

Procédés à base de nano- impression pour la réalisation de composants optiques accordables à cristaux liquides

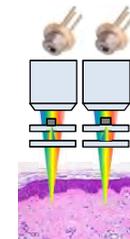
V. Bardinal, J.B. Doucet, B. Boissard, B. Sadani, T.Camps, B.Reig et E. Daran

LAAS-CNRS, Toulouse



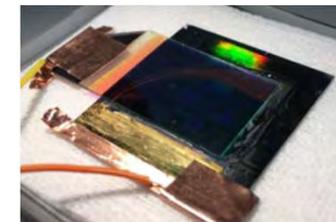
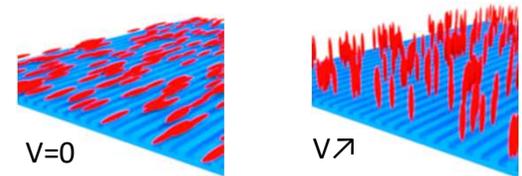
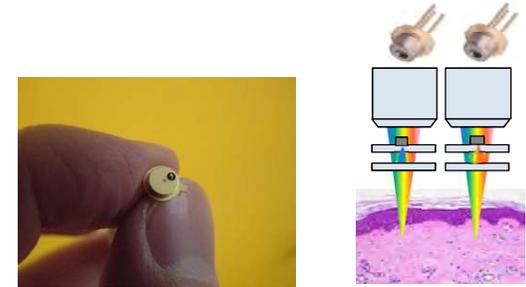
ASTRID
HYPOCAMP

(IMT Atlantique Brest,
C2N, FOTON Rennes)



ANR DOCT-VCSEL
(LAAS/FEMTO-ST/
CHU St Etienne/Pixience)

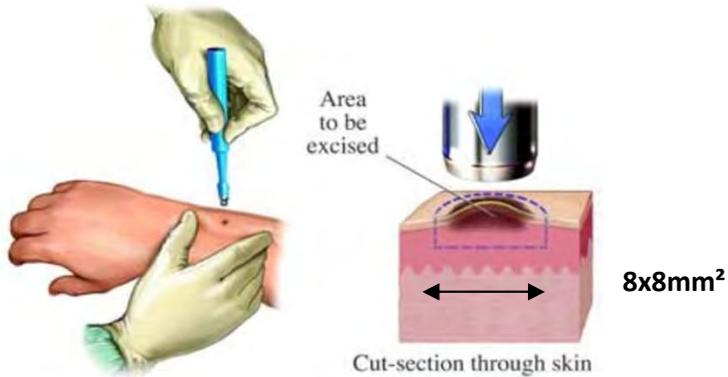
- I. Motivations : sources lasers accordables compactes pour l'instrumentation miniature
- II. Approche cristaux liquides intracavité et verrous technologiques
- III. Procédé développé et résultats
- IV. Conclusions/ Perspectives



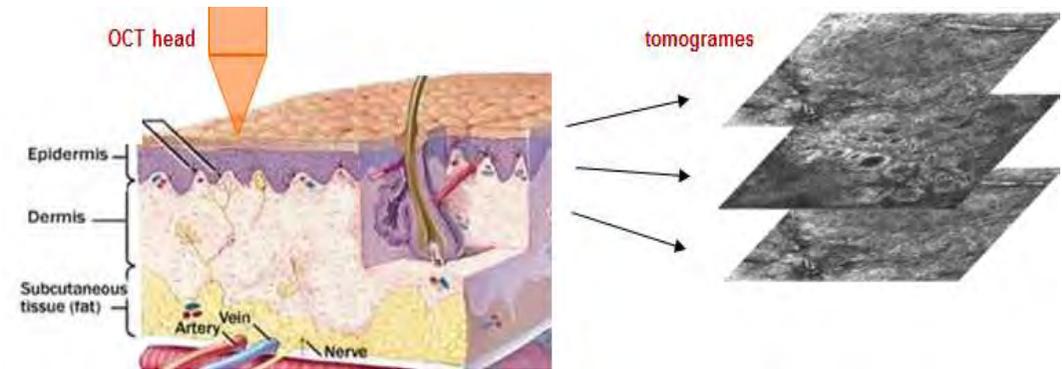
Motivations : imagerie par OCT de la peau

