

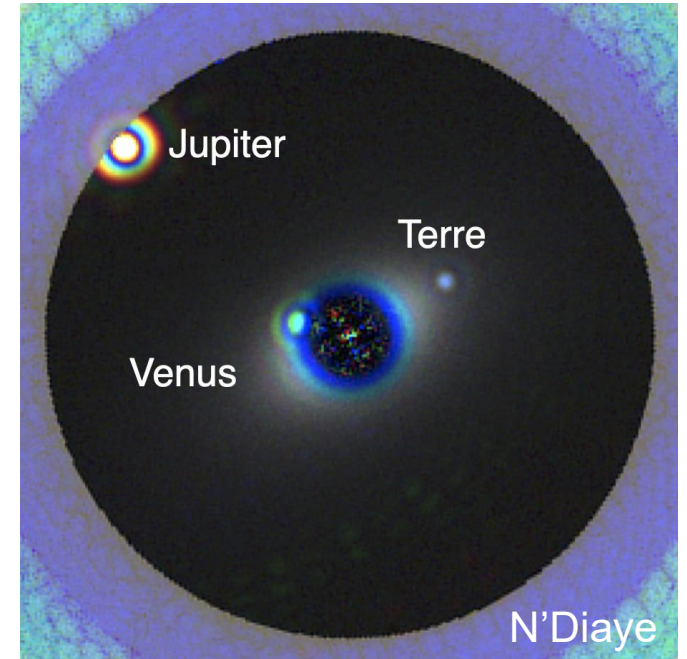


# **HALO review and perspectives Habitability And Life on Other worlds**

**Lucie Leboulleux, Mickaël Bonnefoy, Elodie Choquet, Yassin Jaziri, Frantz Martinache, Lucile Mignon, Julia Seidel**

# Scope

- French community
- Science scope: exoplanets, atmospheres, habitability
- ~50 researchers
- Astrophysics (observations and theories), atmosphere science, instrumentation
- Various involvements: ESO infrastructures (inc. ELT), ESA/CNES missions (ARIEL, etc.), larger missions (JWST, Roman, HWO, LIFE)



## Goals of HALO:

- **Bring together the community**
- **Anticipate the challenges of future space missions**
- **Foster the emergence of structuring projects & collaborations**
- **Strengthen the visibility of the French community internationally**

# Quick history

Coordination: G. Chauvin

Coordination: A. Vigan

Coordination: L. Leboulleux

2023

2024

2025

2026

Call from S. Quanz (PI of LIFE)  
Creation of HALO  
SF2A workshop

**ORIGIN OF WATER AND LIFE: WHAT ASTROPHYSICAL AND INSTRUMENTAL CHALLENGES FOR TOMORROW?**

G. Chauvin<sup>1</sup>, S. Raymond<sup>2</sup>, D. Mouillet<sup>3</sup>, J.-P. Berger<sup>3</sup>, I. Boisse<sup>4</sup>, E. Choquet<sup>4</sup>, H. Cottin<sup>5</sup>, X. Delfosse<sup>3</sup>, M. Ferrari<sup>4</sup>, E. Huby<sup>6</sup>, S. Lacour<sup>6</sup>, M. Langlois<sup>7</sup>, L. Leboulleux<sup>3</sup>, F. Martinache<sup>1</sup>, M. N'Diaye<sup>1</sup>, A. Santerne<sup>4</sup>, A. Vigan<sup>4</sup> and V. Vinogradoff<sup>8</sup>

