



Rapport technique

ISO/TR 8955

Applications ferroviaires — Qualité géométrique de la voie — Méthode sur la base du cordeau

*Railway infrastructure — Track quality evaluation — Chord-
based method*

**Première édition
2025-03**

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2025

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et abréviations	2
5 Relation entre les systèmes de mesure et les méthodes d'évaluation pour le nivellement longitudinal et l'alignement	4
5.1 Systèmes de mesure	4
5.2 Méthodes d'évaluation	4
5.3 Relation entre les systèmes de mesure et les méthodes d'évaluation	4
6 Système de mesure de cordeau et méthode basée sur le cordeau pour le nivellement longitudinal et l'alignement	5
6.1 Système de mesure de cordeau	5
6.1.1 Généralités	5
6.1.2 Méthode du cordeau symétrique	5
6.1.3 Méthode du cordeau asymétrique	5
6.2 Fonction de transfert	6
6.2.1 Généralités	6
6.2.2 Rapport de la division du cordeau	7
6.2.3 Longueur de cordeau	10
6.3 Méthode sur la base du cordeau et classe de longueur des cordeaux	10
6.3.1 Méthode sur la base du cordeau	10
6.3.2 Classe de longueur de cordeau	11
7 Processus de coloration	11
7.1 Définition du processus de coloration	11
7.2 Méthode de coloration	12
7.2.1 Filtrage numérique par RIF (réponse impulsionnelle finie)	12
7.2.2 Filtrage numérique par RII (réponse impulsionnelle infinie)	14
7.2.3 Méthode du domaine spatial	14
7.2.4 Méthode du domaine fréquentiel	14
7.3 Vérification du processus de coloration	15
7.3.1 Introduction	15
7.3.2 Vérification à l'aide de signaux d'essai	15
7.3.3 Vérification avec les données enregistrées de géométrie de la voie	17
8 Processus de recoloration	18
8.1 Définition du processus de recoloration	18
8.2 Méthode de recoloration	20
8.3 Vérification du processus de recoloration	20
9 Élimination de l'influence de la configuration de géométrie de la voie	20
10 Utilisation de la forme d'onde restaurée	21
Annexe A (informative) Exemple de méthode de coloration en langage MATLAB	22
Annexe B (informative) Vérification de la coloration/décoloration	30
Bibliographie	43

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 269, « Applications ferroviaires »; sous-comité SC 1, « Infrastructure ».

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

L'ISO 23054-1 décrit en parallèle la méthode de la plage de longueurs d'onde et la méthode sur la base du cordeau, permettant d'évaluer la qualité géométrique de la voie. L'ISO 23054-1 spécifie une technique détaillée pour obtenir une géométrie de la voie dans une plage de longueurs d'onde souhaitée à partir du signal mesuré par un système de mesure inertielle ou le système de mesure de cordeau. L'ISO 23054-1 ne spécifie pas de technique pour obtenir le signal par une méthode particulière sur la base du cordeau à partir du signal mesuré par un système de mesure inertiel ou un système de mesure de cordeau avec une base de cordeau différente.

La méthode sur la base du cordeau est une méthode de gestion de la géométrie de la voie utilisant un signal d'évaluation qui met en évidence la géométrie de la voie d'une composante de longueur d'onde spécifique. Cette méthode est utilisée dans de nombreux pays. Le système de mesure de cordeau et la méthode sur la base du cordeau sont utilisés pour mesurer et évaluer les paramètres géométriques de la voie: l'alignement et le nivellement longitudinal.

Le présent document fournit des informations sur la méthode sur la base du cordeau pour l'évaluation de la géométrie de la voie, avec un accent particulier sur la relation entre un système de mesure inertiel et un système de mesure de cordeau appliquant la méthode sur la base du cordeau avec différentes longueurs de cordeau et divisions de cordeau. Le présent document est destiné à être utilisé conjointement avec l'ISO 23054-1.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Applications ferroviaires — Qualité géométrique de la voie — Méthode sur la base du cordeau

1 Domaine d'application

Le présent document décrit la relation entre un système de mesure inertiel et un système de mesure de cordeau appliquant la méthode basée sur le cordeau avec différentes longueurs de cordeau et divisions de corde.