> Objectif : analyse précoce des pathologies de la peau

- Avant biopsie ou à la place de la biopsie



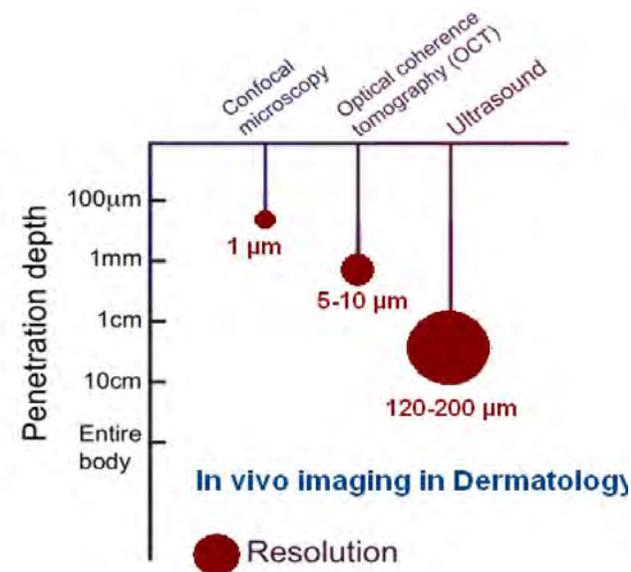
OCT pour la dermatologie



Interface épiderme / derme ~500 μ m

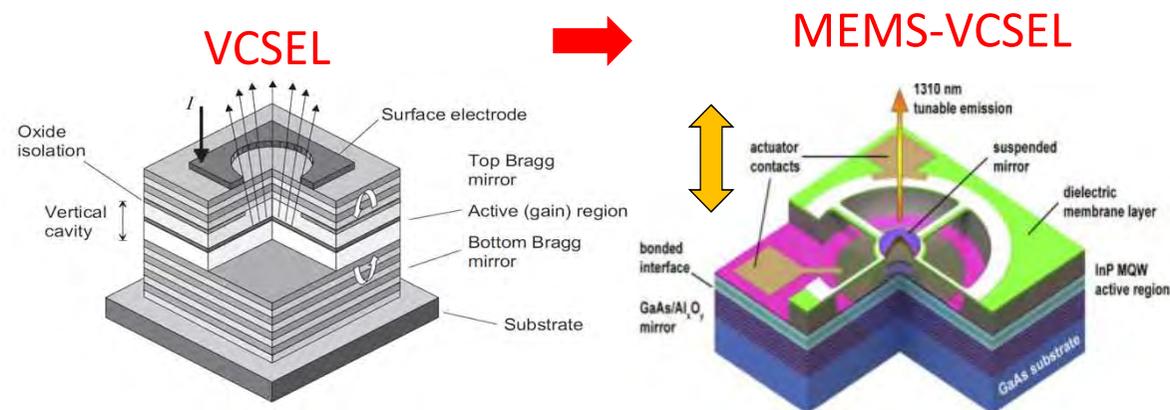
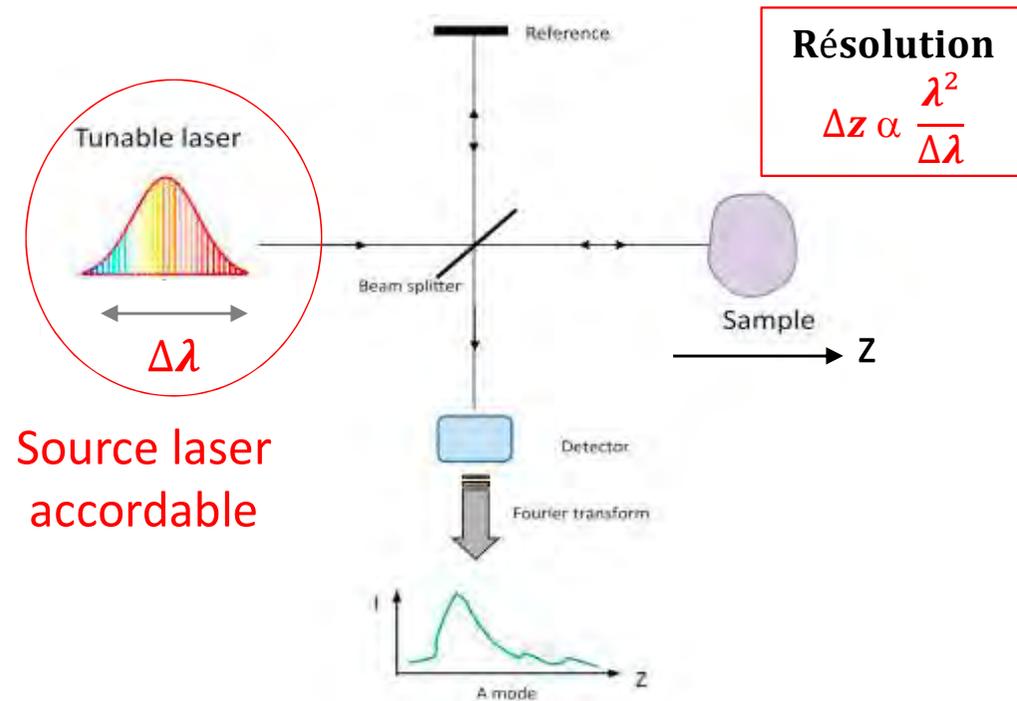
> Imagerie OCT (Tomographie par Cohérence Optique)

- Technique d'imagerie 3D *in vivo* (MIT 1991)
- Bon compromis résolution/profondeur (interface épiderme/derme)
- Uniquement à l'hôpital (massif, couteux)



