



Télescope de suivi sol pour la mission SVOM

REX sur l'Ingénierie Système



Mission SVOM

<https://www.svom.eu/>

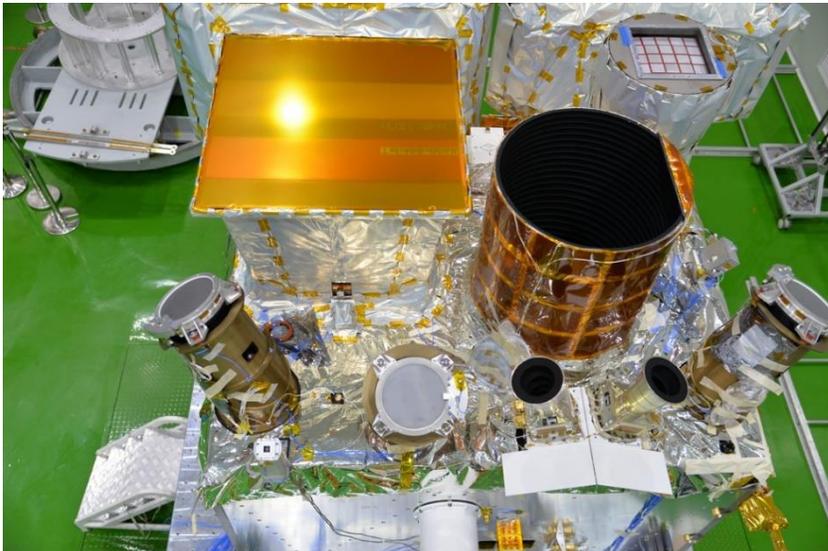


Mission franco-chinoise pilotée par le CNES côté français

Lancement: Mars 2024

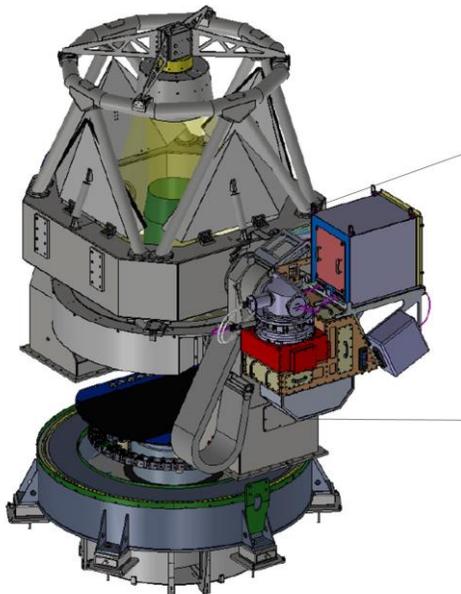
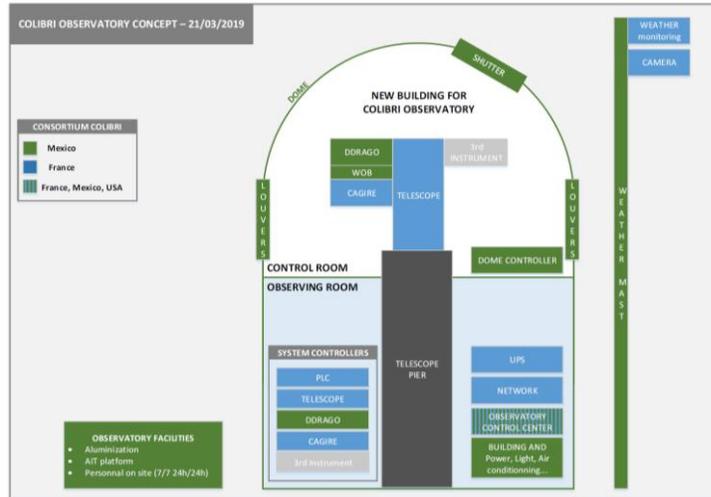
Objectif scientifique: détection et caractérisation des sursauts gamma

- ✓ Satellite: détecteur gamma, instrument X, VIS et IR
- ✓ Segment sol : astrométrie, étude de la contrepartie optique et NIR (afterglow)
 - 2 télescopes robotiques sol (classe 1.3m):
 - C-GFT: par la Chine pour la Chine
 - F-GFT ou COLIBRI: développé par la France et le Mexique; sera installé au Mexique
- ✓ Impact scientifique attendu:
 - Etude des « catastrophes » énergétiques transitoires: effondrement d'étoiles massives; fusion de trou noir et d'étoiles à neutrons...
 - Développement de l'astrophysique multi-messager (contrepartie optique de sources d'ondes gravitationnelles)
 - Jusqu'à un redshift de 7.5 (univers jeune)
 - Tests de physique fondamentale: physique relativiste dans les jets, relativité générale en champ fort, physique des particules (neutrinos...)
 - Cosmologie: chandelle standard



COLIBRI: Consortium et architecture

<https://colibri.lam.fr/>



Consortium:

- ✓ **LAM:** PI, SE, télescope, scheduler, bases de données (architecture + hébergement), network
- ✓ **OHP:** PM, télescope, PLC, UPS
- ✓ **UNAM/OAN:** infrastructure/facilités/opération, design optique, DDRAGO (instrument VIS), WOB, software de contrôle, réception/gestion des alertes SVOM
- ✓ **CEA:** AIT/V
- ✓ **IRAP:** CAGIRE (instrument NIR)
- ✓ **CPPM:** pipeline (avec UoA), monitoring à long terme du système, interface avec SVOM

Industriels clés:

- ✓ Infrastructure (Mexique): génie civil (architecte + Obras)
- ✓ Gambatto (Italie): dôme
- ✓ Astelco (Allemagne): télescope (structure, contrôle-commande)
- Cardoen SAS (France): miroir M1
- ✓ Winlight System (France): miroir M2

San Pedro Martir Observatory

A nice astronomical site:

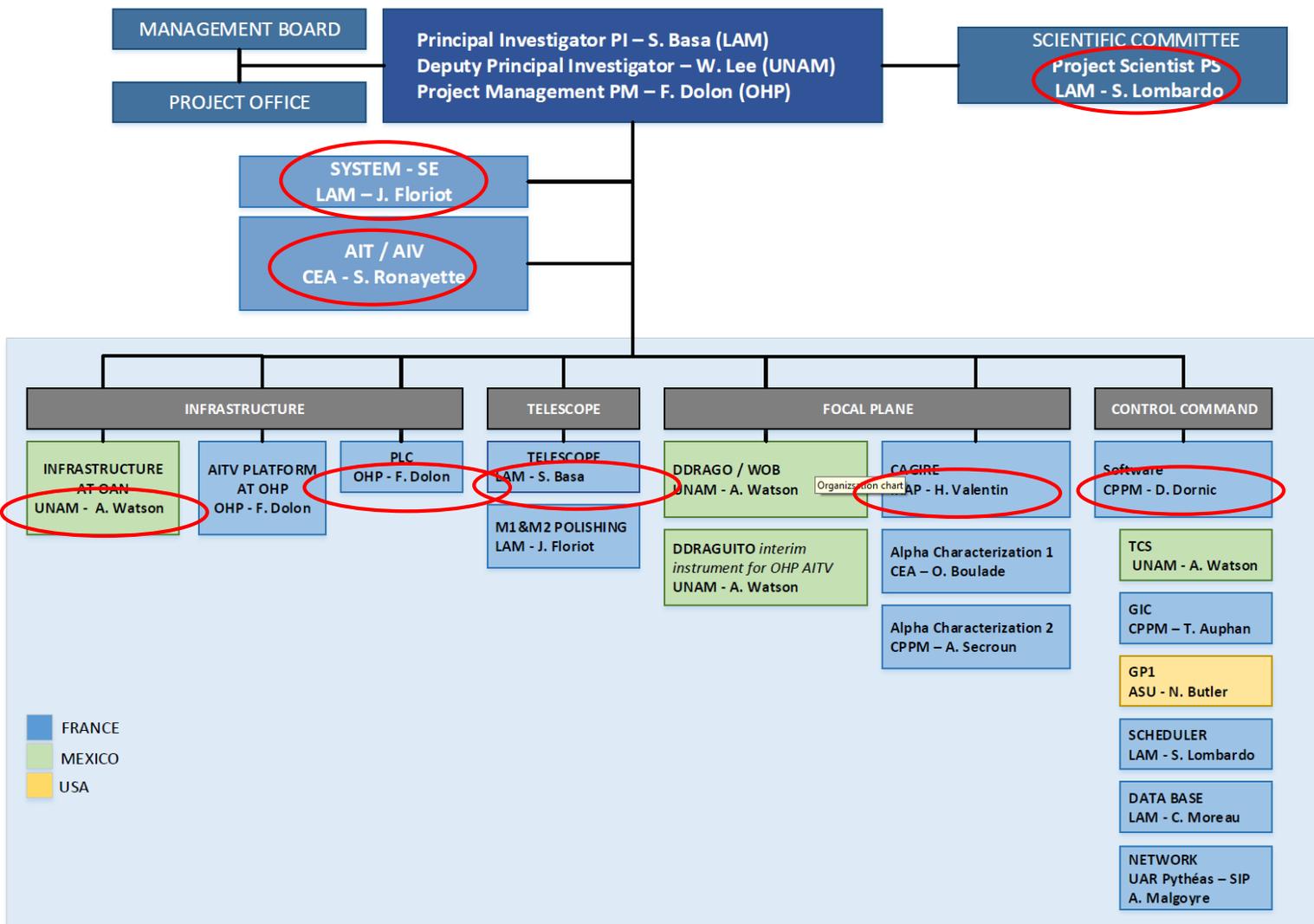
- Median seeing: about 0.8 arcsec.
- About 80% of observable night (60% photometric).
- Located in a protected national park.

Very important efforts from UNAM to develop their site.



COLIBRI: organisation

○ Membres de l'équipe système



Quelques remarques:

- ✓ COLIBRI est un « petit » projet OU devrait être un « petit » projet
- ✓ Nombre de personnes impliquées sur la technique relativement restreint
- ✓ Avantages: PI très impliqué et moteur, souplesse, documentation minimale
- ✓ Inconvénients: aspect multi-casquette; « faibles » ressources (humaines et financières)

Spécificités/difficultés de COLIBRI:

- ✓ Le télescope fait l'objet d'un appel d'offre hors miroirs.
- ✓ Acceptance du télescope à l'OHP / shipping / re-acceptance. Proto de DDRAGO à l'OHP.
- ✓ Les 2 instruments ne sont pas indépendants, ni optiquement ni mécaniquement.
- ✓ Le détecteur de CAGIRE est la 1^{ère} application du détecteur ALFA, fruit d'un développement ESA/INSU/Lynred. Pas de plan B possible
- ✓ CAGIRE n'est pas phasé avec les autres systèmes de COLIBRI (il sera livré directement à l'OAN plusieurs mois après le début du commissioning).
 - Difficultés due au décalage en maturité entre DDRAGO et CAGIRE (DDRAGO passe sa FRD alors que CAGIRE prépare sa PDR).

COLIBRI: Equipe système

Tâches de l'équipe système:

- ✓ Architecture et arbre produit
- ✓ Spécifications (FPRD)
- ✓ Interfaces (ICD)
- ✓ Performances et tradeoffs
- ✓ Budgets techniques (power, masse)
- ✓ AIT/V et acceptances; matrices de conformité
- ✓ Risques
- ✓ NCs

Organisation:

- ✓ Réunion hebdomadaire
- ✓ Réunions dédiées en fonction les points chauds
- ✓ Suivi des tâches: Redmine + rapport mensuel
- ✓ Documentation:
 - En cours de travail: Nuage et Google documents
 - En configuration: Redmine
 - Specs + interfaces: Excel



Spécifications

**Un document unique: FPRD (functional and performance requirement document) jusqu'aux modules.
+ suivi sous Excel**

- ✓ A mon arrivée, héritage d'une version ancienne des spécifications, partiellement obsolète et incomplète.
 - Actualisation des specs existantes
 - Compléter les parties manquantes (surtout infrastructure, software après le transfert de responsabilité de l'IRAP vers l'UNAM)
 - Réaliser le flowdown au niveau des sous-systèmes (équipe système) et modules (responsables)

- ✓ Long processus (en particulier pour le software)

- ✓ Aujourd'hui: version 7.0 avec + de 300 spécifications

Quelques specs de haut niveau

Main requirements on the telescope

Mount type	Alt-Azimuthal
Diameter of the primary mirror	1.3 m
Field of View (diameter)	26'
Delay to point in a given position	<30 seconds (in 90% of the cases)
Pointing accuracy	< 2.5 arcsec RMS
Tracking accuracy without autoguider	< 0.45 arcsec RMS during 30min

Main requirements on the instruments

Number of simultaneous arms	<ul style="list-style-type: none">• Minimum : 2 arms (1 in the visible et 1 in the NIR).• Goal : 3 arms (2 in the visible et 1 in the NIR).
Sensitivity (60 sec, 5 sigma)	<ul style="list-style-type: none">• R = 20.5• J = 19.0
Spectral band	Each arm has its own filter wheel : <ul style="list-style-type: none">• Visible : clear, Pan-STARRS g, r, i, z and maybe y.• IR : J et H.

Main requirements on the software

Delay between receiving the alert and beginning an observation	30 seconds (in 90% of the cases)
Management of GCN and VOEvent notices	Permanent network connection
Data processing management	Automatic processing, with predefined strategy in the case of bursts
Deadlines to send information to the BA	First information delivered about 5 minutes after the alert reception

Qualité image (énergie encerclée):

- ✓ 0.8" dans le VIS
- ✓ 1.1" dans le NIR

Interfaces

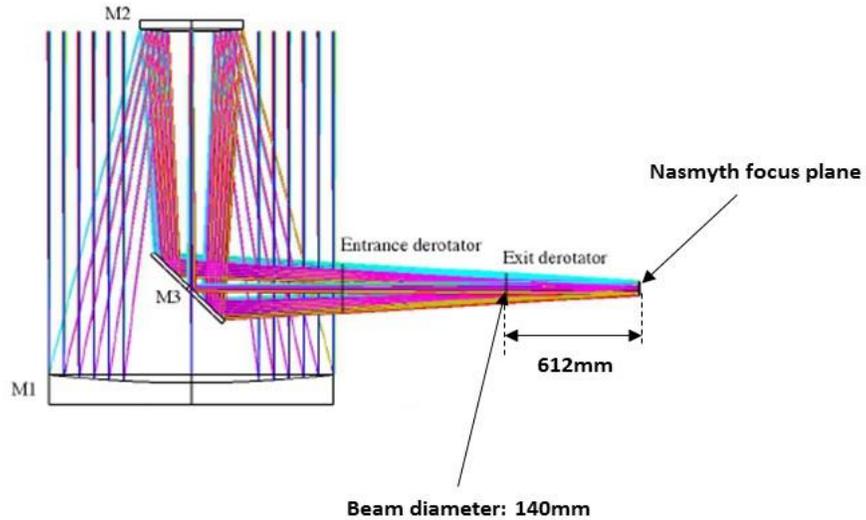
- ✓ Les interfaces sont décrits et spécifiés dans des ICDs (Interface Control Document)
- ✓ Traçabilité des interfaces: tableau Excel
- ✓ ICD principaux:
 - IF1/IF4/IF5/IF7/IF24: Télescope – Instrumentation
 - Problème du déphasage DDRAGO/CAGIRE; long processus
 - Gros impact d'une erreur d'Astelco au niveau du Nasmyth
 - Grosse problématique liée au cable wrap (étude IGUS nécessaire).
 - IF2: Télescope – Infrastructure
 - IF23: Dôme – Infrastructure
 - L'interface pour le dôme est fourni par l'infrastructure; redesign suite à erreur de fabrication de la société mexicaine.
 - IF14: Télescope – TCS
 - Un désaccord sur l'approche a longtemps perduré.
 - IF7/IF24: DDRAGO – CAGIRE
 - A provoqué une nouvelle découpe système, le WOB passant sous responsabilité mexicaine (négociation d'un document détaillant les responsabilités).
 - Longue négociation pour le budget de masse et les marges de chacun. A fait l'objet d'un document et d'une clarification des specs systèmes.
 - Négociation d'un document de responsabilité pour l'équilibrage de l'instrument.

