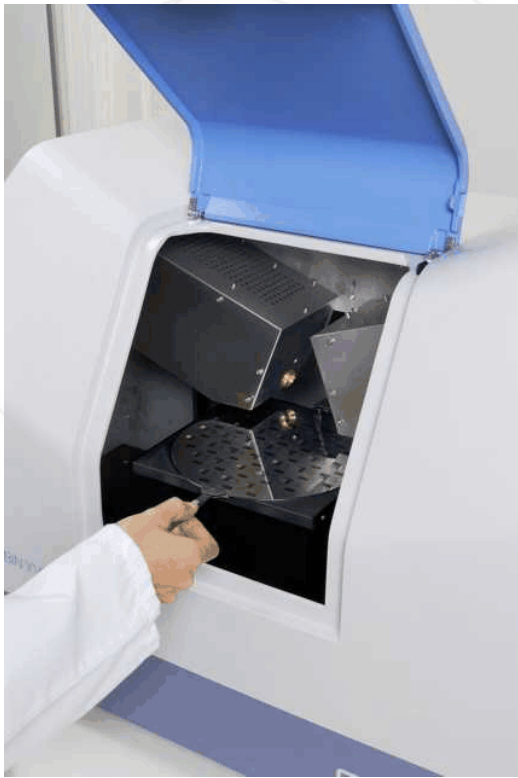




# HORIBA

Scientific



# ANR SCATTEROMUELLER

**Outil de métrologie optique  
(scattérométrie) pour les  
semiconducteurs utilisant la  
polarimétrie de Mueller**

***Cattelan Denis : HORIBA Scientific***

***De Martino Antonello, Foldyna Martin : LPICM***

***Licitra Christophe, Hazart Jérôme, Sarrazy Fanny : CEA LETI***

**Date: 22 octobre 2009**

**HORIBA**  
Scientific

**LPICM**

**leti**

**MINATEC**

**INSTITUT  
CARNOT  
CEA LETI**

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE  
**ANR**

**PNANO**

Explore the future

Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

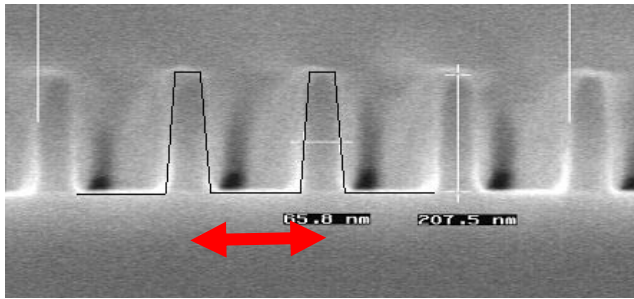
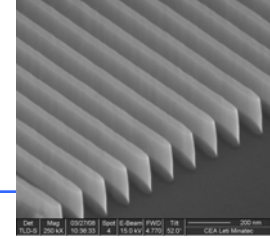
**HORIBA**

# Sommaire

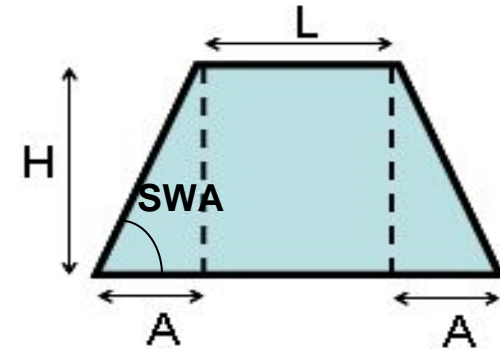
---

- La scattérométrie
- Objectifs du projet
- Développements effectués & résultats obtenus pendant le projet
- Conclusion

# La scattérométrie



Période (Pitch)



## ■ Mesure

- Dimensions des réseaux
- Période :  $P$  ; Largeur :  $L$  ; Hauteur :  $H$  ; angle :  $SWA$

## ■ But

- Contrôle des procédés de gravure & dépôt des puces électroniques

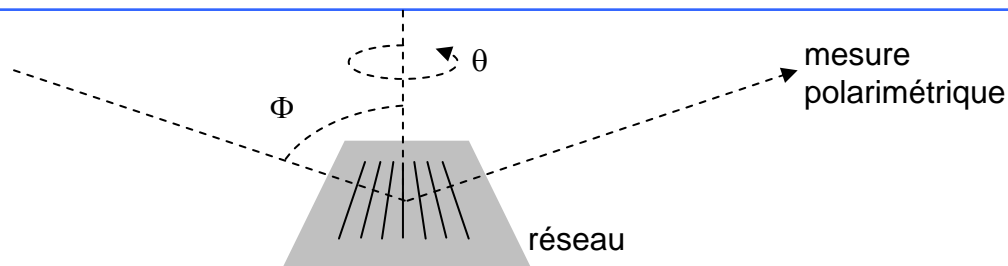
## ■ Méthodes « reines » : AFM 3D & CD-SEM

- + : précision (standard : AFM) ; - : lentes

## ■ Méthodes classiques spectroscopique sans contact: Ellipsométrie et/ou Réflectométrie

- + : rapide ; - : incertitudes de mesures (corrélation)

# Scattérométrie par polarimétrie



- Réseaux : anisotropes

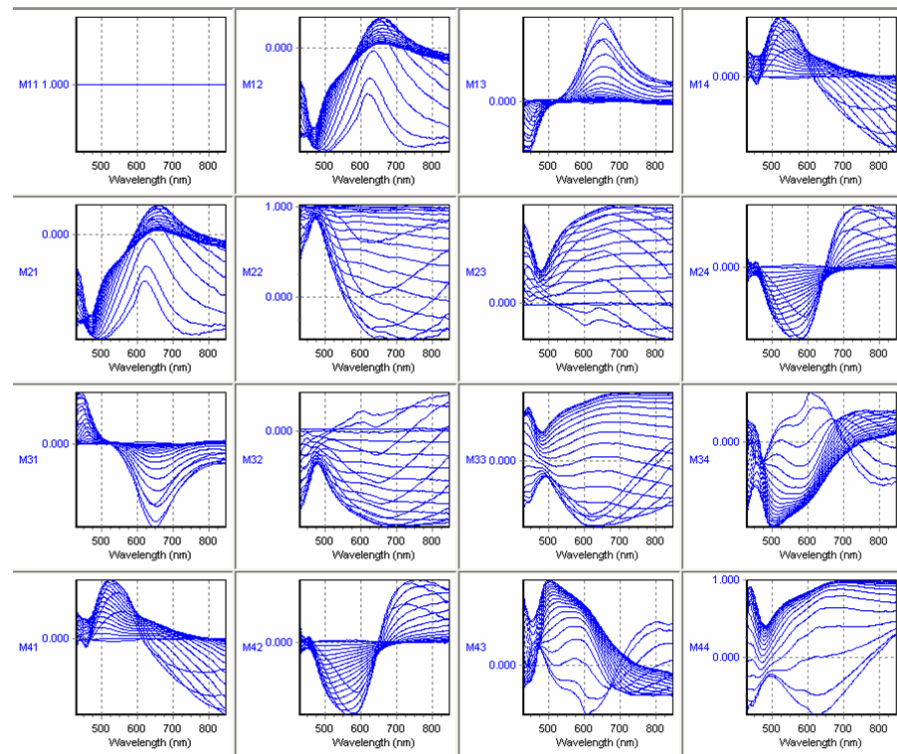
- Intérêt :