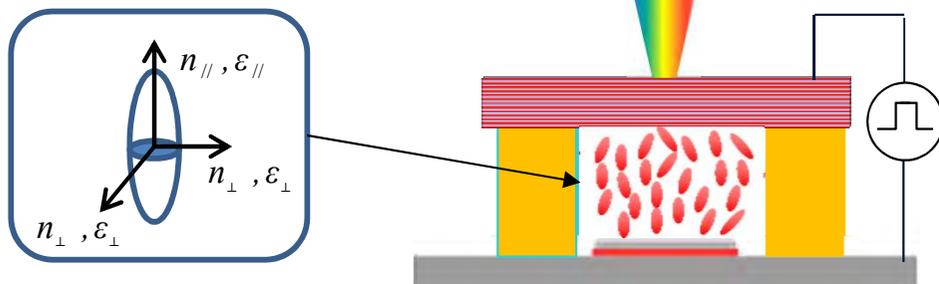
Contexte: sources compactes pour l'OCT

- > OCT : Méthode analyse interférométrique
- > Domaine fréquentiel à balayage de source (Swept Source-OCT) :
 - Miroir ref. statique + Transformée Fourier
 - Source largement accordable (résolution)
- > Sources compactes pour le SS-OCT ?
- > 1^{ères} images SS-OCT à source VCSEL en 2012 (MIT, Praevium Res., Thorlabs)
- > VCSEL: laser III-V à cavité verticale et émission par la surface
 - Faisceau circulaire, monomode
 - Consommation faible, rendement élevé
- > Accordabilité spectrale VCSEL ?
- > MEMS-VCSEL :
 - Modif longueur physique cavité
 - Accord ~ 100 nm@ $1.31\mu\text{m}$
 - Tensions élevées ($\sim 80\text{V}$), instabilités



Alternative au MEMS-VCSEL : VCSEL à cristal liquide intra-cavité

Cristal liquide nématique

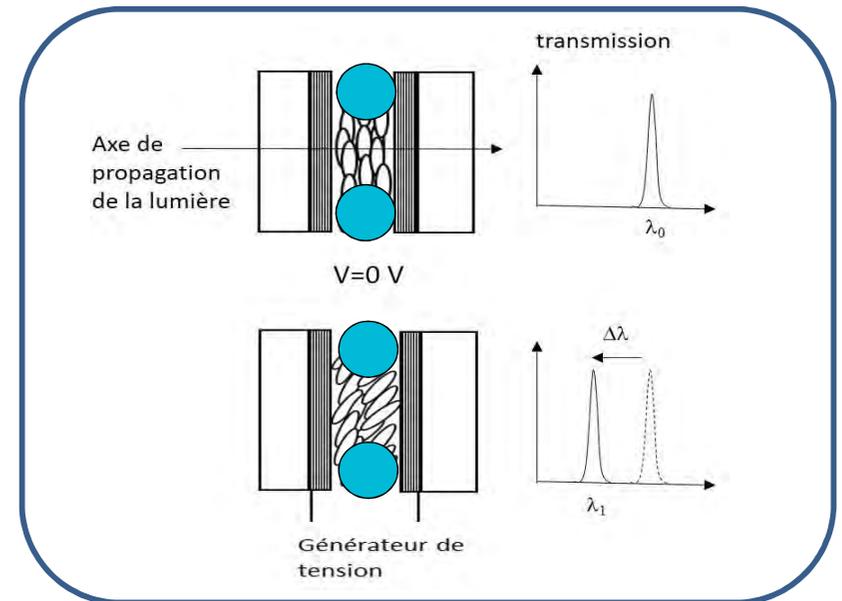


Modif indice intracavité (axe extraordinaire)

- Variation indice $\Delta n \sim 0.2$
- Tension faible $\sim 20V$
- Pas d'élément mobile

Miniaturisation filtre Fabry-Pérot à CL ?

Filtres Fabry-Pérot standards : 2 miroirs/verre/ITO + espaceurs calibrés+ colle



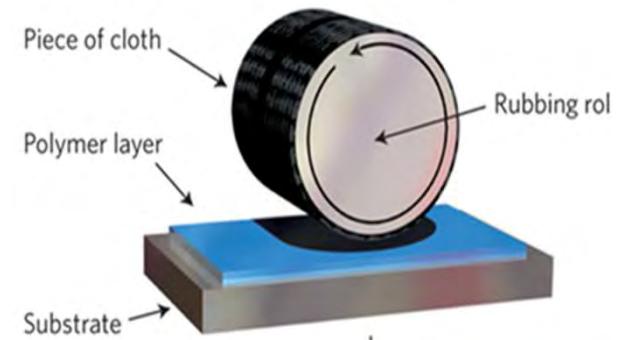
⇒ **Nouvelle techno à développer compatible avec dimensions μ -métriques + reliefs + contacts :**

- Photolithographie murs cellules
- Pré-alignement des CL ?

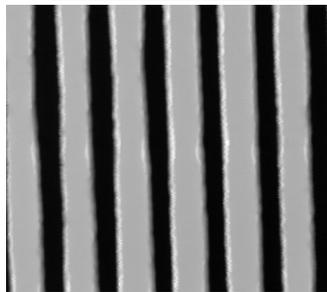
Méthode alignement des cristaux liquides ?

- **Brossage des deux surfaces internes**
- **Films de photo-alignement des surfaces**
- ⇒ Non adaptés aux composants micrométriques ou aux procédés multi-niveaux
- ⇒ **Réseau nano-imprimé dans une couche de polymère sur un des deux miroirs :**

Alignement CL
par brossage surface :

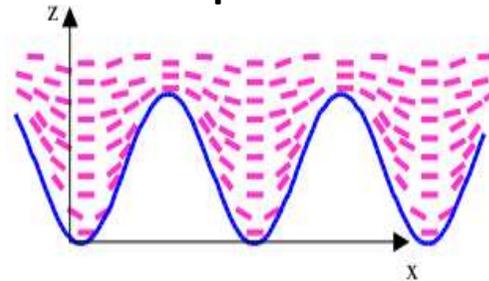


Réseau
nanostructuré



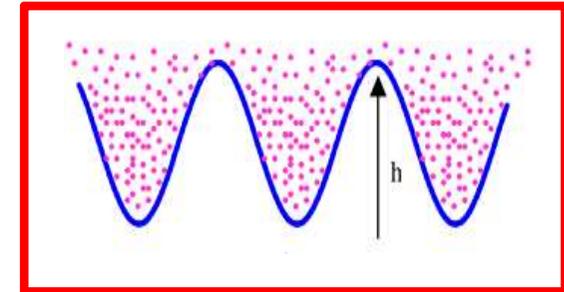
Période $< 1\mu\text{m}$
Profondeur $> 10\text{ nm}$