Le présent document s'applique aux écartements de voie de 1 435 mm et plus larges. Le présent document ne s'applique pas aux systèmes de transport en commun urbain/léger, aux tramways et à toute voie dont l'écartement est inférieur à 1 435 mm.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 23054-1, *Applications ferroviaires — Qualité géométrique de la voie — Partie 1: Caractérisation de la géométrie de la voie et de la qualité géométrique de la voie*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 23054-1 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1

méthode de plage de longueurs d'onde

méthode d'évaluation pour le nivellement longitudinal et l'alignement utilisant des signaux non colorés par la fonction de transfert

3.2

méthode sur la base du cordeau

méthode d'évaluation pour le nivellement longitudinal et l'alignement utilisant des signaux colorés par la fonction de transfert

3.3

signal coloré

signal déformé en amplitude et en phase par la fonction de transfert

3.4

coloration

processus de génération d'un signal de mesure de cordeau à partir d'un signal de mesure non coloré

3.5**décoloration**

processus d'élimination de la distorsion d'un signal de mesure de cordeau pour récupérer un signal de mesure non coloré

3.6**recoloration**

processus de transformation d'un signal coloré en un autre signal coloré

4 Symboles et abréviations

Pour les besoins du présent document, les symboles fournis dans l'ISO 23054-1 et les suivants s'appliquent.

a	longueur de la section de cordeau de fuite (c'est-à-dire $L = a + b$), variations: a_e, a_m
a_k	coefficient de filtre (dénominateur) de la transformée en Z
b	longueur de la section de cordeau de fuite (c'est-à-dire $L = a + b$), variations: b_e, b_m
b_k	coefficient de filtre (numérateur) de la transformée en Z
d	distance (m)
d_s	distance d'échantillonnage pour la variable s (m)
C_1	classe de longueur de cordeau court basée sur la vitesse de la ligne
C_2	classe de longueur de cordeau long basée sur la vitesse de la ligne
F	transformée de Fourier
F^{-1}	inverse de la transformée de Fourier
$h(s)$	réponse impulsionnelle
$h_s(q)$	forme discrète de h telle que $h_s(q) = h(q \cdot d_s)$
H	fonction de transfert dans le domaine de Fourier, transformée de Fourier de $h(s)$, variations: $H_l, H_R, H_e, H_{em}, H_m, H_m^w$
H_e	fonction de transfert de coloration pour le cordeau [a_e, b_e]
H_{em}	fonction de transfert entre le signal de mesure et le signal d'évaluation (c'est-à-dire la fonction de transfert pour le processus de recoloration)
H_l	partie imaginaire de la fonction de transfert
H_m	fonction de transfert de coloration pour le cordeau [a_m, b_m]
H_R	partie réelle de la fonction de transfert
H_m^w	fonction de transfert de décoloration pour le cordeau [a_m, b_m] (c'est-à-dire l'inverse de Wiener de H_m)
$H_L(p)$	fonction de transfert de h dans le domaine de Laplace
H^E	estimation de H
$H_z(Z)$	fonction de transfert sous la forme dans le domaine Z
j	unité imaginaire

l	longueur de cordeau normalisée
L	longueur de cordeau
m	amplitude de la fonction de transfert
M	amplitude du coefficient de la transformée en Z (numérateur et dénominateur)
p	variable de Laplace
q	forme discrète de la variable d'espace s (c'est-à-dire $q = \frac{s}{d_s}$; q est un entier)
r_0	rapport de division de cordeau
$R_{n/s}$	rapport signal sur bruit
s	variable d'espace (m)
S_{XX}	densité spectrale de puissance du signal d'entrée $x(s)$
S_{YX}	densité spectrale croisée du signal d'entrée $x(s)$ et du signal de sortie $y(s)$
V	décalage du cordeau au rail au point de mesure
w	longueur d'onde (m)
O_x	plage de longueurs d'onde (voir ISO 23054-1)
$x_s(q)$	forme discrète du signal x telle que $x_s(q) = x(q \cdot d_s)$
$x(s)$	signal d'entrée variable le long de l'espace, par exemple signal de flèche
X_r	axe réel
$X(\omega)$	transformée de Fourier de $x(s)$
$y_a(s)$	amplitude de $y(s)$ (m)
$y_e(s)$	erreur d'amplitude d'un signal d'alignement ou de nivellement longitudinal (m)
$y(s)$	signal de sortie variable le long de l'espace, par exemple signal d'alignement ou signal de nivellement longitudinal
Y_i	axe imaginaire
$y_s(q)$	forme discrète du signal y telle que $y_s(q) = y(q \cdot d_s)$
$y^D(s)$	version décalée dans l'espace de $y(s)$ avec un retard D $y^D(s) = y(s+D)$
$y_s^D(q)$	forme discrète du signal $y^D(s)$ telle que $y_s^D(q) = y(q \cdot d_s + D)$
$Y(\omega)$	transformée de Fourier de $y(s)$
δ	fonction delta de Dirac
ω	fréquence angulaire spatiale