IF#	First part (leader)	Second part	Type					Maturity Level			
			o	m	e	f	d				
			IF#.1	IF#.2	IF#.3	IF#.4	IF#.5				
Doc Title - Ref: Telescope - Infrastructure Interface Control											
IF2	Telescope	OAN Building		m	e						
IF3	Telescope	OHP Building		m	e						
Doc Title - Ref: Telescope - Instrumentation Interface Control								Maturity Level			
IF1	Telescope OptoMecha	DDRAGO MSU		o	m				Phase 1	scope, boundaries and responsibilities are defined	
IF4	Telescope Cable Wrap	CAGIRE			m	e	f		Phase 2	at design-driven refinements level	
IF5	Telescope Cable Wrap	DDRAGO			m	e	f		Phase 3	at final design maturity (all details fully documented)	
Doc Title - Ref: PLC Interface Control								Type			
IF10	Dome	PLC				e			o	Optical	
IF11	Telescope	PLC				e			m	Mechanical	
IF12	OAN Building	PLC			m	e		d	e	Electrical	
Doc Title - Ref: Dome - OAN Building Interface Control								d			Data
IF23	Dome	OAN Building			m	e					
IF25	Weather Mast	OAN Building			m	e					
Doc Title - Ref: CAGIRE - DDRAGO MSU Interface Control								Responsibility			
IF7	DDRAGO MSU	CAGIRE Cryostat+Static Stage			m					UNAM	
IF24	DDRAGO MSU	CAGIRE close electronics			m					IRAP	
Doc Title - Ref: Control Center Interface Control with Telescope/Instruments											
IF14	Telescope	TCS						d		LAM	
IF15	CAGIRE	TCS						d		OHP	
IF16	DDRAGO	TCS						d		CPPM	
Doc Title - Ref: Control Center Interface Control with Infrastructure											
IF17	PLC	TCS						d		OAN	
IF18	OAN Building	TCS hardware			m	e				SVOM	
IF19	OHP Building	TCS hardware			m	e				Astelco	
IF20	Dome	TCS						d			
IF21	Devices	TCS			m	e					
Doc Title - Ref: Control Center Interface Control with Entities & Users											
IF27	Scheduler	TCS						d			
IF29	Scheduler	COLIBRI users						d			
IF22	TCS	COLIBRI users						d			
IF26	Alert brokers	TCS						d			
IF31	COLIBRI users	GIC						d			
Doc Title - Ref: Database Interface Control											
IF28	Local data storage	TCS						d			
IF32	Local data storage	GP1						d			
IF33	Local data storage	Local GIC						d			
IF34	Local data storage	France data storage						d			
IF35	France data storage	UNAM data storage						d			
IF36	France COLIBRI database	France data storage						d			
IF40	UNAM COLIBRI database	UNAM data storage						d			
IF37	France COLIBRI database	COLIBRI users						d			
IF39	France COLIBRI database	GIC						d			

Dénominations à mettre à jour

Quelques infos sur le télescope

Quasi-Ritchey-Chrétien (pas complètement anastigmatique)



- ✓ Pupille: 1300mm
- ✓ f/7.2
- ✓ Aluminure non-protégée
- ✓ Foyer Cassegrain accessible
- ✓ 2 foyers Nasmyth
- ✓ Masse: 7 tonnes

Component	D (mm)	RoC (mm)	RoC/D	k
M1	1300	5124.848 cc	3.9	-1.133
M2	470	2462.342 cx	5.2	-4.052
M3	326.8 × 456.4	-	-	-

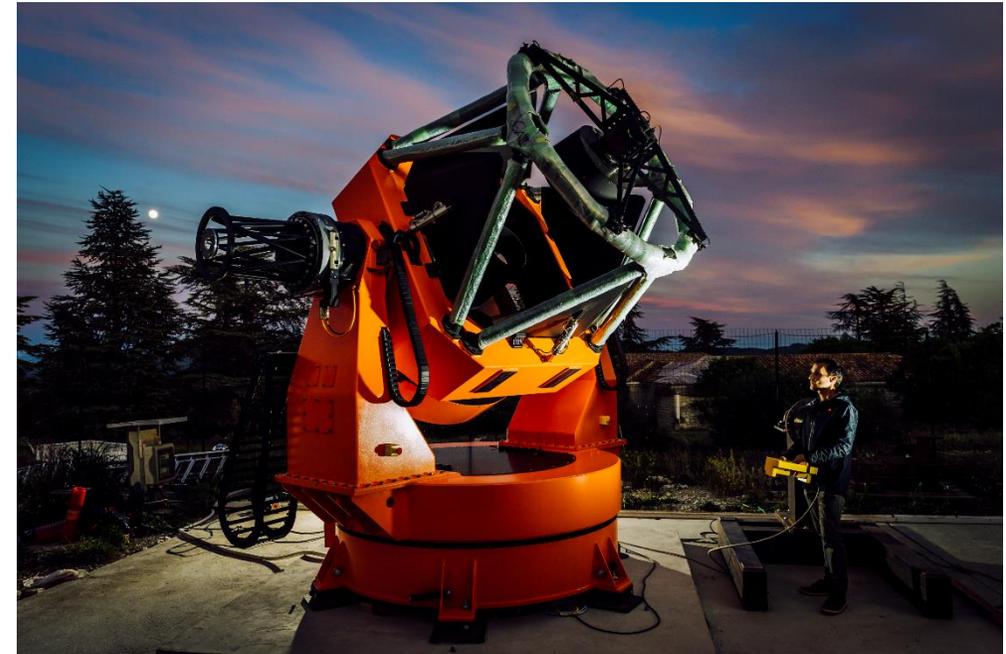
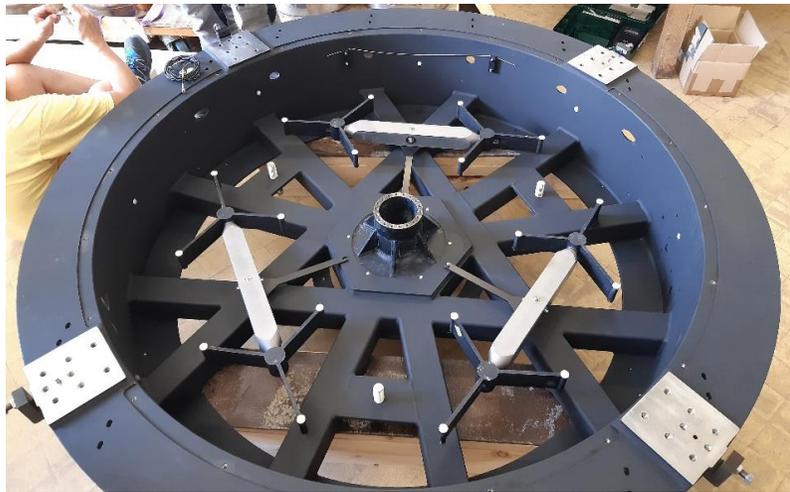
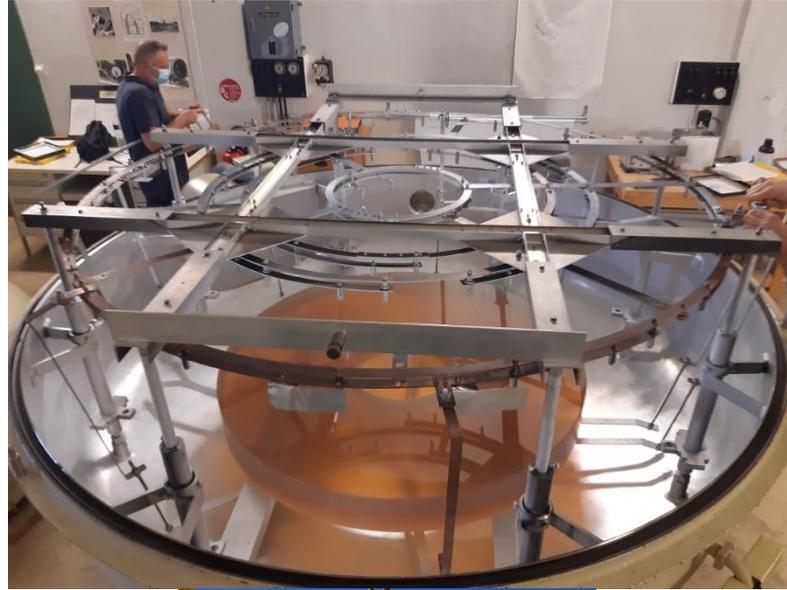


