

---

---

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

Partie 29:  
**Filtres de profil linéaires: Ondelettes  
splines**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Geometrical product specifications (GPS) — Filtration —*  
**(standards.iteh.ai)**  
*Part 29: Linear profile filters: Spline wavelets*

[ISO/TS 16610-29:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006>



**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 16610-29:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006>

© 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
1 <b>Domaine d'application</b> .....	1
2 <b>Références normatives</b> .....	1
3 <b>Termes et définitions</b> .....	1
4 <b>Description générale des ondelettes</b> .....	3
4.1 <b>Généralité</b> .....	3
4.2 <b>Utilisation élémentaire des ondelettes</b> .....	4
4.3 <b>Transformation en ondelettes</b> .....	4
4.4 <b>Ondelettes splines</b> .....	5
4.5 <b>Modèles mathématiques imbriqués</b> .....	5
5 <b>Recommandations</b> .....	5
5.1 <b>Ondelette spline</b> .....	5
5.2 <b>Indice d'imbrication (valeurs de coupure <math>\lambda_c</math>)</b> .....	5
6 <b>Désignation du filtre</b> .....	5
<b>Annexe A (normative) Famille d'ondelettes splines interpolantes</b> .....	6
<b>Annexe B (informative) Exemples d'application d'ondelettes splines interpolantes cubiques</b> .....	10
<b>Annexe C (informative) Vue d'ensemble des concepts</b> .....	14
<b>Annexe D (informative) Relations avec la matrice de filtrage</b> .....	15
<b>Annexe E (informative) Relations avec la matrice GPS</b> .....	16
<b>Bibliographie</b> .....	17

## 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 16610-29 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 213, *Spécification 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/TS 16610 et la matrice GPS, voir l'Annexe E.

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

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

[ISO/TS 16610-29:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006>

# Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage —

## Partie 29:

### Filtres de profil linéaires: Ondelettes splines

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO/TS 16610 spécifie les ondelettes splines utilisées pour le filtrage des profils et expose les concepts sous-jacents. Elle définit également la terminologie élémentaire des ondelettes splines à support compact et précise leur utilisation.

#### 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 16610-29:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/918610f7-1411-42e2-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006)

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

ISO/TS 16610-22:2006, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 22: Filtres de profil linéaires: Filtres splines*

*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, l'ISO/TS 16610-22, ainsi que les suivants s'appliquent.

##### 3.1

##### **ondelette mère**

fonction à une ou plusieurs variables, qui forme le bloc de construction élémentaire pour l'analyse d'ondelettes, associée à une fonction d'échelle

NOTE En général, une ondelette mère s'intègre en donnant une valeur nulle, est localisée dans l'espace et a une largeur de bande finie (voir exemple à la Figure 1).

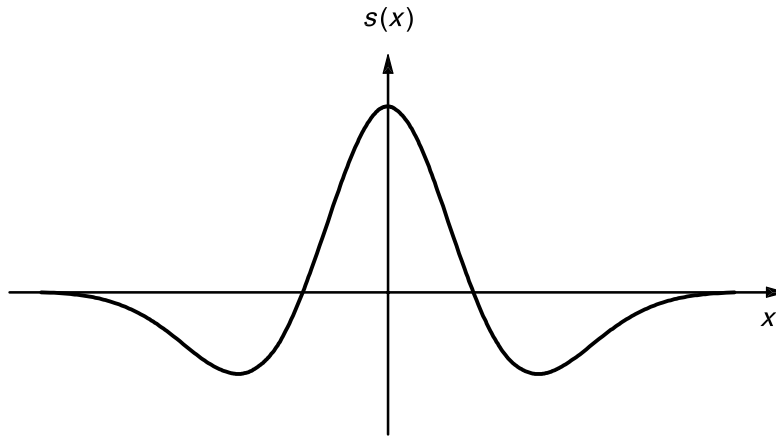


Figure 1 — Exemple d'une ondelette mère à valeurs réelles

**3.2 famille d'ondelettes**

$g_{a,b}$   
famille de fonctions obtenues par dilatation et translation de l'ondelette mère (3.1)

NOTE Si  $g(x)$  est l'ondelette mère, la famille d'ondelettes  $g_{a,b}(x)$  est alors obtenue par l'équation:

$$g_{a,b}(x) = a^{-0,5} \times g\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

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

(1)

où

$a$  est le paramètre de dilatation,

$b$  est le paramètre de translation.

[ISO/TS 16610-29:2006](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f8fd0f7-d4b1-42e3-9b2a-af08d2a215bc/iso-ts-16610-29-2006>

**3.2.1 dilatation**

(ondelette) transformation qui consiste à changer l'échelle de la variable spatiale  $x$  d'un facteur  $a$

NOTE 1 Cette transformation appliquée à la fonction  $g(x)$  donne  $a^{-0,5}g(x/a)$  pour un nombre réel positif arbitraire  $a$ .