# Quick history

Coordination: G. Chauvin

Coordination: A. Vigan

Coordination: L. Leboulleux

2023

2024

2025

2026

Call from S. Quanz (PI of LIFE)  
Creation of HALO  
SF2A workshop

HALO workshop  
HCI in Europe workshop



## Advancing European High-Contrast Imaging R&D Towards the Habitable Worlds Observatory

Iva Laginja<sup>1,2\*</sup>, Óscar Carrión-González<sup>2,5</sup>, Romain Laugier<sup>10</sup>,  
Elisabeth Matthews<sup>5</sup>, Lucie Leboulleux<sup>6</sup>, Axel Potier<sup>9,2</sup>,  
Alexis Lau<sup>8</sup>, Olivier Absil<sup>3</sup>, Pierre Baudoz<sup>2</sup>, Beth Biller<sup>4</sup>,  
Anthony Boccaletti<sup>2</sup>, Wolfgang Brandner<sup>5</sup>, Alexis Carlotti<sup>6</sup>,  
Gaël Chauvin<sup>5,7</sup>, Élodie Choquet<sup>8</sup>, David Doelman<sup>14</sup>,  
Kjetil Dohlen<sup>8</sup>, Marc Ferrari<sup>8</sup>, Sasha Hinkley<sup>16</sup>, Elsa Huby<sup>2</sup>,  
Mikael Karlsson<sup>11</sup>, Oliver Krause<sup>5</sup>, Jonas Kühn<sup>9</sup>,  
Jean-Michel Le Duigou<sup>15</sup>, Johan Mazoyer<sup>2</sup>, Dino Mesa<sup>12</sup>,  
Michiel Min<sup>14</sup>, David Mouillet<sup>6</sup>, Laurent M. Mugnier<sup>13</sup>,  
Gilles Orban de Xivry<sup>3</sup>, Frans Snik<sup>1</sup>, Daniele Vassallo<sup>12</sup>,  
Arthur Vigan<sup>8</sup>, Pieter de Visser<sup>14</sup>

# Quick history

Coordination: G. Chauvin

Coordination: A. Vigan

Coordination: L. Leboulleux

2023

2024

2025

2026

Call from S. Quanz (PI of LIFE)  
Creation of HALO  
SF2A workshop

HALO workshop  
HCI in Europe workshop

HCI in Europe workshop

HALO prospective  
Website  
Thematic work  
Another HALO in 2027?

**Positionnement de la communauté française HALO  
autour des futures missions spatiales dédiées à l'habitabilité et la recherche de vie**

Auteur·rice·s : Lucie [Leboulleux](#), Mickaël [Bonnefoy](#), Elodie [Choquet](#),  
[Yassin Jaziri](#), Frantz [Martinache](#), Lucile Mignon, Julia Seidel

# Quick history

Coordination: G. Chauvin

Coordination: A. Vigan

Coordination: L. Leboulleux

2023

2024

2025

2026

Call from S. Quanz (PI of LIFE)  
Creation of HALO  
SF2A workshop

HALO workshop  
HCI in Europe workshop

HCI in Europe workshop

HALO prospective  
Website  
Thematic studies  
Another HALO in 2027?

- + scientific watch
- + mailing list
- + other conferences (HWO2026)

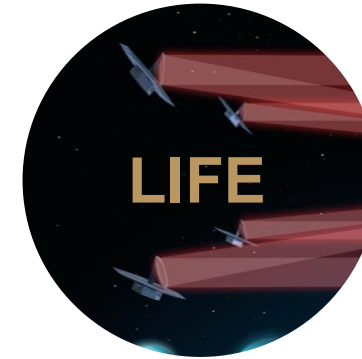
→ **Active community, ready to contribute to future space missions**

# Futures missions: HWO and LIFE

Goal: Characterize rocky planetary atmospheres, look for biosignatures



Direct imaging  
Reflected light in (NUV/VIS/NIR)  
Albedos, observation/orbital geometry  
Potential molecular tracers: O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>...



Interferometry  
Thermic emission (MIR)  
Favorable stellar contrast  
Potential molecular tracers: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>...

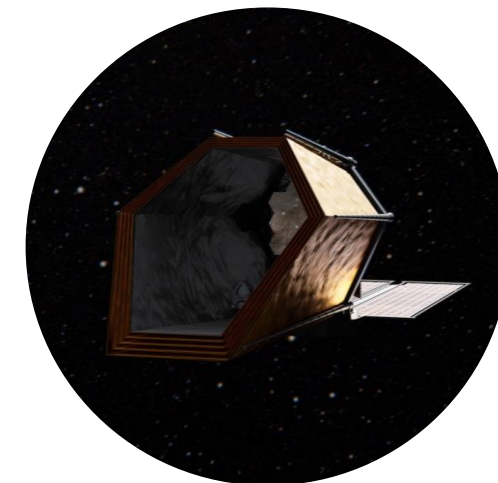
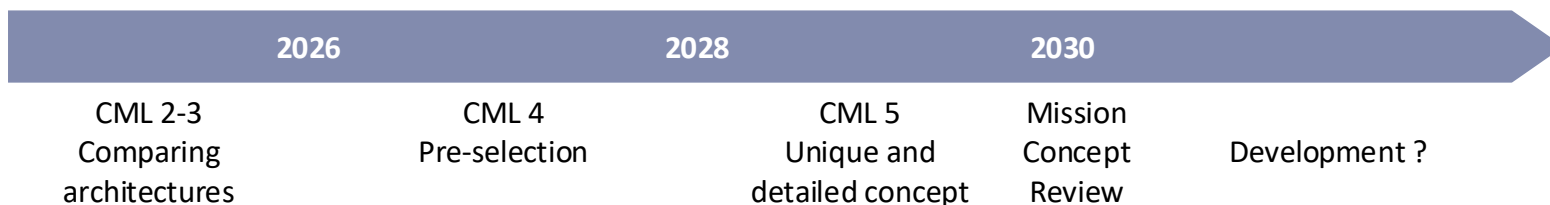
→ High technological maturity +  
rigorous preparation of targets and science cases

