



07-08 juin 2017 – Paris

# Traitement des images SPM

## Utilisation du logiciel Gwyddion

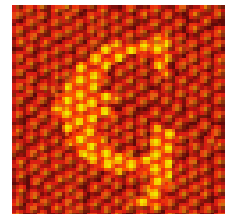
**Nicolas DELORME**

[nicolas.delorme@univ-lemans.fr](mailto:nicolas.delorme@univ-lemans.fr)

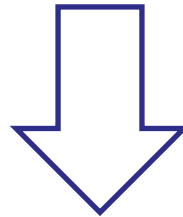
Professeur

Institut des Molécules et Matériaux du Mans (IMMM)

UMR CNRS 6283



- Traitement d'images** = opérations mathématiques (=modifications des données) pour permettre de :
- 1) Améliorer l'apparence d'une image
  - 2) Extraire des informations d'une image



Si l'image n'est pas bien réalisée (mauvais réglages, échantillons...) le traitement d'image ne pourra pas faire grand chose

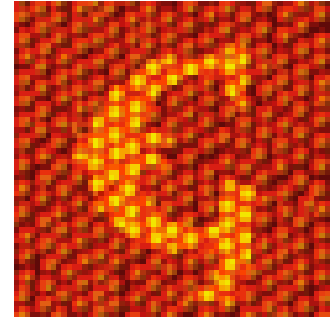
Trop de traitements = danger sur l'interprétation des résultats!!

Ce qui est beau n'est pas obligatoirement bon

## Gwyddion

- Logiciel gratuit et open source

<http://gwyddion.net>



- Développé depuis 2003 par l'institut Tchèque de Métrologie

<https://www.cmi.cz/?language=en>

- Principaux développeurs :
  - David Nečas (Yeti)
  - Petr Klapetek

## 1) Corrections des données

Rognage,  
Aplanissement,  
Filtration,  
Masquage

## 2) Présentation des données

Sauvegarde,  
2D/3D,  
Echelles de couleur...

## 3) Distances/hauteurs

Mesures directes,  
Statistiques...

## 4) Rugosités

Rugosité RMS,  
Skewness...

## 5) Analyse de grains

Détection,  
Mesures,  
Statistiques

## 6) Analyses statistiques de surface

Fonctions utiles  
Intérêt

## 7) Synthèse de surfaces

Exemples  
Intérêt

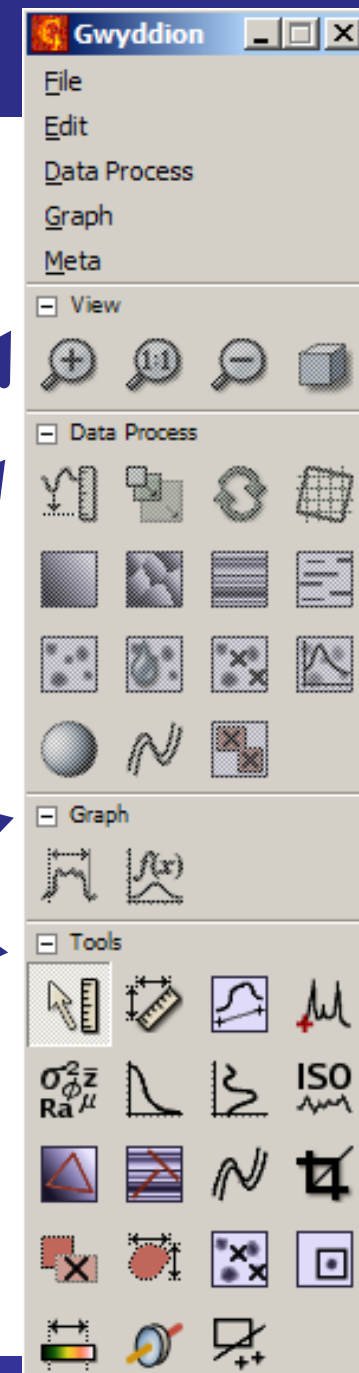
# Interface d'accueil

5 menus déroulants

- File
- Edit
- Data Process
- Graph
- Meta

4 fenêtres : fonctions principales

- View
- Data Process
- Graph
- Tools

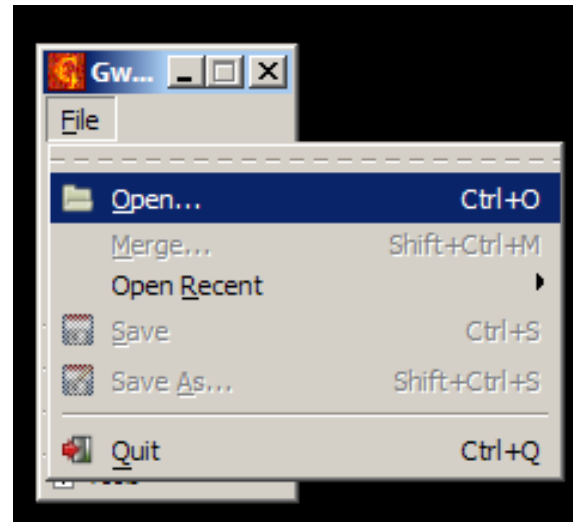


# Ouvertures de fichiers

## Ouverture d'un fichier :

Menu: **File**

Fonction: **Open**

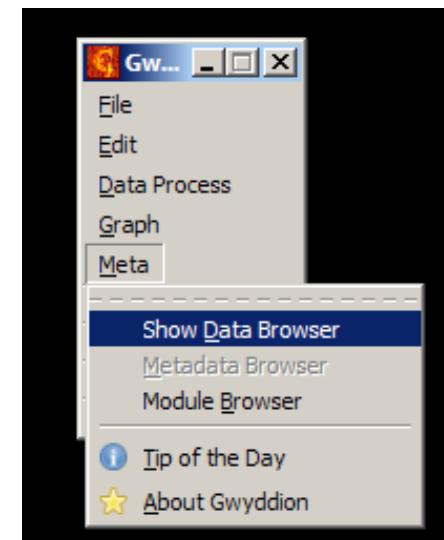


## Fichier avec plusieurs images

Topographie, phase, déflexion...

