

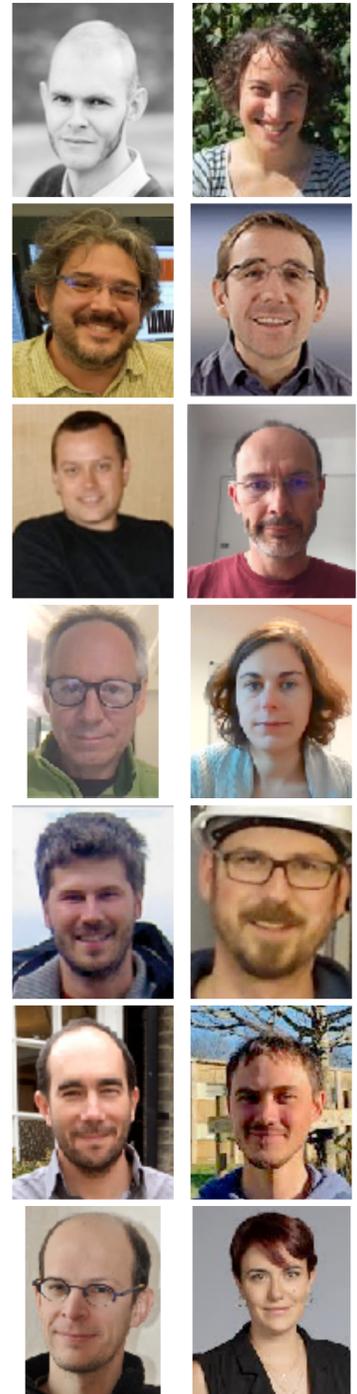
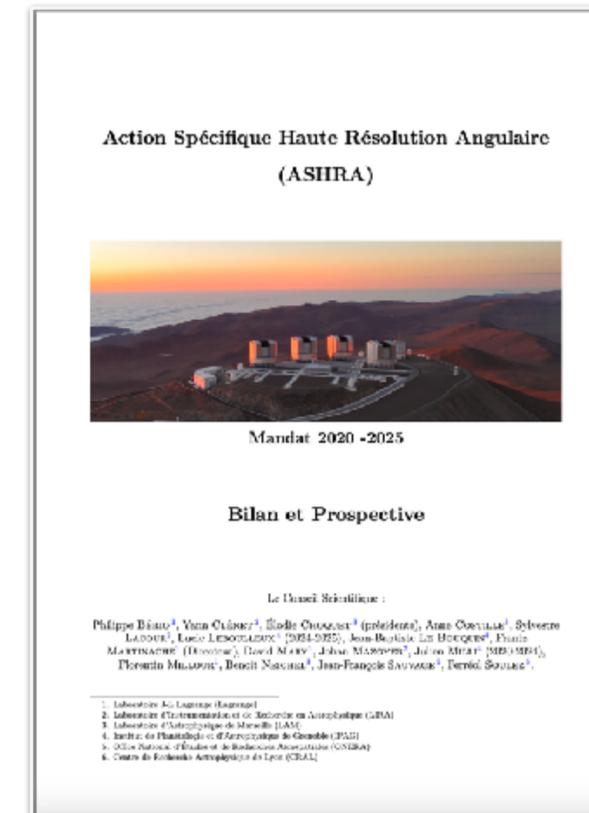
# L'Astronomie à Haute Résolution Angulaire en France, à l'horizon 2030

**Frantz Martinache - Elodie Choquet**

# Une revue proposée par l'AS HRA

- ▶ **Action Spécifique** de l'INSU AA depuis 1999
- ▶ **Missions:**
  - Soutien à la recherche instrumentale à Haute Résolution Angulaire
  - Animation de la communauté
  - Conseil et suivi des projets instrumentaux pour INSU
- ▶ **Bilan et réflexion prospective** de fin de mandat 2020-2025

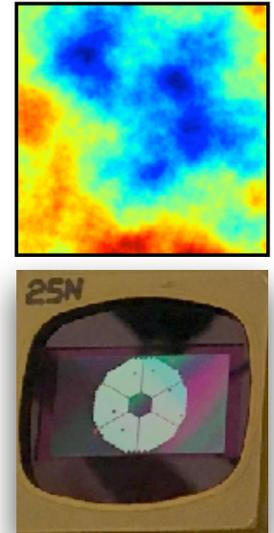
**Document disponible sur**  
<https://ashra-insu.fr/>



CS ASHRA

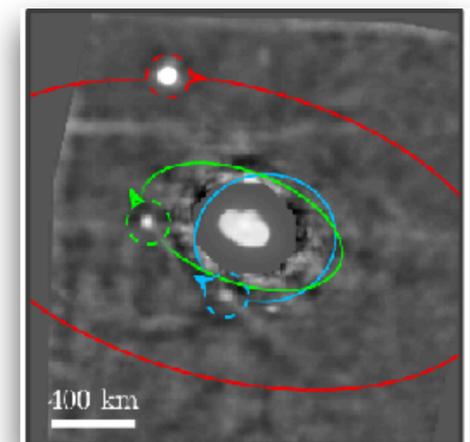
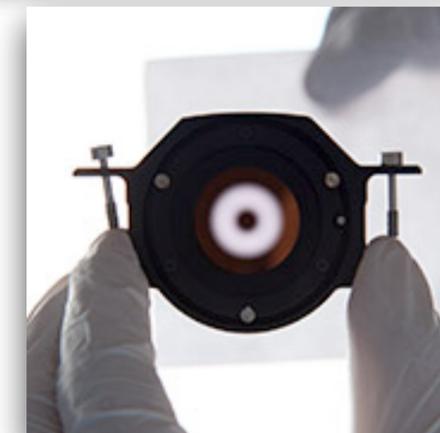
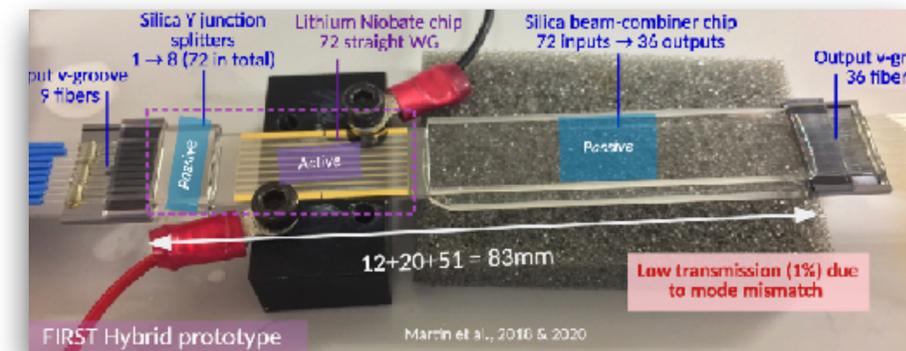
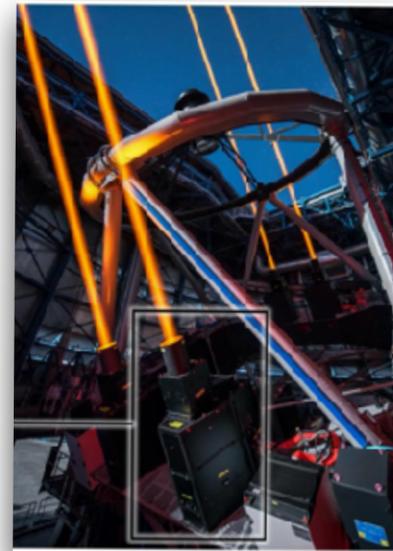
# Qu'est ce que la "HRA"

