

# ASSEMBLÉE GÉNÉRALE LabEx FOCUS 2022

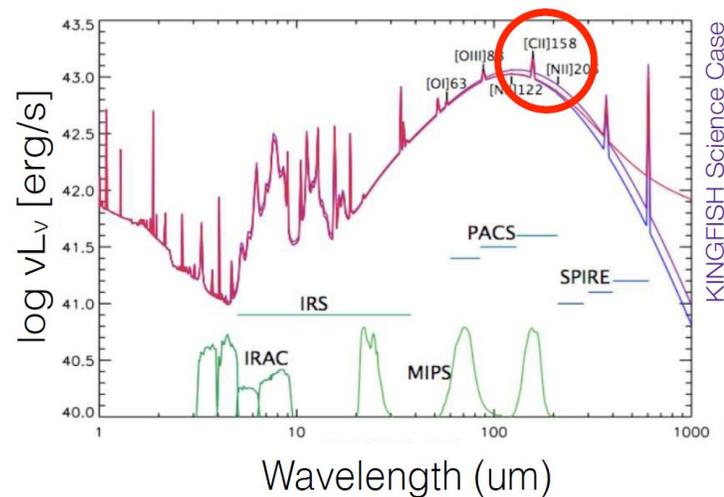
T. Tollet

20-21 juin 2022

## Spectro-imagerie on-chip dans le domaine submillimétrique

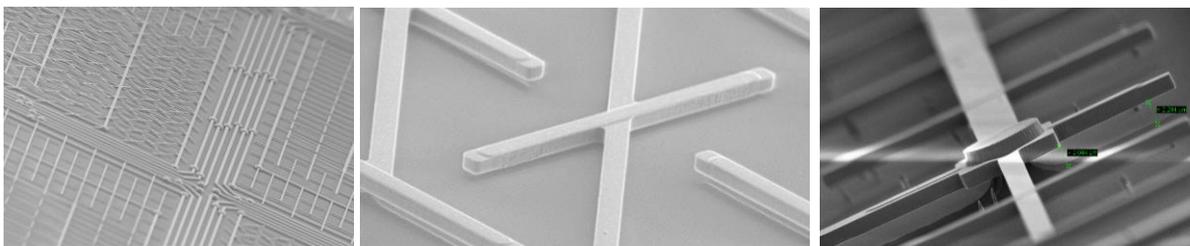
## Objectif scientifique :

- Détection du traceur C+ et continuum
- Etude de raies particulières pour caractériser finement la physique des zones de formation stellaire

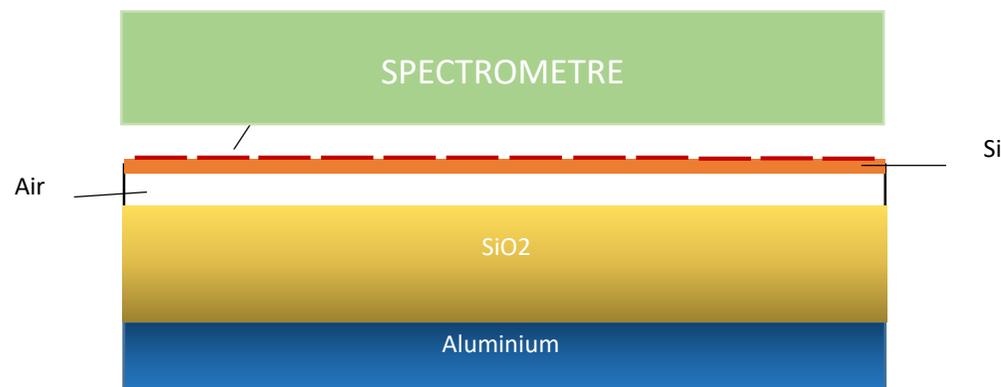


## Le détecteur actuel :

- B-BOP, bolomètre résistif dans la bande 100μm
- Matrice à cavité résonnante quart-d'onde
- Dipôles absorbants sensibles à la polarisation