Menu: **Meta**

Fonction: **Show Data Browser**

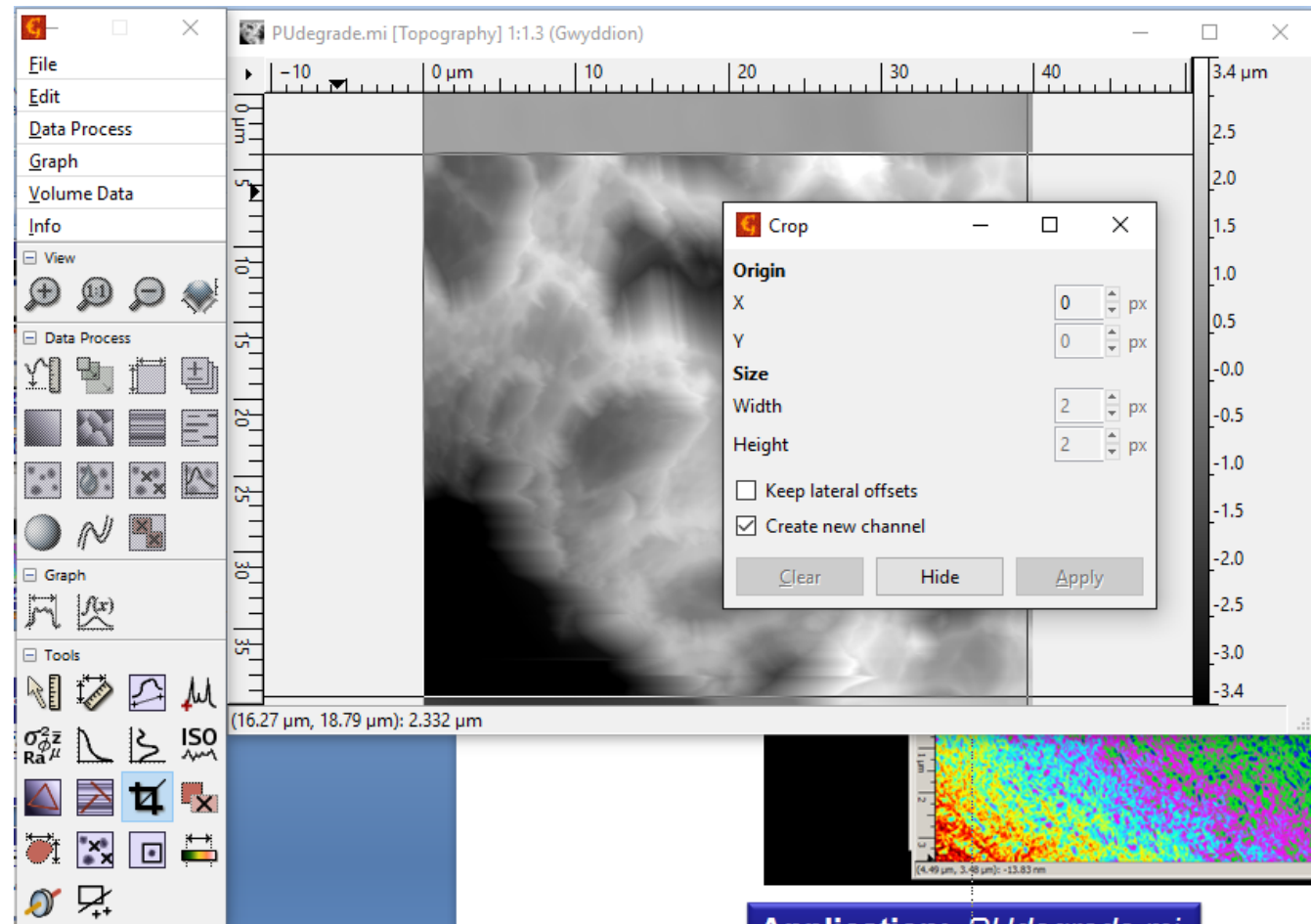
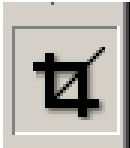


**Application: *PUdegrade.mi***

# Sélection de la zone d'intérêt (rognage)

Fenêtre: **Tools**

Icône:



**Application: *PUdegrade.mi***

# Corrections des données

Attention à ne pas trop modifier les données  
⇒ Faire le moins de corrections possibles et toujours les mêmes  
pour les mêmes conditions expérimentales

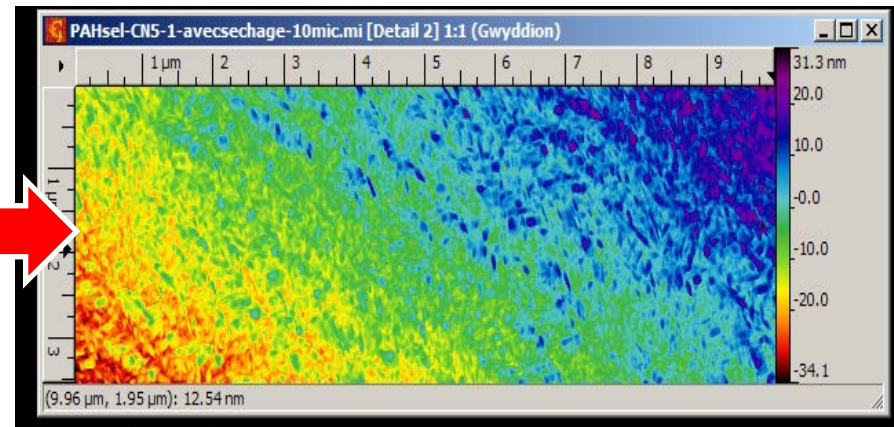
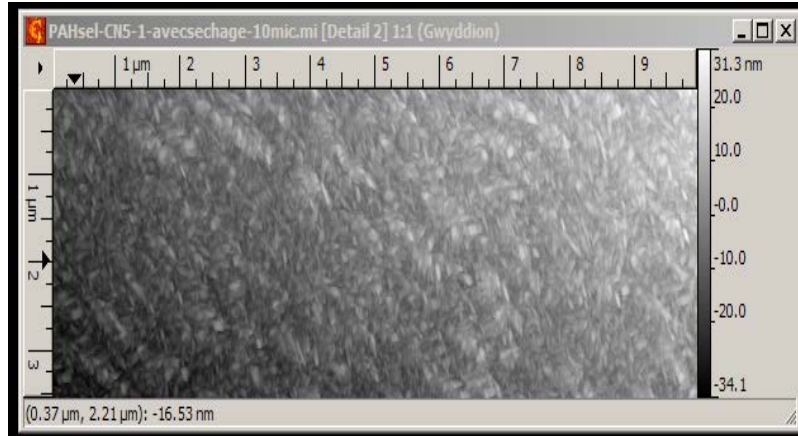


# Préparation

! Sur le logiciel de l'appareil : enregistrer les images en format *raw data*

Choisir une échelle de couleurs multicolore afin de mieux voir les problèmes de planéité

⇒ Clic droit sur l'échelle des couleurs



# Aplanissement

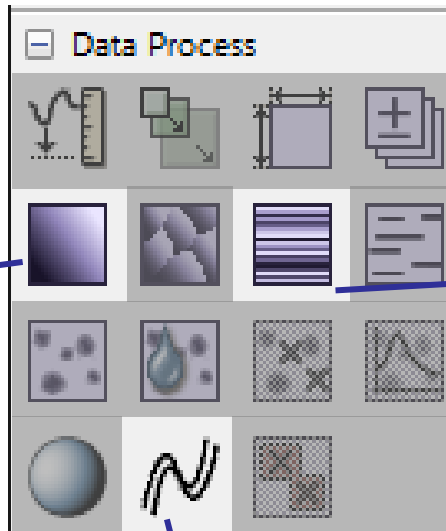
Origine: inclinaison de l'échantillon + courbure du balayage du scanner