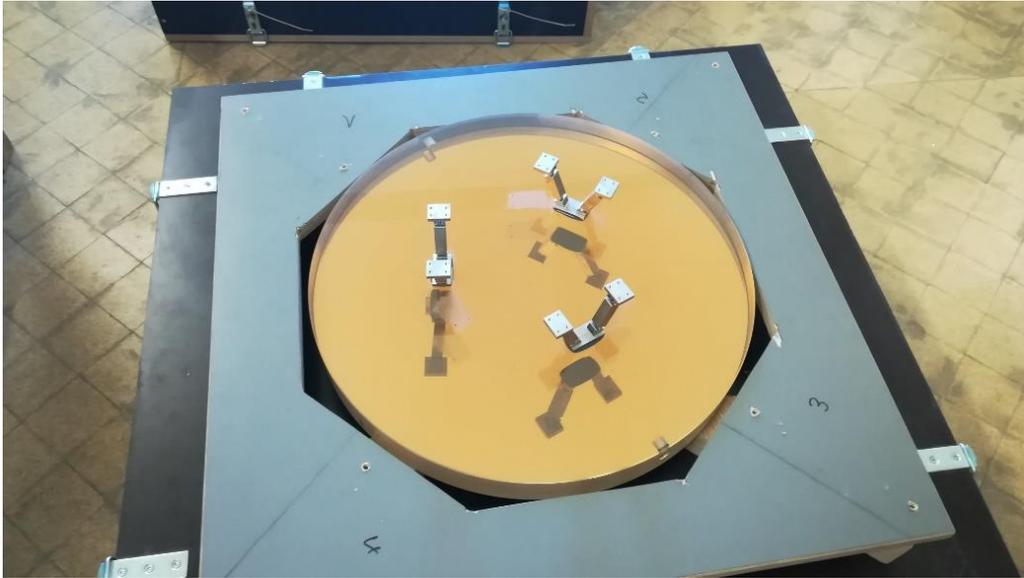
Table 19: Expected image quality of the telescope alone, optimized on axis, in terms of the d_{80} in arcsec, for the design with tolerances. In parenthesis, we show the values at the diffraction limit.

gri	zy	J	H
0.55	0.65	0.76	0.94
(0.37)	(0.53)	(0.69)	(0.89)

Miroir M1



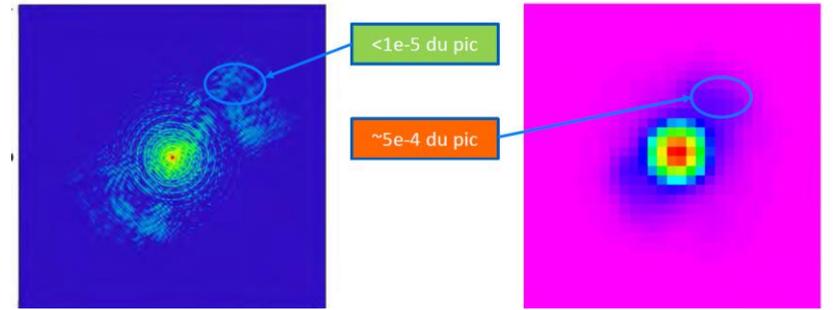
Miroir M2



Acceptance du miroir M2

➤ Sans atmosphère

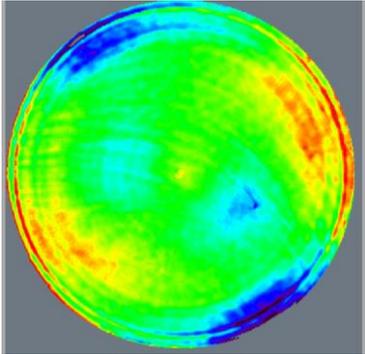
Avec atmosphère



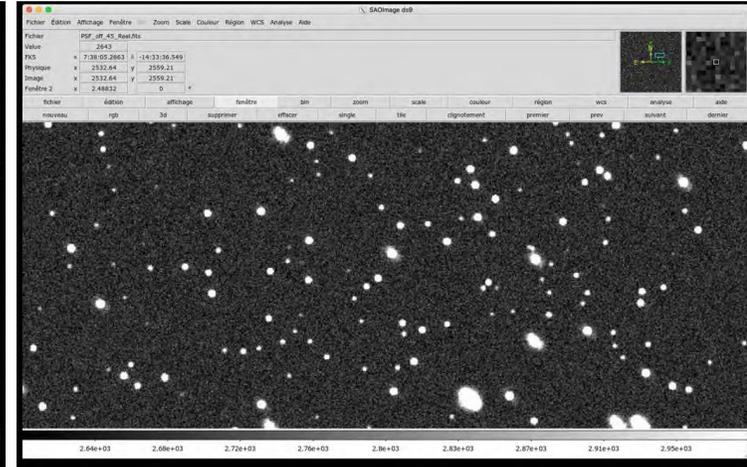
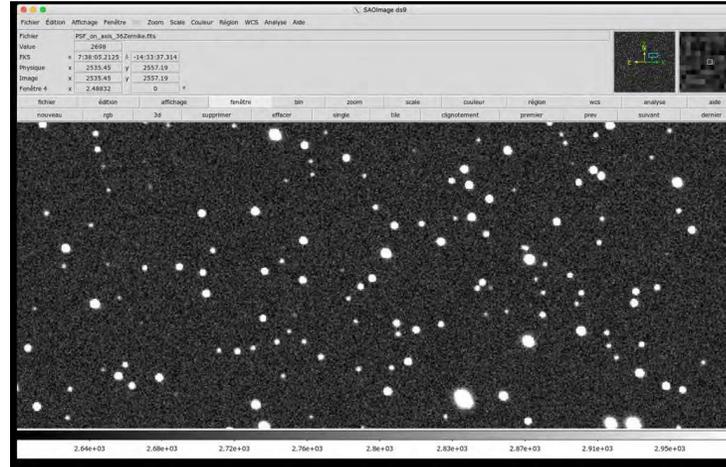
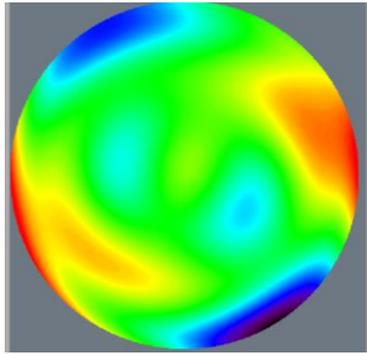
✓ Problèmes lors de l'acceptance du M2:

- Il est dans les specs telles qu'écrites mais les marques de polissage robotique ont un impact non négligeable sur la PSF finale (faille dans les specs).
- Spec et mesures :
 - ✓ SFE globale: spec <60nm RMS; mes = 38nm RMS
 - ✓ SFE au-delà de 36 Zernike: spec <15nm RMS; mes = 14nm RMS

M2 measured phase map

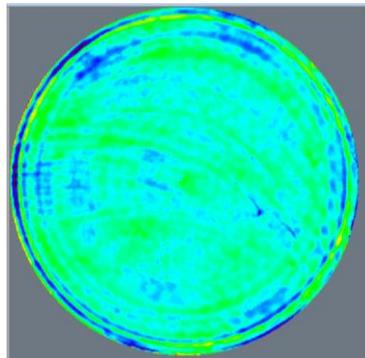


36 Zernike reconstruction

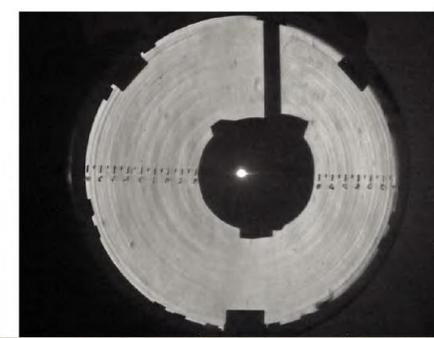
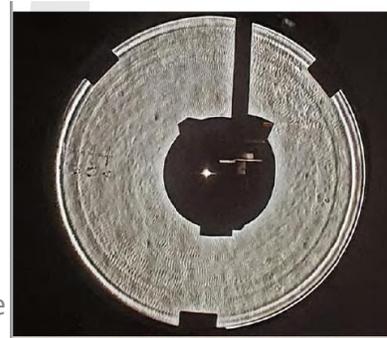


Conséquence 1: l'orientation aléatoire de l'asymétrie en fonction de l'époque rend l'analyse par soustraction très difficile voire impossible.
 Conséquence 2: retouche légère du M2 nécessaire mais contrôle par test de Foucault uniquement

High frequency residuals



« Mamelonnage » avec orientation privilégiée de périodicité 13mm



Acceptance du télescope après tests à l'OHP

✓ Qualité image:

- $\lambda/7$ RMS à 650nm (spec: $\lambda/4$ RMS)
- Stable dans le champ et en élévation
- Champ symétrique



Très long à valider (mauvais temps à OHP, alignement douteux, décollage M2, problèmes EMC avec certaines cameras de tests, astig résiduel, reverse engineering pour analyse et recouper les résultats de différents tests: analyse de PSF, Roddier, Shack-Hartmann, Hartmann, expertise S. Guisard (ESO), mesure indépendante par Imagine Optic)

✓ Distorsion :

- 0.2% (spec: <5%)

✓ Vignetting :

- 6% (spec: <5%)
- accepté

✓ Précision de pointé:

- 2.4" RMS (spec: <2.5" RMS)

✓ Tracking:

- 0.6" RMS sur 30min (spec: <0.45" RMS)
- 0.4" RMS sur 10min (spec: <0.25" RMS)
- 0.3" RMS sur 90s (spec: <0.18" RMS)
- Accepté

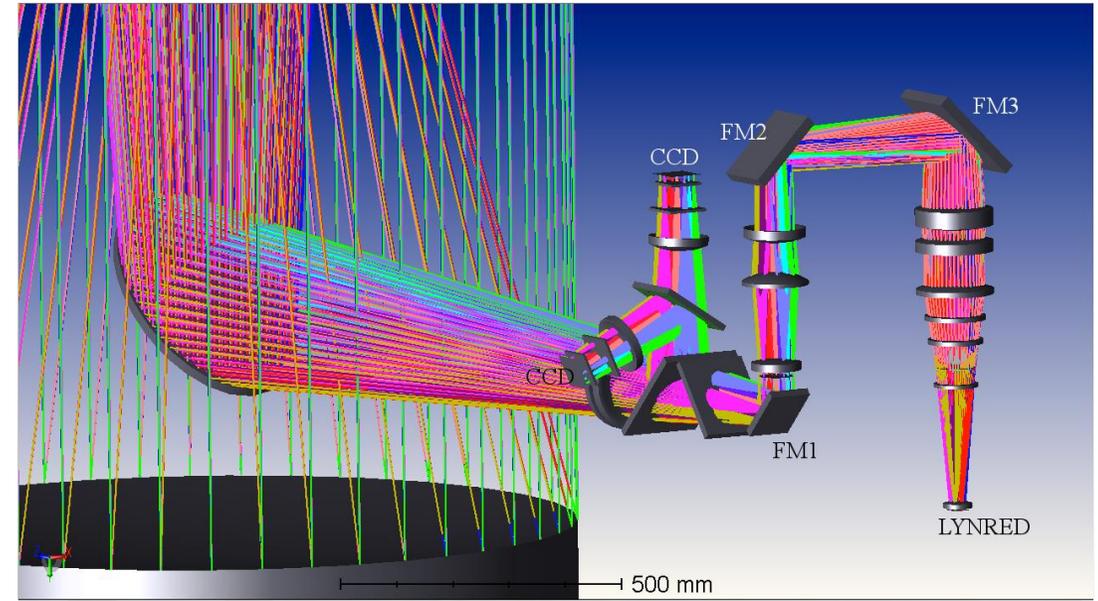
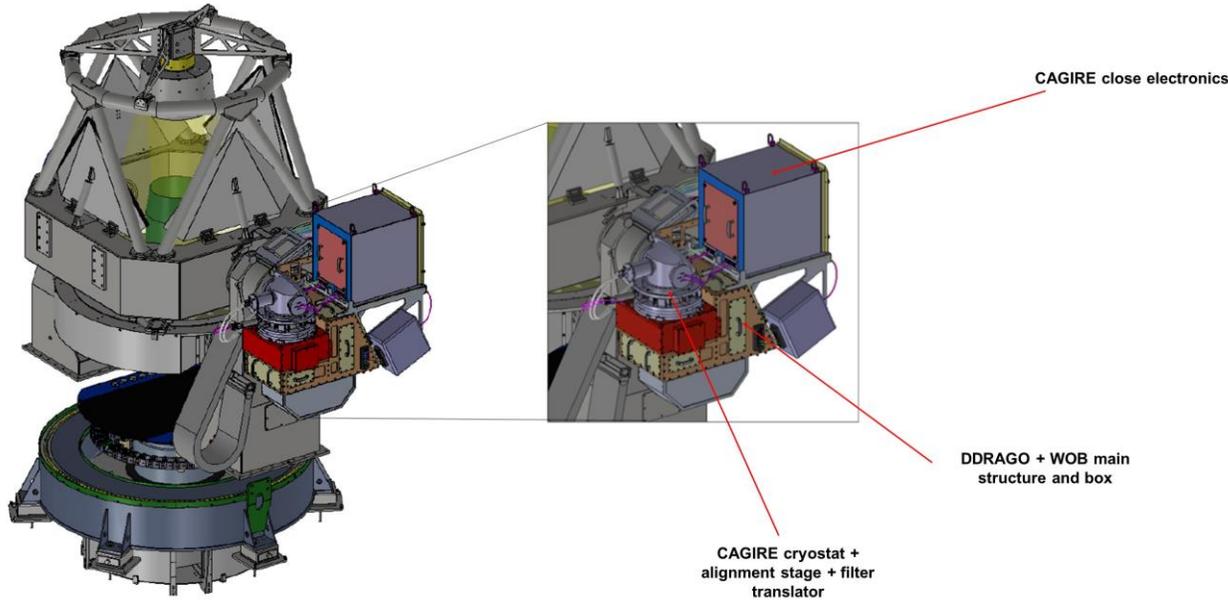


Estimée comme sévère après ré-analyse (d'où l'acceptation). Limité par le modèle de pointé actuel.