5 Relation entre les systèmes de mesure et les méthodes d'évaluation pour le nivellement longitudinal et l'alignement

5.1 Systèmes de mesure

Il existe deux systèmes de mesure utilisés pour le nivellement longitudinal et l'alignement:

- système de mesure inertiel;
- système de mesure de cordeau.

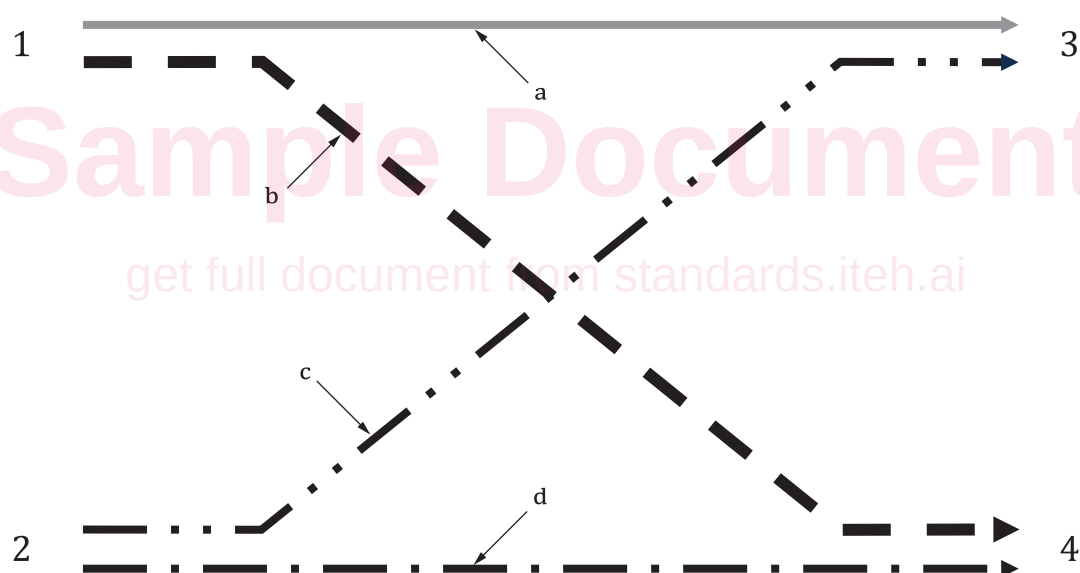
5.2 Méthodes d'évaluation

Il existe deux méthodes d'évaluation pour le nivellement longitudinal et l'alignement:

- méthode de plage de longueurs d'onde;
- méthode sur la base du cordeau.

5.3 Relation entre les systèmes de mesure et les méthodes d'évaluation

Les systèmes de mesure et les méthodes d'évaluation de la géométrie de la voie sont liés, ce qui permet une conversion mutuelle entre eux ([Figure 1](#)).



Légende

- 1 système de mesure inertiel
- 2 système de mesure de cordeau
- 3 méthode de plage de longueurs d'onde
- 4 méthode sur la base du cordeau
- a Processus de filtrage pour convertir la géométrie de la voie mesurée par un système de mesure inertiel pour l'évaluation des irrégularités de la voie par la méthode de plage de longueurs d'onde; voir l'ISO 23054-1:2022, Annexes C et D.
- b Processus de coloration pour convertir la géométrie de la voie mesurée par un système de mesure inertiel pour l'évaluation de l'irrégularité de la voie par la méthode sur la base du cordeau, voir [l'Article 7](#).
- c Processus de décoloration pour convertir la géométrie de la voie mesurée par un système de mesure de cordeau pour l'évaluation de l'irrégularité de la voie par la méthode de plage de longueurs d'onde; voir l'ISO 23054-1:2022, Annexe E.
- d Processus de recoloration pour convertir la géométrie de la voie mesurée par un système de mesure de cordeau spécifié pour l'évaluation de l'irrégularité de la voie par une autre méthode sur la base du cordeau;

voir [l'Article 8](#). Si le même cordeau est utilisé pour la mesure et l'évaluation, le processus de recoloration n'est pas utilisé.