# Habitable Worlds Observatory (HWO)

## Science case (exoplanets):

- Direct detection of rocky exoplanets in reflected light,
- Characterization of their atmospheres and detection of potential biosignatures inc. Oxygen,
- Statistical study of the diversity of habitable worlds.

## Calendar:

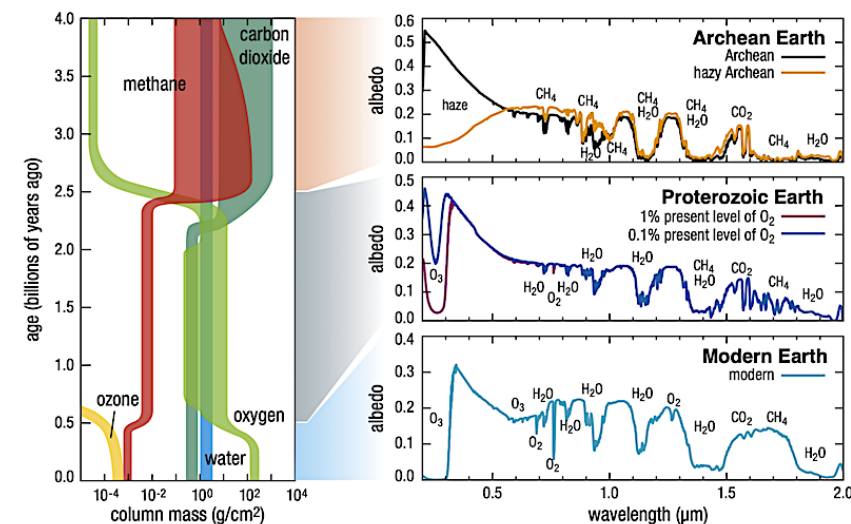


## Coordination:

- HWO Technology Maturation Project Office (HTMPO)
- Community Science and Instrument Team (CSIT)
- Community: Science Interest Groups (SIG)
- Europe: European HWO Participation Coordination Group

## Key challenges:

- Which targets to observe and with which strategies, in a parameter space that is poorly constrained?
- How to overcome instrumental limitations, achieving extreme contrasts and picometric wavefront control despite a segmented mirror, very small angular separations and very long exposure times?
- How to extract and interpret astrophysical information from reflected light signals, requiring robust models to link observations and physico-chemical properties?



NASEM decadal survey, 2021

# Large Interferometer For Exoplanets (LIFE)

## Science case:

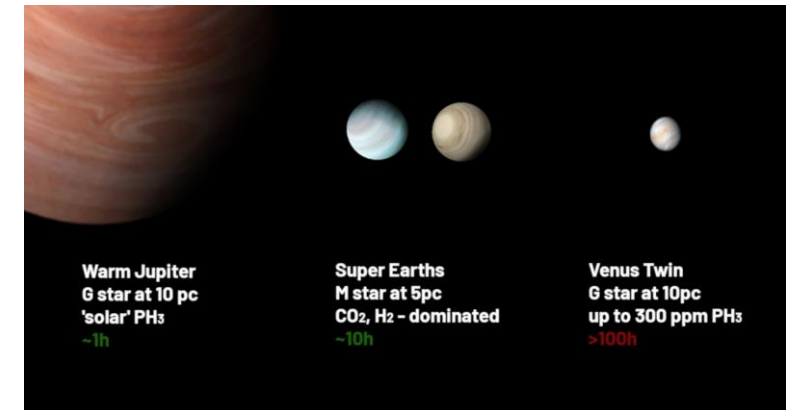
- Measurement of the atmospheric composition of a large sample (>100) of exoplanets.

