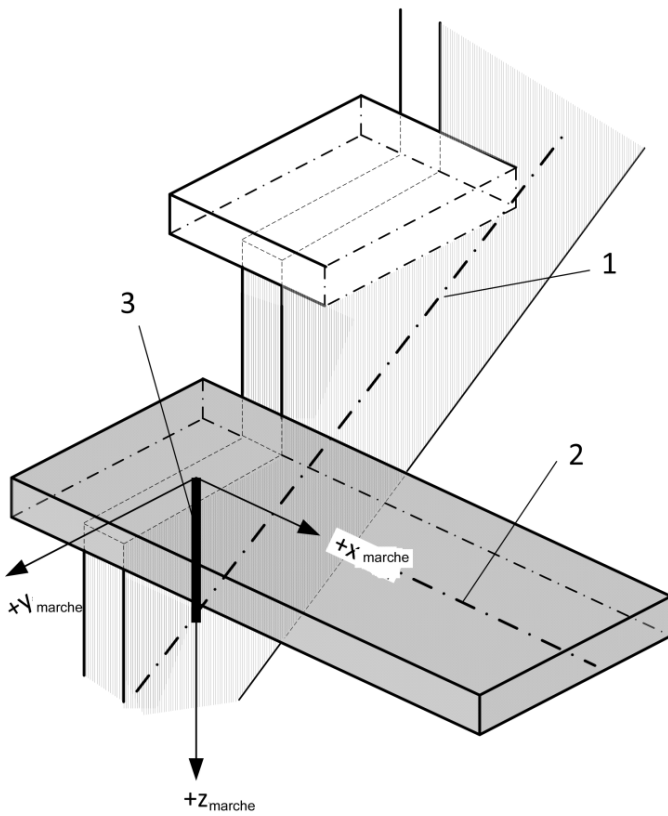
Si le renfort est collé sur le plan de marche, le trait de l'élément de la marche peut être relié au trait de l'élément de la poutre de liaison de manière rigide.

- 4) Le trait de l'élément renfort fixé sur une crémaillère centrale est relié au trait de l'élément limon.
- 5) Les propriétés de l'assemblage entre le trait de l'élément renfort et celui du limon doivent être vérifiées. Sans vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage non repositionnable, rigide autour de l'axe y et à pivot autour des axes x et z du renfort.

Si le renfort est collé sur la marche, le trait de l'élément renfort peut être relié au trait de l'élément limon de façon rigide.

EN 16481:2014 (F)

5.4.2.6 Assemblage de type 6 : marche d'escaliers à crémaillères – pas de renfort – pas de contremarche



Légende

- 1 trait de l'élément limon
- 2 trait de l'élément marche
- 3 trait de l'élément de la poutre de liaison rigide sans masse
- 4 valeurs de section transversale liées à la section rectangulaire de la marche
- 5 propriétés de l'assemblage conformément à 3) et 5)
- 6 propriétés de l'assemblage conformément à 4)
- $EI_{y, marche}$  résistance à la flexion de la marche autour de l'axe Y
- $k_y^D$  raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe Y
- $L_{marche}$  portée calculée d'une marche
- $x_{marche}$  axe local x de la marche
- $y_{marche}$  axe local y de la marche
- $z_{marche}$  axe local z de la marche

Figure 23 — Assemblage de type 6 : marche d'escaliers à crémaillères – pas de renfort – pas de contremarche

- 1) Le trait de l'élément marche sans renfort est relié de façon excentrée à une distance  $e_{\text{marche}}$  au trait de l'élément limon. Dans les modèles d'analyse de charpente, cette excentricité est modélisée par une poutre rigide sans masse reliée au limon, dont la longueur correspond à  $e_{\text{marche}}$ .
- 2) Le trait de l'élément marche sans renfort est relié de façon rigide au trait de l'élément poutre de liaison.
- 3) Les propriétés de l'assemblage relatives à la rotation mutuelle autour de l'axe x entre le trait de l'élément marche sans renfort et le trait de l'élément poutre de liaison doivent être vérifiées. Sans cette vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage ayant du jeu autour de l'axe x de la marche.

Si au moins deux fixations résistant à la traction et au cisaillement (goujon de poutre collé, vis ou élément similaire) sont intégrées dans la structure à une distance suffisante l'une de l'autre, l'élément marche sans renfort peut, avec la pièce d'écartement, être modélisé comme un assemblage rigide autour de l'axe x de la marche.

- 4) Les propriétés de l'assemblage liées à la rotation mutuelle autour de l'axe y entre le trait de l'élément marche sans renfort et l'élément poutre de liaison doivent être vérifiées. Sans cette vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage ayant du jeu autour de l'axe y de la marche.

Si l'épaisseur du limon,  $d_{\text{limon}}$ , est d'au moins 44 mm et que la marche est reliée au limon de façon à résister à la traction, l'assemblage peut - pour la vérification et sous la combinaison d'actions « Fréquence fondamentale\_100kg » - être modélisé autour de l'axe y de la marche avec une raideur

de ressort de torsion de  $k_y^D = \frac{EI_{y,\text{marche}}}{2L_{\text{marche}}}$ . D'autres épaisseurs de limons peuvent être acceptées

pourvu qu'il puisse être démontré qu'elles atteignent la performance nécessaire.

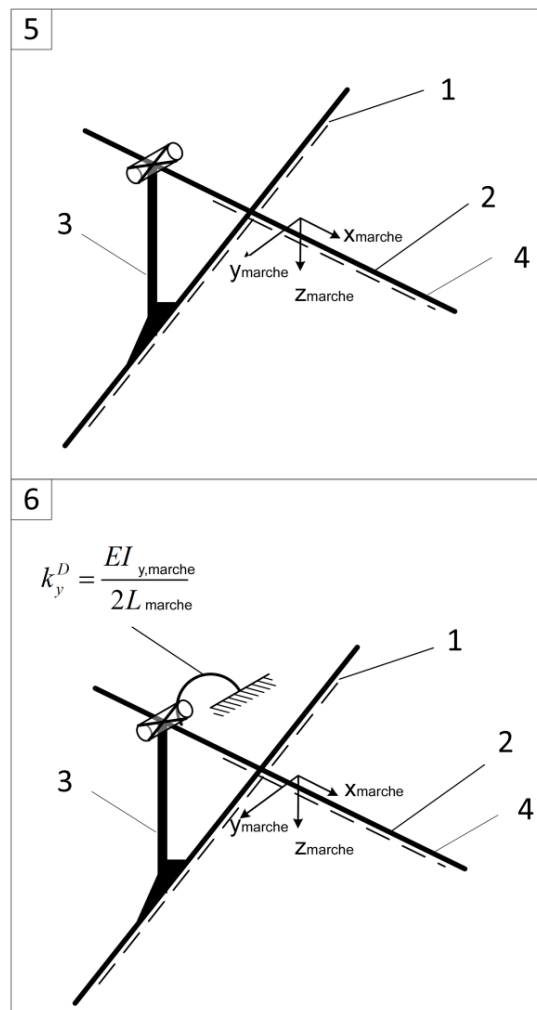
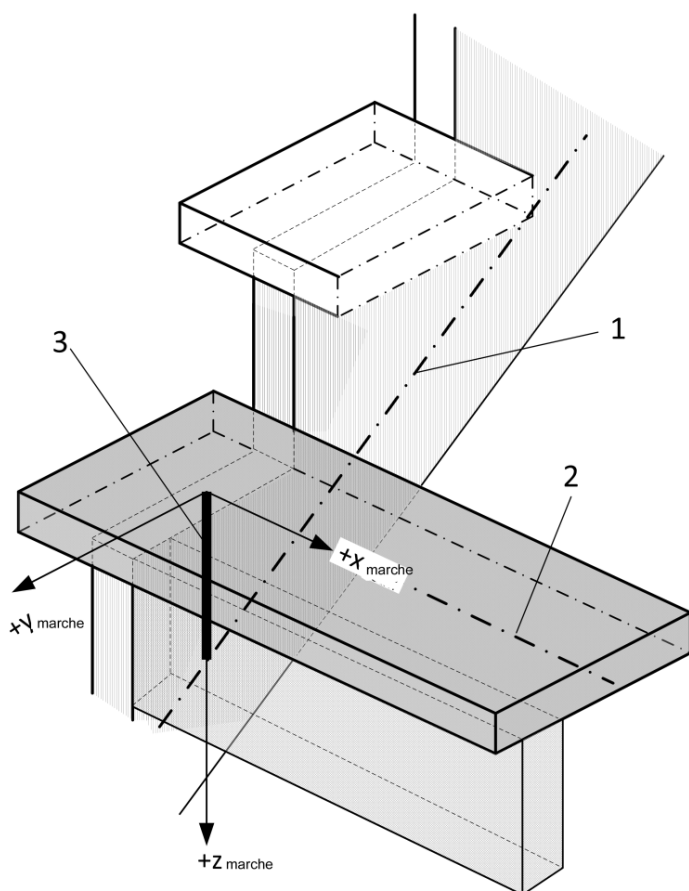
- 5) Les propriétés de l'assemblage relatives à la rotation mutuelle autour de l'axe z entre l'élément marche sans renfort et l'élément poutre de liaison doivent être vérifiées. Sans vérification, l'assemblage doit être modélisé comme un assemblage ayant du jeu autour de l'axe z de la marche.