Figure 1 — Relation entre les systèmes de mesure et les méthodes d'évaluation

L'autorité ferroviaire et le gestionnaire d'infrastructure peuvent adopter l'un des systèmes de mesure et des méthodes d'évaluation énumérés dans le présent article.

6 Système de mesure de cordeau et méthode basée sur le cordeau pour le nivellement longitudinal et l'alignement

6.1 Système de mesure de cordeau

6.1.1 Généralités

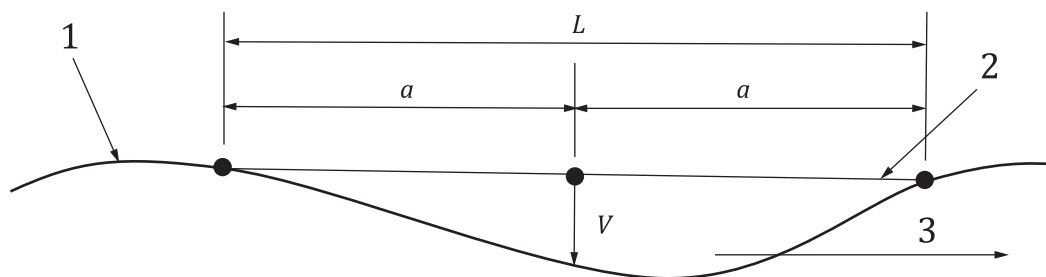
Le système de mesure de cordeau est une méthode pour mesurer le nivellement longitudinal et l'alignement de la géométrie de la voie. Le système de mesure de cordeau mesure le décalage entre un cordeau droit et le rail à une position définie entre les deux points d'extrémité du cordeau.

Le cordeau droit peut être soit mécanique, soit optique. Dans les deux cas, l'interaction entre le comportement statique et dynamique du véhicule (ou le support du système de mesure) est évaluée par rapport à l'exactitude requise.

NOTE Les systèmes de mesure de cordeau sont aujourd'hui appliqués aux véhicules enregistrant la géométrie des voies. La caisse des véhicules est utilisée comme cordeau de référence pour la mesure. Comme la déformation de la caisse ne peut pas toujours être négligée, un faisceau laser installé à l'intérieur de la caisse des véhicules d'enregistrement de la géométrie de la voie peut être utilisé comme cordeau de référence.

6.1.2 Méthode du cordeau symétrique

Dans le cas d'un cordeau symétrique, le décalage par rapport au rail est mesuré au centre du cordeau. Cela signifie que les longueurs des deux sections de cordeau ne sont pas égales; voir la [Figure 2](#).



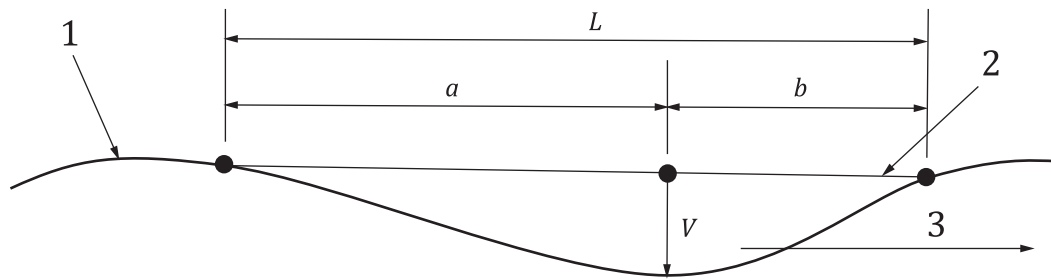
Légende

- 1 rail
- 2 cordeau
- 3 direction de mesure
- V décalage du cordeau au rail au point de mesure
- L longueur de cordeau
- a longueur de cordeau divisée, $L = 2a$

Figure 2 — Méthode du cordeau symétrique

6.1.3 Méthode du cordeau asymétrique

Dans le cas d'un cordeau asymétrique, le décalage par rapport au rail n'est pas mesuré au centre du cordeau. Cela signifie que les longueurs des deux sections de cordeau ne sont pas égales; voir la [Figure 3](#).



