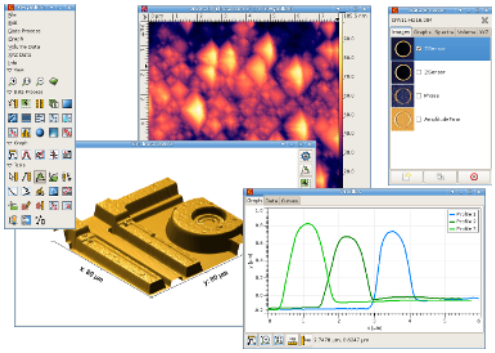
# Guide utilisateur de Gwyddion

Petr Klapetek, David Nečas, et Christopher Anderson

Version du 17 mai 2021 (version 2.58). Ce guide est en constante évolution.

Traduction française par François Riguet.



Copyright © 2004–2007, 2009–2021 Petr Klapetek, David Nečas, Christopher Anderson

Vous pouvez copier, distribuer et/ou modifier ce document selon les termes de (au choix)

— La Licence de Documentation Libre GNU, Version 1.2 ou plus récente publiée par la Free Software Foundation; sans Section Inaltérable, sans Texte de Page de Couverture Avant, et sans Texte de Page de Couverture Arrière. Une traduction non officielle de la licence est incluse dans la section intitulée Licence de Documentation Libre GNU.
— La Licence Publique Générale GNU, Version 2 ou plus récente publiée par la Free Software Foundation. Une traduction non officielle de la licence est incluse dans la section intitulée Licence Publique Générale GNU.

# Table des matières

**1 Introduction** **1**
1.1 Motivation . . . 1
1.2 Licence . . . 1

**2 Installation** **2**
2.1 Paquets Linux/Unix . . . 2
2.2 Paquets MS Windows . . . 2
Désinstallation . . . 3
Clés de registre . . . 3
Fonctionnalités manquantes . . . 3
Activation de pygwy . . . 3

**3 Démarrer** **4**
3.1 La Fenêtre principale . . . 4
3.2 Navigateur de Données . . . 5
Contrôler le navigateur . . . 6
Images . . . 6
Graphes . . . 6
Spectres . . . 7
Volume . . . 7
XYZ . . . 7
3.3 Gestion des fichiers . . . 7
Chargement de fichier . . . 7
Fusion de fichier . . . 8
Enregistrement de fichier . . . 8
Historique . . . 8
3.4 La Fenêtre de données . . . 9
3.5 Les Fenêtres de Graphe . . . 10
3.6 Outils . . . 10
3.7 Affichage en Fausses Couleurs . . . 12
Outil d'ajustement de la plage des couleurs . . . 12
Editeur de Gradient . . . 13
3.8 Présentations et masques . . . 13
Présentation . . . 14
Masques . . . 14
3.9 Selections . . . 15
Gestionnaire de Sélection . . . 15
3.10 Affichage 3D OpenGL . . . 16
Contrôles basiques . . . 17
Contrôles complets . . . 17
Enregistrer des images . . . 17
Editeur de matériau OpenGL . . . 17
3.11 Les spectres ponctuels . . . 18
Outil spectroscopie ponctuelle . . . 18
3.12 Données volumiques . . . 19
3.13 Données XYZ . . . 19
3.14 Les Meta-Données . . . 20
3.15 Export d'image . . . 21
Basique . . . 22
Échelle latérale . . . 23

Valeurs . . . 24
Sélection . . . 25
Préréglages . . . 25
3.16 Journal des modifications . . . 26
Désactiver le journal . . . 26
3.17 Import de Données Brutes . . . 27
Information . . . 27
Format de données . . . 27
Préréglages . . . 28
3.18 Import de Données Spécifiques . . . 28
Formats Graphiques . . . 28
Courbes . . . 28
Données XYZ . . . 29

**4 Traitement et Analyse des Données** **30**
4.1 Opérations basiques . . . 30
Transformations géométriques élémentaires . . . 30
Renverser . . . 30
Rotation par multiples de 90° . . . 30
Rogner . . . 30
Étendre . . . 30
Transformations avec interpolation . . . 30
Échelle . . . 31
Échantillons carrés . . . 31
Ré-échantillonnage . . . 31
Rotation arbitraire . . . 31
Regroupement . . . 31
Transformations des valeurs . . . 31
Inverser les valeurs . . . 32
Limiter la plage des valeurs . . . 32
Valeur de repli . . . 32
Dimensions et unités . . . 32
Inclinaison . . . 32
Lecture des Valeurs . . . 32
Outil de lecture de valeur . . . 32
Inclinaisons . . . 33
Outil Distance . . . 33
Profils le long des axes . . . 33
Extraction de Profil . . . 34
Profils radiaux . . . 36
Conversion vers d'autres types de données . . . 36
4.2 Interpolation . . . 37
Références . . . 38
4.3 Mise à niveau et soustraction d'arrière plan . . . 38
Mise à niveau . . . 38
Fixer le zéro et Valeur moyenne à zéro . . . 38
Niveau plan . . . 39
Outil de mise à niveau par trois points . . . 39
Mise à niveau des facettes . . . 39
Rotation de plan . . . 40
Soustraction d'arrière-plan . . . 40
Arrière-plan polynômial . . . 40
Applanissement de la base . . . 40
Arc de révolution . . . 41

Sphère . . . 41
Niveau médian . . . 41
Courbure . . . 41
Ajustement de forme . . . 42
4.4 Masques . . . 42
Opérations basiques . . . 43
Éditeur de masque . . . 43
Marquer avec . . . 44
Opérations morphologiques . . . 45
Carte de distances . . . 45
Affinage . . . 46
4.5 Filtres . . . 47
Outil filtres basiques . . . 47
Convolution . . . 48
4.6 Présentations . . . 48
Opérations basiques . . . 48
Ombre . . . 49
Détection de gradient . . . 49
Détection de bord . . . 49
Contraste local . . . 51
Rang . . . 51
Echelle logarithmique . . . 51
Image SEM . . . 52
4.7 Edition et Correction des données . . . 52
Aligner les lignes . . . 52
Correction des sauts dans les lignes . . . 53
Supprimer les points chauds . . . 53
Suppression de grains . . . 53
Supprimer les défauts linéaires . . . 53
Marquer les défauts linéaires . . . 54
Supprimer les données sous le masque . . . 54
Correction fractale . . . 54
Masquer les points aberrants . . . 55
Marquer les points déconnectés . . . 55
Outil de mise à niveau par chemin . . . 55
Dérotation . . . 56
4.8 Correction avancée des données . . . 56
Compensation de la dérive . . . 56
Distorsion affine . . . 57
Distorsion polynômiale . . . 58
Redressement de chemin . . . 58
Extraction de chemin . . . 59
Débruitage XY . . . 59
Références . . . 60
4.9 Analyse statistique . . . 60
Outil statistiques . . . 61
Outil d'analyse des fonctions statistiques . . . 62
Distributions des hauteurs et des angles . . . 62
Quantités de premier et de second ordre . . . 62
Fonction d'autocorrelation (ACF) . . . 62
Fonction de corrélation hauteur-hauteur (HHCF) . . . 64
Densité spectrale de puissance (PSD) . . . 64
Fonctions de Minkowski . . . 66
Plage . . . 66

Outil d'analyse des statistiques de lignes/colonnes . . . 66
Statistiques des pentes bi-dimensionnelles . . . 66
Mesure de maille . . . 67
Analyse des Facettes . . . 67
Entropie . . . 68
4.10 Paramètres de rugosité uni-dimensionnelle . . . 69
Paramètres d'amplitude de rugosité . . . 69
4.11 Analyse des grains . . . 71
Seuillage . . . 71
Méthode d'Otsu . . . 71
Détection de bord . . . 71
Suppression des grains en contact avec les bords . . . 71
Ligne de partage des eaux . . . 72
Segmentation . . . 73
Régression logistique . . . 73
Statistiques . . . 74
Statistiques des grains . . . 74
Distributions des grains . . . 74
Corrélation des caractéristiques des grains . . . 74
Outil de mesure des grains . . . 74
Caractéristiques des grains . . . 75
Filtrage des grains . . . 77
Mise à niveau des grains . . . 78
Références . . . 78
4.12 Transformée de Fourier . . . 78
Filtre FFT 1D . . . 79
Filtrage FFT 2D . . . 80
Séparation fréquentielle . . . 80
4.13 Transformée en ondelettes . . . 80
Transformée en ondelettes discrète . . . 81
Transformée en ondelettes continue . . . 82
Références . . . 83
4.14 Analyse fractale . . . 83
References . . . 84
4.15 Artefacts de Convolution de Sonde . . . 84
Obtenir la géométrie de la sonde . . . 85
Convolution de sonde et reconstruction de surface . . . 86
Références . . . 87
4.16 Force et indentation . . . 87
Analyse d'empreinte . . . 87
4.17 Multidonnées . . . 88
Arithmétique . . . 88
Incrustation d'un détail . . . 89
Fusion d'images . . . 89
Rognage mutuel . . . 90
Corrélation croisée . . . 90
Masquer par corrélation . . . 91
Traitement par réseau neuronal . . . 91
Apprentissage . . . 91
Application . . . 92
4.18 Analyse de graphes . . . 92
Opérations basiques . . . 92
Mise à niveau de graphes . . . 92
Alignement de graphes . . . 92

Transformée logarithmique . . . 93
Ajustement de fonction . . . 93
Ajustement de courbe force-distance . . . 93
Dimension critique . . . 94
Spectre DOS . . . 94
Localisation des pics . . . 94
4.19 Traitement des données volumiques . . . 95
Opérations basiques . . . 95
Extraction d'images et de profils . . . 95
Caractérisation de profils . . . 96
Partitionnement par K-moyennes et K-médianes . . . 97
4.20 Traitement des données XYZ . . . 97
Rastérisation . . . 97
Mise à niveau . . . 99
Ajustement de forme . . . 99
4.21 Synthèse de surfaces . . . 101
Synthèse spectrale . . . 102
Objets . . . 102
Bruit . . . 104
Bruit linéaire . . . 104
Motifs . . . 105
Films à croissance colonnaire . . . 106
Dépôt ballistique . . . 107
Ondes . . . 107
Domaines . . . 108
Diffusion . . . 109
Maillage . . . 110
Mouvement brownien . . . 111
Forcer la distribution statistique . . . 112
Références . . . 112
4.22 Calibration et uncertitudes . . . 112
Données de calibration . . . 112
Acquisition des données de calibration . . . 113
Application des données de calibration et utilisation ultérieure . . . 113
4.23 Les Greffons . . . 113

**5 Sommaire et tables** **114**
5.1 gwyddion . . . 114
5.2 gwyddion-thumbnailer . . . 116
5.3 Raccourcis clavier . . . 118
5.4 Formats de Fichiers Supportés . . . 120
5.5 Formats d'image à grande dynamique . . . 124
5.6 Expressions . . . 125
5.7 Fonctions d'ajustement . . . 127
5.8 Ressources . . . 128
Gradients . . . 129
Matériaux OpenGL . . . 129
Valeurs de grains . . . 130
Pré-réglages des données bruts . . . 131
5.9 Configuration . . . 132
5.10 Configuration de la boîte à outils . . . 133
5.11 Format des fichiers Gwyddion . . . 134
Les deux couches . . . 134
Ordre des octets . . . 135

En-tête de Fichier . . . 135
Données . . . 135
Structure d'un Objet . . . 135
Composants . . . 135
Types de Données . . . 136
Conteneur GwyContainer de premier niveau . . . 136
Images . . . 136
Graphes . . . 138
Spectre . . . 139
Données volumiques . . . 140
Données XYZ . . . 141
Autres éléments . . . 142
Objets auxiliaires . . . 142
5.12 Fichiers à Champ Simple . . . 143
Structure générale . . . 143
Ligne magique . . . 143
Texte d'en-tête . . . 143
Remplissage par octets NUL . . . 144
Données binaires . . . 144
5.13 Fichier de données XYZ . . . 145
Structure globale . . . 145
Ligne magique . . . 145
Texte d'en-tête . . . 145
Remplissage par octets NUL . . . 146
Données binaires . . . 147

**A Licence Publique Générale GNU** **148**
A.1 Préambule . . . 148
A.2 DISPOSITIONS RELATIVES A LA COPIE, LA DISTRIBUTION ET LA MODIFICATION . . . 149
Section 0 . . . 149
Section 1 . . . 149
Section 2 . . . 149
Section 3 . . . 150
Section 4 . . . 150
Section 5 . . . 150
Section 6 . . . 150
Section 7 . . . 150
Section 8 . . . 151
Section 9 . . . 151
Section 10 . . . 151
ABSENCE DE GARANTIE Section 11 . . . 151
Section 12 . . . 151
A.3 Comment appliquer ces dispositions à vos nouveaux programmes . . . 152

**B Licence de Documentation Libre GNU** **153**
B.1 Preambule . . . 153
B.2 Applicabilité et Définitions . . . 153
B.3 Copies Conformes . . . 154
B.4 Copies en nombre . . . 154
B.5 Modifications . . . 155
B.6 Fusion de Documents . . . 156
B.7 Regroupement de Documents . . . 156
B.8 Agrégation avec des Travaux Indépendants . . . 156
B.9 Traduction . . . 156

B.10 Révocation . . . . . 157
B.11 Revisions Futures de cette Licence . . . . . 157
B.12 ANNEXE : comment utiliser cette Licence pour vos documents . . . . . 157

**6 Index** **158**

# Chapitre 1

# Introduction

Voici le guide et manuel de référence pour le logiciel de traitement des données de microscopie à sonde Gwyddion.

La dernière version originale de ce document est disponible en ligne à l'adresse https://gwyddion.net/documentation/user-guide-en/. Il est disponible en plusieurs langues: Anglais, Français et Russe. Toutes les versions sont disponibles en ligne à l'adresse https://gwyddion.net/documentation/.

Si vous souhaitez vous référer à Gwyddion dans une publication scientifique, veuillez citer David Nečas, Petr Klapetek, Gwyddion: An open-source software for SPM data analysis, Cent. Eur. J. Phys. 10(1) (2012) 181-188 (seul ou en complément de ce guide).

## 1.1 Motivation

Gwyddion est un logiciel modulaire pour l'analyse de données SPM. Son but premier est d'être utilisé pour l'analyse de données obtenues par les techniques de microscopie à sonde (AFM, MFM, STM, NSOM). Il peut toutefois être aussi utilisé de manière plus générale pour tout autre champ de données et/ou le traitement d'images (en niveaux de gris), par exemple pour l'analyse de données de profilométrie ou de cartes d'épaisseur obtenue par imagerie spectrophotométrique. Gwyddion est un logiciel libre et gratuit couvert par la GNU General Public License (GNU GPL).

L'idée sous-jacente au développement de Gwyddion est de réaliser un logiciel modulaire pour l'analyse de données 2D, pouvant être étendu facilement à l'aide de modules et de greffons sans avoir à tout recompiler. De plus, le statut de logiciel libre permet de fournir le code source au développeurs et utilisateurs, ce qui permet d'accélerer et faciliter le développement.

Gwyddion peut être utilisé sur les plateformes Linux/Unix (incluant Mac OS X) et Microsoft Windows. Les deux types de système peuvent être utilisés pour le développement. Concernant l'interface graphique, l'outil Gtk+ est utilisé, Gwyddion peut ainsi être facilement porté vers tout autre système supporté par Gtk+.

Le développement de Gwyddion est actuellement financé par l'Institut Tchèque de Métrologie. Le projet a démarré grâce à l'initiative Nanomet (couvert par Euromet) en août 2004. Nous espérons que de plus en plus de personnes et d'institutions participeront au développement. Le projet est ouvert à tous. Bienvenue...

## 1.2 Licence

Gwyddion est couvert par la GNU General Public License (GNU GPL). Le texte complet de la licence est inclus dans le fichier `COPYING` des sources (l'installeur MS Windows le contient dans le fichier `COPYING.wri`). En bref, la licence explique que :

- Vous pouvez utiliser gratuitement le logiciel. Vous pouvez en faire des copies, le modifier ou le distribuer librement. Vous pouvez télécharger le logiciel et son code source à partir du site internet Gwyddion et le modifier comme bon vous semble.
- Si vous décidez de le distribuer, le code modifié est toujours couvert par la même licence. Vous devez en particulier fournir le code source dans la distribution.
- Cela s'applique pour les extensions, par exemple si vous écrivez un module d'import pour un nouveau type de fichier ou une nouvelle fonction d'analyse des données, celui-ci devra être sous la licence GNU GPL (si vous la distribuez).
  Toutefois, il est aussi possible d'exécuter des logiciel tiers à partir de Gwyddion, et ceux-ci n'ont pas à être nécessairement distribués sous la même licence - s'ils ne s'agit pas de travaux dérivés de Gwyddion (ce qui n'est semble-t-il pas facile à déterminer).

Voici les principales raisons pour lesquelles ce logiciel est couvert par ce type de licence : tout d'abord la politique de cette licence nous permet de créer un logiciel modulaire qui peut être facilement développé par un grand nombre de personnes de différentes institutions. En second lieu, cette licence protège les droits des développeurs pour que leur code, donné ici au public, ne puisse être copié et utilisé dans des applications propriétaires.

# Chapitre 2

# Installation

Le code source de Gwyddion et les paquets binaires peuvent être téléchargés à partir de la page internet de téléchargement du projet, ou à partir de la page de téléchargement SourceForge.net. L'installation varie légèrement selon le système d'exploitation utilisé et les différentes méthodes d'installation seront décrites dans les sections qui suivent.

Pour démarrer avec Gwyddion vous pouvez aussi télécharger les fichiers d'exemple Gwyddion. Ils sont donnés au format Gwyddion natif et représentent des données AFM typiques.

## 2.1 Paquets Linux/Unix

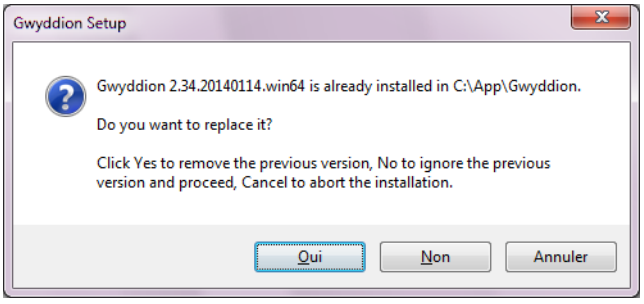
Certains systèmes GNU/Linux et Unix fournissent les paquets pré-compilés de Gwyddion. La page de téléchargement du projet suit aussi les initiatives de paquetage connues. Par exemple, Debian, Ubuntu, Gentoo, openSuSE ou FreeBSD proposent des paquets Gwyddion. Une application Flatpak app utilisable pour de multiples distributions existe aussi. Gwyddion est aussi disponible depuis plusieurs dépôt pour Mac OS X, tels que MacPorts, Homebrew et Fink. Si votre système d'exploitation est suffisamment récent et qu'il propose un tel paquet, il suffit de l'installer avec les moyens habituels du système utilisé. Dans le cas contraire vous pouvez vous lancer dans la compilation à partir du code source.

## 2.2 Paquets MS Windows

Les paquets MS Windows compilés par les développeurs sont disponibles sur la la page de téléchargement. Les paquets 32 et 64 bits sont proposés. La plupart des nouveaux utilisateurs choisiront le paquet 64 bits. Le paquet 32 bits peut toutefois avoir une certaine utilité.

**Note** La compilation des paquets exécutables sous MS Windows a changé de manière significative depuis la 2.23. Si vous faites une mise à jour d'une version antérieure à la 2.23 vers la version 2.23, nous vous invitons à lire la description des changements.

Si vous avez déjà installé Gwyddion l'installeur vous demandera si vous souhaitez remplacer la version prédédente.




*La question concerne ce que vous souhaitez faire de la version précédente de Gwyddion.*

Vous avez trois options :

**Oui (remplacer)** La version déjà installée sera remplacée. Il s'agit de la méthode normale de mise à jour.

**Non (conserver)** La version déjà installée sera ignorée et l'installation continuera comme s'il s'agissait d'une première installation. Il s'agit en général d'une mauvaise idée car les deux versions partageront les mêmes réglages et clés de registre, et si vous en désinstallez une l'autre en sera affectée. De plus, il ne supprime aucun des fichiers de la version déjà présente – et il peuvent rester. Dans certains cas vous pourrez trouver cette option utile.

**Annuler** L'installation sera annulée et l'ancienne version ne sera pas modifiée.

Dans les étapes suivantes l'installeur vous rappelle les composants du logiciel inclus dans le paquet ainsi que leurs licences (qui sont tous des logiciels libres), puis vous propose un répertoire d'installation, et enfin vous propose la langue de l'interface utilisateur.

### Désinstallation

Si vous souhaitez désinstaller Gwyddion, allez dans le menu *Démarrer* → *Panneau de configuration* → *Ajout/Suppression de programmes* et choisissez Gwyddion. Notez que cette procédure est valable sous Windows XP. Le chemin vers la fenêtre *Ajout/-Suprression* peut être légèrement différent sur d'autres versions de Windows.

### Clés de registre

L'installeur crée les clés suivantes dans `HKEY_LOCAL_MACHINE\Software\Gwyddion\2.0` :

**`InstallDir`** Répertoire d'installation, par exemple `C:\Program Files\Gwyddion`. La lecture de cette clé peut être utile pour déterminer où installer des extensions.

**`Version`** Version complète de Gwyddion sous forme de chaîne de caractères.

**`Locale`** La langue de l'interface utilisateur de Gwyddion est choisie durant l'installation (plus précisément, une localisation qui, entre autre, définit la langue). Vous pouvez la modifier en utilisant **regedit** pour choisir une autre langue.

Voici la liste des langues disponibles et les valeurs des `localisations` correspondantes :

| **gwy_locale** | **Langue** |
|---|---|
| `cs_CZ.UTF-8` | Tchèque (République Tchèque) |
| `de_DE.UTF-8` | Allemand (Allemagne) |
| `en_GB.UTF-8` | Anglais (Royaume Uni) |
| `en_US.UTF-8` | Anglais (Etats-Unis) |
| `es_ES.UTF-8` | Espagnol (Espagne) |
| `fr_FR.UTF-8` | Français (France) |
| `it_IT.UTF-8` | Italien (Italie) |
| `ko_KR.UTF-8` | Coréen (Corée du Sud) |
| `pt_BR.UTF-8` | Portugais (Brésil) |
| `ru_RU.UTF-8` | Russe (Russie) |

### Fonctionnalités manquantes

Gwyddion possède plusieurs fonctionnalités dépendant de librairies tierces. Le paquet MS Windows en contient la plupart mais certaines d'entre elles ne sont incluses pour l'instant :

— Import d'images FITS (Flexible Image Transport System).
— Support de Pygwy pour la version 64bit (il n'est supporté que dans la version 32bit).

### Activation de pygwy

L'interface de script Python, pygwy, est inclue dans l'installeur. Il vous faudra toutefois installer Python et PyGTK2 afin d'activer les possibilités de script Python. Ceci peut être réalisé avant l'installation de Gwyddion, ou bien ultérieurement. Si Python ou PyGTK2 ne sont pas présents, pygwy ne pourra pas s'enregistrer lors du démarrage de Gwyddion.

L'installeur de Python pour MS Windows peut être téléchargé sur http://python.org/download/releases/. Pygwy nécessite Python 2, il vous faudra donc installer une version de Python 2.7, en général la dernière. Toutefois, certaines versions s'avèrent problématiques. Actuellement, la dernière version connue ne posant pas de problème est `python-2.7.13.msi`.

Trois paquets sont nécessaires pour faire fonctionner PyGTK2 : PyGTK, PyCairo et PyGObject. Utilisez les liens de téléchargement sur http://www.pygtk.org/downloads.html et téléchargez les installeurs `pygobject-2.28.3.win32-py2.7.msi`, `pycairo-1.8.10.win32-py2.7.msi`, et `pygtk-2.24.0.win32-py2.7.msi` ou plus récents (si disponibles). Ils sont aussi disponibles sur la page SourceForge de Gwyddion au cas où vous auriez du mal à les trouver ou les télécharger.

L'utilisation de l'installeur tout-en-un `pygtk-all-in-one-2.24.2.win32-py2.7.msi` a été testée avec succès. Toutefois, cette méthode implique que Gtk+ sera installé deux fois (à deux endroits différents). Il est difficile d'affirmer quelle installation sera utilisée par pygwy, cette méthode est donc déconseillée.

# Chapitre 3

# Démarrer

Ce chapitre décrit divers concepts et termes basiques, tels que les masques ou les sélections, l'organisation des données dans Gwyddion ainsi que l'interface utilisateur.

Les descriptions sont relativement exhaustives, et certains sujets vers la fin de ce chapitre, comme l'import de fichiers bruts ou le contrôle à distance, peuvent être considérés comme avancés et inutiles pour un usage habituel. Comme son nom ne l'indique pas, il n'est pas nécessaire de lire entièrement ce chapitre pour utiliser Gwyddion. L'interface utilisateur est intuitive et la plupart desfonctionnalités peuvent être découvertes en s'amusant avec le logiciel. Les explications des concepts basqiques et des composants fournies ici devraient normalement faciliter ces découvertes.

Vous pouvez aussi obtenir de l'aide pour la fonction en cours depuis Gwyddion. En pressant la touche **F1** ou en cliquant sur le bouton *Aide*, vous aboutirez pour la plupart de fenêtres dans la section idoine de la version en ligne de ce manuel dans un navigateur internet. La page de garde du guide peut être affichée en allant dans *Info* → *Manuel utilisateur*. Bien évidemment, cela fonctionnera uniquement si vous êtes connecté à internet, et que Gwyddion trouve un navigateur. Voir la partie sur les réglages si vous souhaitez ou avez besoin de bidouiller votre installation, par exemple pour utiliser une version hors-ligne du manuel.

---

**ASTUCE** Commande *Info* → *Astuce du Jour* affiche des astuces pour traiter les données, et décrit des fonctionnalités utiles que vous auriez pu ignorer.

---

## 3.1 La Fenêtre principale

La fenêtre principale, aussi appelée boîte à outils, est l'une des deux fenêtres qui apparaît après le démarrage de Gwyddion (sans ouvrir de fichier). La seconde est le navigateur de données. La fermeture de cette fenêtre entraîne la fermeture de Gwyddion.

La boîte à outils de Gwyddion contient l'ensemble des menus et plusieurs groupes de boutons reliés aux fontions et outils les plus communs. Les menus regroupent les fonctions de la manière suivante :

***Fichiers*** regroupe les commandes servant à l'ouverture et la sauvegarde des fichiers. On y trouve aussi certaines commandes globales (telle que *Quitter*). L' historique des fichiers récemment ouverts est accessible avec *Fichiers* → *Ouvrir un fichier récent* → *Historique*.

***Editer*** permet de modifier l'historique des commandes (*Annuler*, *Rétablir*) et donne accès aux éditeurs des différentes ressources du logiciel, telles que les gradients et matériaux pour les présentations en fausses couleurs et en 3D, ou la couleur par défaut pour le masquage des données.

***Traitement des Données*** est automatiquement créé à partir de tous les modules de traitement des données présents dans le répertoire des modules de Gwyddion (en fonction du système d'exploitation). Ce menu ainsi que les boutons du panneau *Outils* contient la plupart des fonctions dont vous aurez besoin pour analyser vos données SPM. Quelques unes de ces fonctions snot aussi présentes dans le panneau *Traitement des Données*. Ces boutons servent de raccourcis vers les fonctions les plus courantes du menu *Traitement des Données*. Toutes les fonctions du panneau *Traitement des Données* se trouvent également dans le menu.

***Graphe*** est similaire au menu *Traitement des données*, mais il ne propose que des fonctions liées aux graphiques. Le traitement des graphes permet d'ajuster des fonctions, d'exporter les données, etc. Le panneau *Graphe* contient lui aussi quelques unes des fonctions les plus courantes du menu *Graphe*.

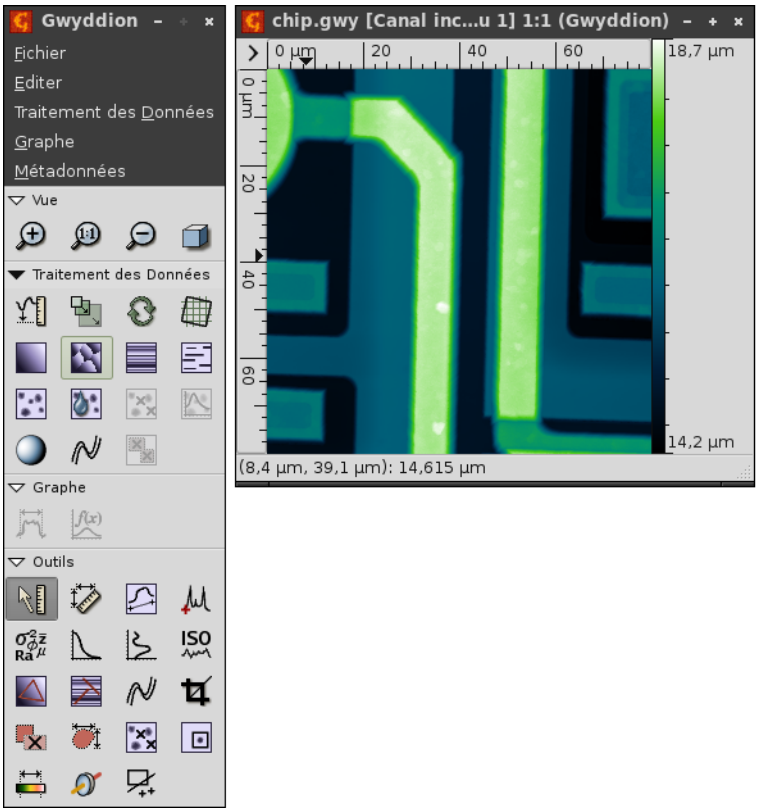
***Volume*** est similaire au menu *Traitement des données*, exception faite qu'il ne propose uniquement des fonctions liées aux données volumiques.

***Info*** donne accès à différentes informations annexes sur Gwyddion, telles que le version du programme ou la liste des modules et de leurs fonctions.

Pour finir, vous pouvez trouvez quelques groupes de boutons dans la fenêtre principale. Les boutons du panneau *Vue* donnent les fonctions de zoom (qui sont en général plus facilement accessibles par raccourci clavier ou en modifiant la taille de la fenêtre

de données) et l'affichage des données en 3D. Les panneaux *Traitement des Données* et *Graphes* contiennent une sélection des fonctions des menus *Traitement des Données* et *Graphes* décrits plus hauts.

Le panneau *Outils* contient les outils, c'est-à-dire les fonctions travaillant directement avec les sélections sur la fenêtre de données. Ces fonctions ne sont accessibles qu'à partir des boutons de ce panneau.



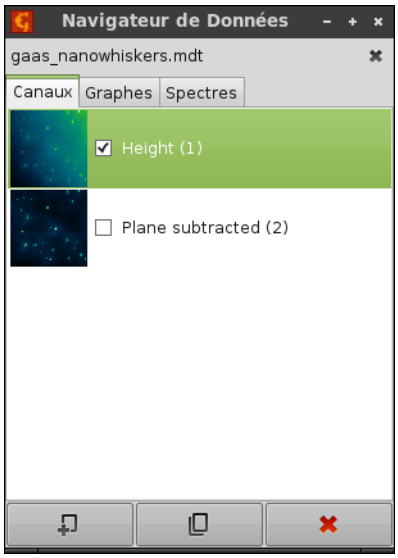

*Fenêtre principale et fenêtre de données montrant la surface d'une puce (exemple de fichier Gwyddion* `chip.gwy`*).*

## 3.2 Navigateur de Données

Le navigateur de données se présente sous la forme d'une fenêtre affichant la structure du fichier sélectionné. Il présente le contenu tel que Gwyddion se le représente, l'organisation de celui-ci peut donc changer sensiblement de celui donné par le logiciel original.

Gwyddion supporte un nombre quelconque de donnéeS bi-dimensionnelles pour un fichier donné. En fonction du contexte, ceux-ci sont généralement appelés images ou champs de données dans ce guide (les images seules sont aussi parfois appelées canaux bien que d'autres types de données soient aussi constituées de canaux). Les dimensions des images dans un fichier peuvent varier, de même que que les dimensions ou les valeurs peuvent être des quantités physiques arbitraires.

De plus, des données uni-dimensionnelles réprésentées sous forme de graphes ou de spectres peuvent être présent dans un même fichier. Le navigateur de données est ainsi un outil permettant d'afficher et de gérer tous les données disponibles dans un fichier.




*Navigateur de données affichant différentes images.*

## Contrôler le navigateur

Comme le navigateur affiche en permanence la structure du fichier sélectionné, son contenu change lorsque vous passez d'une fenêtre à une autre, pouvant aussi montrer des données de fichiers différents. Il n'y a aucune différence entre les fichiers Gwyddion natifs (`.gwy`) et les autres types de fichier. Lorsqu'un fichier est chargé, sa structure est affichée comme s'il s'agissait d'un fichier Gwyddion.

Le navigateur de données comporte plusieurs onglets, un pour chaque type de données que peut contenir un fichier :

— *Images*
— *Graphes*
— *Spectres*
— *Volume*
— *XYZ*

Chaque liste donne les noms des données ainsi que certaines propriétés supplémentaires en fonction du type de données. Les noms peuvent être modifiés en double-cliquant dessus.

Les images, graphes, spectres, données volumiques ou données XYZ peuvent être supprimés, dupliqués ou extraits individuellement vers un nouveau fichier Gwyddion natif à l'aide des boutons situés en bas du navigateur. Il est aussi possible de les copier vers un nouveau fichier en faisant glisser une ligne du navigateur vers une fenêtre quelconque du fichier ciblé. Pour renommer un élément, sélectionnez-le puis pressez la touche To rename a data item, select it and press **Entrée** ou faites un triple clic dessus avec la souris.

Le bouton fermer situé en haut à droite du navigateur permet de fermer le fichier courant, en annulant toutes les modifications non enregistrées. Un fichier sera aussi fermé lorsque toutes les fenêtres qui lui sont associées sont fermées.

Si le navigateur de données est fermé, vous pouvez l'ouvrir en utilisant le menu *Info* → *Navigateur de Données*.

## Images

La liste des images montre des vignettes de chaque image, des cases à cocher permettant de choisir la visibilité d'une image (c'est-à-dire son affichage à l'écran), ainsi que le nom des images. La présence d'une présentation, d'un masque ou d'une calibration est indiquée à droite du nom par les lettres suivantes :

— *M* – masque
— *P* – présentation
— *C* – calibration

## Graphes

La liste des graphes affiche des cases à cocher contrôlant la visibilité des graphes, ainsi que le nom de ceux-ci. Le nombre de courbes d'un graphe donné est affiché à droite de son nom.

### Spectres

La liste des spectres affiche le nom des spectres ainsi que le nombre de points présents dans ceux-ci. Il n'y a pas de cases à cocher permettant de contrôler la visibilité car les spectres ponctuels sont affichés et traités uniquement en relation avec les données bi-dimensionnelles à l'aide de l'outil spectroscopie.

### Volume

L'onglet volume affiche le nom des donnes et le nombre de niveaux selon la The volume data list shows the data name and the number of levels in the direction $z$, c'est-à-dire perpendiculairement à la section affichée dans la fenêtre. La lettre $Z$ placée après le nombre de niveaux indique la présence d'une calibration selon l'axe $z$.

### XYZ

La liste des données XYZ affiche le nom des données ainsi que le nombre de points présents dans les données.

## 3.3 Gestion des fichiers

Gwyddion utilise son propre format de fichier (`.gwy`) pour enregistrer les données. Ce format présente les avantages suivants :

— Capacité d'enregistrer l'état complet des données, incluant les masques, sélections ainsi que les autres propriétés.
— Nombre aritraire de canaux, de graphes et de spectres, avec des dimensions et des unités arbitraires. Arbitrary number of channels, graphs and spectrum sets, with arbitrary dimensions and units of both dimensions and values.
— Représentation de toutes les données en double précision, évitant toute perte d'information par arrondi.

Nous recommandons donc d'utiliser ce format pour sauver des fichiers ayant subi un quelconque traitement.

D'autres formats de fichiers peuvent être manipulés à l'aide des modules d'import et d'export appropriés. En plus d'un nombre important de formats de fichier utilisés en microscopie, les fichiers image (PNG, JPEG, TIFF, TARGA) et les données brutes au format binaire ou texte peuvent être aussi importés. Dans le cas où le format de vos données ne serait pas déjà supporté, nous vous encourageons à écrire un module d'import (si vous savez programmer) ou contacter les développeurs afin de les aider à en améliorer le support.

La liste de tous les formats de fichier supportés est disponible dans le chapitre Résumés et Tables.

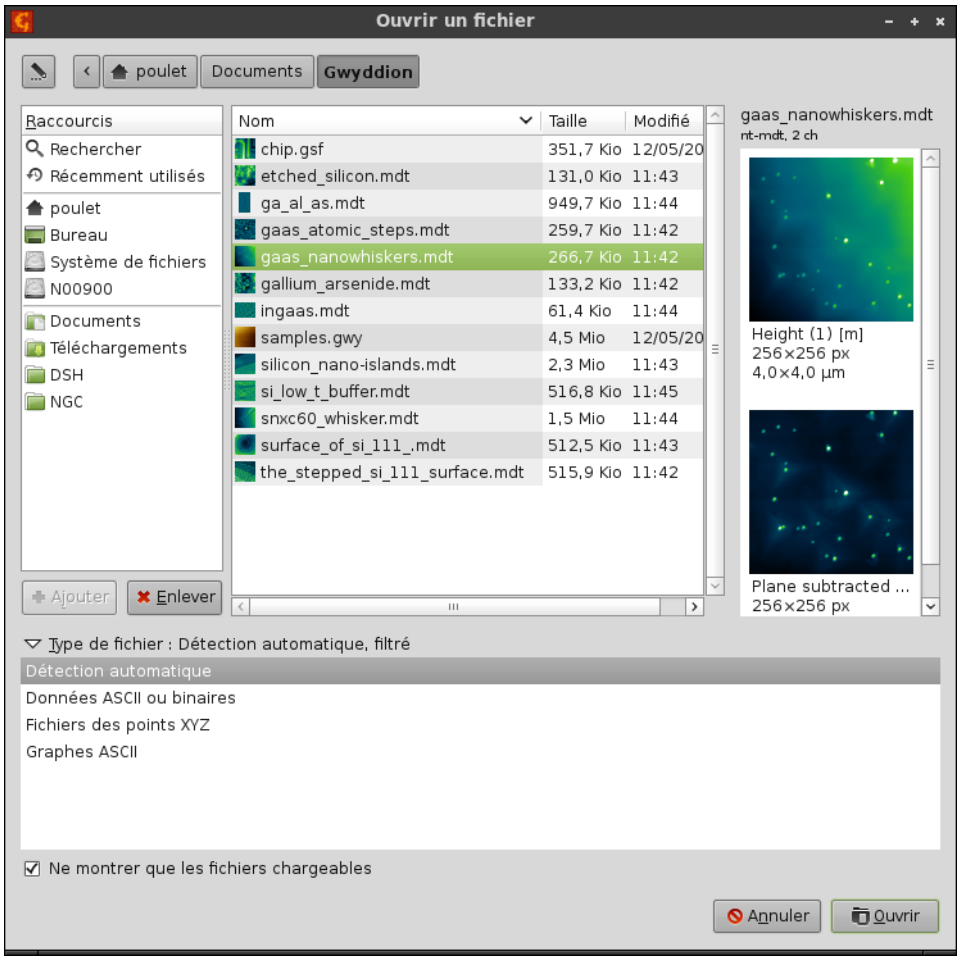
### Chargement de fichier

Les fichiers peuvent être ouverts avec *Fichier* → *Ouvrir*. Le type de fichier est automatiquement détecté, en se basant sur le contenu du fichier. Etant données que des extensions telles que `.img`, `.afm` ou `.dat` sont utilisés pour différents types de fichiers SPM, cette approche est plus performante que le fait de tenir compte uniquement de l'extension de fichier.

La seule exception concerne l'import de données brutes, qu'elles soient uni ou bi-dimensionnelles, pour lequel il faut choisir explicitement le type dans la fenêtre d'ouverture de fichier. Reportez-vous aux sections Import de Données Brutes pour plus de détails sur l'import de données brutes et l'extraction de données à partir de formats non supportés, et Import de Données Spécifiques pour l'import de coordonnées XYZ, d'images et de graphes.

La liste des fichiers affichés dans la fenêtre d'ouverture peut être limitée aux seuls fichiers reconnus par Gwyddion en activant l'option *Ne montrer que les fichiers chargeables*. Le label de type de fichier indique alors le filtrage en ajoutant le mot *filtré*. Cette méthode est généralement utile, toutefois elle peut ralentir l'affichage de la liste pour les répertoires contenant de nombreux fichiers.

**ASTUCE** L'aperçu des canaux peut afficher les données avec une mise à niveau du plan et/ou une correction des lignes. Ces possibilités sont contrôlées par les boutons présents sous la liste des aperçus.




*Fenêtre d'ouverture de fichier avec les options de type de fichier et la prévisualisation. Le texte au-dessus des images indique le module utilisé pour charger le fichier ainsi que le nombre de canaux (ch), de graphes (gr) et de spectres ponctuels (sps) contenus dans le ficher.*

## Fusion de fichier

La fusion de fichier, réalisée avec *Fichier* → *Fusionner*, est similaire au chargement d'un fichier, toutefois le fichier sélectionné est fusionné avec le fichier courant. En d'autres mots, les canaux, graphes et spectres, ainsi que tous leurs réglages et propriétés sont ajoutés à ceux présents dans le fichier courant.

## Enregistrement de fichier

La majorité des paragraphes précédents s'applique aussi à l'enregistrement des données. L'une des principales différences concerne la détermination du type de fichier. Alors que le chargement examine le contenu du fichier, la sauvegarde quant à elle dépend de l'extension du nom de fichier. Comme un nombre important de types de fichier utilisent les mêmes extensions telles que `.img`, `.afm` ou `.dat`, on aboutit à des ambiguïté. En cas de doute, il est recommandé de sélectionner explicitement le type de fichier avant la sauvegarde.

Etant donné que le seul type de fichier capable de représenter complètement les données est le format natif de Gwyddion, la sauvegarde au format `.gwy` est la plus appropriée. La sauvegarde sous d'autres formats consiste principalement en l'export d'une partie des données, typiquement le canal actif (sans les masques et sans les présentations). Cela ne change donc *pas* seulement le nom du fichier nouvellement enregistré.

La fonction *Fichier* → *Enregistrer sous...* peut aussi être utilisé pour exporter les canaux sous des formats image. Il suffit par exemple d'entrer `foo.png` comme nom de fichier pour enregistrer le canal courant au format PNG, en faisant de la même pour les autres formats image.

## Historique

L'historique des fichiers récemment ouverts est accessible avec *Fichier* → *Ouvrir un fichier récent*. Le sous-menu contient les 10 derniers fichiers utilisés pour un accès rapide, un historique plus exhaustif est disponible en sélectionnant *Historique*.

L'historique liste les fichiers de manière chronologique (le plus récemment ouvert en haut de la liste), avec une pré-visualisation ainsi que quelques informations supplémentaires sur le canal sélectionné. Les fonctions des boutons en bas de la fenêtre d'historique sont les suivantes :

***Nettoyer*** Supprime les entrées de l'historique correspondant à des fichiers supprimés ou non accessibles pour d'autres raisons.

***Fermer*** Ferme la fenêtre d'historique.

***Ouvrir*** Ouvre le fichier sélectionné. Cette action peut aussi être réalisée en activant la ligne sélectionnée, que ce soit par un double-clic ou à l'aide du clavier.

Une recherche et un filtrage peuvent être réalisés en fonction du nom de fichier en utilisant la fonction de filtre placée au-dessus des boutons. Le filtre est activé en pressant la touche **Entrée** dans la zone d'entrée du filtre. Pour afficher à nouveau toutes les entrées de l'historique, il suffit d'effacer la zone d'entrée puis l'activer. Le motif du filtre est interprété de deux manières :

— Si le motif contient des métacaractères, tels que `*` ou `?`, celui-ci sera interprété comme un motif particulier (glob). Cela signifie que `?` représente représente un caractère arbitraire unique, `*` représente une séquence de zéro, un ou plusieurs caractères, et le nom de fichier doit correspondre précisément au motif. Notez que les séparateurs de dossier (`/` ou `\`) ne sont pas traité de manière particulière, ainsi dans le motif `*.sis` le caractère `*` correspondra à tous les chemins de dossiers possibles. La syntaxe du motif est décrite dans la documentation GPatternSpec.
— Si le motif ne contient aucun métacaractère, celui-ci sera directement recherché comme une partie du nom de fichier.

La sensibilité à la casse de la recherche, contrôlée par l'option *Sensible à la casse*, est surtout utile pour les systèmes d'exploitation distinguant la casse des lettres des noms de fichier, comme par exemple Unix. Pour les systèmes ne distinguant pas la casse, il est préférable de désactiver la sensibilité à la casse.

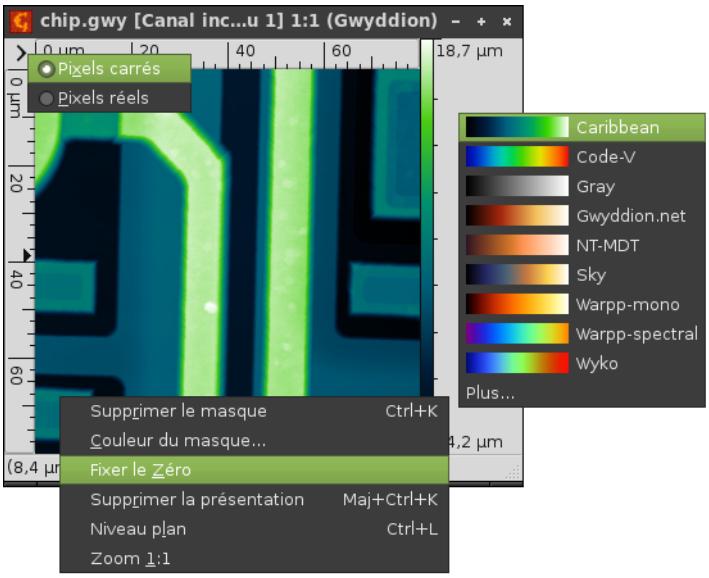
## 3.4 La Fenêtre de données

Les données bi-dimensionnelles sont présentées dans les fenêtres de données. Il s'agit de l'interface principale pour travailler avec Gwyddion. Les données sont affichées sous forme d'une image en fausses couleurs représentant les hauteurs. L'axe des couleurs représentant la correspondance entre les couleurs et les hauteurs réelles se trouve sur la droite de la fenêtre.

La palette de fausses couleurs utilisée pour représenter les hauteurs peut être changée en cliquant sur l'axe avec le bouton droit de la souris (c'est- à-dire en lançant le menu contextuel), puis en sélectionnant une palette dans la liste proposée. Les palettes les plus fréquemment utilisées sont accessibles directement à partir du menu contextuel ; toutefois vous avez accès à bien plus de palettes en choisissant *Plus...*. De plus, vous pouvez utiliser l'éditeur de gradient pour créer vos propres palettes et choisir quelles sont celles qui doivent apparaître dans la liste de base.

Un menu contextuel existe aussi pour la zone des données. Ce menu donne accès aux données et opérations basiques sur les données. Pour accéder à toutes les opérations possibles, utilisez le menu *Traitement des données* dans la fenêtre principale, ou utilisez les outils accessibles avec les boutons du panneau *Outils*.

La flèche dans le coin gauche de la fenêtre donne accès au menu de changement du rapport d'aspect. Les données peuvent être affichées avec un rapport d'aspect de 1:1 par rapport aux pixels de l'écran (*Pixels carrés*), ou avec les dimensions physiques avec une échelle de 1:1 sur l'écran (*Pixels réels*). Une mesure de $1\times1$ $\mu$m scannée avec une résolution réduite selon l'axe lent, ayant donc $512\times128$ pixels, peut par exemple être affichée dans une fenêtre de $512\times128$ ou $512\times512$ pixels.

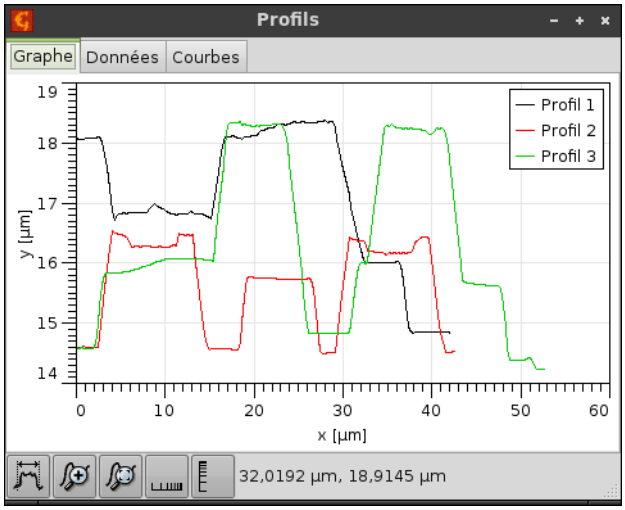



*Fenêtre de données et ses trois menus contextuels disponibles.*

## 3.5 Les Fenêtres de Graphe

Les fenêtres de graphe sont utilisées pour analyser les données uni-dimensionnelles. Elles sont crées par les outils ou modules pouvant extraire des graphes à partir des champs de données.

Une fenêtre de graphe est constituée de trois onglets : le premier donne le graphe, le second la table de données correspondante, et le troisième la liste des courbes. Divers outils liés à la visualisation des données 1D sont disponibles directement dans la fenêtre de graphe : les boutons de zoom et d'échelle logarithmique. Pour accéder à toutes les opérations possibles utilisée le menu *Graphe* dans la fenêtre principale de Gwyddion ou faire clic-droit dans la fenêtre du graphe.




*Une fenêtre de graphe contenant trois profils.*

Pour éditer les propriétés d'une courbe vous pouvez cliquer sur la courbe dans l'onglet graphe ou activer par un double clic la ligne correspondante dans l'onglet *Courbes*. Pour supprimer une courbe donnée il suffit de la sélectionner dans l'onglet *Courbes* d'appuyer sur la touche **Suppr**. Il est aussi possible de copier une courbe vers une autre fenêtre graphe en glissant la ligne correpondante vers l'autre fenêtre (si les unités des graphes sont compatibles).

En cliquant sur un axe du graphe une boîte de dialogue apparaît et donne accès aux propriétés de l'axe, qui peuvent être éditées.

## 3.6 Outils

Les fonctions du menu *Traitement des Données* et des boutons de la fenêtre principale s'exécutent immédiatement ou après réglages *via* une fenêtre de dialogue. Les outils, accessibles depuis le panneau de boutons *Outils*, fonctionnent différemment.

Une fois sélectionnés, ceux-ci restent actifs et suivent la fenêtre de données courante jusqu'à ce qu'un autre outil soit sélectionné. On peut donc passer librement d'une fenêtre de données à une autre tout en utilisant le même outil qui affichera des informations ou appliquera des opérations sur la fenêtre courante. Les outils fonctionnent aussi avec des sélections, par exemple des points, des lignes ou des rectangles, sur les fenêtres de données. Toutefois, du point de vue fonctionnel ils réalisent les mêmes taches que les fonctions du menu *Traitement des Données* – lecture de valeur, mise à niveau, value, statistiques, corrections diverses, etc.

Les outils ne peuvent être lancés qu'à partir des boutons du panneau *Outils* présent sur la fenêtre principale. Gwyddion propose les outils suivants :

**Lire la Valeur** Affiche la valeur de la position indiquée par le clic de souris.

**Distance** Mesure la distance – de la même manière que l'outils Lire la Valeur, il permet de mesurer les distances horizontale, verticale et euclidienne, ainsi que l'angle entre les points d'un champ de données. Cet outil affiche aussi la différence de valeur entre les points sélectionnés.

**Profil** Extrait des profils du champ de données et crée des graphes. Ceux-ci peuvent ensuite être traités à l'aide des fonctions du menu *Graphe*.

**Spectre** Affiche et extrait les données de spectroscopie ponctuelle.

**Statistiques** Affiche les caractéristiques statistiques (RMS, Ra, minimum, maximum, aire effective et projetée, etc.) d'une sélection ou de toutes les données. Cet outil peut aussi calculer ces données pour la zone masquée, ou combiner ces deux types de sélections de zones d'intérêt.

**Fonctions Statistiques** Calcule les fonctions statistiques basiques (distribution des hauteurs ou des pentes, fonction d'autocorrélation, densité spectrale de puissance, etc.) d'une sélection ou de toutes les données.

**Statistiques de Ligne/Colonne** Complémentaire des fonctions statistiques 1D, cet outils affiche les caractéristiques telles ques moyenne, médiane, ou longueur pour chaque ligne ou colonne.

**Rugosité** Evalue les paramètres standard de rugosité uni-dimensionnelle.

**Mise à Niveau par 3 Points** Met les données à niveau selon un plan défini par trois points définis à la souris sur la fenêtre de données. Les trois valeurs peuvent être moyennées sur une petite zone autour du point sélectionnés.

**Mise à Niveau par Chemin** Outil de mise à niveau de ligne ajustant la hauteur selon un ensemble des lignes droites arbitraires.

**Rogner** Coupe une partie des données.

**Editeur de Masque** Edition manuelle des masques : création, exclusion, intersection, inversion, dilatation et érosion, ...

**Mesure de Grain** Mesure les paramètres de grains individuels.

**Suppression de Grain** Supprime des parties continues du masque en cliquant sur des points du masque ou interpole (supprime) les données situées sous des parties continues du masque.

**Suppression de Points Chauds** Outil de suppression manuelle de points chauds. Sélectionnez un point sur la fenêtre de données, marquez une zone à interpoler sur la vue zoomée puis supprimez le défaut après avoir choisi la méthode d'interpolation.

**Plage de Couleurs** Etale la plage de couleurs ou change le type d'application des fausses couleurs (linéaire ou non-linéaire adaptatif). Cet outil permet à l'utilisateur de changer la représentation de la plage des fausses couleurs (elle s'étale par défaut de la valeur minimale à la valeur maximale).

**Filtre** Filtres basiques – moyenne, médiane, débruitage conservatif, dilatation, érosion ainsi que divers filtres similaires pour réduire le bruit présent dans les données.

**Gestionnaire de Sélection** Affiche les sélections présentes sur un canal et permet de les copier vers d'autres canaux ou fichiers.

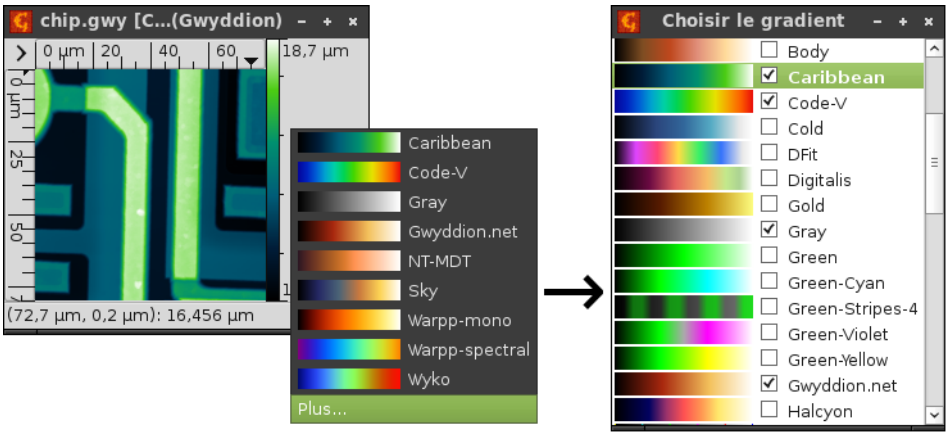
Les fenêtres de dialogue des outils peuvent être fermées (ou plus précisément masquées, car l'outil courant reste actif même si sa fenêtre de dialogue est fermée) en cliquant sur le bouton *Masquer*, en pressant la touche **Esc** ou en cliquant à nouveau sur le bouton de l'outil dans la fenêtre des outils.

## 3.7 Affichage en Fausses Couleurs

L'affichage en fausses couleurs est une méthode basique de visualisation de données bi-dimensionnelles. Le gradient de couleur (aussi appelé palette) à utiliser peut être sélectionné en faisant un clic droit sur l'échelle de couleurs dans la fenêtre d'affichage des données.

Ce menu de sélection rapide affiche la liste des gradients de couleur favoris. Il permet aussi d'appeler la liste complète des gradients en choisissant *Plus...*. Les gradients favoris peuvent être choisis en sélectionnant la case correspondante dans la liste complète ou dans la liste de l'éditeur de gradient. La sélection d'une ligne dans la liste complète applique le gradient choisi, un double-click (ou la touche **Entrée**) permet aussi d'appliquer la sélection et de fermet la fenêtre de la liste. Les gradients dont le nom est connu peuvent être sélectionnés rapidement en tapant leur nom. Le gradient à utiliser par défaut (lorsqu'aucun n'est spécifié dans le fichier) peut aussi être choisi dans l'éditeur de gradient.

La manière dont sont appliquées les couleurs sur les valeurs peut être contrôlée avec l'outil Réglage des couleurs.




*Fenêtre de données avec le menu des gradients de couleur affiché après un clic droit, et la liste complète des gradients.*

### Outil d'ajustement de la plage des couleurs

L'outil d'ajustement de la plage des couleurs est un outil spécial dont le but n'est pas d'analyser ou de modifier les données, mais de contrôler la manière dont les couleurs sont reliées aux valeurs. Il propose quatre types de visualisation :

**Complet** Les couleurs sont plaquées linéairement sur les valeurs, la plage complète des données correspond à la plage complète des couleurs. Il s'agit du type par défaut (à moins que vous n'ayez changé le type par défaut).

**Fixé** Les couleurs sont plaquées linéairement sur les valeurs, une plage de données spécifiée par l'utilisateur (qui peut être plus petite ou plus grande que la plage complète) s'applique sur tout le gradient de couleur. Les valeurs en dehors de la plage spécifiée sont affichées avec les couleurs des extrémités du gradient. La plage peut être ajustée de différentes manières :

— en entrant les valeurs numériques souhaitées dans la fenêtre de l'outil,
— en sélectionnant une plage dans le graphe de distribution des hauteurs dans la fenêtre de l'outil,
— en sélectionnant une zone dans la fenêtre d'affichage des données, la plage est alors réglée sur les valeurs minimale et maximale des données présentes dans la zone sélectionnée,

— en pressant les boutons *ajuster à la partie masquée* ou *ajuster à la partie non-masquée* qui permet d'ajuster respectivement la plage de valeurs à celle située sous le masque ou en dehors de celui-ci, ou
— en pressant le bouton *inverser les couleurs* qui échange les limites basse et haute de la plage de couleur.

Si aucune plage n'est sélectionnée, celle-ci correspond à la plage complète.

Notez que les opérations de traitement des données modifient souvent la plage des valeurs – et comme la plage fixée reste fixe comme vous l'avez sélectionnée, il se peut que l'image devienne complètement noire. Dans ce cas il vous faudra certainement ajuster la plage manuellement, ou changer de type de visualisation.

**Automatique** Les couleurs sont plaquées linéairement sur les valeurs, un intervalle de la plage complète est déterminé de manière heuristique et celui-ci est appliqué sur le gradient. Les valeurs en-dehors de l'intervalle sont là encore affichées avec les couleurs des extrémités du gradient.

**Adaptif** La plage complète des données correspond au gradient complet, toutefois le plaquage des couleurs n'est pas linéaire. Celui-ci est basé sur la distribution cumulée inverse des hauteurs, ainsi les zones planes obtiennent généralement des parties importantes du gradient, et les petites variations présentes sur celles-ci seront mieux visualisées.

L'échelle de fausses couleurs sur la droite de la fenêtre des données n'affiche aucune marque, seules les valeurs minimale et maximale sont affichées.

Un type de visualisation peut être choisi comme défaut en cliquant dans la case *défaut* lorsque celui-ci est sélectionné. Les nouvelles fenêtres de données utiliseront ce type, à moins qu'un autre type de visualisation soit spécifié explicitement.

La sauvegarde des données au format `.gwy` enregistre aussi les réglages de visualisation des couleurs, de plage sélectionnée et de gradient utilisé. Le gradient n'est toutefois pas enregistré physiquement dans le fichier, seul son nom l'est. En d'autres termes, les gradients de couleur de même nom sont partagés par les fichiers.

### Editeur de Gradient

L'éditeur de gradient peut être lancé avec *Edier* → *Gradient de Couleur...*. Il consiste en une liste des gradients similaire à celle du sélecteur de gradient, avec un panneau de boutons supplémentaires, et l'éditeur en lui-même accessible en double-cliquant sur le gradient que vous souhaitez modifier ou en cliquant sur le bouton *Editer*. On peut aussi renommer un gradient. Seuls les gradients créés par l'utilisateur peuvent être modifiés ou supprimés, les gradients installés avec Gwyddion sont immuables.

Le dernier bouton du panneau de contrôle permet de régler le gradient sélectionné comme défaut. Celui-ci sera utilisé pour toutes les nouvelles données affichées pour lesquelles aucun gradient n'est spécifié.

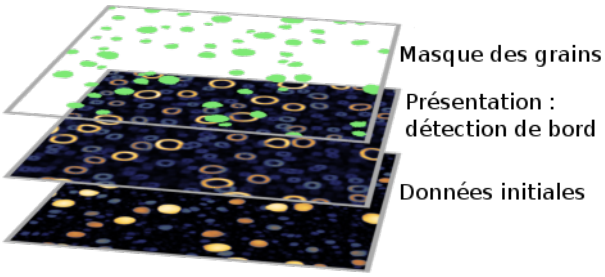
Deux modes d'éditions sont disponibles :

**Points** Le gradient de couleur est défini par un ensemble de points et leurs couleurs associées. Les points sont représentés par des marques triangulaires placées au-dessus du gradient en bas de l'éditeur. Le déplacement de ces marqueurs déplace les points, de nouveaux points peuvent être ajoutés en cliquant dans un espace vide, des points existants peut être supprimés en les déplaçant hors du gradient.

**Courbe** Le gradient de couleur est défini par les courbes rouge, verte et bleue. Les courbes sont segmentées, mais les segments des courbes individuelles n'ont pas besoin de coïncider.

## 3.8 Présentations et masques

Les présentations et les masques sont des images secondaires ayant certaines fonctions rattachées aux données. Une présentation est une image différence affichée au-dessus des données. Un masque représente un ensemble disparate de pixels sélectionnés. Leur présence est indiquée par les lettres *P* (présentation) et *M* (masque) dans le navigateur de données.




*Visualisation des masques et des présentations. En regardant du dessus on peut les imaginer comme un empilement tel que montré sur l'image.*

Les masques et les présentations peuvent tous deux être supprimés des données par les fonctions obtenues par clic droit dans la fenêtre de données, ou par le biais de raccourcis clavier.

*Données représentées en fausses couleurs (à gauche), avec un masque superposé visible en rouge (au centre) et avec une présentation ombrée (à droite).*

## Présentation

Les présentations peuvent être utilisées pour afficher les données d'une autre manière qu'une simple échelle de couleurs appliquée sur les hauteurs, par exemple en ajoutant des ombres portées ou en mettant en valeurs les bords des détails. Il est aussi possible de superposer des données arbitraires par dessus d'autres sous forme de présentation.

Notez qu'une présentation superposée aux données ne reste qu'une simple présentation, elle n'est utilisée pour aucun calcul. Pour toutes les fonctions de traitement et tous les outils les résultats sont toujours calculés à partir des données originales sous-jacentes. Comme les présentations peuvent être longues à calculer, celles-ci ne sont pas mises à jour lorsque les données de base sont modifiées. Les différentes présentations disponibles sont décrites dans la section Présentations.

Comme les valeurs de l'image de présentation peuvent avoir une échelle arbitraire, ou bien ne pas représenter une quantité physique, l'échelle de couleur sur le côté droit de la fenêtre des données aucune graduation ni valeur minimale ou maximale lorsqu'une présentation est affichée.

## Masques

Les masques sont utilisés pour marquer des zone particulières, par exemple des grains, des défauts ou bien des facettes ayant une certaine orientation. Les masques peuvent avoir n'importe quelle forme, et sont visibles dans la fenêtre des données grâce à une couleur superposée aux données. La couleur et l'opacité du masque peuvent être modifiées à l'aide du menu contextuel dans la fenêtre des données.

De nombreuses fonctions, en particulier les statistiques, la mise à niveau ou les fonctions de correction des lignes, peuvent utiliser les masques pour inclure ou exclure des zones dans le calcul. Ce choix est donné dans la partie *utilisation du masque* avec les options pour exclure la région masquée, n'inclure que la région masquée ou bien ignorer le masque et utiliser toutes les données. Ce choix n'est proposé qu'en présence d'un masque.

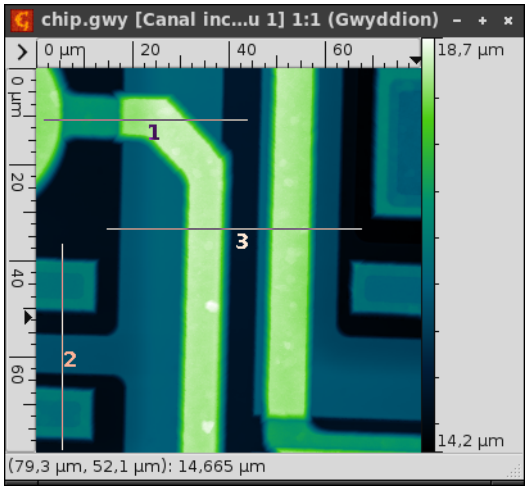
Le marquage des grains étant l'application principale des masques, de nombreuses fonctions s'appliquant aux zones masquées sont appelées des fonctions de « grains », par exemple les statistiques de grains. De la même manière, les parties contiguës d'un masque sont parfois appelées grain dans ce manuel. Toutefois, comme un masque ne contient aucune information sur la manière dont il a été créé, toutes les fonctions relatives aux masques peuvent être utilisées sur toutes sortes de masques.

## 3.9 Selections

Tous les outils interactifs ainsi que certains traitements permettent de sélectionner différentes formes géométriques à l'aide de la souris : des points, des lignes, des rectangles et de cercles / ellipses. Les sélections existantes peuvent être modifiées en faisant glisser les coins, les extrémités ou les sélections elles mêmes. Lorsque le curseur de la souris se trouve à proximité d'un point de contrôle de la sélection, celui-ci change de forme pour indiquer la possibilité d'éditer ce point.

Chaque outil utilise en général un seul type de sélection, et lorsque il est activé sur une fenêtre de données, il change le mode de sélection vers ce type précis. Les sélections d'un autre type que celles affichées sont enregistrées et rappellées lorsqu'un outil les utilisant est activé. Par exemple lorsque vous sélectionnez plusieurs lignes à l'aide de l'outil d'extraction de profils, puis passez à l'analyse statistique (les lignes disparaissent) et sélectionnez une zone rectangulaire pour en calculer les caractéristiques statistiques, puis revenez à l'extraction de profils, le rectangle disparaît et les lignes apparaissent à nouveau.

Les outils qui utilisent les même types de sélection se les partagent – par exemple les fonctions statistiques et l'analyse statistique utilisent des sélections rectangulaires. Pour calculer la distribution de hauteur de la zone rectangulaire que vous avez sélectionné pour en calculer les données statistiques, il vous suffira de simplement changer d'outil.




*Fenêtre de données ayant trois lignes sélectionnées, deux horizontales et une verticale.*

Si vous sauvegardez les données sous le format de fichier Gwyddion (`.gwy`), toutes les sélections seront sauvegardées avec les données et rappellées lors de l'ouverture suivante du fichier puis de l'outil approprié.

Vous pouvez restreindre la forme de la sélection en appuyant sur la touche Maj tout en sélectionnant, ce qui facilite la création d'une forme à partir d'un type de forme. La touche Maj de restreindre

— les sélections rectangulaires en sélections carrées,
— les sélections elliptiques en sélections circulaires,
— les directions des lignes sélectionnées à des multiples de 15°.

### Gestionnaire de Sélection

Le gestionnaire de sélection est un outil spécial affichant la liste des sélections présentes sur un canal, et permettant de les copier dans d'autres canaux.

Pour chaque sélection, l'outil affiche son nom, qui correspond à la manière dont il est identifié au sein du fichier `.gwy` ; le type de sélection et le nombre d'objets (points, lignes, rectangles, ...) sélectionnés. En général, il n'y a au plus qu'une sélection pour un type donné car celles-ci sont partagées par les outils tel que décrit plus haut. Toutefois il peut arriver que certaines sélections spéciales soient présentes, telle que montré dans la figure suivante montrant deux sélections ponctuelles.

*Gestionnaire de Sélection montrant plusieurs sélections présentes dans les données.*

La séelection choisie dans la liste est affichée dans la fenêtre de données.

Il est possible de supprimer des sélections en les choisissant parmi la liste puis en pressant la touche **Suppr** ou le bouton *supprimer* – ceci équivaut à remettre à zéro la sélection de l'outil correspondant. Le bouton *Effacer tout* supprime toutes les sélections.

Cependant, la fonction la plus intéressante du Gestionnaire de Sélection est la possibilité de copier les sélections. Il existe deux façons de copier une sélection dans un autre canal :

— Faire glisser une ligne de la liste des sélections vers une fenêtre de données permet de copier la sélection vers cette fenêtre.
— Cliquer le bouton *Distribuer* permet de copier la sélection vers tous les autres canaux du fichier. Si le paramètre *vers tous les fichier* est activé, la sélection est copiée vers tous les canaux de tous les fichiers ouverts.

Les sélections sont copiées uniquement vers les canaux ayant des unités latérales compatibles. Cela signifie qu'une sélection dans un canal ayant pour unité des mètres ne pourra être distribuée vers un canal affichant une PSDF bi-dimensionnelle ou une distribution des pentes bi-dimensionnelle..

Si les dimensions physiques de la cible ne sont pas suffisantes pour contenir tous les objets de la sélection copiée, seuls les objets de dimensions adaptées seront copiées (ce qui veut dire qu'il est possible que rien ne soit copié).

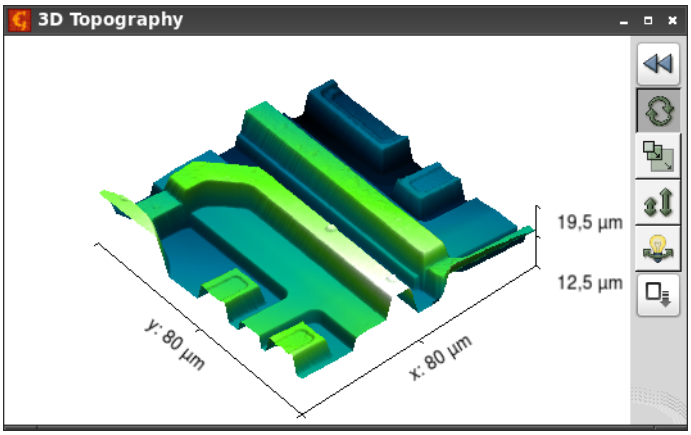
Les coordonnées définissant la sélection choisie peuvent être exportées vers le presse-papier ou dans un fichier texte à l'aide des boutons *copier* et *exporter* respectivement. Chaque type de sélection est défini par ses coordonnées tel que décrit dans documentation de développement: fpar exemple les points ont deux coordonnées $x$ et $y$, tandis que les rectangles en ont quatre, correspondant aux coordonnées $x$ et $y$ de deux de ses coins. Les coordonnées sont toujours relatives au coin en haut à gauche de l'image, même si l'origine ne se trouve pas en haut à gauche.

## 3.10 Affichage 3D OpenGL

L'affichage tri-dimensionnel OpenGL de la fenêtre de données courante peut être lancé à l'aide de l'icône montrant un cube dans la ligne de boutons *Vue* de la fenêtre principale.

Cette fonction est optionnelle, c'est-à-dire qu'elle peut être désactivée lors de la compilation. Il peut aussi arriver que, bien que Gwyddion soit capable d'afficher les données en 3D, votre système en soit incapable. Dans ces deux cas, toute tentative d'affichage en 3D aboutira à un message d'erreur expliquant lequel des deux cas est présent. Dans le premier cas il vous faudra soit demander aux personnes produisant les exécutables de Gwyddion de les compiler avec le support 3D, soit compiler vous-même Gwyddion à partir du code source. Dans le second cas, il faudra vous référer au guide de système d'exploitatoin pour déterminer la manière d'activer les fonctionnalités OpenGL 3D. Si vous rencontrez des problèmes de performance pour l'affichage 3D sous MS Windows, vous pouvez essayer de désactiver les effets visuels pour Gwyddion (dans l'onglet *Compatibilité* du raccourci de Gwyddion).

La fenêtre 3D peut se présenter sous deux formes : avec les contrôles basiques ou étendus. Elle se lance avec les contrôles basiques seulement, cette forme est affichée sur la figure suivante. On peut passer à la forme étendue (et vice-versa) à l'aide du bouton d'expansion situé en haut à droite. Un clic droit sur la vue permet d'afficher le sélecteur de gradient de couleur ou de matériau GL.




*Fenêtre d'affichage des données en 3D OpenGL avec les contrôles basiques.*

### Contrôles basiques

La fenêtre 3D basique affiche les contrôles d'interaction à droite de la vue. Par défaut, le glissement de la souris permet de faire tourner la vue horizontalement et verticalement. Les différents modes disponibles sont donnés ci-dessous :

— Rotation – il s'agit du mode par défaut. Un glissement horizontal de la souris fait tourner la vue autour de l'axe z, un glissement vertical fait quant à lui tourner la vue autour de l'axe horizontal parallèle au plan de la vue.
— Echelle – le glissement de la souris vers la droite ou le bas permet d'agrandir la vue, le glissement dans la direction opposée diminue la vue.
— Hauteur – le glissement de la souris vers le haut ou le bas permet d'agrandir et réduire respectivement l'échelle z, accentuant ainsi plus ou moins les bosses et les creux.
— Rotation de la lumière – ce mode n'est disponible que pour l'affichage avec un matériau GL. Le glissement de la souris modifie la position de la lumière de la même manière que la rotation des données dans le mode rotation.

Les contrôles basiques contiennent aussi un bouton d'export d'image.

Avec les contrôles basiques, il est possible de passer d'un mode à un autre en utilisant les touches **R** (rotation), **S** (échelle), **V** (hauteur) and **L** (rotation de la lumière).

### Contrôles complets

Avec les contrôles étendus, les boutons d'interaction sont placés en haut, mais leur fonction n'est pas modifiée. En complément, plusieurs onglets apparaissent avec certaines options pour chaque :

— *Basique* – contrôles pour ajuster numériquement la rotation et les échelles, activer les axes et leurs labels, ainsi que pour choisir le mode de perspective.
— *Lumière & Matériau* – réglages de viqualisation. La vue 3D de Gwyddion permet deux modes de visualisation : gradient, pour lequel les données sont juste collorées avec une échelle de couleur de la même manière que la vue 2D ; et matériau, pour lequel les données sont affichées sous la forme d'un matériau OpenGL rendu en fonction de la position de la lumière. Cet onglet permet d'ajuster numériquement la position de la lumière.
— *Labels* – ajustement fin de la taille, de la position ainsi que d'autres propriétés des labels des axes.

### Enregistrer des images

La vue 3D peut être enregistrée sous forme d'image à l'aide du bouton *Enregistrer*. La sortie est toujours une image au format PNG (Portable Network Graphics) ayant exactement la même taille et le même contenu que celui affiché à l'écran. Le fait d'entrer une extension différente de `.png` générera toujours une image au format PNG, mais avec une extension qui pourrait prêter à confusion.

Notez qu'en fonction des particularités des systèmes d'exploitation, des cartes graphiques ou des gestionnaires de fenêtre, certains artefacts peuvent apparaître sur les images exportées au niveau de zones masquées de la vue 3D. Si vous rencontrez ce genre de problème, assurez-vous qu'aucune fenêtre ne vient masquer la vue 3D lors de l'export de l'image.

### Editeur de matériau OpenGL

L'éditeur de matériaux OpenGL peut être lancé à partir de *Editer* → *Matériaux GL*. Les contrôles présents dans la liste des matériaux sont identiques à ceux de l'éditeur de gradient et la gestion des matériaux fonctionne de la même manière. L'éditeur en lui-même est évidemment différent. Il permet d'ajuster quatre quantités définissant le matériau :

— la couleur ambiante $k_{a,\alpha}$ (où $\alpha = \text{rouge}, \text{vert}, \text{bleu}$), qui contrôle la réflection de la lumière ambiante provenant uniformément de toutes les directions,
— la couleur diffuse $k_{d,\alpha}$, qui décrit la réflection diffuse, qui est indépendante de la direction de la lumière et dont la brillance apparente est indépendante de l'angle de visée,
— la couleur spéculaire $k_{s,\alpha}$, qui contrôle la réflection spéculaire avec une intensité dépendant de l'angle entre la direction d'observation et la direction de la lumière si celle-ci était réfléchie par un miroir idéal ayant la même normale locale, et
— la brillance $s$, une valeur numérique déterminant à quel point la réflection spéculaire est proche de celle d'un miroir idéal, une petite valeur correspond à une surface rugueuse, tandis qu'une grande valeur correspond à une surface plus lisse.

Si nous notons **L** le vecteur pointant du point de la surface vers la source de lumière, **V** le vecteur normal à l'observateur, **N** le vecteur normal à la surface et **R** le vecteur pointant dans la direction de la réflection donné par un miroir idéal, l'intensité de la lumière observée dans le modèle d'éclairage OpenGL peut être exprimé par

$$I_\alpha = k_{a,\alpha} I_{a,\alpha} + k_{d,\alpha} I_{d,\alpha} (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) + k_{s,\alpha} I_{s,\alpha} (\mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^s$$

où $I_{a,\alpha}$, $I_{d,\alpha}$ et $I_{s,\alpha}$ sont respectivement les couleurs ambiante, diffuse et spéculaire.