## Involvements:

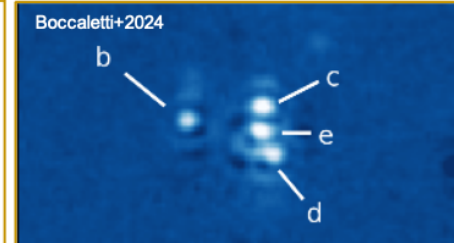
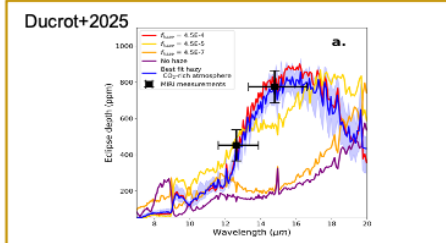
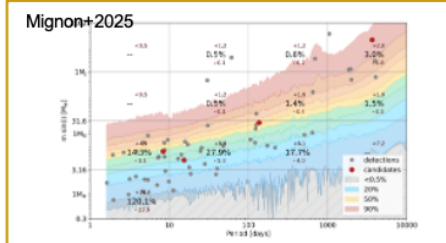
- Lead: ETH Zurich.
- French involvement: Lagrange and IPAG, mostly. No identified lead in France?
- Motivations: 250 participants at the 2025 LIFE conference
- No dedicated ESA environment (but technical study funded)
- Ongoing private sponsorship strategy (TAS Cannes?).

## Key challenges:

- Formation flying of collectors + recombiner (see LISA mission)
- Nulling interferometry (see NOTT at VLT)
- Maintaining high contrast over a large spectral range and cryogenics
- Institutional support, securing funding



## Missions en cours ou à court terme VLTi, VLT, ELT, JWST, Gaia, Roman, PLATO, Lazuli



Expertises actuelles,  
Retours d'expériences

### Population et cibles

- Démographie des planètes géantes en ZH (Gaia, Survey microlentilles, Roman)
- Démographie des exo-Terres (PLATO)
- Identification de cibles pour HWO/LIFE par EPRV/ études statistiques (VLT/ ESPRESSO, HARPS, NIRPS, CFHT/SPIROU, ESPADON, Wenaokeao, Pic du Midi/SPIP, PLATO)

### Atmosphères

- Planètes géantes froides en mid-IR (JWST, LIFE)
- Planètes géantes chaudes en mid-IR (ARIEL, LIFE)
- Planètes géantes en lumière réfléchie (Roman, HWO)
- Modèles et observables : transit, émission, réflexion, courbes de phase (Codes Generic PCM, pytmosph3r)
- Caractérisation à haute résolution spectrale (VLT/HiRISE, ELT/ANDES)
- Post-processing et extraction de spectres (Codes ATMOSPHERIX, FORMOSA)

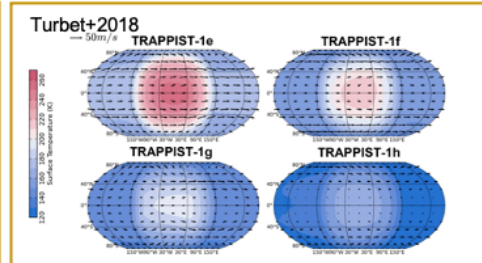
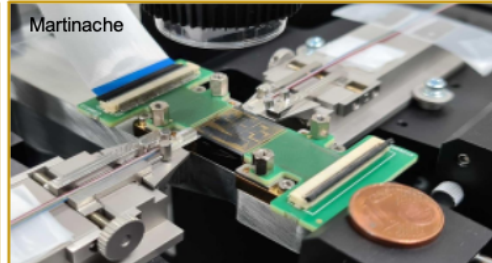
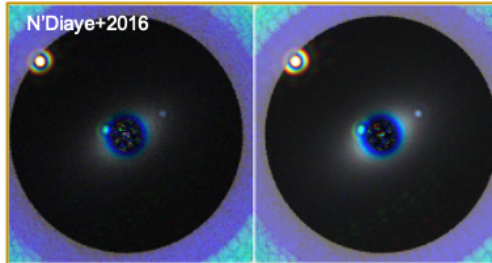
### Méthodologies

