

Développements fibrés à ALPhANOV/XLIM



- Présentation générale d'ALPhANOV
 - Solutions de fonctionnalisation de fibres à cristaux photoniques à ALPhANOV



- Travaux de thèse à XLIM : ALOHA - interféromètre fibré et asservi, à conversion de fréquence, dans le MIR

Centre d'innovations et de transfert de technologies domaine de la photonique

- **développement des systèmes, services et produits photoniques innovants**
- **lien entre la recherche et l'industrie**



100+

employés

20+

soutiens
startups

8 M€

chiffre
d'affaire



Localisation

Institut d'Optique d'Aquitaine - Bordeaux

ALPhANOV est implanté dans l'« **Institut d'Optique d'Aquitaine** », sur le campus universitaire de Bordeaux.

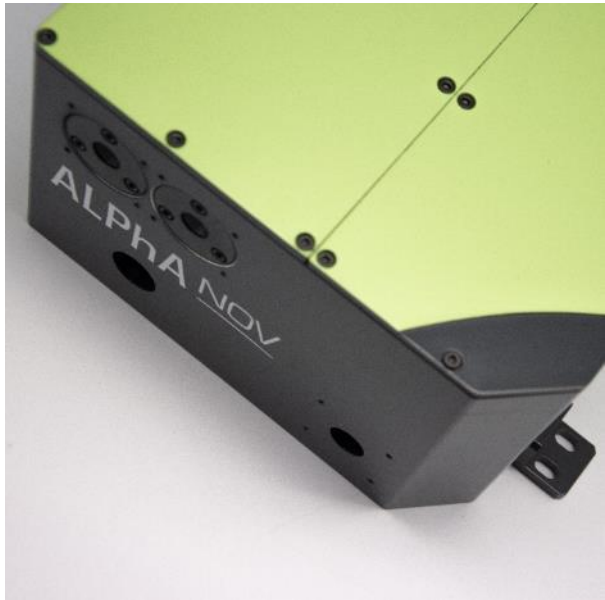


Antenne Limoges

Hébergé par **XLIM** depuis décembre 2017
+ nouveaux locaux à Ester technopole
depuis juillet 2022



4 Départements



**Sources laser et
composants
fibrés**



**Systèmes
Photoniques**

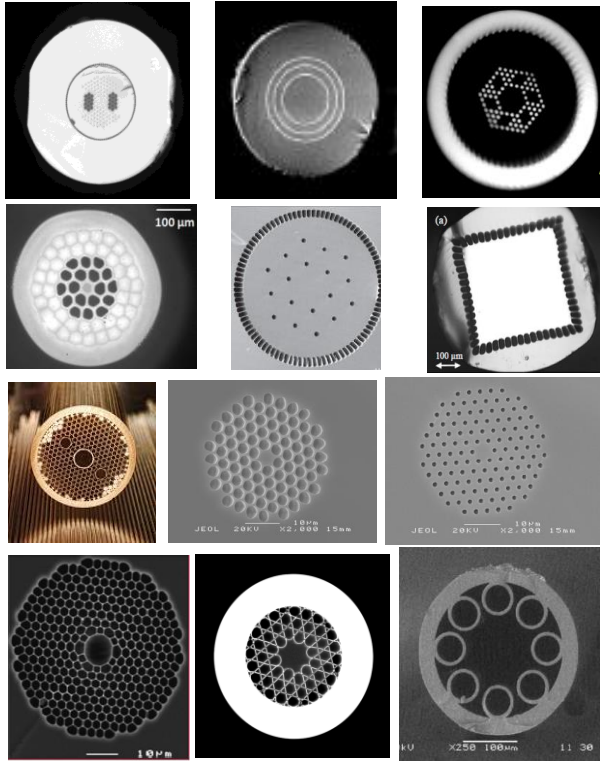


**Procédés laser
et micro-
usinage**



Formation

Solutions de fonctionnalisation de fibres à cristaux photoniques à ALPhANOV



Du laboratoire à l'applicatif...



- Fibres très spéciales
- Intégration pour des applications exigeantes
- Facilité d'utilisation

Site web : <https://www.alphanov.com/produits-services/cordons-fibres-%C3%A0-cristaux-photoniques>

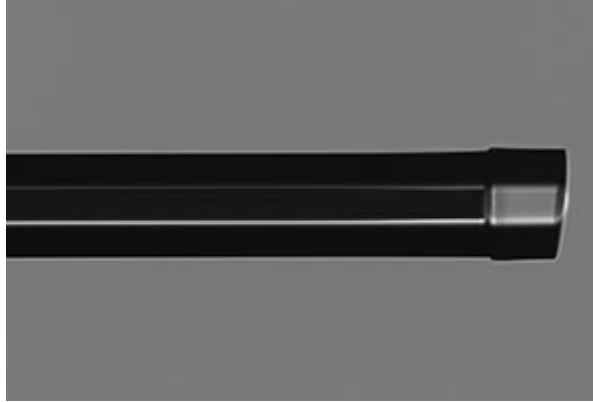
Contact : Alexandre Loulier - 06 23 75 72 48 - alexandre.loulier@alphanov.com

Solutions de fonctionnalisation de fibres à cristaux photoniques à ALPhANOV

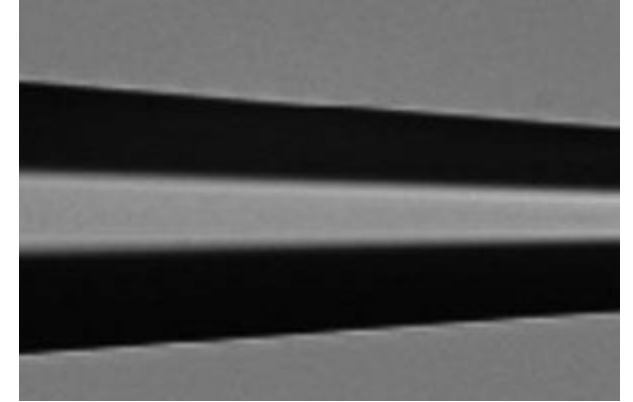
Câbles et cordons, pour des applications basse ou haute puissance



Embouts fusionnés / End-caps



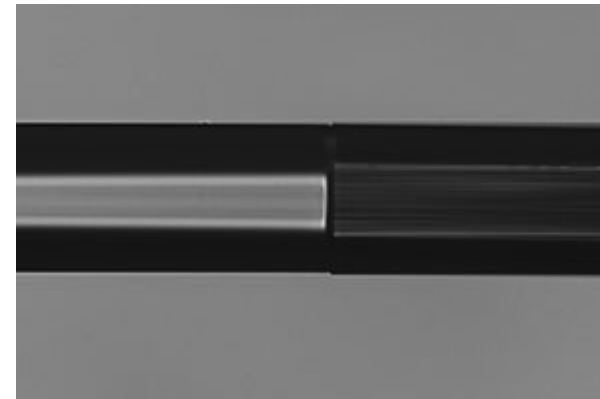
Adaptateurs de mode et tapers



Lentilles à gradient d'indice et boule en extrémité des fibres



Etudes d'optimisation des soudures PCF



PCF : Photonic
Crystal Fiber

Savoir-faire dans les régimes **extrêmes** et les applications très exigeantes



Connecteur SMA pour fibre PCF active – application haute puissance



Embout fusionné pour fibre active PCF – application haute énergie



Amplificateur laser haute puissance à base de fibre active microstructurée – 100W @1030/1064nm

Savoir-faire dans les régimes **extrêmes** et les applications très exigeantes



Livraison de faisceau et mise en forme basées sur une fibre à cœur creux – 100W/100fs @1030/1064nm



Câbles LC très fiables pour la communication basse latence basés sur de la fibre à cœur creux



Livraison de faisceau haute puissance pour des applications quantiques, basée sur de fibre à large aire modale

Interféromètre à conversion de fréquences ALOHA en bande L : tests en laboratoire et intégration au réseau de télescopes CHARA

Laboratoire de recherche :



Thèse financée par :



Thèse en collaboration avec :



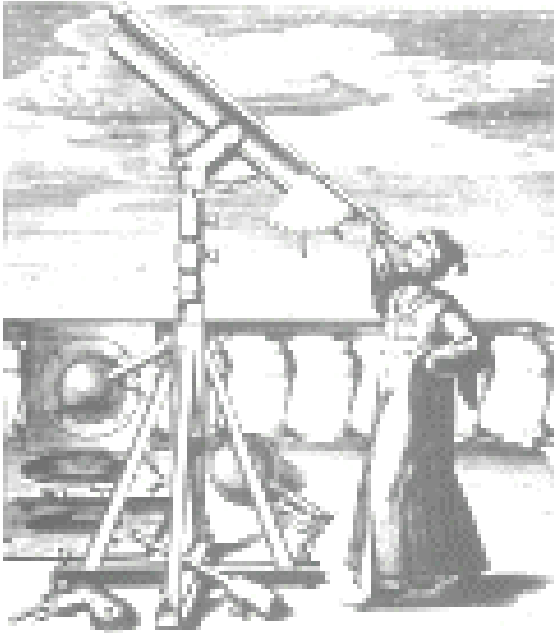


Introduction : Pourquoi utiliser l'imagerie par un réseau de télescope ?



Evolution des moyens d'observation

Lunette de Galilée



XVI^e siècle

Canada-France-Hawaii Telescope
(Mauna Kea, Hawaii, USA)
 $D = 3,60 \text{ m}$



XX^e siècle

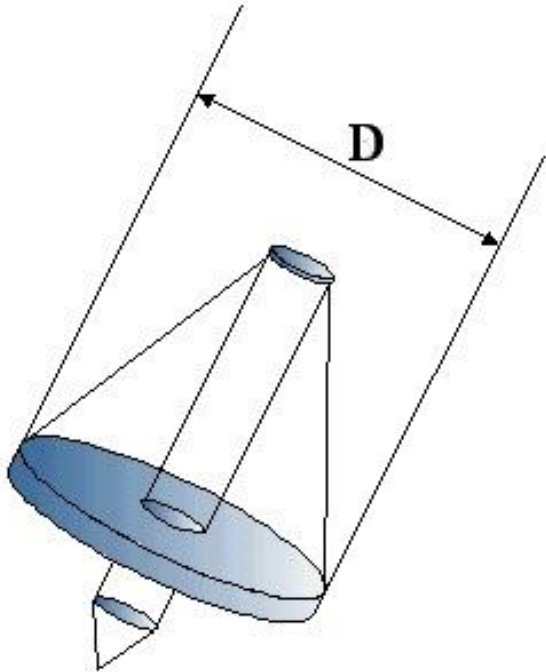
Very Large Telescope
Interferometer (VLTi, Chili)
 $D = 8,20 \text{ m}$



XXI^e siècle

Avantages des réseaux de télescopes et de l'interférométrie

Télescope classique monolithique

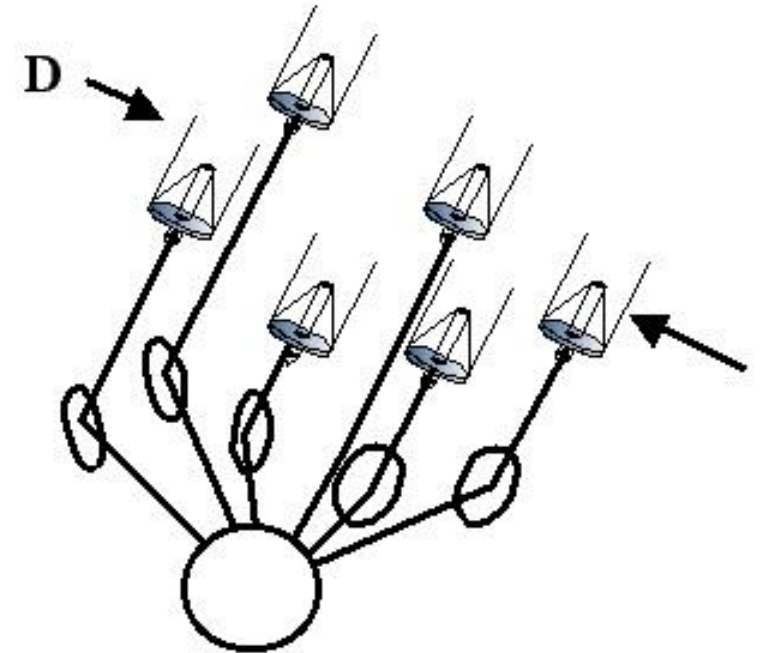


$D = 1-10 \text{ m}$

Petite résolution angulaire : 1 à 0,1 μrad

$$\text{résolution} \propto \frac{\lambda}{D}$$

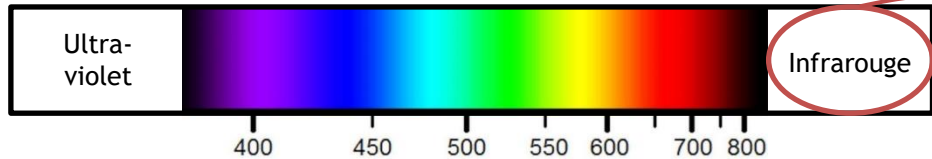
Utilisation d'un réseau de télescopes et de l'interférométrie



$D = 100-300 \text{ m}$

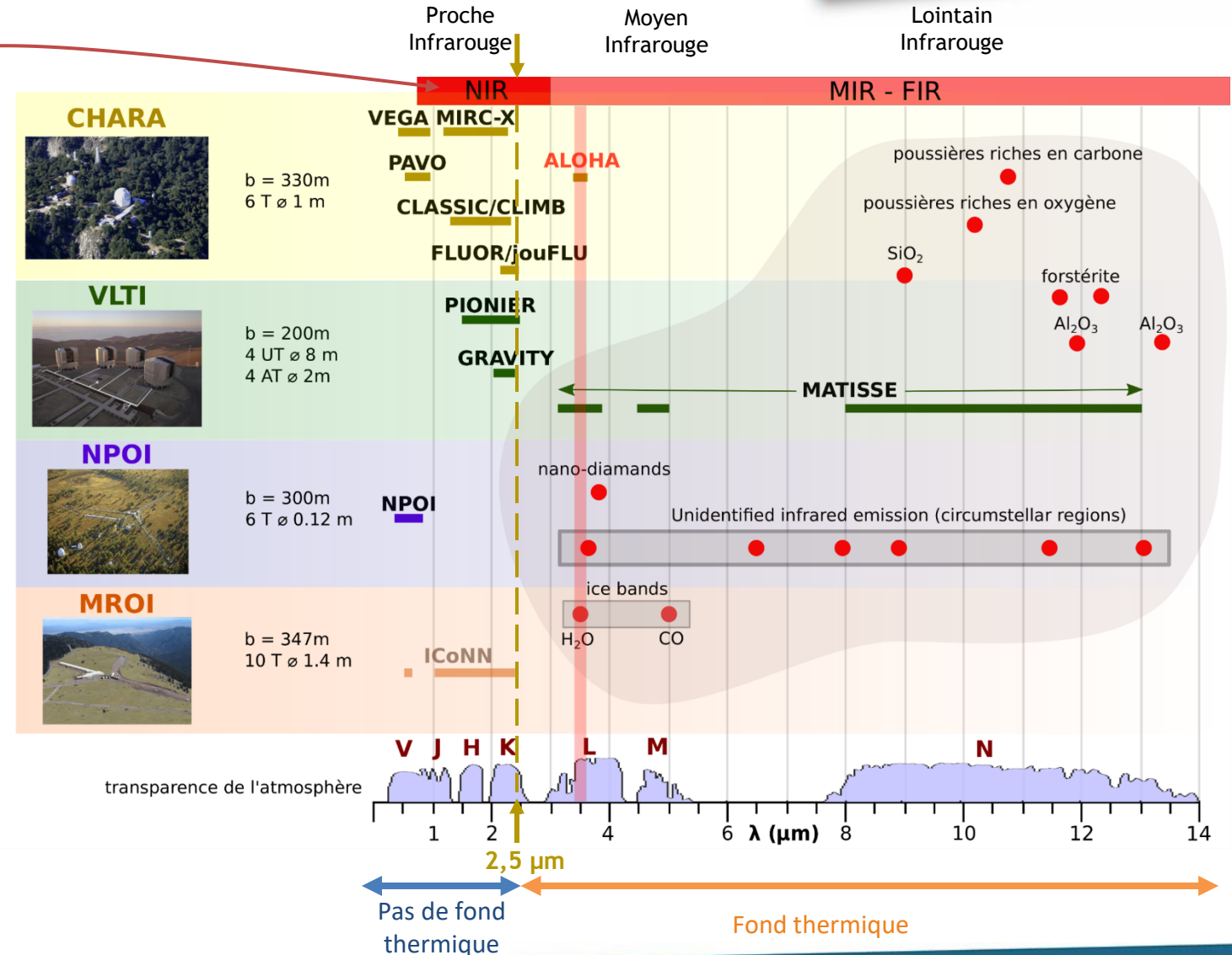
Grande résolution angulaire : 10 à 3 nrad

Visible - bande spectrale V

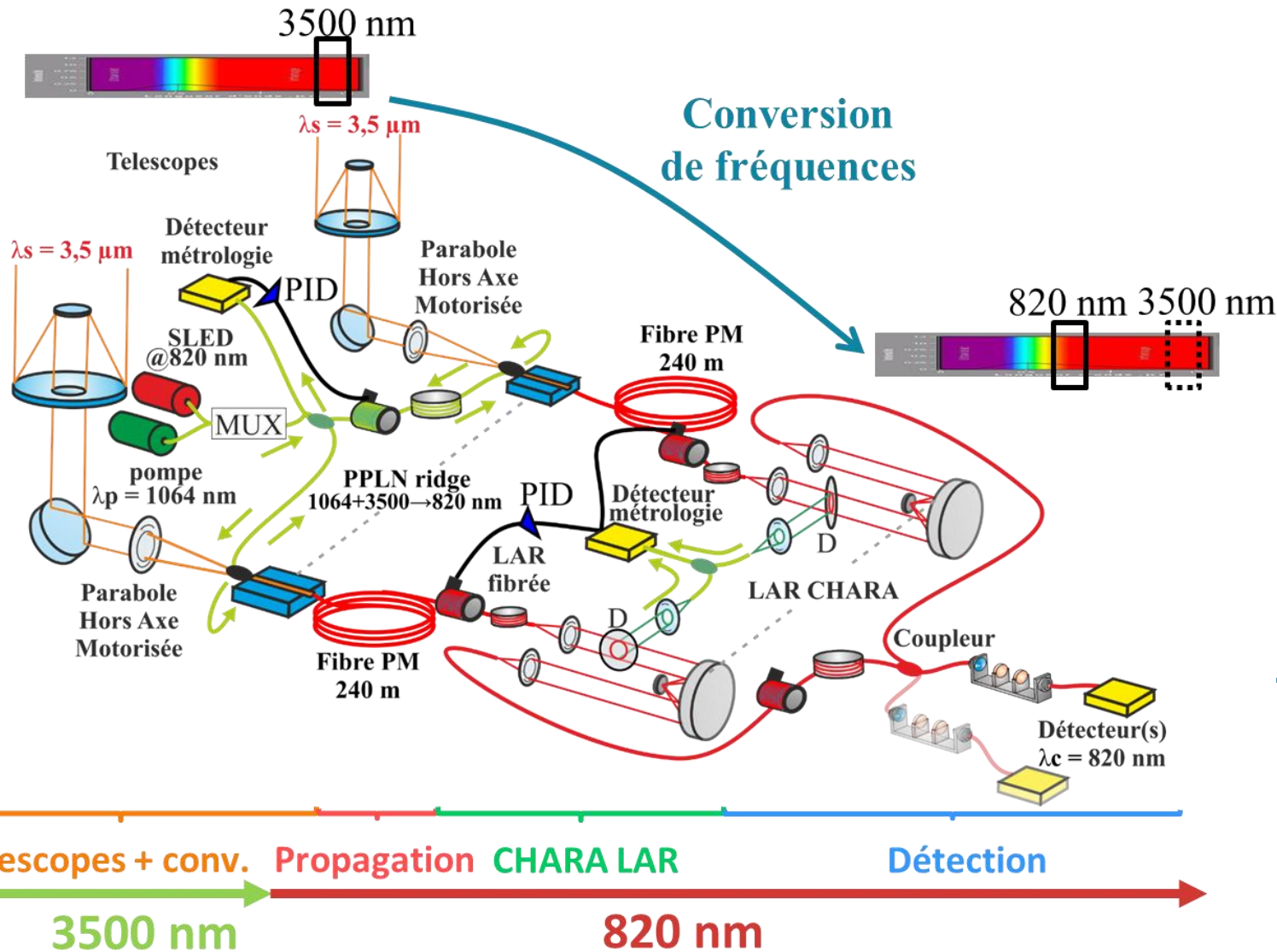


Sources intéressantes dans le MIR ;
Objets « froids » :

- Exoplanètes
- Young Star Objects
- Naines brunes
- Poussières
- Noyaux actifs de galaxies
- ...



