

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE LabEx FOCUS 2022

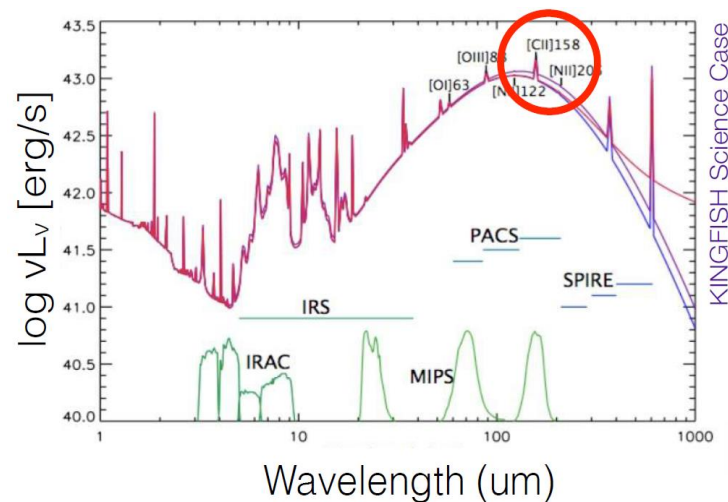
T. Tollet

20-21 juin 2022

Spectro-imagerie on-chip dans le domaine submillimétrique

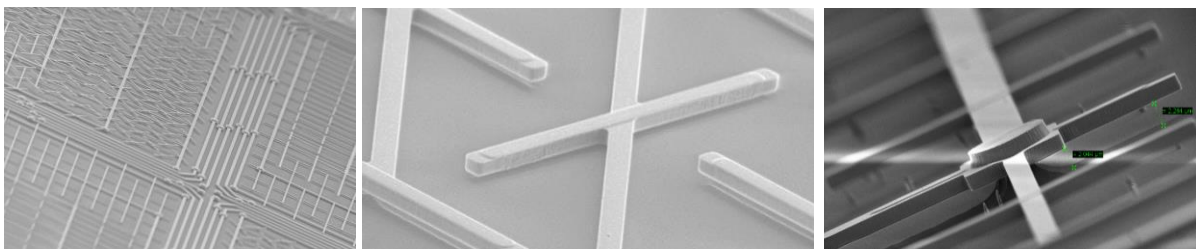
Objectif scientifique :

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

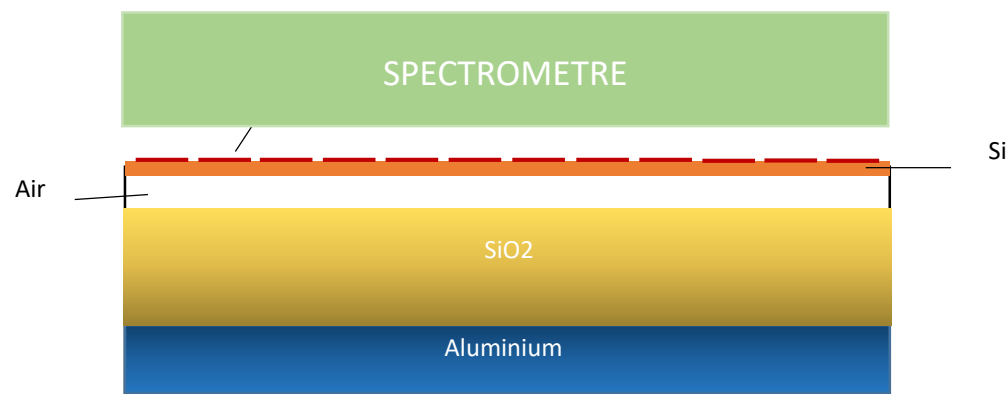


Le détecteur actuel :

