

# SNO ELT / MICADO-MORFEO

Philippe Rousselot, Eric Meyer, Benoît Noyelles

# Contexte

→ Les télescopes géants sont indispensables à l'astrophysique pour repousser les limites de la connaissance de l'univers

→ L'intérêt d'un télescope est double :

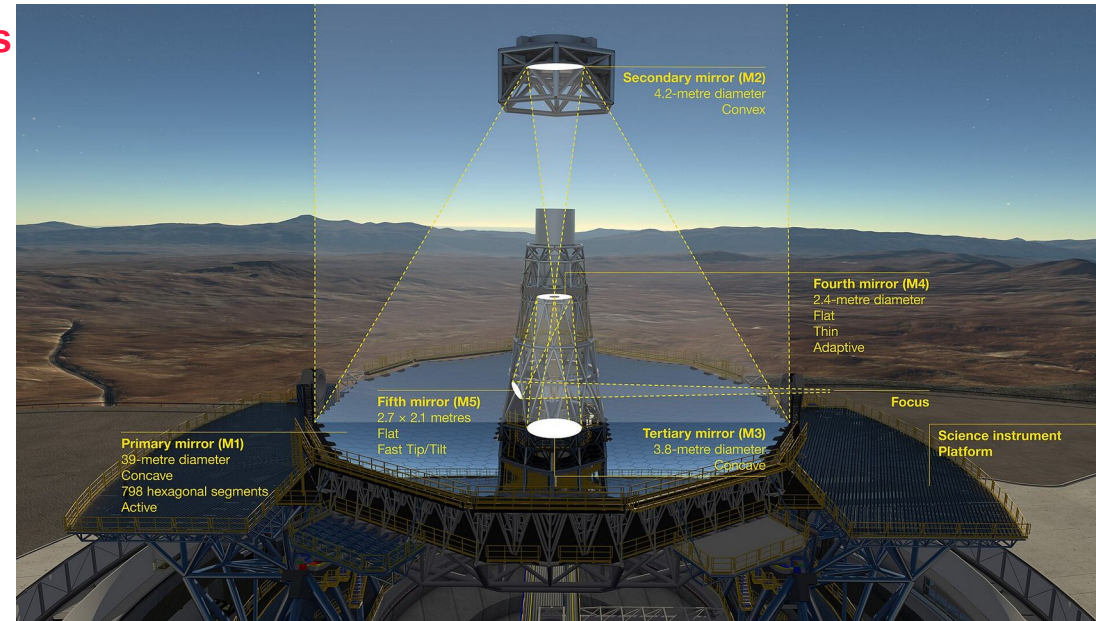
- **Collecter le plus possible de lumière** (amélioration du rapport S/B pour des objets faibles)
- **Augmenter la résolution spatiale des images** (idéalement en corrigeant la turbulence atmosphérique)

→ Etat de l'art actuel : télescopes de la classe des 8-10 m (VLT)



# Contexte

- L'ESO (European Southern Observatory) a décidé de construire un télescope géant de 39 m de diamètre
- Site choisi : **Cerro Armazones** (3060 m d'altitude à 20 km du Cerro Paranal)
- Lancement des études préalables en 2006, choix du site en 2010, lancement du projet avec budget voté en 2011
- Début des travaux en 2014
- **Miroir primaire de 39,4 m composé de 798 miroirs hexagonaux** de 1,45 m (50 mm d'épaisseur, 250 kg)
- Miroir secondaire de 4,20 m de diamètre + miroir M3 (4m) + M4 (2,4 m) et M5 (2,7x2,1 m) pour l'optique adaptative.
- **Dôme de 6100 tonnes et 88 m de hauteur**
- Champ de 10'



# Contexte : instruments

→ Trois instruments de première génération (1<sup>ère</sup> lumière ~ 2029) : **MICADO**, **HARMONI**, **METIS**