✓ Temps d'arrivée sur cible:

- 20s (spec: <30s)

Quelques infos sur les instruments (imageurs)

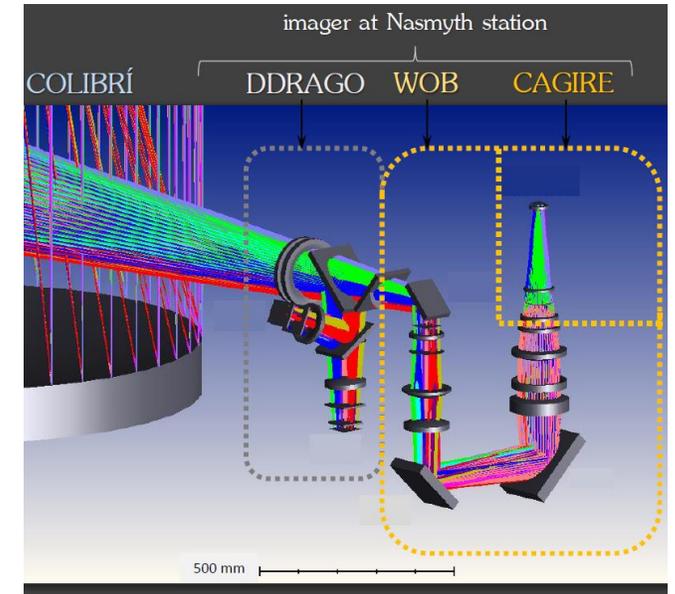
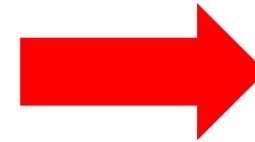
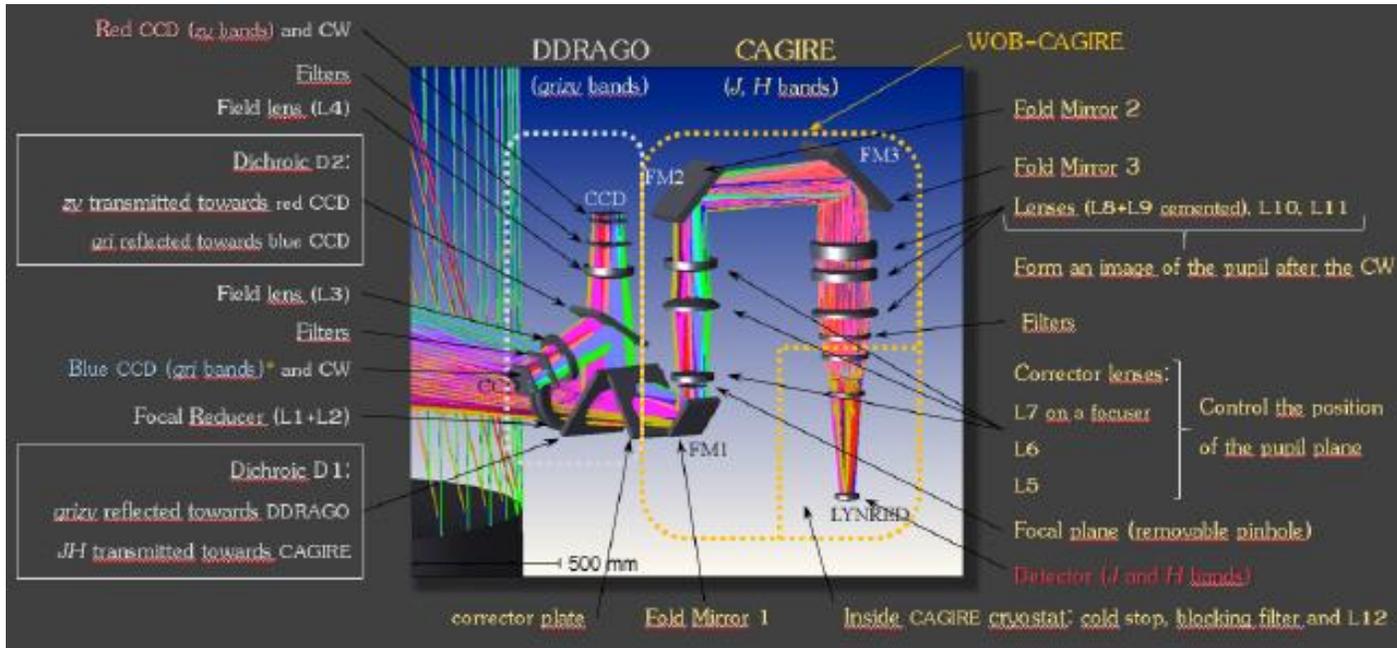


	DDRAGO	CAGIRE
Détecteurs	2x CCD H4RG de Teledyne	ALFA de Lynred
Nombre de pixels	4096 x 4096	2048 x 2048
Taille pixel	15µm	15µm
Température opérationnelle	-40°C (gaz cryo PT-30)	90K (gaz cryo PT-13)
Bandes spectrales	Voie bleue: Bgri Voie rouge: zy	JH
Ouverture	f/6.3	f/3.7 (réducteur de focale WOB)
FoV	26'	21.7'
Scale	0.381" / pix	0.637" / pix

Instrument	Band	Best	Average	Worst
DDRAGO (Blue Channel)	<i>B</i>	0.49	0.57	0.75
	<i>g</i>	0.47	0.63	0.70
	<i>r</i>	0.50	0.60	0.70
	<i>i</i>	0.53	0.69	0.76
	<i>gri</i>	0.49	0.63	0.74
	<i>z</i>	0.57	0.69	0.80
	<i>y</i>	0.62	0.76	0.86
DDRAGO (Red Channel)	<i>zy</i>	0.60	0.73	0.83
	<i>z</i>	0.51	0.55	0.64
	<i>y</i>	0.57	0.64	0.73
CAGIRE	<i>zy</i>	0.54	0.60	0.71
	<i>J</i>	0.75	0.79	0.89
	<i>H</i>	1.02	1.05	1.14

Découpe système de l'instrument

- ✓ L'IRAP, par manque de ressources, se désengage du WOB:
 - La structure, l'optomécanique, le focuser et les 6 lentilles sphériques passent sous responsabilité mexicaine.
 - La lentille asphérique passe sous responsabilité LAM.
- ✓ Impact sur l'acceptance du WOB à l'UNAM.



CAGIRE et son électronique de proximité

- ✓ Les longueurs de câbles de CAGIRE font que l'électronique de proximité doit être embarquée sur le télescope (info confirmée très tardivement par ESO).
- ✓ Impact sur le cable wrap et sur la mécanique de l'instrument (budget de masse). Redesign de la structure et position « Home » modifiée
- ✓ Revue interne puis réunions de suivi pour adresser le tradeoff et valider les interfaces avec expertise d'ingénieurs mécaniciens du LAM hors-COLIBRI.

