

Dépôts 2.5D par évaporation à travers des masques demi-teinte

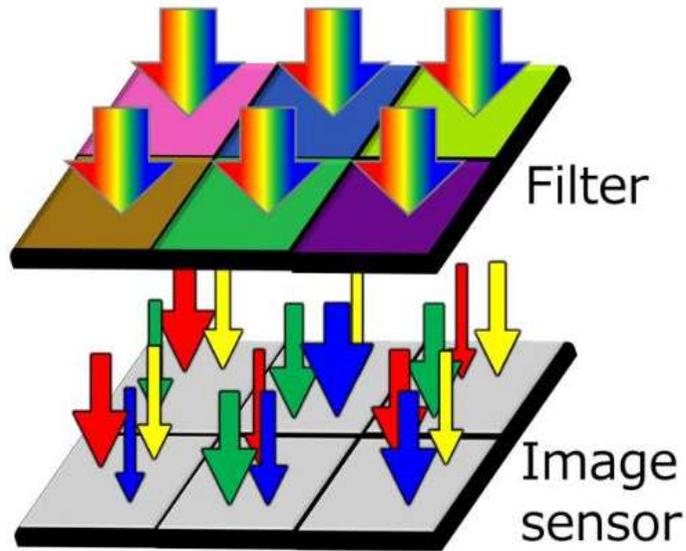
S. Calvez, J. Bonneau, D. Bourrier, L. Salvagnac,
P. Dubreuil, I. Séguy, O. Gauthier-Lafaye, H. Camon

JNTE 2024

29/11/2024 - 09:15

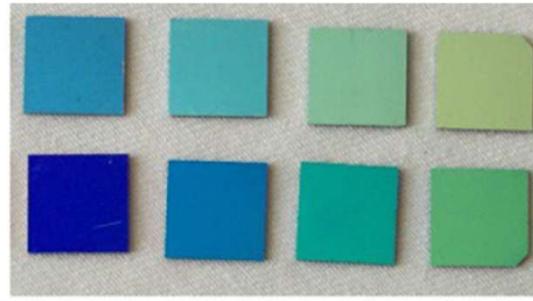
- Introduction
- Principe de l'évaporation à pochoir en demi-teinte
- Démonstrations de dépôts d'épaisseur spatialement variable mais contrôlée
- Conclusions

Imagerie hyperspectrale



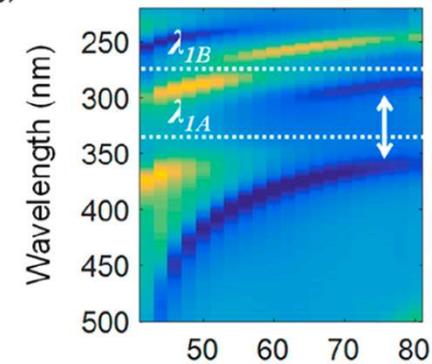
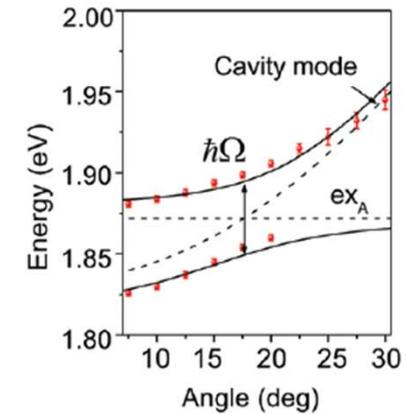
Enhanced Bayer filter matrix
MultiSpectral Filter Arrays

Couleurs structurelles



A.C. Kosger, *Optics Lett.*,
46 (14), 3464 (2021)

Polaritons



Zhang et al, *J. Phys. Chem. Lett.*, **14**, 6840–6849 (2023)

> Couches minces avec un profil 2D contrôlé de l'épaisseur et une précision de quelques nm

> Approches Top-down

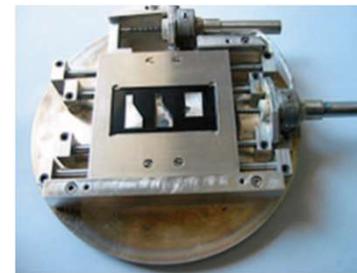
- Litho en niveaux de gris
 - Litho UV Multi-masques
 - Litho e-beam/ laser

■ Gravure subséquente

- ✓ Résolution spatiale
- ✗ Précision nm?
- ✗ Process séquentiel (lent)

> Approches Bottom-up

- Masque d'ombrage (mobile)



A. Piegari et al,
Appl. Opt., 45
(16), 3768 (2008)

- ✗ Résolution spatiale ~cm
- ✓ Précision nm
- ✓ Process parallèle (pleine surface)

Principe de l'évaporation à épaisseur contrôlée

Echantillon
Pochoir



X. Li et al, *Optica*,
7 (9), 1154 (2020)

Creuset d'évaporation

Pochoir en **quasi-contact**

- Motif déposé = Motif du pochoir

Pochoir **écarté**

- Dépôt= Motif du pochoir flouté
- Epaisseur \propto surface ouverte (trou)
- ✘ Résolution spatiale atteinte \sim cm

> Contraintes

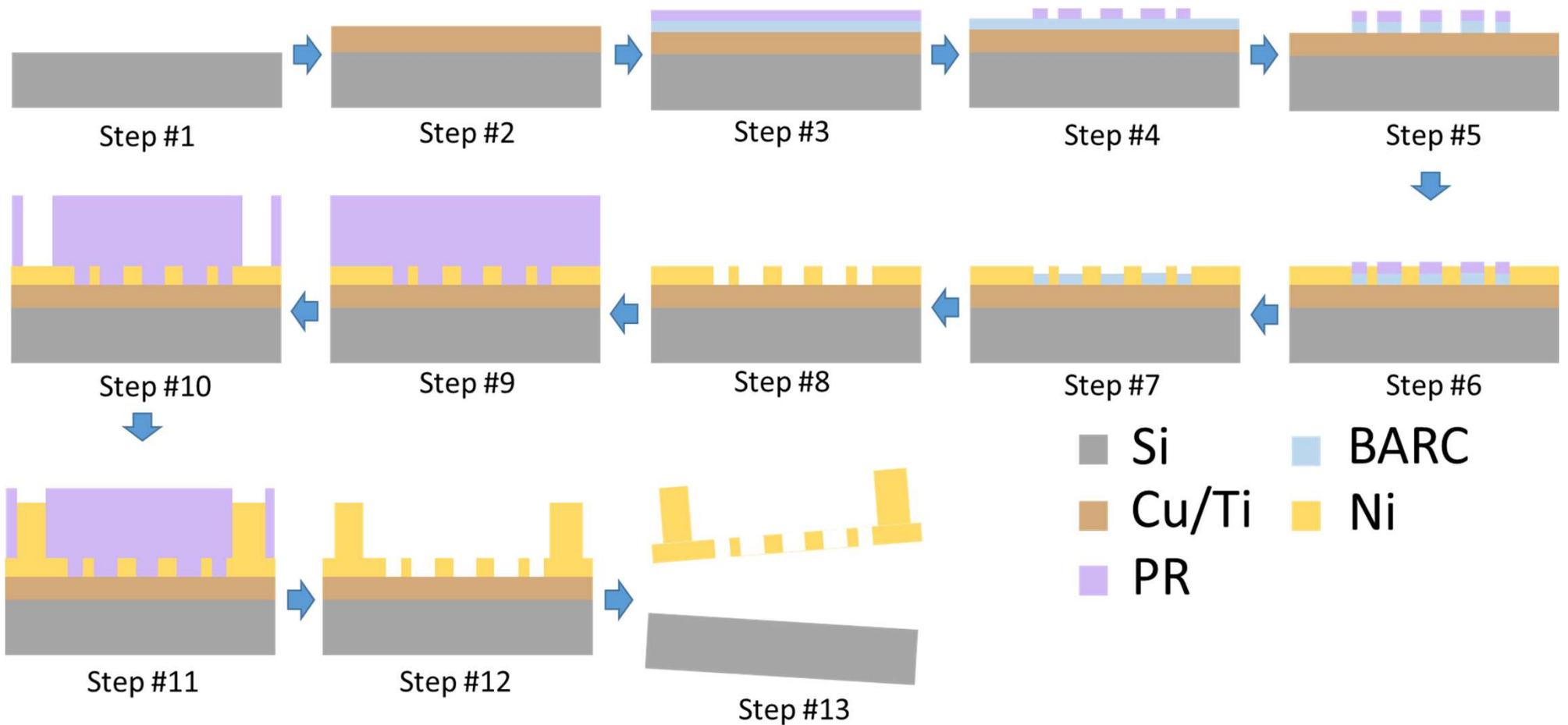
- Distribution des trous
 - Maille hexagonale pour uniformité
 - Faible période de réseau pour la résolution spatiale
- Trous micrométriques pour
 - Eviter obturation (observée avec trous nanométriques)
 - Fabrication par lithographie par contact