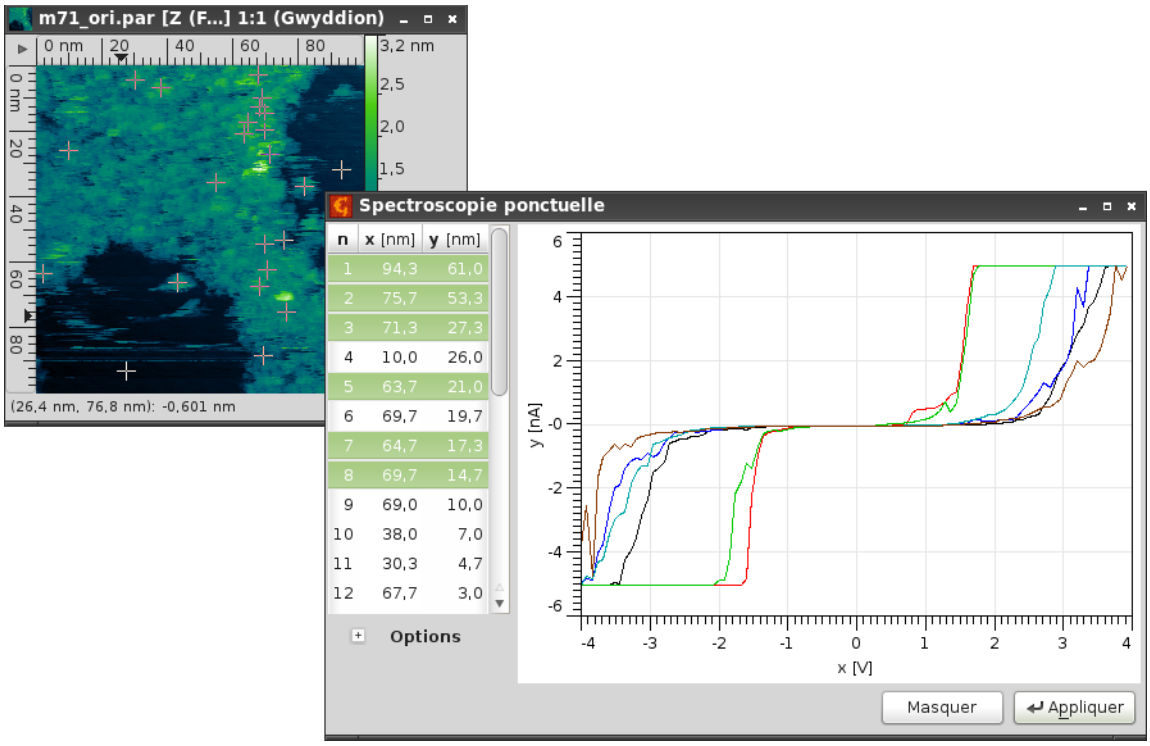
## 3.11 Les spectres ponctuels

Gwyddion possède quelques fonctions basiques de visualisation et d'extraction de données de spectroscopie ponctuelle (nous appelons ici « spectres » toutes courbes mesurées ou rattachées à des points individuels de l'échantillon). Si l'import de spectres est supporté par un type de fichier, ceux-ci apparaîtront dans l'onglet *Spectres* du navigateur de données. Des spectres indépendants peuvent être ajoutées aux données bi-dimensionnelles en utilisant la fusion de fichiers.

### Outil spectroscopie ponctuelle

L'outil de base pour la visualisation et l'extraction est l'outil de spectroscopie ponctuelle. Il affiche une liste des points de mesure et affiche leurs positions dans la fenêtre de données. Les courbes individuelles peuvent être sélectionnées dans la liste ou sur les croix dans la fenêtre de données. Si le fichier contient plusieurs groupes de spectres, on peut sélectionner celui que l'on souhaite dans l'onglet *Spectres* du navigateur de données.

Le bouton *Appliquer* extrait le groupe de courbes sélectionnées vers un graphe qui peut alors être analysé par les fonctions standard des graphes.

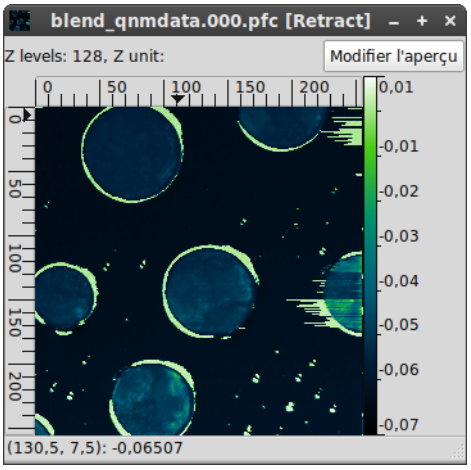



*Une fenêtre de données montrant plusieurs points de mesure et l'outil de spectroscopie ponctuelle affichant les courbes de six points sélectionnés.*

## 3.12 Données volumiques

Les données volumiques sont des données tri-dimensionnelles représentant par exemple une grille de spectre (un spectre pour chaque point de l'image) ou l'évolution temporelle d'une image. Ainsi, en fonction du point de vue, on pourra considérer ses données comme un empilement d'image de mêmes dimensions ou comme un ensemble de courbes formant une grille régulière (image).

Gwyddion propose pour l'instant quelques fonctions basiques de visualisation et d'extraction dans le menu *données volumiques*. La fenêtre des données volumiques, représentée dans la figure ci-dessous, fournit la visualisation la plus basique des données : une image de « prévisualisation », représentant un plan des données volumiques ou d'autres données bi-dimensionnelles associées. Les coordonnées $x$ et $y$ de l'image correspondent aux coordonnées $x$ et $y$ des données volumiques ; les coordonnées $z$ peuvent être imaginées comme étant perpendiculaires à l'écran.




*Fenêtre de données volumiques affichant les données de prévisualisation associées.*

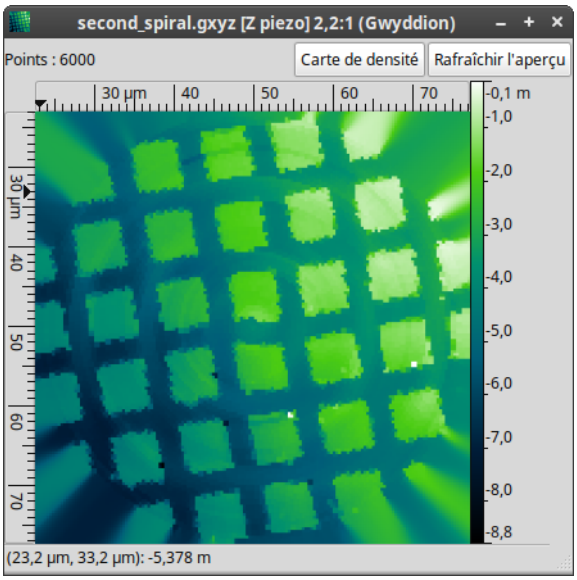
Le bouton *Modifier la prévisualisation* en haut de la fenêtre peut être utilisé pour modifier l'image de prévisualisation. La prévisualisation peut être soit calculée à partir d'une quantité caractérisant les données selon la direction $z$ (minimum, maximum, moyenne...), soit choisie à partir d'une section des données, ou bien encore définie à partir de données bi-dimensionnelles de mêmes dimensions.

## 3.13 Données XYZ

Les données XYZ sont des nuages de points réprésentant des mesures arbitraires dans le plan $xy$. Dans le contexte des mesures SPM on considère généralement que les données définissent une fonction dans le plan, c'est-à-dire que chaque point dans le plan $xy$ correspond à une valeur $z$. Des données XYZ plus générales peuvent représenter des formes tri-dimensionnelles arbitraires. Toutefois, ce cas est inhabituel pour les données SPM, et Gwyddion considère que les données correspondent à une surface n'ayant qu'une valeur par coordonnée $xy$.

Une conséquence importante est que les ensembles de données XYZ variant selon les valeurs en $z$ mais définies sur les mêmes points dans le plan $xy$ sont considérées comme « compatible » dans Gwyddion. De nombreuses opérations peuvent être appliquées de manière plus directe sur des données compatibles, et certaines n'ont de sens que sur des données compatibles.

Les fonctions de traitement des données XYZ, données dans le menu *données XYZ* sont pour l'instant limitées. La fenêtre des données XYZ, affichée dans lea figure ci-dessous, fournit une visualisation basique des données : un aperçu rastérisé en image. Celui-ci est calculé à l'aide d'un méthode rapide proche de l'interpolation arrondie des données XYZ. Le redimensionnement de la fenêtre ne fait que redimensionner l'aperçu. Utilisez le bouton *rafraîchir l'aperçu* pour recalculer l'aperçu pour la taille de fenêtre en cours.




*Fenêtre de données XYZ affichant l'aperçu d'un scan le long d'une spirale.*

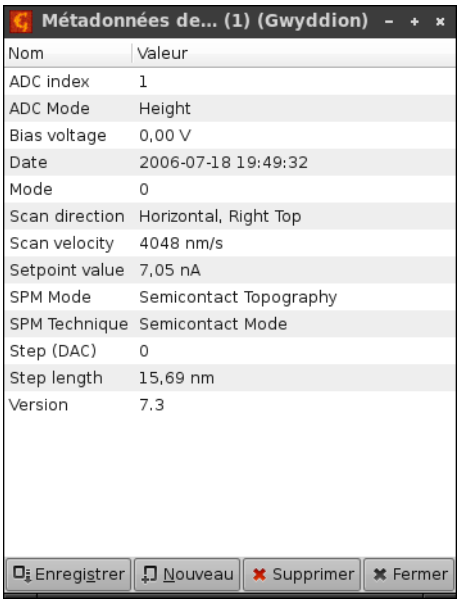
Il est aussi possible de basculer entre l'aperçu et l'affichage de la densité des points XYZ à l'aide du bouton *carte de densité*. Le comportement face au redimensionnement de la fenêtre est identique à celui de l'aperçu.

## 3.14 Les Meta-Données

On appelle méta-données les informations annexes et les valeurs décrivant certaines données ou conditions de mesures. Elle peuvent par exemple inclure le mode SPM, le biais de la sonde, la fréquence de scan, la date de mesure ou des commentaires de l'utilisateur.

Les méta-données sont définies pour chaque canal. Celles de l'image, des données volumiques ou des données XYZ courantes peuvent être affichées avec la commande *Navigateur de méta-données* en affichant le menu contextuel avec un clic droit (à partir de la version 2.32) ou en utilisant *Meta-données* → *Navigateur de Meta-données*. (dans les versions précédentes). Le navigateur liste toutes les méta-données par paires Nom / Valeur. Il est possible de modifier, supprimer ou ajouter des valeurs. Il est aussi possible d'exporter toutes les méta-données d'un canal vers un fichier texte à l'aide du bouton *Exporter*.

Le niveau de support des méta-données varie fortement d'un format de fichier à un autre. Pour les formats bien documenté ou permetant l'import de toutes les méta-données on a en général accès à un grand nombre de données auxiliaires, même les paramètres de réglage les plus obscurs d'un matériel peuvent être listées. Inversement, il est possible qu'aucune méta-donnée ne soit importée à partir de votre fichier, soit parce qu'il n'en contient pas, soit parce que la méthode pour les lire n'est pas connue.



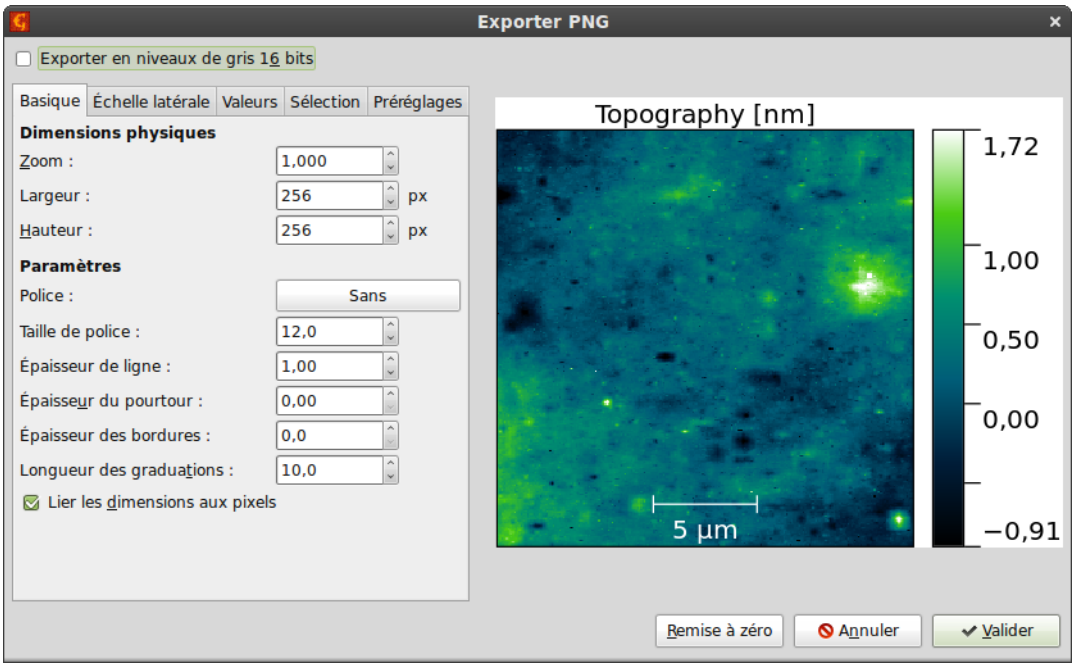

*Navigateur de méta-données affichant les informations d'un fichier NT-MDT.*

## 3.15 Export d'image

Les données doivent souvent être exportées sous forme d'images, en général pour des besoins de présentation, plus rarement pour les ouvrir dans des logiciels ne supportant pas les formats de fichiers de données SPM. Dans les deux cas, l'export s'effectue dans Gwyddion en sélectionnat : *Fichier* → *Enregistrer sous* puis en choisissant un nom de fichier correspondant à un format image, par exemple `canal.png` ou `canal.tiff`. La section formats d'image à grande dynamique décrit l'export de données sous forme d'images en niveaux de gris à grande dynamique, qui permettent de conserver des données utilisables d'un point de vue quantitatif. Vous pouvez activer cette option pour les formats la supportant en cochant la case *Exporter en niveaux de gris 16 bits* en haut de la fenêtre d'export. Le reste de la section présente la création d'images de bonne qualité pour les publications et les présentations.

Gwyddion peut exporter les images sous différents formats, par exemple PNG, PDF, SVG, EPS, TIFF, WebP, BMP, PPM, TARGA ou JPEG. En fonction de l'utilisation finale, certains formats seront plus adaptés que d'autres. De manière générale, on recommandera les choix suivants :

— Le format PDF (Portable Document Format) pour un rendu de haute qualité adapté à l'impression, avec le texte et les lignes parfaitement nets quelle que soit l'échelle. Gwyddion propose aussi l'export au format EPS (Encapsulated PostScript) dans le même but, toutefois certaines fonctionnalités semblent mieux fonctionner avec le format PDF.
— Le format PNG (Portable Network Graphics) pour les pages internet, les aperçus en basse résolution, les vignettes et les icônes, ou si une image pixellisée est pour vous la seule option possible. Il s'agit d'un format moderne et très répandu proposant une bonne compression sans perte ainsi que certaines fonctionnalités sympathiques, telle que la gestion de la transparence.
— Le format SVG (Scalable Vector Graphics) permettant une édition ultérieure. SVG est un format d'image vectorielle moderne que vous pouvez ouvrir dans un éditeur tel qu'Inkscape pour modifier votre image ou la combiner avec d'autres – tout en conservant le texte et les lignes parfaitement nets.




*Capture d'écran de la fenêtre d'export montrant l'onglet des options* basiques.

Les options d'export sont réparties en plusieurs groupes, tel qu'on peut le constater sur la capture d'écran ci-dessus.

## Basique

Les options *basiques* permettent de spécifier les dimensions et l'échelle de l'image. La partie *dimensions physiques* change entre les images vectorielles et celles pixellisées. Pour ces dernières, les dimensions physiques sont spécifiées comme suit :

***Zoom*** Mise à l'échelle entre les pixels de donnée et les pixels de l'image. La valeur par défaut de 1 signifie que chaque pixel de donnée correspond exactement à un pixel de l'image. On peut agrandir l'image en utilisant une valeur de zoom supérieure à 1 ; inversement, une valeur inférieure à 1 permet de réduire l'image. Concernant les données ayant des pixels rectangulaires affichés avec le rapport d'aspect physique, la valeur de zoom est appliquée au côté le plus petit du pixel.

***Largeur*** Largeur du rectangle correspondant aux données dans l'image exportée (différente de la largeur de l'image complète), en pixels.

***Hauteur*** Hauteur du rectangle correspondant aux données dans l'image exportée (différente de la hauteur de l'image complète), en pixels.

Les images vectorielles n'ont pas de résolution propore, les dimensions physiques sont donc données comme suit :

***Taille des pixels*** Taille d'un pixel de donnée en millimètres.

***Pixels par pouce*** Nombre de pixels de donnée par pouce.

***Largeur*** Largeur du rectangle correspondant aux données dans l'image exportée (différente de la largeur de l'image complète), en millimètres.

***Hauteur*** Hauteur du rectangle correspondant aux données dans l'image exportée (différente de la hauteur de l'image complète), en millimètres.

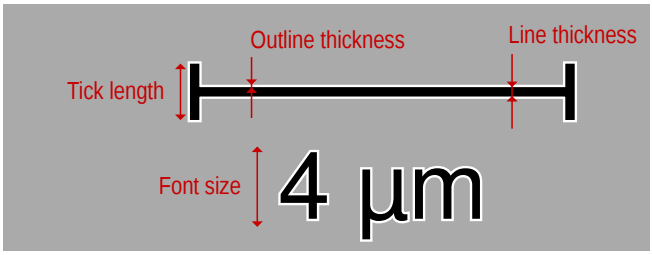



*Illustration des paramètres de base de taille de l'image.*

Les paramètres de taille et d'échelle restants, notés *paramètres*, sont communs aux deux types d'image. Toutefois, pour les images pixellisées les valeurs sont en pixels tandis que pour les images vectorielles celles-ci sont données en points typographiques. Plus précisément, cet aspect est vrai si les paramètres sont donnés en valeur absolue, c'est-à-dire si l'option *lier les dimensions aux pixels* n'est pas sélectionnée. Si cette option est activée, toutes les dimensions seront relatives aux dimensions des pixels de donnée, c'est-à-dire qu'elles seront mises à l'échelle en même temps que l'image lorsque les dimensions physiques changent. Les paramètres, illustrés dans la figure qui suit, incluent :

***Police*** Police utilisée pour dessiner toutes les annotations.

***Taille de police*** Taille de police, en pixels ou en points typographiques, tel que décrit plus haut.

***Épaisseur de ligne*** Épaisseur des lignes : bordures, graduations, barre d'échelle et sélections.

***Épaisseur des contours*** Épaisseur des contours pouvant être dessinés autour de la barre d'échelle ou des sélections.

***Épaisseur des bordures*** Largeur du bord vide entourant la totalité de l'image.

***Longueur des graduations*** Longueur des graduations de l'échelle de largeur extérieure et de l'échelle de couleur. Ce réglage contrôle aussi la longueur des extrémités de la barre d'échelle et la taille des croix pour les sélections pouctuelles.

L'option *le séparateur de décimale est la virgule* permet de contrôler le format des nombres. Le point est utilisé par défaut, même si votre réglage de langue utilise la virgule. Cette option remplace les points par des virgules, là encore indépendamment du réglage de votre langue.

Enfin, l'option *couleur* permet de contrôler les couleur communes. L'option *Couleur des lignes et du texte* contrôle la couleur de toutes les lignes ainsi que des légendes affichées en dehors de la zone de l'image, c'est-à-dire au-dessus de l'arrière-plan. Ce dernier peut être transparent (activé avec la case *arrière-plan transparent*) si le format d'image souhaité le permet – pour l'instant PNG, WebP et les formats vectoriels. Dans le cas contraire, la couleur d'arrière-plan peut être modifiée à l'aide de l'option *couleur d'arrière-plan*.

## Échelle latérale

Les réglages de l'onglet *échelle latérale* contrôlent la manière dont les dimensions latérales sont visualisées. Deux choix basiques sont montrés dans la figure ci-dessous, les graduations extérieures et la barre d'échelle. L'échelle latérale peut aussi être complètement désactivée. La barre d'échelle possède les paramètres suivants :

***Longueur*** La longueur de la barre peut être ajustée manuellement à une valeur arbritraire, du moment qu'elle aboutisse à une longueur de barre qui ne soit ni trop courte ni trop longue. Pressez la touche **entrée** pour mettre à jour l'aperçu lorsque vous modifiez la longueur. Le bouton *auto* sélectionne une valeur adéquate de manière automatique (la même valeur est utilisée lorsque la valeur entrée manuellement ne donne pas une longueur de barre correcte).

***Positionnement*** La barre peut être positionnée le long du bord supérieur ou inférieur de l'image, et alignée de chaque côté ou centrée.

***Écart horizontal*** Écart horizontal entre la barre et le bord vertical de l'image le plus proche (applicable seulement si la barre n'est pas centrée).

***Écart vertical*** Écart vertical entre la barre et le bord horizontal de l'image le plus proche.

***Couleur*** Couleur de la barre. Les boutons *noir* et *blanc* permettent de choisir facilement ces couleurs de base.

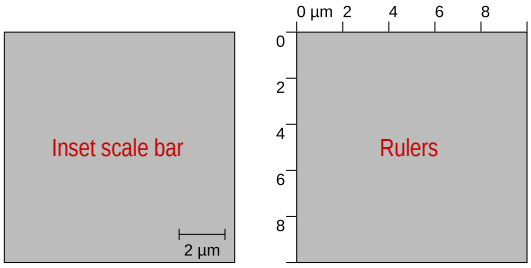
***Couleur des contours*** Couleur des contours. Notez que si l'épaisseur des contours est nulle (valeur par défaut), aucun contour ne sera dessiné, la modification de la couleur n'aura donc aucun effet.

***Opacité*** Opacité de la barre d'échelle. Ce réglage permet de dessiner la barre de façon semi-transparente.

***Afficher les extrémités*** En activant cette option, la barre aura une barre verticale à ses extrémités. La barre ne sera qu'une simple ligne en la désactivant.

***Afficher l'annotation*** En activant cette option, la longueur est indiquée au-dessus ou sous la barre.

***Afficher le texte au-dessus de l'échelle*** En activant cette option, la longueur est indiquée au-dessus de l'échelle, et en-dessous dans le cas contraire.




*Types d'affichage de l'échelle latérale.*

## Valeurs

Les réglages de l'onglet *valeurs* contrôlent le rendu des valeurs et de l'échelle de couleurs. Deux réglages de base contrôlent ce rendu :

***Interpolation*** Le type d'interpolation peut avoir un effet notable lors d'un agrandissement élevé. Dans les cas des images vectorielles, le rendu final est effectué lorsque l'image est affichée ou imprimée. Les types d'interpolation disponibles sont donc limités à deux. Arrondi, pour lequel chaque pixel est affiché sous forme de rectangles uniformes, et linéaire, pour lequel les valeurs affichées sont interpolées linéairement entre les pixels originaux. Dans le cas des images pixellisées, vous pouvez choisir parmi la liste complète des interpolations proposée par Gwyddion car l'interpolation est réalisée lors de l'export.

***Dessiner le masque*** En activant cette option, le masque est affiché par-dessus les données en utilisant la même couleur que dans la fenêtre des données.

Lorsqu'un masque est présent et affiché, une légende peut être ajoutée sous l'image tel qu'illustré dans la figure qui suit si l'option *afficher la légende du masque* est activée. Le texte peut être choisi arbitrairement dans la case *légende* et la distance entre la légende et l'image peut être contrôlée à l'aide de la fonction *écart vertical*.

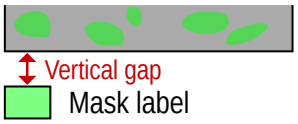
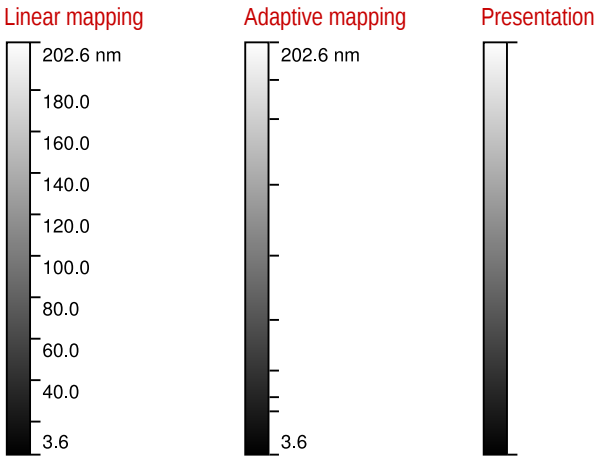



*Illustration de la légende du masque placée sous l'image et des paramètres de contrôle associés.*

L'échelle de valeur peut être rendue sous forme de l'échelle de fausses couleurs ou désactivée. L'échelle est dessinée différemment en fonction du type d'affichage de l'échelle de couleur, tel qu'illustré ci-dessous.




*Rendu de l'échelle de fausses couleurs en fonction du type d'échelle. Pour l'affichage linéaire, qu'il soit complet ou fixé à une plage donnée, les graduations sont affichées avec leurs valeurs. Pour l'échelle adaptative, le gradient est affiché de la même façon, mais la position des graduations correspond à l'échelle adaptative et les graduations intérieures sont affichées sans valeur (pour éviter qu'elles se chevauchent). Si une présentation est affichée, les valeurs sont considérées comme arbitraires, ainsi aucune graduation ni valeur ne sera affichée.*

Il est possible de définir le nombre de décimales pour les graduations en activant *précíion fixée* et en spécifiant le nombre souhaité. Dans le cas contraire, une précision adéquate est automatimatiquement déterminée.

Le choix automatique des unités de l'échelle de couleur peut être ajusté à l'aide l'option *seuil d'unité*. Elle donne le seuil pour passer à la puissance de $10^3$ suivante, c'est-à-dire de nm à $\mu$m ou de pA à nA. Par exemple, un réglage à 400 signifie que si la hauteur absolue maximale est de 399 nm l'échelle affichera 399 nm, tandis que si elle est de 401 nm l'échelle affichera 0.401 $\mu$m. Le seuil s'applique pour toutes les puissances de $10^3$, donc à réglage identique les unités basculeront de mV à V au seuil de 400 mV ou de pA à nA au seuil de 400 pA.

Le titre de l'image peut être ajouté en haut de l'image ou le long de l'échelle de fausses couleurs. En cochant ou non la case *ajouter les unités dans le titre*, le placement des unités peut être choisi entre le titre et l'échelle de couleur. Notez que si le titre est désactivé, y ajouter les unités les fera complètement disparaître.

Les réglages *écart horizontal* pour l'échelle de fausses couleurs et *écart* pour le titre contrôlent les écarts entre eux et les bordss de l'image correspondant, tel que décrit dans la figure qui suit. Si le titre est affiché le long de l'échelle de couleur l'écart peut être négatif, ce qui fait que le titre peut se trouver dans les graduations. Lorsque le titre est placé au-dessus de l'image, une écart négatif sera ignoré.

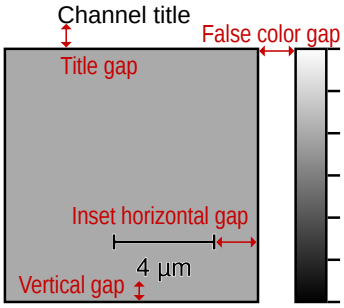



*Illustration des différents réglages d'écart (pour le titre de l'image, placé en haut de l'image).*

## Sélection

Tous les types de sélections enregistrées avec les données peuvent aussi être affichés sur l'image. Si la case *dessiner les sélections* est activée, vous pourrez choisir les sélections à afficher dans la liste située en-dessous. Les couleurs sont spécifiées de la même manière que pour la barre d'échelle :

***Couleur*** Couleur avec laquelle les sélections sont dessinées Color with which the selection is drawn. Les boutons *noir* et *blanc* permettent de choisir facilement ces couleurs de base.

***Couleur des contours*** Couleur des contours. Notez que si l'épaisseur des contours est nulle (valeur par défaut), aucun contour ne sera dessiné, la modification de la couleur n'aura donc aucun effet.

***Opacité*** Opacité des sélections. Ce réglage permet de dessiner les sélections de façon semi-transparente.

En dehors des couleurs, certains types de sélection possèdent plus d'options, comme par exemple la numérotation individuelle. Si vous utilisez un outil ayant certaines sélections sur les données, le type de sélection à dessiner et les options spécifiques seront prédéfinies de manière à correspondre à l'outil utilisé. Il s'agit en général de la manière la plus pratique pour afficher les sélections tel que vous le souhaitez. Si vous le souhaitez, vous pouvez tout de même ajuster manuellement les paramètres de manière à afficher n'importe quelle sélection.

## Préréglages

Différents réglages peuvent être utiles en fonction des occasions. Un ensemble d'options peut être enregistré sous forme de préréglage pour être rappelé plus tard. La liste affichée dans l'onglet *préréglages* donne tous les préréglages que l'on peut gérer avec les boutons suivants :

***Charger*** Charge le préréglage sélectionné, c'est-à-dire que les options de rendu sont modifiées en conséquence. La barre d'échelle pourra être ajustée à la valeur automatique si la valeur enregistrée ne convient pas. De même le type de sélection et les options correspondantes ne sont pas modifiées, seules les couleurs sont modifiées en accord avec le préréglage.

***Enregistrer*** Enregistre les options courantes sous le nom donné dans la case *nom du préréglage*. Le nom sert aussi de nom de fichier, il est donc conseillé d'éviter les caractères exotiques. Si un préréglage ayant le même nom existe déjà, celui-ci sera écrasé.

***Renommer*** Renomme le préréglage sélectionné avec le nom donné dans la case *nom du préréglage*. Le préréglage ne doit pas être nécessairement chargé pour pouvoir être renommé. Il n'est pas possible d'écraser un préréglage existant en en renommant un autre.

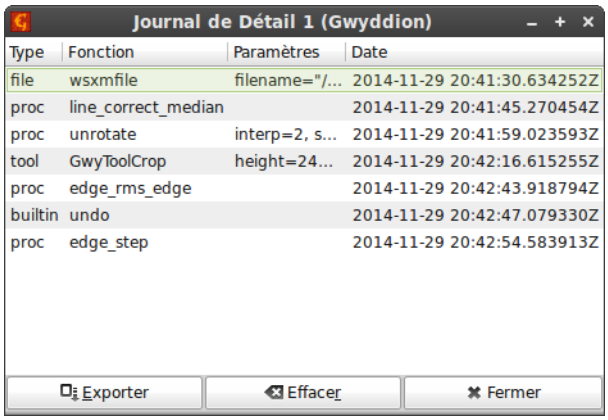
***Supprimer*** Supprime le préréglage sélectionné.

## 3.16 Journal des modifications

Gwyddion enregistre les modifications des données pour chaque canal, volume ou données XYZ dans un journal. Lorsque les données sont sauvées dans un fichier `.gwy`, le journal est enregistré avec les données. Le journal peut être affiché en sélectionnant la commande *Voir le journal* du menu contextuel lancé avec un clic-droit dans la fenêtre des données correspondantes. Cette fonctionnalité est utile pour retrouver les opérations appliquées, ou la manière dont un masque ou une présentation ont été créés, etc. Notez que les journaux sont donnés à titre d'information, ils ne sont pas destinés ou adaptés à des fins d'audit.

L'affichage du journal se fait en direct : si vous laissez la fenêtre ouverte vous pourrez voir les différentes opérations apparaître au fur et à mesure que vous les appliquez.

Un exemple basique de journal est donnée dans la figure qui suit. Pour chaque opération, le type, le nom, les paramètres et la date sont enregistrés. Le type peut être par exemple l'import de fichier, une fonction de traitement des données ou l'application d'un outil. Les noms des fonctions correspondent à ceux donnés dans le navigateur de modules (*Info* → *Navigateur de modules*), dans lequel elles sont listées dans les *fonctions enregistrées* pour chaque module ; ou dans le navigateur de modules en ligne. La liste des paramètres représente les réglages de la fonction au moment où celle-ci est utilisée. Comme le journal est donné à titre d'information, les paramètres peuvent permettre ou non une reconstruction précise de l'opération. Cela devrait suffire pour des opérations simples, par contre l'entrée du journal risque d'être insuffisamment détaillée dans le cas d'opérations complexes ou interactives impliquant plusieurs canaux. La date est enregistrée en se basant sur la zone horaire locale lorsque l'opération est appliquée, elle n'est pas recalculée lorsque vous envoyez ou affichez les fichiers dans une autre zone horaire.




*Afficheur de journal montrant des opérations simples de traitement sur un canal, démarrant avec l'import du fichier à partir d'un format SPM propriétaire, et continuant avec l'application de fonctions de traitement et d'outils, et enfin une annulation.*

Le journal peut être exporté vers un fichier texte à l'aide du bouton *Exporter*. Il n'est pas possible de modifier les entrées car cela irait à l'encontre de l'objectif du journal, mais vous pouvez toutefois effacer la totalité du journal avec le bouton *Effacer*.

### Désactiver le journal

Dans certains cas vous souhaiterez peut-être enregistrer ou publier des fichiers `.gwy` sans journal. À cette fin, le journal est contrôlable à plusieurs niveaux :

— Il peut être activée ou désactivé globalement dans le menu *Editer* → *Journal activé*. Lorsque la journalisation est désactivée, aucune nouvelle entrée n'est ajoutée. Les journaux existants ne sont pas supprimés et vous pouvez toujours les visualiser. Ils sont aussi toujours enregistrés dans les fichiers `.gwy`.
— Le journal spécifique à un canal, un volume ou des données XYZ peut être effacé avec le bouton *Effacer* dans l'afficheur de journal.
— Tous les journaux du fichier courant peuvent être supprimés avec le menu *Fichier* → *Supprimer tous les journaux*. Évidemment, si la journalisation est activée et que vous continuez de modifier les données, de nouvelles entrées seront créées et les nouvelle opérations seront enregistrées dans le journal.

## 3.17 Import de Données Brutes

Les fichiers de donnée brutes ASCII ou binaire dont le format n'est pas supporté peuvent être importés avec le module pour données brutes – avec un peu d'effort tout de même. L'import de données brutes peut être invoqué explicitement en sélectionnant le type *Données ASCII ou binaires* dans la fenêtre d'ouverture de fichier. Cette fenêtre peut aussi apparaître automatiquement lorsque vous essayez d'ouvrir un fichier dont le format est inconnu. Ceci peut être contrôlé avec l'option *Proposer automatiquement l'import des fichiers ASCII ou binaires pour les fichiers de type inconnu*.

### Information

Le premier onglet, *Information*, permet de régler les informations de base du fichier :

***Taille horizontale*, *Taille verticale*** Résolutions horizontale et verticale des données (nombre d'échantillons).

***Echantillon carré*** Fixe les résolutions horizontale et verticale à la même valeur.

***Largeur*, *Hauteur*** Dimensions physiques des données.

***Mesures identiques*** Conserve le rapport entre les dimensions physiques et le nombre de pixels égal pour les directions horizontales et verticales, c'est-à-dire que les données sont constituées de pixels carrés.

***Echelle Z (par unité d'échantillon)*** Facteur de multiplication appliqué sur les données brutes pour obtenir les valeurs physiques.

***Valeur des pixels invalides*** Valeur spécifique utilisée pour les données manquantes. On trouvera assez souvent une valeur en limite de dynamique, par exemple -32768 pour des données en 16 bits signées. Pour les données au format texte, il est aussi possible de spécifier un mot tel que `BAD` ou `NODATA`, qui se substitue aux données manquantes dans le fichier.

Si cette case est activée alors tous les pixels ayant cette valeur seront masqués et remplacés par une valeur neutre lors de l'import.

Les valeurs invalides (not-a-number, NaN) présentes parmi des données en virgule flottante sont remplacées de manière automatique, vous n'avez donc qu'à activer la remplacement si une autre valeur finie est utilisée pour définir les valeurs manquantes.

### Format de données

Dans le second onglet, *Format de données*, des formats particuliers de données peuvent être choisis. Il existe deux possibilités indépendantes : *Données texte* et *Données binaires*.

Les fichiers texte sont supposés être organisés sous forme de lignes, chacune contenant une ligne de données, celles-ci étant représentées par des entiers ou des nombres à virgule flottante sous une notation standard. Les options suivantes sont disponibles :

***Débuter à la ligne*** La ligne à partir de laquelles commencent les données, c'est-à-dire le nombre de ligne à ignorer à partir du début du fichier. Tous les types de marqueurs de fin de ligne sont reconnus (Unix, MS-DOS, Macintosh).

***Sauter à chaque ligne*** Le nombre de champs à ignorer au début de chaque ligne.

***Délimiteur de champ*, *Autre délimiteur*** Si le délimiteur est *N'importe quel espace*, tout nombre non nul de caractères espace est considéré comme un délimiteur de champ. Si un caractère espace est sélectionné, le délimiteur doit être ce caractère. Dans le cas contraire les champs sont séparés par un caractère spécifié ou un mot et tout espace entourant le délimiteur est ignoré.

***Le séparateur de décimale est la virgule*** Par défaut, les nombres en virgule flottante sont supposés utiliser un point pour symboliser la décimale. Cette option change ce symbole par la virgule.

Les options suivantes sont disponibles pour les fichiers binaires :

***Données binaires*** Vous pouvez sélectionner un des formats de données standards ou choisir *Défini par l'utilisateur* pour spécifier un format ayant un nombre impair de bits par échantillon ou toute autre particularité.

***Ordre des octets (byte swap)*** Ordre dans lequel sont placés les octets d'un échantillon. Cette option n'est accessible que pour les formats prédéfinis ayant plus d'un octet. Le nombre de bits correspond aux groupes d'octets à inverser : si le $j$-ème bit est défini, les groupes adjacents de $2^j$ bits sont inversés.

Une valeur de 3 par exemple signifie que l'échantillon sera divisé en paires (bit 1) d'octets et les paires adjacentes d'octets sont inversées, puis en octets individuels (bit 0) et les octets adjacents seront inversés. Le bilan de ces opérations est une inversion des l'ordre des octets par groupe de quatre octets. De manière générale, si vous souhaitez inverser l'ordre des octets par groupes de taille $2^j$, ce qui correspond au cas le plus courant, utilisez un ordre de $j-1$.

***Démarrer avec le décalage*** Décalage, en octets, dans le fichier à partir duquel commencent les données.

***Taille d'échantillon*** Taille en bits d'un échantillon pour les formats définis par l'utilisateur. Mettez par exemple 4 ici si vous avez un fichier n'ayant que 4 bits par échantillon. En ce qui concerne les formats prédéfinis, leur taille y est affichée, mais elle n'est pas modifiable.

***Sauter après chaque échantillon*** Nombre de bits à sauter après chaque échantillon.

En général les échantillons se suivent dans un fichier. Mais parfois il existe certains bits ou octets inutiles entre chaque. Cette option permet de spécifier cette possibilité. Notez que pour les formats prédéfinis cette valeur doit être un multiple de 8 (c'est-à-dire que seuls des octets complets peuvent être sautés).

***Sauter après chaque ligne*** Nombre de bits à sauter après chaque ligne en plus des bits à sauter après chaque échantillon.

En général les lignes se suivent dans un fichier. Mais parfois il existe certains bits ou octets inutiles entre chacune. Cette option permet de spécifier cette possibilité. Notez que pour les formats prédéfinis cette valeur doit être un multiple de 8 (c'est-à-dire que seuls des octets complets peuvent être sautés).

***Reverse bits in bytes*** Whether the order of bits in each byte should be reversed.

***Inverser les bits dans les octets*** Spécifie si l'ordre des bits dans chaque échantillon doit être inversé (pour les formats définis par l'utilisateur).

***Les échantillons sont signés*** Cette option permet d'interpréter les échantillons comme étant des nombres signés (par opposition aux nombres non signés). Ce paramètre est affiché pour les formats prédéfinis, mais il n'est pas modifiable.

### Préréglages

Les réglages d'import peuvent être enregistrés pour faciliter l'import du même fichier – ou le même type de fichier – ultérieurement.

Le bouton *Enregistrer* sauve les réglages d'import courants sous le nom spécifié dans le champ *Nom du préréglage*. Le bouton *Renommer* change le nom du réglage sélectionné par le nom spécifié, le bouton *Supprimer* efface le réglage sélectionné, et le bouton *Charger* remplace les réglages d'import courants par ceux du préréglage sélectionné.

## 3.18 Import de Données Spécifiques

L'import de plusieurs types de données ne se fait pas automatiquement et nécessite une intervention de l'utilisateur.

### Formats Graphiques

L'import de données sous un format d'image tel que PNG, TIFF, JPEG ou BMP est similaire à l'import de données brutes/inconnues, la procédure est juste plus simple.

Cette simplicité vient du fait que la structure du fichier est connue et que le format est automatiquement reconnu. Le type de fichier n'a ainsi pas besoin d'être sélectionné de manière explicite. Toutefois, l'interprétation des données n'est *a priori* pas connue et doit donc être spécifiée manuellement. La fenêtre de dialogue d'import d'image est ainsi semblable à l'onglet *Information* de l'import de données brutes, celle-ci vous invitera à spécifier les dimensions physiques et l'échelle de hauteur.

Notez que les dimensions physiques proposées ne sont pas obtenues à partir du fichier, elles correspondent seulement aux dernières valeurs utilisées. Certains formats de données SPM sont basés sur des format d'images (basés en général sur le format TIFF) et contiennent les informations sur les échelles physiques et les unités, ceux-ci sont toutefois stockés d'une manière propre au constructeur. Dans ce cas, un module d'import spécifique peut être développé pour ce format précis afin de charger les fichiers automatiquement avec les bonnes échelles.

Reportez-vous à la section Formats d'image à grande dynamique pour plus de détails sur le support d'image à dynamique élevée ainsi que sur la possibilité de les utiliser pour représenter des données.

### Courbes

On peut importer des courbes sous la forme de simples fichiers textes contenant les données en deux colonnes. Dans certains cas ces fichiers sont reconnus automatiquement. Ils peuvent aussi être sélectionnés explicitement en choisissant *Graphes ASCII* dans la fenêtre d'ouverture de fichier, forçant le module d'import à tenter de charger le fichier en tant que courbe.

La fenêtre de dialogue affiche une prévisualisation du graphe et permet de régler les unités et les légendes.

### Données XYZ

L'import de données XYZ sous la forme de fichiers texte contenant trois colonnes peut se faire en choisissant le type *Coordonnées XYZ*. Là encore, ces fichiers peuvent être reconnus automatiquement mais la sélection explicite de ce type de format force le module à charger le fichier en tant que données XYZ.

La fenêtre d'import affiche le nombre de points ainsi que les plages des données, et permet de définir les unités latérales et de valeur. Les plages affichées en unités physiques sont immédiatement mises à jour en fonction de ce que vous entrez, vous pouvez donc immédiatement vérifier que ce que vous faites est correct.

# Chapitre 4

# Traitement et Analyse des Données

Le nombre et l'étendue des fonctions de manipulations et d'analyse des données constituent les principales forces de Gwyddion. Le but de ce chapitre est d'en décrire les principes et leurs applications, en s'attachant à expliquer comment elles fonctionnent et ce qu'elles calculent ou appliquent aux données. Seront parfois décrits quelques éléments de l'interface utilisateur lorsque cela semble utile, on supposera toutefois que le lecteur est familier de l'organisation des données et des contrôles de base de Gwyddion, tels que décrits dans le chapitre précédent.

## 4.1 Opérations basiques

La lecture de valeur et les opérations géométriques basiques constituent la base de tout logiciel de traitement de données. Gwyddion propose un large choix de fonctions pour mettre à l'échelle, tourner, ré-échantillonner ou extraire un profil des données. Cette section décrit ces fonctions, certes simples, mais essentielles.

La plupart des opérations de base sont accessibles dans le menu *Traitement des donnée* → *Opérations basiques* ; certaines sont aussi gérées par les outils.

### Transformations géométriques élémentaires

Ce groupe de transformations géométrique conserve les pixels, ce qui signifie qu'un pixel dans l'image transformée correspond exactement à un pixel dans l'image de départ. Il n'y a aucune interpolation.

#### Renverser

Renversement des données horizontalement (c'est-à-dire autour de l'axe vertical), verticalement (autour de l'axe horizontal) ou de part et d'autre de la diagonale (échange des lignes et des colonnes) avec *Traitement des données* → *Opérations basiques* → *Renverser horizontalement*, *Renverser verticalement* ou *Renverser en diagonale*, respectivement.

#### Rotation par multiples de 90°

La rotation des données par multiples de 90 degrés est possible en utilisant les fonctions de rotation : *Traitement des données* → *Opérations basiques* → *Rotation sens direct*, *Rotation sens indirect* ou *Rotation à 180°*. Renverser selon les deux axes permet aussi de faire une rotation de 180°.

#### Rogner

L'outil rognage permet de recadrer une image soit directement sur les données soit en mettant le résultat dans un nouveau canal (avec l'option *Créer un nouveau canal*). En activant l'option *Conserver les décalages latéraux*, les coordonnées du coin en haut à gauche de l'image résultante corresponderont à celles du coin en haut à gauche de la sélection, dans le cas contraire les coordonnées seront mises à $(0,0)$.

#### Étendre

*Traitement des données* → *Opérations basiques* → *Étendre*.

L'extension correspond à l'opération inverse du rognage. Bien évidemment, il n'est possible d'ajouter des données réelles sur les bords qu'en mesurant des données supplémentaires. Cette fonction propose donc à la place des méthodes d'extension artificielles telles que la prolongation périodique ou la répétition des valeurs des bords de l'image. La méthode de Laplace fonctionne de manière identique à l'interpolation des données sous le masque et crée une extension lisse convergeant vers la valeur moyenne du bord complet de l'image.

### Transformations avec interpolation

Ce groupe de transformations ne conserve pas la relation pixel à pixel, elles nécessitent une interpolation.

### Échelle

*Traitement des données → Opérations basiques → Échelle*

Ré-échantillonne les données vers de nouvelles dimensions des pixels (nombre de lignes et de colonnes de l'image) à l'aide de la méthode d'interpolation sélectionnée. Les dimensions physiques sont conservées.

Si vous souhaitez plutôt spécifier les dimensions physiques des pixels, utilisez la fonction Ré-échantillonner.

### Échantillons carrés

*Traitement des données → Opérations basiques → Échantillons carrés*

Sur-échantillonne les données (le long de l'axe ayant les plus gros pixels) de manière à rendre les pixels carrés. La plupart des scans ont un rapport d'aspect de 1:1, cette fonction n'aura aucun effet sur ceux-ci.

### Ré-échantillonnage

*Traitement des données → Opérations basiques → Ré-échantillonner*

Ré-échantillonnage des données vers une nouvelle taille de pixels en utilisant la méthode d' interpolation sélectionnée. La taille de pixel peut être choisie pour correspondre à celle d'une autre image, ce qui est nécessaire pour les opérations multi-données. Les dimensions physiques restent inchangées.

Si vous souhaitez plutôt spécifier le nombre de lignes, de colonnes ou le rapport d'échelle de l'image, utiliser la fonction échelle.

### Rotation arbitraire

La fonction *Traitement des données → Opérations basiques → Rotation* tourne l'image selon un angle arbitraire. Contrairement aux transformations géométriques simples citées plus haut, cette fonction nécessite une interpolation, qui peut être définie dans la fenêtre de dialogue.

Après rotation, l'image n'est plus un rectangle dont les côtés sont parallèles aux axes. L'option *Taille résultante* permet de définir la zone à considérer pour l'image finale :

— *Identique à l'original* conserve la taille de l'image, coupant certaines données et ajoutant des valeurs dans les parties externes.
— *Étendre aux données complètes* évite de couper certaines données de l'image – ce qui aboutit à plus de données ajoutées dans les parties externes.
— *Couper aux données valides* empêche l'ajout de valeur dans les parties externes – ce qui revient à tronquer plus ou moins fortement l'image.

Un masque peut être ajouté au-dessus des pixels correspondant à l'extérieur de l'image originale.

### Regroupement

*Traitement des données → Opérations basiques → Regroupement*

Le regroupement (« binning ») est une autre méthode de réduction de la taille de l'image. Le résultat n'est pas créé en interpolant les pixels, mais en les moyennant pour obtenir chaque nouveau pixel.

Le bloc rectangulaire de pixels à moyenné correspond au regroupement. Vous pouvez contrôler sa *largeur* et sa *hauteur*, qui correspondent aussi aux facteurs de ré-échantillonnage dans chaque direction. L'origine du premier bloc peut être décalé par rapport à l'origine de l'image. Notez toutefois que l'image résultante n'est formée que de blocs complets ; les blocs incomplets en bord d'image sont ignorés.

On peut utiliser la moyenne tronquée en lieu et place de la moyenne habituelle, les paramètres *Tronquer les plus bas* et *Tronquer les plus hauts* contrôlant le nombre de valeurs les plus basses ou les plus hautes sont ignorées dans le calcul de la moyenn. Cette fonction peut être utile pour éliminer les pixels aberrants. Lorsque l'option *Sommer au lieu de moyenner* est activée, la valeur résultante correspond à la somme des contributions. Cette option n'a que peu de sens pour des données topographiques habituelles. Toutefois, si l'image représente une donnée de type densité, dont l'intégrale doit être conservée, alors la sommation correspond à la bonne opération.

## Transformations des valeurs

Ce groupe de fonctions conserve la correspondance pixel à pixel, et ne modifie que leur valeur. Le module Arithmétique permet aussi de manipuler les données à l'aide d'expression arithmétiques.

### Inverser les valeurs

*Traitement des données → Opérations basiques → Inverser les valeurs.*

Cette fonction inverse les données par rapport à la valeur moyenne, celle-ci est donc conservée.

### Limiter la plage des valeurs

*Traitement des données → Opérations basiques → Limiter la plage des valeurs.*

La plage des valeurs peut être limitée en coupant les valeurs en dehors de la plage spécifiée. La plage peut être ajustée manuellement ou à partir de la plage de fausses couleurs définie précédemment avec l'outil plage de couleurs, il est aussi possible de supprimer les points aberrants en dehors d'un multiple arbitraire du RMS à partir de la valeur moyenne.

### Valeur de repli

*Traitement des données → Opérations basiques → Valeur de repli.*

Les données périodiques, telles que les angles, sont parfois enregitrées avec une mauvaise valeur de repli, ce qui les fait apparaître discontinues. Par exemple, la plage d'angles va de 0 à 360 degrés, mais les données pourraient être continues si elles s'étalaient de $-180$ à 180 degrés. Un simple changement de la valeur de repli permet de retrouver la continuité.

La fonction propose deux paramètres. La *Plage* est l'étendue des valeurs (période selon la direction $z$). Le *Décalage* spécifie la valeur de séparation pour le repli. La formule exacte est :

$$z_i \to \mathrm{fmod}(z_i - \Delta, r) + \Delta$$

Les symboles $r$ et $\Delta$ représentent respectivement la plage et le décalage. La fonction fmod est le modulo (reste) à virgule flottante.

### Dimensions et unités

*Traitement des données → Opérations basiques → Dimensions et unités.*

Change les dimensions physiques, les unités ou l'échelle, ainsi que les décalages latéraux. Cette fonction est très utile lorsque des données brutes ont été importées avec des échelles erronées ou tout simplement pour recalibrer les dimensions et les valeurs.

---

**Note** Les réglages sont enregistrés à chaque utilisation de cette fonction. Cela permet de répéter les mêmes calibrations sur différentes données. Cela peut aussi facilement aboutir à appliquer une calibration d'une action précédente alors que vous ne le souhaitez pas. En cas de doute commencez par presser le bouton *Remise à zéro* pour effacer tous les décalages et facteurs de calibration.

---

### Inclinaison

*Traitement des données → Opérations basiques → Inclinaison.*

Incline les données par un gradient ou un angle spécifié numériquement.

## Lecture des Valeurs

La méthode la plus simple pour lire une valeur est de placer le curseur de la souris sur le point dont on veut connaître la valeur. Les coordonnées et/ou la valeur sont alors affichées dans la barre d'état de la fenêtre de données ou la la fenêtre de graphe.

### Outil de lecture de valeur

L'outil de lecture de valeur offre plus de possibilités : il affiche les coordonnées et valeurs du dernier point de la fenêtre de données sur lequel le bouton de souris a été cliqué. Il affiche une vue agrandie de l'image autour de ce point.

L'outil peut moyenner la valeur sur une zone circulaire centrée sur ce point, ce que l'on peut contrôler avec l'option *Rayon de moyennage*. Lorsque le rayon vaut 1, la valeur du pixel seul est affichée. Le bouton *Remise à zéro* ajuste la surface de manière à ce que le $z$ courant devienne le nouveau niveau zéro.

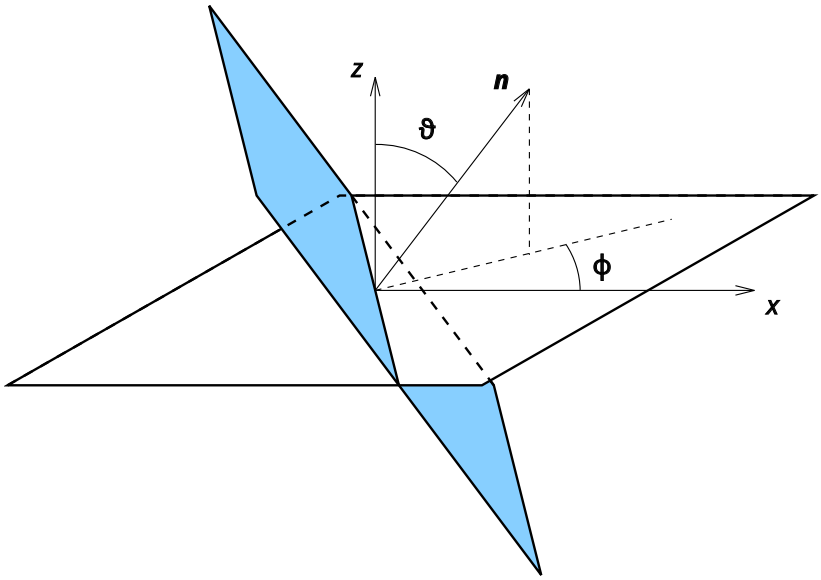
L'outil *Lecture de valeur* peut aussi afficher l'inclinaison de la facette locale ou la courbure de surface locale. Là encore, le *Rayon de moyennage* détermine le rayon de l'aire à utiliser pour ajuster le plan local. Le calcul de courbure en particulier à besoin d'une zone relativement large pour être fiable.

### Inclinaisons

Dans tous les outils de Gwyddion, les inclinaisons de facette et de plan sont donnés sous la forme des coordonnées sphériques $(\vartheta, \varphi)$ du vecteur normal au plan.

L'angle $\vartheta$ est l'angle entre la direction verticale et la normale, ce qui veut dire que $\vartheta = 0$ pour des facettes horizontales, et qu'il augmente avec la pente. Sa valeur est toujours positive.

L'angle $\varphi$ est l'angle direct entre l'axe $x$ et la projection de la normale sur le plan $xy$, comme le montre la figure ci-dessous. Dans le cas des facettes, cela signifie que $\varphi$ correspond à la direction de la pente descendante de la facette.

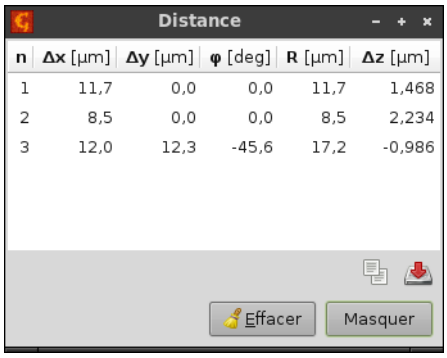



*Orientation d'un facette (affichée en bleu) mesurée comme l'angle direct entre l'axe $x$ et la projection du vecteur normal de la facette* **n** *sur le plane $xy$.*

### Outil Distance

Les distances et différences de hauteur peuvent être mesurées avec l'outil distance. Il affiche les distances horizontale ($\Delta x$), verticale ($\Delta y$) et totale ($R$) ; l'azimuth $\varphi$ (mesurée de la même manière que l'inclinaison $\varphi$) et la différence de hauteur du point final $\Delta z$ pour un ensemble de lignes sélectionnées sur les données.

Les distances peuvent être copiées dans le presse-papier ou sauvegardées dans un fichier texte à l'aide des boutons situés sous la liste.




| n | Δx [µm] | Δy [µm] | φ [deg] | R [µm] | Δz [µm] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11,7 | 0,0 | 0,0 | 11,7 | 1,468 |
| 2 | 8,5 | 0,0 | 0,0 | 8,5 | 2,234 |
| 3 | 12,0 | 12,3 | -45,6 | 17,2 | -0,986 |

*Outil de mesure de distance montrant trois lignes sélectionnées.*

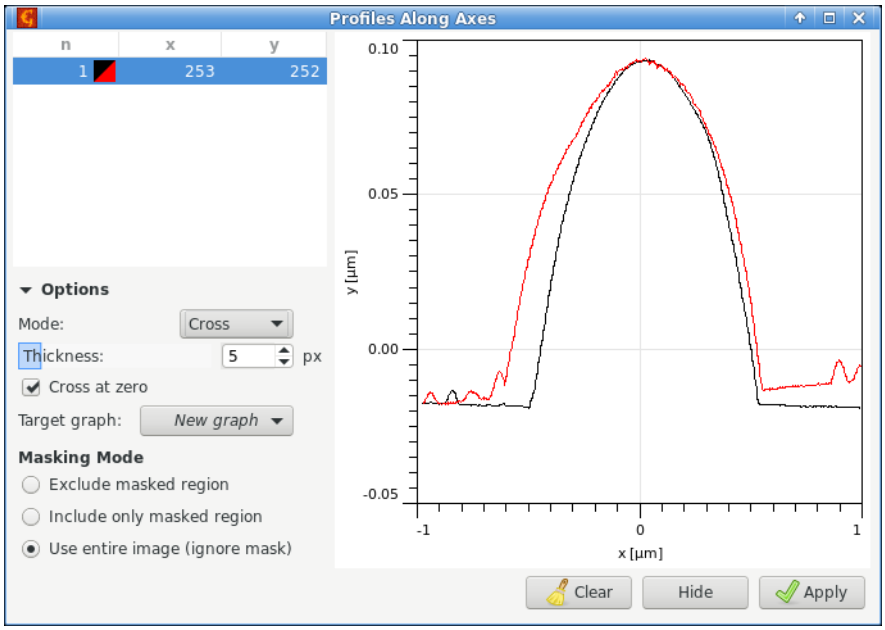
## Profils le long des axes

L'outil Profils le long des axes extrait des lignes de scan selon les directions horizontale et/ou vertical. La direction peut être contrôlé par l'option *Mode*, qui peut être *Horizontal*, *Vertical* ou *Croix*. Dans le mode croix, les deux profils sont extraits simultanément.

Lorsque l'option *Coupure à zéro* est activée, l'origine des abscisses correspond au point de croissement des profils (ou bien à la marque sur l'axe pour des profils verticaux ou horizontaux). Cette option est utile pour aligner plusieurs profils sur un même graphe. Si celle-ci est désactivée, les coordonnées du profil correspondent à celle de l'image dans cette même direction.

Les profils peuvent être de différentes « épaisseurs », ce qui signifie que plusieurs lignes de scan sont moyennées de part et d'autre de la direction sélectionnée. Cette option est utile pour éliminer le bruit lors de la mesure d'un objet ayant un aspect régulier. La largeur du profil est visulisable sur l'image à l'aide des marqueurs de fin de ligne.

Les lignes de scan provenant de plusieurs images peuvent être vues simultanément à l'aide la fonction Multi-profils.

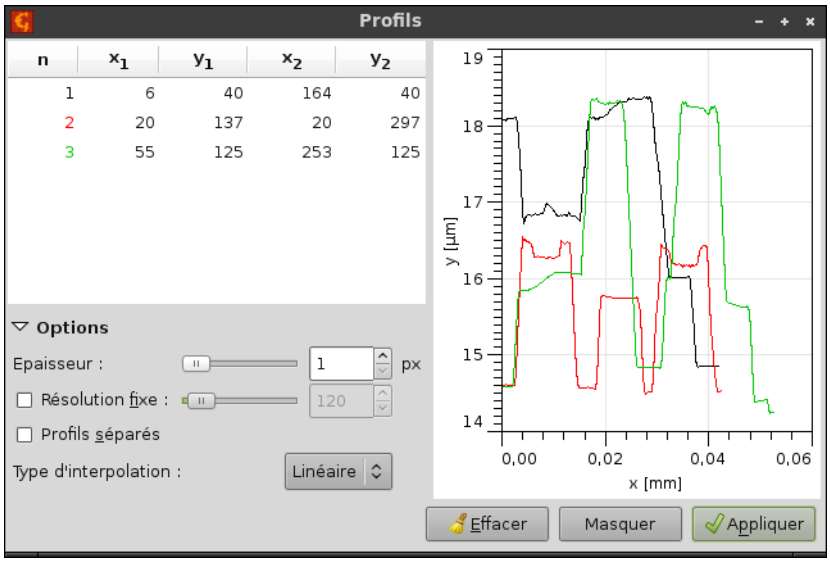



*Outil de visualisation des profils le long des axes, avec les axes verticaux et horizontaux coupant à zéro, et les options disponibles.*

## Extraction de Profil

L'outil profils extrait des profils le long de lignes arbitraires, dessinés et ajustés sur l'image à l'aide de la souris, et les affiche en direct dans une fenêtre d'aperçu. Les profils peuvent être de différentes « épaisseurs », ce qui signifie que des pixels supplémentaires voisins perpendiculairement à la direction du profil sont utilisés pour évaluer un point donné du profil, et ce d'autant plus que l'épaisseur du profil est grande. Cette option peut être très utile pour s'affranchir du bruit lors de la mesure d'un objet ayant une forme régulière. L'épaisseur du profil est indiqué sur l'image à l'aide des marqueurs de fin de ligne.

Après avoir sélectionné les profils, ceux-ci peuvent être extraits sous forme de graphes (séparés ou groupés dans une fenêtre de graphes) pour pouvoir être ensuite analysées à l'aide des fonctions d'analyse des graphes.




*Outil d'extraction de profil montrant trois profils extraits ainsi que les options disponibles.*

La courbe du profil est construite à partir de données échantillonnées sur des intervalles réguliers le long de la ligne sélectionnée. Les valeurs des points ne tombant pas exactement sur le centre des pixels (ce qui est normalement le cas pour les lignes obliques) sont interpolées en utilisant la méthode d'interpolation choisie. A moins qu'un nombre explicite d'échantillons soit choisi à l'aide de l'option *Résolution fixe*, le nombre d'échantillons correspond à la longueur en pixels de la ligne. Ce qui signifie que pour les lignes parfaitement horizontales ou verticales aucune interpolation ne sera appliquée.

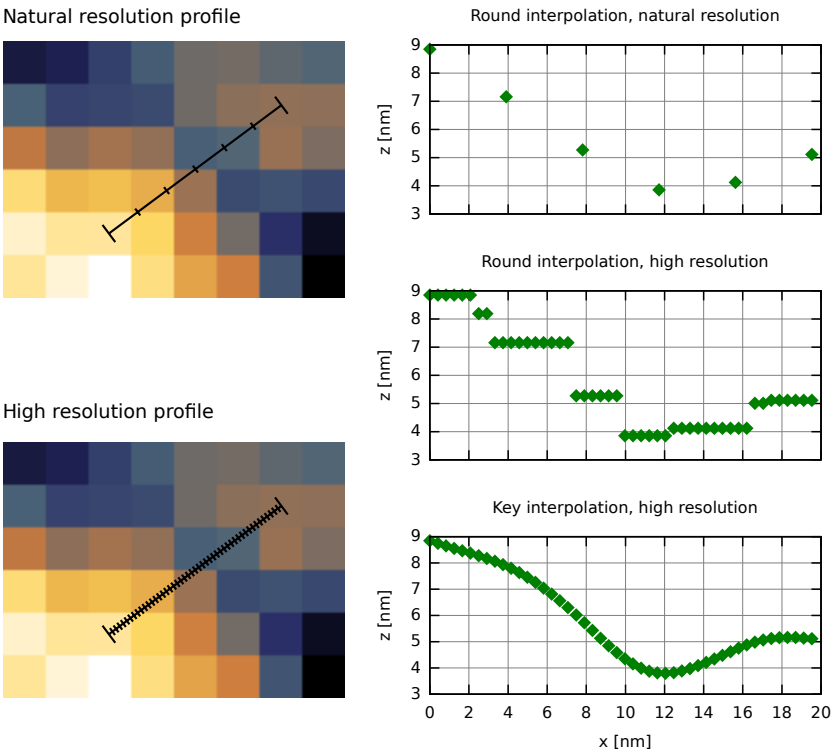



*Illustration de l'échantillonnage du profil extrait d'une ligne oblique. Les figures sur la gauche montrent les points le long de la ligne pour laquelle les valeurs sont lues à la résolution naturelle et à très haute résolution. Les graphes sur la droite montrent les valeurs extraites. La comparaison des profils à résolution haute et naturelle avec l'interpolation arrondie montre que les points de la courbe à la résolution naturelle sont en fait un sous-ensemble des points de la courbe à haute résolution. L'influence de la méthode d'interpolation sur les valeurs des points ne correspondant pas à la grille est démontrée par les deux graphes du bas, en comparant les interpolations arrondi et Key à haute résolution.*

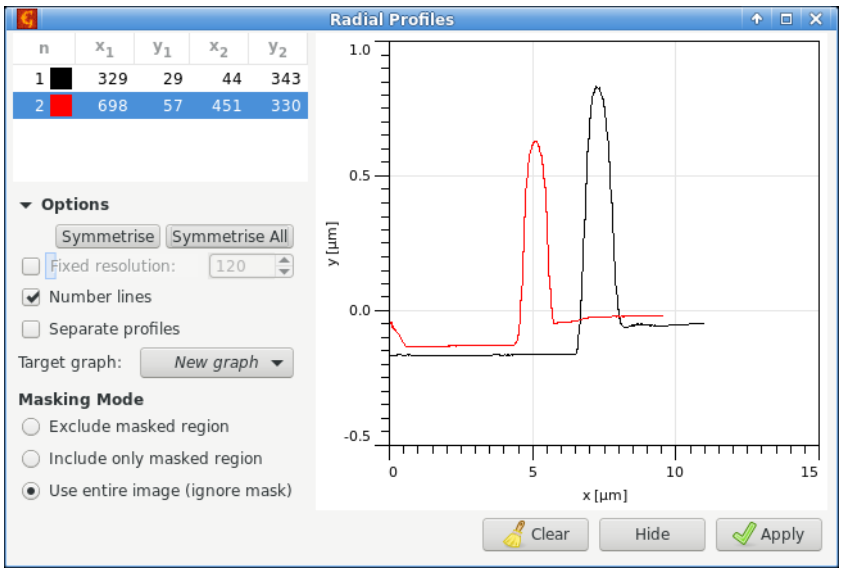
Lors de la mesure de profils de bords ou de marches, il est en général nécessaire de choisir une direction perpendiculaire au bord. Les boutons *Améliorer la direction* et *Tout améliorer* peuvent aider dans cette tâche. Le premier bouton tente d'améliorer

l'orthogonalité de la ligne en cours d'édition, tandis que le second tente d'améliorer toutes les lignes. Le centre des lignes est préservé, seule la direction des profils est modifiée. L'amélioration automatique n'est pas infaillible, mais elle fonctionne la plupart du temps correctement sur des bords relativement propres.

## Profils radiaux

L'outil Profils radiaux est similaire à l'outil Profils. Il n'extrait toutefois pas de profils le long de lignes. La ligne dessinée est en fait utilisée pour définir une zone circulaire dont le centre est indiqué par une marque sur la ligne. Le profil extrait est ensuite obtenu par moyennage angulaire. Cette fonction est utile pour obtenir le profil de formes à symétrie de révolution. L'abscisse du graphe correspond alors à la distance depuis le centre au lieu de la position sur la ligne.

Bien que la ligne puisse être ajustée manuellement, il peut être difficile de trouver le meilleur centre pour les profils radiaux. L'outil peut donc tenter de localiser précisément le meilleur centre à utiliser. Il suffit juste de positionner approxiamtivement la ligne puis presser le bouton *Symétriser* pour ajuster la ligne sélectionnée, ou le bouton or *Tout symétriser* pour ajuster toutes les lignes. Les lignes seront alors légèrement décalées pour minimiser les différences entre les profils selon différentes directions depuis le centre.




*Outil profils radiaux avec deux profils extrait et les options disponibles.*

## Conversion vers d'autres types de données

La fonction *Traitement des données* → *Opérations basiques* → *Convertir en données volumiques* crée des données volumiques à partir d'une image. Le champ de hauteur est considéré comme étant la surface d'un objet solide, ce qui est habituel dans le domaine de la microscopie à sonde. Les voxels situés sous la surface (dans la matière) sont remplis de 1, tandis que les voxels situés au-dessus (à l'extérieur) sont remplis de 0. La coordonnée $z$ des données volumiques correspond donc aux valeurs de l'image, tandis que les valeurs des données volumiques n'ont aucune unité.

La fonction *Traitement des données* → *Opérations basiques* → *Convertir les couches en données volumiques* crée des données volumiques à partir d'une séquence d'images. Toutes les images du fichier doivent avoir les mêmes dimensions. Elles sont alors traitées comme des plans dans les données volumiques créées en accumulant les images. La coordonnée $z$ des données volumiques correspondent donc à l'indice de la pile (il peut être spécifié dans la fenêtre de dialogue), tandis que les valeurs des données volumiques auront les mêmes unités que celles des images.

La fonction *Traitement des données* → *Opérations basiques* → *Convertir en données XYZ* crée des données XYZ à partir d'une image. Chaque pixel de l'image correspond à un point dans les données XYZ générées. Les coordonnées $xy$ forment donc une grille régulière et toutes les unités sont identiques à celles de l'image.

La fonction *Traitement des données* → *Opérations basiques* → *Données XYZ à partir de canaux* crée des données XYZ à partir de trois images, l'une contenant des coordonnées $x$, une autre des coordonnées $y$ et la dernière des coordonnées $z$. Cette fonction peut être utile lorsque les données sont mesurées selon une grille régulière, mais que les positions effectives des mesures diffèrent d'une grille régulière, et que les coordonnées des points sont enregistrées dans d'autres canaux.

## 4.2 Interpolation

La plupart des transformations géométriques, telles que la rotation, la mise à l'échelle ou la compensation de la dérive, utilisent ou dépendent de l'interpolation des données. D'autres opérations, par exemple l'extraction de profil, peuvent fonctionner en utilisant des valeurs entre les pixels individuels et impliquent donc l'interpolation. Comme les données SPM sont échantillonées de manière relativement grossière comparée aux détails (les images font typiquement quelques centaines de pixels de large), la méthode d'interpolation utilisée peut devenir critique pour faire une analyse quantitative correcte des propriétés des données. Gwyddion propose plusieurs méthodes d'interpolation [1] et l'utilisateur peut choisir la méthode à utiliser pour la plupart des modules utilisant l'interpolation.

Nous décrivons ici les principes et propriétés des méthodes d'interpolation uni-dimensionnelle. Toutes les méthodes d'interpolation bi-dimensionnelles implémentées sont séparables et donc simplement composées des méthodes uni-dimensionnelles correspondantes. Les types d'interpolation qui suivent sont disponibles :

**Arrondi** L'interpolation arrondie (aussi appelée interpolation par plus proche voisin) est la méthode la plus simple – elle prend la valeur arrondie à la position souhaitée et trouve donc la valeur du pixel le plus proche. Son degré polynomial est de 0, sa régularité $C^{-1}$ et son ordre sont de 1.

**Linéaire** Il s'agit d'une interpolation linéaire entre les deux points de données les plus proches. La valeur $z$ au point de position relative $x$ est obtenue avec

$$z = (1-x)z_0 + xz_1$$

où $z_0$ et $z_1$ sont les valeurs des points respectivement précédent et suivant. Son degré polynomial est de 1, sa régularité $C^0$ et son ordre sont de 2. Elle est identique à une B-spline de second ordre.

**Key** L'interpolation Key (ou plus précisément l'interpolation de Key avec $a = -1/2$ ayant l'ordre d'interpolation le plus élevé) utilise aussi les valeurs les points précédents et suivants, respectivement $z_{-1}$ et $z_2$. En d'autres mots, elle a une base de longueur 4. La valeur est ensuite obtenue avec

$$z = w_{-1}z_{-1} + w_0z_0 + w_1z_1 + w_2z_2$$

où

$$\begin{aligned} w_{-1} &= \left(-\tfrac{1}{2} + (1-\tfrac{x}{2})x\right)x \\ w_0 &= 1 + (-\tfrac{5}{2} + \tfrac{3}{2}x)x^2 \\ w_1 &= \left(\tfrac{1}{2} + (2-\tfrac{3}{2}x)x\right)x \\ w_2 &= (-\tfrac{1}{2} + \tfrac{x}{2})x^2 \end{aligned}$$

sont les pondérations de l'interpolation. L'interpolation de Key a un degré de 3, sa régularité $C^1$ et son ordre sont de 3.

**Schaum** L'interpolation de Schaum (plus précisément d'ordre quatre) a aussi une base de longueur 4. Les pondérations d'interpolation sont

$$\begin{aligned} w_{-1} &= -\tfrac{1}{6}x(x-1)(x-2) \\ w_0 &= \tfrac{1}{2}(x^2-1)(x-2) \\ w_1 &= -\tfrac{1}{2}x(x+1)(x-2) \\ w_2 &= \tfrac{1}{6}x(x^2-1) \end{aligned}$$

. Son degré polynomial est de 3, sa régularité $C^0$ et son ordre sont de 4.

**NNA** L'approximation du voisin le plus proche (Nearest Neighbour Approximation) est elle aussi calculée à partir des valeurs des quatre points les plus proches, mais contrairement aux autres elles n'est pas de forme polynomiale. Les pondérations d'interpolation sont

$$w_k = \frac{\dfrac{1}{r_k^4}}{\displaystyle\sum_{j=-1}^{2} \frac{1}{r_j^4}},$$

pour $k = -1, 0, 1, 2$, où $r_{-1} = 1+x$, $r_0 = x$, $r_1 = 1-x$, $r_2 = 2-x$. Son ordre est de 1.

**B-spline** Les pondérations sont

$$\begin{aligned} w_{-1} &= \tfrac{1}{6}(1-x)^3 \\ w_0 &= \tfrac{2}{3} - x^2(1-\tfrac{x}{2}) \\ w_1 &= \tfrac{1}{6} + \tfrac{1}{2}x\big(1+x(1-x)\big) \\ w_2 &= \tfrac{1}{6}x^3 \end{aligned}$$

. Toutefois, celles-ci ne sont pas utilisée directement avec des valeurs de fonction comme précédemment, mais avec des coefficients d'interpolation calculés à partir des valeurs de fonction [1]. Son degré polynomial est de 3, sa régularité $C^2$ et son ordre sont de 4.

**O-MOMS** Les pondérations sont

$$\begin{aligned} w_{-1} &= \tfrac{4}{21} + \left(-\tfrac{11}{21} + (\tfrac{1}{2} - \tfrac{x}{6})x\right)x \\ w_0 &= \tfrac{13}{21} + \left(\tfrac{1}{14} + (-1 + \tfrac{x}{2})x\right)x \\ w_1 &= \tfrac{4}{21} + \left(\tfrac{3}{7} + (\tfrac{1}{2} - \tfrac{x}{2})x\right)x \\ w_2 &= (\tfrac{1}{42} + \tfrac{1}{6}x^2)x \end{aligned}$$

. Toutefois, celles-ci ne sont pas utilisée directement avec des valeurs de fonction comme précédemment, mais avec des coefficients d'interpolation calculés à partir des valeurs de fonction [1]. Son degré polynomial est de 3, sa régularité $C^0$ et son ordre sont de 4.

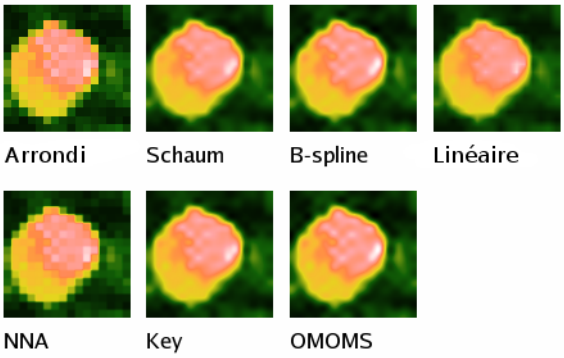



*Illustration des différents types d'interpolation disponibles (les pixels originaux sont évidents pour le résultat de l'interpolation arrondie). Toutes les images ont une échelle de couleur identique.*

### Références

[1] P. Thévenaz, T. Blu, M. Unser: Interpolation revisited. IEEE Transactions on medical imaging, Volume 10, Number 7, July 2000, 739

## 4.3 Mise à niveau et soustraction d'arrière plan

### Mise à niveau

Les données acquises avec des microscopes SPM ne sont généralement pas du tout mises à niveau ; le microscope sort directement les données brutes données par la tension d'un piezoscanner, une jauge de contrainte, un interféromètre ou les valeurs de tout autre système de mesure. Cette manière d'acquérir les données permet à l'utilisateur de choisir sa propre méthode de mise à niveau.

Le choix de la méthode de mise à niveau dépend de la configuration de votre système d'acquisition SPM. Par exemple, pour les systèmes ayant des scanners indépendant pour chaque axe, un simple niveau plan suffira. Pour les systèmes ayant des scanner se déplaçant selon les trois axes (scanner à tube), on utilisera plutôt un polynôme d'ordre 2.

Bien évidemment vous pouvez utiliser une mise à niveau d'ordre plus élevé, mais dans ce cas vous risquez de supprimer des éléments de l'image (par exemple des ondulations de la surface), et donc d'altérer les fonctions statistiques et les quantités évaluées sur la surface.

#### Fixer le zéro et Valeur moyenne à zéro

*Traitement des données → Niveau → Fixer le zéro*

*Traitement des données → Niveau → Valeur moyenne à zéro*

Les fonctions les plus simples liées à la mise à niveau des données sont *fizer le zéro* et *valeur moyenne à zéro* qui se contentent d'ajouter une valeur constante à toutes les données afin de mettre respectivement la valeur minimale et la moyenne à zéro.

### Niveau plan

*Traitement des données → Niveau → Niveau plan*

La mise à niveau par plan est généralement la première fonction appliquée à des données SPM brutes. Le plan est calculé à partir de tous les points de l'image puis est soustrait aux données.

Si un masque est présent, le module propose de n'utiliser que les données sous le masque pour ajuster le plan, exlure les données sous le masque ou bien ignorer le masque et utiliser toutes les données.