## Surfaces homogènes

1

Nivellement par un plan

⇒ corrige l'inclinaison



2

Nivellement  
ligne par ligne

⇒ corrige les sauts linéaires

3

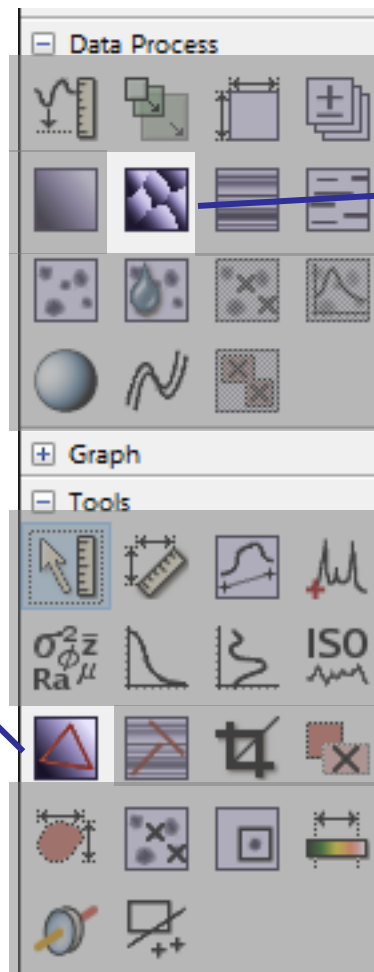
Nivellement par  
un polynôme

⇒ Ne pas dépasser le 3<sup>e</sup> ordre

**Application: *surface.gwy* + *PSdewetted.mi***

# Aplanissement

## Surface avec une marche



Nivellement de  
facettes

Mets les facettes à plat

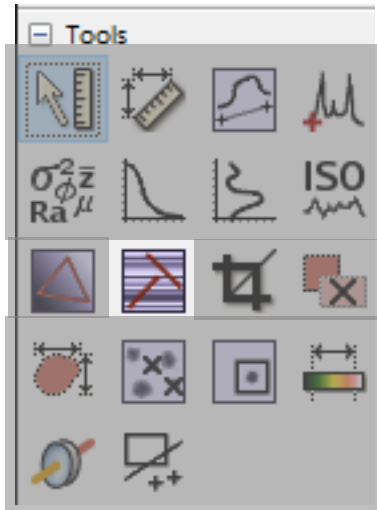
Méthode 3 points

Choix d'un plan

**Application: *marche***

# Aplanissement

## Objets de hauteurs et de formes variables



Nivellement entre  
intersections de lignes

On sélectionne des lignes.  
Intersections de ces lignes avec les  
lignes de l'image = points utilisés  
pour la mise à niveau.

Exclusion de  
structures

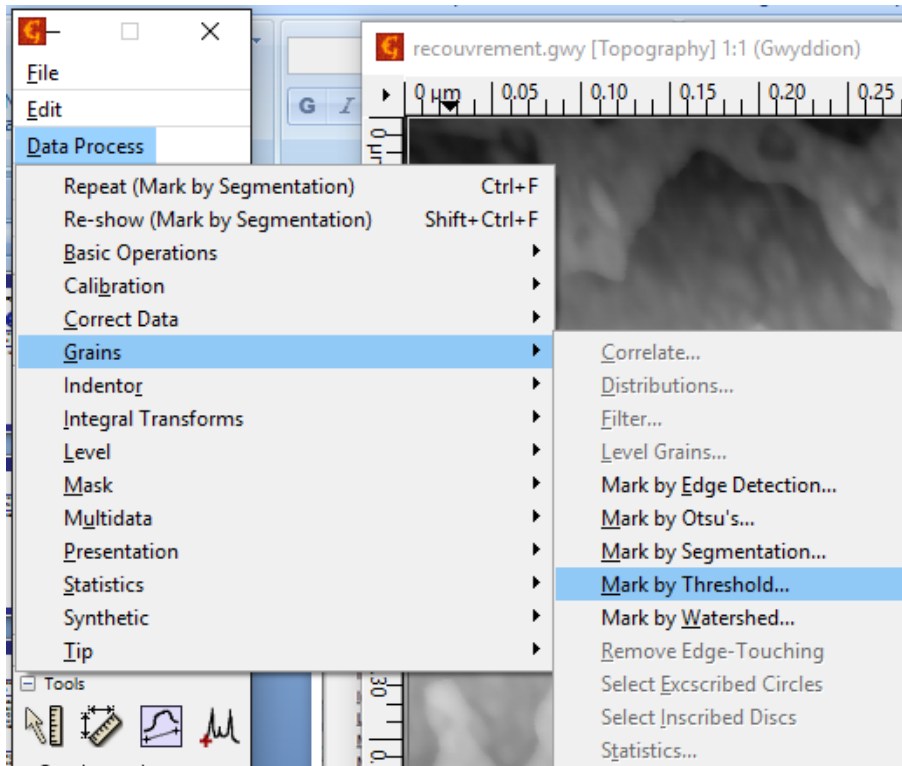
On identifie les structures à exclure  
ou inclure dans le traitement avec le  
masquage puis un aplanissement  
classique est effectué sur la zone  
sélectionnée.



Comment masquer  
des données?

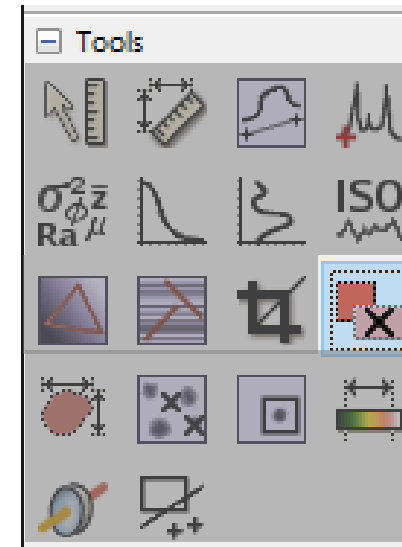
# Masquage de données

## Masquage automatique



## Masquage manuel

- 1) On fait un masquage automatique
- 2) On ajuste manuellement



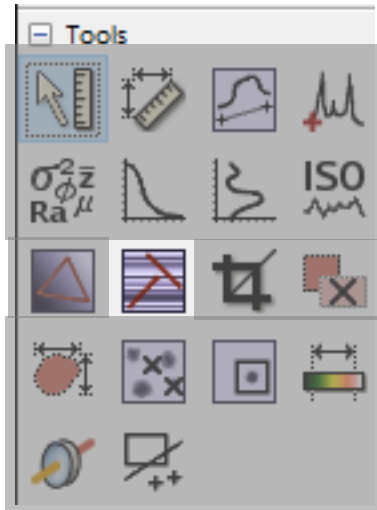
Différentes méthodes : par seuil = OK

Effacer le masque = Data Process, Mask, Remove mask

Extraire les données masquées = Data Process, Mask, Extract mask

# Aplanissement

## Objets de hauteurs et de formes variables



Nivellement entre  
intersections de lignes

On sélectionne des lignes.  
Intersections de ces lignes avec les  
lignes de l'image = points utilisés  
pour la mise à niveau.

Exclusion de  
structures

On identifie les structures à exclure  
ou inclure dans le traitement avec le  
masquage puis un aplanissement  
classique est effectué sur la zone  
sélectionnée.



Comment masquer  
des données?