GFT-REQ-345

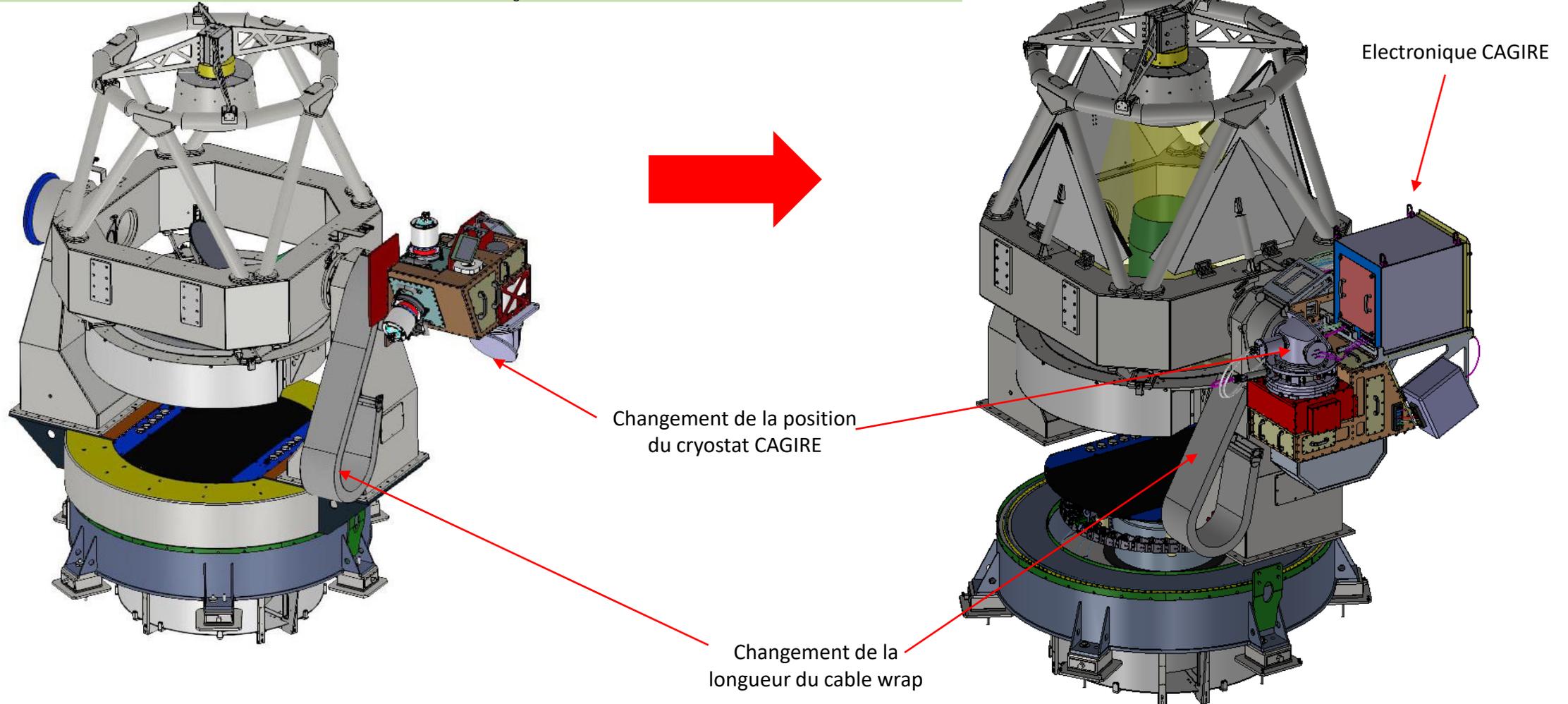
Instrument mass budget (4.10)

Analysis

MSU: <90kg; DDRAGO:
<70kg; WOB: <40kg;
CAGIRE: <55kg; CAGIRE
elec: <65kg

MSU: 86.9kg; DDRAGO: 68.3kg; WOB: 38.9kg;
CAGIRE: 52.6kg; CAGIRE elec: 53.8kg

YES

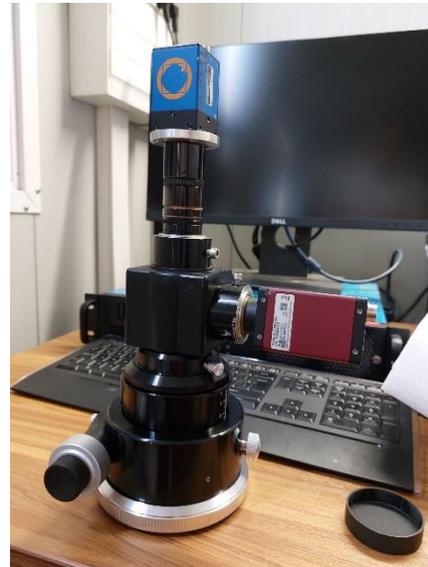
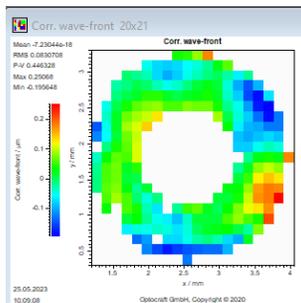


Qualité image du télescope à l'OHP

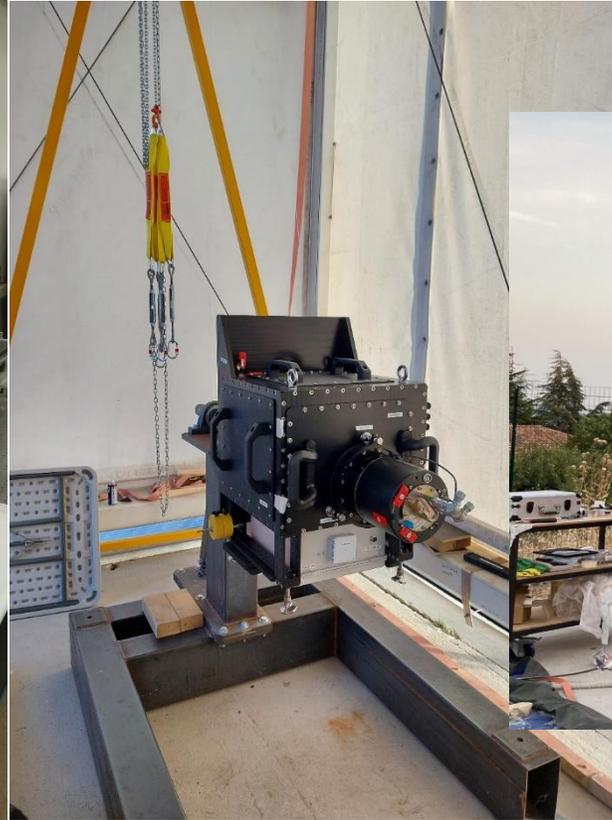
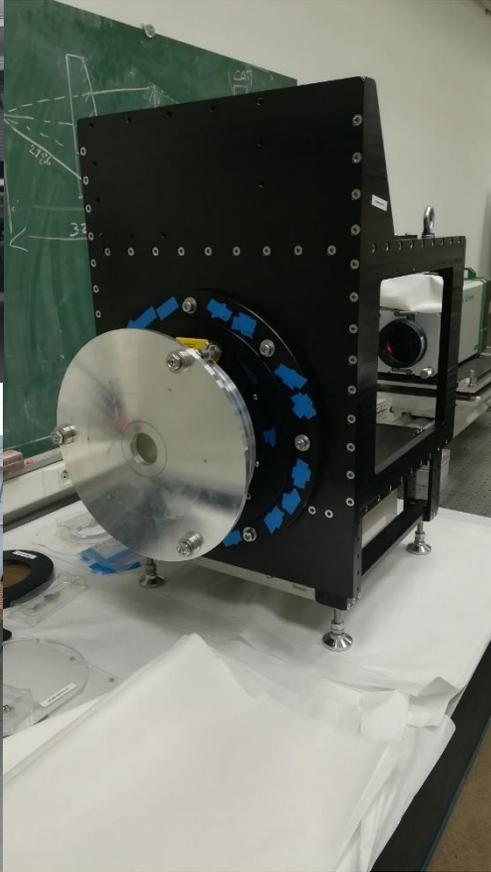
- ✓ Effet 1: Orientation privilégiée de M2 vs M1: ré-usinage du support M2 pour permettre sa rotation
- ✓ Effet 2: procédure d'alignement du télescope pas assez précise (initialement) par rapport au besoin. Refonte totale par Astelco.
- ✓ Effet 3: Astigmatisme résiduel sur le M1 (non vu durant l'acceptance du miroir car effet de supportage); corrigé par ajout d'actionneurs sur la face arrière du M1.
 - Très long processus afin de séparer les effets (seeing/aberration de champ) + reverse engineering du télescope réel
 - Expertise externe: S. Guisard d'ESO
 - Mesure indépendante en aveugle demandée à Imagine Optic