> Fabrication

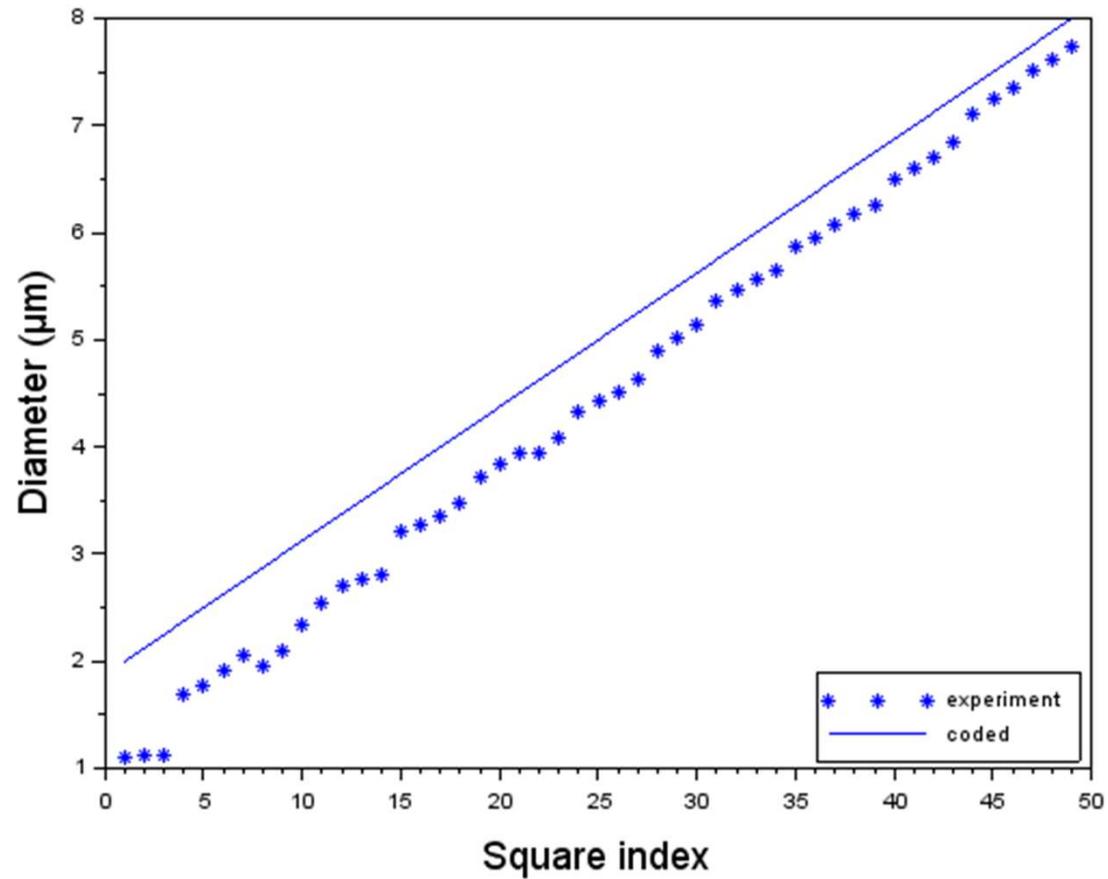
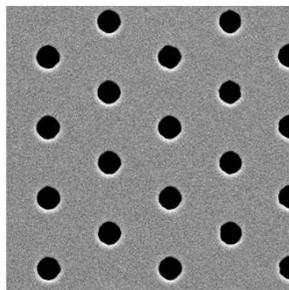
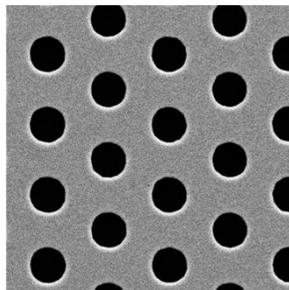
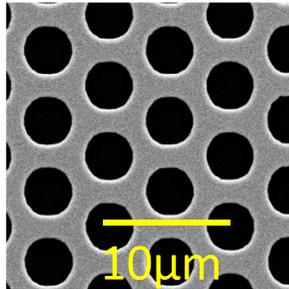
- 2 étapes (lithographie+dépôt électrolytique)
- Membrane fine $\sim 2\text{-}\mu\text{m}$ en nickel
- Structure support épaisse $\sim 50\text{-}\mu\text{m}$