- Mesure complète des effet de polarisation

- 16 au lieu de 2

- Diffraction conique

- Azimuths variables



# Le projet

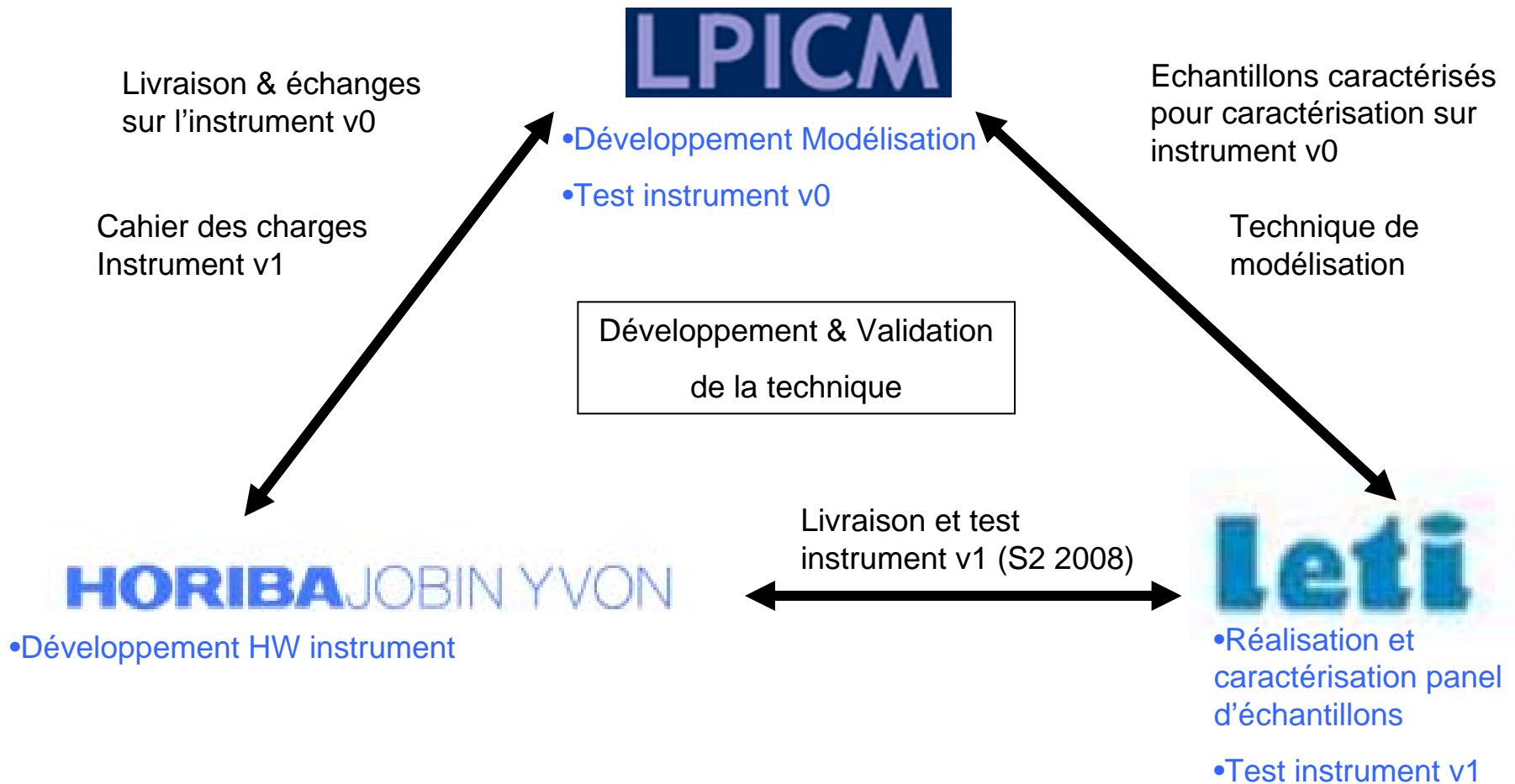
## ■ Enjeux :

- Prouver que la polarimétrie de Mueller est une technique permettant de progresser dans la caractérisation de réseaux

## ■ Trois étapes

- Développer un scattéromètre de Mueller
- Développer & caractériser un panel d'échantillons permettant de valider l'instrument
- Tester & valider l'instrument

# Intéractions entre les partenaires



■ **Projet de taille réduite permettant une bonne interaction**

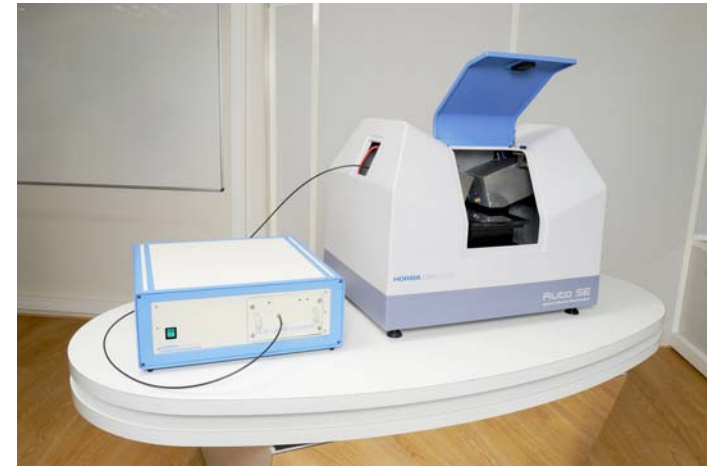
# Progrès technique : instrumental

## Amélioration de la résolution spatiale du polarimètre

- Amélioration taille de spot facteur 10
  - Meilleur spot 25µm\*50µm
- Amélioration facteur 60 de la luminosité