Légende

1	rail
2	cordeau
3	direction de mesure
V	décalage du cordeau au rail au point de mesure
L	longueur de cordeau
a, b	longueur de cordeau divisée, $L = a + b$

Figure 3 — Méthode du cordeau asymétrique

6.2 Fonction de transfert

6.2.1 Généralités

La fonction de transfert entre l'alignement ou le nivellement longitudinal et le signal obtenu avec un système de mesure de cordeau ($L = a + b$) est exprimée par les Formules (1) et (2). La valeur absolue de la fonction de transfert $|H(\lambda)|$ indique la caractéristique d'amplitude, et l'argument de la fonction de transfert $\angle H(\lambda)$ indique la caractéristique de phase.

Comme l'ordre de division des cordeaux, en ce qui concerne la direction de mesure, est substantiel pour l'expression de la fonction de transfert, le présent document définit «a» comme la division de cordeau arrière et «b» comme la division de cordeau avant.

$$|H(w)| = \sqrt{\left[\left(1 - \frac{b}{L} \cos\left(\frac{2\pi a}{w}\right) - \frac{a}{L} \cos\left(\frac{2\pi b}{w}\right) \right)^2 + \left(\frac{b}{L} \sin\left(\frac{2\pi a}{w}\right) - \frac{a}{L} \sin\left(\frac{2\pi b}{w}\right) \right)^2 \right]} \quad (1)$$

$$\angle H(w) = \tan^{-1} \frac{H_I(w)}{H_R(w)} \quad (2)$$

où

H	est la fonction de transfert;
w	est la longueur d'onde;
L	est la longueur de cordeau;
a, b	sont les longueurs de cordeau divisées, $L = a + b$; NOTE 1 Dans le cas d'un cordeau symétrique, $b = a$. NOTE 2 L'ordre de a et b est important; voir la Figure 3.
H_I	est la partie imaginaire de la fonction de transfert;
H_R	est la partie réelle de la fonction de transfert.

La formulation complète de la fonction de transfert peut être trouvée, par exemple, dans les [Formules \(3\)](#) et [\(4\)](#). Une présentation détaillée est fournie dans la Référence [\[1\]](#). La transformée de Laplace du filtre peut être exprimée comme suit:

$$H_L(p) = \left[\frac{b}{a+b} \exp(-a p) + \frac{a}{a+b} \exp(b p) - 1 \right] \quad (3)$$

$$p = s + j\omega = s + j \frac{2\pi}{w} \quad (4)$$

où

H_L est la fonction de transfert sous la forme dans le domaine de Laplace;
 p est la variable de Laplace;
 s est la distance;
 j est l'unité imaginaire;
 ω est la fréquence angulaire spatiale.

Ce spectre continu est obtenu comme décrit dans la Référence [\[1\]](#) à partir de la réponse de la fonction impulsion en s dans la [Formule \(5\)](#):

$$h(s) = \frac{b}{a+b} \delta(s-a) + \frac{a}{a+b} \delta(s+b) - \delta(s) \quad (5)$$