Détails des pixels de B-BOP



Empilement schématique de la matrice de B-BOP

**Pistes étudiées : 2 types de Fabry-Perot multi-bandes**

## Rappel sur le Fabry-Perot

### Le FP à miroirs de Bragg à balayage

*Principe de fonctionnement*

*Premiers résultats sur étalons fixes*

*Futur prototype*

### Le FP158 (Dap – CEA LETI)

*Principe de fonctionnement*

*Processus de fabrication*

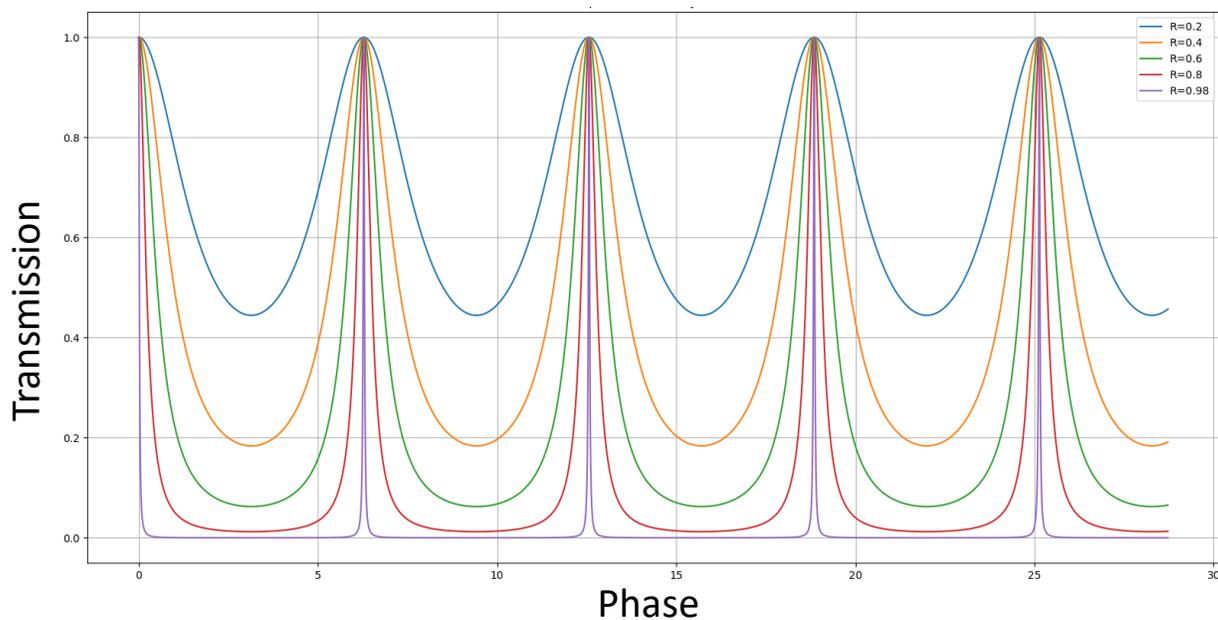
*Performances*

*Etude du couplage avec une matrice de bolomètre*

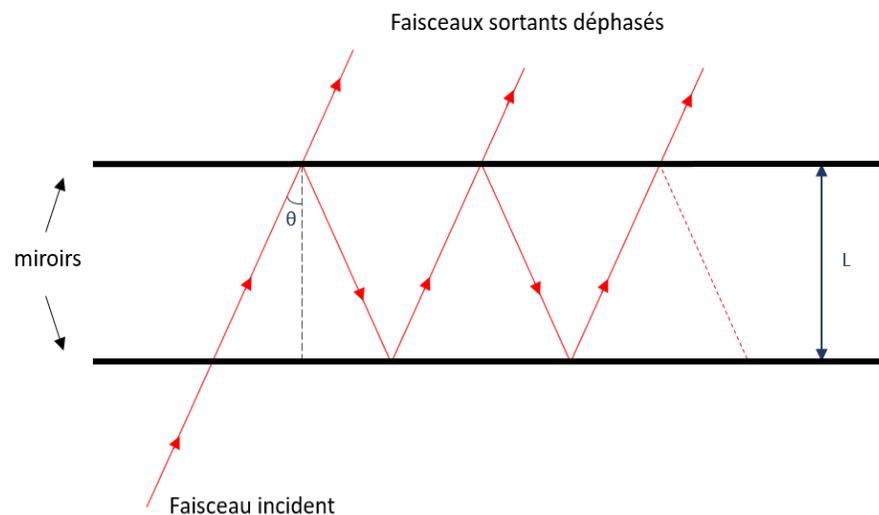
## Perspectives

# Rappels sur le Fabry-Perot

- 2 miroirs parallèles très réfléchissants
- Interférences constructives en sortie → transmet un peigne de longueurs d'onde proportionnelles à  $L$



Réponse d'un FP pour différent  $R$



Fonctionnement schématique du Fabry-Perot

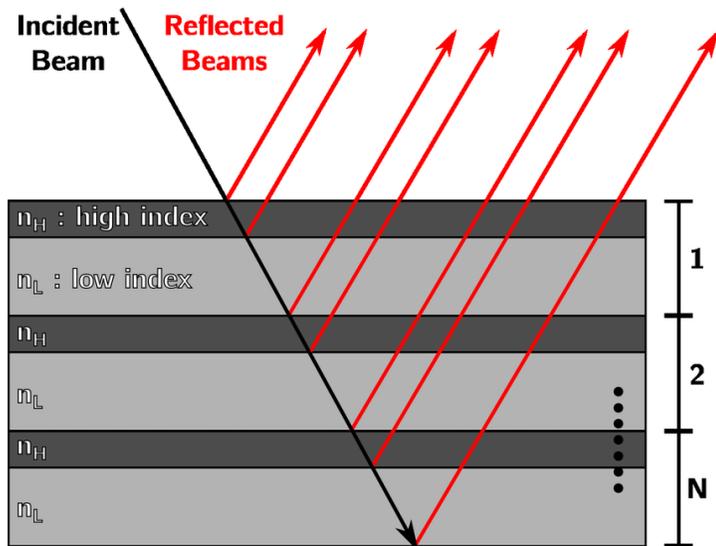


Résolution et rendement dépendent principalement de la réflectivité des miroirs

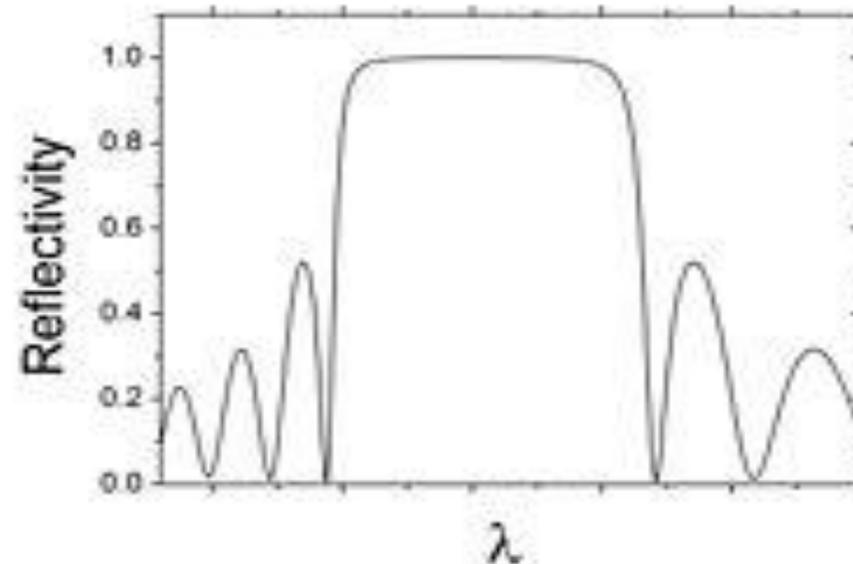
# Le FP à miroirs de Bragg à balayage

## Les réflecteurs de Bragg :

- Empilement de couches diélectriques quart d'onde
  - Alternance de fort et faible indices
- Réflexion proche de 100% autour de la longueur d'onde de Bragg



*Schéma d'un empilement de Bragg*



*Réponse en réflexion d'un empilement de Bragg*

# Le FP à miroirs de Bragg à balayage

## Le concept (Sophie Bounissou) :

- Deux miroirs de Bragg Si-air-Si + une cavité variable
  - Longueur d'onde cible : 320µm
- Fabry-Perot moyenne résolution sans perte