Fabrication du pochoir



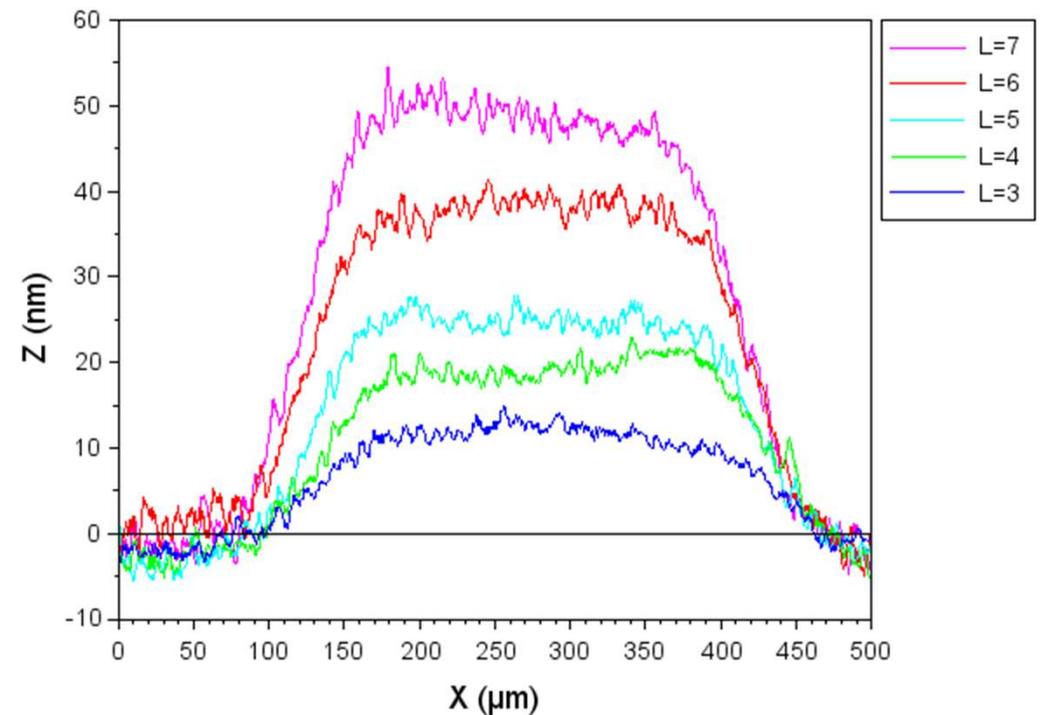
Caractérisation du pochoir



> Evaporation d'aluminium



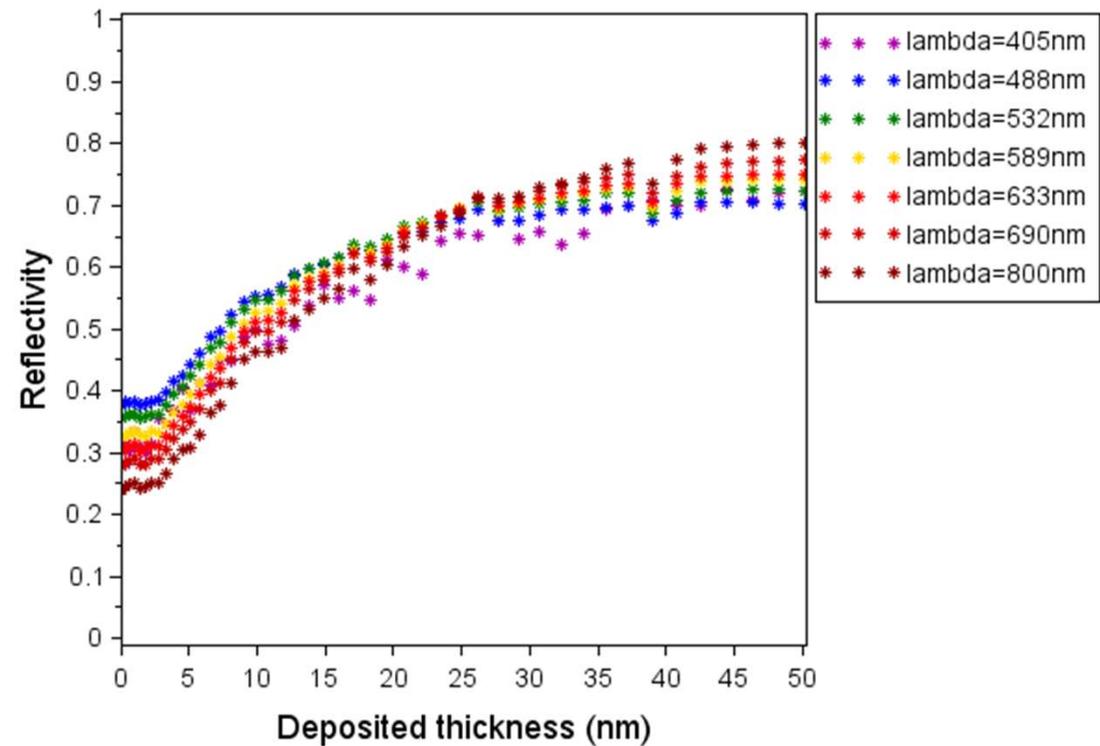
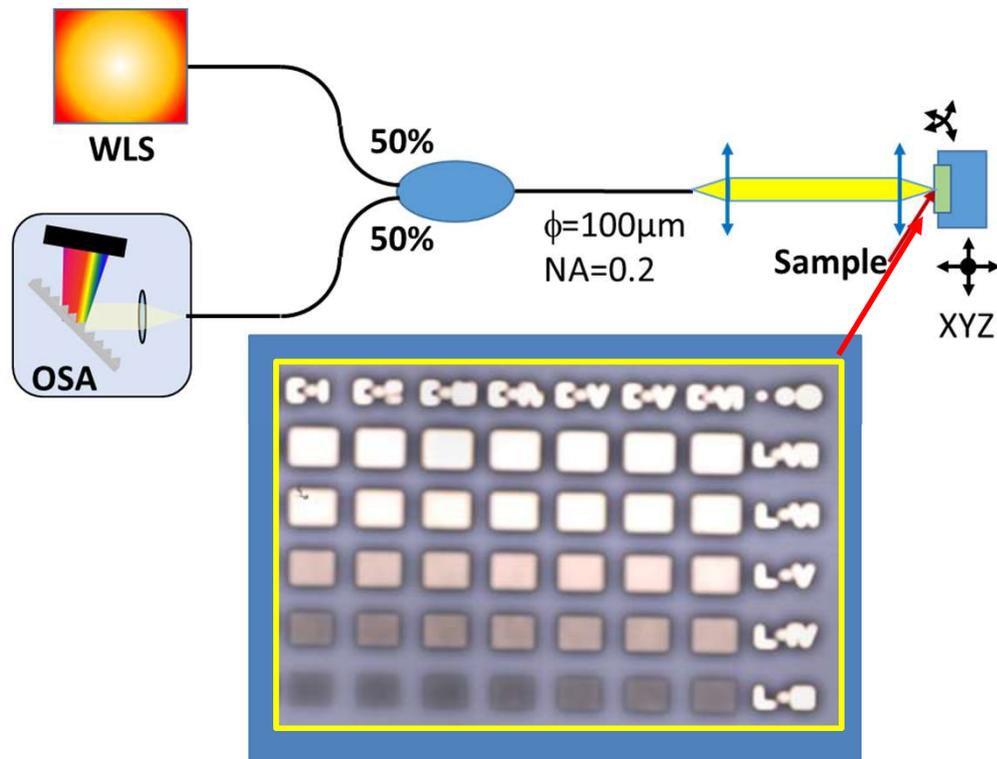
STYLUS PROFILOMETRY



- ✓ Résolution épaisseur < 3 nm
- ✓ Résolution spatiale $\sim 70 \mu\text{m}$
- ✓ $e \propto$ surface ouverte