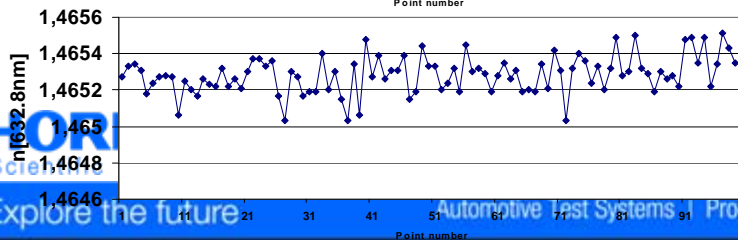
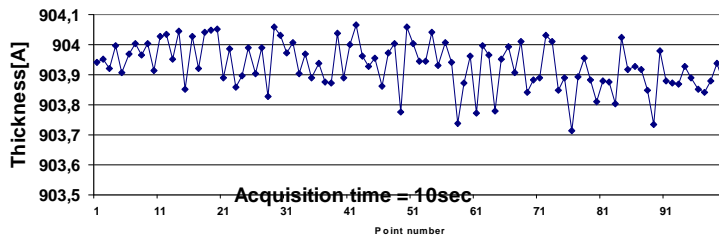
## Amélioration performances

- Stabilité & précision



Acquisition time =10sec

AOI	70,7°
Measurement time	20s
SiO2/Si	900A



Spot size (µm)	Std dev	
	Halogen lamp	Xenon lamp
100 70	0,061	0,091
50 45	0,105	0,129
25 45	0,285	0,178

# Polarimètre installé au CEA/LETI pour validation

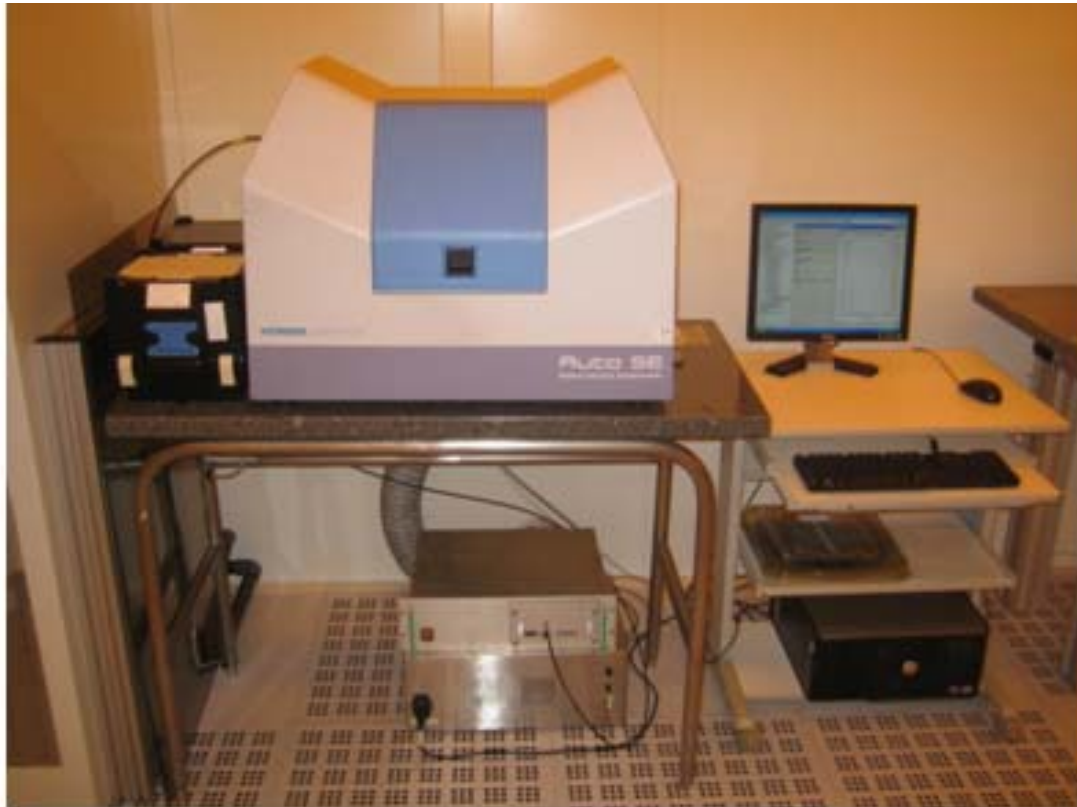
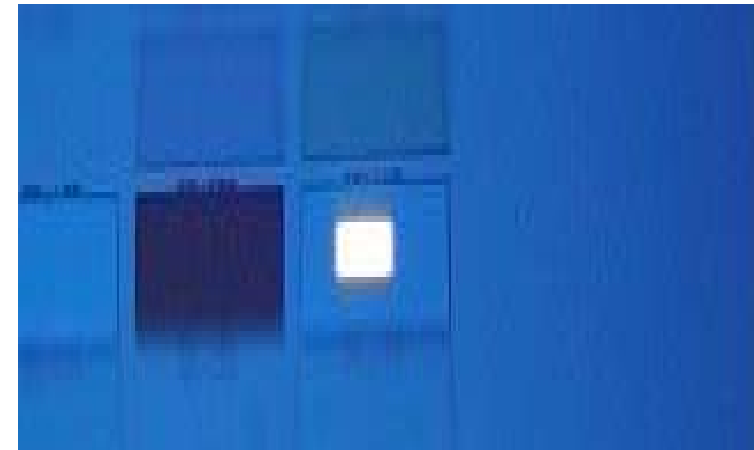
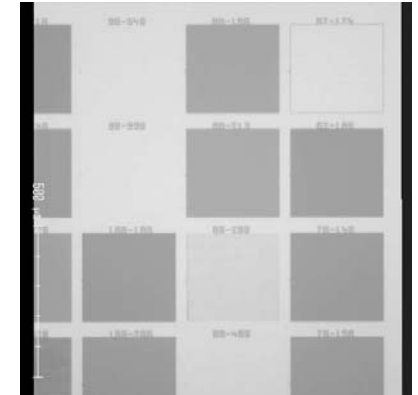
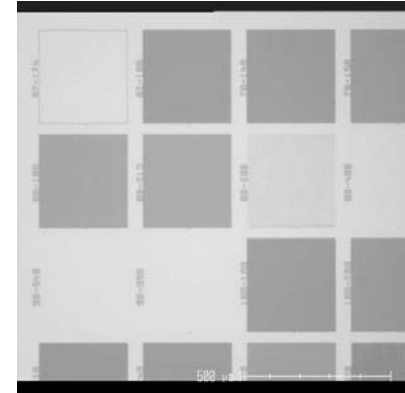


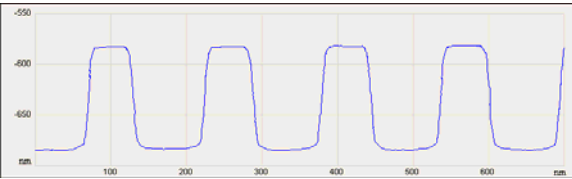
Figure 1 : Polarimétrie installé en salle blanche au LETI