---

**ASTUCE** Vous pouvez appliquer rapidement cette mise à niveau en faisant un clic droit dans la fenêtre des données puis en sélectionnant *Niveau plan*.

---

### Outil de mise à niveau par trois points

L'outil de mise à niveau par trois points peut être utilisé pour mettre à niveau des surfaces ayant une structure complexe. L'utilisateur peut tout simplement marquer trois points dans l'image devant être au même niveau, puis cliquer sur le bouton *Appliquer*. Le plan est calculé à partir de ces trois points puis soustrait des données.

### Mise à niveau des facettes

*Traitement des données → Niveau → Niveau des facettes*

La mise à niveau des facettes ajuste les données en soustrayant un plan de manière similaire à la fonction de mise à niveau standard. Toutefois, le plan est déterminé ici de manière différente : il rend les facettes de la surface les plus horizontales possible. Ainsi pour les surfaces ayant des zones planes horizontales le résultat obtenu sera bien meilleur que celui obtenu avec la fonction Mise à niveau, particulièrement si des objets de grande taille sont présents.

D'autre part, cette fonction n'est pas adaptée pour certains types de surface. Par exemple pour les surfaces aléatoires, les données comportant énormément de bruit spatialement très fin, ainsi que les images ne correspondant pas à une topographie car la méthode utilisée ne fonctionne pas bien si les dimensions latérales et les « hauteurs » diffèrent de plusieurs ordres de grandeur.

Tout comme pour le niveau plan, la mise à niveau des facettes permet d'inclure ou d'exclure les données sous le masque. Ce choix n'est proposé que si un masque est présent.

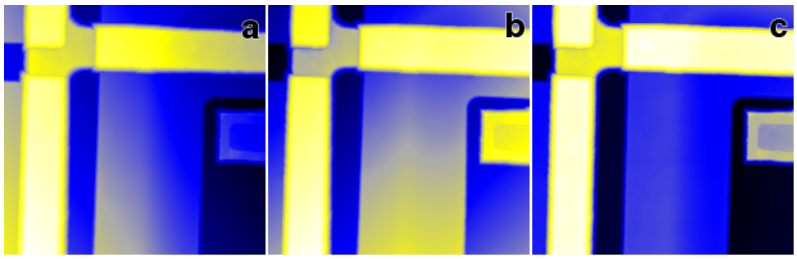
La détermination de l'orientation des facettes est un processus itératif fonctionnt de la manière suivante. Tout d'abord, la variation des normales locales est calculée :

$$\beta^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathbf{n}_i^2$$

où $\mathbf{n}_i$ est le vecteur normal de la facette locale (voir les coordonnés d'inclinaison) dans le $i$-ème pixel. Puis la normale dominante est estimée par

$$\mathbf{n} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\mathbf{n}_i \exp\left(-c\frac{\mathbf{n}_i^2}{\beta^2}\right)}{\sum_{i=1}^{N}\exp\left(-c\frac{\mathbf{n}_i^2}{\beta^2}\right)}$$

où $c = 1/20$ est une constante. Puis le plan correspondant à la normale dominante $\mathbf{n}$ est soustrait, et ces trois étapes sont répétées jusqu'à ce que le processus converge. Les pondérations gaussiennes permettent d'utiliser un seul ensemble de normales locales similaires et de converger vers leur direction moyenne. Sans ces facteurs de pondération, la procédure convergerait bien évidemment en une seule étape vers la normale moyenne globale – et serait ainsi complètement équivalente à une simple mise à niveau plane.




*Exemple de mise à niveau des facettes : (a) sans correction, les données sont penchées, (b) données mises à niveau par l'ajustement plan standard (niveau plan), (c) données mises à niveau par les facettes.*

#### Rotation de plan

*Traitement des données → Niveau → Rotation de plan*

La rotation de olan agit de manière similaire au niveau plan, mais il ne soustrait pas simplement le plan ajusté aux données. Ce module utilise les paramètres du plan ajusté et incline les données d'une certaine quantité de manière à ce qu'elles résident dans un plan. Contrairement au niveau plan, ce module doit préserver les données angulaires de l'image.

### Soustraction d'arrière-plan

Gwyddion propose plusieurs modules spécifiques de soustraction d'arrière-plan. Ceux-ci permettent tous d'extraire l'arrière-plan soustrait vers une fenêtre de données séparée.

---

**ASTUCE** Pour un contrôle encore plus fin, vous pouvez utiliser un des outils de filtrage de Gwyddion sur une image, puis utiliser le module arithmétique pour soustraire le résultat de votre image originale.

---

#### Arrière-plan polynômial

*Traitement des données → Niveau → Arrière-plan polynômial*

Ajuste les données par un polynôme d'ordre donné puis soustrait ce polynôme. Dans le mode *degrés indépendants* les ordres des polynômes vertical et horizontal peuvent être modifiés séparément, c'est-à-dire que le polynôme ajusté est

$$\sum_{j=0}^{m}\sum_{k=0}^{n} a_{j,k}x^j y^k$$

où $m$ et $n$ sont respectivement les degrés sélectionnés des polynômes vertical et horizontal. Dans le mode *degré total limité*, le polynôme ajusté est

$$\sum_{j+k\leq n} a_{j,k}x^j y^k$$

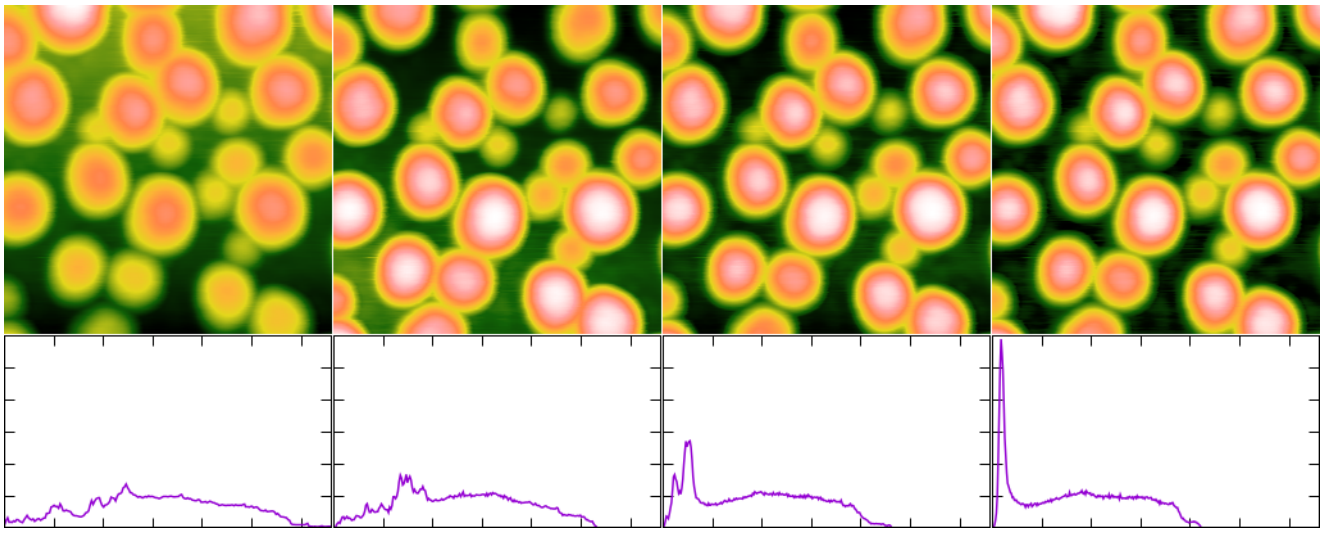
où $n$ est le degré sélectionné du polynôme.

Tout comme pour le niveau plan, la soustraction de l'arrière-plan polynômial peut inclure ou exclure les données sous le masque. Ce choix n'est proposé qu'en présence d'un masque.

#### Applanissement de la base

*Traitement des données → Niveau → Aplanir la base*

Lorsque plusieurs éléments de grande dimension sont présents sur une surface de base plane, on peut combiner masquage puis mise à niveau du plan ou des facettes et/ou par polynôme. Toutefois, plusieurs essais peuvent être nécessaires pour ajuster correctement les différents paramètres. La fonction *aplanir la base* tente de réaliser cette mise à niveau de manière automatique en utilisant une combinaison de mise à niveau des facettes et par polynôme avec un masquage automatique. Elle tente de maximiser la finesse du pic de la distribution des hauteurs correspondant à la surface plane de base.



*Exemple d'aplanissement de base : image originale, mise à niveau par les facettes, mise à niveau par plan, mise à niveau par aplanissement de la base. L'image originale est affichée avec une échelle de couleur linéaire, les images mises à niveau sont affichées avec une échelle adaptive. Le graphe ci-dessous donne pour chaque image la distribution des hauteurs correspondante (avec la même plage pour les axes).*

#### Arc de révolution

*Traitement des données → Niveau → Arc de révolution*

Les données sont mise à niveau en faisant tourner un « arc » virtuel de rayon horizontal ou vertical donné sur (ou sous) les données. L'enveloppe de cet arc est traité comme l'arrière-plan, ce qui aboutit (approximativement) à la suppression des détails de dimension supérieure à rayon de l'arc. Il est aussi possible de mettre à niveaux dans les deux directions – dans ce cas l'arc est d'abord tourné horizontalement, puis verticalement.

#### Sphère

*Traitement des données → Niveau → Sphère*

Les données sont mises à niveau par une « sphere » virtuelle de rayon donnée située au-dessus ou en-dessous des données. L'enveloppe de cette sphère est traitée comme l'arrière-plan, il en résulte la suppression des détails approximativement plus grands que le rayon de la sphère.

**Note** Cette opération peut être lente pour une sphère de grand rayon.

### Niveau médian

*Traitement des données → Niveau → Niveau médian*

Filtre les données à l'aide d'un filtre médian ayant un noyau de grande dimension et traite le résultat en tant qu'arrière-plan. Seuls les détails de dimension approximativement inférieure à celle du noyau sont conservés.

**Note** Cette opération peut être très lente pour de grands noyaux.

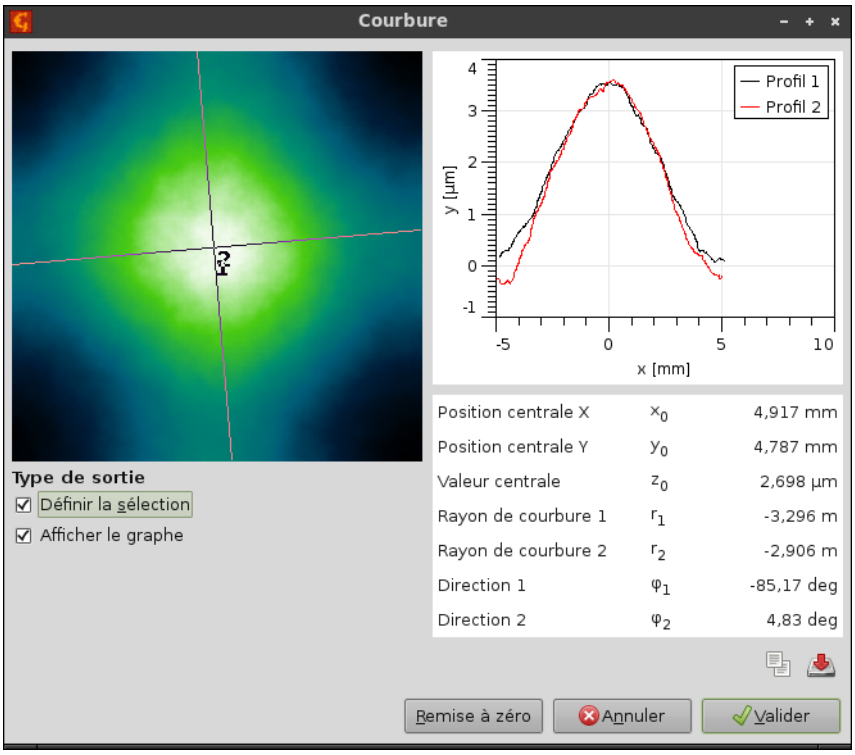
## Courbure

*Traitement des données → Niveau → Courbure*

Les paramètres de courbure de la surface globale sont calculés en ajustant un polynôme quadratique et en déterminant ses axes principaux. Des rayons de courbure de signes positifs correspondent à une surface concave (en creux), tandis que des rayon de signes négatifs correspondent à une surface convexe (en bosse), des rayons de signes différents correspondent à une surface en selle de cheval.

En plus de la table des données, il est possible d'appliquer les axes d'ajustement comme lignes de sélection sur les données et/ou directement lire les données sur ceux-ci. Le zéro des abscisses est placé à l'intersection des axes.

Comme pour les fonction de soustraction d'arrière-plan, la présence d'un masque sur les données fera que le module proposera d'inclure ou non les données sous le masque.




*Capture d'écran de la boîte de dialogue de courbure montrant la déformation importante d'une lame de verre comportant un film mince ayant une contrainte interne en compression.*

### Ajustement de forme

*Traitement des données → Mise à niveau → Ajuster une forme*

La soustraction d'une forme ainsi que la mesure de paramètres géométriques peuvent être réalisées en ajustant des formes géométriques sur les données par la méthode des moindres carrés. Le module *ajuster une forme* est pratiquement identique pour les images et les données XYZ, il est décrit en détails dans la partie consacrée au traitement des données XYZ. Seules les différences sont mentionnées ci-dessous.

Le traitement du masque est supporté pour les images, c'est-à-dire que lorsqu'un masque est présent la fenêtre du module propose d'utiliser les données sous le masque, de les exclure, ou encore d'ignorer le masque et utiliser toutes les données. Comme les pixels exclus peuvent être des points aberrants ou bien des parties de l'image ne correpondant pas à la forme choisie, il est possible d'éviter de les prendre en compte pour l'affichage de l'image de différence en désactivant la case *calculer la différence pour les pixels exclus*.

## 4.4 Masques

Les fonctions relatives aux masques peuvent être classées en trois groupes :

**Création** Les masques peuvent être créés par différentes fonctions de marquage, parmi lesquelles on trouve le marquage de grains (Marquer par seuil, Marquer par segmentation), les fonctions de marquage de défauts (Masquer les points aberrants, Marquer les défauts linéaires) et les fonctions de marquage de motifs (Masquer par corrélation, Analyse des facettes, Carte d'incertitude). En complément, quelques fonctions d'édition de masque permettent de créer des masques en partant de zéro.

Les masques sont aussi utilisés pour marquer les pixels invalides présents dans les fichiers importés depuis les formats permettant de faire la distinction entre les pixels valides ou invalides, car Gwyddion n'utilise pas la notion de pixels invalides.

**Application** De manière générale, la zone masquée est considérée comme celle étant d'intérêt, c'est-à-dire celle sur lesquelles on effectue des opérations. Cela s'applique pour les fonctions statistiques telles que l'outil de calcul des statistiques. La function supprimer les données sous le masque remplace les données situées sous le masques, tandis que l'outil de suppression des grains peut effectuer le même type de remplacement sur des grains individuels. Il existe plusieurs fonctions d'analyse des propriétés des grains, voir la section statistiques des grains.

Certaines fonctions peuvent proposer d'utiliser ou d'exclure le masque pour le calcul (ou aussi ignorer le masque), par exemple les fonctions de mise à niveau. Le choix n'est proposé que lorsqu'un masque est présent sur les données.

**Édition** Quelques fonctions de base sur les masques, par exemple l'inversion ou la suppression complète, sont disponibles dans le menu *Traitement des données* → *Masque*. On trouve parmi les fonctions plus avancées l'outil de suppression des grains et le filtrage des grains qui donnent différentes manières de supprimer des parties du masque, ainsi que l'éditeur de masque et marquer avec, orientés vers l'édition de masque.

Cette section décrit les opérations générales sur les masques n'ayant pas de lien avec une application spécifique.

## Opérations basiques

On trouve dans le menu *Traitement des données* → *Masque* les fonctions *inverser le masque*, qui désélectionne les pixels marqués et vice versa, et *supprimer le masque*, qui enlève la totalité du masque. Ces fonctions sont aussi disponibles dans l'outil d'édition du masque décrit plus bas.

La fonction *extraire le masque* crée une nouvelle image à partir du masque des données en cours d'utilisation. L'image aura une valeur de 1 pour les pixels masqués et 0 pour les autres.

Il est parfois utile de copier le masque vers de nombreuses images. Cette opération peut être réalisée à l'aide la fonction *distribuer...*. Elle peut soit copier le masque vers tous les canaux d'un fichier ou tous les canaux de tous les fichiers ouverts. La fonction évite de remplacer le masque des images cibles si la case *conserver les masques existants* est activée. Notez que le masque ne peut être copié que vers les images ayant les mêmes dimensions en pixels. Les images ayant des dimensions différentes sont ainsi automatiquement exclues.

## Éditeur de masque

L'éditeur de masque est l'outil universel de modification du masque. Il propose deux groupes de fonctions : l'édition du masque en dessinant directement dans la fenêtre de données, et les opérations sur le masque telles que l'inversion, la dilatation et l'érosion.

La modification directe du masque est contrôlée par les boutons du groupe *éditeur*. Elle peut être réalisée de deux manières : en sélectionnant les formes qui seront ensuite remplies ou effacées (en utilisant l'option *formes*), ou en faisant du dessin à la main à l'aide des outils de dessins (option *outils de dessin*).

Les boutons de la ligne *mode* définissent la manière dont les formes dessinées dans la fenêtre de données modifieront le masque :

**Définir** Le masque est défini par la forme dessinée, après avoir supprimé le masque précédemment présent.

**Ajouter** Le masque est étendu par la forme dessinée (si aucun masque n'existe celui-ci est alors créé).

**Soustraire** La forme dessinée est soustraite au masque présent. Cette fonction n'a aucun effet si aucun masque n'est présent.

**Intersection** Le masque est défini par l'intersection entre la forme dessinée et le masque déjà présent. Cette fonction n'a aucun effet si aucun masque n'est présent.

Les boutons de la ligne *forme* contrôlent la forme dessinée sur le masque. Les formes disponibles sont le rectangle, l'ellipse et la ligne.

Les outils de dessin à la main peuvent être sélectionnés avec les boutons de la ligne *outil*

**Pinceau** Dessin à la main avec un pinceau de taille définie par le paramètre *rayon*. Cette fonction peut être lente sur les ordinateurs un peu anciens ou sur les grandes images.

**Gomme** Effacement à la main avec une gomme de taille définie par le paramètre *rayon*. Cette fonction peut être lente sur les ordinateurs un peu anciens ou sur les grandes images.

**Remplir** Remplissage des parties non masquées contiguës d'une image.

**Vider** Vidage des parties masquées contiguës d'une image.

Les opérations globales sur les masques, c'est-à-dire l'inversion, la suppression et le remplissage complet des données par un masque, sont disponibles dans la ligne *actions*. On trouve parmi les opérations supplémentaires :

***Dilater*** Etend le masque du nombre de pixels défini par *quantité* sur chaque côté. Pour être plus précis, le masque est étendu d'un pixel sur chaque côté, et l'opération est répétée le nombre de fois défini par *Quantité*.

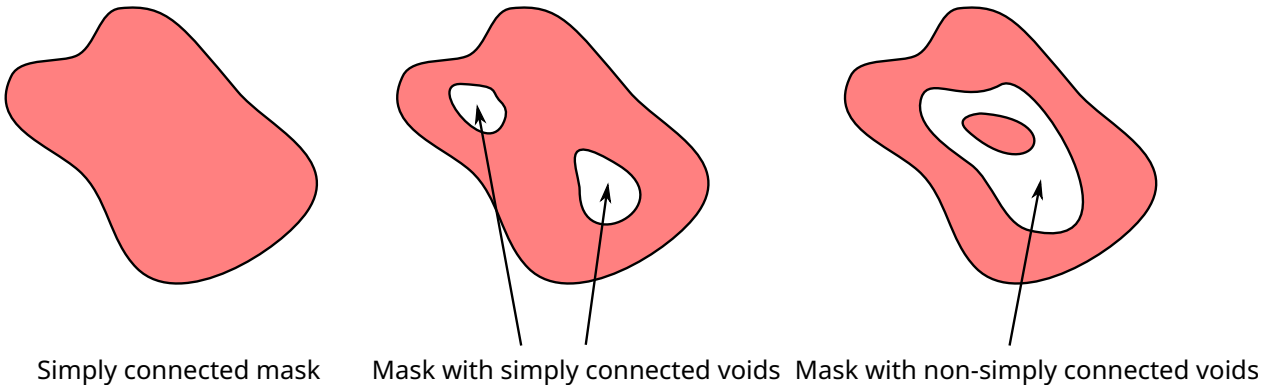
Normalement, la dilatation ne distingue pas les parties individuelles du masque. Dans le cas d'une dilatation importante, des parties peuvent se toucher et donc fusionner. Cette conséquence peut être évitée avec le paramètre *empêcher la fusion des grains lors d'une dilatation*, qui empêche que des parties du masque fusionnent si elles ne sont séparées que d'un pixel.

Lorsque le masque est fortement étendu, il devient important de définir la manière dont on mesure la distance à partir du bord du masque car cela détermine la forme vers laquelle les petits grains vont converger. Cet aspect est contrôlé par l'option *type de distance*. Les différents types sont décrits au paragraphe transformée de distance. On utilisera de préférence la distance euclidienne.

***Éroder*** Réduit le masque du nombre de pixels défini par *quantité* sur chaque côté. Pour être plus précis, le masque est réduit d'un pixel sur chaque côté, et l'opération est répétée le nombre de fois défini par *Quantité*.

L'érosion peut avoir lieu à partir des bords de l'image. Cet aspect est contrôlé par le paramètre *éroder à partir du bord*.

***Remplir les vides*** Rend les grains connectés, c'est-à-dire sans trou, en remplissant les trous présents dans ceux-ci. La case *remplir les vides à connexions multiples* permet de déterminer si uniquement les trous simples seront remplis, c'est-à-dire les trous étant eux-mêmes simplement connectés, ou tous les trous, peu importe leur topologie.




*Explication de la connectivité des vides pour* remplir les vides. *Sans l'option* remplir les vides à connexions multiples *seuls les vides dans le masque du milieu seront remplis. En activant cette option tous les vides seront remplis.*

## Marquer avec

*Traitement des données → Masque → Marquer avec*

La fonction marquer avec permet de créer ou modifier un masque à l'aide d'un autre masque ou de données de dimensions identiques. Les opérations disponibles sont les mêmes que celles de l'éditeur de masque : création, union, soustraction et intersection. La source utilisée pour l'autre masque peut être l'une des suivantes :

**Masque** Il s'agit du cas le plus simple, un masque est combiné avec un autre en utilisant les opérations logiques spécifiées.

**Données** Dans le mode données, un autre champ de données est utilisé comme masque source. Le masque est constitué des pixels se situant dans une plage de valeurs définie relativement à la plage totale de valeurs des données. Pour utiliser les pixels situés en dehors d'une certaine plage, il suffit de définir une limite haute inférieure à la limite basse.

**Présentation** Le mode présentation diffère seulement du mode données par le fait qu'une présentation est utilisée en lieu et place de données.

Il s'agit d'une exception à la règle qui dit que les présentations ne sont jamais utilisées pour des traitements ultérieurs. il peut être parfois intéressant de marquer, par exemple, les bords détectés sur les données, bien que la présentation correspondante visualise une quantité n'ayant pas de sens physique.

## Opérations morphologiques

Des opérations morphologiques classiques peuvent être appliquées sur les masques en utilisant la fonction *Traitement des données → Masque → Opération morpholgique...*. Toutes les opérations prennent le masque en premier opérande ainsi qu'un élément dit structurant en second opérande, celui-ci déterminant l'effet exact. L'élément structurant peut être choisi parmi différentes formes basiques prédéfinies (disque, octogone, carré, losange) ou défini en utilisant un autre masque.

Les formes de base sont toutes symétriques. Lorsqu'un autre masque est utilisé en tant qu'élément structurant celui-ci peut être asymétrique ou avoir des bords vides. Dans ce cas l'élément structurant aura les dimensions complètes de l'image du masque sélectionné, en incluant les bords vides. Cette image complète est considérée comme centrée. Si vous souhaitez supprimer les bords vides du masque structurant, il vous suffit d'activer l'option *tronquer les bords vides*. L'élément structurant sera alors encore considéré comme centré, mais cette fois après la suppression des bords vides.

Les opérations suivantes sont proposées :

**Érosion** l'Erosion supprime les petits détails et réduits la taille des plus gros éléments – d'une quantité et suivant une forme déterminées par l'élément structurant. Plus précisément, si l'élément structurant est placé sur un pixel du masque et qu'il est entièrement contenu dans le masque, alors le pixel du masque est conservé. Tous les autres pixels du masque sont supprimés.

**Dilatation** La dilatation remplit les petits trous et augmente la taille des éléments – d'une quantité et suivant une forme déterminées par l'élément structurant. Plus précisément, si l'élément structurant est tourné de 180 degrés et placé sur chaque pixel du masque, le résultat de la dilatation est l'union de tous ces éléments structurants décalés les uns des autres.

**Ouverture** L'ouverture est une érosion suivie d'une dilatation. La dilatation corrige l'effet de l'érosion qui précède là où le masque correspond aux éléments structurants. Au final les petites bosses et les grains qui ne correspondent pas sont supprimés, tandis que les autres sont gardés intacts. La forme du masque est ainsi nettoyée et simplifiée.

**Fermeture** La fermeture est une dilatation suivie d'une érosion. L'érosion corrige l'effet de la dilatation qui précède là où le masque correspond aux éléments structurants. Au final les petits creux et entailles qui ne correspondent pas sont supprimés, tandis que les autres sont gardés intacts. La forme du masque est ainsi simplifiée.

**Ouverture ASF** Un simple filtre d'ouverture ou de fermeture peut parfois être trop brutal pour la correction de défauts de différentes tailles. Le filtre séquentiel alternant(ASF, alternating sequential filter) consiste en une séquence de fermetures et d'ouvertures en augmentant progressivement la taille de l'élément structurant jusqu'à la valeur spécifiée. Il préserve mieux la forme des détails ne devant pas être supprimés par l'ouverture. La dernière opération de ce filtre est une ouverture.

**Fermeture ASF** Un simple filtre d'ouverture ou de fermeture peut parfois être trop brutal pour la correction de défauts de différentes tailles. Le filtre séquentiel alternant(ASF, alternating sequential filter) consiste en une séquence d'ouvertures et de fermetures en augmentant progressivement la taille de l'élément structurant jusqu'à la valeur spécifiée. Il préserve mieux la forme des détails ne devant pas être supprimés par la fermeture. La dernière opération de ce filtre est une fermeture.

## Carte de distances

La carte de distances donne pour chaque pixel sa distance par rapport au bord du grain (masque). Cette fonction est accessible dans *Traitement des données → Masque → Carte de distances*. Cette opération est, d'une certaine manière, complémentaire à la segmentation. La carte de distances peut être calculée à l'aide de la véritable distance euclidienne

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

ainsi que selon d'autres types classiques tels que la distance de Manhattan (4 voisins)

$$|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

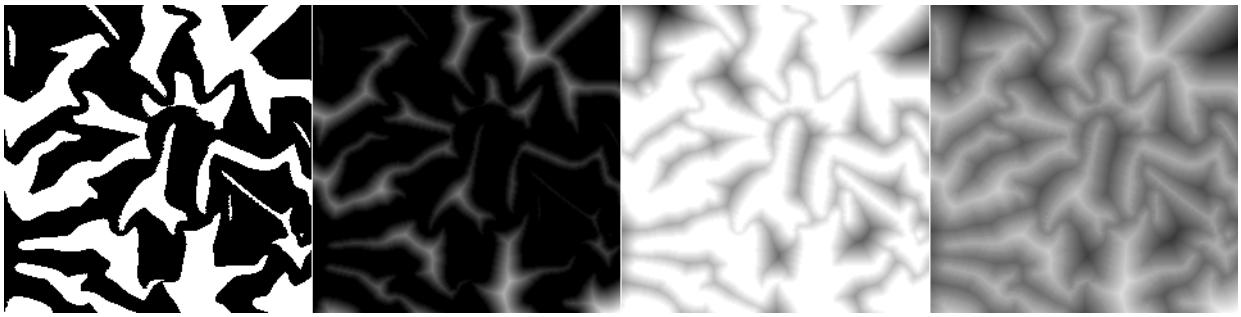
ou celle de Tchebychev (8 voisins)

$$\max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|)$$

, qui peuvent être utiles à des fins ditactiques. Plusieurs distances octogonales sont aussi disponibles, elles sont calculées en prenant alternativement les distances de Manhattan et de Tchebychev, on obtient alors les variantes 4-8 et 8-4 en fonction de la première étape utilisée. Pour terminer, la distance octogonale sans variante est aussi disponible, il s'agit de la moyenne des deux variantes précédentes.

Lorsque la carte est appliquée à l'intérieur des grains, la distance vaut zéro en-dehors de ceux-ci, et augmente vers leurs «centres». À l'inverse, elle peut être appliquée à l'extérieur des grains, dans ce cas la valeur est plus élevée pour les pixels les plus éloignés des grains. Il est aussi possible de calculer une carte signée pour les deux côtés, avec des valeurs positives à l'intérieur des grains, et négatives à l'extérieur.

L'option *éroder à partir des bords* contrôle le comportement du calcul sur les bords de l'image. Lorsqu'elle est activée, les bords de l'image sont considérés comme étant aussi les bords d'un grain (si le bord est marqué). De cette manière, les bords de l'image ne peuvent se voir attribuer une valeur élevée. En étant désactivée, les grains sont considérés comme s'étendant à l'infini en dehors de l'image. Les pixels en bord d'image peuvent dans ce cas avoir des valeurs de distance élevées.

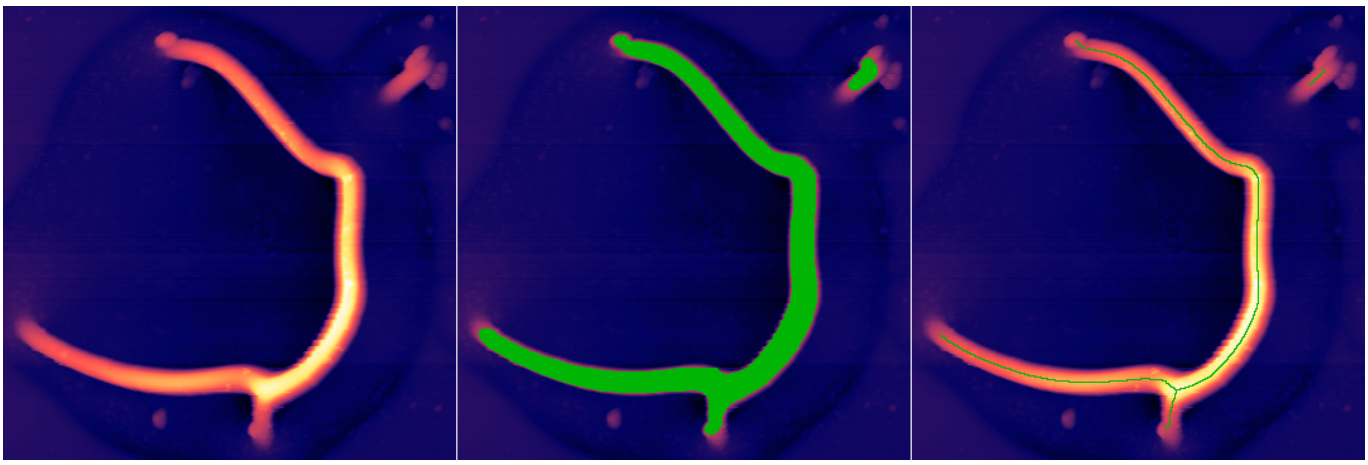


*Exemple de carte de distance euclidienne : masque source affiché en blanc sur noir, carte de distances intérieures, carte de distance extérieures (avec une échelle de gris inversée pour la comparaison), et la carte de distances signées.*

## Affinage

L'affinage est une autre opération morphologique classique. Elle est accessible dans *Traitement des données* → *Masque* → *Affiner*. Cette fonction réduit le masque à un squelette constitué de fines lignes caractéristiques de la forme globale du masque. Si le bord du masque est assez tourmenté l'affinage pourra résulter en une quantité importante de petits brins supplémentaires. Il est ainsi parfois utile d'appliquer une opération de simplification (telle qu'une ouverture ou une fermeture) avant d'appliquer l'affinage.

Notez que cette fonction ne s'applique qu'au masque. Elle n'utilise aucune information de la surface sous-jacente. Ainsi, bien que le masque affiné puisse se superposer aux crêtes ou aux vallées de parties marquées de la topographie, il ne s'agit en général que de coïncidences.



*Exemple d'affinage de masque : topographie de la flexion d'un film polymère (à gauche) ; la même image avec le masque couvrant les bosses présentes en surface (au centre) ; le même masque après affinage (à droite).*

## 4.5 Filtres

### Outil filtres basiques

L'outil filtres vous permet d'appliquer différents filtres simples sur votre image. Ceux-ci peuvent être utiles pour supprimer le bruit ; toutefois, les données mesurées seront altérées, il faut donc prendre soin de ne pas détruire certains détails important de l'image.

Tous les filtres modifient les données à partir du voisinage du pixel filtré. Pour certains la taille et la forme du voisinage est prédéterminée. Toutefois, dans la plupart des cas la taille peut être contrôlée par le paramètre *taille*. En-dehors des filtres de type gaussien (décrits plus bas), la taille détermine le diamètre du voisinage en pixels. Il est ainsi conseillé d'utiliser les filtres de taille impaire à cause de leur effet symétrique.

**valeur moyenne** La valeur filtrée correspond à la moyenne des valeurs au voisinnage du pixel original.

**Valeur médiane** La valeur filtrée correspond à la médiane des valeurs au voisinnage du pixel original.

**Débruitage conservatif** Ce filtre vérifie que la valeur n'est pas un extrême par rapport aux valeurs voisines. Les valeurs non extrêmes sont préservées, tandis que les valeurs extrêmes sont remplacées par la seconde valeur la plus haute ou la plus basse.

**Minimum** Aussi connu sous le nom de filtre d'érosion, il remplace la valeur par le minimum des valeurs voisines. Plus précisément, l'érosion est appliquée sur un disque de diamètre spécifié.

**Maximum** Aussi connu sous le nom de filtre de dilatation, il remplace la valeur par le maximum des valeurs voisines. Plus précisément, la diatation est appliquée sur un disque de diamètre spécifié.

**Ouverture** L'ouverture est une érosion suivie d'une dilatation. Les bosses sont ainsi supprimées, tandis que les surfaces lisses et les creux sont plus ou moins préservées.

**Fermeture** La fermeture est une dilatation suivie d'une érosion. Les creux sont ainsi supprimées, tandis que les surfaces lisses et les bosses sont plus ou moins préservées.

**Filtre séquentiel alternant, ouverture** Un simple filtre d'ouverture ou de fermeture peut parfois être trop brutal pour la correction de défauts de différentes tailles. Le filtre séquentiel alternant (ASF, alternating sequential filter) consiste en une séquence de fermetures et d'ouvertures en augmentant progressivement la taille du disque jusqu'à la valeur spécifiée. Il préserve mieux la forme des détails ne devant pas être supprimés par l'ouverture. La dernière opération de ce filtre est une ouverture.

**Filtre séquentiel alternant, fermeture** Ce filtre ne diffère du précédent que par l'ordre des opérations. Ici l'opération finale du filtre est une fermeture.

**Kuwahara** Le filtre de Kuwahara est un filtre de lissage préservant les bords.

**Décarèlement** Filtre de lissage spécialement conçu pour supprimer les motifs carrelés d'une image, tout en conservant les autres détails. Il s'agit d'un filtre de convolution utilisant un noyau

$$w_{\text{dechecker}} = \begin{pmatrix} 0 & 1/144 & -1/72 & 1/144 & 0 \\ 1/144 & -1/18 & 1/9 & -1/18 & 1/144 \\ -1/72 & 1/9 & 7/9 & 1/9 & -1/72 \\ 1/144 & -1/18 & 1/9 & -1/18 & 1/144 \\ 0 & 1/144 & -1/72 & 1/144 & 0 \end{pmatrix}$$

**Gaussien** Le filtre gaussien est un filtre de lissage, le paramètre de taille détermine la largeur à mi-hauteur de la gaussienne (FWHM, full width at half maximum). La relation entre la largeur à mi-hauteur et $\sigma$ est

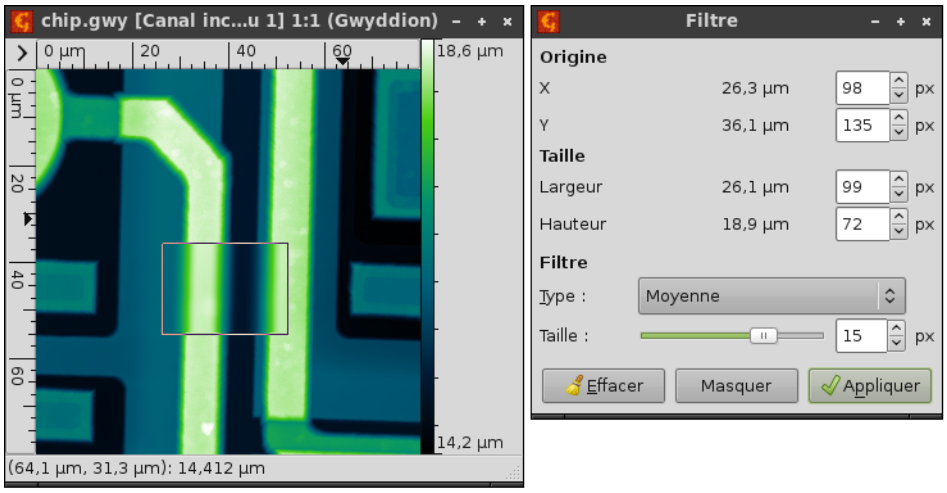
$$\text{FWHM} = 2\sqrt{2\ln 2}\,\sigma \approx 2.35482\sigma$$

**Accentuation** Filtre d'accentuation complémentaire au filtre gaussien. Il commence par adoucir l'image avec le filtre gaussien correspondant, le résultat est ensuite extrapolé en sens inverse pour estimer l'image accentuée.

Ces filtres sont appliqués par défaut à toute l'image. Vous pouvez cependant appliquer un filtre à une zone particulière en la sélectionnant au préalable avec la souris. Ceci peut être utile pour corriger des zones mal mesurées au sein d'une bonne image.

Il est aussi possible de limiter la zone à filtrer à l'aide d'un masque. Dans ce cas celui-ci détermine les pixels actifs dont les valeurs seront modifiées par le filtre. Les pixels au voisinage de la région active peuvent toutefois entrer de manière passive dans le calcul, ce qui signifie que leur valeur peut influencer le résultat.

Plusieurs filtres basiques peuvent être utilisés pour un simple débruitage ou la suppression de défauts. D'autres fonctions de marquage et de suppression de défauts sont décrits dans la section édition des données, avec par exemple le marquage des points aberrants et la suppression des données sous le masque. Des fonctions de débruitage plus avancées, tel que la transformée en ondelettes (DWT) ou le filtrage de Fourier (FFT) sont décrits dans la section correction avancée des données.




*Capture d'écran de l'outil filtre avec le filtre moyenne appliqué à une sélection rectangulaire*

### Convolution

*Traitement des Données → Transformées → Filtre de Convolution*

Des convolutions avec des noyaux allant jusqu'à $9 \times 9$ peuvent être appliquées à l'aide des filtres de convolution.

Le *diviseur* represente un facteur commun divisant tous les coefficients avant que le filtre ne soit appliqué. Ce qui permet d'utiliser des coefficients dénormalisés plus faciles à utiliser. La normalisation peut être aussi calculée automatiquement lorsque la case *automatique* est cochée. Lorsque la somme des coefficients est non nulle, la normalisation permet de rendre le filtre conservatif, c'est-à-dire que le facteur normalise la somme des coefficients à un. Lorsque la somme des coefficients est nulle, le facteur automatique devient simplement égal à un.

Comme la plupart des filtres utilisés en pratique présentent différents types de symétrie, les coefficients peuvent être automatiquement complétés selon le type de symétrie sélectionné (pair, impaire). Notez que la complétion n'a lieu qu'après avoir pressé **entrée** lors de la saisie des coefficients.

Lors de la première installation, seul un filtre identité est présent (qui n'est pas particulièrement utile vu qu'il ne fait rien). Ce filtre ne peut être modifé. Utilisez le bouton *nouveau* de l'onglet *préréglages* pour en créer un nouveau.

## 4.6 Présentations

Les modules Présentation ne modifient pas les données, ils donnent les résultats sur une couche séparée affichée par-dessus les données originales. Les autres outils et modules de traitement des données continuent à opérer sur les données sous-jacentes. Pour supprimer une présentation il suffit de faire un clic droit sur la fenêtre des données, et sélectionner *Supprimer la présentation*.

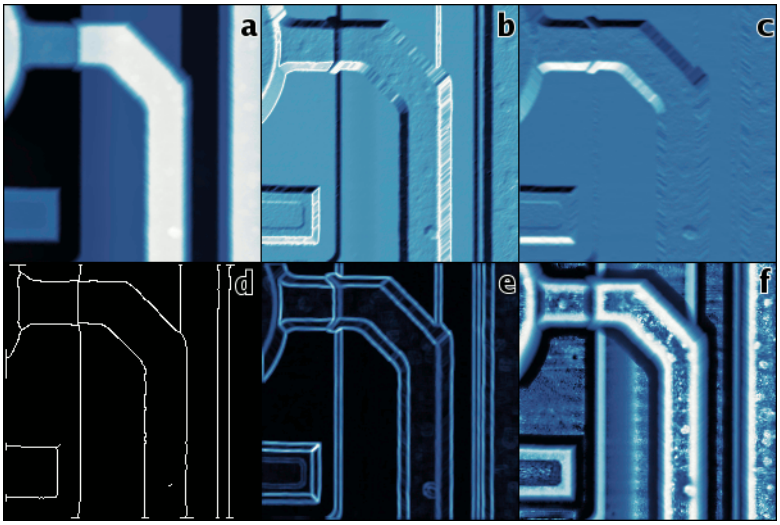
### Opérations basiques

Le menu *Traitement des données → Présentation* propose les opérations basiques de présentation :

***Attacher une présentation*** Attache un autre champ de données sous forme de présentation aux données courantes. Notez que cette option très utile peut prêter à confusion lorsqu'on évalue les propriétés des données, car celles-ci sont évaluées sur les données sous-jacentes (et non depuis celles de la présentation, même si celles-ci peuvent ressembler aux données).

***Supprimer la présentation*** Supprime la présentation de la fenêtre de données courante. Cette opération est une alternative au menu contextuel obtenu en faisant clic-droit dans la fenêtre des données.

***Extraire la présentation*** Extrait la présentation de la fenêtre de données courante vers un nouveau canal placé dans le même fichier. On peut ainsi obtenir des données de présentation que l'on pourra traiter par la suite. Notez toutefois que les données extraites n'ont aucune échelle, car les présentations permettent en général de visualiser certaines informations, auxquelles il est difficile voire impossible d'assigner une quantité physique. La plage de valeur du nouveau canal est ainsi toujours $[0,1]$.




*Exemples de présentation : (a) données originales, (b) ombre, (c) gradient Prewitt vertical, (d) détection de bord Canny, (e) détection de bord par non-linéarité locale, (f) amélioration du contraste local.*

## Ombre

*Traitement des données → Présentation → Ombre*

Fonction simple et très utile permettant de visualiser les données telles qu'elles le seraient en étant éclairées selon une direction donnée. Cette dernière peut être définie pas l'utilisateur. Il est aussi possible de mélanger l'image ombrée avec l'image originale pour des raisons de présentation. Bien évidemment, l'image résultante n'a aucune signification physique.

## Détection de gradient

*Traitement des données → Présentation → Gradient*

Les filtres des gradients Sobel et Prewitt (horizontaux et verticaux) créent des images similaires à celles obtenues avec la fonction Ombre, mais ici les données de sortie résultent de la convolution des données par des noyaux relativement standards. Elles peuvent donc être utilisées par la suite pour d'autres traitements par exemple. Les noyaux des filtres horizontaux sont donnés ci-dessous, les noyaux verticaux ne diffèrent que par une réflection autour de la diagonale principale.

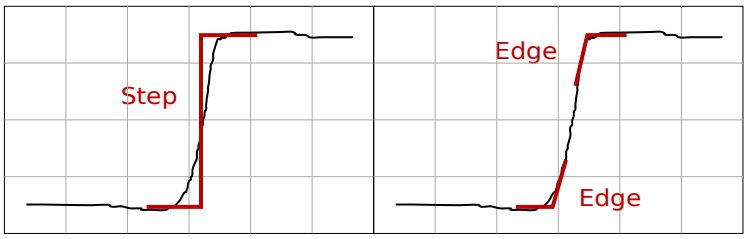
$$w_{\text{Prewitt}} = \begin{pmatrix} 1/3 & 0 & -1/3 \\ 1/3 & 0 & -1/3 \\ 1/3 & 0 & -1/3 \end{pmatrix}, \quad w_{\text{Sobel}} = \begin{pmatrix} 1/4 & 0 & -1/4 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ 1/4 & 0 & -1/4 \end{pmatrix}$$

## Détection de bord

*Traitement des données → Présentation → Détection de bord*

On porte souvent un intérêt particulier dans la visualisation des discontinuités présentes dans l'image, en particulier celles de valeur (ordre zéro) et celles de dérivée (premier ordre). Bien que les méthodes de localisation des deux sont communément qualifiées de « détection de bord », celles-ci sont en fait assez différentes, nous ferons donc référence à la première comme détection de saut, et à la seconde comme détection de bord. Les méthodes de détection des détails plus spécifiques, par exemple les coins, sont aussi couramment utilisées, celles-ci sont généralement d'ordre zéro.

L'ordre d'une méthode de détection peut être visualisé facilement sur l'image obtenue, la détection de bord produisant typiquement des lignes doubles au niveau des discontinuités de valeur, tel qu'illustré dans l'image qui suit. Bien que les positions des bords haut et bas coïncident dans un saut idéal, les données d'un véritable saut contiennent en fait deux bords distincts, tel que l'illustre l'image. De plus, la détection de deux bords sur un saut de valeur est souvent un aspect inhérent des méthodes de détection de bord.




*Comparaison entre le saut et le bord en une dimension.*

Les fonctions de détection de saut et de bord suivantes sont disponibles dans Gwyddion (les dernières sont plutôt expérimentales, mais elles donnent souvent de meilleurs résultats que les algorithmes les plus connus) :

***Canny*** Le détecteur de bord Canny est très connu, il peut être utilisé pour extraire l'image des fortes discontinuités sous forme de fines lignes larges d'un pixel.

***Laplacien d'une gaussienne*** Ce filtre est une simple convolution par le noyau suivant (il s'agit de la limite du laplacien discret d'un filtre gaussien pour $\sigma \to 0$) :

$$w_{\text{laplace}} = \begin{pmatrix} 0 & 1/4 & 0 \\ 1/4 & -1 & 1/4 \\ 0 & 1/4 & 0 \end{pmatrix}$$

***Coupure à zéro*** La détection de bord par coupure à zéro marque les lignes où le résultat du filtre laplacien d'une gaussienne change de signe, c'est-à-dire lorsqu'il coupe zéro. La largeur à mi-hauteur (FWHM) de la gaussienne détermine le niveau de détail couvert par ce filtre. Le seuil permet d'exclure les changements de signe sur de trop petites valeurs absolues des pixels voisins, ce qui permet de filtrer le bruit. Notez toutefois que pour un seuil non nul les lignes de bord peuvent devenir discontinues.

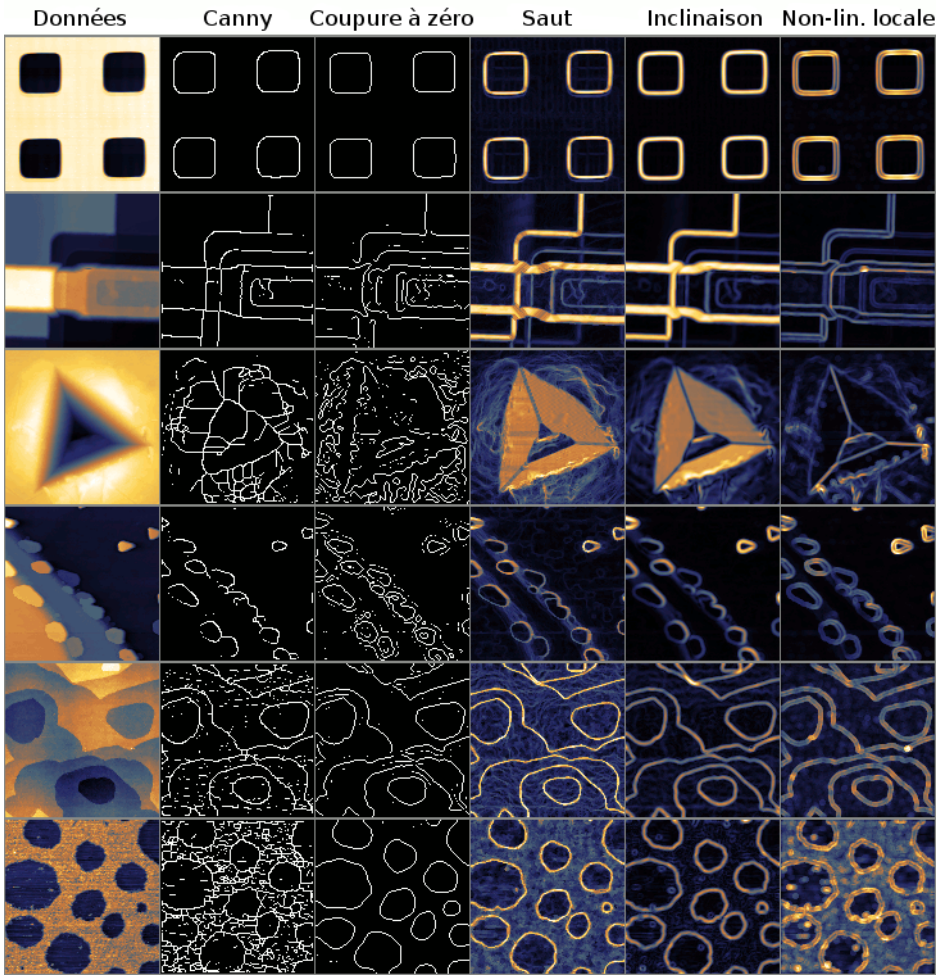
***Saut*** Algorithme de détection de saut donnant une bonne résolution, c'est-à-dire des lignes de discontinuités précises, ainsi qu'une bonne dynamique tout en étant relativement peu sensible au bruit. Le principe est assez simple : il visualise la racine de la différence entre les quantiles 2/3 et 1/3 des valeurs présentes dans un voisinage de 2,5 pixels de rayon centré autour de l'échantillon.

***RMS*** Ce détecteur de saut visualise les zones ayant de fortes variations locales. Ce filtre calcule et affiche la moyenne quadratique des écarts à la moyenne dans un voisinage circulaire de 2,5 pixels de rayon centré sur chaque échantillon.

***Bord RMS*** Cette fonction effectue essentiellement un post-traitement de la sortie RMS à l'aide d'un filtre similaire au laplacien afin de mettre en valeur les limites des zones ayant de fortes variations locales des valeurs. Malgré son nom, ce filtre est un détecteur de saut.

***Non-linéarité locale*** Détecteur de bord permettant de visualiser les zones de non planéité locales. Il ajuste un plan sur un voisinage circulaire de 2,5 pixels de rayon centré sur chaque échantillon, puis calcule la somme quadratique résiduelle de cet ajustement réduit par la pente du plan, c'est-à-dire divisé par $1 + b_x^2 + b_y^2$ où $b_x$ et $b_y$ sont respectivement les coefficients du plan dans les directions $x$ et $y$. La racine carrée est finalement affichée.

***Inclinaison*** Permet de visualiser l'angle d'inclinaison $\vartheta$ du plan local. Techniquement, cette fonction appartient aux détecteurs de saut, toutefois la mise en valeur des sauts n'est pas très forte et ce filtre est plutôt destiné à une comparaison visuelle des différentes pentes présentes dans l'image.




*Comparaison des méthodes de détection de saut et de bord sur plusieurs exemples de données. Canny et coupure à zéro sont des détecteurs de saut produisant des lignes de bord d'un pixel de large, saut et inclinaison sont des détecteurs de saut donnant des données continues, non-linéarité locale est un détecteur de bord – la détection de bord est aisément observée sur les seconde et troisième lignes. Notez que la coupure à zéro est ajustable, ses paramètres ont été choisis de manière à produire des résultats intéressants pour chaque exemple.*

## Contraste local

*Traitement des données → Présentation → Contraste local*

Méthode permettant de visualiser les détails dans les zones présentant des variations aussi bien faibles qu'élevées. Le calcul détermine la plage de valeurs locale (ou variation) autour de chaque échantillon, et l'étire de manière à égaliser cette variation sur toutes les données.

## Rang

*Traitement des données → Présentation → Rang*

Méthode alternative d'amélioration locale du contraste. Il s'agit d'un filtre égaliseur passe-haut, complémentaire du filtre médian. Chaque valeur de pixel est transformée en sa valeur de rang parmi toutes les valeurs dans un voisinage donné. Le rayon de voisinage est défini avec la *taille du noyau*.

L'effet net est que tous les maxima locaux sont égalisés à la même valeur maximale, tous les minima à la même valeur minimale, et toutes les valeurs n'étant un maximum ou un minimum sont transformées dans la plage définie en fonction de leur rang. Comme la sortie du filtre de rayon $r$ contient au plus $\pi(r+1/2)^2$ valeurs différentes (approximativement), le filtre aboutit aussi à une discrétisation des valeurs, en particulier pour les noyaux de petite taille.

## Echelle logarithmique

*Traitement des données → Présentation → Echelle logarithmique*

L'échelle logarithmique est utilisée pour la présentation des données en fausses couleurs.

### Image SEM

*Traitement des données → Présentation → Image SEM*

Cette fonction affiche un rendu similaire à une image SEM (Scanning Electron Microscope, microscope à balayage électronique) à partir d'une image topographique à l'aide d'une méthode de Monte-Carlo la plus simple possible. Pour chaque pixel de la surface un nombre de lignes partant de celui-ci sont choisies avec des directions aléatoires et une distribution gaussienne des longueurs. L'écart-type de la distribution est contrôlé par le paramètre *rayon d'intégration*. Si l'extrémité de la ligne reste dans le vide, la luminosité du pixel d'origine est augmentée. Si elle atteint de la matière, c'est-à-dire que la hauteur de la ligne se trouve sous la surface, alors la luminosité est diminuée. Il s'agit plus précisément de la description de la méthode *Monte-Carlo*. Le nombre de lignes est contrôlé par le paramètre *qualité*. De manière similaire, la même luminosité peut être calculée par l'intégration directe de tous les pixels présents dans un voisinage circulaire. Il s'agit alors de la méthode *intégration*.

Comme ce calcul plutôt simple peut tout de même prendre beaucoup de temps, il est utile de prendre en compte la dépendance entre la vitesse de calcul et les paramètres. Le temps de calcul de la méthode *intégration* ne dépend que du rayon d'intégration. Dans le cas de la méthode *Monte-Carlo*, le temps de calcul dépend essentiellement du paramètre *qualité* (il y a aussi une légère dépendance à la topographie locale).

## 4.7 Edition et Correction des données

Plusieurs modules permettent l'édition directe ou indirecte des données SPM. Dans la plupart des cas, les modules de traitement changent les données d'une manière ou d'une autre. Nous allons décrire dans cette section les modules et outils conçus quant à eux spécifiquement pour corriger des défauts locaux dans l'image. Les fonctions présentées par la suite permettent de supprimer les « mauvaise » données d'une image, puis de les remplacer à l'aide d'algorithmes d'interpolations.

### Aligner les lignes

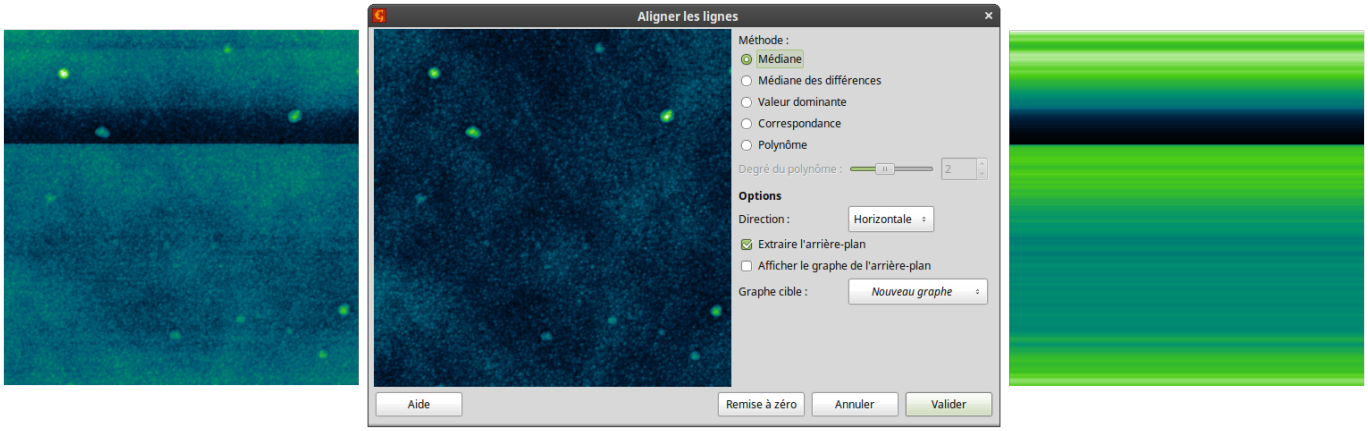
Les profils acquis le long de l'axe rapide scan (en général l'axe $x$) peuvent être décalés les uns des autres d'une certaine quantité ou bien avoir de légères différences de pente. La fonction basique de correction des lignes *Traitement des données → Correction des données → Aligner les lignes* corrige ce genre de défaut à l'aide de différents algorithmes :

— Les méthodes de correction les plus basiques sont basées sur la recherche d'une hauteur repésentative de chaque ligne et de la soustraire, déplaçant ainsi chaque ligne à la même hauteur. On y trouve par exemple la *médiane* et la *valeur dominante* qui soustraient la quantité correspondante de chaque ligne.
— La méthode *polynômiale* est similaire, sauf qu'elle soustrait un polynôme plutôt qu'une valeur constante. Avec un degré de 0, la valeur moyenne est soustraite de chaque ligne. Avec un degré de 1, ce sont les pentes linéaires qui sont soustraites, puis les courbure avec un degré de 2, etc.
— *Median difference* shifts the lines so that the median of differences (between vertical neighbour pixels) becomes zero, instead of the difference of medians. Therefore it better preserves large features while it is more sensitive to completely bogus lines.
— Pour terminer, la méthode *correspondance* minimise une fonction attribuant plus de poids aux zones planes et un poids plus faible aux zones présentant de fortes pentes. Cet algorithme est plutôt expérimental mais il peut parfois se révéler utile.

Comme pour la mise à niveau polynômiale, l'arrière-plan, c'est-à-dire les valeurs soustraites de chaque ligne, peut être extrait vers une nouvelle image ou affiché sous forme de graphe, étant donnée que la valeur est la même pour toute la ligne.

La correction des ligne tient compte des masques, permettant d'exclure des zones pouvant perturber les algorithmes. Les options du masque ne sont proposées que dans le cas où un masque est présent. Note the Les outils de mise à niveau par chemin décrits ci-dessous proposent une méthode différente de sélection des parties de l'image que l'on souhaite aligner. Cette méthode peut être plus appropriée dans certains cas.

**ASTUCE** Utilisez **Ctrl+F** (*répéter*) pour appliquer la correction des lignes avec les mêmes paramètres sur plusieurs images sans avoir à afficher la fenêtre de dialogue.




*Exemple de correction des lignes : image présentant des défauts (à gauche), fenêtre de dialogue d'alignement des lignes avec aperçu de la correction par médiane (centre), et arrière-plan extrait (à droite). Notez que l'échelle de couleur n'est pas la même sur chaque image.*

### Correction des sauts dans les lignes

La fonction de *correction des sauts dans les lignes* tente de corriger les décalages pouvant apparaître au beau milieu d'une ligne. Elle essaie d'identifier les segments désalignés dans les lignes et corrige la hauteur de chacun des segments. Cette fonction est ainsi souvent capable de corriger des données présentant des discontinuités dans une ligne. Elle est toutefois expérimentale et son fonctionnement exact est susceptible d'être modifié.

### Supprimer les points chauds

L'outil Supprimer les points chauds peut être utilisé pour supprimer de petites parties de l'image considérées comme des erreurs de mesure, des poussières ou toute autre chose n'ayant rien à faire dans les données. Notez que cette opération peut avoir une influence importance sur les paramètres statistiques des données, soyez donc certain de ne pas supprimer des données existants réellement sur la surface.

En utilisant cet outil vous pouvez sélectionner la position du point chaud et observer son voisinage dans la fenêtre d'outil. Vous pouvez ensuite sélectionner dans cette fenêtre un rectangle autour de la zone à supprimer. Vous pouvez enfin choisir l'une des méthodes d'interpolation disponibles pour recréer des données à la place de l'ancien « point chaud » :

— Applatissement hyperbolique - utilise les données des bords de la zone sélectionnée pour interpoler les données dans la zone sélectionnée.
— Pseudo-Laplace et solveur laplacien - résoud l'équation de Laplace pour calculer les données dans la zone ; le bord est traité comme une source virtuelle.
— Interpolation fractale - utilise l'image entière pour en déterminer la dimension fractale, puis essaie de créer des données aléatoires ayant la même dimension fractale et les place dans la zone sélectionnée.

L'exécution de l'algorithme se lance en cliquant sur *Appliquer*.

---

**Note** L'outil de suppression des points chauds ne fonctionnera que pour des zones inférieures ou égales à 64 × 64 pixels. Pour supprimer de plus grandes zones utilisez l' éditeur de masque, puis utilisez *Traitement des données* → *Correction des données* → *Supprimer les données sous le masque*.

---

### Suppression de grains

L'outil de suppression de grains permet de supprimer les parties continues d'un masque ou d'interpoler les données situées sous le masque, ou de faire les deux à la fois. La partie du masque à supprimer peut être sélectionnée en faisant un clic-gauche dessus..

### Supprimer les défauts linéaires

*Traitement des données* → *Correction des données* → *Supprimer les défauts linéaires*

Les défauts linéaires correspondent à des parties de l'image affectées par une errreur commune lors d'une mesure par balayage : une erreur locale de la boucle de rétroaction. Les défauts linéaires sont en général parallèle à l'axe rapide de balayage sur l'image. Cette fonction trouve et supprime automatiquement ces défauts en utilisant les lignes adjacentes pour « remplir » les espaces. Le traitement est lancé en utilisant les derniers réglages utilisés dans la fonction Marquer les défauts linéaires.

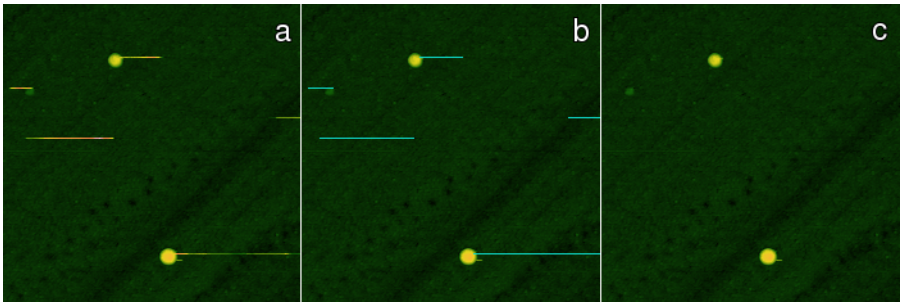
## Marquer les défauts linéaires

*Traitement des données → Correction des données → Marquer les défauts linéaires*

De manière similaire, le module `Marquer les défauts linéaires` permet de créer un masque sur les points considérés comme des défauts linéaires. Contrairement à la suppression des défauts linéaires qui interpole directement les défauts localisés, ce module vous permet d'ajuster plusieurs paramètres de manière à régler finement la sélection des défauts linéaires :

- Largeur maximale – seuls les défauts linéaires de largeur inférieure ou égale à cette valeur (en pixels) seront marqués.
- Longueur minimale – seuls les défauts linéaires de longueur supérieure ou égale à cette valeur (en pixels) seront marqués.
- Seuil dur – différence minimale des valeurs the minimum difference of the value from the neighbouring upper and lower lines to be considered a defect. The units are relative to image RMS.
- Seuil doux – values differing at least this much do not form defects themselves, but they are attached to defects obtained from the hard threshold if they touch one.
- Positif, négatif, les deux – le type de défauts à supprimer. Positif correspond aux défauts ayant des valeurs au-dessus de la normale (pics), et négatif correspond aux défauts ayant des valeurs en-dessous de la normale (trous).

Après avoir cliqué sur *Ok* le nouveau masque de défauts est appliqué à l'image. D'autres modules ou outils peuvent être utilisés pour modifier ces données.




*Exemple de marquage et suppression des défauts linéaires : (a) données originales avec défauts, (b) données avec les défauts marqués, (c) données corrigées.*

## Supprimer les données sous le masque

*Traitement des données → Correction des données → Supprimer les données sous le masque*

Cette fonction remplace les donneés situées sous le masque en résolvant l'équation de Laplace. Les données autour des zones masquées servent de conditions aux limites. La solution est calculée de manière itérative, la convergence peut donc prendre un peu de temps..

## Correction fractale

*Traitement des données → Correction des données → Correction fractale*

Le module de correction fractale, tout comme le module de suppression des données sous le masque, remplace les données situées sous le masque. Il utilise toutefois un algorithme différent pour déterminer les nouvelles données : la dimension fractale de l'image complète est tout d'abord calculée, puis les données sous le masque sont substituées par une surface aléatoire ayant la même dimension fractale. La hauteur quadratique moyenne des irrégularités (rugosité) n'est pas affectée par l'utilisation de ce module.

**Note** Ce calcul peut prendre un certain temps, soyez donc patients.

**AVERTISSEMENT** Le fait de lancer ce module sur des données n'ayant pas de propriétés fractales n'est pas du tout recommandé car cela peut aboutir à des résultats totalement irréalistes.

## Masquer les points aberrants

*Traitement des données → Correction des données → Masquer les points aberrants*

Ce module crée un masque des zones ne passant pas le critère $3\sigma$. Toutes les valeurs au-delà ou en-deçà de cet intervalle de confiance sont masquées et peuvent ensuite être éditées ou traitées par d'autres modules, par supprimer les données sous le masque. Cette méthode de marquage est utile pour les points aberrants globaux dont les valeurs sont éloignées du reste des données.

## Marquer les points déconnectés

*Traitement des données → Correction des données → Marquer les points déconnectés*

Les points aberrants locaux ont des valeurs qui ressortent de leur voisinage. La fonction *marquer les points déconnectés* marque les données ne semblant pas appartenir à la distribution des valeurs voisines.

Le type des points aberrants sélectionnés peut être *positif*, *négatif* ou *les deux*; repectivement pour les valeurs plus élevées que le voisinage, plus faibles, ou pour les deux simultanément. Notez que le fait de sélectionner *les deux* peut marquer des zones différentes de la combinaison des zones obtenues séparément avec les points aberrants positifs et négatifs.

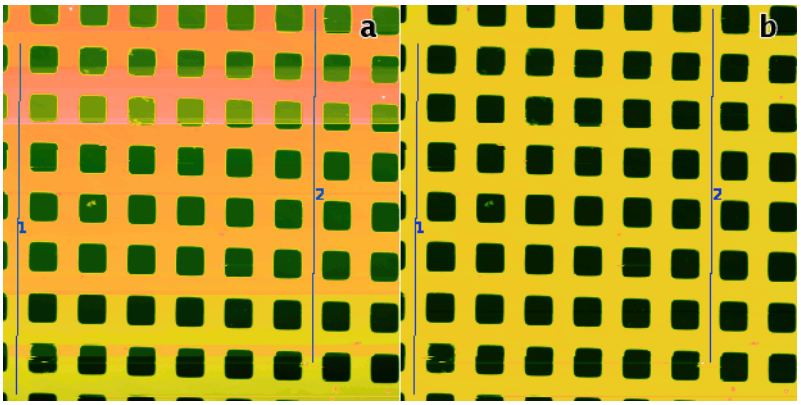
Le marquage s'effectue en soustrayant un arrière-plan local de l'image puis en marquant les points aberrants locaux dans l'image aplatie résultant de l'opération précedente. Plus précisément, l'arrière-plan local est obtenu par une ouverture (minimum), une fermeture (maximum) ou un fitre médian de rayon donné. Le rayon du filtre est contrôlé par le paramètre *rayon des défauts*. Il détermine la taille maximale des défauts qui seront trouvés et marqués. Il est toutefois souvent utile de choisir un rayon plus grand que le maximum réel des défauts.

La sensibilité du marquage des défauts est contrôlée par l'option *seuil*. Une petite valeur donnera un marquage conservatif, c'est-à-dire avec moins de valeurs marquées. Une valeur plus large aboutira à plus de points aberrants marqués.

## Outil de mise à niveau par chemin

L'outil de *mise à niveau par chemin* peut être utilisé pour corriger les hauteurs d'un groupe de lignes dans les images complexes.

On commence d'abord par sélectionner un certain nombre de lignes dans les données. Les intersections de ces lignes avec les lignes de l'image forment alors un ensemble de points dans chaque ligne utilisée pour la mise à niveau. Les lignes de l'image sont alors montées ou abaissées pour minimiser la différence de hauteur avec les points des lignes adjacentes. Les lignes de l'image n'ayant aucune intersection avec les lignes de sélection ne sont pas ajustée (par rapport aux lignes adjacentes).




*Exemple de mise à niveau par chemin : (a) données non corrigée présentant des sauts que les méthodes automatiques pourrait échouer à corriger, deux lignes de mise à niveau sont sélectionnées, (b) résultat de la mise à niveau par chemin avec une largeur de ligne de 5.*

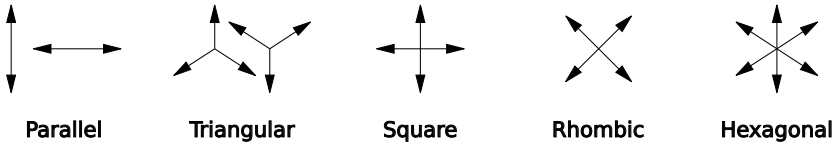
### Dérotation

*Traitement des Données → Correction des Données → Dérotation*

La dérotation permet d'ajuster automatiquement les directions principales d'une image de manière à ce qu'elles soient parallèles avec les bords horizontaux et/ou verticaux de l'image. Pour ce calcul, les données doivent présenter des directions principales, ce qui en fait une fonction utile pour les scans des structures artificielles ou cristallines.

La rotation nécessaire pour redresser l'image – affichée dans *Correction* – est calculée à partir des pics présents dans la distribution angulaire des pentes en supposant qu'il existe un type de structure ou une symétrie principale. La symétrie peut être estimée de manière automatique, mais il est aussi possible de sélectionner un type de symétrie particulier et laisser le module calculer la correction de rotation correspondante. Notez que si vous sélectionnez un type ne correspondant pas à la structure, la rotation calculée aura peut de chance d'être correcte.

Il est recommandé de commencer par mettre à niveau (ou mettre à niveau les facettes) les données, car la pente globale peut biaiser la calcul de la rotation.




*Orientations des directions principales correspondant aux types de symétrie de dérotation.*

Le type de structure supposé peut être modifié avec la sélection *Hypothèse*. Les choix suivants sont disponibles :

**Detecté** Type de symétrie détecté automatiquement, affiché ci-dessus avec *Detecté*.

**Parallèle** Lignes parallèles, une seule direction principale.

**Triangulaire** Symétrie triangulaire, trois directions principales (unilatérales) à 120 degrés.

**Carré** Symétrie carrée, deux directions principales orientées approximativement le long des côtés de l'image.

**Rhombique** Symétrie rhombique, deux directions principales orientées approximativement selon les diagonales. La seule différence avec la symétrie carrée est l'orientation diagonale (contrairement au parallélisme par rapport aux côtés).

**Hexagonal** Symétrie hexagonale, trois directions principales (bilatérales) à 120 degrés.

## 4.8 Correction avancée des données

Cette section présente certains modules conçus pour réaliser des corrections particulières des données SPM. L'utilisation des outils basiques de d'édition présentés dans le chapitre Edition et Correction des données permet de corriger la plupart des défauts locaux de scan que l'on trouve souvent sur les images de mesure SPM. Il existe aussi de nombreuses sources d'erreurs liées aux méthodes de mesure SPM aboutissant à des erreurs globales, telles que l'apparition de défauts basse-fréquence ou des dérives des données le long de l'axe lent du scan.

### Compensation de la dérive

*Traitement des données → Distorsion → Compenser la dérive*

La compensation de la dérive calcule et/ou corrige la dérive le long de l'axe rapide (horizontal) du scan. Cet effet peut être causé par des effets thermiques ou une rigidité mécanique insuffisante de l'instrument de mesure.

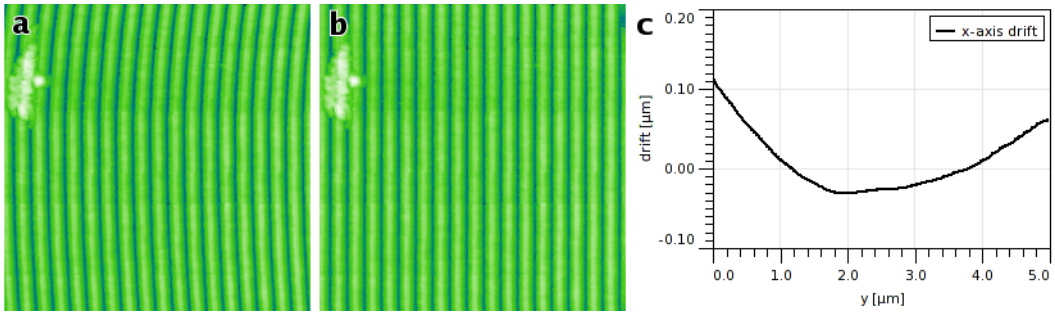
Le graphe de dérive, une des sorties possibles du module, affiche le déplacement horizontal de chaque ligne par rapport à une ligne de référence (qui peut être en principe choisi de manière arbitraire, en pratique la référence est déterminée de manière à minimiser la quantité de données sortant de l'image après compensation), avec la coordonnée $y$ de la ligne en abscisse.

La dérive est calculée en deux étapes :

1. Un décalage mutuel horizontal est estimé pour chaque couple de lignes dont la distance est inférieure à *Search range*. Il s'agit du décalage donnant la corrélation maximale entre les deux lignes. On obtient alors l'ensemble des estimations des dérives locales (ainsi qu'une valeur de corrélation maximale permettant d'évaluer leur similarité).

2. Les décalages globaux sont calculés à partir des décalages locaux. Pour l'instant la méthode utilisée est très simple mais elle semble suffisante dans la plupart des cas : les dérivées des dérives locales sont ajustées pour chaque ligne sur les estimations des dérives locales, le décalage global est ensuite obtenu par intégration (c'est-à-dire en sommant des dérives locales).

L'option *Exclure l'asymétrie lineaire* soustrait le terme linéaire du décalage calculé, ce qui peut être utile lorsque l'image est anisotrope et qu'elle contient des structures censées être orientés selon une direction non parallèle aux bords de l'image.




*Exemple de correction de dérive : (a) données originales montrant une forte dérive selon l'axe rapide de scan, (b) données corrigées, (c) courbe de dérive calculée.*

## Distorsion affine

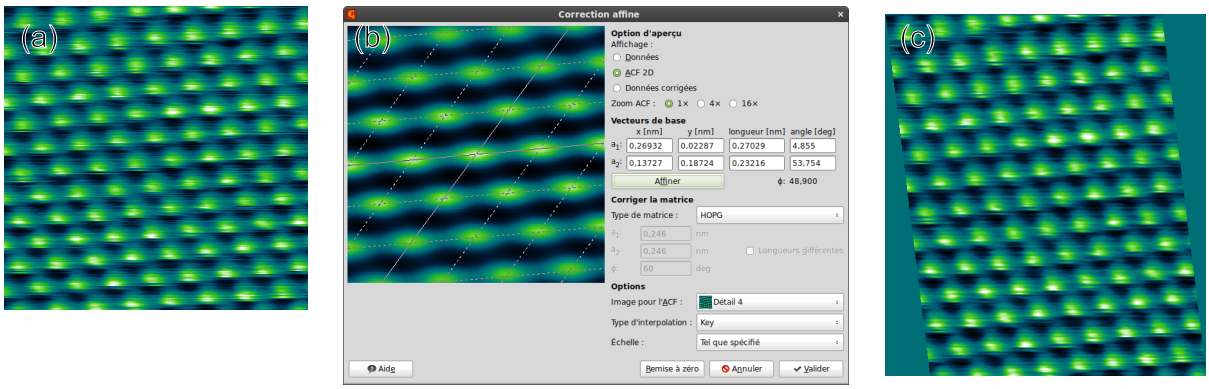
*Traitement des données → Distorsion → Distorsion affine*

La distorsion affine dans le plan horizontal provoquée par une dérive thermique est assez courante dans les mesures STM. Si l'image contient une structure régulière, par exemple un réseau atomique dont les paramètres sont connus, on peut facilement corriger la distorsion à l'aide de cette fonction.

La correction de la distorsion affine nécessite d'abord de sélectionner le réseau distordu dans l'image. Cette opération est réalisée en déplaçant à la souris la sélection du réseau sur l'aperçu jusqu'à ce qu'elle corresponde aux motifs réguliers présents dans l'image. Pour les images de réseau réguliers, il est en général plus aisé de sélectionner le réseau sur l'image de la fonction d'autocorrélation (*2D ACF*). De plus, seule une correspondance approximative est nécessaire dans ce cas. Le bouton *Raffiner* permet ensuite d'ajuster les vecteurs du réseau sur les maxima d'autocorrélation, avec une précision inférieure au pixel.

Dans le cas où les lignes de scan contiendraient une grande quantité de bruit haute fréquence, l'ACF horizontale (ligne du milieu dans l'image de l'ACF) peut être elle aussi assez bruitée. Dans ce cas il est préférable de l'interpoler à partir des lignes adjacentes en activant l'option *Interpoler l'ACF horizontale*.

