

Ingénierie système sur SPHERE

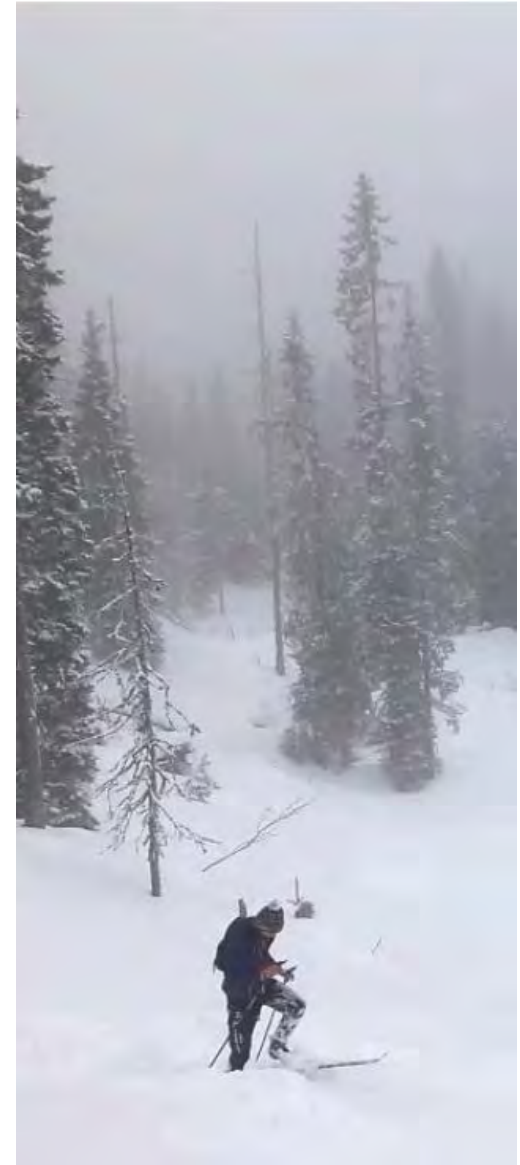
Conférence RIS

11/6/2021

Kjetil Dohlen

Kjetil Dohlen, IRHC-CNRS

- Nationalité norvégienne
 - Né au Telemark, comme les skis
- Ingénieur en Électronique et Physique
 - BSc, University of Glasgow
- Thèse en Optique Appliqué
 - PhD, Imperial College, London
- Post-Doc ESA, projet Rosetta
 - Laboratoire d'Astronomie Spatiale, Marseille
- Ingénieur de Recherche au CNRS depuis 1996
 - Observatoire de Marseille
 - Laboratoire d'Astrophysique de Marseille
- Chef du Service Optique depuis 2010



Projets instrumentaux majeurs

✦ Rosetta - NAC

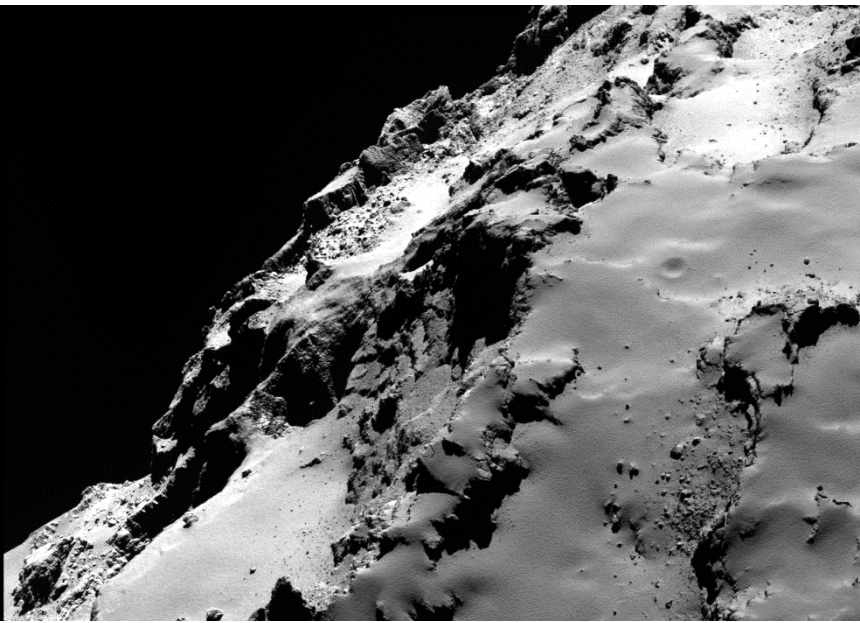
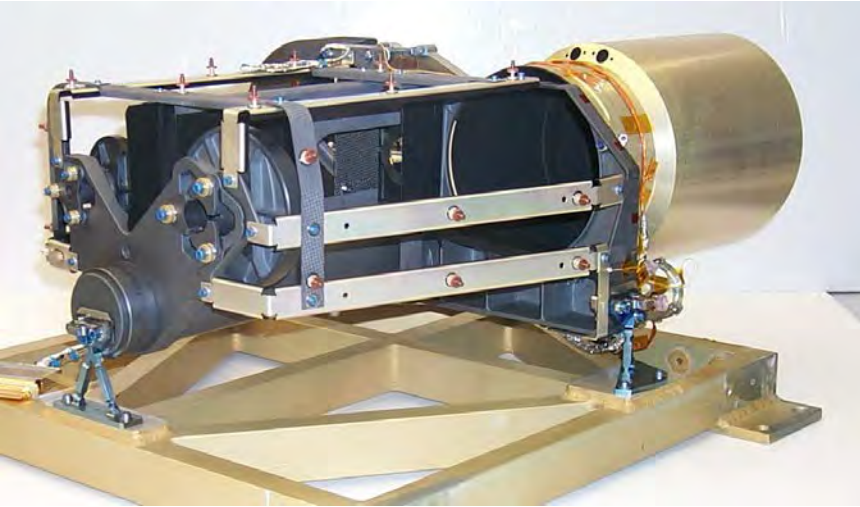
❖ Mission cométaire

- Pierre angulaire de l'ESA
- 1994: Design optique
- 2004: Lancement
- 2014: RDV avec « Chury »
 - 67P/Churyumov-Gerasimenko

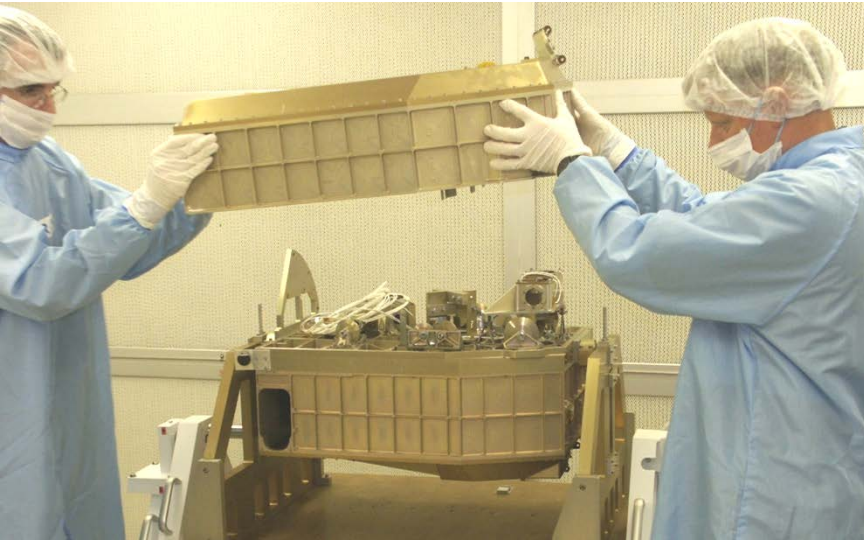
❖ Responsable du système optique

- Concept et spécifications optique
- Concept d'alignement
- Suivi de fabrication industriel

❖ Expertise post-lancement

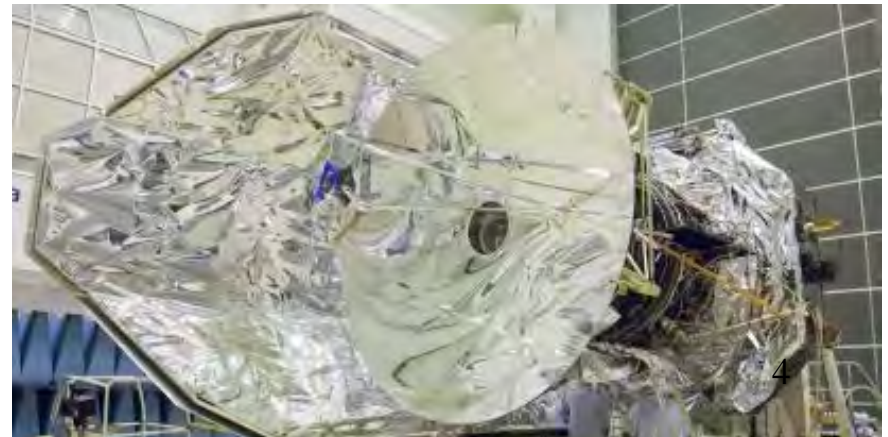
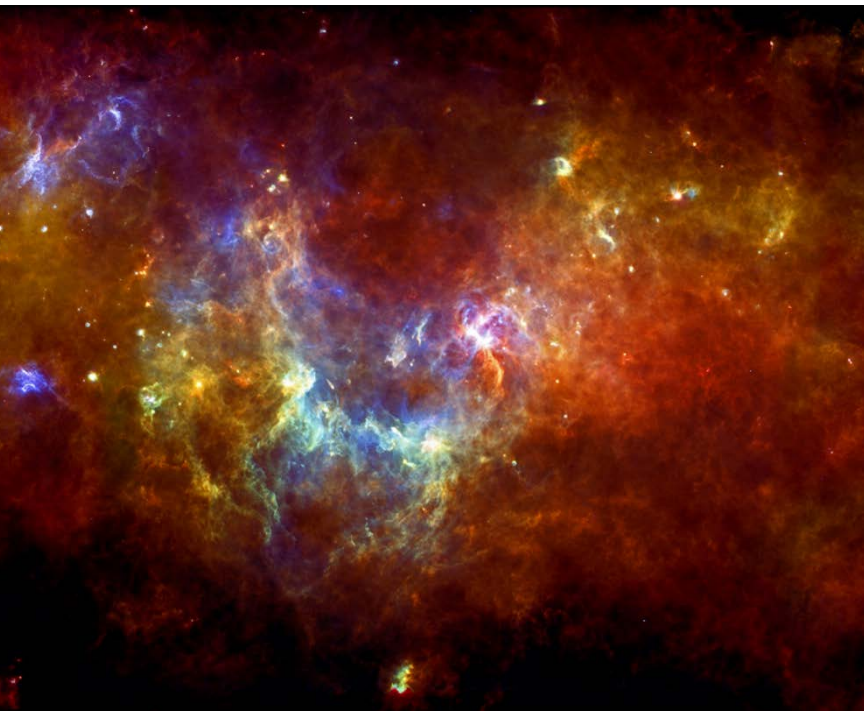


