

NORME ISO  
INTERNATIONALE 16610-31

Première édition  
2016-11-15

---

---

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

**Partie 31:  
Filtres de profil robustes: Filtres de  
régression gaussiens**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Geometrical product specifications (GPS) — Filtration —  
Part 31: Robust profile filters: Gaussian regression filters*  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 16610-31:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006e35b-f2a4-4021-ac35-972513fc0110/iso-16610-31-2016>



Numéro de référence  
ISO 16610-31:2016(F)

© ISO 2016

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

ISO 16610-31:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006e35b-f2a4-4021-ac35-972513fc0110/iso-16610-31-2016>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401  
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland  
Tel. +41 22 749 01 11  
Fax +41 22 749 09 47  
copyright@iso.org  
www.iso.org

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
<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>Filtre de régression gaussien robuste</b> .....	<b>2</b>
4.1    Fonction de pondération.....	2
4.2    Équation de filtre.....	2
4.2.1    Généralités.....	2
4.2.2    Équation du filtre de régression gaussien robuste destiné aux profils ouverts.....	2
4.2.3    Équation du filtre de régression gaussien robuste destiné aux profils fermés.....	4
4.2.4    Caractéristiques de transmission.....	5
<b>5</b> <b>Recommandations pour l'indice d'imbrication (valeurs de coupure <math>\lambda_c</math>)</b> .....	<b>5</b>
<b>6</b> <b>Désignation de filtre</b> .....	<b>6</b>
<b>Annexe A (informative) Exemples</b> .....	<b>7</b>
<b>Annexe B (informative) Relation avec le modèle de matrice de filtrage</b> .....	<b>10</b>
<b>Annexe C (informative) Relation avec le modèle de matrice GPS</b> .....	<b>11</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>12</b>

ITeH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 16610-31:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006e35b-f2a4-4021-ae35-972513fc0110/iso-16610-31-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006e35b-f2a4-4021-ae35-972513fc0110/iso-16610-31-2016>

## 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 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. 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 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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos — Informations supplémentaires](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006c35b-12a4-4021-ac35-972513fc0110/iso-16610-31-2016).

L'ISO 16610-31 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 213, *Spécifications et vérification dimensionnelles et géométriques des produits*.

Cette première édition annule et remplace de l'ISO/TS 16610-31:2010 qui a fait l'objet d'une révision technique.

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

## Introduction

Le présent document, qui traite de la spécification géométrique des produits (GPS), est une norme GPS générale (voir l'ISO 14638). Elle influence le maillon C de toutes les chaînes de normes.

Pour de plus amples informations sur les relations entre le présent document et le modèle de matrice GPS, voir l'[Annexe C](#).

Le schéma directeur ISO/GPS de ISO 14638 donne une vue d'ensemble du système ISO/GPS, dont l'ISO 16610 fait partie. Les principes fondamentaux du système ISO/GPS donnés dans ISO 8015 s'appliquent au présent document ISO 16610 et les règles de décision par défaut données dans l'ISO 14253-1 s'appliquent aux spécifications faites conformément au présent document, ISO 16610, sauf indication contraire.

Le présent document expose le concept du filtre de régression gaussien robuste discret. Le processus robuste réduit l'influence des creux et des saillies élevées. Le présent document concerne le filtre de régression gaussien robuste de degré  $p = 2$  dont le comportement robuste est parfaitement adapté, et qui comporte une approximation de forme applicable aux surfaces techniques stratifiées fonctionnelles.

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

[ISO 16610-31:2016](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006e35b-f2a4-4021-ac35-972513fc0110/iso-16610-31-2016>

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

ISO 16610-31:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006e35b-f2a4-4021-ae35-972513fc0110/iso-16610-31-2016>

# Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

## Partie 31:

## Filtres de profil robustes: Filtres de régression gaussiens

### 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les caractéristiques du filtre de régression gaussien robuste discret en vue de l'évaluation des profils de surface présentant des discontinuités ponctuelles, par exemple des creux et des saillies élevées.

### 2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 16610-1:2015, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 1: Vue d'ensemble et concepts de base*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans le Guide ISO/IEC 99, ISO 16610-1, ISO 16610-20, ISO 16610-30 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:

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

#### 3.1

##### **filtre robuste**

filtre qui insensibilise les données de sortie à des phénomènes spécifiques s'appliquant aux données d'entrée

#### 3.2

##### **filtre de régression**

estimateur-M fondé sur la modélisation polynomiale locale du profil

#### 3.3

##### **filtre de régression gaussien robuste**

*filtre de régression* (3.2) fondé sur la fonction de pondération gaussienne et une *fonction d'influence à double pondération* (3.4)

3.4

**fonction d'influence à double pondération**

fonction asymétrique à invariance d'échelle, exprimée par

$$\psi(x) = \begin{cases} x \times \left(1 - \left(\frac{x}{c}\right)^2\right)^2 & \text{pour } |x| \leq c \\ 0 & \text{pour } |x| > c \end{cases}$$

où  $c$  est le paramètre d'échelle.