- 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

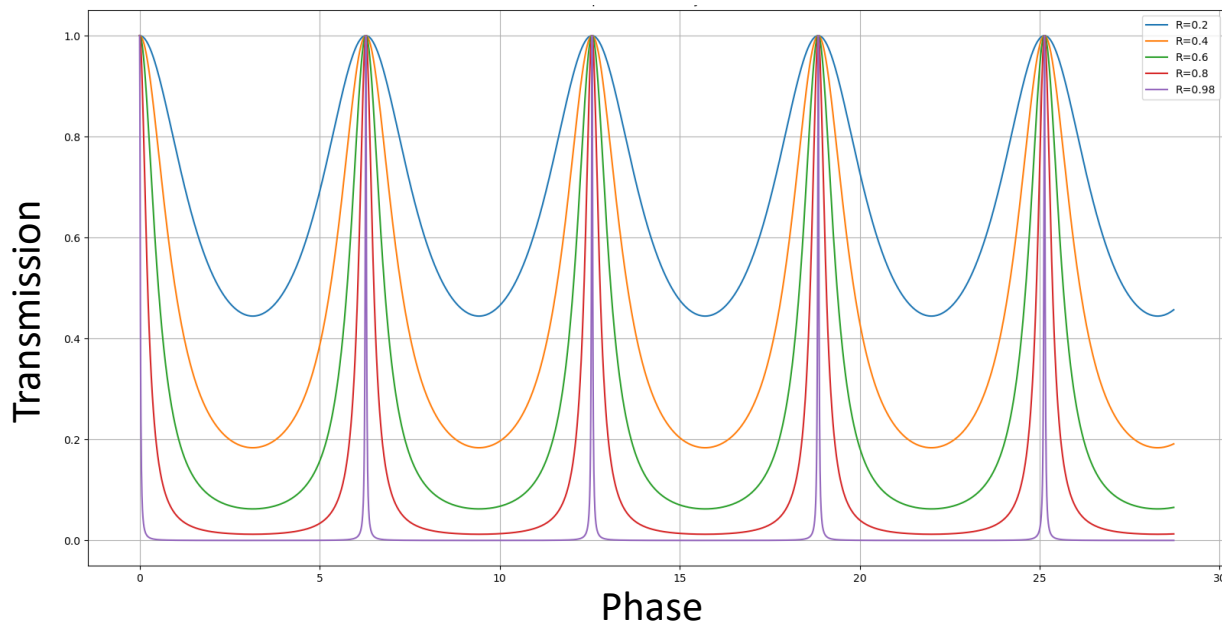
Performances

Etude du couplage avec une matrice de bolomètre

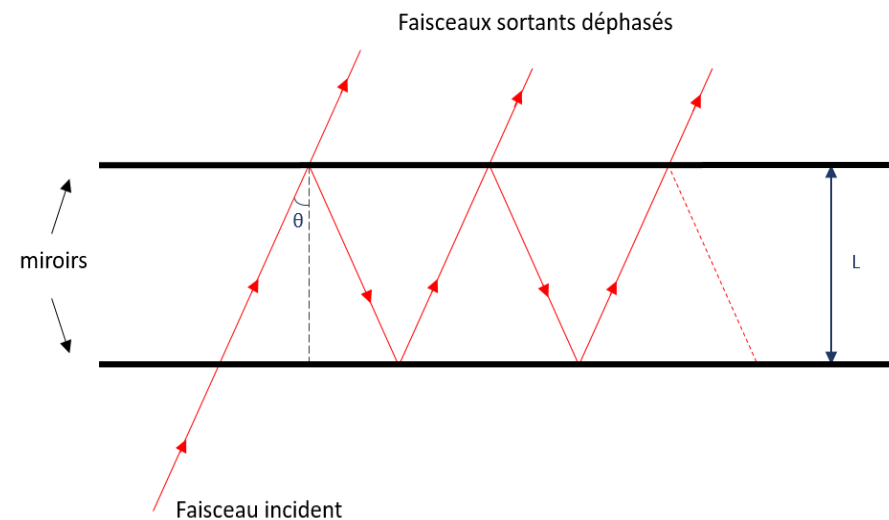
Perspectives

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 schématisé 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

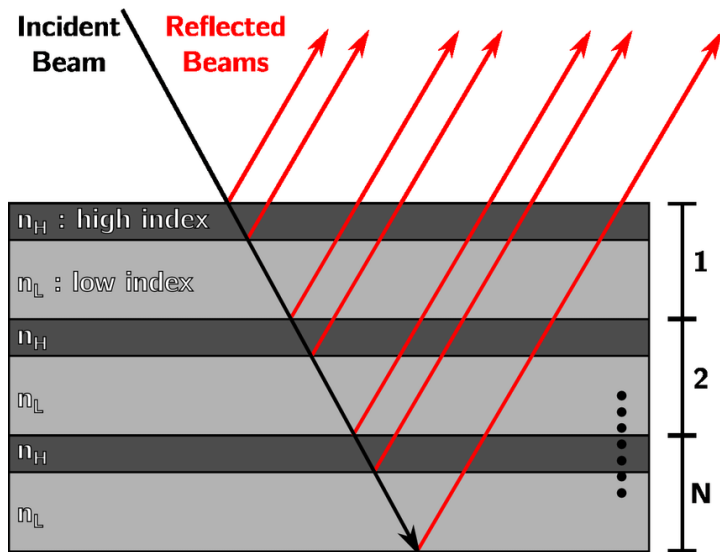
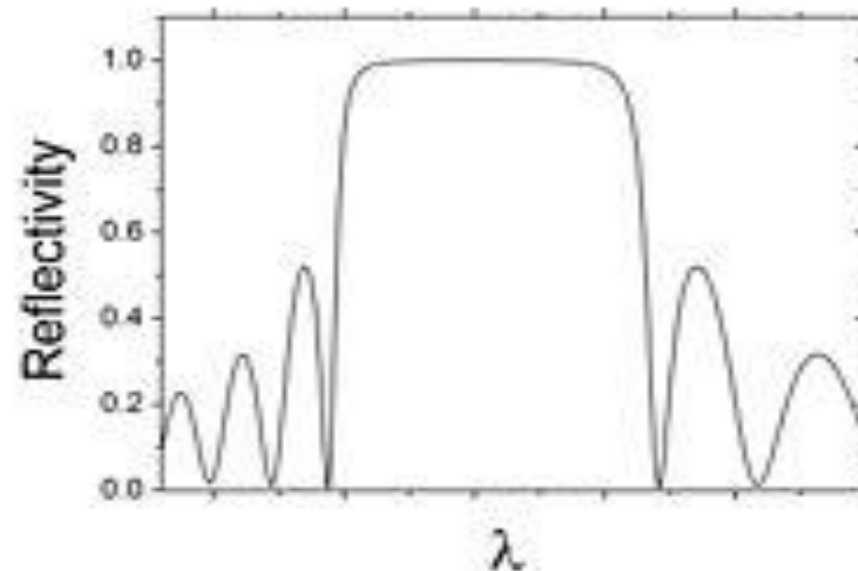