# Outils de validation de la technique

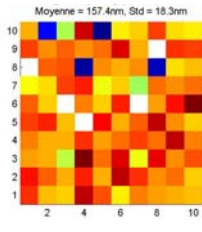
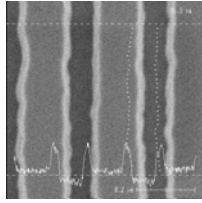
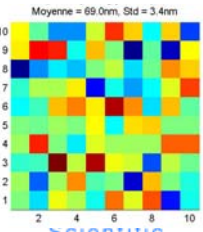
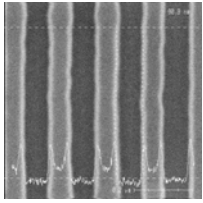


- **Réalisation d'un panel d'échantillons variés**
  - Sans lesquels aucun progrès ni validation possibles
  - CD de 36nm à 220nm & Pitch 60nm à 1430nm
  - Masque créé & différents lots réalisés
- **Caractérisation avancée de 35 réseaux**
  - CD-SEM & AFM-3D



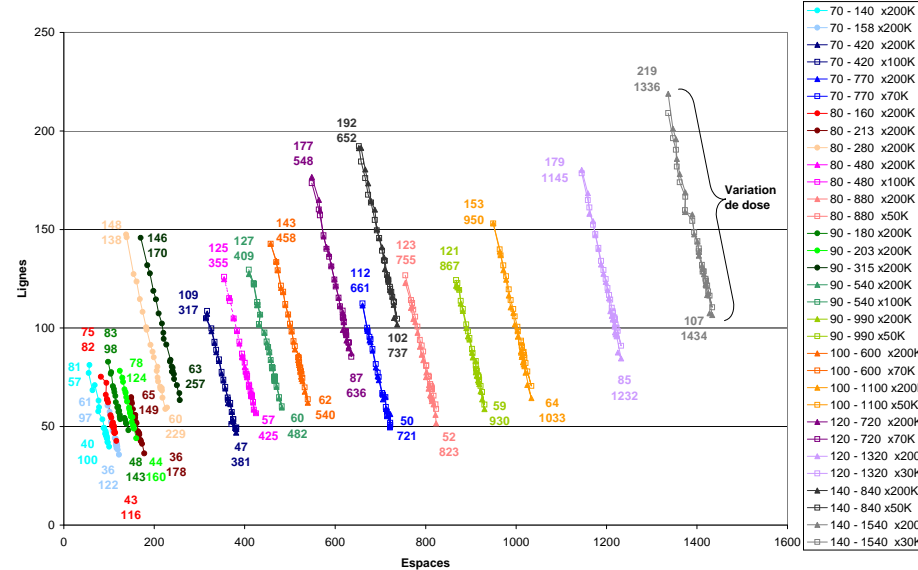
70 - 158

Réseau rugueux



Variation CD : 50 à 220 nm

Variation Espace : 60 à 1430 nm

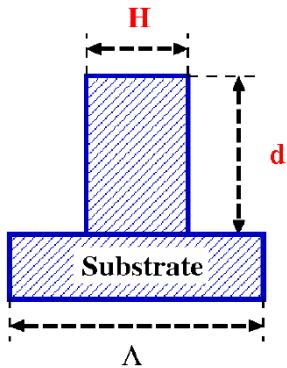


# Méthodologie de modélisation

## TWO USUAL PROFILE MODELS

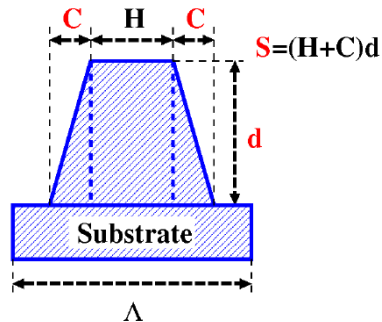
**Lamellar.** Two parameters

- CD :  $H$
- Line height :  $d$



**Trapezoidal.** Three parameters

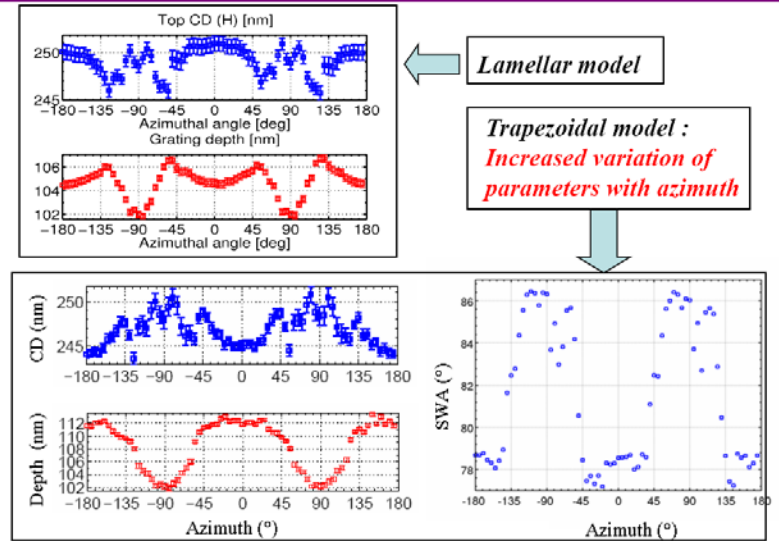
- Top CD :  $H$
- Line height :  $d$
- Sidewall projection  $C$  or angle  $SWA$