Projets instrumentaux majeurs



✦ Herschel-SPIRE

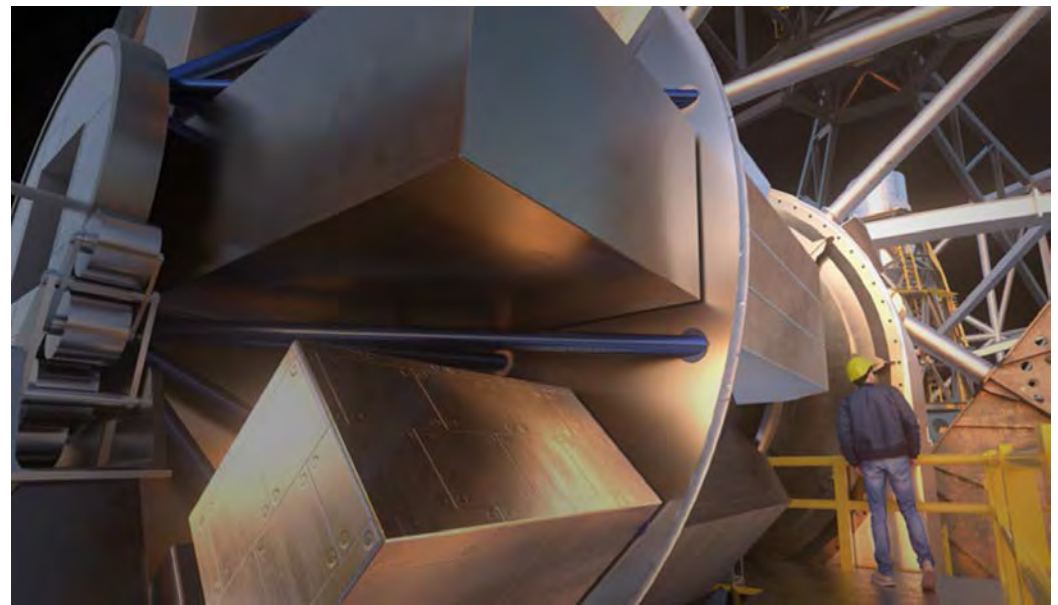
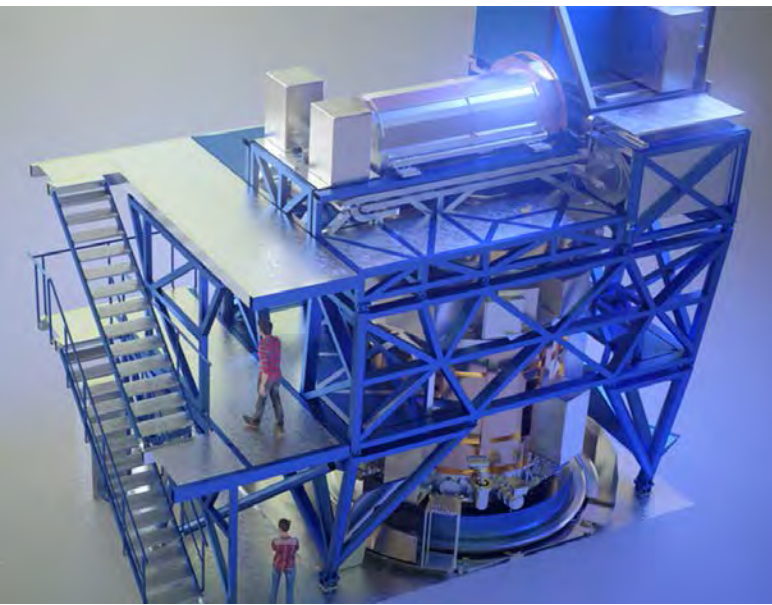
- ✦ Instrument submillimétrique
 - Etude de l'univers froid et lointain
 - Lancée en 2009
- ✦ Responsable du système optique
 - Participation au groupe système
 - Concept et spécification optique
 - Concept et plan d'alignement
 - Cahier de charges et suivi de fabrication des miroirs
 - Participation aux AIT



Projets instrumentaux majeurs



- ✦ VLT-SPHERE (2014)
 - ✦ Exoplanets, XAO
- ✦ ELT-HARMONI (2026 ?)
 - ✦ Spectro-imagerie, LTAO
- ✦ ELT-MOSAIC (2030 ?)
 - ✦ Spectro multi-objets, GLAO



Ingénieur système

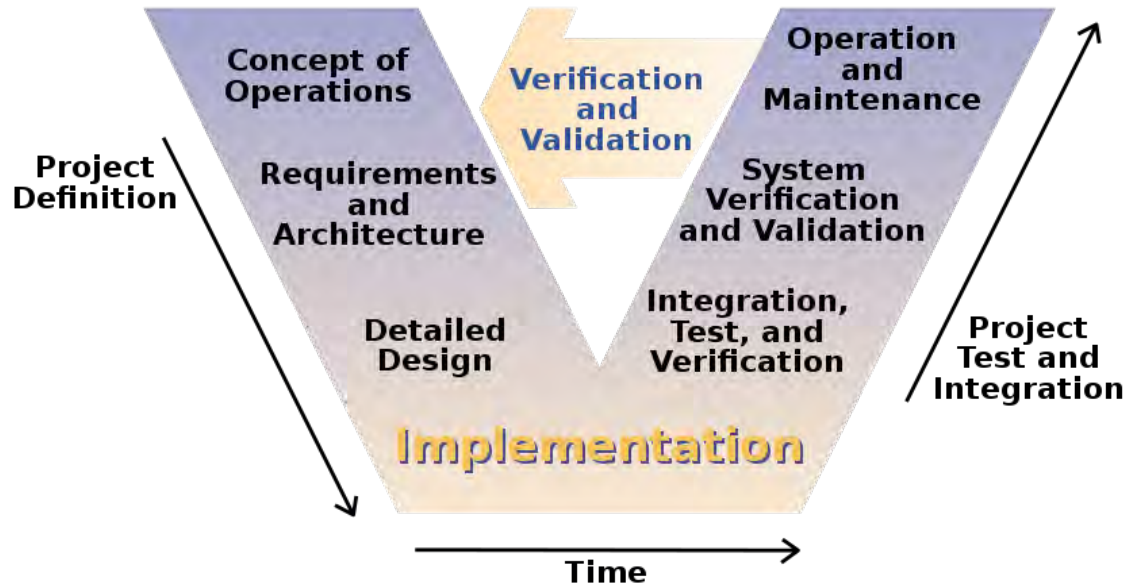
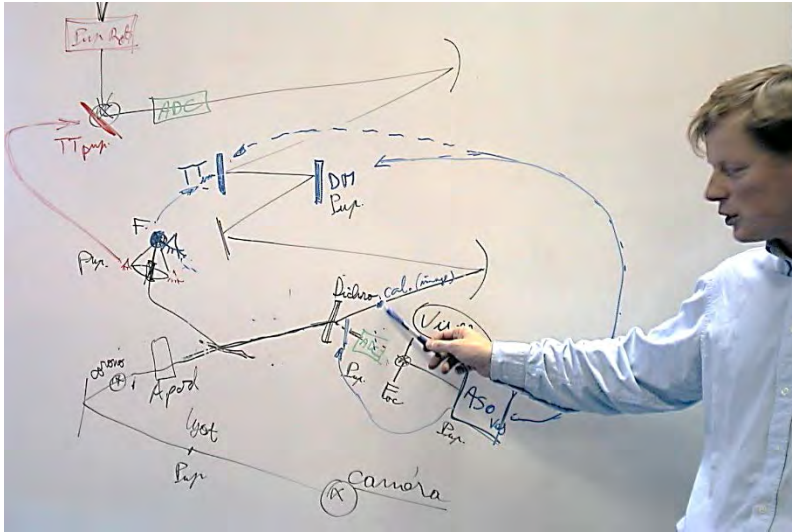
- 2004: Proposition de prendre ce rôle sur SPHERE
 - « Euh, d'accord, mais c'est quoi? »
- Quelques exemples rencontrés
 - Le Bureaucrate ?
 - Le Géo Trouvetou ?
- « Les deux mon capitaine »



Ingénieur Système

Des idées...

à l'instrument réel !