Schéma d'un empilement de Bragg



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

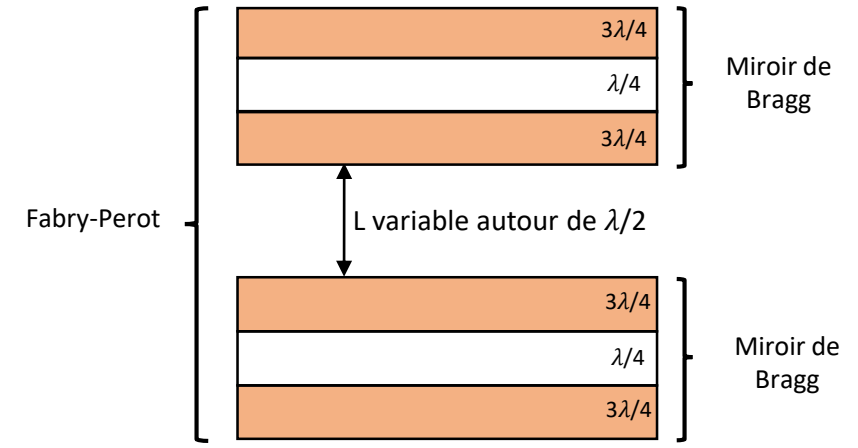
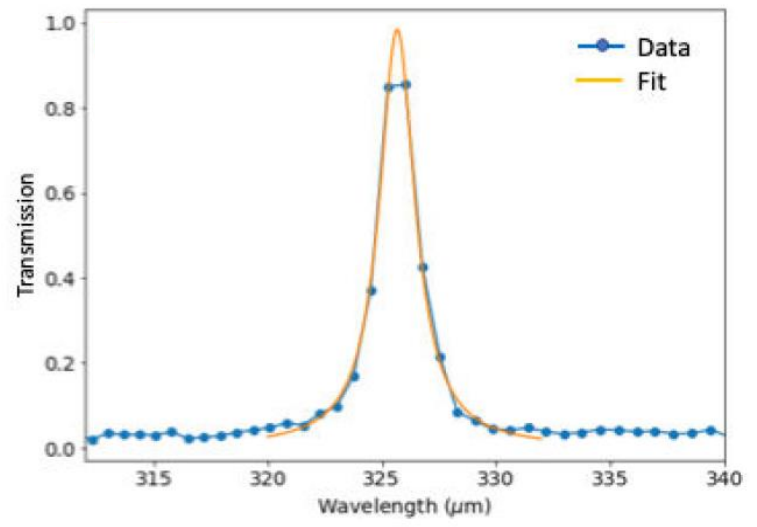


Schéma du FP à miroir de Bragg



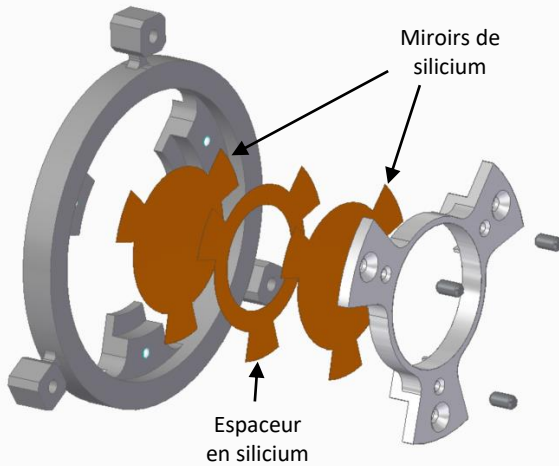
Pic de transmission de l'étalon mesuré en FTS

