



Norme  
internationale

**ISO 16610-31**

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

Partie 31:

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

*Geometrical product specifications (GPS) — Filtration —*

*Part 31: Robust profile filters: Gaussian regression filters*

**Deuxième édition  
2025-02**

[ISO 16610-31:2025](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ab88305c-5264-4216-9567-a9556311b28d/iso-16610-31-2025)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ab88305c-5264-4216-9567-a9556311b28d/iso-16610-31-2025>

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 16610-31:2025](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ab88305c-5264-4216-9567-a9556311b28d/iso-16610-31-2025)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ab88305c-5264-4216-9567-a9556311b28d/iso-16610-31-2025>



**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](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 Caractéristiques du filtre de régression gaussien robuste pour des profils ouverts</b> .....	<b>4</b>
4.1 Généralités .....	4
4.2 Équations des filtres .....	4
4.2.1 Détermination de la composante latérale à grande échelle .....	4
4.2.2 Détermination de la composante latérale à petite échelle .....	6
4.3 Caractéristiques de transmission .....	6
<b>5 Caractéristiques du filtre de régression gaussien robuste pour les profils fermés</b> .....	<b>6</b>
5.1 Généralités .....	6
5.2 Équations des filtres .....	6
5.2.1 Détermination de la composante latérale à grande échelle .....	6
5.2.2 Détermination de la composante latérale à petite échelle .....	8
5.3 Caractéristiques de transmission .....	8
<b>6 Séries de valeurs d'indice d'imbrication</b> .....	<b>8</b>
<b>7 Degré de régression, <math>p</math></b> .....	<b>8</b>
<b>8 Solution itérative</b> .....	<b>9</b>
<b>9 Désignation des filtres</b> .....	<b>9</b>
<b>Annexe A (informative) Filtre de régression gaussien linéaire pour les profils ouverts illimités</b> .....	<b>10</b>
<b>Annexe B (informative) Exemples d'application du filtre de régression gaussien robuste</b> .....	<b>13</b>
<b>Annexe C (informative) Relation avec le modèle de matrice de filtrage</b> .....	<b>20</b>
<b>Annexe D (informative) Relation avec le modèle de matrice GPS</b> .....	<b>21</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>22</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 (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'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](http://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](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 géométrique 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).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 16610-31:2016), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- fournir des filtres de régression gaussiens continus pour les profils ouverts et pour les profils fermés;
- fournir une solution itérative normative pour les filtres de régression gaussiens continus.

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) et est à considérer comme une norme GPS générale (voir l'ISO 14638). Il influence les maillons C et E dans la structure de la 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 principes fondamentaux du système ISO GPS donnés dans l'ISO 8015 s'appliquent au présent document et les règles de décision par défaut données dans l'ISO 14253-1 s'appliquent aux spécifications faites conformément au présent document, sauf indication contraire.

Pour plus d'informations sur la relation du présent document avec le modèle de matrice de filtrage, voir l'[Annexe C](#).

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

Le présent document développe la terminologie et les concepts de filtres de régression gaussiens robustes pour les profils de surface. Il sépare les composantes latérales à grande échelle et à petite échelle des profils de surface de manière à ce que les profils de surface puissent être reconstruits sans altération. Le filtre de régression gaussien robuste pour les profils de surface réduit l'influence des vallées et des collines saillantes. En fonction de l'indice d'imbrication et du degré de régression choisis, les filtres de régression gaussiens robustes offrent une méthode possible pour l'opération F.

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 16610-31:2025](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ab88305c-5264-4216-9567-a9556311b28d/iso-16610-31-2025)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ab88305c-5264-4216-9567-a9556311b28d/iso-16610-31-2025>



# Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

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

### 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des filtres de régression gaussiens robustes pour le filtrage des profils de surface. Il définit, en particulier, la manière de séparer les composantes latérales à grande échelle et à petite échelle des profils de surface avec des vallées et des collines saillantes.