Laboratoire de physique des interfaces et couches minces

CRS CEMIS DELTA

## TYPICAL RESULTS

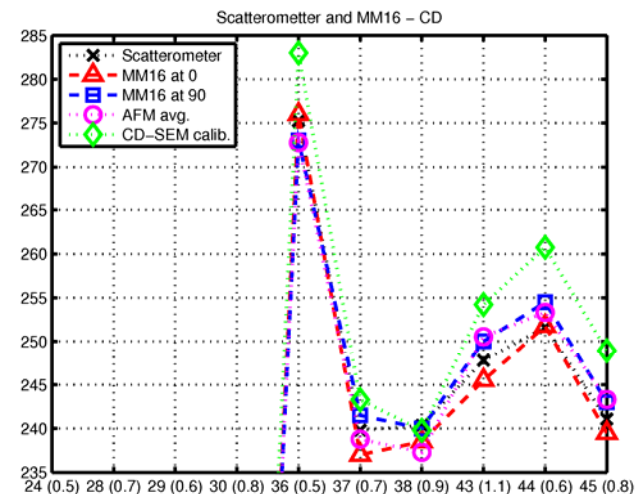


Lamellar model

Trapezoidal model :  
Increased variation of parameters with azimuth

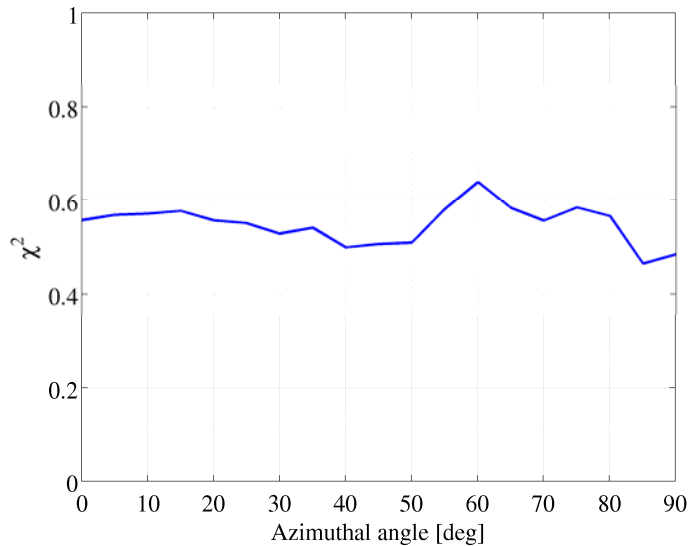
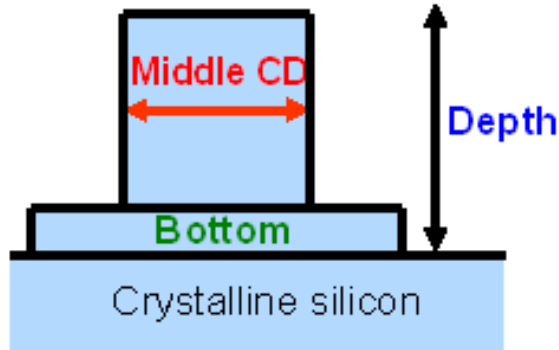
## Comment valider le modèle?

