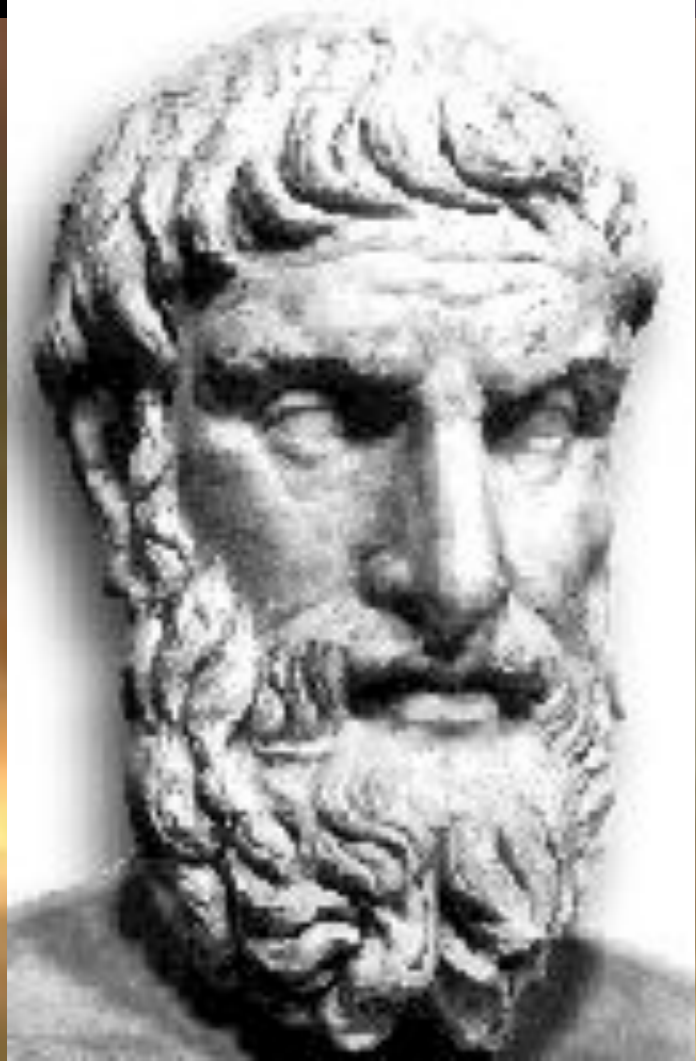


*D'autres Mondes dans le Cosmos ?  
La Recherche de Planètes semblables à  
notre Terre et ...peut-être abritant de la Vie !*

Michel Mayor  
Université de Genève



## Une question ancienne!

Epicurus 341 - 270 AC

Les Mondes sont en nombre infini, certains similaires au nôtre, d'autres étant différents...

..... des espèces vivantes , plantes ou toutes autres choses visibles pourraient exister dans certains Mondes et ne le pourraient pas dans d'autres.

Mais aussi : Leucippe -510 -420 ; Democrite -460 -350

Circa 1200-1280: Saint Albert le Grand:

« Existe-t-il plusieurs Mondes, ou n'y en existe-il qu'un ? C'est une des plus noble et exaltante question dans l'étude de la Nature. »

1277 : Etienne Tempier (Evêque of Paris, avec l'accord du Pape Jean XX1) demande que la question de la pluralité des Mondes soit enseignée à la Sorbonne.

1600+ Giordano Bruno: « De l'infinito , universo e Mundi »

1755 Emmanuel Kant: « Universal Natural History and Theory of Heaven »

1756 Pierre-Simon Laplace : « Exposé du système du monde »

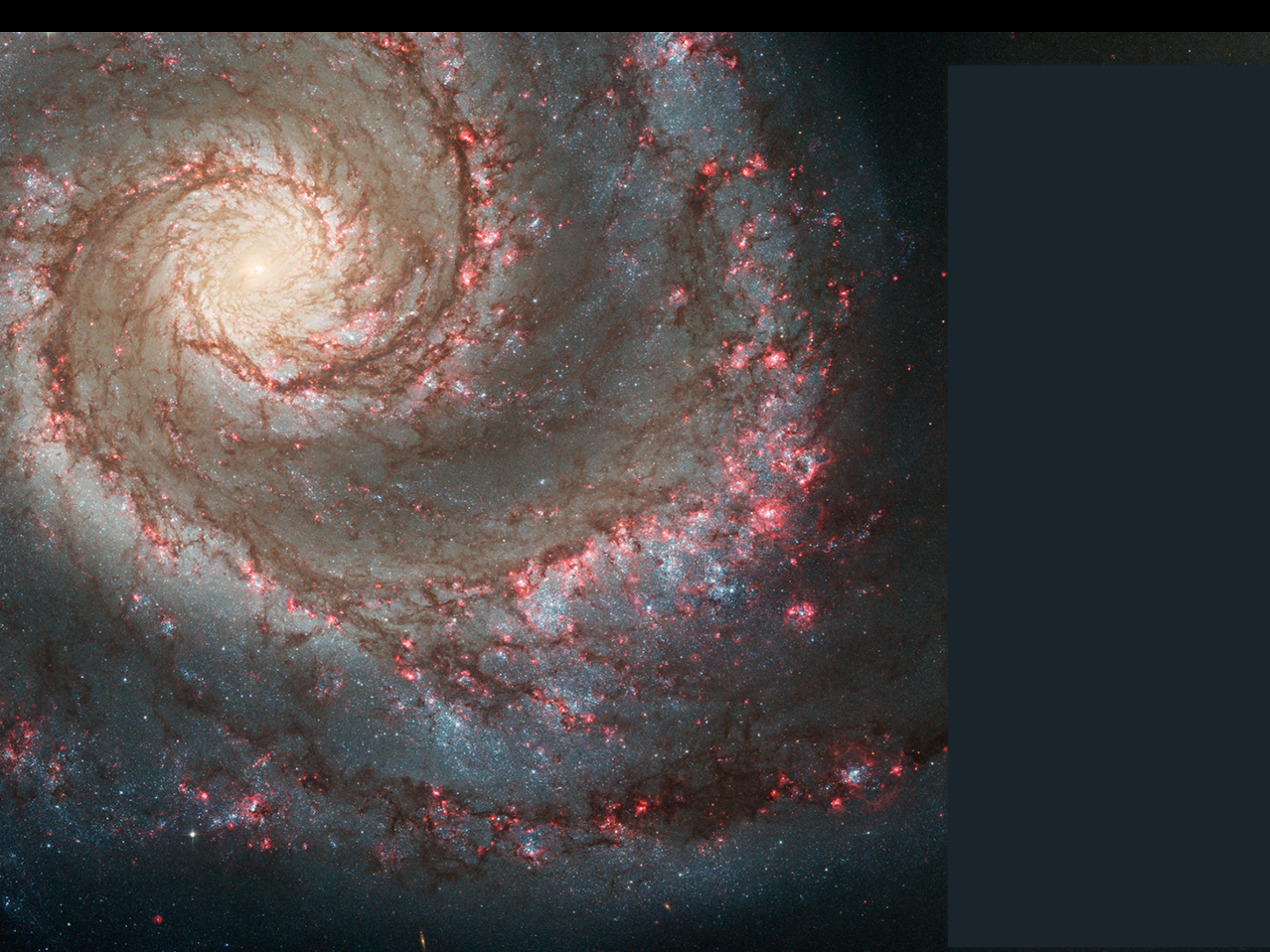


Atlas Doppelmayr 1742



- LA Voie Lactée (notre Galaxie) .
- 200 milliards d'étoiles . Combien de planètes analogues à notre Terre ?
- La lumière met 100'000 ans pour la traverser.





Combien des  
systèmes  
planétaires dans  
la Voie Lactée ?





Les nuages moléculaires géants:

Sites pour la formation des étoiles et des  
systèmes planétaires



# *Disques protoplanétaires observés avec le HST*

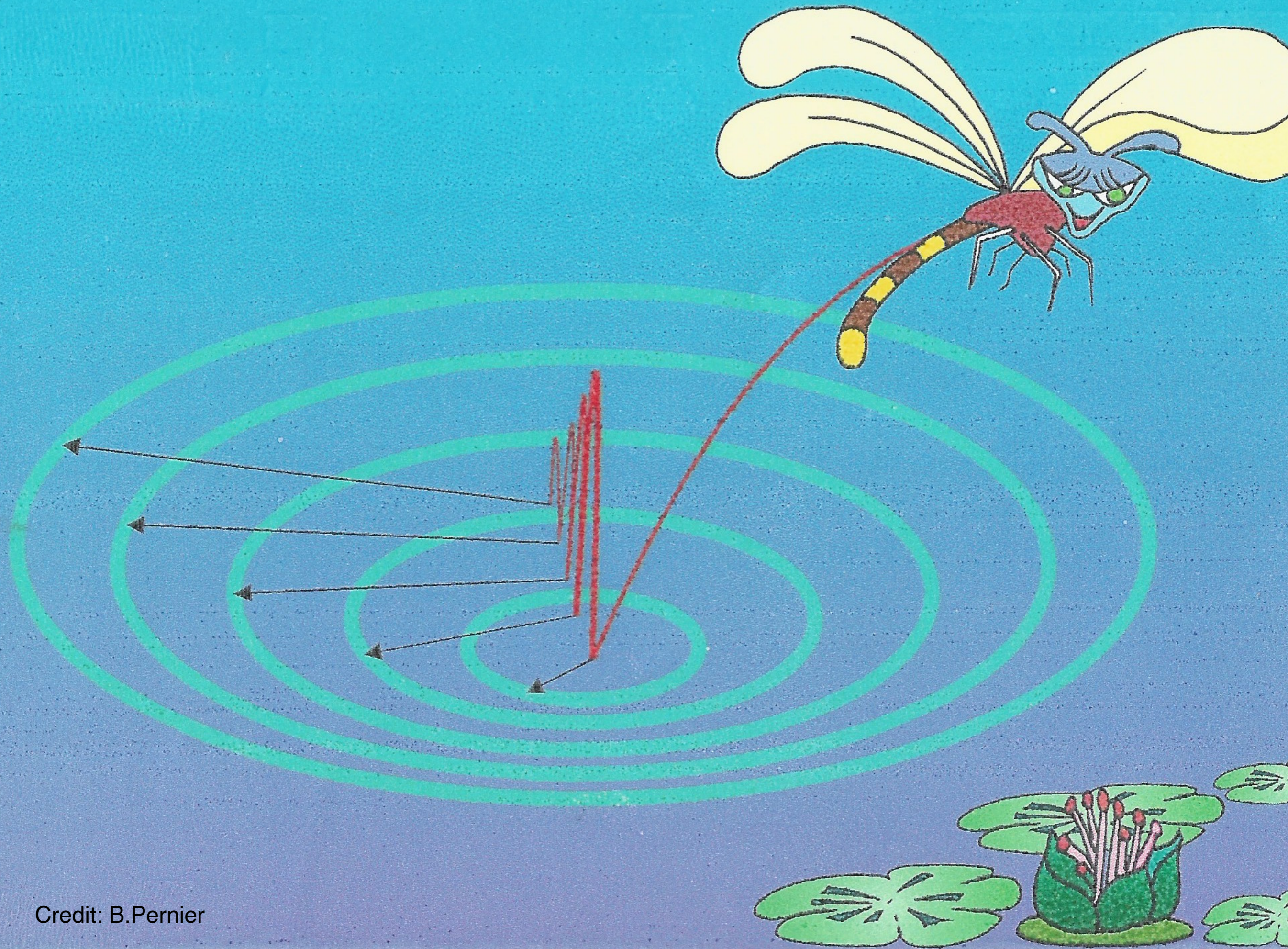


**Protoplanetary Disks  
Orion Nebula**

HST · WFPC2

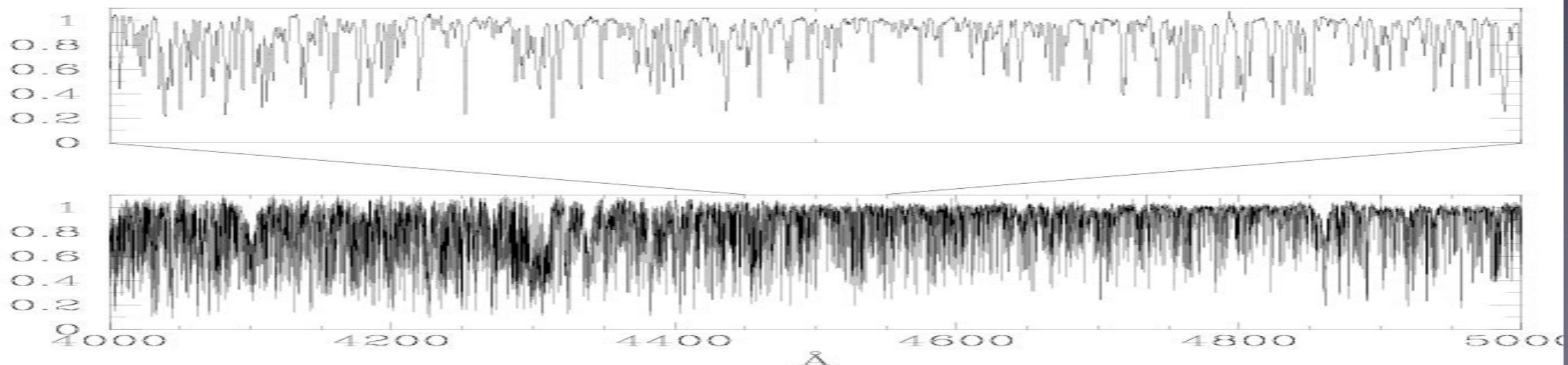
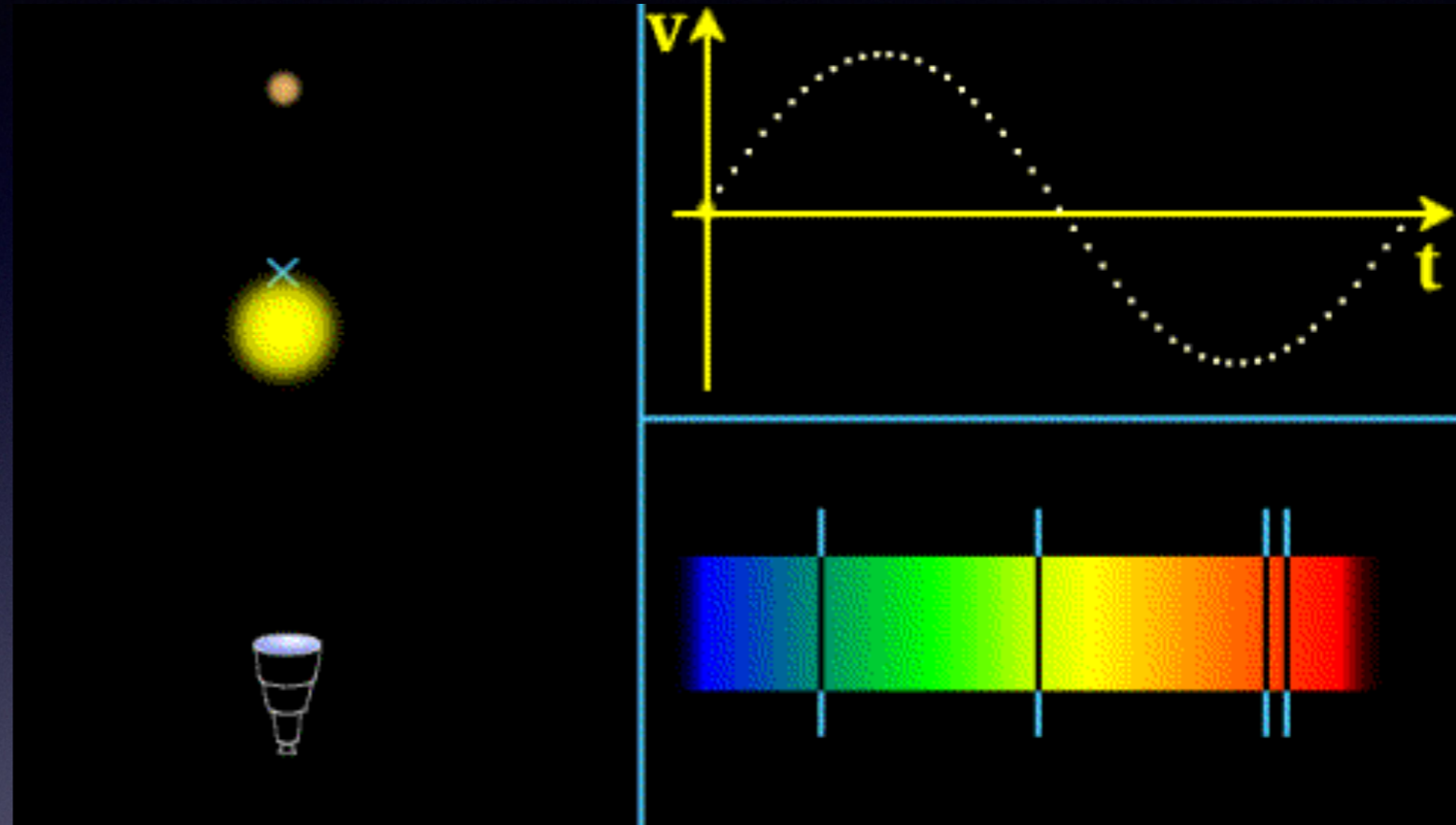
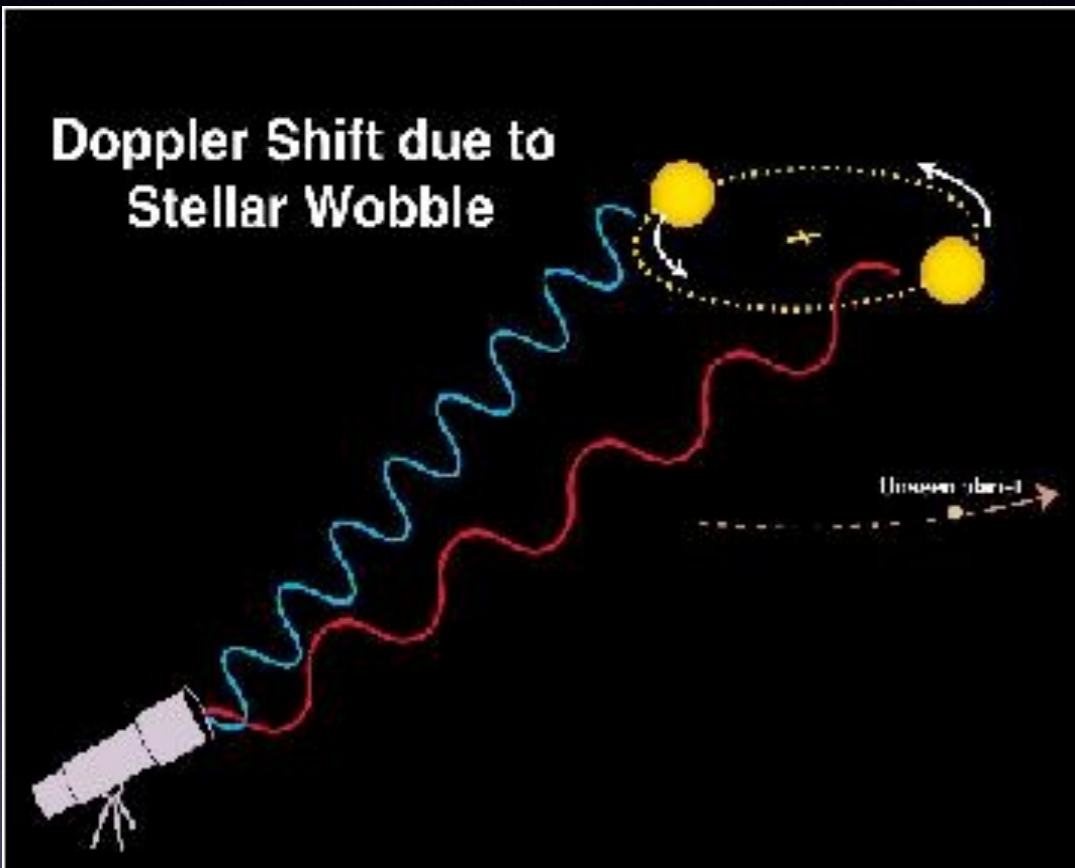
PRC95-45b · ST ScI OPO · November 20, 1995

M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA



# Effet Doppler

Doppler Shift due to Stellar Wobble



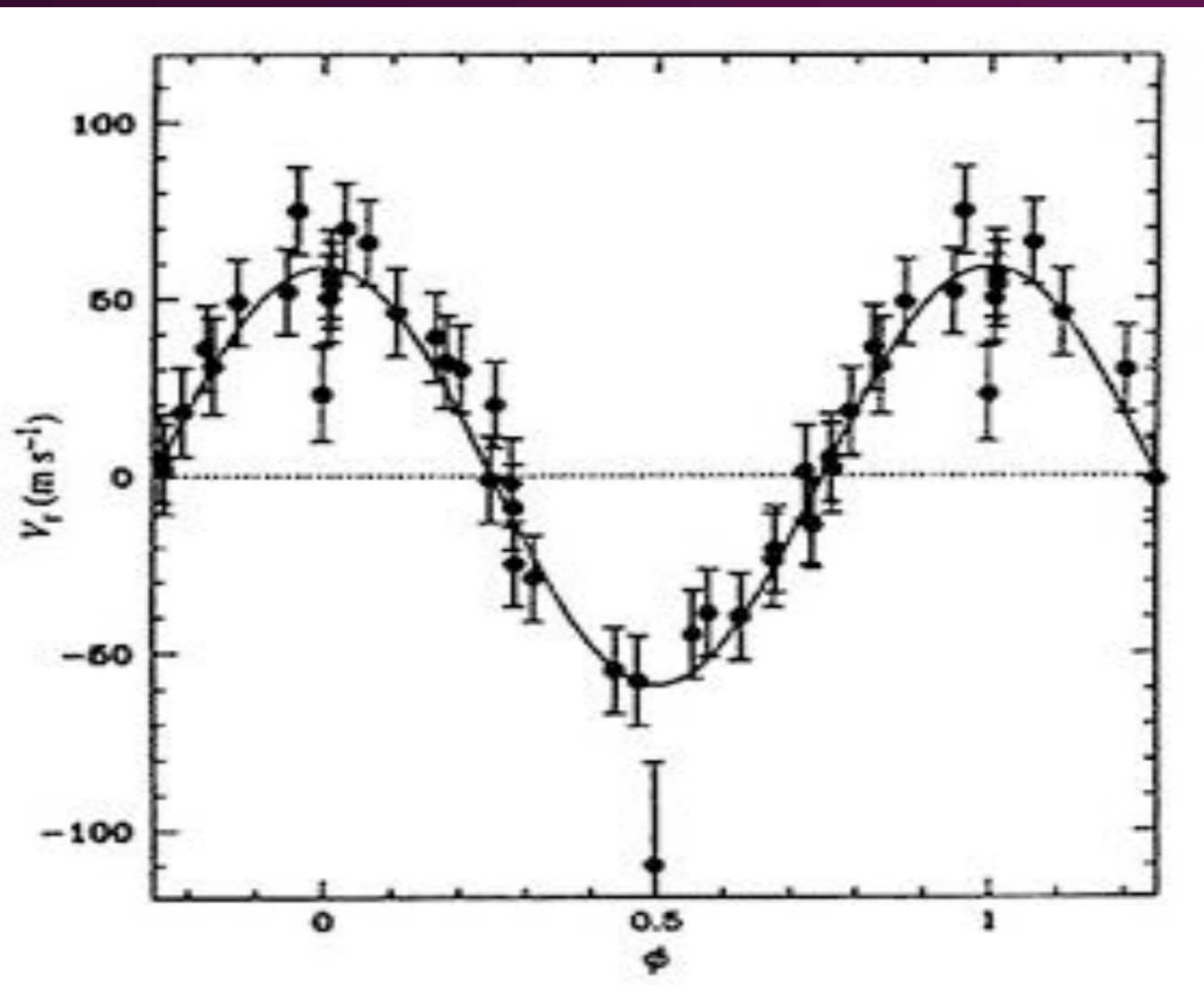
# Découverte d'une planète (51 Pegasi b) en orbite autour d'une étoile similaire à notre soleil .

(Mayor & Queloz , Nature 1995)

$$M_{pl} = 0.5 M_{Jup}$$

$P = 4.2 \text{ days}$  .... 1/1000 des prédictions théoriques !!!!!