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

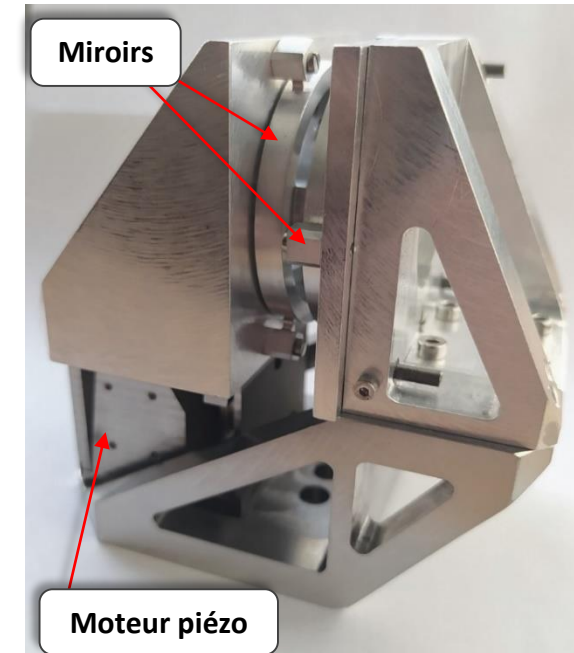
Le FP à miroirs de Bragg à balayage

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

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



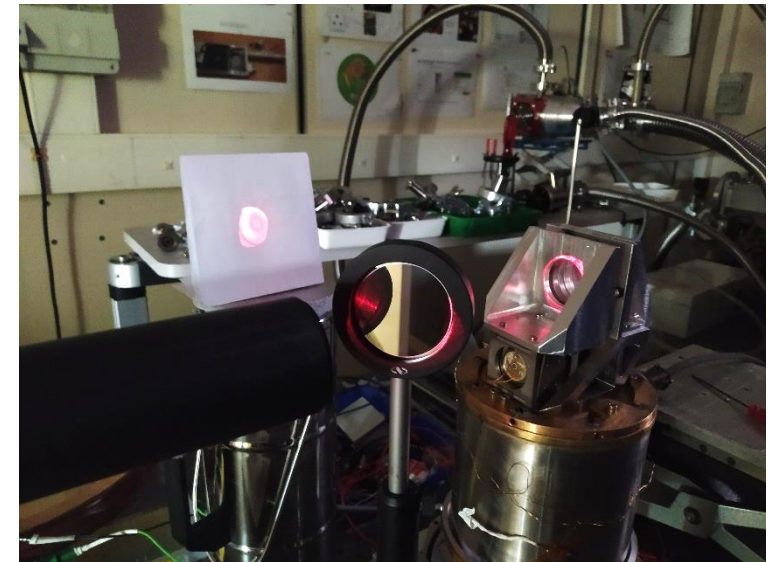
A T et P ambiantes



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

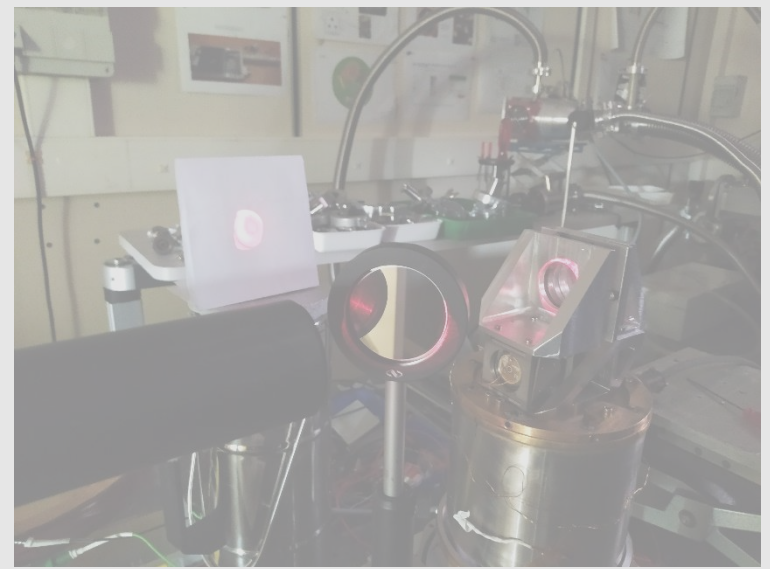


Sous vide



Sous vide à 77K

NON ADAPTÉ

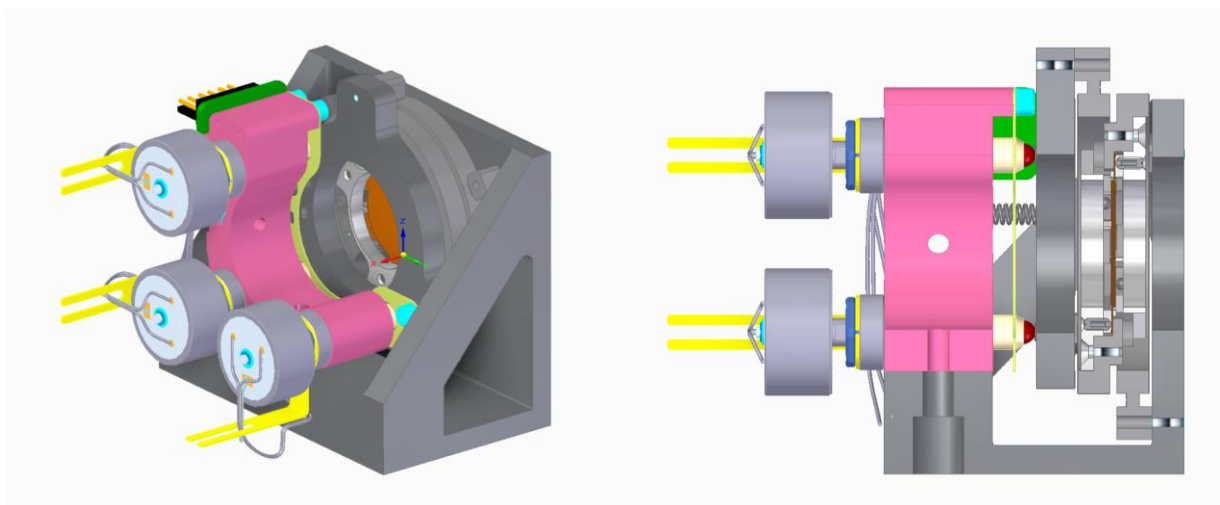


Interféromètre de Fizeau

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

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 :

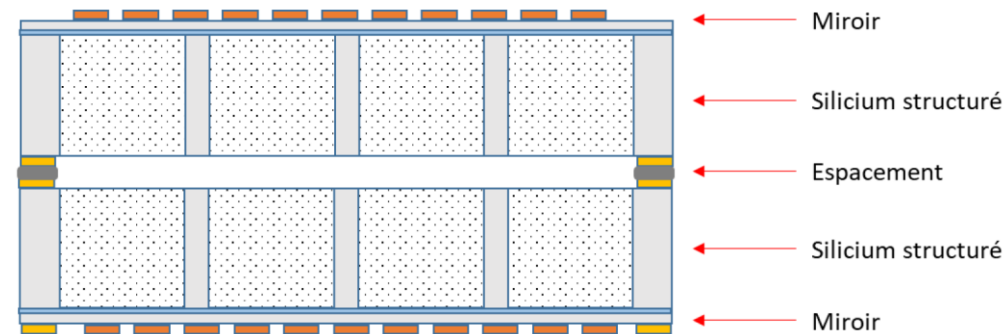
- Correction en temps réel motorisée du parallélisme des miroirs
- Encodeurs optiques sur chaque moteur



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

Présentation générale :