- Comparaison entre techniques
- Cohérence des résultats

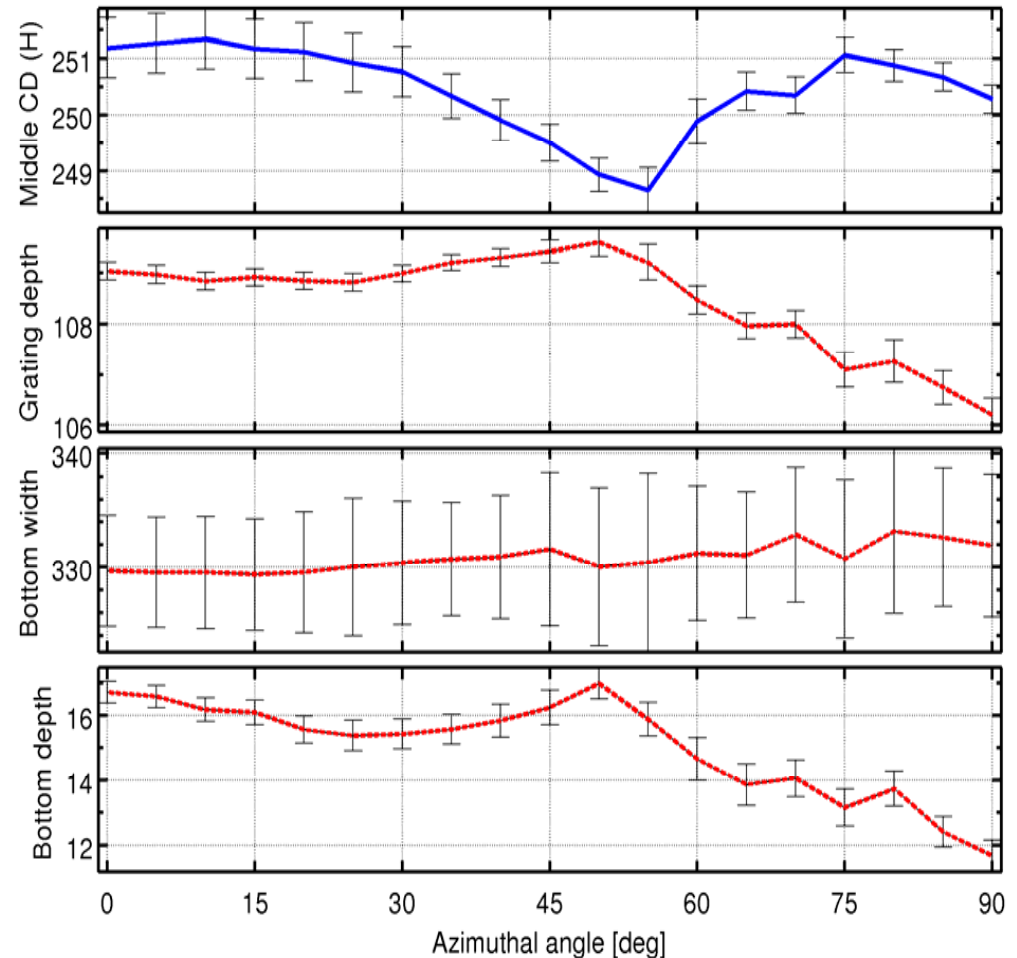


# Méthodologie de modélisation

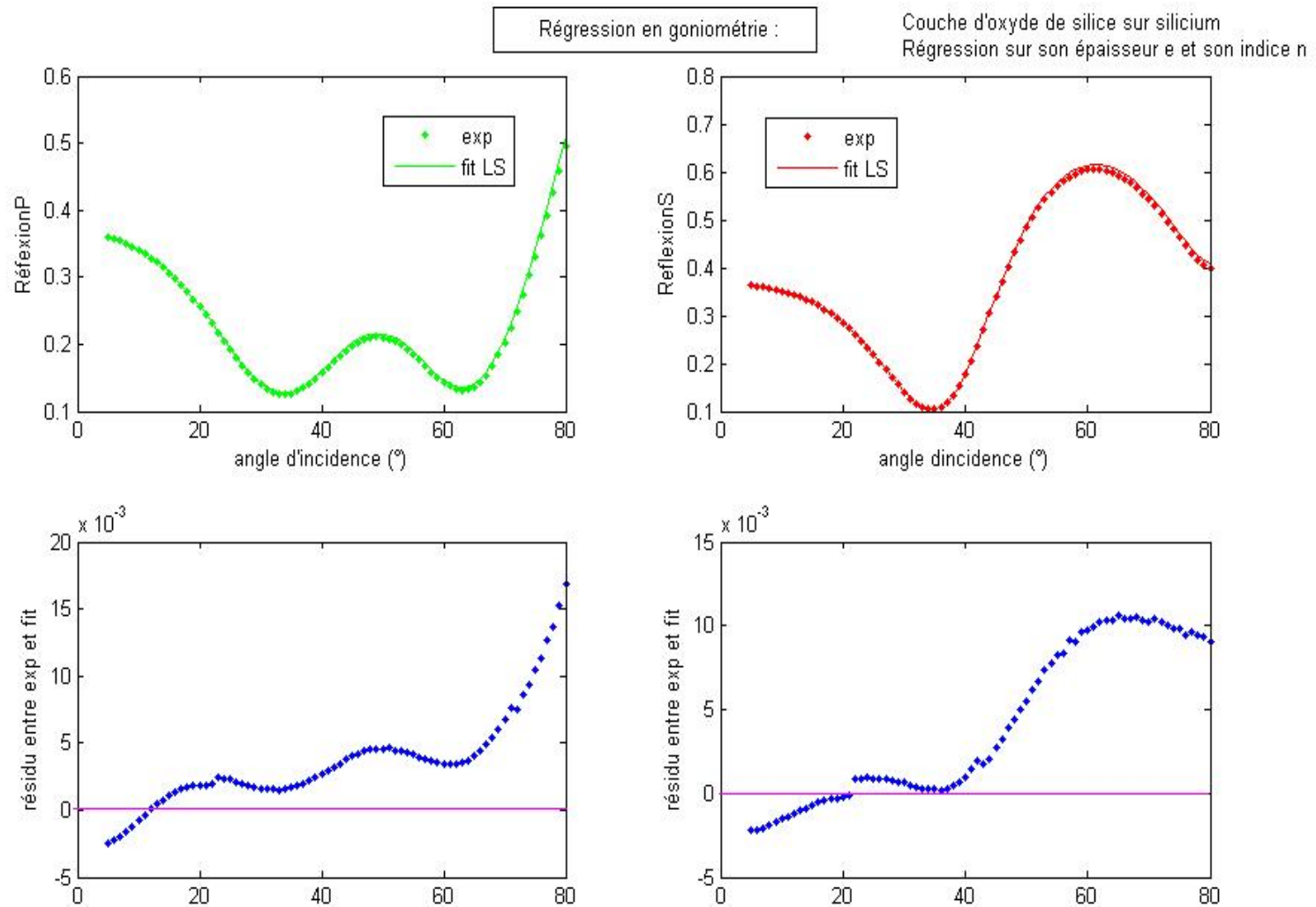
## Modèle bilamellaire : nette stabilisation des paramètres



AFM (#43): Middle CD: 250.5 +/- 7.1 nm, Depth: 106.2 +/- 3.3 nm



# Avancés dans l'algorithmie de modélisation

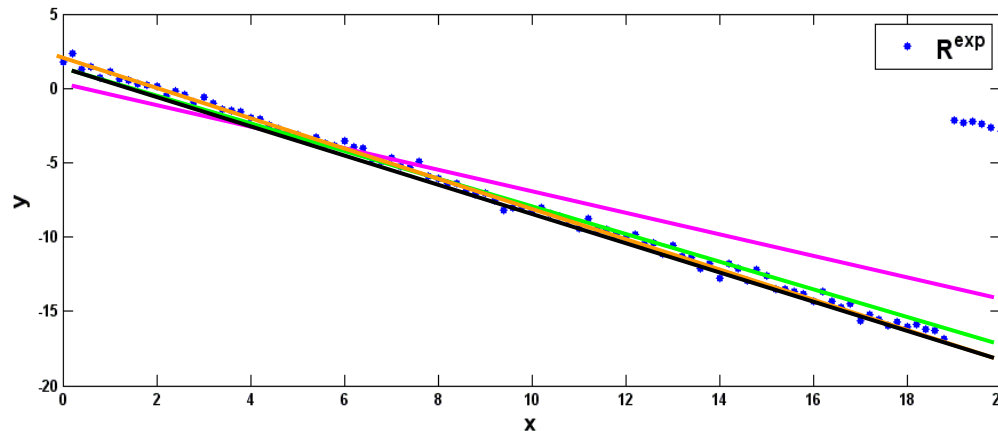


# Avancés dans l'algorithmie de modélisation

■ Moins

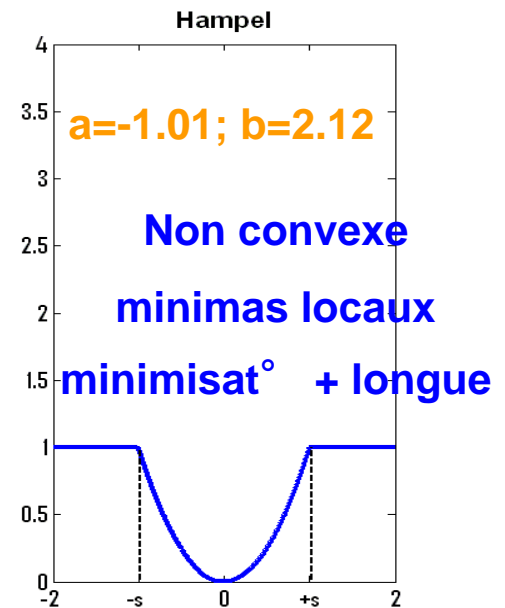
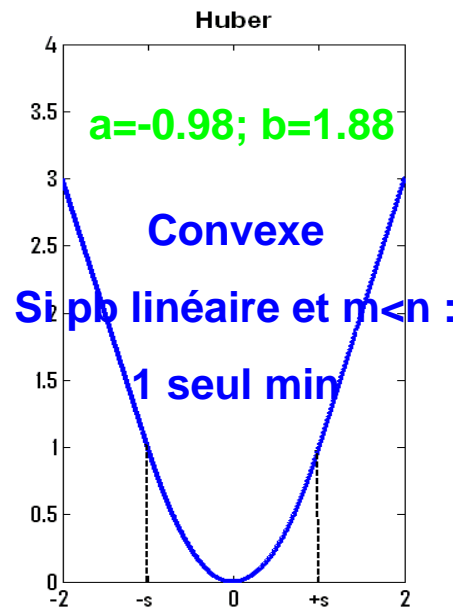
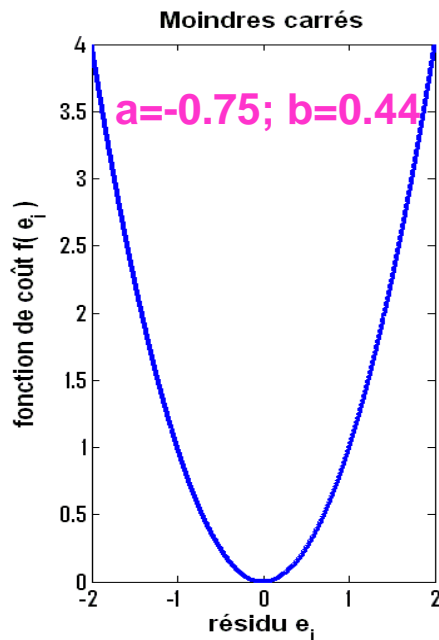
■ Huber