- Soustraction de résidus stellaires dans images coronographiques (VLT/SPHERE)
- Recherche des invariants (KERNEL)
- Méthodes de reconstruction d'image (VLTi)
- Apprentissage statistique, tests de détection (code PACO...)
- Stratégies d'observation (VLT/SPHERE, Roman, observations multi-époque)
- CCF, Molecular mapping

### Instrumentation

- Qualité optique (Roman, JWST)
- Contrôle de front d'onde (JWST, Roman, ELT)
- Astrométrie de précision (VLTi/GRAVITY)
- Coronagraphie (VLT/SPHERE, ELT)
- Régime très haut contraste (VLT/SPHERE, Roman)
- Spectroscopie fibrée (VLT) et haute résolution (VIPA)
- Optique intégrée : recombineurs (VLTi) & spectroscopie (SWIFT, AWG)
- EMCCD (Roman)
- R&D amont

## Missions long terme, en cours de définition HWO, LIFE, Tianlin



### Besoins long terme

#### Préparation scientifique

- Population cible
- Stratégie d'observation
- Traitement du signal
- Modèles d'atmosphères : observables, limites de bruit
- Polarimétrie en lumière réfléchie

#### Développements technologiques

- Spectroscopie : haute résolution, haute transmission
- Polarimétrie
- Imagerie haut contraste : coronagraphie à 1  $\lambda/D$ , contrôle du front d'onde picométrique
- Interférométrie : nullers, suivi de franges, technologies intégrées IR
- Réduction de données
- Régime bas flux
- Modèle instrumental/bruit

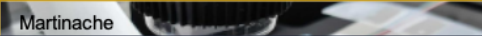
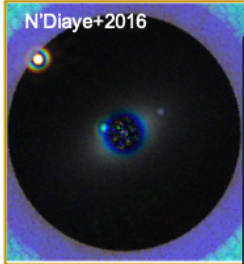
#### Interprétation des données

- Fusion de données hétérogènes (combinaison multi-instruments)
- Détection de signal faible (tests statistiques, intelligence artificielle)
- Inversion spectroscopique :
  - haute résolution
  - polarimétrie (nuages, océans)
  - lumière réfléchie
  - combinaison haute/basse résolution

#### Besoins concrets /institutionnels

- Visibilité (ESA, CNRS, etc.)
- Soutien institutionnel (CNES, INSU)
- Financements (CNES, « PEPR 2.0 », etc.)
- People power : FTE, SNO
- Responsabilités (WP)
- Informations (contacts avec NASA - HWO)
- Coordination nationale (LIFE)
- Stabilité géopolitique