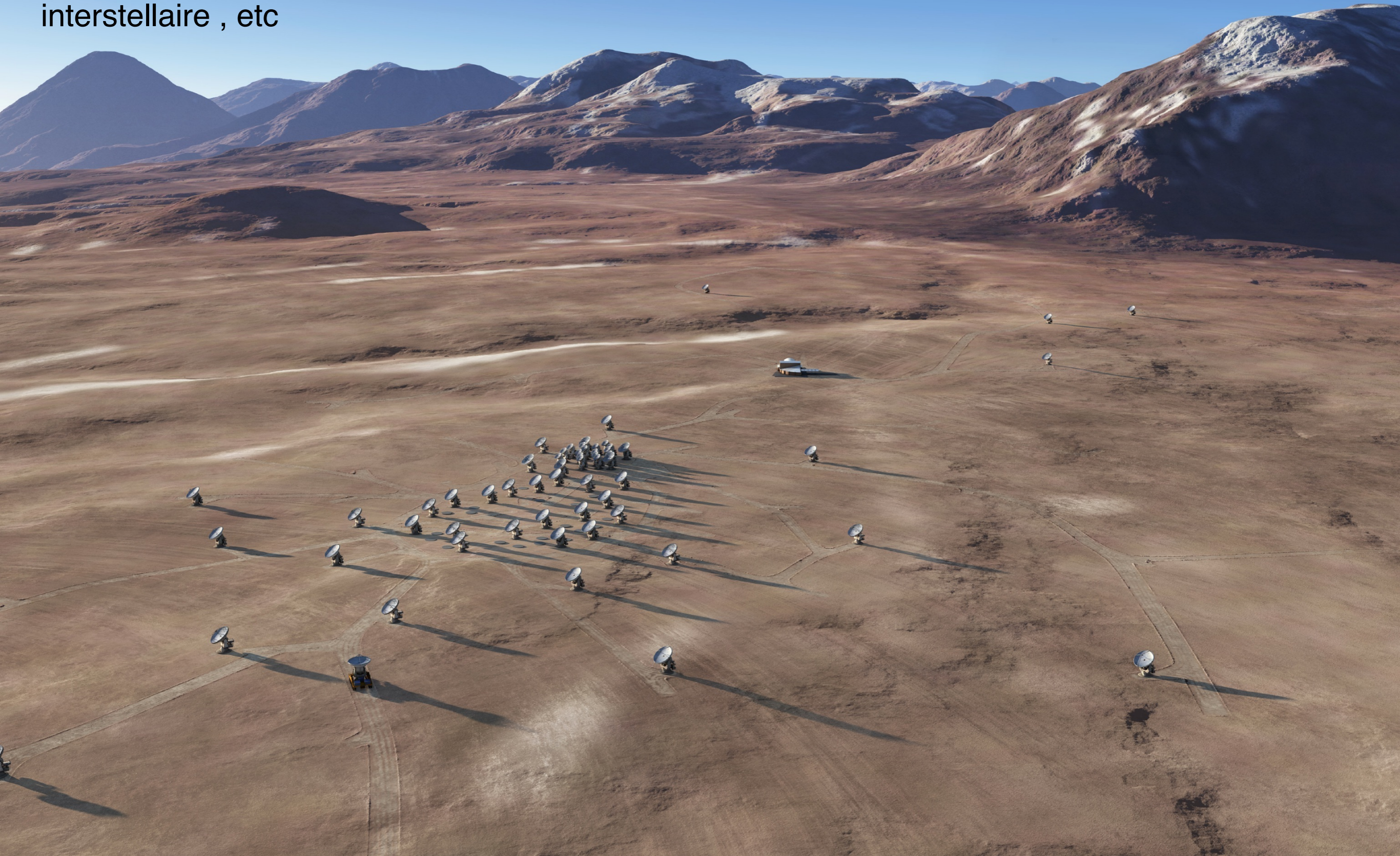
$$a = 0.04 \text{ UA}$$



Aujourd'hui : plus de 5000 exoplanètes ont été découvertes et caractérisées.

ALMA: Un interféromètre submillimétrique à une altitude de 5000 mètres dans les Andes chiliennes pour étudier le gaz froid dans l'Univers (ESO,US,Japan)