La fonction de coût est certaine



$a^*=-1; b^*=2$

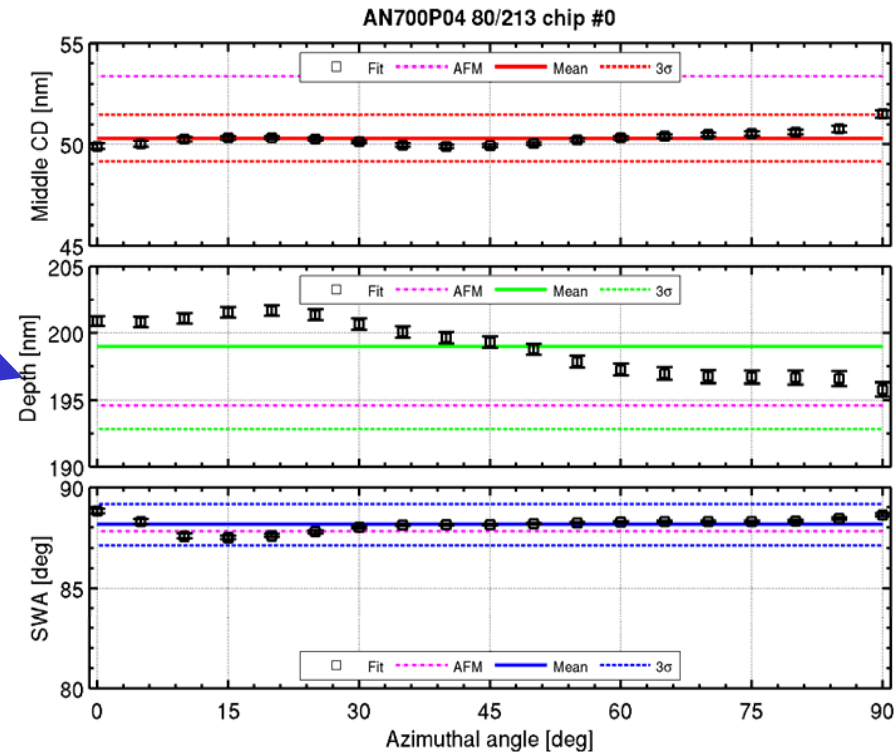
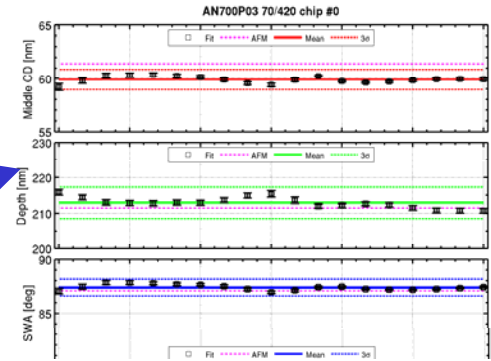
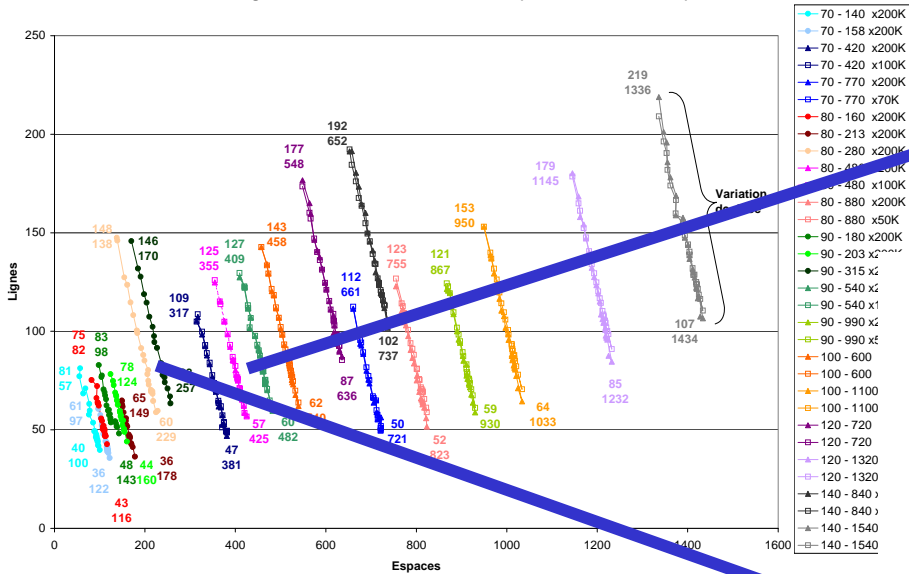
partir d'un



# Validation sur 35 réseaux

Variation Espace : 60 à 1430 nm

Lignes droites et isolées sur silicium (AN700P - P03 et P04)



■ Bonne corrélation avec AF3D

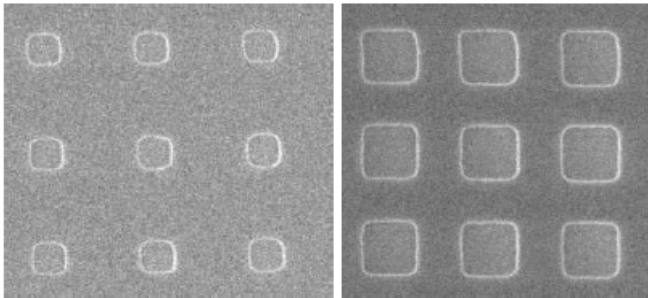
● CD,depth : qq nm

● SWA < 1°

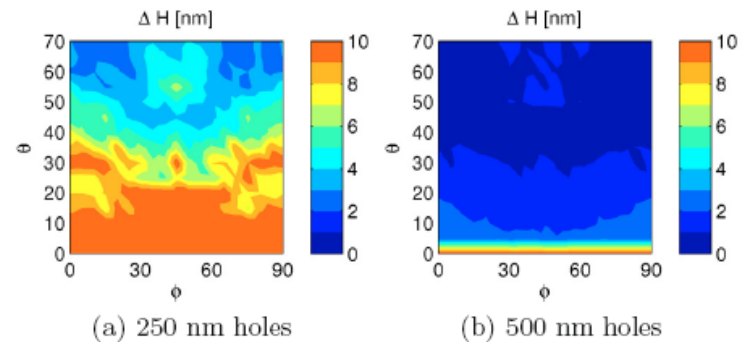
# Etudes de réseaux bipériodiques

Réseaux carrés (période 1  $\mu\text{m}$ ) de trous carrés dans une couche de  $\text{SiO}_2/\text{Si}$