- ▶ **Une thématique de recherche:** l'instrumentation à **H**aute **R**ésolution **A**ngulaire
  - Étude des phénomènes physiques limitant la résolution des observations
  - Recherche de technologies pour optimiser les observations à haute résolution



- ▶ **Quatre grands domaines de recherche:**

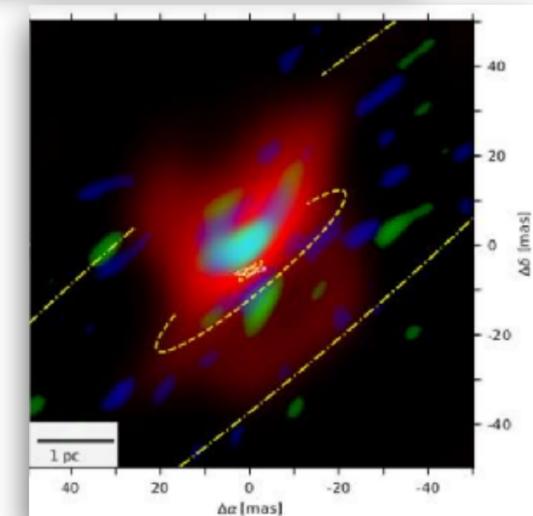
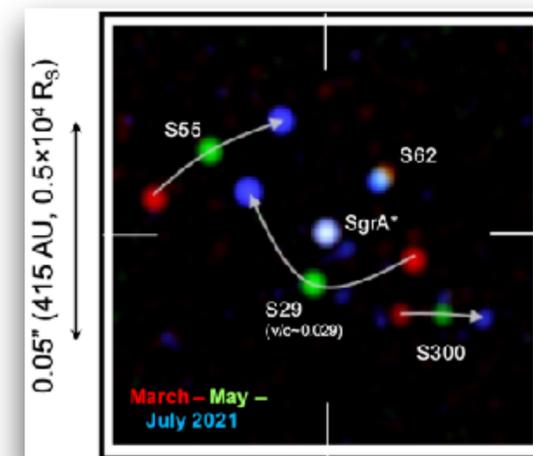
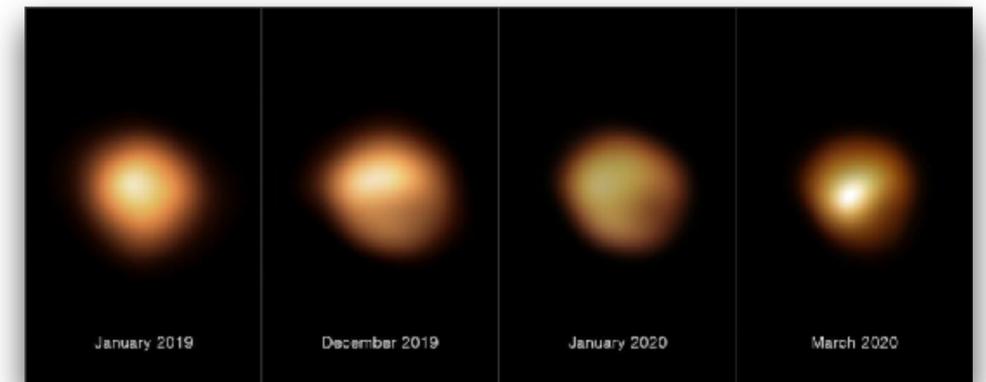
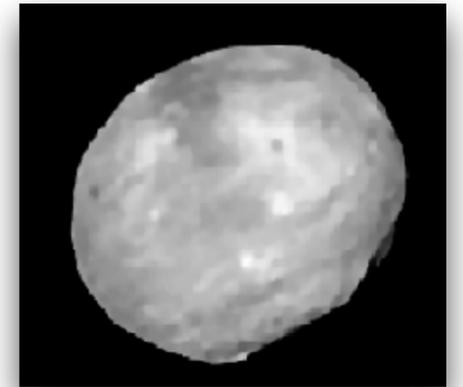
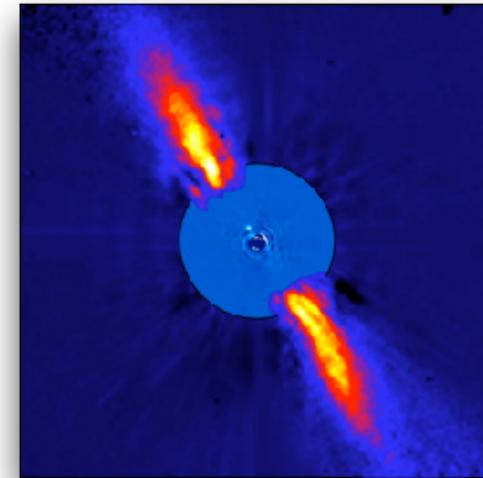
- L'Optique Adaptative
- L'Interférométrie Optique
- L'Imagerie à Haut Contraste
- La Science des Données