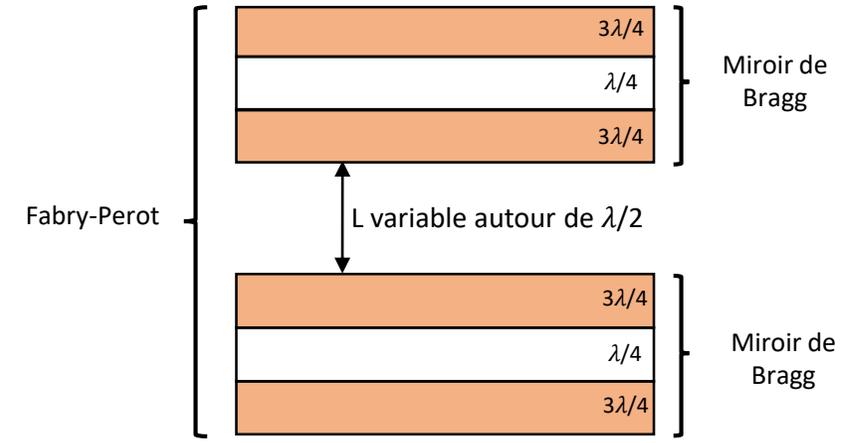
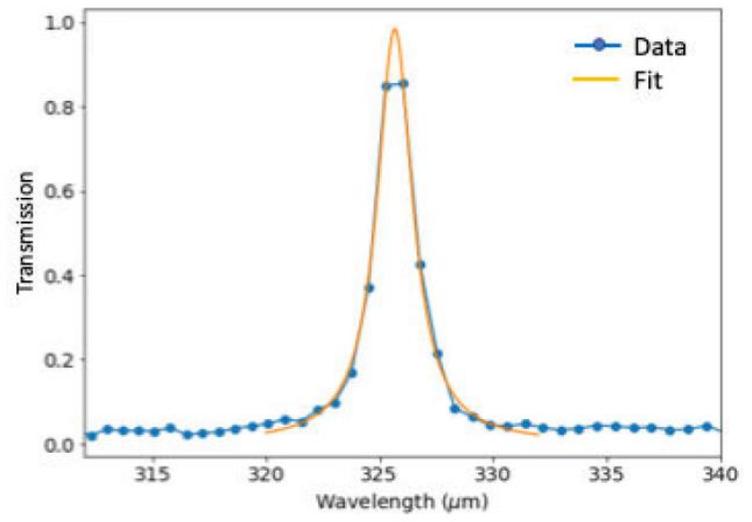


Schéma du FP à miroir de Bragg



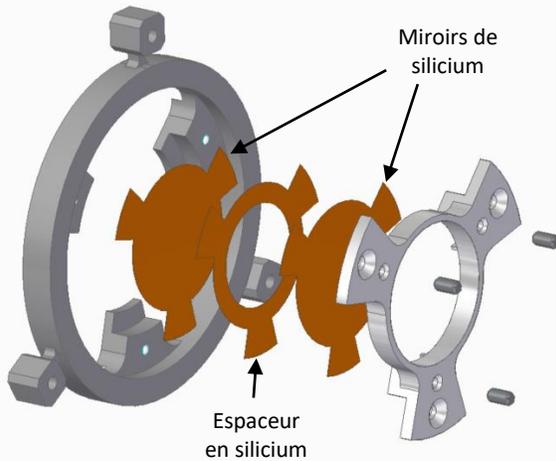
Pic de transmission de l'étalon mesuré en FTS

- Concept du FP fixe validé par la mesure en FTS à 77K (fin 2019)
- Efficacité 98%
- Résolution 220 (~1350 km/s)

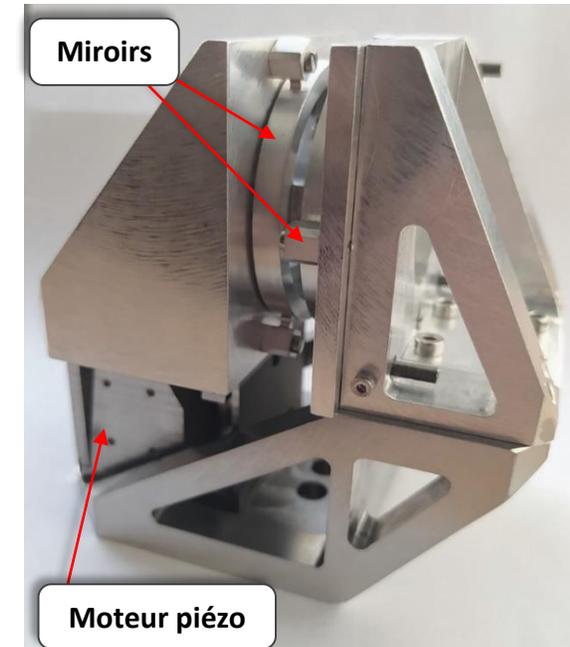
# Le FP à miroirs de Bragg à balayage

**Balayage de la cavité :** A l'aide de moteurs piézoélectriques à pas nanométrique à 77K

**Premier prototype :** Moteur piézoélectrique linéaire



*Assemblage d'un miroir de Bragg*



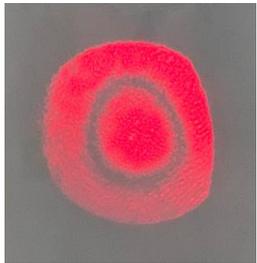
*Prototype du FP de Bragg à balayage*

# Le FP à miroirs de Bragg à balayage

**Balayage de la cavité** : A l'aide de moteurs piézoélectriques à pas nanométrique à 77K

**Premier prototype** : Moteur piézoélectrique linéaire

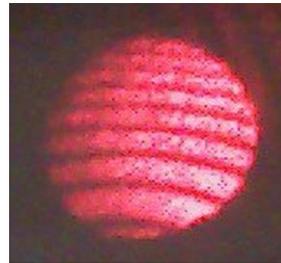
Franges d'interférences obtenues avec le Fizeau montrant la déformation de la structure lors de la mise sous vide cryogénique



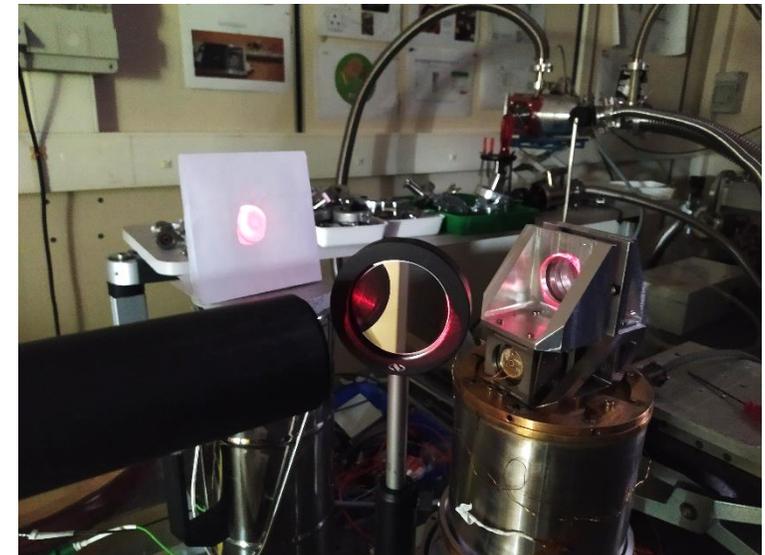
A T et P ambiantes



Sous vide



Sous vide à 77K



*Interféromètre de Fizeau*

**Déformation de la structure sous vide cryo en dehors des tolérances !**

# Le FP à miroirs de Bragg à balayage

**Balayage de la cavité :** A l'aide de moteurs piézoélectriques à pas nanométrique à 77K

**Premier prototype :** Moteur piézoélectrique linéaire

Franges d'interférences obtenues avec le Fizeau montrant la déformation de la structure lors de la mise sous vide cryogénique