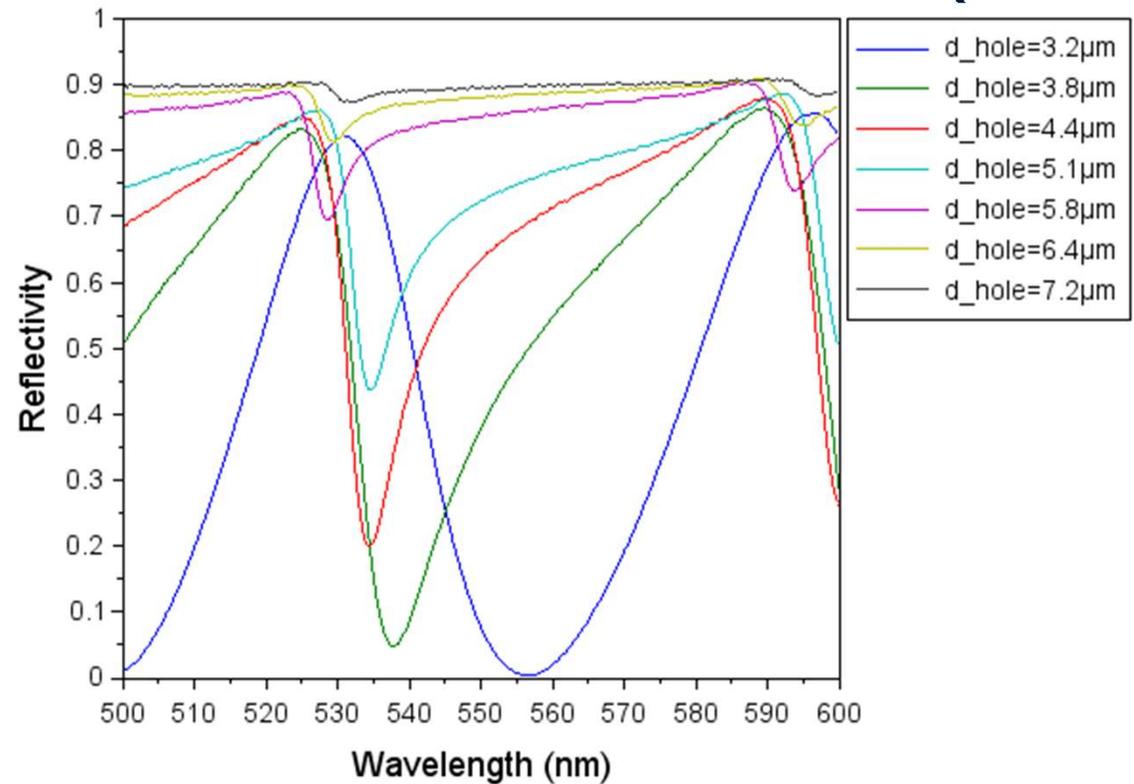
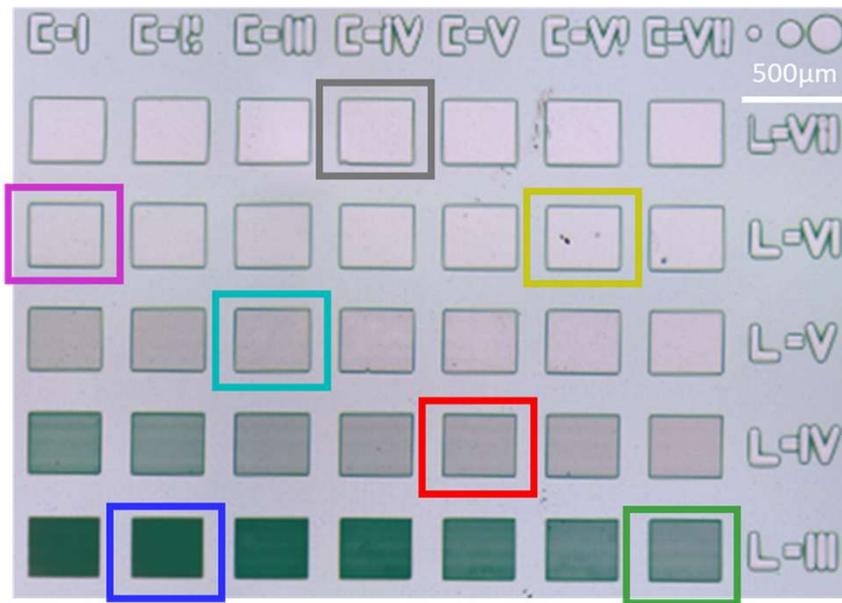
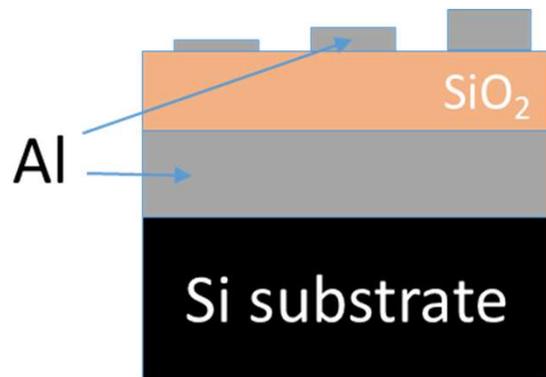
Application directe #1

- > Miroir à réflectivité variable
~ Densité optique variable

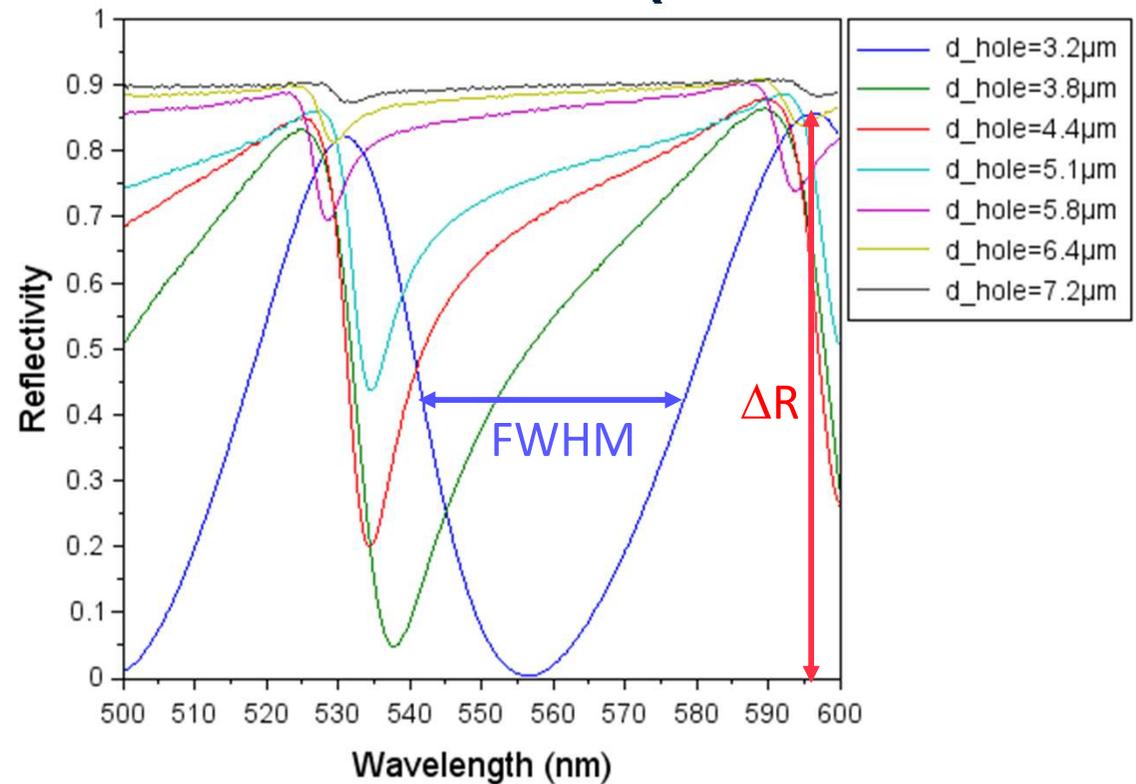
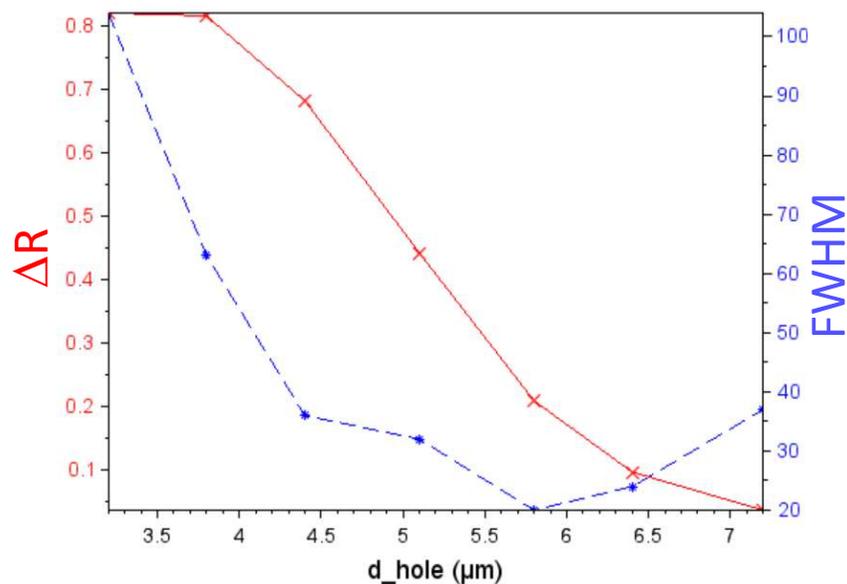
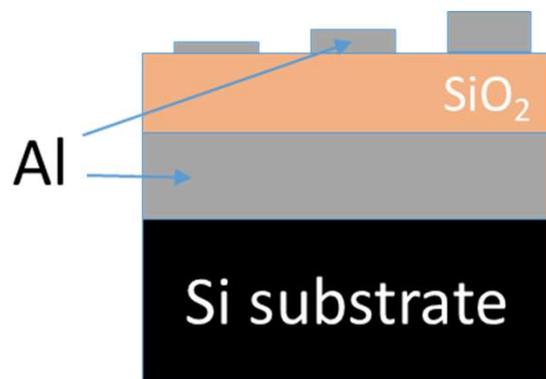