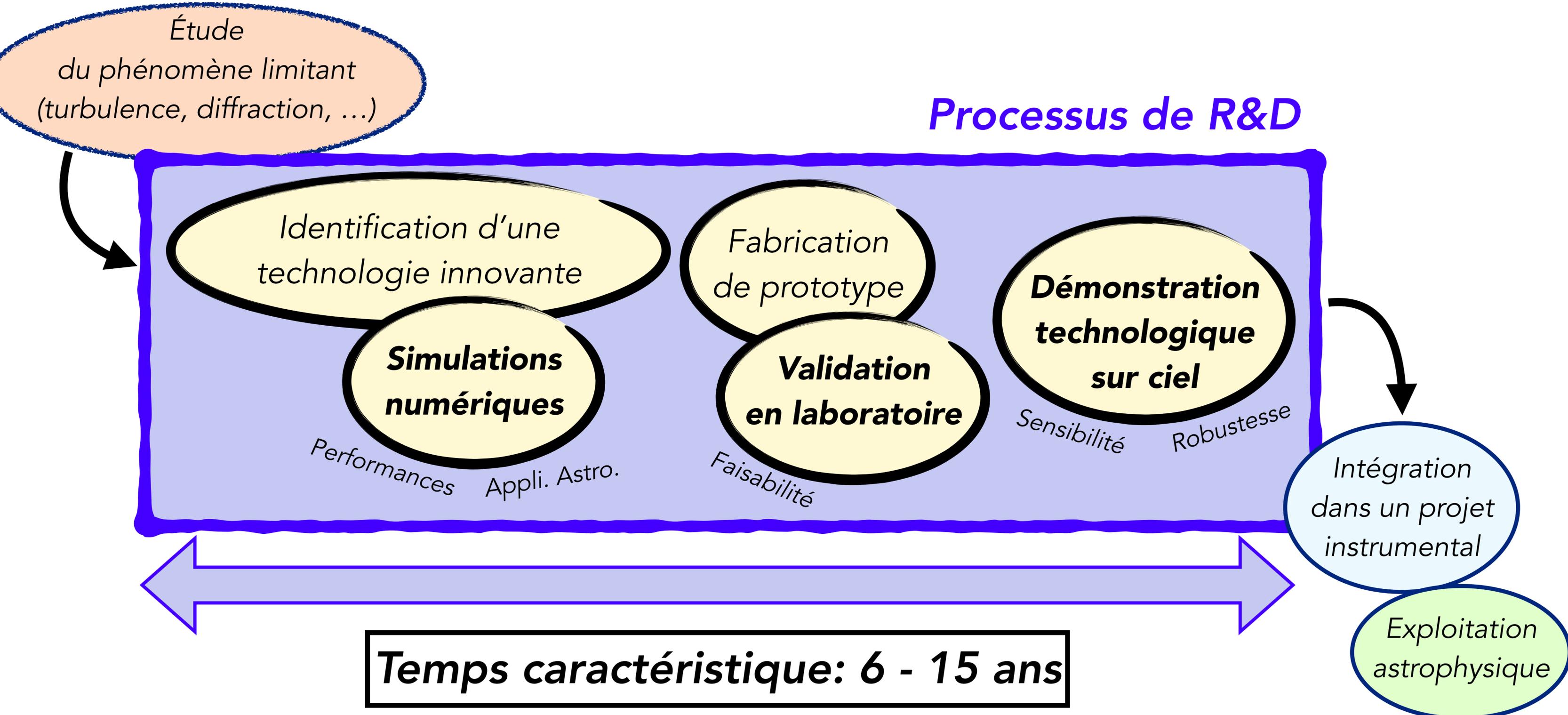
# Les champs d'application

► **Développements clés pour les observations de:**

- Systèmes Exoplanétaires
- L'imagerie d'Astéroïdes
- Les zones de formations stellaires et planétaires
- Les étoiles évoluées
- L'environnement proche du Centre Galactique
- Les noyaux actifs de galaxies (AGN)
- < Votre objet préféré ici >