Si au moins deux fixations résistantes à la traction et au cisaillement sont intégrées dans la structure à une distance suffisante l'une de l'autre, l'élément marche sans renfort peut, avec la poutre de liaison, être modélisé comme un assemblage rigide autour de l'axe z de la marche.

#### 5.4.2.7 Assemblage de type 7 : marche d'escaliers à crémaillères – pas de renfort– avec contremarche

- 1) Les règles formulées pour un assemblage de type 6 sont également valables pour une marche avec contremarche.
- 2) Lors de la modélisation de l'assemblage entre marche et limon, le trait de l'élément marche avec contremarche est toujours appliqué en prenant le trait de l'élément de la section transversale rectangulaire de la marche, indépendamment de la section transversale de la marche seule.

EN 16481:2014 (F)

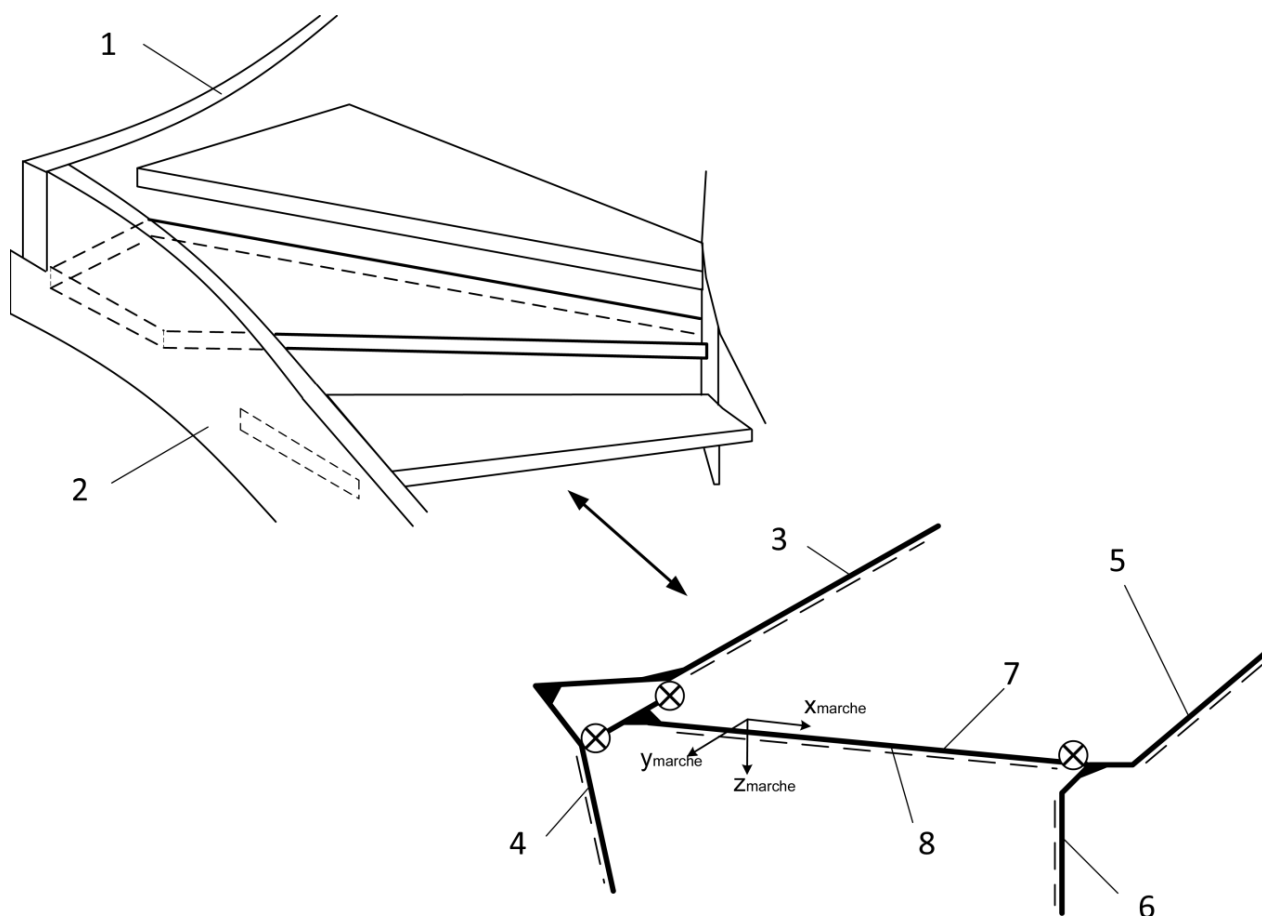


**Légende**

- 1 trait de l'élément limon
- 2 trait de l'élément marche
- 3 trait de l'élément poutre de liaison rigide sans masse
- 4 valeurs de section transversale liées à la section de forme en T (marche et contremarche)
- 5 propriétés de l'assemblage conformément 5.4.2.6, 3 et 5)
- 6 propriétés de l'assemblage conformément à 5.4.2.6, 4
- $EI_{y, \text{marche}}$  résistance à la flexion de la marche autour de l'axe y
- $k_y^D$  raideur du ressort de torsion en flexion autour de l'axe y
- $L_{\text{marche}}$  portée calculée d'une marche
- $x_{\text{marche}}$  axe local x de la marche
- $y_{\text{marche}}$  axe local y de la marche
- $z_{\text{marche}}$  axe local z de la marche