Le projet ALOHA : Astronomical Light Optical Hybrid Analysis



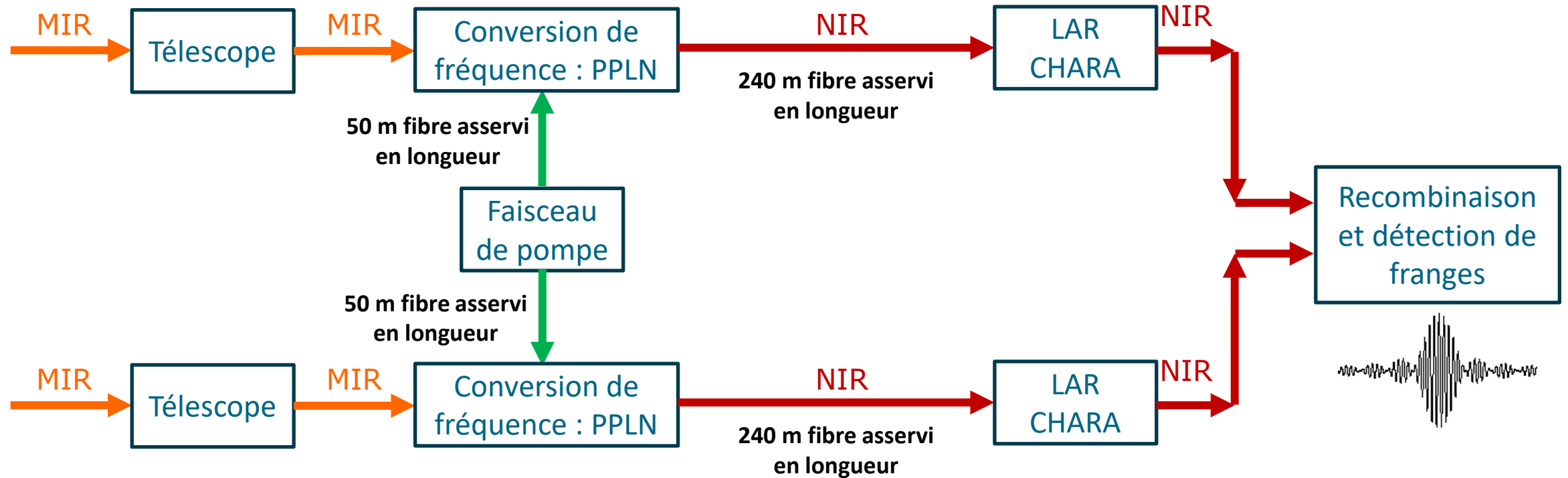
Association de l'optique non linéaire et l'optique guidée pour l'astronomie haute résolution

Interféromètre fibré et asservi à conversion de fréquences dans le MIR

→ **application en bande L à 3,5 μm au réseau de télescopes CHARA (CA, USA)**

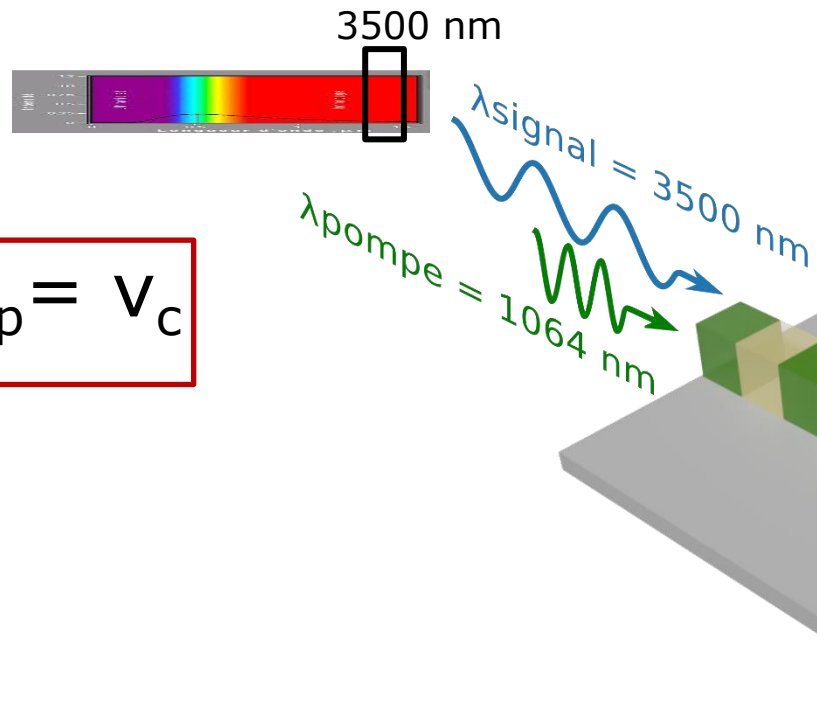
Le projet ALOHA : Astronomical Light Optical Hybrid Analysis

Interféromètre **fibré et **asservi** à **conversion de fréquences** dans le MIR**
→ application en bande L à $3,5\ \mu\text{m}$ au réseau de télescopes CHARA (CA, USA)



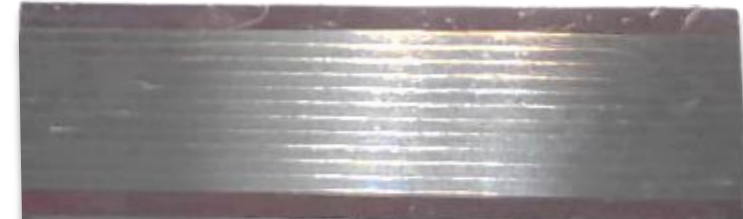
LAR : ligne à retard
PPLN : Periodically Poled Lithium Niobate

$$V_s + V_p = V_c$$

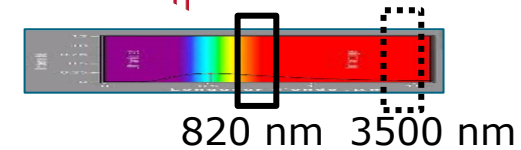


1 puce
10 guides

Periodically Poled Lithium Niobate



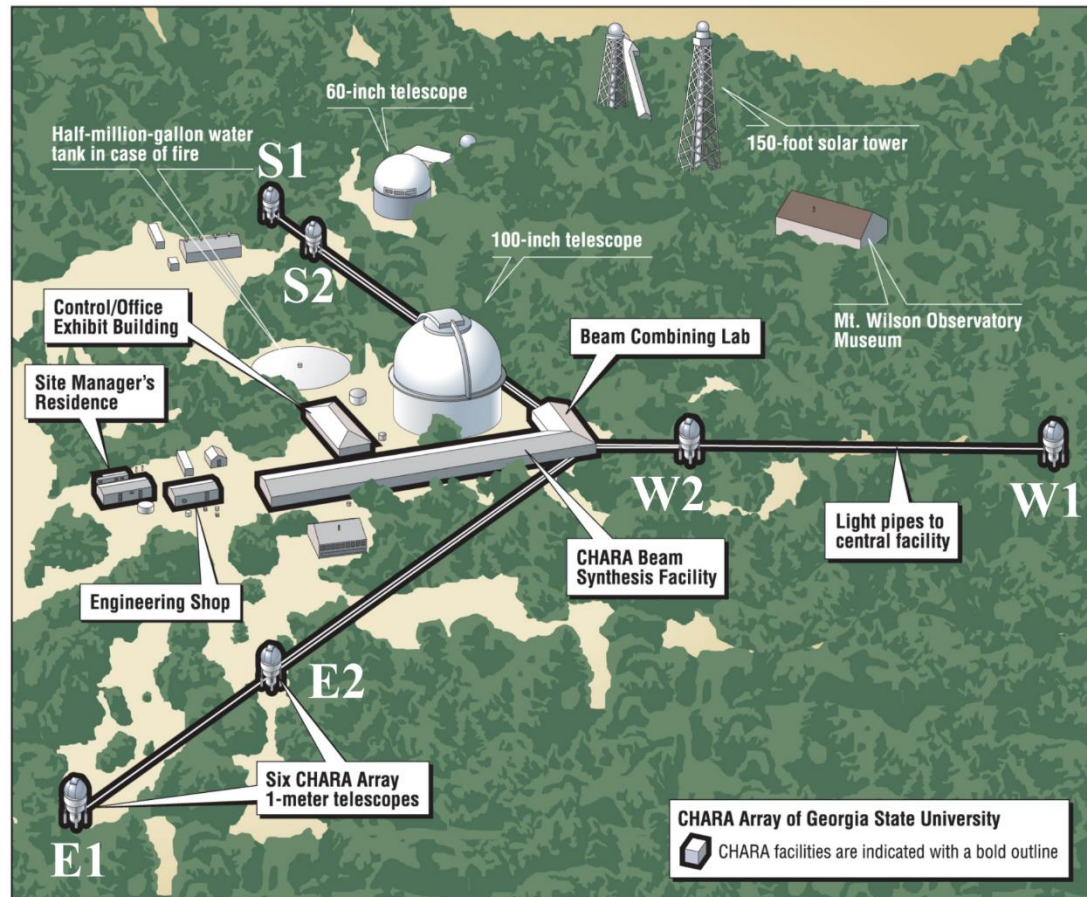
Paramètres
des guides
variables





Intégration de l'instrument ALOHA à CHARA

Le réseau de télescopes CHARA

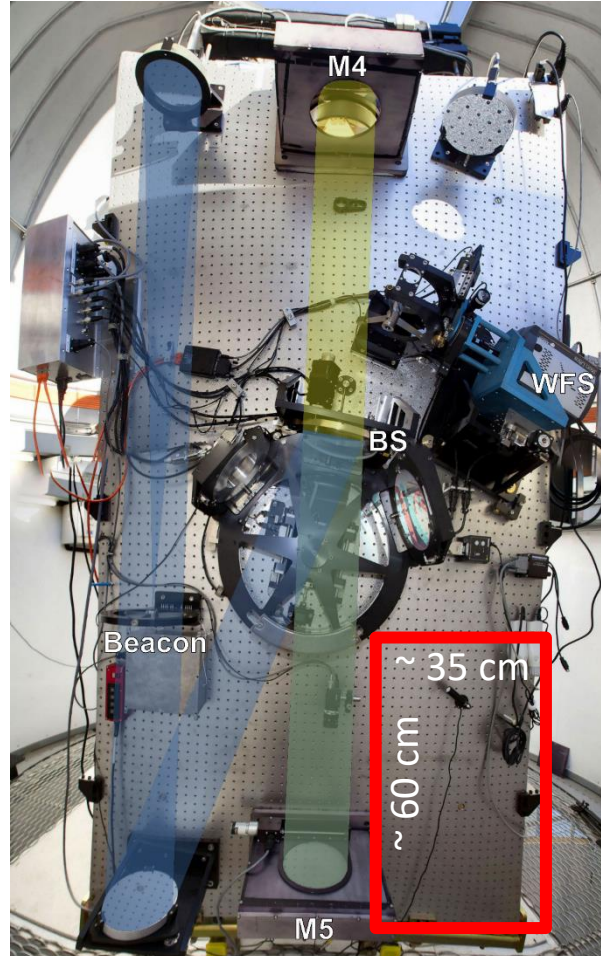
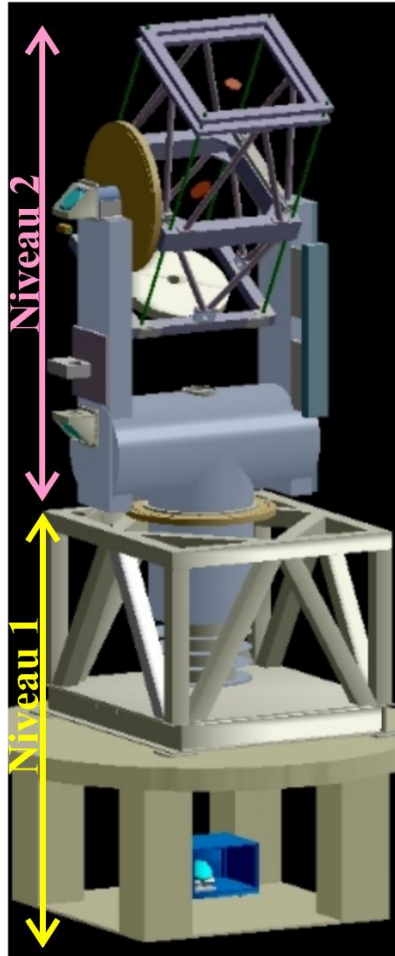
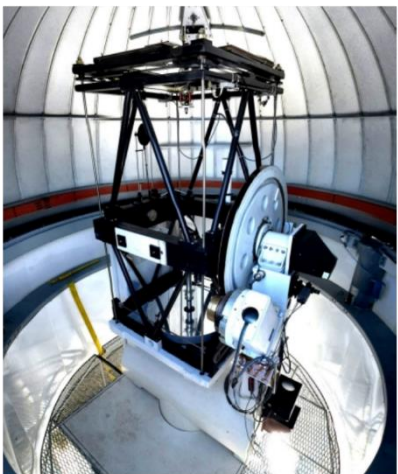


Télescopes
S1 et S2

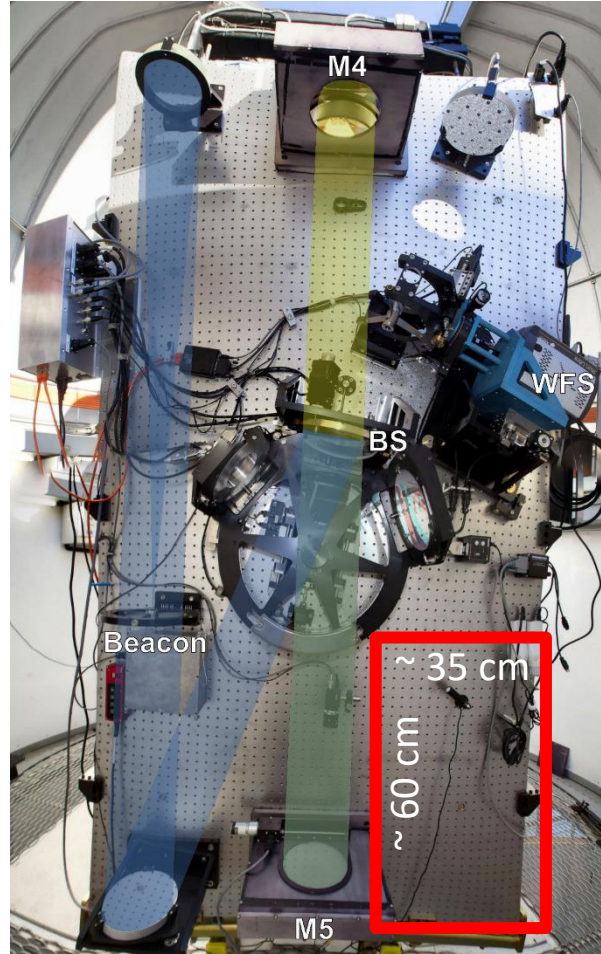
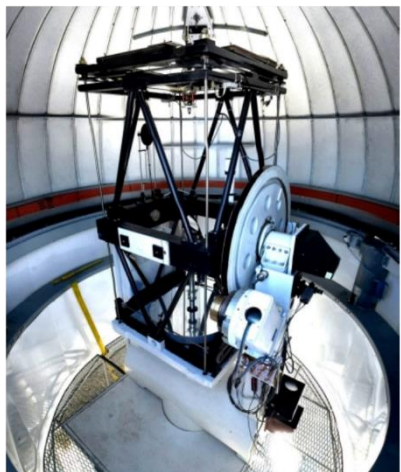
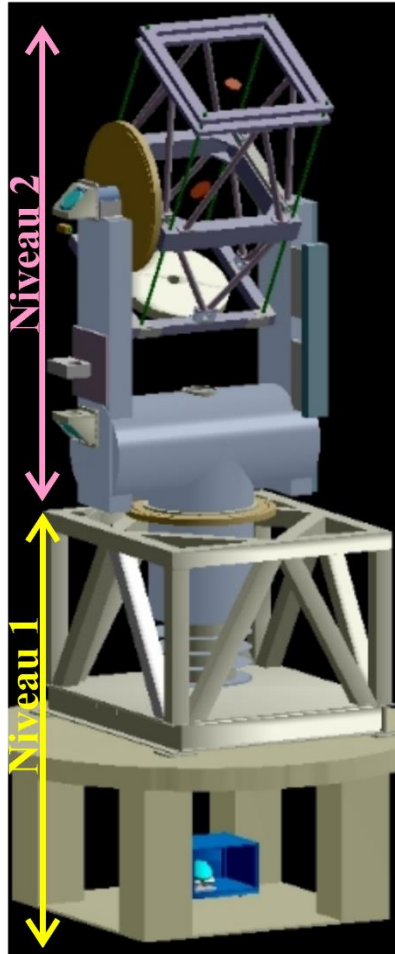


- Situé au Mount Wilson (USA, CA)
- 6 télescopes, miroir primaire $D = 1 \text{ m}$
- Ligne à retard (course $2 \times 45 \text{ m}$)
- Instrument le plus résolvant au monde ($D_{\text{max}} = 334 \text{ m}$, res. ang. = 3 nrad @ $1 \mu\text{m}$)
- $\lambda_{\text{max}} = 2,5 \mu\text{m}$ (Instrument FLUOR/jouFLU)

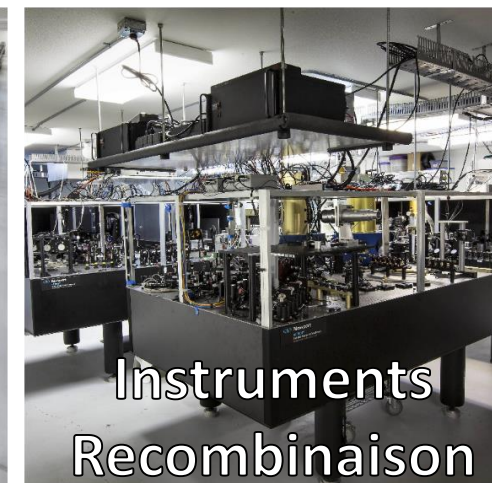
Télescopes



Télescopes



Recombinaison des faisceaux



Installation des fibres optiques de pompe et de transport du signal

Passage des fibres entre le laboratoire de recombinaison et les télescopes S1 et S2



