

NORME ISO  
INTERNATIONALE 16610-62

Première édition  
2023-02

---

---

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

Partie 62:

**Filtres surfaciques linéaires: filtres  
spline**

*Geometrical product specifications (GPS) — Filtration —  
Part 62: Linear areal filters: spline filters*

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

ISO 16610-62:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5bfddfe9-f085-4b23-bf46-95071b42f13c/iso-16610-62-2023>



Numéro de référence  
ISO 16610-62:2023(F)

© ISO 2023

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 16610-62:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5bfddfe9-f085-4b23-bf46-95071b42f13c/iso-16610-62-2023>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2023

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](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Filtre surfacique linéaire</b> .....	<b>2</b>
4.1 Généralités .....	2
4.2 Formule de filtre pour le filtre spline cubique pour les cartes de topographie sur des grilles uniformément échantillonnées .....	3
4.2.1 Généralités .....	3
4.2.2 Paramètre de régularisation .....	3
4.2.3 Paramètre de tension .....	4
4.2.4 Matrices de différenciation $P$ et $Q$ .....	4
4.3 Filtre spline cubique pour les cartes topographiques sur des grilles d'échantillonnage déformées .....	5
4.3.1 Généralités .....	5
4.3.2 Modification de l'équation de filtre pour les grilles déformées .....	5
4.4 Caractéristiques de transmission .....	6
<b>5 Désignation du filtre</b> .....	<b>7</b>
<b>Annexe A (informative) Relation avec le modèle de matrice de filtrage</b> .....	<b>8</b>
<b>Annexe B (informative) Relation avec le modèle de matrice GPS</b> .....	<b>9</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>10</b>

ISO 16610-62:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5bfddfe9-f085-4b23-bf46-95071b42f13c/iso-16610-62-2023>

## 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](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée 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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

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](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 213, *Spécifications et vérification dimensionnelles et géométriques des produits*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 290, *Spécification dimensionnelle et géométrie des produits, et vérification correspondante*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Une liste de toutes les parties de la série ISO 16610 se trouve sur le site web de l'ISO.

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](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

Le présent document est une norme de spécification géométrique des produits (GPS) qui doit être considérée comme une norme GPS générale (voir l'ISO 14638). Elle influence le maillon C sur les propriétés de l'élément dans le modèle de matrice GPS.

Le modèle de matrice ISO GPS de l'ISO 14638 donne une vue d'ensemble du système ISO GPS, dont le présent document fait partie. Les règles fondamentales du système ISO GPS fournies dans l'ISO 8015 s'appliquent au présent document et les règles de décision par défaut indiquées dans l'ISO 14253-1 s'appliquent aux spécifications élaborées conformément au présent document, sauf indication contraire.

Pour de plus amples informations sur les relations du présent document avec le modèle de matrice de filtrage, voir l'[Annexe A](#).

Pour de plus amples informations sur les relations du présent document avec les autres normes et le modèle de matrice GPS, voir l'[Annexe B](#).

Le présent document spécifie la terminologie et les concepts des filtres splines surfaciques linéaires. Il spécifie comment séparer les composantes d'une surface à longueurs d'ondes longues et courtes avec un maintien global de la forme.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 16610-62:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5bfddfe9-f085-4b23-bf46-95071b42f13c/iso-16610-62-2023>



# Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

## Partie 62: Filtres surfaciques linéaires: filtres spline

### 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les caractéristiques d'un filtre spline surfacique linéaire à maintien de forme global.

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

ISO 16610-21, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 21: Filtres de profil linéaires: Filtres gaussiens*

ISO 16610-22:2015, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 22: Filtres de profil linéaires: Filtres splines*

ISO 16610-60:2015, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 60: Filtres surfaciques linéaires — Concepts de base*

ISO 16610-61, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 61: Filtres surfaciques linéaires: Filtres Gaussiens*

Guide ISO/IEC 99, *Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 16610-1, l'ISO 16610-21, l'ISO 16610-22, l'ISO 16610-60, l'ISO 16610-61 et le Guide ISO/IEC 99 ainsi que les suivants 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

##### spline

combinaison linéaire de polynômes adaptés raccordés entre eux de manière lisse

[SOURCE: ISO 16610-22:2015, 3.1, modifiée — Note 1 à l'article supprimée.]

### 3.2

#### **filtre spline**

filtre linéaire basé sur des splines

### 3.3

#### **filtre surfacique linéaire**

filtre surfacique qui sépare les surfaces en composantes à longueur d'onde longue et composantes à longueur d'onde courte, et qui est également une fonction linéaire

[SOURCE: ISO 16610-60:2015, 3.1, modifiée — Notes à l'article supprimées.]