Les longueurs correctes des vecteurs du réseau $a_1$ et $a_2$ et l'angle $\varphi$ entre eux, entrés dans la fenêtre de dialogue, déterminent la transformation affine à appliquer. Quelques valeurs communes (telles que celles d'une surface en graphite HOPG) sont prédéfinies, mais il est possible d'entrer des valeurs arbitraires).




*Exemple de correction affine : (a) image originale affectée d'une distorsion affine, (b) fenêtre de dialogue de correction avec le réseau sélectionné sur la fonction d'autocorrélation bi-dimensionnelle, (c) image corrigée.*

Notez que la méthode de correction décrite plus haut aboutit à la perte des échelles latérales car celle-ci est alors complètement déterminée par les vecteurs corrects du réseau. Il s'agit généralement de la meilleure option pour les images STM dont les réseaux sont connus, toutefois elle peut s'avérer peu pratique dans certains cas. La fenêtre de dialogue propose ainsi trois choix de mise à l'échelle :

***Tel que spécifié*** Les vecteurs du réseau de l'image corrigée auront les longueurs et l'angle spécifiés. L'échelle de l'image originale est complètement perdue.

***Conserver l'aire*** Les vecteurs du réseau de l'image corrigée auront le même rapport des longueurs et l'angle. Toutefois, l'échelle globale est calculée de manière à ce que la transformation affine préserve l'aire de l'image.

***Conserver l'échelle X*** Les vecteurs du réseau de l'image corrigée auront le même rapport des longueurs et l'angle. Toutefois, l'échelle globale est calculée de manière à ce que la transformation affine préserve l'échelle selon l'axe $x$ de l'image originale. Il s'agit d'un traitement de l'échelle analogue à celui de la compensation de la dérive.

Cette fonction peut aussi corriger une image en utilisant l'ACF calculée à partir d'une autre image (par exemple un canal différent provenant d'une même mesure) ou bien appliquer la correction à toutes les images du fichier. La première possibilité peut être faite en sélectionnant une image différente dans l'option *Image pour l'ACF*. La transformation affine sur toutes les images d'un fichier est faite en activant *Appliquer à toutes les images compatibles*. Les deux possibilités nécessitent que les autres images soient compatibles avec l'image courante, c'est-à-dire qu'elles aient des dimensions identiques en termes de pixels et de valeur.

## Distorsion polynômiale

*Traitement des données → Distorsion → Distorsion polynômiale*

Une distorsion dans le plan horizontal peut être corrigée ou créée à l'aide la distorsion polynômiale. Cet outil effectue des transformée pouvant être exprimées sous la forme

$$x_{\text{prcdent}} = P_x(x_{\text{nouveau}}, y_{\text{nouveau}}),$$
$$y_{\text{prcdent}} = P_y(x_{\text{nouveau}}, y_{\text{nouveau}}),$$

où $P_x$ et $P_y$ sont des polynômes pouvant atteindre le troisième ordre et utilisant des coefficients définis par l'utilisateur. Notez la direction de la transformation des coordonnées – la direction inverse ne garantirait pas une fonction non équivoque.

Les coefficients du polynôme sont sans unité, c'est-à-dire que les plages de coordonnées sont toujours [0, 1]. Si la case *Mise à jour automatique* est activée, la touche **Entrée** après la saisie d'un coefficient (ou simplement le déplacement vers une autre case) mettra à jour la prévisualisation du résultat.

## Redressement de chemin

*Traitement des données → Distorsion → Redresser un chemin*

L'extraction de données le long d'éléments circulaires, de marches courbes ou de toute autre chemin arbitraire peut être une étape utile avant une analyse plus poussée. La fonnction *redresser un chemin* crée une nouvelle image en « redressant » l'image de départ prise le long d'un chemin défini par un ensemble de points sur l'image de base.

Les points définissant le chemin peuvent être choisis sur l'aperçu. Chaque point de contrôle peut être déplacé à l'aide de la souris. Un clic sur un espace vide ajoutera un nouveau point connecté à l'extrémité la plus proche du chemin. Chaque point peut être supprimé en le sélectionnant dans la liste présente sur le côté gauche de la fenêtre de dialogue, puis en pressant la touche **supprimer**.

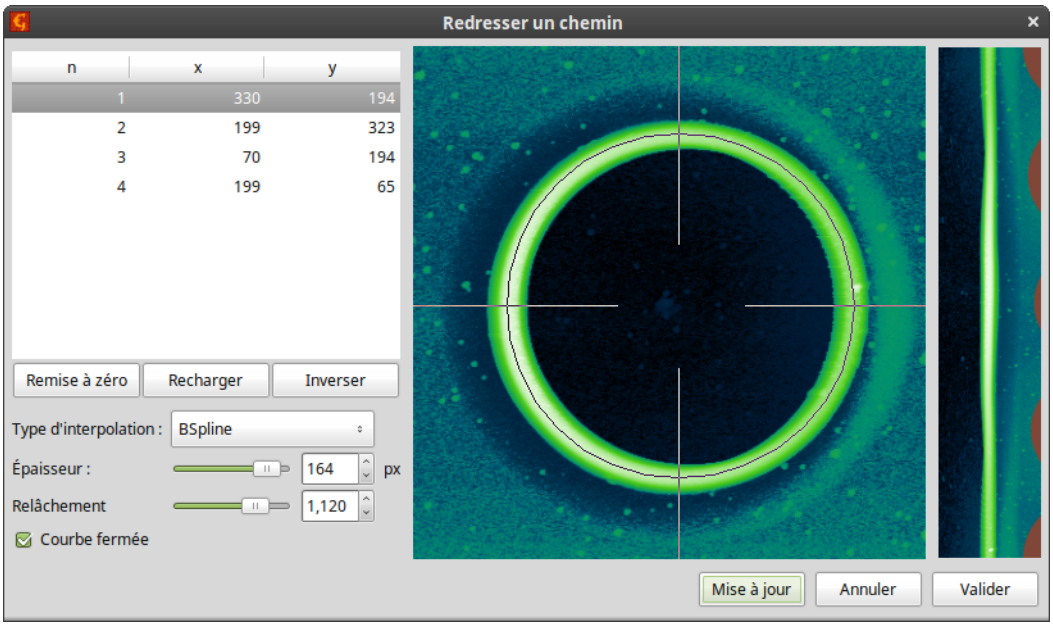
La forme de la zone extraite est contrôlée par les paramètres suivants :

***Épaisseur*** Largeur de l'image extraite, indiquée par des graduations perpendiculaires au chemin. Il s'agit de la largeur utile, c'est-à-dire que la distance entre un côté et le chemin vaut la moitié de l'épaisseur.

***Relâchement*** Paramètre influençant la forme du chemin entre les points de contrôle. On peut la visualiser comme étant le relâchement d'une corde connectant les points. Avec une valeur nulle la corde est tendue et le chemin est formé de segments droits. L'augmentation du relâchement implique une moindre tension dans la corde, jusqu'à une valeur unitaire indiquant une corde sans tension. Au-delà de un, le relâchement correspond à une longueur de corde en excès, aboutissant à un effort en compression sur la corde.

***Courbe fermée*** En activant cette option on ferme le chemin, permettant ainsi l'extraction de formes circulaires (par exemple). Inactivée, cette option donnera un chemin avec deux extrémités.

Pour certaines combinaisons de forme et d'épaisseur, il est possible que l'image résultante contienne des régions situées en dehors de l'image originale. De telles régions sont masquées et remplies par une valeur neutre dans l'image de sortie.




*Exemple de redressement de chemin, montrant l'extraction de données le long d'un chemin circulaire fermé. La partie gauche de la fenêtre de dialogue affiche les coordonnées des points définissant le chemin ainsi que les options de la fonction, la partie du milieu affiche le chemin slectionné (avec des marques perpendiculaires donnant l'épaisseur), et la partie droite donne un aperçu des données redressées.*

## Extraction de chemin

*Traitement des données → Distorsion → Extraire un chemin*

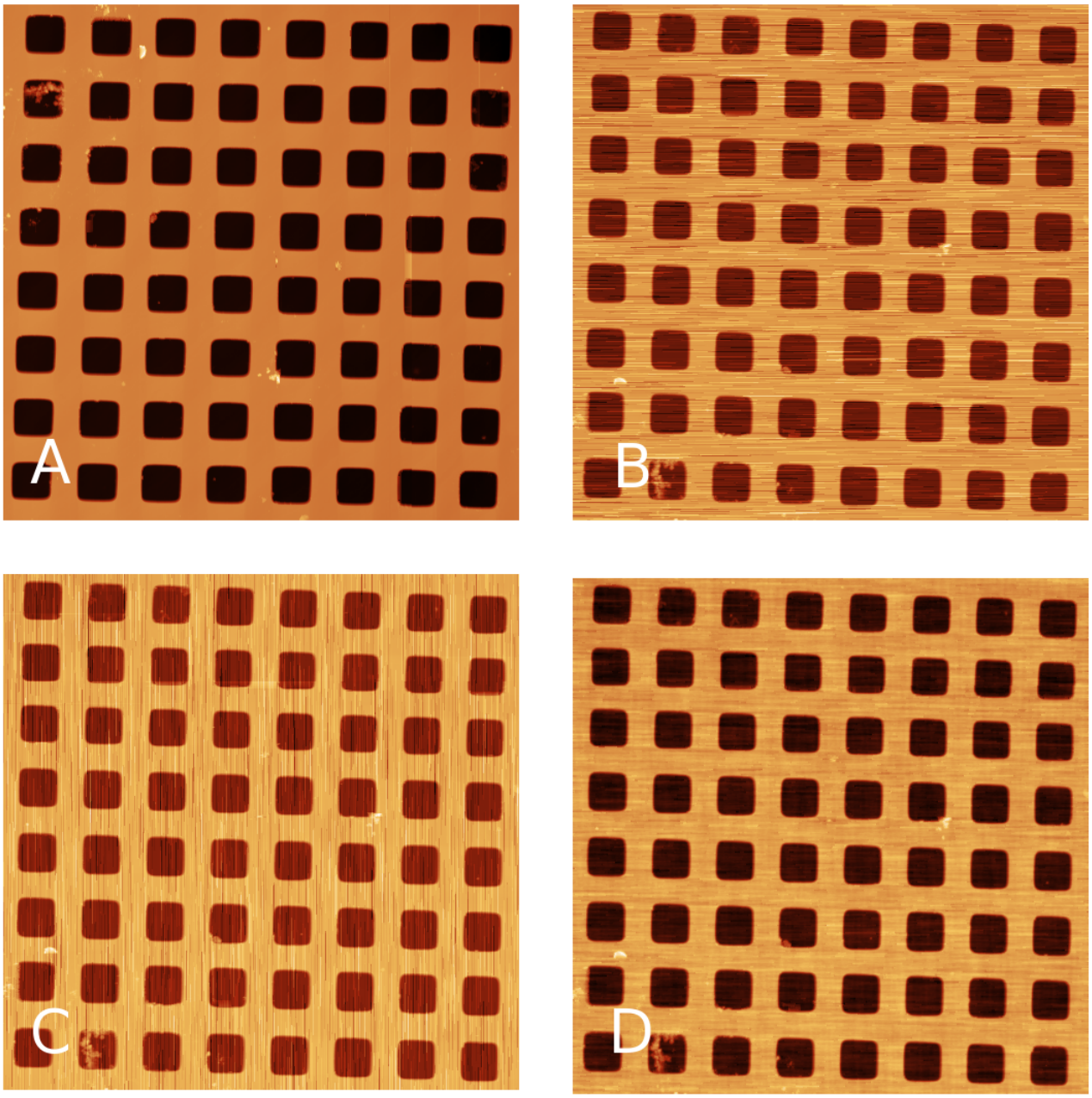
La fonction redresser le chemin enregistre le chemin et ses données de manière à ce qu'ils puissent être rappelés plus tard. Si vous avez besoin des coordonnées et/ou des directions correspondant à l'image redressées pour des analyses complémentaires, vous pouvez utiliser la fonction *extraire le chemin*.

La fonction affiche sous forme de graphes les coordonnées réelles ou les tangentes au chemin, c'est-à-dire les cosinus et sinus des directions. Les coordonnées sont sélectionnées avec *position X* et *position Y* ; les directions avec *tangente X* et *tangente Y*. Le nombre de points sur chaque graphe est identique au nombre de lignes de l'image créée lors du redressement de chemin, et il y a une correspondance point à point entre les lignes et les points des courbes.

## Débruitage XY

*Traitement des données → Multidonnées → Débruitage XY*

Calcule une image débruitée en se basant sur deux mesures de la même zone – l'une réalisée selon la direction x et l'autre selon y (puis tournée de manière à être alignée avec l'image x). Le calcul est basé sur les travaux de E. Anguiano et M. Aguilar (voir [1]). Le module calcule la transformée de Fourier des deux images, combine leurs informations dans l'espace réciproque, puis applique la transformée inverse pour obtenir l'image débruitée. Cette fonction est utile pour la suppression des défauts linéaires et des artefacts le long de l'axe rapide de scan.




*Simulation de la procédures de débruitage XY : A) données initiales, B) mesure simulée selon l'axe x, C) mesure simulée selon l'axe y, D) image débruitée.*

### Références

[1] E. Anguiano and M. Aguilar, Ultramicroscopy, 76 (1999) 47

## 4.9 Analyse statistique

L'analyse de surfaces rugueuses nécessite généralement une approche statistique afin de déterminer certains caractéristiques représentatives. Gwyddion propose différentes manières d'effectuer cette analyse. Cette section présente les différents outils et modules statistiques présents dans Gwyddion, et donne aussi les équations de base utilisées pour développer les algorithmes mis en œuvre.

Les données de microscopie à balayage sont généralement représentées par des champs de données à deux dimensions de taille $N \times M$, où $N$ et $M$ sont respectvement les nombres de lignes et de colonnes du champ de données. La surface réelle est notée

$L_x \times L_y$ où $L_x$ et $L_y$ sont les dimensions le long des axes respectifs. L'échantillonnage (distance entre deux points adjacents du balayage) est noté $\Delta$. On suppose que l'échantillonnage est identique selon les directions $x$ et $y$, et que la hauteur de la surface à point $(x,y)$ donné peut être décrit par une fonction aléatoire $\xi(x,y)$ ayant certaines propriétés statistiques.

Notez que les données AFM sont généralement acquises selon des lignes le long de l'axe $x$, et que celles-ci sont ensuite concaténées pour former l'image en deux dimensions. La vitesse de balayage selon la direction $x$ est par conséquent bien plus élevée que selon la direction $y$. Il en résulte que les propriétés statistiques des données AFM sont généralement calculées pour des profils selon $x$ car ceux-ci sont moins affectés par le bruit de basse fréquence et les variations thermiques de l'échantillon.

## Outil statistiques

On trouve parmi les quantités statistiques les propriétés basiques des hauteurs telles que la variance, l'asymétrie et le kurtosis. Les quantités accessibles dans Gwyddion à l'aide de l'outil *statistiques* sont les suivantes :

- Valeurs moyenne, minimale, maximale et médiane.
- Valeur RMS des irrégularités de la surface : cette quantité est calculée à partir de la variance des données.
- Valeur RMS des grains, qui ne diffère du RMS habituel que dans le cas où un masque est utilisé. La valeur moyenne est alors déterminée pour chaque grain (parties contiguës du masque ou de l'inverse du masque, en fonction du type de masque) et la variance est calculée à partie des valeurs moyennes des grains.
- Valeur $R_a$ des irrégularités de hauteur : cette valeur est similaire à la valeur RMS, elle ne diffère que dans l'exposant (puissance) dans la somme de la variance des données. Dans le cas du RMS l'exposant est $q = 2$, la valeur $R_a$ est calculée avec l'exposant $q = 1$ et la valeur absolue des données (moyenne nulle).
- Asymétrie de la distribution des hauteurs : calculée à partir du moment d'ordre 3 des données.
- Kurtosis de la distribution des hauteurs : calculée à partir du moment d'ordre 4 des données.
- Surface et surface projetée : calculées par simple triangulation.
- Inclinaison moyenne des facettes : calculée en moyennant les vecteurs normaux des facettes.
- Variation : calculée par l'intégrale des valeurs absolues du gradient local.
- Entropie différentielle estimée de la distribution des valeurs, calculée à partir de l'histogramme, tel que décrit dans la partie fonction d'entropie. Elle est affichée en unité naturelle d'information (nat).

**ASTUCE** L'outil statistiques affiche par défaut les données en se basant sur l'image entière. Si vous ne souhaitez analyser qu'une partie de l'image il suffit de sélectionner celle-ci dans la fenêtre des données. La fenêtre de l'outil mettra automatiquement à jour les nouvelles données basées sur la zone sélectionnée. Si vous souhaitez obtenir les statistiques de l'image entière, il suffit de cliquer une seule fois sur l'image, et l'outil se réinitialisera.

Les valeurs de RMS ($\sigma$), asymétrie ($\gamma_1$), et kurtosis ($\gamma_2$) sont calculées à partir des moments de $i$-ième ordre $\mu_i$ selon les formules suivantes :

$$\sigma = \mu_2^{1/2}\,, \quad \gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}\,, \quad \gamma_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3$$

L'aire d'une surface est évaluée selon la méthode suivante. Soient $z_i$ pour $i = 1,2,3,4$ les valeurs pour quatre points voisins (les centres des pixels), et $h_x$ et $h_y$ les dimension du pixel selon les axes correspondant. Si on ajoute un point au centre du rectangle, ce qui correspond au point commun aux quatres pixels (en utilisant la moyenne des valeurs des pixels), on forme quatre triangles et l'aire de la surface peut être approximée par la somme de leurs aires. On obtient les formules suivantes pour l'aire d'un triangle (en haut) et l'aire d'un pixel (en bas) :

$$A_{12} = \frac{h_x h_y}{4}\sqrt{1 + \left(\frac{z_1 - z_2}{h_x}\right)^2 + \left(\frac{z_1 + z_2 - 2\bar{z}}{h_y}\right)^2}$$

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$$

La méthode est correctement définie pour les pixels intérieurs de la région analysée. Chacune des valeurs participe à huit triangles, deux pour chacune des quatre valeurs voisines. La moitié de chacun de ces triangles se trouve sur un pixel, l'autre moitié sur un autre pixel. En comptabilisant l'aire présente sur chaque pixel, l'aire totale est aussi définie pour les grains et les zones masquées. Il reste maintenant à définir l'aire pout les pixels du bord du champ de donné. Cette opération est étendant virtuellement l'image par une copie des pixels de bord sur chaque côté, rendant ainsi tous les pixels de l'image initiale à l'intérieur de la zone d'intérêt.

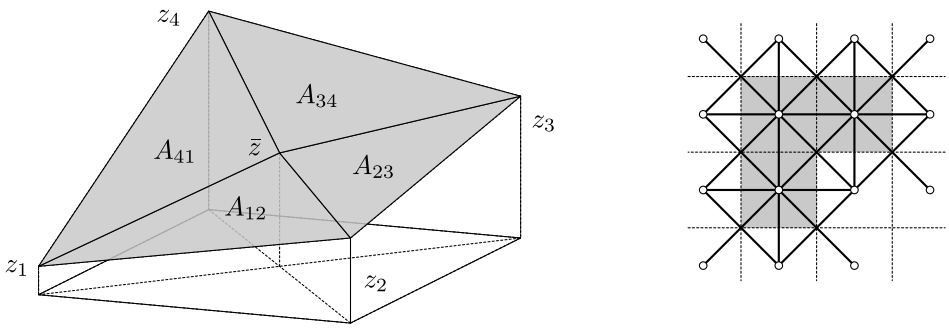



*Schéma de triangulation pour le calcul d'aire (à gauche). Application de ce schéma sur un zone marquée de trois pixels (à droite), un grain par exemple. Les petits cercles représentes les vertex $z_i$ des centres des pixels, les lignes en pointillés représentent les bords des pixels, tandis que les lignes continues matérialisent la triangulation. L'aire estimée est ici égale à l'aire couverte par le masque (en gris).*

## Outil d'analyse des fonctions statistiques

Les fonctions statistiques uni-dimensionnelles sont accessibles en utilisant l'outil *fonctions statistiques*. L'outil vous permet de sélectionner la fonction à évaluer en utilisant la liste déroulante sur la gauche de la fenêtre. La prévisualisation du graphe est automatiquement rafraîchie. Vous pouvez sélectionner la direction à analyser (horizontale ou verticale), mais là encore il est préférable d'utiliser la direction du balayage rapide. Vous pouvez aussi choisir la méthode d'interpolation à utiliser. Une fois les réglages réalisés, vous pouvez cliquer sur *appliquer* pour fermer la fenêtre de l'outil et obtenir une nouvelle fenêtre de graphe contenant les données statistiques.

**ASTUCE** De la même manière que l'outil statistiques, cet outil évalue par défaut les fonctions sur l'image entière, mais vous pouvez là aussi sélectionner une région de l'image.

### Distributions des hauteurs et des angles

Les distributions des hauteurs et des pentes sont les fonctions les plus simples. Elles peuvent être calculées de manière non cumulative (i.e les densités), ou cumulative. Ces fonctions sont calculées sous forme d'histogrammes normalisés des hauteurs ou des pentes (obtenues à partir des dérivées selon la direction sélectionnée – horizontale ou verticale). En d'autres termes, les valeurs données en abscisse pour la « distribution angulaire » correspondent aux tangentes des angles, et non aux angles eux-mêmes.

La normalisation des densités $\rho(p)$ (où $p$ est la quantité correspondante, la hauteur ou la pente) est telle que

$$\int_{-\infty}^{\infty} \rho(p)\,\mathrm{d}p = 1$$

Bien évidemment, l'échelle des valeurs est alors indépendante du nombre de points et du nombre de classes de l'histogramme. Les distributions cumulatives correspondent aux intégrales des densités et leurs valeurs sont dans l'intervalle $[0,1]$.

### Quantités de premier et de second ordre

Les distributions des hauteurs et des pentes sont des quantités statistiques de premier ordre, elles ne décrivent que les propriétés statistiques des points individuels. Pour un description complète des propriétés de la surface il est nécessaire d'étudier des fonctions d'ordre supérieur. On emploie en général des quantités statistiques de second ordre donnant les relations mututlles entre deux points de la surface. On trouve parmi ces quantités la fonction d'autocorrélation, la fonction de corrélation hauteur-hauteur et la densité spectrale de puissance. Une description de chacune de ces fonctions est donnée ci-dessous :

### Fonction d'autocorrelation (ACF)

La fonction d'autocorrélation est donnée par

$$\begin{aligned} G(\tau_x,\tau_y) &= \iint_{-\infty}^{\infty} z_1 z_2 w(z_1,z_2,\tau_x,\tau_y)\,\mathrm{d}z_1\,\mathrm{d}z_2 \\ &= \lim_{S\to\infty}\frac{1}{S}\iint_S \xi(x_1,y_1)\,\xi(x_1+\tau_x,y_1+\tau_y)\,\mathrm{d}x_1\,\mathrm{d}y_1 \end{aligned}$$

où $z_1$ et $z_2$ sont les valeurs des hauteurs aux points $(x_1, y_1)$, $(x_2, y_2)$ ; on a de plus, $\tau_x = x_1 - x_2$ et $\tau_y = y_1 - y_2$. La fonction $w(z_1, z_2, \tau_x, \tau_y)$ décrit la densité de probabilité bi-dimensionnelle de la fonction aléatoire $\xi(x, y)$ correspondant aux points $(x_1, y_1)$, $(x_2, y_2)$, et la distance entre ces points $\tau$.

On peut évaluer cette fonction à partir de données AFM discrètes avec

$$G(m,n) = \frac{1}{(N-n)(M-m)} \sum_{l=1}^{N-n} \sum_{k=1}^{M-m} z_{k+m,l+n} z_{k,l}$$

où $m = \tau_x/\Delta x$, $n = \tau_y/\Delta y$. La fonction peut ainsi être évaluée par une série de valeurs discrètes $\tau_x$ et $\tau_y$ séparées respectivement par les intervalles d'échantillonnage $\Delta x$ et $\Delta y$. La fonction d'autocorrélation bi-dimensionnelle peut peut être lancée par *Traitement des données → Statistiques → Autocorrélation 2D*. Notez que, contrairement au cas uni-dimensionnel, les données sont censées avoir été mises à niveau au préalable, avec un niveau zéro correctement défini. La fonction d'*autocorrélation 2D* n'effectue aucune mise à niveau. Cela vous laisse plus de contrôle sur les données et peut s'avérer utile dans certains cas. Toutefois, si vous êtes plus intéressés par le meilleur contraste de l'ACF plutôt que des valeurs bien définies, vous serez certainement intéressés par l'utilisation de la fonction valeur moyenne à zéro au préalable.

Pour les mesures AFM, on évalue généralement la fonction d'autocorrélation uni-dimensionnelle basée uniquement sur les profils pris le long de l'axe rapide de balayage. On peut dès lors l'évaluer sur les données avec

$$G_x(m) = G(m,0) = \frac{1}{N(M-m)} \sum_{l=1}^{N} \sum_{k=1}^{M-m} z_{k+m,l} z_{k,l}$$

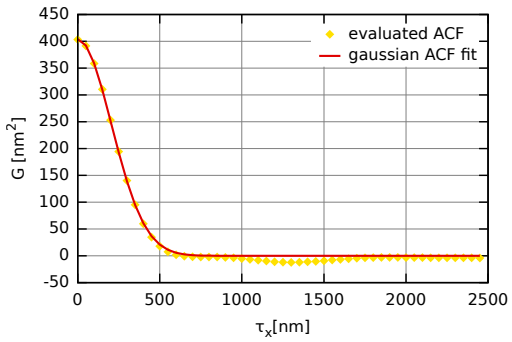
La fonction d'autocorrélation uni-dimensionnelle est souvent de forme gaussienne, c'est-à-dire qu'elle peut être donnée par la relation suivante :

$$G_x(\tau_x) = \sigma^2 \exp(-\tau_x^2/T^2)$$

où $\sigma$ correspond à l'écart quadratique des hauteurs et $T$ correspond à la longueur d'autocorrélation.

Nous avons la relation suivante pour la fonction d'autocorrélation exponentielle :

$$G_x(\tau_x) = \sigma^2 \exp(-\tau_x/T)$$




*Fonction d'autocorrélation obtenue pour une surface aléatoire gaussienne artificielle (c'est-à-dire avec ayant une fonction d'autocorrélation gaussienne) avec $\sigma \approx 20\,\mathrm{nm}$ et $T \approx 300\,\mathrm{nm}$.*

On peut aussi présenter la fonction d'aucorrélation radiale $G_r(\tau)$, c'est-à-dire la fonction d'autocorrélation bi-dimensionnelle moyennée angulairement, qui contient évidemment la même information que la fonction d'autocorrélation uni-dimensionnelle pour les surfaces isotropes :

$$G_r(\tau) = \int_0^{2\pi} W(\tau\cos\varphi, \tau\sin\varphi)\,\mathrm{d}\varphi$$

**Note** Concernant les mesures optique (la spectroscopie à interférence réflectométrique ou l'ellipsométrie par exemple) la fonction d'autocorrélation gaussienne concorde généralement assez bien avec les propriétés de la surface. Toutefois certains articles traitant de la croissance ou de l'oxydation de surfaces postulent que la forme exponentielle est plus fidèle à la réalité.

#### Fonction de corrélation hauteur-hauteur (HHCF)

La différence entre la fonction de corrélation hauteur-hauteur et la fonction d'autocorrélation est très mince. Comme pour la fonction d'autocorrélation, on somme le produit de deux valeurs. Pour la fonction d'autocorrélation ces valeurs représentent les distances entre les points. Dans le cas de la fonction de corrélation hauteur-hauteur, on utilise le carré des différences entre les points.

Dans le cas des mesures AFM on évalue généralement la fonction de corrélation hauteur-hauteur uni-dimensionnelle basée sur les profils pris le long d'axe rapide de balayage. On peut dès lors l'évaluer sur les données avec

$$H_x(\tau_x) = \frac{1}{N(M-m)} \sum_{l=1}^{N} \sum_{n=1}^{M-m} (z_{n+m,l} - z_{n,l})^2$$

où $m = \tau_x/\Delta x$. La fonction peut ainsi être évaluée par une série de valeurs discrètes $\tau_x$ séparées par l'intervalle d'échantillonnage $\Delta x$.

La fonction de corrélation hauteur-hauteur uni-dimensionnelle est souvent de forme gaussienne, c'est-à-dire qu'elle peut être donnée par la relation suivante :

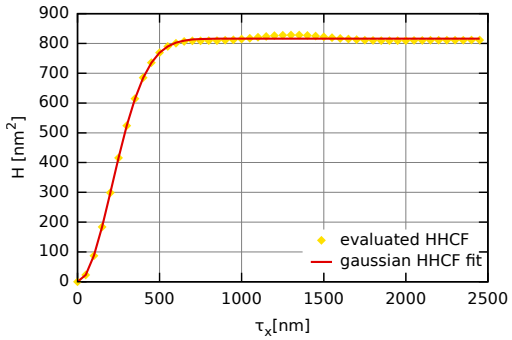
$$H_x(\tau_x) = 2\sigma^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_x^2}{T^2}\right)\right]$$

où $\sigma$ est l'écart quadratique des hauteurs et $T$ est la longueur d'autocorrélation.

Nous avons la relation suivante pour la fonction de corrélation hauteur-hauteur exponentielle :

$$H_x(\tau_x) = 2\sigma^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_x}{T}\right)\right]$$

La figure suivante donne la fonction de corrélation hauteur-hauteur obtenue pour une surface gaussienne simulée. Elle est ajustée à l'aide de la formule donnée plus haut. Les valeurs résultantes de $\sigma$ et $T$ obtenues par l'ajustement de la fonction de corrélation hauteur-hauteur sont pratiquement identiques à celles de la fonction d'autocorrélation.




*Fonction de corrélation hauteur-hauteur obtenue pour une surface aléatoire gaussienne artificielle avec $\sigma \approx 20\,\mathrm{nm}$ et $T \approx 300\,\mathrm{nm}$.*

#### Densité spectrale de puissance (PSD)

La densité spectrale de puissance bi-dimensionnelle correspond à la transformée de Fourier de la fonction d'autocorrélation

$$W(K_x, K_y) = \frac{1}{4\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} G(\tau_x, \tau_y)\, \mathrm{e}^{-\mathrm{i}(K_x\tau_x + K_y\tau_y)}\, \mathrm{d}\tau_x\, \mathrm{d}\tau_y$$

Comme pour la fonction d'autocorrélation, on évalue généralement la densité spectrale de puissance uni-dimensionnelle, donnée par l'équation

$$W_1(K_x) = \int_{-\infty}^{\infty} W(K_x, K_y)\, \mathrm{d}K_y$$

Cette fonction peut être calculée à l'aide d'une transforme de Fourier rapide (FFT) de la manière suivante :

$$W_1(K_x) = \frac{2\pi}{NMh} \sum_{j=0}^{M-1} |\hat{P}_j(K_x)|^2$$

où $P_j(K_x)$ est le coefficient de Fourier de la $j$-ième ligne, c'est-à-dire

$$\hat{P}_j(K_x) = \frac{h}{2\pi} \sum_{n=0}^{N-1} z_{nj} \exp(-\mathrm{i}K_x nh)$$

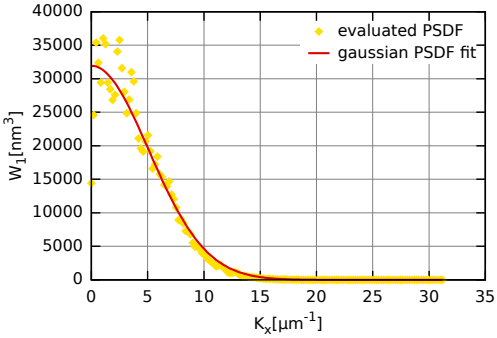
Si nous choisissons la fonction d'autocorrélation gaussienne, la relation gaussienne correspondante pour la PSD est

$$W_1(K_x) = \frac{\sigma^2 T}{2\sqrt{\pi}} \exp(-K_x^2 T^2/4)$$

Pour une surface ayant une fonction d'autocorrélation exponentielle nous avons

$$W_1(K_x) = \frac{\sigma^2 T}{\pi} \frac{1}{1+K_x^2 T^2}$$

La figure qui suit donne la PSD et son ajustement pour la même surface que celle utilisée pour la fonction d'autocorrélation et la fonction de corrélation hauteur-hauteur. On peut constater que la fonction peut là aussi être ajustée par une PSD gaussienne. Les valeurs résultantes de $\sigma$ et $T$ sont pratiquement identiques à celles obtenues pour l'ajustement de la fonction d'autocorrélation et la fonction de corrélation hauteur-hauteur.




*PSD obtenue pour des données générées, avec la fonction d'autocorrélation gaussienne.*

On peut de même appliquer la PSD radiale $W_\mathrm{r}(K)$, c'est-à-dire la PSD bi-dimensionnelle intégrée angulairement, qui contient les mêmes informations que la PSD uni-dimensionnelle pour les surfaces isotropes :

$$W_\mathrm{r}(K) = \int_0^{2\pi} W(K\cos\varphi, K\sin\varphi)\, K\, \mathrm{d}\varphi$$

Pour une surface ayant une fonction d'autocorrélation gaussienne, cette fonction est exprimée par

$$W_\mathrm{r}(K) = \frac{\sigma^2 T}{2} KT \exp(-K^2 T^2/4)$$

alors que pour une fonction d'autocorrélation exponentielle nous avons

$$W_\mathrm{r}(K) = \sigma^2 T \frac{KT}{(1+K^2T^2)^{3/2}}$$

**ASTUCE** Gwyddion vous permet d'ajuster toutes les fonctions statistiques présentées ici par leurs formes gaussienne et exponentielle. Il suffit de cliquer sur *appliquer* dans la fenêtre de l'outil fonctions statistique. Cela créera une nouvelle fenêtre de graphe. Après avoir sélectionné celle-ci, cliquez sur *Graphe* → *Ajustement de graphe*.

#### Fonctions de Minkowski

Les fonctions de Minkowski permettent de décrire les caractéristiques géométriques globales de structures. Les caractéristiques bi-dimensionnelles discrètes de volume $V$, de surface $S$ et de connectivité (caractéristique d'Euler-Poincaré) $\chi$ sont calculées à l'aide des formules suivantes :

$$V = \frac{N_{\text{blanc}}}{N}\,, \quad S = \frac{N_{\text{limite}}}{N}\,, \quad \chi = \frac{C_{\text{blanc}} - C_{\text{noir}}}{N}$$

Où $N$ correspond au nombre total de pixels, $N_{\text{blanc}}$ au nombre de pixels « blancs », c'est-à-dire au-dessus du seuil. Les pixels en-dessous du seuil sont considérés comme étant « noirs ». Le symbole $N_{\text{limite}}$ correspond au nombre de délimitations blanc-noir. Pour finir, $C_{\text{blanc}}$ et $C_{\text{noir}}$ correspondent aux nombres de groupes continus de pixels respectivement blancs et noirs.

Dans le cas d'une image ayant des ensembles de valeurs continus les fonctions sont paramétrées par le seuil de hauteur $\vartheta$ qui sépare pixels blancs des pixels noirs, c'est-à-dire qu'on peut les voir comme des fonctions de ce paramètre. Et ce sont les fonctions $V(\vartheta)$, $S(\vartheta)$ et $\chi(\vartheta)$ qui sont affichées.

#### Plage

La distribution de plage affiche la croissance de la plage de valeur en fonction de la distance latérale. Il s'agit toujours d'une fonction non décroissante.

Pour chaque pixel dans l'image, et chaque distance latérale, il est possible de calculer le minimum et le maximum parmi les valeurs des pixels situés à une distance inférieure à la distance donnée du pixel. La plage locale correspond à la différence entre ce maximum et ce minimum (et peut être visualisée en deux dimensions à l'aide la transformée de rang, dans la section des présentations). La moyenne des plages locales pour la totalité de l'image donne la courbe de plage.

### Outil d'analyse des statistiques de lignes/colonnes

Cet outil calcule les caractéristiques de chaque ligne ou colonne et les affiche en fonction de leur position. Cet outil est complémentaire de l'outil fonctions statistiques. Les caractéristiques disponibles sont les suivantes :

- Valeur moyenne, minimale, maximale et médiane.
- Valeur RMS des irrégularités de hauteur calculée à partir de la variance $R_{\text{q}}$.
- Asymétrie et kurtosis de la distribution des hauteurs.
- Longueur le long de la surface. Celle-ci est estimée en prenant la longueur totale des segments joignant les valeurs de hauteur dans la ligne ou la colonne.
- Pente globale, c'est-à-dire la tangente de la droite moyenne ajustée sur la ligne ou la colonne.
- Tangente $\beta_0$. Il s'agit de la raideur des pentes locales, fortement liée au comportement des fonctions d'autocorrélation et de corrélation hauteur-hauteur autour de zéro. Dans le cas de valeurs discrètes on la calcule de la manière suivante :

$$\tan^2\beta_0 = \frac{1}{(N-1)h^2}\sum_{i=1}^{N-1}(z_i - z_{i-1})^2$$

- Paramètres de rugosité standards Ra, Rz, Rt.

En complément du graphe, la valeur moyenne et l'écart type de la quantité sélectionnée sont calculés à partir des valeurs obtenues pour les lignes ou les colonnes. À noter que l'écart type de la quantité sélectionnée représente la dispersion des valeurs des lignes ou colonnes individuelles, à ne pas interpréter comme l'erreur de la quantité bi-dimensionnelle équivalente.

### Statistiques des pentes bi-dimensionnelles

Plusieurs fonctions du menu *Traitement des données* → *Statistiques* concernent les statistiques des pentes (dérivées) bi-dimensionnelles.

La *distribution des pentes* calcule simplement la distribution bi-dimensionnelle des dérivées, les coordonnées verticales et horizontales de l'image résultante sont respectivement les dérivées verticales et horizontales. Les pentes peuvent être calculées localement (en se basant sur un seul côté en bord d'image), ou si l'option *utiliser l'ajustement du plan local* est activée, en ajustant un plan sur les pixels environnants et en utilisant les gradients de celui-ci.

La *distribution des pentes* peut aussi afficher des graphes représentant les distributions uni-dimensionnelles de quantités aux pentes locales et aux angles d'inclinaison des facettes donnés par la formule suivante :

$$\mathbf{v} = \left(\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}x}, \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}y}\right)\,, \quad v = |\mathbf{v}|\,, \quad \vartheta = \operatorname{atan} v\,, \quad \varphi = \operatorname{atan}_2(v_y, -v_x)$$

Trois types de graphes sont disponibles :

— L'*inclinaison ($\vartheta$)*, c'est-à-dire la distribution de l'angle d'inclinaison $\vartheta$ par rapport au plan horizontal. La représentation de la pente sous forme d'angle nécessite bien évidemment que les valeurs et dimensions représentent la même quantité physique.
— L'*inclinaison (gradient)* est similaire au graphe de $\vartheta$, excepté que l'on affiche la distribution de la dérivée $v$ au lieu de l'angle.
— L'*inclinaison ($\varphi$)* affiche l'intégrale de $v^2$ pour chaque direction $\varphi$ dans le plan horizontal. Cela signifie qu'il ne s'agit d'une simple distribution de $\varphi$ car les zones présentant des pentes élevées contribuent plus que les zones planes.

La *distribution angulaire* est un outil de visualisation qui ne calcule pas une distribution au sens strict du terme. Pour chaque dérivée $\mathbf{v}$, elle affiche le cercle de points satisfaisant

$$2\mathbf{r}\cdot\mathbf{v} = r^2$$

Le nombre de points sur le cercle est donné par le *nombre de pas*.

## Mesure de maille

Les paramètres de structures bi-dimensionnelles régulières peuvent être obtenus en analysant les données transformées en une figure affichant leur régularité. la fonction d'auto-corrélation (ACF) et la densité spectrale de puissance (PSDF) sont particulièrement bien adaptés à cette tâche car elles présentent des pics correspondant aux vecteurs du réseau de Bravais formés par le motif périodique.

Les pics de l'ACF bi-dimensionnelle correspondent aux vecteurs de maille dans l'espace direct (ainsi que leurs multiples entiers et leurs combinaisons linéaires). Les pics de la PSDF bi-dimensionnelle correspondent aux vecteurs de la maille *inverse*. Les matrices formées les vecteurs de maille dans l'espace direct et dans l'espace des fréquences sont les transposées inverses l'une de l'autre. Avec une transformation adéquate, l'une et l'autre peuvent être utilisées pour mesurer la maille.

La fonction *Traitement des données → Statistiques → Mesure de maille* permet d'utiliser l'ACF ou la PSDF pour effectuer cette mesure. Comme les mailles à large période correspondent à des pics éloignés dans l'ACF et proches dans la PSDF, il est préférable d'utiliser l'ACF dans ce type de situation pour améliorer la résolution. À l'inverse, la PSDF est plus adaptée dans le cas où la période de la maille est petite. La boîte de dialogue vous permet de passer librement de la représentation dans l'espace direct ou l'espace des fréquences, la maille sélectionnée étant transformée en conséquence.

Le bouton *estimer* tente de déterminer automatiquement la maille de l'image. S'il ne sélectionne pas les vecteurs que vous souhaitez, vous pouvez les ajuster manuellement dans l'image. La sélection peut se faire de manière similaire à la distorsion affine (cela revient à choisir *afficher la maille sous forme de maille*), ou afficher et ajuster uniquement les deux vecteurs (*vecteurs*). Dans les deux cas, lorsque vous choisissez la position approximative des pics, le bouton *affiner* permet d'ajuster la position des vecteurs afin d'améliorer la correpondance avec les pics. Le bouton *remise à zéro* peut être utilisé pour remettre les vecteurs à dans un état initial sain.

Les paramètres des vecteurs de maille sont toujours donnés dans l'espace direct, avec leurs composantes, leurs longueurs totales et leurs directions. L'angle $\varphi$ correspond à celui entre les deux vecteurs.

## Analyse des Facettes

*Traitement des Données → Statistiques → Analyse des Facettes*

L'analyse des facettes permet d'étudier de manière interactive l'orientation des facettes présentes dans les données, et de marquer les facettes ayant des orientations spécifiques sur l'image. La vue de gauche affiche les données avec une prévisualisation des facettes marquées. La vue de droite, que l'on appellera par la suite le visualisateur de facettes, affiche la distribution bi-dimensionnelle des pentes.

Le centre du visualisateur de facettes correspond toujours à une inclinaison nulle (facettes horizontales), la pente selon la direction $x$ augmente vers la droite et la gauche, et la pente selon la direction $y$ augmente vers les bords haut et bas. Le système de coordonnées exact est un peu complexe, il s'adapte à la plage de pentes présentes dans les données affichées.

La *taille des facettes* contrôle le rayon du plan ajusté localement à chaque point pour déterminer l'inclinaison locale. La valeur 0 signifie qu'aucun ajustement n'est réalisé, l'inclinaison locale est déterminée à partir des dérivées symétriques en $x$ et $y$ en chaque point. Le choix de la taille de voisinage est cruciale pour obtenir des résultats corects : elle doit être plus petite que les détails auxquels on s'intéresse pour éviter leur filtrage, tout en étant suffisamment grande pour éliminer le bruit présent dans l'imaage.

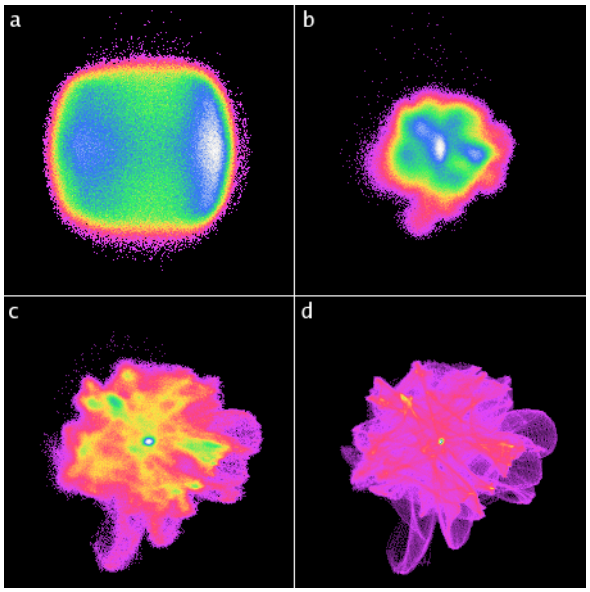



*Illustration de influence de la taille du plan ajusté sur la distribution d'un scan fortement bruité d'une surface DLC délaminée. On peut constater que la distribution est complètement noyée dans le bruit pour les petites tailles de plan. Les valeurs de voisinage sont : (a) 0, (b) 2, (c) 4, (d) 7. Les plages d'angle et de couleur sont appliquées sur la dynamique complète de l'image, c'est-à-dire qu'elles varient d'une image à une autre.*

La vue des données et le visualisateur de facettes permettent de sélectionner un point avec la souris et lire l'inclinaison de la normale à la facette correspondante $\vartheta$ et la direction $\varphi$ sous *Normale*. Lorsque vous sélectionnez un point sur la vue des données, la sélection du visualisateur de facette est mise à jour pour afficher l'inclinaison sur ce point.

Le bouton *Trouver le Maximum* ajuste la sélection du visualisateur de facette sur la maximum de la distribution des pentes (il s'agit de la position initiale de la sélection).

Le bouton *Marquer* met à jour le masque avec les zones ayant une pente similaire à la pente sélectionnée. Plus précisément, les zones ayant une pente dans la *Tolérance* de la pente sélectionnée. Le visualisateur de facettes affiche alors l'ensemble des pentes correspondant aux points marqués (notez que cet ensemble peut ne pas être circulaire dans le visualisateur de facettes, mais il ne s'agit que d'un effet de projection). L'inclinaison moyenne de tous les points dans la plage de pentes sélectionnée est affichée sous *Normale Moyenne*.

## Entropie

*Traitement des données → Statistiques → Entropie*

L'outil statistiques peut afficher une estimation de l'entropie différentielle de la distribution des valeurs. Il permet aussi d'estimer l'entropie différentielle de la distribution des pentes, et aide à visualiser la manière dont elle est calculée.

L'entropie différentielle de Shannon pour une fonction de densité de probabilité peut être exprimée par

$$S = -\int_X p(x) \log p(x) \, \mathrm{d}x$$

où $X$ est le domaine de la variable $x$. Par exemple, pour la distribution des hauteurs, $x$ représente la hauteur de la surface, et $X$ est l'axe réel complet. Pour la distribution des pentes, $x$ est un vecteur à deux composantes donnant les dérivées selon les axes, et $X$ est le plan correspondant.

Il existe de nombreuses méthodes plus ou moins sophistiquées d'estimation de l'entropie. Gwyddion utilise une méthode relativement simple basée sur l'histogramme dans laquelle la formule présentée plus haut est approximée par

$$S \approx -\sum_{i=1}^{n} p_i \log \frac{p_i}{w_i}$$

, où $p_i$ et $w_i$ sont la densité de probabilité estimée, c'est-à-dire l'histogramme normalisé, et la largeur de la $i$-ème catégorie de l'histogramme.

Bien entendu, la valeur de l'entropie estimée dépend du choix de la largeur des catégories de l'histogramme – en dehors du cas de la distribution uniforme, pour laquelle l'estimation ne dépend pas de cette largeur. À partir de ce constat, on peut considérer que pour une distribution raisonnable, une largeur de catégorie adéquate est telle que l'entropie estimée ne varie pas lorsque l'on modifie cette largeur. Il s'agit du critère utilisé pour déterminer la largeur de catégorie la plus appropriée.

En pratique, cela signifie que l'entropie est estimée sur une large plage de largeur de catégorie (typiquement sur plusieurs ordres de grandeur). On obtien alors la courbe d'échelle affichée dans le graphe sur la droite de la fenêtre de dialogue. L'entropie est alors estimée en déterminant le point d'inflexion de la courbe. Dans le cas où aucun point d'inflexion ne serait présent, ce qui peut par exemple arriver dans le cas d'une distribution proche d'une somme de fonctions $\delta$, alors l'entropie affichée sera une valeur largement négative.

Les entropies affichées sont sans unité car il s'agit de quantités logarithmiques. Notez qu'en cas de comparaison avec d'autres calculs, Gwyddion effectue toujours ce calcul en unités SI (par exemple en mètres et non en nanomètres) et le logarithme naturel est utilisé. La valeur est ainsi en unité naturelle d'information (nat).

L'entropie absolue dépend de la largeur absolue de la distribution. Par exemple, deux distributions gaussiennes de hauteurs ayant une valeur RMS différente auront une entropie différente. Ceci peut être utile lorsque l'on souhaite comparer la finesse absolue de structures dans la distribution des hauteurs. Inversement, il peut aussi être utile de les comparer indépendamment de leur échelle globale. Dans ce cas on peut utiliser le fait que la distributiokn gaussienne possède l'entropie maximale parmi toutes les distributions ayant la même valeur RMS. La différence entre cette valeur maximale et l'entropie estimée est appelée déficit d'entropie. Elle est positive par définition (sauf en cas de problème numérique).

## 4.10 Paramètres de rugosité uni-dimensionnelle

Les paramètres de rugosité uni-dimensionnelle standardisés peuvent être évalués avec l'outil rugosité.

La texture uni-dimensionnelle est séparée en ondulation (la composante de basse fréquence définissant la forme globale) et la rugosité (la composante de haute fréquence) à la fréquence de coupure. Celle-ci est spécifiée en unités de fréquence de Nyquist, c'est-à-dire qu'une valeur de 1.0 correspond à la fréquence de Nyquist.

Dans les formules qui suivent, nous supposons que la valeur moyenne de $r_j$ est nulle, c'est-à-dire que nous avons

$$r_j = z_j - \bar{z}$$

### Paramètres d'amplitude de rugosité

**Rugosité moyenne $R_\mathrm{a}$** Normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Ecart moyen arithmétique. Il s'agit de l'écart moyen de tous les points du profil de rugosité par rapport à une ligne moyenne sur la longueur d'évaluation

$$R_\mathrm{a} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} |r_j|$$

Une manière plus ancienne de spécifier une plage de $R_\mathrm{a}$ s'appelle RHR. Il s'agit d'un symbole placé sur un dessin et spécifiant la valeur minimale et maximale de $R_\mathrm{a}$.

**Rugosité moyenne quadratique $R_\mathrm{q}$** Normes : ASME B46.1-1995, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Moyenne quadratique des écarts de hauteur sur la longueur d'évaluation et mesurés par rapport à la ligne moyenne

$$R_\mathrm{q} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} r_j^2}$$

**Hauteur maximale du profil $R_\mathrm{t}$** Normes : ASME B46.1-1995, ISO 4287-1997.

Hauteur crête-à-crête maximale. Il s'agit de la valeur absolue entre les hauteurs maximum et minimum

$$R_\mathrm{t} = \left|\min_{1\le j\le N} r_j\right| + \left|\max_{1\le j\le N} r_j\right|$$

**Profondeur minimale des vallées $R_\mathrm{v}$, $R_\mathrm{m}$** Normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Vallée la plus profonde. Il s'agit de la profondeur de la vallée la plus profonde du profil de rugosité sur la longueur d'évaluation

$$R_\mathrm{v} = \left| \min_{1 \le j \le N} r_j \right|$$

**Hauteur maximale des pics $R_\mathrm{p}$** Normes : ASME B46.1-1995, ASME B46.1-1985, ISO 4287-1997, ISO 4287/1-1997.

Pic le plus élevé. Il s'agit de la hauteur du pic le plus élevé du profil de rugosité sur la longueur d'évaluation

$$R_\mathrm{p} = \left| \max_{1 \le j \le N} r_j \right|$$

**Amplitude moyenne $R_{\mathrm{t}m}$** Normes : ASME B46.1-1995, ISO 4287-1997.

Rugosité crête-à-crête moyenne. Elle est déterminée par la différence entre le pic le plus élevé et la vallée la plus profonde sur plusieurs échantillons le long de la longueur d'évaluation

$$R_{\mathrm{t}m} = R_{\mathrm{v}m} + R_{\mathrm{p}m}$$

où $R_{\mathrm{v}m}$ et $R_{\mathrm{p}m}$ sont définis plus bas.

Pour les profils de données elle est basée sur cinq longueur d'échantillon ($m = 5$). Le nombre d'échantillons correspond à la norme ISO.

**Profondeur moyenne des vallées $R_{\mathrm{v}m}$** Normes : ISO 4287-1997.

Profondeur de vallée moyenne basée sur une vallée par longueur échantillonnée. La vallée la plus profonde est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées ($m = 5$) puis ces valeurs sont moyennées

$$R_{\mathrm{v}m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} R_{\mathrm{v}i}$$

où

$$R_{\mathrm{v}i} = \left| \min r_j \right| \quad \text{for} \quad (i-1)\frac{N}{m} < j < i\frac{N}{m}$$

**Hauteur moyenne des pics $R_{\mathrm{p}m}$** Normes : ISO 4287-1997.

Hauteur de pic moyenne basée sur une vallée par longueur échantillonnée. La vallée la plus profonde est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées ($m = 5$) puis ces valeurs sont moyennées

$$R_{\mathrm{p}m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} R_{\mathrm{p}i}$$

où

$$R_{\mathrm{p}i} = \left| \max r_j \right| \quad \text{for} \quad (i-1)\frac{N}{m} < j < i\frac{N}{m}$$

**Profondeur de rugosité de base $R_{3z}$** Normes : ISO 4287-1997.

Distance entre le troisième plus haut pic et la troisième plus basse vallée. Un pic correspond à une portion de la surface située au-dessus de la ligne moyenne.

**Profondeur de rugosité moyenne $R_{3z\mathrm{ISO}}$** Normes : ISO 4287-1997.

Distance entre le troisième plus haut pic et la troisième plus basse vallée par longueur échantillonnée. La profondeur de rugosité de base est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées puis les valeurs obtenues sont moyennées.

**Hauteur maximale moyenne $R_z$** Normes : ISO 4287-1997

Moyenne des valeurs absolues des cinq plus hauts pics et des cinq plus basses vallées sur la longueur d'évaluation.

**Amplitude crête-à-crête moyenne $R_{z\mathrm{ISO}}$** Normes : ISO 4287-1997.

Rugosité crête-à-crête moyenne basée sur un pic et une vallée par longueur échantillonnée. L'amplitude la plus élevée est déterminée pour cinq longueurs échantillonnées puis ces valeurs sont moyennées. Elle est identique à $R_{\mathrm{t}m}$.

**Fonction de distribution d'amplitude** Normes : ISO 4287-1997.

La distribution d'amplitude est une fonction de donnant la probabilité qu'un profil de la surface ait une certaine hauteur $z$ pour toute position $x$.

**Distribution d'amplitude cumulée** Normes : ISO 4287-1997.

La distribution d'amplitude cumulée est liée à la distribution d'amplitude, il s'agit de la distribution de probabilité cumulée correspondante et elle a un intérêt bien plus grand pour caractériser un état de surface. La distribution d'amplitude cumulée est l'intégrale de la distribution d'amplitude.

**Asymétrie $R_{\mathrm{sk}}$** Normes : ISO 4287-1997.

L'asymétrie est un paramètre décrivant la forme de la distribution d'amplitude. Il s'agit d'une mesure de la symétrie de la variation d'un profil autour de sa ligne moyenne

$$R_{\mathrm{sk}} = \frac{1}{NR_q^3} \sum_{j=1}^{N} r_j^3$$

**Kurtosis $R_{\mathrm{ku}}$** Normes : ISO 4287-1997.

Le kurtosis est un paramètre de forme de la distribution d'ampltude. Il s'agit de l'uniformité de la distribution d'amplitude, ou de manière équivalente de l'aplatissement du profil.

$$R_{\mathrm{ku}} = \frac{1}{NR_q^4} \sum_{j=1}^{N} r_j^4$$

## 4.11 Analyse des grains

Plusieurs algorithmes relatifs aux grains sont implémentés dans Gwyddion. On peut tout d'abord utiliser des algorithmes de seuillage (par hauteur, pente ou courbure). Ceux-ci sont très efficaces pour l'analyse de particules (pour marquer les particules présentes sur une surface plane).

### Seuillage

*Traitement des données → Grains → Marquer par seuil.*

Le seuillage est la méthode la plus basique pour marquer des grains. Les seuillage par hauteur, pente et courbure sont implémentés dans ce module. Les résultats de chacune de ces méthodes de seuillage peuvent être fusionnés à l'aide de plusieurs opérateurs.

### Méthode d'Otsu

*Traitements des données → Grains → Marquer par la méthode d'Otsu.* La méthode de seuillage automatique d'Otsu sépare les valeurs en deux classes, en minimisant l'écart de variance propre à chaque classe. Elle est particulièrement adaptée aux images contenant deux niveaux de valeurs relativement bien définis..

### Détection de bord

*Traitement des données → Grains → Marquer par détection de bord,*

Cette autre fonction de marquage des grains est basée sur la détection de bord (courbure locale). L'image est traitée à l'aide d'un filtre de différence de gaussiennes d'une taille donnée, puis le seuillage est effectué sur l'image filtrée plutôt que sur l'originale.

### Suppression des grains en contact avec les bords

*Traitement des données → Grains → Supprimer les grains en contact avec les bords.*

Les grains en contact avec les bords de l'image peuvent être éliminés à l'aide de cette fonction. Ceci peut s'avérer utile si de tels grains sont considérés comme incomplets et doivent être exclus de l'analyse. Plusieurs autres fonctions de l'outil d'édition de masque peuvent être utiles pour modifier la forme des grains après le marquage.

## Ligne de partage des eaux

*Traitement des données → Grains → Marquer par ligne de partage des eaux*

Dans le cas de structures plus complexes, les algorithmes de seuillage vus précédemment peuvent être inefficaces. Dans ce cas l'algorithme de segmentation par *ligne des partage des eaux* peut être utilisé de manière beaucoup plus efficace pour le marquage de grains ou de particules.

L'algorithme de segmentation est généralement utilisé pour la détection de minima locaux et pour la segmentation d'image en traitement d'image. Comme le problème de la détermination de la position des grains peut être considéré comme un problème de détection d'extrema locaux, cet algorithme peut être utilisé pour des besoins de segmentation ou de marquage de grains. Par souci de simplicité nous traiterons des données inversées selon la direction $z$ pour la description de l'algorithme (c'est-à-dire que le sommet des grains sont des des minima locaux dans le texte qui suit). Deux niveaux de traitement sont appliqués pour l'analyse de grain (voir [1]) :

1. Phase de localisation des grains : une goutte virtuelle est déposée en chaque point de la surface inversée (la quantité d'eau est contrôlée par le paramètre *Taille de goutte*). Dans le cas où la goutte ne se trouve pas déjà sur un minimum local, celle-ci suit la pente la plus forte afin de minimiser son énergie potentielle. La goutte s'arrête dès qu'elle atteind un minimum local. Elle remplit ainsi partiellement le minimum local en fonction de son volume (voir la figure et sa légende ci-dessous). Ce procédé est répété plusieurs fois (avec le paramètre *Nombre de pas*). Il en résulte un ensemble de lacs de différentes tailles remplissant la surface inversée. Les surfaces des lacs sont ensuite évaluées, et les plus petits d'entre eux sont supprimés, en prenant pour hypothèse que ceux-ci se sont formés dans les minima locaux provoqués par le bruit (tous les lacs plus petits que le paramètre *Seuil* sont supprimées). Les lacs les plus importants sont utilisés pour identifier la position des grains pour la segmentation lors de l'étape suivante. On élimine ainsi le bruit de mesure présent dans les données AFM.
2. Phase de segmentation : les grains trouvés lors de la première étape sont marqués (chacun avec un numéro différent). Les gouttes continuent de tomber vers la surface et de remplir les minima locaux (la quantité d'eau est contrôlée par le paramètre *Taille de goutte*). Le nombre total d'étapes d'aspersion de gouttes en chaque point de la surface est contrôlé par le paramètre *Nombre d'étapes*. Comme les grains ont déjà été marqués et identifiés lors de la première étape, les situations suivantes peuvent apparaître dès qu'une goutte atteind un minimum local :
   (a) La goutte atteind un endroit déjà marqué comme étant un grain. Dans ce cas la goutte est fusionnée avec le grain, c'est-à-dire qu'elle est marquée comme faisant partie du même grain.
   (b) La goutte atteind un endroit non marqué, mais un grain se trouve à proximité immédiate. Dans ce cas la goutte est là aussi fusionnée avec le grain.
   (c) La goutte atteind un endroit non marqué et n'ayant aucun grain à proximité immédiate. Dans ce cas la goutte n'est pas marquée.
   (d) La goutte atteind un endroit non marqué mais ayant plus d'un grain à proximité immédiate (par exemple lorsque deux grains se trouvent à proximité). Dans ce cas la goutte est marquée comme limite du grain.
   (e) La goutte atteind un endroit marqué comme limite de grain. Dans ce cas la goutte est là aussi marquée comme limite de grain.

On peut ainsi identifier la position des grains et déterminer ensuite le volume occupé par chaque grain. On peut utiliser le paramètre *Inverser les hauteurs* dans le cas où les zones d'intérêt sont des vallées plutôt que des collines (grains)

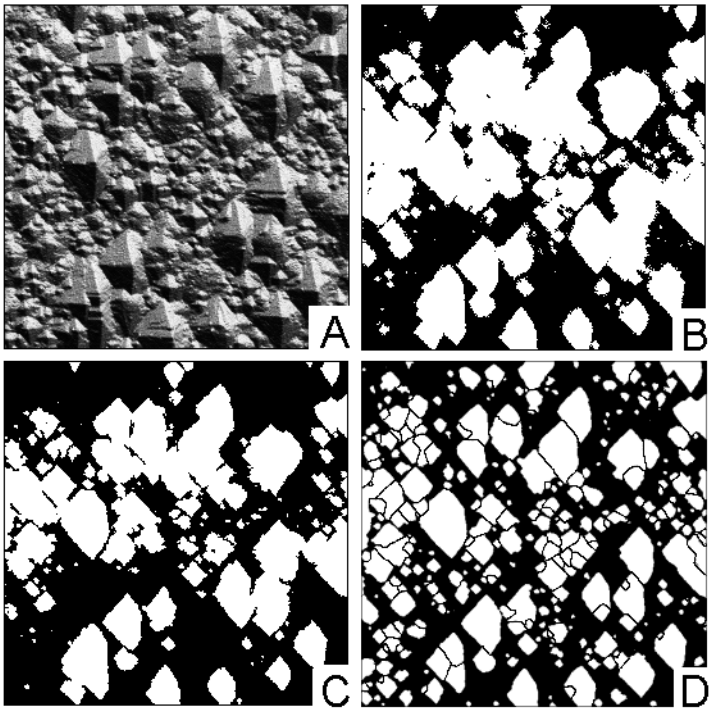



*Image d'une surface à structure granuleuse (a) et résultats correspondant au seuillage par hauteur (b), au seuillage par courbure (c), et à l'algorithme de segmentation (d). Grâce à l'algorithme de segmentation, il est même possible de segmenter encore plus finement l'image.*

## Segmentation

*Traitement des données → Grains → Marquer par immersion*

Cette fonction est une approche différente basée sur *l'algorithme de ligne de marquage des eaux*, ici l'algorithme classique de Vincent de segmentation dans les espaces numériques [2], que l'on applique à une image pré-traitée. En général, le résultat est une image complètement segmentée en motifs, chaque pixel appartenant à un motif ou séparant deux d'entre eux. L'algorithme marque par défaut les *vallées*. Pour marquer les grains en reliefs, ce qui est le plus courant en microscopie, utilisez l'option *inverser les hauteurs*.

Le pré-traitement propose les paramètres suivants :

***Floutage gaussien*** Dispersion du filtre gaussien appliqué aux données. Une valeur nulle indique qu'aucun filtrage n'est appliqué.

***Ajouter un gradient*** Poids relatif du gradient local ajouté aux données. Une valeur importante signifie que les zones ayant une pente locale importante auront tendance à devenir des bords de grains.

***Ajouter de la courbure*** Poids relatif de la courbure locale ajoutée aux données. Une valeur importante signifie que les zones localement concaves auront tendance à devenir des bords de grains.

***Niveau de barrière*** Hauteur relative au-dessus de laquelle les pixels ne peuvent être assignés à des grains. Si elle diffère de 100 %, cela crée une exception à une segmentation complète de l'image.

***Niveau de pré-remplissage*** Hauteur relative jusqu'à laquelle la surface est pré-remplie, supprimant tous les détails au fond des vallées.

***Pré-remplir à partir du minima*** Hauteur relative jusqu'à laquelle la surface est pré-remplie à partir de chaque minimum local, supprimant tous les détails au fond des vallées.

## Régression logistique

*Traitement des données → Grains → Régression logistique*

On peut utiliser la régression logistique pour transférer une segmentation d'une image vers une autre ayant des motifs similaires, ou de petits morceaux d'image vers une image complète. Deux modes d'opération sont disponibles : l'apprentissage et l'application. La phase d'apprentissage nécessite la présence d'un masque des grains sur l'image. Lorsque la régression est calculée, elle

peut être utilisée pour d'autres images. Dans les deux cas, elle génère un vecteur de motifs de l'image courante, et y applique différents filtres, parmi lesquels :

***Flou gaussien*** Filtre gaussien de largeur 2, 4, 8, etc. Le nombre de gaussiennes peut être sélectionné à l'aide du sélecteur *nombre de gaussiennes*

***Dérivées de Sobel*** Filtre de dérivation de Sobel pour les directions X et Y.

***Laplacien*** Laplacien, somme des dérivées secondes.

***Hessienne*** Trois éléments de la matrice hessienne des dérivées secondes, un pour chaque direction X et Y, et le troisième pour les coordonnées combinées.

Tous les filtres de dérivation, lorsqu'ils sont sélectionnés, sont appliqués à l'image originale ainsi qu'à chaque version filtrée par gaussienne, lorsqu'elles sont générées. Chaque couche de motifs est calculée par convolution puis normalisée.

Le *paramètre de régularisation* permet de régulariser la régression logistique, un valeur élevée signifie que les paramètres seront plus fortement contraints pour éviter des valeurs élevées.

Notez qu'il faut la présence d'un masque sur l'image pour l'apprentissage, dans le cas contraire le résultat sera nul. La phase d'apprentissage peut être très lente, en particulier pour les images de grande taille et lorsque de nombreux motifs sont sélectionnés. Les résultats de l'apprentissage sont sauvegardés, ils peuvent donc être appliqués à d'autres images. Si l'ensemble des motifs est modifié, il faudra à nouveau lancer l'apprentissage de la régression logistique.

## Statistiques

Les propriétés des grains peuvent être analysées à l'aide de plusieurs fonctions. La plus simple d'entre elles est la Statistique des Grains

### Statistiques des grains

*Traitement des données → Grains → Statistiques*

Cette fonction calcule le nombre de grains marqués, leur aire projetée, à la fois en valeur absolue et en fraction de l'aire totale du champ de données, le total des volumes des grains, la longueur totale des périmètres des grains, l'aire moyenne ainsi que la taille du carré équivalent des grains. La taille moyenne est calculée en moyennant la taille des carrés équivalents, donc le carré de cette moyenne n'est en général pas égal à l'aire moyenne.

Les caractéristiques globales de la zone marquée sont disponibles dans l'outil Statistiques en utilisant l'option *Inclure uniquement la région masquée*. On obtient les mêmes informations pour les zones non marquées en inversant le masque.

### Distributions des grains

*Traitement des données → Grains → Distributions*

L'outil de calcul des distributions des grains est le plus puissant et le plus complexe. Il comporte deux modes d'opération : l'affichage de graphiques et l'export de données. Dans le mode affichage de graphiques, les caractéristiques sélectionnées sont calculées et rassemblées dans des graphes donnant leurs distributions.

L'export de données est utile pour les experts ayant besoin par exemple de corréler les propriétés des grains. Dans ce mode les caractéristiques sélectionnées sont calculées et compilées dans un fichier texte sous la forme d'un tableau où chaque ligne correspond à un grain et chaque colonne à une caractéristique. L'ordre des colonnes est identique à celui des quantités présentées dans la fenêtre de dialogue ; toutes les valeurs sont données en unités SI, comme partout dans Gwyddion.

### Corrélation des caractéristiques des grains

*Traitement des données → Grains → Corrélation*

Affiche un graphe de corrélation d'une caractéristique en fonction d'une autre, permettant ainsi de visualiser les corrélations entre celles-ci.

### Outil de mesure des grains

L'outil de mesure des grains est une manière interactive de déterminer les mêmes caractéristiques que celles données par distribution des grains en mode texte. Il suffit de cliquer sur un grain dans la fenêtre de données pour que toutes les quantités soient affichées dans la fenêtre de l'outil.

Cet outil affiche aussi le numéro du grain. Le numéro du grain correspond au numéro de ligne (en partant de 1) des fichiers exportés par le calcul des distributions des grains.

## Caractéristiques des grains

Les distribution des grains et l'outil de mesure des grains peuvent alculer les caractéristiques suivantes :

### Caractéristiques liées à la valeur

— *Minimum*, valeur (hauteur) minimale présente dans le grain.
— *Maximum*, valeur (hauteur) maximale présente dans le grain.
— *Moyenne*, moyenne des valeurs présentes dans le grain, c'est-à-dire la hauteur moyenne du grain.
— *Médiane* médiane des valeurs présentes dans le grain, c'est-à-dire la hauteur médiane du grain.
— *Minimum du bord*, valeur (hauteur) minimale présente sur le bord interne d'un grain. Le bord est représenté par les pixels présents dans le grain et ayant au moins un pixel voisin en dehors du grain.
— *Maximum du bord*, valeur (hauteur) maximale présente sur le bord interne d'un grain, défini de la même manière que pour le minimum.

### Caractéristiques liées à la surface

— *Surface projetée*, aire projetée (c'est-à-dire plane) du grain.
— *Côté équivalent*, taille du carré ayant la même surface que la surface projetée du grain.
— *Rayon équivalent*, rayon du disque ayant la même surface que la surface projetée du grain.
— *Surface*, surface du grain, reportez-vous à la section quantités statistiques pour une description de la méthode d'estimation de la surface.
— *Aire de l'enveloppe convexe*, aire projetée de l'enveloppe convexe du grain. Celle-ci est légèrement plus grande que la surface du grain, même pour les grains visiblement convexe, à cause de la pixellisation du masque. Seuls les grains parfaitement rectangulaires ont la même surface.

### Caractéristiques liées au bord

— *Périmètre projeté*, longueur du bord du grain projeté sur le plan horizontal (et non sur la surface tri-dimensionnelle). La méthode d'estimation du périmètre est décrite plus bas.
— *Largeur*, dimension minimale du grain dans le plan horizontal. On peut voir celle-ci comme étant le plus petit écart au travers duquel passerait le grain.
— *Orientation de la largeur*, orientation de l'écart décrit précédemment. Si le grain présente une symétrie lui conférant plusieurs directions possibles, celle-ci est choisie arbitrairement.
— *Longueur*, dimension maximale du grain dans le plan horizontal. On peut voir celle-ci comme étant le plus grand écart que le grain pourrait remplir
— *Orientation de la longueur*, orientation de l'écart décrit précédemment. Si le grain présente une symétrie lui conférant plusieurs directions possibles, celle-ci est choisie arbitrairement.
— *Rayon maximal du disque inscrit*, rayon du disque le plus grand pouvant s'inscrire dans le grain. Le disque entier doit s'incrire, pas seulement le cercle extérieur, ce qui a son importance dans le cas des grains présentant des vides. Vous pouvez utiliser l'éditeur de masque pour remplir les vides présents dans les grains.
— *Position x du centre du disque inscrit maximal*, coordonnée horizontale du centre du disque inscrit maximal. Plus précisément, une des coordonnées si le disque n'est pas unique.
— *Position y du centre du disque inscrit maximal*, coordonnée verticale du centre du disque inscrit maximal. Plus précisément, une des coordonnées si le disque n'est pas unique, mais elle correspond au même disque que celui de la donnée précédente.
— *Rayon minimal du disque circonscrit*, rayon du plus petit cercle pouvant contenir le grain.
— *Position x du centre du disque circonscrit*, coordonnée horizontale du centre du cercle circonscrit.
— *Position y du centre du disque circonscrit*, coordonnée horizontale du centre du cercle circonscrit.
— *Rayon moyen*, distance moyenne entre le barycentre du grain et le bord de celui-ci. Cette quantité n'est en général utile que dans le cas des grains convexes ou quasi-convexes.

### Caractéristiques liées au volume

— *Base zéro*, volume entre la surface du grain et le plan $z = 0$. Les valeurs en-dessous de zéro représentent un volume négatif. Le niveau zéro doit être défini à une valeur raisonnable (en général la fonction fixer le zéro suffit) pour que le résultat ait un sens, ce qui est aussi l'avantage de cette méthode : on peut utiliser le plan de base que l'on souhaite.
— *Base minimum du grain*, volume entre la surface du grain et le plan $z = z_{\min}$, où $z_{\min}$ est la valeur (hauteur) minimale présente dans le grain. Cette méthode tient compte de l'environnement du grain, mais typiquement elle sous-estime le volume, en particulier pour les petits grains.
— *Base arrière-plan laplacien*, volume entre la surface du grain et la surface de base formée par l'interpolation laplacienne des valeurs environnantes. Plus précisément, il s'agit du volume qui disparaîtrait après avoir appliquéla fonction supprimer les données sous le masque ou l'outil suppression de grain avec l'interpolation laplacienne. Il

s'agit de la méthode la plus sophistiquée, mais aussi la moins intuitive.

**Caractéristiques liées à la position**

— *Position centrale x*, coordonnée horizontale du centre du grain. Comme la surface du grain est définie par la surface couverte par les pixels du masque, le centre d'un grain ne faisant qu'un seul pixel sera un demi-entier et non un entier. Le décalage de l'origine du champ de données est pris en compte.
— *Position centrale y*, coordonnée horizontale du centre du grain. Voir l'interprétation plus haut.

**Caractéristiques liées à la pente**

— *Inclinaison* $\vartheta$, déviation de la normale du plan moyen par rapport à l'axe $z$, reportez-vous au paragraphe inclinaisons pour plus de détails.
— *Inclinaison* $\varphi$, azimuth de la pente, telle que définie dans le paragraphe inclinaisons.

**Caractéristiques liées à la courbure**

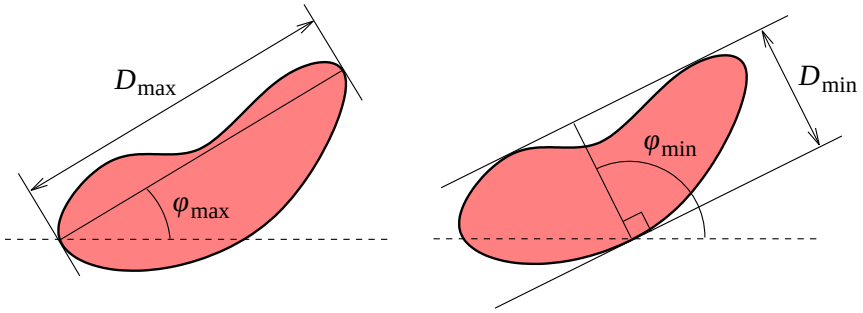
— *Position x du centre de courbure*, position horizontale du centre de la surface quadratique ajustée à la surface du grain.
— *Position y du centre de courbure*, position verticale du centre de la surface quadratique ajustée à la surface du grain.
— *Valeur z du centre de courbure*, valeur au centre de la surface quadratique ajustée à la surface du grain. Notez qu'il s'agit de la valeur sur la surface ajustée et non sur la surface réelle.
— *Courbure 1*, la plus petite courbure (c'est-à-dire l'inverse du rayon de courbure) au centre.
— *Courbure 2*, la plus grande courbure (c'est-à-dire l'inverse du rayon de courbure) au centre.
— *Angle de courbure 1*, direction correspondant à *Courbure 1*.
— *Angle de courbure 2*, direction correspondant à *Courbure 2*.

**Caractéristiques liées au moment**

— *Demi-grand axe de l'ellipse équivalente*, longueur du demi-grand axe de l'ellipse ayant les mêmes moments d'ordre deux dans le plan horizontal.

— *Demi-petit axe de l'ellipse équivalente*, longueur du demi-petit axe de l'ellipse ayant les mêmes moments d'ordre deux dans le plan horizontal.

— *Orientation de l'ellipse équivalente*, direction du demi-grand axe de l'ellipse ayant les mêmes moments d'ordre deux dans le plan horizontal. L'angle vaut par définition zéro pour un grain circulaire.

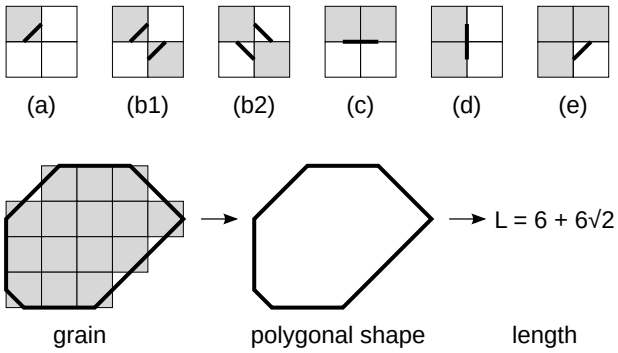



*Dimensions minimale et maximale, et orientations correspondantes d'un grain.*

Le périmètre des grains est estimé en sommant des contributions estimées de chacune des configurations à quatre pixels sur le bord du grain. Les contributions sont affichées sur la figure suivante pour chaque configuration, où $h_x$ et $h_y$ sont les dimensions du pixel selon les axes correspondants, et $h$ est la longueur de la diagonale du pixel :

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2}$$

Les contributions correspondent une à une aux longueurs des segments du bord du polygone approximant la forme du grain. La construction du polygone équivalent est aussi visible sur la figure.



