Apport de la structuration de surface par GLAD pour la micro- et la nano-manipulation

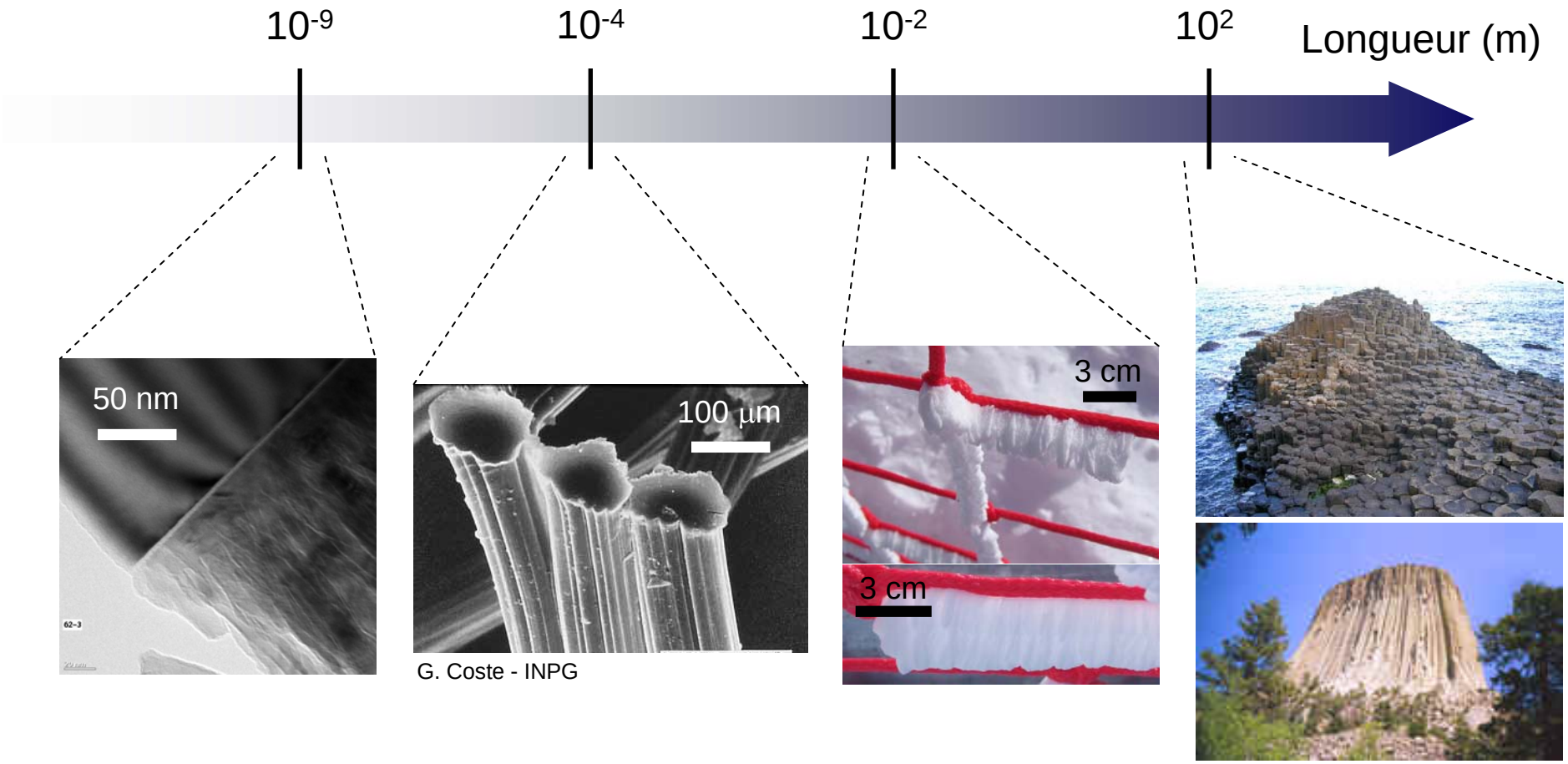
Nicolas MARTIN

Département MN2S

femto-st
sciences & technologies

INSTITUT CARNOT
FEMTO-Innovation

Colonnes au naturel



G. Coste - INPG

Structure colonnaire : une question d'échelle ?

Plan de l'exposé

- Qu'est-ce que la technique GLAD?

- Structures et architectures possibles?

- Propriétés / films classiques?

- Applications / apports pour la µ et nano-manipulation?

Qu'est-ce que la technique GLAD ?

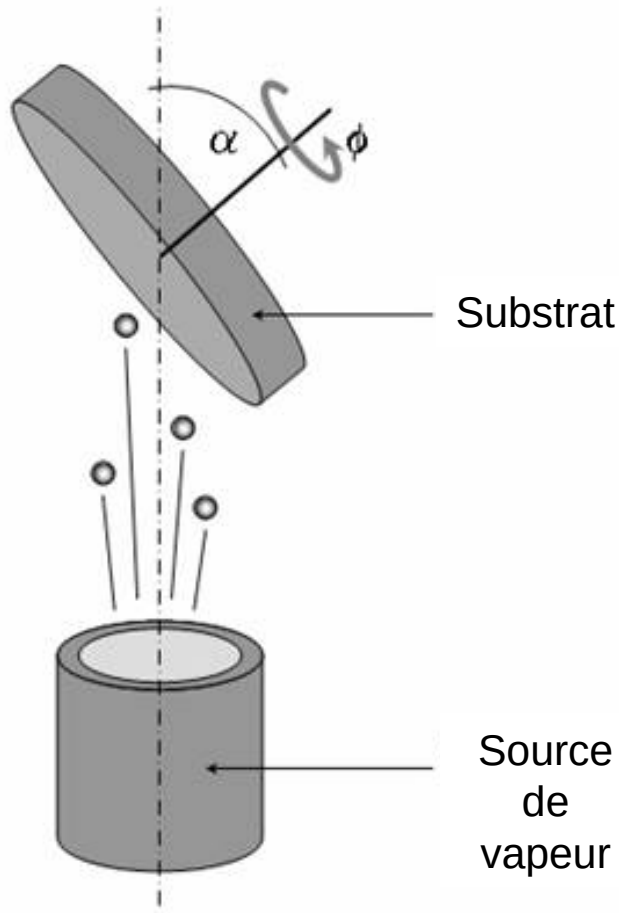
« GLAD » = GLancing Angle Deposition*

L'idée :

Déposer un film en utilisant un angle incident oblique du flux de particules pulvérisées sur un substrat fixe ou mobile

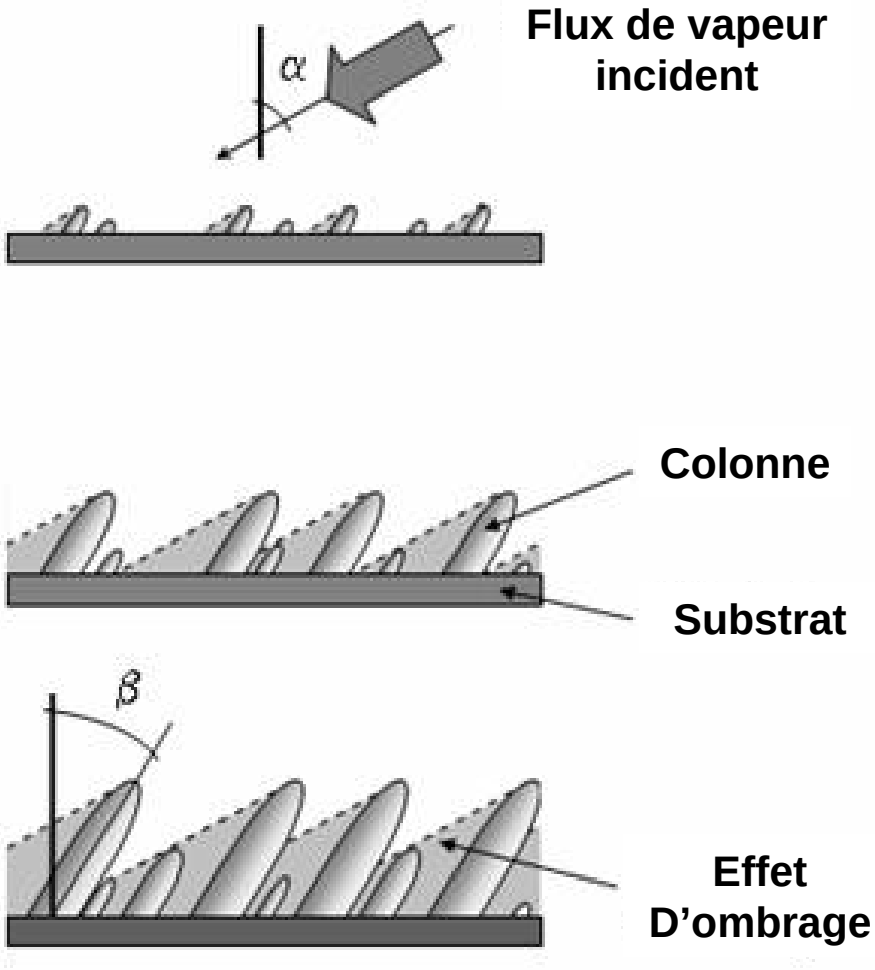
Les paramètres clés :