**Application:** *PUdegrade.mi + Ico.gwy*

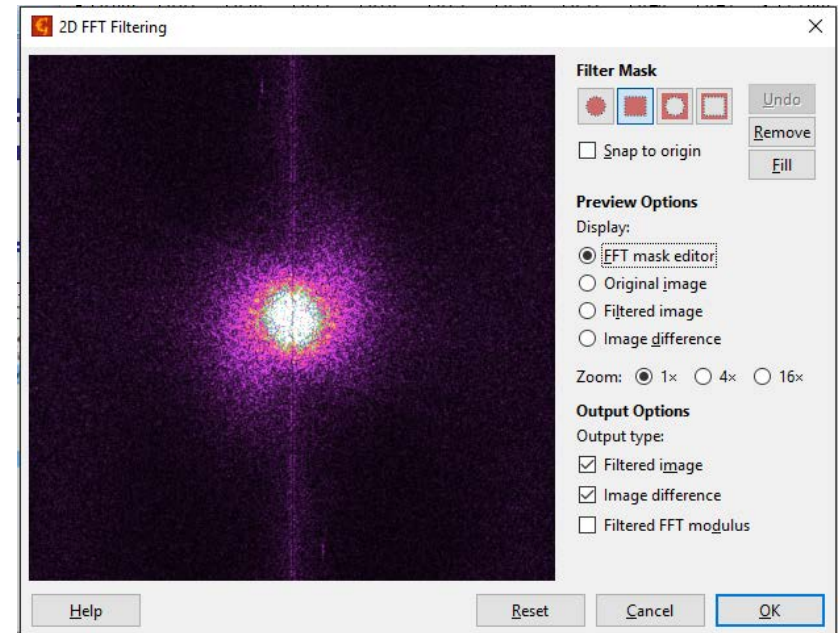
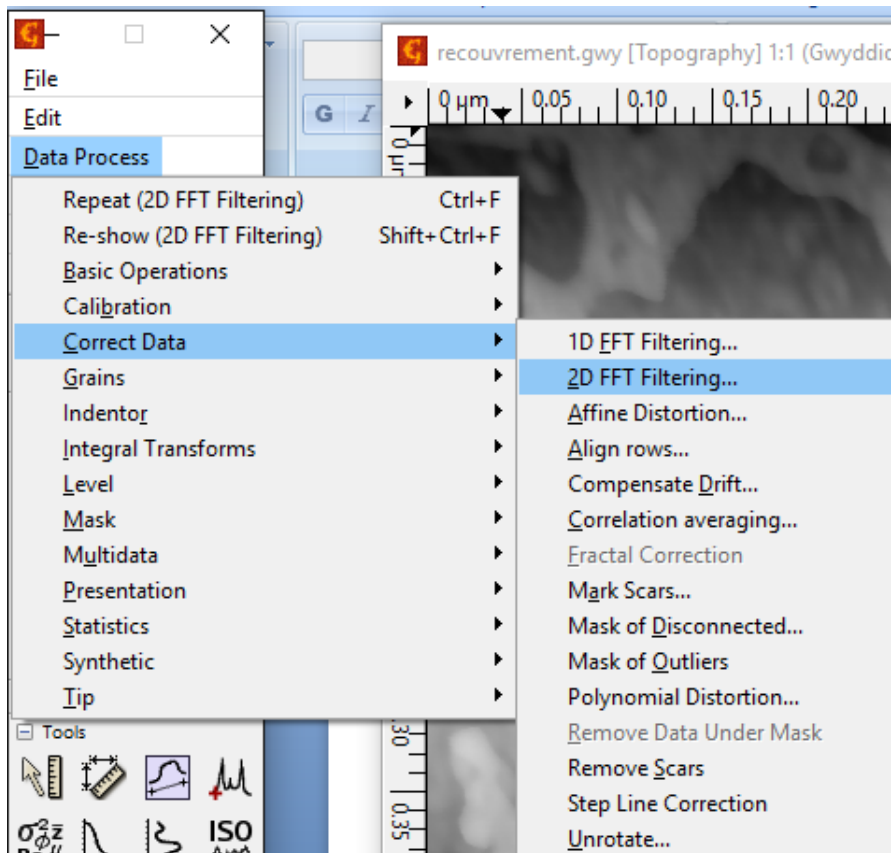
# Filtrage des données



En AFM, si bon appareil et bonnes conditions : pas nécessaire

## Filtrage par FFT-2D

→ Oscillation parasite (bruit)



Application: *Image 1*

# Présentation des résultats



# 2D ou 3D

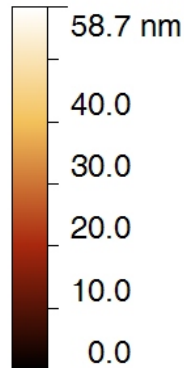
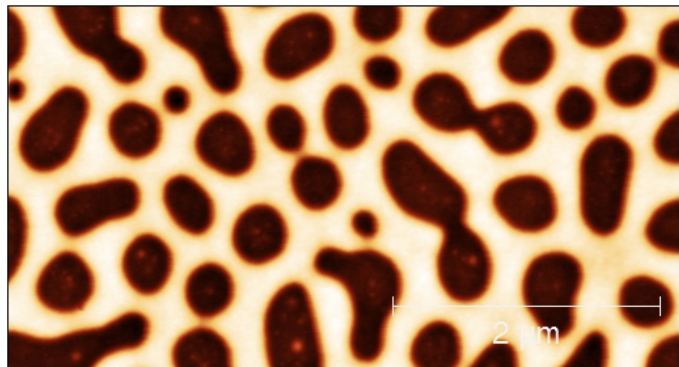


Ne pas oublier les échelles X-Y et Z!!! + mise à zéro

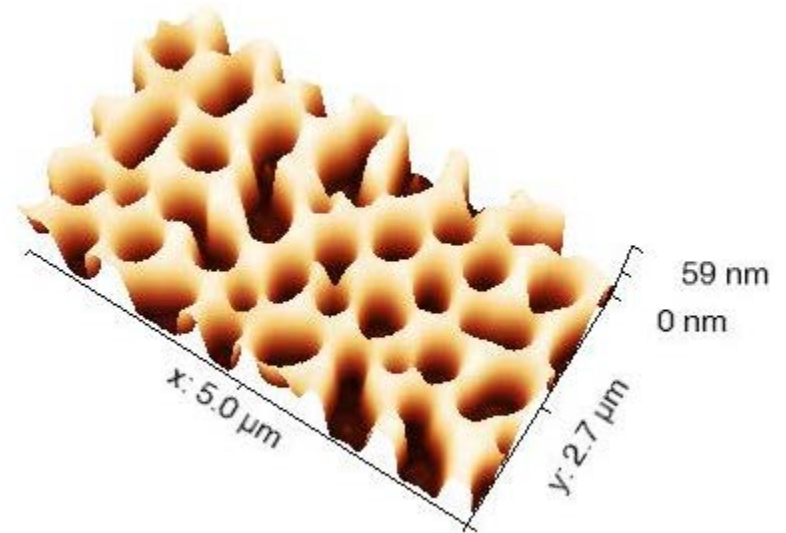
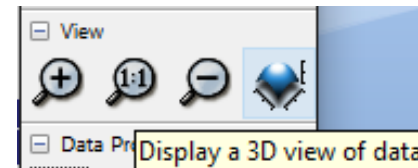
## Mise à zéro de l'échelle des z

Fenêtre: **Data Process**

Icône:



## Présentation 3D

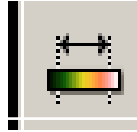


Nombreuses couleurs et textures disponibles!