Instrument	Main specifications			Schedule				
	Field of view/slit length/ pixel scale	Spectral resolution	Wavelength coverage (μm)	Phase A	Project start	PDR	FDR	First light
MICADO	Imager (with coronagraph) 50.5" × 50.5" at 4 mas/pix 19" × 19" at 1.5 mas/pix	<i>I, Z, Y, J, H, K</i> + narrowbands	0.8–2.45	2010	2015	2019	2024	
	Single slit	<i>R</i> ~ 20 000						
MORFEO	AO Module SCAO – MCAO		0.8–2.45	2010	2015	2023		
HARMONI + LTAO	IFU 4 spaxel scales from: 0.8" × 0.6" at 4 mas/pix to 6.1" × 9.1" at 30 × 60 mas/pix (with coronagraph)	<i>R</i> ~ 3 200 <i>R</i> ~ 7 100 <i>R</i> ~ 17 000	0.47–2.45	2010	2015	2018		
METIS	Imager (with coronagraph) 10.5" × 10.5" at 5 mas/pix in <i>L, M</i> 13.5" × 13.5" at 7 mas/pix in <i>N</i>	<i>L, M, N</i> + narrowbands	3–13	2010	2015	2019	2024	
	Single slit	<i>R</i> ~ 1400 in <i>L</i> <i>R</i> ~ 1900 in <i>M</i> <i>R</i> ~ 400 in <i>N</i>						
	IFU 0.6" × 0.9" at 8 mas/pix (with coronagraph)	<i>L, M</i> bands <i>R</i> ~ 100 000						

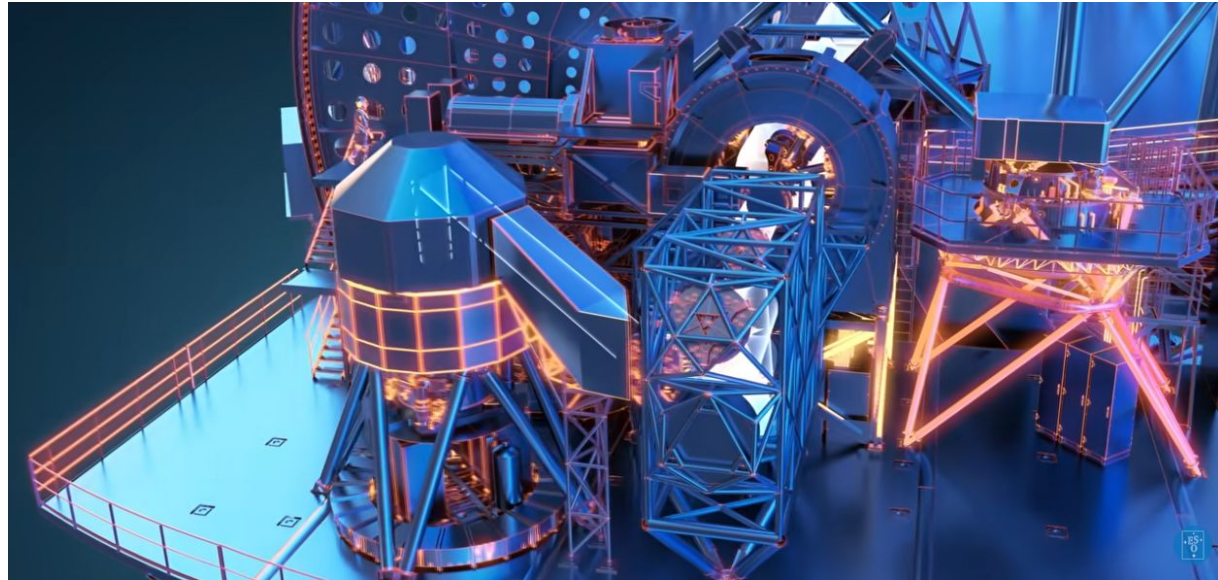
→ Puis deuxième génération : MORFEO (lié à MICADO), ANDES, MOSAIC.