Les concepts présentés pour les profils fermés sont applicables au cas du filtrage de circularité. Le cas échéant, ces concepts peuvent être étendus aux profils fermés généralisés, en particulier pour les profils de surface présentant des éléments réentrants.

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

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

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

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

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 définitions donnés dans l'ISO 16610-1, l'ISO 16610-20, l'ISO 16610-21, l'ISO 16610-22, l'ISO 16610-30, l'ISO/IEC Guide 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 profil de surface

ligne d'intersection entre la portion de surface et un plan idéal

Note 1 à l'article: L'orientation du plan idéal est en général perpendiculaire au plan tangent de la portion de surface.

Note 2 à l'article: Voir l'ISO 17450-1:2011, 3.3 et 3.3.1, pour la définition d'un plan idéal.

[SOURCE: ISO 16610-1:2015, 3.1.2, modifié — Note 2 à l'article remplacée.]

#### 3.1.1 profil ouvert

*profil de surface* (3.1) de longueur finie comportant deux extrémités

Note 1 à l'article: Un profil ouvert a un support compact, c'est-à-dire qu'à l'intérieur d'un certain intervalle, les valeurs de hauteur d'un profil ouvert peuvent être égales à n'importe quel nombre réel. En dehors de l'intervalle, les valeurs de hauteur d'un profil ouvert sont fixées à zéro.

[SOURCE: ISO 16610-1:2015, 3.7, modifié — Note 1 à l'article remplacée.]

#### 3.1.2 profil ouvert illimité

*profil de surface* (3.1) de longueur infinie sans extrémités

Note 1 à l'article: Dans le présent document, le terme «illimité» fait référence à l'axe X.

Note 2 à l'article: Le concept de profil ouvert illimité est idéal et ne s'applique pas à des profils de surface réels.

#### 3.1.3 profil fermé

*profil de surface* (3.1) raccordé, de longueur finie sans extrémités

Note 1 à l'article: Un profil fermé est une courbe fermée qui est périodique avec la longueur de période finie  $L$ .

Note 2 à l'article: Un exemple typique de profil fermé est celui d'une mesure de circularité.

[SOURCE: ISO 16610-1:2015, 3.8, modifié — Note 1 à l'article remplacée et Note 2 à l'article ajoutée.]

### 3.2 filtre de profil linéaire

filtre de profil qui sépare les *profils de surface* (3.1) en composantes latérales à grande échelle et à petite échelle et qui est aussi une fonction linéaire

Note 1 à l'article: Si  $F$  est une fonction et  $X$  et  $Y$  sont des profils de surface, et si  $a$  et  $b$  sont indépendants de  $X$  et  $Y$ , alors dire que  $F$  est une fonction linéaire implique  $F(aX + bY) = aF(X) + bF(Y)$ .

[SOURCE: ISO 16610-20:2015, 3.1, modifié — Dans la définition «profils» a été remplacé par «profils de surface», «de longueur d'onde longue» par «latérales à grande échelle» et «de longueur d'onde courte» par «latérales à courte échelle»; Note 1 à l'article remplacées.]

### 3.3 fonction de pondération

fonction de calcul des composantes latérales à grande échelle par convolution des hauteurs des profils de surface avec cette fonction

Note 1 à l'article: La convolution (voir l'ISO 16610-20:2015, 4.1) effectue une moyenne mobile pondérée des hauteurs des profils de surface. La fonction de pondération, réfléchie sur l'axe X, définit les coefficients de pondération pour le processus de moyennage.



### 3.4

#### caractéristique de transmission d'un filtre

caractéristique qui indique la proportion suivant laquelle l'amplitude d'un profil de surface sinusoïdal est atténuée en fonction de sa longueur d'onde

Note 1 à l'article: La caractéristique de transmission est la transformée de Fourier de la *fonction de pondération* (3.3).

Note 2 à l'article: [SOURCE: ISO 16610-20:2015, 3.4]

### 3.5

#### longueur d'onde de coupure

$\lambda_c$

longueur d'onde d'un profil de surface sinusoïdal dont 50 % de l'amplitude est transmise par le profil

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

Note 2 à l'article: La longueur d'onde de coupure est l'indice d'imbrication pour les filtres de profil linéaires.