Conduit PVC

Fibre

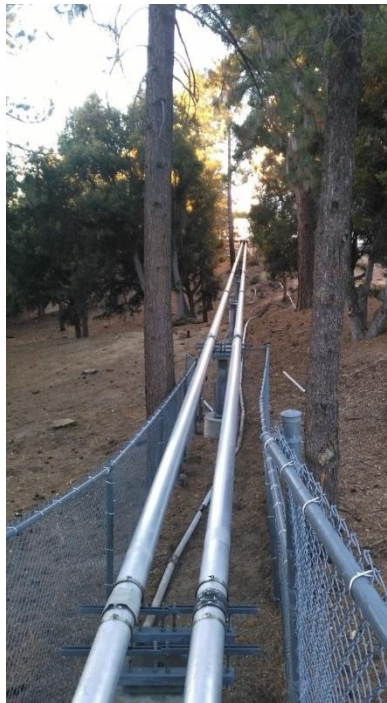
Installation des fibres optiques de pompe et de transport du signal

Passage des fibres entre le laboratoire de recombinaison et les télescopes S1 et S2

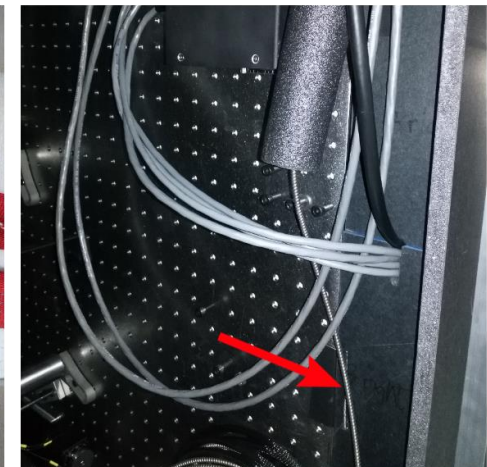
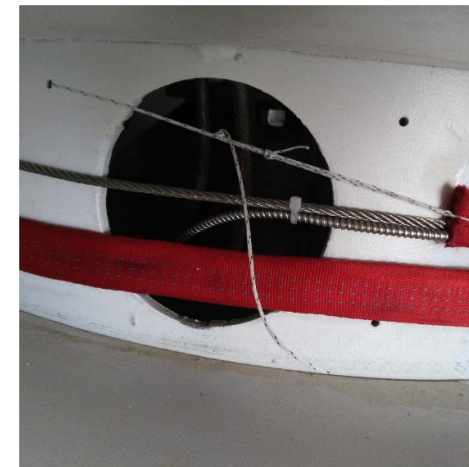


Conduit PVC

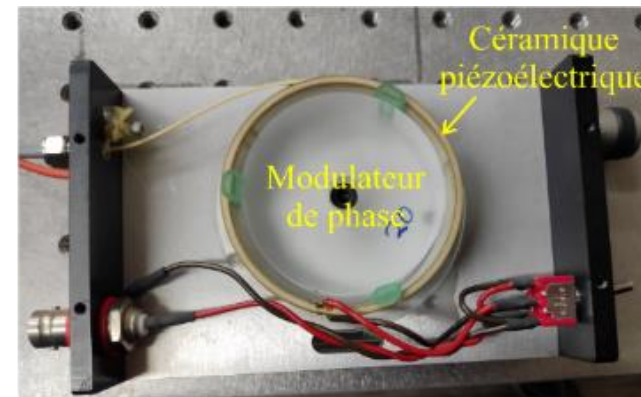
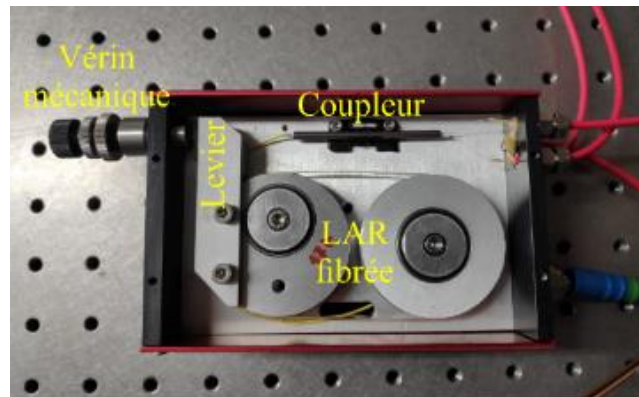
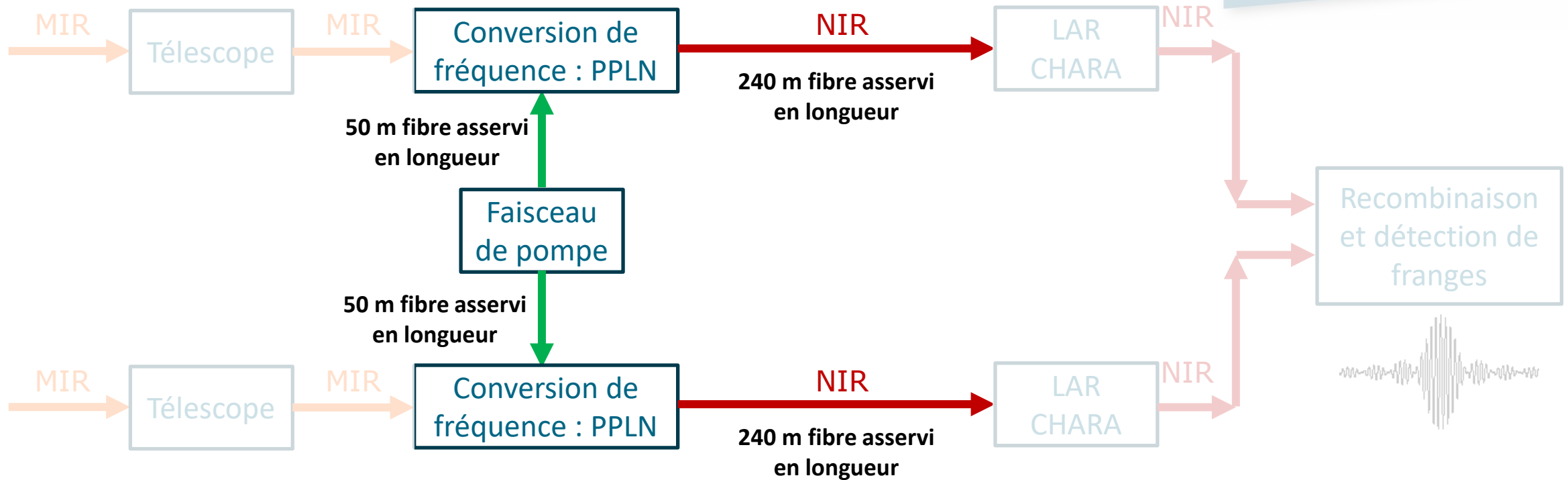
Fibre



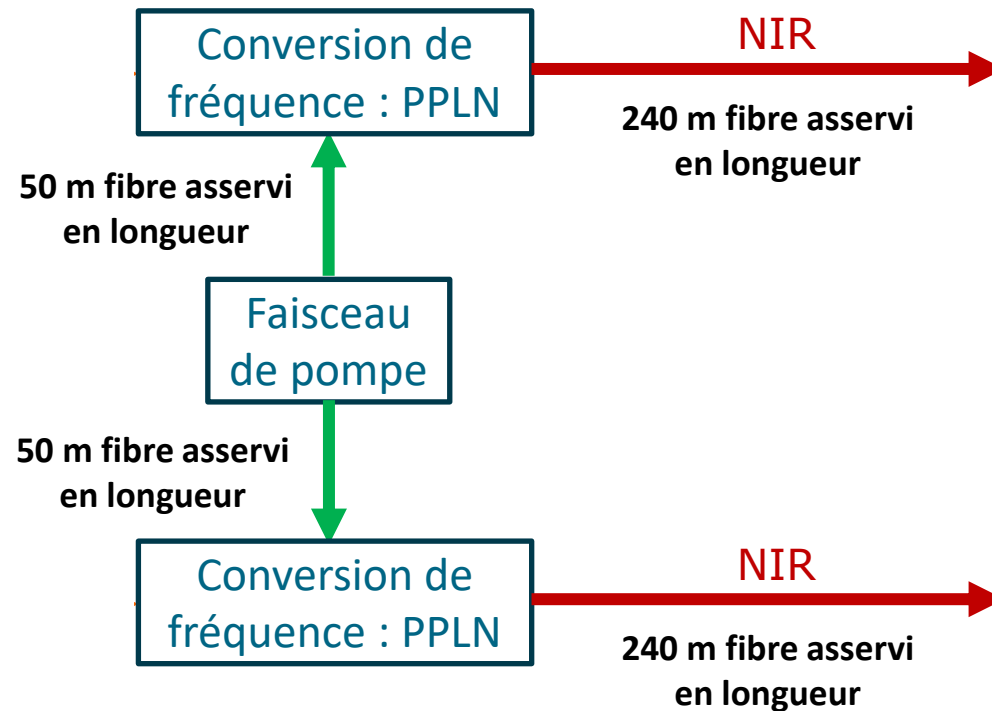
Passage des fibres dans les télescopes



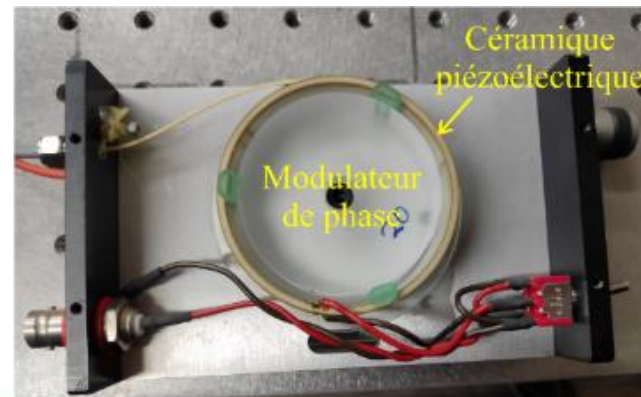
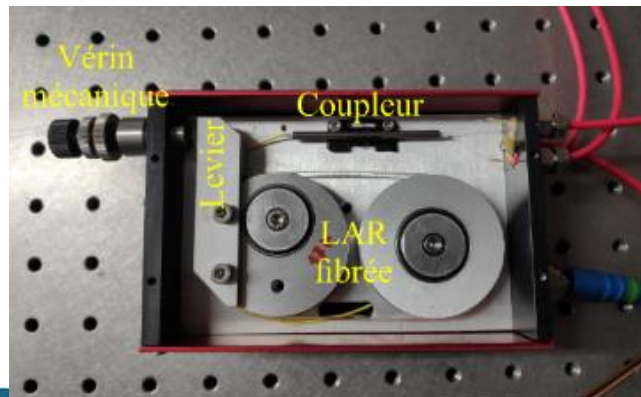
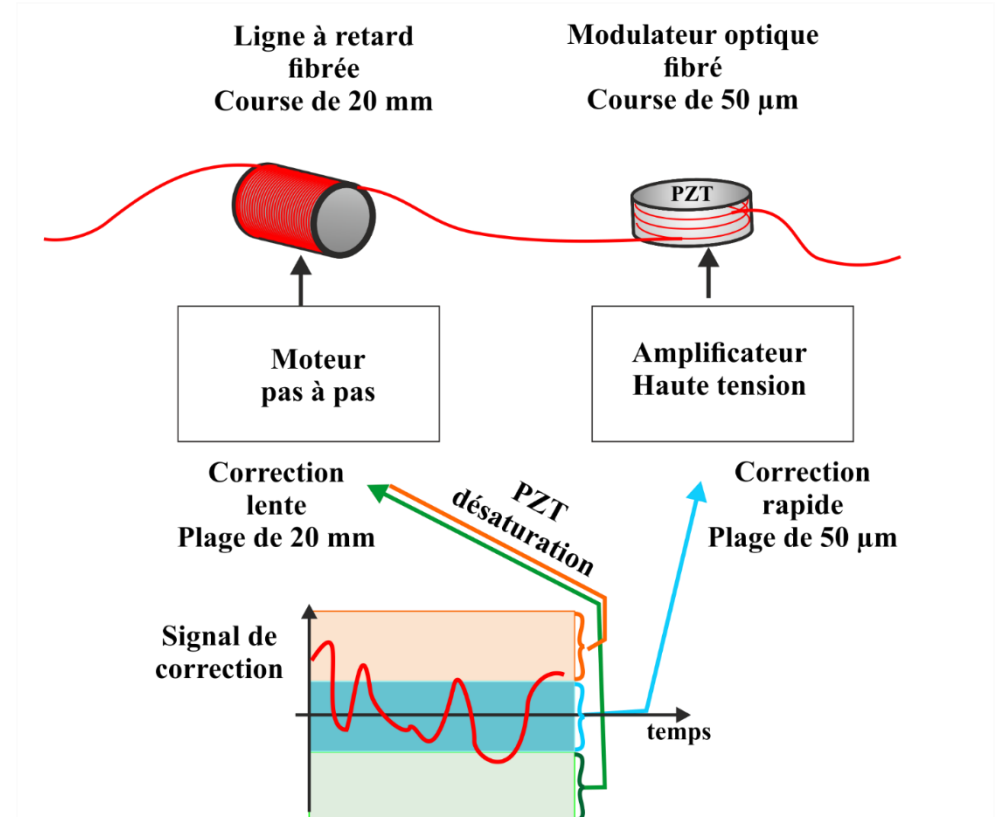
Nécessité d'asservir la différence de longueur des fibres



Nécessité d'asservir la différence de longueur des fibres

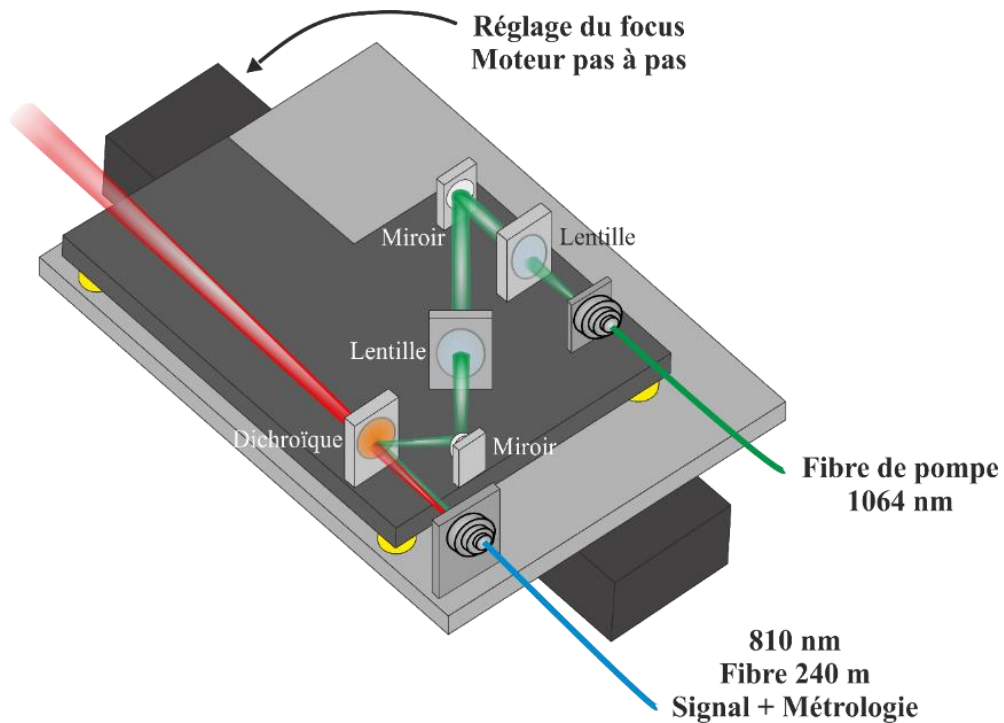


Plage de correction des actuateurs

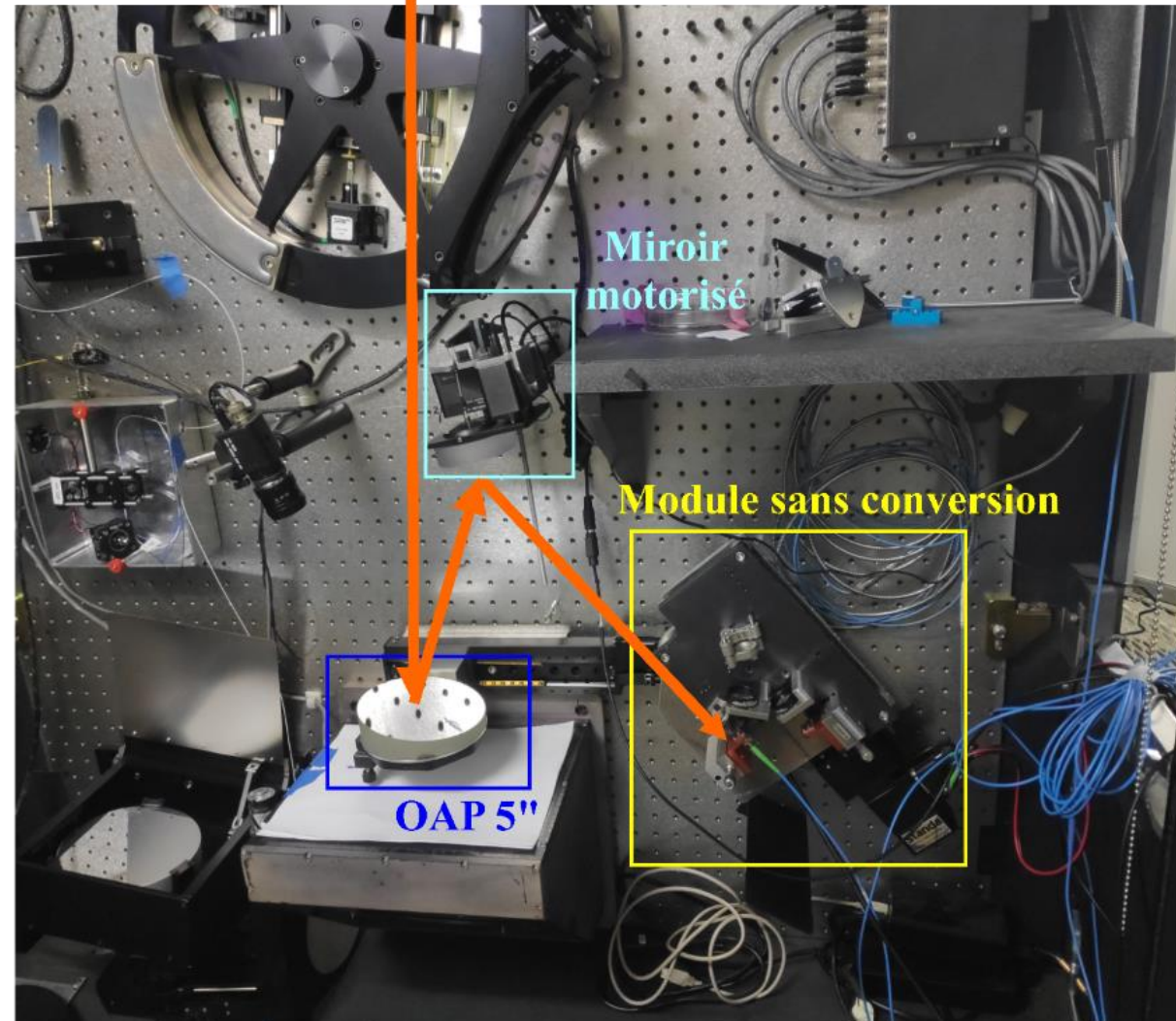


Modules d'injection dans les télescopes (sans conversion)