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



Coupe d'une matrice de FP158

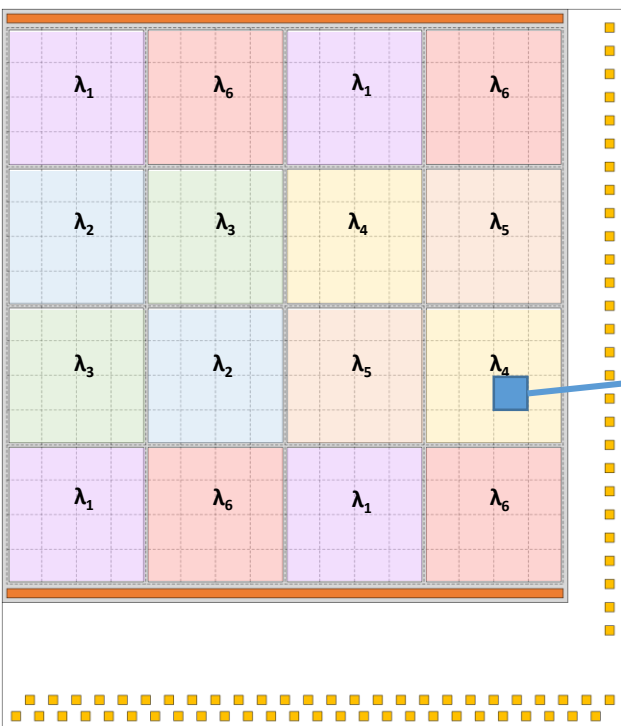
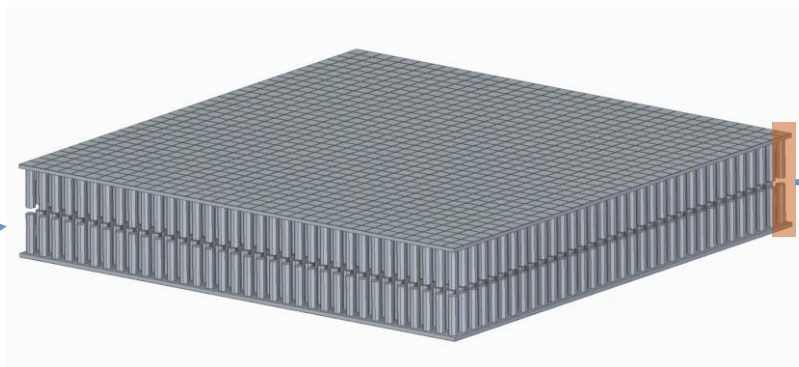
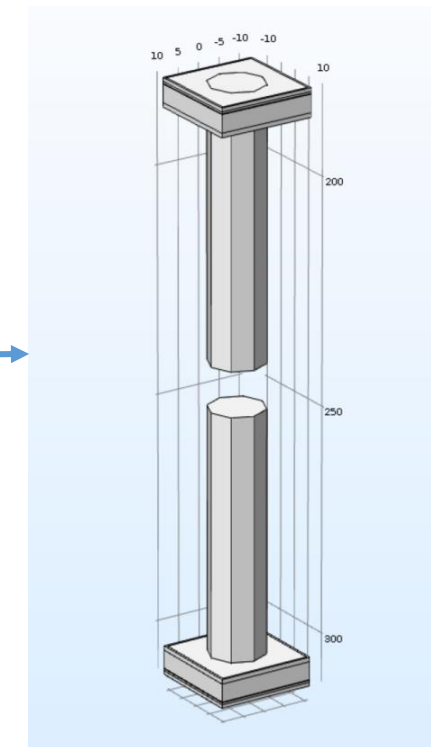