- Angle d'incidence α du flux de particules arrivant sur le substrat
- Vitesse de rotation ϕ du substrat



* K. Robbie, PhD, (1998), Université d'Alberta (CA)

Un effet d'ombrage



Angle d'incidence α du flux de particules

$\neq$

Orientation des colonnes β

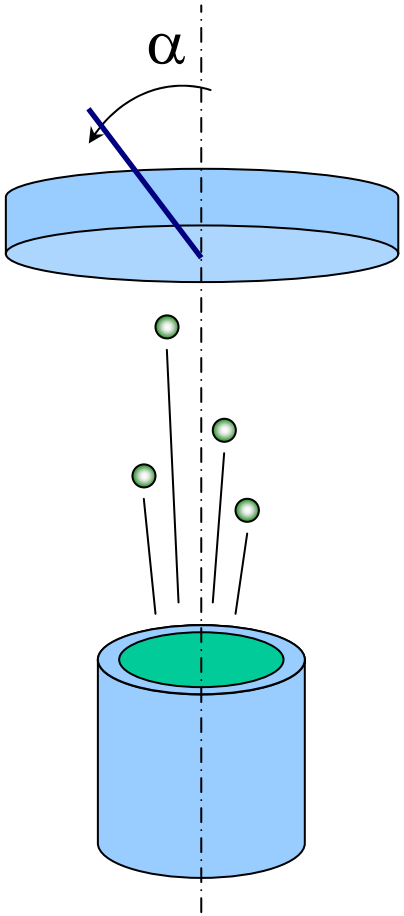
$\Leftarrow$ **Effet d'ombrage**

« Règle des tangentes »*

$\tan(\alpha) = 2 \tan(\beta)$

* Nieuwenhuizen & Haanstra, Philipps Techn. Rev., 27 (1966) 87

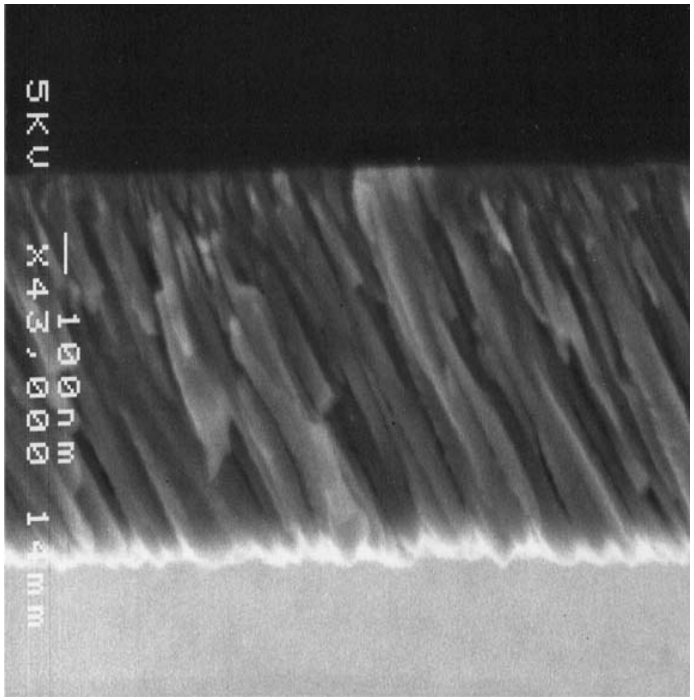
Sur substrat incliné



Colonnes obliques

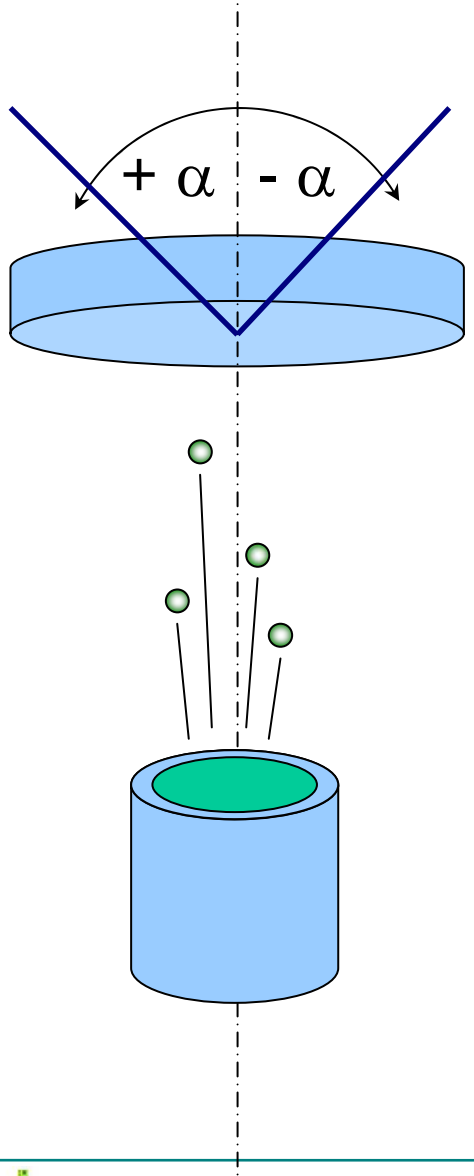
⇒ Angle d'inclinaison β des colonnes variable