L'instrument SPHERE

- Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet Research
- Projet long terme:
 - 12 ans de développement entre les premières idées et la première lumière !
 - 10-15 ans d'exploitation
 - 260 nuits de temps garanti pour le consortium
- 180 ETP et près de 120 personnes impliquées
 - Coût matériel: 10 M€; coût consolidé: 25 M€
- Consortium de 12 instituts européens piloté par l'IPAG (Grenoble)

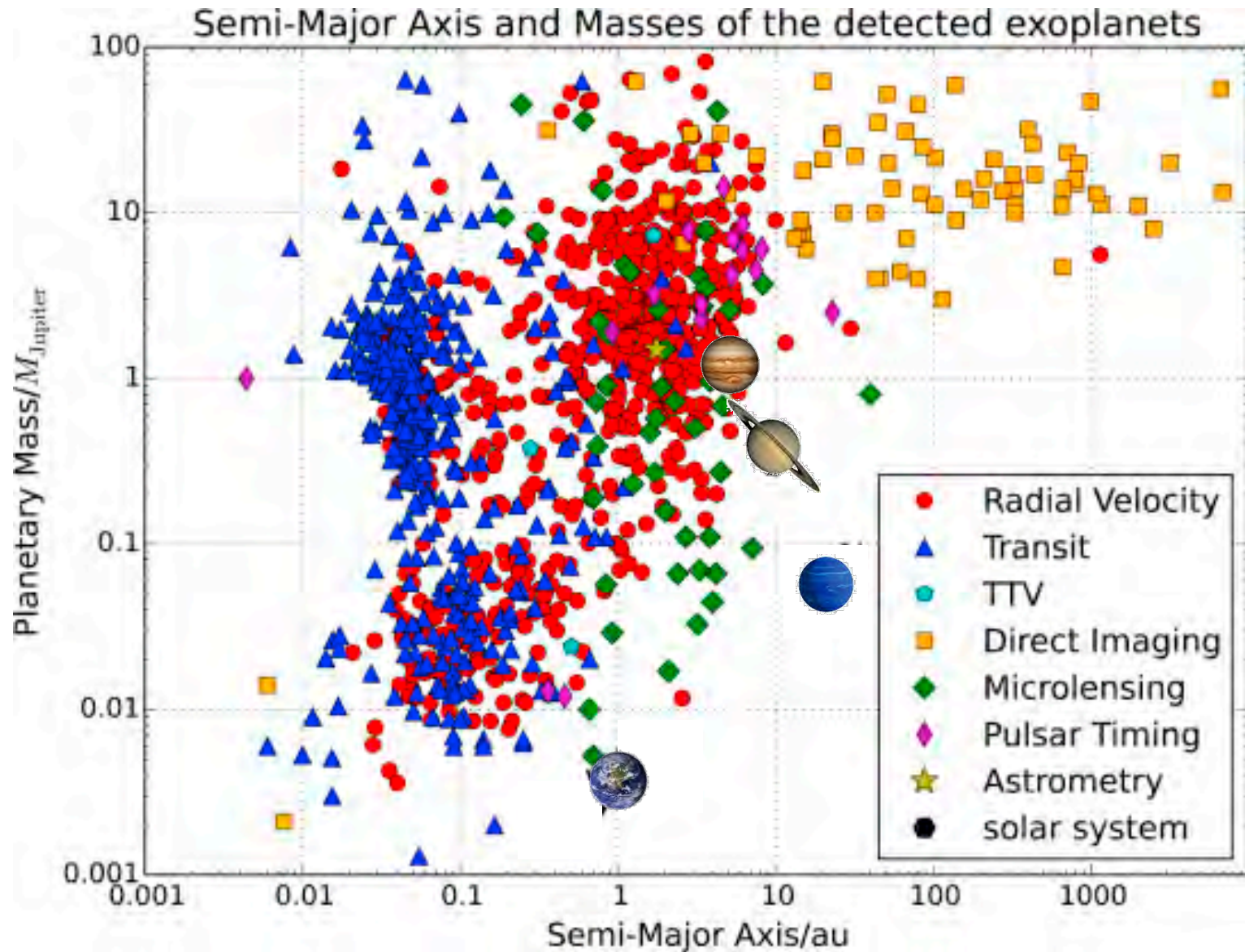


UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM

ETH zürich



Les exoplanètes



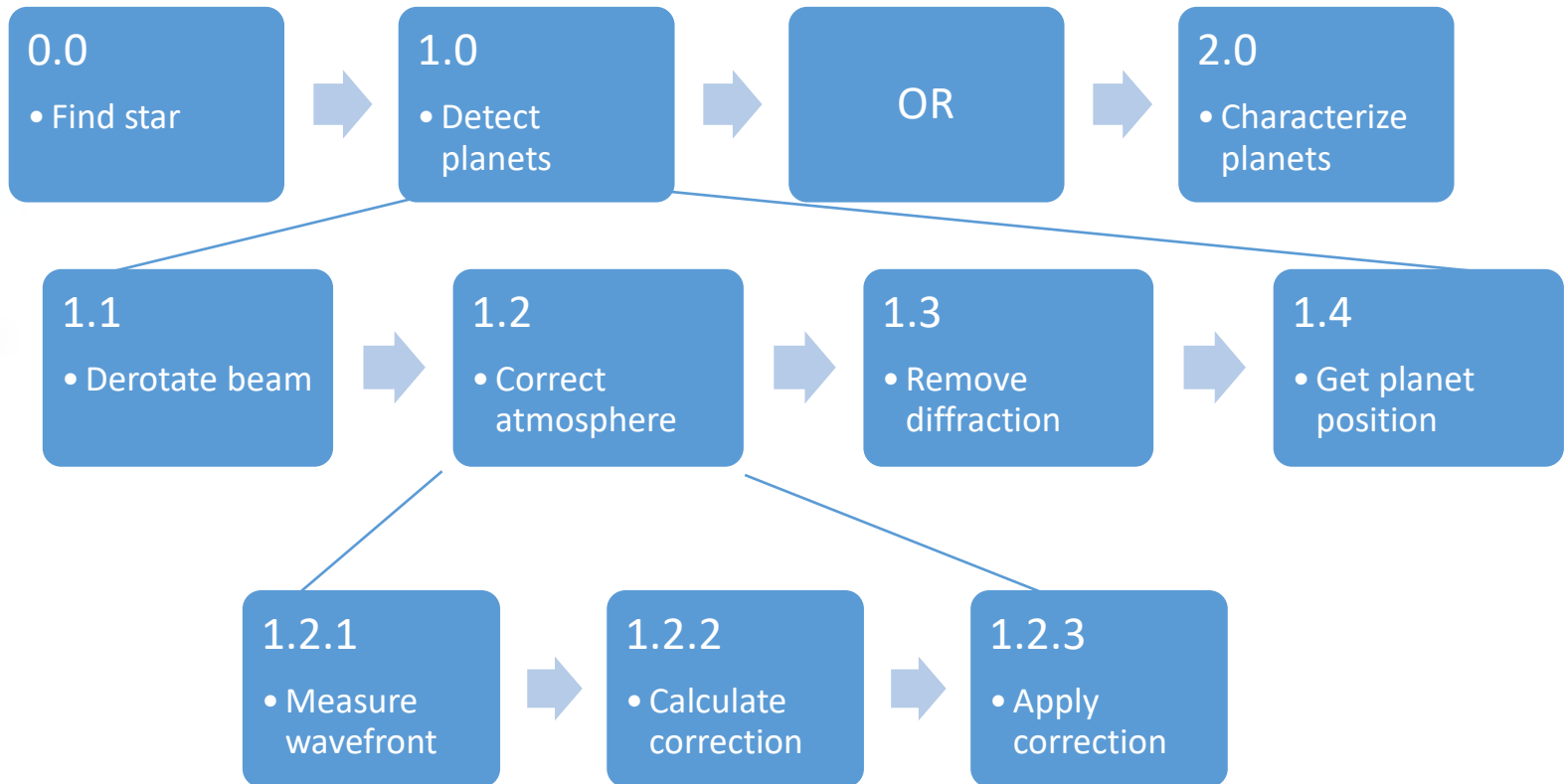
Haute resolution et haut contraste



L'instrument SPHERE

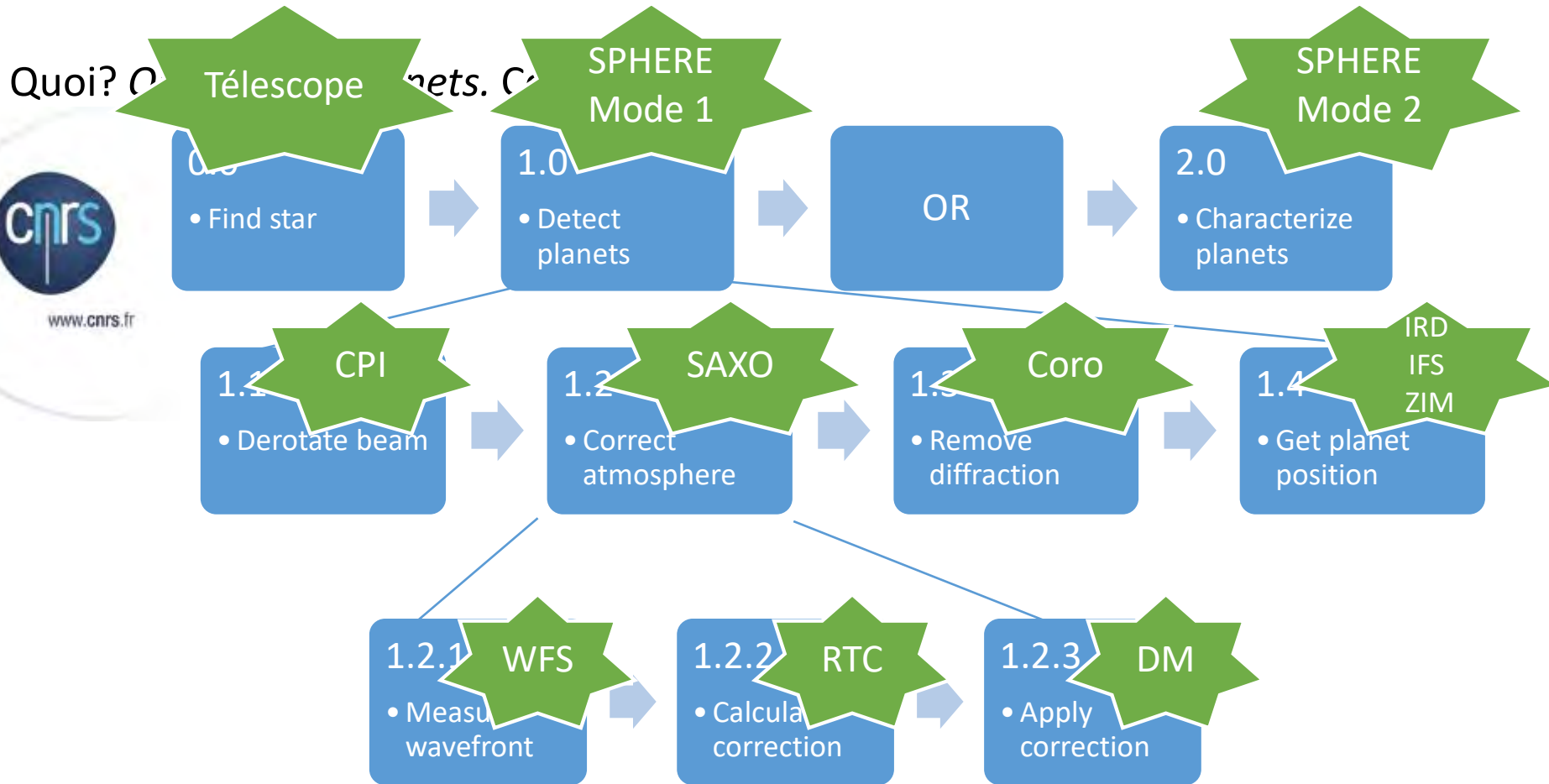
Flux fonctionnel

Quoi? *Observe exoplanets.* Comment?