**Figure 24 — Assemblage de type 7 : marche d'escaliers à crémaillères – pas de renfort – avec contremarches**

5.4.2.8 Assemblage de type 8 : marche d'angle d'escaliers à limons entaillés



Légende

- 1 limon de mur au-dessus
  - 2 limon de mur au-dessous
  - 3 trait de l'élément limon de mur, du dessus
  - 4 trait de l'élément limon de mur, du dessous
  - 5 trait de l'élément limon intérieur, du dessus
  - 6 trait de l'élément limon intérieur, du dessous
  - 7 trait de l'élément marche
  - 8 valeurs de section transversale liées à la section rectangulaire de la marche (voir 5.2.4 ,4)
- $X_{marche}$  axe local x de la marche  
 $Y_{marche}$  axe local y de la marche  
 $Z_{marche}$  axe local z de la marche

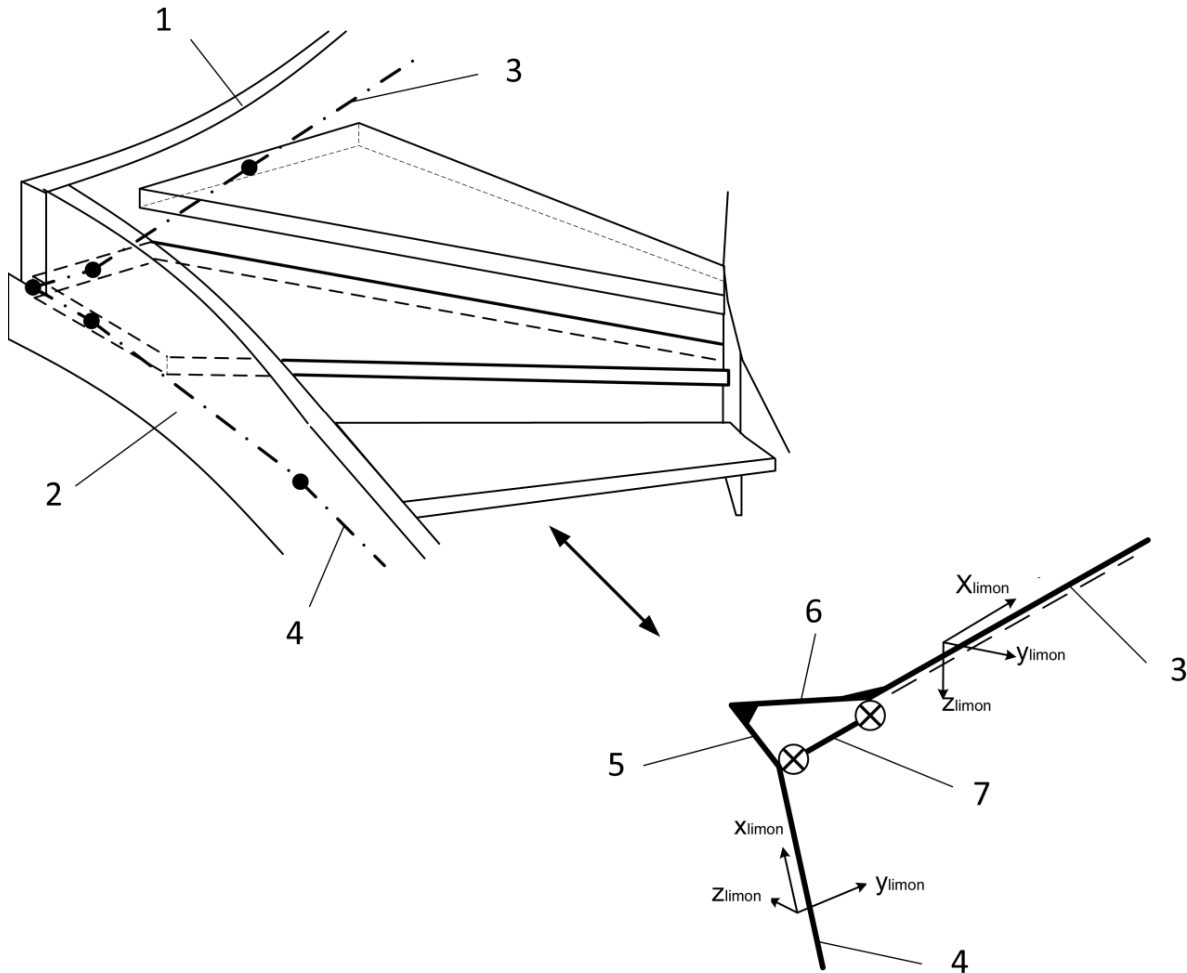
Figure 25 — Assemblage de type 8 : marche d'angle d'escaliers à limons entaillés

- 1) Au niveau de l'angle du limon de mur, le trait de l'élément marche d'angle est relié de façon rigide au trait de la ligne d'appui idéale.
- 2) Le trait d'une ligne d'appui idéale est relié de façon rigide à la torsion autour de l'axe x et de façon flexible autour des axes y et z, au trait de l'élément limon.
- 3) Au niveau de l'angle du limon intérieur, le trait de l'élément marche d'angle est relié de façon rigide à la torsion mais de manière flexible, aux traits des éléments de l'angle du limon intérieur.

## EN 16481:2014 (F)

### 5.4.3 Modélisation des assemblages limon-angle

#### 5.4.3.1 Assemblages des joints d'angle du limon de mur



#### Légende

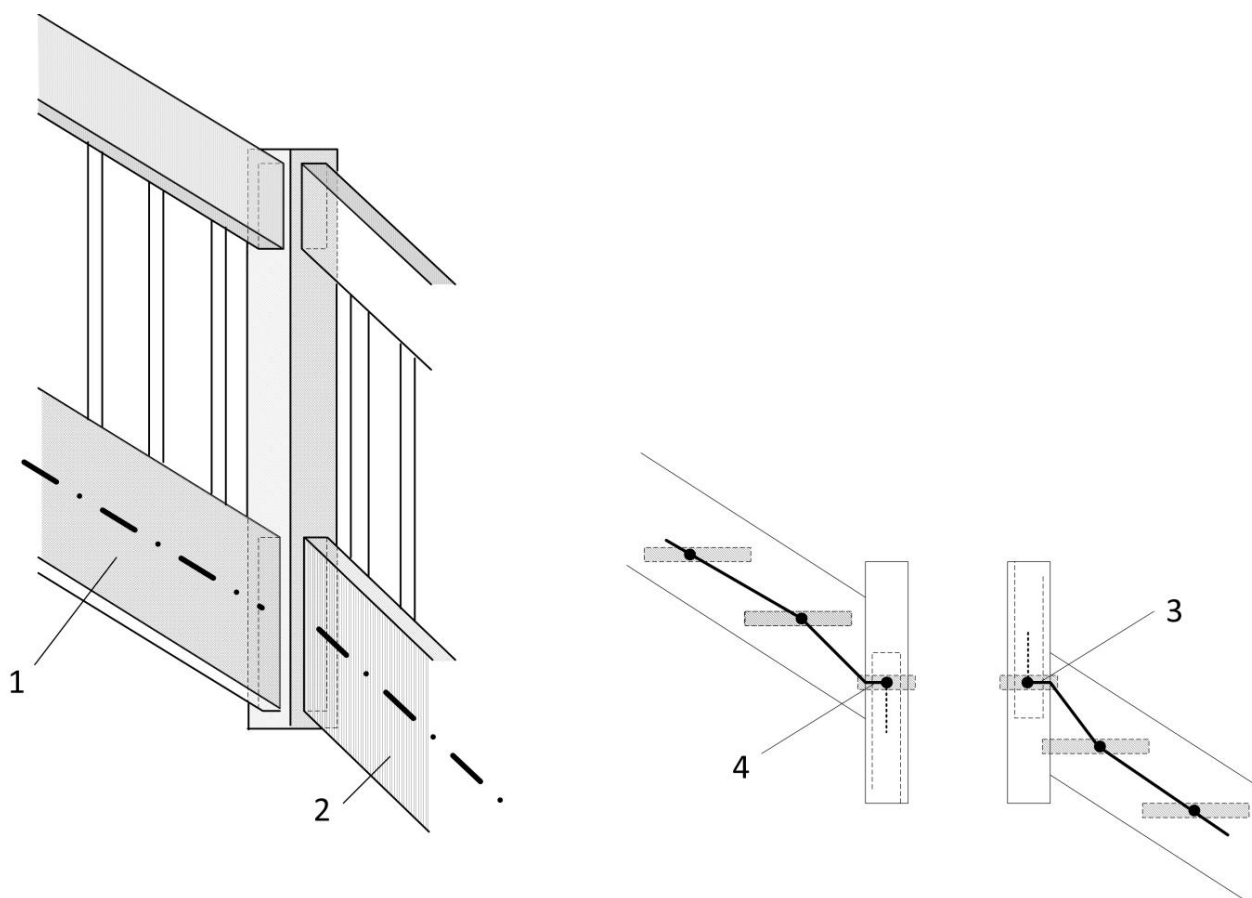
- 1 limon de mur, du dessus
- 2 limon de mur, du dessous
- 3 trait de l'élément limon de mur, du dessus
- 4 trait de l'élément limon de mur, du dessous
- 5 trait de l'élément de l'angle<sub>i</sub>
- 6 trait de l'élément de l'angle<sub>i+1</sub>
- 7 trait de l'élément poutre de liaison de la marche d'angle
- $X_{limon}$  axe local x du limon
- $Y_{limon}$  axe local y du limon
- $Z_{limon}$  axe local z du limon