A T et P ambiantes

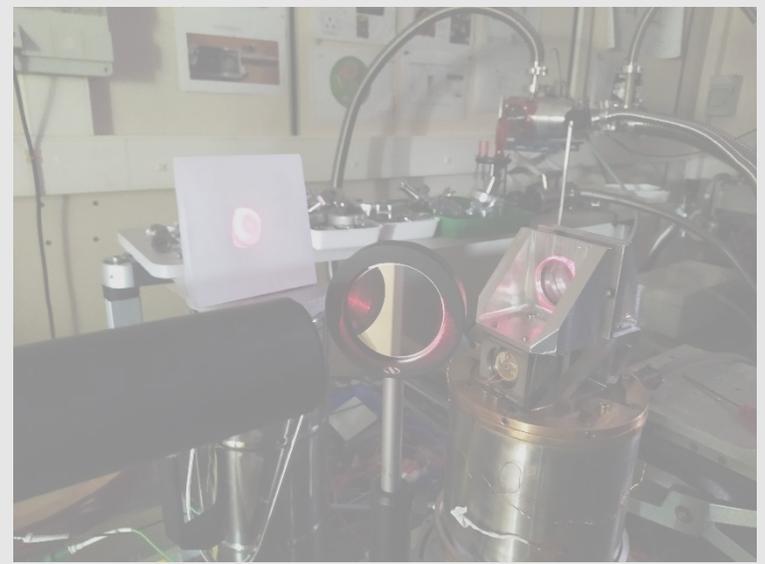


Sous vide



Sous vide à 77K

**NON ADAPTÉ**



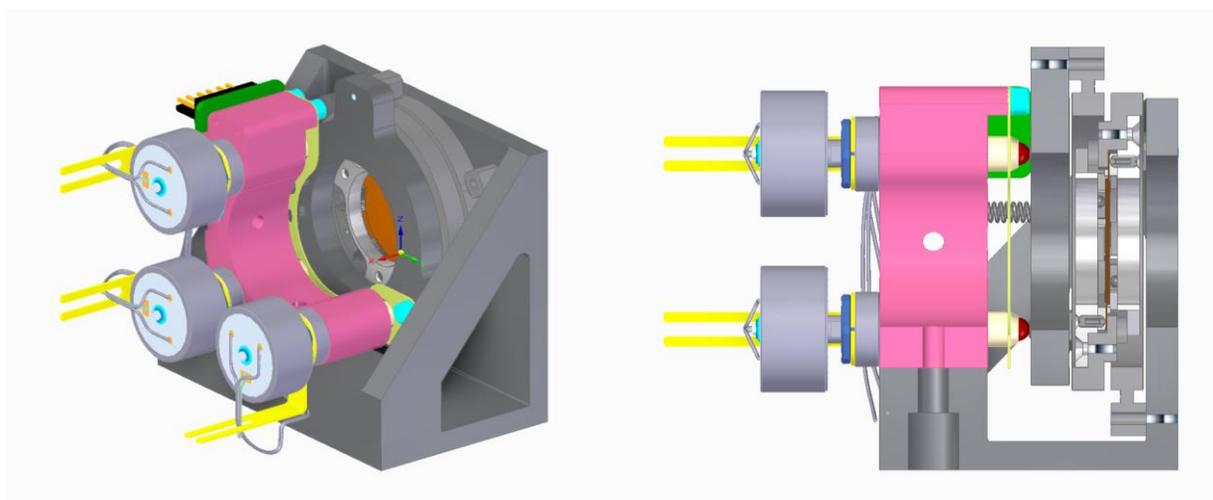
*Interféromètre de Fizeau*

**Déformation de la structure sous vide cryo en dehors des tolérances !**

# Le FP à miroirs de Bragg à balayage

**Balayage de la cavité** : A l'aide de moteurs piézo à pas nanométrique à 77K

**Second prototype** : Montage tilt/tip/piston avec 3 moteurs piézoélectriques (en cours de conception)



*Vue CAO et coupe du prototype*

## Avantages :

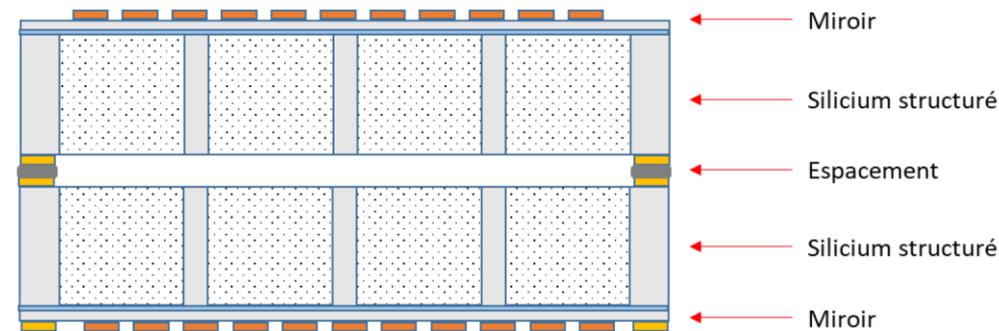
- Correction en temps réel motorisée du parallélisme des miroirs
- Encodeurs optiques sur chaque moteur



**Assemblage et tests  
cryo d'ici fin 2022**

## Présentation générale :

- 16 zones par matrice pour 6 longueurs d'onde différentes autour de 158 $\mu\text{m}$  (149, 157, 158, 159, 160 et 169)
- 16 pixels de 750 $\mu\text{m}$  x 750 $\mu\text{m}$  par zone
- 1156 piliers par pixel (34x34)