Application directe #2

> Filtres «MIM» Fabry-Pérot à miroirs métalliques



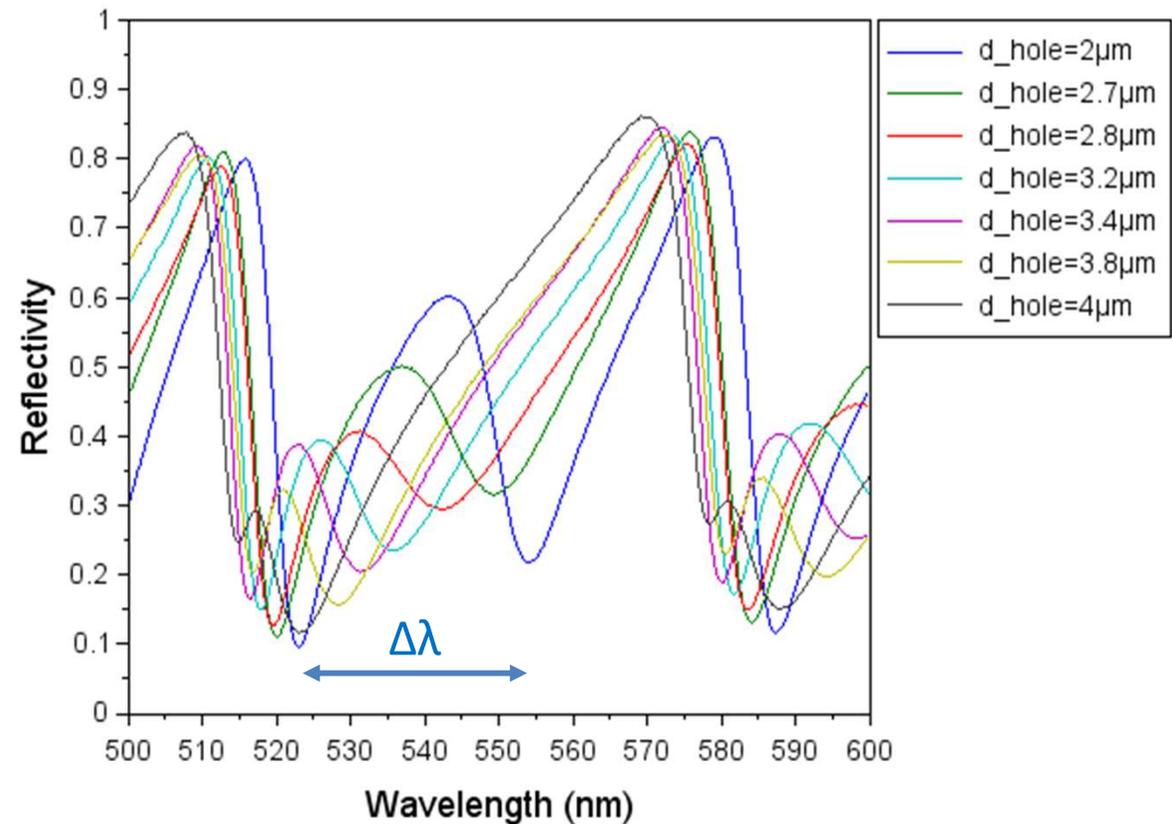
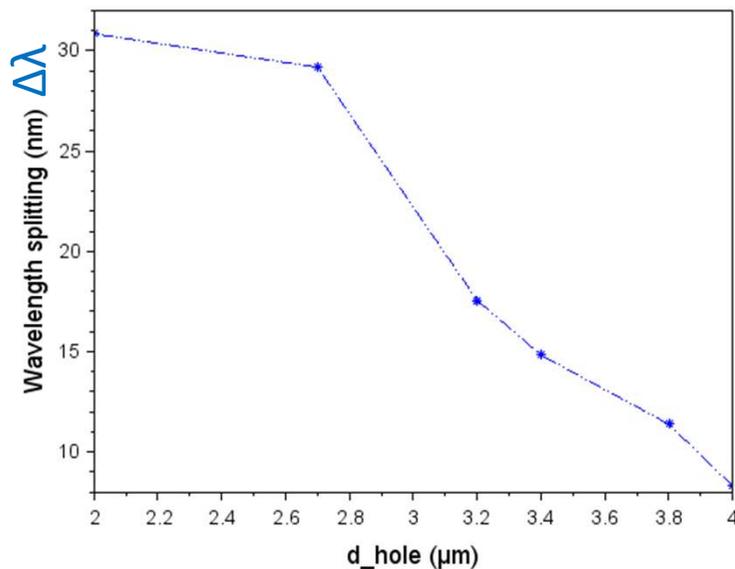
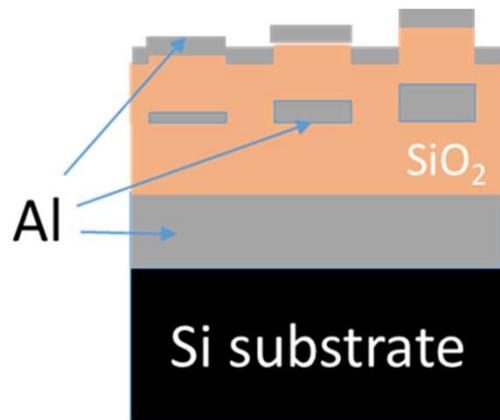
> Filtres Fabry-Pérot à miroirs métalliques