Figure 26 — Assemblages des joints d'angle du limon de mur

- 1) Les traits des éléments des limons inférieur et supérieur sont reliés l'un à l'autre de façon rigide.
- 2) Le trait de l'élément de l'angle<sub>i</sub> ainsi que de l'angle<sub>i+1</sub> se situe horizontalement au niveau de la marche d'angle. Chaque fois, la longueur de la poutre mesure 0,5-longueur d'appui de la marche d'angle.

- 3) Le trait de l'élément de la poutre de liaison de la marche d'angle se situe entre le début de la poutre, en commençant à l'angle<sub>i</sub>, et la fin de la poutre à l'angle<sub>i+1</sub>.
- 4) La poutre de liaison de la marche d'angle est reliée de façon rigide à la torsion mais flexible autour des axes y et z du limon de mur.
- 5) La section transversale du limon de mur est utilisée comme section transversale pour toutes les poutres.

#### 5.4.3.2 Assemblage de l'angle du limon intérieur



#### Légende

- 1 limon intérieur du dessus
- 2 limon intérieur du dessous
- 3 trait de l'élément de l'angle<sub>i</sub>
- 4 trait de l'élément de l'angle<sub>i+1</sub>

Figure 27 — Assemblage de l'angle du limon intérieur

- 1) Les traits des éléments du limon inférieur et supérieur sont reliés l'un à l'autre de façon rigide.
- 2) Les traits des éléments de l'angle<sub>i</sub> ainsi que de l'angle<sub>i+1</sub> se situent horizontalement au niveau de la marche d'angle. La longueur de chaque trait d'élément au niveau de l'angle mesure 1,0 cm.
- 3) Toutes les poutres simples modélisées dans l'assemblage présentent les propriétés de la section transversale du limon intérieur.

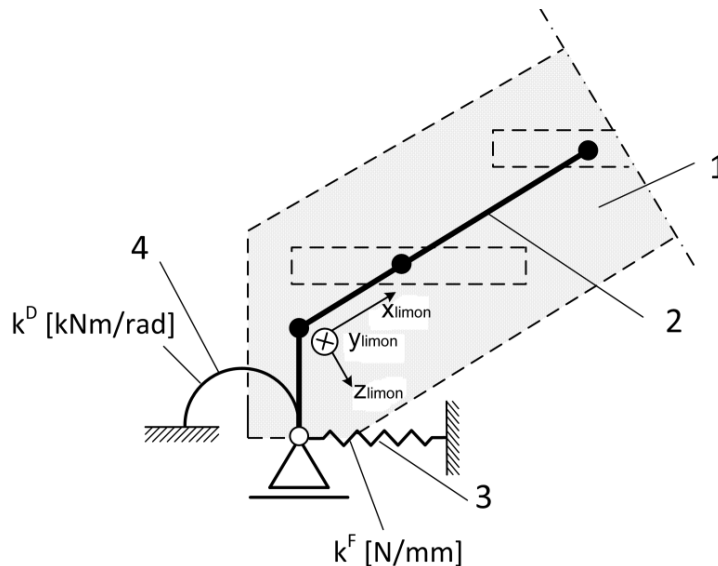


## EN 16481:2014 (F)

L'angle<sub>i</sub> et l'angle<sub>i+1</sub> peuvent être modélisés avec des sections transversales rigides.

### 5.4.4 Modélisation des assemblages à la construction

#### 5.4.4.1 Fixation au niveau de la marche de départ



#### Légende

- 1 vue de face du limon
- 2 trait de l'élément limon
- 3 ressort longitudinal dans la direction de la volée
- 4 ressort de torsion, fixé verticalement dans la direction de la volée
- $k^D$  raideur du ressort de torsion
- $k^F$  raideur du ressort à la traction
- $X_{\text{limon}}$  axe local x du limon
- $Y_{\text{limon}}$  axe local y du limon
- $Z_{\text{limon}}$  axe local z du limon

**Figure 28 — Fixation au niveau de la marche de départ**

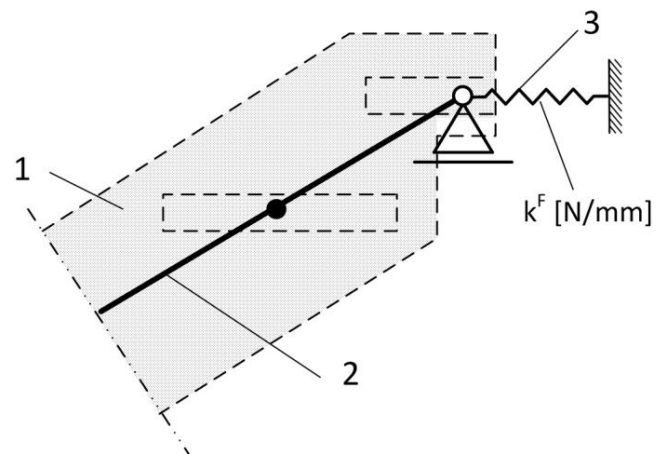
- 1) L'assemblage entre le limon et la construction au niveau de la marche de départ doit être modélisé comme un assemblage rigide/fixe dans la direction verticale.
- 2) L'assemblage entre le limon et la construction au niveau de la marche de départ peut être modélisé comme un assemblage rigide/fixe dans la direction de l'axe local y du limon.
- 3) L'assemblage du limon et de la construction au niveau de la marche de départ doit être modélisé comme un assemblage élastique dans la direction de la volée.