Coupe d'une matrice de FP158

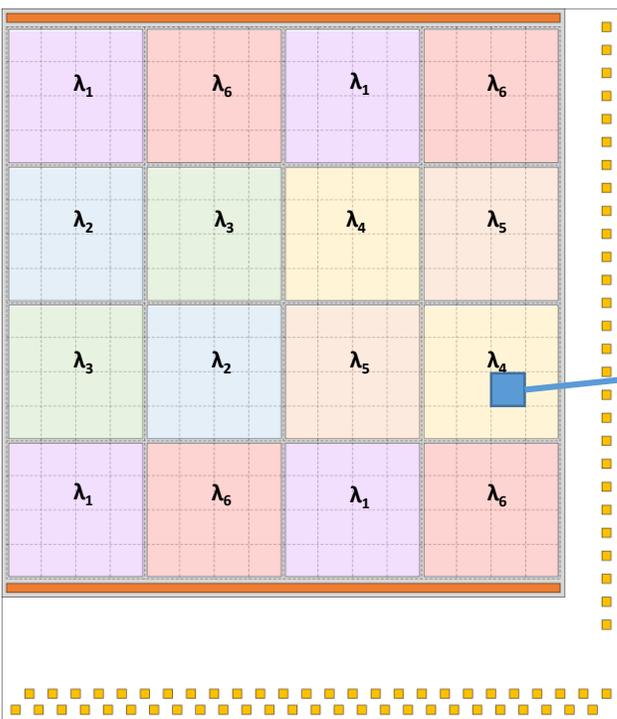
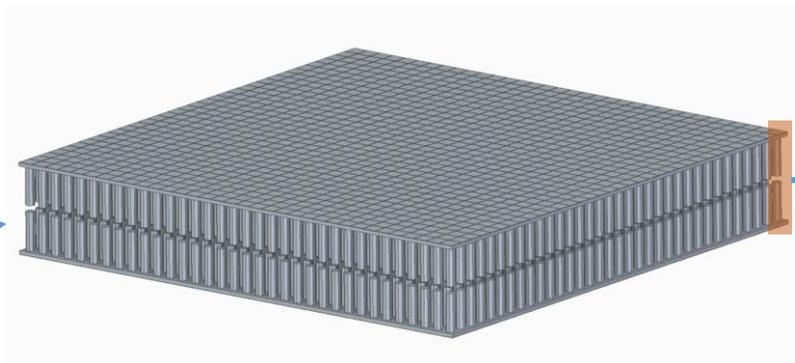
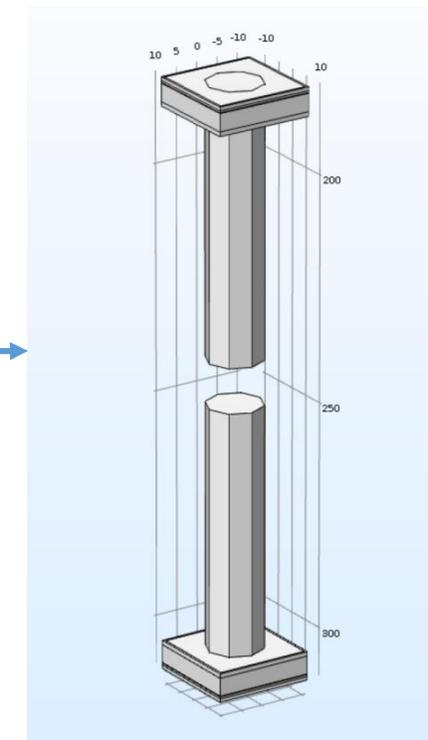