#### 3.3.1

##### **filtre plan linéaire**

*filtre surfacique linéaire* (3.3) qui sépare les surfaces planes en composantes à longueur d'onde longue et composantes à longueur d'onde courte, et qui s'applique à des surfaces planes nominales

[SOURCE: ISO 16610-60:2015, 3.1.1, modifiée — Note 1 à l'article supprimée.]

#### 3.3.2

##### **filtre cylindrique linéaire**

*filtre surfacique linéaire* (3.3) qui sépare les surfaces cylindriques en composantes à longueur d'onde longue et composantes à longueur d'onde courte, et qui s'applique à des surfaces cylindriques nominales

[SOURCE: ISO 16610-60:2015, 3.1.2, modifiée — Note 1 à l'article supprimée.]

### 3.4

#### **longueur d'onde de coupure**

longueur d'onde d'une surface sinusoïdale dont 50 % de l'amplitude est transmise par le *filtre surfacique linéaire* (3.3)

Note 1 à l'article: Les filtres surfaciques linéaires sont identifiés par le type de filtre et la longueur d'onde de coupure.

Note 2 à l'article: La valeur de coupure du filtre surfacique linéaire est un exemple d'indice d'imbrication.

Note 3 à l'article: La valeur de coupure est fixée à 50 % par convention.

[SOURCE: ISO 16610-60:2015, 3.7, modifiée — Note 2 à l'article révisée.]

## 4 Filtre surfacique linéaire

### 4.1 Généralités

La Formule suivante de filtre passe-bas pour les filtres à profil spline est basée sur des splines cubiques avec un paramètre de régularisation dépendant de la longueur d'onde de coupure pour le lissage du profil d'ondulation résultant (signal passe-bas) et un paramètre de tension influençant la pente de la fonction de transfert. Il s'agit de l'extension surfacique du filtre spline de profil linéaire tel que spécifié dans la norme ISO 16610-22. Deux versions du filtre spline surfacique linéaire sont spécifiées, l'une en tant que filtre plan linéaire pour les surfaces ouvertes et l'autre en tant que filtre cylindrique linéaire pour les surfaces fermées, c'est-à-dire les surfaces cylindriques à continuation périodique.



## 4.2 Formule de filtre pour le filtre spline cubique pour les cartes de topographie sur des grilles uniformément échantillonnées

### 4.2.1 Généralités

La Formule de filtre est donnée par la [Formule \(1\)](#):

$$\mathbf{w} = \mathbf{A}_y \mathbf{z} \mathbf{A}_x^T \quad (1)$$

où

$\mathbf{z}$  est la matrice à -dimensions  $n \times m$  représentant la carte de hauteur des données d'entrée, par exemple la surface primaire  $n \times m$  des points d'échantillonnage;

$\mathbf{w}$  est la matrice à -dimensions  $n \times m$  représentant la carte de hauteur des données de sortie.

Les matrices de transformation  $\mathbf{A}_x$  et  $\mathbf{A}_y$  sont définies par la [Formule \(2\)](#) et la [Formule \(3\)](#), respectivement:

$$\mathbf{A}_x = \left( \mathbf{E} + \beta \alpha_x^2 \mathbf{P} + (1 - \beta) \alpha_x^4 \mathbf{Q} \right)^{-1} \quad (2)$$

$$\mathbf{A}_y = \left( \mathbf{E} + \beta \alpha_y^2 \mathbf{P} + (1 - \beta) \alpha_y^4 \mathbf{Q} \right)^{-1} \quad (3)$$

où

$\mathbf{E}$  est la matrice unitaire;

$\mathbf{P}$  et  $\mathbf{Q}$  sont les matrices pour la différentiation discrétisée;

$\beta$  est le paramètre de tension ([4.2.3](#));

$\alpha_x$  et  $\alpha_y$  sont des paramètres ([4.2.2](#)), dépendant du lissage, de la longueur d'onde de coupure de la spline.

Pour  $\mathbf{A}_x$  les matrices sont toutes de dimension  $m \times m$  selon les points d'échantillonnage  $m$  le long de la direction x-direction; pour  $\mathbf{A}_y$  la dimension des matrices  $n \times n$  est selon les points d'échantillonnage  $n$  le long de la direction y.

### 4.2.2 Paramètre de régularisation

Le paramètre  $\mu$  spécifie la régularisation, c'est-à-dire le degré de lissage. Le paramètre de régularisation est donc lié à la longueur d'onde de coupure,  $\lambda_c$ , pour une tension minimale, par la [Formule \(4\)](#) et la [Formule \(5\)](#):

$$\mu = \alpha_r^4 \quad (4)$$

$$\alpha_r = \frac{1}{2 \sin \left( \frac{\pi \Delta r}{\lambda_c} \right)} \quad (5)$$

où soit  $r = x$  soit  $r = y$ , pour chacun des axes latéraux, respectivement, c'est-à-dire avec l'intervalle d'échantillonnage  $\Delta r = \Delta x$  selon la direction x dans le cas de  $\mathbf{A}_x$  et l'intervalle d'échantillonnage  $\Delta r = \Delta y$  selon la direction y dans le cas de  $\mathbf{A}_y$ , respectivement. Voir Référence [\[4\]](#).