Formation des galaxies, étoiles, planètes, la matière interstellaire, etc



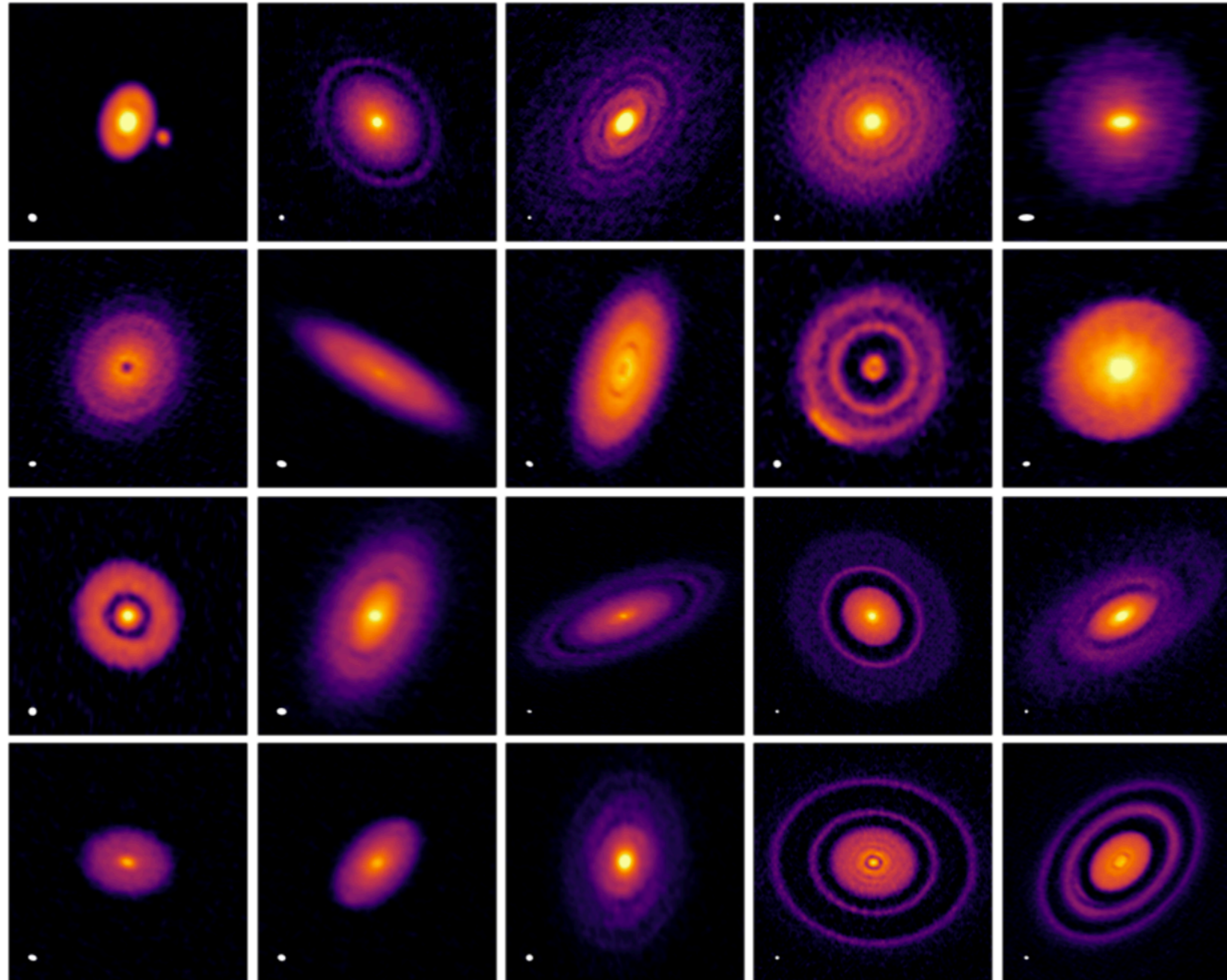






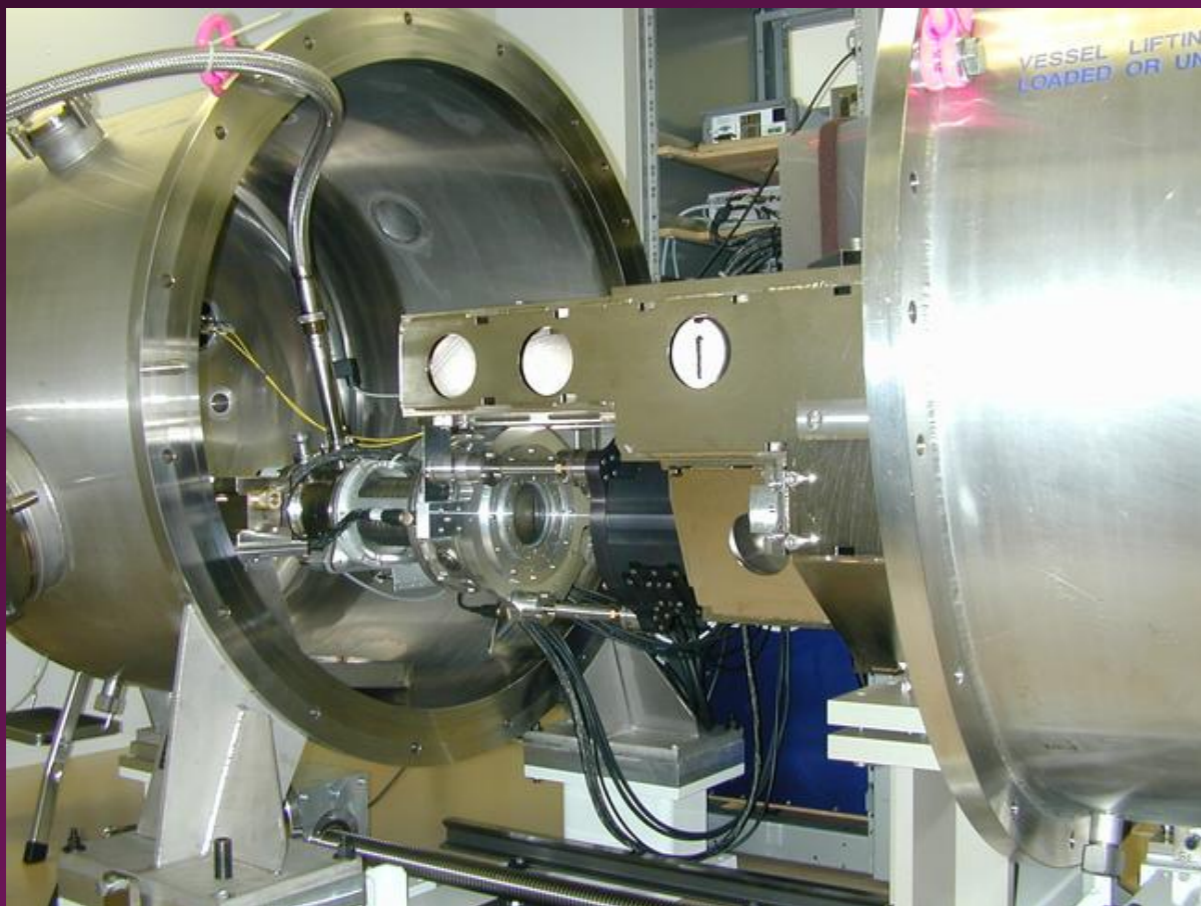


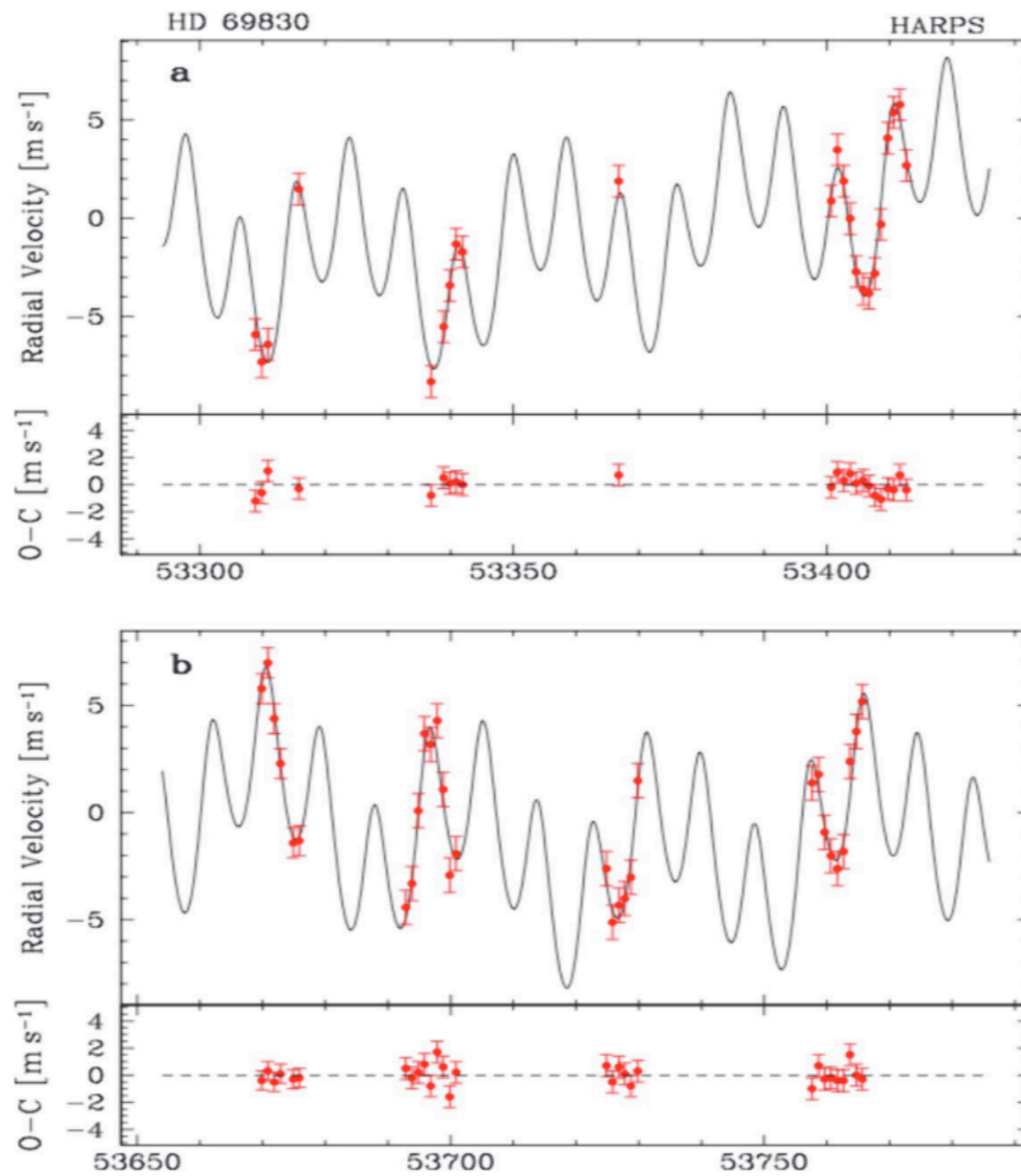
## Disk Substructures at High Angular Resolution Project (DSHARP)



This is the official Data Release webpage for the ALMA Cycle 4 Large Program *Disk Substructures at High Angular Resolution Project (DSHARP)*. DSHARP is a deep, high resolution (35 mas, or 5 au) survey of the 240 GHz (1.25 mm) continuum and  $^{12}\text{CO } J=2-1$  line emission from 20 nearby, bright, and large protoplanetary disks, designed to assess the prevalence, forms, locations, sizes, and amplitudes of small-scale substructures in the distributions of the disk material and how they might be related to the planet formation process.

# HARPS (Observatoire de La Silla, ESO) 2003





**Fig. 4.** A limited range of the velocity variation of HD 69830 giving an example of the complex curve resulting from the stellar reflex motion due to three planets (Lovis *et al.* 2006, *Nature* 441, 305).

# Diversité observée des systèmes exoplanétaires

Périodes allant de quelques heures à plusieurs dizaines d'années

Masses allant d'une fraction de la masse terrestre à plus de 10 fois la masse de Jupiter.

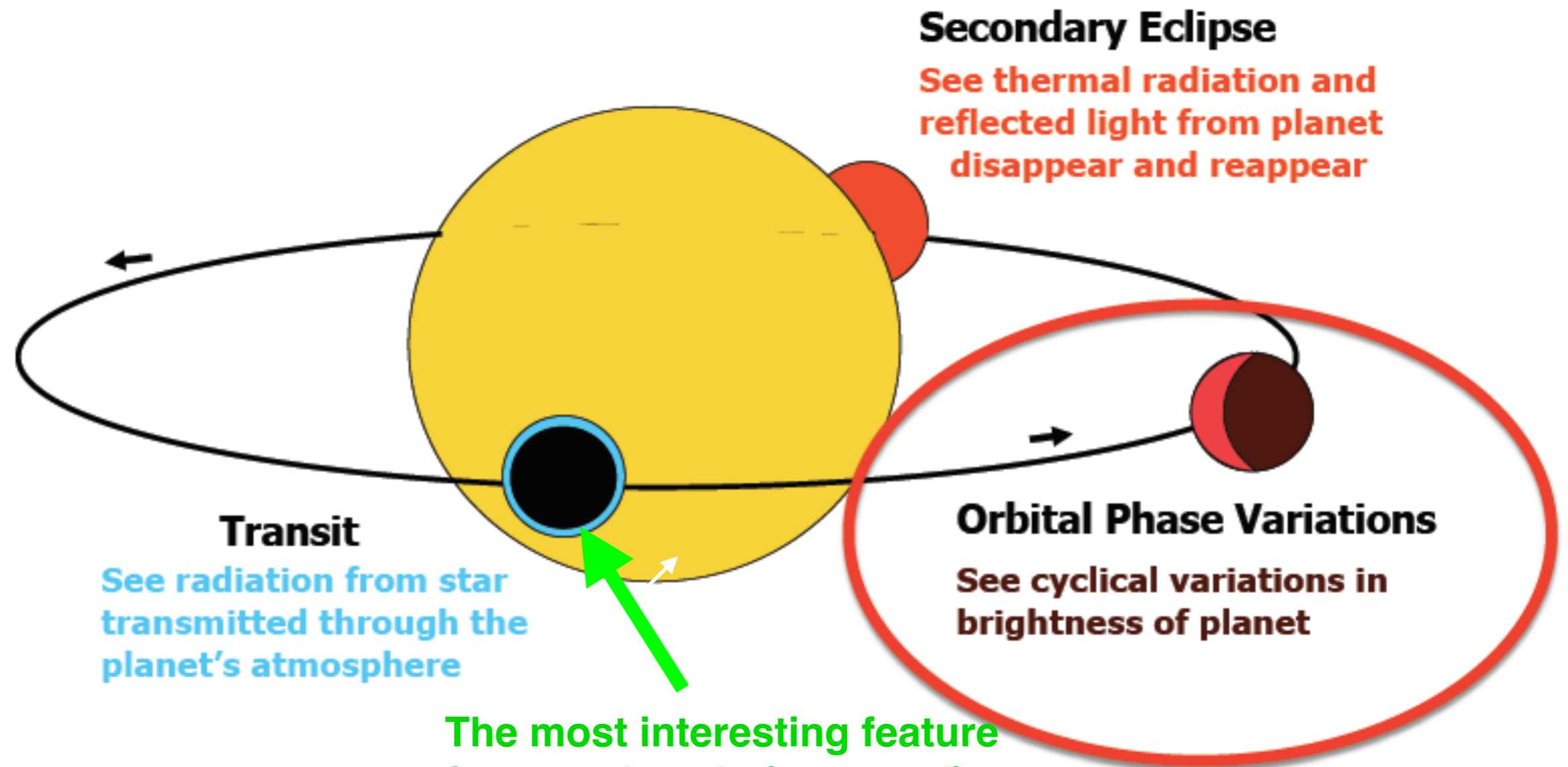
Excentricité orbitale jusqu'à 0.93

Multiplicité extrêmement fréquente, jusqu'à 8 planètes.

Diversité de la structure interne des planètes

>>>> Complexité des mécanismes de la formation planétaire  
accrétion, migration orbitale, interactions, effet Kozai....

# Transiting Planets as a Tool for Studying Exoplanetary Atmospheres



## Transit

See radiation from star transmitted through the planet's atmosphere

## Secondary Eclipse

See thermal radiation and reflected light from planet disappear and reappear

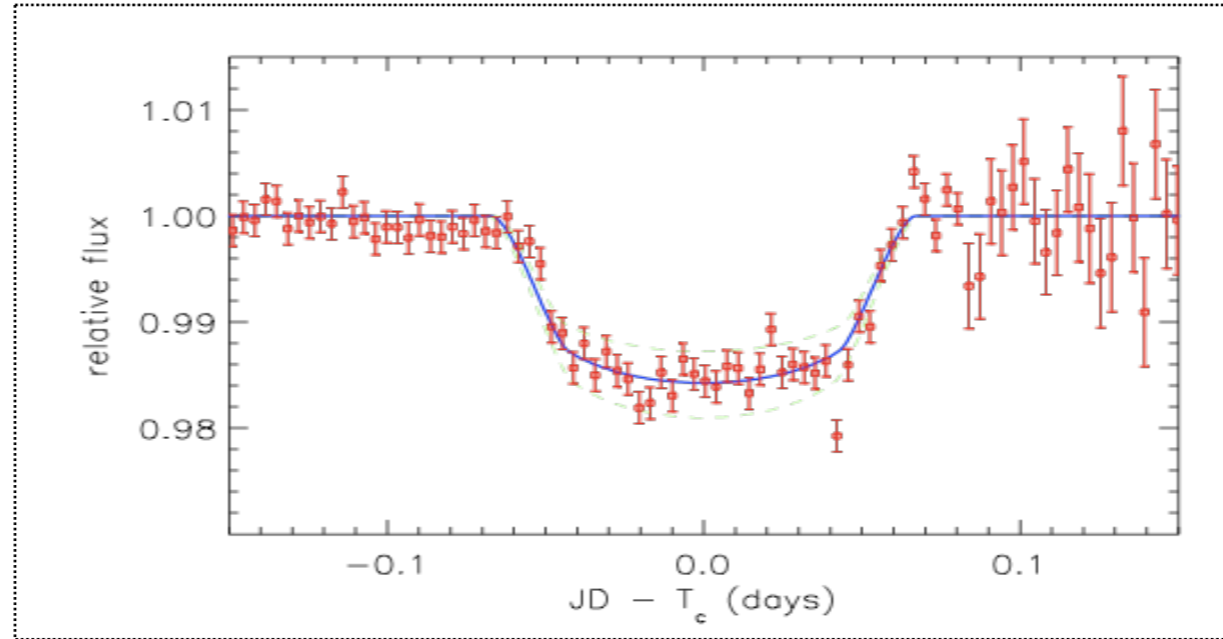
## Orbital Phase Variations

See cyclical variations in brightness of planet

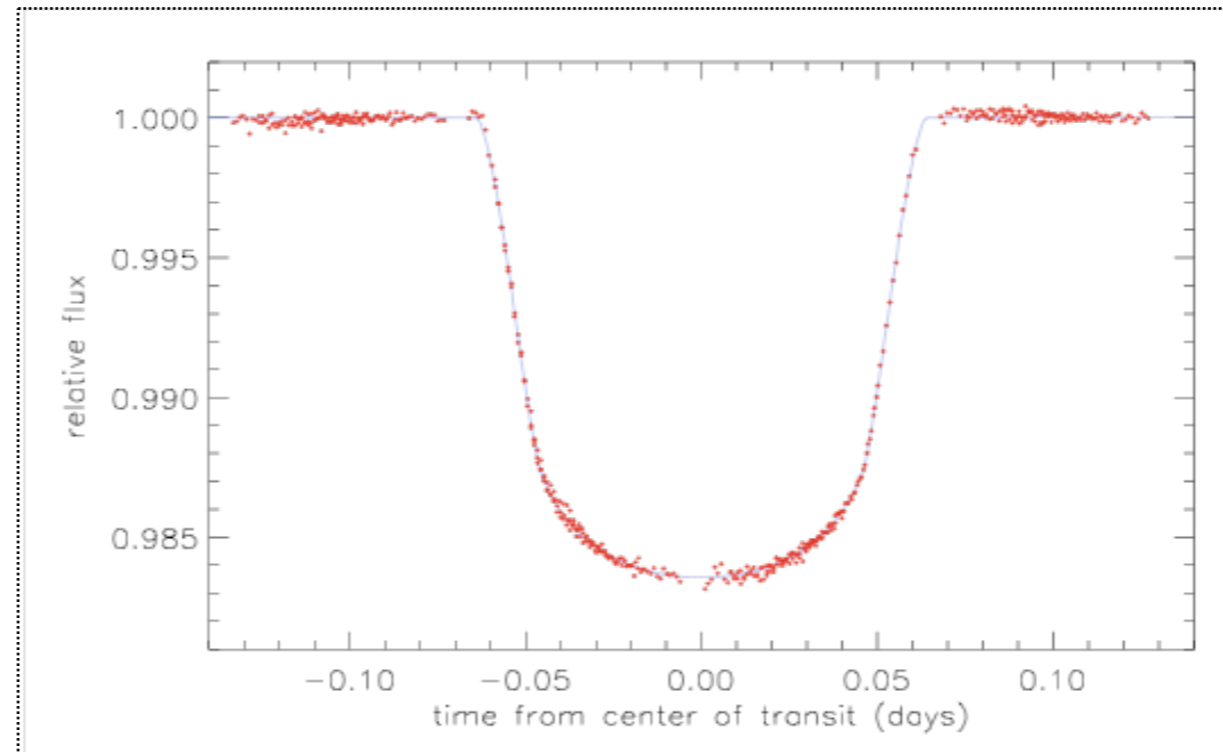
The most interesting feature for next decade (or more !)  
>>>> chemical composition of planetary atmospheres  
>>>> biomarkers