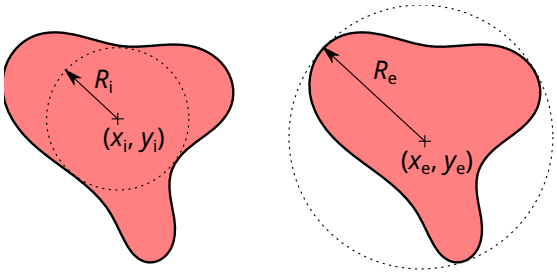

*Contributions des configurations de pixels sur la longueur estimée du bord (en haut). Les carrés en gris représentent les pixels à l'intérieur du grain, et les carrés en blanc ceux à l'extérieur. La contribution estimée de chaque configuration est : (a) $h/2$, (b1), (b2) $h$, (c) $h_y$, (d) $h_x$, (e) $h/2$. Les cas (b1) et (b2) ne diffèrent que dans la visualisation de la forme des segments du polygone, les longueurs estimées du bord sont identiques. La partie inférieure de la figure illustre la manière dont les segments se joignent pour former le polygone.*

Le volume est, après soustraction de la base, estimée comme étant le volume de l'objet dont la surface supérieure est celle utilisée pour le calcul de surface. Notez que pour le volume entre les vertex, ceci est équivalent à la méthode classique des trapèzes pour l'intégration en deux dimensions. Cependant, nous calculons le volume sous un masque centré sur les vertex, leur contribution à l'intégrale est donc distribuée de manière différente, tel que montré dans la figure suivante.

| | | |
|---|---|---|
| $\frac{1}{96}$ | $\frac{5}{48}$ | $\frac{1}{96}$ |
| $\frac{5}{48}$ | $\frac{13}{24}$ | $\frac{5}{48}$ |
| $\frac{1}{96}$ | $\frac{5}{48}$ | $\frac{1}{96}$ |

*Contributions des pixels individuels au volume d'un pixel (en gris).*

Les caractéristiques liées à la courbure des grains sont calculées de manière identique à la courbure globale donnée par la fonction courbure. Référez-vous à sa description pour plus de détails.




*Disque inscrit maximal et cercle circonscrit minimal d'un grain.*

Les disques inscrits et les cercles circonscrits aux grains peuvent être visualisés en utilisant *Traitement des données → Grains → Sélectionner les disques inscrits* et *Traitement des données → Grains → Sélectionner les cercles circonscrits*. Ces fonctions créent des sélections circulaires représentant les disques et cercles correspondants pour chaque grain, celles-ci pouvant être affichées par la suite avec le gestionnaire de sélections.

## Filtrage des grains

Les grains marqués peuvent être filtrés par seuillage sur différentes quantités à l'aide de la fonction *Traitements des données → Grains → Filtrer*. Ce module peut être utilisé pour des opérations basiques, telle que la suppression de petits grains à l'aide d'un seuillage basé sur l'aire, ou des filtrages bien plus complexes à l'aide d'expressions logiques impliquant différentes quantités.

Le filtre conserve les grains satisfaisant les conditions définies dans *Conserver les grains satisfaisant* et supprime tous les autres. La condition est exprimée par l'association logique de une à trois conditions, notées `A`, `B` et `C`. L'expression la plus simple est juste `A`, qui impose que la quantité `A` soit entre les seuils définis.

Chaque condition consiste en deux seuils haut et bas pour une quantité donnée, par exemple l'aire ou la valeur minimale. Les valeurs doivent appartenir à l'intervalle [bas,haut] pour satisfaire la condition et conserver ainsi les grains. Notez qu'il est possible de choisir un seuil bas plus élevé que le seuil haut. Dans ce cas la condition est inversée, c'est-à-dire que le grain est conservé si la valeur est en dehors de l'intervalle [haut,bas].

Les quantités sont assignées à `A`, `B` et `C` en sélectionnant la quantité dans la liste puis en cliquant sur le bouton correspondant dans *Assigner à*. L'ensemble des quantités sélectionnées est affiché dans les en-têtes *Condition A*, *Condition B* et *Condition C*.

### Mise à niveau des grains

Les grains peuvent être alignés verticalement en utilisant *Traitement des données* → *Grains* → *Mise à niveau des grains*. Cette fonction décale verticalement chaque grain de façon à ce qu'une caractéristique liée à la hauteur soit égale pour tous les grains. En général, on aligne la valeur minimale des grains, mais d'autres choix sont possibles.

Les données entre les grains sont aussi décalées verticalement. Les décalages sont interpolés par rapport aus décalages des grains à l'aide de l'équation de Laplace, ce qui donne une transition douce des décalages entre les grains (toutefois on ne considère pas les autres éléments présents sur la surface).

### Références

[1] Petr Klapetek, Ivan Ohlídal, Daniel Franta, Alberto Montaigne-Ramil, Alberta Bonanni, David Stifter and Helmut Sitter: Acta Physica Slovaca, 3 (223-230) 2003

[2] Luc Vincent and Pierre Soille: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13 (583–598) 1991

## 4.12 Transformée de Fourier

La transformée de Fourier bi-dimensionnelle peut être utilisée à partir de *Traitement des Données* → *Transformées* → *FFT 2D* dans lequel est implémentée une transformée de Fourier rapide (FFT, Fast Fourier Transform). La transformée de Fourier décompose un signal selon ses composantes harmoniques, elle est ainsi très utile pour l'analyse des fréquences spatiales présentes dans les données SPM.

Le module *FFT 2D* propose plusieurs types de sortie :

- Module – valeur absolue des coefficients de Fourier complexes, propoportionnelle à la racine carrée de la densité spectrale de puissance (PSD, Power Spectral Density).
- Phase – phase des coefficients complexes (rarement utilisé).
- Partie réelle – partie réelle des coefficients complexes.
- Partie imaginaire – partie imaginaire des coefficients complexes.

ainsi que certaines combinaisons pour des raisons pratiques.

Des sections radiales de la PSD bi-dimensionnelle peuvent être aisément obtenus avec *Traitement des Données* → *Statistiques* → *Section de PSD*. Plusieurs autres fonctions générant des densités spectrales sont décrites dans la section Analyse Statistique. Il est aussi possible de filtrer des images dans le domaine fréquentiel en utilisant les filtres de FFT uni-dimensionnels et bi-dimensionnels, ou simplement la séparation fréquentielle.

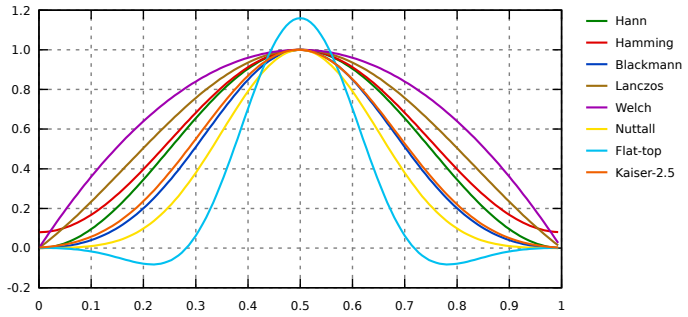
Pour comparer des textures indépendemment de l'échelle et de la rotation, il est utile de transformer les coordonnées fréquentielles cartésiennes de la PSDF en coordonnées définies par le logarithme de la fréquence spatiale et de sa direction. L'échelle et la rotation deviennent alors de simples translations selon les nouvelles coordonnées. La fonction *Traitement des données* → *Statistiques* → *PSDF Log-Phi* calcule directement la PSDF transformée. La coordonnée horizontale sans dimension est l'angle (de 0 à $2\pi$), et la coordonnée verticale est le logarithme de la fréquence spatiale. iL est possible d'adoucir la PSDF à l'aide d'un filtre gaussien de largeur donnée avant de faire la tranformation.

Notez que la transformée de Fourier traite les données comme si elles s'étendaient à l'infini, ce qui implique des conditions aux limites périodiques. Comme les données réelles ne possèdent pas ces propriétés, il est nécessaire d'utiliser des fonctions de fenêtrage pour supprimer les données sur les bords de l'image. Si vous n'en choisissez aucune, la FFT traitera les données avec une fonction de fenêtrage rectangulaire qui donne une mauvaise image de la transformée, donnant ainsi un spectre de Fourier erroné.

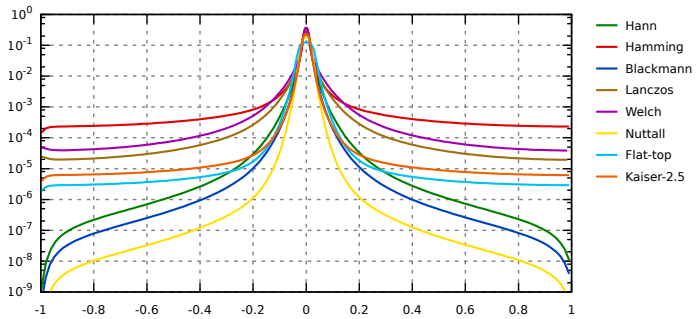
Gwyddion propose plusieurs fonctions de fenêtrage. La plupart d'entre elles sont basées sur des fonctions sinus ou cosinus qui atténuent correctement les données sur les bords de l'image. Dans la table des formules de fenêtrage qui suit, la variable

indépendante $x$ appartient à l'intervalle $[0,1]$ qui correspond à l'abscisse normalisée ; pour simplifier la notation la variable $\xi = 2\pi x$ est utilisée dans certaines formules. Les types de fenêtrage disponibles sont données dans la table qui suit :

| **Nom** | **Formule** |
|---|---|
| Aucun | 1 |
| Rectangle | 0.5 aux bords, 1 partout ailleurs |
| Hann | $w_{\text{Hann}}(x) = 0.5 - 0.5\cos\xi$ |
| Hamming | $w_{\text{Hamming}}(x) = 0.54 - 0.46\cos\xi$ |
| Blackmann | $w_{\text{Blackmann}}(x) = 0.42 - 0.5\cos\xi + 0.08\cos 2\xi$ |
| Lanczos | $w_{\text{Lanczos}}(x) = \operatorname{sinc}\pi(2x-1)$ |
| Welch | $w_{\text{Welch}}(x) = 4x(1-x)$ |
| Nutall | $w_{\text{Nutall}}(x) = 0.355768 - 0.487396\cos\xi + 0.144232\cos 2\xi - 0.012604\cos 3\xi$ |
| Plateau | $w_{\text{plateau}}(x) = 0.25 - 0.4825\cos\xi + 0.3225\cos 2\xi - 0.097\cos 3\xi + 0.008\cos 4\xi$ |
| Kaiser$\alpha$ | $w_{\text{Kaiser},\alpha}(x) = \dfrac{\mathrm{I}_0\left(\pi\alpha\sqrt{4x(1-x)}\right)}{\mathrm{I}_0(\pi\alpha)}$, où $\mathrm{I}_0$ est la fonction de Bessel modifiée d'orde zéro et $\alpha$ est un paramètre |




*Fonctions de fenêtrage : Hann, Hamming, Blackmann, Lanczos, Welch, Nutall, plateau, Kaiser 2,5.*




*Enveloppes des réponses fréquentielles de fonctions de fenêtrage : Hann, Hamming, Blackmann, Lanczos, Welch, Nutall, plateau, Kaiser 2,5.*

## Filtre FFT 1D

*Traitement des données → Correction des données → Filtrage FFT 1D*

Le filtrage de Fourier est un excellent moyen de supprimer le bruit d'une image en se basant sur l'analyse fréquentielle. La transformée de Fourier de l'image est d'abord calculée, puis un filtre est appliquée à cette transformée. La transformée inverse est finalement appliquée pour obtenir l'image filtrée. Gwyddion utilise la transformée de Fourier rapide (FFT) pour rendre ce calcul beaucoup plus rapide.

Pour le filtre FFD 1D, les fréquences à supprimer du spectre (type de suppression : annuler) ou réduites aux valeurs des fréquences avoisinantes (type de suppression : supprimer) peuvent être sélectionnées en marquant les zone souhaitées dans le graphe du spectre. La sélection peut être facilement inversée en utilisant le type de filtre (marqué ou non marqué). Le filtrage FFT 1D peut être utilisé pour la direction verticale ou horizontale.

### Filtrage FFT 2D

*Traitement des données → Correction des données → Filtrage FFT 2D*

Le filtrage FFT 2D agit de manière similaire à la version 1D (voir plus haut), mais en utilisant une transformée de Fourier 2D. Les fréquences à filtrer doivent donc être sélectionnées à l'aide d'un éditeur de masque en 2D. Comme les fréquences sont liées au centre de l'éditeur (qui correspond à la fréquence nulle), le masque peut être automatiquement lié au centre (origine des coordonnées spectrales) lors de son édition. Plusieurs types d'affichage et de sortie sont disponibles, dont la description est explicite – l'image ou les coefficients de la FFT (ou bien les deux) peuvent être extraits par le module.

### Séparation fréquentielle

*Traitement des données → Niveau → Séparation fréquentielle*

Une alternative simple au filtrage FFT 2D consiste à séparer les fréquences spatiales hautes et basses en utilisant un filtre passe-haut ou passe-bas. Le module de séparation fréquentielle peut générer l'image basse ou haute fréquence, ou bien les deux à la fois, en fonction du *Type de sortie* sélectionné.

La *Coupure* permet de définir la fréquence de coupure, affichée en fraction de la fréquence de Nyquist, ainsi que la période spatiale correspondante. Si *Largeur des bords* (elle aussi donnée en fraction de la fréquence de Nyquist) est nulle, le filtre aura des bords droits. Pour une valeur non-nulle, la transition aura la forme de la fonction d'erreur (erf), avec la largeur spécifiée.

Le filtrage fréquentiel peut générer des artefatcts sur les bords des l'image. Plusieurs manières de gérer les bords sont donc proposées, en complément de *Aucun* qui n'est réellement utile que pour les données périodiques (ou bien si la continuité est assurée entre les bords). Les options *Laplace* et *Miroir* étendent respectivement l'image à l'aide de l'équation de Laplace ou par mise en miroir de l'image, exactement de la même manière que la fonction Étendre. L'option *Connexion douce* applique aux lignes et aux colonnes la méthode d'extension uni-dimensionnelle utilisée dans l'outil Rugosité pour supprimer les artefacts aux bords.

## 4.13 Transformée en ondelettes

La transformée en ondelettes est similaire à la transformée de Fourier (et encore plus à la transformée de Fourier locale) avec une fonction de mérite complètement différente. La différence principale est la suivante : la transformée de Fourier décompose le signal en sinus et en cosinus, c'est-à-dire en fonctions localisées dans l'espace de Fourier ; contrairement à la transformée en ondelettes qui utilise des fonctions localisées à la fois dans l'espace réel et dans l'espace de Fourier. De manière générale, la transformée en ondelettes peut être exprimée avec l'équation suivante :

$$F(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\, \psi^*_{(a,b)}(x)\, \mathrm{d}x$$

où le symbole * désigne le conjugué complexe et $\psi$ est une fonction donnée. Cette fonction peut être choisie arbitrairement à condition qu'elle obéisse à certaines règles.

Comme on peut le voir, la transformée en ondelettes est en fait un ensemble infini de diverses transformées, dépendant de la fonction de mérite utilisée pour la calculer. C'est la raison pour laquelle nous pouvons entendre parler de la « transformée en ondelettes » dans des contextes et applications très divers. Il existe aussi de nombreuses manières de classer les types de transformées en ondelettes. Nous ne présentons ici que la division basée sur l'orthogonalité des ondelettes. Nous pouvons utiliser les *ondelettes orthogonales* pour le développement en ondelettes discret et les *ondelettes non-orthogonales* pour le développement en ondelettes continu. Ces deux transformées possèdent les propriétés suivantes :

1. La transformée en ondelettes discrète retourne un vecteur de données de même longueur que les données d'entrée. Généralement la plupart des valeurs de ce vecteur sont pratiquement nulles. Cela vient du fait qu'elle décompose en un ensemble d'ondelettes (fonctions) orthogonales par translation et par homothétie. On décompose ainsi le signal en un nombre égal ou inférieur de coefficients du spectre d'ondelettes que le nombre de points de données du signal. Un tel spectre d'ondelettes est très bon pour le traitement du signal et la compression, par exemple, car nous n'obtenons ici aucune information redondante.
2. La transformée en ondelettes continue retourne quant à elle un vecteur de dimension supérieure de un à celle des données d'entrée. Pour des données 1D nous obtenons une image du plan temps-fréquence. On peut ainsi aisément visualiser l'évolution fréquentielle pendant la durée du signal et comparer son spectre avec ceux d'autres signaux. Comme on utilise ici un ensemble d'ondelettes non-orthogonales, les données sont hautement corrélées, on a donc dans ce cas une redondance élevée. Ceci permet de voir le résultat sous une forme plus « humaine ».

Pour plus de détails sur la trasnformée en ondelettes vous pouvez jeter un coup d'œil sur les nombreuses ressources disponibles sur internet, ou par exemple sur [1].

Ces deux transformées sont implémentées dans la librairie de traitement des données de Gwyddion, et les modules utilisant la transformée en ondelettes sont accessibles dans le menu *Traitement des données* → *Transformées* menu.

### Transformée en ondelettes discrète

La transformée en ondelettes discrète (DWT, Discrete Wavelet Transform) est une implémentation utilisant un ensemble discret d'échelles et de translations d'ondelettes obéissant à certaines règles. En d'autres termes, cette transformée décompose le signal en un ensemble d'ondelettes mutuellement orthogonales, ce qui constitue la différence principale avec la transformée en ondelettes continue, ou son implémentation en séries discrètes dans le temps parfois appelée transformée en ondelettes continue discrète dans le temps (DT-CWT, discrete-time continuous wavelet transform).

L'ondelette peut être construite à partir d'une fonction d'échelle décrivant les propriétés d'échelle du signal. La restriction d'orthogonalité avec les translations discrètes implique certaines conditions mathématiques, par exemple l'équation de dilatation

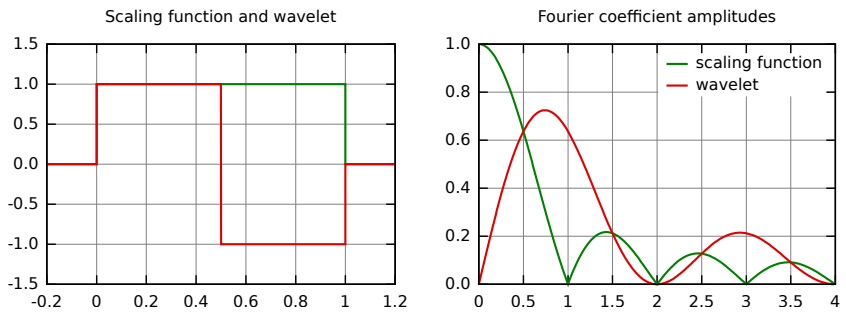
$$\phi(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \phi(Sx - k)$$

où $S$ est un facteur d'échelle (prenant généralement une valeur de 2). De plus, la zone entre les fonctions doit être normalisée et la fonction d'échelle doit être orthogonale par translation, c'est-à-dire qu'on a

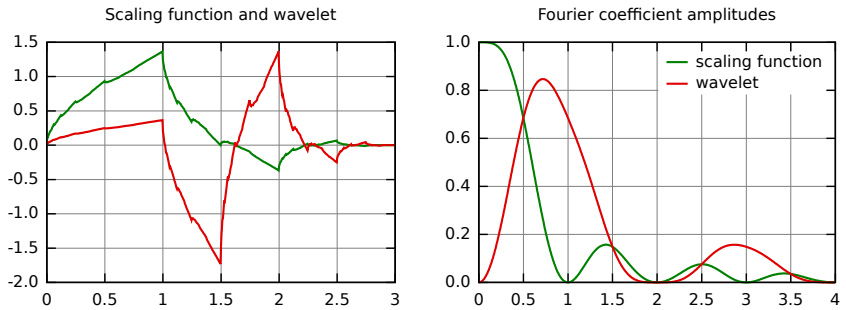
$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(x)\,\phi(x+l)\,\mathrm{d}x = \delta_{0,l}$$

Après introduction de conditions supplémentaires (les réstrictions précédentes ne produisent pas une solution unique) nous pouvons obtenir le résultat de toutes ces équations, c'est-à-dire un ensemble fini de coefficients $a_k$ définissant la fonction d'échelle ainsi que l'ondelette. L'ondelette est obtenue à partir de la fonction d'échelle grâce à $N$ où $N$ est un entier pair. L'ensemble des ondelettes forme alors une base orthogonale que nous utilisons pour décomposer le signal. Notez qu'en général seuls quelques coefficients $a_k$ sont non nuls, ce qui simplifie les calcul.

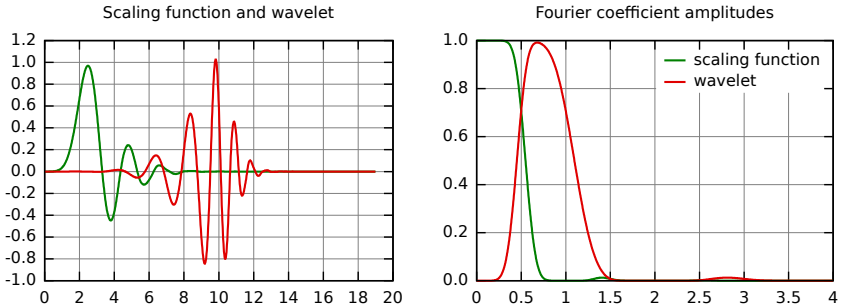
Quelques fonctions d'échelle et d'ondelettes sont présentées dans la figure qui suit. La famille Daubechies est la famille la plus connue des ondelettes orthonormales. Ses ondelettes sont généralement dénommées par le nombre de coefficients $a_k$ non nuls, on parlera donc d'ondelettes Daubechies 4, Daubechies 6, etc. Pour faire simple, les fonctions deviennent plus douces avec un nombre croissant de coefficients d'ondelettes. Comparez par exemple les ondelettes Daubechies 4 et 20 ci-dessous. La fonction la plus simple, l'ondelette de Haar, utilise une fonction porte commme fonction d'échelle.




*Fonction d'échelle et ondelette de Haar (à gauche) et leur contenu fréquentiel (à droite).*




*Fonction d'échelle et ondelette Daubechies 4 (à gauche) et leur contenu fréquentiel (à droite).*




*Fonction d'échelle et ondelette Daubechies 20 (à gauche) et leur contenu fréquentiel (à droite).*

Il existe plusieurs types d'implémentation de l'algorithme DWT. Le plus connue et aussi le plus ancien est l'algorithme (pyramidal) de Malaat. Dans celui-ci deux filtres – un lissant et un non-lissant – sont construits à partir des coefficients d'ondelette, puis utilisés de manière récurrente pour obtenir les données pour toutes les échelles. Si le nombre total de données $D = 2^N$ est utilisé et que la longueur du signal est $L$, les premières $D/2$ donnée d'échelle $L/2^{N-1}$ sont calculées, puis les $(D/2)/2$ données d'échelle $L/2^{N-2}$, ... pour obtenir finalement 2 données d'échelle $L/2$. Le résultat de cet algorithme est un ensemble de même longueur que celle des données d'entrée, dans lequel les données sont généralement classées de la plus grande à la plus petite échelle.

L'algorithme pyramidal est utilisé dans Gwyddion pour calculer la transformée en ondelettes discrète. La version 2D est accessible en utilisant le moduel DWT.

La transformée en ondelettes discrète peut être utilisée pour débruiter facileement et rapidement un signal. Si nous ne prenons qu'un nombre limité des coefficients les plus élevés dans le spectre de la transformée, et que nous appliquons la transformée inverses (en utilisant la même base d'ondelettes) nous pouvons obtenir un signal plus ou moins débruité. Il existe plusieurs façons de choisir les coefficients qui seront conservés. Le seuillaeg universel, le seuillage adaptatif d'échelle [2] et le seuillage adaptatif d'échelle et d'espace [3] sont implémentées dans Gwyddion. La détermination du seuil pour ces différentes méthodes se fait d'abord en évaluant la variance du bruit donnée par

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{Median}\,|Y_{ij}|}{0.6745}$$

où $Y_{ij}$ correspond à tous les coefficients de la sous-bande de plus haute échelle de la décomposition (dans laquelle la majorité du bruit est supposée se trouver). La variance du bruit peut aussi être obtenue de manière indépendante, par exemple à partir de la variance du signal AFM lorsque celui-ci n'effectue pas de scan. Pour la sous-bande de plus haute fréquence (seuillage universel) ou pour chaque sous-bande (seuillage adaptatif d'échelle) ou pour le voisinnage de chaque pixel dans la sous-bande (seuillage adaptatif d'échelle et d'espace) la variance est calculée par la formule suivante

$$\hat{\sigma}_Y^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i,j=1}^{n} Y_{ij}^2$$

La valeur de seuil est finalement obtenue par

$$T(\hat{\sigma}_X) = \hat{\sigma}^2/\hat{\sigma}_X$$

où

$$\hat{\sigma}_X = \sqrt{\max(\hat{\sigma}_Y^2 - \hat{\sigma}^2, 0)}$$

Lorsque le seuil est connu pour une échelle donnée, nous pouvons soit supprimer tous les coefficients inférieurs au seuil (seuillage dur), soit diminuer la valeur absolue de ces coefficients par la valeur du seuil (seuillage doux).

Le débruitage par transformée en ondelettes discrète est accessible par le menu *Traitement des données* → *Transformées* → *Débruitage DWT*.

## Transformée en ondelettes continue

La transformée en ondelettes continue (CWT, Continuous Wavelet Transform) est une implémentation de la transformée en ondelettes utilisant des échelles arbitraires ainsi que des ondelettes pratiquement arbitraires. Les ondelettes utilisées ne sont pas orthogonales et les données obtenues par cette transformée sont hautement corrélées. Nous pouvons aussi utiliser cette transformée pour les séries discrètes dans le temps, avec la limitation que les translations des plus petites ondelettes soient égales au pas d'échantillonnage des données. Cette transformée est parfois appelée transformée en ondelettes continue discrète dans le

temps (DT-CWT, Discrete-Time Continuous Wavelet Transform), et il s'agit de la façon la plus répandue de calculée la CWT pour des applications réelles.

En principe la transformée en ondelettes continue fonctionne en utilisant directement la définition de la transformée en ondelettes, c'est-à-dire en calculant la convolution du signal par l'ondelette mise à l'échelle. Nous obtenons de cette manière pour chaque échelle un ensemble de longueur $N$ identique à celle du signal. En utilisant $M$ échelles choisies arbitrairement nous obtenons une matrice $N \times M$ représentant directement le plan temps-fréquence. L'algorithme utilisé pour ce calcul peut être basé sur une convolution directe ou par une convolution réalisée par une multiplication dans l'espace de Fourier (aussi appelée transformée en ondelettes rapide).

Le choix de l'ondelette utilisée pour la décomposition temps-fréquence est le point le plus important. Celui-ci a une influence sur la résolution en temps et en fréquence du résultat. Nous ne pouvons modifier de cette manière les caractéristiques de la transformée en ondelettes (les basses fréquences ont une bonne résolution fréquentielle mais une mauvaise résolution temporelle ; les hautes fréquences ont une bonne résolution temporelle et une mauvaise résolution fréquentielle), mais nous pouvons toutefois augmenter la résolution fréquentielle totale ou la résolution temporelle totale. Ceci est directement proportionnel à la largeur de l'ondelette utilisée dans l'espace réel et dans l'espace de Fourier. Si nous utilisons par exemple l'ondelette de Morlet (partie réelle – fonction cosinus amortie) nous pouvons espérer une haute résolution fréquentielle car cette ondelette est très localisée du point de vue des fréquences. A l'inverse, l'utilisation d'une ondelette de type dérivée gaussienne (DOG, Derivative of Gaussian) donnera une bonne résolution temporelle, mais une mauvaise résolution fréquentielle.

La transformée en ondelettes continue (CWT) est implémentée dans le module CWT accessible par le menu *Traitement des données → Transformées → Ondelettes - continue (CWT 2D)*.

### Références

[1] A. Bultheel: Bull. Belg. Math. Soc.: (1995) 2

[2] S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli: IEEE Trans. Image Processing, (2000) 9 p. 1532

[3] S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli: IEEE Trans. Image Processing, (2000) 9 p. 1522

## 4.14 Analyse fractale

On rencontre parfois des objets ayant des propriétés aléatoires. On admet en général que ces obbjets présentent les propriétés d'auto-affinité sur une certaine plage d'échelles. L'auto-affinité est une généralisation de l'auto-similarité, qui est la propriété essentielle de la plupart des fractales déterministes. Une partie d'un objet auto-affine est similaire à l'objet entier après une mise à l'échelle anisotrope. On considère que de nombreuses surfaces rugueuses appartiennent aux objets aléatoires ayant des propriétés d'auto-affinité, et sont traités comme des fractales. Ces surfaces peuvent bien évidemment être analysées par microscopie à force atomique (AFM). Les résultats de l'analyse fractale de surfaces aléatoires et auto-affines mesurées par AFM sont en général utilisés pour classifier de telles surfaces préparées selon différents procédés technologiques [1,2,3,4].

Gwyddion propose différentes méthodes d'analyse fractale, que l'on retrouve dans *Traitement des Données → Statistiques → Analyse Fractale*.

**La méthode par comptage de cube [1,2]** est directement dérivée de la définition de la dimension fractale par comptage de boîte. L'algorithme est basé sur les étapes suivantes : un maillage cubique de constante de maille $l$ est superposé sur la surface selon $z$. Au départ, $l$ vaut $X/2$ (où $X$ est la longueur du bord de la surface), ce qui donne un maillage de $2 \times 2 \times 2 = 8$ cubes. Puis $N(l)$ est le nombre de tous les cubes contenant au moins un pixel de l'image. La constante de maille $l$ est ensuite réduite par pas de 2 et le procédé se répète jusqu'à ce que $l$ égale la distance entre deux pixels adjacents. La pente du graphe de $\log N(l)$ par rapport à $\log 1/l$ donne directement la dimension fractale $D_\mathrm{f}$.

**La méthode par triangulation [1]** est très similaire à la méthode par comptage de cube et est elle aussi directement basée sur la dimension fractale par comptage de boîte. La méthode fonctionne de la manière suivante : une grille de dimension unitaire $l$ est placée sur la surface. Celle-ci définit l'emplacement des vertex d'un certain nombre de triangles. Quand, par exemple, $l = X/4$, la surface est couverte par 32 triangles de différentes aires et inclinés à différents angles par rapport au plan $xy$. Les aires des triangles sont calculées et sommées pour obtenir une approximation de la surface $S(l)$ correspondant à $l$. La taille de la grille est ensuite réduite par succesivement par un facteur 2, comme précédemment, et le processus se déroule jusqu'à ce que $l$ correspondeà la distance entre deux pixels adjacents. La pente du graphe de $S(l)$ par rapport à $\log 1/l$ correspond alors à $D_\mathrm{f} - 2$.

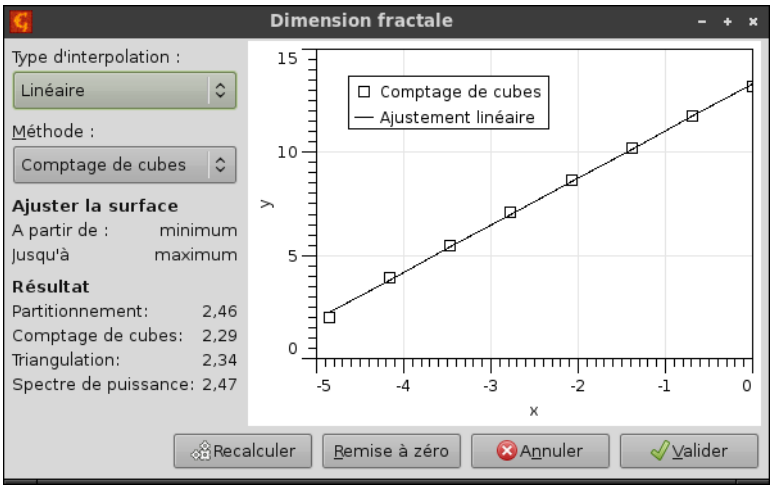
**La méthode par variance [3,4]** est basée sur la dépendance d'échelle de la variance du mouvement Brownien fractionnaire. En pratique, dans la méthode par variance on divise la surface en boîtes carrées de taille égale, et la variance (la puissance

des valeurs RMS des hauteurs) est calculée pour une taille de boîte particulière. La dimension fractale est calculée à partir de la pente $\beta$ de la régression linéaire par moindres carrés des points du graphe log-log de la variance, on a alors $D_f = 3 - \beta/2$.

**La méthode du spectre de puissance [3,4,5]** est basée sur la dépendance en spectre de puissance du mouvement Brownien fractionnaire. Dans la méthode du spectre de puissance, une tranformée de Fourier est appliquée sur le profil de chaque ligne constituant l'image, permettant d'évaluer le spectre de puissance. Tous les spectres de puissance ainsi calculés sont ensuite moyennés. La dimension fractale est calculée à partir de la pente $\beta$ de la régression linéaire par moindres carrés des points du graphe log-log du spectre de puissance, on a alors $D_f = 7/2 + \beta/2$.

Les axes des graphes de dimension fractale affichent des données logarithmiques, les dépendances linéaires mentionnées plus haut correpondent donc ici à des lignes droites. La mesure des axes doit donc être traitée de manière arbitraires.

Notez que les résultats changent en fonction de la méthode utilisée. Ceci vient des erreurs systématiques des approches des différentes analyses fractales.




*Fenêtre de calcul de la dimension fractale.*

De plus, les résultats de l'analyse fractale peuvent être fortement influencés par la convolution de la sonde de mesure. Il est donc recommandé de vérifier la carte d'incertitude avant d'appliquer l'analyse fractale. Dans les cas où l'image de la surface est fortement influencée par l'image de la sonde, les résultats de l'analyse fractale peuvent être perturbés de manière importante.

Notez que les algorithmes présents dans le module Analyse Fractale sont aussi utilisés pour le module Correction Fractale et pour l'option Interpolation Fractale de l'outil Supprimer les Points Chauds.

### References

[1] C. Douketis, Z. Wang, T. L. Haslett, M. Moskovits: Fractal character of cold-deposited silver films determined by low-temperature scanning tunneling microscopy. Physical Review B, Volume 51, Number 16, 15 April 1995, 51

[2] W. Zahn, A. Zösch: The dependance of fractal dimension on measuring conditions of scanning probe microscopy. Fresenius J Analen Chem (1999) 365: 168-172

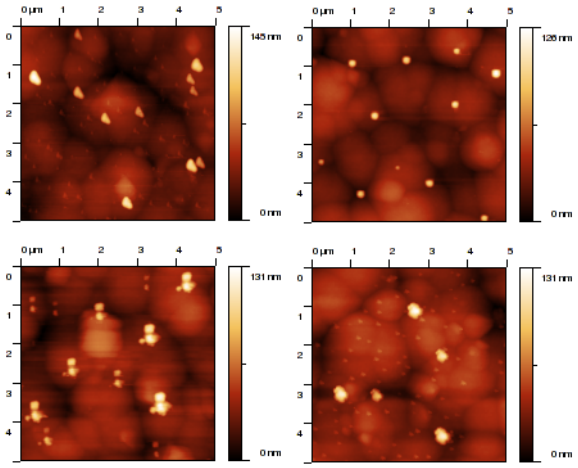
[3] A. Van Put, A. Vertes, D. Wegrzynek, B. Treiger, R. Van Grieken: Quantitative characerization of individual particle sutfaces by fractal analysis of scanning electron microscope images. Fresenius J Analen Chem (1994) 350: 440-447

[4] A. Mannelquist, N. Almquist, S. Fredriksson: Influence of tip geometry on fractal analysis of atomic force microscopy images. Appl. Phys. A 66,1998, 891-895

[5] W. Zahn, A. Zösch: Characterization of thin film surfaces by fractal geometry. Fresenius J Anal Chem (1997) 358: 119-121

## 4.15 Artefacts de Convolution de Sonde

Les artefacts de convolution de sonde sont l'une des plus importantes sources d'erreurs des mesures SPM. Comme la sonde n'est jamais idéale (comme la fonction delta) on observe souvent un certain niveau de distorsion généré par cet effet. On peut même observer la sonde imagée sur l'image du scan alors que des détails fins sont présents sur la surface.




*Images d'une surface de ZnSe mesurée avec quatre sondes différentes (plus ou moins en mauvais état).*

Heureusement, on peut simuler et/ou corriger les effets des sondes à l'aide d'algorithme respectivement de dilatation et/ou d'érosion. Ces algorithmes ont été publiés par Villarubia (voir [1]).

### Obtenir la géométrie de la sonde

Pour étudier l'influence de la sonde sur les données nous devons d'abord connaître sa géométrie. En général, celle-ci peut être déterminée de différentes façons :

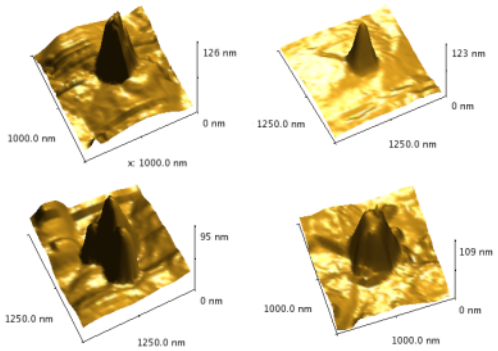
1. utiliser les données du fabricant (géométrie de lal sonde, rayon et angle de la pointe et tip geometry)
2. utiliser un microscope électronique à balayage ou une technique similaire permettant de déterminer les propriétés de la sonde.
3. utiliser un échantillon de caractérisation de sonde (ayant des bords raides).
4. utiliser un algorithme d'estimation à l'aveugle en combinaison avec des échantillons de caractérisation de sonde ou d'autres échantillons adaptés.

Avec Gwyddion, nous pouvons utiliser la première et la dernière approche mentionnées. La plupart des géométries basiques des sondes peuvent être simulées à l'aide de la modélisation de sonde (*Traitement des données* → *Sonde et indentation* → *Modélisation de sonde*). Cette manière de spécifier la géométrie peut être très efficace lorsque l'on souhaite simplement vérifier une carte d'incertitude ou effectuer une simulation de convolution de sonde.

Vous pouvez utiliser l'algorithme d'estimation à l'aveugle pour obtenir une structure de sonde plus détaillée (et plus réaliste) (*Traitement des données* → *Sonde et indentation* → *Estimation à l'aveugle*).

L'algorithme d'estimation à l'aveugle dérive du fait que l'on peut directement voir certains détails de la sonde sur des points des données. L'algorithme itère sur toute la surface, et tente en chaque point de déterminer chaque point de la sonde en fonction de la pente la plus forte dans la direction allant du point de la sonde à sa pointe.

Gwyddion permet d'utiliser cet algorithm de deux manières : l'estimation *partielle* qui utilise un nombre de points limité parmi les plus élevés dans l'image, et l'estimation *complète* qui utiliser l'image entière (et qui ainsi bien plus lente). Le module d'estimation permet aussi d'utiliser l'estimation partielle comme point de départ de l'estimation complète. Ceci doit permettre d'améliorer la vitesse de calcul de l'estimation complète.

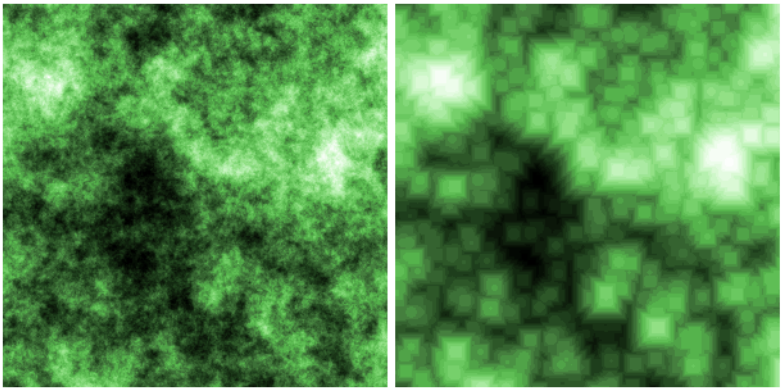



*Sondes SPM obtenues à partir des données de la figure précédente en utilisant l'algorithme d'estimation à l'aveugle.*

## Convolution de sonde et reconstruction de surface

Lorsqu'on connaît la géométrie de la sonde, on peut utiliser l'algorithme de convolution (dilatation) de sonde afin de simuler le processus d'aquisition des données. Il faut dans ce cas utiliser le module Dilatation (*Traitement des données* → *Sonde et indentation* → *Dilatation*). Ceci peut être utile lorsqu'on travaille sur des données résultant de simulations numériques (voir par exemple [2]).

Notez que ces algorithmes (ainsi que les deux qui suivent) nécessitent que les données du scan et de la sonde soient compatibles, c'est-à-dire que les dimensions physiques des pixels du scan et de l'image de la sonde soient identiques. Cette relation est naturellement obtenue par estimation à l'aveugle utilisée sur les mêmes données (ou des données correspondant à une mesure identique). Vous devrez ré-échantillonner l'image de la sonde si vous l'avez obtenue par un autre moyen.



*Surface fractale simulée avant (à gauche) et après (à droite) la convolution de la sonde.*

L'opposé de la convolution de sonde correspond à la reconstruction de surface (érosion), que l'on peut utiliser pour corriger partiellement l'influence de la sonde sur les données. La fonction Reconstruction de Surface permet de réaliser cette opération (*Traitement des données* → *Sonde et indentation* → *Reconstruction de surface*). Evidemment, les données correspondant à des points de l'image n'ayant pas été en contact avec la sonde (des pores par exemple) ne peuvent être reconstruites car il n'existe aucune information sur ces points.

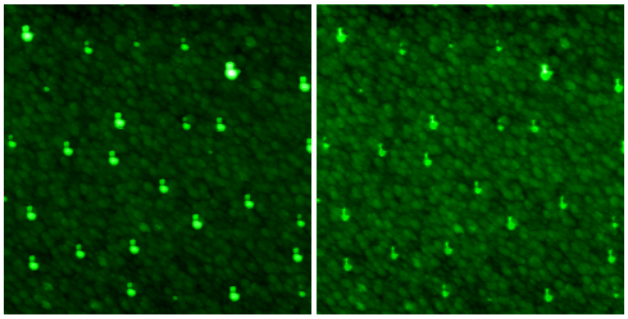
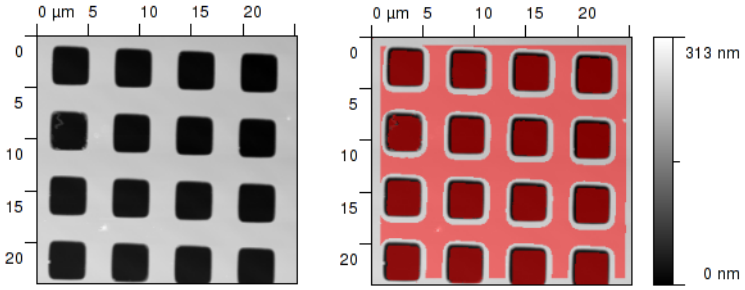


*Image originale et reconstruite d'un échantillon de ZnSe mesurée avec une sonde cassée.*

Comme on peut le voir, les parties d'une images de scan posant le plus de problèmes sont les points où la sonde ne touche pas la surface en un seul point mais en plusieurs. On a une perte d'information pour ces points. L'algorithme de la carte d'incertitude permet de marquer les points pour lesquels la surface a été probablement touchée en un seul point.




*Cartes d'incertitude obtenue avec un réseau standard. Notez que les paramètres de la sonde modélisée ont été pris dans les données du fabricant pour des raisons d'illustration. A gauche : échantillon, à droite : échantillon avec la carte d'incertitude.*

L'algorithme de la carte d'incertitude permet donc de marquer sur l'image les données corrompues de manière définitice par la convolution de la sonde. Il est important de vérifier la présence de ces points lors de l'analyse de données de surfaces présentant de fortes pentes. Vous pouvez utiliser la fonction Carte d'Incertitude de Gwyddion pour créer ces cartes (*Traitement des données → Sonde et indentation → Carte d'incertitude*).

### Références

[1] J. S. Villarubia, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 102 (1997) 425.

[2] P. Klapetek, I. Ohlídal, Ultramicroscopy, 94 (19-29), 2003

## 4.16 Force et indentation

### Analyse d'empreinte

*Traitement des données → Modes SPM → Force et indentation → Analyser l'empreinte*

Ce module calcule identifie caractéristiques d'une empreinte d'indentation et calcule les surfaces projetée et développée ($A_p$ et $A_d$), ainsi que les volumes correspondants.

**Impression** Région autour du minimum local ayant le même vecteur normal (à la symétrie près). Elle correspond à la définition usuelle de la surface de contact.

**Enfoncement** Partie de l'impression située au-dessus du plan de référence.

**Débordement** Partie de l'image située au-dessus du plan de référence mais ayant une vecteur normal différent de celui de l'impression.

**Points spéciaux** Inclut le maximum, le minimum ainsi que les points le long des pentes les plus fortes.

**Aires projetée et développée attendues** Fait référence aux valeurs obtenues en évaluant la fonction d'aire théorique de l'indenteur choisi en considérant la profondeur de l'empreinte.

**Volume au-desus/en-dessous** Il s'agit de la différence entre le volume au-dessud du plan référence et celui sous ce plan.

Notez que ce module met à niveau les données en ajustant les plans le long des bords de l'image. Cela peut aboutir à des écarts entre les valeurs obtenues avec ce modèle et les valeurs analogues obtenues avec l'outil Statistiques. Les données doivent être mises à niveau manuellement pour réduire cet effet.

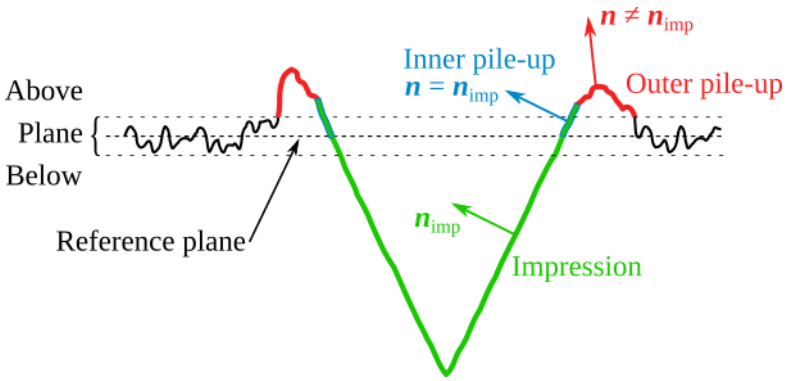



*Schéma des différentes régions d'une indentation: au-dessus, en-dessous, plan, impression, enfoncement et débordement.*

## 4.17 Multidonnées

### Arithmétique

*Traitement des données → Multidonnées → Arithmétique*

Le module d'arithmétique permet de réaliser des opérations arbitraires sur un seul champ de données ou sur les points correspondant à plusieurs champs (jusqu'à huit pour l'instant). Et bien que ce ne soit pas le but premier, il peut aussi être utilisé comme une calculatrice avec évaluation immédiate lors de l'entrée d'une expression numérique simple. La syntaxe est décrite dans la section Expressions.

L'expression peut contenir les variables suivantes, celles-ci représentant les valeurs des champs de données d'entrée :

| Variable | Description |
|---|---|
| `d1`, ..., `d8` | Valeur du pixel. La valeur est en donnée en unités physiques de base, par exemple pour une hauteur de 233 nm la valeur de `d1` sera de 2.33e-7. |
| `m1`, ..., `m8` | Valeur de masque du pixel. La valeur de masque est soit 0 (pour les pixels non masqués) soit 1 (pour les pixels masqués). Les variables de masque peuvent aussi être utilisées si aucun masque n'est présent ; la valeur est alors 0 pour tous les pixels. |
| `bx1`, ..., `bx8` | Dérivée horizontale du pixel. Là encore la valeur est donnée en unités physiques. La dérivée est calculée symétriquement autour du pixel, excepté pour les pixels de bord d'images pour lesquels la dérivée n'est calculée que d'un côté du pixel. |
| `by1`, ..., `by8` | Dérivée verticale du pixel, définie de manière identique à la dérivée horizontale. |
| `x` | Coordonnée horizontale du pixel (en unités réelles). Elle est la même pour tous les champs pour des raisons de compatibilité (voir plus bas). |
| `y` | Coordonnée verticale du pixel (en unités réelles). Elle est la même pour tous les champs pour des raisons de compatibilité (voir plus bas). |

De plus, la constante $\pi$ est utilisable et peut être invoquée avec $\pi$ ou **`pi`**.

Tous les champs de données apparaissant dans l'expression doivent être compatibles. Cela signifie que leurs dimensions (des pixels et physiques) doivent être identiques. Les autres champs de données, c'est-à-dire ceux n'entrant pas dans l'expression, sont sans effet. Le résultat est toujours donné dans un nouveau champ de données du fichier courant (qui peut être différent des fichiers de tous les opérandes).

Comme l'évaluation ne peut inférer automatiquement les unités physiques du résultat, les unités doivent être spécifiées explicitement. Ceci peut être fait de deux manières : soit en sélectionnant un champ de données ayant les mêmes unités que celles attendues pour le résultat, ou en choisissant l'option *Spécifier les unités* et en tapant les unités.

La table qui suit liste plusieurs exemples d'expressions simples :

| Expression | Signification |
|---|---|
| `-d1` | Inversion de valeur. Le résultat est très similaire à la fonction Inverser les Valeurs, à la différence que cette dernière inverse les valeurs autour de la moyenne, alors qu'ici on change simplement le signe des valeurs. |
| `(d1 - d2)^2` | Différence au carré de deux champs. |
| `d1 + m1*1e-8` | Modification des valeurs sous le masque. Ici la valeur $10^{-8}$ est ajoutée à tous les pixels masqués. |
| `d1*m3 + d2*(1-m3)` | Combinaison de deux champs de données. Les pixels sont pris des champs 1 ou 2, en fonction du masque du champ 3. |

En mode calculatrice l'expression est immédiatement évaluée lors de la frappe et le résultat est affiché sous l'entrée de l'expression. Aucune action n'est néecssaire pour passer des expressions avec champs de données à la calculatrice : les expressions ne contenant que des quantités numériques sont immédiatement évaluées, les expressions faisant appel à des champs de données sont utilisées pour calculer un nouveau champ. La prévisualisation affichant le résultat d'une opération contenant des champs de données n'est pas immédiatement mise à jour pendant la frappe ; vous pouvez la mettre à jour en cliquant sur le bouton *Mise à jour* ou en pressant simplement la touche **Entrée** dans la ligne d'entrée de l'expression.

## Incrustation d'un détail

*Traitement des données → Multidonnées → Incruster un détail*

L'incrustation permet d'insérer l'image d'un détail en haute résolution dans une plus grande image. L'image sur laquelle est lancée cette fonction forme l'image de base, de grande taille.

Le détail peut être positionné manuellement par-dessus l'image de base en utilisant la souris. Le bouton *Améliorer* peut être utilisé pour trouver les coordonnées exactes dans le voisinage de la position actuelle donnant la corrélation maximale entre le détail et l'image de base. La meilleure position peut aussi être recherchée sur la totalité de l'image de base à l'aide du bouton *Localiser*.

Notez que la recherche de corrélation est insensible aux échelles et aux décalages, ainsi l'ajustement automatique étant seulement basé sur les motifs des données, les hauteurs absolues ne jouent aucun rôle.

Le *Résultat de l'échantillonnage* contrôle la taille et la résolution de l'image finale :

***Sur-échantillonner l'image globale*** La résolution de l'image finale est déterminée par celle du détail. L'image résultante est donc plus grande.

***Sous-échantillonner le détail*** La résolution de l'image finale est déterminée par l'image de base. L'image du détail sera donc réduite.

La *Mise à niveau du détail* permet de modifier les valeurs $z$ du détail :

***Aucune*** Aucun ajustement des valeurs $z$ n'est appliqué.

***Valeur moyenne*** Toutes les valeurs du détail sont décalées d'une constante de manière à ce que leur valeur moyenne corresponde à celle de la zone correspondante de l'image de base.

## Fusion d'images

*Traitement des données → Multidonnées → Fusion*

Les images faisant partie d'une image plus grande peuvent être fusionnées à l'aide de cette fonction. L'image sur laquelle on la lance forme l'image de base, l'image sélectionnée par *Fusionner avec* représente le second opérande. Le côté de l'image de base sur lequel sera attaché la seconde image est contrôllé par la sélection *Placer le second opérande*.

Si les images sont parfaitement juxtaposables, celles-ci peuvent être directement placées côte à côte sans ajustement. Ce cas peut être géré en sélectionnant *Aucun* adns le contrôle de l'alignement *Aligner le second opérande*.

Toutefois, un ajustement est souvent nécessaire. Si les images sont de même taille et alignées perpendiculairement à la direction de fusion alors le seul degré de liberté consiste en une superposition. La méthode d'alignement *Joindre* peut être utilisée dans ce cas. Contrairement à la recherche de corrélation décrite plus bas, les valeurs absolues des données sont mises en correspondance. Ce qui fait que cette option est adaptée pour fusionner des images ayant de très faibles variations, à conditions que leurs hauteurs absolues soient correctement définies.

L'option *Corrélation* réalise un alignement automatique basée sur une recherche de la meilleure corrélation. La recherche est réalisée à la fois selon la direction parallèle au côté d'alignement et selon la direction perpendiculaire. Si un décalage est présent le long de la direction parallèle, l'image résultante est agrandie de manière à contenir totalement les deux images (les données non définies étant remplie par une valeur d'arrière-plan).

L'option *Traitement des bords* n'est utile que dans le cas d'images désalignées. Elle contrôle le traitement des zones de recouvrement des images sources :

***Premier opérande*** Les valeurs des zones de recouvrement sont prises depuis l'image de base.

***Second opérande*** Les valeurs des zones de recouvrement sont prises depuis la seconde image.

***Doux*** Une transition douce entre la première et la seconde image est réalisée sur la zone de recouvrement à l'aide d'une moyenne pondérée utilisant une fonction de pondération adaptée.

## Rognage mutuel

*Traitement des données → Multidonnées → Rognage mutuel*

Deux images légèrement différentes d'une même zone (par exemple avant et après traitement) peuvent être rognées pour ne garder que les zones d'intersection (ou dit autrement, les zones de non-intersection sont supprimées) à l'aide de ce module.

La zone d'intersection est déterminée par corrélation de l'image la plus grande par rapport au centre de la plus petite image. Les résolutions des deux images (nombre de pixels par unité de longueur) doivent être identiques.

Ici le seul paramètre est *Sélectionner le second opérande* - la corrélation entre celui-ci et l'image courante sera calculée et les deux champs de données seront rognés pour supprimer les parties proches des bords sans intersection.

## Corrélation croisée

*Traitement des données → Multidonnées → Corrélation croisée*

Ce module détermine les corrélations locales des détails de deux images différentes. La sortie idéale renvoie le décalage de chaque pixel de la première image tel qu'il apparaît dans la seconde. Ceci peut être utilisé pour déterminer les variations locales de la surface après l'avoir acquise deux fois (les décalages peuvent par exemple provenir d'une déformation de l'échantillon ou d'un dysfonctionnement de l'appareil de mesure).

Pour chaque pixel du premier opérande (l'image courante), le module prend son voisinage et cherche la meilleure corrélation du seconde opérande dans la zone définie. La position du maximum de corrélation est utilisée pour déterminer la valeur du décalage des pixels du premier opérande.

***Second opérande*** Image utilisée pour la comparaison avec le second opérande - l'image de base.

***Dimensions de recherche*** Détermine la zone où l'algorithme recherchera dans le voisinage (dans le second opérande). Cette zone doit être plus grande que la taille de la fenêtre. Il faut augmenter cette taille s'il existe de grandes différences entre les deux images.

***Taille de la fenêtre*** Détermine la taille du voisinage local (dans le premier opérande). Elle doit être plus petite que la zone de recherche. L'augmentation de cette valeur permet d'améliorer la fonctionnalité du module, mais elle augmentera le temps de calcul.

***Type de sortie*** Détermine le format de sortie (décalage des pixels).

***Ajouter un masque de corrélation basse*** Pour certains pixels (n'ayant pas de voisinage marqué) le score de corrélation peut être faible dans toute la zone, mais l'algorithme trouvera toujours un maximum de corrélation. Pour identifier ces pixels et ne pas les utiliser par la suite, vous pouvez laisser le module appliquer un masque de basse corrélation pour les décalage de pixels ayant une probabilité élevée d'être peu précis.

## Masquer par corrélation

*Traitement des données → Multidonnées → Masquer par corrélation*

Ce module recherche la corrélation d'un motif dans l'image courante. La position du motif est alors marquée par un masque dans la fenêtre de données.

***Noyau de corrélation*** Image à trouver dans l'image de base.

***Type de sortie*** Plusieurs sorties sont disponibles : maxima de corrélation locale (points individuels), masques de la taille du noyau pour chaque maxima de corrélation (intéressant lors des présentations), ou simplement le score de corrélation.

***Méthode de corrélation*** Permet de sélectionner l'algorithme de calcul de corrélation.

***Seuil*** Seuil permettant de déterminer si un maximum local doit être considéré comme un « noyau de corrélation trouvé à cet endroit ».

## Traitement par réseau neuronal

Le traitement par réseau neuronal peut être utilisé pour calculer un type de données à partir d'un autre, même si la relation entre les deux n'est pas connue de manière explicite. La relation est construite implicitement dans le réseau au travers d'un processus appelé entraînement, qui utilise des données d'entrée et de sortie connues, généralement dénommées modèle et signal. Dans ce processus, le réseau est optimisé de manière à reproduire le plus fidèlement possible le signal à partir du modèle. Un réseau ainsi préparé peut ensuite être utilisé pour traiter les données modèle pour lesquelles le signal n'est pas disponible, et obtenir – de manière approximative – l'allure du signal. Une autre application possible est l'approximation de méthodes de traitement parfaitement définies mais gourmandes en temps de calcul. Dans ce cas le signal est la sortie de la méthode exacte et le réseau neuronal est préparé de manière à la reproduire.

L'apprentissage et l'application étant deux étapes séparées, celles-ci sont disponibles sous deux fonctions différentes dans Gwyddion.

### Apprentissage

*Traitements des données → Multidonnées → Apprentissage d'un réseau neuronal*

Les fonctions principales permettant de contrôler le processus d'apprentissage sont présentes dans l'onglet *Apprentissage* :

***Modèle*** Données modèle, c'est-à-dire l'entrée pour l'apprentissage. Des modèles multiples peuvent être choisis de manière séquentielle pour l'apprentissage (avec les données signal correspondantes).

***Signal*** Données signal, c'est-à-dure la sortie que le réseau doit pouvoir reproduire après apprentissage. Les données signal doivent être compatibles avec les données modèles, c'est-à-dire que le nombre de pixels et les dimensions physiques doivent être identiques.

***Étapes d'apprentissage*** Nombre d'étapes d'apprentissage à réaliser après avoir appuyé sur *Lancer l'apprentissage*. Chaque étape consiste en une passe sur la totalité des données signal. Il est possible de définir un nombre d'étapes nul ; aucune passe d'apprentissage ne sera réalisée mais le modèle sera évalué avec le réseau et vous pourrez oberver le résultat.

***Lancer l'apprentissage*** Démarre la phase d'apprentissage. Le processus est relativement long, surtout si les données et/ou la taille de fenêtre sont grands.

***Ré-initialiser*** Initialise le réseau neuronal dans un état sans apprentissage. Plus précisément, cette fonction affecte des poids aléatoires aux neurones.

***Mode du masque*** Il est possible de réaliser l'apprentissage sur un sous-ensemble du signal, défini par un masque sur les données signal (le masquage du modèle n'aurait pas de sens à cause de la taille de fenêtre).

Les paramètres du réseau de neurones peuvent être modifiés dans l'onglet *Paramètres*. Le fait de changer la taille de fenêtre ou le nombre de nœuds ré-initialise le réseau (de la même manièr que le bouton *Ré-initialiser*).

***Largeur de fenêtre*** Taille horizontale de la fenêtre. Les données d'entrée du réseau consistent en une zone autour du pixel modèle, appelée fenêtre. La fenêtre est centrée sur le pixel, il est donc préférable d'utiliser une taille impaire.

***Hauteur de fenêtre*** Taille verticale de la fenêtre.

***Nœuds cachés*** Nombre de nœuds dans la couche « cachée » du réseau de neurones. Un nombre élevé peut aboutir à un réseau plus efficace, par contre l'apprentissage et l'application seront plus longs. Ce nombre est typiquement petit par rapport au nombre de pixels de la fenêtre.

***Puissance XY de la source*** Puissance selon laquelle les unités des dimensions latérales doivent apparaître dans le signal. Ceci n'est utilisé que lors de l'application du réseau.

***Puissance Z de la source*** Puissance selon laquelle les unités de « hauteur » du modèle doivent apparaître dans le signal. Ceci n'est utilisé que lors de l'application du réseau.

***Unités fixées*** Unités fixées du résultat. Celles-ci sont combinées avec les autres paramètres d'unités, pour obtenir des unités indépendantes unités d'entrée il faudra donc mettre les deux puissances à 0. Ceci n'est utilisé que lors de l'application du réseau.

Un réseau neuronal peut être sauvé après l'apprentissage, ou rechargé pour subir un nouvel apprentissage sur des données différentes, etc. La liste des réseaux est semblable aux pré-réglages d'import de fichiers bruts.

En plus des réseaux de la liste, un réseau supplémentaire sans nom est disponible ainsi que le réseau en cours d'apprentissage. Lors du chargement d'un réseau, celui en cours d'apprentissage devient une copie du réseau chargé. Un nouvel apprentissage ne modifie pas les réseaux nommés ; pour sauvegarder un réseau après apprentissage (sous un nom existant ou nouveau) vous devez utiliser le bouton *Enregistrer*.

#### Application

*Traitement des données → Multidonnées → Appliquer un réseau neuronal*

L'application d'un réseau neuronal est simple : il suffit d'en choisir un dans la liste et presser *OK*. Le réseau sans nom en cours d'apprentissage est aussi présent dans la liste sous le nom « Apprentissage en cours ».

Comme les réseaux de neurones traitent et produisent des données normalisées, ceux-ci ne préservent pas correctement les proportions, en particulier si l'échelle du modèle d'entraînement diffère sensiblement de celle des données réelles. Si la sortie est censée être à l'échelle par rapport à l'entrée, vous pouvez activer l'option *Mettre à l'échelle proportionnellement à l'entrée* qui met la sortie à l'échelle en considérant le rapport inverse entre la plage de donnée actuelle et celle de l'apprentissage.

## 4.18 Analyse de graphes

De nombreux modules d'analyse des données de Gwyddion produisent des graphes. Ceux-ci peuvent être exportés sous forme de fichier texte ou être analysé directement avec Gwyddion grâce à plusieurs module d'analyse de graphes. Ces modules se situent dans le menu Graphes de la fenêtre principale de Gwyddion. Notez que le nombre de modules est pour l'instant assez limité et ceux-ci permettent de faire les opérations de base les plus courantes en analyse de données SPM. Vous pouvez utiliser votre programme d'analyse de graphes favori pour obtenir plus d'outils..

Les modules de graphes disponibles dans Gwyddion sont présentés brièvement dans cette section.

### Opérations basiques

Les fonctions de zoom et de lecture des valeurs sont accessibles directement dans la fenêtre de graphe :

— Axes logarithmiques – les axes horizontal et vertical peuvent passer du format linéaire au logarithmique à l'aide du bouton d'échelle logarithmique. Le passage à l'échelle logarithmique n'est possible que pour les valeurs positives (en abcisse ou ordonnée).
— Zoomer et dézoomer – dessinez simplement la zone à afficher avec la souris après avoir sélectionné le bouton zoom. Le bouton dézoomer permet d'afficher toutes les données.
— Mesure de distance – permet à l'utilisateur de sélectionner plusieurs points sur le graphe et d'en afficher les distance et les angles entre chacun.

### Mise à niveau de graphes

La mise à niveau de graphe est un module très simple réalisant un ajustement linéaire de chaque courbe et en soustrait la fonction linéaire calculée.

### Alignement de graphes

L'alignement de graphes décale les courbes horizontalement pour maximiser leur corrélation mutuelle, c'est-à-dire qu'elle fait correspondre les détails communs entre les deux courbes. Cette fonction est utile pour comparer des profils pris à des endroits différents d'une surface.

### Transformée logarithmique

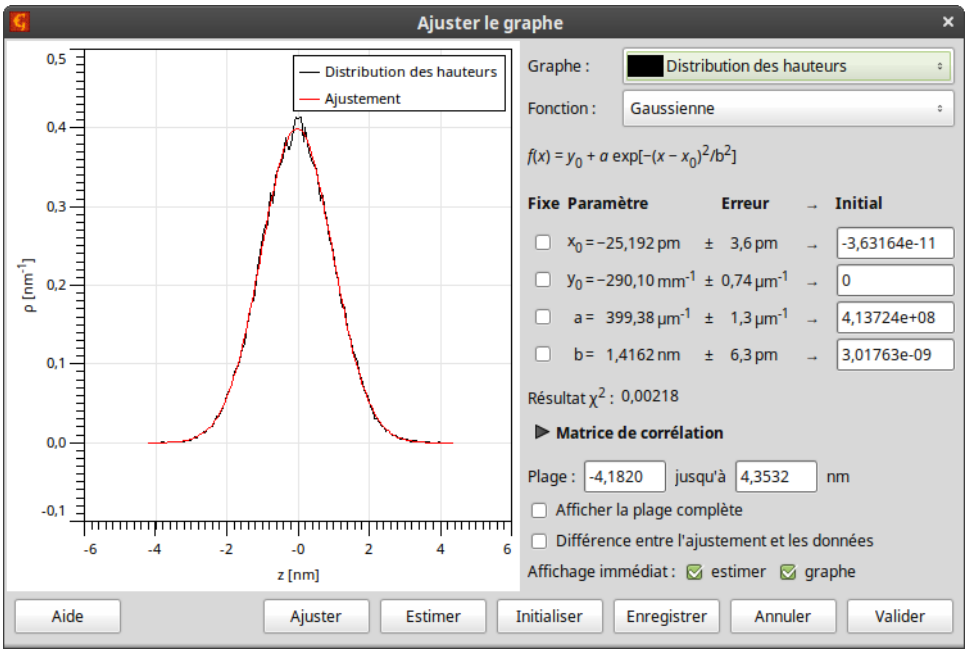
Les contrôles de la fenêtre du graphe permettent de passer les axes de l'échelle liénaire à l'échelle logarithmique. Toutefois, pour l'ajustement de données à l'aide de fonctions de type puissance, il peut être utile de transformer physiquement les données en prenant le logarithme des valeurs. La fonction de transformée logarithmique permet de réaliser une telle conversion. Vous pouvez choisir l'axe à transformer ($x$, $y$ ou les deux), définir le comportement pour les valeurs négatives, ou choisir la base logarithmique. Un nouveau graphe est alors créé, avec toutes les courbes transformées tel que désiré.

### Ajustement de fonction

L'ajustement de courbe est conçu avant tout pour ajuster des fonctions statistiques utilisées pour le calcul de paramètres de rugosité. Les fonctions disponibles sont donc pour la plupart des fonctions statistiques de surfaces ayant des fonctions d'autocorrélation gaussienne ou exponentielles. Il propose aussi quelques fonctions plus communes.

Au sein du module vous pouvez sélectionner la zone à ajuster (avec souris ou numériquement), tester divers paramètres initiaux, ou laisser le module les évaluer, pour finalement ajuster les données à l'aide de l'aide de l'algorithme de Marquardt-Levenberg.

Vous obtiendrez alors la courbe ajustée ainsi que ses paramètres. L'ajustement peut être sauvegardé dans un fichier à l'aide du bouton *Sauvegarder* button. Le bouton *OK* permet d'ajouter la courbe ajustée au graphe, si vous ne le souhaitez pas vous pouvez quitter le module avec le bouton *Annuler*.




*Fenêtre du module d'ajustement de courbe*

### Ajustement de courbe force-distance

Le module d'ajustement de courbe force-distance est très similaire au module précédent, il est juste spécialisé pour les courbes force-distance. Le module permet pour l'instant d'ajuster la partie montante d'une courbe force-distance (qui correspond aux forces attractives) à l'aide de différents modèles :

- force de van der Waals entre un hémisphère et le demi-espace
- force de van der Waals entre une pyramide et le demi-espace
- force de van der Waals entre une pyramide tronquée et le demi-espace
- force de van der Waals entre une sphère et le demi-espace
- force de van der Waals entre deux sphères
- force de van der Waals entre un cône et le demi-espace
- force de van der Waals entre un cylindre et le demi-espace
- force de van der Waals entre une paraboloïde et le demi-espace

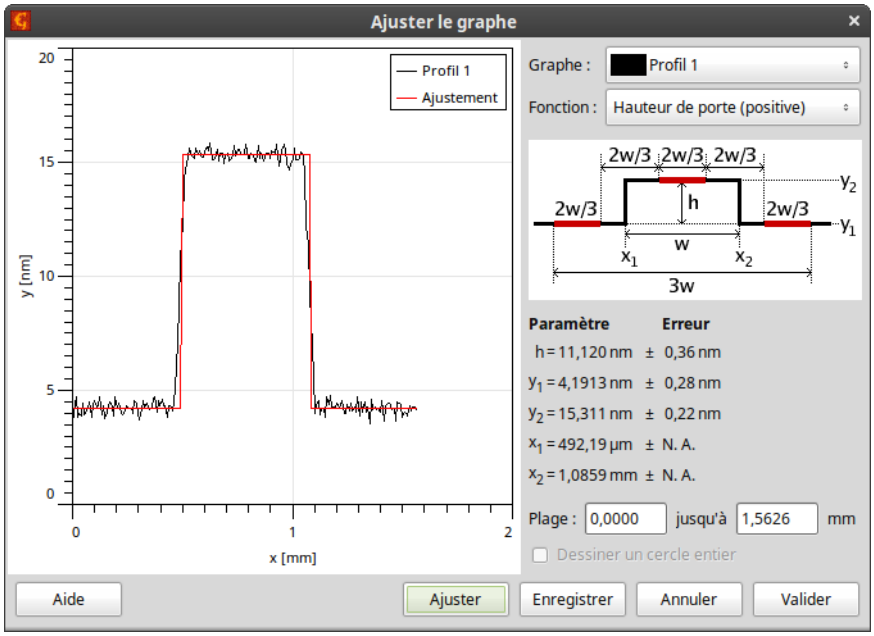
Notez que la courbe à ajuster doit être une véritable courbe force-distance, et non une courbe déplacement-distance ou senseur-distance. La conversion de la déflection du cantilever en force doit être faite avant d'utiliser ce module.

Sachez aussi que pour les cantilevers ayant des constantes d'ammortissement courtes, la quantité de données utilisables est limitée dans la région attractive à cause des effets de rebonds au contact.

## Dimension critique

Le module dimension critique peut être utilisé pour ajuster certains objets « typiques » obtenus lors de l'analyse de profils extraits de puces électroniques ou de surface similaires. Ces objets sont localisés sur le graphe et leurs propriétés sont calculées.

L'interface utilisateur de ce module est pratiquement identique à celle du module d'ajustement de graphe.




*Fenêtre de dialogue du module de calcul de dimension critique.*

## Spectre DOS

Le module de spectre DOS sert à obtenir des spectres de densités d'états (Density-of-States) à partir de mesures de spectroscopie STM I-V (réponse courant-tension obtenue par microscopie à effet tunnel). Il calcule

$$\left|\frac{\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}U}}{\frac{I}{U}}\right|(U)$$

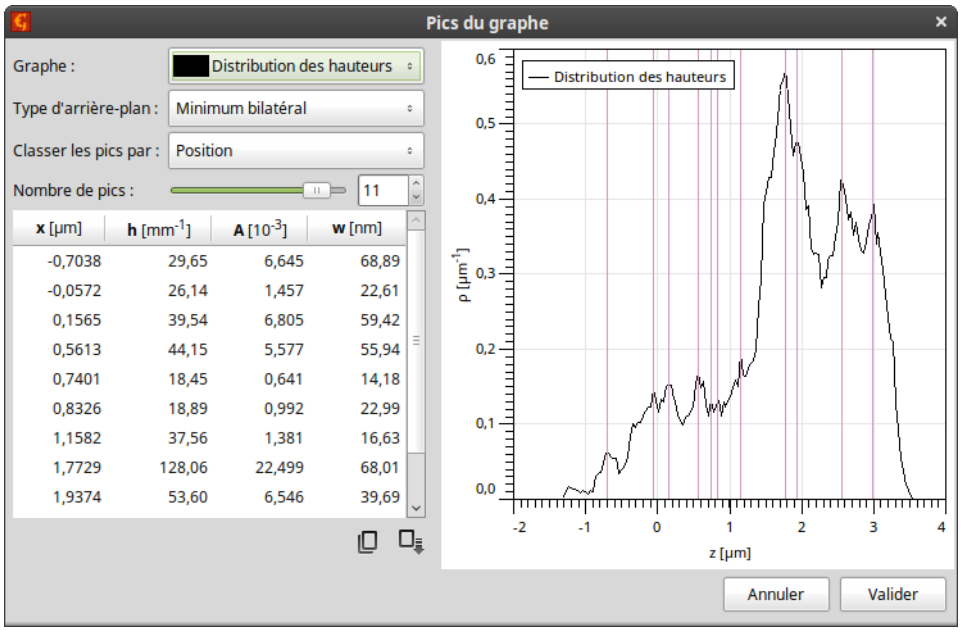
et l'affiche sous forme de graphe.

## Localisation des pics

Les pics les plus importants d'un graphe peuvent être automatiquement localisés avec une précision inférieure à l'échantillonnage. Vous pouvez spécifier le nombre des pics les plus proéminents dans la case *nombre des pics*, et la fonction les marquera en conséquence. La proéminence d'un pic dépend de sa hauteur, son aire ainsi que sa distance par rapport aux autres pics. En général, l'idée que se fait la fonction de la proéminence des pics est assez proche de celle obtenue par détermination visuelle. Si vous êtes en désaccord avec les pics obtenus, vous pouvez en demander un nombre plus important puis ignorer ceux qui ne vous jugez pas satisfaisant.

Une table résumant tous les pics est affichée sur la gauche, ceux-ci étant classés en fonction de *classer les pics par*. Le classement par position signifie que les pics sont listés dans le même ordre que sur le graphes, de gauche à droite. Le classement par proéminence signifie que les pics les plus significatifs sont listés en premier.

Plusieurs caractéristiques sont données pour chaque pic : position (abscisse) $x$, hauteur $h$, aire $A$, et largeur (ou variance) $w$. La position est calculée par un ajustement quadratique du maximum du pic. Les caractéristiques restantes dépendent de la définition de l'arrière-plan du pic. Les choix possibles incluent *zéro*, c'est-à-dire que la base du pic est toujours considérée comme valant zéro, et *minimum bilatéral*, c'est-à-dire que l'arrière-plan du pic est une fonction saut passant par le minimum de la courbe le plus proche de part et d'autre du pic.




*Exemple de localisation automatique des pics pour une courbe de distribution des hauteurs.*

## 4.19 Traitement des données volumiques

Gwyddion propose plusieurs fonctions basiques pour la visualisation de données volumiques et l'extraction de données de dimensions inférieurs (coupes, courbes). Quelques fonctions spécialisés, orientées vers le traitement de données volumiques sous forme de courbes (ou spectres) pour chaque pixel, sont aussi disponibles. Celles-ci sont toutes présentes dans le menu *données volumiques* de la fenêtre principale.

Gwyddion interprète la plupart du temps les données volumiques comme un ensemble de courbes, chacune étant rattachée à un pixel dans le plan $xy$, ou de manière alternative comme un empilement d'images selon l'axe $z$. Cela signifie que les fonctions attribuées aux données volumiques traiteront en particulier l'axe $z$. Si vous comptez importer dans Gwyddion des données volumiques comportant deux dimensions spatiales et une dimension pariculière, assurez-vous que l'axe particulier corresponde à $z$.

### Opérations basiques

Les opérations élémentaires sur les données volumiques sont les suivantes :

***Dimensions et unités*** Change les dimensions physiques, les unités ou les échelles ainsi les décalages latéraux. Cela peut s'avérer utile pour corriger les données brutes importées avec de mauvaises échelles ou pour une simple recalibration des dimensions et des valeurs.

***Inverser les valeurs*** Cette fonction inverse le signe de toutes les valeurs des données volumiques.

***Calibration selon Z*** Lorsque l'axe $z$ ne correspont pas à une dimension spatial, son échantillonnage peut être irrégulier, contrairement aux axes d'imagerie $x$ et $y$ qui eux seront toujours réguliers. Cet aspect est réprésenté dans Gwyddion en associant des données uni-dimensionnelles avec l'axe $z$, appelées calibration selon Z.

Cette fonction permet d'afficher la calibration selon Z, de la supprimer, de l'extraire sous forme de graphe ou d'attacher une nouvelle calibration à partir d'un fichier texte. Dans ce dernier cas, chaque ligne du fichier doit contenir une valeur la véritable valeur de l'axe $z$ pour le plan correpondant ; bien évidemment, le nombre de lignes doit correspondre au nombre de plans images présent dans les données volumiques.

### Extraction d'images et de profils

On peut extraire des profils selon n'importe que axe ainsi que des coupes selon un plan orthogonal à n'importe quel axe avec la fonction *Données volumiques* → *Profil et coupe*.

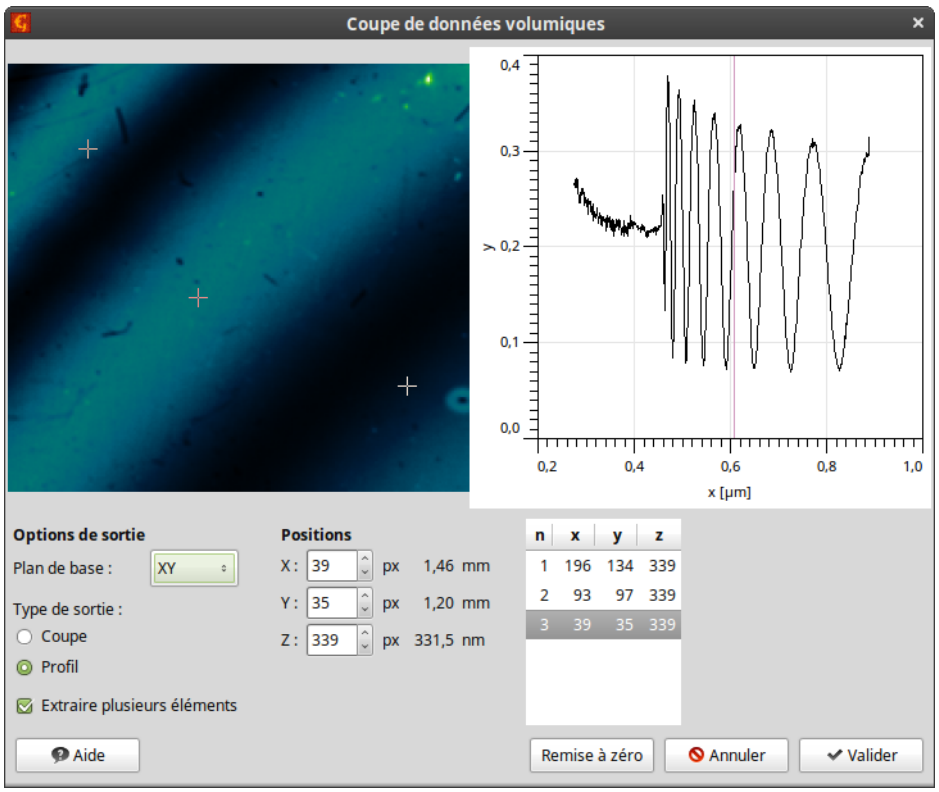
La coupe dans le plan sélectionné, appelé *plan de base*, est toujours affichée dans la partie gauche, la coupe selon l'axe orthogonal restant est quant à lui affiché dans la partie droite de la fenêtre. Vous pouvez modifier le point à partir duquel le profil est extrait

en déplaçant le point sélectionné dans l'image. De manière similaire, la localisation du plan de coupe peut être modifiée en sélectionnant un point sur le graphe du profil. Les deux valeurs peuvent aussi être entrée manuellement selon $X$, $Y$ et $Z$ (en pixels).