	WFE RMS Blue (nm)
Theoretical telescope	175
Real telescope	87
2 pixels	343



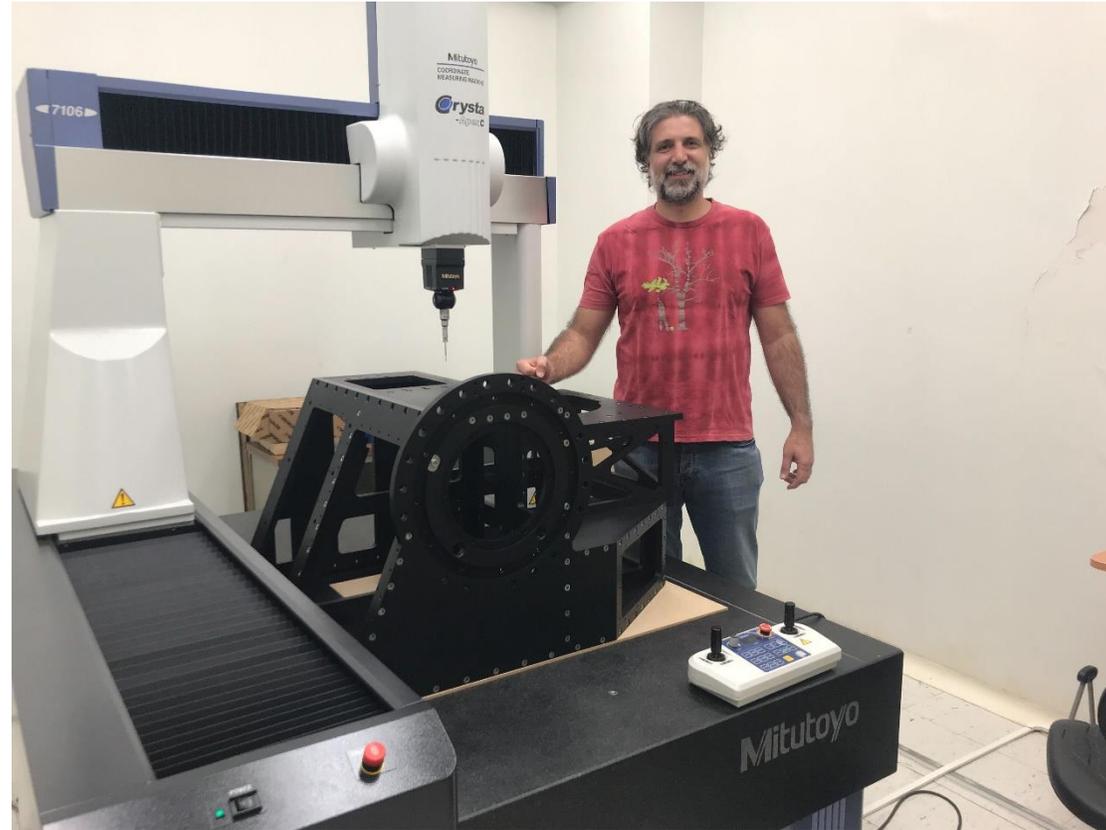
DDRAGUITO: instrument de test à l'OHP



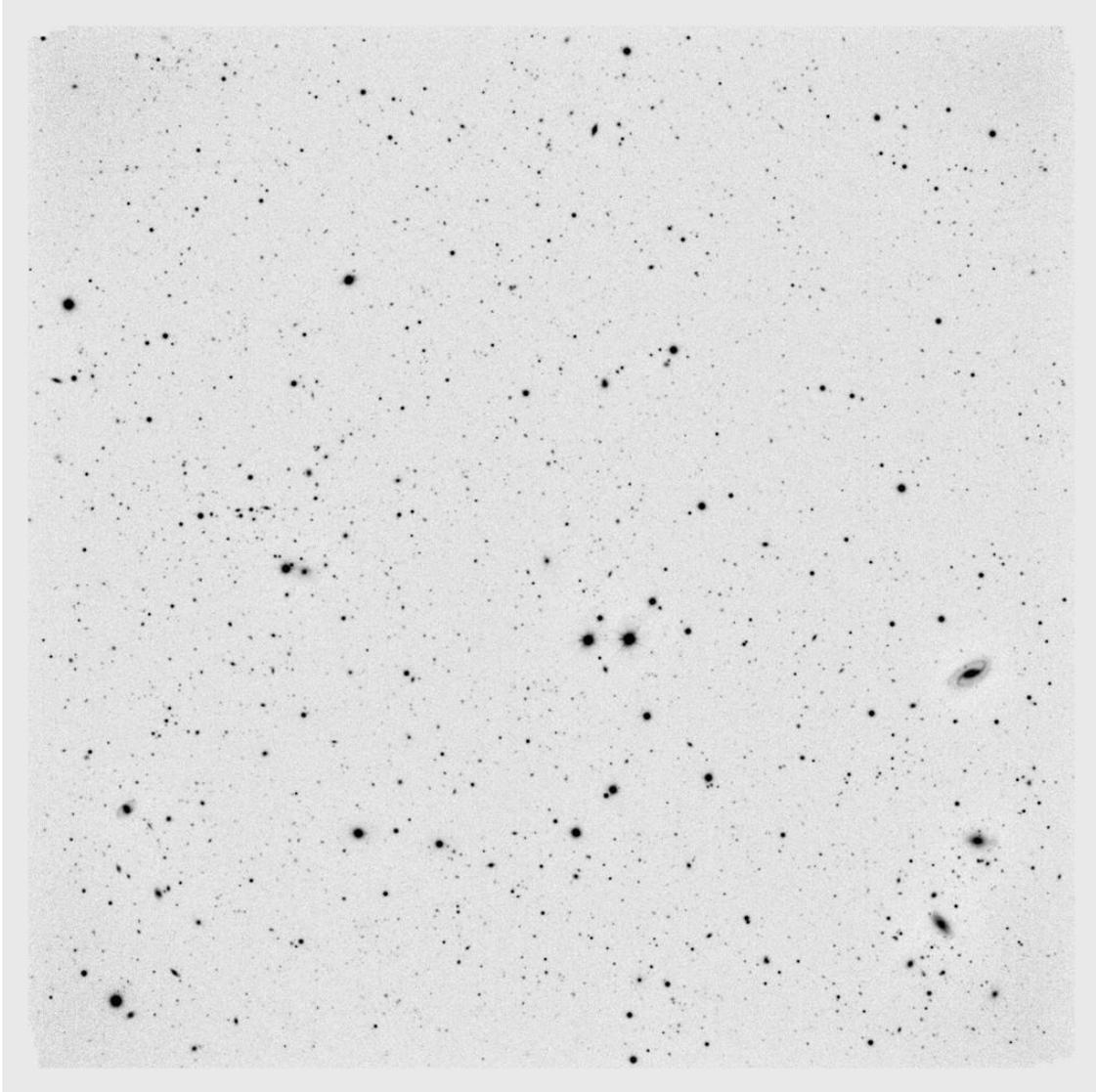
Constuction du bâtiment en cours (une aventure)



DDRAGO: métrologie de la structure à l'UNAM



Quelques images prises à l'OHP



Merci pour votre attention