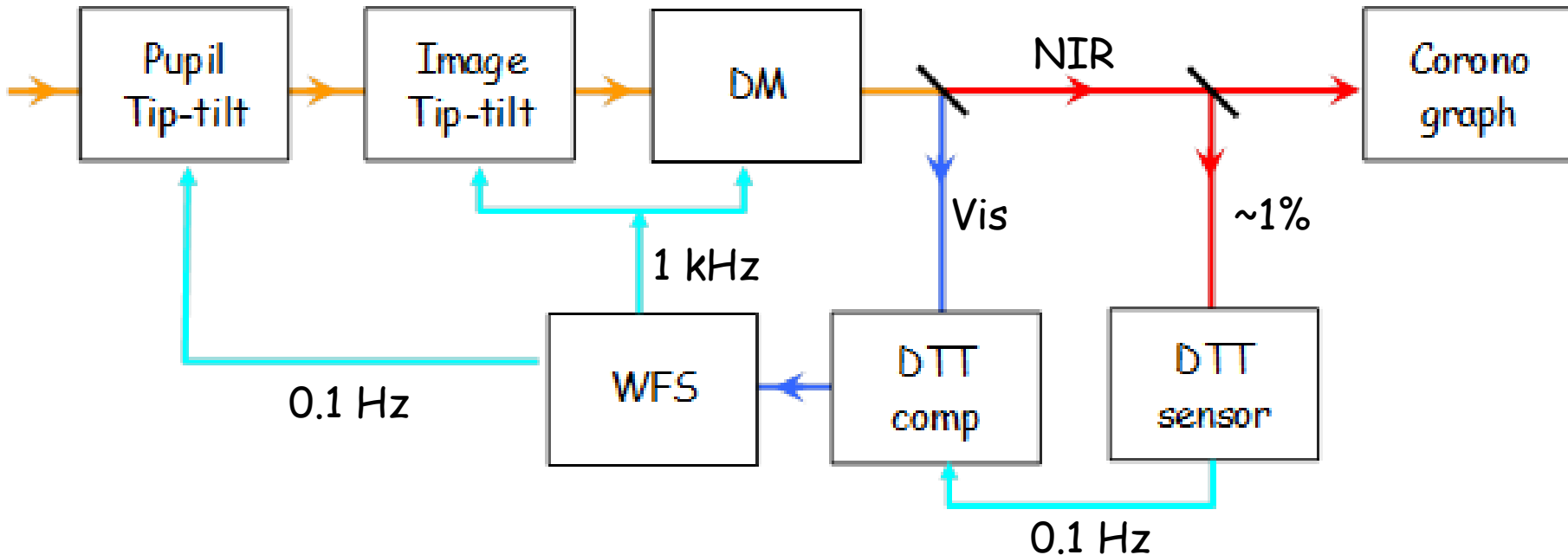
L'instrument SPHERE

Flux fonctionnel

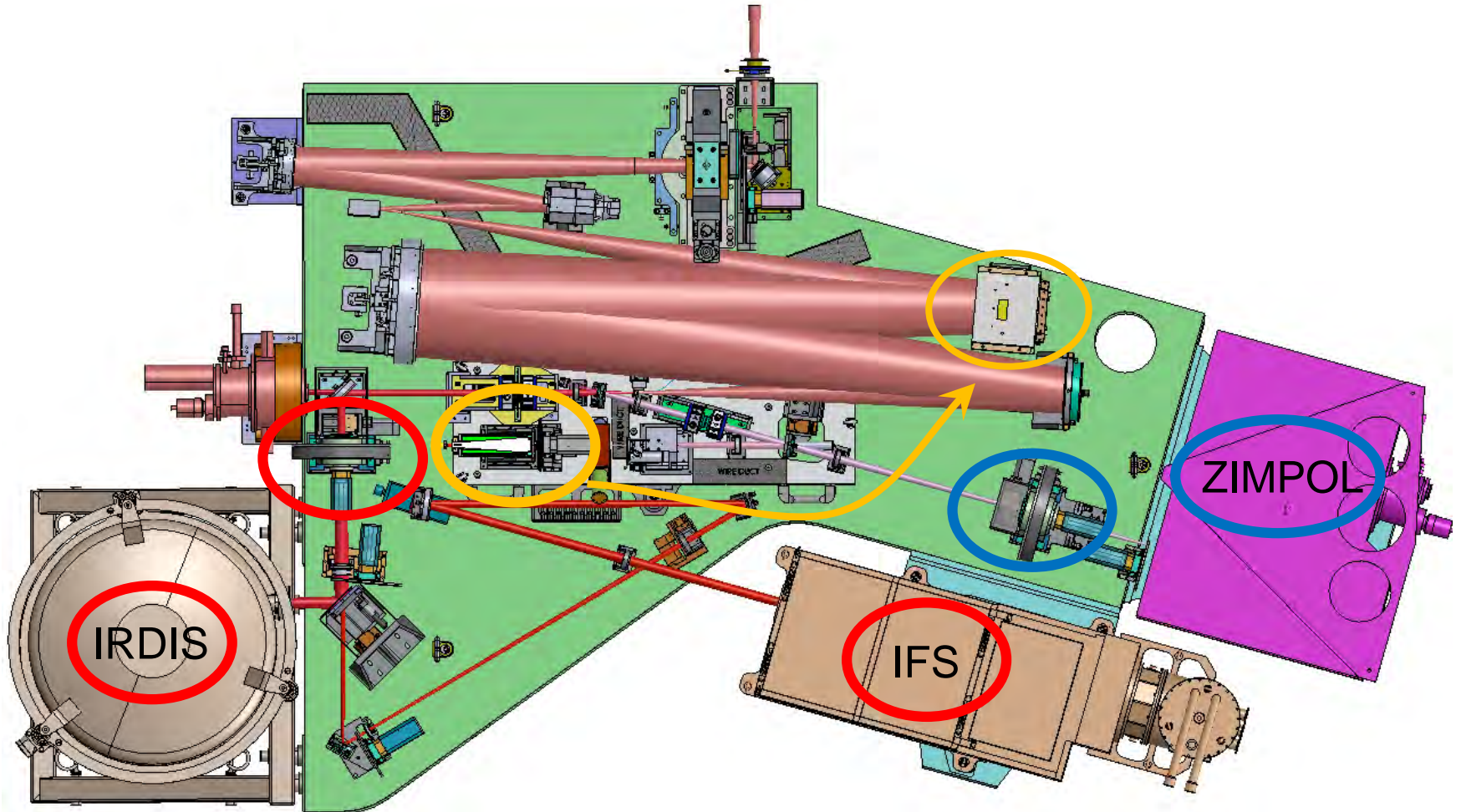


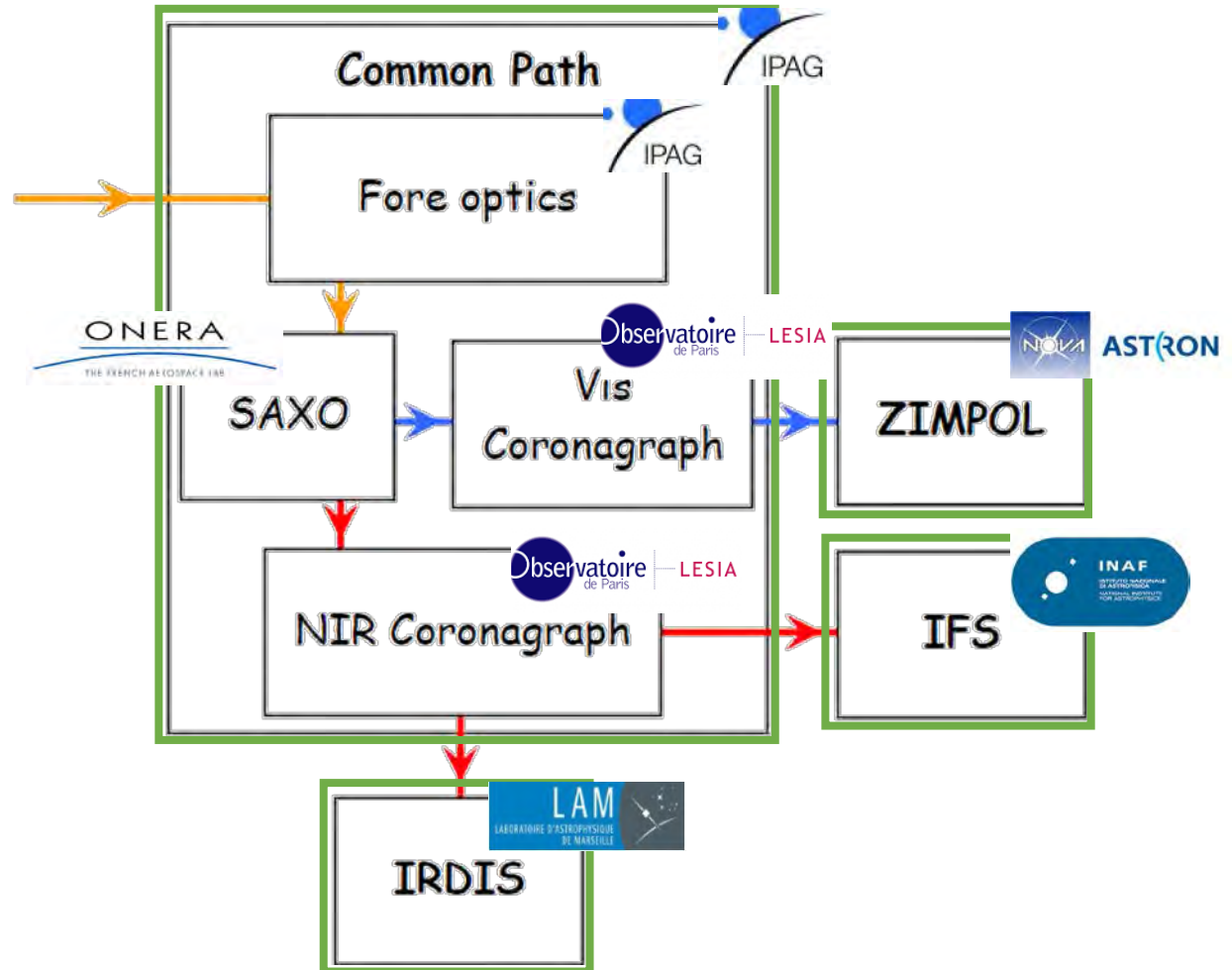
SPHERE: Optique Adaptative Extrême

- Grand nombre d'actuateurs: 40x40 (20 cm sous pupille)
- Grande vitesse: 1 kHz
- Stabilisation de l'image scientifique