# Contexte : instrument MICADO

- Wavelength : 0.8–2.4  $\mu\text{m}$
- Field-of-view : 50.5" x 50.5" (4 mas pixels); 19" x 19" (1.5 mas pixels = 3 m on the Moon)
- Filters : IYJHK broad band + medium and narrow band filters
- Relative astrometry : 50  $\mu\text{as}$  (10  $\mu\text{as}$  goal, or 2 cm on the Moon !!)
- Spectral resolution < 20,000

## OSU THETA impliqué dans :

- **La réalisation technique** (électronique, service temps-fréquence)
- **Etude de cas scientifique** (UTINAM, thèse de Camille Chatenet encadrée par Benoît Noyelles et Jea-Marc Petit)



# Contexte de la contribution technique : SCAO

L'équipe temps-fréquence de l'UAR à l'OSU THETA a la responsabilité de l'électronique du module SCAO

→ SCAO, sous la responsabilité du LIRA, est une contribution française à l'instrument MICADO

Fonction de SCAO :

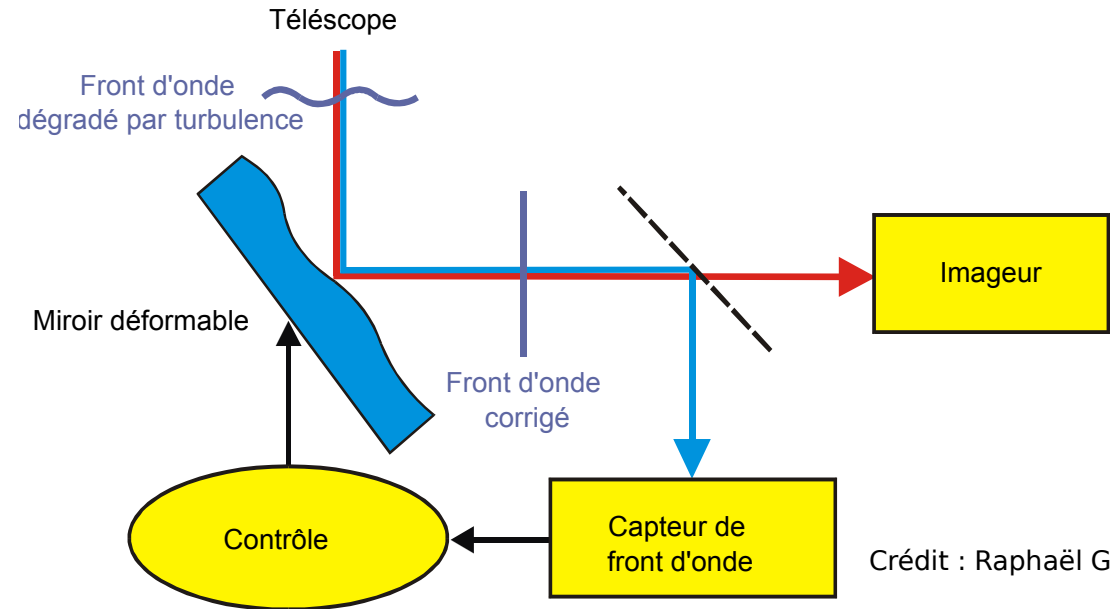
- Optique adaptative classique sur étoile naturelle de l'instrument utilisant les miroirs déformables de l'ELT ;
- Premier mode AO de l'ELT pour la science en 2030 ;
- MICADO en mode autonome puis associé à MORFEO ;

# Contexte de la Contribution technique : principe de SCAO

→ Les rayons lumineux arrivent sur le miroir de 39 mètres de manière non parallèles, en raison des turbulences atmosphériques