**4 Filtre de régression gaussien robuste**

**4.1 Fonction de pondération**

La fonction de pondération du filtre de régression gaussien robuste dépend des valeurs du profil (distance par rapport à la ligne de référence) et de la position de la fonction de pondération le long du profil.

**4.2 Équation de filtre**

**4.2.1 Généralités**

Le filtre de régression gaussien robuste est issu du filtre de régression discret général (voir [Annexe A](#)) par fixation du degré à la valeur  $p = 2$ , en utilisant la fonction d'influence à double pondération et la fonction de pondération gaussienne conformément à l'ISO 16610-21. Dans le cas  $p = 2$ , le filtre de régression gaussien robuste suit les composantes de forme jusqu'au 2<sup>e</sup> degré.

**4.2.2 Équation du filtre de régression gaussien robuste destiné aux profils ouverts**

Dans le cas des profils ouverts, l'équation du filtre pour le filtre de régression gaussien robuste est donnée par la Formule (1):

$$w_k = [1 \ 0 \ 0] \times \left( \mathbf{X}_k^T \times \mathbf{S}_k \times \mathbf{X}_k \right)^{-1} \times \mathbf{X}_k^T \times \mathbf{S}_k \times \mathbf{z} \tag{1}$$

La fonction de régression est représentée par la matrice

$$\mathbf{X}_k = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,k} & x_{1,k}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n,k} & x_{n,k}^2 \end{bmatrix} \tag{2}$$

où

$$x_{l,k} = (l - k) \times \Delta x, \quad l = 1, \dots, n \tag{3}$$



La fonction de pondération,  $S_k$ , est donnée par la Formule (4):

$$S_k = \begin{bmatrix} s_{1,k} \times \delta_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_{2,k} \times \delta_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & s_{n,k} \times \delta_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Avec la fonction gaussienne

$$s_{l,k} = \frac{1}{\gamma \times \lambda_c} \times \exp\left(-\pi \left(\frac{x_{l,k}}{\gamma \times \lambda_c}\right)^2\right), \quad l=1, \dots, n \quad (5)$$

et le paramètre

$$\gamma = \sqrt{\frac{-1 - W\left(-\frac{1}{2 \times \exp(1)}\right)}{\pi}} \approx 0,7309 \quad (6)$$

Les coefficients de pondération supplémentaires

$$\delta_l = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{z_l - w_l}{c}\right)^2\right)^2 & \text{pour } |z_l - w_l| \leq c \\ 0 & \text{pour } |z_l - w_l| > c \end{cases}, \quad l=1, \dots, n \quad (7)$$

sont déduits de la fonction d'influence à double pondération avec le paramètre

$$c = \frac{3}{\sqrt{2} \times \operatorname{erf}^{-1}(0,5)} \times \operatorname{median}|z - w| \approx 4,4478 \times \operatorname{median}|z - w| \quad (8)$$

La définition de  $c$  équivaut à trois fois la valeur  $R_q$  de la rugosité de surface des profils distribués gaussiens et constitue le cas par défaut.

où

$W(X)$  est la fonction «Lambert  $W$ »;

$\operatorname{erf}^{-1}(x)$  est la fonction d'erreur inverse

$n$  est le nombre de valeurs du profil;

$k$  est l'indice de l'ordonnée du profil,  $k = 1, \dots, n$ ;

$\mathbf{z}$  est le vecteur de la dimension  $n$  des valeurs du profil avant filtrage;

$\mathbf{w}$  est le vecteur de la dimension  $n$  des valeurs du profil de la ligne de référence du filtre;

$w_k$  est la valeur de la ligne moyenne du filtre à la position  $k$ ;

$\lambda_c$  est la longueur d'onde de coupure du filtre de profil;

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

NOTE 1 Le vecteur  $\mathbf{w}$  donne les valeurs de profil de la composante de longueur d'onde longue (ligne de référence). Le vecteur de différence  $\mathbf{r} = \mathbf{z} - \mathbf{w}$  permet d'obtenir la composante de longueur d'onde courte  $\mathbf{r}$ .

NOTE 2 Pour les surfaces comportant des pores ou des saillies de grande dimension aux limites du profil, la robustesse peut être augmentée en fixant  $p = 0$ . Dans ce cas, il convient de supprimer la forme nominale en utilisant une technique de préfiltrage. L'équation de filtre pour  $p = 0$  donne

$$w_k = \left( \mathbf{X}_k^T \times \mathbf{S}_k \times \mathbf{X}_k \right)^{-1} \times \mathbf{X}_k^T \times \mathbf{S}_k \times \mathbf{z} = \left( \sum_{l=1}^n s_{l,k} \times \delta_l \right)^{-1} \times \sum_{l=1}^n (s_{l,k} \times \delta_l \times z_l)$$

où

$$\mathbf{X}_k = \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \text{ et } \gamma = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}}$$