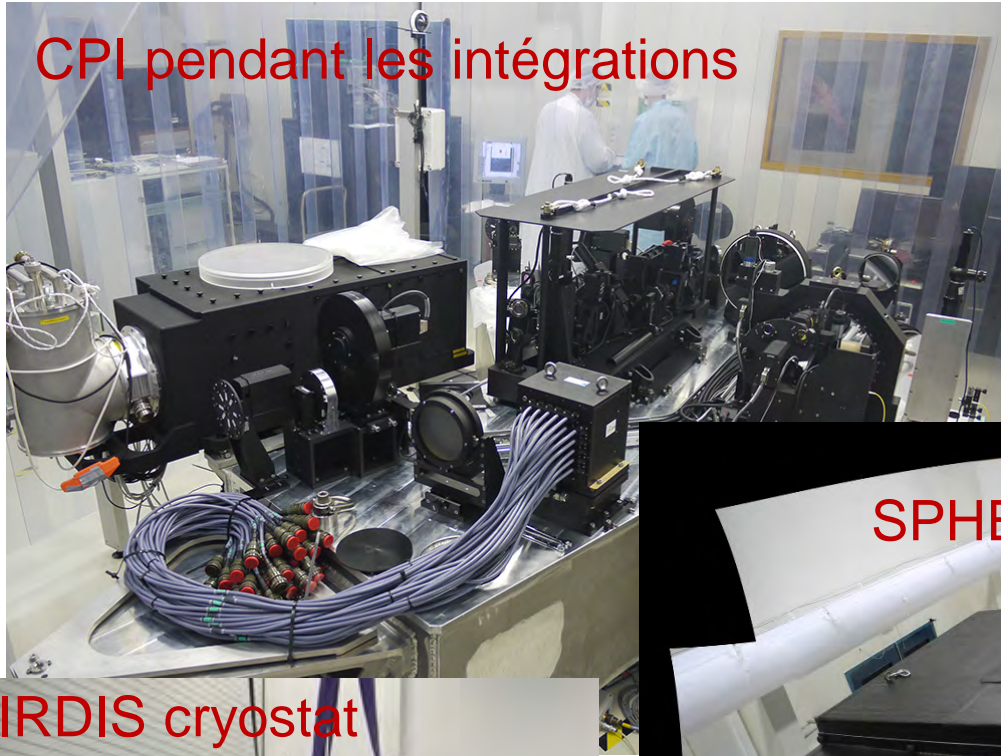
L'instrument SPHERE





Intégration à Grenoble

CPI pendant les intégrations



Installation sur le socle



SPHERE au complet, fin 2013



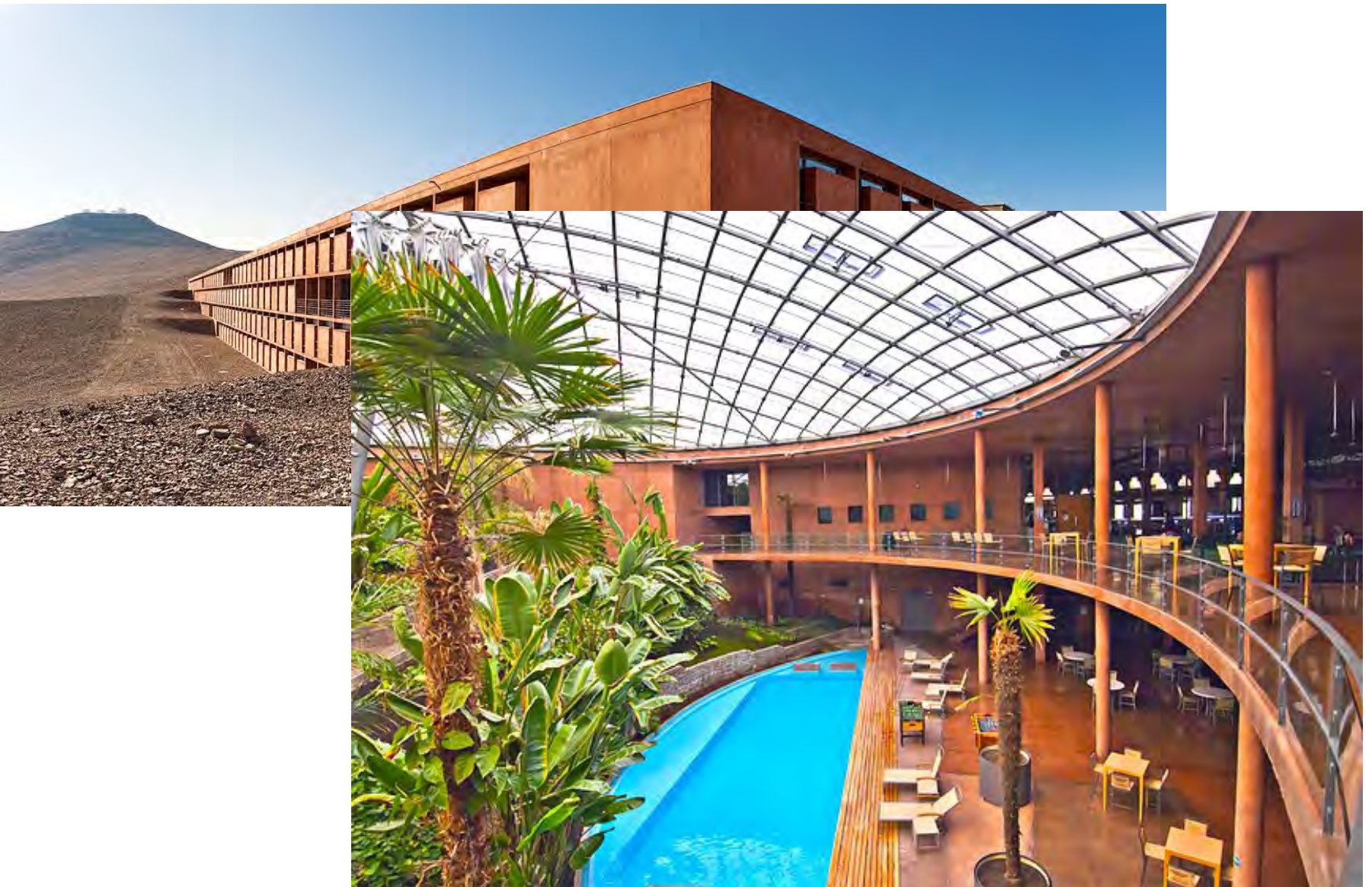
IRDIS cryostat



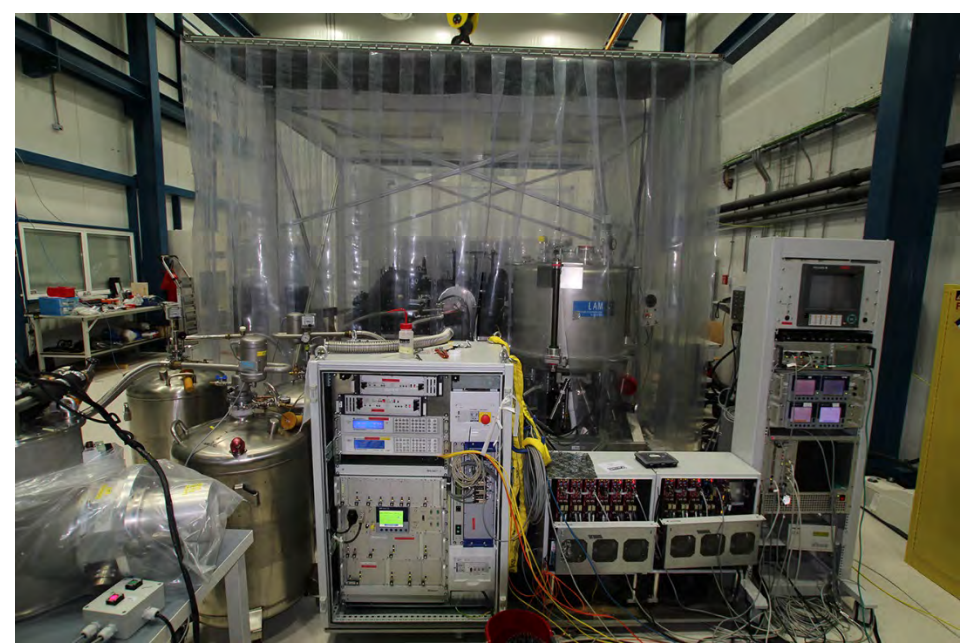
VLT : Cerro Paranal