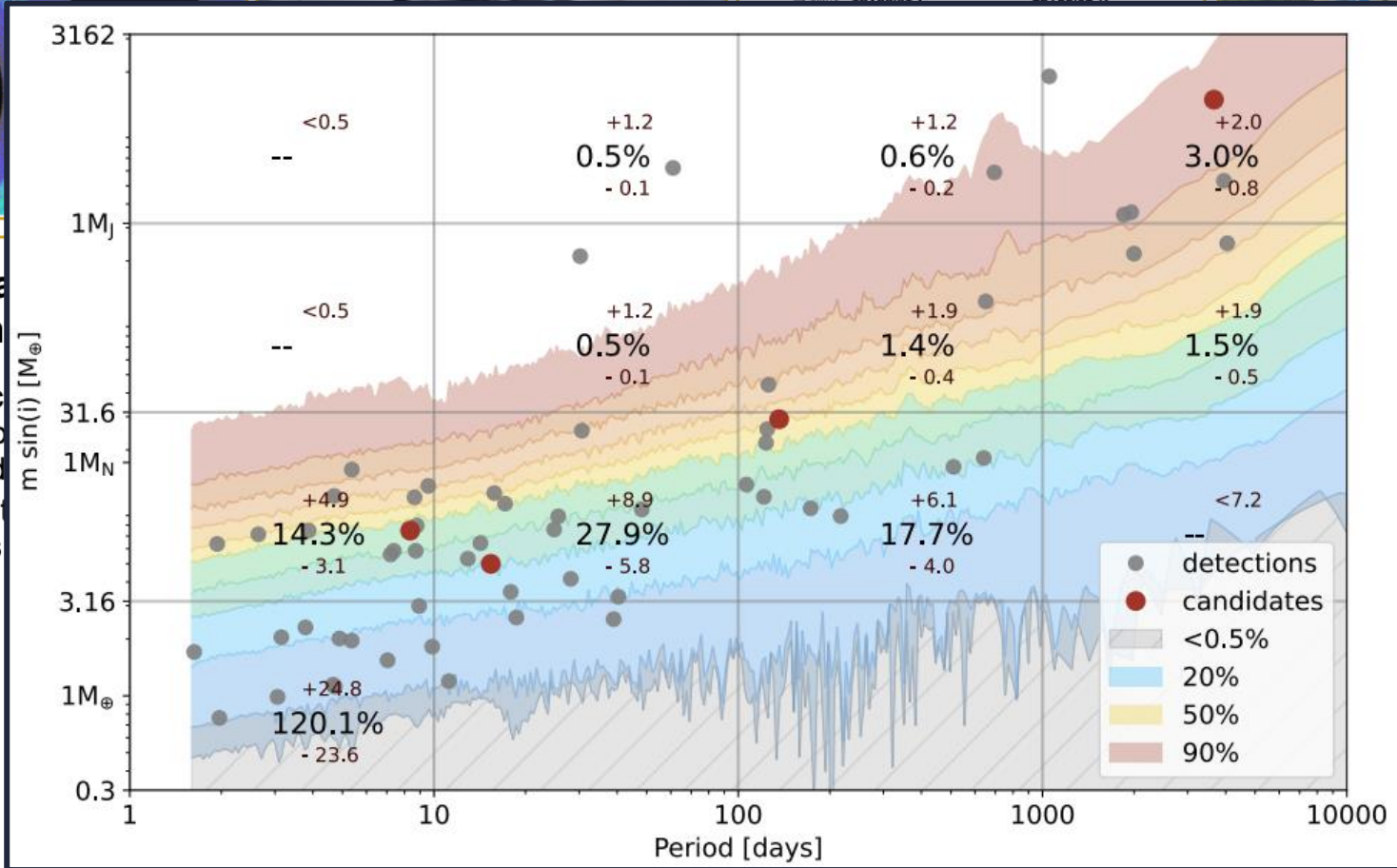
## Missions long terme, en cours de définition HWO, LIFE, Tianlin



Besoins long terme

### Prépa scientifique

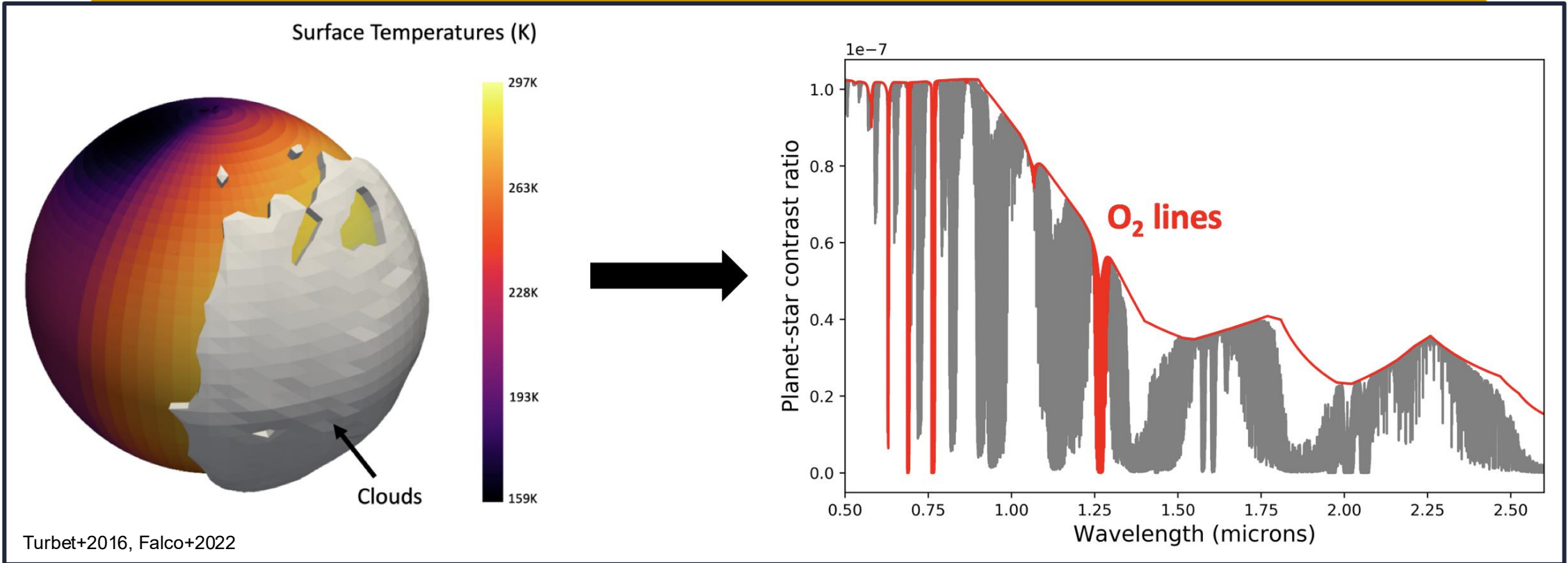
- Population c...
- Stratégie d'o...
- Traitement d...
- Modèles d'a...
- observables
- Polarimétrie réfléchie



