

---

---

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

Partie 31:

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

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

ISO/TS 16610-31:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010>



**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 16610-31:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2010

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

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>vi</b>
<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>
<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 des filtres</b> .....	<b>5</b>
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Exemples</b> .....	<b>6</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Relation avec la matrice de filtrage</b> .....	<b>9</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Relation avec la matrice GPS</b> .....	<b>10</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>12</b>

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

[ISO/TS 16610-31:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010>

## 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:

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

L'ISO 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* [Spécification technique]
- *Partie 20: Filtrage de profil linéaires: Concepts de base* [Spécification technique]
- *Partie 21: Filtrage de profil linéaires: Filtrage gaussien*
- *Partie 22: Filtrage de profil linéaires: Filtrage splines* [Spécification technique]
- *Partie 28: Filtrage de profil: Effets de bord* [Spécification technique]
- *Partie 29: Filtrage de profil linéaires: Ondes splines* [Spécification technique]

- *Partie 30: Filtres de profil robustes: Concepts de base* [Spécification technique]
- *Partie 31: Filtres de profil robustes: Filtres de régression gaussiens* [Spécification technique]
- *Partie 32: Filtres de profil robustes: Filtres splines* [Spécification technique]
- *Partie 40: Filtres de profil morphologiques: Concepts de base* [Spécification technique]
- *Partie 41: Filtres de profil morphologiques: Filtre disque et filtre segment de droite horizontal* [Spécification technique]
- *Partie 49: Filtres de profil morphologiques: Techniques d'analyse par espace d'échelle* [Spécification technique]

Les parties suivantes sont prévues:

- *Partie 26: Filtres de profil linéaires: Filtrage selon une grille nominalement orthogonale de données planes*
- *Partie 27: Filtres de profil linéaires: Filtrage selon une grille nominalement orthogonale de données cylindriques*
- *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 16610, qui traite de la spécification géométrique des produits (GPS), est une norme GPS globale (voir l'ISO/TR 14638). Elle influence le maillon 3 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 C.

La présente partie de l'ISO 16610 expose le concept du filtre de régression gaussien robuste discret. Le processus robuste réduit l'influence des creux et des saillies élevées. La présente partie de l'ISO 16610 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/TS 16610-31:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010>

# Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

## Partie 31:

# Filtres de profil robustes: Filtres de régression gaussiens

## 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 16610 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 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*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-4959abcc6ca5/iso-ts-16610-1-2006>

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

ISO/TS 16610-30, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 30: Filtres de profil robustes: Concepts de base*

Guide ISO/CEI 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 définitions donnés dans le Guide ISO/CEI 99, l'ISO/TS 16610-1, l'ISO/TS 16610-20, l'ISO/TS 16610-30 ainsi que les suivants s'appliquent.

### 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**

M-estimateur fondé sur la modélisation polynomiale locale du profil

### 3.3

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

filtre de régression fondé sur la fonction de pondération gaussienne et une fonction d'influence bipoids

**3.4 fonction d'influence bipoids**

fonction asymétrique à invariance d'échelle

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

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 de profil (distance par rapport à la droite 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 bipoids 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.

ISO/TS 16610-31:2010

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

Dans le cas des profils ouverts, l'équation de filtre pour le filtre de régression gaussien robuste est donnée par

$$w_k = [1 \ 0 \ 0] \times \left( X_k^T \times S_k \times X_k \right)^{-1} \times X_k^T \times S_k \times z \quad (2)$$

La fonction de régression est représentée par la matrice

$$X_k = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,k} & x_{1,k}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n,k} & x_{n,k}^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

où  $x_{l,k} = (l - k) \times \Delta x, \quad l = 1, \dots, n \quad (4)$

La fonction de pondération,  $S_k$ , est donnée par

$$S_k = \begin{bmatrix} s_{1,k} \times \delta_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_{2,k} \times \delta_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & s_{n,k} \times \delta_n \end{bmatrix} \quad (5)$$



avec la fonction gaussienne

$$s_{l,k} = \frac{1}{\gamma \times \lambda_c} \times \exp\left(-\pi \left(\frac{x_{l,k}}{\gamma \times \lambda_c}\right)^2\right), \quad l = 1, \dots, n \quad (6)$$

et le paramètre

$$\gamma = \sqrt{\frac{-1 - W\left(-\frac{1}{2 \times \exp(1)}\right)}{\pi}} \approx 0,7309 \quad (7)$$