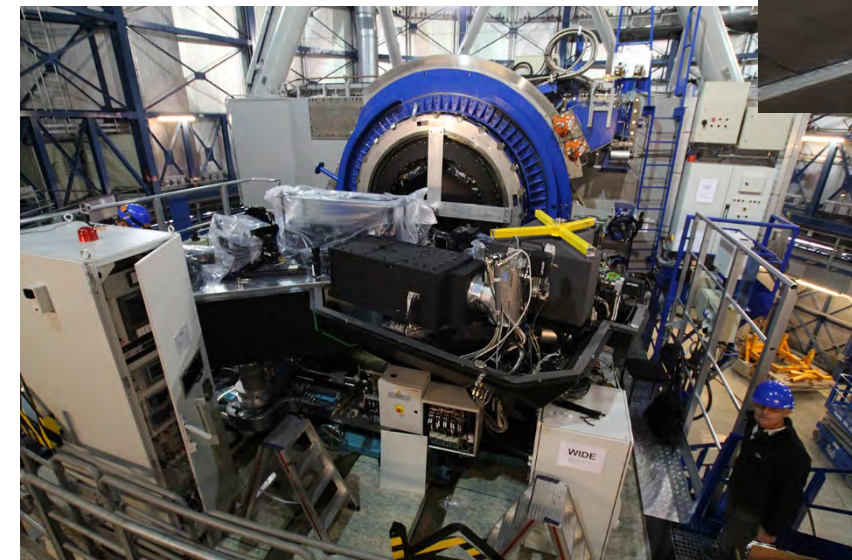
VLT : Cerro Paranal

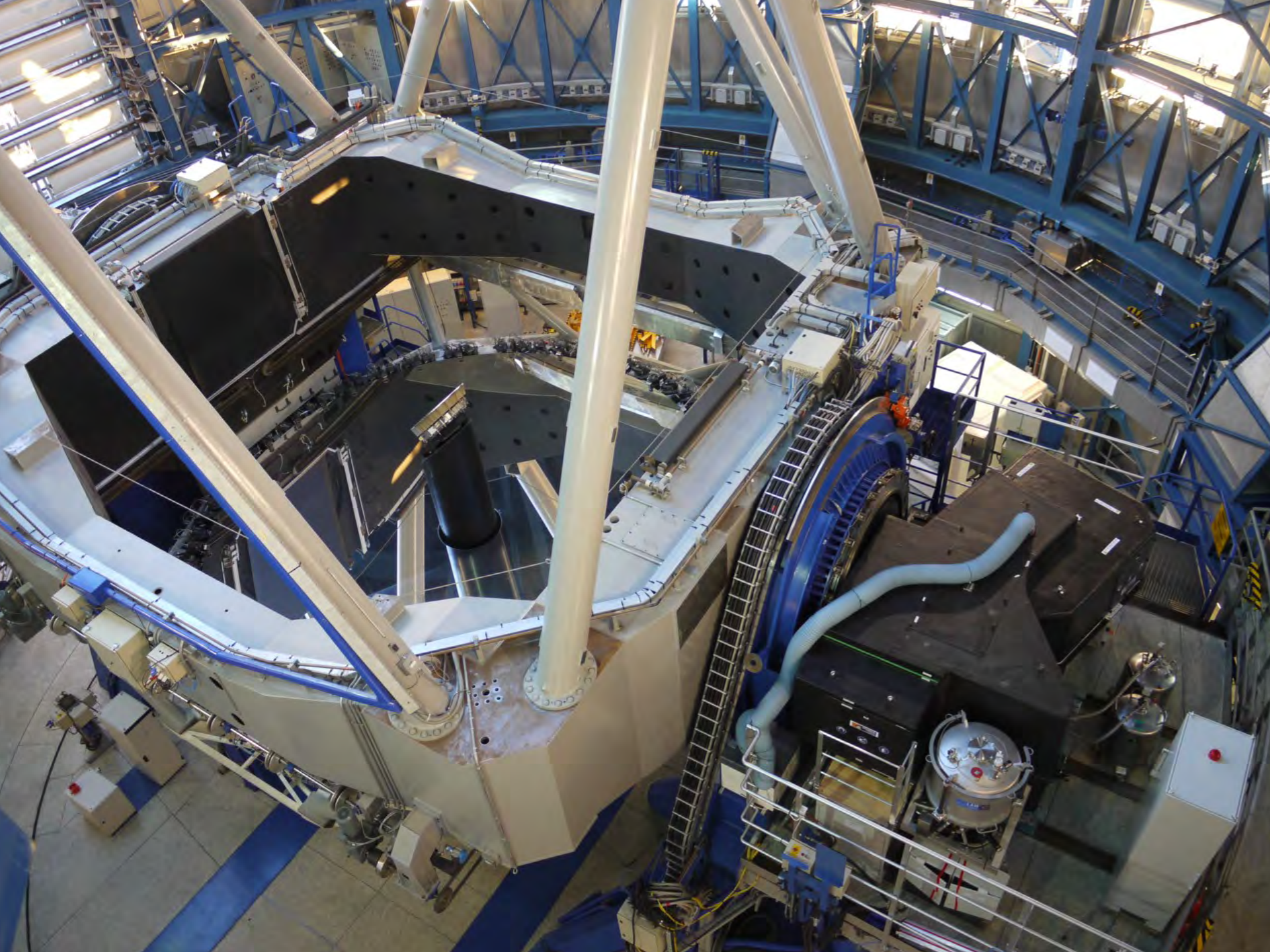


Réintégration à Paranal

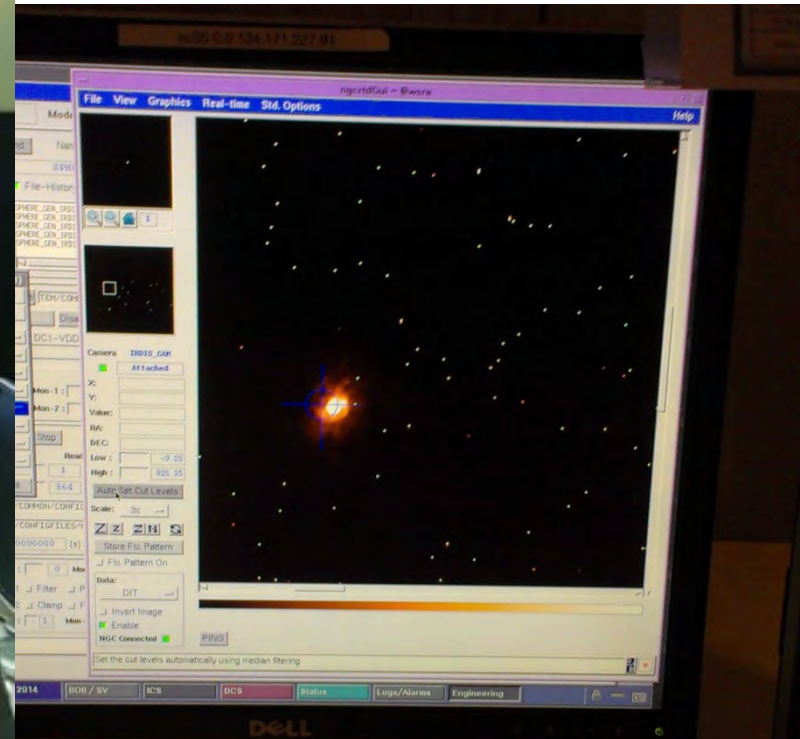


Installation sur le VLT-UT3



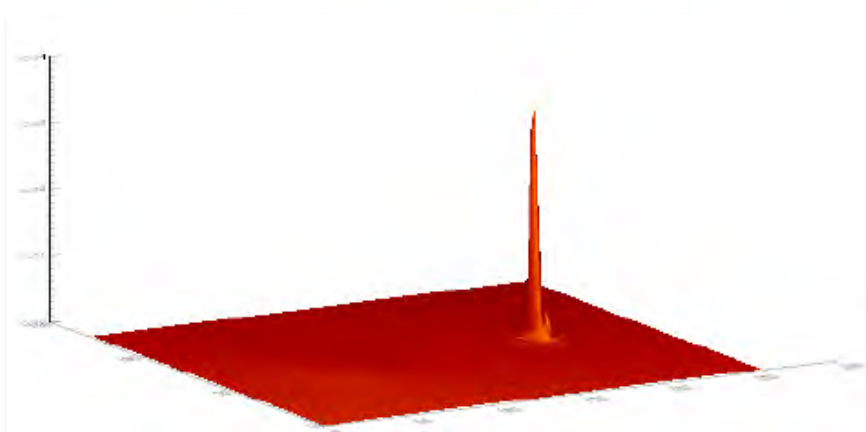
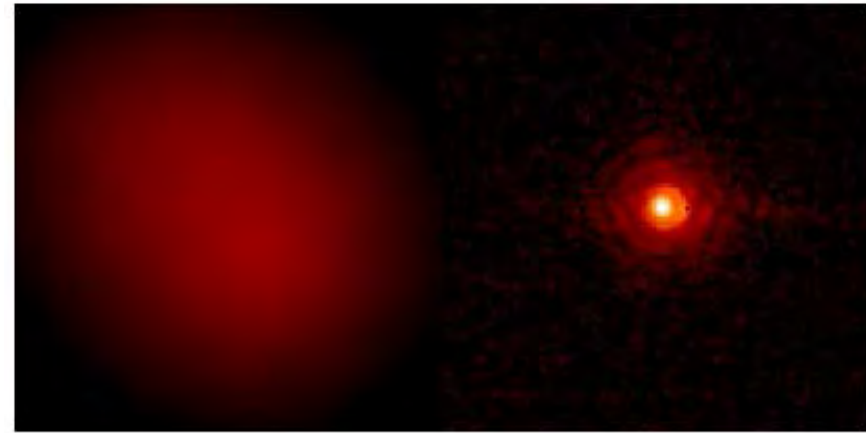


Première lumière, enfin!