→ L'optique adaptative compense ces différences de trajets en temps réel

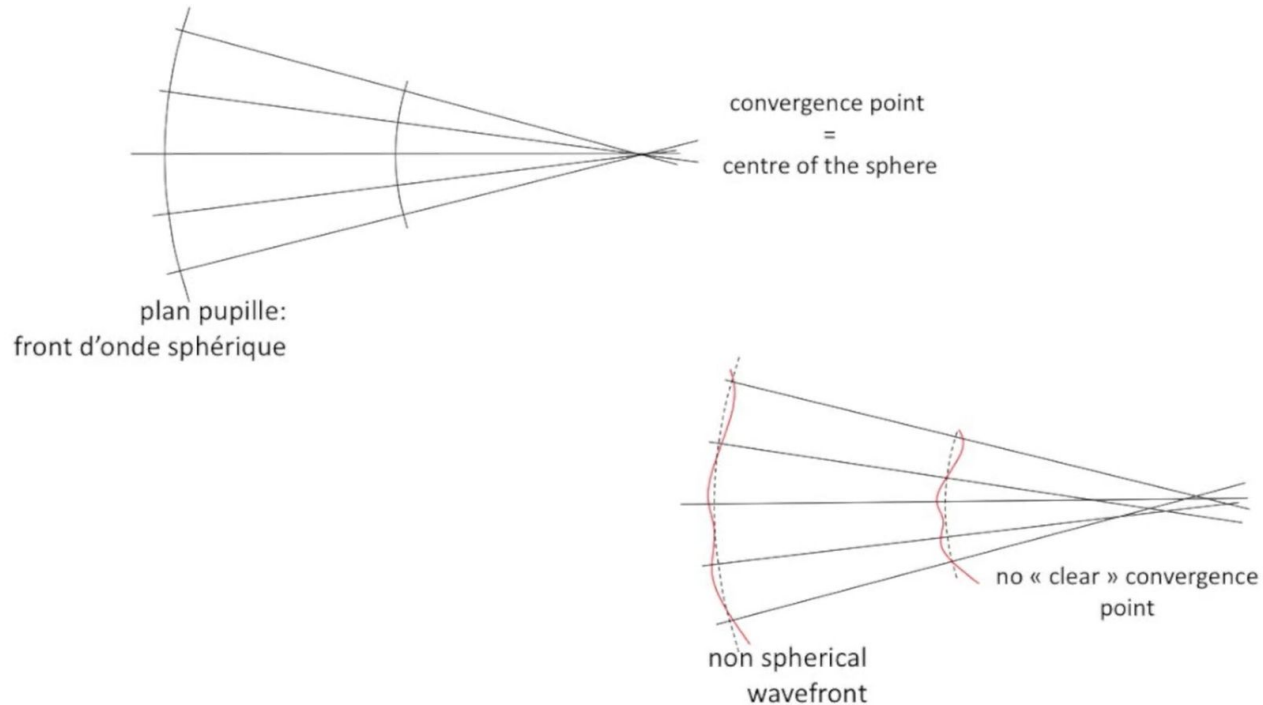
- 1ère étape : les mesurer  
analyse de surface d'onde (ASO)
- 2ème étape : les compenser  
contrôle et correction optique



Crédit : Raphaël Galicher

# Contexte de la Contribution technique : Les effets de la turbulence

- Cas idéal : les rayons lumineux sont orthogonaux à un front d'onde sphérique
- Lorsque le front d'onde se déforme, les rayons ne convergent plus en point et l'image se trouble