- ✓ Bande passante variable
- ✓ Taux de rejection variable

Application directe #3

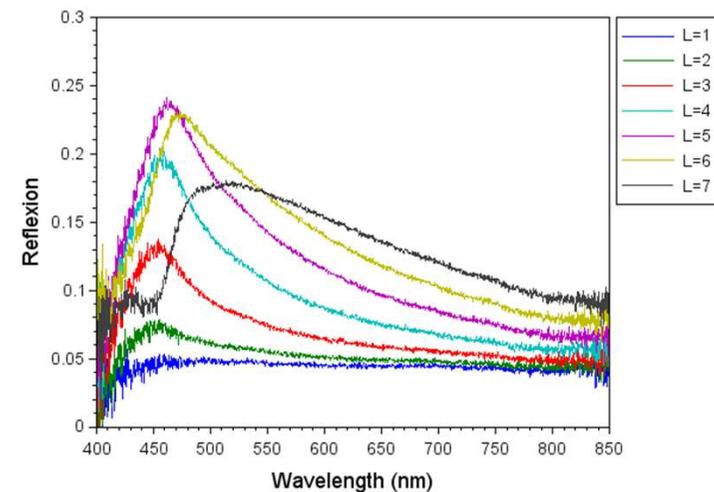
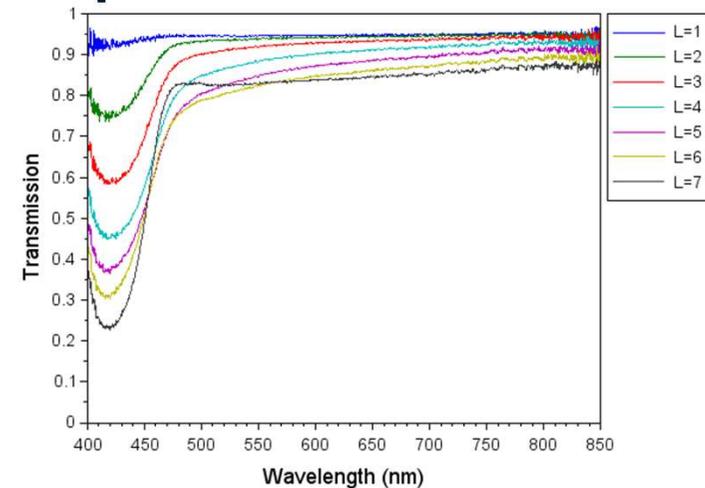
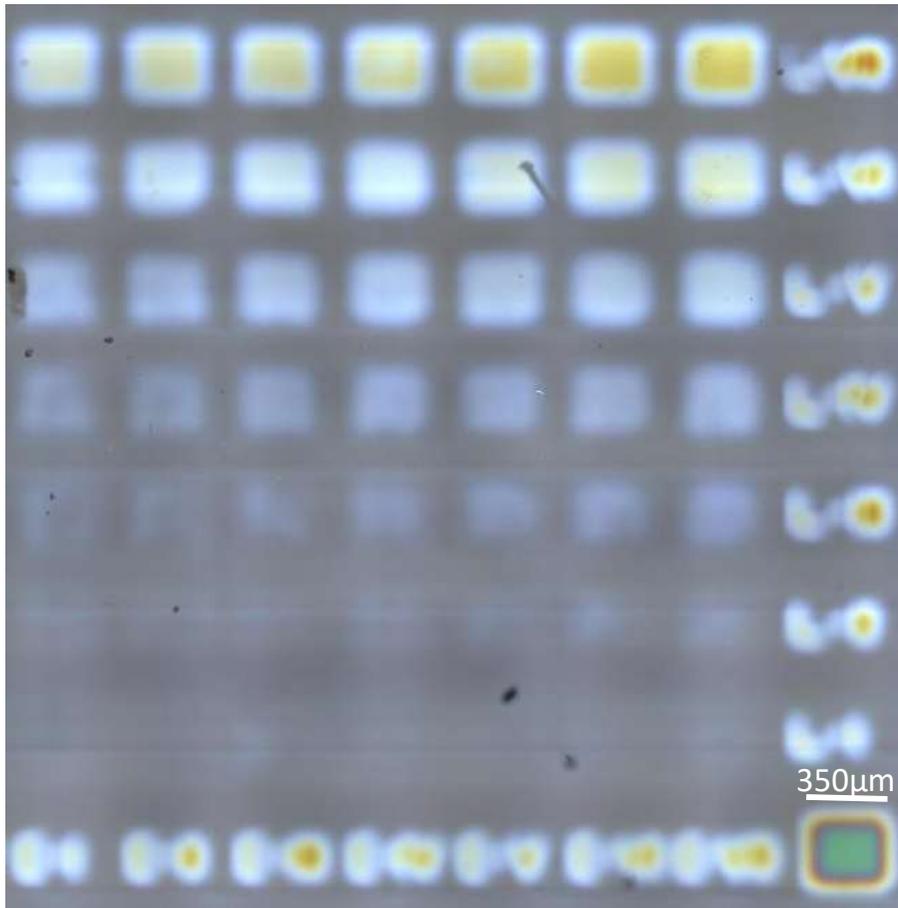
> Filtres Fabry-Pérot cascades



✓ Couplage contrôlé de résonateurs FP

Application directe #1 (variante)

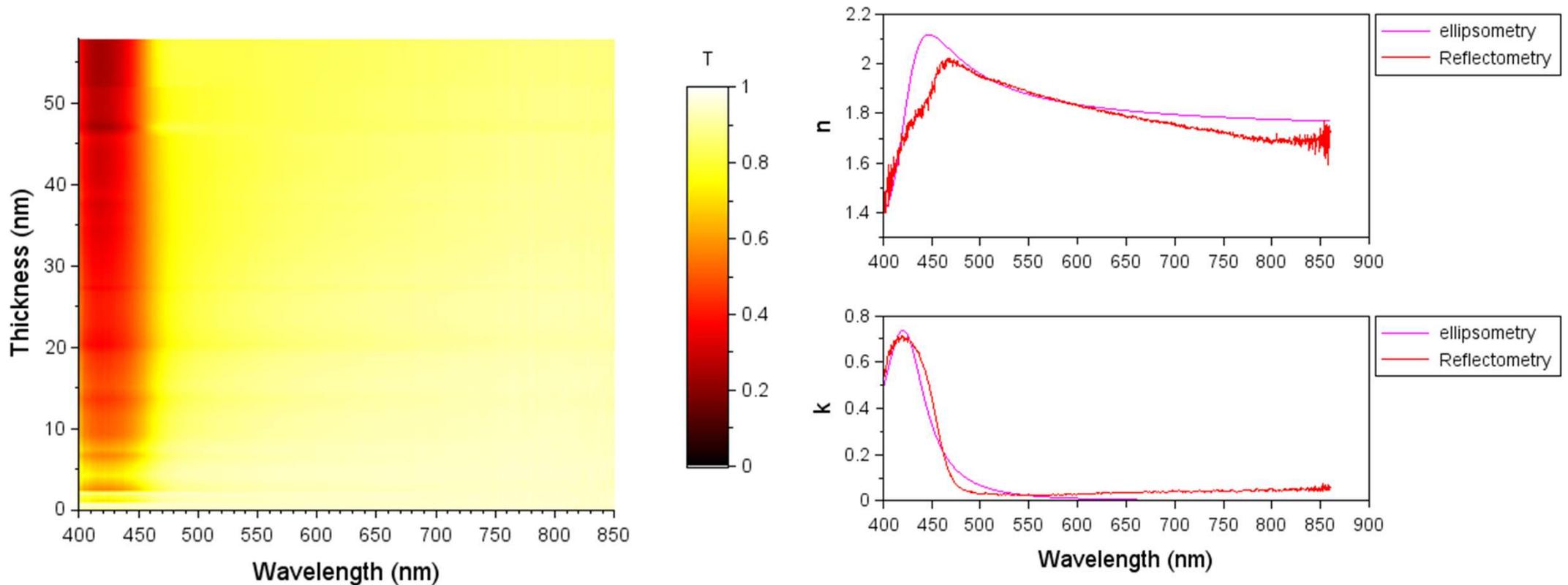
> Filtre coloré variable : organique DPAVBi



✓ Structuration de composés organiques sous vide et sans solvant

Application directe #1 (extension)

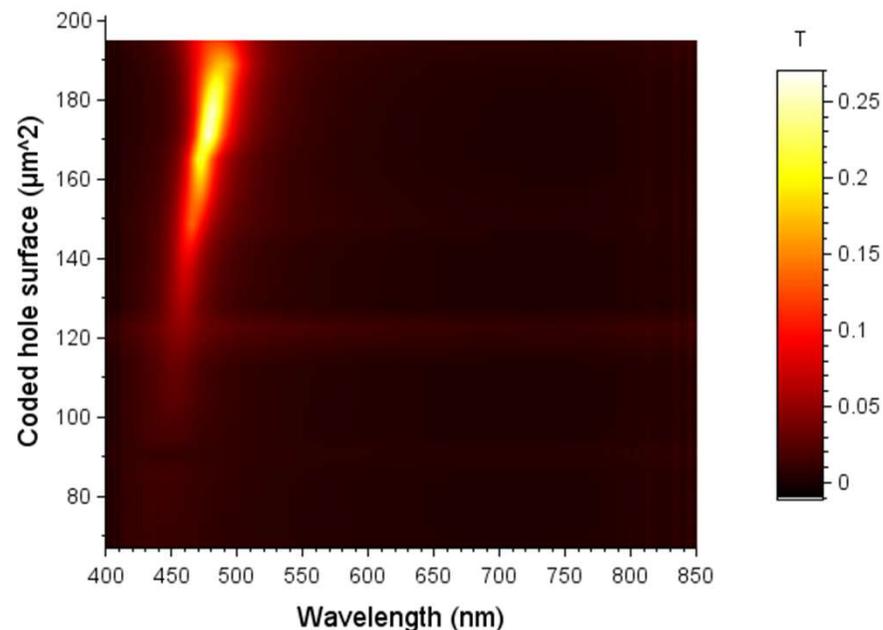
- > Extraction de l'indice de réfraction (complexe) en un seul dépôt ~ suivi temps réel de dépôt