⇒ Accord avec la règle des tangentes

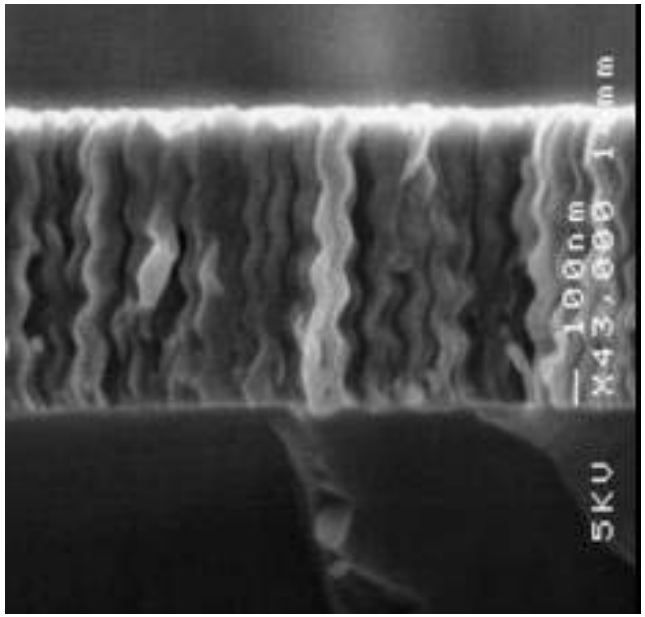


Cr / Si (100) 1 µm

Tilt périodique et inversé



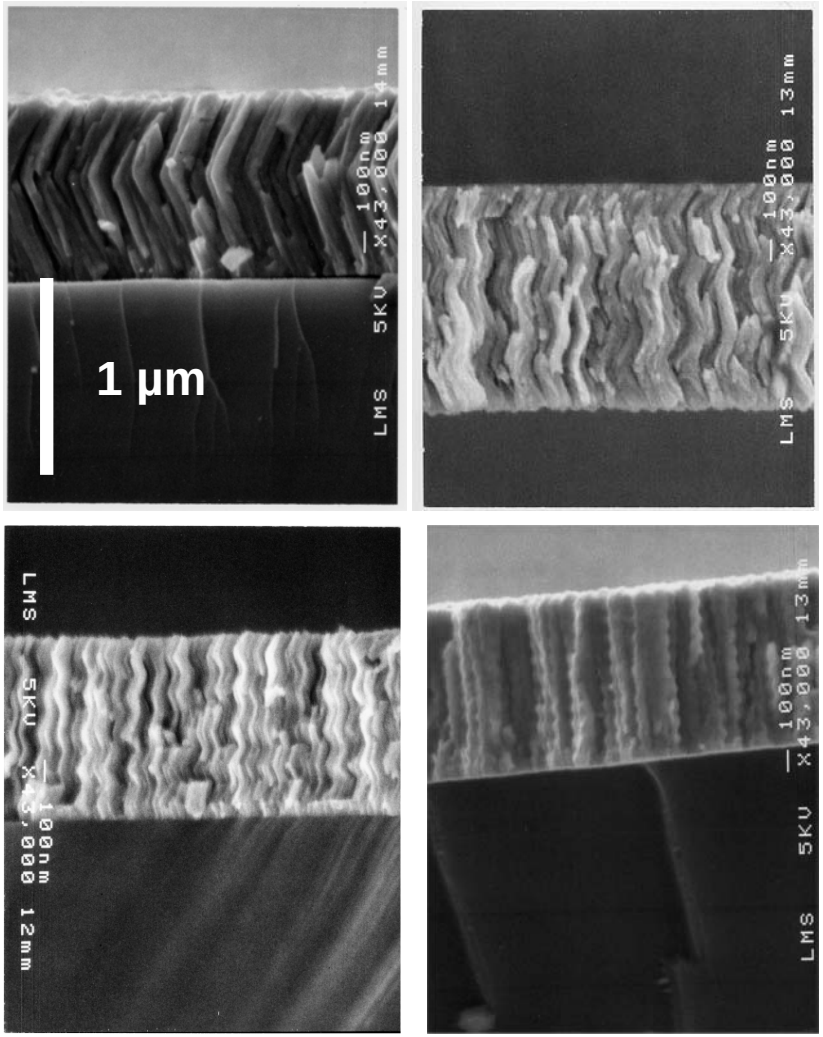
Structure colonnaire périodique
avec une architecture en zigzag



Cr / Si (100) 1 µm

Quelques zigzags

Cr zigzag / Si (100) 1 µm



Paramètres contrôlés:

✓ Orientation des colonnes : angle β

$0 < \beta < 60°$

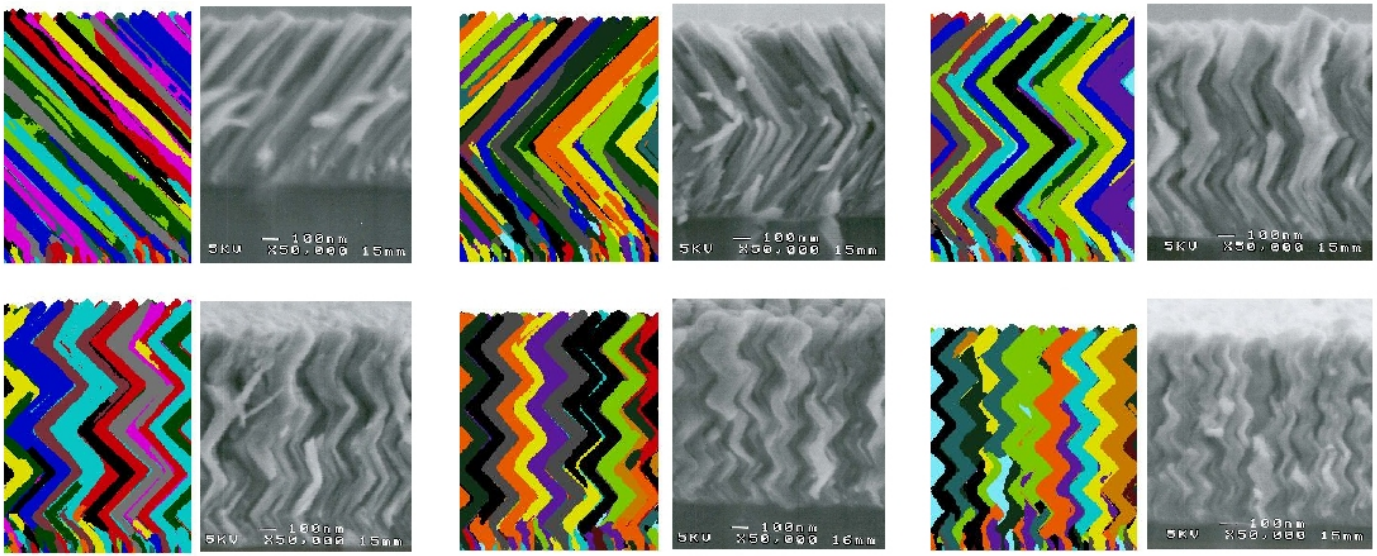
✓ Période des zigzags Λ

$10 < \Lambda < 1000$ nm

✓ Largeur des colonnes w

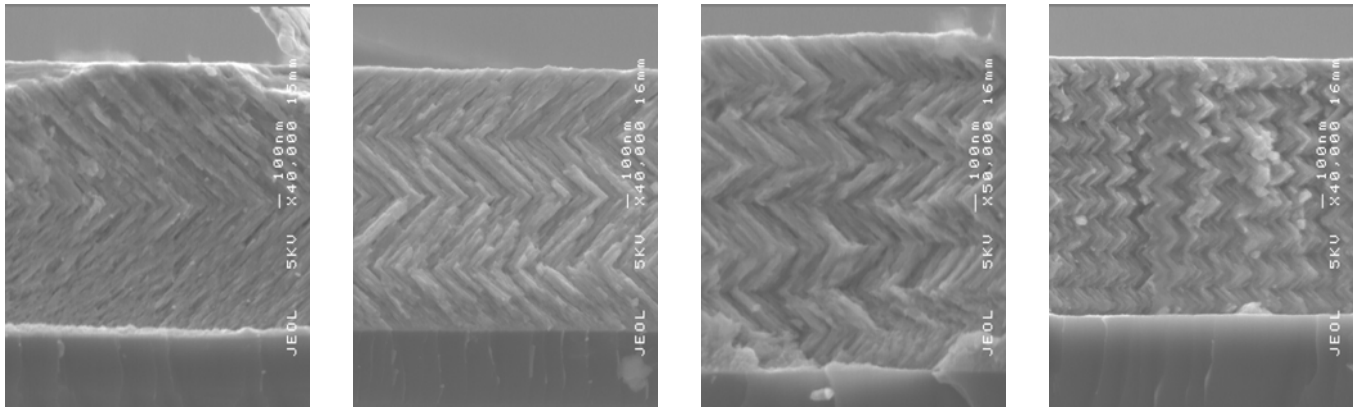
$30 < w < 200$ nm

Des zigzags encore et encore … !



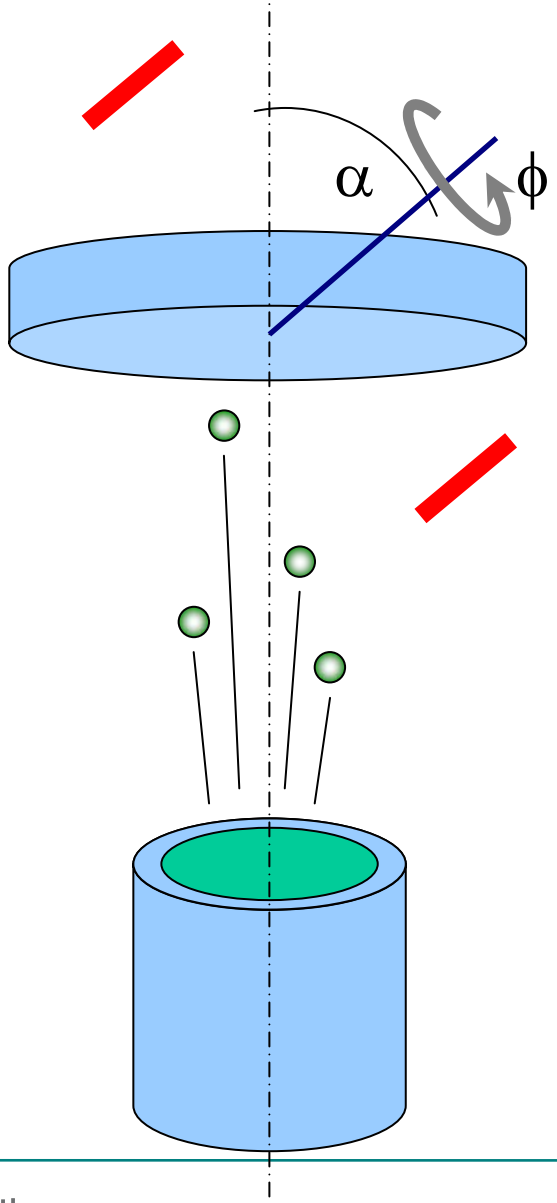
Cr / Si (100)