[SOURCE: ISO 16610-20:2015, 3.5, modifié — Dans la Note 2 à l'article, «recommandé» a été supprimé]

### 3.6

#### ondulations par révolution

##### UPR

nombre entier d'ondulations sinusoïdales contenues dans un *profil fermé* (3.1.3)

Note 1 à l'article: Dans le présent document, l'UPR est une fréquence et est désignée par  $f$ .

### 3.7

#### fréquence de coupure en ondulations par révolution

$f_c$

fréquence en UPR d'un *profil fermé* (3.1.3) sinusoïdal dont 50 % de l'amplitude est transmise par le filtre de profil

### 3.8

#### filtre de profil robuste

filtre de profil qui sépare les *profils de surface* (3.1) en composantes latérales à grande échelle et à petite échelle et qui est insensible aux phénomènes spécifiques dans les données d'entrée

Note 1 à l'article: Un filtre de profil robuste est un filtre non linéaire.

Note 2 à l'article: Voir également l'ISO 16610-1:2015, 3.9.

Note 3 à l'article: Les points aberrants, les rayures et les gradins sont des exemples de phénomènes spécifiques. Pour plus de détails, voir l'ISO 16610-30:2015.

Note 4 à l'article: En particulier, le *filtre de régression gaussien robuste* (3.11) conformément au présent document réduit l'influence de phénomènes spécifiques tels que les vallées et les collines saillantes. Des exemples de profils sont donnés dans l'[Annexe B](#).

### 3.9

#### fonction à double pondération de Beaton et Tukey

fonction utilisée dans l'estimation M et définie par la [Formule \(1\)](#)

$$\delta(\Delta z(x), c) = \begin{cases} \left[ 1 - \left( \frac{\Delta z(x)}{c} \right)^2 \right]^2 & \text{pour } |\Delta z(x)| \leq c \\ 0 & \text{pour } |\Delta z(x)| > c \end{cases} \quad (1)$$

où

- $x$  est la coordonnée  $x$  donnée;
- $\Delta z(x)$  sont les hauteurs dépendant de  $x$ ;
- $c$  est une valeur d'échelle.

Note 1 à l'article: La fonction à double pondération  $\delta(\Delta z(x), c)$  de Beaton et Tukey est presque constante et est égale à environ 1 pour les hauteurs  $\Delta z(x) \ll c$ . Pour des hauteurs croissantes  $|\Delta z(x)|$ , la fonction à double pondération de Beaton et Tukey avoisine zéro.

Note 2 à l'article: La fonction à double pondération de Beaton et Tukey est liée à la fonction d'influence  $\psi(\Delta z(x))$  (voir l'ISO 16610-30:2015) utilisée dans l'estimation M comme suit:  $\psi(\Delta z(x)) = \Delta z(x) \delta(\Delta z(x), c)$ .

Note 3 à l'article: Voir également l'ISO 16610-30:2015.

**3.10  
filtre de régression**

filtre de profil basé sur une modélisation polynomiale locale de la composante latérale à grande échelle d'un profil de surface (3.1)

**3.11  
filtre de régression gaussien robuste**

filtre de régression (3.10) basé sur la fonction de pondération gaussienne et la fonction à double pondération de Beaton et Tukey (3.9)

**4 Caractéristiques du filtre de régression gaussien robuste pour des profils ouverts**

**4.1 Généralités**

Dans cet article, le filtrage idéal des profils ouverts est considéré. Étant donné que le filtre de régression gaussien robuste est non linéaire et qu'il n'est pas possible de donner une caractéristique de transmission au moyen de la transformée de Fourier, le terme générique d'indice d'imbrication  $N_i$  est utilisé comme paramètre de filtrage au lieu de la longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$ . Mais dans de nombreux cas d'application, les valeurs de la longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  utilisées pour le filtrage linéaire conviennent également comme indice d'imbrication  $N_i$  pour le filtrage robuste.