# 9 et 16 Sept 1999: un premier transit planétaire.

(P= 3.5 days)



Charbonneau,  
Brown,Latham,  
Mayor 2000, ApJ,529



Brown, Charbonneau,  
Gilliland, Noyes,  
Burrows  
2001,ApJ,552,699

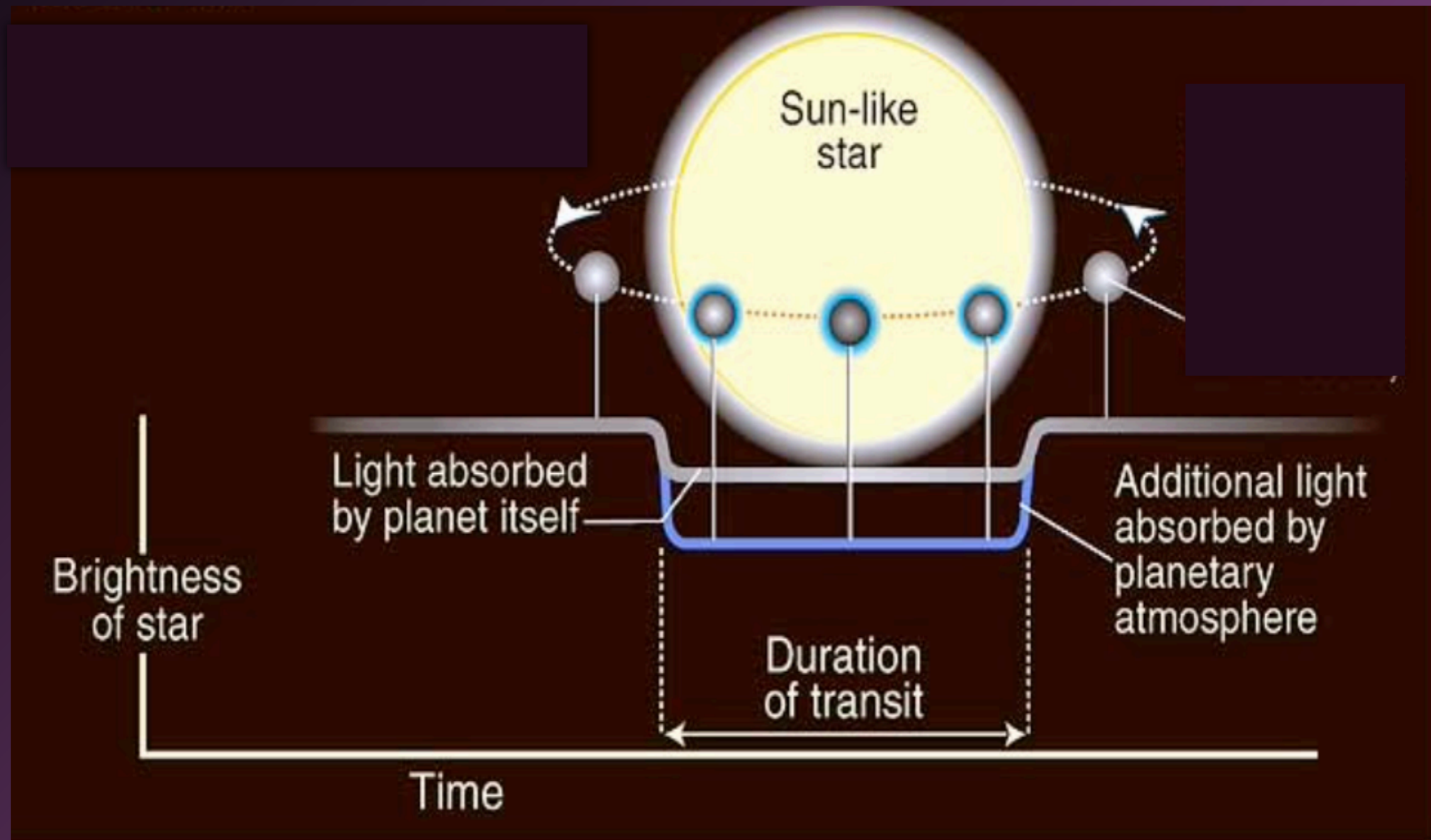
HOT JUPITERS are gaseous giant planets : density =  $0.3 \text{ g/ cm}^3$

La taille apparente d'une planète dépend de l'opacité de son atmosphère >>>>>

Le contraste du transit dépend de la longueur d'onde .

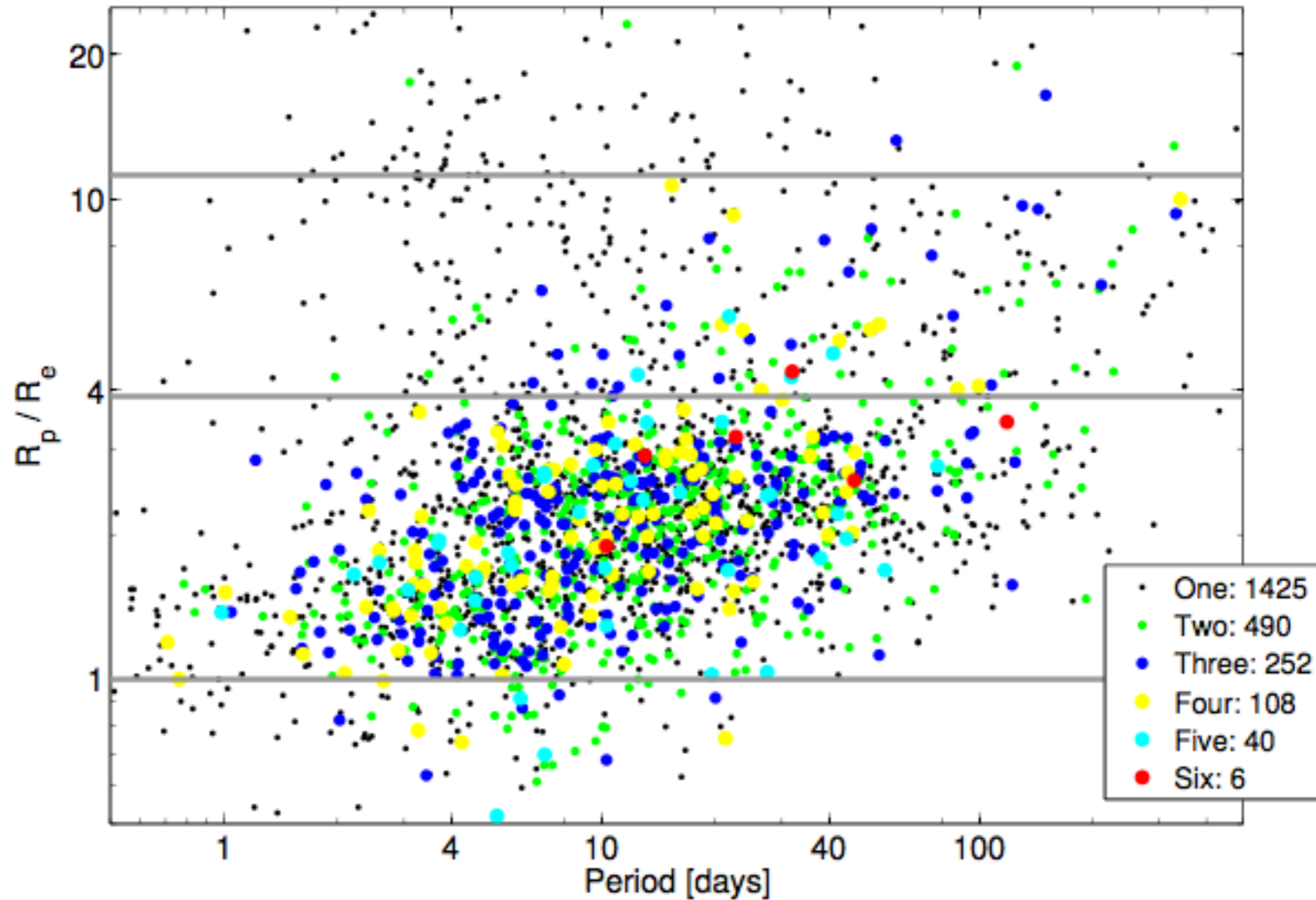
>>> accès au spectre de l'atmosphère planétaire.

>>> composition chimique de l'atmosphère.....

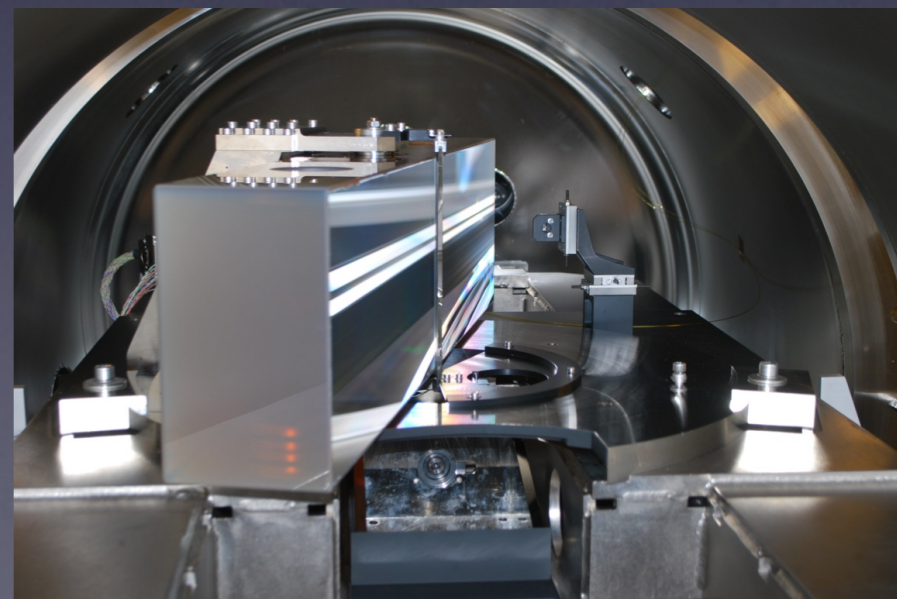
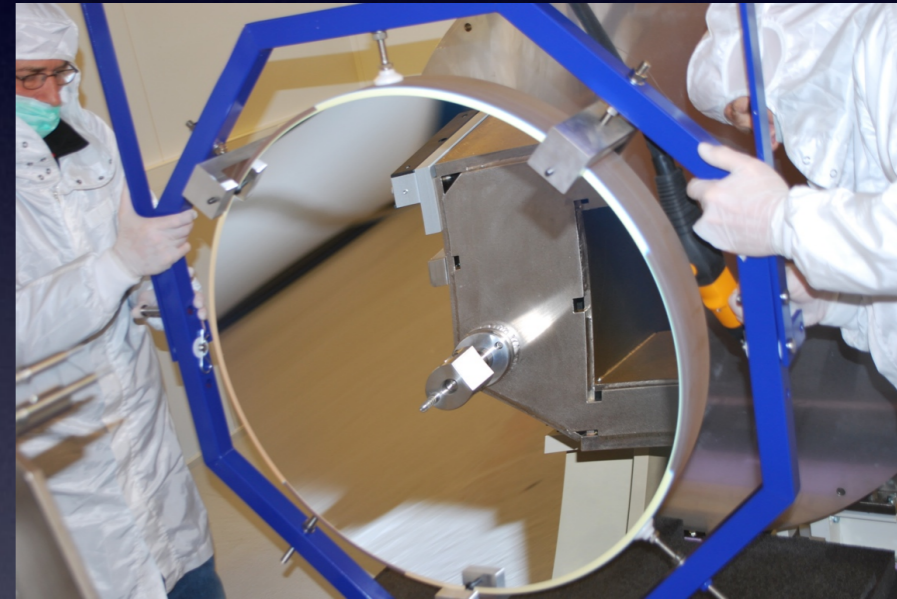
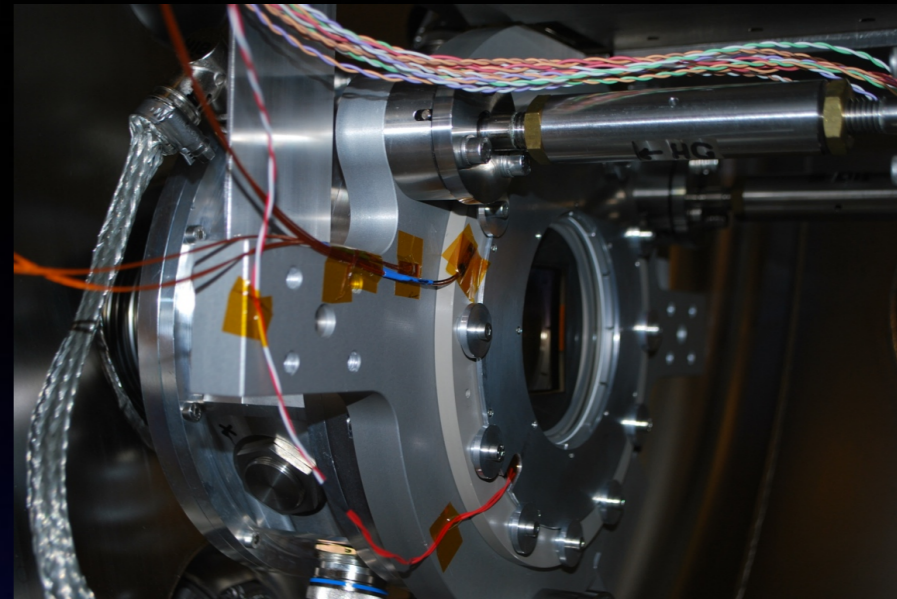
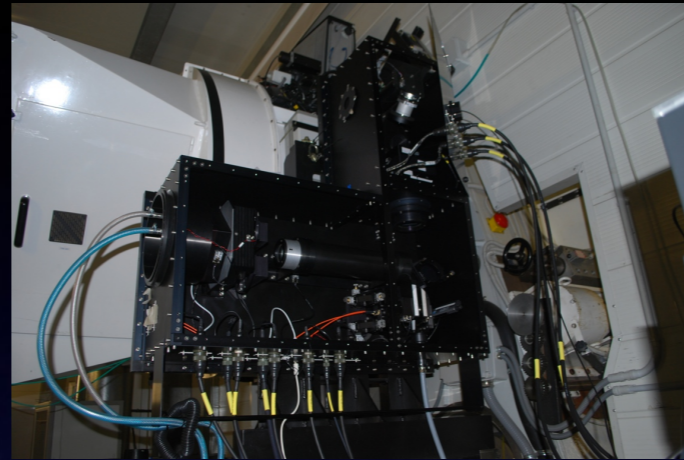
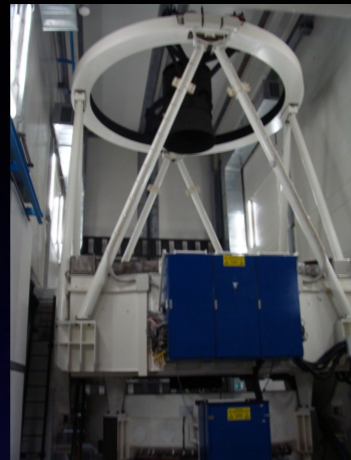