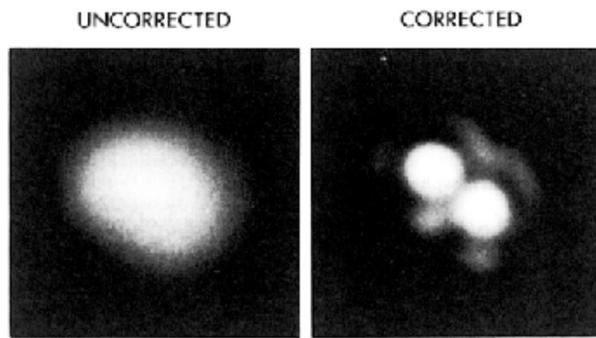
# Une méthodologie rodée



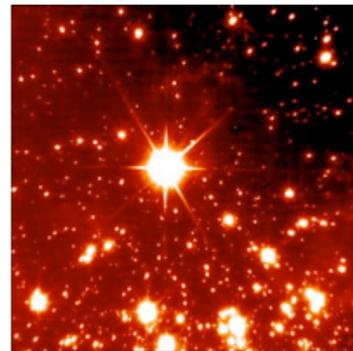
# De la R&D jusqu'au prix Nobel

Optique Adaptative

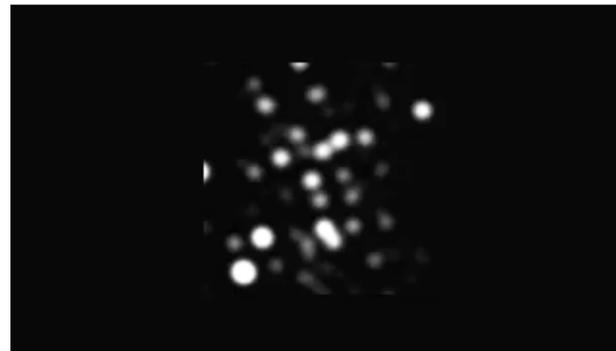
1ère démonstration d'Optique Adaptative



1ère lumière NACO



Distance et masse du trou noir Sgr A\*

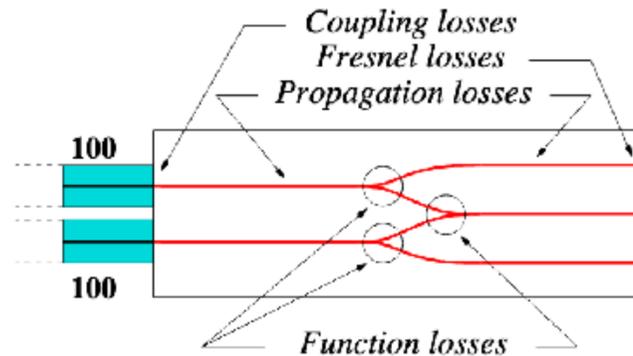


Prix Nobel Physique

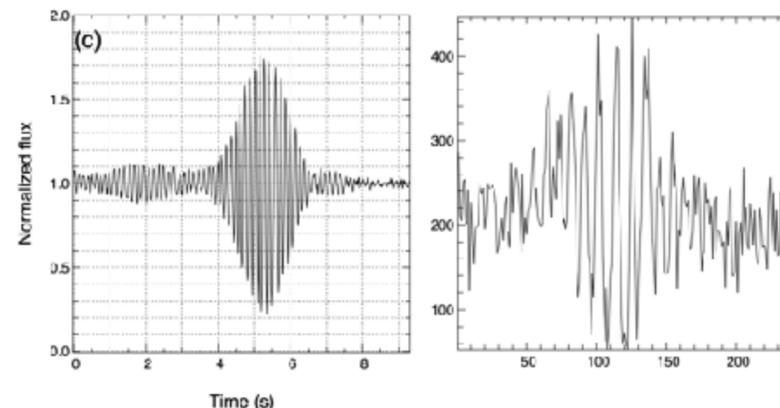


Interférométrie Optique

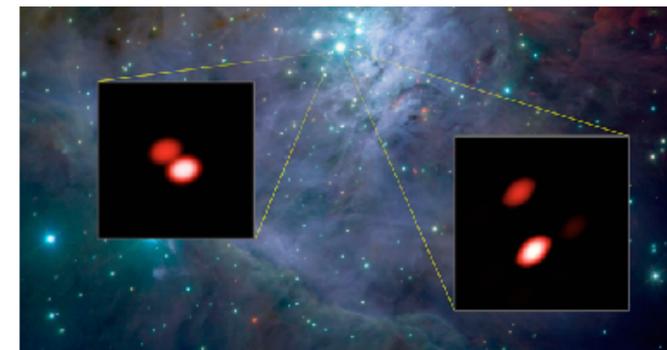
1ers concepts d'optique intégrée



1eres franges... en labo sur ciel (IOTA)



1ère lumière GRAVITY



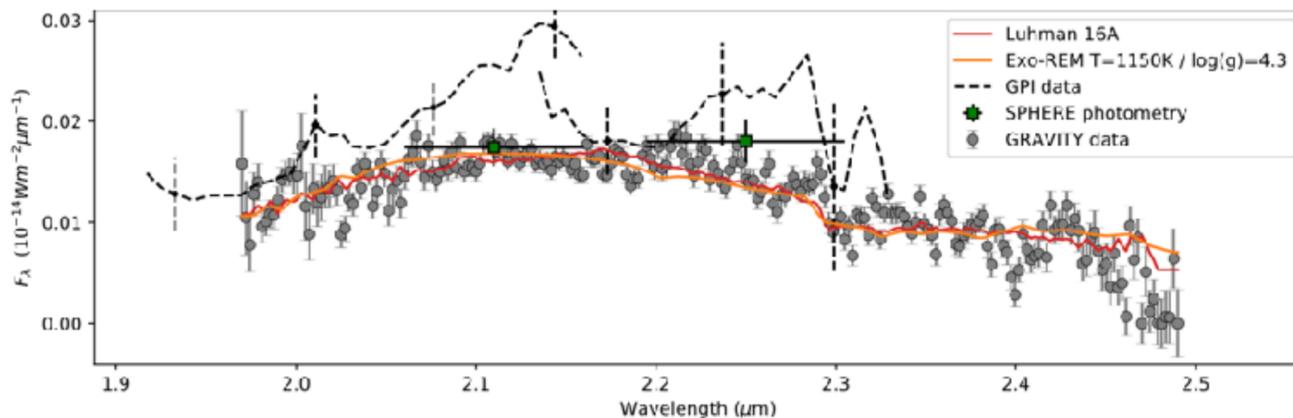
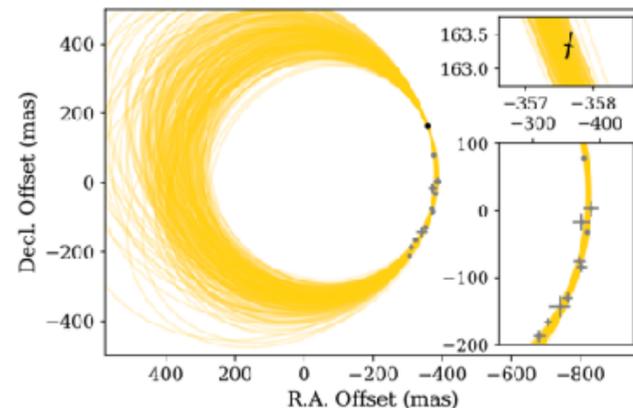
# Faits Marquants 2020-2025

**Astro HRA**

- ▶ L'exploitation scientifique de GRAVITY (2017+) et de MATISSE (2019+)
  - ◉ Combinaison des 4 UT du VLTI, de 2 $\mu$ m à 13 $\mu$ m
- ▶ Un succès retentissant: 200+ articles à eux deux
- ▶ Ouverture à de nouveaux champs scientifiques

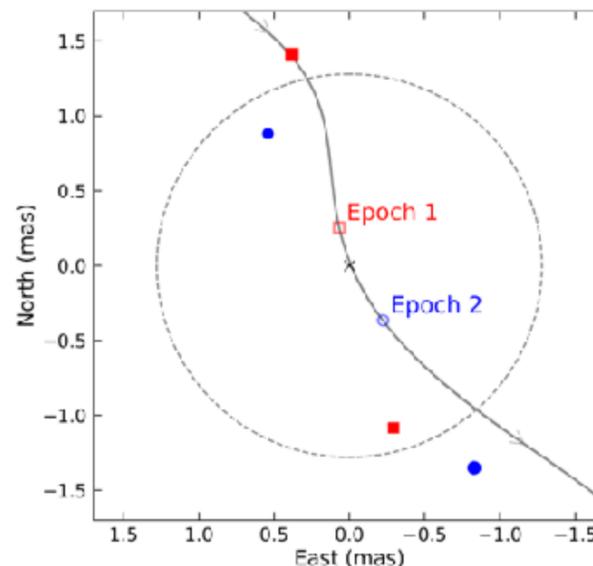


**Exoplanètes**



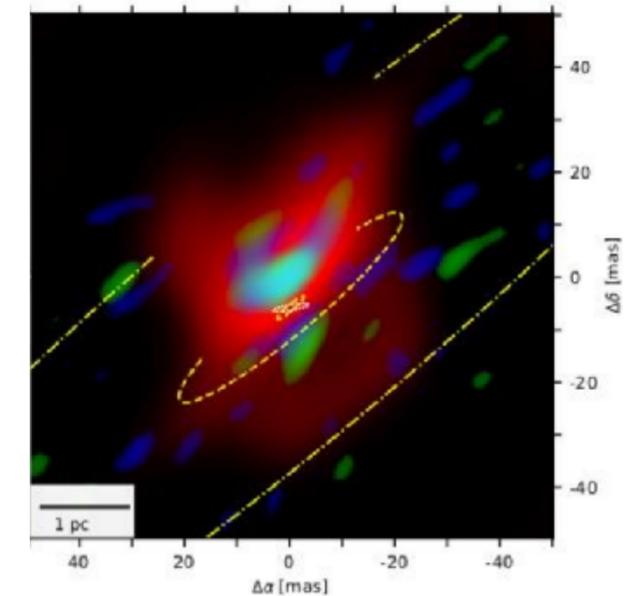
GRAVITY collaboration, Lacour et al. 2019