Simulation
+
Expérience

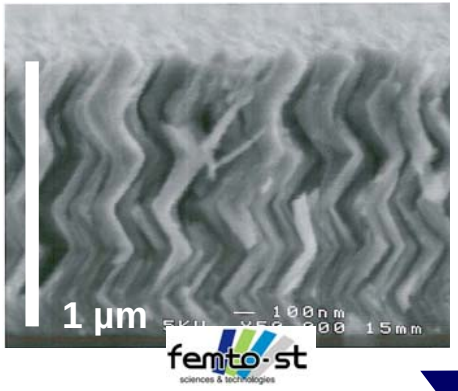


WO_3 / Si (100)

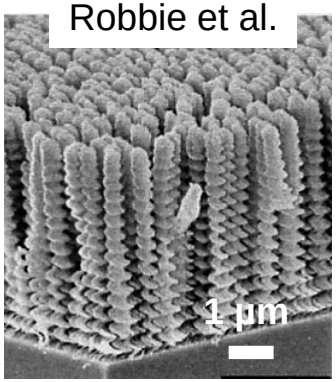
Angle d'incidence α constant + rotation ϕ

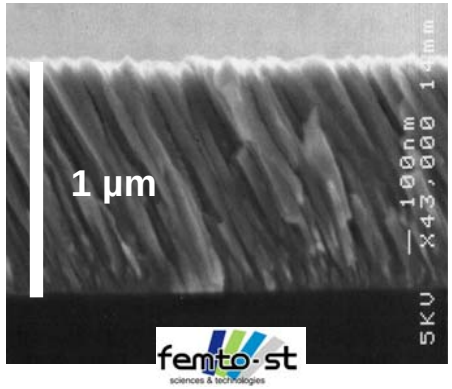


Architectures possibles

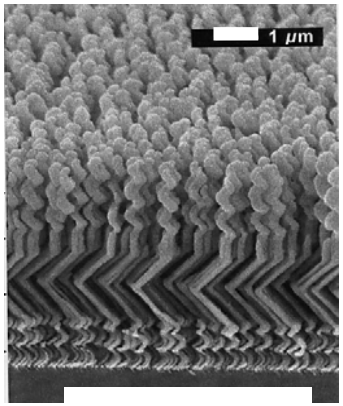


Robbie et al.

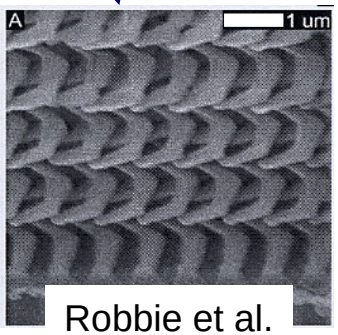




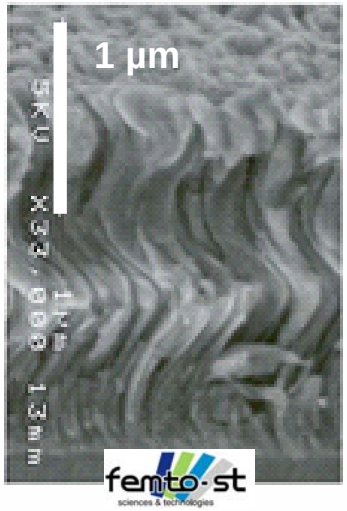
Sculptures nanométriques



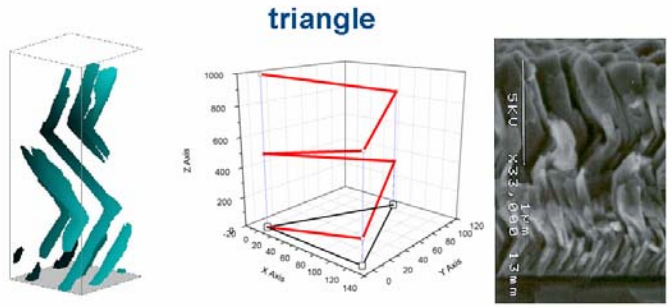
Robbie et al.

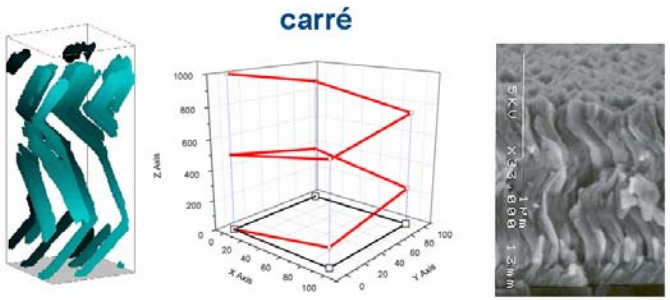


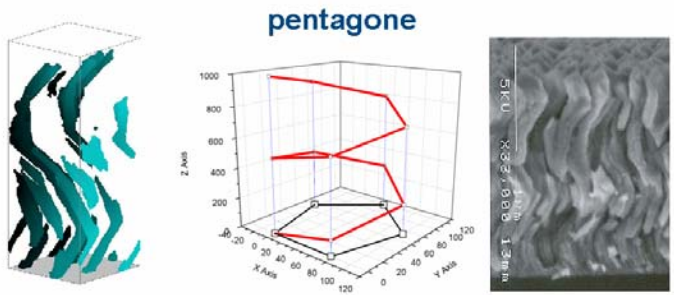
Robbie et al.