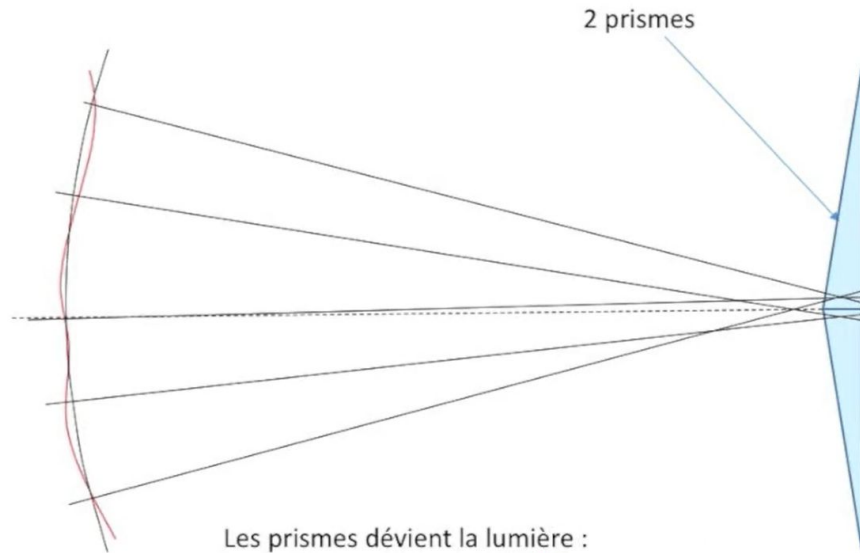


Crédit : Eric Gendron

# Contexte de la Contribution technique : la mesure

→ L'analyseur en pyramide : les rayons lumineux non orthogonaux au front d'onde sphérique sont déviés selon 4 directions, créant 4 images complémentaires de la pupille.

→ La position de la pyramide est modulée autour de l'axe de la sphère, l'intégration de l'image sur le capteur de front d'onde mesure des intensités dépendantes des points d'impact des rayons lumineux



Les prismes dévient la lumière :

- la pupille avec les zones  $\frac{\partial \delta}{\partial x} > 0$  décalée vers le haut
- la pupille avec les zones  $\frac{\partial \delta}{\partial x} < 0$  décalée vers le bas



Crédit : Eric Gendron

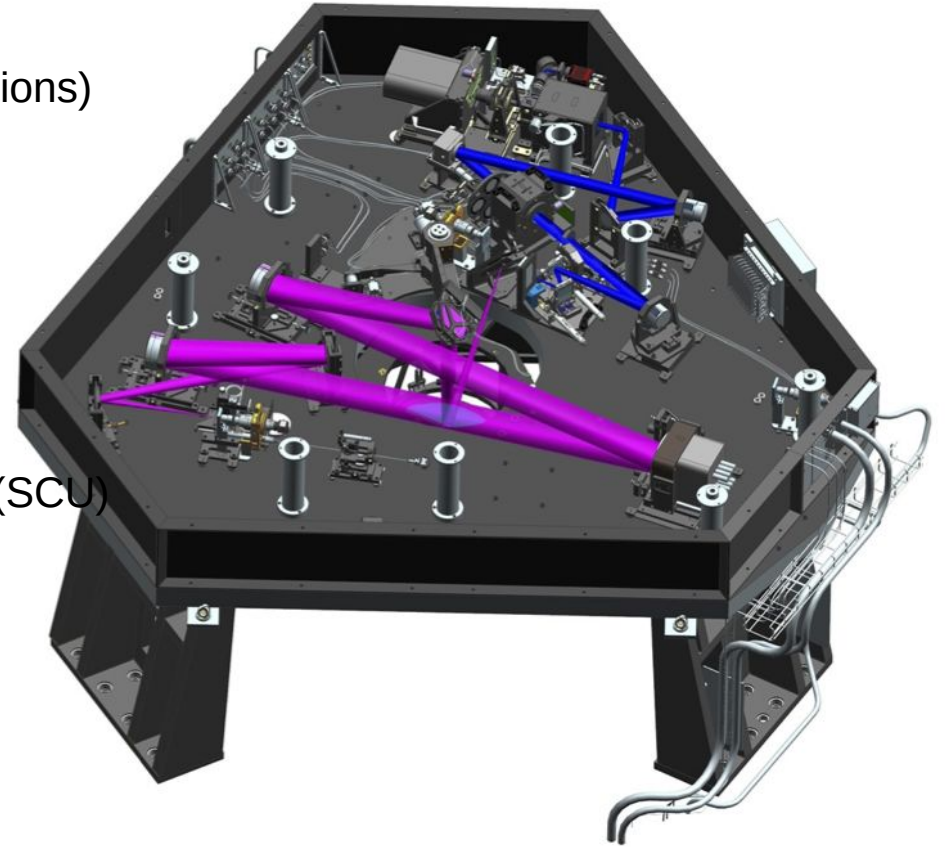
# Contribution technique : parties actives sur le banc optique