### Actions concrètes institutionnelles

- (ESA, CNRS, etc.)
- Institutionnel (NSU)
- Agencements (CNES, « 2.0 », etc.)
- Power : FTE, SNO
- Priorités (WP)
- Actions (contacts avec IWO)
- Stratégie nationale
- Géopolitique

## Missions long terme, en cours de définition HWO, LIFE, Tianlin



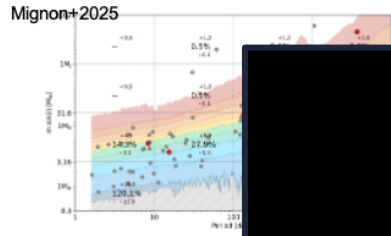
Bes

- suivi de tranges, technologies intégrées IR
- Réduction de données
- Régime bas flux
- Modèle instrumental/bruit

- oceans)
- lumière réfléchie
- combinaison haute/basse résolution

- Coordination nationale (LIFE)
- Stabilité géopolitique

## Missions en cours ou à court terme VLTi, VLT, ELT, JWST, Gaia, Roman, PLATO, Lazuli



Expertises actuelles,  
Retours d'expériences

### Population

- Démographie géantes en ZH (Survey microlensing Roman)
- Démographie Terres (PLATO)
- Identification d'HWO/LIFE par études statistiques (ESPRESSO, HARPS, NIRPS, CFHT, ESPADON, WISPR, Pic du Midi/SOPHIE)

### Instrumentation

- Microscopie (Roman, ELT)
- Front d'onde (Roman, ELT)
- Optique de précision (VLT/ITY)
- Optique (ELT)
- Optique haut contraste (Roman)
- Optique fibrée (VLT)
- Résolution (VIPA)
- Intégrée : (VLTi) & (SWIFT, Roman)

R&D amont

# Calendar – this year



# Working groups and opportunities for HWO

## Vetting working group:

- Current vetting for the Coronagraph Instrument of Roman partly done by the French community, we should build on this for HWO

## Photonics working group:

*E. Huby, G. Martin, J.-P. Berger, M. Lallement, F. Martinache, S. Lacour, M. Nowak*

- Photonics contribution to the JAXA NIR HCI instrument (contact: O. Guyon)
- Possible contribution: post-coronagraph photonic guide and spectroscopy in NIR:
  - planetary flux injection (multi-mode fiber of a photonic lantern?),
  - active Photonic Integrated Circuit (PIC) routing, redirecting all planetary photons onto a single output,
  - feeding a fiber-fed spectrograph.

## NIR HCI instrument working group:

*With the Action Spécifique Haute Résolution Angulaire + people from other European countries*

- First strategic meeting of 15 experts in Space-based HCI from the French Community,
- Then High-Contrast Imaging from Space in Europe workshop in Edinburgh, last week,
- Decision to build a European consortium around a NIR HCI instrumental concept.