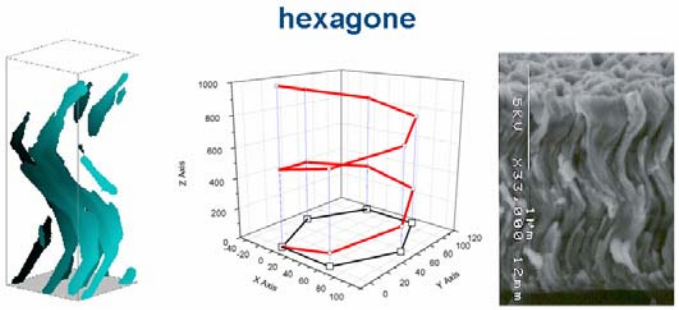


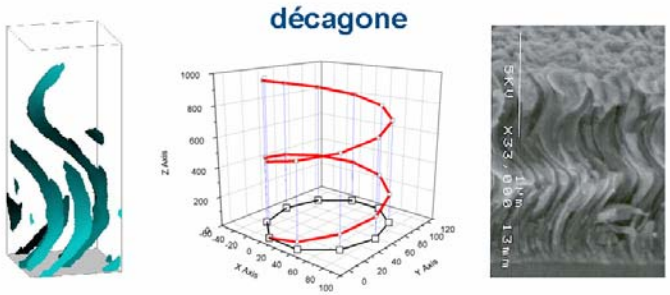
Architectures chirales







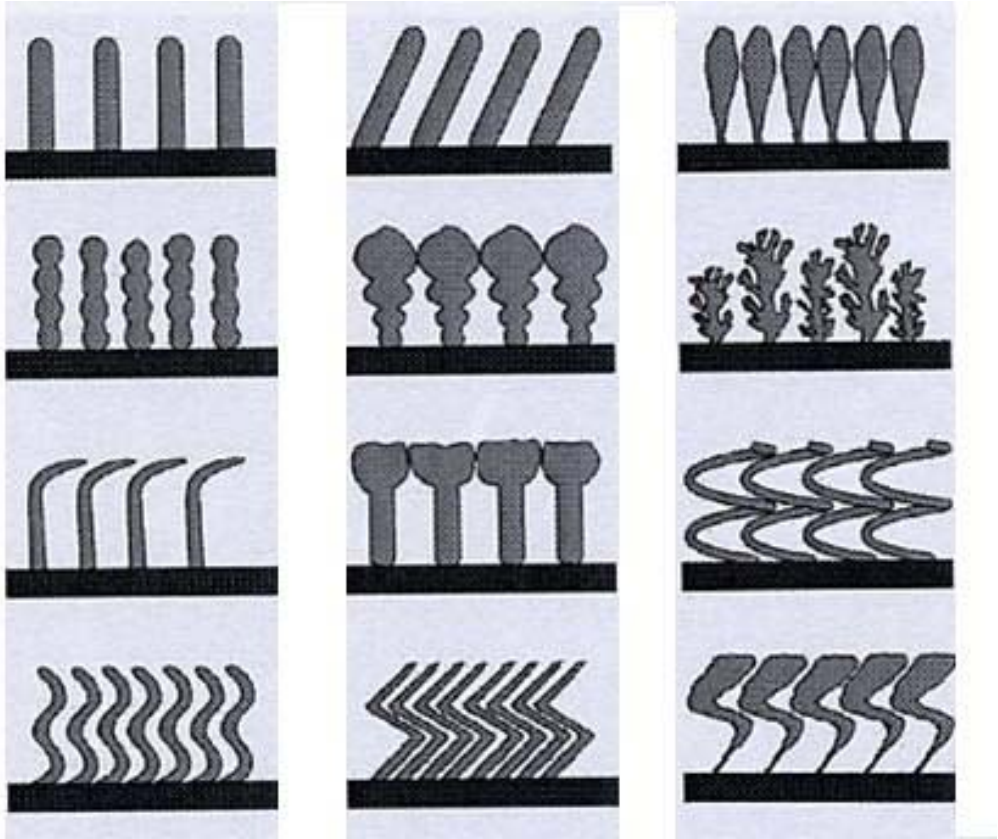




GLAD : sculpter et structurer aux échelles micro- et nanométriques

Architectures possibles :

- colonnes ⊥
- pilons inclinés
- sections variables
- fractals
- colonnes “capées”
- spirales
- S
- zigzags
- …



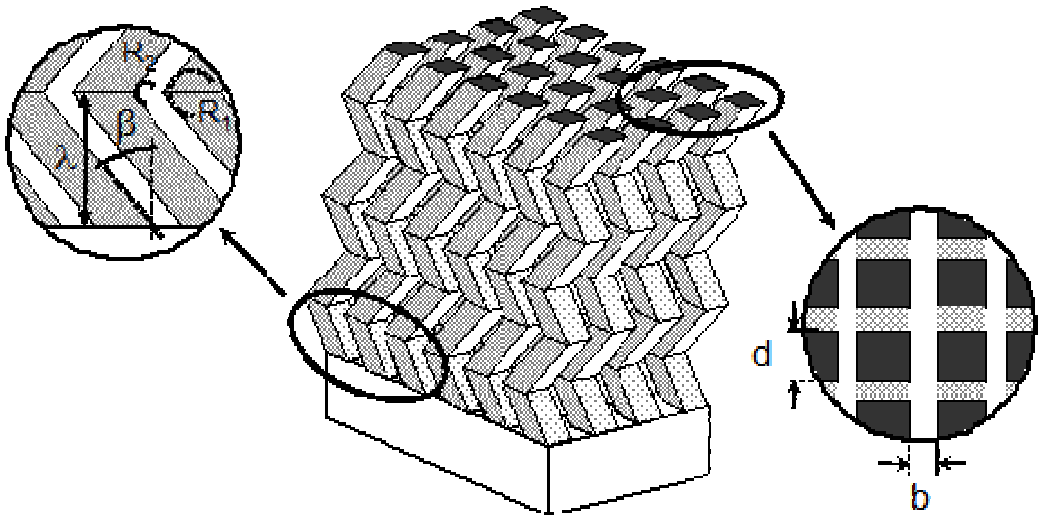
✓ **Comportements de ces films nano-structurés ?**

✓ **Différences / films colonnaires classiques ?**

- **Mécaniques : modèle analytique***

Hypothèses de base

- Champ de ressorts // + ☐
- 1 zigzag = solide homogène ☐
- Propriétés du massif
- Architecture (λ; β; R_1; R_2; d; b …)

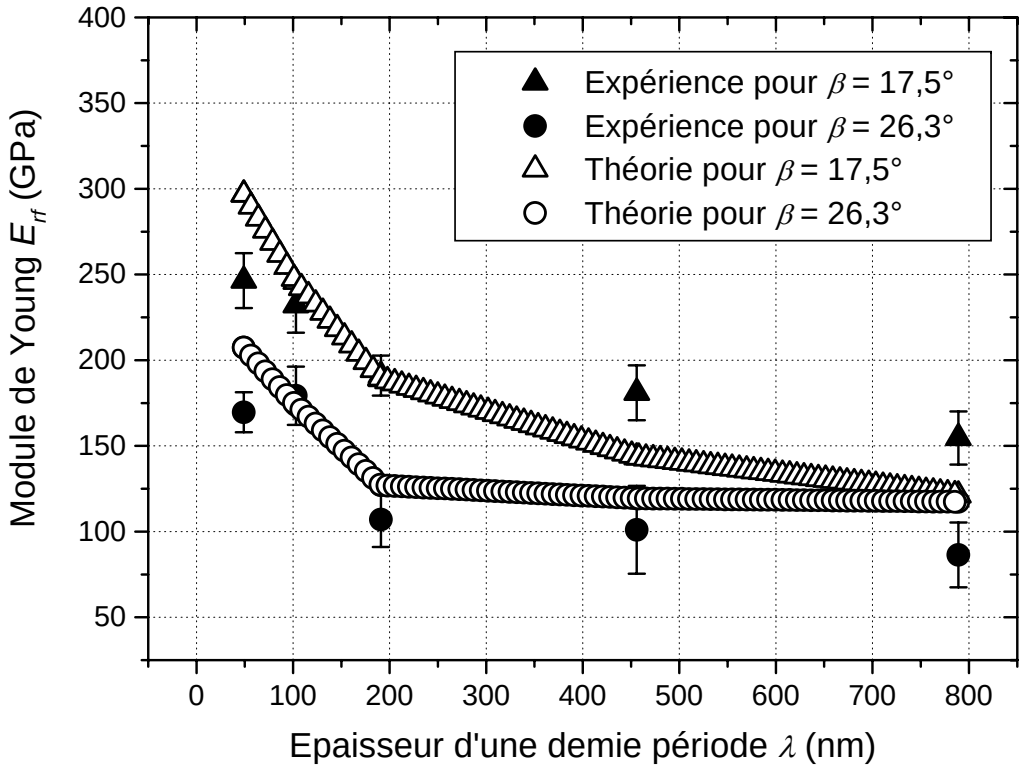


$\Downarrow$

Module de Young E_{rf}
=
f(E; ν; ρ … du massif)
+
f(architecture)

* J. Lintymer et al., Thin Solid Films, 503 (2006) 177

Couches minces de Cr en zigzag
⇒ Module de Young = f(λ; β)



Valeurs expérimentales E_{rf} par nano-indentation

✓ Bon accord qualitatif entre théorie et expérience

✓ Gamme étendue d'élasticités grâce à :

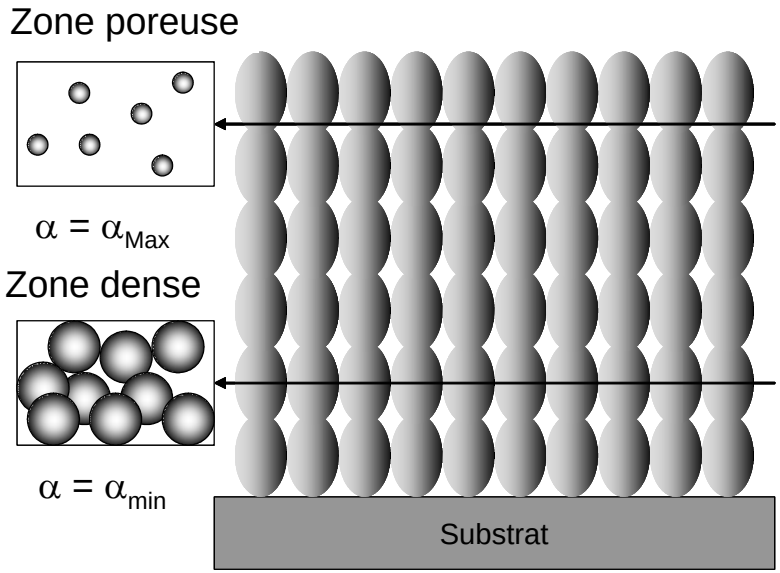
- Demie période λ
  ⇐ structure multicouche

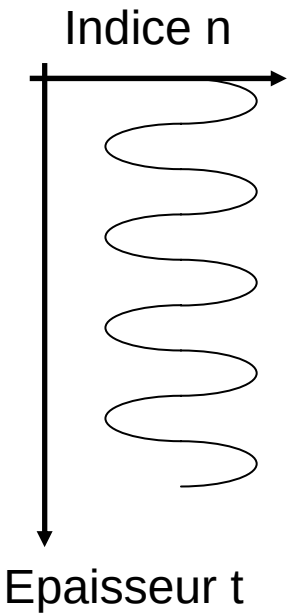
- Angle des colonnes β
  ⇐ moment fléchissant amélioré