### 4.2.3 Équation du filtre de régression gaussien robuste destiné aux profils fermés

Dans le cas des profils fermés, l'équation de filtre pour le filtre de régression gaussien robuste est donnée par la Formule (9):

$$\tilde{w}_k = (1 \ 0 \ 0) \times \left( \tilde{\mathbf{X}}_k^T \times \tilde{\mathbf{S}}_k \times \tilde{\mathbf{X}}_k \right)^{-1} \times \tilde{\mathbf{X}}_k^T \times \tilde{\mathbf{S}}_k \times \tilde{\mathbf{z}} \tag{9}$$

La fonction de régression est représentée par la matrice

$$\tilde{\mathbf{X}}_k = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{x}_{1,k} & \tilde{x}_{1,k}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \tilde{x}_{n,k} & \tilde{x}_{n,k}^2 \end{bmatrix} \tag{10}$$

avec

$$\tilde{x}_{l,k} = \left( \left( l - k + \frac{n}{2} \right) \bmod n - \frac{n}{2} \right) \times \Delta x, \quad l = 1, \dots, n \tag{11}$$

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)  
ISO 16610-31:2016  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5006e35b-f2a4-4021-ae35-972513fc0110/iso-16610-31-2016>

La fonction de pondération,  $\tilde{\mathbf{S}}_k$ , est donné par

$$\tilde{\mathbf{S}}_k = \begin{bmatrix} \tilde{s}_{1,k} \times \tilde{\delta}_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \tilde{s}_{2,k} \times \tilde{\delta}_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \tilde{s}_{n,k} \times \tilde{\delta}_n \end{bmatrix} \tag{12}$$

avec la fonction Gaussienne

$$\tilde{s}_{l,k} = \frac{1}{\gamma \times \lambda_c} \times \exp \left( -\pi \left( \frac{\tilde{x}_{l,k}}{\gamma \times \lambda_c} \right)^2 \right), \quad l = 1, \dots, n \tag{13}$$

et le paramètre

$$\gamma = \sqrt{\frac{-1 - W \left( -\frac{1}{2 \times \exp(1)} \right)}{\pi}} \approx 0,730 \ 9 \tag{14}$$

Les coefficients de pondération supplémentaires

$$\tilde{\delta}_l = \begin{cases} \left( 1 - \left( \frac{\tilde{z}_l - \tilde{w}_l}{\tilde{c}} \right)^2 \right)^2 & \text{pour } |\tilde{z}_l - \tilde{w}_l| \leq \tilde{c} \\ 0 & \text{pour } |\tilde{z}_l - \tilde{w}_l| > \tilde{c} \end{cases}, \quad l = 1, \dots, n \quad (15)$$

sont déduits de la fonction d'influence à double pondération avec le paramètre

$$\tilde{c} = \frac{3}{\sqrt{2} \times \operatorname{erf}^{-1}(0,5)} \times \operatorname{median}|\tilde{z} - \tilde{w}| \approx 4,447\,8 \times \operatorname{median}|\tilde{z} - \tilde{w}| \quad (16)$$

La définition de  $c$  équivaut à trois fois la valeur  $R_q$  de la rugosité de surface des profils distribués gaussiens et constitue le cas par défaut.

où

$W(X)$  est la fonction «Lambert W»;

$\operatorname{erf}^{-1}(x)$  est la fonction d'erreur inverse;

$n$  est le nombre de valeurs du profil;

$k$  est l'indice de l'ordonnée du profil,  $k = 1, \dots, n$ ;

$\tilde{z}$  est le vecteur de la dimension  $n$  des valeurs du profil avant filtrage;

$\tilde{w}$  est le vecteur de la dimension  $n$  des valeurs du profil de la ligne de référence du filtre;

$\tilde{w}_k$  est la valeur de la ligne moyenne du filtre à la position  $k$ ;

$\lambda_c$  est la longueur d'onde de coupure du filtre de profil;

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

NOTE Le vecteur  $\tilde{w}$  donne les valeurs de profil de la composante de longueur d'onde longue (ligne de référence). Le vecteur de différence  $\tilde{r} = \tilde{z} - \tilde{w}$  permet d'obtenir la composante de longueur d'onde courte  $\tilde{r}$ .

#### 4.2.4 Caractéristiques de transmission

La fonction de pondération du filtre de régression gaussien robuste dépend des valeurs du profil et de sa position le long du profil. Par conséquent, aucune caractéristique de transmission ne peut être fournie.

## 5 Recommandations pour l'indice d'imbrication (valeurs de coupure $\lambda_c$ )

Il est recommandé de choisir un indice d'imbrication équivalant à trois fois la largeur caractéristique contenue dans l'ensemble de données du profil. Dans le cas contraire, il convient de choisir l'indice d'imbrication parmi la série de valeurs suivante:

... 2,5  $\mu\text{m}$ ; 8  $\mu\text{m}$ ; 25  $\mu\text{m}$ ; 80  $\mu\text{m}$ ; 250  $\mu\text{m}$ ; 0,8 mm; 2,5 mm; 8 mm; 25 mm; ...