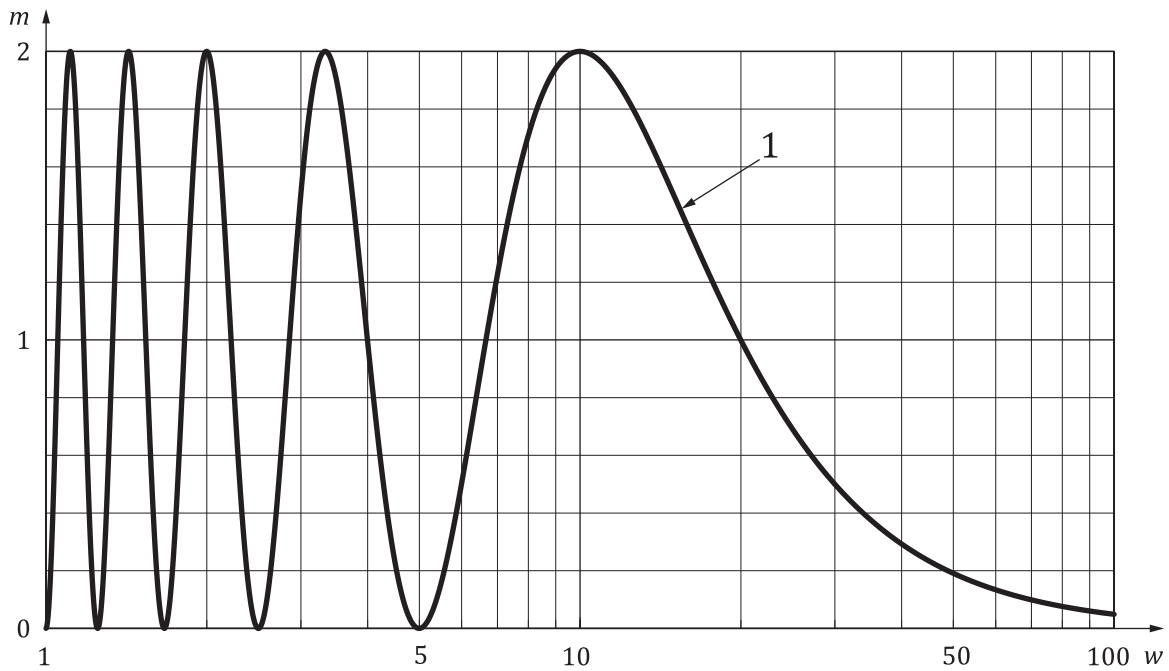
où

h est la fonction impulsion;
 s est la distance de mesure;
 δ est la fonction delta de Dirac.

6.2.2 Rapport de la division du cordeau

Lorsque le rapport de la division du cordeau du système de mesure de cordeau est modifié, les caractéristiques de la fonction de transfert entre l'alignement ou le nivellement longitudinal et le signal obtenu avec un système de mesure de cordeau ($L = a + b$) changent également.

La [Figure 4](#) montre un exemple de fonction de transfert avec une longueur de cordeau, L , de 10 m et une division de cordeau ($a = b$) de 5 m. Cette méthode est appelée la méthode du cordeau symétrique de 10 m. Dans la méthode du cordeau symétrique, le gain est de 2 à la longueur d'onde $L/(2n-1)$ avec $n \geq 1$. Le gain est nul à la longueur d'onde $L/(2n)$ avec $n \geq 1$, où n est un entier positif.



Légende

m	amplitude de la fonction de transfert
w	longueur d'onde (m)
1	fonction de transfert — 5 m/5 m

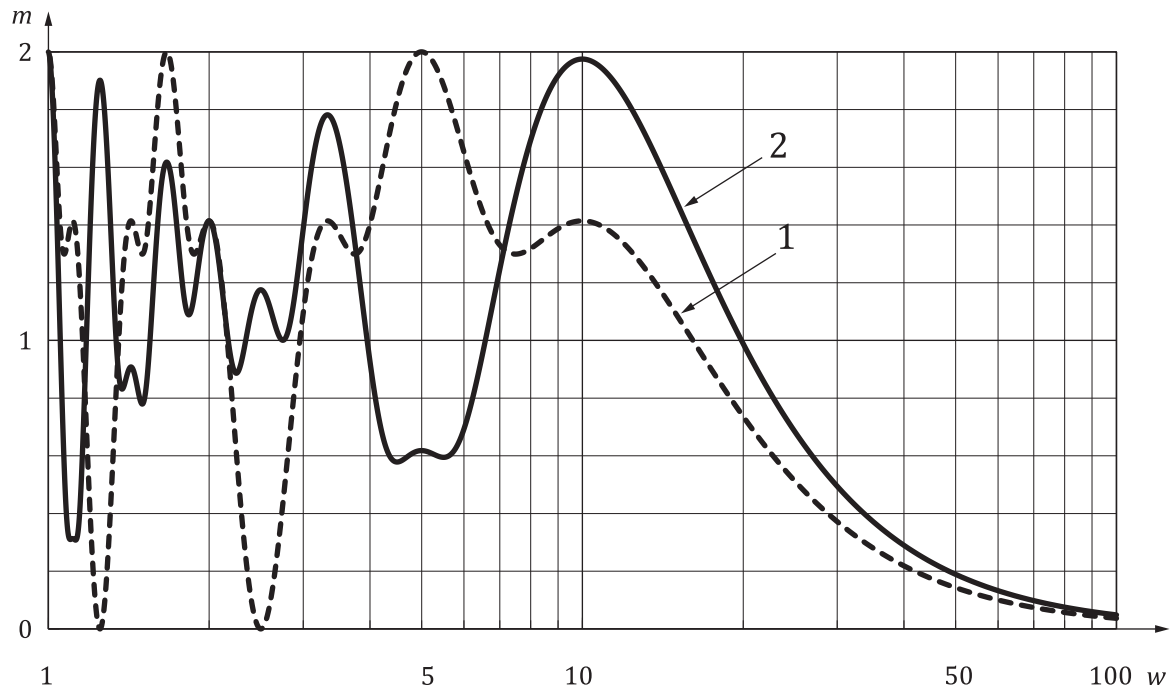
Figure 4 — Exemple de fonction de transfert de la méthode du cordeau symétrique de 10 m ($a = b = 5$ m)