Schéma d'une matrice



1 pixel = 34x34 cellules

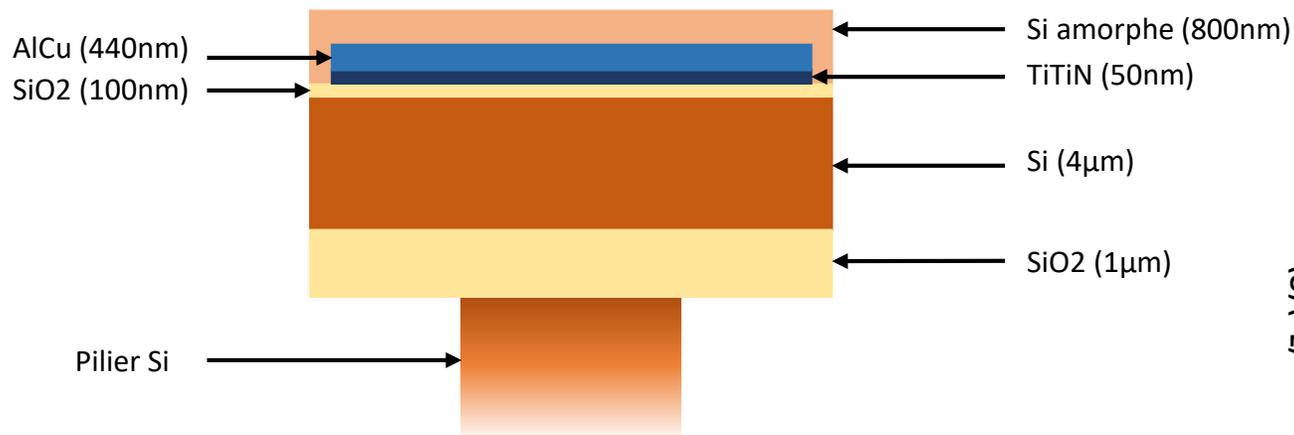


Modèle 3D d'une cellule

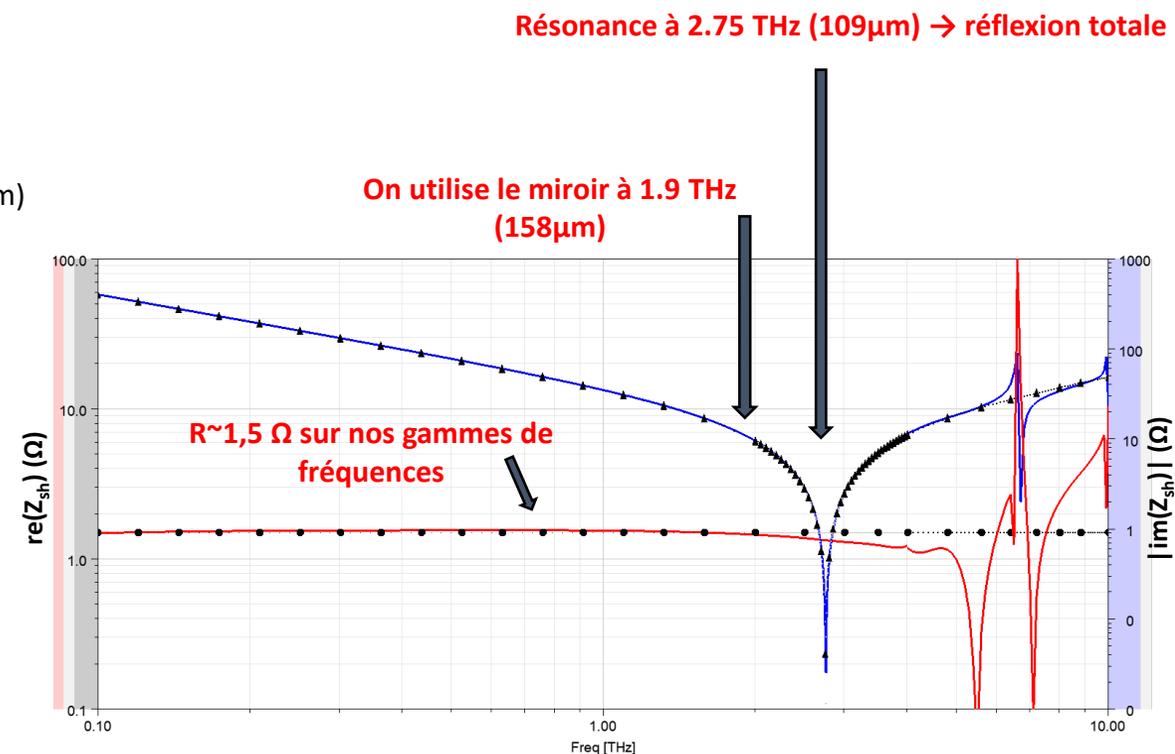
## Les miroirs : Patch d'AlCu / TiTiN

1 patch métallique au dessus de chaque pilier

→ Impédance adaptée pour transmettre le 158 $\mu\text{m}$



Coupe d'un patch

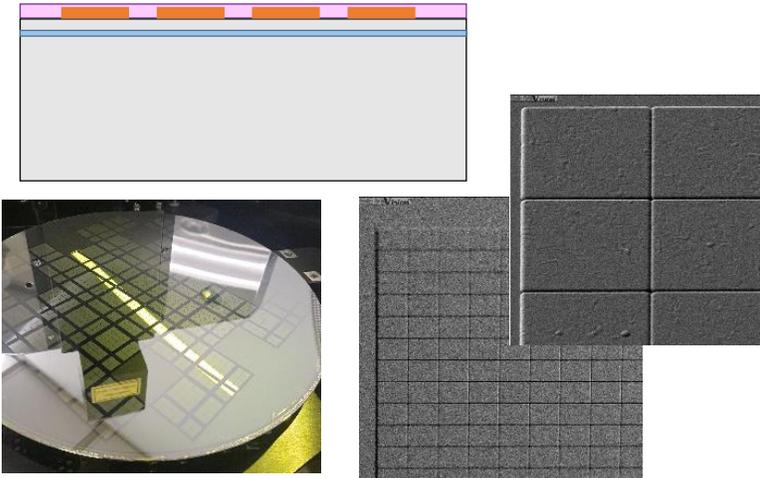


Simulation de l'impédance électrique du patch

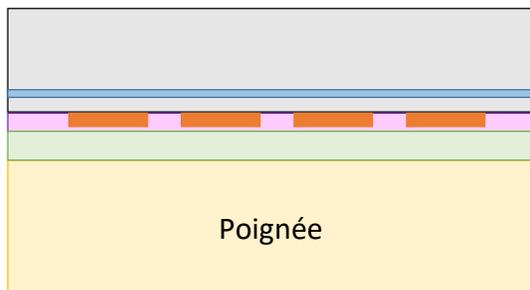
- Avantages :**
- Limiter les pertes métalliques (absorption <12% du champ E par miroir)
  - Couche métallique assez épaisse pour un R haut

## Fabrication (CEA LETI)

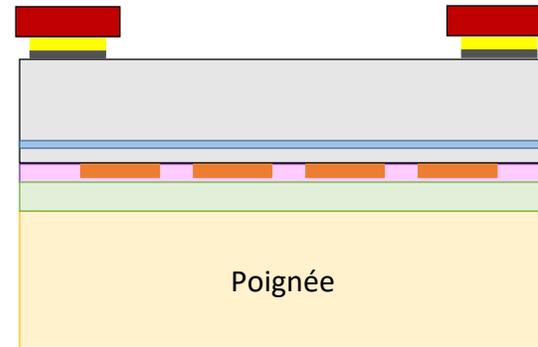
1. Fabrication des miroirs sur un wafer SOI (patches métalliques dans une couche de silicium amorphe).



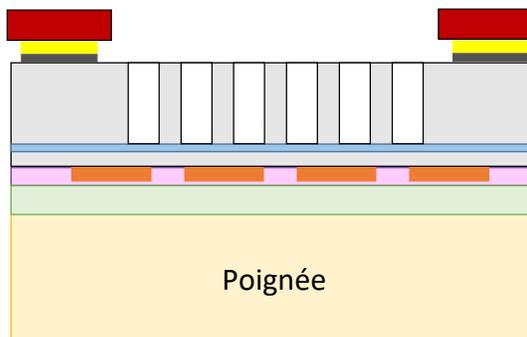
2. Collage sur une poignée en verre et amincissement du silicium à 57 µm (hauteur finale des piliers en silicium).



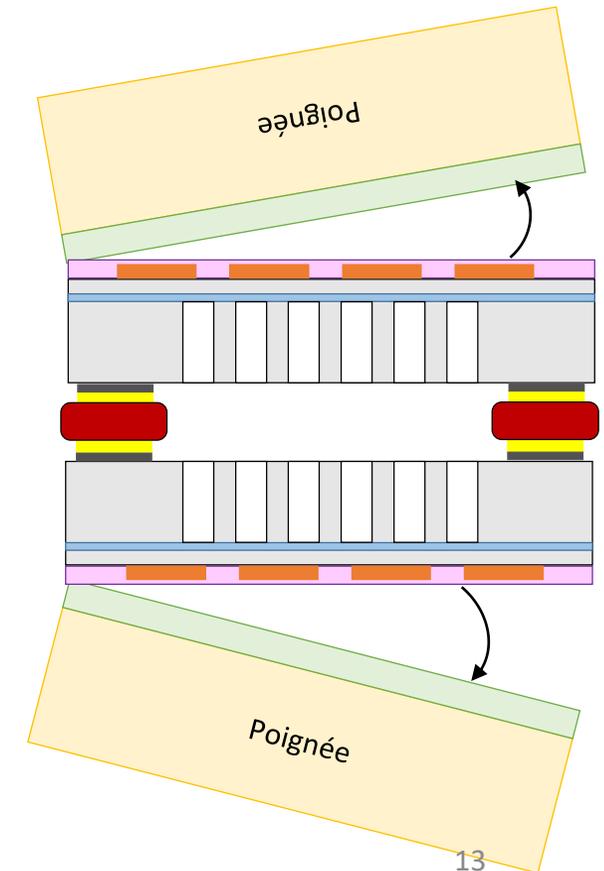
3. Réalisation des pads d'hybridation (UBM Ti/Pt/Au et Indium).