Sans
conversion

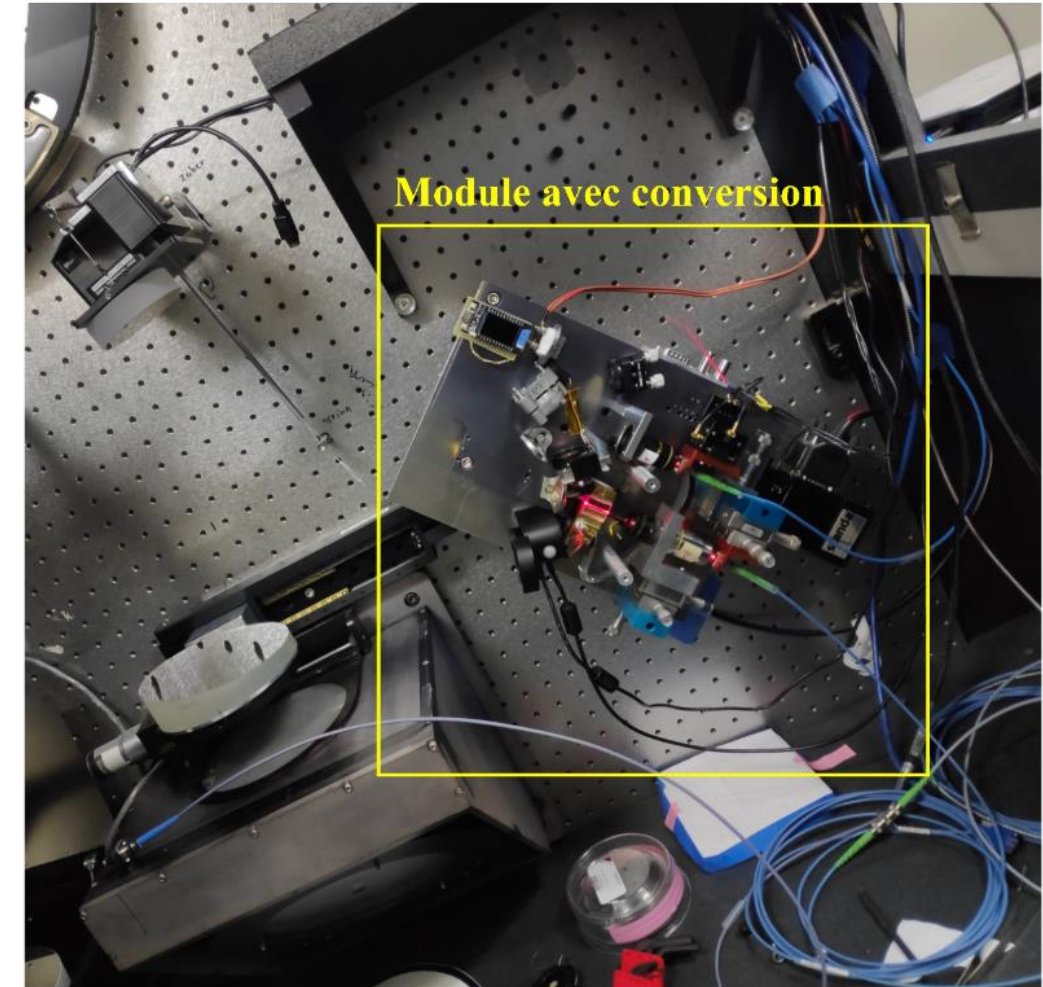
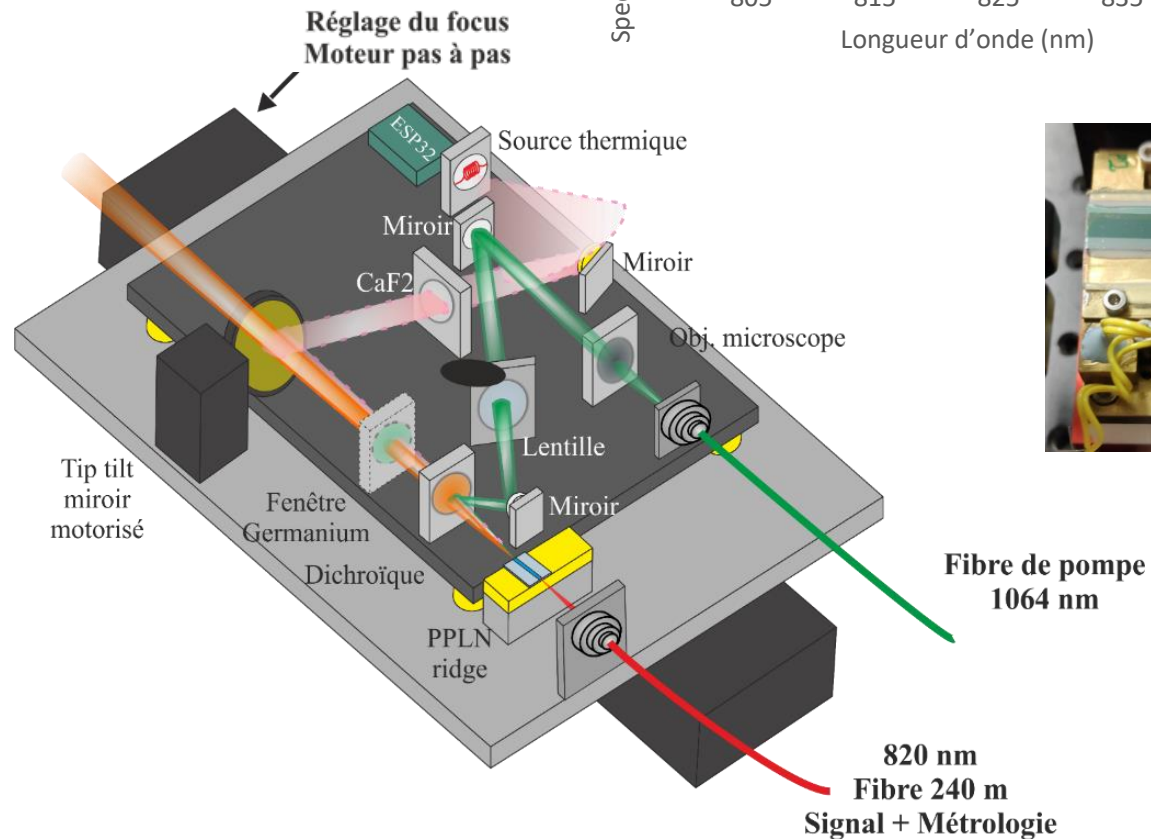
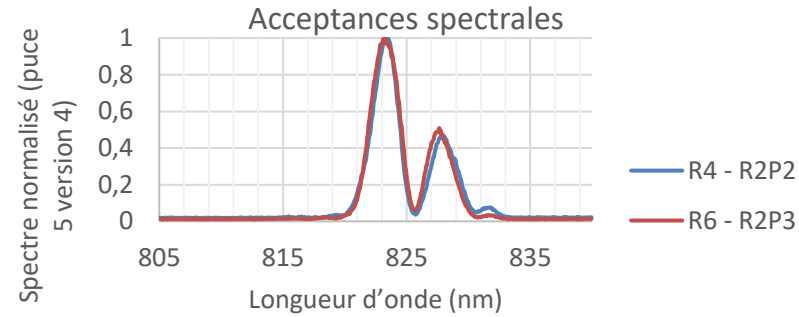


Lumière de l'étoile ciblée
collectée par le télescope

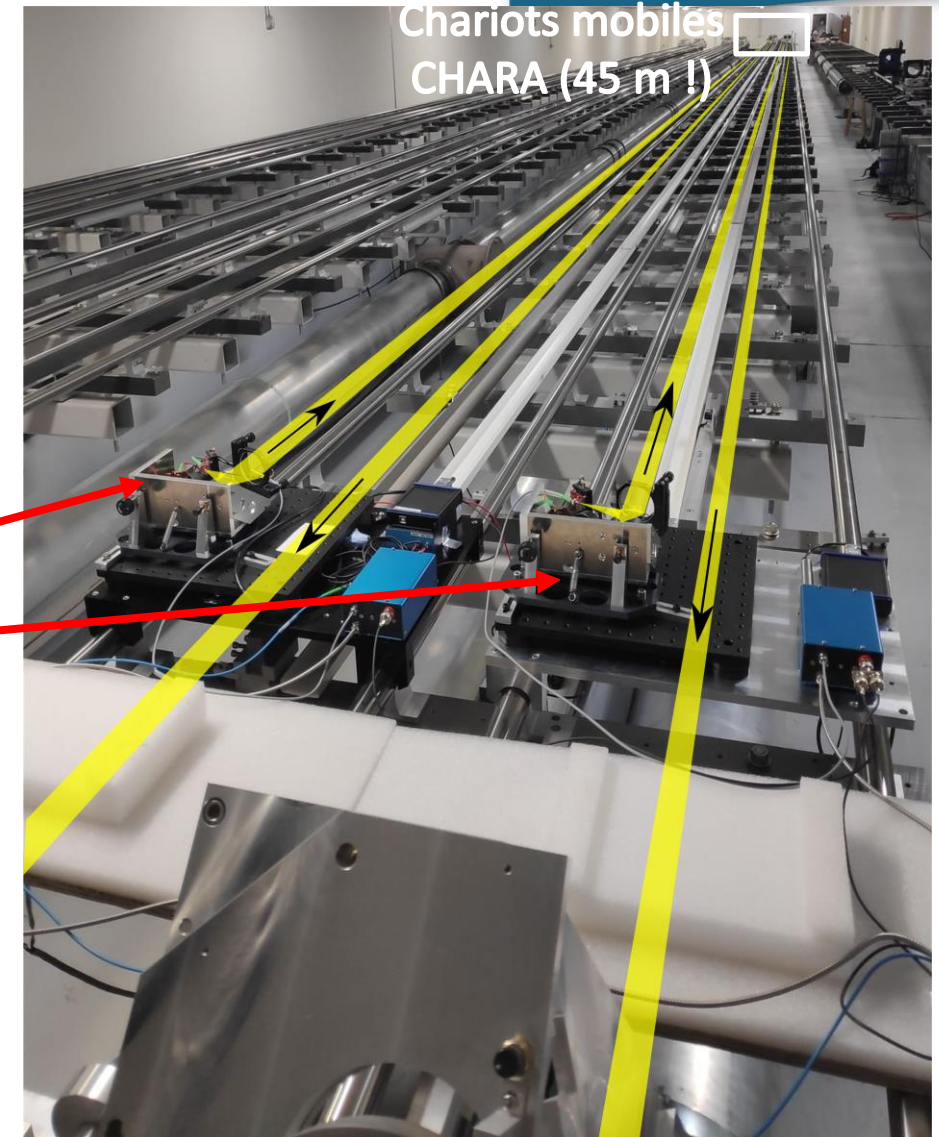
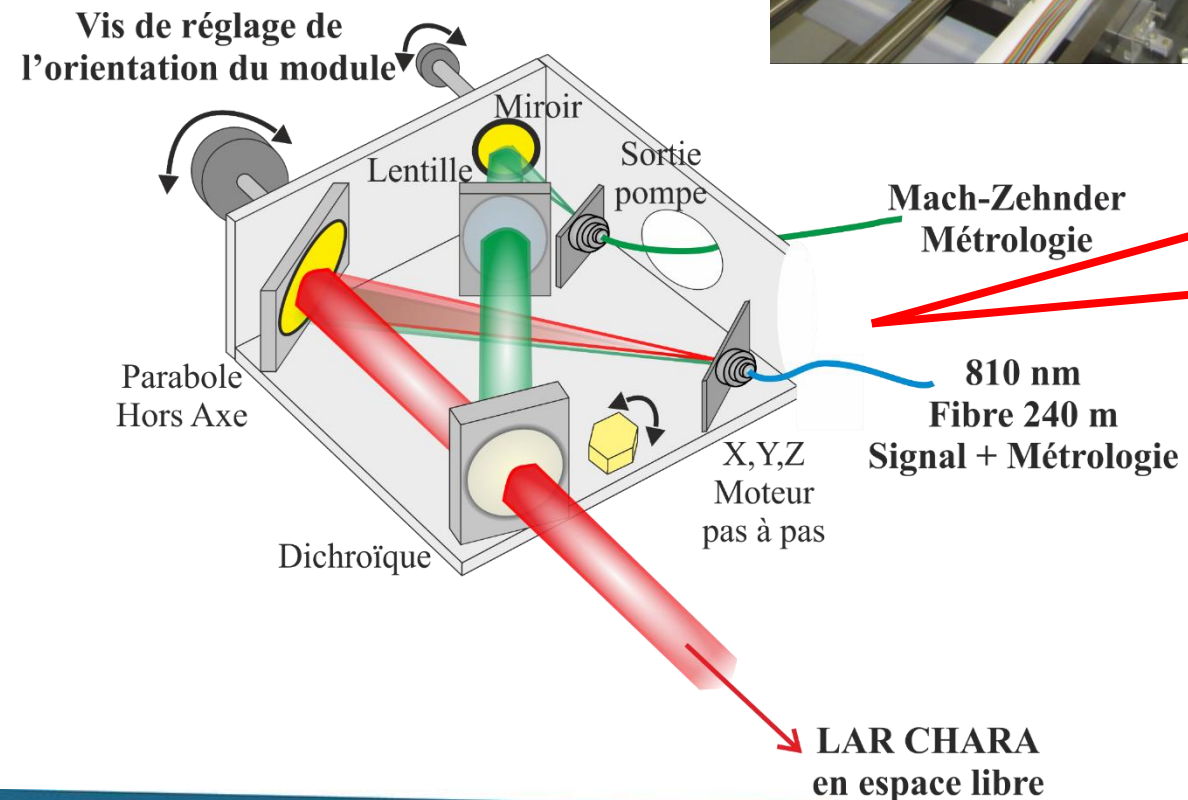


Modules d'injection dans les télescopes (avec conversion)

Avec
conversion



Modules de collimation (LAR CHARA)

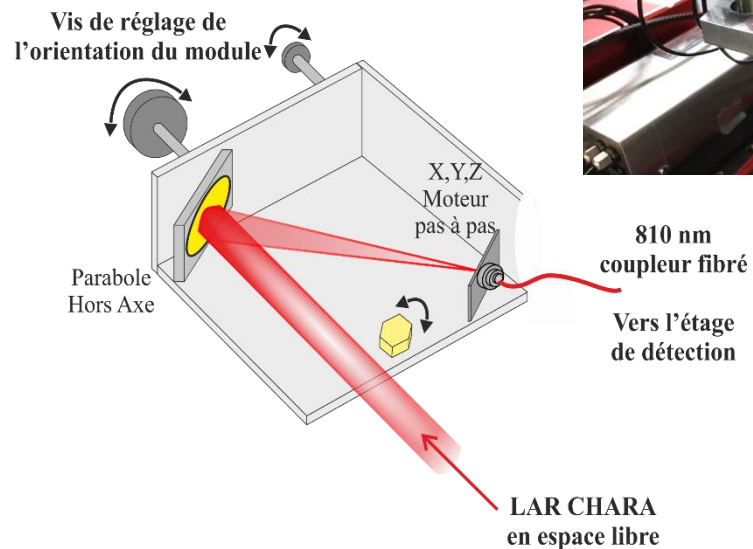
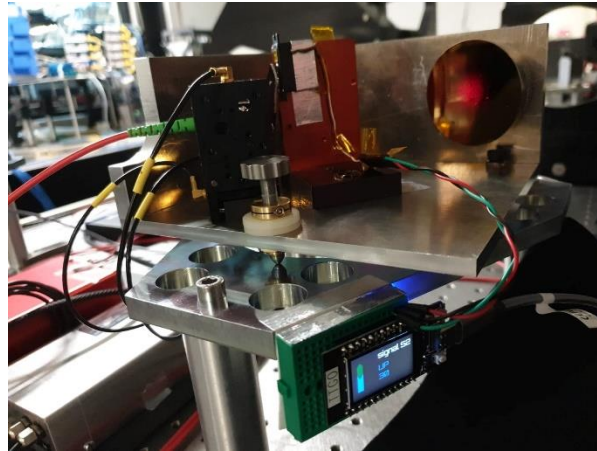


Modules de réinjection, recombinaison et détection

Récupération de la
lumière des LAR

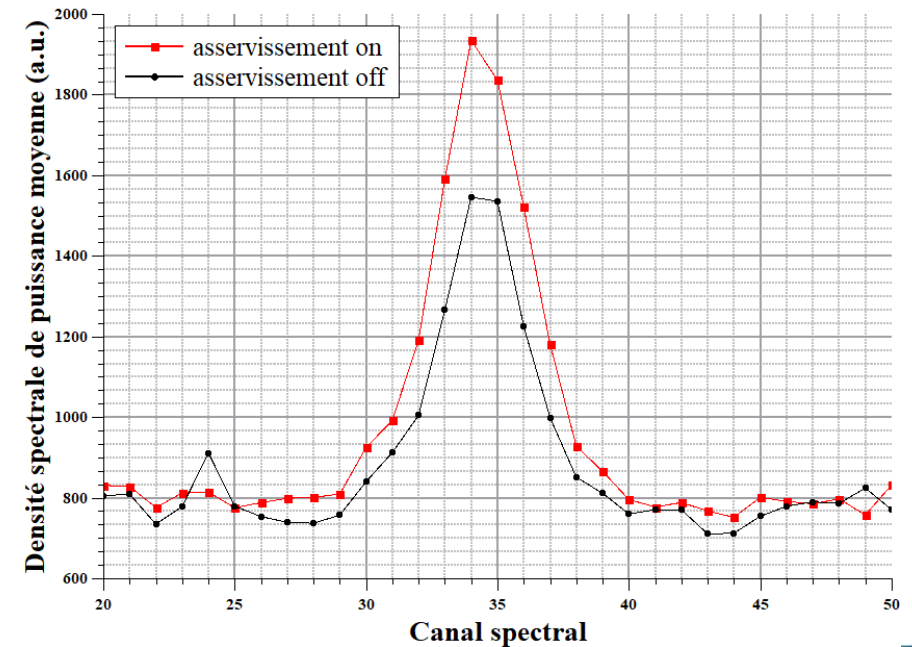
Recombinaison

Détection en
comptage de
photons

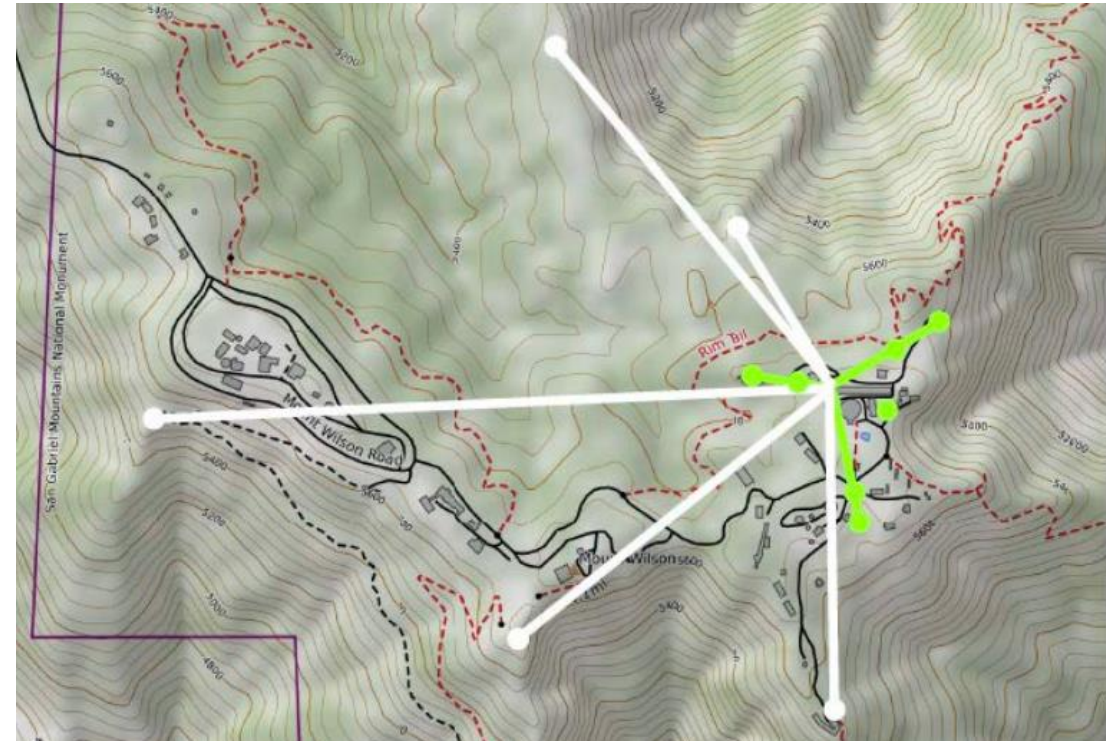


TF des franges temporelles

Franges sur le ciel - VEGA - 1000 trames de 0,2 s



- Franges sur le ciel avec un interféromètre fibré et asservi sans conversion de fréquences à CHARA en mars 2022
- Collaboration XLIM/CHARA sur la mise en œuvre d'un réseau de télescope fibré kilométrique (12 télescopes dont 1 mobile, base maximale 1130 m, 66 bases)
- ALOHA dans un CubeSat
- Amélioration du packaging