Pour éviter ces gains nuls dans la fonction de transfert, il est conseillé de régler le rapport de division de cordeau à une condition qui n'est pas un multiple entier. La [Figure 5](#) montre les fonctions de transfert pour le cas où:

- $L = 10$ m, $a = 2,5$ m et $b = 7,5$ m ($b = 3a$); et
- $L = 10$ m, $a = 4,5$ m et $b = 5,5$ m ($b = (5,5/4,5) \cdot a$ environ $1,22 \cdot a$).

Ceux-ci sont appelés méthodes de cordeau asymétrique de 10 m.

La fonction de transfert a un gain nul à chaque longueur d'onde égale à un diviseur commun des divisions du cordeau. Par exemple, pour un $L = 4$ m + 6 m, le plus grand commun diviseur (PGCD) est 2 m et les gains nuls se produisent à toutes les longueurs d'onde, $w = \text{PGCD}/n = 2/n$ avec $n \geq 1$.

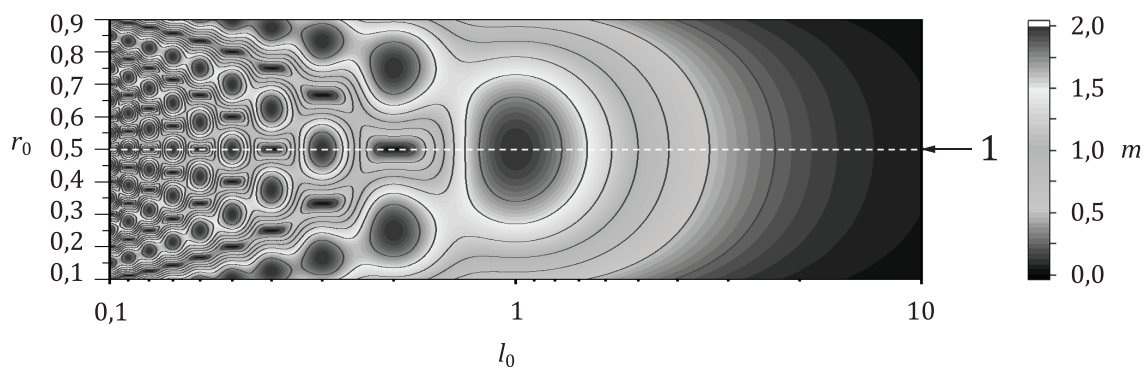


Légende

- m amplitude de la fonction de transfert
 w longueur d'onde (m)
 1 fonction de transfert — 2,5 m/7,5 m
 2 fonction de transfert — 4,5 m/5,5 m

Figure 5 — Exemple de fonction de transfert de la méthode du cordeau asymétrique de 10 m (Cordeau divisé: $a = 2,5$ m, $b = 7,5$ m, et $a = 4,5$ m, $b = 5,5$ m)

La [Figure 6](#) montre les caractéristiques d'amplitude de la fonction de transfert en fonction du rapport de division du cordeau. L'axe horizontal montre la longueur de cordeau normalisée. Comme il apparaît sur la figure, le gain du côté des courtes longueurs d'onde est fortement affecté par la division du cordeau, alors que le gain du côté des longues longueurs d'onde n'est pas autant affecté par cette division.



Légende

- m amplitude de la fonction de transfert
 l_0 longueur d'onde normalisée w/L
 r_0 rapport de division de cordeau a/L
 1 cordeau symétrique

Figure 6 — Caractéristiques d'amplitude de la fonction de transfert en fonction du rapport de division du cordeau