NOTE 2 Le facteur  $a^{-0,5}$  a pour but de maintenir l'aire sous la fonction constante.

**3.2.2 translation**

transformation qui consiste à décaler la position spatiale d'une fonction d'un nombre réel  $b$

NOTE Cette transformation appliquée à la fonction  $g(x)$  donne  $g(x - b)$  pour un nombre réel arbitraire  $b$ .

**3.3 transformation en ondelettes discrètes**

décomposition unique d'un profil en une combinaison linéaire de **famille d'ondelettes** (3.2), dans laquelle les paramètres de **translation** (3.2.2) sont des entiers et les paramètres de **dilatation** (3.2.1) sont les puissances d'un entier positif donné supérieur à un

NOTE 1 Les paramètres de dilatation sont généralement des puissances de 2.

NOTE 2 Dans le reste de la présente partie de l'ISO/TS 16610, la transformation en ondelettes discrètes sera appelée «transformation en ondelettes».



**3.4****analyse multirésolution**

décomposition d'un profil en portions à différentes échelles au moyen d'un banc de filtres

NOTE 1 Les portions à différentes échelles sont aussi appelées résolutions.

[ISO/TS 16610-20:2006]

NOTE 2 Voir Figure 2.

NOTE 3 Par définition, comme aucune perte d'information ne se produit, il est possible de reconstruire le profil d'origine à partir de la structure en échelle de multirésolution.

**3.4.1****composante passe-bas**

composante obtenue après la convolution avec un filtre de lissage (passe-bas) et une décimation

**3.4.2****composante passe-haut**

composante obtenue après la convolution avec un filtre différentiel (passe-haut) et une décimation

NOTE La fonction de pondération du filtre différentiel est définie par l'ondelette issue d'une famille d'ondelettes spécifique, ayant un paramètre de dilatation particulier et sans paramètre de translation.

**3.4.3****structure en échelle de multirésolution**

structure constituée de tous les ordres des composantes différentielles et de la composante de lissage ayant l'ordre le plus élevé

**3.4.4****fonction d'échelle**

fonction qui définit la fonction de pondération du filtre de lissage utilisé pour obtenir la composante de lissage

NOTE Pour éviter de perdre toute information dans la structure en échelle de multirésolution, l'ondelette et la fonction de changement d'échelle doivent être appariés.

**3.4.5****décimation**

(ondelette) action qui consiste à échantillonner chaque  $k^{\text{ième}}$  point dans un profil échantillonné, où  $k$  est un entier positif

NOTE  $k$  est généralement égal à 2.

**3.5****ondelette spline**

**famille d'ondelettes** (3.2) dont les **fonctions d'échelles** (3.4.4) de reconstruction correspondantes sont des splines

**4 Description générale des ondelettes****4.1 Généralité**

Une ondelette spline revendiquant la conformité à la présente partie de l'ISO/TS 16610 doit satisfaire aux équations données dans l'Annexe A.

NOTE Des exemples d'application d'ondelettes splines interpolantes cubiques sont donnés dans l'Annexe B. Une vue d'ensemble des concepts est donnée dans l'Annexe C, et les relations avec la matrice de filtrage sont données dans l'Annexe D.

**4.2 Utilisation élémentaire des ondelettes**

Une analyse par ondelettes consiste à décomposer un profil en une combinaison linéaire d'ondelettes  $g_{a,b}(x)$  générées à partir d'une seule ondelette mère (voir [6]). Elle s'apparente à une analyse de Fourier qui décompose un profil en une combinaison linéaire d'ondes sinusoïdales mais, contrairement à celle-ci, les ondelettes peuvent identifier la position et l'échelle d'un élément dans un profil. Elles peuvent donc décomposer des profils où la structure à petite échelle dans une partie du profil n'a aucun rapport avec celle d'une autre partie (changements localisés dus à des rayures, par exemple). De plus, les ondelettes conviennent parfaitement aux profils non stationnaires. Par principe, les ondelettes décomposent un profil en blocs de construction ayant une forme constante mais des échelles différentes.

**4.3 Transformation en ondelettes**

La transformation en ondelettes discrètes d'un profil  $s(t)$  donnée à intervalles fixes  $x_i = i\Delta x$ , (où  $\Delta x$  est l'intervalle d'échantillonnage et  $i = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$ ) avec l'ondelette mère  $g(x)$  est donnée par:

$$S(i\Delta x, a) = \Delta x \sum_j s[(i-j)\Delta x] g_{a,j\Delta x}(j\Delta x) \tag{2}$$

Le paramètre de dilatation  $a$  est également limité à des valeurs discrètes. En général, les valeurs consécutives de  $a$  ont un rapport fixe, c'est-à-dire que le rapport  $a_i / a_{i+1}$  est constant.