En l'absence d'autres directives nationales, la raideur du ressort choisie doit être  $k^F = 3\,000\text{ N/mm}$ .

- 4) L'assemblage entre le limon, le mur et la construction doit être modélisé comme un assemblage souple ayant un jeu.

Si la raideur du ressort de torsion  $k^D$  est choisie de telle sorte que les effets de la charge provoquent un déplacement entre le limon et le sol non fini allant (au maximum) jusqu'à créer un décollement du point d'appui, la liaison de la marche de départ peut être bloquée de façon élastique autour de l'axe local y du limon.

#### 5.4.4.2 Fixation au niveau de la marche d'arrivée



#### Légende

- 1 vue de face du limon
- 2 axe du système du limon
- 3 ressort longitudinal dans la direction de la volée
- $k^F$  raideur du ressort à la traction

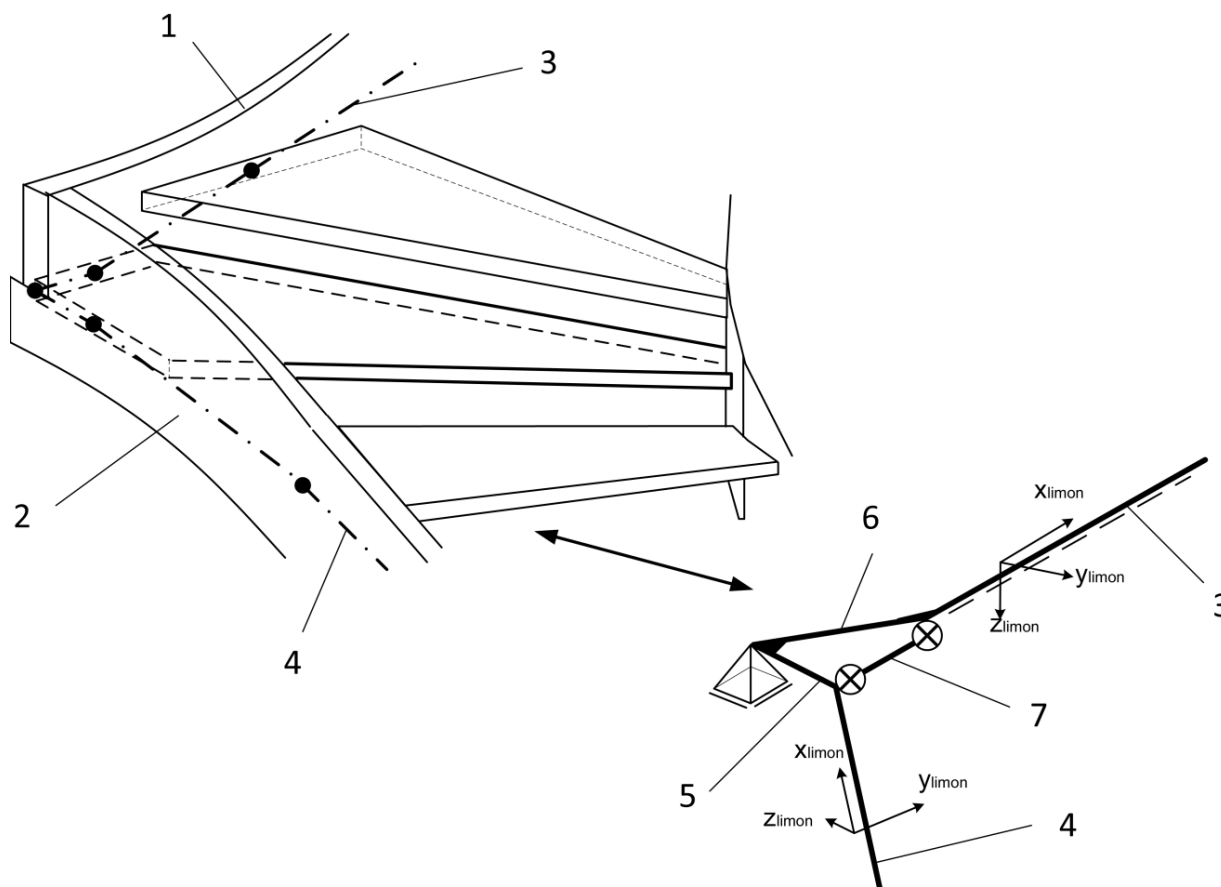
**Figure 29 — Fixation au niveau de la marche d'arrivée**

- 1) L'assemblage entre le limon et la construction au niveau de la marche d'arrivée doit être modélisé comme un assemblage non repositionnable et pouvant tourner librement dans toutes les directions.
- 2) L'assemblage entre le limon et la construction doit être modélisé comme un assemblage élastique dans la direction de la volée.

En l'absence d'autres directives nationales, la raideur du ressort choisie doit être  $k^F = 3\,000$  N/mm.

EN 16481:2014 (F)

5.4.4.3 Fixation d'angle dans la direction du mur



Légende

- 1 = limon de mur, du dessus
- 2 = limon de mur, du dessous
- 3 = trait de l'élément limon de mur, du dessus
- 4 = trait de l'élément limon de mur, du dessous
- 5 = trait de l'élément de l'angle<sub>i</sub>
- 6 = trait de l'élément de l'angle<sub>i+1</sub>
- 7 = trait de l'élément de la poutre de liaison de la marche d'angle
- X<sub>limon</sub> axe local x du limon
- Y<sub>limon</sub> axe local y du limon
- Z<sub>limon</sub> axe local z du limon

Figure 30 — Fixation d'angle dans la direction du mur

L'assemblage entre l'angle et la construction dans la direction du mur doit être modélisé comme un assemblage non repositionnable dans la direction verticale, repositionnable dans les deux directions horizontales et pouvant tourner librement autour de tous les axes.

5.5 Modélisation des charges

5.5.1 Modélisation des charges permanentes

Conformément aux règles d'analyse de charpente, les charges permanentes sont déterminées par le dimensionnement des sections transversales ainsi que par la masse volumique apparente du matériau de

construction et sont appliquées aux éléments de poutres simples. Dans le cas de marches rayonnantes, le dimensionnement d'une marche idéale de substitution est utilisé pour le calcul des charges permanentes, conformément à 5.2.3.

### 5.5.2 Modélisation de la charge verticale variable uniformément répartie $q_{k,1}$

- 1) Les charges verticales variables uniformément réparties,  $q_{k,1}$ , doivent simplement être appliquées à la zone accessible de la marche.
- 2) Dans le cas de marches droites, la charge linéaire devant être appliquée à l'élément marche est permanente en raison de la charge verticale variable et est calculée comme suit :