Déformation
Élastique des CL



**Orientation préférentielle des
CL le long de l'axe du réseau**

Pas de déformation
élastique



Fabrication du réseau par nano-impression

- **Fabrication du moule mère en Si (6" wafer) :** lithographie par projection (stepper) + gravure sèche

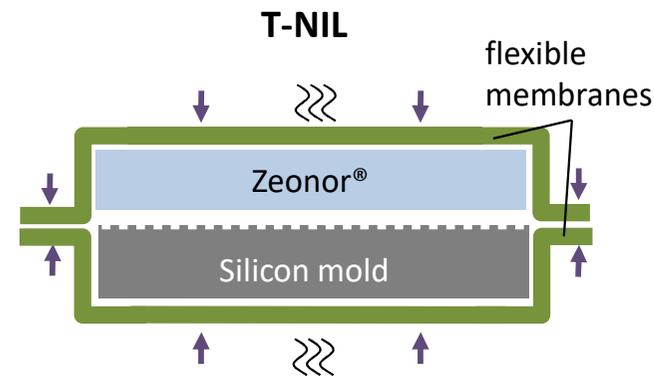
Moule silicium / Période 700 nm



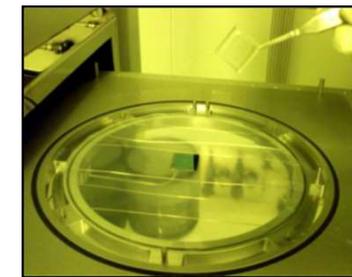
Image AFM

- **Nano-impression thermique dans un film transparent (Zeonor®) :** moule fille

T=145°C, N₂ pressure=31 bars



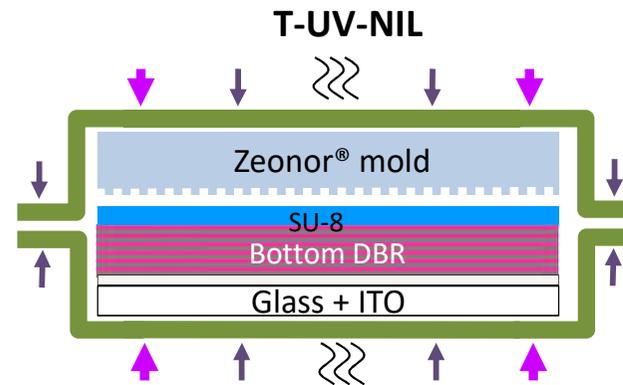
Système à double membrane flexible



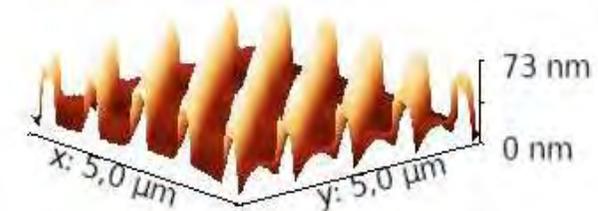
Nanonex 2500

- **Nano-impression T-UV du réseau dans une couche fine de SU-8 sur un des miroirs**