Quelques propriétés (2)

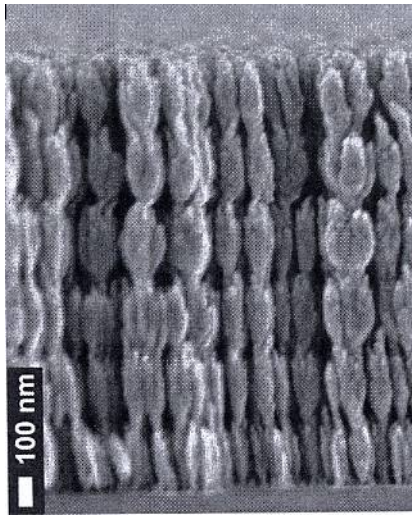
- **Optiques**

Filtres “rugates” : n = f(sin(t))



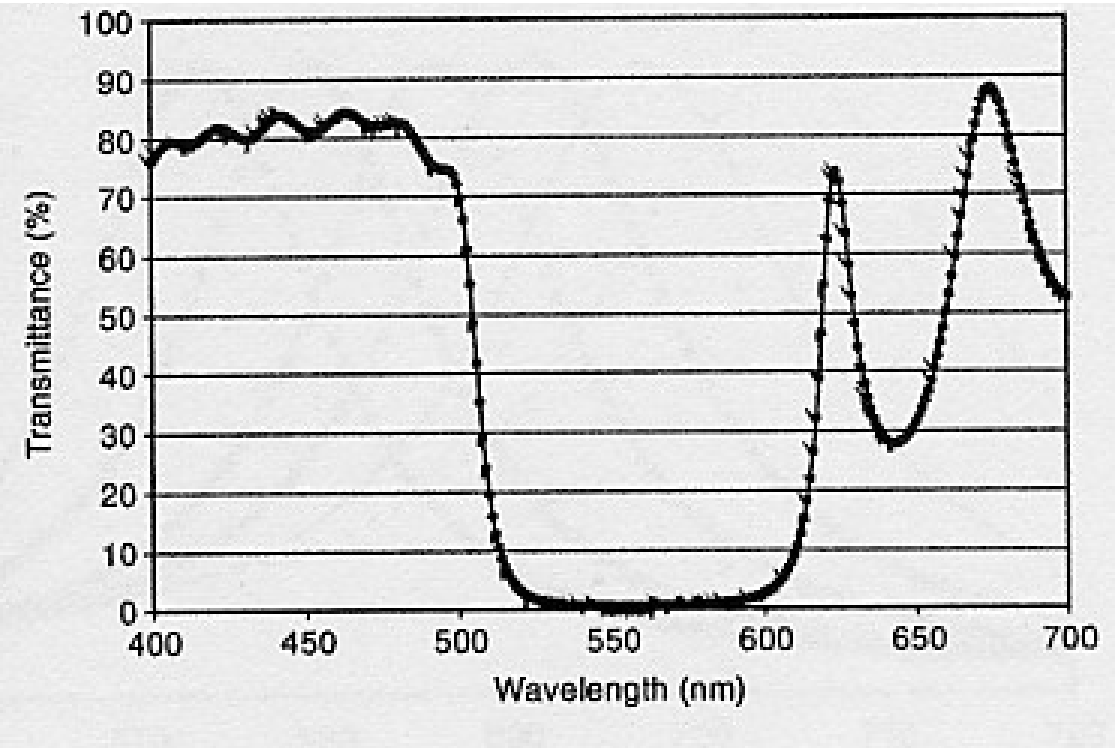


Evap. TiO_2 / verre



J. Steele & M. Brett, J. Mater. Sci., 18 (2007) 367

Transmission optique dans le visible



- ✓ Bande d'absorption dans le domaine visible
- ✓ Taille et position = f()

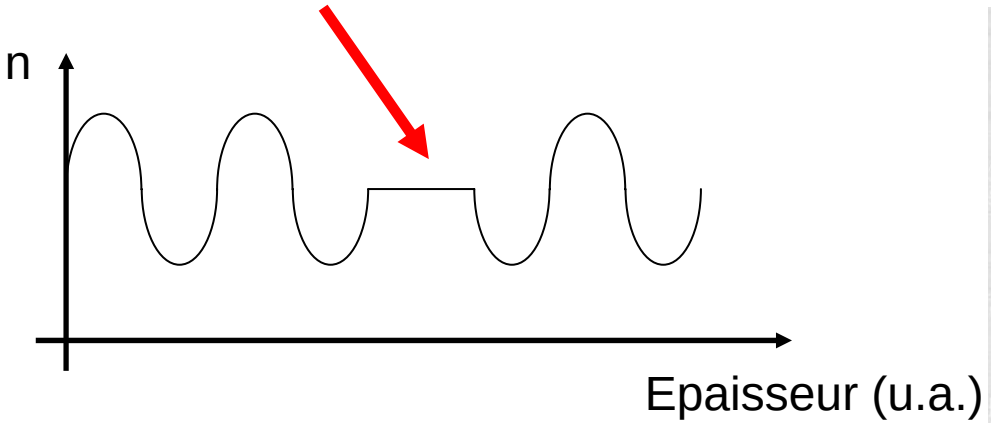
  - profil sinusoïdale de l'indice de réfraction n à travers le film

