

---

---

**Spécification géométrique des produits  
(GPS) — Filtrage —**

**Partie 22:  
Filtres de profil linéaires: Filtres splines**

*Geometrical product specifications (GPS) — Filtration —  
Part 22: Linear profile filters: Spline filters*  
**iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)**

ISO/TS 16610-22:2006

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0074dd0-024e-4025-92fb-1a01df0fc8dd/iso-ts-16610-22-2006>



**PDF – Exonération de responsabilité**

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO/TS 16610-22:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0074dd0-024e-4025-92fb-1a01df0fc8dd/iso-ts-16610-22-2006)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0074dd0-024e-4025-92fb-1a01df0fc8dd/iso-ts-16610-22-2006>

© ISO 2006

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax. + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction .....	vi
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Filtres de profil splines</b> .....	<b>2</b>
<b>4.1</b> <b>Généralités</b> .....	<b>2</b>
<b>4.2</b> <b>Fonction de pondération</b> .....	<b>2</b>
<b>4.3</b> <b>Équations de filtres</b> .....	<b>3</b>
<b>4.4</b> <b>Caractéristiques de transmission</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b> <b>Recommandations</b> .....	<b>6</b>
<b>5.1</b> <b>Indice d'imbrication (valeurs de coupure)</b> .....	<b>6</b>
<b>5.2</b> <b>Paramètre de tension (<math>\beta</math>)</b> .....	<b>6</b>
<b>5.3</b> <b>Implémentation</b> .....	<b>6</b>
<b>6</b> <b>Désignation du filtre</b> .....	<b>6</b>
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Influence de l'intervalle d'échantillonnage</b> .....	<b>7</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Comparaison entre les filtres de profil spline et gaussien</b> .....	<b>8</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Exemples</b> .....	<b>9</b>
<b>Annexe D</b> (informative) <b>Vue d'ensemble des concepts</b> .....	<b>12</b>
<b>Annexe E</b> (informative) <b>Relations avec la matrice de filtrage</b> .....	<b>13</b>
<b>Annexe F</b> (informative) <b>Relations avec la matrice GPS</b> .....	<b>14</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>15</b>

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

Dans d'autres circonstances, en particulier lorsqu'il existe une demande urgente du marché, un comité technique peut décider de publier d'autres types de documents normatifs:

- une Spécification publiquement disponible ISO (ISO/PAS) représente un accord entre les experts dans un groupe de travail ISO et est acceptée pour publication si elle est approuvée par plus de 50 % des membres votants du comité dont relève le groupe de travail;
- une Spécification technique ISO (ISO/TS) représente un accord entre les membres d'un comité technique et est acceptée pour publication si elle est approuvée par 2/3 des membres votants du comité.

Une ISO/PAS ou ISO/TS fait l'objet d'un examen après trois ans afin de décider si elle est confirmée pour trois nouvelles années, révisée pour devenir une Norme internationale, ou annulée. Lorsqu'une ISO/PAS ou ISO/TS a été confirmée, elle fait l'objet d'un nouvel examen après trois ans qui décidera soit de sa transformation en Norme internationale soit de son annulation.

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. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO/TS 16610-22 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 213, *Spécifications et vérification dimensionnelles et géométriques des produits*.

L'ISO/TS 16610 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage*:

- *Partie 1: Vue d'ensemble et concepts de base*
- *Partie 20: Filtrage de profil linéaires: Concepts de base*
- *Partie 22: Filtrage de profil linéaires: Filtrage splines*
- *Partie 29: Filtrage de profil linéaires: Ondes splines*
- *Partie 31: Filtrage de profil robustes: Filtrage de régression gaussiens*
- *Partie 32: Filtrage de profil robustes: Filtrage splines*

- *Partie 40: Filtres de profil morphologiques: Concepts de base*
- *Partie 41: Filtres de profil morphologiques: Filtre disque et filtre segment de droite horizontal*
- *Partie 49: Filtres de profil morphologiques: Techniques d'analyse par espace d'échelle*

Les parties suivantes sont en cours d'élaboration:

- *Partie 21: Filtres de profil linéaires: Filtres gaussiens*
- *Partie 26: Filtres de profil linéaires: Filtrage selon une grille nominale orthogonale de données planes*
- *Partie 27: Filtres de profil linéaires: Filtrage selon une grille nominale orthogonale de données cylindriques*
- *Partie 30: Filtres de profil robustes: Concepts de base*
- *Partie 42: Filtres de profil morphologiques: Filtres des motifs*
- *Partie 60: Filtres de surface linéaires: Concepts de base*
- *Partie 61: Filtres de surface linéaires: Filtres gaussiens*
- *Partie 62: Filtres de surface linéaires: Filtres splines*
- *Partie 69: Filtres de surface linéaires: Ondelettes splines*
- *Partie 70: Filtres de surface robustes: Concepts de base*
- *Partie 71: Filtres de surface robustes: Filtres de régression gaussiens*
- *Partie 72: Filtres de surface robustes: Filtres splines*
- *Partie 80: Filtres de surface morphologiques: Concepts de base*
- *Partie 81: Filtres de surface morphologiques: Filtres à sphères et segments horizontaux plans*
- *Partie 82: Filtres de surface morphologiques: Filtres des motifs*
- *Partie 89: Filtres de surface morphologiques: Techniques d'échelle d'analyse*

## Introduction

La présente partie de l'ISO/TS 16610, qui traite de la spécification géométrique des produits (GPS), est une Spécification technique GPS globale (voir l'ISO/TR 14638). Elle influence les maillons 3 et 5 de toutes les chaînes de normes.

Pour de plus amples informations sur les relations entre la présente partie de l'ISO 16610 et la matrice GPS, voir l'Annexe F.

La présente partie de l'ISO/TS 16610 expose la terminologie et les concepts des filtres splines.

Par rapport à un filtre à phase correcte classique, le filtre spline présente l'avantage, pour un profil ouvert, de pouvoir toujours utiliser les bornes du profil mesuré.

## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16610-22:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0074dd0-024e-4025-92fb-1a01df0fc8dd/iso-ts-16610-22-2006)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0074dd0-024e-4025-92fb-1a01df0fc8dd/iso-ts-16610-22-2006>

# Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

## Partie 22:

## Filtres de profil linéaires : Filtres splines

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO/TS 16610 spécifie les filtres splines utilisés pour le filtrage des profils et spécifie en particulier la méthode qui permet de séparer les composantes à longueur d'onde courte et à longueur d'onde longue d'un profil.

### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour 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 s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO/TS 16610-1:2006, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 1: Vue d'ensemble et concepts de base*

[ISO/TS 16610-22:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0074dd0-974e-4075-92fb-1a01df0fc8dd/iso-ts-16610-22-2006)

ISO/TS 16610-20:2006, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 20: Filtres de profil linéaires: Concepts de base*

*Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (VIM)*. BIPM, CEI, FICC, ISO, UICPA, UIPPA, OIML, 2<sup>ème</sup> édition, 1993

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans le VIM, l'ISO/TS 16610-1, l'ISO/TS 16610-20, ainsi que les suivants s'appliquent.

#### 3.1

##### **spline**

combinaison linéaire de polynômes adaptés raccordés entre eux de manière lisse

NOTE Le degré de la spline est égal à celui du polynôme de plus haut degré utilisé (par exemple, une spline cubique est constituée de polynômes cubiques).

#### 3.2

##### **spline cardinale**

fonction de base de l'espace des **splines** (3.1) à support infini

#### 3.3

##### **spline naturelle**

**spline** (3.1) ayant la forme d'une droite au-delà des points limites

**3.4**  
**filtre de profil spline**

filtre de profil linéaire basé sur des splines (3.1)

NOTE Pour les besoins de la présente partie de l'ISO/TS 16610, le résultat du filtrage passe-bas est une spline.

**4 Filtres de profil splines**

**4.1 Généralités**

Un filtre de profil spline revendiquant la conformité à la présente partie de l'ISO/TS 16610 doit satisfaire aux équations de filtres indiquées en 4.3.2 pour les profils ouverts et en 4.3.3 pour les profils fermés.

NOTE Une comparaison avec les filtres gaussiens est donnée à l'Annexe B, et des exemples illustratifs sont donnés à l'Annexe C. Une vue d'ensemble des concepts de filtres splines est donnée à l'Annexe D, et la relation avec la matrice de filtrage est donnée à l'Annexe E.