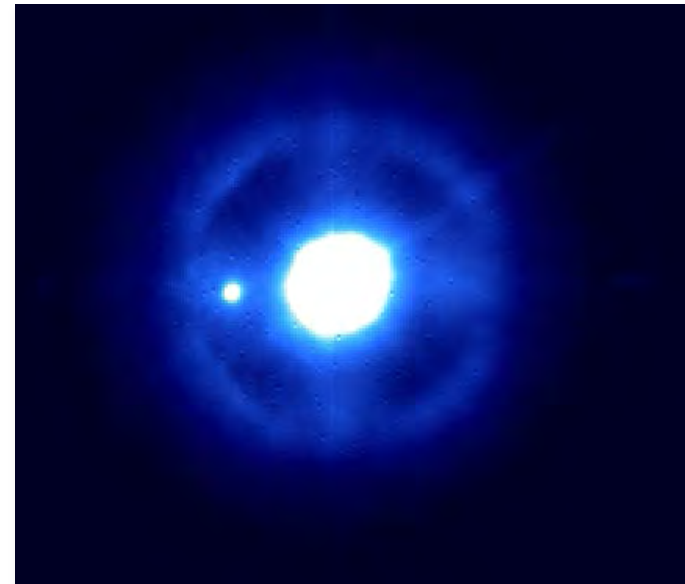


Première lumière sur le ciel !

IRDIS H-band unsaturated
Seeing = 1.3"; SR = 62%

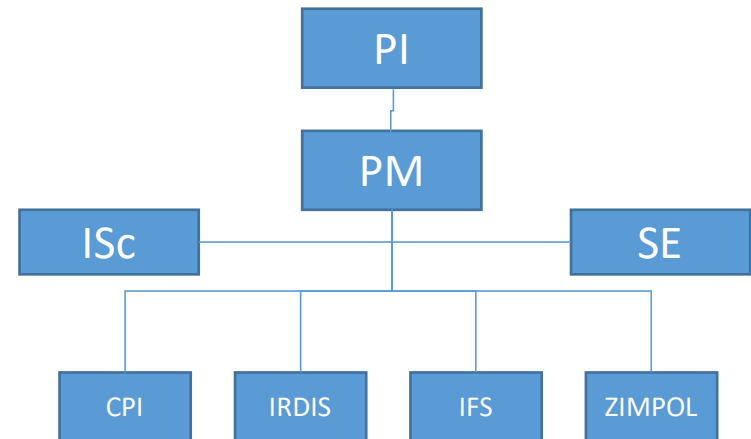


ZIMPOL 780 nm unsaturated
Seeing = 1.2"; sep. = 0.24";
Delta R ~ 5 mag.



Rôle de l'IS dans SPHERE

- Projec Office compact et soudé
 - Rôle important du PM dans pilotage du développement
 - Fort soutien des astronomes (PI, ISc)
 - Astronomes HRA souvent proche de la technique
- Activités de l'IS
 - Expression et distribution/flow-down des besoins
 - Analyse de performance
 - « Garant de la performance »
 - Budgets techniques (masse, puissance, ...)
 - Analyses des analyses des métiers
 - Expertise ou avis sur questions techniques
 - Organisation documentation
- Animation des telecons hebdo
 - PO + Sous systèmes



Requirements flow-down

Performance flow-up

- 400 spécifications au niveau de l'instrument
- Distribués sur les sous-systèmes
 - 200+140+110+100=550 specs sous-système
- Relations descendantes (flow-down) et ascendantes (flow-up) gérés par une feuille Excel
 - Sans doute la limite de l'exercice

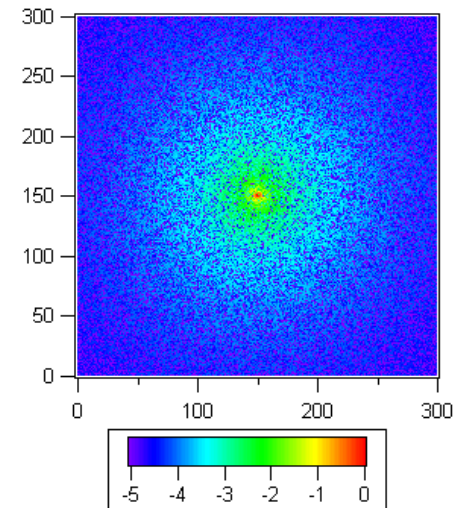
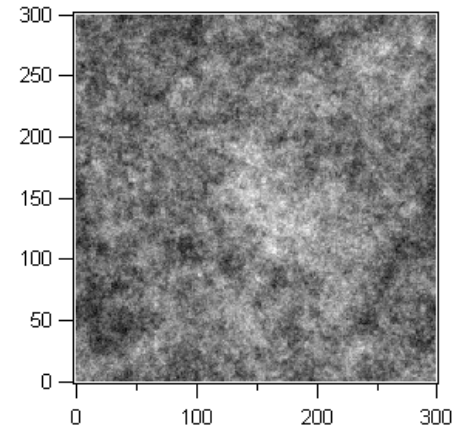
Index	i	Key	ID	Lib	TS_ID		Verif level	V_PDR	S_PD	V_AR	V_FDRs	S_FDRs	V_FDR	S_FDR	V_TRRs	S_TRRs	V_TRR	S_TRR	V
Index		Key	Req. ID	TS or FR text	Tech. Spec. Req. number	TBD/TB C to be resolved by		Verif type PDR	Status PDR	Verif type ARR	Verif type FDR	Status FDR	Overall verif type FDR	Overall status FDR	Verif type TRR	Status TRR	Overall verif type TRR	Overall status TRR	V
Spec255	255	CPI	FR_CPL_130	The design of the CPI shall be compatible with both A and B platforms until further notice from ESO	TS_9.1.1		CPI			NA...		NA			
Spec256	256	All	TS_9.2_A	The optical coatings shall be cleanable as far as possible.	TS_9.2_A		All	D			.D,D,D,D	.C,C,C,C	D	C	.D,D,D,D	.C,C,C,C	D	C	
Spec257	257	All	TS_9.2_B	The dismantling/remounting of major optical assemblies shall be performed without the need of realignment/refocusing.	TS_9.2_B		All	D			.D,D,D,D	.C,C,C,C	D	C	.TI,TS,D, D	.C,C,C,C	TI	C	
Spec258	258	CPI	TS_9.2_C	The pupil location, focal plane position and the optical axis of the	TS_9.2_C		CPI				.D...	.C...	D	C	.D...	.C...	D	C	

Critère de performance principale: L'erreur du front-d'onde

- Construction d'un budget de WFE basé sur le distribution spatio-spectrale des aberrations
- La fonction pulsionnel (PSF) est lie à la transformée de Fourier (TF) du champ électrique dans la pupille:
 - $PSF(u,v) = |TF\{E(x,y)\}|^2$
- Champ dans la pupille (P) pour aberrations Φ :
 - $E(x,y) = P(x,y) e^{i\Phi(x,y)}$
- Par développement limité de l'exponentiel complexe, valable pour de faibles aberrations, on trouve:
 - $E(x,y) \sim P(1 + i\Phi - \Phi^2/2)$
- Le rapport de Strehl (S) peut se déduire du troisième terme
- Exprimant les TF par des lettres minuscules, une expression pour le PSF peut être élaborée:

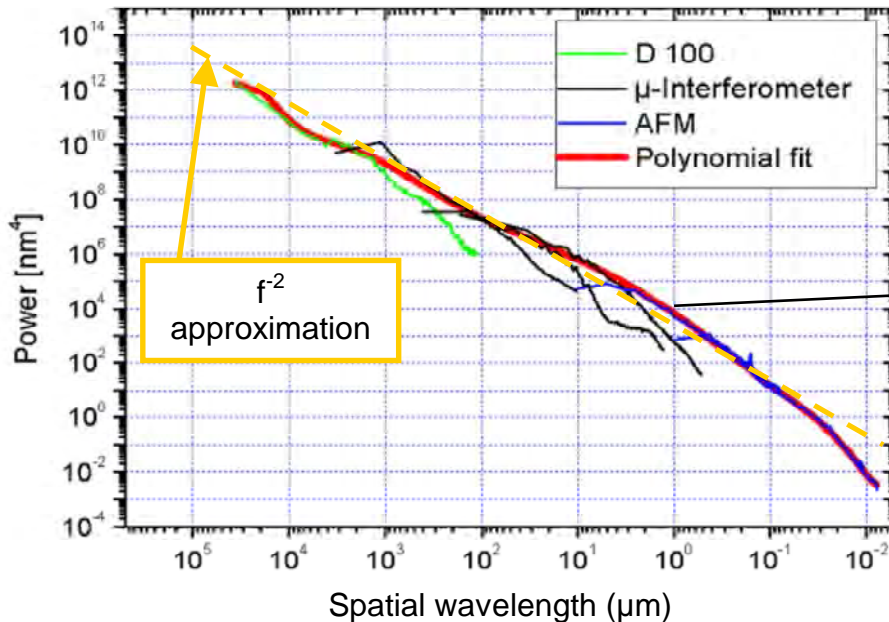
$$PSF \sim S p^2 - 2\sqrt{S} p[p^* \text{Im}(\phi)] + |p^* \phi|^2$$

Tache d'Airy
Tavelures localisées
Tavelures développées: la DSP



Qualités de poli atteignables

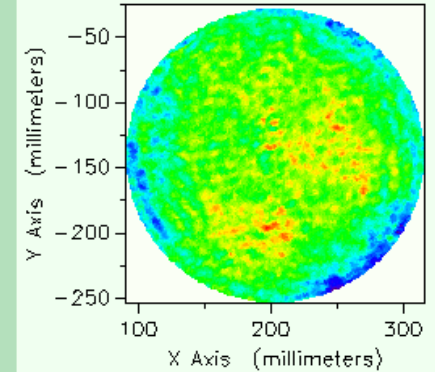
- DSP obtenu pour la micro lithographie UV
 - Fonction en f^{-2} sur 6 decades
 - 0.2nm rms