— : réseau existant (base maxi = 334 m)

— : futur réseau (base maxi = 1130 m)

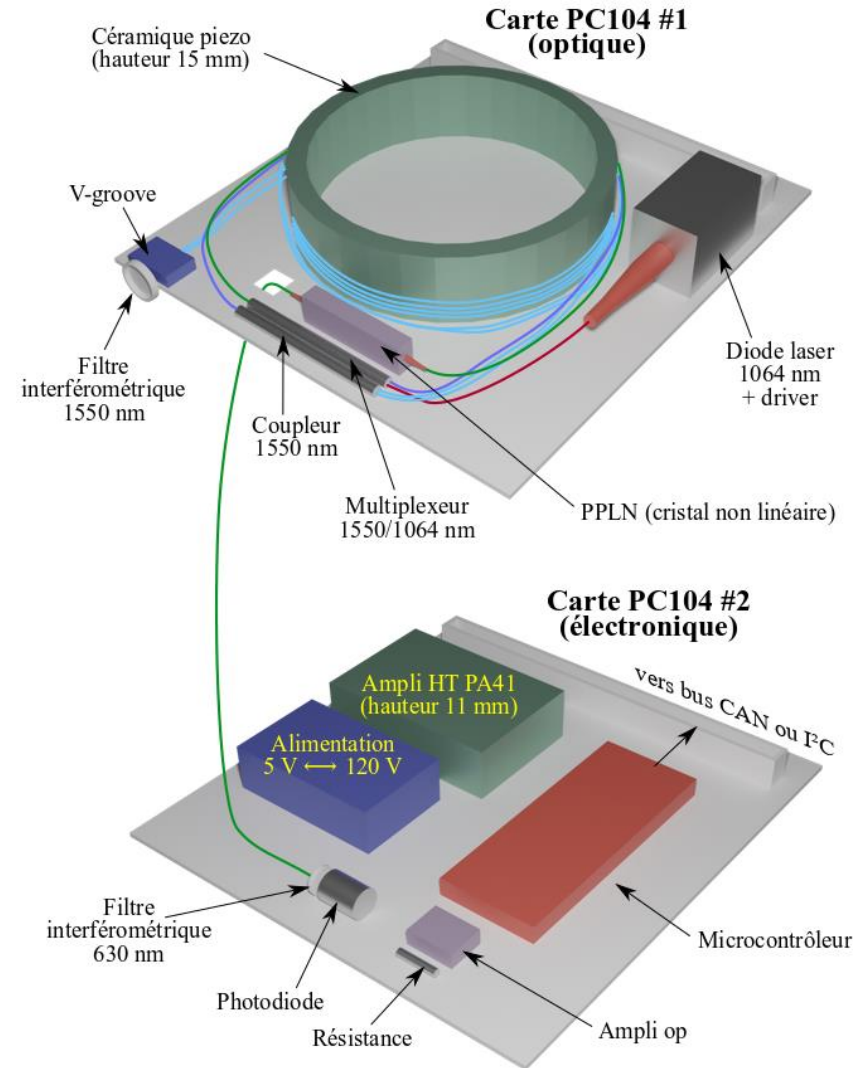
Collaborations CSU :

- CentraleSupélec
- OCA

Objectif : élargissement du domaine d'application du projet ALOHA au domaine du spatial

→ tests des composants dans un environnement spatial

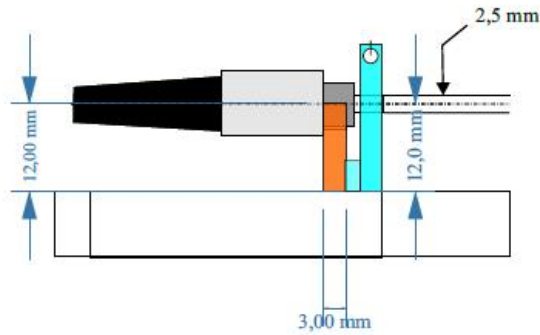
Mesure du diamètre du soleil



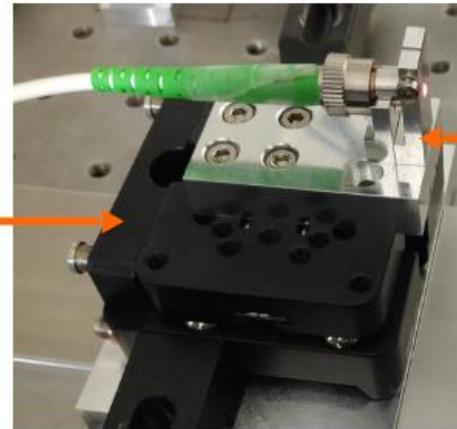
Premier prototype sans conversion de fréquence (ESUS)



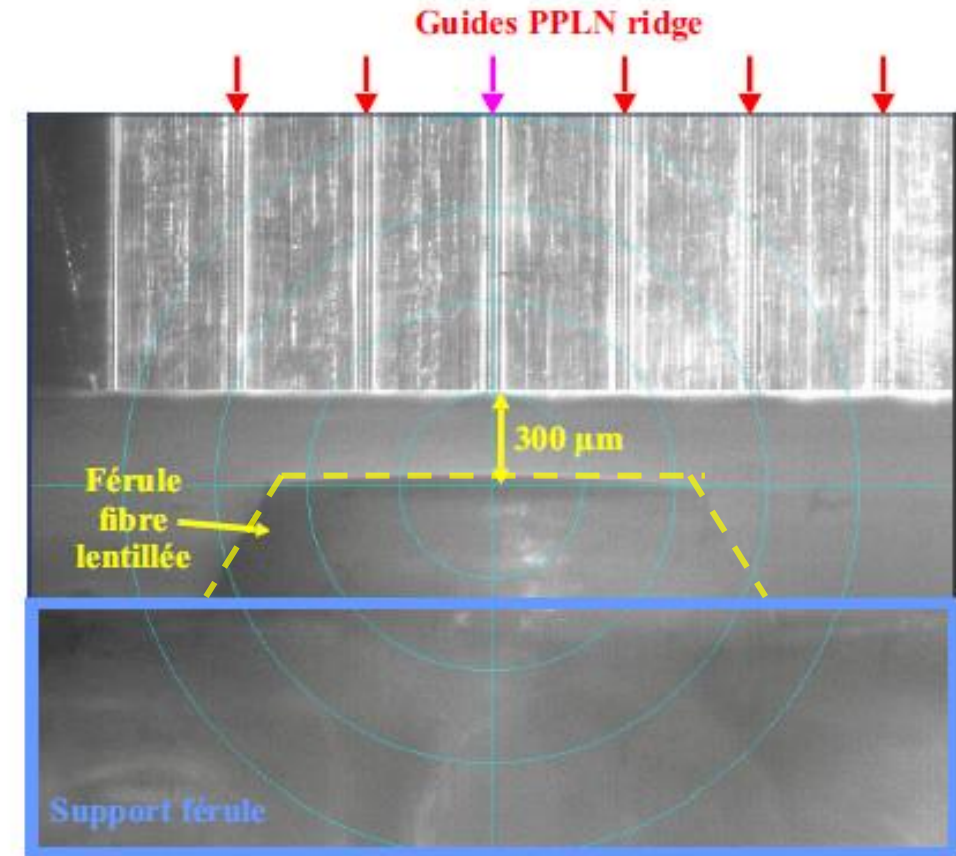
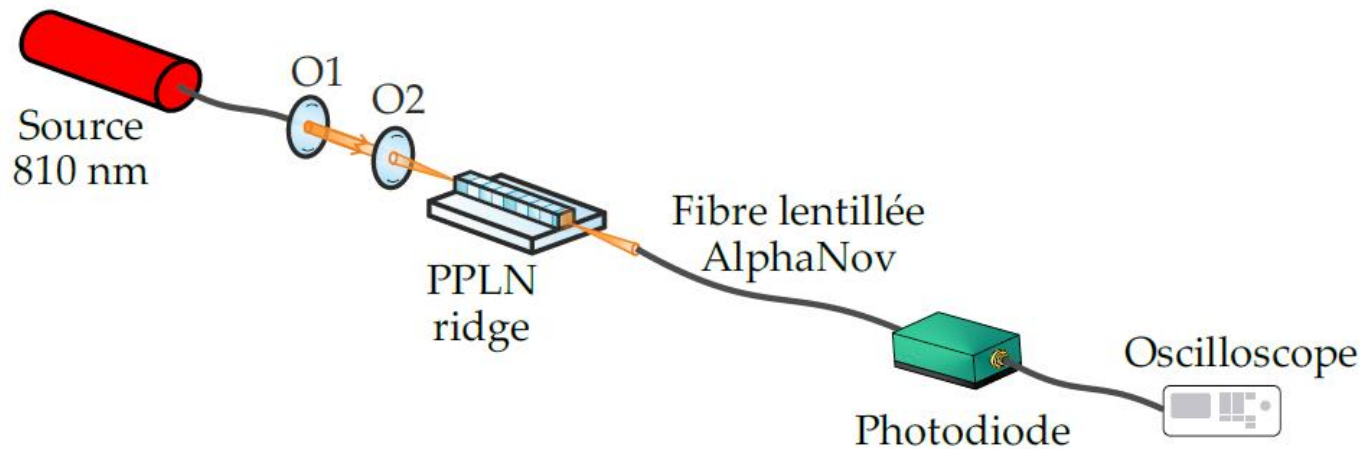
Second prototype avec conversion de fréquence



Platine
de translation
(X, Y, Z)
et rotation
(lacet, tangage)



Support
fibre



Meilleur résultat obtenu : coefficient
d'injection de 76,7% du flux optique



Revue internationale à comité de lecture :

- ❖ **« Influence of the input-stage architecture on the in-laboratory test of a mid-infrared interferometer: application to the ALOHA up-conversion interferometer in the L band »**,

Julie Magri, Lucien Lehmann, Ludovic Grossard, Laurent Delage, François Reynaud, Mathieu Chauvet, Florent Bassignot, Rodolphe Krawczyk and Jean-Michel Le Duigou ; MNRAS, Vol 501, Feb 2021, pp 531–540, doi.org/10.1093/mnras/staa3283 (Facteur d'impact : 5.356)

- ❖ Université de Limoges : **« Projet ALOHA : Interféromètre fibré à conversion de fréquence dans le moyen et lointain infrarouge »**,

Julie Magri, Ludovic Grossard, Laurent Delage, François Reynaud,
<https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/83> – DOI : 10.25965/lji.83 ; CC BY-NC-ND 4.0 International

Soumis et en attente de retour :

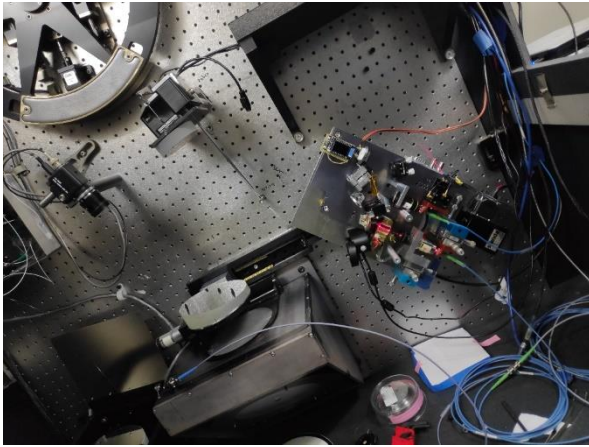
- ❖ **« Outdoor fibre link between two telescopes and the lab of the CHARA array at 810 nm. Demonstration of the optical path servo control. »**,

Julie Magri, Ludovic Grossard, François Reynaud, Marc Fabert, Laurent Delage, Rodolphe Krawczyk and Jean-Michel Le Duigou,
09 September 2022 – Experimental Astronomy, PREPRINT (Version 1) available at Research Square <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2014442/v1>

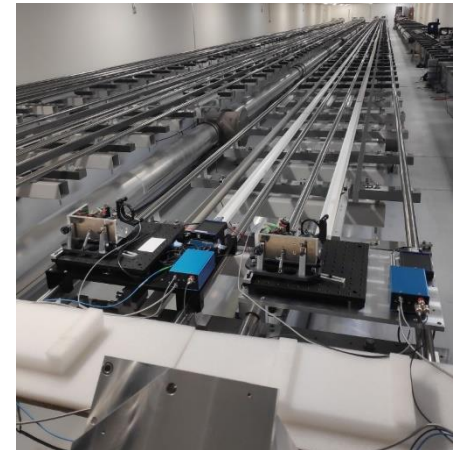
Prêt pour soumission (en attente du retour de la précédente) :

- ❖ **« First on-the-sky interference fringes at 810 nm with the CHARA array using servo controlled hectometric outdoor fibre links »**,

Julie Magri, Ludovic Grossard, François Reynaud, Marc Fabert, Laurent Delage, Robert Ligon, Norm Vargas, Olli Majoinen, Theo ten Brummelaar, Chris Farrington, Nic Scott, Narsireddy Anugu, Gail Schaefer, Douglas Gies, Craig Woods, Steve Golden, Victor Castillo, Matt Anderson, Rodolphe Krawczyk, Jean-Michel Le Duigou,
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022-2023



Merci pour votre
attention





ALPhA NOV

Centre Technologique Optique et Lasers



Avez-vous des questions ?

www.alphanov.com



RÉGION
Nouvelle-Aquitaine



MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION



université
de **BORDEAUX**



CRT



centre de
ressources
technologiques

ISO 9001:2015
BUREAU VERITAS
Certification





Annexes

Thèse de Julie : laboratoire XLIM



ALPhA NOV
Centre Technologique Optique et Lasers



Permanents:

L. Grossard
L. Delage
F. Reynaud (Emérite)

Doctorants & post doc:

J. J. Alleman
H Lagorceix
E. Longuetau
S. Pokrovsky
L. Simohamed
G. Huss
J. Sagne
S. Vergnole
S. Olivier
S. Brustlein
L. Del Rio
L. Bouyeron
D. Ceus
J.T Gomes Novae
R. Baudoin GB
P. Darré ESO (D, Chili)
L. Szemendera GB
L. Lehmann
J. Magri

FOGALE semicon



LEUKOS
Innovative Optical Systems



HORIBA
Explore the future

ALPhA NOV
Centre Technologique Optique et Lasers



Département photonique

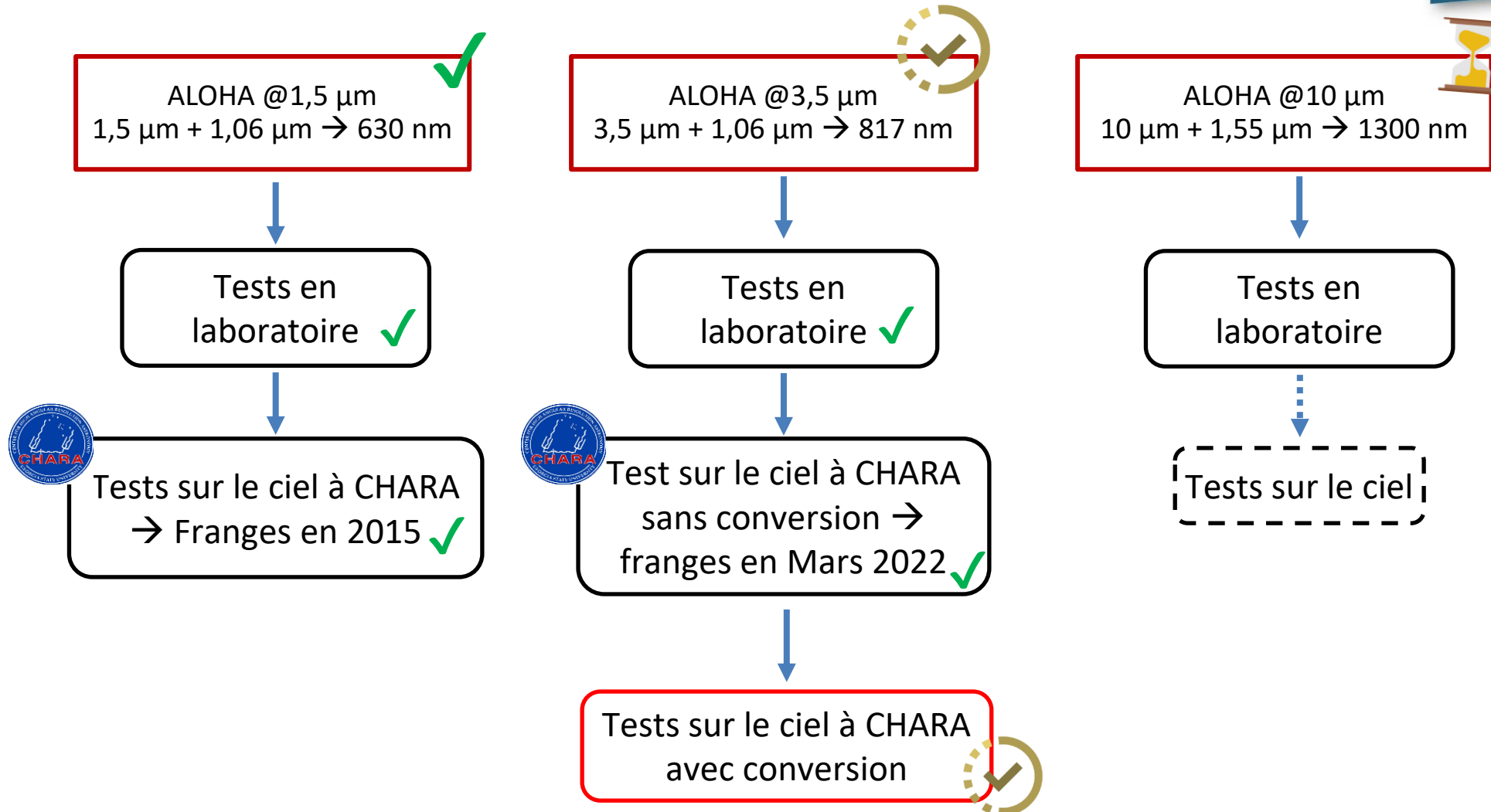


Collaborations:

ESA
ESO
CNES
INSU
THALES
EADS
FEMTO ST
Observatoires de Nice, Lyon, Meudon,
Toulouse, Grenoble
Mauna Kea (HI USA), Mont Wilson (CA USA)



Stratégie du projet ALOHA



Influence de λ sur les dimensions du réseau : **xlim** vers un réseau fibré

Pour une résolution angulaire constante
si $\lambda \nearrow \Rightarrow$ base $\nearrow \Rightarrow \varnothing_{\text{faisceaux}} \nearrow$

	$\lambda = 2,5 \mu\text{m}$	$\lambda = 3,5 \mu\text{m}$	$\lambda = 10 \mu\text{m}$
Rapport d'homothétie R	1	1,4	4
Distance de propagation L (m)	435	609	1740
Longueur de Fresnel α (m)	4908	6871	19632
Diamètre des optiques (cm)	12,5	17,5	50

\Rightarrow refonte complète de l'architecture du réseau

Avantages de l'utilisation de liaisons fibrées :

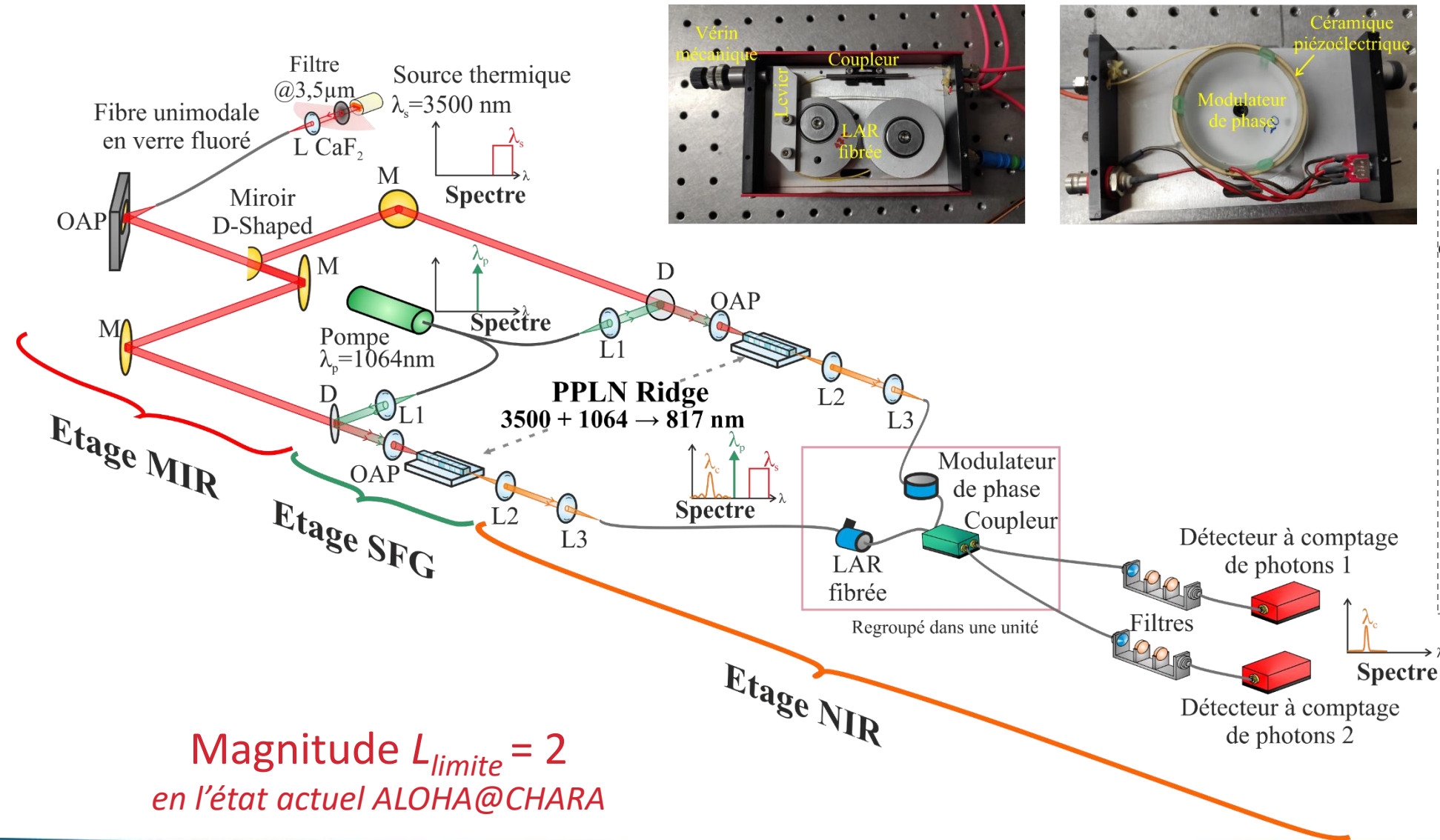
- Plus de limitations liées aux diamètres des faisceaux et à la longueur de Fresnel associée
- Facile d'installation (flexible)
- Peu de pertes de puissance
- Pas besoin de construire des infrastructures complexes (CHARA = site historique protégé)

Conduit PVC

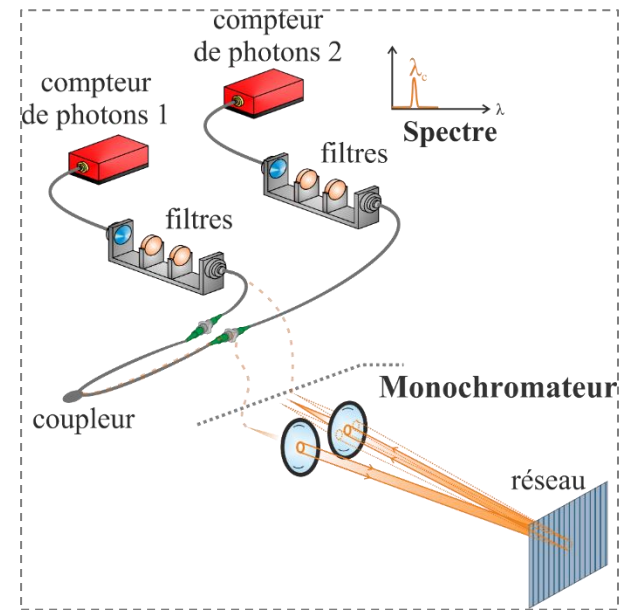
Fibre



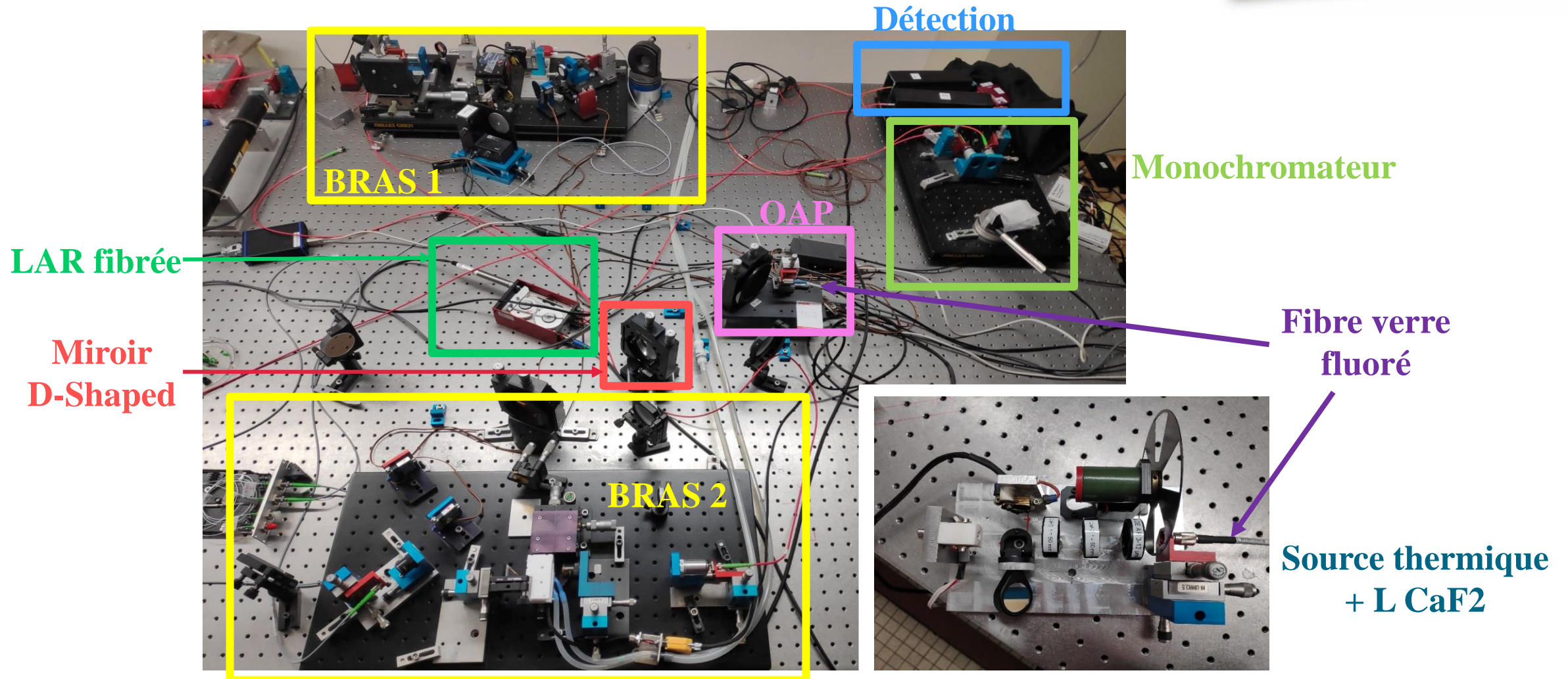
Interféromètre en laboratoire à 3,5 μm

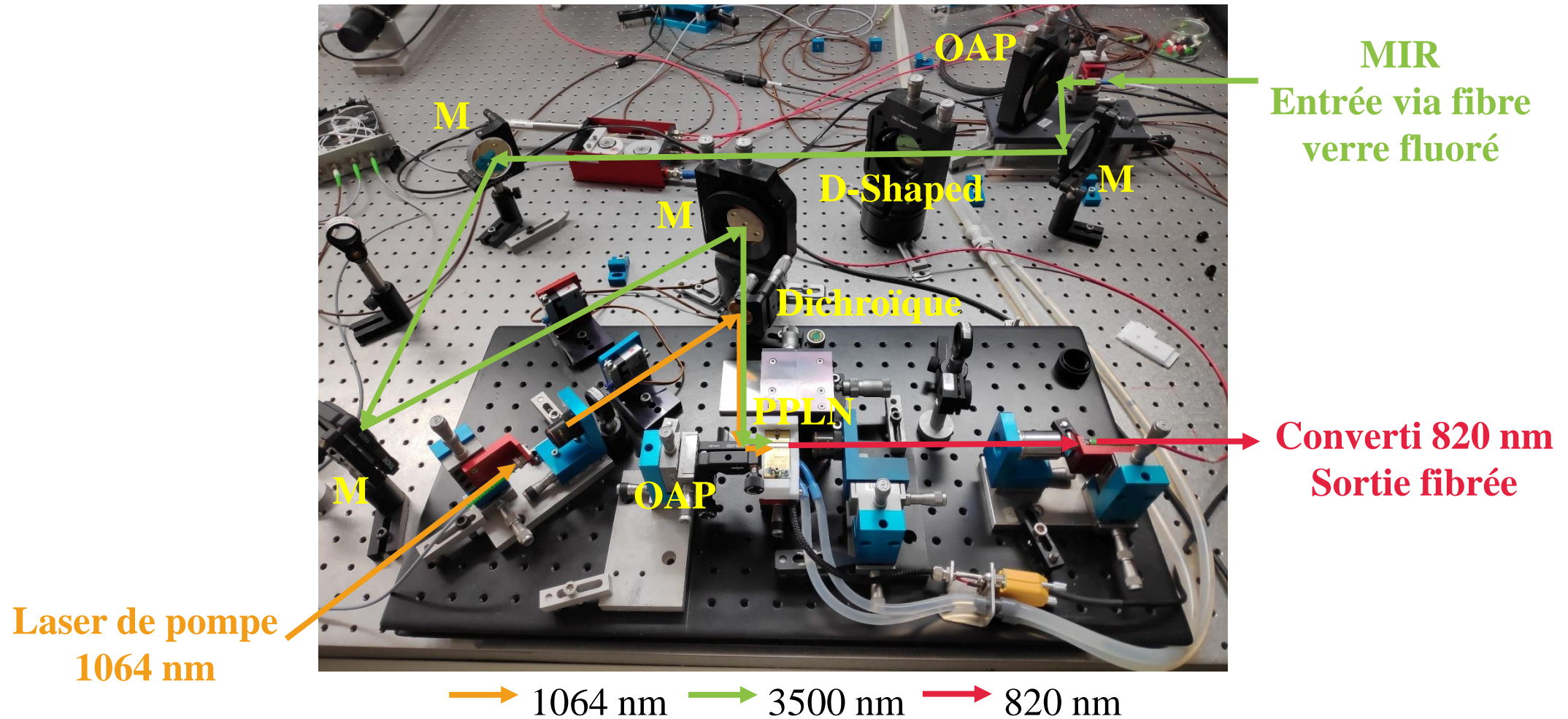


Ajout d'un monochromateur



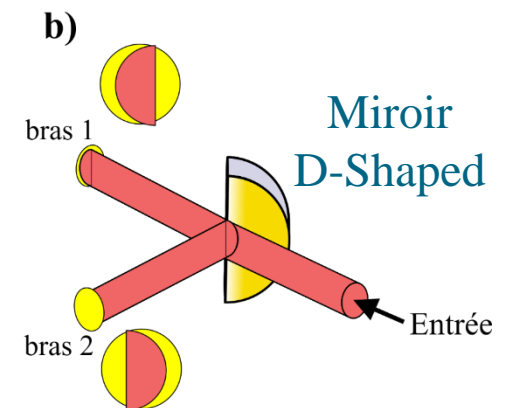
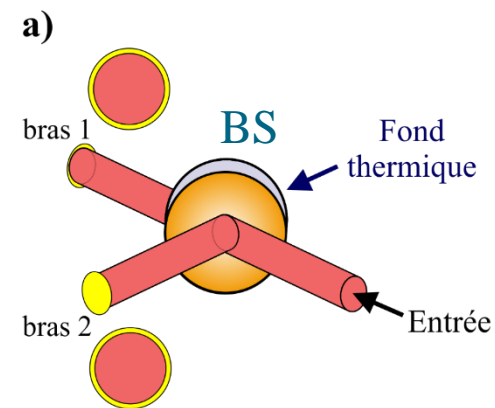
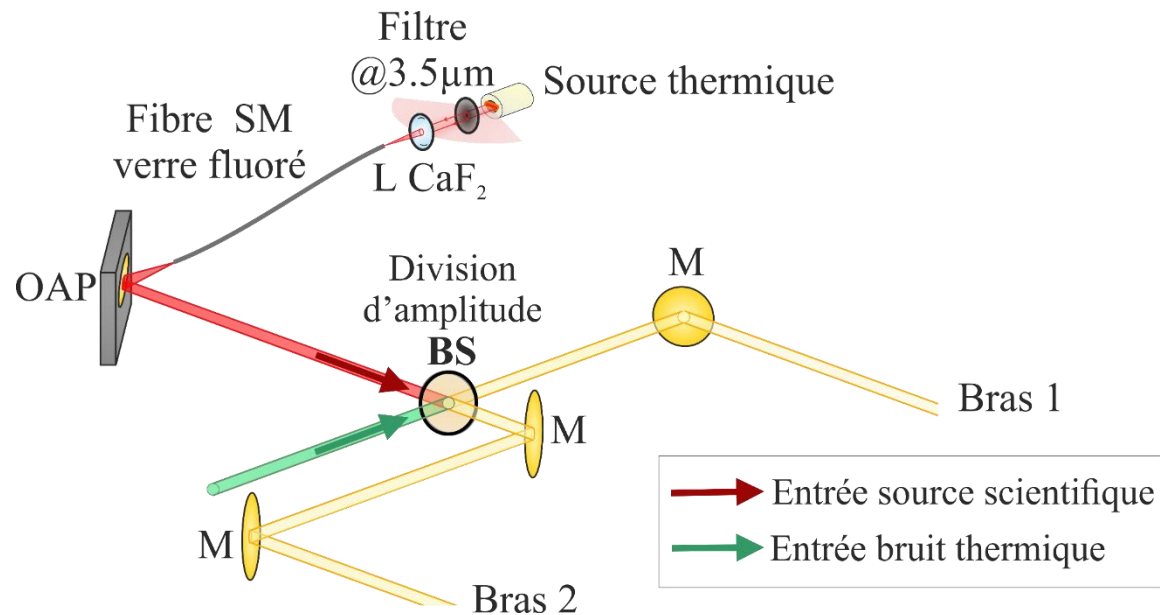
Magnitude $L_{\text{limite}} = 2$
en l'état actuel ALOHA@CHARA