**micro-lentilles gravitationnelles**



Mróz et al. 2025

**AGN, objets extragalactics**



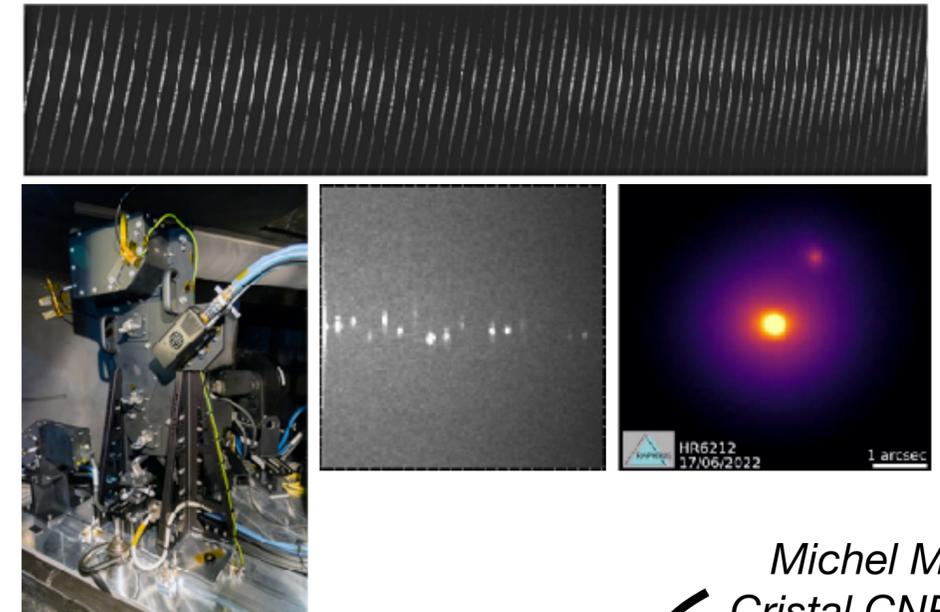
Gómez Rosas et al. 2022

# Faits Marquants 2020-2025

**Instruments**

► **2020-2025: Mise sur ciel de 5 nouveaux instruments**

- **VIPA**: Palomar Observatory, 2022
- **PAPYRUS**: Observatoire de Haute Provence, 2022
- **HiRISE**: VLT, 2023
- **SPICA**: CHARA, 2023
- **ASGARD**: VLTI, 2025 en cours!

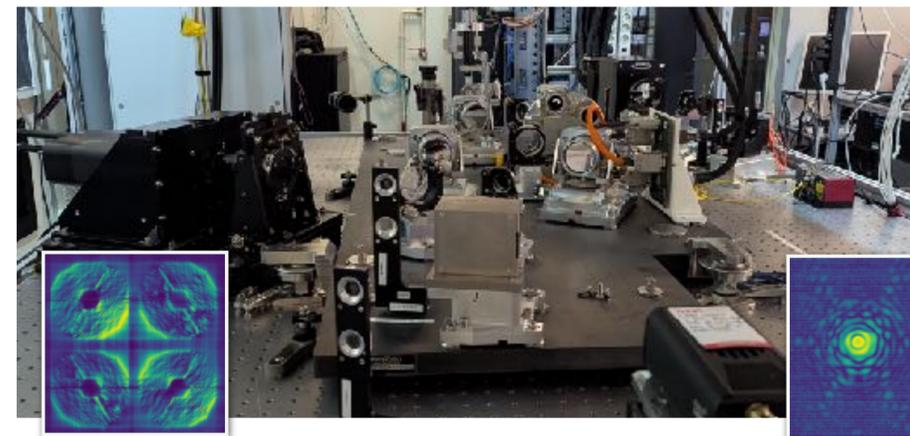


► **2022: Livraison de 16 optiques superpolies pour Roman Space Telescope**

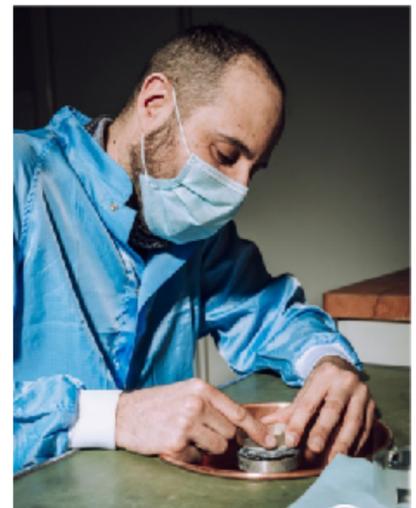
- Accès au *Community Participating Program*

► **2024: FDR de l'instrument MICADO de l'ELT**

► **2024: Début des AIT de SAXO+**



Michel Marcos  
Cristal CNRS 2025



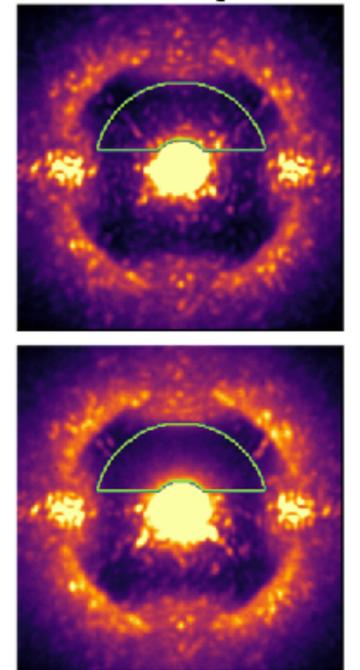
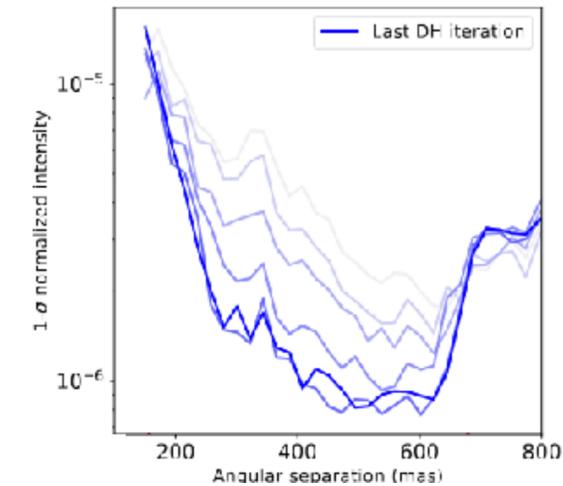
© Cyril FRESILLON /  
LAM / CNRS Images