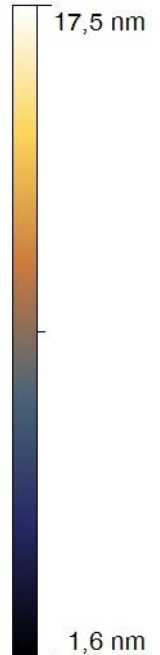
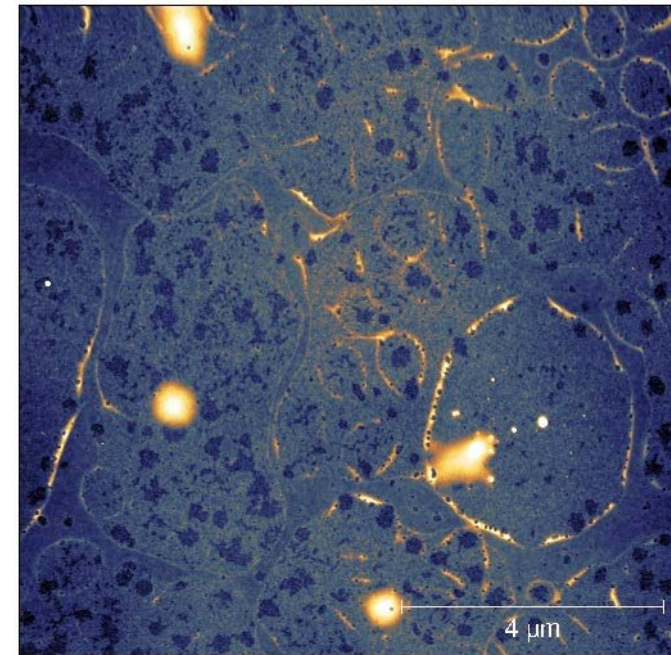
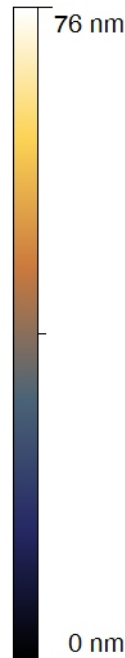
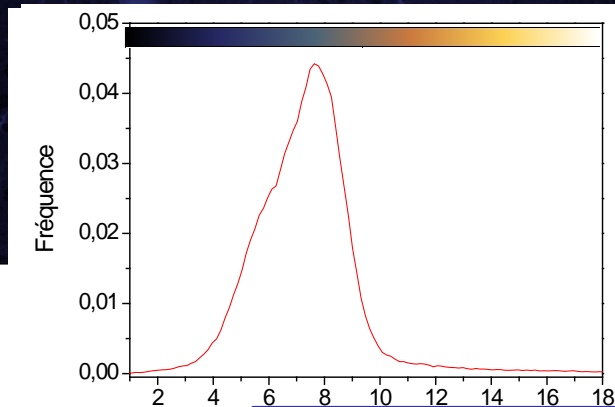
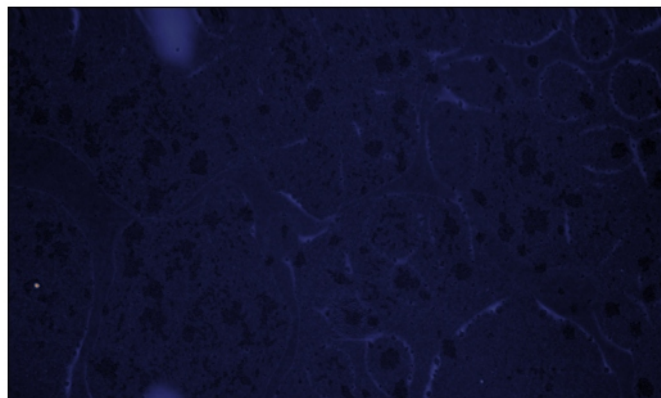
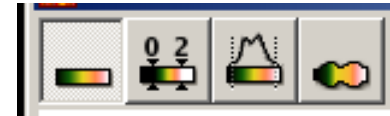
# Modification de l'échelle des couleurs

Fenêtre: **Tools**

Icône:



Choix entre plusieurs réglages



**Application: *verresilane***

Ne modifie pas les données juste la présentation

# Sauvegarde des données

Menu **File**  
Fonction **Save as**

Nombreux formats de sauvegarde!

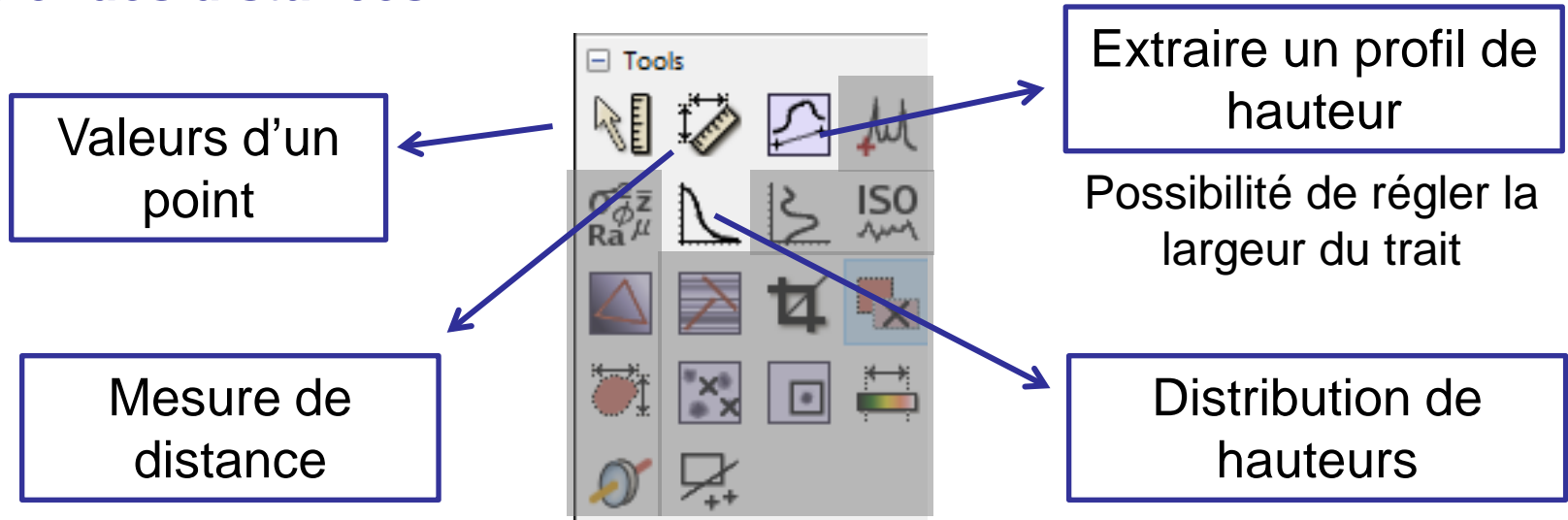
*Format jpeg* : pas modifiable, une seule image sauvée

*Format gwy* : toutes les données traitées sont sauvées, on peut re-modifier le fichier, plusieurs images possibles

# Mesures de distances/hauteurs

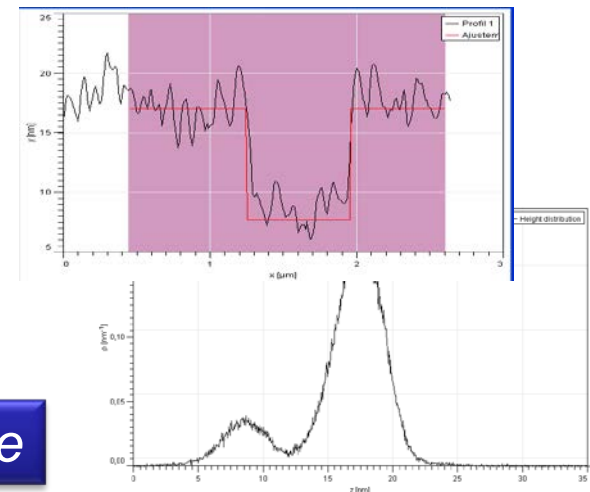
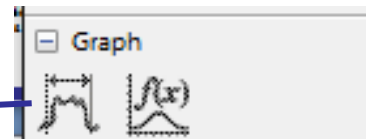
# Mesure de distances/hauteurs

## Mesurer des distances



## Mesurer des hauteurs

- 1) Profil des hauteurs
- 2) Profils + fit
- 3) Distribution de hauteur (statistique)



**Application: *marche***

# Mesures de rugosité

# Mesure de rugosité

Fenêtre: **Tools**

Icône:



Parameters	
Average value:	234.4 nm
Minimum:	0.0 nm
Maximum:	300.0 nm
Median:	295.3 nm
Ra (Sa):	83.8 nm
Rms (Sq):	96.4 nm
Skew:	-1.07
Kurtosis:	-0.609
Surface area:	12.16454 $\mu\text{m}^2$
Projected area:	2.82821 $\mu\text{m}^2$
Inclination $\theta$ :	0.7 deg
Inclination $\phi$ :	-29.5 deg

Surface Gaussienne:  
 $Sq=1,25*Sa$



Préciser la taille de l'image avec le résultat

Il y a aussi d'autres paramètres (Kurtosis, Skewness...)