Les coefficients de pondération

$$\delta_l = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{z_l - w_l}{c}\right)^2\right)^2 & \text{pour } |z_l - w_l| \leq c \\ 0 & \text{pour } |z_l - w_l| > c \end{cases}, \quad l = 1, \dots, n \quad (8)$$

sont déduits de la fonction d'influence bipoids avec le paramètre

$$c = \frac{3}{\sqrt{2} \times \operatorname{erf}^{-1}(0,5)} \times \operatorname{median}|z - w| \approx 4,4478 \times \operatorname{median}|z - w| \quad (9)$$

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

[ISO/TS 16610-31:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010)

où

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ac01b7d0-48cf-4f9c-896b-d35ba8c20dca/iso-ts-16610-31-2010>

$W(X)$  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,  $k = 1, \dots, n$ ;

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

$w$  est le vecteur de la dimension  $n$  des valeurs du profil de la droite 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  $w$  donne les valeurs de profil de la composante de longueur d'onde longue (droite de référence). Le vecteur de différence  $r = z - w$  permet d'obtenir la composante de longueur d'onde courte  $r$ .

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

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

où

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

**4.2.3 Équation de filtre pour le 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

$$\tilde{w}_k = (1 \ 0 \ 0) \times (\tilde{X}_k^T \times \tilde{S}_k \times \tilde{X}_k)^{-1} \times \tilde{X}_k^T \times \tilde{S}_k \times \tilde{z} \tag{10}$$

La fonction de régression est représentée par la matrice

$$\tilde{X}_k = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{x}_{1,k} & \tilde{x}_{1,k}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \tilde{x}_{n,k} & \tilde{x}_{n,k}^2 \end{bmatrix} \tag{11}$$

avec

$$\tilde{x}_{l,k} = \left( \left( l - k + \frac{n}{2} \right) \bmod n - \frac{n}{2} \right) \times \Delta x, \quad l = 1, \dots, n \tag{12}$$

La fonction de pondération à espace variant,  $\tilde{S}_k$ , est donnée par

$$\tilde{S}_k = \begin{bmatrix} \tilde{s}_{1,k} \times \tilde{\delta}_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \tilde{s}_{2,k} \times \tilde{\delta}_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \tilde{s}_{n,k} \times \tilde{\delta}_n \end{bmatrix} \tag{13}$$

avec la fonction gaussienne

$$\tilde{s}_{l,k} = \frac{1}{\gamma \times \lambda_c} \times \exp \left( -\pi \left( \frac{\tilde{x}_{l,k}}{\gamma \times \lambda_c} \right)^2 \right), \quad l = 1, \dots, n \tag{14}$$

et le paramètre

$$\gamma = \sqrt{\frac{-1 - W \left( -\frac{1}{2 \times \exp(1)} \right)}{\pi}} \approx 0,730 \ 9 \tag{15}$$

Les coefficients de pondération

$$\tilde{\delta}_l = \begin{cases} \left( 1 - \left( \frac{\tilde{z}_l - \tilde{w}_l}{\tilde{c}} \right)^2 \right)^2 & \text{pour } |\tilde{z}_l - \tilde{w}_l| \leq \tilde{c} \\ 0 & \text{pour } |\tilde{z}_l - \tilde{w}_l| > \tilde{c} \end{cases}, \quad l = 1, \dots, n \tag{16}$$

sont déduits de la fonction d'influence bipoids avec le paramètre

$$\tilde{c} = \frac{3}{\sqrt{2} \times \operatorname{erf}^{-1}(0,5)} \times \operatorname{median}|\tilde{z} - \tilde{w}| \approx 4,447\ 8 \times \operatorname{median}|\tilde{z} - \tilde{w}| \quad (17)$$

La définition de  $c$  équivaut à trois fois la valeur  $Rq$  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 droite 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 (droite 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; ...

## 6 Désignation des filtres

Les filtres de régression gaussiens robustes conformes à la présente partie de l'ISO 16610 sont désignés

**FPRG**

Voir aussi l'ISO/TS 16610-1:2006, Article 5.