# Faits Marquants 2020-2025

**R&D**

## ► 2022: Première démonstration sur ciel d'un "Dark Hole"

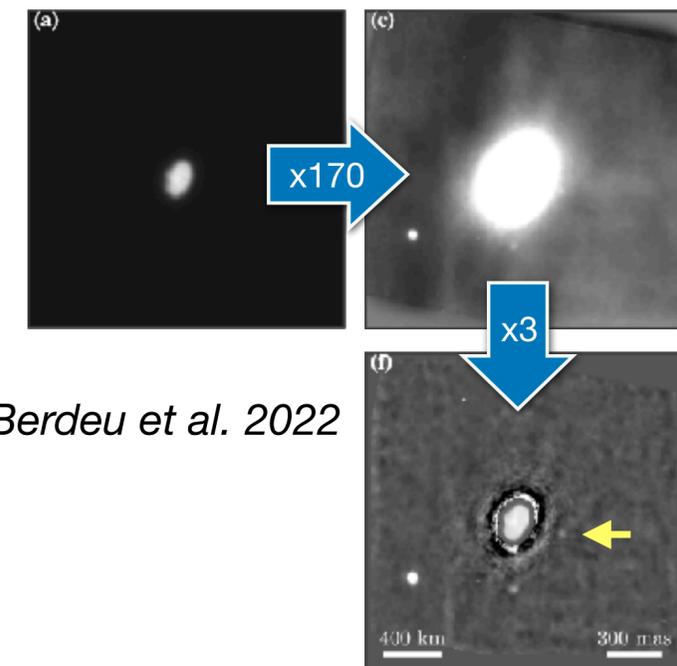
- Estimation du champ électrique + conjugaison destructive
- Zone entre **5 et 15  $\lambda/D$**  sans résidus stellaires  $> 10^{-6}$
- Première mondiale sur ciel (VLT-SPHERE)
- Stratégique pour SAXO+, PCS, Roman, HWO



*Potier et al. 2022*

## ► 2022: Découverte d'une lune d'astéroïde par déconvolution d'images

- Déconvolution de l'astéroïde + reconstruction du halo + soustraction
- Premier système quadruple jamais observé (VLT-SPHERE)
- Lune **1500x** plus faible que l'astéroïde, à **215 mas (9  $\lambda/D$ )**



*Berdeu et al. 2022*

# Horizon-2030: l'arrivée de l'ELT

## ► Calendrier

- 2029: Première lumière technique de l'ELT
- 2030+: Début des observations avec les instruments

## ► Activités de la communauté

- 2025-2030: AIT de MICADO, MORFEO, METIS HARMONI en cours de redéfinition
- Gros efforts des personnels impliqués
- Besoin de se préparer dès maintenant à l'exploitation astrophysique  
—> ASHRA en support aux AT pour aider aux synergies inter-instruments



# Horizon-2030: l'arrivée de l'ELT

## ► Challenges à venir

- ◎ Peu de temps technique sur l'ELT
  - > moins de disponibilité pour la recherche instrumentale
  - > besoin de plateformes R&D

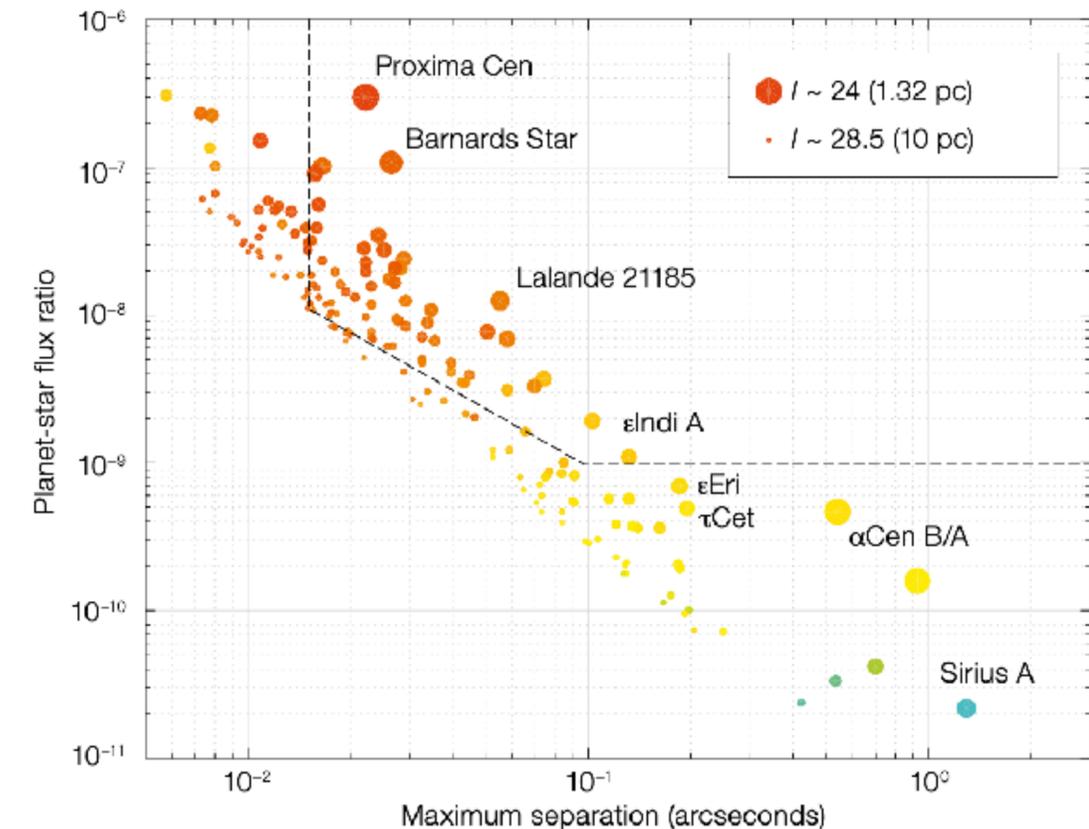
## ► Préparer la suite

- ◎ Besoin de diagnostiquer les choix techniques (analyseurs pyramides, DM=M4, ...)
- ◎ Besoin de diagnostiquer les performances dans l'environnement ELT (prise au vent ELT, turbulence de dôme, ...)
- ◎ Diagnostiques importants pour préparer les OA des prochains instruments