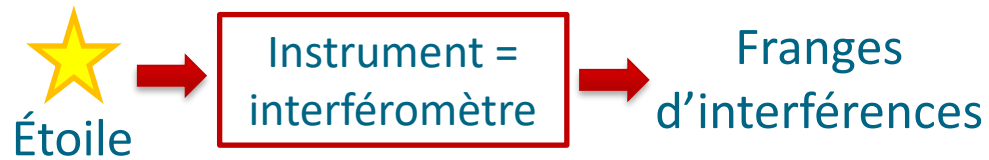




Configuration lame séparatrice : division d'amplitude
VS

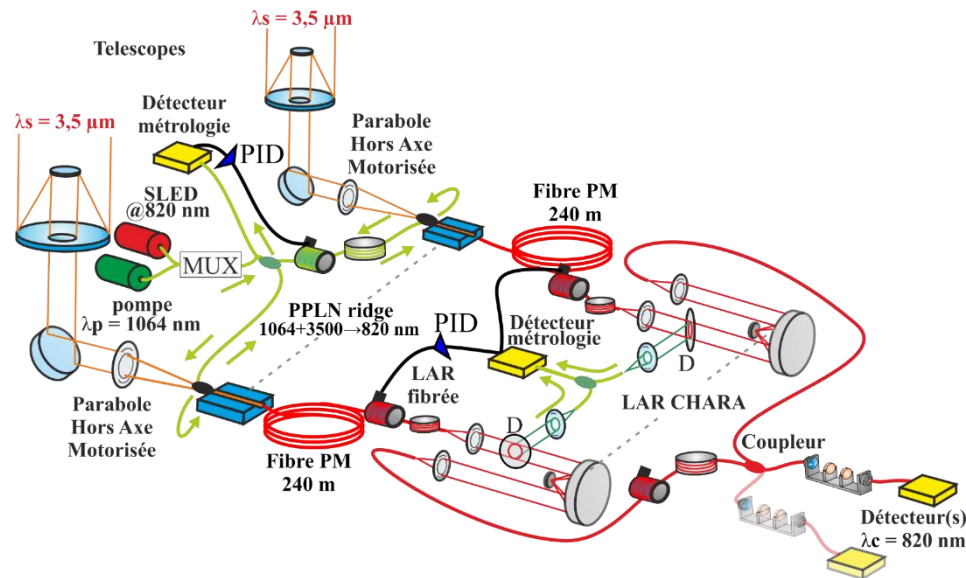
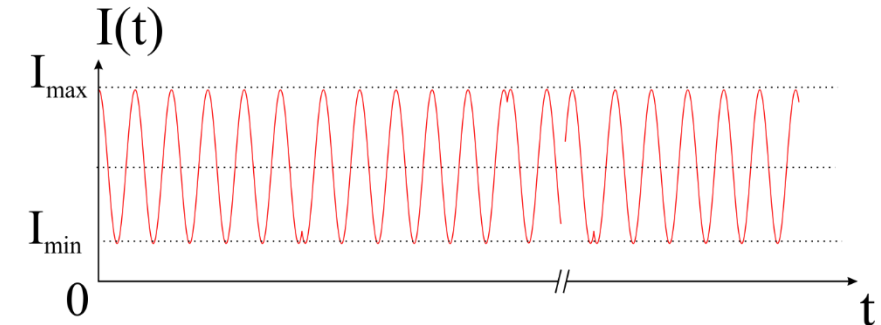
Configuration miroir D-Shaped : division de front d'onde





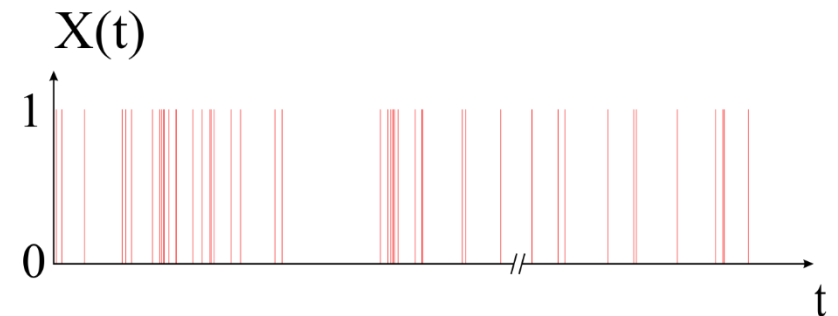
Flux moyen I_0
x
Densité de probabilité
normalisée

Détection analogique continue



Photoévénements
+ bruit

Détection en régime de comptage de photons



Modulation de phase (rampe de tension)

Figure d'interférence temporelle sinusoïdale

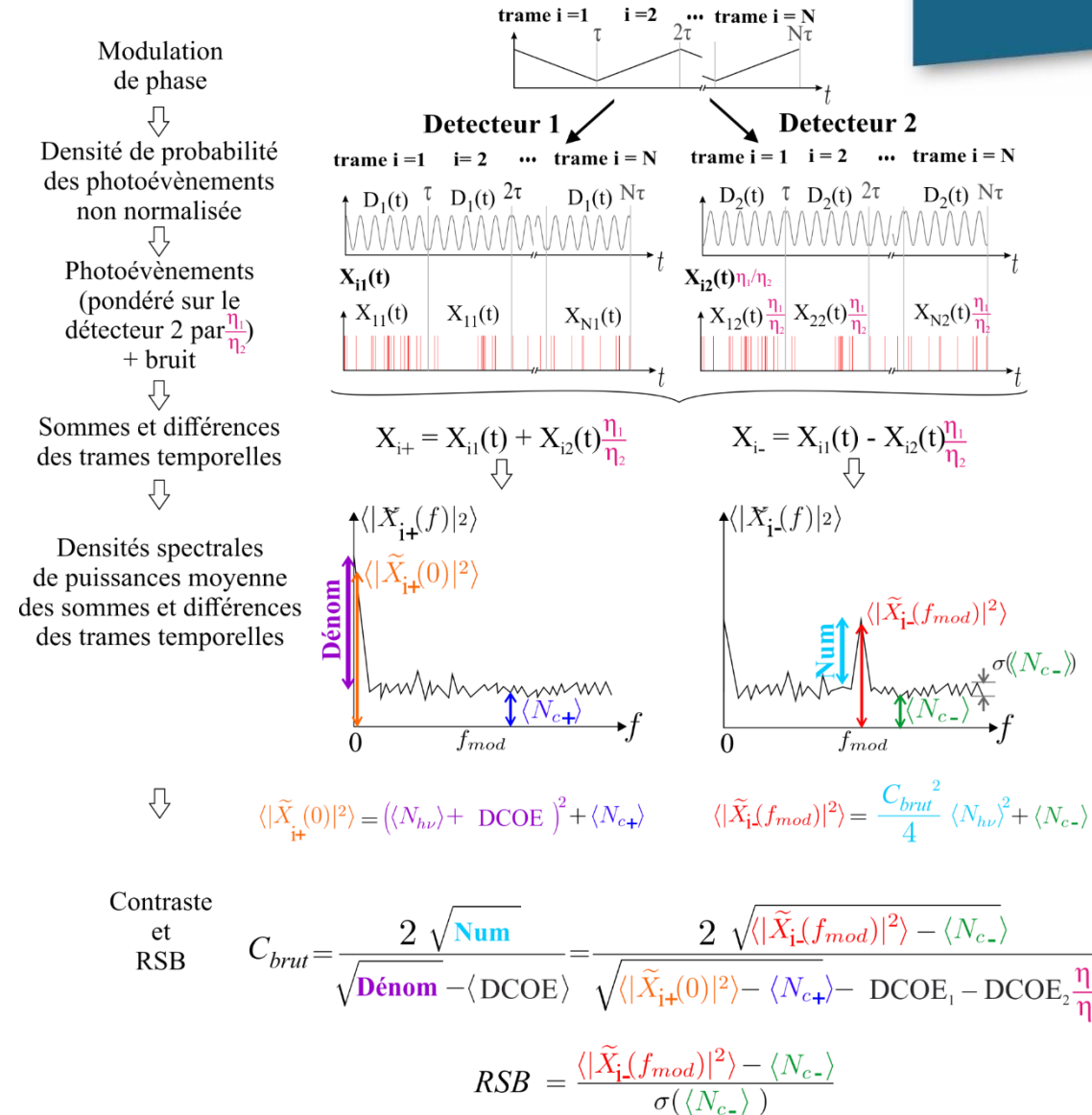
Comptage de photons

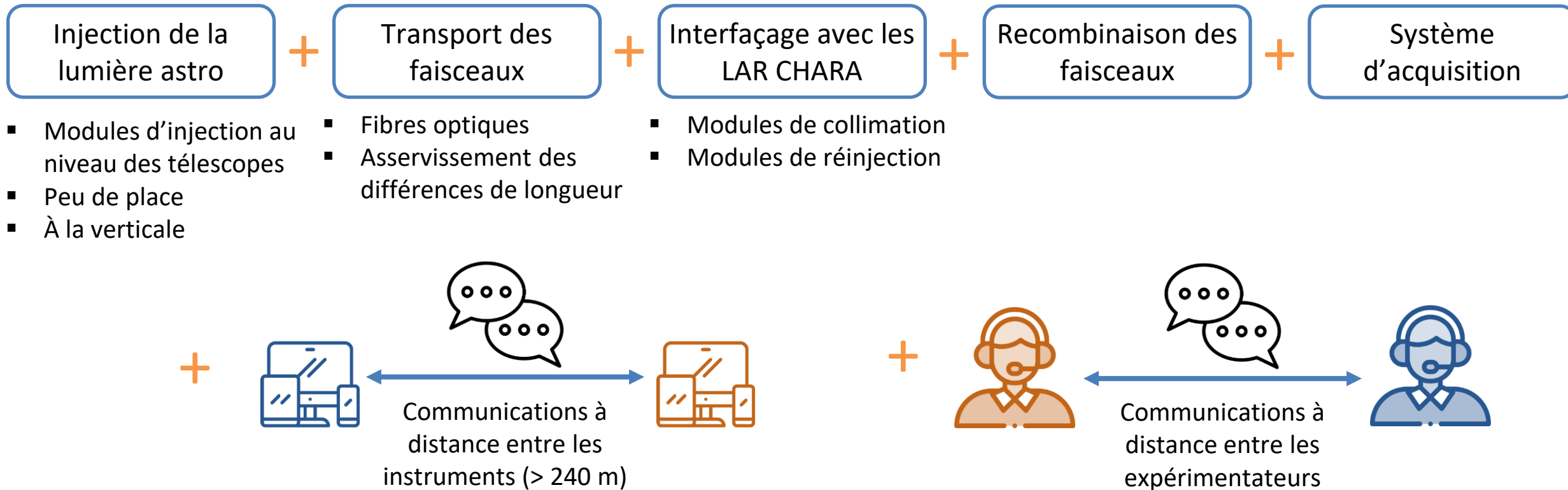
Densité Spectrale de Puissance

Moyennage incohérent

→ Contraste et RSB

(Remarque : deux détecteurs → RSB $\times 2\sqrt{2}$)





- **Deux fibres de 50 m :**

Laser de pompe à 1064 nm dans S1

→ table optique de S1

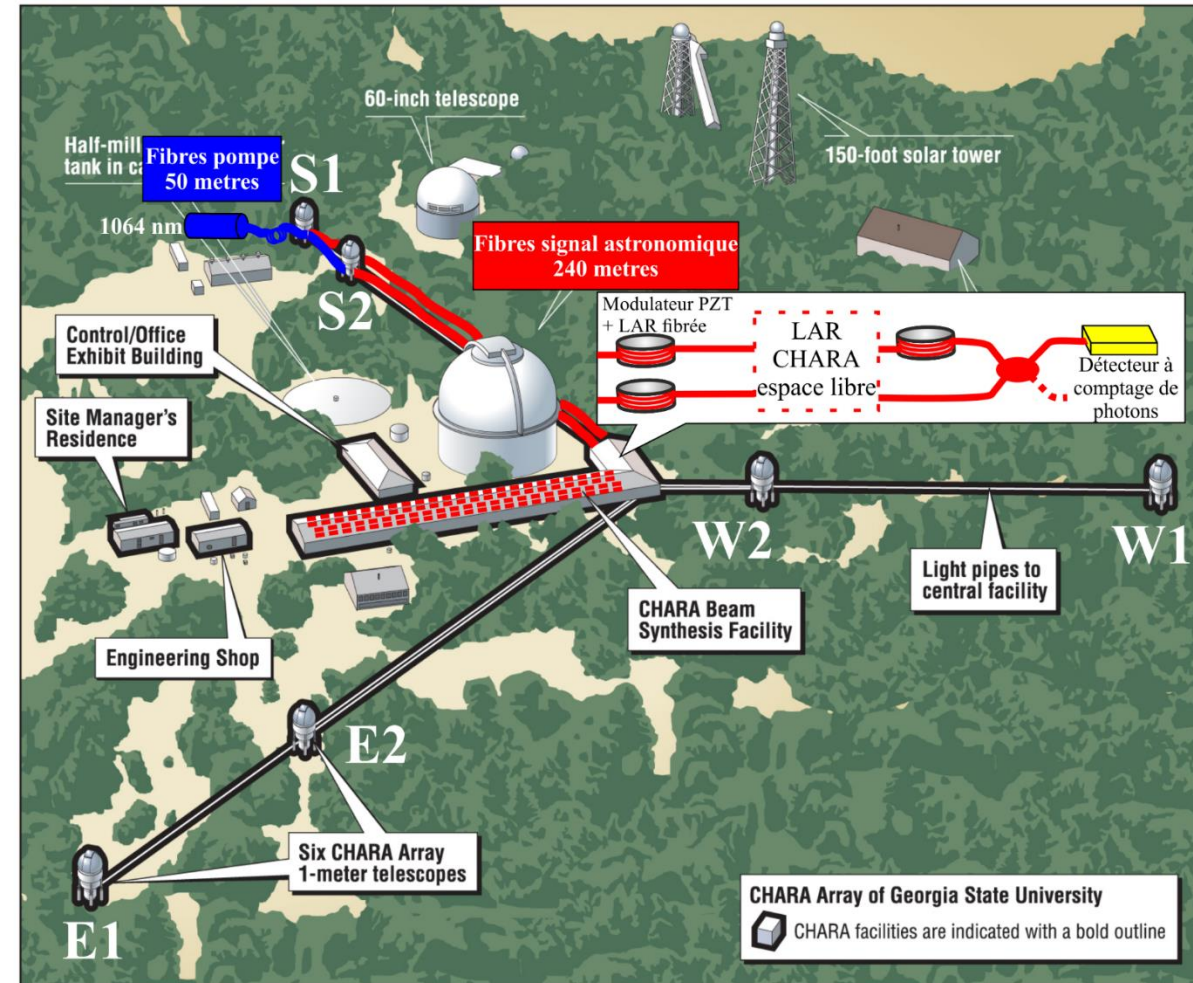
→ table optique de S2

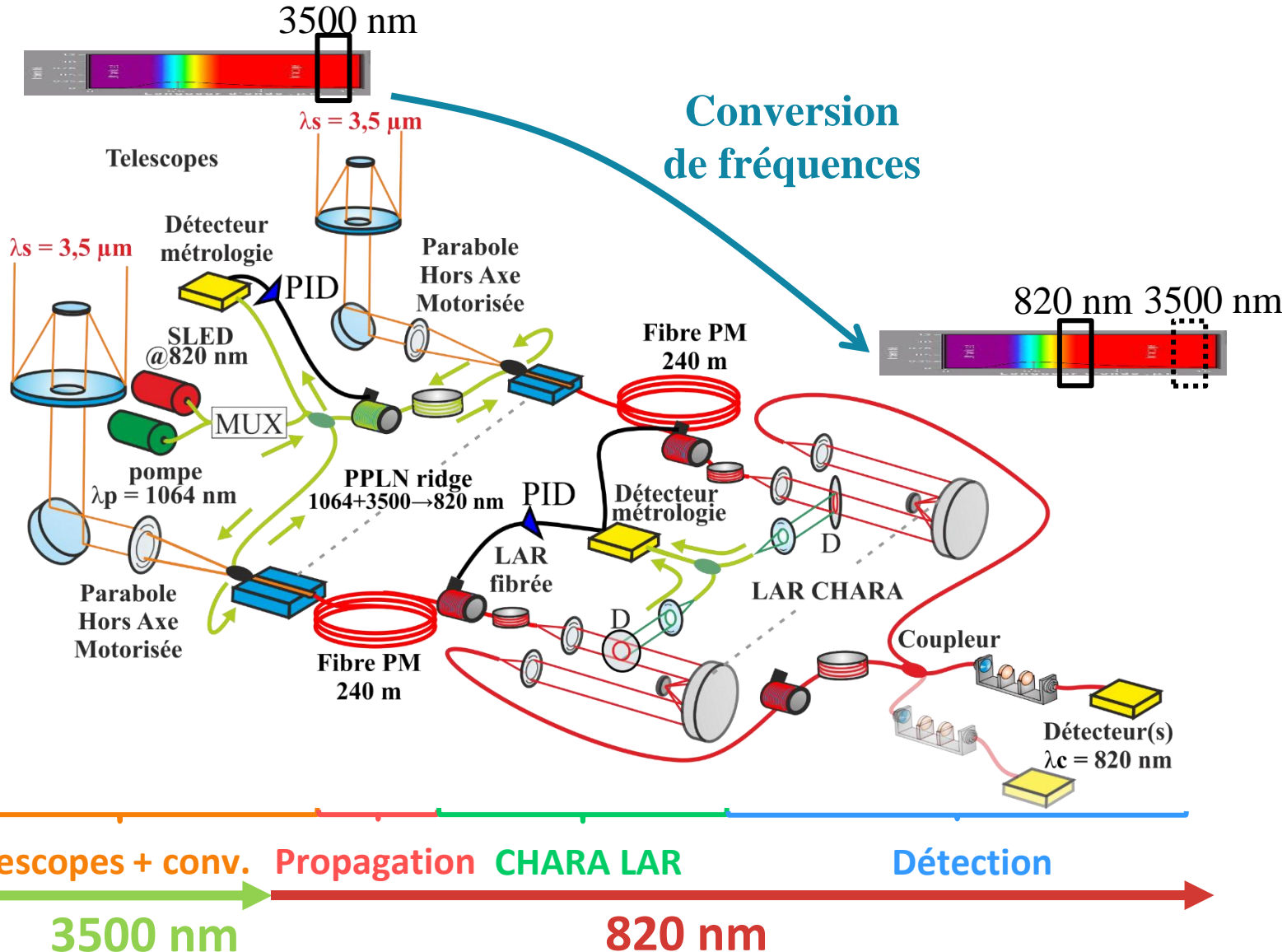
- **Deux fibres de 240 m :**

Signal astronomique à 810-820 nm (converti ou non)

table optique de S1 → lab recombinaison

table optique de S2 → lab recombinaison





Télescopes + conversion de fréquence

- Injection MIR
- Etage de la pompe (fibres 50 m)
- Conversion de 3500 \rightarrow 820 nm
- Asservissement Michelson pompe

Propagation fibrée longue distance

- Fibres de 240 m PM 820 nm
- OPD stabilisation

Lignes à retard CHARA

- Lignes à retard CHARA (collimation et réinjection du faisceau converti)
- Asservissement Mach-Zehnder fibres 240 m