Vous pouvez choisir entre l'extraction de coupe ou de profil en sélectionnant le *type de sortie*. Cela n'aura pour seule conséquence que la création de l'image à gauche ou le profil à droite lorsque vous appuierez sur *OK*.

Il est aussi possible de prendre plusieurs profils ou coupes en une seule fois. Si la case *extraire plusieurs éléments* est activée, une liste des points sélectionnés apparaîtra sur la droite. Dans ce cas le type de sortie a une influence sur la sélection. Dans le mode *coupe* vous ne pourrez sélectionner qu'un seul point dans l'image (qui déterminera le profil affiché sur le graphe), mais vous pourrez sélectionner plusieurs points sur le graphe, chacun déterminant un plan de coupe. À l'inverse, le mode *profil* vous ne pourrez sélectionner qu'un seul point sur le graphe (déterminant le plan image affiché) mais vous pourrez sélectionner plusieurs points sur l'image, déterminant ainsi la localisation des profils.

Le basculement d'un type de sortie à un autre lorsque cette option est activée aura pour conséquence de réduire l'ensemble de coordonnées sélectionnées à un seul point. Vous pouvez aussi utiliser le bouton *Remise à zéro* pour réduire la sélection à un seul point si vous souhaitez complètement redéfinir la sélection.




*Capture d'écran du module d'extraction de coupes et de profils de données volumiques, montrant l'extraction simultanée de trois profils le long de l'axe z.*

## Caractérisation de profils

On peut réaliser une caractérisation basique des profils le long de l'axe $z$ à l'aide de la fonction *Données volumiques → Compiler les profils*. Cette fonction crée une image formée par les caractéristiques statistiques des profils pris selon l'axe $z$. L'ensemble des quantités statistiques disponibles est identique à celui de l'outil statistiques de lignes/colonnes.

La sélection duale image/graphe fonctionne de manière similaire à l'extraction de coupes et de profils. La principale différence réside dans le fait qu'un intervalle peut être sélectionné dans le graphe, définissant la partie de l'empilement d'images à partir de laquelle la statistique sera calculée. L'intervalle peut aussi être entré manuellement dans la partie *plage*. L'image sur la gauche affiche les caractéristiques calculées et correspond à ce que sortira le module. En sélectionnant un autre point dans l'image, vous modifierez le profil affiché sur le graphe, ce qui peut être utile pour déterminer la bonne plage à sélectionner. Toutefois, cela n'aura aucune influence sur la sortie.

### Partitionnement par K-moyennes et K-médianes

Les techniques d'imagerie spectroscopique telles que la force-distance (F-D) pour les applications en cartographie nano-mécanique quantitative (QNM, Quantitative Nanomechanical Mapping), la relation courant-tension (I-V) dans le domaine des semi-conducteurs, ou la fluorescence Raman pour la caractérisation des matériaux, nécessitent de mesurer un spectre en chaque point mesuré de l'échantillon. Travailler avec de telles données n'est pas chose aisée, car il faut traiter des milliers de spectres et analyser chacun d'eux. Si l'échantillon contient un nombre limité de régions ayant chacune des spectres similaires, alors certaines techniques permettant de grouper ces spectres peuvent être particulièrement utiles. Une de ces techniques consiste réaliser une analyse par partitionnement. Gwyddion propose actuellement deux méthodes : les K-moyennes et les K-médianes.

Les deux algorithmes tentent de trouver $K$ partitions, les spectres étant similaires dans chacun d'eux, en maximisant les différences entre partitions. Le paramètres *nombre de partitions* correspond donc au nombre $K$ de partitions que vous souhaitez obtenir au final. Les *décimales de convergence* et le *nombre d'itérations max.* gèrent les critères de convergence des algorithmes, qui s'arrêteront si la précision requise est atteinte pour la position des centres des partitions ou si le nombre de cycle de convergence dépasse la limite autorisée. Une précision plus importante nécessitera un nombre plus élevé de cycles, la seconde limite est généralement utilisée pour éviter les optimisations interminables lorsque la précision demandée est trop importante pour les données utilisées.

Le paramètre *normaliser* correspond à une technique plutôt expérimentale donnant des résultats intéressants pour l'imagerie spectroscopique. Si les intensités des spectres ne vous intéressent pas et que vous souhaitez partitionner les données par similarité des fréquences moyennes des spectres (ce qui est typiquement le cas dans le domaine de la microscopie Raman), alors cochez cette case. L'arrière-plan basse fréquence sera alors soustrait en prenant en compte le minimum dans la fenêtre glissante, puis normalise le spectre de manière à ce que l'intensité moyenne soit égale à 1. Les deux modules génèrent deux types de données : l'un indique à quelle partition appartient le spectre courant, l'autre affiche l'erreur — la différence entre le spectre courant et le centre de la partition associée. Si la normalisation est activée, alors un troisième type de donnée affiche la valeur par laquelle l'intensité spectrale a été divisée lors de la normalisation (après filtrage basse fréquence). Par ailleurs, un graphe des spectres correspondant aux centres des partitions est extrait.

Les algorithmes utilisés dans ces deux modules sont basés sur le partitionnement par apprentissage non supervisé : respectivement les K-moyennes et les K-médianes. Nous considérons chaque spectre (graphe le long de l'axe $z$) comme étant un point dans l'espace multi-dimensionnel avec un nombre de dimensions égal au nombre de points dans le graphe. Nous définissons la distance entre les points comme la racine carrée de la somme des différences au carré le long de chaque direction (norme $L^2$). Puis nous initialisons les deux algorithmes en choisissant $K$ points aléatoirement dans le volume en tant que centres des partitions. Puis on applique l'algorithme habituel à deux étapes : on assigne chaque point à la partition la plus proche puis on déplace le centre des partitions. La différence entre les modules réside dans la manière dont est calculé le centre des partitions : il s'agit de la valeur moyenne des points des partitions dans le cas des K-moyennes, et de la médiane le long de chaque direction dans le cas des K-médianes. Les résultats de la dernière itérations sont renvoyées vers le programme pour affichage.

Pour les K-moyennes, l'option *supprimer les points aberrants* modifie l'algorithme de calcul du centre des partitions en n'incluant que les points sous le *seuil des points aberrants* multiplié par la varition $\sigma$ des données de chaque partition. Il enlève les points aberrants individuels (tels que les pics ou les impacts de rayons cosmiques en spectroscopie Raman) du calcul, rendant les centres des partitions plus propres et distincts, et décale aussi les bords entre partitions proches vers des centres de densité de points maximale moins perturbés par des points aberrants trop éloignés.

## 4.20 Traitement des données XYZ

Les possibilités de traitement des données XYZ sont actuellement plutôt limitées. L'analyse doit être faite après conversion en image – le type de données basique pour lequel Gwyddion propose de nombreuses fonctions.

### Rastérisation

*Données XYZ → Rastériser*

Gwyddion est un logiciel particulièrement puissant pour traiter des données échantillonnées selon une grille régulirère, c'est-à-dire une image pixellisée. Pour appliquer des fonctions de traitement à des données XYZ irrégulières, les données doivent d'abord être interpolées selon une grille régulière, c'est-à-dire rastérisée.

Plusieurs méthodes d'interpolations sont proposées, elles peuvent être choisies à l'aide de l'option *type d'interpolation type* :

**Arrondi** Cette interpolation est analogue à l'interpolation arrondie pour les grilles régulières. La valeur interpolée en un point du plan est égale à la valeur du point le plus proche dans l'ensemble des points XYZ. Cela signifie que le pavage de Voronoi est utilisé et que chaque cellule de Voronoi est « remplie » avec la valeur du point le plus proche.

**Linéaire** Cette interpolation est analogue à l'interpolation linéaire pour les grilles régulières. La valeur interpolée en un point est calculée à partir des trois vertex du triangle contenant le point obtenu par triangulation de Delaunay. Comme les troix vertex déterminent un plan unique de l'espace, la valeur en ce point est définie par ce plan.

**Global** La valeur en un point correspond à la moyenne pondérée de tous les points XYZ de l'ensemble des données, où le poids est proportionnel à l'inverse de la puissance quatrième de la distance mutuelle. Cette méthode peut être très lente car toutes les coordonnées XYZ sont utilisées pour le calcul de chaque point.

**Moyenne** Méthode *ad hoc* déterminant la valeur des pixels en combinant le moyennage et la propagation. Dans les zones denses où plusieurs points XYZ tombent dans le même pixel la valeur attribuée est approximativement une moyenne pondérée des valeurs des points. Dans les zones pauvres dans lesquelles de larges espaces ne contiennes aucun point XYZ la valeur du pixel est propagée à partir des pixels les plus proches contenant quelques points XYZ. Le principal intérêt de ce type d'interpolation est qu'il est toujours rapide tout en produisant un résultat acceptable.

Ces deux derniers types d'interpolation sont basés sur la triangulation de Delaunay et le pavage de Voronoi, celles-ci étant mal définie pour les ensembles de points contenant plus de deux points disposés sur une même ligne ou plus de trois points placés sur un cercle. Dans ces cas précis, la triangulation échoue et le module d'import affiche une message d'erreur.

Les valeurs en dehors de l'ensemble des points XYZ sont influencées par le *Type d'exterieur*:

**Bord** L'ensemble des points n'est pas modifié et les valeurs présentes sur le bord de l'ensemble des points sont étendues à l'infini.

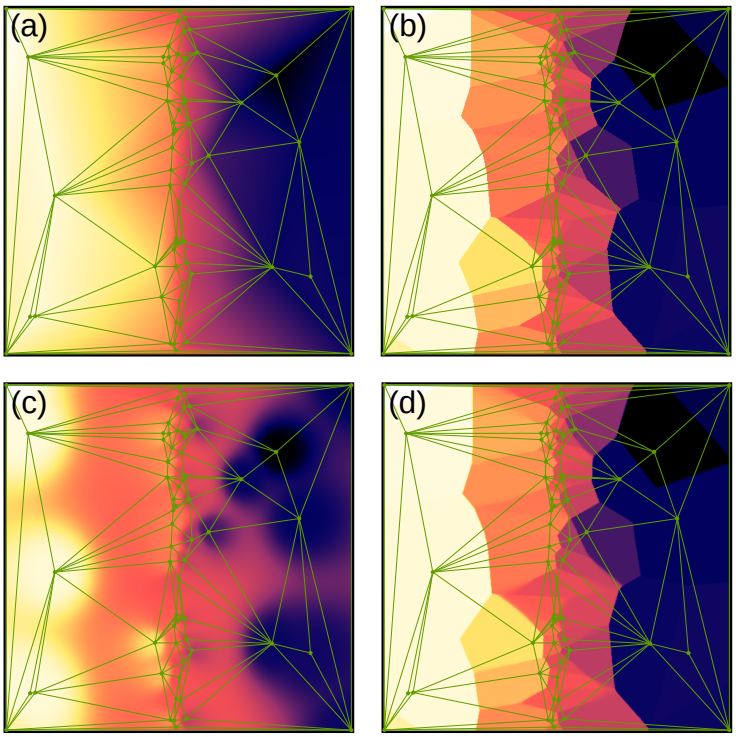
**Miroir** Des points « réfléchis » par rapport aux côtés du volume limite sont ajoutés à l'ensemble des points.

**Periodique** Des points répétés périodiquement par rapport aux côtés opppsés du volume limite sont ajoutés à l'ensemble des points.

Les dimensions horizontale et verticale des pixels de l'image résultante sont spécifiés par les paramètres *taille horizontale* et *taille verticale* dans la section *résolution*.

En général, l'image résultante devra avoir des pixels carrés. Cette condition peut être réalisée en pressant le bouton *rendre les pixels carrés*. La fonction n'essaie pas de forcer les pixels carrés lors de la modification de la résolution et des plages de données pour éviter de modifier des valeurs que vous souhaiteriez conserver. Vous devrez donc à un moment ou un autre forcer explicitement les pixels carrés avec ce bouton.

Il est possible de ne rastériser qu'une portion des données XYZ ainsi que faire le rendu d'une partie de l'extérieur. La région à convertir en image est contrôlée par les plages spécifiées dans la section *dimensions physiques*. Le bouton *initialiser les plages* ajuste la région à un rectangle contenant toutes les données XYZ. Il est aussi possible de sélectionner la région à rastériser sur l'aperçu, à condition qu'elle reste confinée dans la région en cours d'affichage.




*Triangulation de Delaunay affichée avec l'interpolation (a) linéaire, (b) arrondie, (c) globale et (d) moyenne d'un ensemble de points irrégulièrement espacés. Comme les points sont relativement espacés, l'interpolation moyenne est assez similaire à l'arrondie, avec seulement quelques zones adoucies en plus.*

Si les données XYZ représentent une image, c'est-à-dire que les points forment une grille régulière le long des axes cartésiens avec des points uniques sur la grille rectangulaire, alors la fonction de rastérisation peut directement produire l'image correspondante. Cette action peut être réalisée en utilisant le bouton *Créer directement l'image* qui apparaît dans ce cas en haut de la fenêtre de dialogue.

## Mise à niveau

*Données XYZ → Fixer le zéro*

*Données XYZ → Niveau plan*

La fonction *fixer le zéro* est exactement la même que fizer le zéro des données images. Elle décale toutes les valeurs de manière à ce que le minimum valle zéro.

La fonction *niveau plan* supprime le plan moyen. Celle-ci propose deux méthodes. La *soustraction* est complètement analogue à la fonction niveau plan pour les données images et consiste en une simple soustraction du plan moyen déterminée par la méthode des moindres carrés.

La *rotation* supprime le plan moyen à l'aide d'une véritable rotation du nuage de points, une opération uniquement réalisable de manière exacte sur des données XYZ (la fonction rotation de plan pour les images est approximée). De plus, la fonction garantit un niveau moyen horizontal après rotation, ce qui correspond à la suppression du plan moyen au sens rigoureux des moindres carrés. Bien évidemment, étant donnée que la rotation mélanges les coordonnées latérales et les valeurs des données, celle-ci n'est possible que lorsque $z$ est de même quantité physique que $x$ et $y$ (en général une longueur).

La rotation change les coordonnées $x$ et $y$ des points, rendant potentiellement les données XYZ incompatibles avec les autres données du fichier. En activant la case *mettre à jour les valeurs X et Y de toutes les données compatibles* vous pouvez mettre à jour les coordonnées latérales de tous les autres ensembles de points XYZ du fichier de manière à ce qu'elles correspondent à celle de l'ensemble courant après rotation. Les valeurs $z$ des autres données sont bien entendu conservées.

## Ajustement de forme

*Données XYZ → Ajustement de forme*

Cette fonction est aussi disponible pour les images. Voir le chapitre l'ajustement de forme des images concernant les différences entre les données images et XYZ.

L'ajustement par la méthode des moindres carrés de formes géométriques ou d'autres fonctions prédéfinies sur les données peut servir différents besoins : suppression d'une forme globale telle qu'une surface sphérique, mesure de paramètres géométriques ou création de données idéales correspondant à une topographie réelle imparfaite. Il est aussi possible d'utiliser le module pour générer des données artificielles dans le cas où rien n'est ajusté et que les paramètres géométriques sont entrés explicitement, bien qu'il soit nécessaire de fournir en entrée les données définissant les points XY.

L'utilisation de base consiste d'abord à choisir le type de forme, à sélectionner dans la liste *type de fonction*, puis à presser les trois boutons suivants dans l'ordre :

***Estimer*** Estimation initiale automatique des paramètres. En général l'estimation initial est suffisante pour procéder à l'ajustement. Lorsqu'elle est trop éloignée il peut être nécessaire d'ajuster certains paramètres manuellement pour aider l'agorithme à trouver le bon minimum. Pour certaines fonctions l'estimation utilise un sous-ensemble des données choisi aléatoirement pour éviter un temps de calcul trop long. L'estimation est donc non déterministe et le fait de presser à nouveau le bouton peut aboutir à une estimation sensiblement différente des paramètres.

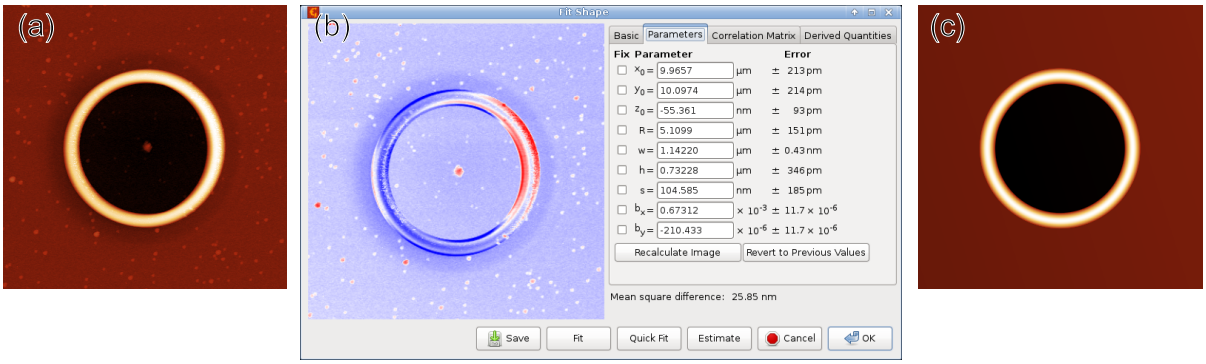
***Ajuster rapidement*** Ajustement par la méthode des moindres carrés utilisant un sous-ensemble des données choisi aléatoirement. Le calcul est nettement plus rapide que l'ajustement complet dans le cas de données de taille importante, et dans la plupart des cas il convergera vers des paramètres proches des valeurs finales. Il permet de rapidement vérifier si la méthode des moindres carrés va converger vers le minimum attendu – et obtenir au passage des valeurs de paramètres assez proches de ce minimum pour l'ajustement final.

***Ajuster*** Ajustement complet utilisant toutes les données. Cette opération peut prendre un certain temps, en particulier pour des données de taille importante ainsi que pour des fonctions prenant du temps à calculer.

La moyenne quadratique des écarts de chaque point est affichée sous les onglets, indiquée par *différence quadratique moyenne*. Celle-ci est recalculée lorsque l'aperçu est modifié, c'est-à-dire non seulement après un ajustement mais aussi après une estimation ou une modification manuelle.

Les contrôles de base du premier onglet permet aussi de sélectionner la sortie de l'ajustement, qui peut être la forme ajustée, la différence entre les données d'entrée et la forme ajustée, ou bien les deux.

L'aperçu peut afficher les données d'entrée, la forme ajustée ou bien la différence des deux – ce qui est généralement l'option la plus utile. La différence peut être affichée avec une échelle de couleur adaptée pour laquelle du rouge signifie que les données d'entrée sont au-dessus de la forme ajustée, et du bleu que les données d'entrée sous en-dessous de la forme ajustée. Cette échelle de couleur est utilisée en activant la case *afficher l'écart avec une échelle de couleur adaptée*.




*Exemple d'ajustement de forme : (a) données topographiques initiale d'une structure en anneau à la surface d'une couche mince, (b) fenêtre d'ajustement avec les paramètres du côté droit et la différence entre les données et l'ajustement dans la partie gauche, (c) forme ajustée résultante.*

L'onglet *paramètres* affiche les valeurs de tous les paramètres d'ajustement ainsi que leur incertitude, et permet aussi leur contrôle précis. Chaque paramètre peut être fixé ou variable. Les paramètres fixés ne sont pas modifiés lors d'une estimation ou d'un ajustement ; ils conservent la valeur que vous avez entrée. Lorsque vous changez manuellement la valeur d'un paramètre, l'aperçu n'est pas mis à jour automatiquement – pour ce faire pressez le bouton *recalculer l'image*. Le bouton *revenir aux valeurs précédentes* permet d'afficher l'ensemble des valeurs précédentes. Lors d'une estimation, d'un ajustement ou d'une modification manuelle cela signifie que l'ensemble des valeurs des paramètres avant l'opération les modifiant sera restauré. Un nouvel appui

fera revenir l'ensemble des valeurs obtenu après l'opération – ce qui veut dire que l'appui répété sur le bouton fera alterner les deux derniers ensembles de valeurs.

L'onglet *matrice de corrélation* affiche, après un ajustement réussi, la matrice de corrélation. Les coefficients de corrélation très proches de un (en valeur absolue) sont mis en évidence.

Et pour finir, l'onglet *quantités dérivées* affiche diverses valeurs utiles obtenues à partir des paramètres d"ajustement. Certaines fonctions d'ajustement ne proposent aucune quantité dérivéee, d'autres en donnent plusieurs. La plupart des quantités drivées correspondent à des paramètres que vous pourriez trouver plus intéressantes que les paramètres d'ajustement eux-mêmes, mais qui s'avèrent incompatibles avec l'ajustement pour des raisons de stabilité numérique. Les quantités dérivées sont affichées accompagnées de leur incertitude, déterminées à l'aide de la loi de propagation des erreurs (incluant les corrélations entre paramètres).

L'exemple typique est la courbure d'une surface sphérique comparée à son rayon de courbure. Le rayon de courbure est plus communément utilisé mais il passe de plus l'infini à moins l'infini lorsque la surface passe de convexe à concave (c'est-à-dire lorsque la surface est pratiquement plane), ce qui le rend inutilisable comme paramètre d'ajustement. *A contrario*, la courbure d'une surface plane est nulle. C'est pour cette raison que la courbure est utilisée en paramètre d'ajustement, et que le rayon de courbure est affiché dans les quantités dérivées.

## 4.21 Synthèse de surfaces

En plus des fonction d'analyse des surfaces mesurées, Gwyddion propose plusieurs générateurs de surfaces artificielles pouvant servir pour des tests ou des simulations en dehors de Gwyddion.

Les différents générateurs de surfaces ont un certain nombre de paramètres en commun, ceux-ci permettent de spécifier les dimensions et l'échelle de la surface créée, et de contrôler le générateur de nombres aléatoires. Ces paramètres sont décrits ci-dessous, les paramètres spécifiques à chaque générateur sont décrits dans les sous-sections correspondantes.

Paramètres de l'image :

***Tailles horizontale et verticale*** Résolutions horizontale et verticale de la surface générée en pixels.

***Image carrée*** Cette option, lorsqu'elle est activée, force les résolutions horizontale et verticale à être identiques.

***Largeur, hauteur*** Les dimensions physiques horizontale et verticales de la surface générée. Notez que les pixels sont supposés être carrés, le changement d'une valeur entraîne donc la modification de l'autre.

***Dimension, unité de hauteur*** Unités des dimensions latérales (*largeur*, *hauteur*) et des valeurs (hauteurs). Les unités choisies ici déterminent aussi les unités des paramètres sans sans dimension des générateurs.

**Prendre les dimensions à partir du canal courant** En cliquant sur ce bouton tous les paramètres précédant se retrouvent définis à partir du canal courant.

Notez que si les unités de valeurs sont modifiées, la valeur d'échelle est quant à elle définie par des paramètres spécifiques au générateur, ceux-ci ne sont pas nécessairement déduisibles des propriétés statistiques du canal. Ces paramètres ne sont donc pas recalculés.

***Remplacer le canal courant*** Cette option a deux effets. Elle copie d'abord les dimensions et l'échelle du canal courant. Puis elle remplace le canal courant par la surface générée au lieu de créer un nouveau canal.

***Démarrer à partir du canal courant*** Cette option a deux effets. Elle copie d'abord les dimensions et l'échelle du canal courant. Puis elle fait démarrer le générateur sur la surface contenue dans le canal courant au lieu de démarrer sur une surface plane. Notez que le résultat ne change pas s'il est dirigé vers le canal courant ou un nouveau canal.

Contôles du générateur aléatoire :

***Graine aléatoire*** Il s'agit de la graine du générateur de nombres aléatoires. Le fait de choisir les mêmes paramètres et résolutions ainsi que la même graine aboutira à la génération de la même surface, même sur des ordinateurs différents. Des graines différentes donnent des surfaces différentes ayant des caractéristiques identiques selon les paramètres utilisés par le générateur.

**Nouveau** Remplace la graine par un nombre aléatoire.

***Randomiser*** Activer cette option permet d'utiliser une nouvelle graine à chaque fois que le générateur est lancé. Cela permet de relancer facilement le générateur avec une nouvelle rgaine en tapant **Ctrl-F** (voir les raccourcis clavier).

## Synthèse spectrale

Le module de synthèse spectrale permet de créer des surfaces aléatoires en calculant la transformée de Fourier de la surface à partir des paramètres spécifiés, puis en appliquant la transformée inverse pour obtenir la surface réelle. Les surfaces générées sont périodiques (c'est-à-dire parfaitement juxtaposables).

Les paramètres de Fourier définissent la forme de la PSD, c'est-à-dire les modules des coefficients de Fourier, les phases étant choisies aléatoirement. Actuellement toutes les surfaces générées sont isotropes, c'est-à-dire que leur PSD est radialement symétrique.

***RMS*** Moyenne quadratique (RMS, root mean square) des hauteurs (ou des différences au plan moyen, qui est cependant toujours le plan $z = 0$ ). Le bouton *Identique au canal courant* ajuste la valeur RMS à celle du canal courant.

***Fréquences minimum et maximum*** Fréquences spatiales minimum et maximum. En augmentant la fréquence minimum l'image aura tendance à « s'applatir », c'est-à-dire que les motifs larges seront supprimés. La diminution de la fréquence maximum limitera la finesse des détails.

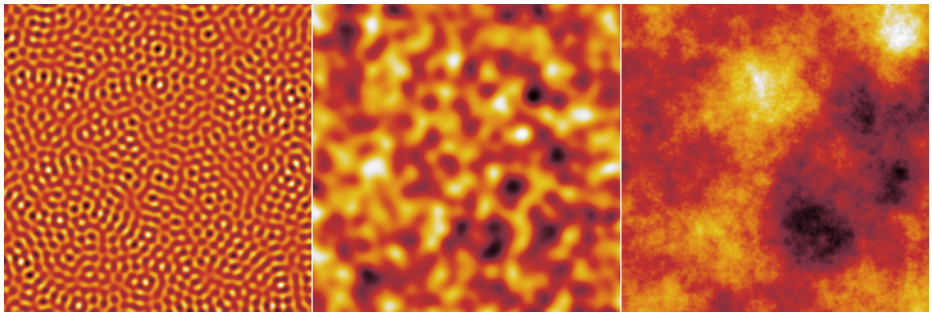
***Activer le multiplicateur gaussien*** Active la multiplication des coefficients de Fourier par une fonction gaussienne, ce qui correspond dans l'espace réel à une convolution par une gaussienne.

***Activer le multiplicateur lorentzien*** Active la multiplication des coefficients de Fourier par une fonction proportionnelle à $1/(1+k^2T^2)^{3/4}$, où $T$ est la longueur d'auto-corrélation. Aussi, le facteur en lui-même n'est pas lorentzien, mais il correspond à une densité spectrale de puissance uni-dimensionnelle lorentizienne, et donnant par ailleurs une fonction d'auto-corrélation exponentielle (voir la section analyse statistique pour une discussion sur les fonctions d'auto-corrélation). Ce facteur décroît relativement lentement, une résolution finie jouera donc un rôle plus important que dans le cas d'une gaussienne.

***Longueur d'auto-corrélation*** Longueur d'auto-corrélation du facteur gaussienne ou lorentzien (voir la section analyse statistique pour une discussion sur les fonctions d'auto-corrélation).

***Activer le multiplicateur puissance*** Active la multiplication des coefficients de Fourier par un facteur proportionnel à $1/k^p$, où $k$ est la fréquence spatiale et $p$ est la puissance. Cette option permet de générer différentes surfaces fractales.

***Puissance*** Il s'agit de la puissance $p$.

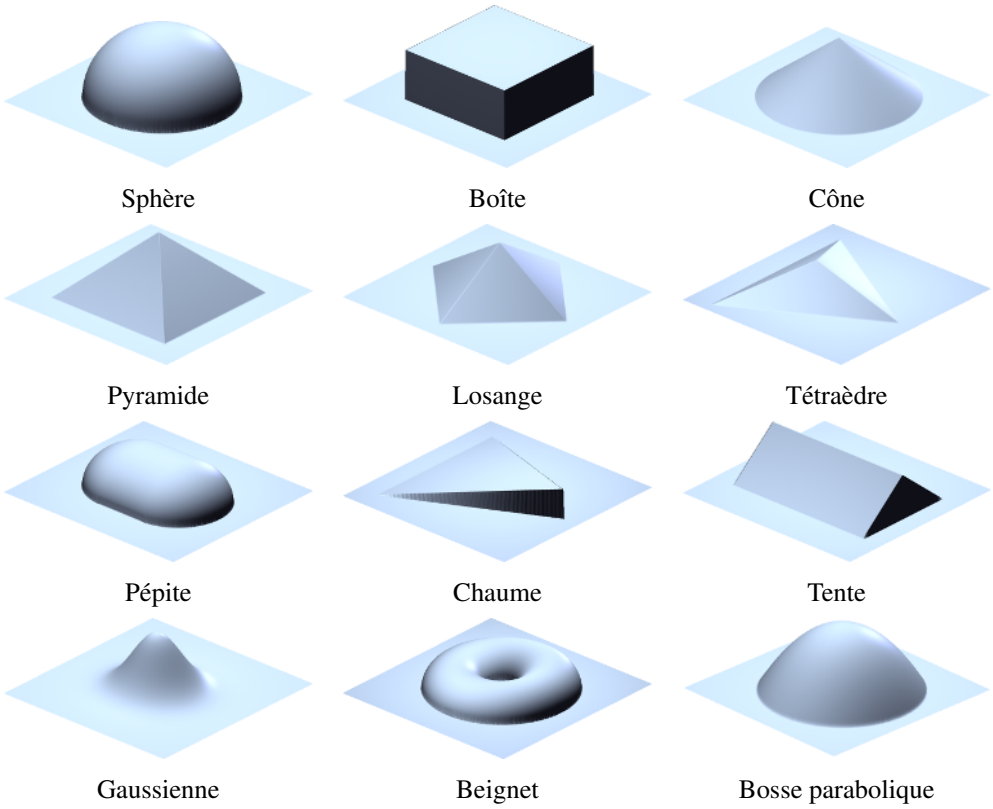


*Surfaces artificielles générées par synthèse spectrale : plage de fréquences spatiales réduite (à gauche), surface aléatoire gaussienne (au centre) et surface fractale générée avec le multiplicateur gaussien et p égal à 1.5 (à droite).*

## Objets

La méthode de distribution d'objets permet de créer des surfaces aléatoires composées d'éléments de forme spécifique. L'algorithme est simple : les objets spécifiés sont placés aléatoirement sur la surface. Pour chaque objet, les nouvelles hauteurs sont modifiées par $\max(z, z_0 + h)$, où $z$ est la hauteur de l'objet sur ce pixel (en ayant par hypothèse une base nulle) et $z_0$ et la hauteur minimale courante sur la base de l'objet étant placé. L'algorithme considère que le plan doit être rempli de copies identiques de la surface, celle-ci est donc aussi périodique (c'est-à-dire parfaitement juxtaposable).

***Forme*** Forme (type) d'objets placés. Les formes suivantes sont actuellement disponibles : demi-sphères, boîtes, pyramides, tétraèdres ainsi que quelques autres plus tordues.




***Couverture*** Nombre moyen de fois où un objet couvre un pixel de l'image. Une valeur de 1 indique que la surface serait exactement couverte une fois par les objets, en supposant que ceux-ci la couvrent uniformément sans se superposer. Des valeurs supérieures à 1 impliquent de plus en plus de couches d'objets – ainsi qu'une génération de surface plus lente.

***Taille*** Taille latérale des objets, il s'agit en général du carré circonscrit.

***Rapport d'aspect*** Rapport des dimensions $x$ et $y$ d'un objet – par rapport aux proportions par défaut.

La modification du rapport d'aspect n'implique pas nécessairement une simple homothétie, par exemple les objets appelés pépites vont passer de demi-sphères à barreaux en fonction du rapport d'aspect.

***Hauteur*** Quantité proportionnelle à la hauteur de l'objet, il s'agit en général de la hauteur du plus haut point.

L'option *Mettre à l'échelle avec la taille* rend la hauteur des objets proportionnelle à leur taille. Sans cette option les hauteurs sont indépendantes des tailles des objets.

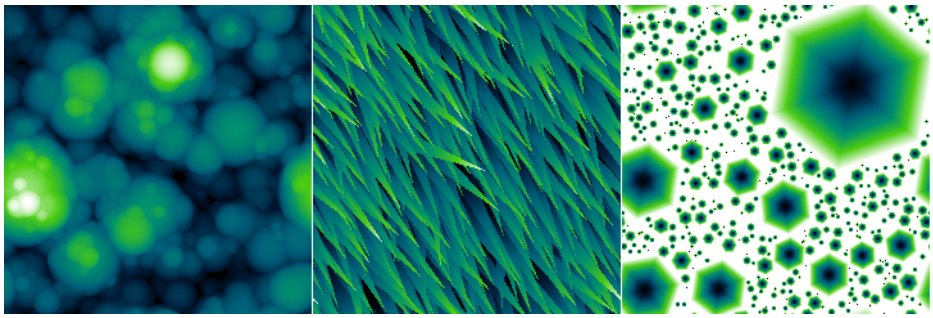
Le bouton *Identique au canal courant* ajuste la hauteur à celle basée sur la valeur RMS du canal courant.

***Type d'objet*** Direction selon laquelle la surface est modifiée lors de l'ajout des objets. Les options *positif* et *négatif* signifient que les objets formeront respectivement des bosses et des creux. La direction peut aussi être choisie aléatoirement, en choisissant l'option *les deux (aléatoire)*.

***Orientation*** Orientation des objets par rapport à l'orientation de base, mesurée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

***Tronquer*** Les formes peuvent être tronquées à une certaine hauteur, ce qui permet de créer des cones ou des pyramides tronquées par exemple. La hauteur de troncature est donnée en proportion de la hauteur totale de l'objet. Une valeur de 1 signifie que la forme n'est pas tronquée, tandis qu'une valeur de 0 supprimerait complètement l'objet.

Chaque paramètre peut être rendu aléatoire pour chacun des objets, à l'aide du paramètre *Variance*. Concernant les quantités multiplicatives (c'est-à-dire tout excepté l'orientation et la troncature) la distribution est log-normale avec la valeur RMS du logarithme de la quantité donnée par la *Variance*.



*Surfaces artificielles générées par distribution d'objets : sphères de diverses tailles (à gauche), chaumes fins avec différentes orientations (au centre), pépites de différents rapports d'aspects (à droite).*

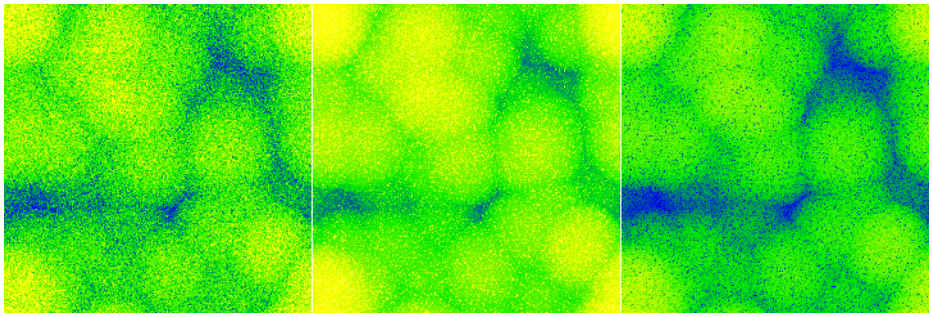
## Bruit

Un bruit alétoire et non-corrélé est généré indépendamment pour chaque pixel. Plusieurs distributions sont disponibles.

***Distribution*** Distribution de la valeur du bruit. Celle-ci peut être gausienne, exponentielle, uniforme ou triangulaire.

***Direction*** Le bruit peut être symétrique autour de zéro, ou uniquement positif ou négatif. La valeur moyenne de la distribution symétrique est nulle, c'est-à-dire que la valeur moyenne des données ne change pas si l'on y ajoute un bruit symétrique. La valeur moyenne augmente ou diminue si le bruit ajouté est respectivement positif ou négatif.

***RMS*** Moyenne quadratique de la distribution de bruit. Plus précisément, il s'agit de la valeur RMS de la distribution symétrique correspondante dans le cas d'une distribution positive ou négative.



*Différents bruits artificiels appliqués à la même surface : bruit gaussien symétrique (à gauche) ; bruit exponentiel positif (au centre) ; bruit exponentiel négatif (à droite). Toutes les images ont la même échelle de couleurs et tous les bruits ont la même valeur RMS.*

## Bruit linéaire

Le bruit linéaire correspond au bruit ayant une durée non négligeable donnant typiquement des sauts ou des défauts linéaires dans la direction rapide du scan. Les paramètres *Distribution*, *Direction* et *RMS* ont la même signification que pour le bruit ponctuel. Les autres paramètres contrôlent les caractéristiques latérales du bruit.

Trois types de défauts sont disponibles : les sauts, les rayures et les crêtes. Les sauts représentent des changements de valeur abrupts qui se prolongent jusqu'à la fin du scan (ou jusqu'à ce qu'un autre saut apparaisse). Les rayures représentent des changements locaux de valeur ayant une durée finie, c'est-à-dire que les valeurs retrouvent leur niveau original au bout d'un certain temps. Les crêtes sont similaires mais sur une échlle plus large : elles peuvent s'étendre sur plusieurs lignes.

Les sauts possèdent les paramètres suivants :

***Densité*** Nombre moyen de défauts pas ligne de scan, incluant les temps morts (tels que déterminés par le paramètres *Dans les lignes*).

***Dans les lignes*** Fraction du temps pour scanner une ligne correspondant à l'aquisition de données. Le reste du temps correspond au temps mort. Une valeur de 0 signifie que le temps d'aquisition est négligeable devant la durée de scan d'une ligne, et en conséquence les sauts n'apparaissent qu'entre les lignes.

***Cumulatif*** Dans le cas des sauts cumulatifs, la valeur aléatoire du saut est toujours ajoutée à la valeur de saut courante ; pour les sauts non cumulatifs la valeur de saut est directement la nouvelle valeur aléatoire.

Les rayures possèdent les paramètres suivants :

***Couverture*** Il s'agit de la fraction de l'image couverte par les défauts si ceux-ci ne se recouvrent pas. Comme les défauts peuvent se recouvrir, une valeur de 1 ne signifie pas que toute l'image sera recouverte de défauts.

***Longueur*** Longueur des rayure en pixels.

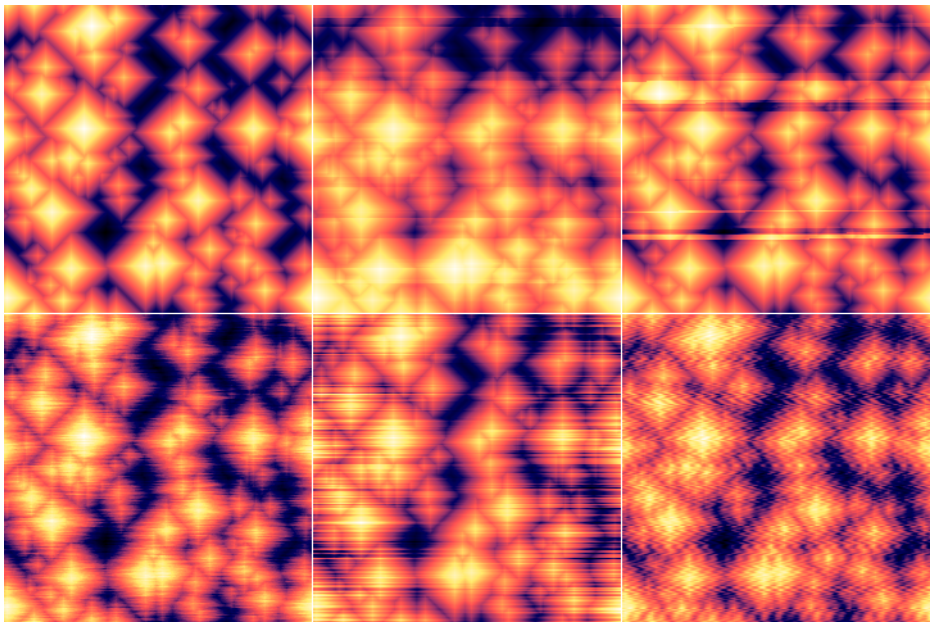
***Variance*** Variance de la longueur des rayures, voir le paragraphe Objets pour une description des variances.

Les crêtes possèdent les paramètres suivants :

***Densité*** Nombre moyen de défauts par ligne, incluant tous les temps morts (tel que défini par le paramètre *dans les lignes*).

***Dans les lignes*** Fraction de temps pour scanner une ligne correspondant à une acquisition effective des données. Le reste correspond à du temps mort. Une valeur de 1 signifie qu'il n'y a aucun temps mort, c'est-à-dire que des changements de valeur ont lieu en permanence dans l'image. Une valeur de 0 signifie que le temps d'acquisition est négligeable devant la durée de scan d'une ligne, en conséquence les changements de valeur n'ont lieu qu'entre chaque ligne.

***Largeur*** Durée moyenne du défaut, mésurée en terme de taille d'image. Une valeur de 1 signifie que la durée moyenne correspondra au temps de scan de toute l'image. Une valeur faible signifie que les défauts n'occuperont principalement qu'une seule ligne.



*Différents types de bruit linéaires ajoutés à une surface artificielle recouverte de pyramides : surface originale (à gauche) ; avec des sauts non cumulatifs relativement peu fréquents (au centre) ; avec des rayures d'une longueur moyenne de 16 pixels avec un taux de couverture élevé (à droite).*

## Motifs

Les motifs géométriques réguliers font partie des surfaces couramment rencontrées en microscopie en tant que standards ou comme échantillons de test, parmi lesquels on trouve les crénaux, les marches ou les trous. Chaque type de motif a ses propres paramètres géométriques permettant de modifier la forme et les dimensions de différents éléments du motif. Chaque paramètre possède un contrôle de variance similaire à la Synthèse d'objets, qui permet de créer des motifs irréguliers sous certains aspects.

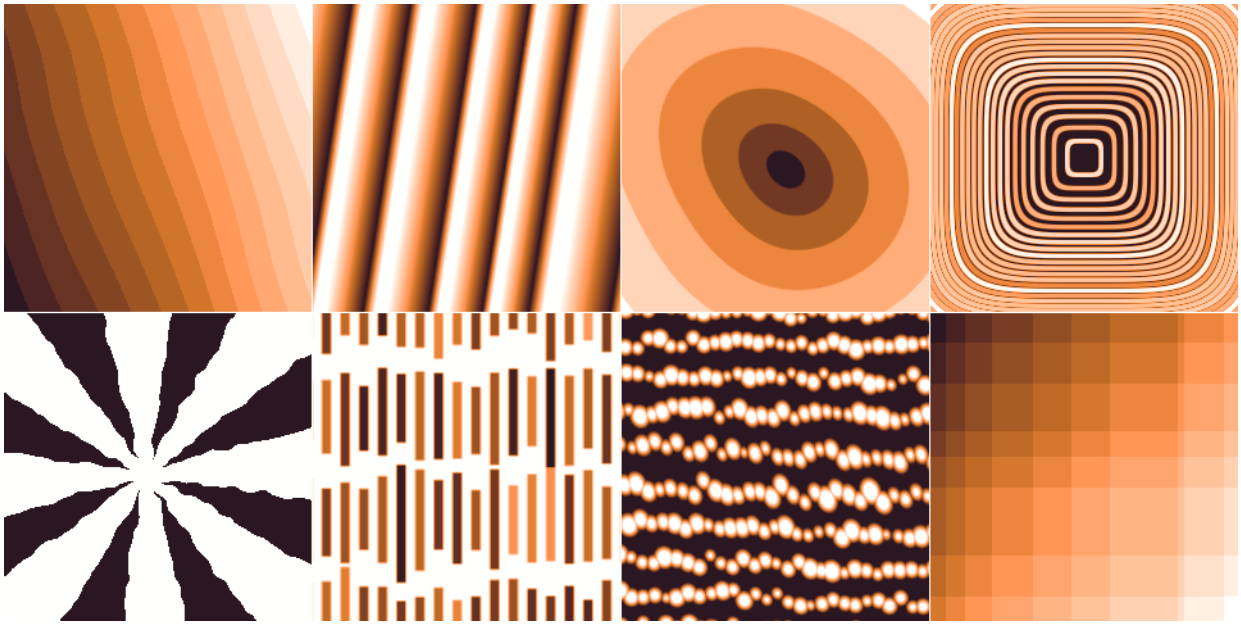
Le placement du motif dans le plan horizontal est contrôlé par les paramètres de l'onglet *Placement*, commun à tous les types de motif :

***Orientation*** Rotation du motif par rapport à une orientation de base, mesurée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Cet onglet contient aussi les paramètres de déformation. L'activation de la variation des paramètres géométriques rend la surface plus ou moins irrégulière, mais la forme des éléments reste la même. La *déformation* est une méthode complémentaire pour introduire une certaine irrégularité en distordant le motif dans le plan $xy$. Elle possède deux paramètres :

***Amplitude*** Amplitude de la déformation latérale. Il s'agit d'une valeur numérique relative déterminant la déformation pouvant être atteinte.

***Echelle latérale*** Taille caractéristique des déformations. Elle ne décrit pas à quel point les motifs sont déplacés, mais plutôt à quel point la déformation varie elle-même (rapidement ou lentement) dans le plan horizontal.



*Surfaces artificielles basées sur des motifs : marches raides orientées à 30°, modifiées par une déformation ayant une grande longueur d'autocorrélation (à gauche) ; crénaux séparés de manière non uniforme avec des pentes modérées entre les niveaux haut et bas, ainsi qu'une déformation ayant une courte longueur d'autocorrélation (au centre) ; motif non perturbé de trous arrondis avec une variation importante de taille et profondeur (à droite).*

## Films à croissance colonnaire

La simulation de croissance colonnaire utilise un algorithme simple de déposition de type Monte Carlo, dans lequel de petites particules tombent sur la surface selon des directions définies par divers paramètres, et s'accrochent à la surface autour du point au niveau duquel elles la rencontrent, augmentant ainsi localement la hauteur. L'effet d'ombrage fait qu'une plus grande partie des particules s'accrochera aux parties les plus élevées de la surface, et qu'une moindre partie atteindra les parties les plus basses. Cette rétroaction positive aboutit à la formation de colonnes. L'algorithme considère le plan horizontal comme étant rempli de copies identiques de la surface, par conséquent la surface générée est elle aussi périodique (c'est-à-dire parfaitement juxtaposable). Le générateur de surface utilise les paramètres suivants :

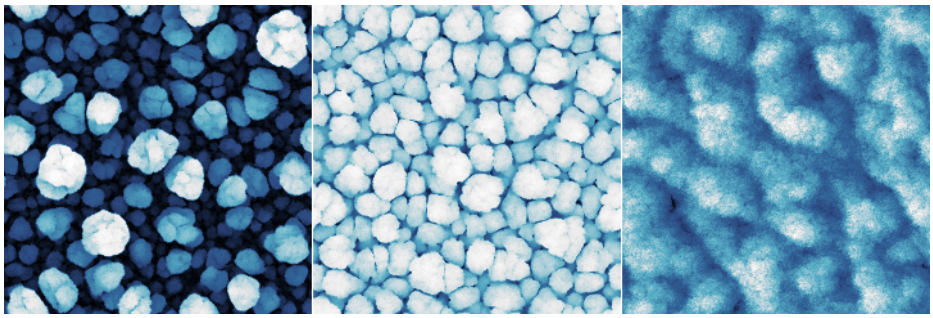
***Couverture*** Nombre moyen de fois où une particule est généré au-dessus de chaque pixel de la surface.

***Hauteur*** Augmentation locale de la hauteur lorsqu'une particule s'accroche à un pixel. Comme la taille horizontale de la particule est toujours d'un pixel, la hauteur est elle aussi mesurée en pixels. Une hauteur d'un pixel correspond à des particules cubiques, si l'on considère la croissance de la surface. Du point de vue du calcul de collision, les particules sont considérées comme étant ponctuelles.

***Inclinaison*** Angle central d'inclinaison pour lequel les particules sont générées (angle d'incidence). Une valeur de zéro signifie que de très petits angles d'incidence auront la probabilité la plus élevée. Une valeur élevée signifie que les particules rencontreront majoritairement la surface avec une incidence élevée. Toutefois, si la variance de la direction d'incidence (voir ci-après) est élevée, la distribution restera isotrope dans le plan horizontal.

***Direction*** Direction centrale d'incidence dans le plan horizontal selon laquelle les particules sont générées. Une variance élevée aboutira à une distribution isotrope dans le plan horizontal, tandis qu'une variance faible donnera une croissance anisotrope.

***Relaxation*** Méthode utilisée pour déterminer le pixel sur lequel la particule s'accrochera au final. Il existe deux options pour l'instant. La relaxation faible, avec laquelle seuls les deux derniers pixels immédiatement avant et après la collision sont pris en compte, dans ce cas la particule s'accroche au plus bas des deux. Dans le cas de la relaxation forte, l'algorithme prendra en compte un voisinage supplémentaire de $3\times3$ pixels. La particule peut se déplacer vers un pixel plus bas du voisinage avec une certaine probabilité, avant de s'y accrocher définitivement.



*Surfaces à croissance colonnaire artificielle : colonnes peu compressées (à gauche) ; colonnes compressées (au centre) ; croissance directionnelle avec une forte relaxation (à droite).*

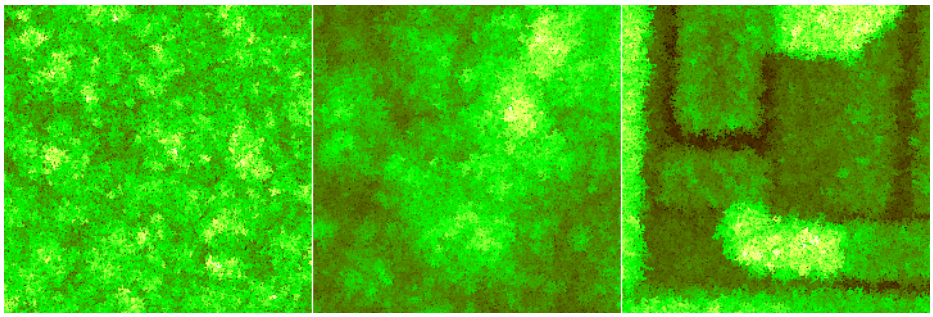
### Dépôt ballistique

Le dépôt ballistique vertical est l'un des modèles de croissance de film des plus simples. Les particules tombent verticalement sur un site (pixel) choisi aléatoirement. La hauteur du site est incrémentée de la hauteur de la particule. Toutefois, si la nouvelle hauteur s'avère plus faible que celle d'un des quatres sites adjacents, alors la particule collera aux colonnes voisines. La hauteur du site d'impact devient ainsi la hauteur maximale parmi celle des voisins. Il s'agit du seul mécanisme introduisant des corrélations latérales dans la rugosité.

La simulation propose peu de paramètres :

***Couverture*** Nombre moyen de fois où une particule est généré au-dessus de chaque pixel.

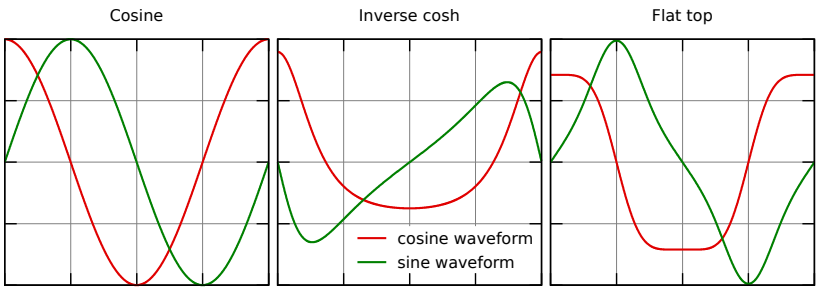
***Hauteur*** Augmentation locale de la hauteur lorsque la particule tombe sur un pixel.



*Surfaces générées par dépôt ballistique : stade initial stage avec une longueur de corrélation relativement faible (à gauche) ; stade auquel les corrélations atteignent la taille de l'image (au centre); dépôt démarrant à la surface d'une puce électronique (à droite).*

### Ondes

La synthèse par ondes génère une image en utilisant les interférences d'ondes provenant d'un nombre déterminé de sources. En plus de la traditionnelle sinusoïde, quelques autres types d'onde sont disponibles, chacun ayant une forme cosinus et une sinus, l'une et l'autre ne différant que par un déphasage de $\pi/2$ dans toutes les composantes fréquentielles. Lorsqu'on considère une onde complexe, la forme cosinus correspond à sa partie réelle, tandis que la forme sinus correspond à sa partie imaginaire.




*Formes sinus et cosinus des différentes types d'onde disponibles. Seule la forme cosinus est utilisée pour les images de déplacement ; l'onde complexe complète est utilisée pour les images d'intensité et de phase.*

Le générateur dispose des options suivantes :

***Quantité*** Quantité affichée dans l'image. Le déplacement est la somme des parties réelles. L'amplitude est la valeur absolue de l'onde complexe. La phase correspond à l'angle de phase de l'onde complexe.

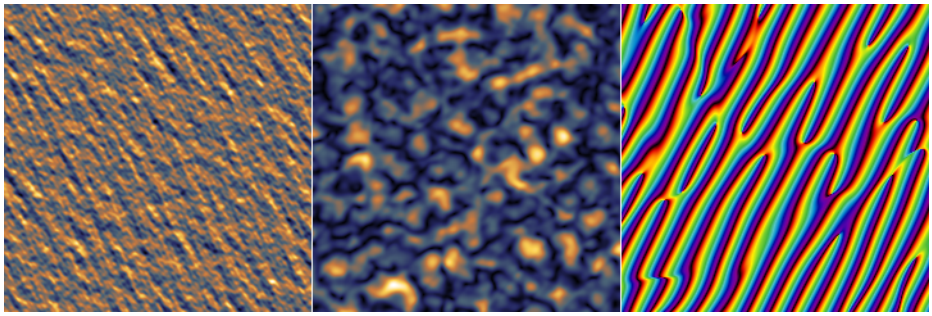
***Nombre d'ondes*** Nombre de sources ponctuelles à partir desquelles les ondes se propagent.

***Forme d'onde*** Forme d'onde décrite plus haut.

***Amplitude*** Amplitude approximative (RMS) des hauteurs de l'image générée. Notez qu'elle diffère de l'amplitude des ondes individuelles : dans ce cas l'amplitude des hauteurs croisserait selon la racine carrée du nombre d'ondes, alors que dans les faits elle reste à peu près constante à moins qu'on ne modifie l'amplitude.

***Fréquence*** Fréquence spatiale des ondes. Elle est relative à la taille de l'image, c'est-à-dire qu'une valeur de 1.0 correspond à une longueur d'onde égale à la largeur de l'image.

***Centre X, Centre Y*** Localisation des sources. La valeur zéro correspond au centre de l'image. Les positions sont aussi mesurées relativement à la taille de l'image. De manière générale, au moins une des valeurs de variance correspondantes devraient être non-nulles ; dans le cas contraire toutes les sources sont au même endroit (on peut tout de même dans ce cas obtenir des motifs intéressants en faisant varier les fréquences).



*Surfaces artificielles basées sur des ondes : image de déplacement générée avec une plage de fréquence assez large (à gauche) ; image d'amplitude utilisant l'onde de type argument cosinus hyperbolique (au centre) ; image de phase donnée par un ensemble réduit de sources lointaines (à droite).*

## Domaines

Ce module implémente un modèle d'Ising hybride hors d'équilibre [1], combinant un modèle d'Ising discret de petite échelle avec un inhibiteur continu et lent.

La variable discrète $u$ a deux valeurs possibles, entre lesquelles elle peut basculer de manière probabiliste selon la loi

$$p = \min\left\{\frac{1}{2}\exp(-\Delta E/T), 1\right\}$$

où $\Delta E$ est le changement d'énergie résultant du basculement et $T$ est la température. L'énergie est donnée par le nombre de voisins dans l'état opposé selon les axes de coordonnées $n_\mathrm{o}$, le nombre de voisins dans l'état opposé selon les diagonales $n_\mathrm{d}$, ainsi que le biais donné par le champ d'inhibition $v$ :

$$E = n_\mathrm{o} + \frac{1}{2}n_\mathrm{d} + Buv$$

L'inhibiteur continu $v$ est gouverné par une équation différentielle locale couplée à la variable $u$ :

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = -v - \nu + \mu u$$

où $\mu$ est le couplage d'inhibition et $\nu$ est le paramètre de biais. Les conditions aux limites de la simulation sont périodiques, par conséquent les images générées sont elles aussi périodiques (c'est-à-dire parfaitement juxtaposables).

Le calcul dépend des paramètres suivants :

***Nombre d'itérations*** Une itération consiste en quatre étapes : une mise à jour par Monte-Carlo de $u$, une étape temporelle de la solution de l'équation différentielle pour $v$, une autre étape de Monte-Carlo et enfin une autre étape temporelle de l'équation différentielle. Les valeurs affichées de $v$ correspondent à la seconde mise à jour. La quantité $u$ est la moyenne des deux valeurs entourant dans le temps la valeur correspondante de $v$. Les images de $u$ sont donc constituées de trois valeurs, et non deux.

***Température T*** La température détermine la probablité selon laquelle la variable à deux états $u$ peut basculer vers l'autre valeur s'il en résulte une configuration ayant une énergie supérieure ou équivalente (les basculements abaissant fortement l'énergie ont lieu de manière inconditionnelle). Une température élevée aboutira à une séparation moindre entre les deux domaines $u$ .

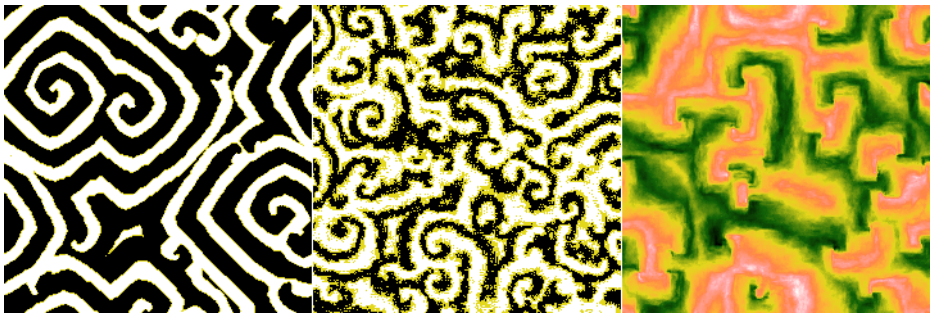
***Force de l'inhibiteur B*** Force avec laquelle la variable continue biaise l'énergie de chaque pixel. Une valeur élevée donnera une à l'inhibiteur une influence plus élevée comparée à celle de la tension de surface.

***Couplage de l'inhibiteur*** $\mu$ Facteur de couplage entre $u$ et $v$ dans l'équation différentielle pour $v$.

***Biais*** $\nu$ Biais dans l'équation différentielle pour $v$ vers des valeurs plus faibles ou plus élevées.

***Étape temporelle de Monte-Carlo*** Étape temporelle correspondant à une étape de Monte-Carlo dans l'équation différentielle. Ce paramètre détermine donc la vitesse relative des deux processus.

***Hauteur*** Plage de valeur des images créées par le module.



*Surfaces artificielles basées sur des domaines : ondes spirales étendues (à gauche) ; ondes spirales resserrées à une température plus élevée (au centre) ; valeur de la variable continue pour un cas à faible température avec un inhibiteur et un couplage faibles.*

## Diffusion

Cette simulation propose un modèle d'agrégation limitée par diffusion basé sur une méthode de Monte-Carlo discrète. Des particules en forme de pixel tombent sur la surface et se déplacent sur celle-ci jusqu'à ce qu'elles adhèrent à un agrégat, formant ainsi lentement une mono-couche. Le flux de particules est faible de manière à ce que quelques particules seulement soient libres de se déplacer à un moment donné ; celles-ci peuvent donc parcourir un chemin conséquent avant d'adhérer à la surface. L'utilisation des paramètres par défaut aboutit à la formation d'agrégats en forme de « flocons fractals ».

Le calcul utilise les paramètres suivants :

***Couverture*** Nombre moyen de fois où une particule tombe sur un pixel donné. Une valeur de couverture de 1 signifie que la surface serait couverte par une mono-couche, en supposant que les particules la couvre uniformément.

***Flux*** Nombre moyen de fois où une particule tombe sur un pixel donné à chaque étape de la simulation. Un flux faible aboutit à des structures plus étendues car les particules diffusent pendant une durée plus longue avant de rencontrer une autre particule. La valeur est donnée en logarithme décimal, indiqué par l'unité $log_{10}$.

***Hauteur*** Hauteur d'une particule, ce qui donne la hauteur des sauts dans l'image finale.

***Probabilité d'adhérence*** Probabilité qu'une particule libre adhérera et cessera donc de se déplacer lors du contact avec une autre particule. La probabilité que la particule adhère si elle touche deux ou trois particules augmente en fonction de cette valeur. La probabilité d'adhérence est toujours nulle pour une particule isolée, et vaut toujours un si la particule est entourée de quatre particules voisines.

***Probabilité d'activation*** Probabilité qu'une particule n'ayant pas adhéré se déplace si elle touche une autre particule. La probabilité de toucher plus de particules décroît selon une loi en puissance de la probabilité pour une particule unique. Les particules sans aucune voisine peuvent toujours se déplacer librement.

***Probabilité de la barrière de Schwoebel*** Une particule tombant sur le dessus d'un amas déjà formé a une probabilité réduite de descendre sur la couche précédente à cause de ce que l'on appelle la barrière de Schwoebel. Si ce paramètre vaut 1 cette barrière est inexistante, c'est-à-dire que les particules sont libres de descendre sur la couche précédente. À l'inverse, une probabilité nulle signifie que les particules ne peuvent jamais descendre sur la couches précédente. A particle that has fallen on the top of an already formed cluster can have reduced probability to descend to the lower layer due to so called Schwoebel barrier. If this parameter is 1 there is no such barrier, i.e. particles can descend freely. Conversely, probability

0 means particles can never descend to the lower layer. La valeur est donnée en logarithme décimal, indiqué par l'unité $log_{10}$.

Notez que certaines combinaisons de paramètres, par exemple un très faible flux combiné à une très faible probabilité de la barrière de Schwoebel, peuvent aboutir à des temps de calcul extrêmement longs.

*Surfaces artificielles obtenues par diffusion : amas épars avec une forte probabilité d'adhérence (à gauche); amas denses avec une faible probabilité d'adhérence (au centre); structures fractales multi-couches avec une forte barrière de Schwoebel (à droite).*

## Maillage

Le module de synthèse de maillage crée des surfaces basée sur des mailles bi-dimensionnelles aléatoires. Il comporte deux parties principales. La première, contrôlée par l'onglet *Maillage*, permet la création d'un ensemble de points dans le plan organisés selone un maillage plus ou moins aléatoire. La seconde, contrôlée par l'onglet *Surface*, permet la construction de la surface basée sur des quantités calculées par pavage de Voronoi et/ou par triangulation de Delaunay sur l'ensemble des points définis précédemment.

La création du maillage est contrôlée par les paramètres suivants :

***Maillage*** Type de maille de base. La maillage aléatoire consiste en des points placés aléatoirement. Les autres types (carrée, hexagonale, triangulaire) correspondent à des arrangements de points réguliers.

***Taille*** Taille moyenne des cellules. Ce paramètre décrit la densité moyenne despoints. Elle est égale au côté du carré si le même nombre de points était organiséé en un maillage carré.

***Relaxation du maillage*** Quantité de relaxation permise pour la maille. Le processus de relaxation éloigne les points de leurs proches voisins et les rapproche des espaces vides. Le résultat final est que la taille de cellule devient de plus en plus uniforme. Évidemment, la relaxation n'a aucun impact sur un maillage régulier. Notez que la relaxation nécessite un repavage progressif et qu'une valeur élevée de relaxation peut sensiblement ralentir la génération de la surface.

***Relaxation des hauteurs*** Quantité de relaxation permise pour les valeurs aléatoires assignées à chaque point (voir plus bas). Le processus de relaxation est similaire à la diffusion et aboutit à un lissage des valeurs aléatoires.

***Orientation*** Rotation du maillage par rapport à l'orientation de base, mesurée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Elle n'est disponible que pour les maillages réguliers car le maillage aléatoire est isotrope.

***Amplitude*, *Échelle latérale*** Paramètres contrôlant la déformation du maillage. Ils ont la même signification que dans la synthèse de motifs.

La surface finale est construite selon une somme pondérée d'un ensemble de quantités basiques dérivées du pavage de Voronoi ou de la triangulation de Delaunay. Chaque quantité peut être activée ou non. Lorsque l'une d'elles est sélectionnée dans la liste, sa pondération et ses paramètres de seuil peuvent être modifiés grâce aux curseurs. Les seuils hat et bas permettent de couper la plage de valeurs (qui est toujours normalisée à $[0, 1]$) en substituant toutes les valeurs supérieures au seuil haut par la valeur de seuil et en faisant l'inverse pour le seuil bas.

Certaines quantités sont calculées uniquement d'après les coordonnées latérales. D'autres sont calculées à partir de valeurs aléatoires (« heuteurs ») appliquées à chaque point de l'ensemble. On trouve parmi les quantités proposées :

***Aléatoire constant*** Interpolation arrondie entre les valeurs aléatoires assignées à chaque point de l'ensemble. Cela signifie que chaque cellule de Voronoi est remplie par une valeur alétoire constante.

***Aléatoire linéaire*** Interpolation linéaire entre les valeurs aléatoires assignées à chaque point de l'ensemble. La surface est alors continue, chaque triangle de Delaunay étant une facette.

***Aléatoire bosselé*** Interpolation similaire à la précédente, mais cette fois non linéaire, aboutissant à des zones relativement planes autour de chaque point.

***Distance radiale*** Distance au point le plus proche.

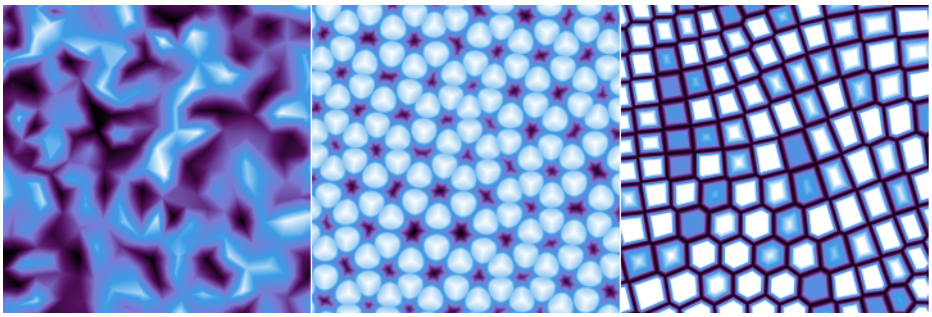
***Distance segmentée*** Distance au bord le plus proche de la cellule de Voronoi, mise à l'échelle pour chaque segment de la cellule de manière à ce que le point soit à la même distance de tous les bords de sa cellule.

***Aléatoire segmenté*** Quantité identique à la distance segmentée, mais multipliée par la valeur aléatoire assignée au point.

***Distance de bord*** Distance au bord le plus proche de la cellule de Voronoi.

***Bord aléatoire*** Quantité identique à la distance de bord, mais multipliée par la valeur aléatoire assignée au point.

***Second point le plus proche*** Distance au second point le plus proche de l'ensemble.



*Surfaces artificielles basées sur des maillages : surface à facettes créée par interpolation linéaire aléatoire (à gauche) ; bosses sur un motif triangulaire distordu (au centre) ; motif rectangulaire distordu avec segments séparés par des tranchées (à droite).*

## Mouvement brownien

Ce module génère des surfaces dont les profils sont similaires à des échantillons de mouvement brownien fractionnaire. La méthode de construction n'est cependant pas très sophistiquée. On démarre des coins de l'image, puis les points intérieurs sont interpolés linéairement de manière récursive le long des axes vertical et horizontal, en y ajoutant du bruit dont l'échelle est liée à la distance *via* l'exposant de Hurst. Certaines surfaces générées seront très similaires à celles obtenues avec la synthèse spectrale, mais le fait de les construire dans l'espace direct plutôt que dans l'espace des fréquences permet des modifications différentes de leurs propriétés.

Le générateur propose les paramètres suivants :

***Exposant de Hurst*** Valeur nominale de l'exposant de Hurst $H$. Pour les valeurs normales entre 0 et 1, la racine carrée de la fonction de corrélation hauteur-hauteur augmente selon la $H$-ème puissance de la distance. L'algorithme de construction permet aussi les valeurs négatives car il s'arrête à la résolution finie d'un pixel.

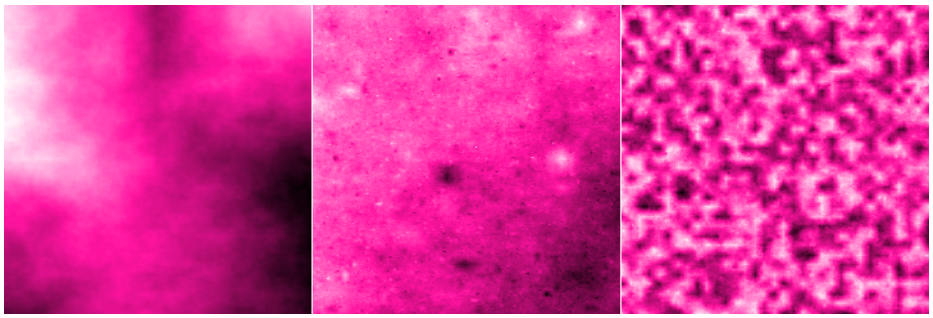
***Échelle de stationnarité*** Échelle à laquelle la stationnarité est imposée (notez que le mouvement brownien fractionnaire n'est pas stationnaire). Elle a peu d'effet lorsque qu'ell est comparable ou plus largue que la taille de l'image. Par contre lorsqu'elle est petite l'image se retrouve « homogénéisée » au lieu d'être auto-similaire au-delà de cette échelle.

***Distribution*** Distribution du bruit ajouté lors de la génération. Les distributions uniforme et gaussienne donneront globalement les mêmes surfaces (d'un point de vue statistique) ; le second type est toutefois plus rapide. Des distributions à « queue lourde », c'est-à-dire exponentielle ou plus particulièrement en puissance, aboutiront à des pics et des vallées plus prononcés.

***Puissance*** Puissance $\alpha$ pour la distribution du même nom. La densité de probabilité est proportionnelle à

$$\frac{\alpha/2}{(|z|+1)^{\alpha+1}}$$

***RMS*** Moyenne quadratique des hauteurs (ou de la différence par rapport au plan moyen, qui est toutefois toujours le plan $z=0$). Notez que cette valeur s'applique à l'image générée, et non au procédé qui la génère, qui n'a lui pas de valeur RMS finie. Le bouton *identique au canal courant* ajuste la valeur RMS à celle du canal actif lors du lancement du module.



*Surfaces artificielles basées sur un mouvement brownien : surface classique générée avec une valeur de H d'environ 0,7 (à gauche) ; image nébuleuse générée grâce à une distribution en puissance à « queue lourde » (au centre) ; effet d'une faible échelle de stationnarité (à droite).*

### Forcer la distribution statistique

Ce module transforme les valeurs de manière à forcer certaines propriétés statistiques. La distribution des valeurs peut être forcée à devenir gaussienne, tout en conservant la valeur moyenne et le rugosité RMS, ou uniforme, les valeurs minimale et maximale étant cette fois préservées. Il est aussi possible de forcer la distribution de manière à ce qu'elle soit identique à celle d'un autre champ de données, que l'on pourra sélectionner dans la partie *gabarit*.

La transformation conserve l'ordonnancement des valeurs, c'est-à-dire que si un point est plus élevé qu'un autre avant la transformation, alors il restera plus élevé après cette transformation. L'option *traitement des données* permet d'appliquer la transformation à l'ensemble de l'image (*image entière*) ou à chaque ligne séparément, avec la même distribution (*par ligne (identique)*). Notez que dans ce dernier cas, si une image gabarit est utilisée, chaque ligne de l'image transformée aura approximativement la même distribution que celle du gabarit.

Un autre type de transformation peut être appliqué, il s'agit de la discrétisation des valeurs en un nombre donné de niveaux. Cette opération est possible en sélectionnant l'option *niveaux discrets*. Deux types de discrétisations sont possibles, soit les niveaux de hauteur sont équidistants entre les valeurs minimale et maximale (*unifome*), soit ils sont calculés de manière à ce qu'après la transformation chaque niveau ait approximativement le même nombre de pixels (*surface identique*).

### Références

[1] L. M. Pismen, M. I. Monine, G. V. Tchernikov: Physica D, (2004) 199 p 82

## 4.22 Calibration et uncertitudes

### Données de calibration

Les données de calibration peuvent être utilisées pour corriger les données mesurées ou pour réaliser des calculs d'incertitude. Elles peuvent être en général de différents types et niveaux de complexité. Dans la plupart des cas l'utilisateur fait une aquisition de l'erreur sur chaque axe, par exemple à l'aide d'un calibre standard. Les valeurs acquises peuvent alors être utilisées pour la correction des données. De manière similaire, la valeur d'incertitude est le plus souvent déterminée pour chaque axe à partir d'un bulletin de calibration et d'un budget d'incertitude du procédé de mesure.

Dans les cas plus complexes; les données de calibration peuvent être déterminées localement. Les erreurs de scan ne peuvent pas toujours être décrites par trois paramètres uniquement (un pour chaque axe) et leurs incertitudes ne sont pas nécessairement constantes sur toute la dynamique. Afin d'obtenir des mesure précises il est ainsi pratique de déterminer les erreurs locales ainsi que les incertitudes locales afin de les exploiter par la suite. En parlant de "locale", nous faisons ici référence aux incertitudes reliées à une certaine position dans le volume pouvant être parcouru par le scanner.

Afin d'obtenir les erreurs et incertitudes locales, on pourra utiliser un calibre stadardisé ou utiliser une instrumentation plus complexe, tel qu'un interféromètre pour calibrer les platines de translation du scanner. Ce genre de calibration est couramment réalisée dans les instituts de métrologie.

Plusieurs outils sont disponible dans Gwyddion pour faciliter le traitement des incertitudes locales. Les données de calibration primaire, liées aux platines de translation, peuvent être déterminées ou chargées. Elles peuvent être attribuées à une mesure SPM particulière afin de créer un jeu de calibrations. Elles sont utilisées de manière automatique par les outils et modules pour lesquels un calcul de propagation des incertitudes peut être réalisé, de manière à déterminer une incertitude de mesure finale.

### Acquisition des données de calibration

*Traitement des données → Calibration*

Les données de calibration peuvent être acquises des manières suivantes : Le module *Calibration → Créer...* peut être utilisé pour créer les données de calibration primaires les plus simples - en se basant seulement sur la connaissance des erreurs xyz, des incertitudes et de la géométrie volumique du scanner. Il faut aussi donner un nom à la calibration calculée. Les données primaires de calibration sont par la suite disponibles sous ce nom pour pouvoir être appliquées aux mesures SPM.

En utilisant le module *Calibration → Calculer une carte d'erreur basique...* on peut déterminer les données primaires de calibration à partir de mesures sur des étalons calibrés. Il faut dans ce cas fournir les mesures de plusieurs étalons calibrés pour différentes hauteurs z du scanner. Cela forme plusieurs sections du volume entier du scanner. L'utilisation d'un détail seul d'un étalon, de son pas nominal et en supposant que sa planéité et son orthogonalité sont bien meilleures que celles des platines, on peut déterminer les données primaires de calibration en se basant sur les corrélations. Notez que cette manière de calibrer un microscope est très approximative et que son intérêt est plutôt limité pour des besoins de métrologie. Toutefois, elle permet d'obtenir des informations utiles sur les propriétés du scanner dans le cas où l'on ne peut pas réaliser une analyse plus fine des incertitudes.

Pour finir, le module *Calibration → Charger un fichier de calibration...* permet de charger un fichier de données de calibration obtenues par un appareil externe, comme par exemple des interféromètres. Les données doivent être sous forme de texte brut contenant les nombres des ensembles de calibration et les valeurs associées (x, y, z, x_err, y_err, z_err, x_unc, y_unc, z_unc).

### Application des données de calibration et utilisation ultérieure

*Traitement des données → Calibration*

Les données primaires de calibration obtenues lors des étapes précédentes sont liées à des platines de translation et non à des mesures SPM. On peut utiliser les données de calibration pour différentes mesures. Pour utiliser ces données pour traiter les données mesurées, il faut tout d'abord les appliquer. Le module *Calibration → Appliquer aux données...* permet de lister et sélectionner les données de calibration appliquées aux mesures. Après avoir appliqué les données de calibration, des champs de données de calibration sont créés et rattachés aux données sélectionnées. Le caractère 'C' apparaît alors dans le navigateur de données pour montrer que des données de calibration sont attachées aux données correspondantes. Notez que la calibration attachée à une mesure SPM n'est plus reliée aux données primaires de calibration (qui ont été utilisée pour les créer).