Application directe #4

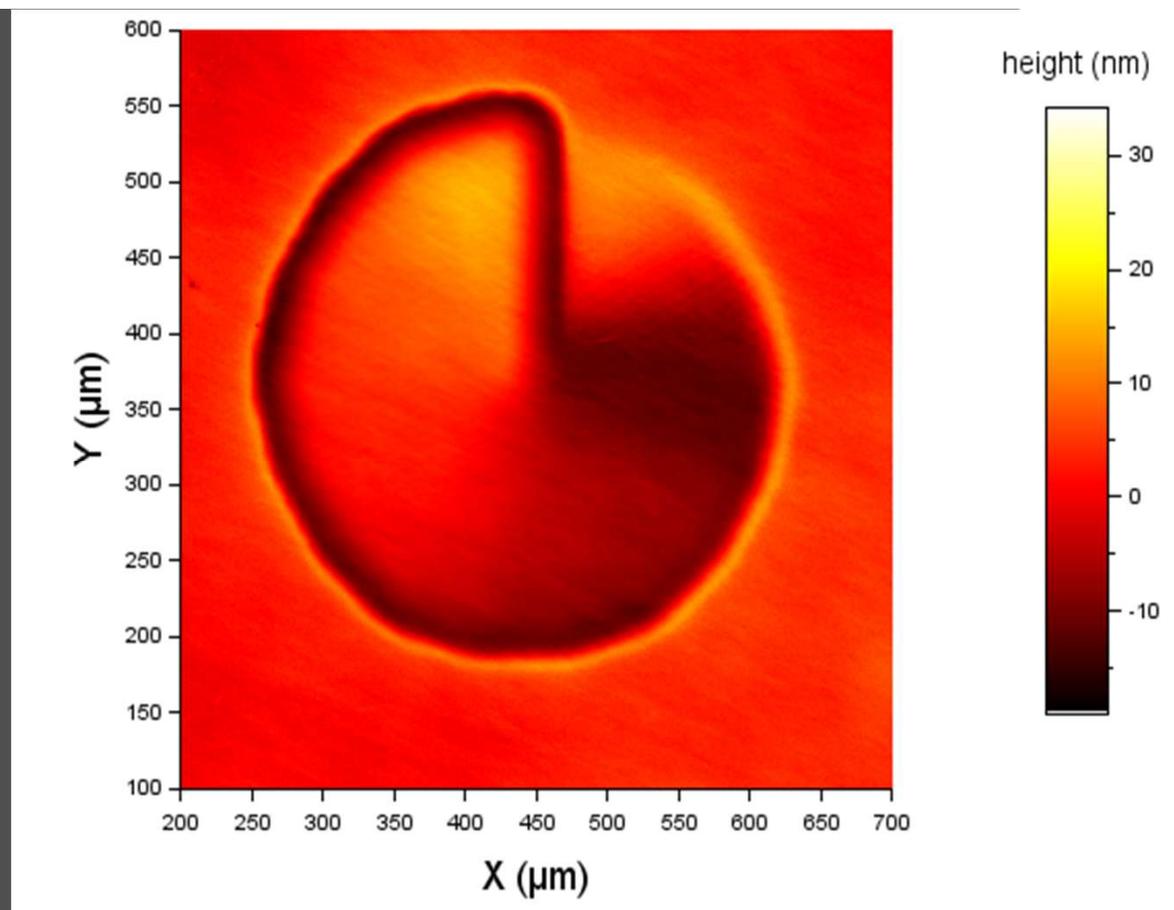
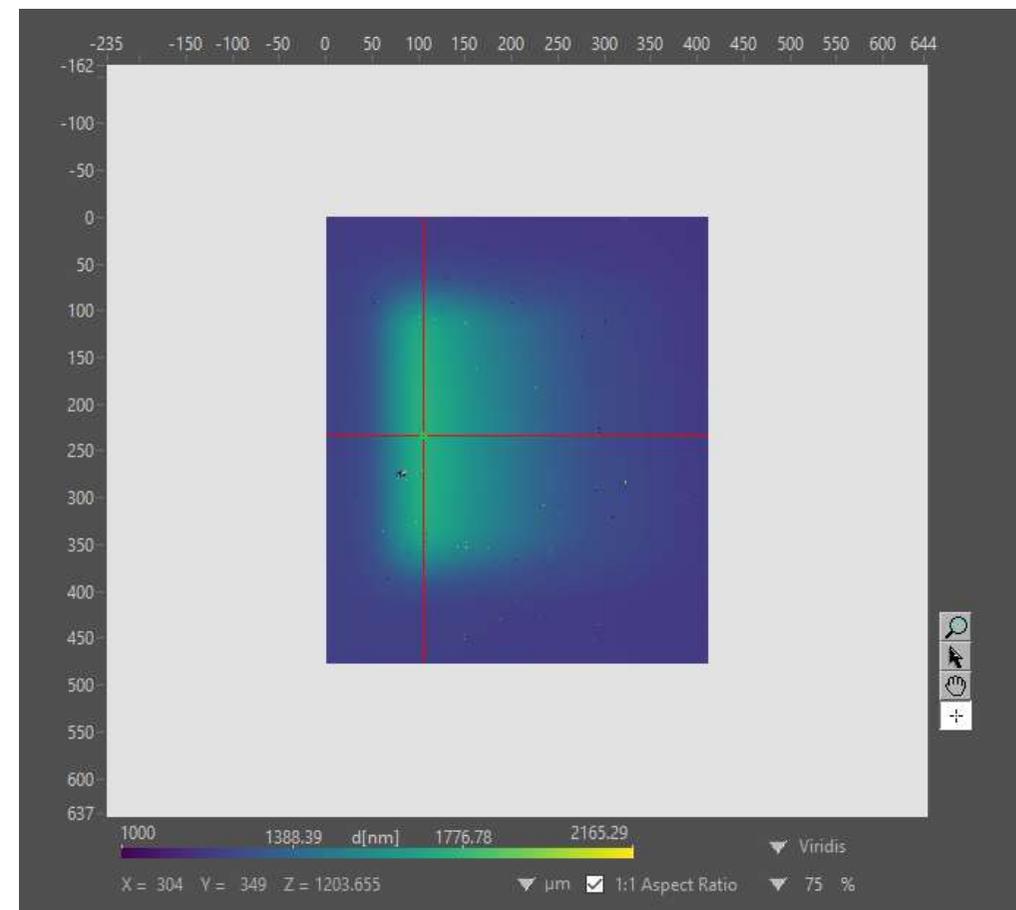


✓ **Filtres Fabry-Pérot accordables**



Mise en forme spatiale

Jusqu'ici dépôts en « marches d'escalier »