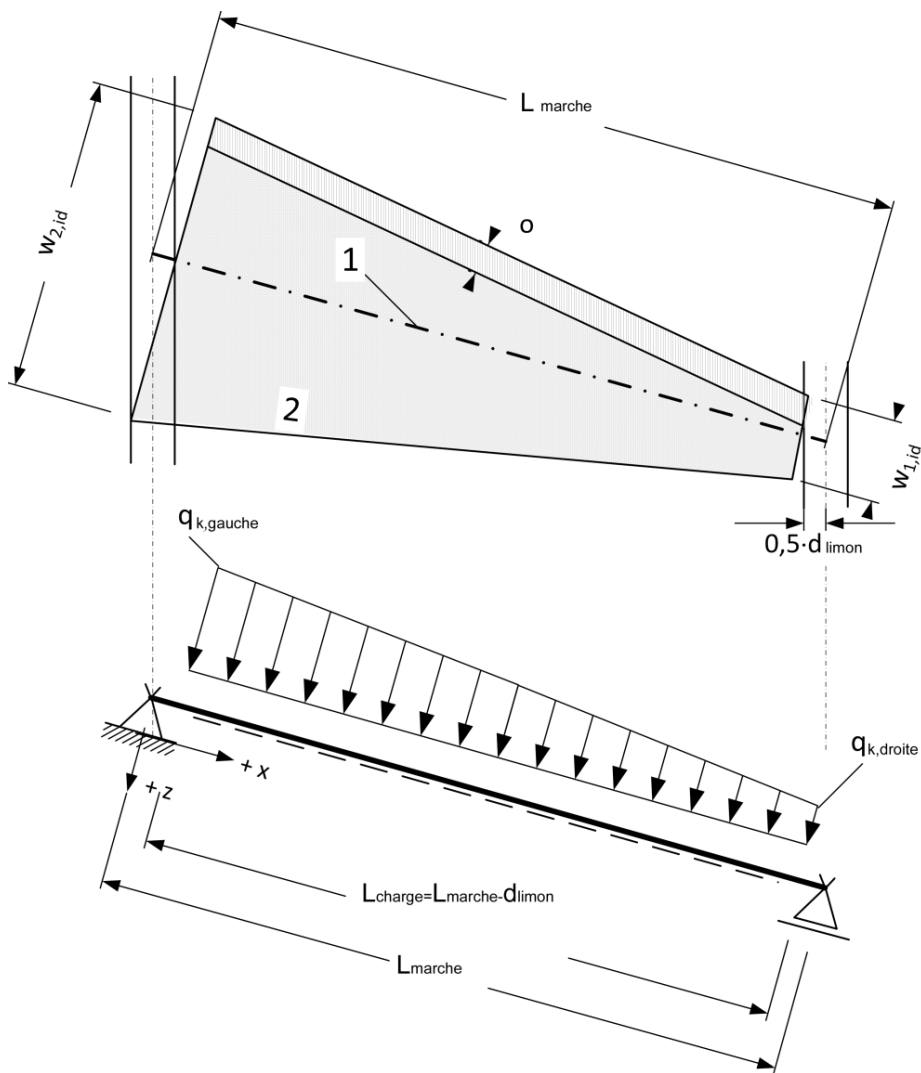
$$q_{k,gauche} = q_{k,droit} = q_{k,1} * (w_{marche} - o)$$

- 3) Pour les marches balancées, la charge est appliquée à la marche idéale de substitution (voir figure 31). La charge linéaire devant être appliquée à l'élément marche est linéaire en raison de la charge verticale variable et est calculée comme suit :

$$q_{k,gauche} = q_{k,1} * (w_{2,id} - o)$$

$$q_{k,droit} = q_{k,1} * (w_{1,id} - o)$$

EN 16481:2014 (F)



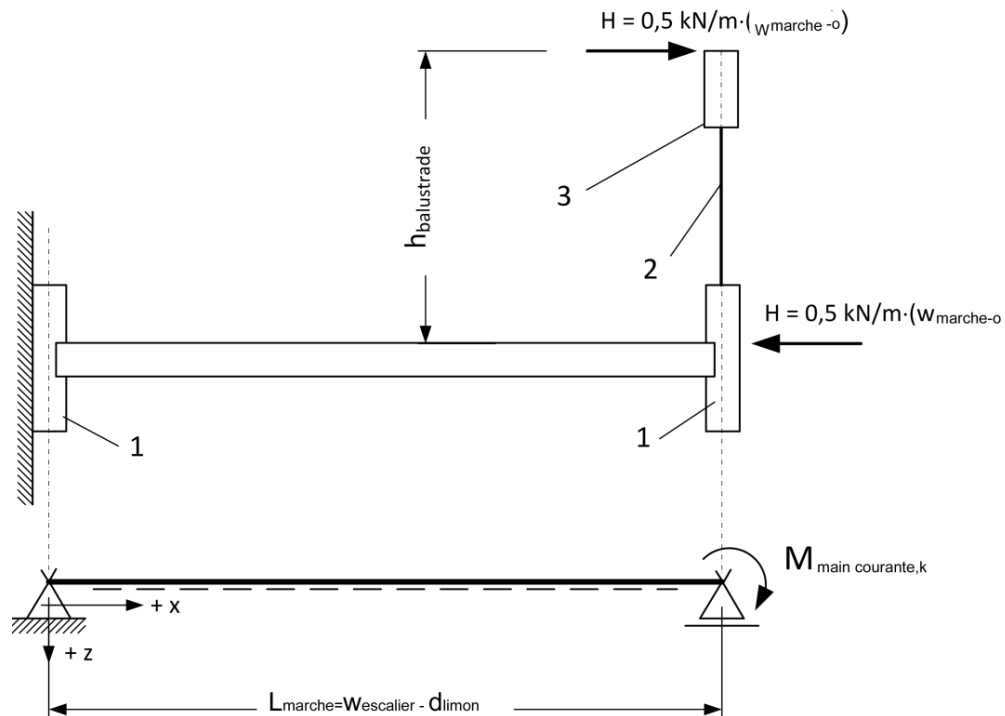
**Légende**

- 1 = axe de la marche réel
- 2 = vue en plan idéale de la marche
- $d_{limon}$  épaisseur du limon
- $L_{charge}$  longueur de la charge linéaire réelle
- $L_{marche}$  portée calculée d'une marche
- $o$  recouvrement
- $q_{k,gauche}$  valeur maximale d'une charge linéaire variable qui doit être appliquée sur une marche rayonnante
- $q_{k,droite}$  valeur minimale d'une charge linéaire variable qui doit être appliquée sur une marche rayonnante
- $w_{1,id}$  largeur idéale de la marche coté extérieur
- $w_{2,id}$  largeur idéale de la marche coté mur

**Figure 31 — Vue en plan idéal d'une marche balancée et système statique**

### 5.5.3 Modélisation de la charge horizontale variable et uniformément répartie $q_{k,2}$

- 1) Les charges horizontales variables uniformément réparties,  $q_{k,2}$ , doivent simplement être appliquées à la zone accessible de la marche (voir figure 32).



#### Légende

- 1 = section transversale du limon
- 2 = poteau de balustrade
- 3 = balustrade
- $d_{limon}$  épaisseur du limon
- $h_{balustrade}$  distance entre la charge horizontale sur la main courante et la marche
- $L_{marche}$  portée calculée d'une marche
- $M_{main\ courante,k}$  moment fléchissant pour la modélisation de la charge sur la main courante
- $o$  recouvrement
- $W_{escalier}$  largeur de volée
- $W_{marche}$  profondeur de marche

Figure 32 — Modélisation de la charge horizontale sur le garde-corps et système statique

- 2) Dans le cas des marches droites, un seul moment doit être appliqué à l'extrémité de l'élément marche et est calculé comme suit :

$$M_{main-courante,k} = 0,5 \cdot (w_{marche} - o) \cdot h_{balustrade} \left[ \frac{kN}{m} \cdot m \cdot m = kNm \right]$$

- 3) Pour les marches rayonnantes, la charge est appliquée à la marche idéale de substitution. Le seul moment devant être appliqué à l'extrémité de l'élément marche est calculé comme suit :

$$M_{rail,k} = 0,5 \cdot (w_{1,id} - o) \cdot h_{balustrade} \left[ \frac{kN}{m} \cdot m \cdot m = kNm \right]$$

## EN 16481:2014 (F)

### 6 Vérification à l'état limite de facilité d'usage

#### 6.1 Généralités

- 1) Aux états limites de facilité d'usage, la vérification est assurée tout d'abord par une limitation des déformations verticales admissibles et ensuite par une limitation de la fréquence fondamentale de la structure.
- 2) La vérification des valeurs limites de déformation indiquées doit être effectuée pour les marches individuelles ainsi que pour l'escalier dans son ensemble.
- 3) La vérification des valeurs limites de fréquence fondamentale indiquées ne doit être effectuée que pour l'escalier dans son ensemble.
- 4) Les valeurs limites pour l'évaluation de la facilité d'usage sont établies à l'échelle nationale.