T=80°C, N₂ pressure=13 bars,
UV 2min

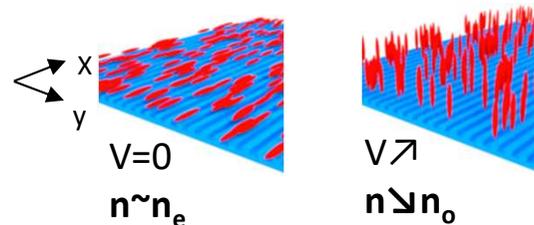
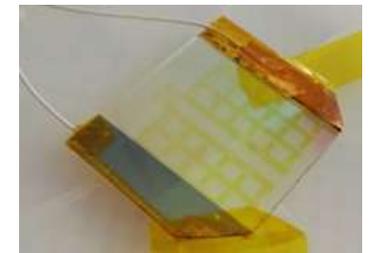
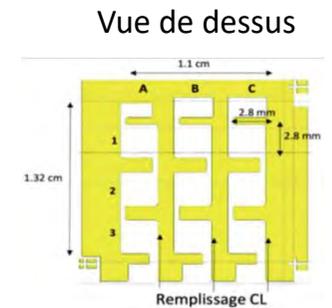
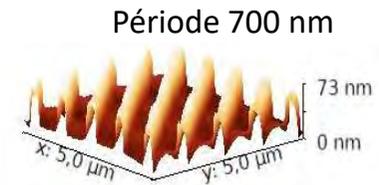
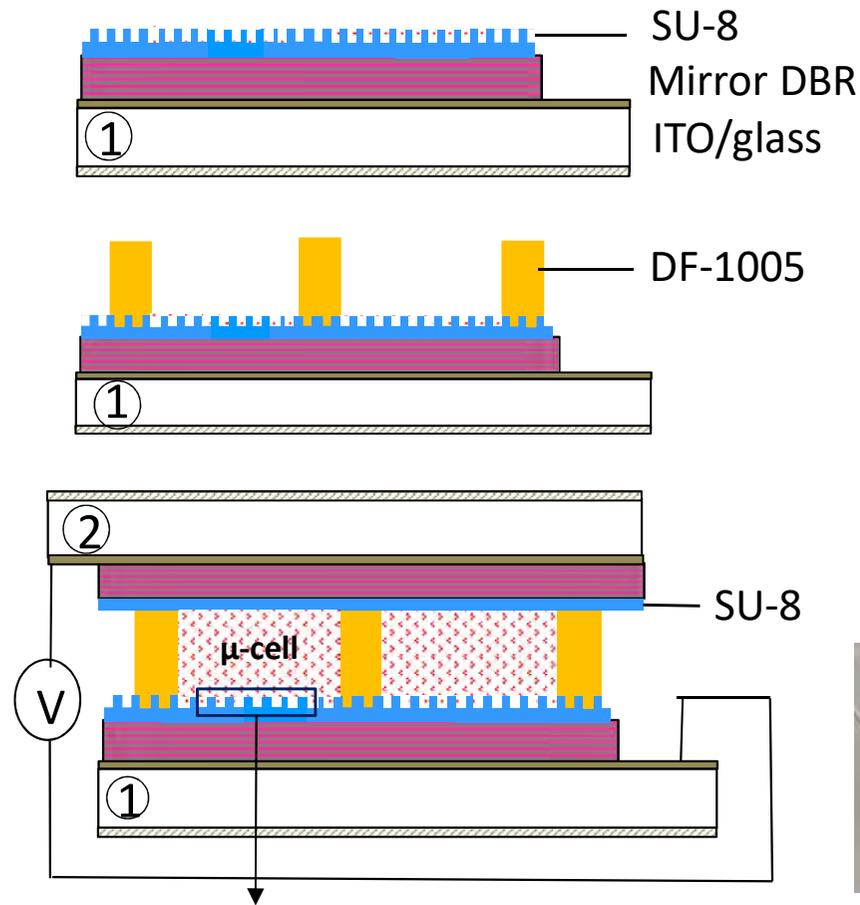


Réseau SU-8 sur DBR/ITO/verre

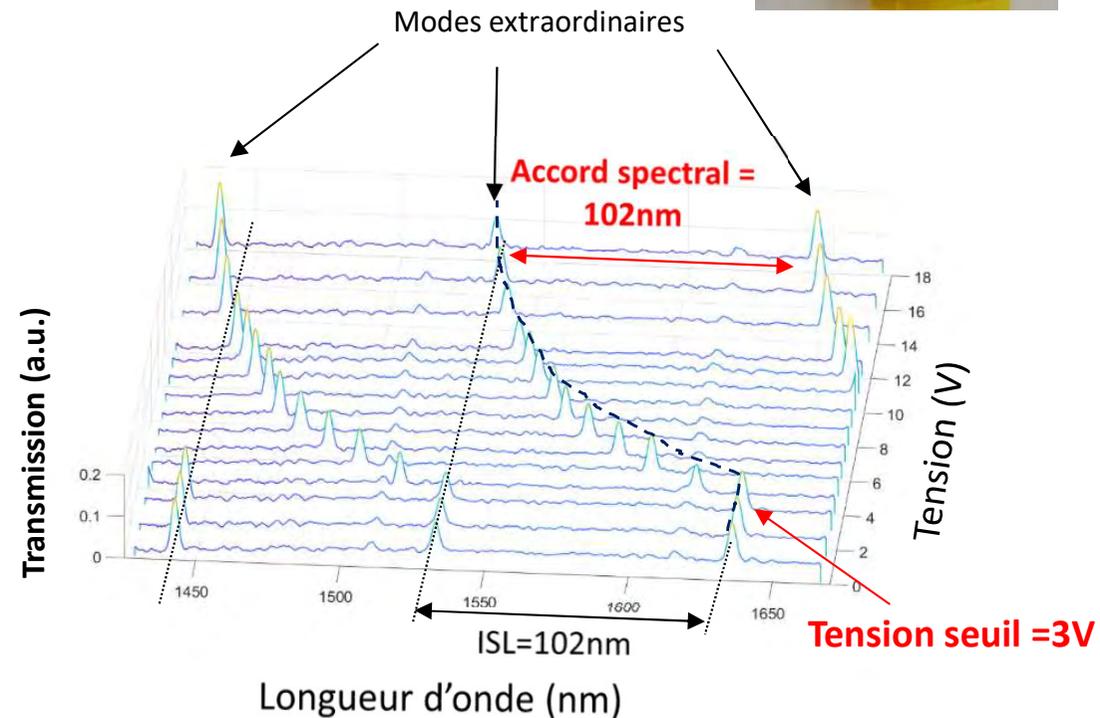
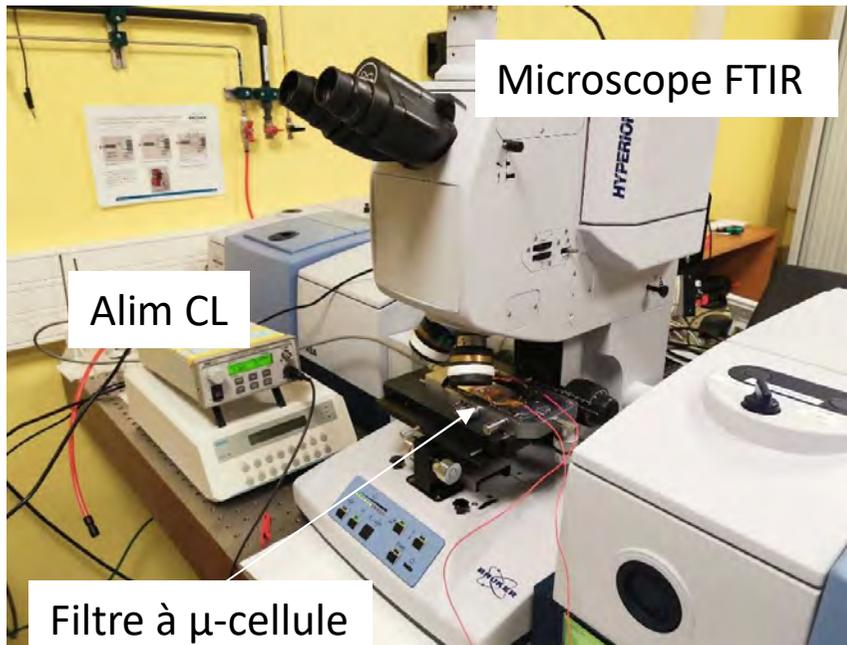
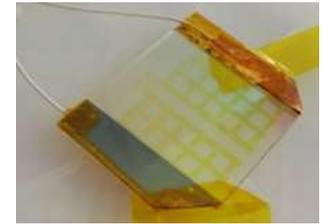