  - nature des matériaux déposés

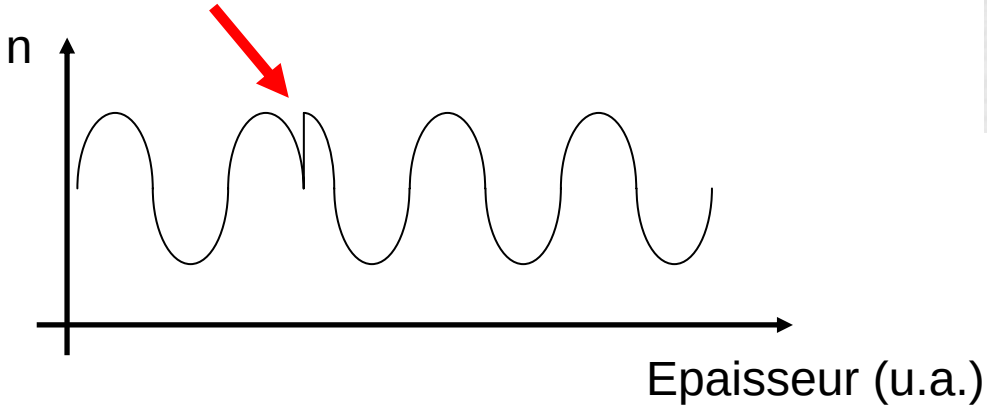
$\Rightarrow$ angle α et rotation ϕ

Défauts dans le profil de l'indice

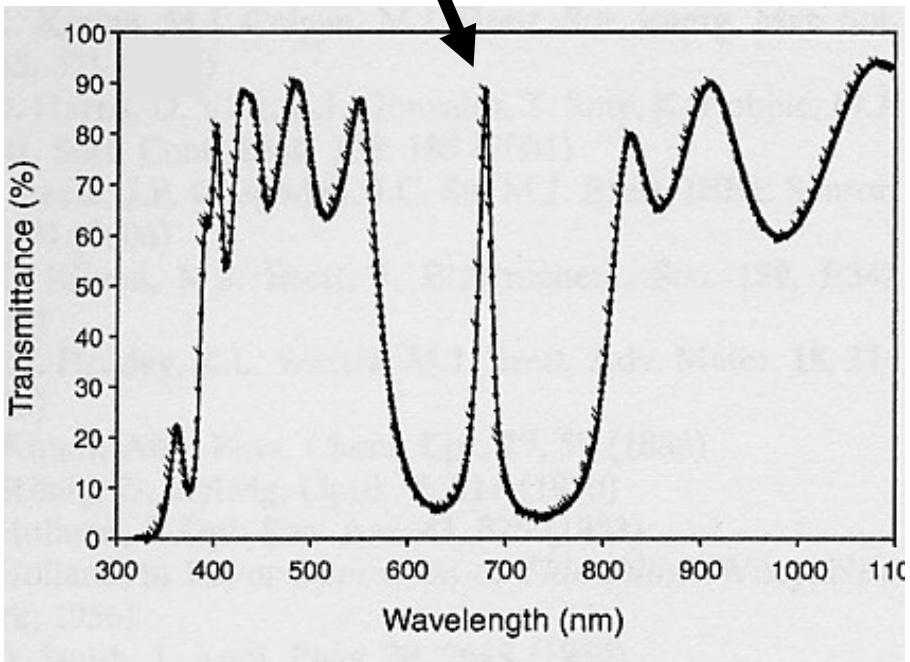
- n = constant sur qques 10 nm



- Altération du profil ⇐ déphasage



Pic de transmission crée par le défaut

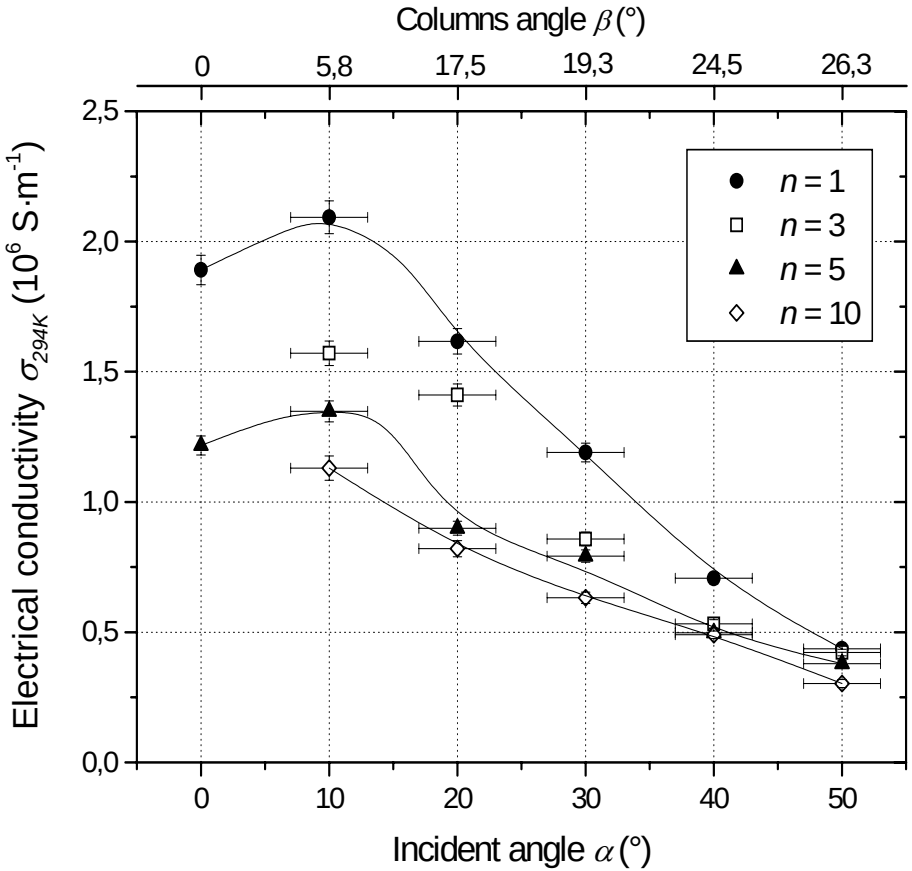


Rq: position fonction des caractéristiques du défaut + humidité ! (→ vers l'IR)

Quelques propriétés (3)

- **Electriques**

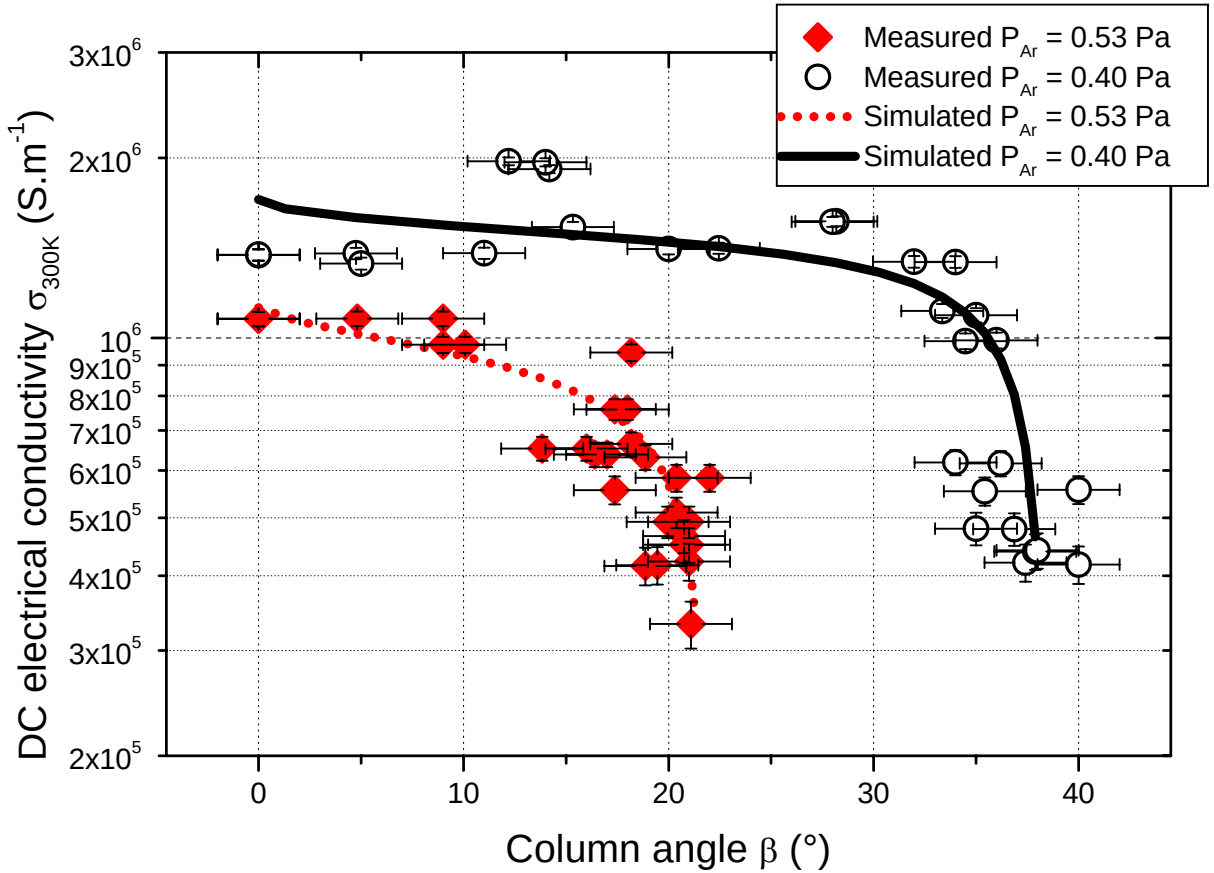
Conductivité électrique σ de films de chrome en zigzag



Chute de σ avec :

- Angle des colonnes β
  ⇐ structure poreuse qui se développe

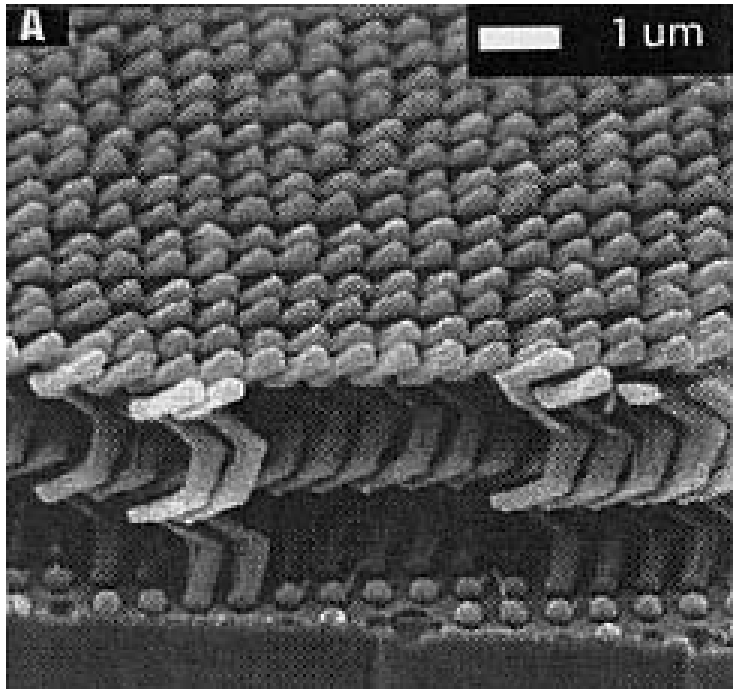
- nombre de zigzags ***n***
  ⇐ changement de direction de croissance
  → augmentation du nombre d'interfaces