En l'absence d'autres directives nationales, les valeurs limites définies en 6.2 sont valables en ce qui concerne la déformation verticale et la fréquence fondamentale (voir ETAG 008).

- 5) La combinaison d'actions utilisée pour effectuer la vérification des états limites de facilité d'usage est indiquée en 4.3.1.
- 6) Afin de vérifier la facilité d'usage d'une marche individuelle, la mesure de référence,  $L$ , définie en 5.2, est la largeur d'appui d'une marche individuelle.
- 7) Pour vérifier la facilité d'usage d'un escalier dans son ensemble, la mesure de référence,  $L$ , est la longueur de l'intégralité de la volée d'escalier et est mesurée le long de la ligne médiane.

#### 6.2 Valeurs limites de déformations

La vérification de la facilité d'usage est obtenue si les conditions suivantes sont respectées :

- a) Flèche associée à la combinaison d'actions « **Déformation  $q_{k,1}$**  » :

$$w_G + w_{q,k1} \leq \frac{L}{200}$$

En l'absence d'autre valeur nationale, la valeur par défaut doit être appliquée, à savoir longueur/200 (prise dans l'ETAG 008).

Cela doit inclure :

- 1)  $w_G$  déformation verticale due à une action permanente
- 2)  $w_{q,k1}$  déformation verticale due à une charge verticale variable uniformément répartie

- b) Flèche associée à la combinaison d'actions « **Déformation  $Q_{k,1}$**  » :

$$w_G + w_{Q,k1} \leq \frac{L}{200}$$

Cela doit inclure :

- 1)  $w_G$  déformation verticale due à une action permanente
- 2)  $w_{Q,k1}$  déformation verticale due à une charge verticale ponctuelle de taille

### 6.3 Vérification de l'oscillation

La vérification du comportement en oscillation est satisfaisante si la condition préalable suivante est remplie (voir l'EN 15644) :

- a) fréquence fondamentale sous la combinaison d'actions « **Fréquence fondamentale\_  $M_{k,2}$**  » :

$$f_1 \geq 5[\text{Hz}]$$

Cela doit inclure :

$f_1$  fréquence fondamentale résultant de l'effet commun d'une masse permanente et d'une masse unique de 100 kg dans la position la plus défavorable ou il est possible de se tenir debout.

- b) Avec la vérification des caractéristiques d'oscillation, le frottement statique dans les assemblages plan de marche-limon sous une charge insignifiante d'un escalier peut prendre en compte une augmentation de la rigidité.

Les directives correspondantes en ce qui concerne la rigidité à appliquer doivent être prises en 5.4.2 de la présente norme.

## 7 Vérification à l'état limite de capacité portante

### 7.1 Généralités

La capacité portante est vérifiée au niveau des valeurs nominales de la résistance des éléments, des contraintes résultantes et des valeurs de la section transversale déterminées conformément à l'Article 5.

### 7.2 Vérification de la capacité portante des sections transversales

- a) La vérification de la capacité portante des sections transversales des plans de marche et des limons doit être réalisée conformément à l'EN 1995-1-1. La vérification est assurée si les conditions suivantes sont remplies :

- 1) Vérification de la contrainte normale (voir l'Eurocode) :

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

et

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

- 2) Vérification de la contrainte de cisaillement (voir l'Eurocode) :

$$\frac{\tau_{lor,d}}{f_{v,d}} + \left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$$

- b) Dans le cas d'escaliers à limons entaillés, la contrainte de cisaillement peut être vérifiée sur la totalité de la section transversale, c'est-à-dire quelle que soit la profondeur de l'entaille.



## EN 16481:2014 (F)

- c) Dans le cas d'escaliers à crémaillères, la contrainte de cisaillement doit être vérifiée en impliquant l'utilisation de la hauteur,  $h_{\min}$ , pour une section transversale non perturbée.
- d) La conduite d'une vérification détaillée peut être exclue lorsque les éléments pour lesquels la vérification doit être effectuée présentent de toute évidence un dimensionnement suffisant.

### 7.3 Vérification de la capacité portante des assemblages

#### 7.3.1 Vérification de la capacité portante des assemblages marche-limon

- La capacité portante en torsion d'un assemblage marche-limon, conformément au 5.4.2 de la présente norme, est vérifiée si :

$$M_{x,d,marche} \leq M_{x,Rd,marche}$$

avec :

$M_{x,d,marche}$  moment de torsion caractéristique appliqué au début de la marche ou à son extrémité, respectivement, dû à des combinaisons d'actions conformément au 4.3.3 ;

$M_{x,Rd,marche}$  valeur obtenue du moment de torsion absorbable dans l'assemblage, déterminée par des essais ou par calcul.

Dans le cas d'escaliers à limons entaillés, la vérification est assurée si la profondeur de l'entaille/évidement  $d_{\text{logement}} \geq 14$  mm. D'autres profondeurs d'entailles peuvent être acceptées pourvu qu'il puisse être démontré qu'elles atteignent la performance nécessaire.

- La capacité portante en flexion autour de l'axe y de la marche d'un assemblage marche-limon, conformément au 5.4.2 de la présente norme, est vérifiée si :

$$M_{y,d,marche} \leq M_{y,Rd,marche}$$

avec :

$M_{y,d,marche}$  moment fléchissant caractéristique appliqué autour de l'axe y au début de la marche ou à son extrémité, respectivement, dû à des combinaisons de charges conformément au 4.3.3 ;

$M_{y,Rd,marche}$  valeur obtenue du moment fléchissant absorbable dans l'assemblage autour de l'axe y, déterminée par des essais ou par calcul.

- La capacité portante en flexion autour de l'axe z de la marche d'un assemblage marche-limon, conformément au 5.4.2 de la présente norme, est vérifiée si :

$$M_{z,d,marche} \leq M_{z,Rd,marche}$$

avec :

$M_{z,d,marche}$  moment fléchissant caractéristique appliqué autour de l'axe z au début de la marche ou à son extrémité, respectivement, dû à des combinaisons de charges conformément au 4.3.3 ;

$M_{z,Rd,marche}$  valeur obtenue du moment fléchissant absorbé dans l'assemblage autour de l'axe z, déterminée par des essais ou par calcul.

- Le renfort dans un assemblage entre marche et limon est vérifié si :

$$T_{d,renfort} \leq T_{Rd,renfort}$$

avec :

$T_{d,renfort}$  force caractéristique de traction dans le renfort due aux combinaisons de charges conformément au 4.3.3 ;

$T_{Rd,renfort}$  valeur obtenue de la force de traction absorbable dans le renfort, déterminée par des essais ou par calcul.