4. Gravure des piliers en silicium (gravure profonde).



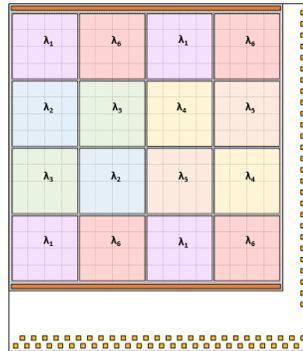
5. Découpe des wafers, hybridation des puces et retrait des poignées.



# Le FP158 – Fabry-Perot multi-bandes microstructuré

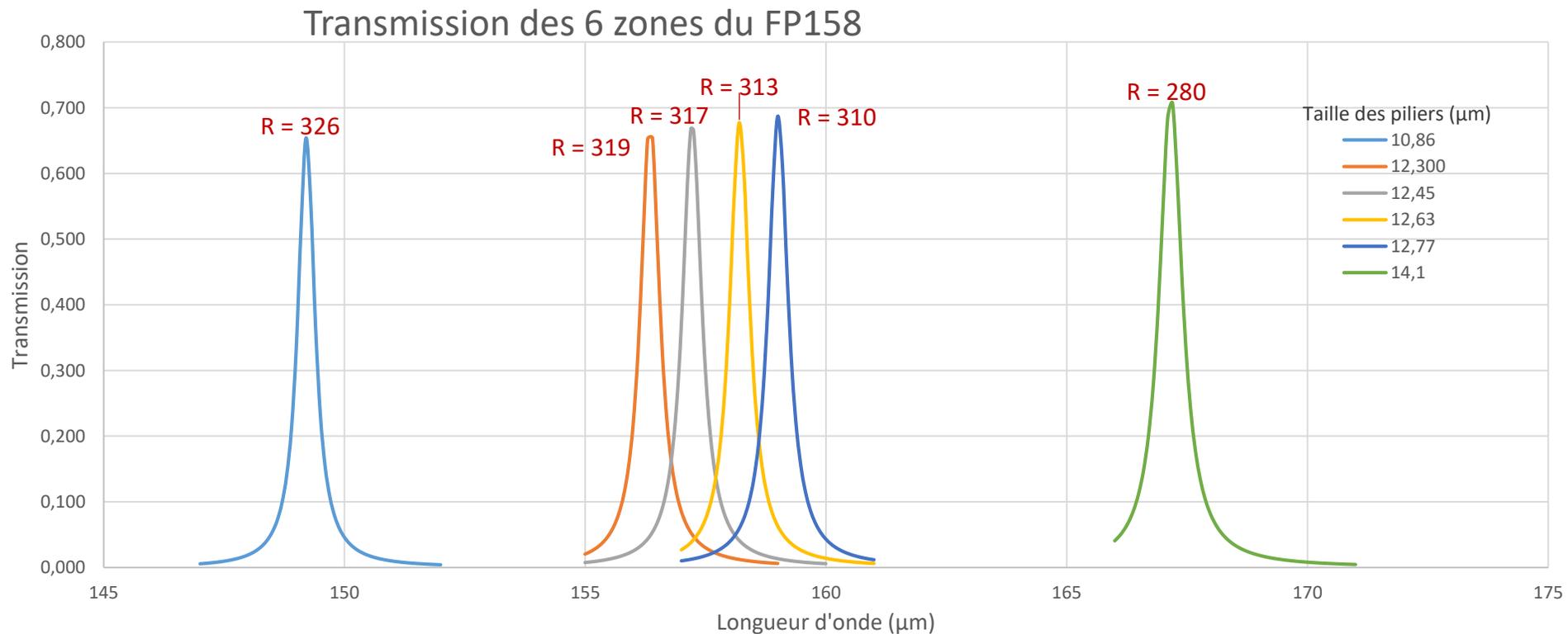
## Performances

Simulation par EF (COMSOL)



Rappel :

6 zones → 6 pics de transmission



## Couplage du FP158 à une matrice BBOP

Simulations de l'Airgap optimum optimisant les performances du FP et du détecteur :

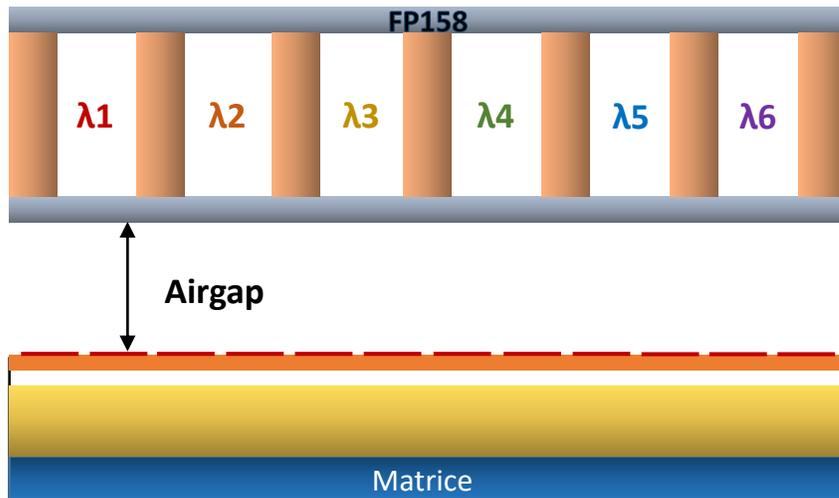
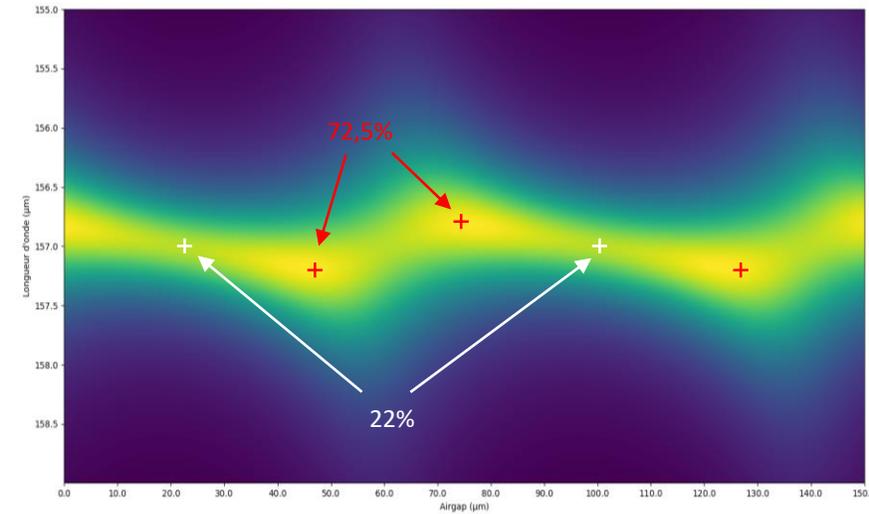