**Application: surface**

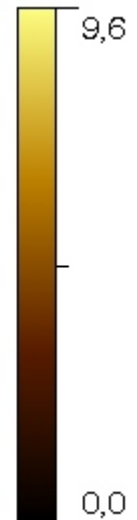
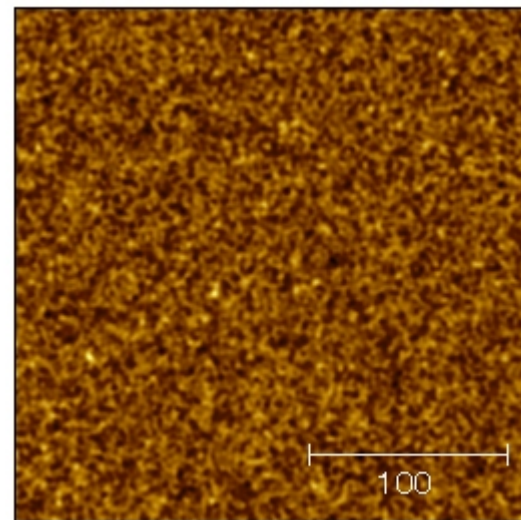
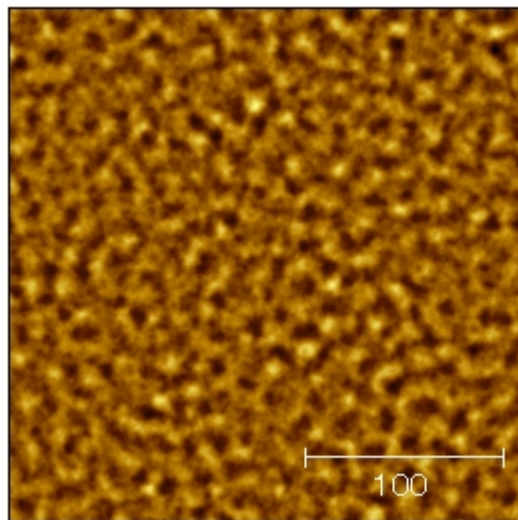
# Mesure de rugosité - limitation

$S_a$  ou  $S_q$  = donnent des infos sur les variations de hauteurs  
pas sur les variations de pentes, formes, taille des aspérités et fréquences



Deux surfaces visuellement différentes  
peuvent avoir la même rugosité!

$S_a=0.8\text{nm}$  et  $S_q= 1\text{nm}$



D'autres paramètres permettent de décrire ces différences!



# Mesure de rugosité - Skewness

## Asymétrie ou Skewness ( $S_{SK}$ )

Décrit l'asymétrie de la distribution des hauteurs par rapport à la valeur moyenne

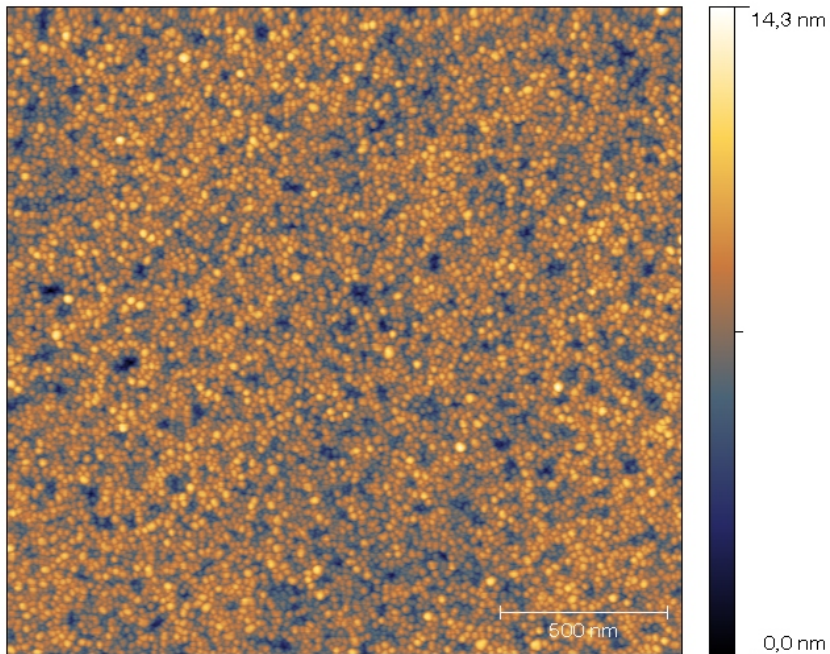
$$S_{SK} = \frac{1}{MN \times (S_q)^3} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} (z(x_k, y_k) - \bar{z})^3$$

Pour une surface symétrique (autant de valeurs en dessous qu'au dessus de la valeur moyenne)  $S_{SK}=0$

Pour une surface plate avec des pics :  $S_{SK}>0$

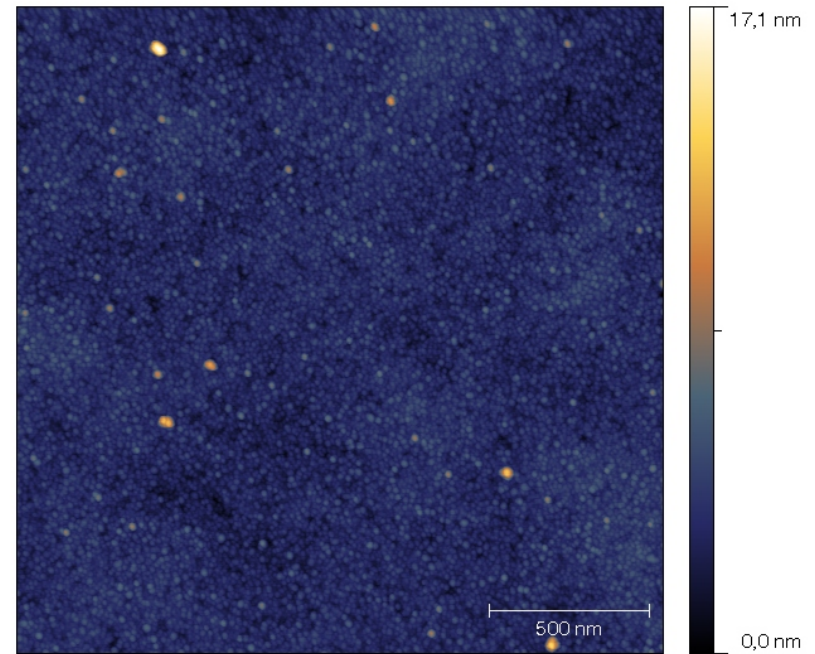
Pour une surface plate avec des trous :  $S_{SK}<0$