Schéma d'une matrice



1 pixel = 34x34 cellules

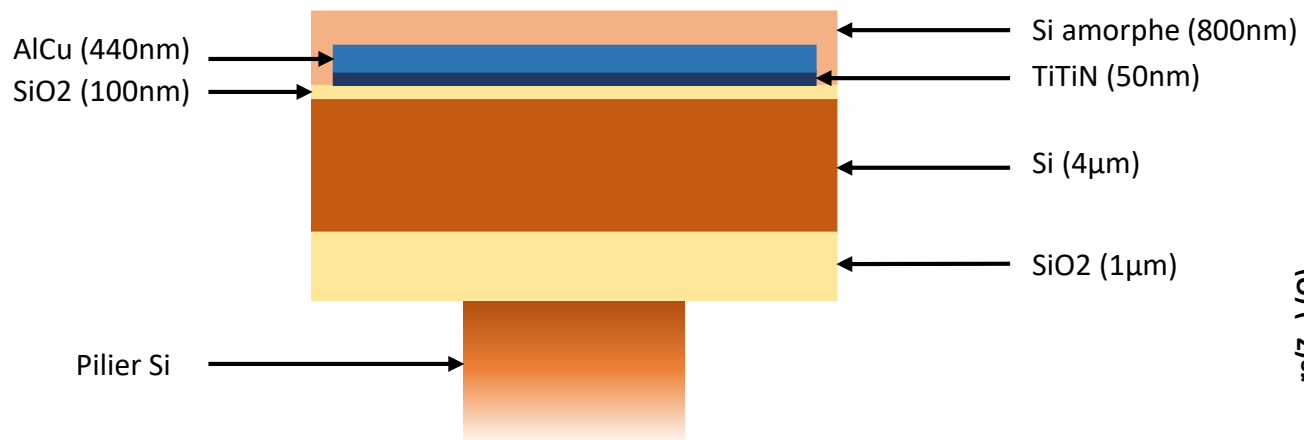


Modèle 3D d'une cellule

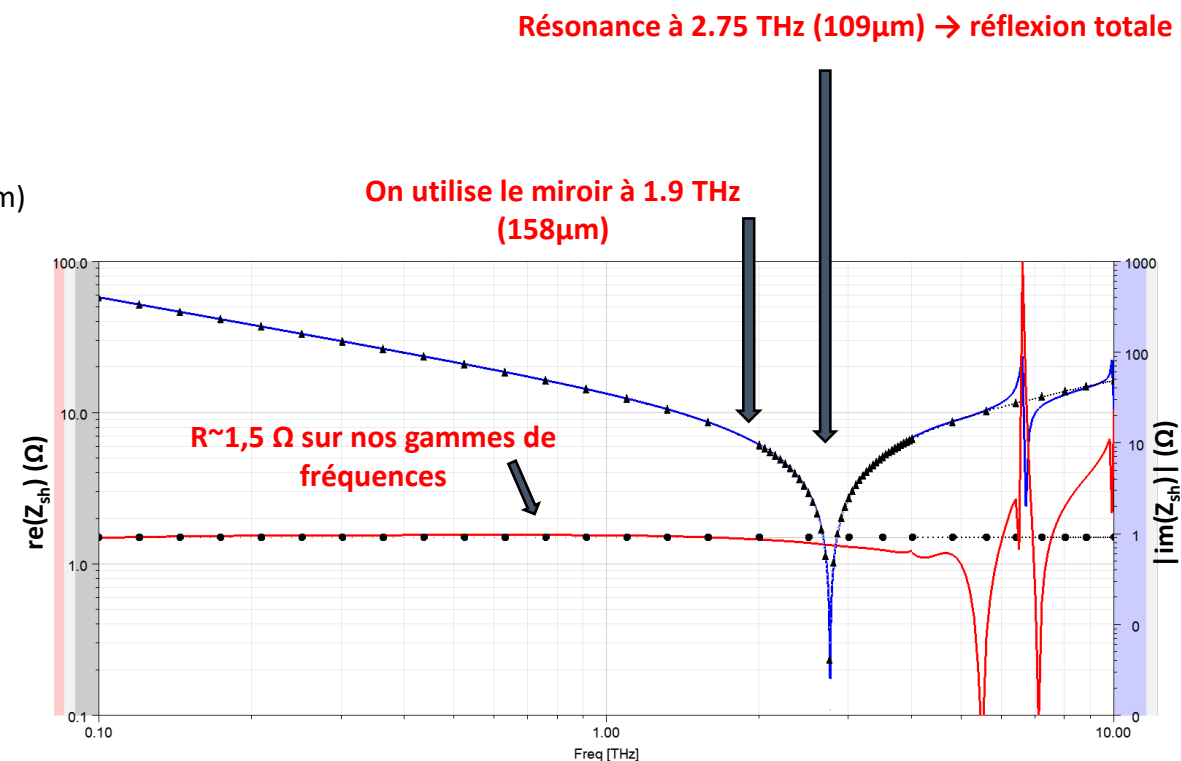
Les miroirs : Patch d'AlCu / TiTiN

1 patch métallique au dessus de chaque pilier

→ Impédance adaptée pour transmettre le 158 μ m



Coupe d'un patch

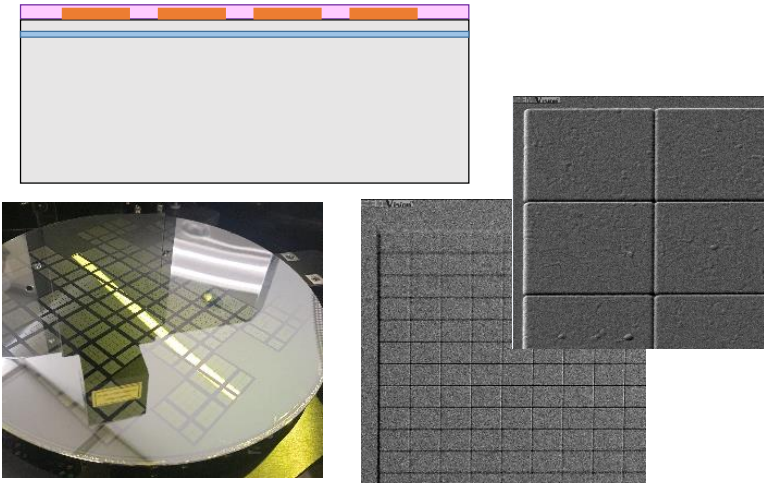


Simulation de l'impédance électrique du patch

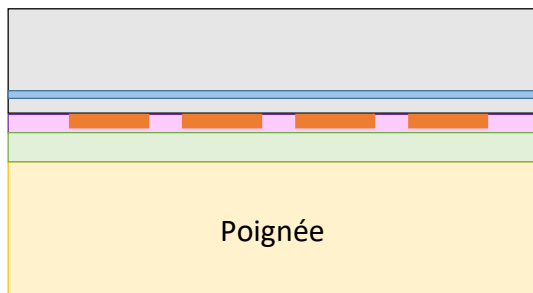
- Avantages :**
- Limiter les pertes métalliques (absorption <12% du champ E par miroir)
 - Couche métallique assez épaisse pour un R haut

Fabrication (CEA LETI)

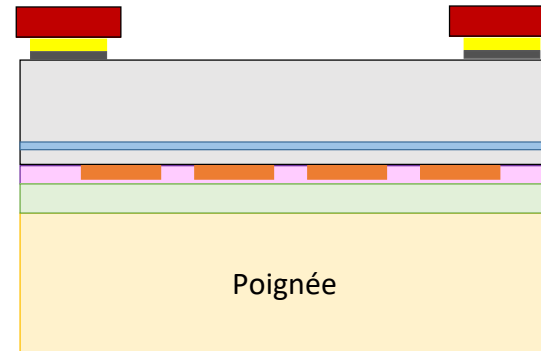
1. Fabrication des miroirs sur un wafer SOI (patches métalliques dans une couche de silicium amorphe).



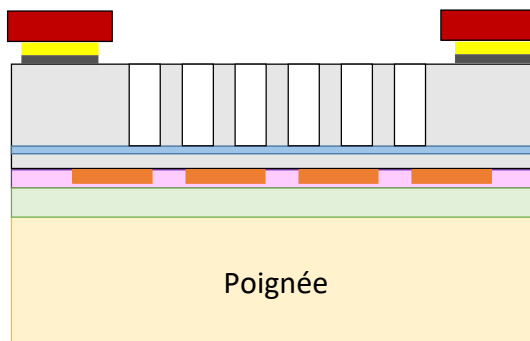
2. Collage sur une poignée en verre et amincissement du silicium à 57 μm (hauteur finale des piliers en silicium).



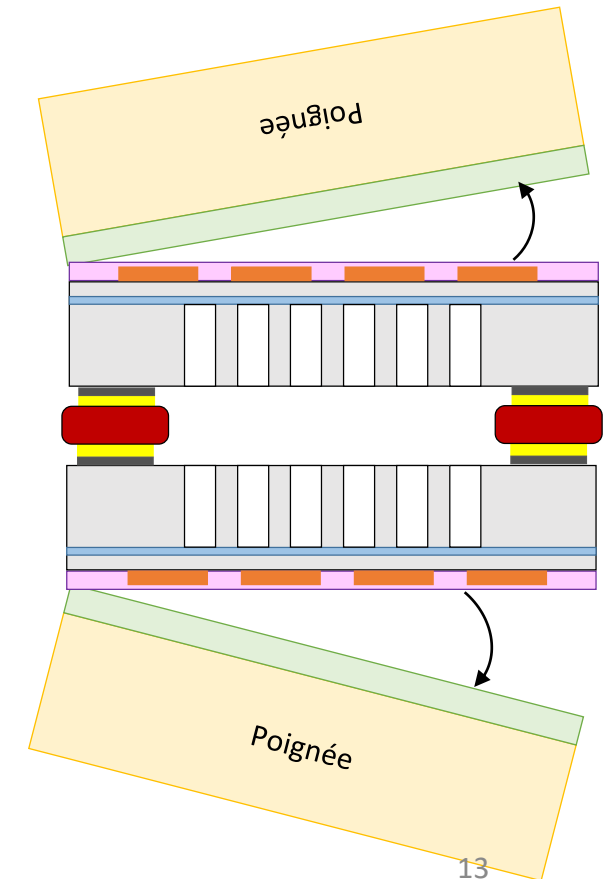
3. Réalisation des pads d'hybridation (UBM Ti/Pt/Au et Indium).