Schéma du système simulé

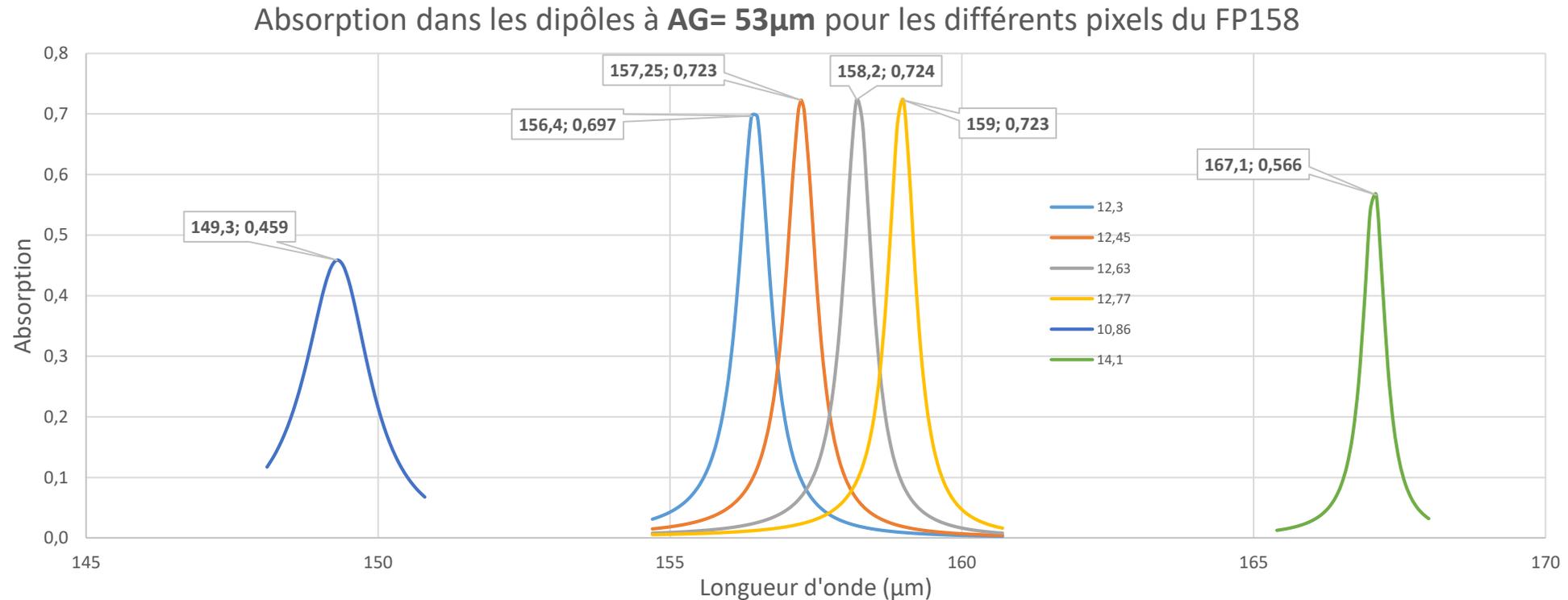


Carte d'absorption en fonction de l'AG pour un pilier de 12,45 $\mu\text{m}$

- Performances non constantes suivant l'AG
- Périodicité des AG optimum, dépendance à la longueur d'onde transmise (période de  $\lambda/2$ )

**Compromis dans le choix de l'AG pour atteindre de bonnes performances sur les 6 bandes**

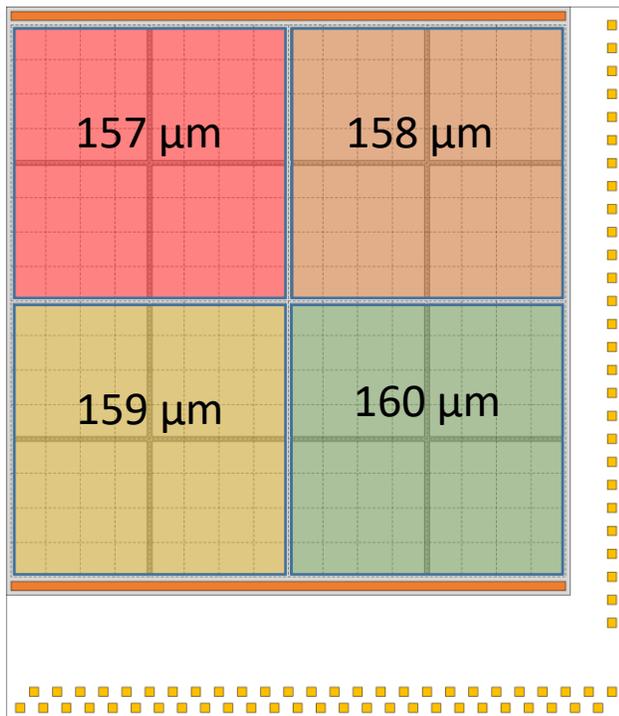
## Couplage du FP158 à une matrice BBOP



### Effets sur les performances :

- Gain en rendement (73% vs 67%)
- Petite perte en résolution (246 vs 317)
- Bandes 149μm et 169μm dégradées

## Premiers tests à venir



**Matrice 4 zones en cours de fabrication  
au CEA-Leti**

→ Mesure en FTS en transmission de  
chaque zone à partir de septembre 2022

## D'ici fin 2022 :

- Fabrication, tests et mesures à froid des deux prototypes de Fabry-Perot

## A plus long terme :

- Optimisation de la méthode de balayage du FP de Bragg (MEMS, etc.)
- Amélioration des prototypes pour augmenter les performances (taille des cavités, miroirs, etc.)