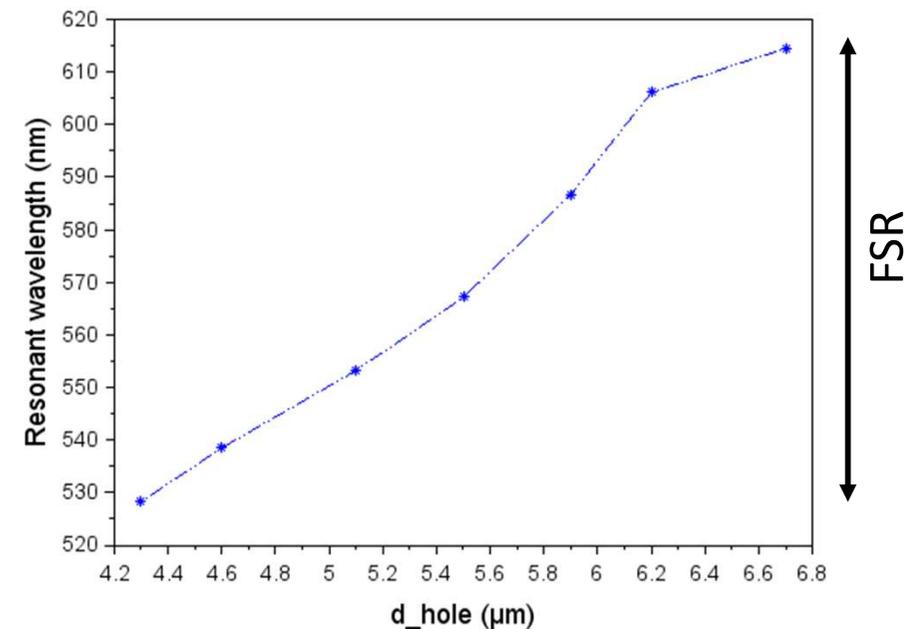
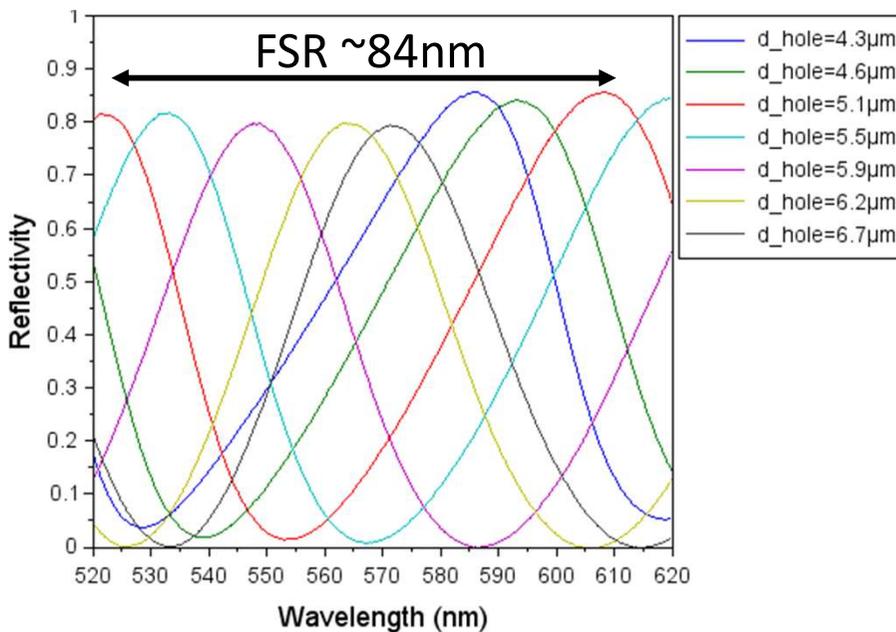


Mise en forme « libre » de la distribution par codage demi-teinte du pochoir

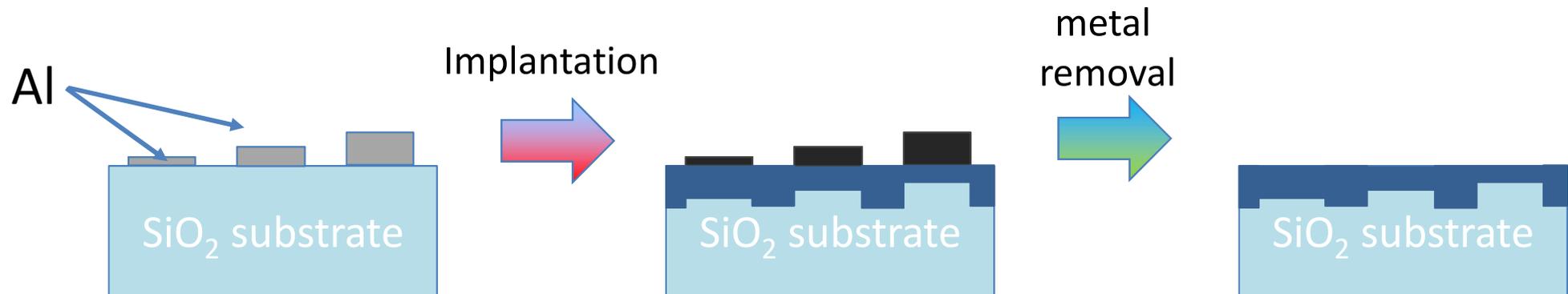
Utilisation indirecte #1



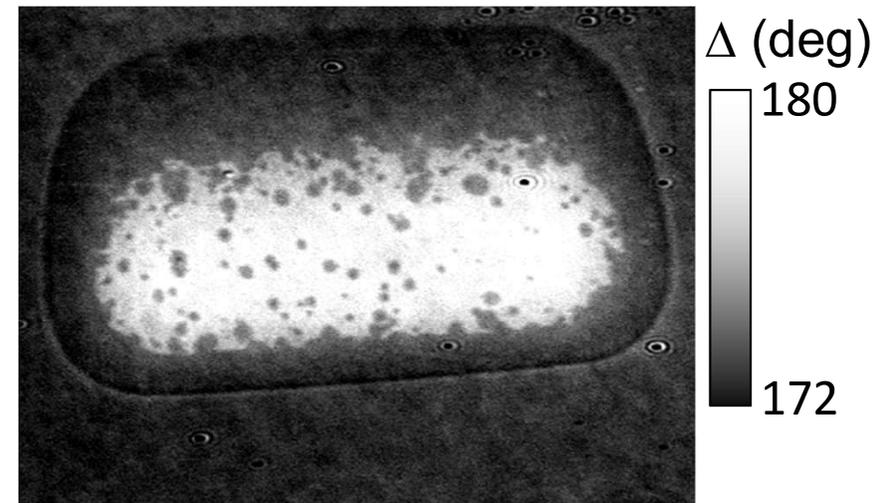
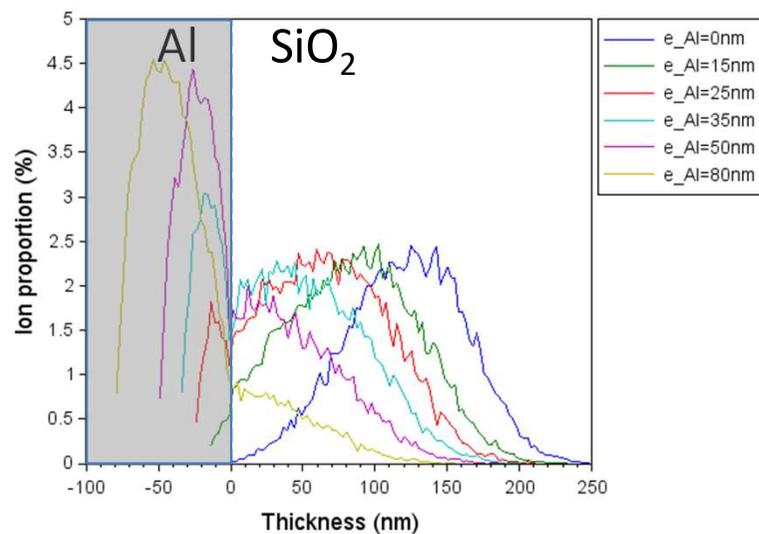
✓ Filtres Fabry-Pérot accordables



> Modification locale de l'indice de réfraction



- **Si : 10^{16} ions/cm² 80keV**



- ✓ Création bottom-up de couches minces à profil 2D d'épaisseur variable
 - ✓ Résolution en épaisseur nanométrique
 - ✓ Résolution spatiale $\sim 70 \mu\text{m}$
 - ✓ Répartition spatiale en « marches », à gradient, ou libre par codage du pochoir
- ✓ Utilisations
 - ✓ Directe
 - ✓ Couches avec profil 2D contrôlé de l'épaisseur
 - ✓ Caractérisation des propriétés des matériaux
 - ✓ Indirecte – comme masques durs pour
 - ✓ la gravure (sèche) \Rightarrow Modification d'épaisseur
 - ✓ l'implantation \Rightarrow Modification de l'indice de réfraction
- ✓ Preuves de principe d'« applications »
 - ✓ Filtres optiques variables
 - ✓ Couleur / densité optique
 - ✓ Bande passante
 - ✓ Taux de rejection
 - ✓ Longueur d'onde
 - ✓ Ajustement du couplage dans des résonateurs cascades

Remerciements



SCOPOLE (ANR-22-CE09-0019)



DIMENSION (2018-003267)



Merci pour votre attention !