# Mesure de rugosité - Skewness



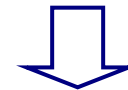
RMS=1.09nm

$S_{SK}=0.31$



RMS=0.94nm

$S_{SK}=10.9$



Plus de pics (et des grands)

# Analyses de grains – Taux de recouvrement

# Analyses de grains

Menu: **Data process**  
Fonction: **Grain**

## 1) Masquage des grains

Choisir la méthode en fonction de la surface

Otsu: OK pour deux populations

Threshold: marche bien

## 2) On élimine les grains incomplets

Remove edge-touching

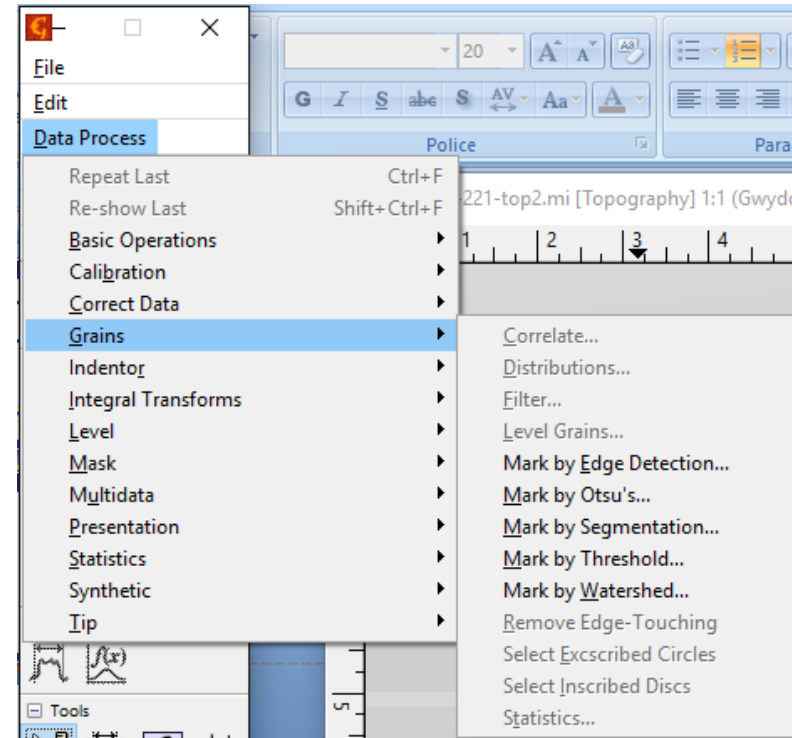
## 3) Analyse

Statistics : automatique (rapide)

Distributions : on choisit ce qu'on veut

Mesures un par un

Application: *grain*



# Taux de recouvrement

On applique la même méthode pour calculer des taux de recouvrement:

## 1) Masquage des zones d'intérêt

Choisir la méthode en fonction de la surface

Otsu: OK pour deux populations

Threshold: marche bien

Manuel: Tools – Edit mask

## 2) Analyse

Statistics : on regarde la valeur de la surface projetée (absolue ou en %)

**Application: *recouvrement***

# Analyse statistique de surfaces

# Analyse statistique

Permet de mettre en évidence des distances caractéristiques sur une surface (« rugosité horizontale »)

- Surfaces périodiques = périodes
- Surfaces granulaires = taille des grains, distance inter-grains...
- Surfaces aléatoires = distance de corrélation

*FFT=Transformée de Fourier*

*PSDF= Power Spectral Density Function*

*IDF= Interface Distribution Function*

*ACVF=autocovariance*

*ACF=Autocorrelation function*

*HHCF= Height-height autocorrelation func.*

$$[\text{FFT}(h(x,y))]^2 = \text{PSDF}$$

$$\text{invFFT}(\text{PSDF}) = \text{ACVF} = (\text{Sq})^2 \times \text{ACF}$$

$$\text{HHCF} = 2(\text{Sq})^2 \times (1 - \text{ACF})$$

$$\text{IDF}(r) = \frac{d^2 \text{ACF}(r)}{dr^2}$$

## Références :

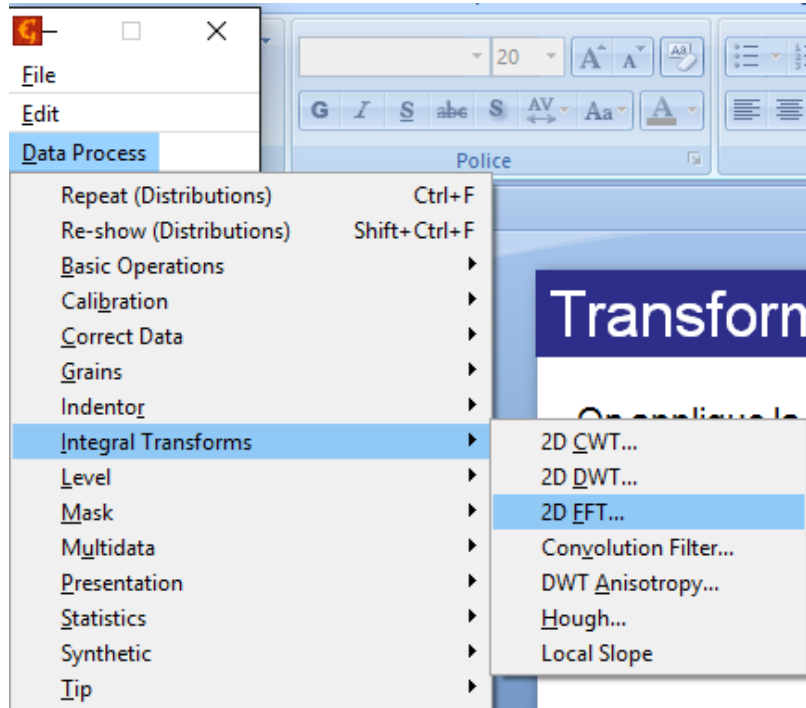
Bharat Bhushan – Modern Tribology Handbook – Chapter 2

Matthew Pelliccione and Toh-Ming Lu - Evolution of Thin Film Morphology

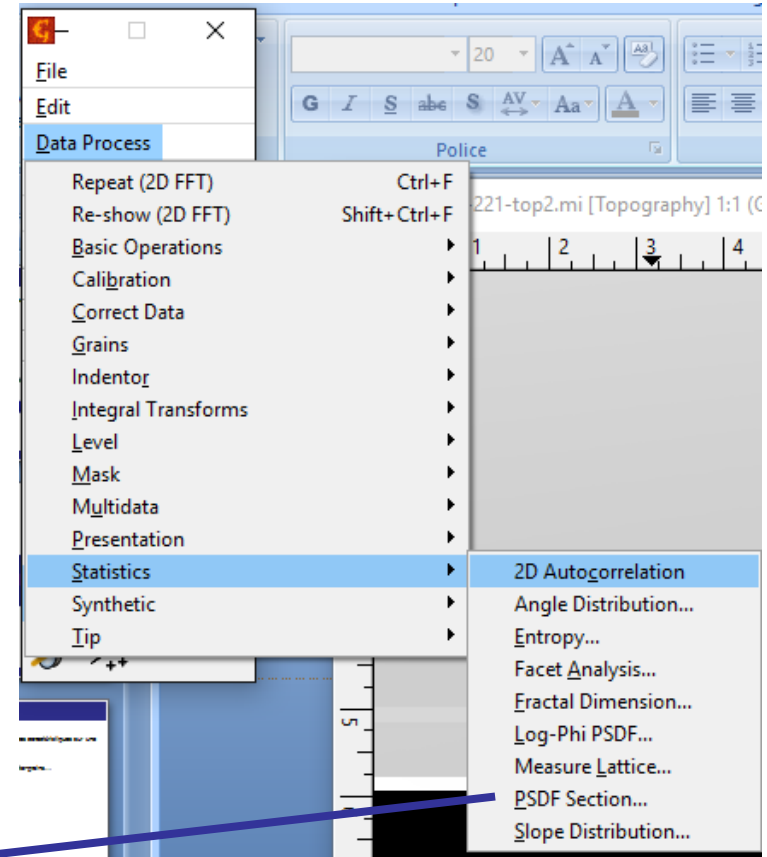
Siniscalco, D.; Edely, M.; Bardeau, J. F.; Delorme, N. *Langmuir*, 29, 717-726 (2013).