Pour une tension non minimale de la spline, c'est-à-dire pour  $\beta > 0$ , la régularisation dépend à la fois de la tension et de la longueur d'onde de coupure comme indiqué dans la [Formule \(6\)](#):

$$\mu = (1 - \beta) \alpha_r^4 \tag{6}$$

Voir Référence [5].

NOTE Pour les intervalles d'échantillonnage  $\Delta r \ll \lambda_c$  le paramètre de régularisation tend vers l'infini, c'est-à-dire  $\alpha^4 \rightarrow \infty$ .

### 4.2.3 Paramètre de tension

Le produit  $\beta\alpha^2$  est le facteur de tension avec le paramètre  $\beta$  compris entre 0 et 1. Le paramètre  $\beta$  contrôle le degré de suivi des courbures de la topographie, où par courbure on entend une propriété locale d'une courbe ou d'une surface, qui est définie en chaque point en quantifiant les déviations de second ordre d'une courbe par rapport à une ligne droite ou d'une surface par rapport à un plan. Le fait de suivre les courbures signifie une conservation optimale de la forme du résultat du filtre passe-bas, les données de sortie  $w$ . Pour  $\beta = 0$ , les caractéristiques de la fonction de transfert sont conformes à l'ISO 16610-22:2015, Formule (1), une tension minimale qui est équivalente à la pente la plus forte de la fonction de transfert et donc une meilleure conservation de la forme que pour  $\beta > 0$ . Pour  $\beta = 0,625\ 242$ , les caractéristiques de la fonction de transfert sont similaires au filtre Gaussien<sup>[5]</sup> tel que spécifié dans les normes ISO 16610-21 et ISO 16610-61.

NOTE La conservation de la forme par le filtre spline pour  $\beta = 0$  est globale, tandis que la conservation de la forme par la régression Gaussienne avec une régression parabolique ( $p = 2$ ) est locale.

### 4.2.4 Matrices de différenciation P et Q

#### 4.2.4.1 Généralités

La matrice  $\mathbf{P} = (P_{i,j})$  représente les dérivations premières discrétisées, les opérations de gradient pour évaluer les pentes. La matrice  $\mathbf{Q} = (Q_{i,j})$  représente les dérivations secondes discrétisées pour évaluer les courbures. Les indices  $j = 1, \dots, K$  désignent les indices de colonne et  $i = 1, \dots, K$  les indices de ligne en utilisant  $K = m$  si utilisé pour  $\mathbf{A}_x$  (filtrage dans la direction x) et en utilisant  $K = n$  si utilisé pour  $\mathbf{A}_y$  (filtrage dans la direction y). Les éléments de matrice suivants sont non nuls et les autres sont nuls.

#### 4.2.4.2 Les diagonales principales

La diagonale principale des matrices  $\mathbf{P}$  et  $\mathbf{Q}$  comporte les éléments suivants:

$$P_{i,i} = 2 \text{ pour } i = 2, \dots, K - 1 \text{ et } Q_{i,i} = 6 \text{ pour } i = 3, \dots, K - 2.$$

Dans le cas de surfaces cylindriques, ces valeurs s'appliquent également pour  $i = 1, 2, K - 1, K$  pour  $\mathbf{A}_x$  si la direction x est située sur un cercle qui est l'intersection de la surface du cylindre et d'un plan orthogonal à l'axe du cylindre et pour  $\mathbf{A}_y$  si la direction y est située sur un tel cercle.

La diagonale principale  $P_{i,i} = 1$  pour  $i = 1, K$ ,  $Q_{i,i} = 1$  pour  $i = 1, K$  et  $Q_{i,i} = 5$  pour  $i = 2, K - 1$  dans le cas de surfaces planes ainsi que pour  $\mathbf{A}_x$  dans le cas d'une surface cylindrique si la direction x est parallèle à l'axe du cylindre et pour  $\mathbf{A}_y$  si la direction y est parallèle à l'axe du cylindre.

#### 4.2.4.3 Les deux premières diagonales

$$P_{i,i+1} = P_{i+1,i} = -1 \text{ pour } i = 1, \dots, K - 1 \text{ et } Q_{i,i+1} = Q_{i+1,i} = -4 \text{ pour } i = 2, \dots, K - 1.$$