Lorsqu'une calibration est attachée à des données, la lecture des données et les modules de calcul des données statistiques la détecte automatiquement. L'incertitude de mesure est alors ajoutée aux résultats. L'incertitude totale est calculée en utilisant les lois de propagation des incertitudes.

## 4.23 Les Greffons

Les greffons sont des programmes externes pouvant être exécutés par Gwyddion pour réaliser certaines opérations sur les données ou pour lire ou écrire des données dans un autre format de fichier. Les greffons sont en général des programmes pouvant s'enregistrer dans Gwyddion (par exemple pour afficher des données vers une fenêtre) pour lui permettre de créer les menus de ces greffons et les utiliser pour le traitement des données (ou des opérations d'entrée/sortie).

De manière générale, il est préférable d'étendre les fonctionnalités de Gwyddion à l'aide de modules, car ceux-ci sont des librairies liées dynamiquement à Gwyddion lors du démarrage, ce qui permet une interaction bien plus polyvalente avec le logiciel. Pour la même raison, les modules sont aussi bien plus rapides. Par exemple, les greffons ne peuvent utiliser les fonctions déjà présentes dans Gwyddion, et ne peuvent modifier les données directement, une nouvelle fenêtre est toujours créée pour afficher le résultat. La programmation des modules n'est pas plus difficile que celle des greffons, elle peut même être plus facile (en supposant que vous connaissiez le langage C).

**AVERTISSEMENT** Nous n'encourageons pas le développement des greffons. Ceux-ci resteront supportés dans les versions 2.x de Gwyddion, mais leur gestion ne sera ni étendue ni améliorée. La méthode recommandée pour étendre les fonctionnalités de Gwyddion à l'aide de routines écrites dans un autre langage est d'utiliser les relations de langage (bindings), pour l'instant une interface Python est disponible. La méthode recommandée pour lancer des programmes tiers est d'écrire un petit module spécialisé en C qui permettra de communiquer avec ces programmes.

# Chapitre 5

# Sommaire et tables

Ce chapitre fournit des informations sur différents formats, syntaxes et options que vous pourriez trouver utiles. La plupart de celles-ci sont liées à une utilisation avancée de Gwyddion, en dehors peut-être de la table des raccourcis clavier et la table des formats de fichier supportés.

## 5.1 gwyddion

gwyddion — Visualisation et analyse de données SPM

### Synopsis

`gwyddion` [*OPTION*...] [*FILE*...]

### Description

Gwyddion est un programme basé sur Gtk+ permettant de visualiser et analyser des données SPM (Scanning Probe Microscope).

### Options

Le programme accepte toutes les options standard de Gtk+, Gdk, et GtkGLExt telles que `--display` ou `--sync`. Référez-vous à la documentation de ces composants pour une description de ces options.

Le comportement des options de contrôle à distance `--remote-*` est indéfini lorsque plusieurs sessions de Gwyddion sont lancées. Elles peuvent choisir de manière arbitraire une session avec laquelle elles communiquent.

Si un répertoire est donné en tant qu'argument *FILE*, le programme ouvre une fenêtre d'ouverture de fichier pointant sur ce répertoire.

Options Gwyddion :

**`--help`** Affiche une aide brève.

**`--version`** Affiche les informations de version.

**`--no-splash`** Désactive l'écran de démarrage du programme.

**`--remote-new`** Ouvre les fichiers donnés dans la ligne de commande dans une session déjà lancée de Gwyddion. Lance une nouvelle session si aucune autre ne tourne.

Cette option est probablement la plus utile. Les associations de type de fichiers sont généralement créées pour lancer Gwyddion avec cette option par défaut.

**`--remote-existing`** Ouvre les fichiers donnés dans la ligne de commande dans une session déjà lancée de Gwyddion. Cette option échoue si aucune session de Gwyddion ne tourne.

Cette option est utile si vous souhaitez gérer le cas où Gwyddion ne tourne pas.

**`--remote-query`** Cette option réussit si une session de Gwyddion est déjà lancée à à l'écran, elle affiche son identifiant de fenêtre (Window sur X11, HWND sur Win32). Elle échoue si aucune session ne tourne.

L'identificateur de session dépend du gestionnaire de contrôle à distance. Dans certains cas il est utile en tant qu'identifiant global de fenêtre, et dans d'autres non. Avec libXmu, cette option affiche la fenêtre X11, sous Win32 elle affiche le numéro HWND, tandis que sous LibUnique elle affiche l'identifiant de démarrage.

**`--check`** Au lieu de lancer l'interface graphique et d'ouvrir les *FICHIER*s, cette option charge les fichiers et réalise un test d'intgrité sur ceux-ci (en affichant les erreurs vers la sortie standard).

**--disable-gl** Désactive complètement OpenGL, en incluant toute vérification de sa disponibilité. Bien évidemment cette option n'a d'effet que si Gwyddion a été compilé avec le support OpenGL, et la conséquence la plus visible est que la vue 3D devient indisponible. Cela peut toutefois être nécessaire si vous rencontrez un problème avec votre système d'exploitation, où la simple véréfication des possibilités d'OpenGL crée des erreur du serveur X. Cela peut aussi vous aider lorsque vous lancez Gwyddion à distance en utilisant X11 et que le temps de mise en route vous semble excessivement long.

**--log-to-file** Écrit les messages provenant de GLib, Gtk+, Gwyddion, etc. vers `~/.gwyddion/gwyddion.log` ou le fichier donné dans la variable d'environnement GWYDDION_LOGFILE. Notez que sous Win32 ces messages sont toujours dirigés vers un fichier, cette option n'a donc aucun effet sous cet OS. La journalisation vers un fichier ou la console ne sont pas exclusifs ; les messages peuvent être dirigés vers les deux.

**--no-log-to-file** Supprime l'écriture des messages provenant de GLib, Gtk+, Gwyddion, etc. vers un fichier. C'est option est pratique surtout sous Win32 où les messages sont dirigés par défaut dans un fichier.

**--log-to-console** Affiche les messages provenant de GLib, Gtk+, Gwyddion, etc. dans la console. Plus précisément, les messages de débogage sont affichés dans la sortie standard, tandis que les erreurs et avertissements sont affichés dans la sortie d'erreur standard. Sous Unix les messages sont affichées par défaut dans la console. La journalisation vers un fichier ou la console ne sont pas exclusifs ; les messages peuvent être dirigés vers les deux.

**--no-log-to-file** Désactive l'affichage des messages dans la console. Cette option est utile sous Unix pour lequel les messages sont affichés par défaut dans la console.

**--disable-modules=*MODULE,...*** Empêche l'enregistrement des modules spécifiés. Cette option est utile pour le développement et le débogage.

**--debug-objects** Affiche la liste des objets créés durant le fonctionnement du programme, avec leur instant de création et de destruction. Utile pour les développeurs uniquement.

**--startup-time** Affiche l'heure de démarrage (et de fin) de différentes taches. Utile pour les développeurs ou pour les utilisateurs se plaignant d'un démarrage trop lent.

### Environnement

Sur les sytèmes Linux/Unix, les variables d'environnement suivantes peuvent être utilisées pour outre-passer les chemins d'installation pré-définis (MS Windows pointe toujours vers les dossiers relativement au chemin dans lequel il a été installé). Notez que ces variables sont censées outre-passer les chemins d'installations du système, il ne s'agit pas de liste de chemins, elles ne peuvent contenir qu'un seul chemin.

**GWYDDION_DATADIR** Dossier de base des données où les ressources (gradients de couleurs, matériaux OpenGL, ...) sont installées. Gwyddion pointe vers le sous-dossier `gwyddion` pour les ressource.

Lorqu'il n'est pas défini, la valeur par défaut correspond au dossier pré-défini dans la variable `${datadir}`, qui est en général `/usr/local/share` ou `/usr/local/lib64`.

**GWYDDION_LIBDIR** Dossier de base des librairies dans lequel les modules sont installés. Gwyddion pointe vers le sous-dossier `gwyddion/modules` pour les modules.

Lorqu'il n'est pas défini, la valeur par défaut correspond au dossier pré-défini dans la variable `${libdir}`, qui est en général `/usr/local/lib` ou `/usr/local/lib64`.

**GWYDDION_LIBEXECDIR** Dossier de base lib-exec directory dans lequel les greffons sont installés were installed.Gwyddion pointe vers le sous-dossier `gwyddion/plugins` pour les greffons.

Lorqu'il n'est pas défini, la valeur par défaut correspond au dossier pré-défini dans la variable `${libexecdir}`, qui est en général `/usr/local/libexec`.

**GWYDDION_LOCALEDIR** Dossier des traductions dans lequel les catalogues de messages sont installés.

Lorqu'il n'est pas défini, la valeur par défaut correspond au dossier pré-défini dans la variable `${datadir}/locale`, qui est en général `/usr/local/share/locale`.

D'autres variables influencent le fonctionnement de Gwyddion, par exemple les variables GLib+ et les variables Gtk+ ainsi que certaines variables spécifiques à Gwyddion :

**GWYDDION_LOGFILE** Il s'agit du nom du fichier vers lequel sont dirigés les messages de log. Sous MS Windows, les messages sont toujours dirigés vers un fichier, car l'utilisation du terminal y est pratiquement abandonnée. L'amplacement par

défaut du fichier de log, `gwyddion.log` dans le dossier Documents and Settings de l'utilisateur, peut être modifié par `GWYDDION_LOGFILE`. Sous Unix, les messages vont par défaut vers le terminal et cette variable d'environnement n'a d'effet que si `--log-to-file` est utilisé.

### Fichiers

**`~/.gwyddion/settings`** Paramètres utilisateur enregistrés et état des outils. Ne pas éditer lorsque Gwyddion fonctionne, car il écrira sur ce fichier lors de la fermeture.

**`~/.gwyddion/glmaterials`, `~/.gwyddion/gradients`, ...** Dossiers utilisateurs contenant différentes ressources (matériaux OpenGL materials, gradients de couleur, ...).

**`$GWYDDION_DATADIR/gwyddion/glmaterials`, `$GWYDDION_DATADIR/gwyddion/gradients` ...** Dossiers système contenant les ressources.

**`~/.gwyddion/pixmaps`** Dossier dans lequel l'utilisateur peut placer ses icônes. Utile pour l'installation de modules chez soi.

**`$GWYDDION_DATADIR/gwyddion/pixmaps`,** Dossier système contenant les icônes.

**`~/.gwyddion/modules`** Dossier dans lequel l'utilisateur peut placer ses modules. Ceux-ci doivent être placés dans les sous-dossiers `file`, `graph`, `process`, `layer`, et `tools` selon leur nature, bien qu'il s'agisse avant tout d'une convention.

**`$GWYDDION_LIBDIR/gwyddion/modules`,** Dossier système contenant les modules.

**`~/.gwyddion/plugins`** Dossier dans lequel l'utilisateur peut placer ses greffons. Ceux-ci doivent être placés dans les sous-dossiers `file` et `process` selon leur nature.

**`$GWYDDION_LIBEXECDIR/gwyddion/plugins`,** Dossier système contenant les greffons.

**`~/.gwyddion/pygwy`** Dossier contenant les modules et scripts python utilisateur.

### Voir aussi

gwyddion-thumbnailer(1), gxsm(1)

## 5.2 gwyddion-thumbnailer

gwyddion-thumbnailer — Génère des vignettes d'aperçu des fichiers de données SPM

### Synopsis

`gwyddion-thumbnailer` --version | --help

`gwyddion-thumbnailer` [*OPTION*...] *MODE* [*ARGUMENT*...]

### Description

Gwyddion-thumbnailer génère des vignettes d'aperçu des données SPM (Scanning Probe Microscope, microscope à balayage). En fonction du mode de fonctionnement, tel que décrit plus bas, les vignettes sont écrites de manière à se conformer à différents standards afin qu'elles soient affichées dans nautilus(1), thunar(1) ou d'autres gestionnaires de fichiers similaires.

Gwyddion-thumbnailer charge et fait un rendu des fichiers en utilisant les lirairies et les modules de gwyddion(1), il peut ainsi créer une vignette pour tous les formats de fichier supportés par votre installation de Gwyddion. Cela signifie aussi que celle-ci hérite aussi des réglages de Gwyddion, comme par exemple le gradient de fausses couleurs, et qu'elle est influencée par les mêmes variables d'environnement que Gwyddion.

### Options d'informations

**`--help`** Affiche une aide puis se termine.

**`--version`** Affiche la version puis se termine.

### Options de création de vignette

**--update** Crée la vignette si celle-ci n'existe pas ou si elle ne semble pas à jour. Par défaut, gwyddion-thumbnailer écrit par-dessus les vignettes existantes, même si celles-ci semblent à jour.

### Mode

Trois modes de création de vignettes sont disponiblese : `gnome2`, `tms` et `kde4` ; ainsi qu'un mode spécial : `check`. Ceux-ci sont décrits ci-dessous.

### Gnome 2

`gwyddion-thumbnailer` [*OPTION*...] gnome2 *MAX-SIZE INPUT-FILE OUTPUT-FILE*

Dans le mode `gnome2`, gwyddion-thumbnailer crée des vignettes au format PNG conformément à la spécification du générateur d'aperçu de Gnome. En utilisant la convention de cette spécification, il faut lancer

```
gwyddion-thumbnailer gnome2 %s %i %o
```

Gwyddion installe les schémas GConf correspondants et permet par défaut de créer les vignettes pour tous les types de fichier qu'il supporte. Ceci doit normalement fonctionner et il n'y a donc pas lieu de faire des réglages manuels.

Les vignettes créées avec le mode `gnome2` sont identiques à celles du mode `tms`, avec toutes les données auxiliaires liées au format PNG (à condition bien sûr d'utiliser le même *MAX-SIZE* que dans le mode `tms`).

### TMS

`gwyddion-thumbnailer` [*OPTION*...] tms *MAX-SIZE INPUT-FILE*

Dans le mode `tms`, gwyddion-thumbnailer crée des vignettes au format PNG selon le Thumbnail Managing Standard (standard de gestion des vignettes). L'argument *MAX-SIZE* doit être `128` ou `normal` (les deux signifiant 128 pixels) ou `256` ou `large` (les deux signifiant 256 pixels).

Le nom du fichier de sortie n'est pas donné car il est défini par le TMS. La vignette est placée dans le dossier pour les vignettes normales ou larges en fonctio de la valeur donnée dans *MAX-SIZE*.

Ce mode peut être utile pour la création par lot de vignettes. Par exemple pour créer les vignettes de tous les fichiers `*.afm` dans le dossier `scans` et ses sous-répertoires, vous pouvez lancer

```
find scans -type f -name '*.afm' -print0 \\
    | xargs -0 -n 1 gwyddion-thumbnailer --update tms normal
```

et partir vous faire un petit café, car cela risque de prendre un certain temps.

### KDE 4

`gwyddion-thumbnailer` kde4 *MAX-SIZE INPUT-FILE*

Dans le mode `kde4`, gwyddion-thumbnailer crée des vignettes au format PNG destinées à être traitées par le module KDE gwythumbcreator. La vignette, là encore identique à celle des autres modes, est écrite vers la sortie standard.

N'utilisez *pas* ce mode à partir de la ligne de commande. Celui-ci est décrit par souci d'exhaustivité, toutefois le protocole entre gwythumbcreator et gwyddion-thumbnailer doit être considéré comme privé et susceptible de changer à tout moment.

### Check

`gwyddion-thumbnailer` check *INPUT-FILE*

Le mode `check` ne sert pas à la création de vignettes. Il permet en fait à gwyddion-thumbnailer d'afficher des informations sur les vignettes disponibles de *INPUT-FILE* et les échecs mis en cache pour produire des vignettes par d'autres applications, tel que décrit dans le TMS.

Si la vignette de taille normale existe et est à jour, la version grande taille n'existera pas et il y aura un échec mis en cache par gnome-thumbnail-factory, la sortie pourra être par exemple :

```
File:   INPUT-FILE
URI:    file:///home/me/Pictures/naughty/broken-tip3/INPUT-FILE
Normal: /home/me/.thumbnails/normal/MD5.png
        status: OK
Large:  /home/me/.thumbnails/large/MD5.png
        status: Thumbnail does not exist or stat() fails on it.
Failed: /home/me/.thumbnails/fail/gnome-thumbnail-factory/MD5.png
```

URI correspond l'URI canonique du fichier d'entrée, `MD5` correspond à la représentation hexadécimale de la somme MD5 de l'URI, telle que décrite par le TMS. Aucune ligne Failed ne sera affichée s'il n'y a aucun échec en cache.

Cette fonction peut être utilisée pour vérifier les vignettes de toutes sortes, pas nécessairement celles crées par Gwyddion ou gwyddion-thumbnailer. A l'avenir toutefois, il se peut qu'une erreur apparaisse si la vignette ne contient pas d'information spécifique à Gwyddion.

### Voir aussi

gwyddion(1),

## 5.3 Raccourcis clavier

| Raccourci | Menu équivalent | Contexte | Action |
|---|---|---|---|
| **F1** | | pratiquement toutes les fenêtres | Ouvre la section correspondante du manuel utilisateur dans un navigateur internet. |
| **Ctrl-Q** | *Fichier → Quitter* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Quitter Gwyddion. |
| **Ctrl-O** | *Fichier → Ouvrir* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Oucrir un fichier de données. |
| **Ctrl-S** | *Fichier → Enregistrer* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Sauvegarde les données courantes (un nom de fichier vous sera demandé s'il n'en a pas). |
| **Ctrl-Maj-S** | *Fichier → Enregistrer Sous* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Sauvegarde les données courantes sous un nom différentes. Le nom de fichier associé avec les données est remplacé par le nouveau nom. |
| **Ctrl-Maj-M** | *Fichier → Fusionner* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Fusionne les données d'un fichier vers le fichier courant. |
| **Ctrl-H** | *Fichier → Ouvrir un fichier récent → Historique* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Ouvre l'historique des documents récemment ouverts (ou le met en avant-plan s'il est déjà ouvert). |

| Raccourci | Menu équivalent | Contexte | Action |
|---|---|---|---|
| **Ctrl-Z** | *Editer → Annuler* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Annule la dernière opération appliquée sur les données courantes. |
| **Ctrl-Y** | *Editer → Rétablir* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Refait la dernière opération appliquée sur les données courantes. |
| **Ctrl-K** | *Editer → Supprimer le Masque* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Supprime le masque de la fenêtre de données courante. |
| **Ctrl-Maj-K** | *Editer → Supprimer la Présentation* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Supprime la présentation de la fenêtre de données (image) courante. |
| **Ctrl-Maj-B** | *Navigateur des méta-données* (dans le menu contextuel) | fenêtre de l'image, de données XYZ ou de données volumiques | Afiiche le navigateur des méta-données. |
| **+** | | toute fenêtre de données (image, vue 3D, données XYZ, données volumiques, graphe) | Zoom la fenêtre de données courante. |
| **=** | | toute fenêtre de données (image, vue 3D, données XYZ, données volumiques, graphe) | Zoome la fenêtre de données courante. |
| **-** | | toute fenêtre de données (image, vue 3D, données XYZ, données volumiques, graphe) | Dézoome la fenêtre de données courante. |
| **Z** | | toute fenêtre de données (image, vue 3D, données XYZ, données volumiques, graphe) | Affiche la fenêtre de données courante à l'échelle 1:1. |
| **Ctrl-F** | *Traitement des Données → Répéter* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Répète la dernière fonction utilisée en conservant les paramètres. Normalement l'opération est refaite sans interaction, mais si cette dernière est nécessaire une fenêtre de dialogue apparaîtra. |
| **Ctrl-Maj-F** | *Traitement des Données → Remontrer* | boîte à outils, fenêtre de données, fenêtre 3D, fenêtre de graphe, fenêtre d'outil | Remontre la fenêtre de dialogue de la dernière opération utilisée. Si l'opération n'a pas de paramètre à ajuster, elle est appliquée directement.. |

Vous pouvez appliquer vos propre raccourcis clavier pour toutes les fonctions des menus, et il est aussi possible de lancer les outils à partir du clavier.

Pour modifier un raccourci clavier, il suffit de sélectionner un élément du menu avec la souris ou les touches de navigation et presser la combinaison de touches qui sera alors immédiatement assignée. Le raccourci doit être soit une touche spéciale, par exemple **F3**, ou une combinaison de touches incluant une touche modificatrice, par exemple **Ctrl-Maj-D**. Il n'est pas possible d'assigner une simple touche telle que **Q**.

Pour éviter de modifier par inadvertance les raccourcis, ceux-ci ne peuvent être changés que si l'entrée *Editer* → *Raccourcis clavier* est activée. Les modifications sont désactivées par défaut, ce qui est recommandé pendant l'usage normale.

Tous les raccourcis clavier sont enregistrés dans le fichier `ui/accel_map` dans le répertoire utilisateur, c'est-à-dire `~/.gwyddion` (Unix) ou `Documents and Settings\gwyddion` (MS Windows). L'assignation de raccourcis aux outils ne peut se faire qu'en éditant ce fichier. Chaque ligne correspond à une action pouvant être lancée par un raccourci. Par exemple, la ligne de l'outil d'édition de masque est par défaut :

```
; (gtk_accel_path "<tool>/GwyToolMaskEditor" "")
```

Les points-virgules représentent des commentaires, c'est-à-dire que les lignes commençant par un point-virgule sont inactives. Ainsi pour assigner la combinaison **Ctrl-Maj-E** à l'outil d'édition de masque, il faut supprimer le point-virgule pour activer la ligne et ajouter le raccourci dans les guillemets vides:

```
(gtk_accel_path "<tool>/GwyToolMaskEditor" "<Control><Shift>e")
```

## 5.4 Formats de Fichiers Supportés

| Format de fichier | Extensions | Module | Lecture | Écriture | SPS | Volume |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Accurex II texte | .txt | accurexii-txt | Oui | — | — | — |
| AFM Workshop spectroscopy | .csv | afmw-spec | — | — | Oui | — |
| AIST-NT | .aist | aistfile | Oui | — | — | — |
| Alicona Imaging AL3D | .al3d | alicona | Oui | — | — | — |
| Ambios AMB | .amb | ambfile | Oui[a] | — | — | — |
| Ambios 1D profilometry data | .dat, .xml | ambprofile | Oui | — | — | — |
| Analysis Studio XML | .axd, .axz | anasys_xml | Oui | — | Oui | — |
| Anfatec | .par, .int | anfatec | Oui | — | — | — |
| A.P.E. Research DAX | .dax | apedaxfile | Oui | — | — | — |
| A.P.E. Research APDT | .apdt | apedaxfile | Oui | — | — | — |
| A.P.E. Research DAT | .dat | apefile | Oui | — | — | — |
| Matrice de données au format texte | .txt | asciiexport | — | Oui | — | — |
| Assing AFM | .afm | assing-afm | Oui | Oui | — | — |
| Attocube Systems ASC | .asc | attocube | Oui | — | — | — |
| Image Metrology BCR, BCRF | .bcr, .bcrf | bcrfile | Oui | — | — | — |
| Burleigh BII | .bii | burleigh_bii | Oui | — | — | — |
| Burleigh IMG v2.1 | .img | burleigh | Oui | — | — | — |
| Burleigh données exportées | .txt, .bin | burleigh_exp | Oui | — | — | — |
| Code V interférogramme | .int | codevfile | Oui | — | — | — |
| Createc DAT | .dat | createc | Oui | — | — | — |
| Benyuan CSM | .csm | csmfile | Oui | — | — | — |
| Dektak OPDx profilométrie | .OPDx | dektakvca | Oui | — | — | — |
| Dektak XML profilométrie | .xml | dektakxml | Oui | — | — | — |
| Veeco Dimension 3100D | .001, .002, etc. | dimensionfile | Oui[a] | — | — | — |

| Format de fichier | Extensions | Module | Lecture | Écriture | SPS | Volume |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Digital Micrograph DM3 TEM | .dm3 | dm3file | Oui | — | — | — |
| Digital Micrograph DM4 TEM | .dm4 | dm3file | Oui | — | — | — |
| DME Rasterscope | .img | dmefile | Oui | — | — | — |
| Gwyddion données dumb dump | .dump | dumbfile | Oui | — | — | — |
| ECS | .img | ecsfile | Oui | — | — | — |
| Données de profilométrie Evovis XML | .xml | evovisxml | Oui | — | — | — |
| Nanosurf EZD, NID | .ezd, .nid | ezdfile | Oui | — | — | — |
| FemtoScan SPM | .spm | femtoscan | Oui | — | — | — |
| Données texte FemtoScan | .txt | femtoscan-txt | Oui[b] | — | — | — |
| Flexible Image Transport System (FITS) | .fits, .fit | fitsfile | Oui | — | — | — |
| rille structurée VTK | .vtk | formats3d | — | Oui | — | — |
| PLY 3D Polygon | .ply | formats3d | — | Oui | — | — |
| Wavefront OBJ 3D | .obj | formats3d | Oui | Oui | — | — |
| Object 3D | .off | formats3d | — | Oui | — | — |
| Stereolitographie STL 3D (binaire) | .stl | formats3d | Oui | Oui | — | — |
| Données XYZ | .xyz, .dat | formats3d | Oui | Oui | — | — |
| DME GDEF | .gdf | gdeffile | Oui | — | — | — |
| Gwyddion Simple Field | .gsf | gsffile | Oui | Oui | — | — |
| Gwyddion données natives | .gwy | gwyfile | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Gwyddion XYZ | .gxyzf | gxyzffile | Oui | Oui | — | — |
| Psi HDF4 | .hdf | hdf4file | Oui | — | — | — |
| Asylum Research Ergo HDF5 | .h5 | hdf5file | Oui | — | — | — |
| Hitachi AFM | .afm | hitachi-afm | Oui | — | — | — |
| Hitachi S-3700 et S-4800 SEM | .txt + image | hitachi-sem | Oui | — | — | — |
| WaveMetrics IGOR binaire v5 | .ibw | igorfile | Oui | Oui | — | — |
| IntelliWave ESD | .esd | intelliwave | Oui | — | — | — |
| Intematix SDF | .sdf | intematix | Oui | — | — | — |
| ISO 28600:2011 | .spm | iso28600 | Oui | Oui | Limité[c] | — |
| JEOL | .tif | jeol | Oui | — | — | — |
| JEOL TEM | .tif | jeoltem | Oui[a] | — | — | — |
| JPK Instruments | .jpk, .jpk-qi-image, .jpk-force, .jpk-force-map, .jpk-qi-data | jpkscan | Oui | — | Oui | Oui |
| JEOL JSPM | .tif | jspmfile | Oui | — | — | — |
| Keyence VK3, VK4, VK6, VK7 | .vk3, .vk4, .vk6, .vk7 | keyence | Oui | — | — | — |
| Leica LIF | .lif | leica | Oui | — | — | Oui |
| Olympus LEXT 4000 | .lext | lextfile | Oui | — | — | — |
| FEI Magellan SEM | .tif | magellan | Oui | — | — | — |

| Format de fichier | Extensions | Module | Lecture | Écriture | SPS | Volume |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MapVue | .map | mapvue | Oui | — | — | — |
| Zygo MetroPro DAT | .dat | metropro | Oui | — | — | — |
| MicroProf TXT | .txt | microprof | Oui | — | — | — |
| MicroProf FRT | .frt | microprof | Oui | — | — | — |
| DME MIF | .mif | miffile | Oui | — | — | — |
| Molecular Imaging MI | .mi | mifile | Oui | — | Limité[c] | — |
| Aarhus MUL | .mul | mulfile | Oui | — | — | — |
| Nanoeducator | .mspm, .stm, .spm | nanoeducator | Oui | — | Oui | — |
| Nanomagnetics NMI | .nmi | nanomagnetics | Oui | — | — | — |
| Nanonics NAN | .nan | nanonics | Oui | — | — | — |
| Nanonis SXM | .sxm | nanonis | Oui | — | — | — |
| Nanonis STS | .dat | nanonis-spec | — | — | Oui | — |
| Nano-Solution / NanoObserver | .nao | nanoobserver | Oui | — | Oui | — |
| Nanoscan XML | .xml | nanoscan | Oui | — | — | — |
| NanoScanTech | .nstdat | nanoscantech | Oui | — | Oui | Oui |
| Veeco Nanoscope III | .spm, .001, .002, etc. | nanoscope | Oui | — | Limité[c] | Oui |
| Veeco Nanoscope II | .001, .002, etc. | nanoscope-ii | Oui | — | — | — |
| NanoSystem | .spm | nanosystemz | Oui | — | Limité[c] | Oui |
| Nanotop SPM | .spm | nanotop | Oui | — | — | — |
| GSXM NetCDF | .nc | netcdf | Oui | — | — | — |
| Nano Measuring Machine | .dsc + .dat | nmmxyz | Oui[d] | — | — | — |
| Nova ASCII | .txt | nova-asc | Oui | — | — | — |
| Nearly raw raster data (NRRD) | .nrrd | nrrdfile | Oui[e] | Oui[f] | — | Oui |
| NT-MDT | .mdt | nt-mdt | Oui | — | Oui | Oui |
| EM4SYS NX II | .bmp | nxiifile | Oui | — | — | — |
| Olympus OIR | .oir | oirfile | Oui | — | — | — |
| Olympus packed OIR | .poir | oirfile | Oui | — | — | — |
| NT-MDT old MDA | .sxml, .dat | oldmda | — | — | — | Oui |
| Olympus LEXT 3000 | .ols | ols | Oui | — | — | — |
| Open Microscopy OME TIFF | .ome.tiff, .ome.tif | ometiff | Oui | — | — | — |
| Omicron SCALA | .par + .tf*, .tb*, .sf*, .sb* | omicron | Oui | — | Oui | — |
| Omicron flat | .*_flat | omicronflat | Oui | — | — | — |
| Omicron MATRIX | .mtrx | omicronmatrix | Oui | — | Limité[c] | Oui |
| Wyko OPD | .opd | opdfile | Oui | — | — | — |
| Wyko ASCII | .asc | opdfile | Oui | — | — | — |
| OpenGPS X3P (ISO 5436-2) | .x3p | opengps | Oui | — | — | — |
| Mission NASA Phoenix Mars AFM | .dat, .lbl + .tab | phoenix | Oui | — | — | — |
| Pixmap images | .png, .jpeg, .tiff, .tga, .pnm, .bmp | pixmap | Oui[g] | Oui[h] | — | — |
| Nanosurf PLT | .plt | pltfile | Oui | — | — | — |
| Pacific Nanotechnology PNI | .pni | pnifile | Oui | — | — | — |
| Princeton Instruments caméra SPE | .spe | princetonspe | Oui | — | — | — |
| Park Systems | .tiff, .tif | psia | Oui | — | — | — |

| Format de fichier | Extensions | Module | Lecture | Écriture | SPS | Volume |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Park Systems PS-PPT | .ps-ppt | psppt | Oui | — | — | — |
| SymPhoTime TTTR v2.0 | .pt3 | pt3file | Oui | — | — | — |
| Quazar NPIC | .npic | quazarnpic | Oui[a] | — | — | — |
| Quesant AFM | .afm | quesant | Oui | — | — | — |
| Fichier texte brut | - | rawfile | Oui | — | — | — |
| Fichier binaire quelconque | - | rawfile | Oui | — | — | — |
| Graphe au format texte (brut) | - | rawgraph | Oui[i] | — | — | — |
| Renishaw WiRE Data File | .wdf | renishaw | Oui | — | Oui | Oui |
| RHK Instruments SM3 | .sm3 | rhk-sm3 | Oui | — | Limité[c] | — |
| RHK Instruments SM4 | .sm4 | rhk-sm4 | Oui | — | Limité[c] | — |
| RHK Instruments SM2 | .sm2 | rhk-spm32 | Oui | — | Limité[c] | — |
| Automation and Robotics Dual Lens Mapper | .mcr, .mct, .mce | robotics | Oui | — | — | — |
| S94 STM | .s94 | s94file | Oui | — | — | — |
| Surfstand Surface | .sdf | sdfile | Oui | Oui | — | — |
| Micromap SDFA | .sdfa | sdfile | Oui | — | — | — |
| Seiko SII | .xqb, .xqd, .xqt, .xqp, .xqj, .xqi | seiko | Oui | — | — | — |
| Sensofar PLu | .plu, .apx | sensofar | Oui | — | — | — |
| Sensofar PLUx | .plux | sensofarx | Oui | — | — | — |
| Sensolytics DAT | .dat | sensolytics | Oui | — | — | — |
| Shimadzu | .sph, .spp, .001, .002, etc. | shimadzu | Oui | — | — | — |
| Shimadzu ASCII | .txt | shimadzu | Oui | — | — | — |
| IonScope SICM | .img | sicmfile | Oui | — | — | — |
| Surface Imaging Systems | .sis | sis | Oui | — | — | — |
| Thermo Fisher SPC | .spc | spcfile | — | — | Oui | — |
| SPIP ASCII | .asc | spip-asc | Oui | Oui | — | — |
| Thermicroscopes SPMLab R4-R7 | .tfr, .ffr, etc. | spmlab | Oui | — | — | — |
| Thermicroscopes SPMLab virgule flottante | .flt | spmlabf | Oui | — | — | — |
| SPML (Scanning Probe Microscopy Markup Language) | .xml | spml | Oui | — | — | — |
| ATC SPMxFormat | .spm | spmxfile | Oui | — | — | — |
| Omicron STMPRG | tp*, ta* | stmprg | Oui | — | — | — |
| Molecular Imaging STP | .stp | stpfile | Oui | — | — | — |
| Surf | .sur | surffile | Oui | — | — | — |
| Tescan MIRA SEM | .tif | tescan | Oui | — | — | — |
| Tescan LYRA SEM | .hdr + .png | tescan | Oui | — | — | — |
| FEI Tecnai imaging and analysis (anciennement Emispec) | .ser | tiaser | Oui | — | Oui | Oui |
| Corning Tropel UltraSort | .ttf | ttffile | Oui | — | — | — |
| Corning Tropel CSV | .csv | ttffile | Oui | — | — | — |
| Unisoku | .hdr + .dat | unisoku | Oui | — | — | — |
| WinSTM | .stm | win_stm | Oui | — | — | — |
| WITec Project | .wip | wipfile | Oui | — | Oui | Oui |

| Format de fichier | Extensions | Module | Lecture | Écriture | SPS | Volume |
|---|---|---|---|---|---|---|
| WITec ASCII | .dat | witec-asc | Oui | — | — | — |
| WITec | .wit | witfile | Oui | — | — | — |
| Department of Nanometrology, WRUST | .dat | wrustfile | Oui | — | — | — |
| AFM Workshop | .wsf | wsffile | Oui | — | — | — |
| Nanotec WSxM | .tom, .top, .stp | wsxmfile | Oui | Oui | — | — |
| Nanotec WSxM | .cur | wsxmfile | Oui | — | — | — |
| Carl Zeiss SEM | .tif | zeiss | Oui | — | — | — |
| Carl Zeiss CLSM | .lsm | zeisslsm | Oui | — | — | Oui |
| Zemax grid sag | .dat | zemax | Oui | — | — | — |
| images OpenEXR | .exr | hdrimage | Oui | Oui | — | — |

[a] The import module is unfinished due to the lack of documentation, testing files and/or people willing to help with the testing. If you can help please contact us.

[b] En assumant un échantillonnage régulier selon X et Y.

[c] Les courbes spectrales sont importées en tant que graphes, les informations de position sont perdues.

[d] Les données XYZ sont interpolée en une grille régulière lors de l'import.

[e] Toutes les variantes ne sont pas implementées.

[f] Les données sont exportées selon un format fixé en virgule flottante avec un ordre des octets natif.

[g] L'import est basé sur Gdk-Pixbuf et peut donc varier selon les systèmes.

[h] En général avec perte de données, proposé pour des raisons de présentation. L'export en niveaux de gris 16bit est possible vers les formats PNG, TIFF et PNM.

[i] Pour l'instant, seules les données sous forme de deux colonnes, importées sous formes de courbes, sont supportées.

## 5.5 Formats d'image à grande dynamique

Gwyddion peut exporter les données en images en niveaux de gris 16 bits au format PNG, PNM et TIFF, ainsi qu'en images OpenEXR de types demi-flottant, flottant et 32 bits. Dans le cas des images 16 bits, la plage complète des données est étalée sur la plage de niveaux de gris ; l'export OpenEXR permet de spécifier le facteur d'échelle.

Lorsque les données sont exportées sous une image à grande dynamique, des informations additionnelles sont enregistrées afin de pouvoir les rouvrir automatiquement dans Gwyddion sans avoir à spécifier manuellement les dimensions et l'échelle. Vous pouvez aussi rendre vos images directement chargeables dans Gwyddion avec les dimensions et échelle correctes en ajoutant ces informations lors de leur création dans d'autres logiciels. Les informations sont organisées par paires clé-valeur, enregistrées selon des méthodes propres à chaque format, telles que décrites dans la table suivante.

| Format | Methode |
|---|---|
| PNG | blocs `tEXt` |
| OpenEXR | attributs |
| PNM | commentaires d'en-tête sous la forme `# key: value` |

La plupart des clés sont identiques à celles utilisées dans les fichiers Gwyddion à champ simple(GSF), mis à part le préfixe `Gwy::`, vous pouvez donc vous référer à la description GSF pour plus de détails. Les nombres en virgule flottante sont directement enregistrés si le format le permet (OpenEXR par exemple), dans le cas contraire une representation textuelle du nombre est utilisée (au format C). Les clés sont listées ci-dessous.

| Clé | Type | Signication |
|---|---|---|
| `Gwy::XReal` | flottant | Taille horizontale en unités physiques (données par `XYUnits`), il s'agit d'un nombre positif en virgule flottante. |
| `Gwy::YReal` | flottant | Taille verticale en unités physiques (données par `XYUnits`), il s'agit d'un nombre positif en virgule flottante. |
| `Gwy::XOffset` | flottant | Décalage horizontal en unités physiques (données par `XYUnits`). |
| `Gwy::YOffset` | flottant | Décalage vertical en unités physiques (données par `XYUnits`). |
| `Gwy::ZScale` | flottant | Facteur d'échelle. Les données de l'image doivent être multipliées par ce facteur pour obtenir les valeurs physiques. Ce paramètre est généralement utilisé avec les formats à virgule flottante à dynamique limitée, tels que les demi-flottants. Pour les données sous forme d'entier, on utilisera généralement `Gwy::ZMin` et `Gwy::ZMax`. |
| `Gwy::ZMin` | flottant | Valeur en unités physiques correspondant à la valeur minimale de l'image (normalement 0). |
| `Gwy::ZMax` | flottant | Valeur en unités physiques correspondant à la valeur maximale de l'image. |
| `Gwy::XYUnits` | chaîne de caractères | Unités latérales, c'est-à-dire les unités des dimensions physiques et des décalages. |
| `Gwy::ZUnits` | chaîne de caractères | Unités de valeurs, c'est-à-dire les unités des valeurs de données. |
| `Gwy::Title` | chaîne de caractères | Titre des données. |

Dans le cas du format PNG, les informations d'échelle sont aussi enregistrées dans les blocs standard `sCAL` et `pCAL` (avec une formule linéaire de mise à l'échelle). Inversement, si ces blocs sont présents (et que les blocs spécifiques à Gwyddion sont absents), les informations qu'ils contiennent seront utilisées lors de l'import. Reportez-vous aux spécifications PNG concernant la description des blocs.

## 5.6 Expressions

Les expressions utilisées dans le module Arithmétique, les formules de caractéristiques des grains ou dans les fonctions d'ajustement de courbes ont une syntaxe similaire au langages de programmation les plus communs.

Tous les nombres sont des réels (en virgule flottante), L'écriture des nombre utilise une notation standard. Voici quelques exemples de nombres valides : `1`, `.707`, `2.661`, `8.2e-34`.

Les noms des fonctions, constantes, et variables commencent par une lettre continuent avec zéro ou plusieurs lettre, chiffres ou underscores. Voici quelques exemples d'identifiants valides : `pow10` (une fonction), `Pi` (une constante), `d2_2` (une variable).

L'application des opérations est résumée dans la table qui suit.

| Operation | Associativité | Exemples |
|---|---|---|
| parenthèses | N.A. | `(x)` |
| appel de fonction et opérateurs unaires | de la droite vers la gauche | `-sqrt 3` |
| puissance | de la droite vers la gauche | `2^16` |
| multiplication, division, et modulo | de la gauche vers la droite | `9/2 * 8` |
| addition et soustractio | de la gauche vers la droite | `3 - 4 + 5` |

Notez que `-3^2` is 9, c'est-à-dire `(-3)^2`, comme en **c**, mais à l'inverse de Perl ou Python.

Les opérateurs et fonctions disponibles sont listés dans la table suivante.

| Operateur | Signification |
|---|---|
| + (unaire) | aucune opération |
| − (unaire) | valeur négative |
| ~ | valeur négative (équivalent à −) |
| + (binaire) | addition |
| − (binaire) | soustraction |
| `*` | multiplication |
| `/` | division |
| `%` | modulo en virgule flottante |
| `^` | puissance |
| `abs` | valeur absolue |
| `floor` | arrondi à l'entier inférieur |
| `ceil` | arrondi à l'entier supérieur |
| `sqrt` | racine carrée |
| `cbrt` | racine cubique |
| `sin` | sinus |
| `cos` | cosinus |
| `tan` | tangente |
| `asin` | arcsinus |
| `acos` | arccosinus |
| `atan` | arctangente |
| `exp` | exponentielle en base e |
| `ln` | logarithme en base e |
| `log` | logarithme en base e |
| `pow10` | exponentielle en base 10 |
| `log10` | logarithme en base 10 |
| `sinh` | sinus hyperbolique |
| `cosh` | cosinus hyperbolique |
| `tanh` | tangente hyperbolique |
| `asinh` | sinus hyperbolique inverse |
| `acosh` | cosinus hyperbolique inverse |
| `atanh` | tangente hyperbolique inverse |
| `pow` | puissance, `pow(x,y)` égale `x^y` |
| `min` | minimum de deux valeurs |
| `max` | maximum de deux valeurs |
| `mod` | modulo en virgule flottance, `mod(x,y)` égale `x % y` |
| `hypot` | distance euclidienne (hypothénuse), `hypot(x,y)` égale `sqrt(x^2+y^2)` |
| `atan2` | arctangente de deux variables |

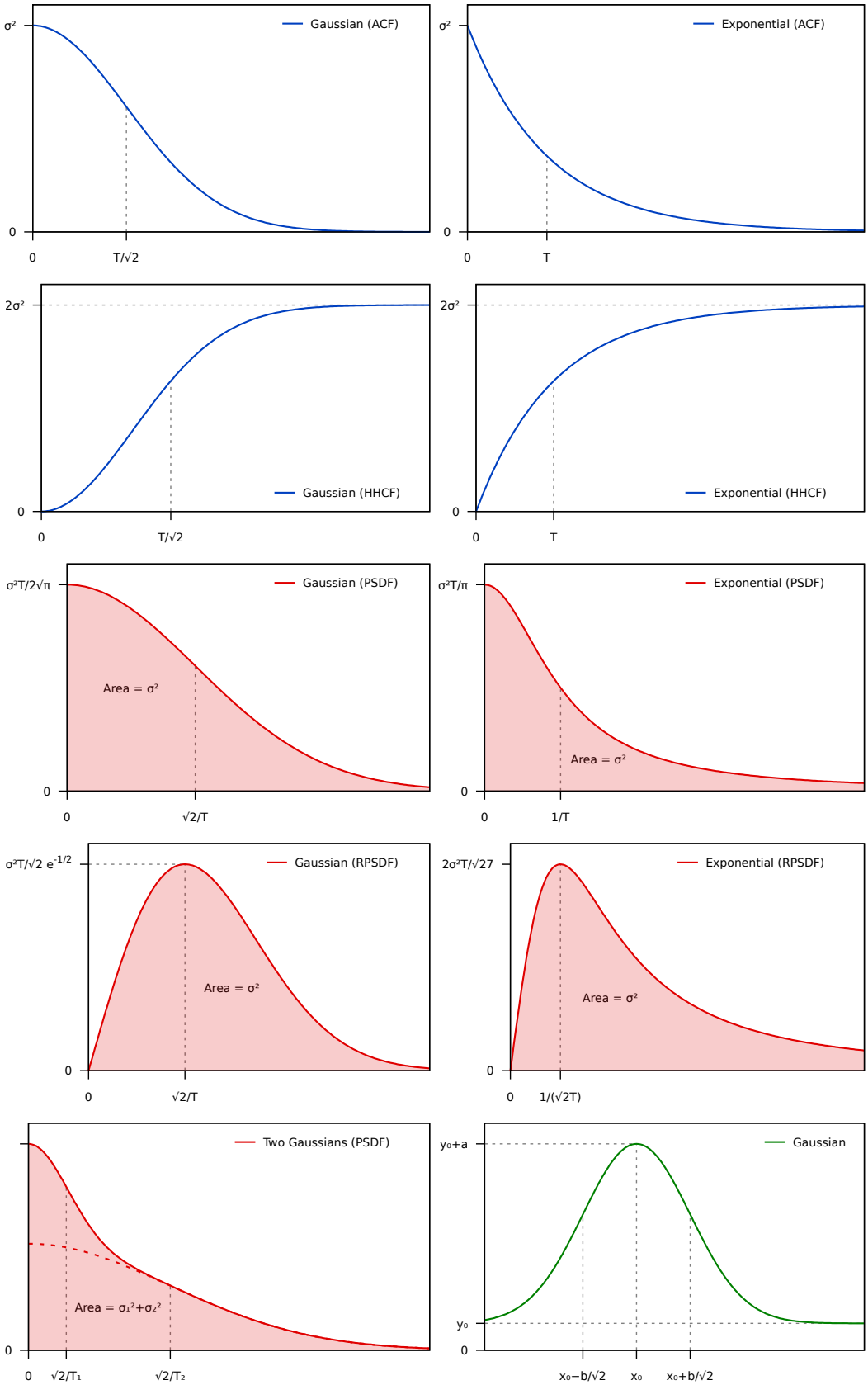
Quelques particularités permettent de faciliter l'écriture d'expressions :

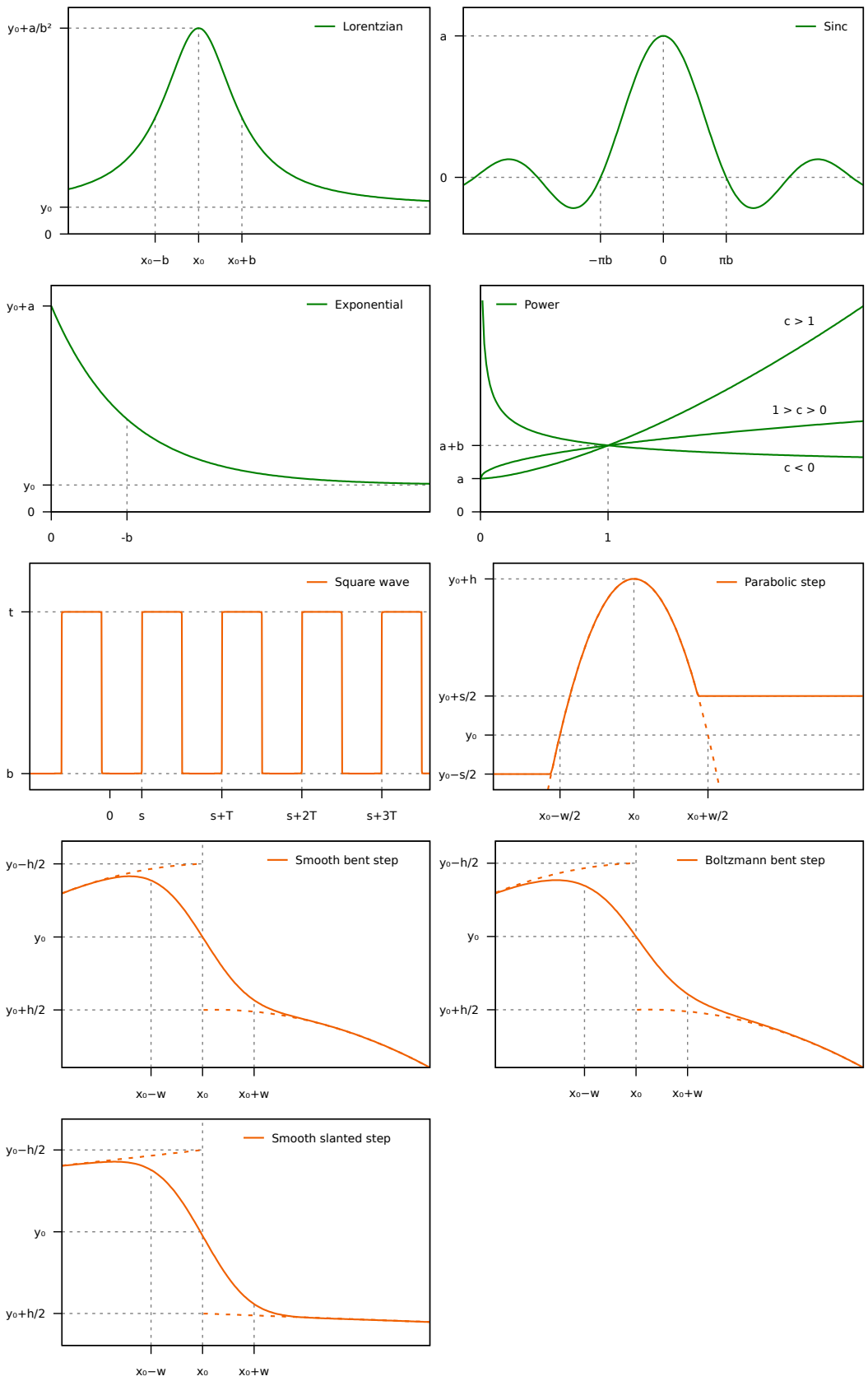
— Les signes de multiplications sont optionnels, vous pouvez les remplacer par des espaces (ou même aucun espace dans certains cas). Par exemple `3/4 Pi` et `5(4+3)(2+1)` sont des expressions valides. Mais `3a` n'est pas valide, `3e-4` signifie toujours `0.0003`, et non `3*e - 4`.

— In n'existe aucune différence entre les appels de fonction et les opérateurs unaires, les parenthèses peuvent donc être souvent ommises. Par exemple `sqrt 5` et `hypot hypot 3,4,5` sont des expressions valides. La dernière serait utilisée avec les parenthèses de la manière suivante : `hypot(hypot(3,4),5)`.
Notez cependant que les appels de fonction ont une priorité supérieure à tout autre opérateur, ainsi `sin Pi/2` est équivalent à `(sin Pi)/2`, et non `sin(Pi/2)`.

En cas de doute, écrivez les expressions sous leur forme la plus complète.

## 5.7 Fonctions d'ajustement






## 5.8 Ressources

Plusieurs éléments de données, par exemple les échelles de fausses couleurs ou les pré-réglages d'import de données brutes, sont enregistrées dans divers fichiers apellés fichiers de ressources. Gwyddion recherche ces fichiers dans deux dossiers différents : un système et un utilisateur.

Les ressources système sont installées en même temps que le programme lui-même et ne sont pas modifiables. Ces fichiers sont typiquement placés dans un dossier nommé `/usr/share/gwyddion` (Unix), `Program Files\Gwyddion` (MS Windows) ou un autre répertoire déterminé par la variable GWYDDION_DATADIR.

Les ressources utilisateur sont placées dans un répertoire utilisateur, en général `~/.gwyddion` (Unix) ou `Documents and Settings\gwyddion` (MS Windows).

Tous les fichiers de ressources sont de simples fichiers texte pouvant être facilement examinés et modifiés par des éditeurs de texte, ou être aussi envoyés à d'autres utilisateurs (si ceux-ci sont copiés ou créés manuellement, Gwyddion devra être relancé pour les charger). Dans la plupart des cas, seuls les caractères ASCII peuvent apparaître dans ces fichiers. Si des caractères internationaux peuvent y apparaître, ceux-ci doivent être encodés au format UTF-8. Les valeurs numériques sont données au format POSIX, c'est-à-dire avec un point pour la décimale, indépendamment du caractère utilisé pour la décimale dans la langue de l'utilisateur.

Les ressources sont organisées en sous-dossiers en fonction de leur type, par exemple les gradients de couleurs seront présents dans le dossier `gradients`. Le nom du fichier détermine le nom de la ressource – le gradient Gray sera dans le fichier `gradients/Gray`. Les modules peuvent définir leur propres types de ressources ; les types décrits plus bas font partie des plus importants, mais la liste n'est pas exhaustive.

Chaque fichier de ressource possède la même structure. Il commence par une ligne identifiant le type de ressource :

```
Gwyddion resource GwyGradient
```

où GwyGradient est le nom du type dans le système de type (ceci est un détail de bas niveau), suivi par les paramètres nommés sous la forme

```
nom valeur
```

et les données de ressource. Certains types de ressources peuvent ne contenir que des paramètres, et d'autres uniquement des données.

### Gradients

Les gradients, c'est-à-dire les échelles de fausses couleurs, se trouvent dans le répertoire `gradients`, ils sont identifiés par GwyGradient et ne contiennent que des données. Ils peuvent être édités dans l'application en utilisant l'éditeur de gradients.

Les données du gradient consistent en des lignes correspondant à des points du gradients :

```
position rouge vert bleu alpha
```

La position détermine où la couleur définie par les composantes *rouge*, *vert*, *bleu* et *alpha* est placée dans l'intervale $[0, 1]$ où 0 correspond au début du gradient, et 1 à la fin . La couleur est interpolée linéairement entre les points spécifiés.

Les positions doivent former une séquence allant de 0 à 1 (i.e le nombre minimum de points est de deux). La plage des composantes de couleur est aussi $[0, 1]$. Notez que la valeur alpha, correspondant à la transparence, n'est pas utilisée et qu'elle doit être réglée à 1 (totalement opaque).

Par exemple, le gradient standard Red (rouge) allant du noir (0 0 0) au rouge (1 0 0) puis au blanc (1 1 1) est défini de la manière suivante :

```
Gwyddion resource GwyGradient
0.0 0 0 0 1
0.5 1 0 0 1
1.0 1 1 1 1
```

### Matériaux OpenGL

Les matériaux OpenGL se trouvent dans le répertoire `glmaterials`, ils sont identifiés par GwyGLMaterial et ne contiennent que des données. Ils peuvent être édités dans l'application à l'aide de l'éditeur de matériaux OpenGL.

Les données du matériau consistent en quatre lignes RGBA, similaires aux gradients et correspondant aux quatre composantes du matériau OpenGL, dans l'ordre suivant :

1. ambiante,
2. diffuse,

3. spéculaire,
4. émission.

Voir la section Editeur de matériaux OpenGL pour plus d'explications sur les composantes. Celles-ci sont suivies par une ligne contenant la brillance, là encore un nombre dans l'intervalle $[0, 1]$.

Notez que la composante émission, bien que lue et écrite par Gwyddion, n'est en fait pas utilisée pour les vues 3D. Il est recommandé de la régler à 0 0 0 1, c'est-à-dire noire.

Par exemple, le matériau standard Red-Rubber (gomme rouge) ayant une couleur ambiante rouge sombre, une réflection diffuse grise, une réflection spéculaire rouge et une faible brillance, sera définie de la manière suivante :

```
Gwyddion resource GwyGLMaterial
0.05 0.0  0.0  1.0
0.5  0.4  0.4  1.0
0.7  0.04 0.04 1.0
0.0  0.0  0.0  1.0
.078125
```

## Valeurs de grains

Les valeurs des grains se trouvent dans le répertoire `grainvalues`, elles sont identifiées par GwyGrainValue et ne contiennent que des paramètres. Elles peuvent être utilisées pour définir des données de grain supplémentaires, qui apparaîtront dans le groupe *Utilisateur* des fonctions d'analyse de grains. A l'heure actuelle il n'existe pas d'éditeur dans l'application, et les nouvelles quantités doivent être créées manuellement.

Les paramètres sont résumés dans la table suivante :

| Paramètre | Requis | Type | Description |
|---|---|---|---|
| `symbol` | requis | identifiant | Identifiant à utiliser dans d'autres expressions (voir plus bas). Il doit s'agir d'un identifiant valide constitué de lettres ASCII, de chiffres et d'underscores, en démarrant par une lettre. |
| `expression` | requis | format libre | Formule pour calculer la quantité à partir d'autres paramètres de grain. La syntaxe de l'expression est décrite dans la section Expressions. |
| `symbol_markup` | optionnel | format libre | Symbole pouvant inclure des lettres grecques, des indices ou des exposants exprimés avec le langage de balisage Pango. Il est utilisé pour les présentations dans l'application donc bien qu'il soit optionnel il est recommandé de la définir au moins de manière identique à `symbol`. |
| `power_xy` | optionnel | entier | Puissance à laquelle apparaissent les dimensions latérales de la quantité. Par exemple, il s'agit de 1 pour les dimensions du grain, 2 pour les surfaces et les volumes. La valeur par défaut est de 0. |
| `power_z` | optionnel | entier | Puissance à laquelle la dimension de « hauteur » apparaît dans la quantité. Par exemple, il s'agit de 1 pour les valeurs et volumes, 2 pour les dimensions et les aires. La valeur par défaut est de 0. |
| `same_units` | optionnel | 0 ou 1 | Utiliser 1 si la quantité n'a de sens que si les dimensions latérales et de « hauteur » correspondent à des quantités physiques identiques. Par exemple, cette valeur est requise pour les surfaces. La valeur par défaut est de 0. |
| `is_angle` | optionnel | 0 ou 1 | Utiliser 1 si la quantité est un angle. L'expression doit calculer les angles en radians. Toutefois, si `is_angle` est utilisé, Gwyddion sait que la valeur peut être convertie en degrés pour la présentation. La valeur par défaut est de 0. |

Pour l'instant, les paramètres de grain définies par l'utilisateur ne peuvent dépendre d'autres paramètres de grain utilisateurs, afin d'éviter les dépendances circulaires. Les paramètres de grain pré-définis sont présentés dans la liste suivante :

Par exemple, une nouvelle valeur de hauteur de grain, définie comme la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale, peut être définie de la manière suivante :

```
Gwyddion resource GwyGrainValue
symbol dz
symbol_markup Δz
power_xy 0
power_z 1
expression z_max - z_min
```

### Pré-réglages des données bruts

Les pré-réglages des données brutes sont présents dans le répertoire `rawfile`, ils sont identifiés par GwyRawFilePreset et ne contiennent que des paramètres. Ils sont normalement créés et édités par l'éditeur de réglages dans le module d'import des données bruts.

Les noms des paramètres dans le fichier de ressources correspondent pratiquement à ceux de l'interface utilisateur expliqués en détail dans la section import des fichiers bruts. Ils seront donc ici assez brièvement.

| Paramètre | Type | Description |
|---|---|---|
| `xres`, `yres` | entier | tailles horizontale et verticale |
| `xreal`, `yreal` | nombre | dimensions physiques, en unités données par `xyexponent` et `xyunit` |
| `xyexponent` | multiple de 3 | puissance de 10 multipliant `xreal` et `yreal` |
| `xyunit` | chaîne de caractères | unités de base de `xreal` et `yreal`, par exemple `"m"` |
| `zscale` | nombre | valeur d'unité d'échantillon |
| `zexponent` | multiple de 3 | puissance de 10 multipliant `zscale` |
| `zunit` | chaîne de caractères | unités de base de `zscale` |
| `havemissing` | 0 ou 1 | 0 signifie que la gestion des pixels invalides est déasctivée, 1 signifie qu'elle est activée |
| `missingvalue` | nombre | valeur spécifique utilisée pour indiquer les pixels invalides |
| `format` | 0 ou 1 | 0 signifie binaire, 1 signifie texte |
| `builtin` (binaire) | entier | Identifiant du format prédéfini des données, voir plus bas |
| `offset` (binaire) | entier | offset des données dans le fichier, en octets |
| `size` (binaire) | entier | taille des valeurs de données, en bits |
| `skip` (binaire) | entier | nombre de bits à sauter après chaque valeur |
| `rowskip` (binaire) | entier | nombre de bits supplémentaire à sauter après chaque ligne |
| `sign` (binaire) | 0 ou 1 | 0 signifie non signé, 1 signifie signé |
| `revsample` (binaire) | 0 ou 1 | 1 signifie qu'il faut renverser les bits des valeurs |
| `revbyte` (binaire) | 0 ou 1 | 1 signifie qu'il faut renverser les bits des octets |
| `byteswap` (binaire) | entier | motif de l'ordre des octets |
| `lineoffset` (texte) | entier | nombre de lignes à sauter avant de démarrer la lecture des données |
| `skipfields` (texte) | entier | nombre de champs à sauter au début de chaque ligne |
| `delimiter` (texte) | chaîne de caractères | séparateur de champ, une chaîne de caractères vide signifie tout espace |
| `decomma` (texte) | 0 ou 1 | 1 si le séparateur de décimale est une virgule, 0 pour le point |

Notez que le choix d'un format binaire prédéfini, c'est-à-dire une valeur pour `builtin` non nulle, implique un format binaire limité. Cela signifie que les options `size`, `revbyte` et `sign` sont ignorées car elles ne sont utilisées que pour la spécification détaillées des formats utilisateur. Les formats disponibles sont listés dans la table suivante :

| Type | Description |
|---|---|
| 0 | spécifié par l'utilisateur |
| 1 | entier 8 bits signé |
| 2 | entier 8 bits non signé |
| 3 | entier 16 bits signé |
| 4 | entier 16 bits non signé |
| 5 | entier 32 bits signé |
| 6 | entier 32 bits non signé |
| 7 | flottant IEEE |
| 8 | double IEEE |
| 9 | entier 64 bits signé |
| 10 | entier 64 bits non signé |

## 5.9 Configuration

Les fonctions proposées par Gwyddion conservent les valeurs des paramètres entre les différentes appels ou d'une session à une autre. Ces valeurs sont spécifiées dans un fichier de configuration. Ce fichier contient aussi quelques paramètres liés au programme.

L'enregistrement de la configuration se fait dans le fichier `settings` du répertoire utilisateur, c'est-à-dire dans `~/.gwyddion` (Unix) ou `Documents and Settings\gwyddion` (MS Windows). Le fichier n'est lu que lors du lancement de Gwyddion, et écrit lors de sa fermeture. Gardez cet aspect en tête si vous souhaitez modifier manuellement ce fichier. Les entrées inconnues du fichier sont ignorées mais conservées.

Le fichier de configuration démarre avec la ligne d'en-tête

```
Gwyddion Settings 1.0
```

suivies par les lignes pour chaque paramètre et la valeur associée (formant, techniquement parlant, un GwyContainer sérialisé). Gwyddion écrit les entrées dans l'ordre alphabétique, mais cela n'est pas obligatoire, et vous pouvez ne pas conserver cet ordre lorsque vous modifiez le fichier.

Chaque ligne de paramètre est de la forme

```
"clef" type valeur
```

Les réglages des modules commencent par `/module/`*`nomdumodule`*, bien que dans certains cas la partie correspondant au nom du module ne corresponde pas exactement au nom du module ; soit parce que plusieurs modules partagent le même réglage, soit pour des raisons historiques. Les réglages du programme commencent par `/app/`. Les valeurs possibles sont listées dans le tableau qui suit.

| Type | Description |
|---|---|
| booléen | Valeur logique pouvant être soit `True` soit `False`. |
| caractère | Caractère unique. Les caractères normaux sont directement représentés par un caractère unique. Les caractères spéciaux sont représentés par la notation hexadécimale `0x`*`XX`*. Ce type de paramètre n'est pas couramment utilisé par les modules. |
| int32 | Entier 32 bits signé. Gwyddion l'écrit sous forme décimale mais il peut ausi lire d'autres formats telle que la notation hexadécimale. |
| int64 | Entier 64 bits signé. Gwyddion l'écrit sous forme décimale mais il peut ausi lire d'autres formats telle que la notation hexadécimale. |
| double | Nombre à virgule flottante. Il peut être sous la forme scientifique, par exemple `1.23e-4`. Il est donné au format C/POSIX, c'est-à-dire que le caractère décimal est le point (pas de virgule ou d'autre caractère). |

| Type | Description |
|---|---|
| chaîne de caractères | Chaîne de caractères entre guillemets droits, généralement encodé au format UTF-8. Les caractères spéciaux, incluant les guillemets droits inclus dans une chaîne, peuvent être introduits à l'aide de la barre oblique inversée (antislash). |

Quelques options utiles du programme peuvent être modifiées en éditant le fichier de configuration :

| Clef | Type | Description |
|---|---|---|
| /app/restore-tool-position | booléen | En le réglant sur `True`, Gwyddion enregistre non seulement la taille des boîtes de dialogue des outils, mais aussi leur position (lorsque cela est possible). Cette option peut être gênant si votre gestionnaire de fenêtre fonctionne correctement, mais elle peut s'avérer utile si vous travaillez sous MS Windows. |
| /app/3d/axes/disable | booléen | En le réglant sur `True`, les labels des axes ne sont plus affichés dans la vue OpenGL 3D, même si ceux-ci sont activés. Cela peut vous être utile si vous êtes confronté à une combinaison pilote/carte/GtkGLExt posant problème et avec laquelle Gwyddion peut planter en tentant de dessiner les axes. |
| /app/help/user-guide-base | chaîne de caractères | Localisation du guide utilisateur pour l'aide. Si celle-ci n'est pas définie, la version en ligne est utilisée, c'est-à-dire qu'un lien semblable à `"https://gwyddion.net/documentation/user-guide-fr"`, sera lancé. Si vous souhaitez utiliser une copie locale du guide HTML, définissez dans cette entrée le nom du répertoire, par exemple `"/home/yeti/docs/gwyddion-user-guide-xhtml-en-2014-09-17"`. |

## 5.10 Configuration de la boîte à outils

La partie basse de la boîte à outils contenant les boutons des fonctions et des outils peut être personnalisée à l'aide de l'éditeur de boîte à outils *Éditer → Boîte à outils*.

Il peut aussi être personnalisé en éditant le fichier `ui/toolbox.xml`. Il s'agit aussi du fichier à copier vers un autre compte ou une nouvelle machine si vous souhaitez y reproduire une configuration. De façon similaire aux raccourcis-clavier, le fichier est placé dans le répertoire utilisateur, c'est-à-dire `~/.gwyddion` (Unix) ou `Documents and Settings\gwyddion` (MS Windows). Le fichier par défaut `ui/toolbox.xml` installé avec Gwyddion dans le dossier `share/gwyddion` peut servir de bon point de départ.

Le nombre de boutons dans une ligne est contrôlé par le paramètre `width` de l'élément `toolbox`. Pour le passer à cinq par exemple, il suffit simplement de modifier le début du fichier en

```
<toolbox width='5'>
```

Les groupes de boutons extensibles ou refermables tels que *Traitement des données* ou *Outils* sont créés avec la balise `group`. Vous pouvez créer autant de groupes que vous le désirez. Des fonctions de différents types peuvent même être placées dans un même groupe si vous le souhaitez. Chaque groupe doit être identifié par un identifiant `id` unique qui est utilisé, entre autres, pour mémoriser quels groupes sont refermés et quels sont ceux étendus. L'élément `title` détermine le titre :

```
<group id='proc' title='Traitement des édonnes' translatable='yes'>
```

Les groupes peuvent avoir l'attribut optionnel `translatable`, qui indique si le titre doit être traduit. Ceci peut être utile pour les groupes présents dans la configuration par défaut de la boîte à outils. Lorsque vous ajouterez vous-même des groupes, il est fort probable que vous les nommiez dans votre langue.

Les boutons sont créés par l'élément `item` :

```
<item type='proc' function='align_rows' icon='gwy_line_level' run='non-interactive'/>
```

Chaque item doit avoir un attribut `type`, définissant le type de fonction. Sauf si le type est `'empty'`, il doit aussi avoir un attribut `function` définissant la fonction utilisée. Les noms des différentes fonctions sont disponibles dans le navigateur de modules (*Info* → *Navigateur de modules*), dans lequel elles sont listées dans les *Fonctions enregistrées* de chaque module ; ou dans le navigateur de modules en ligne . Les types de fonctions disponibles sont listées dans le tableau suivant :

| Type | Fonction |
|---|---|
| `empty` | Élément vide pouvant être utilisé comme séparateur ou pour l'alignement des lignes. |
| `builtin` | Fonction interne, incluant le zoom et la vue 3D. Il y en a exactement quatre : `'display_3d'`, `'zoom_in'`, `'zoom_out'` and `'zoom_1_1'`. |
| `proc` | Fonction de traitement bi-dimensionnelle (image). Elle correspond au préfixe `proc::` dans le navigateur de modules. |
| `graph` | Fonction de graphe. Elle correspond au préfixe `graph::` dans le navigateur de modules. |
| `volume` | Fonction pour données volumiques. Elle correspond au préfixe `volume::` dans le navigateur de modules. |
| `xyz` | Fonction pour données XYZ. Elle correspond au préfixe `xyz::` dans le navigateur de modules. |
| `tool` | Outil. Elle correspond au préfixe `tool::` dans le navigateur de modules. |

Les fonctions de traitement des données (incluant les données volumiques et XYZ) peuvent avoir l'attribut optionnel `run` qui indique la manière dont la fonction doit être appelée. Lorsqu'il est défini à `non-interactive` la fonction est immédiatement exécutée, sans fenêtre de dialogue indiquant les paramètres possibles (de manière similaire au raccourci **Ctrl-F** qui applique à l'image la dernière fonction de traitement utilisée). La valeur opposée est `interactive`, qu'il n'est en général pas nécessaire de préciser car il s'agit du mode de fonctionnement par défaut. Notez que toutes les fonctions ne peuvent pas être lancées dans les deux modes : certaines fonctions simples ne prennent jamais d'entrée de la part de l'utilisateur, tandis que d'autres nécessiteront systématiquement des réglages.

L'icône du bouton est sopécifiée grâce à l'attribut `icon`. Certaines fonctions ont des icônes prédéfinies (dans ce cas vous n'avez pas à la spécifier), mais pas toutes car le nombre de fonctions disponibles est conséquent. Une icône Gwyddion peut être utilisée, ou bien une icône Gtk+. Notez que les noms des icônes Gwyddion utilisent des tirets bas tadis que les noms des icônes Gtk+ utilisent des traits d'union.

S'il est impossible de choisir une icône parmi celles proposées, il vous est toujours possible de dessiner vos propres icônes et les placer dans `~/.gwyddion/pixmaps` (ou son équivalent sur d'autres systèmes d'exploitation), en utilisant la même convention que celle utilisée pour nommer les icônes Gwyddion icons. Il peut être intéressant de démarrer à partir des images sources au format GIMP XCF car elles contiennent des éléments qui peuvent être associés. Si votre icône est de bonne facture, nous vous encourageons bien évidemment à la soumettre pour l'inclure dans Gwyddion.

Comme les outils ne sont accessibles qu'à partir de la boîte à outils, le fait de ne pas en lister une dans `ui/toolbox.xml` la rend indisponible. À cet effet, un élément vide spécial

```
<item type='tool'/>
```

peut être utilisé pour y placer tous les outils n'ayant pas été explicitement placés ailleurs (dans un ordre plus ou moins arbitraire).

## 5.11 Format des fichiers Gwyddion

Un fichier de données au format Gwyddion (GWY) consiste en une structure en arborescence de plusieurs objets sérialisés. En général ces objets peuvent être de différents types ou même contenir d'autres objets (ce qui explique l'arborescence). L'utilisation de **gwydump**, peut être très instructive pour examiner le contenu de divers fichiers, il s'agit d'un simple visualisateur de structure de fichier disponible sur le site internet du projet. Si vous comptez lire et/ou écrire des fichiers GWY dans un autre logiciel, jetez un œil à libgwyfile, une petite librairie sans dépendance et intégrable dédiée à la manipulation de fichiers GWY.

### Les deux couches

Cette description du format de fichier spécifie en réalité deux aspects différents qu'il est utile de distinguer :

— La structure physique des fichiers : ordre des octets, types de données et leur représentation, manière dont les tailles de certaines données sont déterminées, agencement des objets sous forme d'arbre, etc. Il s'agit du *format de fichier générique GWY* dans libgwyfile. Il peut être en principe utilisé pour des données n'ayant rien à voir avec des mesures SPM et utilisé dans un tout autre logiciel – mais il s'agira toujours du format de fichier GWY.

— La représentation de données SPM particulières par Gwyddion, définissant des conventions supplémentaires sur la structure physique et l'interprétation des données. Par exemple, nous y décriront que les images sont enregistrées sous forme d'objet appelé GwyDataField ayant des résolutions enregistrées de telle manière, ques les données des images sont enregistrées de telle manière, etc. Il s'agit alors du *format de fichier Gwyddion GWY* dans libgwyfile.

La distinction entre le format générique et les objets spécifiques à Gwyddion est normalement plutôt évidente (elle est de temps en temps notée explicitement). Nous commencerons par la structure des fichiers.

### Ordre des octets

Toutes les données sont enregistrées avec l'ordre des octets little-endian (« petit-boutiste » ou « miniboutiste », aussi connu sous le nom LSB ou Intel).

### En-tête de Fichier

L'en-tête de fichier est constitué de quatre octets (nombre magique) avec avec les valeurs ASCII correspondant aux caractères `GWYP`.

Il s'agit du nouveau format de fichier, une version plus ancienne contenant l'en-tête maqigue `GWYO` existe aussi. Ce point ne sera pas discuté ici, car ce format est tout simplement éteint.

### Données

Le reste du fichier Gwyddion consiste en un objet GwyContainer contenant toutes les données. Cet objet de premier niveau est enregistré exactement de la même manière que tout autre objet, tel que décrit dans la section qui suit.

Un fichier GWY générique peut avoir un autre objet en tant qu'objet de premier niveau.

### Structure d'un Objet

Un objet est constitué de trois parties (dans l'ordre suivant) :

1. Nom du type d'objet, enregistré sous la forme d'une chaîne de caractères ASCII se terminant par `NUL`. Dans un fichier Gwyddion il s'agit du nom dans le système de types GObject. De manière générale, le nom doit être un identifiant C valide.
2. Tailles des données sérialisées, enregistrée sous la forme d'un entier non signé de 32 bits. Il n'inclue pas la taille du nom du type ni sa propre taille.
3. La liste des composants. Ceux-ci sont des parties nommées des données de l'objet, un pour chaque type de données : un type atomique, un tableau de types atomiques, ou encore un objet. Ils ne sont enregistrés dans aucun ordre particulier.

### Composants

Chaque composant est constitué de trois parties (dans l'ordre suivant) :

1. Le nom, enregistré sous la forme d'une chaîne de caractères codés en UTF-8 se terminant par `NUL`.
2. Le type, enregistré sous la forme d'un unique octet non signé (caractère). La table des types de composants est présentée plus bas.
3. Les données, enregistrées sous la forme adéquate en fonction du type.

Les composants sont souvent appelés éléments dans libgwyfile ainsi que les librairies Gwyddion.

Sauter un composant inconnu (ou inintéressant) lors de la lecture d'un fichier GWY est possible en lisant au préalable le nom et le type de celui-ci. Il y a ensuite plusieurs possibilités :

— Si le type est atomique et de taille fixée, le nombre d'octets à sauter est donné par la table des types.
— Dans le cas des chaînes de caractères, il vous faudra sauter après le caractère `NUL` final.
— Si le type est un objet, il vous faudra lire son nom et sa taille, celle-ci vous donnera alors exactement le nombre d'octets à sauter par la suite.
— Si le type est un tableau d'un seul type atomique, il vous suffit de lire la taille du tableau et de la multiplier par la taille du type atomique. Cela vous donnera le nombre d'octets à sauter.
— Pour un tableau de chaînes de caractères il faut lire la taille du tableau et répéter le saut de chaîne (passer au caractère `NUL` suivant) en fonction de la taille du tableau.
— Pour finir, le cas le plus complexe concerne un tableau d'objets, pour lequel il faut lire sa taille et répéter le saut d'objet le nombre de fois déterminé par cette taille.

### Types de Données

Les types atomiques de données sont listés dans le tableau suivant :

| Type | Caractère | Taille | Note |
|---|---|---|---|
| booléen | `b` | 1 octet | Zéro si faux, et non nul (normalement 1) si vrai. |
| caractère | `c` | 1 octet | |
| entier 32 bits | `i` | 4 octets | |
| entier 64 bits | `q` | 8 octets | |
| double | `d` | 8 octets | Nombre fini à virgule flottante en double précision IEEE 754, c'est-à-dire que les fichiers ne doivent pas contenir des infinis et des non-nombres. |
| chaîne de caractères | `s` | variable | Se terminant par `NUL` encodé au format UTF-8. |
| objet | `o` | variable | Objet imbriqué et sérialisé tel que décrit plus haut. |

Chaque type atomique, sauf le booléen, possède son tableau équivalent. Les types de caractère des tableaux sont les mêmes que leur équivalent atomique, à part le fait qu'ils sont en majuscule. Un tableau est enregistré sous la forme d'une valeur non signée en 32 bits donnant le nombre d'éléments, suivie des valeurs des éléments. Le nombre d'élément doit être positif ; les tableaux vides ne sont pas enregistrés. Les types de données de tableaux sont listés dans la table suivante :

| Type | Caractère | Note |
|---|---|---|
| tableau de caractères | `C` | En général non terminé par `NUL` ni codé en UTF-8 (`s` est utilisé pour les chaînes de texte). |
| tableau d'entiers 32 bits | `I` | |
| tableau d'entiers 64 bits | `Q` | |
| tableau de doubles | `D` | |
| tableau de chaînes de caractères | `S` | |
| tableau d'objets | `O` | O majuscule, et non zéro. |

### Conteneur GwyContainer de premier niveau

GwyContainer est un objet général apparenté à un dictionnaire pouvant recevoir des composants arbitraires de types arbitraires. Ceci permet d'incorporer des structures de données imprévues de manière relativement saine dans des fichiers GWY.

Les noms (clés) des objets dans un GwyContainer représentant un fichier Gwyddion GWY ressemblent fortement aux noms de fichiers UNIX, c'est-à-dire qu'ils sont sous la forme de de chemins séparés par le caractère `/`, et présentent une structure arborescente. Par exemple, le titre de la première image, numérotée 0, est enregistré dans la clé `/0/data/title`. Notez que certaines données ou informations se trouvent dans des clés qui peuvent parfois semblert illogiques, la raison est en général de nature historique.

Les sections qui suivent décrivent l'organisation des données et informations intéressantes présentes dans le GwyContainer de premier niveau. La liste n'est pas nécessairement exhaustive. Toutefois, comme tous les éléments d'un fichier spécifient toujours leur nom, type et taille en octets, il est toujours possible de sauter des types de données inconnus ou des données n'ayant pas d'intérêt pour vous, et n'extraire que les éléments souhaités.