# Analyse statistique

Transformée de Fourier (2D) – FFT:

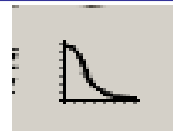


Autocorrélation (2D) - ACF:



Power spectral density (PSDF) ←

Moyenne linéaire ou radiale = Fenêtre: **Tools +**



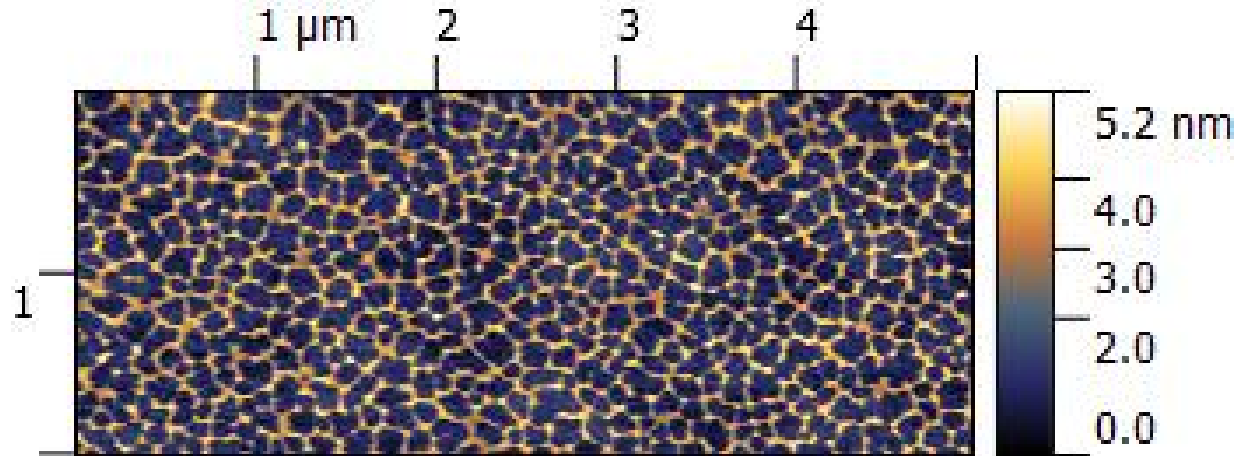
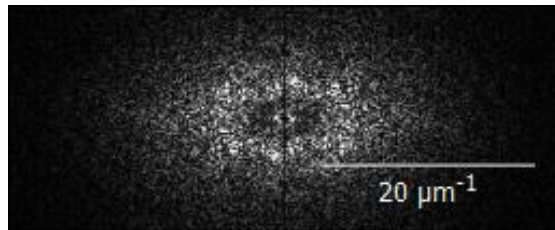
stat.gwy



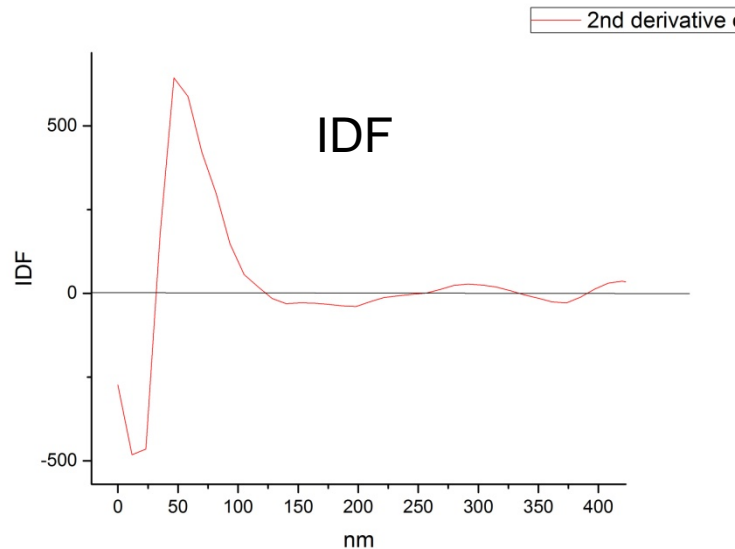
# Analyse statistique

stat.gwy

2D-FFT



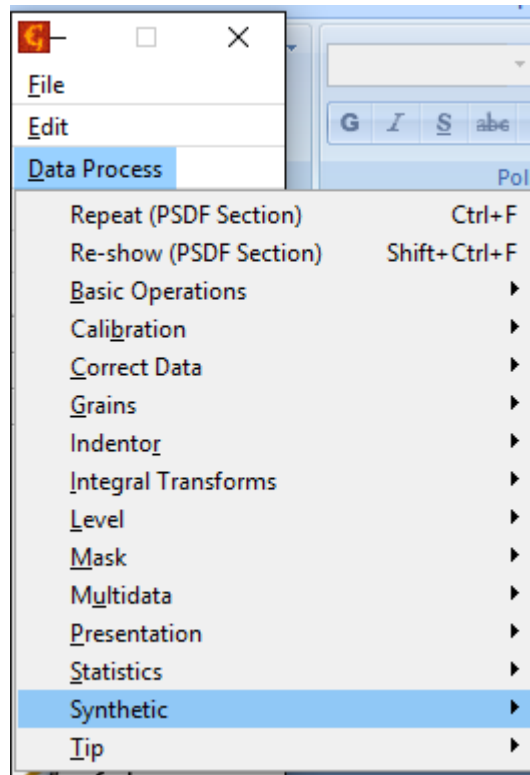
Distances caract. horizontales= période, largeur des lignes, et des trous



31nm (lignes), 198 nm (trous)  
198nm = période

# Synthèses de surfaces

# Créer des surfaces modèles



Permet de créer des surfaces modèles:

- 1) Enseignement
- 2) Anticiper les résultats d'analyses statistiques

A tester!

# Conclusion

# Conclusion

## Avantages

- 1) Logiciel open source, gratuit
  - 2) Facile d'utilisation
  - 3) Permet de faire de nombreuses analyses
  - 4) Mesures particulières
- ⇒ demande aux créateurs du logiciel = email ou forum
- ⇒ réponse rapide sur la faisabilité

## Lacunes :

- 1) Spécialisé pour le SPM
- 2) Analyse des courbes de forces (SPIP, Mountains)
- 3) Présentation des résultats (Mountains)

Il reste beaucoup de fonctions qui n'ont pas été abordées dans ce cours