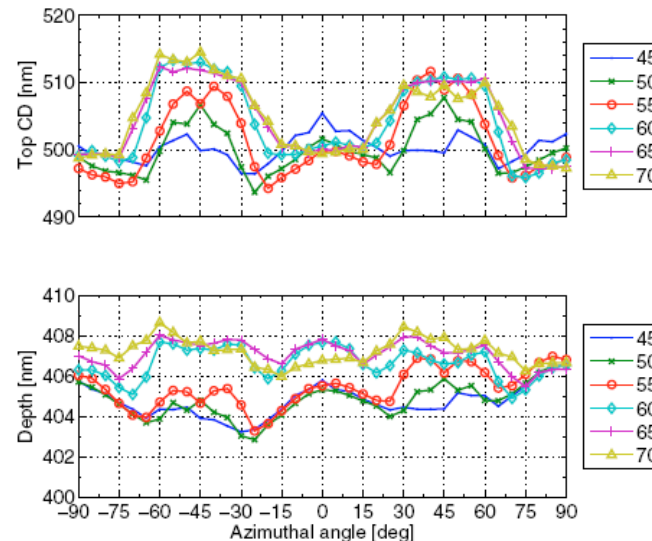
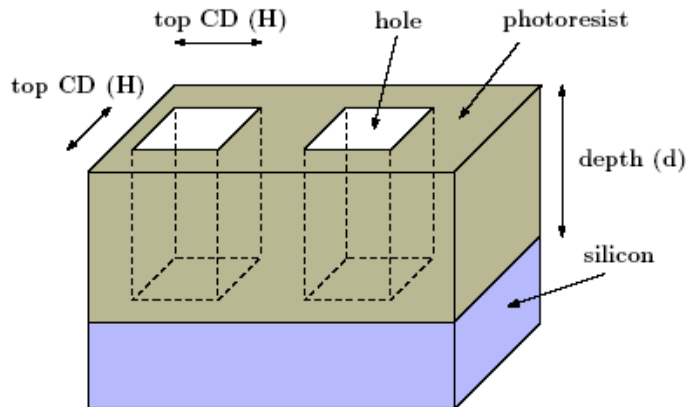
Images MEB



Estimation de l'erreur statistique sur la largeur H (nm)



Modèle



Fit des spectres de Mueller à différentes incidences et azimuts

# Etudes de systèmes spatialement inhomogènes

On choisit d'éclairer soit un réseau, soit une zone frontière



Dépolarisation

Décomposition de Cloude Pottier ou formule analytique

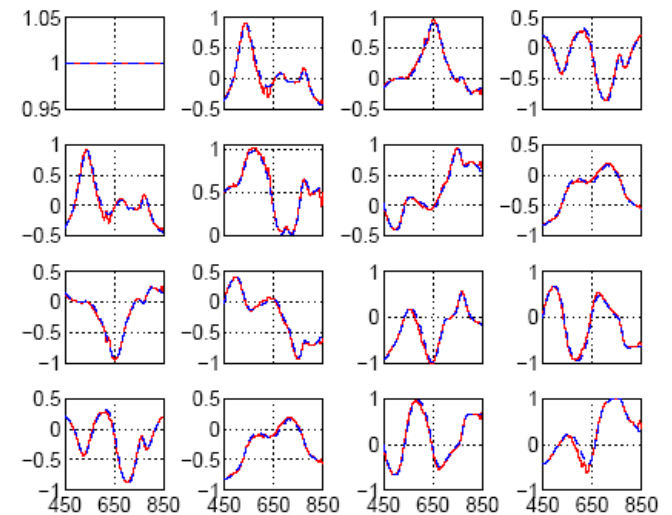
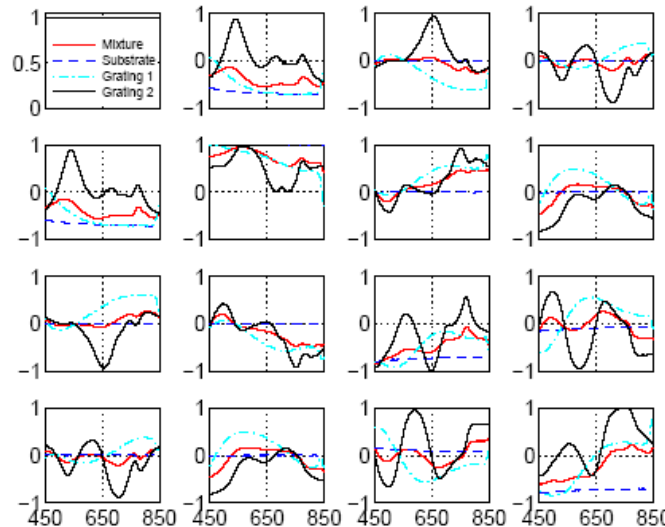
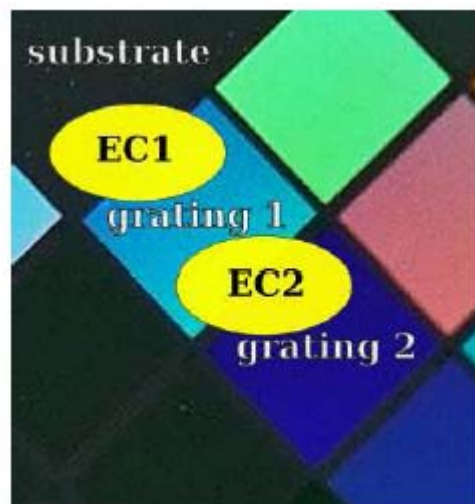


Séparation des deux  
composantes à chaque  $\lambda$

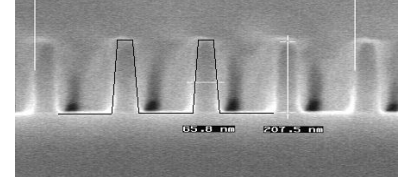
Géométrie de mesure

Matrices mesurées

Reconstruction de la matrice de  $g_2$  et  
comparaison avec la mesure directe



# Conclusion



- Validation de l'intérêt de la polarimétrie de Mueller pour la métrologie de réseaux pertinents (1D&2D) pour la microélectronique
  - CD de l'ordre de 50 nm
  - Taille de spot de 50μm
- Précision absolue de la reconstruction évaluable à partir des mesures elles-mêmes, typiquement de l'ordre de quelques nm