# La richesse des détections de la mission spatiale KEPLER (NASA)



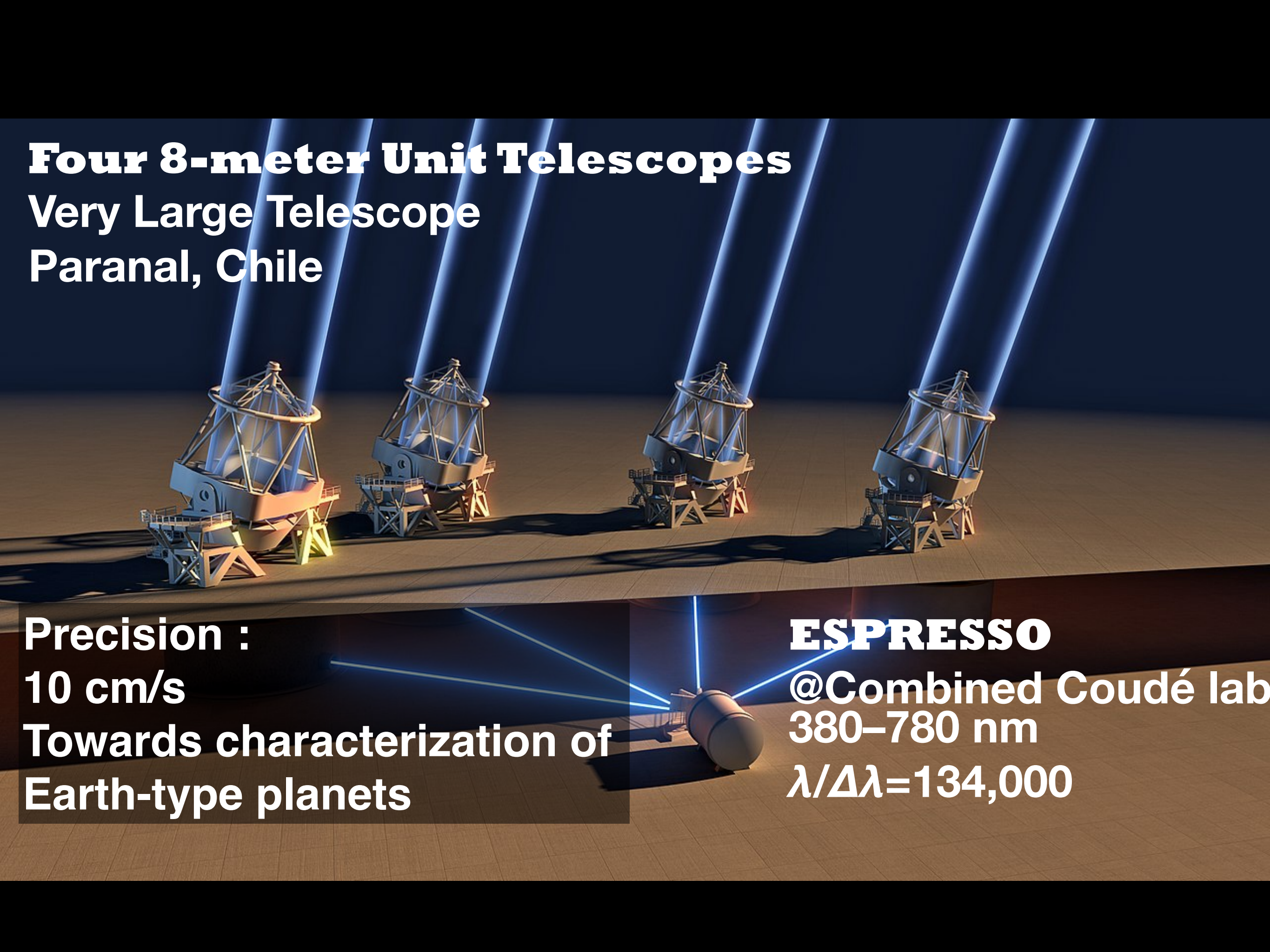
# HARPS-N @ Galileo telescope at La Palma Observatory





ESPRESSO : Un spectrographe pour chercher des analogues de notre terre ... sur un télescope de 16 m. (Mont Paranal ESO)





**Four 8-meter Unit Telescopes**  
Very Large Telescope  
Paranal, Chile

**Precision :**  
**10 cm/s**  
**Towards characterization of**  
**Earth-type planets**

**ESPRESSO**

**@Combined Coudé lab**

**380–780 nm**

**$\lambda/\Delta\lambda=134,000$**

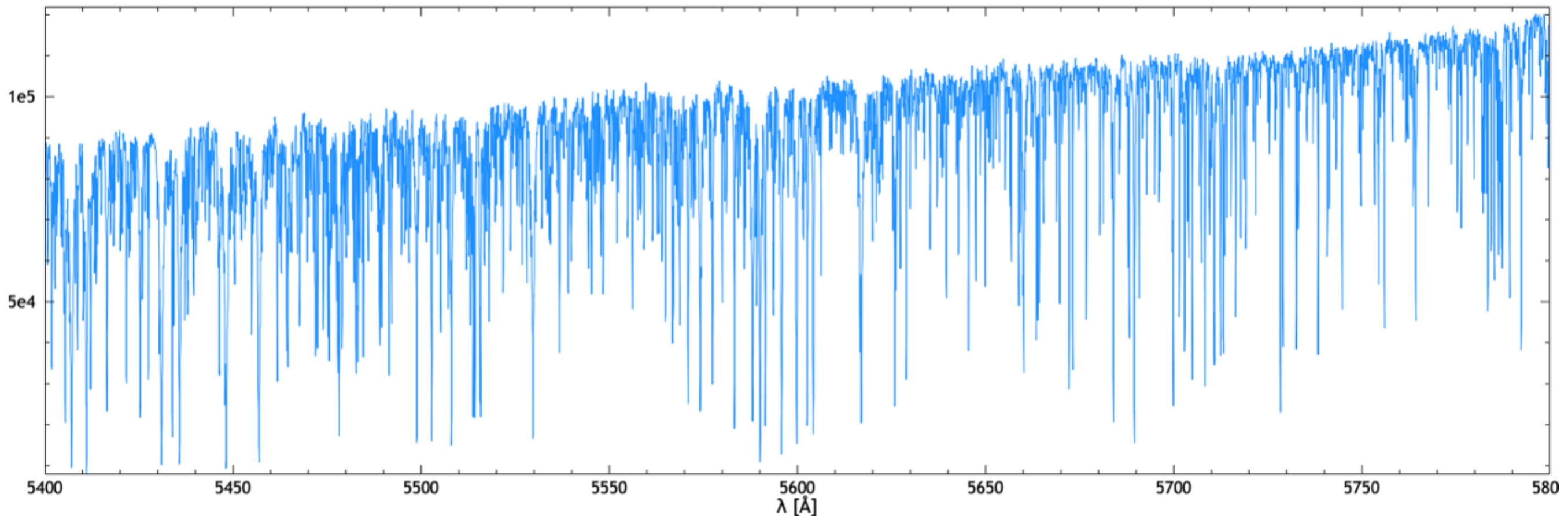
# Variation de la vitesse de l'étoile induite par l'influence d'une planète comparable à notre Terre.

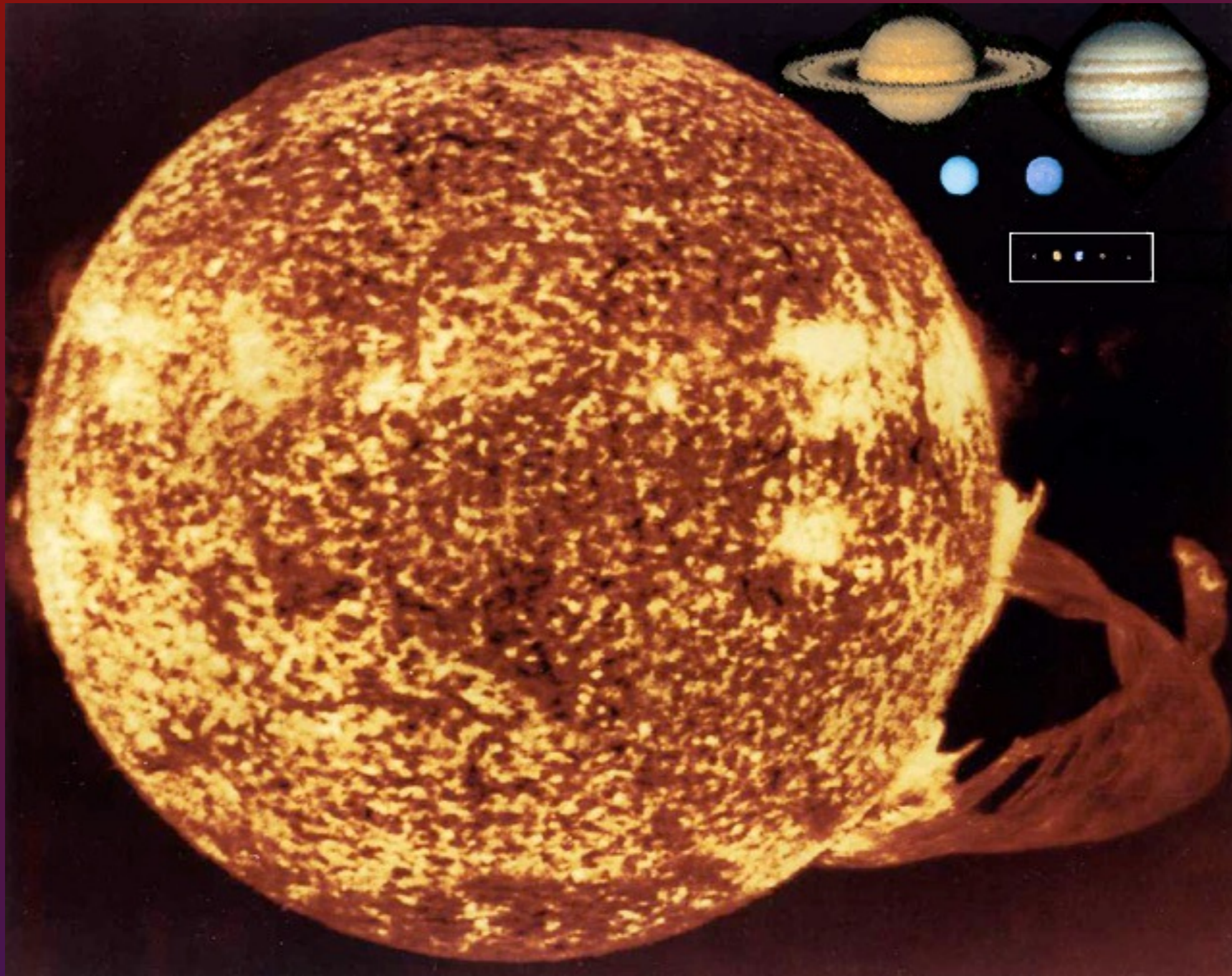
Ci-dessous : 1/10 du domaine spectral utilisé par le spectrographe ESPRESSO.