→ Le faisceau optique bleu est celui de l'analyseur de surface d'onde

- Mpup (pupil steering mirror)
- Sélecteur de champ
- ADC (Atmospheric Dispersion Compensator)
- Roue de correction NCPA (Non Common Path Aberrations)
- Miroir de Modulation
- Miroir K + Shutter
- Camera de pupille
- PIL (Pupil Imaging Lens)
- Roue filtres à densités neutres
- Caméra de front d'onde (ALICE)

→ Le faisceau magenta est celui de l'unité de calibration (SCU)

- Miroir déformable (DM)
  - Unité de sélection des sources
  - Module de sources optiques (Lampbox)
- Transmission de l'image SCU / imageurs infrarouge
- Bras de déploiement de SCU
  - Structure porteuse de la lame dichroïque

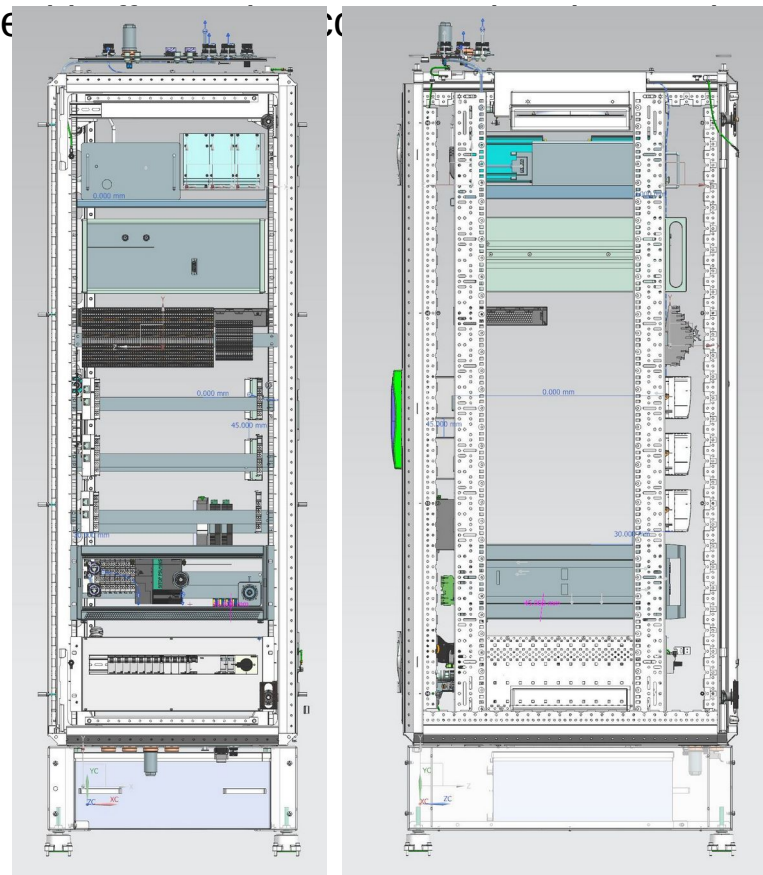


# Contribution technique : réalisation de l'armoire de commande, électroniques spécifiques, intégration des fournitures « sur étagère » et sous-traitance

- Utilisation de terminaux d'automate modulaire sur bus ethercat Be motorisées et des capteurs sur le banc optique
- Electronique spécifiques
  - DIOB (sources de courant pour sources optiques)
  - DDB (générateur de 2 canaux à sinus programmables)
  - DACB (générateur d'offset dynamique pour la modulation)
- Intégration des fournitures « sur étagère »
- Définitions de cahiers des charges et gestion des réalisations sous-Traitées.
- CAO électrique (SEE Electrical / Engineering Base) + Electronique (Altium)