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



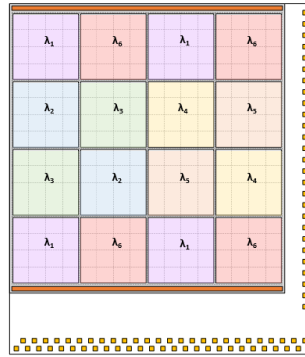
5. Découpe des wafers, hybridation des puces et retrait des poignées.



Le FP158 – Fabry-Perot multi-bandes microstructuré

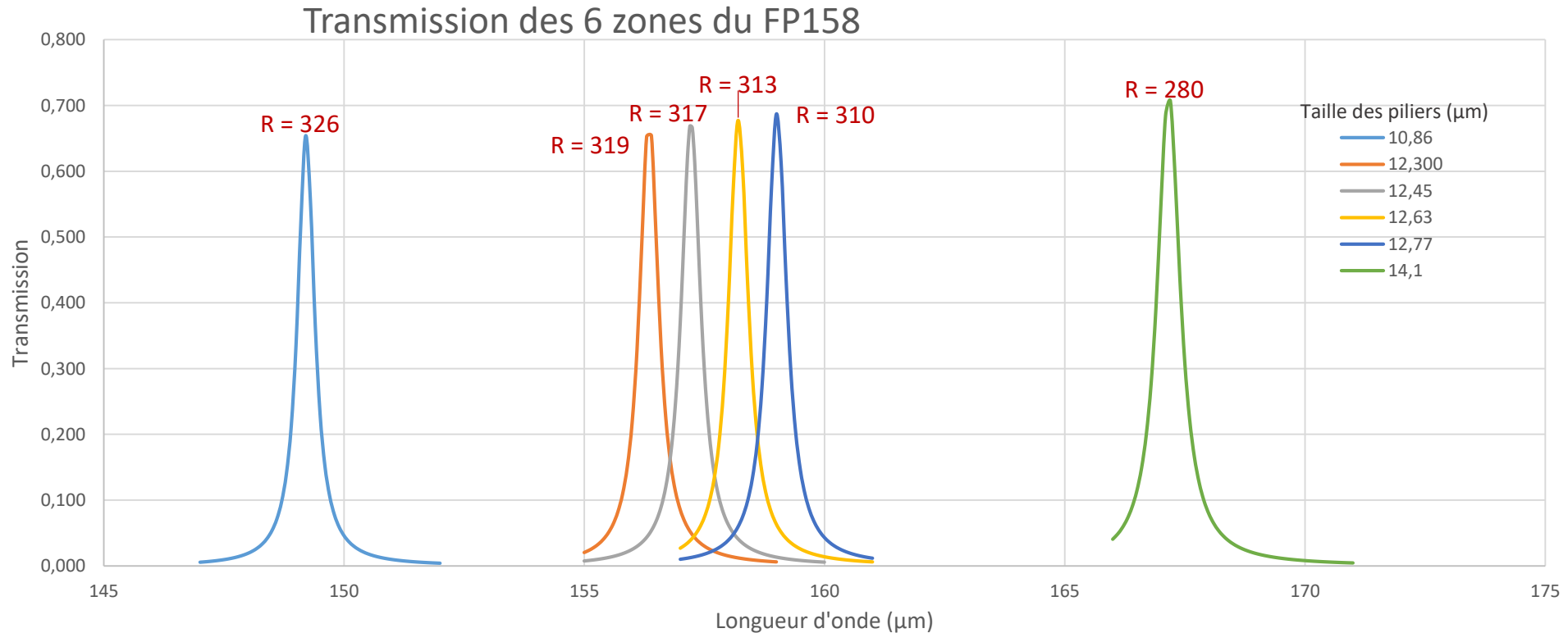
Performances

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 :

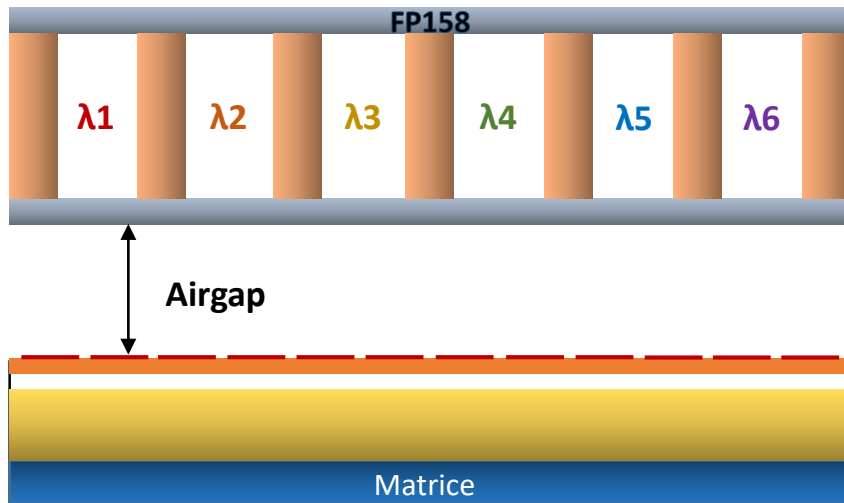
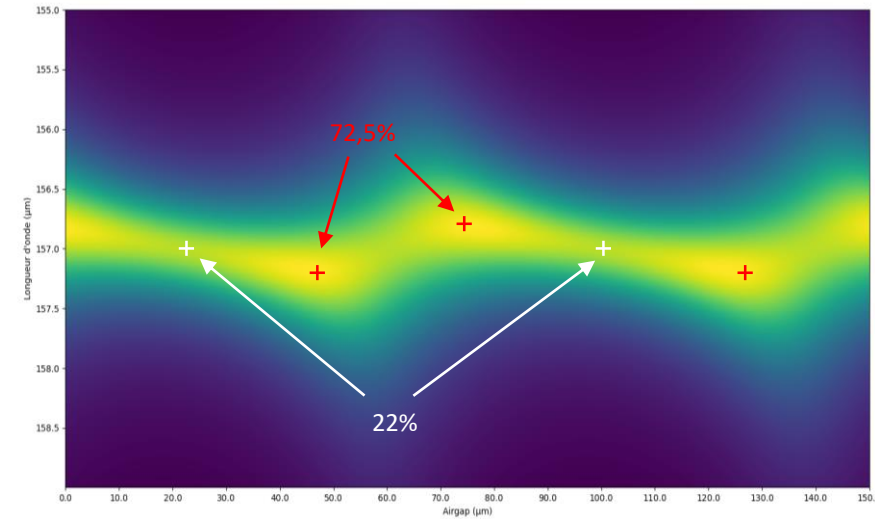