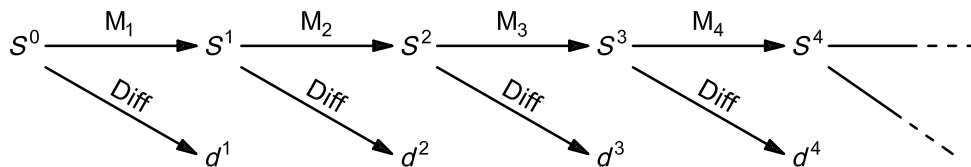
NOTE 1 Cette constante est généralement égale à 2.

Si l'ondelette  $g(x)$  a une étendue spatiale finie, le nombre de points d'échantillonnage de  $t(x)$  à l'échelle  $a$  croît linéairement avec  $a$  et, de ce fait, il est généralement impossible de calculer  $S$  en utilisant un algorithme basé sur l'équation ci-dessus. L'efficacité des algorithmes de calcul d'ondelettes dépend de différentes propriétés de l'ondelette mère. L'algorithme examiné dans le cas présent est celui d'une analyse multirésolution (voir ISO/TS 16610-20:2006) qui est valide pour les ondelettes «biorthogonales» qui incluent les ondelettes splines.

La forme de multirésolution de la transformation en ondelettes consiste à construire une échelle d'approximations lisses du profil (voir Figure 2). Le premier échelon est le profil d'origine. Chaque échelon de l'échelle est constitué d'un banc de filtres (voir ISO/TS 16610-20:2006) où le profil  $S^i$  est séparé en deux composantes:

- une version plus lisse du profil  $S^{i+1}$  qui devient l'échelon suivant, et
- une composante qui correspond à la «différence» entre les deux échelons  $d^{i+1}$ .

L'action du filtre passe-bas (lissage)  $H_0$  et du filtre passe-haut  $H_1$  dans le banc de filtres réduit de moitié le nombre de points du profil.



**Figure 2 — Exemple d'une séparation multirésolution par transformation en ondelettes**

Le profil d'origine peut être reconstruit à partir de  $(d^1, d^2, d^3, \dots, d^n, S^n)$  en inversant la structure en échelle et en utilisant une seconde paire de filtres  $H'_0$  et  $H'_1$ . Les ondelettes ne fournissent pas une seule méthode (comme la transformée de Fourier) mais une multitude de transformées dépendant d'une ondelette mère qui détermine les 4 filtres  $H_0, H_1, H^*_0$  et  $H^*_1$ . L'Annexe B donne des exemples de transformations de profils en ondelettes par analyse multirésolution.

NOTE 2 La méthode exposée ci-dessus ne constitue qu'un exemple. Il en existe d'autres qui permettent de décomposer le profil à l'aide de bancs de filtres.

#### 4.4 Ondelettes splines

Les ondelettes symétriques incluent les ondelettes splines qui sont des familles d'ondelettes dont les fonctions d'échelles correspondantes sont des splines.

NOTE 1 L'algorithme de calcul des ondelettes de seconde génération est une méthode efficace pour déterminer les transformations en ondelettes.

NOTE 2 Toutes les ondelettes ayant un nombre fini de coefficients de filtrage peuvent être représentées sous forme d'ondelettes de seconde génération.

#### 4.5 Modèles mathématiques imbriqués

La structure en échelle de multirésolution se prête naturellement à une série de modèles mathématiques imbriqués du profil, le  $i^{\text{ème}}$  modèle,  $m^i$ , étant reconstruit à partir de  $(d^i, d^{i+1}, \dots, d^n, s^n)$ , comme illustré à la Figure 2). L'ordre du modèle est équivalent à une valeur de coupure et plus l'ordre du modèle est élevé, plus la représentation est lisse. Par conséquent,  $m^{i+1}$  est une version du profil plus lisse que  $m^i$ .

Une grandeur similaire à la «largeur de bande de transmission» peut être construite à l'aide des modèles mathématiques imbriqués, en calculant la différence de hauteur entre deux profils spécifiés, par exemple

$$m^{i,j} = m^i - m^j \quad (3)$$

avec  $i < j$ .

Ainsi, dans cet exemple particulier, l'ordre  $i$  équivaut à la valeur de coupure  $\lambda_s$  et l'ordre  $j$  à la valeur de coupure  $\lambda_c$ . La relation exacte entre l'ordre du modèle et la valeur de coupure dépend de l'ondelette mère spécifique choisie.

ISO/TS 16610-29:2006

## 5 Recommandations

### 5.1 Ondelette spline

Sauf indication contraire spécifiée, une ondelette spline cubique interpolante doit être utilisée (voir l'Annexe A).

### 5.2 Indice d'imbrication (valeurs de coupure $\lambda_c$ )

Il est recommandé de choisir l'indice d'imbrication (c'est-à-dire la valeur de coupure  $\lambda_c$ ) à partir d'une série de valeurs logarithmiques (rapport constant). L'expérience a révélé qu'un rapport constant optimal est approximativement égal à la racine carrée de 10 valeurs d'échelle successives. 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 du filtre

Les filtres splines conformes à la présente partie de l'ISO/TS 16610 sont désignés:

**FPLW**

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