### Images

Le tableau qui suit résume les clés des données relatives à l'image 0 dans le conteneur de premier niveau. Pour les autres images, il suffit de remplacer le nombre 0 par le numéro de l'image correspondante. Notez que les imagese sont généralement numérotés de manière séquentielle, en partant de 0, toutefois les images peuvent avoir n'importe quel numéro, et l'ensemble des numéros des images ne sont pas nécessairement contigus.

| Clé | Type | Signification |
|---|---|---|
| `/0/data` | GwyDataField | Données de l'image. |

| Clé | Type | Signification |
|---|---|---|
| `/0/data/title` | chaîne de caractères | Titre de l'image, tel qu'affiché dans le navigateur de données. |
| `/0/data/visible` | booléen | Détermine si l'image doit être affichée lors du chargement du fichier. |
| `/0/data/realsquare` | booléen | Détermine si l'image doit être affichée avec les *pixels réels* (par opposition aux *pixels carrés*). |
| `/0/base/palette` | chaîne de caractères | Nom du gradient de fausses couleurs utilisé pour afficher l'image. |
| `/0/base/range-type` | entier 32 bits | Type de visualisation (tel que défini par l'outil Affichage des couleurs), la valeur provient de la liste GwyLayerBasicRangeType. |
| `/0/base/min` | double | Valeur minimum utilisée pour la plage d'affichage définie par l'utilisateur. |
| `/0/base/max` | double | Valeur maximum utilisée pour la plage d'affichage définie par l'utilisateur. |
| `/0/mask` | GwyDataField | Données du masque. Les dimensions en pixels de ces données doivent correspondre à celles des données de l'image. |
| `/0/mask/red` | double | Composante rouge de la couleur du masque. |
| `/0/mask/green` | double | Composante verte de la couleur du masque. |
| `/0/mask/blue` | double | Composante bleue de la couleur du masque. |
| `/0/mask/alpha` | double | Composante alpha (opacité) de la couleur du masque. |
| `/0/show` | GwyDataField | Données de présentation. Les dimensions en pixels de ces données doivent correspondre à celles des données de l'image. |
| `/0/meta` | GwyContainer | Métadonnées de l'image. Les clés correspondent directement aux noms affichées dans le navigateur de métadonnées, et les chaînes de caractères en sont les valeurs. |
| `/0/data/log` | GwyStringList | Journal de modification de l'image sous forme d'une liste de chaînes de caractères. Elles sont le format *`type::fonction(param=valeur, ...)@date`*. |
| `/0/select/`*`foo`* | une sous-classe de GwySelection | Données de sélection. Chaque type de sélection a (généralement) un type d'objet différent et est enregistré sous un nom différent ; le nom spécifique *`foo`* est identique à celui affiché dans le gestionnaire de sélection. |

Les images sont représentées sous forme d'objets GwyDataField. Les composants de GwyDataField sont résumés dans le tableau suivant :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `xres` | entier 32 bits | Taille horizontale en pixels. |
| `yres` | entier 32 bits | Taille verticale en pixels. |
| `xreal` | double | Dimension horizontale en unités physiques. |
| `yreal` | double | Dimension verticale en unités physiques. |
| `xoff` | double | Décalage horizontal du coin supérieur gauche en unités physiques. Il n'apparaît normalement que s'il est non nul. |
| `yoff` | double | Décalage vertical du coin supérieur gauche en unités physiques. Il n'apparaît normalement que s'il est non nul. |
| `si_unit_xy` | GwySIUnit | Unités des dimensions latérales. |
| `si_unit_z` | GwySIUnit | Unités des valeurs de hauteur. |

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| data | tableau de doubles | Données, enregistrées sous forme d'un tableau de taille xres×yres, allant du haut vers le bas et de gauche à droite. |

## Graphes

Les tableaux qui suivent donnent les clés les plus courantes relatives aux données des graphes dans le conteneur de premier niveau du graphe numéro 1. Pour les autres graphes le numéro 1 doit être remplacé par le numéro de graphe correspondant. Notez que les graphes sont généralement numérotés de manière séquentielle, en partant de 1, toutefois ils peuvent avoir n'importe quel numéro positifs, et l'ensemble des numéros des graphes n'est pas nécessairement contigu. Le numéro 0 utilisé en prefixe des clés des graphes est de nature historique, il n'a pas de signification particulière et vaut toujours 0.

| Clé | Type | Signification |
|---|---|---|
| /0/graph/graph/1 | GwyGraphModel | Objet de données de graphe. |
| /0/graph/graph/1/visible | booléen | Détermine si le graphe doit être affiché lors du chargement du fichier. |

Les graphes sont représentés par des objets GwyGraphModel. Les composants de GwyGraphModel sont résumés dans la table qui suit :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| curves | tableau de GwyGraphCurveModels | Courbes de graphes individuelles. |
| title | chaîne de caractères | Titre du graphe tel qu'affiché dans le navigateur de données. |
| x_unit | GwySIUnit | Unités des abscisses. |
| y_unit | GwySIUnit | Unités des ordonnées. |
| top_label | chaîne de caractères | Label de l'axe du haut. |
| bottom_label | chaîne de caractères | Label de l'axe du bas. |
| left_label | chaîne de caractères | Label de l'axe de gauche. |
| right_label | chaîne de caractères | Label de l'axe de droite. |
| x_is_logarithmic | booléen | Spécifie si l'échelle des abscisses est logarithmique. |
| y_is_logarithmic | booléen | Spécifie si l'échelle des ordonnées est logarithmique. |
| x_min | double | Valeur minimum des abscisses définie par l'utilisateur. |
| x_min_set | booléen | Spécifie si la valeur minimum des abscisses définie par l'utilisateur doit être utilisée (dans le ca contraire la plage est déterminée automatiquement). |
| x_max | double | Valeur maximum des abscisses définie par l'utilisateur. |
| x_max_set | booléen | Spécifie si la valeur maximum des abscisses définie par l'utilisateur doit être utilisée (dans le ca contraire la plage est déterminée automatiquement). |
| y_min | double | Valeur minimum des ordonnées définie par l'utilisateur. |
| y_min_set | booléen | Spécifie si la valeur mimimum des ordonnées définie par l'utilisateur doit être utilisée (dans le ca contraire la plage est déterminée automatiquement). |
| y_max | double | Valeur maximum des ordonnées définie par l'utilisateur. |

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| y_max_set | booléen | Spécifie si la valeur maximum des ordonnées définie par l'utilisateur doit être utilisée (dans le ca contraire la plage est déterminée automatiquement). |
| grid-type | entier 32 bits | Type de la grille affichée. La valeur provient de la liste GwyGraphGridType. |
| label.has_frame | booléen | Spécifie si le graphe a une grille. |
| label.frame_thickness | entier 32 bits | Epaisseur de la grille du graphe. |
| label.reverse | booléen | Spécifie s'il faut inverser la grille du graphe. |
| label.visible | booléen | Spécifie si le label du graphe est visible. |
| label.position | entier 32 bits | Position (coin) dans lequel est placé le label du graphe. La valeur provient de la liste GwyGraphLabelPosition. |

Les courbes de graphes sont représentées par des objets GwyGraphCurveModel. Les composants de GwyGraphCurveModel sont résumés dans la table qui suit :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| xdata | tableau de doubles | Points d'abscisse. Le nombre doit correspondre à ydata. |
| ydata | tableau de doubles | Points d'ordonnée. Le nombre doit correspondre à xdata. |
| description | chaîne de caractères | Description de la courbe (nom). |
| type | entier 32 bits | Mode de la courbe (points, ligne, etc.) La valeur provient de la listeThe value is from GwyGraphCurveType. |
| color.red | double | Composante rouge de la couleur de la courbe. |
| color.green | double | Composante verte de la couleur de la courbe. |
| color.blue | double | Composante bleue de la couleur de la courbe. |
| point_type | entier 32 bits | Type de symbole représentant les points de données. La valeur provient de la liste GwyGraphPointType. |
| point_size | entier 32 bits | Taille des symboles représentant les points. |
| line_type | entier 32 bits | Type de lignes connectant les points. La valeur provient de la liste GwyGraphLineType. |
| line_size | entier 32 bits | Epaisseur des lignes reliant les points. |

## Spectre

Le tableau qui suit résume les clés les plus courantes relatives aux données des spectres dans le conteneur de premier niveau de l'ensemble des spectres 0. Pour les autres ensemble de spectres il faut remplacer le nombre 0 par le numéro de l'ensemble de spectres correspondant. Notez que les ensemles despectres sont généralement numérotés de manière séqentielle, en partant de 0, toutefois ceux-ci peuvent avoir n'importe quel numéro, et l'ensemble des numéros des spectres ne sont pas nécessairement contigus.

| | Clé | Type | Signification |
|---|---|---|---|
| | /sps/0 | GwySpectra | Données de spectre. |

Les spectres d'un type donné sont représentés par des objets GwySpectra. Les composants de GwySpectra sont résumés dans le tableau qui suit :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `title` | chaîne de caractères | Titre du spectre tel qu'affiché dans le navigateur de donnée. |
| `si_unit_xy` | GwySIUnit | Unités des coordonnées de position du spectre. |
| `coords` | tableau de doubles | Coordonnées des points où les spectres ont été mesurés, en unités physiques. Chaque spectre comporte deux éléments : les coordonnées horizontale et verticale. Le nombre de coordonnées doit correspondre au nombre de courbes dans `data`. |
| `data` | tableau de GwyDataLines | Courbes de spectres individuels. |
| `selected` | taleau d'entiers 32 bits | Indices des courbes de spectres sélectionnées. |

Les courbes individuelles des spectres sont représentées par des objets GwyDataLine. L'objet GwyDataLine est la contrepartie uni-dimensionnelle de l'objet GwyDataField et est aussi utilisé pour d'autres données uni-dimensionnelles. Les composants de GwyDataLine sont résumées dans le tableau suivant :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `res` | entier 32 bits | Nombre de points de données. |
| `real` | double | Longueur en unités physiques. |
| `off` | double | Décalage du début en unités physiques. Il n'apparaît normalement que s'il est non nul. |
| `si_unit_x` | GwySIUnit | Unités des abscisses. |
| `si_unit_y` | GwySIUnit | Unités des valeurs des données. |
| `data` | tableau de doubles | Données de ligne, enregistrées sous forme d'un tableau de `res`, allant de gauche à droite. |

## Données volumiques

La table qui suit présente les clefs relatives aux données volumiques présentes dans le conteneur de premier niveau des données volumiques numérotées 0. Pour d'autres données volumiques, le 0 doit être remplacé par leur numéro correspondant. Notez que les données volumiques sont généralement numérotées de manière séquentielle, en partant de 0, toutefois elles peuvent avoir n'importe quel nombre, et l'ensemble des numéros des données volumiques n'est pas nécessairement contigu.

| Clé | Type | Signification |
|---|---|---|
| `/brick/0` | GwyBrick | Données volumiques. |
| `/brick/0/preview` | GwyDataField | Données bi-dimensionnelles affichées lorsque les données volumiques sont prévisualisées. |
| `/brick/0/title` | chaîne de caractères | Titre des données volumiques, affiché dans le navigateur de données. |
| `/brick/0/visible` | booléen | Spécifie si les données volumiques doivent être affichées dans une fenêtre lors de l'ouverture du fichier. |
| `/brick/0/preview/palette` | chaîne de caractères | Nom du gradient de couleurs utilisé pour afficher les données de prévisualisation. |
| `/brick/0/meta` | GwyContainer | Métadonnées des données volumiques. Les clés sont directement les noms affichés dans le navigateur de métadonnées et les chaînes de caractères en sont les valeurs. |
| `/brick/0/log` | GwyStringList | Journal de modification du volume sous forme d'une liste de chaîne de caractères. Elles ont le format *`type::fonction(param=valeur, ...)@date`*. |

Les données volumiques sont représentées par des objets GwyBrick. Les composants d'un GwyBrick sony résumées dans dans la table qui suit :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `xres` | entier 32 bits | Taille horizontale en pixels. |
| `yres` | entier 32 bits | Taille verticale en pixels. |
| `zres` | entier 32 bits | Profondeur (nombre de niveaux) en pixels. |
| `xreal` | double | Dimension horizontale en unités physiques. |
| `yreal` | double | Dimension verticale en unités physiques. |
| `zreal` | double | Profondeur en unités physiques. |
| `xoff` | double | Décalage horizontal du coin en haut à gauche, en unités physiques. Il n'apparaît que s'il est non nul. |
| `yoff` | double | Décalage vertical du coin en haut à gauche, en unités physiques. Il n'apparaît que s'il est non nul. |
| `zoff` | double | Décalage de profondeur du coin en haut à gauche, en unités physiques. Il n'apparaît que s'il est non nul. |
| `si_unit_x` | GwySIUnit | Unités des dimensions latérales horizontales. |
| `si_unit_y` | GwySIUnit | Unités des dimensions latérales verticales. |
| `si_unit_z` | GwySIUnit | Unités des dimensions de profondeur. |
| `si_unit_w` | GwySIUnit | Unités des valeurs. |
| `data` | tableau de doubles | Champ de données, enregistrées selon un tableau de dimensions `xres`×`yres`×`zres`, du plan zéro au dernier plan, de haut en bas et de gauche à droite. |
| `calibration` | GwyDataLine | Calibration de l'axe $z$ permettant de réprésenter un échantillonnage non linéaire de cette dimension. Le nombre de points doit être égal à `zres`. Ce composant n'est présent que si un échantillonnage non linéaire est utilisé. |

## Données XYZ

Le tableau qui suit résume les clés communes aux données de type XYZ dans le conteneur de premier niveau pour les données XYZ de numéro 0. Pour les autres données XYZ, le numéro 0 doit être remplacé par le numéro des données XYZ correspondant. Notez que les données XYZ sont généralement numérotées de manière séquentielle, en partant de 0. Toutefois, elles peuvent avoi n'importe quel numéro et l'ensemble des numéros des données XYZ n'a pas à être contigu.

| Clé | Type | Signification |
|---|---|---|
| `/xyz/0` | GwySurface | Données XYZ. |
| `/xyz/0/preview` | GwyDataField | Aperçu régularisé donné lorsque les données XYZ sont affichées dans une fenêtre. Notez que, bien que les aperçus des données XYZ soient enregistrés dans les fichiers GWY, ceux-ci sont normalement re-créés et mis à jour lorsque les données sont affichées, il est donc inutile de les ajouter lorsque vous écrivez un fichier GWY. |
| `/xyz/0/title` | chaîne de caractères | Titre des données XYZ, tel qu'affiché dans le navigateur de données. |
| `/xyz/0/visible` | booléen | Détermine si les données XYZ doivent être affichées dans une fenêtre une fois le fichier chargé. |
| `/xyz/0/preview/palette` | chaîne de caractères | Nom du gradient de couleur utilisé pour afficher l'aperçu des données. |
| `/xyz/0/meta` | GwyContainer | Métadonnées des données XYZ. Les clés sont directement les noms affichés dans le navigateur de métadonnées et les chaînes de caractères en sont les valeurs. |
| `/xyz/0/log` | GwyStringList | Journal des données XYZ, sous forme d'une liste d'entrées. Celles-ci sont au format *`type::fonction(paramètre=valeur, ...)@heure`*. |

Les données XYZ sont représentées sous forme d'objets GwySurface. Les composants d'une GwySurface sont résumés dans le tableau suivant :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `si_unit_xy` | GwySIUnit | Unités des dimensions latérales. |
| `si_unit_z` | GwySIUnit | Unités de valeur des données. |
| `data` | tableau de doubles | Données XYZ, enregistrées sous forme d'un tableau dont la dimension est un multiple de 3. Chaque triplet XYZ est enregistré d'un seul tenant, ce qui donne l'ordre suivant : $x_0$, $y_0$, $z_0$, $x_1$, $y_1$, $z_1$, $x_2$, $y_2$, $z_2$, etc. |

## Autres éléments

Le GwyContainer principal contient aussi d'autres éléments qui ne se rapportent à aucun canal, graphe ou d'autre type de données.

| Clef | Type | Signification |
|---|---|---|
| `/filename` | chaîne de caractères | Le nom du fichier avec lequel le GwyContainer est associé. S'il est sauvé dans un fichier, alors cet élément contiendra le nom du fichier. S'il n'est pas enregistré, cet élément contiendra le nom du fichier à partir duquel les données ont été chargées ou importées. Il peut aussi être non défini, dans le cas de données nouvellement synthétisées par exemple. |

## Objets auxiliaires

Les composants d'un GwySIUnit sont résumés dans le tableau qui suit :

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `unitstr` | chaîne de caractères | Représentation textuelle des unités, par exemple `"A"` ou `"m^-1"` (pour les unités SI, les préfixes sont ignorés). |

Les composants d'un GwySelection sont résumés dans le tableau suivant. Certains types de sélection peuvent avoir d'autres éléments de données ; référez-vous à la documentation des classes de sélection spécifiques pour savoir comment interpréter les données.

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `max` | entier 32 bits | Nombre maximum d'objets qu'une sélection peut détenir (il s'agit du nombre défini par `gwy_selection_set_max_objects()`). |
| `data` | tableau de doubles | Données de sélection. Le nombre d'éléments formant un objet sélection est déterminé par le type de sélection. |

Les composants d'un GwyStringList sont résumés dans la table suivante. Notez que les GwyStringLists sont utilisés pour représenter les entrées du journal de modification, les chaînes ont la structure spécifique décrite plus haut.

| Composant | Type | Signification |
|---|---|---|
| `strings` | tableau chaînes de caractères | Liste des chaînes de caractères. |

## 5.12 Fichiers à Champ Simple

Le format Gwyddion natif contient toutes les informations et états que Gwyddion doit sauver, il est par conséquent assez complexe. Il est en général peu pratique de sauver des fichiers au format `.gwy` pour des logiciels tiers ou pour des scripts générant des données pour Gwyddion.

Le format Gwyddion à Champ Simple (`.gsf`, Gwyddion Simple Field) peut être utilisé dans ce genre de situation. Il s'agit d'un format à un seul canal pur des données 2D, qui a été conçu de manière à être simple et efficace à lire et écrire, avec un en-tête facilement lisible, suffisamment expressif, et ne nécessitant pas de champs spécifiques à un instrument ou une application (il peut toutefois les supporter de manière optionnelle).

Le format GSF peut être lu ou écrit à partir de la version 2.20.

### Structure générale

Un fichier GSF consiste en quatre parties, dans l'ordre suivant :

**ligne magique** Le fichier commence par une « ligne magique » qui permet d'identifier le type de fichier.

**texte d'en-tête** L'en-tête est constitué de lignes sous la forme

```
nom = valeur
```

permet de définir différents paramètres.

**remplissage par octets NUL** L'en-tête se termine par un à quatre octets NUL, permettant d'aligner le début des données sur un multiple de 4.

**données binaires** Les données binaires sont données au format 32 bits à virgule flottante.

### Ligne magique

Les fichiers GSF démarrent avec la ligne

```
Gwyddion Simple Field 1.0
```

terminée par le caractère saut de ligne (`\n`, ASCII 0x0a).

### Texte d'en-tête

Chaque ligne d'en-tête est donnée sous la forme

```
nom = valeur
```

dans laquelle tout espace avant le nom, autour du signe égal, et en fin de ligne est ignoré. Les noms des champs sont sensibles à la casse et suivent les règles usuelles des langages de programmation concernant les identifiants.

De la même manière que pour la ligne magique, les lignes d'en-tête se terminent par le caractère saut de ligne, tel qu'utilisé sur les système Unix. Cela signifie que l'en-tête doit être lu et écrit en mode binaire pour garantir la préservation des caractères de fin de ligne sur d'autres systèmes d'exploitation (et ne pas changer la taille de l'en-tête, par exemple par une transformation LF → CRLF).

Tous caractères non ASCII pouvant apparaître par exemple dans le titre des données sont encodés au format UTF-8. Le caractère NUL ne peut apparaître dans l'en-tête.

Champs d'en-tête :

| Nom | Type | Valeur |
|---|---|---|
| `XRes` | Obligatoire | Taille horizontale en pixels, entier positif. |
| `YRes` | Obligatoire | Taille verticale en pixels, entier positif. |
| `XReal` | Optionnel | Taille horizontale en unités physiques (données par `XYUnits`), nombre positif en virgule flottante. Il vaut par défaut 1.0 s'il n'est pas précisé. |

| Nom | Type | Valeur |
|---|---|---|
| `YReal` | Optionnel | Taille verticale en unités physiques (données par `XYUnits`), nombre positif en virgule flottante. Il vaut par défaut 1.0 s'il n'est pas précisé. |
| `XOffset` | Optionnel | Décalage horizontal en unités physiques (données par `XYUnits`), nombre en virgule flottante. Il vaut par défaut 0.0 s'il n'est pas précisé. |
| `YOffset` | Optionnel | Décalage vertical en unités physiques (données par `XYUnits`), nombre en virgule flottante. Il vaut par défaut 0.0 s'il n'est pas précisé. |
| `Titre` | Optionnel | Titre des données du canal. Il n'y a pas de valeur par défaut, les applications peuvent afficher 'Inconnu' ou quelque chose de similaire s'il n'est pas donné. |
| `XYUnits` | Optionnel | Unités latérales, c'est-à-dire les unités physiques des dimensions et des décalages. Elle doivent être données en unités de base, c'est-à-dire `m` ou `A` sans préfixe en puissance de 10 (Gwyddion peut le gérer mais cela pourrait poser un problème pour d'autres logiciels). Il n'y a pas d'unité par défaut. Cela signifie que pour des données SPM vous spécifierez normalement `m` pour `XYUnits` car les dimensions latérales sont en mètres. |
| `ZUnits` | Optionnel | Unités de hauteur, c'est-à-dire des valeurs des données. Voir `XYUnits` ci-dessus pour plus de détails. |

Les nombres en virgule flottante peuvent être donnés au format scientifique, par exemple `1.23e-4`. Ils doivent être donnés selon le standard C/POSIX, c'est-à-dire que le point est utilisé comme séparateur de décimale (et non la virgule ou d'autres séparateurs).

L'en-tête peut contenir d'autres champs, en plus de ceux listés précédemment. Gwyddion les chargera dans les metadonnées. Les champs les plus communs peuvent être par exemple `Commentaire`, `Date` ou `Direction`.

Les champs peuvent être donnés dans n'importe quel ordre, il est toutefois recommandé de démarrer avec les champs oligatoires, puis continuer avec champs optionnels et enfin terminer avec les champs utilisateur.

Voici un exemple d'en-tête simple (incluant aussi la ligne magique) :

```
Gwyddion Simple Field 1.0
XRes = 400
YRes = 400
XReal = 5e-05
YReal = 5e-05
XYUnits = m
ZUnits = V
Title = ADC2
```

### Remplissage par octets NUL

Le texte d'en-tête est suivi de un à quatre octets NUL (`\0`, ASCII 0x00) qui (a) le termine et (b) aligne le début des données avec un décalage par rapport au début de fichier égal à un multiple de 4. Plus précisément, soit $N$ la longueur totale de la ligne magique et du texte d'en-tête, les données débutent au multiple de 4 supérieur à $N$ le plus proche.

Ce remplissage au multiple de 4 garantit un alignement de l'accès mémoire lorsque le fichier est mis en mémoire. Le nombre d'octets NUL est uniquement déterminé par le reste de la longueur modulo quatre ($N$ mod 4):

| Reste | Nombre d'octets NUL |
|---|---|
| 0 | 4 |
| 1 | 3 |
| 2 | 2 |
| 3 | 1 |

### Données binaires

Les valeurs des données sont enregistrées en virgule flottante simple précision IEEE 32 bits, avec un arrangement des octets petit-boutiste (LSB ou Intel). Les valeurs sont enregistrées par ligne, en allant du haut vers le bas, chaque ligne allant de gauche à droite.

L'unité physique de ces valeurs est donnée par `ZUnits`.

La tailles des données de l'image vaut exactement `4*XRes*YRes` octets et plus aucune donnée n'est présente ensuite.

## 5.13 Fichier de données XYZ

Bien que Gwyddion fonctionne avec des donnée XYZ et que les données XYZ brutes soient interpolées selon une grille régulière lors de l'import, il s'est avéré nécessaire de développer un format de fichier dans le même esprit que le fichier à champ simple (.gsf) mais représentant les données au format XYZ. Ce format, appelé Gwyddion XYZ (`.gxyzf`), est décrit dans cette section.

On notera que le Z correspond ici à une valeur quelconque. Les valeurs Z peuvent être effectivement des coordonnées (hauteurs) ou bien des courants, des tensions, etc.

Les fichiers GXYZF peuvent être écrit avec la version 2.31 ou supérieure de Gwyddion. Ils peuvent aussi être lus à partir de cette version, bien que la régularisation de la grille puisse être assez grossière.

### Structure globale

Un fichier GXYZF consiste en quatre partie, dans l'ordre suivant :

**ligne magique** Les fichiers commencent par une « ligne magique » permettant d'identifier le type de fichier.

**texte d'en-tête** L'en-tête consiste en plusieurs lignes de la forme

```
nom = valeur
```

définissant les différents paramètres.

**remplissage par octets NUL** L'en-tête se termine par un à huit octets NUL, permettant d'aligner le début des données sur un multiple de 8.

**données binaires** Les données binaires sont données au format 64 bits à virgule flottante.

### Ligne magique

Les fichiers GXYZF démarrent avec la ligne

```
Gwyddion XYZ Field 1.0
```

terminée par le caractère saut de ligne (`\n`, ASCII 0x0a).

### Texte d'en-tête

Chaque ligne d'en-tête est donnée sous la forme

```
nom = valeur
```

dans laquelle tout espace avant le nom, autour du signe égal, et en fin de ligne est ignoré. Les noms des champs sont sensibles à la casse et suivent les règles usuelles des langages de programmation concernant les identifiants.

De la même manière que pour la ligne magique, les lignes d'en-tête se terminent par le caractère saut de ligne, tel qu'utilisé sur les système Unix. Cela signifie que l'en-tête doit être lu et écrit en mode binaire pour garantir la préservation des caractères de fin de ligne sur d'autres systèmes d'exploitation (et ne pas changer la taille de l'en-tête, par exemple par une transformation LF → CRLF).

Tous les caractères non ASCII pouvant apparaître par exemple dans le nom des canaux sont encodés au format UTF-8. Le caractère NUL ne peut apparaître dans l'en-tête.

Champs d'en-tête :

| Nom | Type | Valeur |
|---|---|---|
| `NChannels` | Obligatoire | Nombre de canaux de valeurs (Z), sous forme d'entier positif. Les valeurs enregistrées pour chaque point incluent les coordonnées X et Y, mais elles ne sont pas comptées dans `NChannels`. |
| `NPoints` | Obligatoire | Nombre de points dans le fichier. |
| `XYUnits` | Optionnel | Unité latérale, c'est-à-dire l'unité des coordonnées X et Y. Elle doit être donnée en unité de base, c'est-à-dire `m` ou `A`, sans préfixe en puissance de 10 (Gwyddion pourrait le gérer, mais cela poerait certainement problème pour d'autres logiciels). Il n'y a par défaut aucune unité. Cela signifie que dans le cas de données SPM on spécifiera `XYUnits` avec `m` car les dimensions latérales sont en mètre. |
| `ZUnits1`, `ZUnits2`, ... | Optionnel | Unité de valeur, c'est-à-dire l'unité des données pour chaque canal. Les cannaux sont numérotés de 1 à `NChannels`. Voir `XYUnits` pour plus de détails. |
| `Title1`, `Title2`, ... | Optionnel | Titres de différents canaux. Ceux-ci sont numérotés de 1 à `NChannels`. Les titres n'ont pas de valeur par défaut, les applications pourront afficher "Inconnu" ou quelque chose de semblable si rien n'est spécifié. |
| `XRes` | Optionnel | Indication spécifiant la taille horizontale préférée en pixels si les données sont régularisées en une grille, il s'agit d'une valeur entière positive. Un logiciel pouvant lire le fichier pourra ne pas tenir compte de cette valeur et interpoler les donner selon une grille de dimensions différentes. |
| `YRes` | Optionnel | Indication spécifiant la taille verticale préférée en pixels si les données sont régularisées en une grille, il s'agit d'une valeur entière positive. Un logiciel pouvant lire le fichier pourra ne pas tenir compte de cette valeur et interpoler les donner selon une grille de dimensions différentes. |

L'en-tête peut contenir d'autres champs, en plus de ceux listés précédemment. Gwyddion les chargera dans les metadonnées. Les champs les plus communs peuvent être par exemple `Commentaire`, `Date` ou `Direction`.

Les champs peuvent être donnés dans n'importe quel ordre, il est toutefois recommandé de démarrer avec les champs oligatoires, puis continuer avec champs optionnels et enfin terminer avec les champs utilisateur.

Voici un exemple d'en-tête basique pour un fichiers contenant deux canaux (incluant aussi la ligne magique) :

```
Gwyddion XYZ Field 1.0
NChannels = 2
NPoints = 457884
XYUnits = m
ZUnits1 = m
ZUnits2 = V
Title1 = Height
Title2 = ADC2
```

### Remplissage par octets NUL

Le texte d'en-tête est suivi de un à huit octets NUL (`\0`, ASCII 0x00) qui (a) le termine et (b) aligne le début des données avec un décalage par rapport au début de fichier égal à un multiple de 8. Plus précisément, soit $N$ la longueur totale de la ligne magique et du texte d'en-tête, les données débutent au multiple de 8 supérieur à $N$ le plus proche.

Ce remplissage au multiple de 8 garantit un alignement de l'accès mémoire lorsque le fichier est mis en mémoire. Le nombre d'octets NUL est uniquement déterminé par le reste de la longueur modulo huit ($N$ mod 8) :

| Reste | Nombre d'octets NUL |
|---|---|
| 0 | 8 |
| 1 | 7 |
| 2 | 6 |
| 3 | 5 |
| 4 | 4 |
| 5 | 3 |
| 6 | 2 |
| 7 | 1 |

### Données binaires

Les valeurs des données sont enregistrées en virgule flottante double précision IEEE 64 bits, avec un arrangement des octets petit-boutiste (LSB ou Intel). Les points sont enregistrés selon un ordre quelconque. Chaque point est consitué d'un bloc de `NChannels+2` valeurs : X, Y puis toutes les valeurs, dans l'ordre des canaux.

Les unités sont données par `XYUnits` pour X et Y, `ZUnits1`, `ZUnits2`, ... pour les valeurs de chaque canal.

La taille des données de l'image vaut exactement `8*NPoints*(NChannels+2)` octets et plus aucune donnée n'est présente ensuite.

# Annexe A

# Licence Publique Générale GNU

NOTICE D'ACCOMPAGNEMENT DE LA TRADUCTION NON OFFICIELLE À CONSERVER DANS TOUTE REPRODUCTION DE CETTE TRADUCTION

Ceci est une traduction non officielle de la GNU General Public License en français. Elle n'a pas été publiée par la Free Software Foundation, et ne détermine pas les termes de distribution pour les logiciels qui utilisent la GNU GPL--seul le texte anglais original de la GNU GPL en a le droit. Cependant, nous espérons que cette traduction aidera les francophones à mieux comprendre la GPL.

L'original de cette traduction est disponible à l'adresse suivante : http://www.code-aster.org/V2/UPLOAD/DOC/Telechargement/-GPL_fr.pdf. L'original de la licence est disponible à l'adresse suivante : https://www.gnu.org/copyleft/gpl.html.

## A.1 Préambule

Les licences de la plupart des logiciels sont conçues pour limiter votre liberté de les partager et de les modifier. En revanche, la Licence Publique Générale GNU est destinée à garantir votre liberté de partager et de modifier le logiciel libre, à assurer que le logiciel soit libre pour tous ses utilisateurs. Cette Licence Publique Générale s'applique à la plupart des logiciels de la Free Software Foundation et à tout autre programme dont les auteurs s'engagent à l'utiliser. (Quelques autres logiciels de la Free Software Foundation sont toutefois couverts par la Licence Publique Générale pour Bibliothèques GNU). Vous pouvez aussi l'appliquer à vos programmes.

Lorsque nous parlons de logiciel libre, nous nous référons à la liberté, non au prix. Nos Licences Publiques Générales vous permettent de bénéficier de la liberté de distribuer des copies de logiciels libres (et de faire payer ce service si vous le souhaitez), de recevoir le code source ou de pouvoir l'obtenir si vous le voulez, de pouvoir modifier le logiciel ou d'en utiliser des parties dans de nouveaux programmes libres, et de savoir que vous pouvez faire tout cela.

Pour protéger vos droits, nous devons faire des restrictions qui empêchent quiconque de vous refuser ces droits ou de vous demander de céder ces droits. Ces restrictions se traduisent pour vous par certaines responsabilités si vous diffusez des exemplaires du logiciel ou si vous le modifiez.

Ainsi par exemple, si vous distribuez des copies d'un tel programme, que ce soit gratuitement ou moyennant paiement, vous devez accorder aux destinataires tous les droits dont vous disposez. Vous devez vous assurer qu'eux-mêmes reçoivent également ou puissent obtenir le code source et vous devez leur montrer ces dispositions afin qu'ils connaissent leurs droits.

Nous protégeons vos droits en deux étapes :

1. nous protégeons le logiciel par copyright et
2. nous vous proposons cette licence qui vous donne l'autorisation juridique de copier, de distribuer et/ou de modifier le logiciel.

De la même manière, pour la protection de chacun des auteurs et la nôtre, nous voulons nous assurer que chacun a bien compris qu'il n'y a pas de garantie portant sur ce logiciel libre. Si le logiciel est modifié par un tiers et transmis, nous voulons que ses destinataires sachent que le logiciel dont ils disposent n'est pas l'original, pour que des problèmes introduits par des tiers ne rejaillissent pas sur la réputation des auteurs d'origine.

Enfin, tout programme libre est constamment menacé par des brevets de logiciel. Nous souhaitons éviter le danger que des sous-distributeurs d'un programme libre obtiennent des licences de brevet, ce qui aurait pour effet de rendre le programme propriétaire. Pour empêcher cela, nous avons établi clairement que tout brevet doit faire l'objet d'une concession de licence qui en permette l'utilisation par toute personne, ou d'aucune concession de licence du tout.

Ci-dessous vous trouverez les dispositions précises concernant la copie, la distribution et la modification.

## A.2 DISPOSITIONS RELATIVES A LA COPIE, LA DISTRIBUTION ET LA MODIFICATION

### Section 0

Cette Licence s'applique à tout programme ou autre œuvre qui comporte une mention placée par le détenteur de copyright établissant qu'il peut être distribué selon les dispositions de la Licence Publique Générale. Ci-après, le « Programme » désigne tout programme ou toute œuvre et une « œuvre basée sur le Programme » désigne soit le Programme, soit une œuvre dérivée au titre de la législation du copyright, autrement dit une œuvre comprenant le Programme ou une partie de ce Programme, textuellement ou avec des modifications et/ou traduit dans un autre langage. (Ci-après, la traduction est incluse sans limitation dans le terme « modification »). Chaque concessionnaire de licence est désigné par « vous ».

Des opérations autres que la copie, la distribution et la modification ne sont pas concernées par cette Licence et sortent de son champ d'application. L'exécution du Programme n'est pas limitée, et les résultats du Programme ne sont couverts que si leur contenu constitue une œuvre basée sur le Programme (indépendamment du fait qu'elle ait été réalisée par exécution du Programme ou non). La véracité de ce qui précède, dépend de ce que fait le Programme.

### Section 1

Vous pouvez copier et distribuer des copies textuelles du code source du Programme tel que vous le recevez, sur tout support, à condition que vous ayez publié visiblement et d'une manière appropriée sur chaque exemplaire, une mention de copyright appropriée et un déni de garantie, conservé intact toutes les mentions qui se réfèrent à cette Licence et à l'absence de toute garantie, et donné à tous autres destinataires du Programme, un exemplaire de cette Licence avec le Programme.

Vous pouvez demander un paiement pour l'action matérielle du transfert d'un exemplaire et vous pouvez, à votre discrétion, proposer une protection de garantie en échange d'une redevance.

### Section 2

Vous pouvez modifier votre ou vos exemplaires du Programme ou d'une partie de ce Programme, constituant ainsi une œuvre basée sur le Programme, et copier et distribuer ces modifications ou cette œuvre selon les dispositions de la Section 1 ci-dessus, sous réserve que vous satisfassiez à toutes ces conditions :

1. Vous devez faire en sorte que les fichiers modifiés portent des mentions visibles établissant que vous les avez modifiés, ainsi que la date de toute modification.
2. Vous devez faire en sorte que toute œuvre que vous distribuez ou publiez, qui entièrement ou partiellement contient le Programme ou est dérivé du Programme ou d'une partie de celui-ci, fasse l'objet d'une licence comme un tout, sans frais pour les tiers, selon les dispositions de cette Licence.
3. Si le programme modifié lit normalement des commandes d'une manière interactive lors de son exécution, vous devez faire en sorte que, lorsque commence cette utilisation interactive de la manière la plus ordinaire, soit imprimée ou apparaisse une annonce comprenant un avis de copyright approprié et un avis selon lequel il n'y a pas de garantie (ou au contraire, précisant que vous assurez une garantie) et que les utilisateurs peuvent redistribuer le programme selon ces conditions, et rappelant à l'utilisateur comment visualiser un exemplaire de cette Licence.

---

**Exception:**
Si le Programme lui-même est interactif mais n'imprime pas normalement une telle annonce, il n'est pas nécessaire que votre œuvre basée sur le Programme imprime une annonce).

---

Ces conditions s'appliquent à l'œuvre modifiée comme un tout. Si des sections identifiables de cette œuvre ne sont pas dérivées du Programme et peuvent raisonnablement être considérées comme des œuvres indépendantes et distinctes en elles-mêmes, cette Licence, et ses dispositions, ne s'appliquent pas à ces sections lorsque vous les distribuez comme œuvres distinctes. Mais lorsque vous distribuez les mêmes sections comme une partie d'un ensemble qui constitue une œuvre basée sur le Programme, la distribution de l'ensemble doit être effectuée selon les dispositions de cette Licence, dont les autorisations pour d'autres concessionnaires de licence s'étendent à l'ensemble, et ainsi à chacune des parties indépendamment de la personne qui les a écrites.

Ainsi, cette section n'est pas destinée à revendiquer des droits ou à contester vos droits sur une œuvre entièrement écrite par vous-même, mais à exercer le droit de contrôler la distribution des œuvres dérivées ou des œuvres collectives, basées sur le Programme.

De plus, la moindre agrégation au Programme (ou à une œuvre basée sur le Programme) d'une autre œuvre non basée sur le Programme, sur un volume de sauvegarde ou un support de distribution, ne fait pas entrer l'autre œuvre dans le champ d'application de cette Licence.

### Section 3

Vous pouvez copier et distribuer le Programme (ou une œuvre basée sur le Programme au titre de la Section 2 en code objet ou sous forme exécutable selon les dispositions des Sections 1 et 2 ci-dessus, sous réserve de procéder à l'une des actions suivantes :

1. L'accompagner du code source complet correspondant, lisible en machine, qui sera distribué selon les dispositions des Sections 1 et 2 ci-dessus, sur un support habituellement utilisé pour l'échange de logiciels ; ou
2. L'accompagner d'une proposition écrite, valable pendant au moins trois ans, de fournir à un tiers quelconque, moyennant un paiement qui n'est pas supérieur au coût de la réalisation matérielle de la distribution de la source, une copie complète, lisible en machine, du code source correspondant, qui sera distribuée selon les dispositions des Sections 1 et 2 ci-dessus, sur un support habituellement utilisé pour l'échange de logiciels ; ou
3. L'accompagner des informations que vous avez reçues quant à la proposition de distribuer le code source correspondant. (Cette alternative n'est autorisée que pour la distribution non commerciale et uniquement si vous avez reçu le programme en code objet ou sous une forme exécutable, avec cette proposition, en accord avec l'alinéa b ci-dessus).

Le code source d'une œuvre représente la forme privilégiée d'une œuvre pour lui apporter des modifications. Pour un programme exécutable, le code source complet désigne tous les codes source de tous les modules qu'elle contient, plus des fichiers de définition d'interface associés, plus les scripts utilisés pour contrôler la compilation et l'installation du programme exécutable. Cependant, à titre d'exception spéciale, le code source distribué ne doit pas comporter quoi que ce soit qui est normalement distribué (sous forme code source ou binaire) avec les composants principaux (compilateur, noyaux et autres) du système d'exploitation sur lequel fonctionne le programme exécutable, sauf si ce composant lui-même accompagne le programme exécutable.

Si la distribution du programme exécutable ou du code objet est effectuée par une proposition d'accès à une copie à partir d'un endroit désigné, la proposition d'accès équivalente pour copier le code source à partir de cet endroit, compte comme une diffusion du code source, même si les tiers ne sont pas tenus de copier la source avec le code objet.

### Section 4

Vous ne pouvez pas copier, modifier, concéder de sous-licence ou diffuser le Programme si ce n'est pas expressément prévu au titre de cette Licence. Toute tentative de copier, modifier, concéder une sous-licence ou distribuer le Programme d'une autre manière est nulle et mettra automatiquement fin à vos droits au titre de cette Licence. Cependant, les parties qui ont reçu des copies ou des droits de votre part au titre de cette Licence, ne verront pas leurs Licences résiliées, dans la mesure où ces parties respectent pleinement cette Licence.

### Section 5

Vous n'êtes pas tenu d'accepter cette Licence puisque vous ne l'avez pas signée. Toutefois, seule cette Licence vous accorde l'autorisation de modifier ou de distribuer le Programme ou ses œuvres dérivées. Ces actions sont prohibées par la loi si vous n'acceptez pas cette Licence. De ce fait, en modifiant ou en distribuant le Programme (ou une œuvre basée sur le Programme), vous faites état de votre acceptation de cette Licence et de toutes ses dispositions relatives à la copie, la distribution ou la modification du Programme ou des œuvres dérivées.

### Section 6

Chaque fois que vous redistribuez le Programme (ou une œuvre basée sur le Programme), le destinataire reçoit automatiquement une licence du concédant de licence initial, pour copier, distribuer ou modifier le Programme, sous réserve des présentes clauses et dispositions. Vous ne pouvez pas imposer de restrictions supplémentaires à l'exercice par le destinataire des droits accordés par les présentes. Vous n'êtes pas responsable d'assurer le respect par des tiers de cette Licence.

### Section 7

Si, du fait d'une décision d'un tribunal ou d'une allégation d'infraction à l'égard d'un brevet ou pour toute autre raison (non limitée aux questions de brevet), des conditions vous sont imposées (que ce soit par décision judiciaire, par accord ou par d'autre manière) qui contredisent les dispositions de cette Licence, elles ne vous dispensent pas des dispositions de cette Licence. Si vous ne pouvez pas assurer une distribution en satisfaisant simultanément à vos obligations au titre de cette Licence et à toutes autres obligations applicables, alors en conséquence vous ne pouvez pas du tout distribuer le Programme. Ainsi par exemple, si une licence de brevet ne permettait pas une redistribution du Programme, sans redevances, par les personnes qui recevraient des copies directement ou indirectement par votre intermédiaire, la seule manière de satisfaire à la fois cette condition et cette Licence serait de s'abstenir complètement de distribuer le Programme.

Si une quelconque partie de cette section est considérée comme invalide ou inapplicable dans des circonstances particulières, le reste de cette section s'appliquera et la section dans son ensemble s'appliquera dans d'autres circonstances.

Cette section n'a pas pour objet de vous inciter à commettre une infraction à l'égard de brevets ou d'autres droits de propriété, ni de contester la validité d'une quelconque de ces prétentions, mais elle a pour seul objet de protéger l'intégrité du système de distribution du logiciel libre, mis en œuvre par les pratiques de licence publique. De nombreuses personnes ont réalisé des contributions généreuses à la gamme étendue de logiciels distribués grâce à ce système, en se fondant sur l'application constante d'un tel système. Il appartient à l'auteur ou au donateur de décider s'il souhaite diffuser le logiciel selon un autre système, et un concessionnaire de licence ne peut pas imposer ce choix.

Cette section est destinée à rendre parfaitement clair ce qui est considéré être une conséquence du reste de cette Licence.

### Section 8

Si la distribution et/ou l'utilisation du Programme est limitée dans certains pays, soit par des brevets, soit par des interfaces protégées par copyright, le détenteur du copyright original qui place le Programme sous cette Licence, peut ajouter une limitation géographique explicite de distribution, excluant ces pays, afin que la distribution ne soit autorisée que dans les pays ou parmi les pays qui ne sont pas exclus de la sorte. Dans ce cas, cette Licence incorpore les limitations comme si elles figuraient dans le corps de cette Licence.

### Section 9

La Free Software Foundation peut publier, de temps à autre, des versions révisées et/ou nouvelles de la Licence Publique Générale. Ces nouvelles versions seront similaires dans leur esprit à la présente version, mais elles pourront en différer dans le détail pour traiter de nouveaux problèmes ou de nouvelles questions.

Chaque version reçoit un numéro de version distinctif. Si le Programme précise un numéro de version de cette Licence qui lui est applicable ainsi que « toute version ultérieure », vous avez la possibilité de suivre les clauses et dispositions de cette version ou d'une quelconque version ultérieure, publiée par la Free Software Foundation. Si le Programme ne spécifie pas de numéro de version pour cette Licence, vous pouvez choisir toute version publiée par la Free Software Foundation.

### Section 10

Si vous souhaitez incorporer des parties du Programme dans d'autres programmes libres dont les conditions de diffusion sont différentes, vous devez prendre contact avec l'auteur pour demander son autorisation. Pour les logiciels qui sont protégés par copyright par la Free Software Foundation, prenez contact avec la Free Software Foundation, nous faisons parfois des exceptions dans ce cas. Notre décision sera guidée par le bouble objectif de préserver le statut libre de tous les dérivés de nos logiciels libres et d'encourager le partage et la réutilisation de logiciels d'une manière générale.

### ABSENCE DE GARANTIE Section 11

LA LICENCE DE CE PROGRAMME ETANT ACCORDEE GRATUITEMENT, CE PROGRAMME NE BENEFICIE PAS DE GARANTIE, DANS LA MESURE AUTORISEE PAR LA LOI APPLICABLE. SAUF MENTION ECRITE CONTRAIRE, LES TITULAIRES DE COPYRIGHT ET/OU LES AUTRES PARTIES FOURNISSENT LE PROGRAMME « TEL QUEL » SANS GARANTIE D'AUCUNE SORTE, EXPRESSE OU IMPLICITE, Y COMPRIS, NOTAMMENT, LES GARANTIES IMPLICITES DE QUALIFICATION DE MISE SUR LE MARCHE ET D'ADAPTATION A UN USAGE PARTICULIER. VOUS SUPPORTEZ L'INTEGRALITE DU RISQUE RELATIF A LA QUALITE ET AUX PERFORMANCES DE CE PROGRAMME. SI LE PROGRAMME SE REVELAIT DEFECTUEUX, VOUS ASSUMERIEZ LES COUTS DE TOUTE INTERVENTION, REPARATION OU CORRECTION NECESSAIRE.

### Section 12

EN AUCUN CAS, SAUF OBLIGATION DE LA LOI EN VIGUEUR OU ACCORD ECRIT, AUCUN TITULAIRE DE COPYRIGHT OU AUCUNE AUTRE PARTIE SUSCEPTIBLE DE MODIFIER ET/OU DE REDISTRIBUER LE PROGRAMME DANS LES CONDITIONS CI-DESSUS, NE SERA RESPONSABLE VIS A VIS DE VOUS DE DOMMAGES, Y COMPRIS DE DOMMAGES GENERAUX, SPECIAUX, SECONDAIRES OU INDIRECTS DECOULANT DE L'UTILISATION OU DE L'IMPOSSIBILITE D'UTILISER LE PROGRAMME (Y COMPRIS, NOTAMMENT, LES PERTES DE DONNEES, LES DONNEES RENDUES INEXACTES, LES PREJUDICES SUBIS PAR VOUS OU PAR DES TIERS OU L'IMPOSSIBILITE POUR LE PROGRAMME DE FONCTIONNER AVEC TOUS AUTRES PROGRAMMES), MEME SI CE TITULAIRE OU CETTE AUTRE PARTIE A ETE INFORME DE LA POSSIBILITE DE TELS DOMMAGES.

FIN DES DISPOSITIONS

## A.3 Comment appliquer ces dispositions à vos nouveaux programmes

Si vous développez un nouveau programme et que vous souhaitez que son utilisation soit la plus large possible dans le public, le meilleur moyen est d'en faire un logiciel libre que tout le monde pourra reproduire et modifier selon ces dispositions.

Pour cela, joignez les mentions suivantes au programme. Il est plus sûr de les joindre au début de chaque fichier source pour transmettre le plus efficacement l'exclusion de garantie, et chaque fichier doit comporter au moins la ligne de « copyright » et un pointeur vers l'endroit où se trouve l'avis complet.

```
      <Une ligne pour donner le nom du programme et une indication de son
objet.>
      Copyright (C) <éanne> <nom de l'auteur>
      Ce programme est un logiciel libre. Vous pouvez le distribuer et/ou
le modifier selon les dispositions de la Licence Publique ééGnrale
telle qu'elle est épublie par la Free Software Foundation, version 2
de la Licence ou à( votre choix) toute version éultrieure.

      Ce programme est édiffus avec l'espoir qu'il sera utile, mais SANS
GARANTIE, sans êmme la GARANTIE IMPLICITE DE QUALIFICATION DE MISE
SUR LE MARCHE ou D'ADAPTATION A UNE UTILISATION PARTICULIERE. Voir
pour de plus amples édtails la Licence Publique ééGnrale GNU.

      Vous avez ûd recevoir un exemplaire de la Licence Publique ééGnrale
GNU avec ce Programme. Si ce n'est pas le cas, veuillez écrire à la
Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston,
MA 02110-1301, USA.
```

Ajoutez également des informations sur la manière de prendre contact avec vous par courrier électronique et courrier traditionnel.

Si le programme est interactif, préparez en sortie une courte notice telle que celle-ci lors du démarrage en mode interactif :

```
      Gnomovision version 69, Copyright (C) éanne et nom de l'auteur
Gnomovision fonctionne ABSOLUMENT SANS GARANTIE. Pour de plus amplesé
dtails, tapez "show w". Ceci est un logiciel libre et vous avez le
droit de le redistribuer sous certaines conditions ; tapez "show c"
pour de plus amples édtails.
```

Les commandes hypothétiques « show w » et « show c » doivent ouvrir les parties appropriées de la Licence Publique Générale. Naturellement, les commandes que vous utilisez peuvent être dénommées autrement et il peut même s'agir de clics de souris ou de rubriques de menu, selon ce que permet votre programme.

Vous devez également obtenir de votre employeur (si vous travaillez comme programmeur) ou de votre école, le cas échéant, la signature d'un « désistement de copyright » si nécessaire (modifiez les noms) :

```
      Yoyodine, Inc., par les éprsentes, se édsiste de tout ééintrt de copyright
      sur le programme "Gnomovision" (qui fait des passages au
      niveau des compilateurs)

      Ecrit par James Hacker

      <Signature de TyCoon>, 1er avril 1989
      TyCoon, éPrsident
```

Cette Licence Publique Générale ne permet pas l'incorporation de votre programme dans des programmes propriétaires. Si votre programme est une bibliothèque de sous-programmes, vous pouvez considérer qu'il est plus utile d'autoriser des liens des applications propriétaires avec la bibliothèque. Si c'est ce que vous voulez faire, utilisez la Licence Publique Générale pour Bibliothèques GNU plutôt que cette Licence.

# Annexe B

# Licence de Documentation Libre GNU

Ceci est une traduction française non officielle de la Licence de Documentation Libre GNU. Elle n'a pas été publiée par la Free Software Foundation, et ne fixe pas légalement les conditions de redistribution des documents qui l'utilisent – seul le texte original en anglais le fait. Nous espérons toutefois que cette traduction aidera les francophones à mieux comprendre la FDL GNU. L'original en anglais de la licence est disponible à l'adresse suivante : http://www.ruby-doc.org/docs/beginner-fr/xhtml/-FDL.html.

Version 1.0 FR (Jean-Luc Fortin, juillet 2000)

Version 1.1 FR (Christian Casteyde, mars 2001)

Version 1.1.1 FR (César Alexanian, mars 2001)

Version 1.1.2r2 FR (Christian Casteyde et César Alexanian, juin 2001)

Version 1.2 FR (François Riguet, octobre 2009)

## B.1 Preambule

L'objet de cette Licence est de rendre tout manuel, livre ou autre document écrit « libre » au sens de la liberté d'utilisation, à savoir : assurer à chacun la liberté effective de le copier ou de le redistribuer, avec ou sans modifications, commercialement ou non. En outre, cette Licence garantit à l'auteur et à l'éditeur la reconnaissance de leur travail, sans qu'ils soient pour autant considérés comme responsables des modifications réalisées par des tiers.

Cette Licence est une sorte de « copyleft », ce qui signifie que les travaux dérivés du document d'origine sont eux-mêmes « libre » selon les mêmes termes. Elle complète la Licence Publique Générale GNU, qui est également une Licence copyleft, conçue pour les logiciels libres.

Nous avons conçu cette Licence pour la documentation des logiciels libres, car les logiciels libres ont besoin d'une documentation elle-même libre : un logiciel libre doit être accompagné d'un manuel garantissant les mêmes libertés que celles accordées par le logiciel lui-même. Mais cette Licence n'est pas limitée aux seuls manuels des logiciels ; elle peut être utilisée pour tous les documents écrits, sans distinction particulière relative au sujet traité ou au mode de publication. Nous recommandons l'usage de cette Licence principalement pour les travaux destinés à des fins d'enseignement ou devant servir de documents de référence.

## B.2 Applicabilité et Définitions

Cette Licence couvre tout manuel ou tout autre travail écrit, sur tout support, contenant une notice de copyright autorisant la redistribution selon les termes de cette Licence. Cette notice garantit une licence d'utilisation valable partout dans le monde, libre de droits d'auteurs et non limitée dans la temps selon les conditions décrites ici. Le mot « Document », se réfère ci-après à un tel manuel ou travail. Toute personne en est par définition concessionnaire et est référencée ci-après par le terme « vous ». Vous acceptez cette licence si vous copiez, modifiez ou distribuez ce travail selon une méthode nécessitant une permission au regard des lois du droit d'auteur.

Une « Version modifiée » du Document désigne tout travail en contenant la totalité ou seulement une portion de celui-ci, copiée mot pour mot, modifiée et/ou traduite dans une autre langue.

Une « Section secondaire » désigne une annexe au Document, ou toute information indiquant les rapports entre l'auteur ou l'éditeur et le sujet (ou tout autre sujet connexe) du document, sans toutefois être en rapport direct avec le sujet lui-même (par exemple, si le Document est un manuel de mathématiques, une Section secondaire ne traitera d'aucune notion mathématique). Cette section peut contenir des informations relatives à l'historique du Document, des sources documentaires, des dispositions légales, commerciales, philosophiques, ou des positions éthiques ou politiques susceptibles de concerner le sujet traité.

Les « Sections inaltérables » sont des sections secondaires considérées comme ne pouvant être modifiées et citées comme telles dans la notice légale qui place le Document sous cette Licence. Si une section ne correspond pas à la définition des sections

secondaires, on ne pourra la désigner comme section inaltérable. Le document peut ne contenir aucune section invariante. Il ne peut y avoir de section invariante si le document n'en identifie aucune.

Les « Textes de couverture » sont les textes courts situés sur les pages de couverture avant et arrière du Document, et cités comme tels dans la notice légale qui place le Document sous cette Licence. Le texte de couverture avant peut contenir au plus 5 mots, et le texte de couverture arrière peut contenir au plus 25 mots.

Le terme « Copie transparente » désigne une version numérique du Document représentée dans un format dont les spécifications sont publiquement disponibles et dont le contenu peut être visualisé et édité directement et immédiatement par un éditeur de texte quelconque, ou (pour les images composées de pixels) par un programme de traitement d'images quelconque, ou (pour les dessins) par un éditeur de dessins courant. Ce format doit pouvoir être accepté directement ou être convertible facilement dans des formats utilisables directement par des logiciels de formatage de texte. Une copie publiée dans un quelconque format numérique ouvert mais dont la structure a été conçue dans le but exprès de prévenir les modifications ultérieures du Document ou dans le but d'en décourager les lecteurs n'est pas considérée comme une Copie Transparente. Une copie qui n'est pas « Transparente » est considérée, par opposition, comme « Opaque ».

Le format de fichier texte codé en ASCII générique et n'utilisant pas de balises, les formats de fichiers Texinfo ou LaTeX, les formats de fichiers SGML ou XML utilisant une DTD publiquement accessible, ainsi que les formats de fichiers HTML simple et standard, les fichiers PostScript ou PDF écrits de telle sorte qu'ils sont modifiables sans outil spécifique. Les formats de fichier PNG, XCF et JPG sont des exemples de formats image transparents. Les formats suivants sont opaques : formats de fichiers propriétaires qui ne peuvent être visualisés ou édités que par des traitements de textes propriétaires, SGML et XML utilisant des DTD et/ou des outils de formatage qui ne sont pas disponibles publiquement, et du code HTML, PostScript ou PDF généré par une machine à l'aide d'un traitement de texte quelconque et dans le seul but de la génération d'un format de sortie.

La « Page de titre » désigne, pour les ouvrages imprimés, la page de titre elle-même, ainsi que les pages supplémentaires nécessaires pour fournir clairement les informations dont cette Licence impose la présence sur la page de titre. Pour les travaux n'ayant pas de Page de titre comme décrit ci-dessus, la « Page de titre » désigne le texte qui s'apparente le plus au titre du document et situé avant le texte principal.

Une section « Intitulée XYZ » correspond à une sous-partie nommée du Document dont le nom est précisément XYZ ou contenant XYZ entre parenthèses à la suite du texte traduisant XYZ dans une autre langue. (XYZ correspond à ici à un nom de section spécifique mentionné plus bas, tels que « Remerciements », « Dédicaces », « Approbations », ou « Historique ».) « Préserver le Titre » d'une telle section lorsque vous modifiez le Document signifie qu'elle reste une section « Intitulée XYZ » selon cette définition.

Le Document peut inclure des Dénis de Garantie à la suite de la notice établissant que cette Licence s'applique à ce Document. Ces Dénis de Garantie sont considérés comme étant inclus en référence à cette Licence, mais concernant uniquement les garanties déniées : toute autre implication que ces Dénis de Garantie pourraient avoir est nulle et sans effet sur la signification de cette Licence.

## B.3 Copies Conformes

Vous pouvez copier et distribuer le Document sur tout type de support, commercialement ou non, à condition que cette Licence, la notice de copyright et la notice de la Licence indiquant que cette Licence s'applique à ce Document soient reproduits dans toutes les copies, et que vous n'y ajoutiez aucune condition restrictive supplémentaire. Vous ne pouvez pas utiliser un quelconque moyen technique visant à empêcher ou à contrôler la lecture ou la reproduction ultérieure des copies que vous avez créées ou distribuées. Toutefois, vous pouvez solliciter une rétribution en échange des copies. Si vous distribuez une grande quantité de copies, référez-vous aux dispositions de la section 3.

Vous pouvez également prêter des copies, sous les mêmes conditions que celles suscitées, et vous pouvez afficher publiquement des copies de ce Document.

## B.4 Copies en nombre

Si vous publiez des copies imprimées (ou des copies sur des supports ayant des couvertures imprimées) de ce Document à plus de 100 exemplaires et que la Licence du Document indique la présence de Textes de couverture, vous devez fournir une couverture pour chaque copie, qui présente les Textes de couverture des première et dernière pages de couverture du Document. Les première et dernière pages de couverture doivent également vous identifier clairement et sans ambiguïté comme étant l'éditeur de ces copies. La première page de couverture doit comporter le titre du Document en mots d'importance et de visibilité égales. Vous pouvez ajouter des informations complémentaires sur les pages de couverture. Les copies du Document dont seule la couverture a été modifiée peuvent être considérées comme des copies conformes, à condition que le titre du Document soit préservé et que les conditions indiquées précédemment soient respectées.

Si les textes devant se trouver sur la couverture sont trop importants pour y tenir de manière claire, vous pouvez ne placer que les premiers sur la première page (tous ceux qui pourront y tenir) et placer les suivants sur les pages consécutives.

Si vous publiez ou distribuez plus de 100 Copies opaques du Document, vous devez soit fournir une Copie transparente pour chaque Copie opaque, soit préciser ou fournir avec chaque Copie opaque une adresse réseau publiquement accessible d'une Copie transparente et complète du Document, sans aucun ajout ou modification, et à laquelle tout le monde peut accéder en téléchargement anonyme et sans frais, selon des protocoles réseau communs et standards. Si vous choisissez cette dernière option, vous devez prendre les dispositions nécessaires, dans la limite du raisonnable, afin de garantir l'accès non restrictif à la Copie transparente durant une année pleine après la diffusion publique de la dernière Copie opaque (directement ou via vos revendeurs).

Nous recommandons, mais ce n'est pas obligatoire, que vous contactiez l'auteur du Document suffisamment tôt avant toute publication d'un grand nombre de copies, afin de lui permettre de vous donner une version à jour du Document.

## B.5 Modifications

Vous pouvez copier et distribuer une Version modifiée du Document en respectant les conditions des sections 2 et 3 précédentes, à condition de placer cette Version modifiée sous la présente Licence, dans laquelle le terme Document doit être remplacé par les termes Version modifiée, donnant ainsi l'autorisation de redistribuer et de modifier cette Version modifiée à quiconque en possède une copie. De plus, vous devez effectuer les actions suivantes dans la Version modifiée :

CONDITIONS DE MODIFICATION DE LA GNU FDL

A. Utiliser sur la Page de titre (et sur la page de couverture éventuellement présente) un titre distinct de celui du Document d'origine et de toutes ses versions antérieures (qui, si elles existent, doivent être mentionnées dans la section Historique du Document). Vous pouvez utiliser le même titre si l'éditeur d'origine vous en a donné expressément la permission.
B. Mentionner sur la Page de titre en tant qu'auteurs une ou plusieurs des personnes ou entités responsables des modifications de la Version modifiée, avec au moins les cinq principaux auteurs du Document (ou tous les auteurs s'il y en a moins de cinq), à moins que ceux-ci ne vous libèrent de cette obligation.
C. Préciser sur la Page de titre le nom de l'éditeur de la Version modifiée, en tant qu'éditeur du Document.
D. Préserver intégralement toutes les notices de copyright du Document.
E. Ajouter une notice de copyright adjacente aux autres notices pour vos propres modifications.
F. Inclure immédiatement après les notices de copyright une notice donnant à quiconque l'autorisation d'utiliser la Version modifiée selon les termes de cette Licence, sous la forme présentée dans l'annexe indiquée ci-dessous.
G. Préserver dans cette notice la liste complète des Sections inaltérables et les Textes de couverture donnés avec la notice de la Licence du Document.
H. Inclure une copie non modifiée de cette Licence.
I. Préserver la section nommée « Historique » et son titre, et y ajouter une nouvelle entrée décrivant le titre, l'année, les nouveaux auteurs et l'éditeur de la Version modifiée, tels que décrits sur la Page de titre. S'il n'existe aucune section intitulée « Historique » dans le Document, vous devez en créer une indiquant le titre, l'année, les auteurs ainsi que l'éditeur du Document tels que décrits sur la Page de titre, puis y ajouter une partie décrivant la Version modifiée selon les termes de la phrase précédente.
J. Conserver l'adresse réseau éventuellement indiquée dans le Document permettant à quiconque d'accéder à une Copie transparente du Document, ainsi que les adresses réseau indiquées dans le Document pour les versions précédentes sur lesquelles le Document se base. Ces liens peuvent être placés dans la section « History ». Vous pouvez ne pas conserver les liens pour un travail datant de plus de quatre ans avant la version courante ou si l'éditeur d'origine vous en accorde la permission.
K. For any section Entitled « Acknowledgements » or « Dedications », Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein. Si une section « Remerciements » ou une section « Dédicaces » sont présentes, les informations et les appréciations concernant les contributeurs et les personnes auxquelles s'adressent ces remerciements et/ou dédicaces doivent être conservées, ainsi que le titre de ces sections.
L. Conserver sans modification les Sections inaltérables du Document, ni dans leurs textes, ni dans leurs titres. Les numéros de sections ne sont pas considérés comme faisant partie du titre des sections.
M. Effacer toute section intitulée « Approbations ». Une telle section ne peut pas être incluse dans une Version modifiée.
N. Ne pas renommer une section existante sous le titre « Approbations » ou sous un autre titre entrant en conflit avec le titre d'une Section inaltérable.
O. Préserver tous les Dénis de Garantie.

Si la Version modifiée contient de nouvelles sections préliminaires ou de nouvelles annexes considérées comme des Sections secondaires et que celles-ci ne contiennent aucun élément copié à partir du Document, vous pouvez à votre convenance en

désigner une ou plusieurs comme étant des Sections inaltérables. Pour ce faire, ajoutez leurs titres dans la liste des Sections inaltérables au sein de la notice de Licence de la version Modifiée. Ces titres doivent êtres distincts des titres des autres sections.

Vous pouvez ajouter une section nommée « Approbations » à condition que ces approbations ne concernent que les modifications ayant donné naissance à la Version modifiée (par exemple, comptes rendus de revue du document ou acceptation du texte par une organisation le reconnaissant comme étant la définition d'un standard).

Vous pouvez ajouter un passage comprenant jusqu'à cinq mots en première page de couverture, et jusqu'à vingt-cinq mots en dernière page de couverture, à la fin de la liste des Textes de couverture de la Version modifiée. Il n'est autorisé d'ajouter qu'un seul passage en première et en dernière pages de couverture par personne ou groupe de personnes ou organisation ayant contribué à la modification du Document. Si le Document comporte déjà un passage sur la même couverture, ajouté en votre nom ou au nom de l'organisation au nom de laquelle vous agissez, vous ne pouvez pas ajouter de passage supplémentaire ; mais vous pouvez remplacer un ancien passage si vous avez expressément obtenu l'autorisation de l'éditeur de celui-ci.

Cette Licence ne vous donne pas le droit d'utiliser le nom des auteurs et des éditeurs de ce Document à des fins publicitaires ou pour prétendre à l'approbation d'une Version modifiée.

## B.6 Fusion de Documents

Vous pouvez fusionner le Document avec d'autres documents soumis à cette Licence, suivant les spécifications de la section 4 pour les Versions modifiées, à condition d'inclure dans le document résultant toutes les Sections inaltérables des documents originaux sans modification, et de toutes les lister dans la liste des Sections inaltérables de la notice de Licence du document résultant de la fusion, ainsi que préserver leurs Dénis de Garantie.

Le document résultant de la fusion n'a besoin que d'une seule copie de cette Licence, et les Sections inaltérables existant en multiples exemplaires peuvent être remplacées par une copie unique. S'il existe plusieurs Sections inaltérables portant le même nom mais de contenu différent, rendez unique le titre de chaque section en ajoutant, à la fin de celui-ci, entre parenthèses, le nom de l'auteur ou de l'éditeur d'origine, ou, à défaut, un numéro unique. Les mêmes modifications doivent être réalisées dans la liste des Sections inaltérables de la notice de Licence du document final.

Dans le document résultant de la fusion, vous devez rassembler en une seule toutes les sections « Historique » des documents d'origine, cette section unique devant être intitulée « Historique ». De même, vous devez rassembler les sections « Remerciements » et « Dédicaces ». Vous devez supprimer toutes les sections « Approbations ».

## B.7 Regroupement de Documents

Vous pouvez créer un regroupement de documents comprenant le Document et d'autres documents soumis à cette Licence, et remplacer les copies individuelles de cette Licence des différents documents par une unique copie incluse dans le regroupement de documents, à condition de respecter pour chacun de ces documents l'ensemble des règles de cette Licence concernant les copies conformes.

Vous pouvez extraire un document d'un tel regroupement et le distribuer individuellement sous couvert de cette Licence, à condition d'y inclure une copie de cette Licence et d'en respecter l'ensemble des règles concernant les copies conformes.

## B.8 Agrégation avec des Travaux Indépendants

La compilation du Document ou de ses dérivés avec d'autres documents ou travaux séparés et indépendants sur un support de stockage ou sur un média de distribution quelconque est appelée « agrégat » si le copyrigth résultant de cette compilation n'est pas utilisé pour limiter les droits de l'utilisateur de ladite compilation au-delà de ce que permettent les travaux individuels. Lorsque le Document est inclus dans un agrégat, cette licence ne s'applique pas aux autres travaux indépendants compilés avec le Document s'ils ne sont pas eux-mêmes des travaux dérivés du Document.

Si les exigences de la section 3 concernant les Textes de couverture sont applicables à ces copies du Document, et si le Document représente un volume inférieur à la moitié du volume total de l'agrégat, les Textes de couverture du Document peuvent être placés sur des pages de couverture, ou leur équivalent électroniques, qui n'encadrent que le Document au sein de l'agrégat. Dans le cas contraire, ils doivent apparaître sur les pages de couverture de l'agrégat complet.

## B.9 Traduction

La traduction est considérée comme une forme de modification, vous pouvez donc distribuer les traductions du Document selon les termes de la section 4. Vous devez obtenir l'autorisation spéciale des auteurs des Sections inaltérables pour les remplacer

par des traductions, mais vous pouvez inclure les traductions des Sections inaltérables en plus des textes originaux. Vous pouvez inclure une traduction de cette Licence, ainsi que les notices de la licence et les Dénis de Garantie, à condition d'inclure également la version originale en anglais de cette licence ainsi celles des notices et des dénis de garantie. En cas de contradiction entre la traduction et la version originale en anglais, c'est cette dernière qui prévaut.

Si le Document contient une section « Remerciements », « Dédicaces », ou « Historique », l'exigence (section 4) de préserver le titre (section 1) nécessitera tout de même de modifier ce titre.

## B.10 Révocation

Vous ne pouvez pas copier, modifier, sous-licencier ou distribuer le Document autrement que selon les termes de cette Licence. Tout autre acte de copie, modification, sous-Licence ou distribution du Document est sans objet et vous prive automatiquement des droits que cette Licence vous accorde. En revanche, les personnes qui ont reçu de votre part des copies ou les droits sur le document sous couvert de cette Licence ne voient pas leurs droits révoqués tant qu'elles en respectent les principes.

## B.11 Revisions Futures de cette Licence

La Free Software Foundation peut publier de temps en temps de nouvelles versions révisées de cette Licence. Ces nouvelles versions seront semblables à la présente version dans l'esprit, mais pourront différer sur des points particuliers en fonction de nouvelles questions ou nouveaux problèmes. Voyez https://www.gnu.org/copyleft/. pour plus de détails.

Chaque version de cette Licence est dotée d'un numéro de version distinct. Si un Document spécifie un numéro de version particulier de cette Licence, et porte la mention « ou toute autre version ultérieure », vous pouvez choisir de suivre les termes de la version spécifiée ou ceux de n'importe quelle version ultérieure publiée (non sous forme d'ébauche) par la Free Software Foundation. Si aucun numéro de version n'est spécifié, vous pouvez choisir n'importe quelle version officielle publiée (non sous forme d'ébauche)par la Free Sofware Foundation.

## B.12 ANNEXE : comment utiliser cette Licence pour vos documents

Pour utiliser cette Licence avec un document que vous avez écrit, incorporez une copie du texte de cette Licence en anglais et placez le texte ci-dessous juste après la page de titre :

> LISTE DES TITRES DES SECTIONS INVARIANTES
>
> Copyright (c) ANNEE VOTRE NOM. Permission vous est donnée de copier, d istribuer et/ou modifier ce document selon les termes de la Licence GNU Free Documentation License, Version 1.2 ou ultérieure publiée par la Free Software Foundation ; sans Section Invariante, sans texte de Page de Couverture Avant, et sans texte de Page de Couverture. Arrière. Une copie de cette licence est incluse dans la section intitulée « GNU Free Documentation License ».

Si le document contient des Sections Invariantes, des texte de Page de Couverture Avant et Page de Couverture Arrière, remplacer la ligne « avec... Textes. » avec ceci :

> LISTE DES TITRES DES SECTIONS INVARIANTES
>
> avec les Sections Invariantes sous la forme de LISTE DE LEURS TITRES, avec les textes de Page de Couverture Avant et Arrière sous forme de LISTE.

Si votre document contient des Sections Invariantes sans texte de Couverture ou toute autres combinaisons des trois éléments, vous pouvez combiner ces deux alternatives pour vous adapter à la situation.

Si votre document contient des exemples non triviaux de code de programme, nous vous recommandons de publier ces exemples en parallèle avec une licence de logiciel libre à votre convenance, telle que la Licence Publique Générale GNU (GNU GPL), pour autoriser son utilisation dans un logiciel libre.

## Chapitre 6

# Index

3D
affichage des données, 16
choisir le matériau par défaut, 17
édition de matériau, 17

ajustement d'une forme géométrique, 99
ajustement de fonction, 93
amélioration locale du contraste, 51
analyse des facettes, 67
arrière-plan polynômial, 40
auto-corrélation
uni-dimensionnelle, 67

Boîte à outils, 4, 10, 133

calcul d'aire, 61
calcul du périmètre, 76
calcul du volume, 77
Canny
détection de bord, 50
carte de distances, 45
compensation de la dérive, 56
correction de défauts, 52
correction de la rotation, 56
correction des défauts linéaires, 53
correction des lignes, 52
le long de chemins, 55
corrélation croisée, 90
couleur
affichage, 12
courbure, 41

densité spectrale de puissance
log-phi, 78
mesure de maille, 67
radiale, 65
section, 78
uni-dimensionnelle, 64
dilatation
filtre, 47
masqye, 45
sonde, 86
dimension critique, 94
dimension fractale, 83
distorsion dans le plan xy
affine, 57
le long d'un chemin, 58
polynômiale, 58
distribution angulaire
1D, 66
2D, 66
distribution de plage, 66
distribution des angles
1D, 62
distribution des hauteurs, 62
distribution des pentes (2D), 66
données volumiques, 19
Données XYZ, 19, 97
compatibilité, 19
import, 29
débruitage
conservatif, 47
filtre de Kuwahara, 47
filtre gaussian, 47
filtre moyenne, 47
filtre médian, 47
débruitage xy, 59
dérotation, 56
détection de bord, 49
détection de bord par coupure à zéro, 50
détection de bord par non-linéarité locale, 50
détection de bord RMS, 50
détection de saut, 49

entropie
d'une distribution de pentes, 68
d'une distribution de valeurs, 61, 68
extension, 30
extraction de profil
le long de lignes arbitraires, 34
lignes de scan, 33
radial, 36

fermeture
filtre, 47
masque, 45
fichier, 7, 8, 120
filtre d'accentuation, 47
filtre de débruitage conservatif, 47
filtre de décarèlement, 47
filtre de Kuwahara, 47
filtre de suppression de motif carrelé, 47
filtre gaussien, 47
filtre séquentiel alternant
fermeture-ouverture, 47
ouverture-fermeture, 47
filtres de gradient, 49
fonction d'autocorrélation
bi-dimensionnelle, 62
radiale, 62
uni-dimensionnelle, 62
fonction de corrélation hauteur-hauteur, 64
Fonctions de Minkowski, 66
fusionner des images, 89

gradient de couleur
choix du défaut, 13
édition, 13
gradient Prewitt, 49
gradient Sobel, 49

inclinaison, 32
calcul, 33
lecture des données, 32
incrustation d'un détail, 89
interpolation, 37
des données sous le masque, 54
interpolation fractale, 54
inversion des valeurs, 32

joindre des images, 89

Laplacien d'une gaussienne, 50

marquage de grain
détection de bord, 71
ligne de partage des eaux, 72
seuil, 71
méthode d'Otsu, 71
marquage de grains
immersion, 73
régression logistique, 73
marquage des grains, 71
masque, 14
maximum
d'un grain, 75
d'une ligne/colonne, 66
d'une zone de données, 61
du bord d'un grain, 75
filtre, 47
mesure d'angle, 33
mesure de distance, 33
mesure de maille, 67
mesure de pente, 32
minimum
d'un grain, 75
d'une ligne/colonne, 66
d'une zone de données, 61
du bord d'un grain, 75
filtre, 47
mise à l'échelle, 31
mise à niveau
alignement horizontal des facettes, 39
d'une surface plane avec des éléments en relief, 40
soustraction du plan moyen, 39
trois points, 39
mise à niveau des facettes, 39
mise à niveau des grains, 78
mise à niveau des lignes, 52
le long de chemins, 55
mise à niveau par chemin, 55
mise à niveau par trois points, 39
moyenne
d'un grain, 75
d'une ligne/colonne, 66
d'une zone de données, 61
filtre, 47
médiane
d'un grain, 75
d'une ligne/colonne, 66
d'une zone de données, 61
filtre, 47
suppression d'arrière-plan, 41

navigateur de données, 5
niveau plan, 39
nombre de grains, 74

ombre, 49
opérations arithmétiques sur les données, 88
Outil d'analyse des fonctions statistiques, 62
Outil de calcul des propriétés statistiques, 61
outil de lecture de valeur, 32
Outil distance, 33
Outil statistiques de lignes/colonnes, 66
ouverture
filtre, 47
masque, 45

pics, 94
points aberrants
globaux, 55
locaux, 55
présentation, 14, 48

Raccourcis clavier
personnalisés, 119
standards, 118
Rapport d'aspect, 9
rapport d'aspect
ré-échantillonnage en pixels carrés, 31
recherche par corrélation, 91
regroupement, 31
renverser
en diagonale, 30
horizontalement, 30
verticalement, 30
repliement
de valeurs périodiques, 32
RMS
d'une ligne/colonne, 66
d'une zone de données, 61
détection de bord, 50
rognage, 30
rognage mutuel de deux images, 90
rotation
par multiples de 90°, 30
par un angle arbitraire, 31
rotation de plan, 40
rugosité
paramètres ISO, 69
ré-échantillonnage, 31
réseau neuronal, 91

application, 92
apprentissage, 91

sonde
carte d'incertitude, 87
convolution, 86
déconvolution, 86
modélisation, 85
soustraction d'arrière-plan, 40
Spectre DOS, 94
spectres, 18
suppression des zones de non intersection, 90

Transformée de Fourier, 78
transformée de Fourier
filtrage 1D, 79
filtrage 2D, 80
filtre passe-bas, 80
filtre passe-haut, 80
transformée de rang locale, 51
transformée en ondelettes, 80
continue, 82
discrète, 81

échelle, 31
échelle logarithmique, 51
érosion
filtre, 47
masque, 45
sonde, 86