Schéma du système simulé

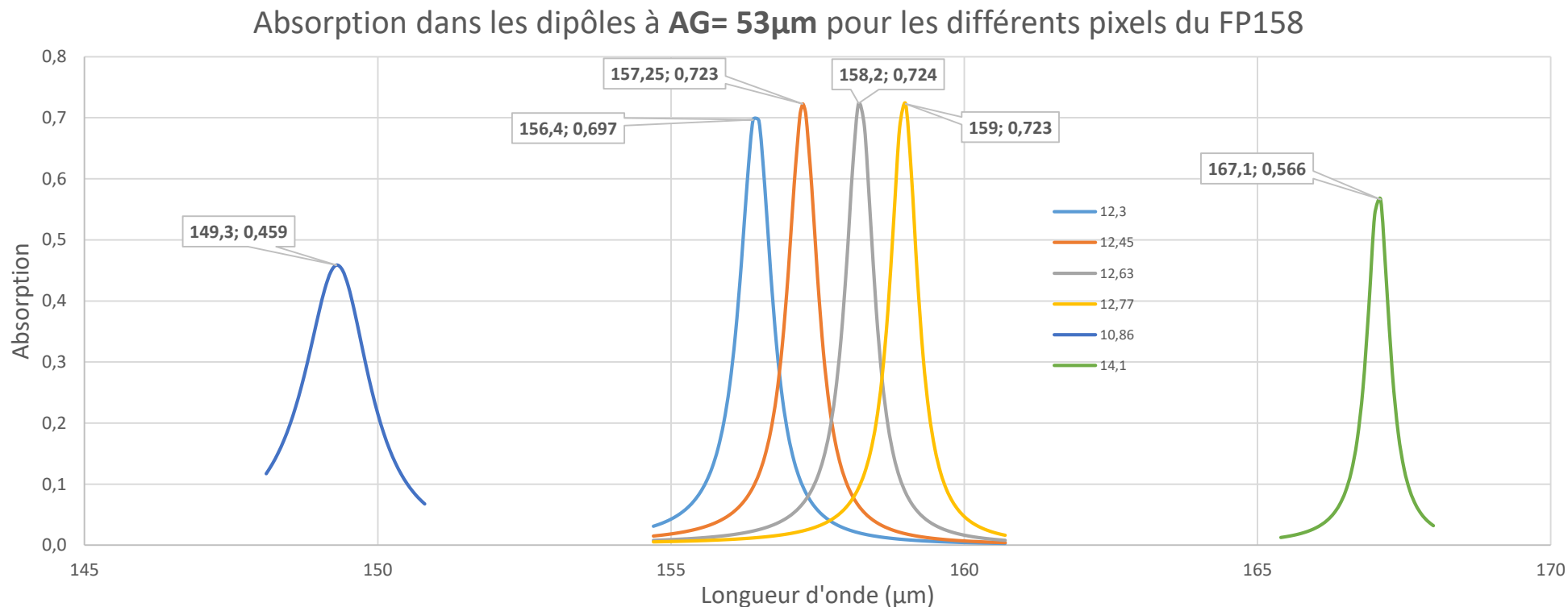


Carte d'absorption en fonction de l'AG pour un pilier de 12,45 μm

- 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

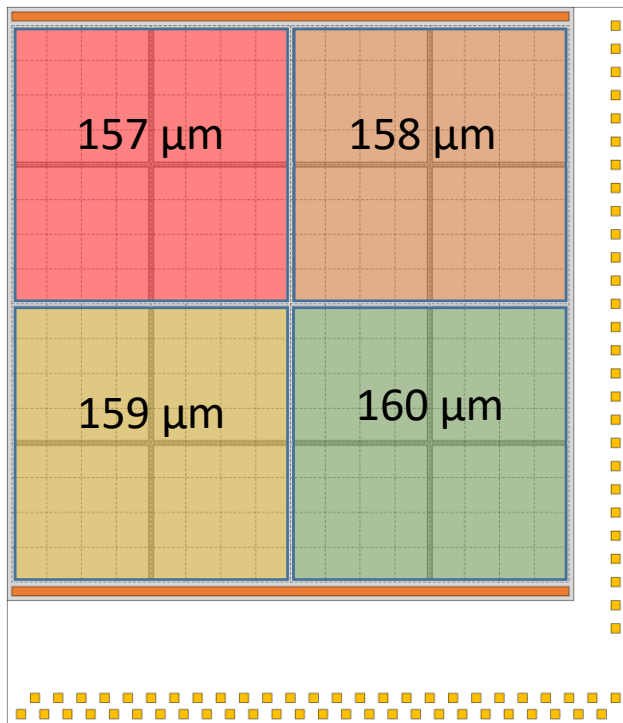
Couplage du FP158 à une matrice BBOP



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.)