# Horizon-2030: la préparation de PCS

- Bilan très positif de SPHERE
  - > Résultats astrophysiques majeurs
  - > Démonstrations sur ciel de technos et de composants
- SAXO+ (2026):
  - > 2ème étage de correction OA rapide (3 kHz)
  - > Limites de détection de  $10^{-6}$  entre 4 et  $12 \lambda/D$
- **ELT-PCS: objectif  $10^{-8}$  pour la détection d'exoTerres autour des M proches**
  - > Instrument de 2ème génération de l'ELT
  - > Études de pré-phase A débutées en 2024 par l'ESO
  - > Équipes françaises impliquées dans plusieurs lots



*Kasper et al. 2021*

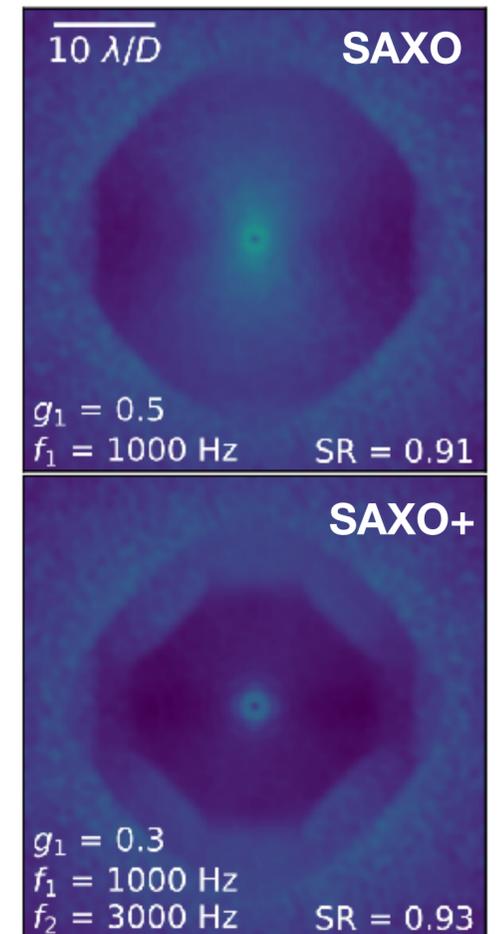
# Horizon-2030: la préparation de PCS

## ► Roadmap vers PCS

- Études R&D:
  - > Architectures de contrôle à plusieurs étages
  - > Algorithmes de Dark Zone
  - > Contrôle prédictif (avec/sans IA)
- Validations de technos sur ciel: SAXO+, PAPHYRUS
- Diagnostique de l'environnement ELT (vibrations, turbulence, etc.)

## ► Points de vigilance

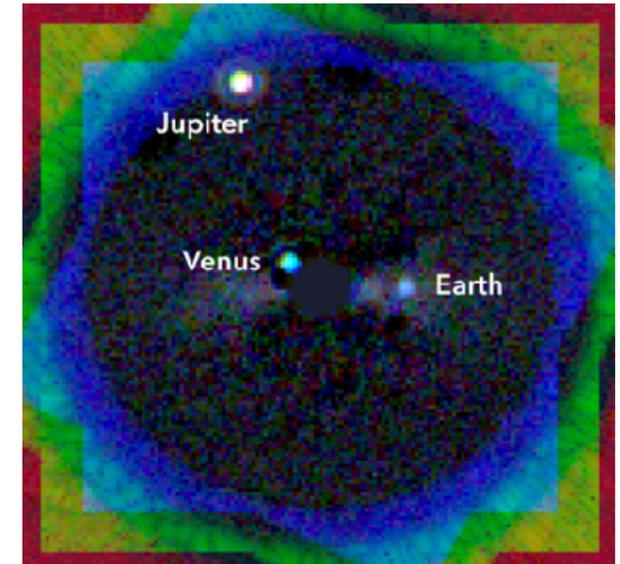
- Communauté déjà très mobilisée sur les premiers instruments ELT
- Des diagnostics SAXO+ et ELT qui arriveront tardivement
- Des composants qui n'existent pas encore et nécessitent un partenariat industriel



*Goulas et al. 2024*

# Horizon-2030: le challenge du Spatial

- ▶ Deux grands projets spatiaux pour le cas scientifique ExoTerres
- ▶ **Habitable World Observatory (HWO)**
  - Flagship de la NASA prévu pour 2040+
  - Grand télescope ( $D > 6\text{m}$ ) optique (UV à proche-IR)
- ▶ **LIFE**
  - Projet de mission de l'ESA (programme Voyage 2050)
  - Grand interféromètre spatial dans l'infrarouge moyen
  - Vol en formation de 4 télescopes + 1 station de recombinaison