Procédé générique μ -filtres à CL

- Nano-impression du réseau d'alignement en SU-8 sur miroir ①
- Impression thermique douce film sec résine épaisse DF-1005 (5 μ m)
Nanonex T=40°C, N₂ pressure=0.7 bars
- Photolithographie/révélation des murs
- Seconde couche SU-8 sur miroir ② + UV-thermal bonding d μ -cellules
Nanonex T=120°C, N₂ press.=5 bars, UV 2min
- Remplissage μ cell par CL (E7) sous vide à chaud et fermeture canaux
- Contacts électriques sur l'ITO

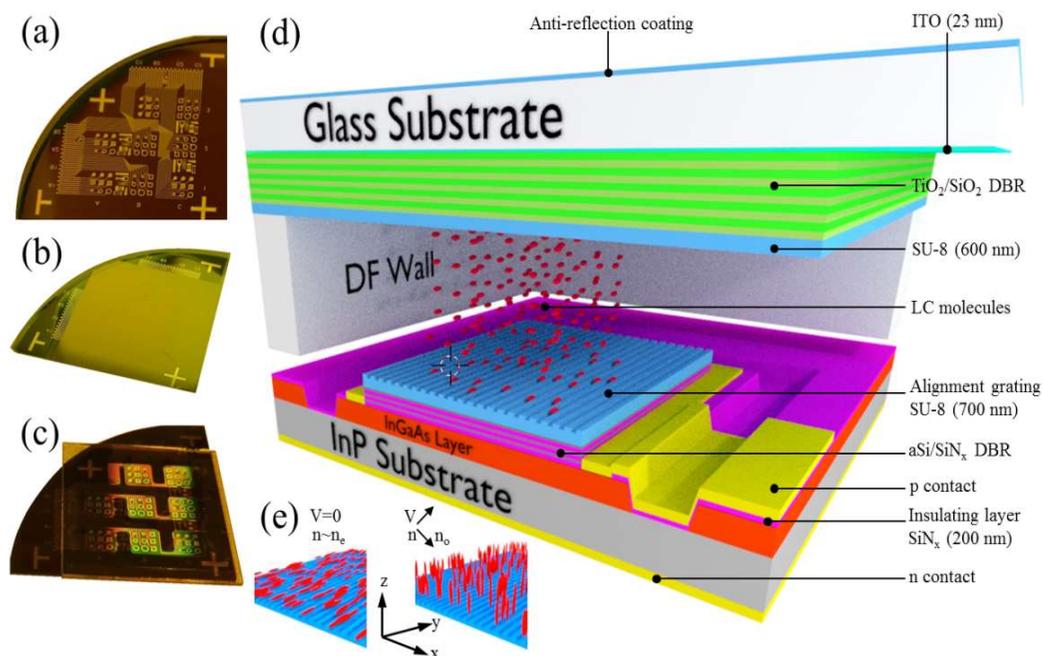


- > Mesures localisées spectres transmission vs tension appliquée :