La terre induit une variation de 8 cm/s de la vitesse du soleil.

>>> une variation Doppler de moins du millième de la largeur d'une raie spectrale .

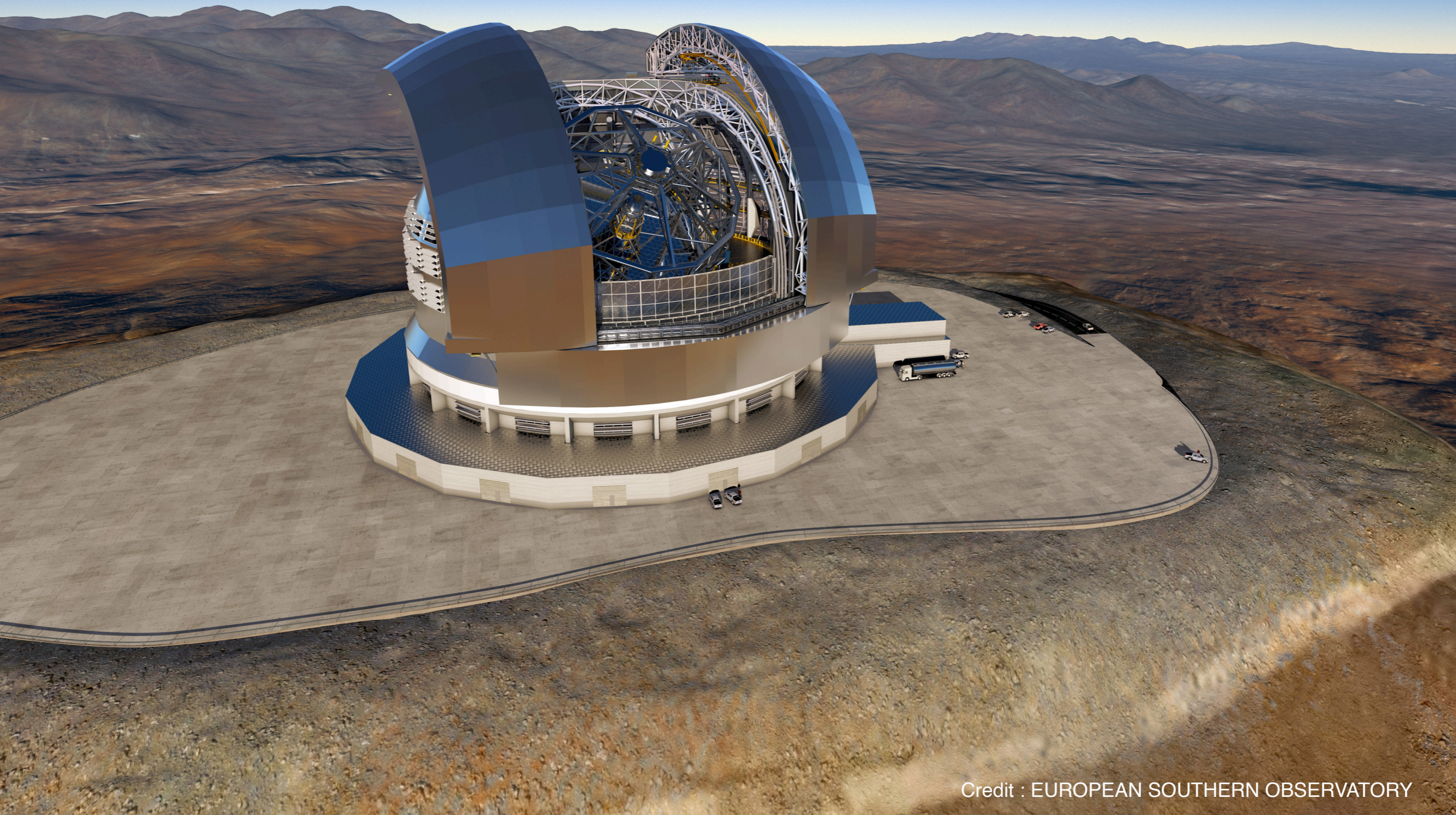
>>>>> Seule la technique utilisée qui concentre l'information de milliers de transitions atomiques permet d'atteindre cette précision, mais .....