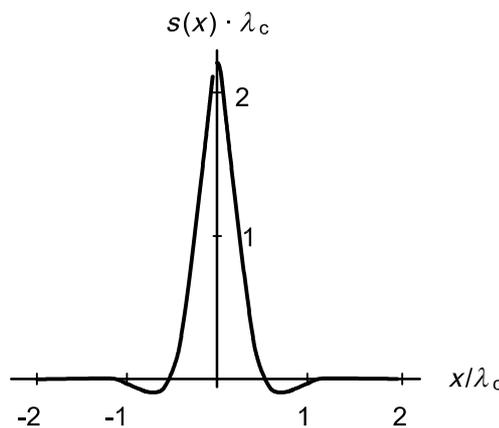
**4.2 Fonction de pondération**

La fonction de pondération d'un filtre de profil spline ne peut pas être exprimée par une simple formule fermée. Par conséquent, on utilise des équations de filtre à la place des fonctions de pondération pour décrire les filtres de profil splines. Cependant, si nécessaire, il est toujours possible de calculer numériquement la fonction de pondération pour un filtre de profil spline. Si l'intervalle d'échantillonnage  $\Delta x$  est suffisamment petit et que le filtre spline est basé sur des splines cubiques cardinales, la fonction de pondération,  $s(x)$ , ayant une valeur par défaut  $\beta = 0$ , peut être approximée par la fonction continue:

$$s(x) = \frac{\pi}{\lambda_c} \sin\left(\sqrt{2} \frac{\pi}{\lambda_c} |x| + \frac{\pi}{4}\right) \exp\left(-\sqrt{2} \frac{\pi}{\lambda_c} |x|\right) \tag{1}$$

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0074dd0-024e-4025-92fb->

NOTE Il s'agit de la fonction de pondération du filtre de profil spline idéal basé sur des splines cubiques cardinales. La Figure 1 est une représentation graphique de cette fonction.



**Figure 1 — Fonction de pondération du filtre de profil spline idéal, basé sur des splines cubiques cardinales**



4.3.3 Équation pour un filtre de profil spline périodique

Il convient d'utiliser les filtres de profil splines périodiques pour filtrer les profils fermés. L'équation de ce type de filtre est:

$$\left[ 1 + \beta\alpha^2\tilde{P} + (1 - \beta)\alpha^4\tilde{Q} \right] \tilde{w} = \tilde{z} \tag{5}$$

avec les matrices se présentant sous la forme:

$$\tilde{P} = \begin{pmatrix} 2 & -1 & & & -1 \\ -1 & 2 & -1 & & \\ & -1 & 2 & -1 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & & -1 & 2 & -1 \\ -1 & & & & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad \tilde{Q} = \begin{pmatrix} 6 & -4 & 1 & & & 1 & -4 \\ -4 & 6 & -4 & 1 & & & 1 \\ 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\ 1 & & & & 1 & -4 & 6 & -4 \\ -4 & 1 & & & & 1 & -4 & 6 \end{pmatrix} \tag{6}$$

avec  $n$  lignes,  $n$  colonnes et comme paramètres:

$$\alpha = \frac{1}{2 \sin \frac{\pi \Delta x}{\lambda_c}} \text{ et } 0 \leq \beta \leq 1 \tag{7}$$

où

- $n$  est le nombre de valeurs de données extraites du profil;
- $\tilde{z}$  est le vecteur de dimension  $n$  des valeurs du profil avant filtrage;
- $\tilde{w}$  est le vecteur de dimension  $n$  des valeurs de ce profil dans le profil filtré;
- $\lambda_c$  est la longueur d'onde de coupure du filtre de profil;
- $\Delta x$  est l'intervalle d'échantillonnage.

NOTE 1 Le vecteur  $\tilde{w}$  donne les valeurs de profil de la composante à longueur d'onde longue. La composante à longueur d'onde courte  $\tilde{r}$  peut être obtenue par le vecteur de différence  $\tilde{r} = \tilde{z} - \tilde{w}$ , c'est-à-dire en soustrayant les valeurs de la composante à longueur d'onde longue obtenues par le processus de filtrage, des valeurs de données extraites du profil.

NOTE 2  $\beta$  est appelé «paramètre de tension» et contrôle le degré d'ajustement de la courbe spline par rapport aux points de données.

NOTE 3 Des algorithmes de résolution des équations matricielles sont indiqués dans [6].

4.4 Caractéristiques de transmission

4.4.1 Généralités

Les paragraphes suivants indiquent les caractéristiques de transmission pour des filtres splines basés sur des splines cubiques cardinales. Pour plus de détails, voir [3]. Pour l'influence de l'intervalle d'échantillonnage, voir l'Annexe A.