- Une méthode de vérification détaillée peut être exclue lorsque les assemblages présentent de toute évidence un dimensionnement suffisant.

### 7.3.2 Vérification de la capacité portante des assemblages limon-angle

- La capacité portante en torsion des assemblages limon-angle, conformément au 5.4.3 de la présente norme, est prouvée si :

$$M_{x,d,angle\_i} \leq M_{x,Rd,angle\_i}$$

avec :

$M_{x,d,angle\_i}$  moment caractéristique de torsion appliqué au niveau de l'angle dû à des combinaisons de charges conformément au 4.3.3 ;

$M_{x,Rd,angle\_i}$  valeur obtenue du moment de torsion absorbé dans l'assemblage, déterminée par des essais.

- La capacité portante en flexion des assemblages limon-angle autour de l'axe y de l'assemblage, conformément au 5.4.3 de la présente norme, est prouvée si :

$$M_{y,d,angle\_i} \leq M_{y,Rd,angle\_i}$$

avec :

$M_{y,d,angle\_i}$  moment fléchissant caractéristique appliqué autour de l'axe y au niveau de l'angle dû à des combinaisons de charges conformément au 4.3.3 de la présente norme

$M_{y,Rd,angle\_i}$  valeur obtenue du moment fléchissant absorbable dans l'assemblage autour de l'axe y, déterminée par des essais ou par calcul.

- La capacité portante en flexion des assemblages limon-angle autour de l'axe z de l'assemblage, conformément au 5.4.3 de la présente norme, est prouvée si :

$$M_{z,d,angle\_i} \leq M_{z,Rd,angle\_i}$$

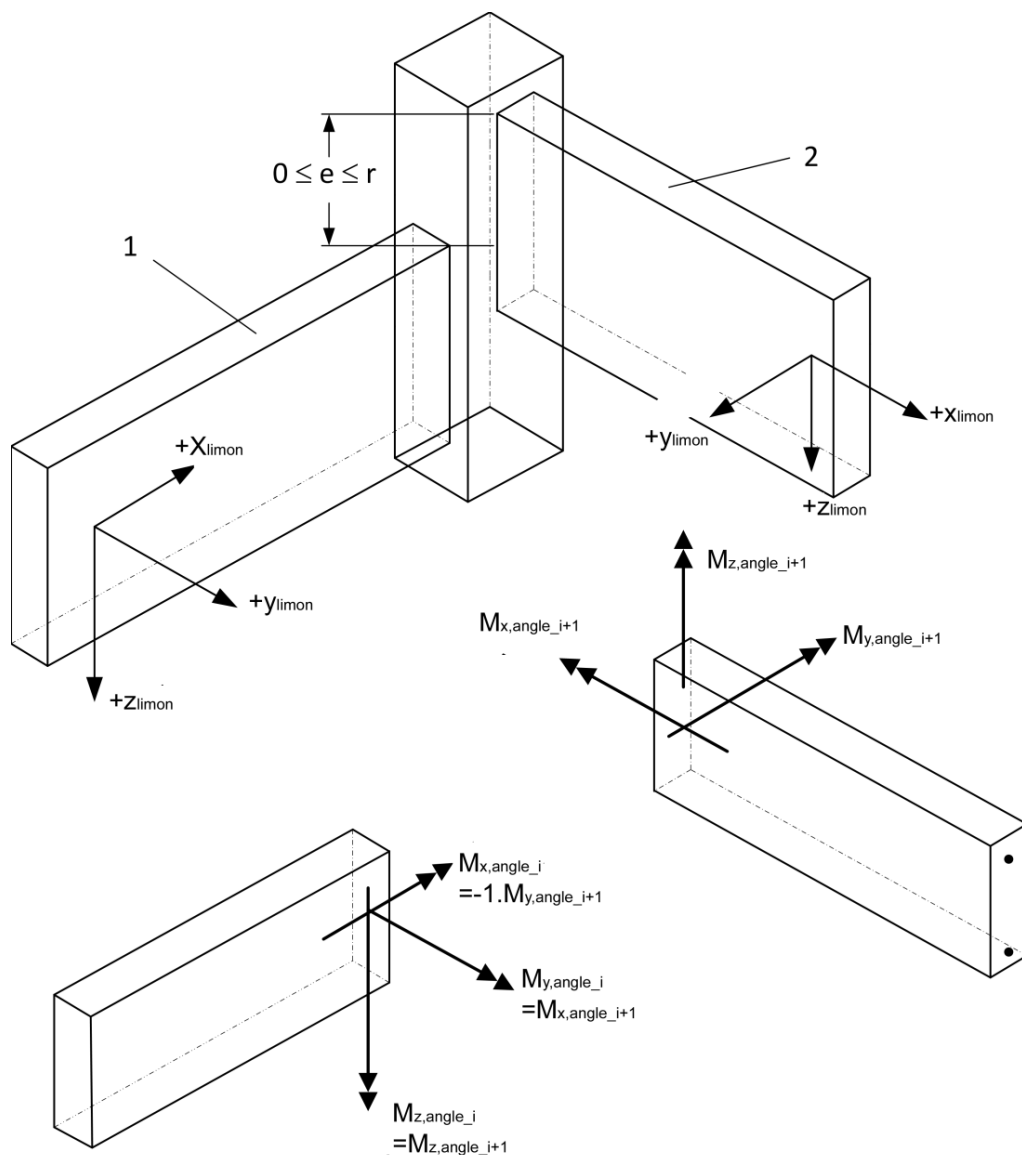
avec :

$M_{z,d,angle\_i}$  moment fléchissant caractéristique appliqué autour de l'axe z au niveau de l'angle dû à une combinaison de charges conformément au 4.3.3 de la présente norme

$M_{z,Rd,angle\_i}$  valeur obtenue du moment fléchissant absorbable dans l'assemblage autour de l'axe z, déterminée par des essais.

- A des fins de vérification, les définitions suivantes doivent être utilisées (voir figure 33) :

EN 16481:2014 (F)



**Légende**

1 limon au dessous

2 limon au dessus

$M_{x,d,angle_i}$  moment caractéristique de torsion appliqué avant le coin dû aux combinaisons de charges

$M_{y,d,angle_i}$  moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe y avant le coin, dû aux combinaisons de charges

$M_{z,d,angle_i}$  moment caractéristique fléchissant appliqué autour de l'axe z avant le coin, dû aux combinaisons de charges

$X_{limon}$  axe local x du limon

$Y_{limon}$  axe local y du limon

$Z_{limon}$  axe local z du limon

**Figure 33 — Définitions des assemblages limons angles**

— Une vérification détaillée peut être exclue dans le cas des assemblages décrits dans un document national d'application.

#### **7.4 Vérification de la capacité portante des assemblages d'éléments**

La capacité portante de l'assemblage entre la cage d'escalier et la construction du bâtiment doit être vérifiée conformément aux réglementations nationales en vigueur. La capacité de l'assemblage peut être vérifiée en utilisant les propriétés pertinentes du type d'assemblage utilisé.

La capacité portante des assemblages d'éléments peut également être vérifiée en effectuant les essais appropriés des éléments.

EN 16481:2014 (F)

## Bibliographie

- [1] CEN/TS 15680, *Escaliers préfabriqués en bois – Méthodes d'essais mécaniques*
- [2] ETAG 008, *Escaliers préfabriqués en kits*