⇒ Dispersion des électrons aux joints de grains favorisée par la porosité et les interfaces

- **Cristaux photoniques**

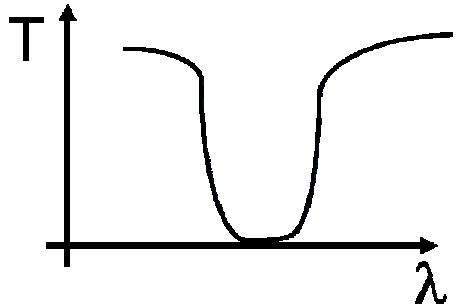
Architecture en spirale carrée
$\Rightarrow$ Structure périodique 3D



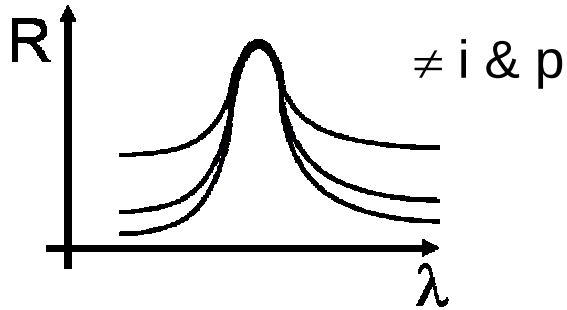
M. Hawkeye et al., Vac. Technol. Coat., Nov. (2006) 45

Comportement singulier du champ électro-magnétique E×B

- Transmission



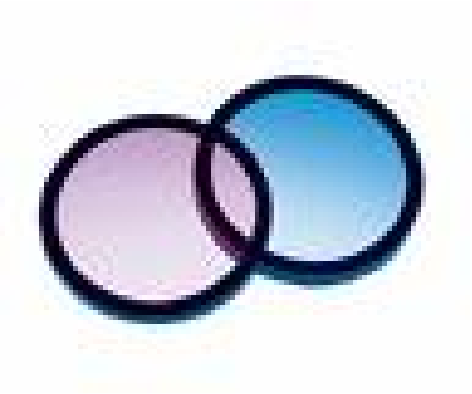
- Réflexion



$\Rightarrow$ Bande gap optique dans la gamme $\lambda \sim \mu m$

Applications et futur des films GLAD ?

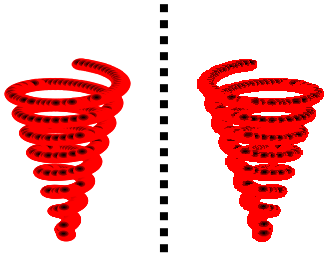
- **Films anti-reflets**



Cellules solaires
LED
Filtres
…

- **Polarisation de la lumière**

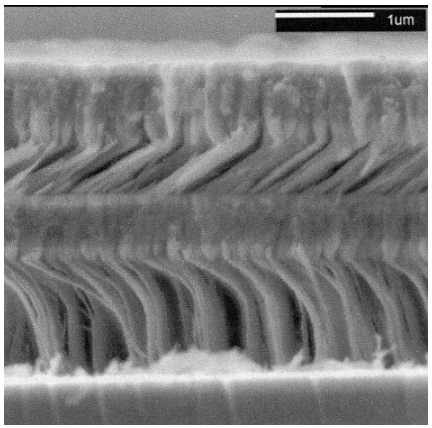
Chiralité des films par GLAD



Polariseur
Affichage (LCD)
…

* A.C. Van Popta et al., 2004; K. Robbie et al., 1999

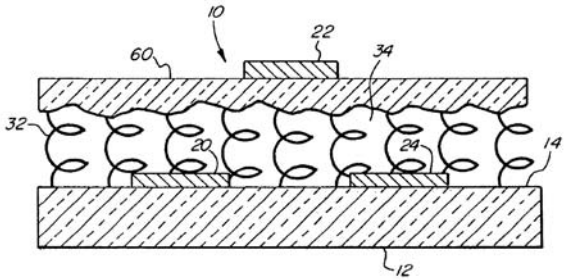
- **Effets “barrières”**



Température: substitut à ZrO_2-Y_2O_3
Corrosion
…

* Harris et al., 2001

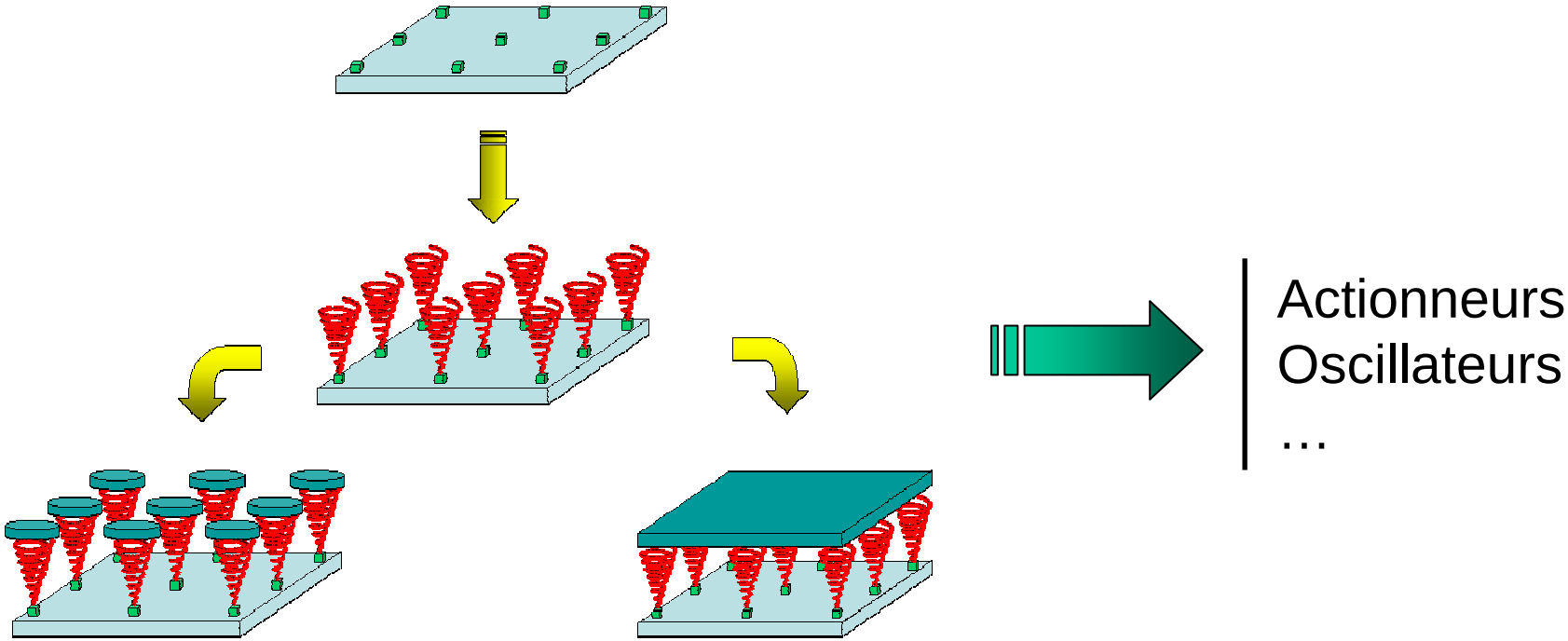
- **Structure poreuse contrôlée**



Capteurs de gaz
Catalyseurs
…

* US patent 6908538

- **Micro- & nano-systèmes : MEMS, MOEMS, …**



Pour la µ et nano-manipulation … !?

Conclusions

- **La technique GLAD : GLancing Angle Deposition**
  Une nouvelle méthode pour “sculpter” et créer des structures colonnaires et architectures 3D aux échelles micro- et nanométriques

- **Dimensions et géométries ajustables : Colonnes ⊥, orientées, zigzags, S, spirales, …**

- **Comportements et propriétés étendues par rapport à des films minces déposés sous incidence normale**

- **Une technique “jeune” : peu exploitée par pulvérisation**

- **Comment estimer les applications potentielles des films GLAD ?**

Remerciements

GDR Robotique et MECANO

Kevin Robbie - Queen’s University (CA)

Collègues FEMTO-ST