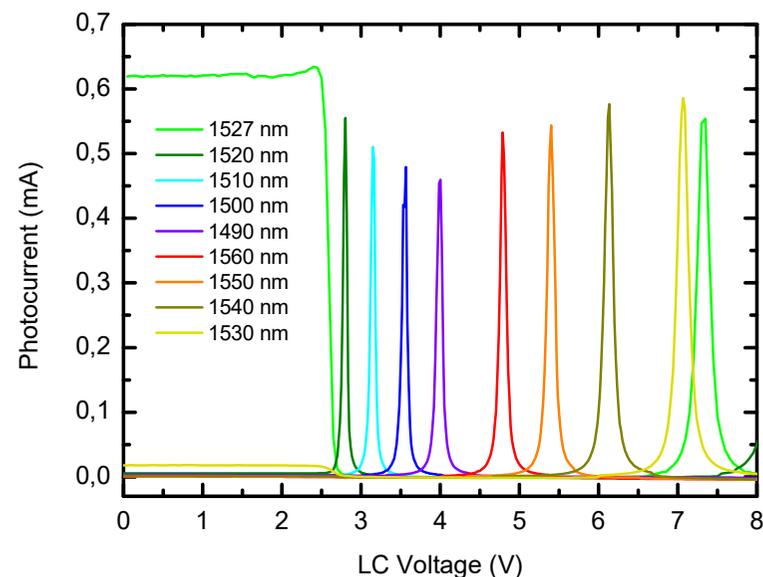


102nm @ 20V sans saut de mode ($\Delta\lambda/\lambda \sim 6\%$ \Leftrightarrow MEMS !)
 Pertes optiques <2 dB Largeur pic FWHM~0.3nm, homogénéité ~3%

- Photodiode P-I-N à base d'InP + filtre FP à CL



Photocourant vs λ_{sonde} et tension CL :



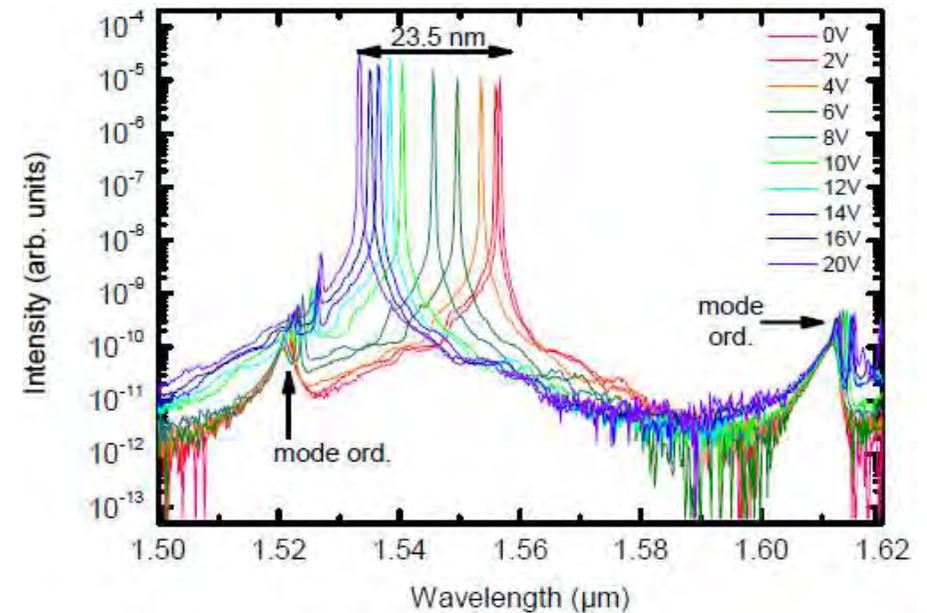
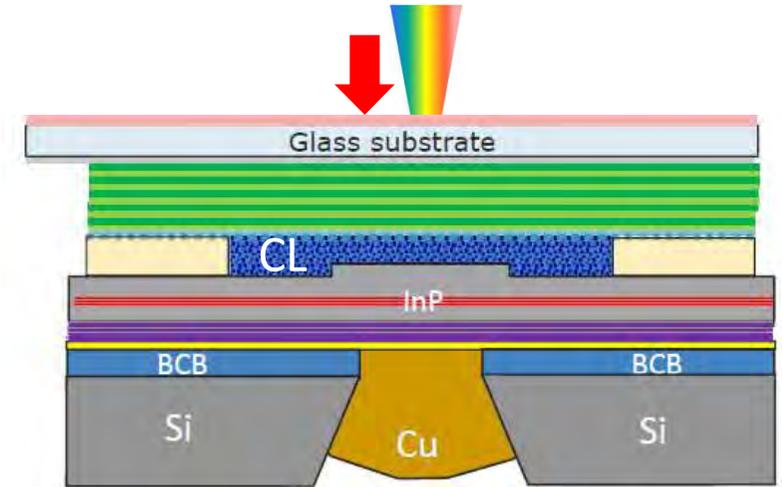
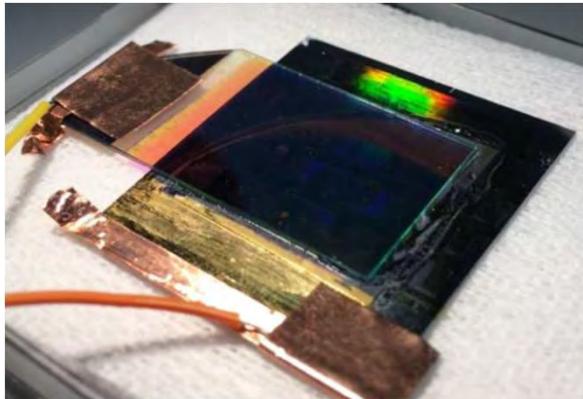
- Photodiode accordable sur $\Delta\lambda = 80 \text{ nm}$ avec $V < 7\text{V}$ ($S=0.43 \text{ A/W}$)
- 1^{ère} validation de la technologie sur un composant photonique actif

[C Levallois, et al., Optics Express, 2018]