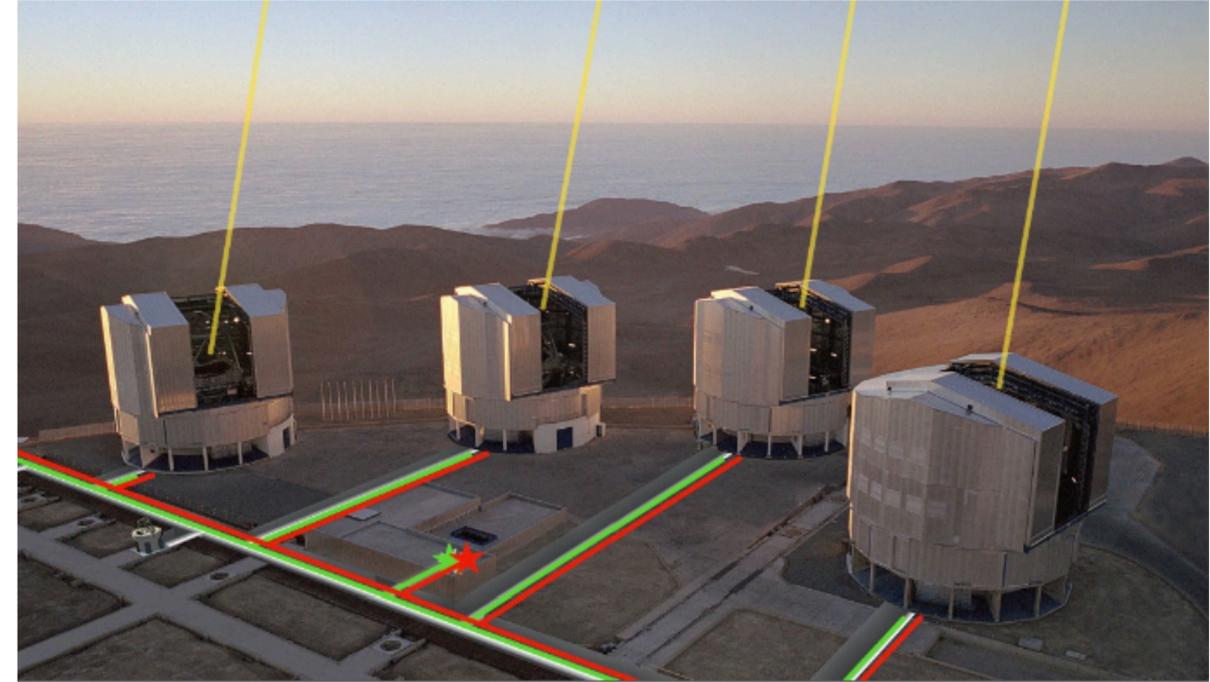
# Horizon-2030: le challenge du Spatial

- ▶ **Participations françaises à renforcer / coordonner**
- ▶ **Habitable World Observatory (HWO)**
  - Participation française au Roman Space Telescope (précurseur HWO)
  - Collaborations fortes avec les équipes US du STScI (IRP TARPIN)
  - Initiatives de coordinations à l'échelle nationale (HALO) et européenne (Space-HCI)
  - Mais: France positionnée pour contribuer avec instrument UV (Pollux)
- ▶ **LIFE**
  - Héritage de DARWIN, gros efforts de R&D en France il y a 15 ans
  - Succès de l'interférométrie au sol (photonics, suivi de franges)
  - Mais: Pas encore de contribution majeur en France

# Horizon-2030: La suite de l'interférométrie au sol

## ► La vision initiale du VLTI enfin réalisée!

- Recombinaison des 4 UT, de  $2\mu\text{m}$  à  $13\mu\text{m}$
- Optique Adaptative + Suivi de franges + Double-champs + Étoiles laser
- Large couverture ciel et grande sensibilité
- Projets ASGARD et PLANETE: nouvelles fonctionnalités (bande J, Haut-contraste)



## ► CHARA

- Recombinaison de 6 télescopes, accès au visible (SPICA)

## ► Modèle collaboratif européen valorisé

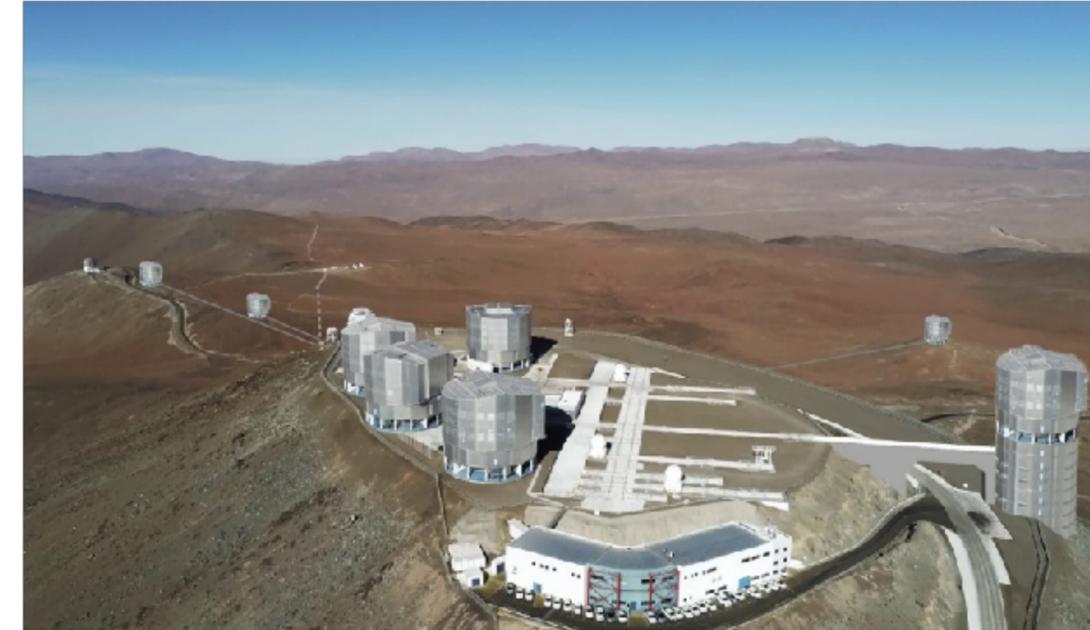
# Horizon-2030: La suite de l'interférométrie au sol

## ► Quelle suite pour le VLTI?

- Augmentation de l'infrastructure actuelle (5ème UT) ?
- Envisager une infrastructure nouvelle (bases kilométriques) ?
- Cadre de l'appel "Expanding Horizon" de l'ESO

## ► Important travail prospectif à venir

- Quels cas scientifiques à la hauteur de ces nouvelles infrastructures
- Quelle meilleure utilisation des ressources (infrastructures existantes, financières, carbone)
- Quelle proportion de la communauté interférométrie européenne concernée/motivée



# Conclusion

## ► Prospective AA 2024:

- Renforce l'importance de la R&D
- Lever les verrous technologiques
- Favorise des instruments moins nombreux, moins incrémentaux, et à forte valeur ajoutée

## ► Plusieurs chantiers enthousiasmant à l'horizon 2030:

- L'arrivée de l'ELT
- La concrétisation de la R&D en imagerie d'exoTerres
- La perspective du spatial
- La suite du VLT



# La communauté HRA

## ► Une communauté de 215 personnes

- 36% de jeunes scientifiques
- 25% de femmes (35% parmi les jeunes)
- 5 laboratoires INSU + ONERA

## ► Une recherche active et pluri-disciplinaire

- 18 thèses par an
- Moitié pure instrumentation
- Moitié instrumentation + observations

## ► Une communauté investie dans les projets instrumentaux

- Engagements très visible qui occulte leurs travaux de recherche et raison-d'être