**4.2 Équations des filtres**

**4.2.1 Détermination de la composante latérale à grande échelle**

Pour déterminer la composante latérale à grande échelle d'un profil ouvert, le filtre de régression gaussien robuste de degré  $p$  est défini par la Formule (2):

$$w(x) = (1 \quad 0 \quad \dots \quad 0) \left( \int_{\Omega} \mathbf{v}_p^T(x, u) \mathbf{v}_p(x, u) s(x, u) du \right)^{-1} \int_{\Omega} z(u) \mathbf{v}_p^T(x, u) s(x, u) du \quad (2)$$

où

- $\Omega$  est l'intervalle fini, exprimé comme un ensemble, dans lequel le profil ouvert peut être n'importe quel nombre réel;
- $x$  est la coordonnée  $x$  donnée avec  $x \in \Omega$ ;
- $u$  est la variable d'intégration le long de l'axe  $x$  avec  $u \in \Omega$ ;
- $z(u)$  est le profil ouvert dépendant de  $u$ ;

$\mathbf{v}_p(x,u)$  est l'espace vectoriel des polynômes jusqu'au  $p^{\text{ième}}$  degré dépendant de  $x$  et  $u$ ;

$\mathbf{v}_p^T(x,u)$  est la transposée de  $\mathbf{v}_p(x,u)$ ;

$s(x,u)$  est la fonction de pondération gaussienne modifiée dépendant de  $x$  et  $u$ ;

$w(x)$  est la composante latérale à grande échelle dépendant de  $x$ .

L'espace vectoriel  $\mathbf{v}_p(x,u)$  est défini par la [Formule \(3\)](#):

$$\mathbf{v}_p(x,u) = \begin{bmatrix} 1 & (x-u) & \dots & (x-u)^p \end{bmatrix} \quad (3)$$

La fonction de pondération gaussienne modifiée  $s(x,u)$  est définie par la [Formule \(4\)](#):

$$s(x,u) = \delta(z(u) - w(u), c) \frac{1}{\gamma N_i} e^{-\pi \left( \frac{x-u}{\gamma N_i} \right)^2} \quad (4)$$

où

$\delta(\cdot)$  est la fonction à double pondération de Beaton et Tukey;

$N_i$  est l'indice d'imbrication;

$\gamma$  est la constante de filtrage;

$c$  est une valeur d'échelle.

La valeur d'échelle  $c$  est définie par la [Formule \(5\)](#):

$$c = \frac{3}{\sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(0,5)} \operatorname{médiane}_{u \in \Omega} |z(u) - w(u)| \approx 4,4478 \operatorname{médiane}_{u \in \Omega} |z(u) - w(u)| \quad (5)$$

La définition de la valeur d'échelle  $c$  est équivalente à trois fois l'écart-type, si  $z(u) - w(u)$  a une distribution d'amplitude gaussienne. <http://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/ab88305c-5264-4216-9567-a9556311b28d/iso-16610-31-2025>

Pour  $p = 0, 1, 2$ , la constante de filtrage  $\gamma$  est définie par la [Formule \(6\)](#):

$$\gamma = \begin{cases} \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \approx 0,4697 & \text{pour } p = 0, 1 \\ \sqrt{\frac{-1 - W_{-1}\left(-\frac{1}{2e}\right)}{\pi}} \approx 0,7309 & \text{pour } p = 2 \end{cases} \quad (6)$$

NOTE 1  $\operatorname{erf}^{-1}$  est la fonction d'erreur inverse.

NOTE 2  $W_{-1}$  est la fonction «Lambert W» avec la branche  $-1$  (voir la Référence [6]).

NOTE 3 La médiane de l'écart absolu  $|z(u) - w(u)|$  est appelée MAD (voir l'ISO 16610-30:2015, 3.5.2).

NOTE 4 Voir [Article 8](#) pour une solution itérative du filtre de régression gaussien robuste.