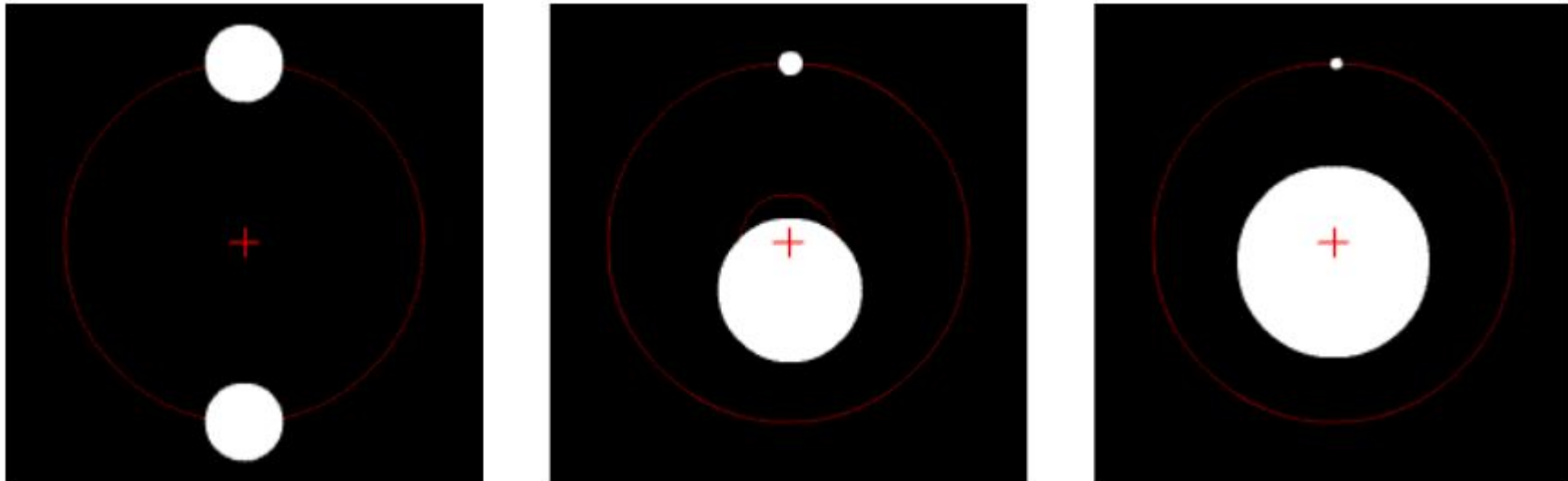
## Equipe

- Une gestionnaire
- Un IR (CDD) + 1 IE + 1AI au LIRA
- 2 IR + 1 IE + 2 AI (dont 1 apprenti) + 2 TEC (dont 1 CDD) à THETA



# Etude de cas scientifique : les TNO binaires

- Les objets transneptuniens sont des petits corps orbitant au-delà de l'orbite de Neptune (exemple : Pluton). A ce jour, nous en connaissons plus de 5000.
- Nous en connaissons environ 150 comme binaires (exemple : Pluton-Charon).



# Etude de cas scientifique : les TNO binaires

- Les objets transneptuniens sont des petits corps orbitant au-delà de l'orbite de Neptune (exemple : Pluton). A ce jour, nous en connaissons plus de 5000.
- Nous en connaissons environ 150 comme binaires (exemple : Pluton-Charon).