#### 4.4.2 Caractéristique de transmission de la composante du profil à longueur d'onde longue

La caractéristique du filtre (voir Figure 2) est déterminée à partir des équations de filtre du filtre de profil spline au moyen de la transformée de Fourier. La caractéristique du filtre pour la composante à longueur d'onde longue est approximée (pour un  $\Delta x$  très petit) par l'équation suivante:

$$\frac{a_1}{a_0} = \left[ 1 + \beta \alpha^2 \sin^2 \frac{\pi \Delta x}{\lambda} + 16(1 - \beta) \alpha^4 \sin^4 \frac{\pi \Delta x}{\lambda} \right]^{-1} \quad (8)$$

où

$a_0$  est l'amplitude du profil sinusoïdal avant filtrage;

$a_1$  est l'amplitude de ce profil sinusoïdal dans la composante à longueur d'onde longue;

$\lambda$  est la longueur d'onde du profil sinusoïdal ( $\lambda \geq 2\Delta x$ );

$\Delta x$  est l'intervalle d'échantillonnage.

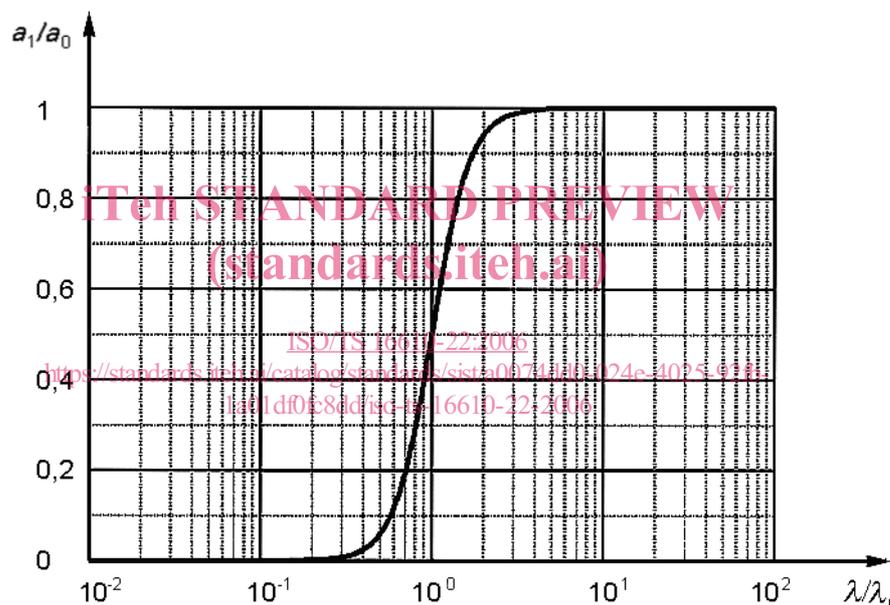


Figure 2 — Caractéristique de transmission de la composante du profil à longueur d'onde longue  
( $\beta = 0$ ;  $\Delta x = \lambda_c / 200$ )

#### 4.4.3 Caractéristique de transmission de la composante du profil à longueur d'onde courte

La caractéristique de transmission de la composante du profil à longueur d'onde courte est complémentaire à celle de la composante du profil à longueur d'onde longue. La composante à longueur d'onde courte est la différence entre le profil de la surface et la composante à longueur d'onde longue. La caractéristique du filtre pour la composante à longueur d'onde courte (voir Figure 3) a pour équation:

$$\frac{a_2}{a_0} = 1 - \frac{a_1}{a_0} = \left[ 4\beta \alpha^2 \sin^2 \frac{\pi \Delta x}{\lambda} + 16(1 - \beta) \alpha^4 \sin^4 \frac{\pi \Delta x}{\lambda} \right] \left[ 1 + \beta \alpha^2 \sin^2 \frac{\pi \Delta x}{\lambda} + 16(1 - \beta) \alpha^4 \sin^4 \frac{\pi \Delta x}{\lambda} \right]^{-1} \quad (9)$$

où

$a_2$  est l'amplitude de la composante à longueur d'onde courte du profil sinusoïdal.

NOTE La somme des caractéristiques de transmission des composantes à longueur d'onde courte et longue du profil est égale à un.