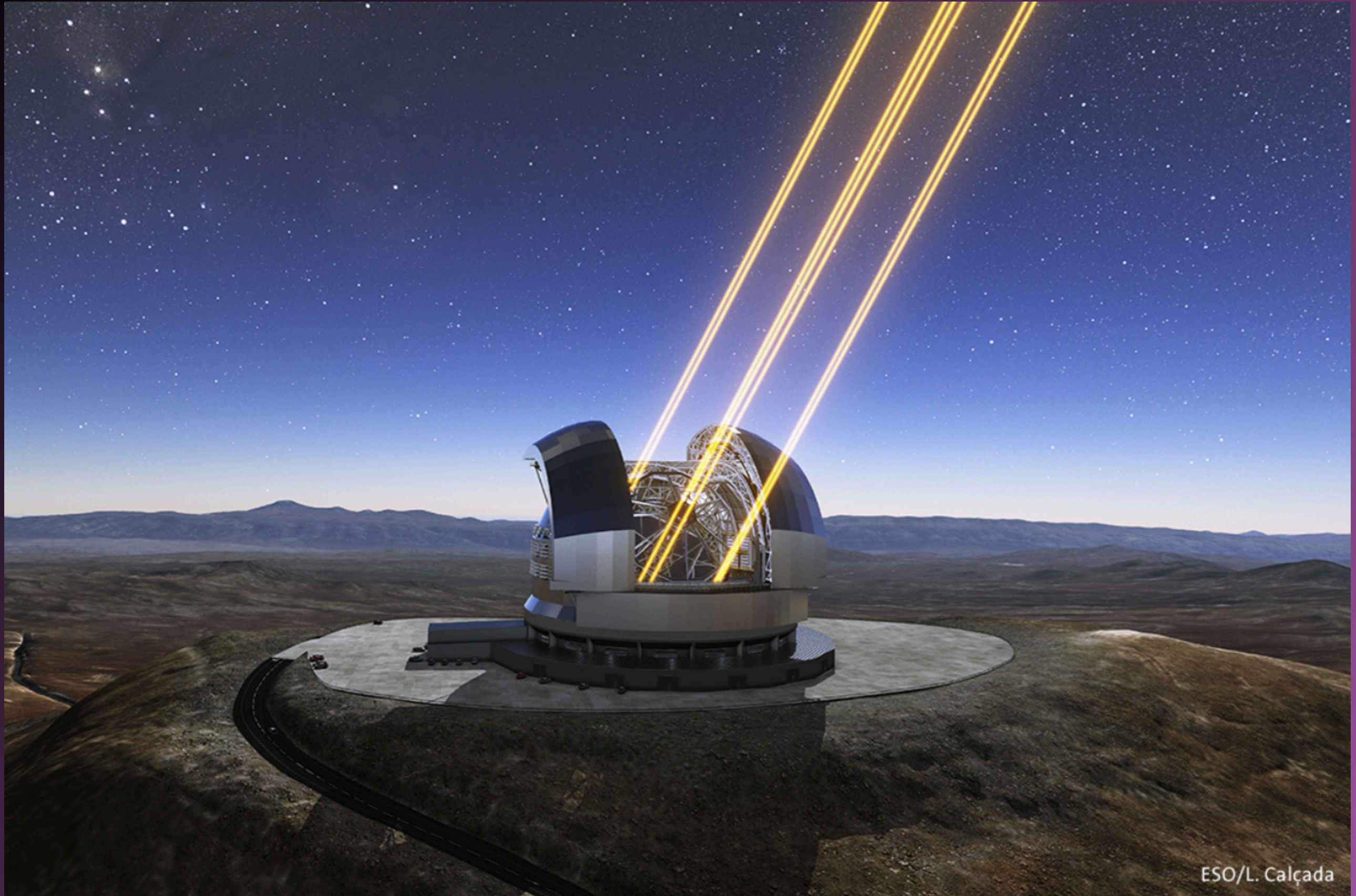




# E-ELT un telescope ESO , diamètre 39 m

Cerro Armazones, Chile, 2028









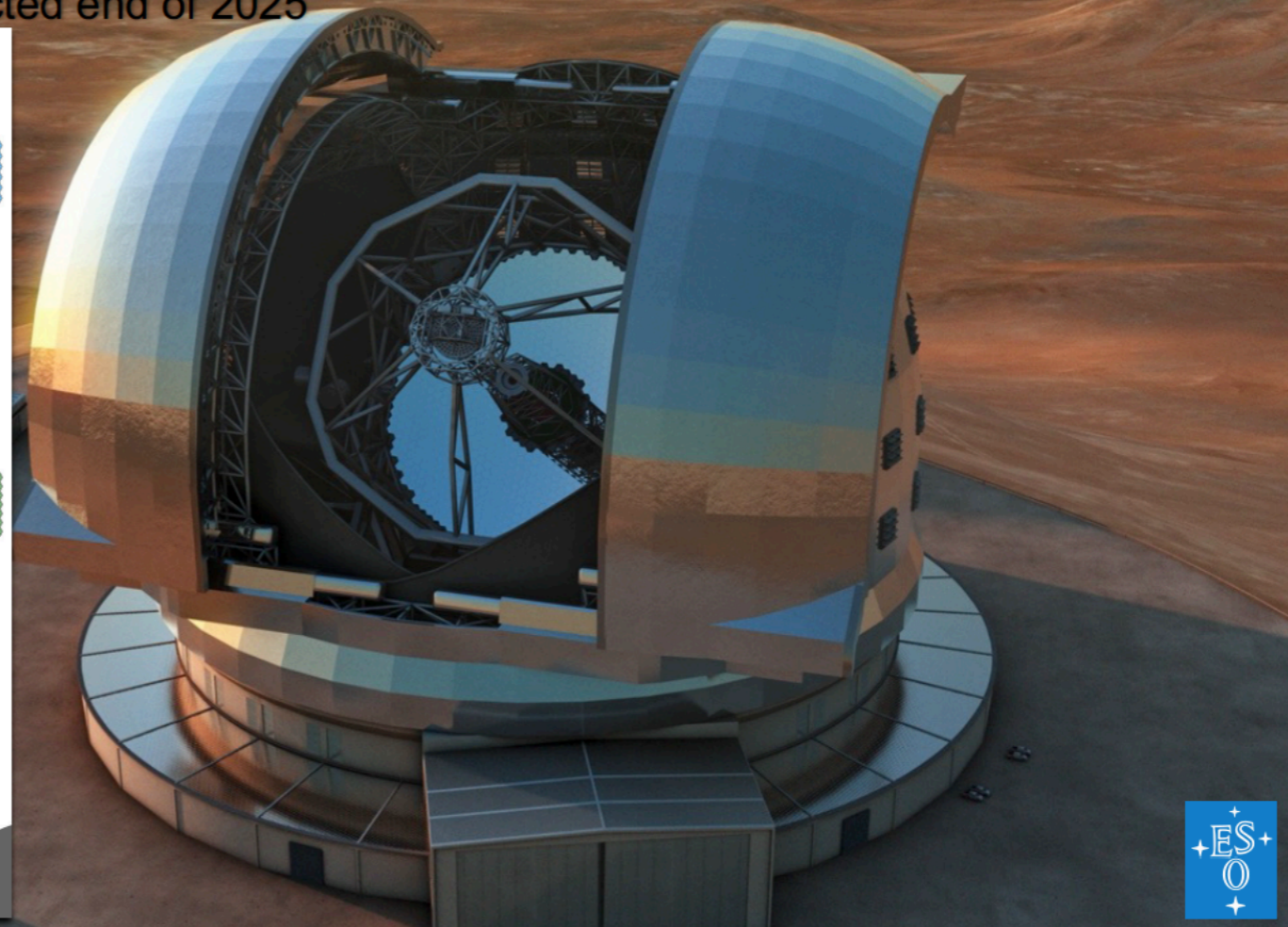
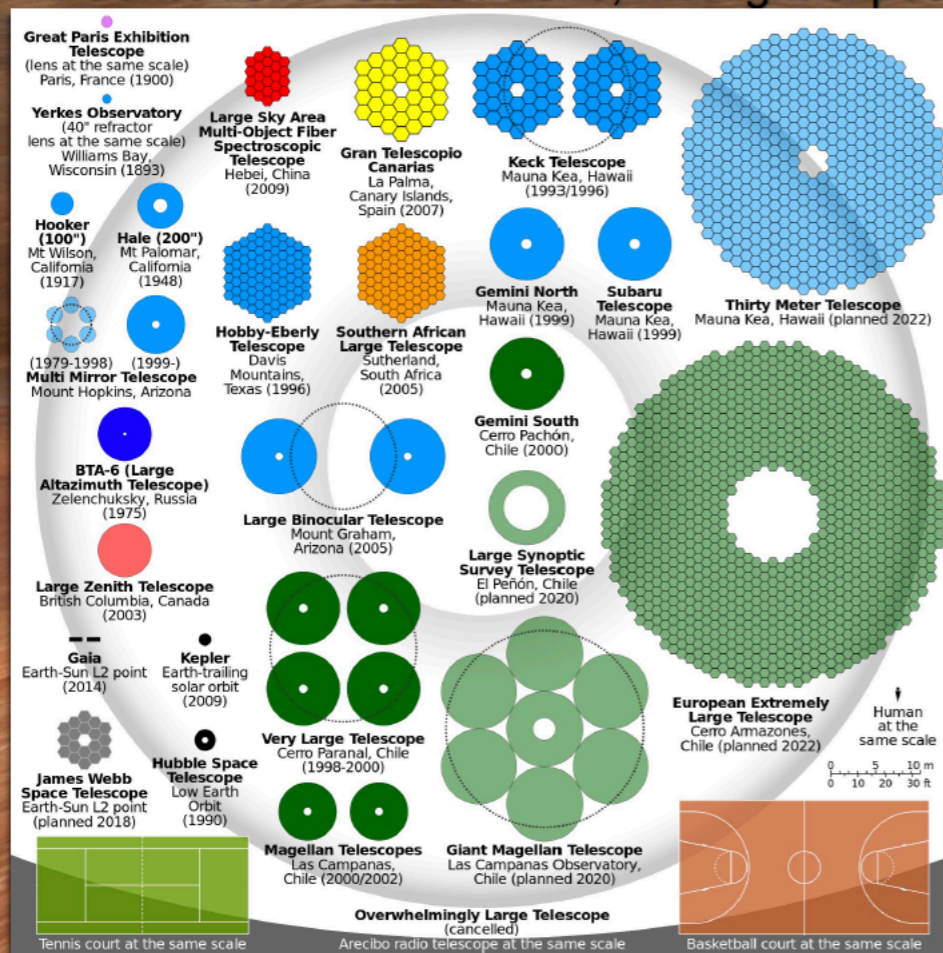
E-ELT , Janvier 2022



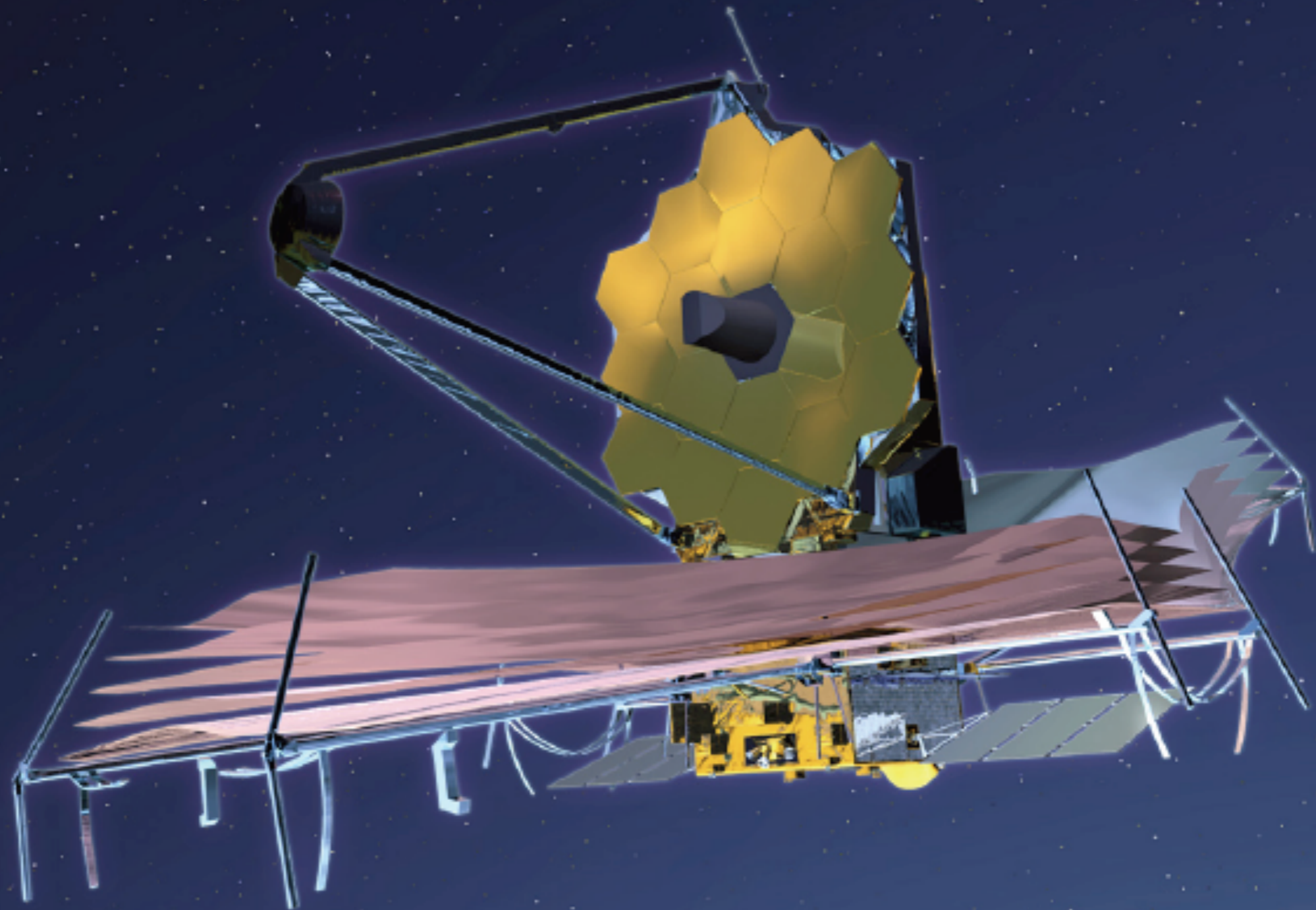
## Largest optical/infrared telescope in the world

- 39-m segmented primary mirror
- fully AO assisted telescope
- On Cerro Armazones, integral part of the Paranal system
- Construction started 2015, first light expected end of 2025

# The European ELT



JWST



A composite image of a star, a planet, and Earth in space. The star is a bright, orange-red sphere in the upper left. The planet is a smaller, brownish-orange sphere in the upper center. The Earth is a large, detailed globe in the lower right, showing green continents and blue oceans. The background is a dark, starry space.

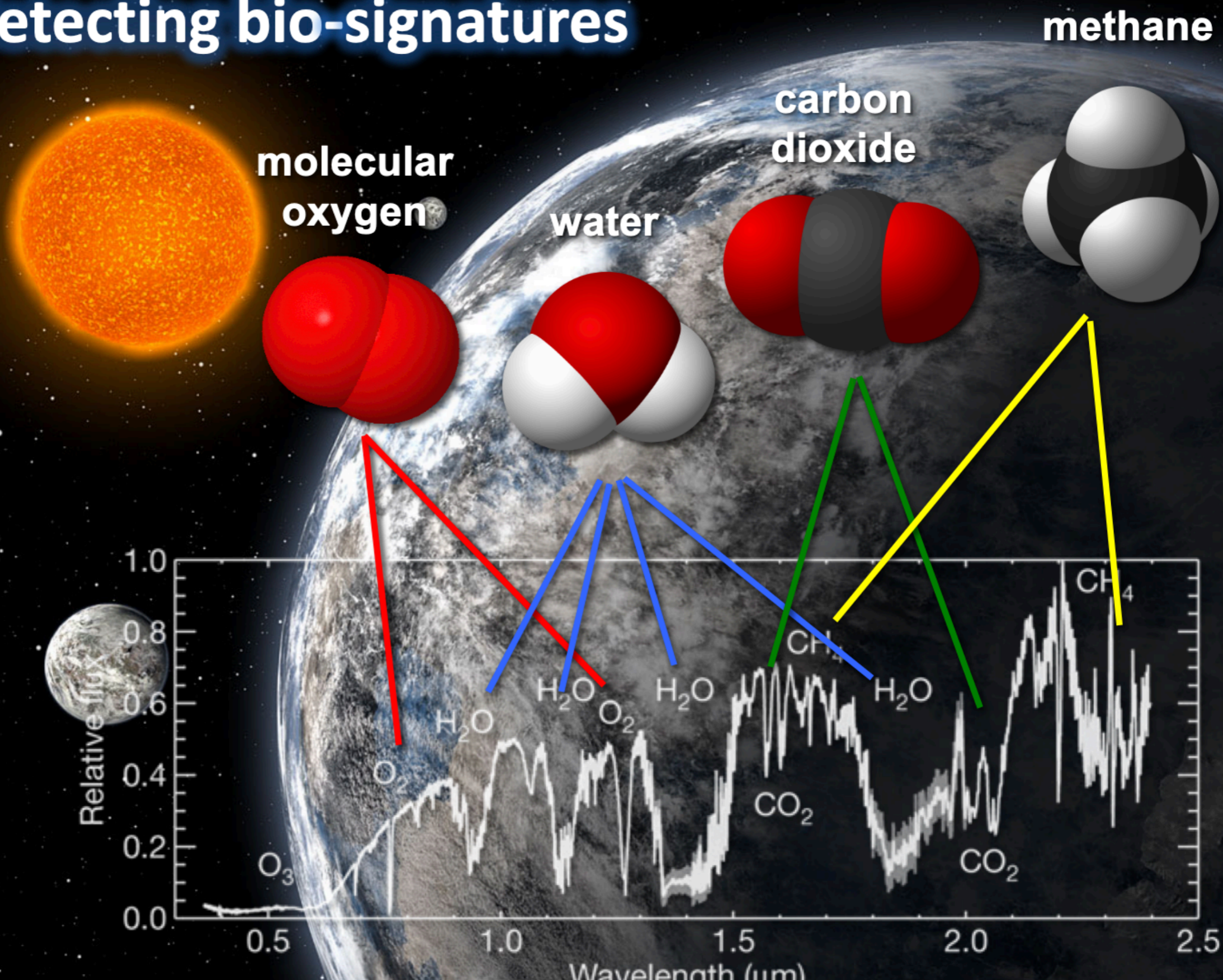
*Des planètes comme notre Terre ?*

*Avec de la vie ?*



*La vie est-elle un impératif cosmique ?*

# Exoplanets atmospheres, with the ultimate goal of detecting bio-signatures





Merci