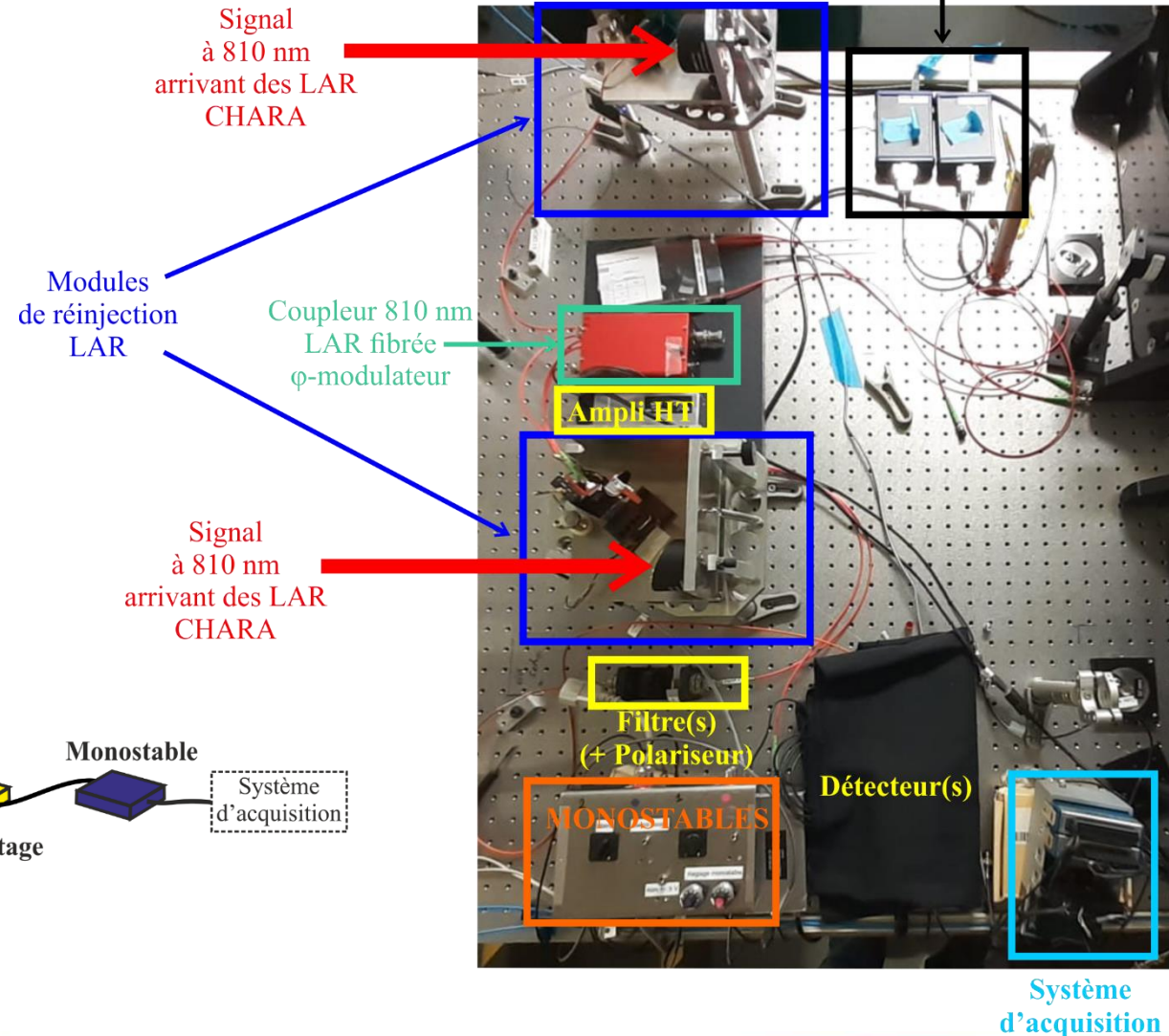
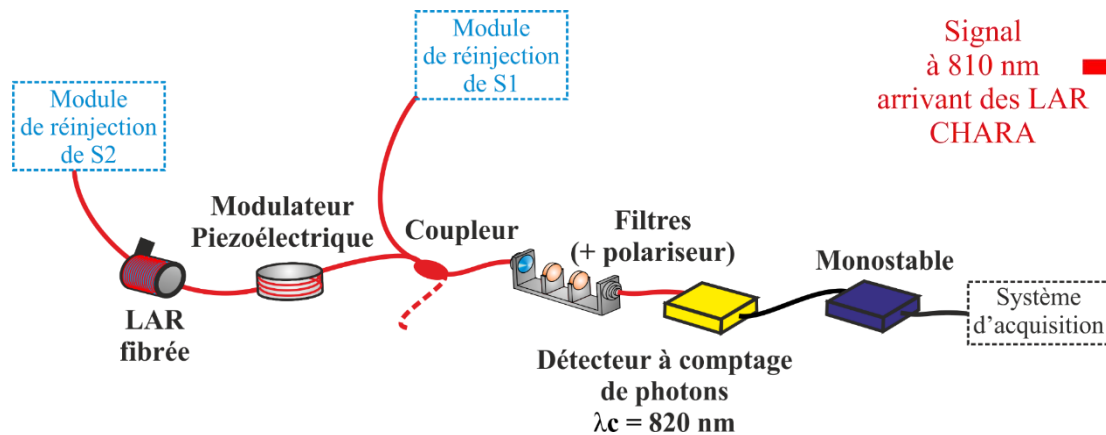
Détection

- OPD modulation (piezo)
- Coupleur recombinaison + LAR fibrée
- Filtres + compteur(s) de photons

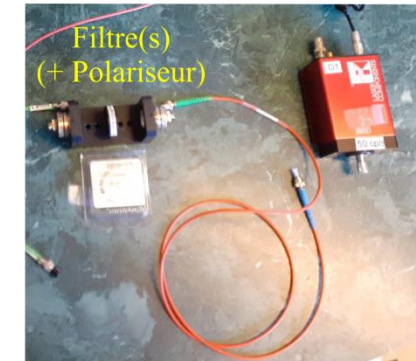
PPLN: Periodically Poled Lithium Niobate

OPD : Optical Path Difference

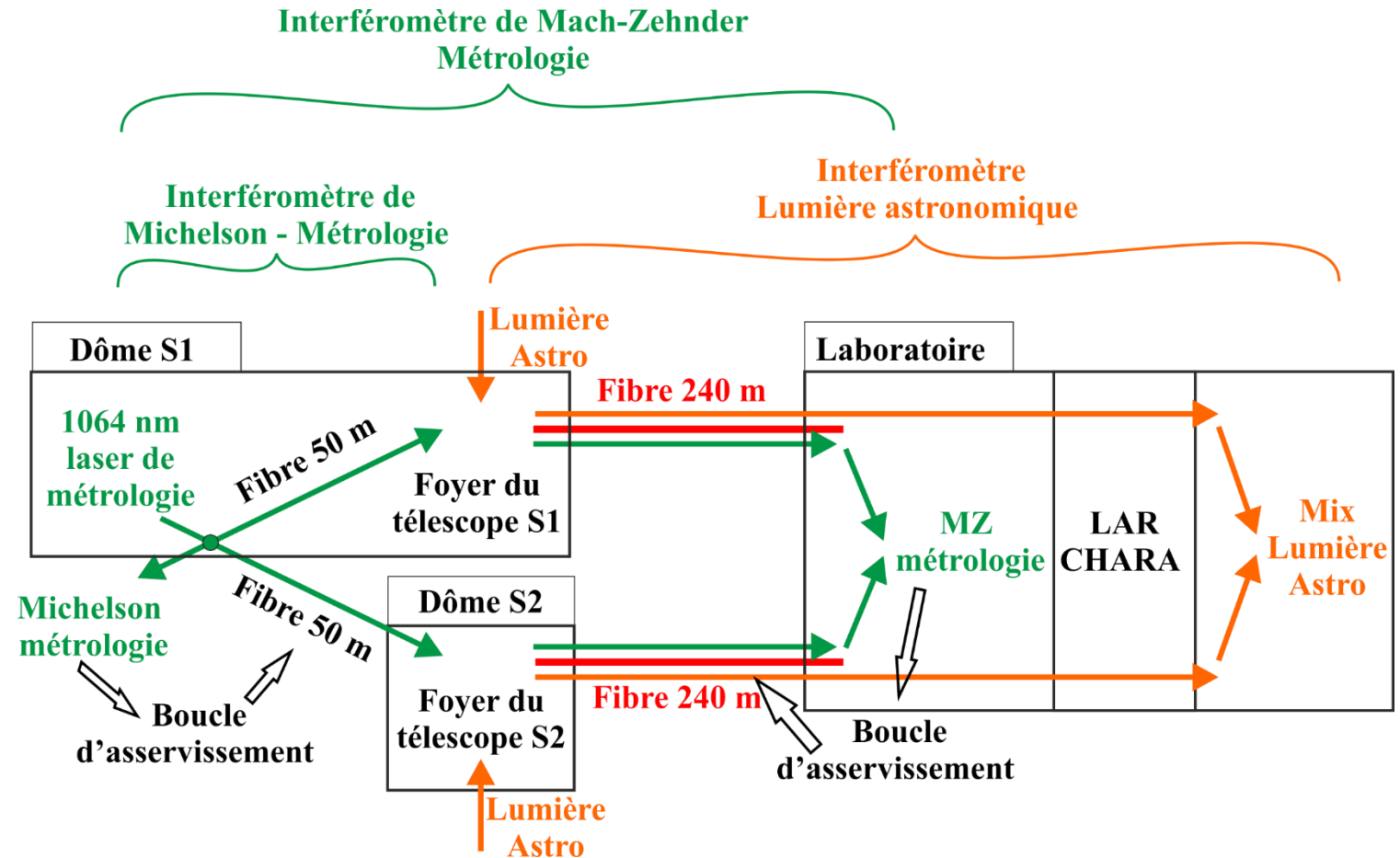
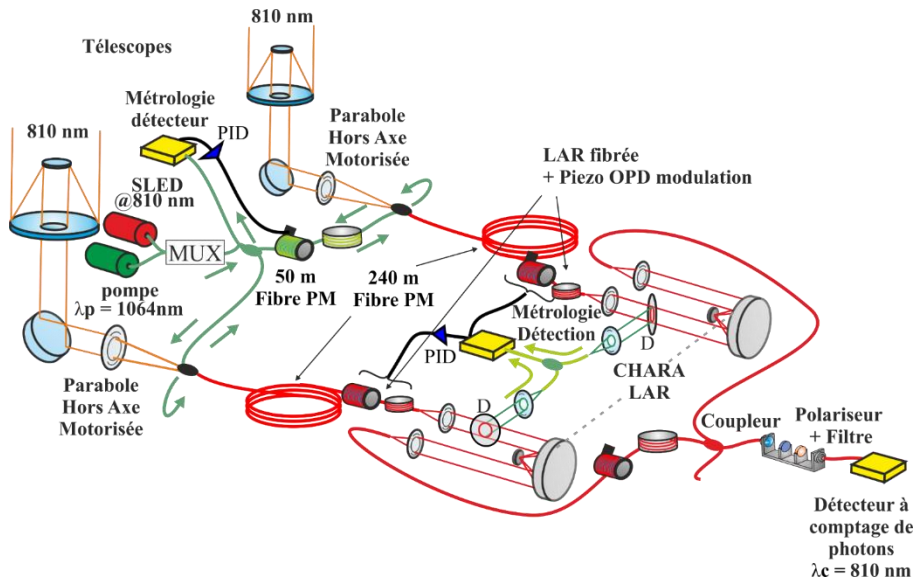
- Coupleur de recombinaison
- Ligne à retard fibrée (fixe)
- OPD modulation (piezo)
- Filtres
- Compteurs de photons
- Monostables
- Acquisition



Détecteur à comptage de photons

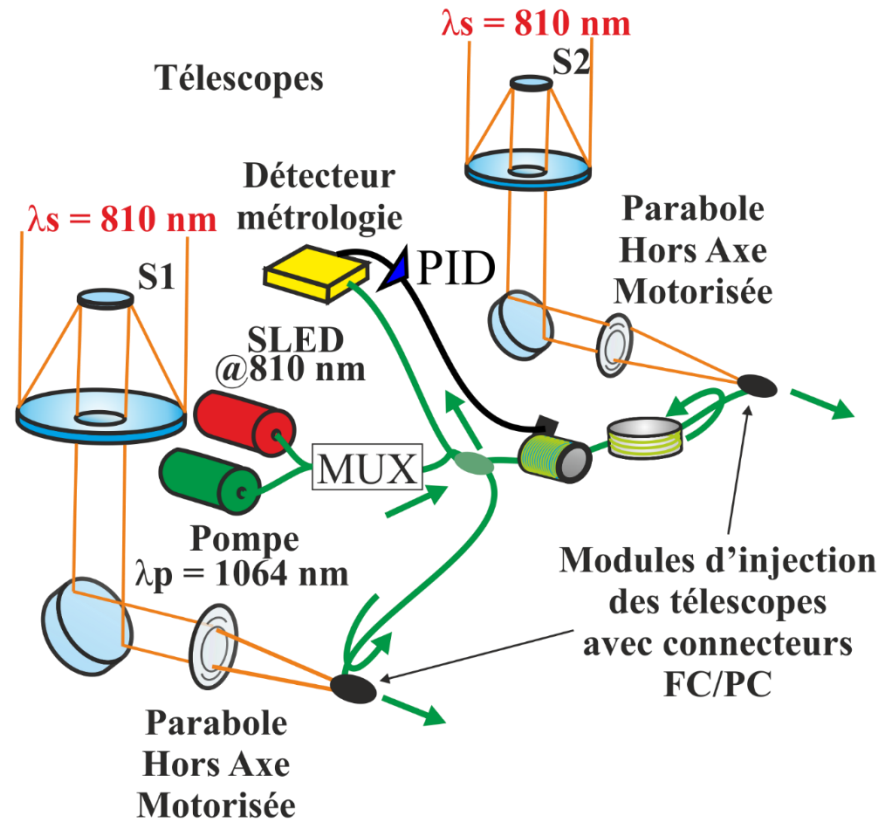
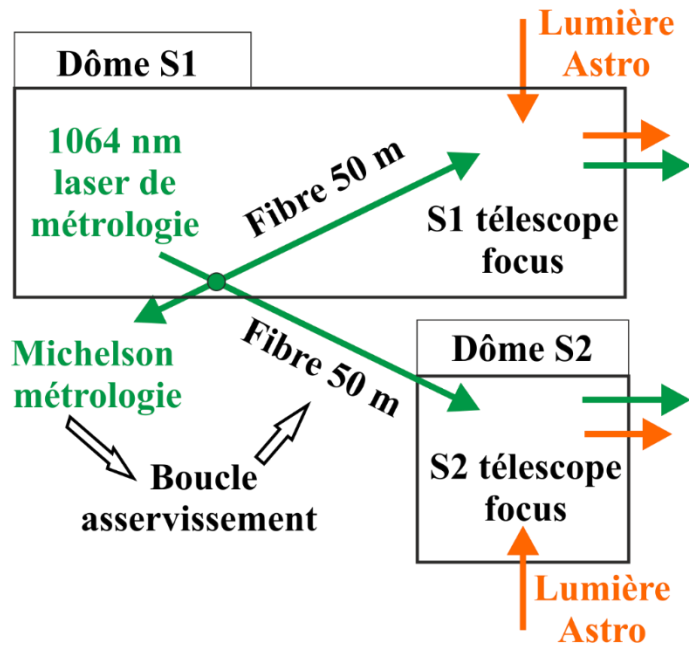


ZOOM

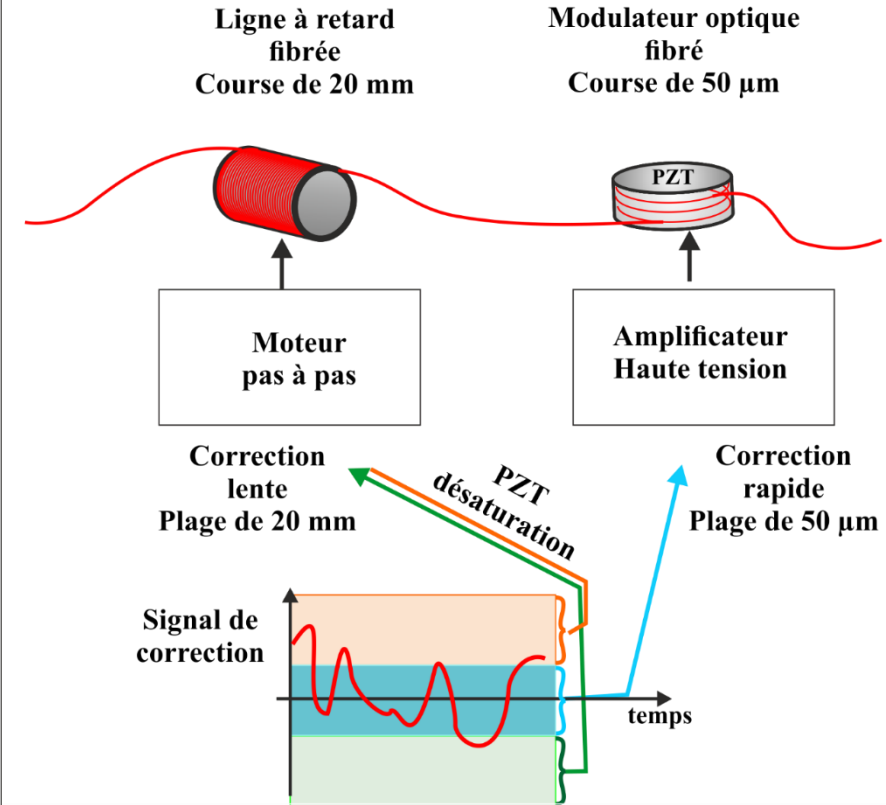


Asservissement des fibres : interféromètre de Michelson

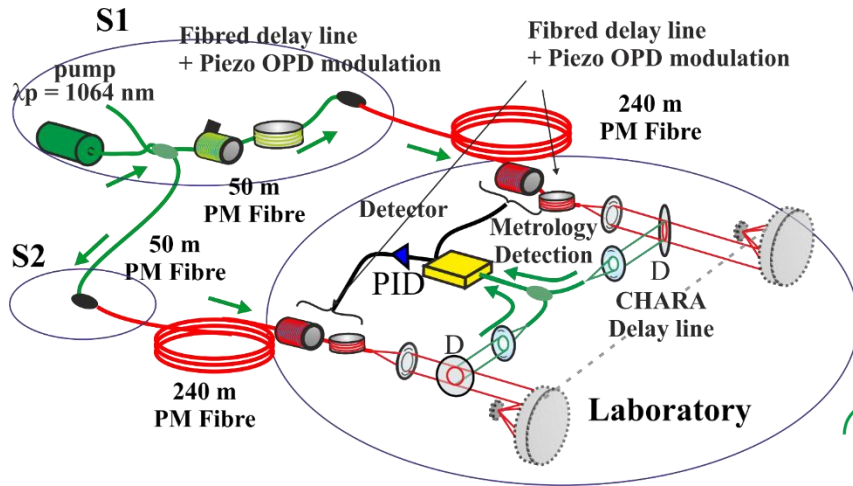
Interféromètre de Michelson - Métrologie



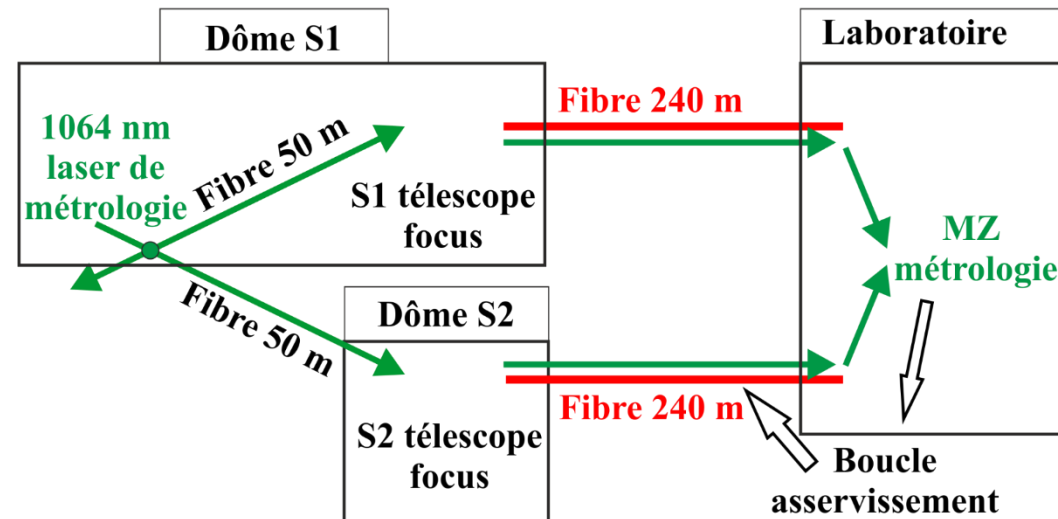
Plage de correction des actuateurs



Asservissement des fibres : interféromètre de Mach-Zehnder



Interféromètre de Mach-Zehnder Métrologie



Plage de correction des actuateurs