VCSEL à CL à pompage optique à 1.55μm



- > Alignement μcellules / zones sur plots Cu
- > **Démonstration 1er VCSEL à CL fonctionnant en continu à l'ambiante !**
- > **Accord 23 nm @ 20V RT CW**
- > **2021 : nouveau CL avec $T_c \nearrow : 42 \text{ nm} !$**



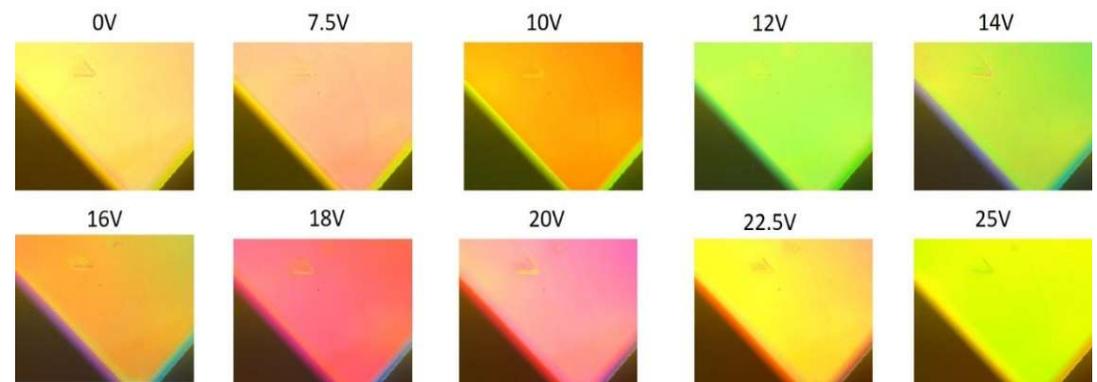
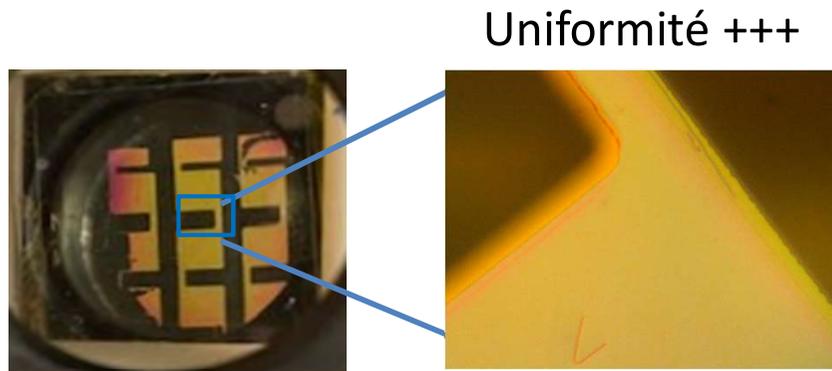
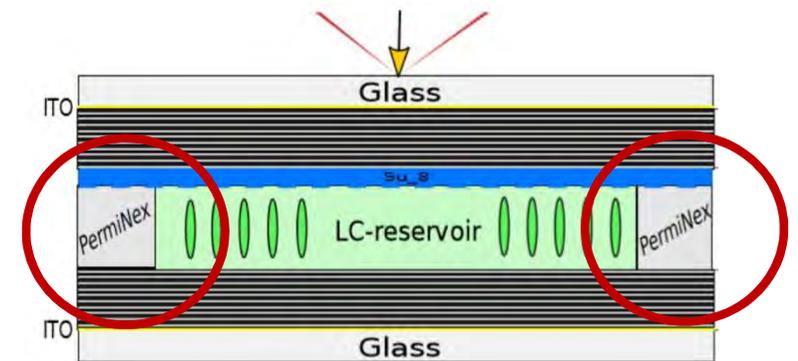
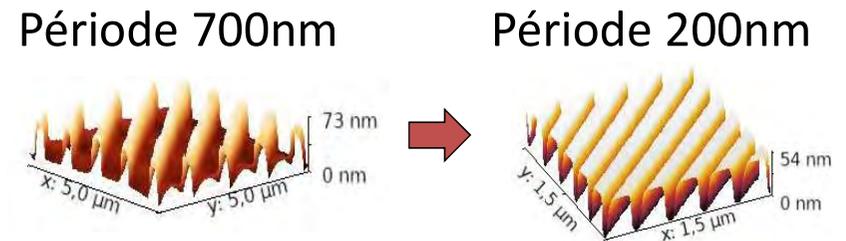
[C. Levallois, B. Boisdard et al, CSW 2019]

[B. Boisdard et al, IEEE PTL, 2020]

[C. Paranthoen et al, ISLC 2021]

Modification procédé pour 850 nm

- > **Dimensions réduites** \Rightarrow réduction période réseau (\searrow diffraction, \nearrow ancrage CL)
- > **Modification nature murs polymère** (épaisseur CL \searrow + auto-scellement)
- > **1ers μ -filtres à CL à 850 nm :**



Accord 38nm@14V (~4.4%)

Technologie μ -cellules à CL exploitant les avantages de la Nanonex 2500 :

- Ancrage CL efficace avec 1 seul réseau nano-imprimé
- Démonstration composants accordables à μ -cellules à CL : filtres, photodétecteurs, VCSELS à pompage optique
- En cours : test des filtres à CL à 850 nm dans système SS-OCT (FEMTO)

Perspectives : VCSEL accordable à CL à pompage électrique à 850 nm