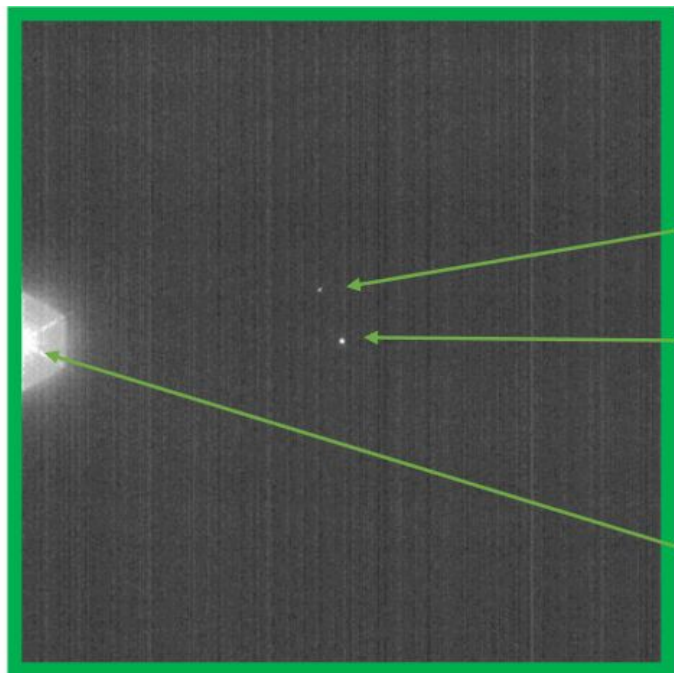
## Pourquoi les étudier

- Leur orbite mutuelle donne une information précise sur la masse du binaire.
- L'étude de leur population contraint les modèles de formation du Système Solaire (Combien de binaires ? Quel est le rapport de masse?)
- Ces objets ont peu évolué depuis les origines du Système Solaire.

## Comment les étudier

- MICADO devrait permettre de contraindre l'orbite mutuelle de binaires déjà connus
- Il faut avoir une étoile proche.

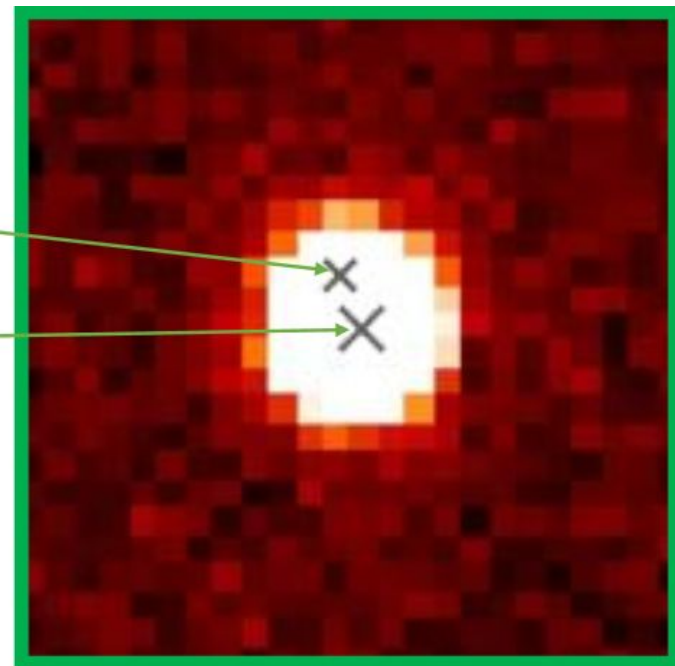
# Simulation d'observation : (471165) 2010 HE79



secondary

primary

Star for  
SCAO



Subaru observation (8.2 m) seeing = 0.4

Separation 2.09 pix = 0.36 arcsec

Pike et al, 2021

MICADO ELT (39m) SCAO 4 mas/pix ,

Separation 90 pix = 0.36 arcsec, DIT=2s NDIT = 20, PSF

EsoMedian, J filter

# Les possibilités d'apulses avec GAIA DR3

Etoiles de magnitude entre 14 et 16

2028/2030	Etoile à 2 arcsec	Etoile à 20 arcsec
Apulse	115	13 942
Nombre de TNB	47	135

**Merci de votre attention !**