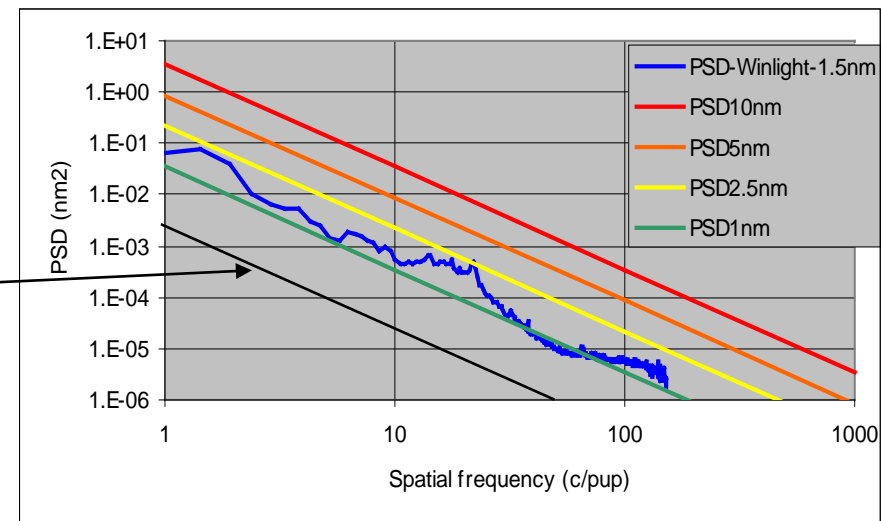
H. Enkisch and J. Trenkler, Carl Zeiss
Europhysics News (2004) Vol. 35 No. 5

<http://www.europhysicsnews.com/full/29/article3/article3.html>

IntelliWave: OPD Map [5C.M.TMD] (nanometers)
Date: Acq: Tue Jul 17 15:46:47 2007
FILE: MIROIR D=25MM N*1.ESD



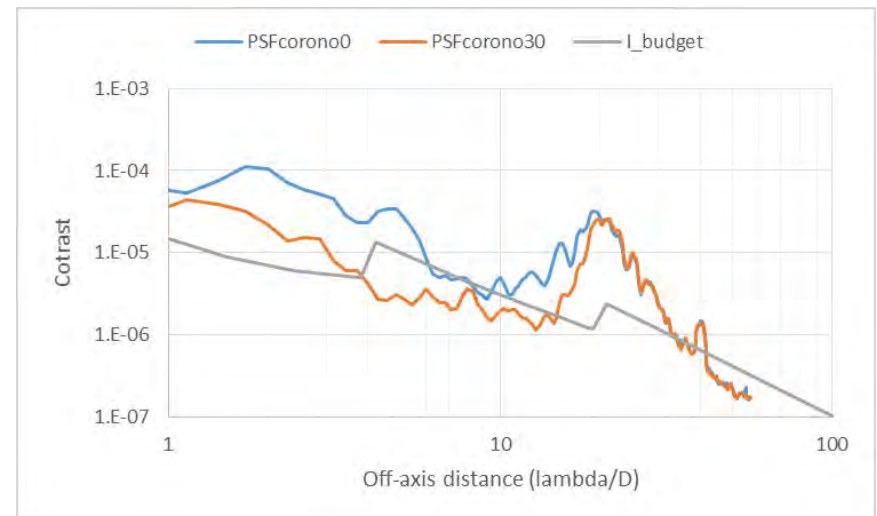
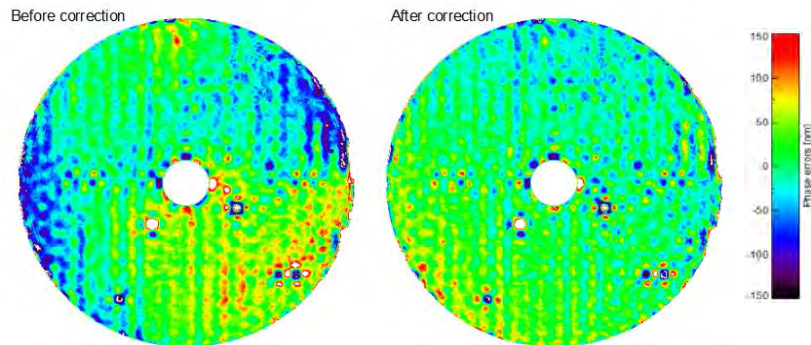
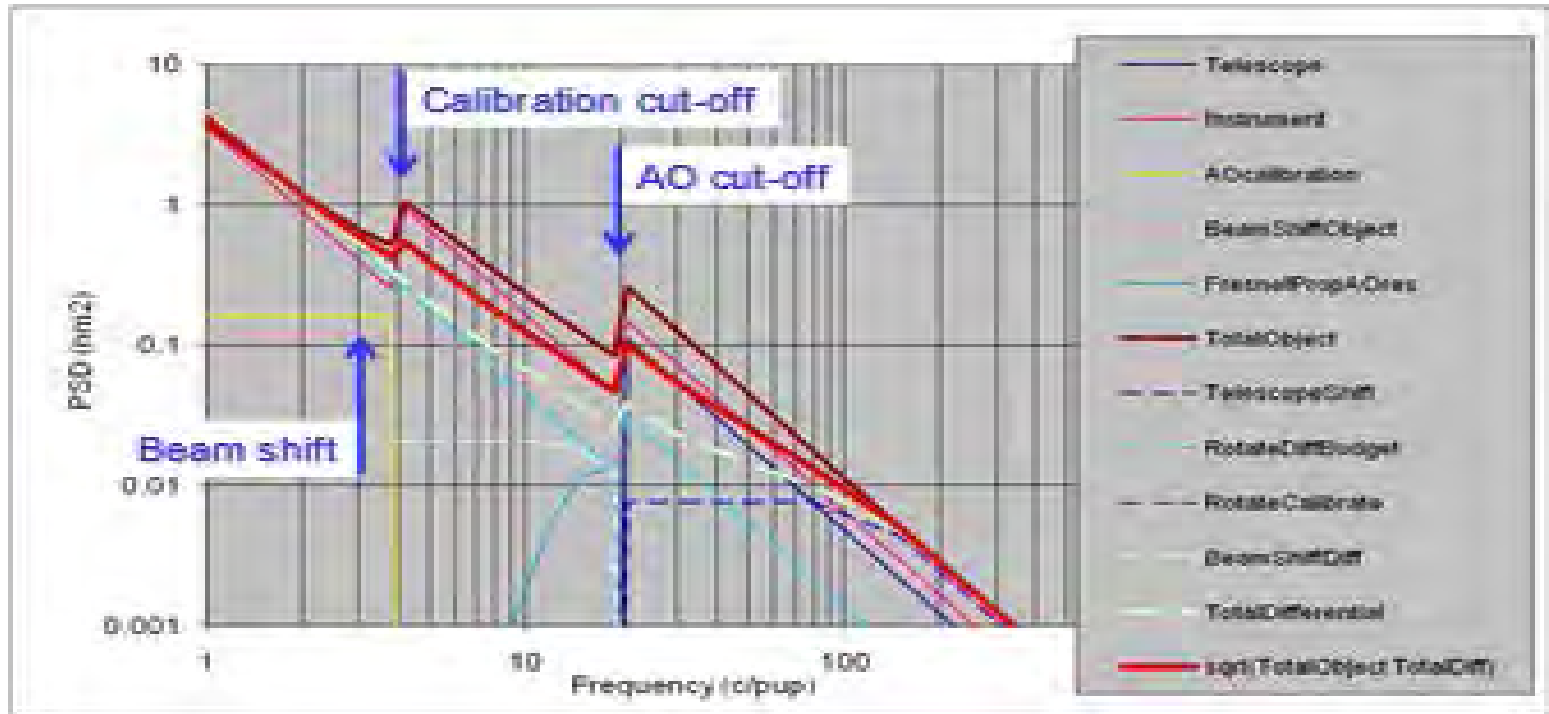
Range (PV) = 17.0116 nanometers, RMS = 2.0969 nanomet



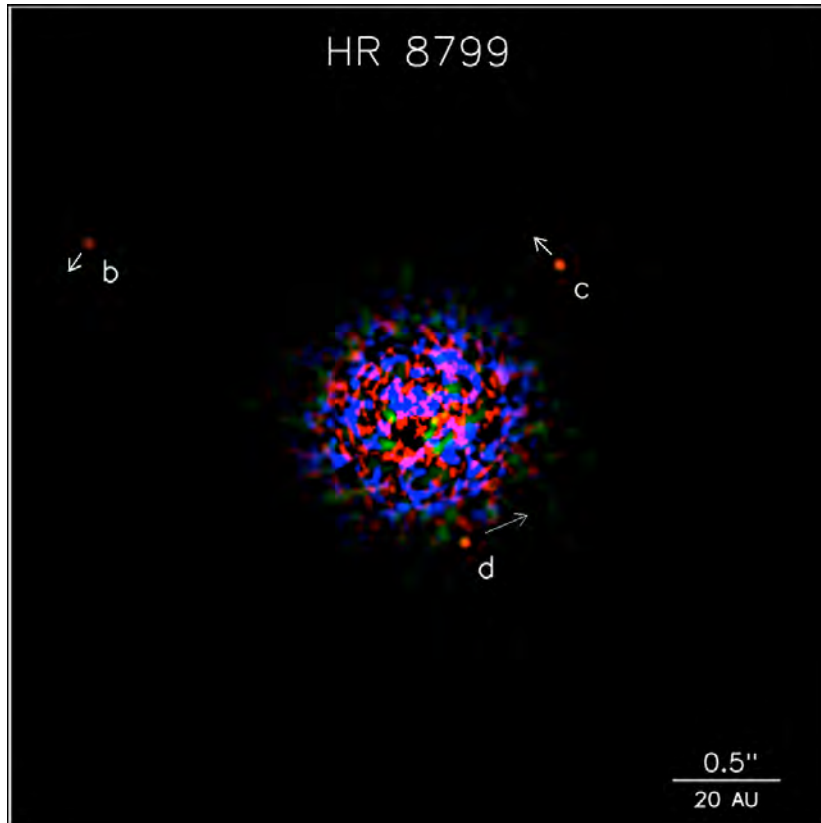
DSP obtenu pour les optiques de SPHERE

- Fonction en f^{-2} confirmée

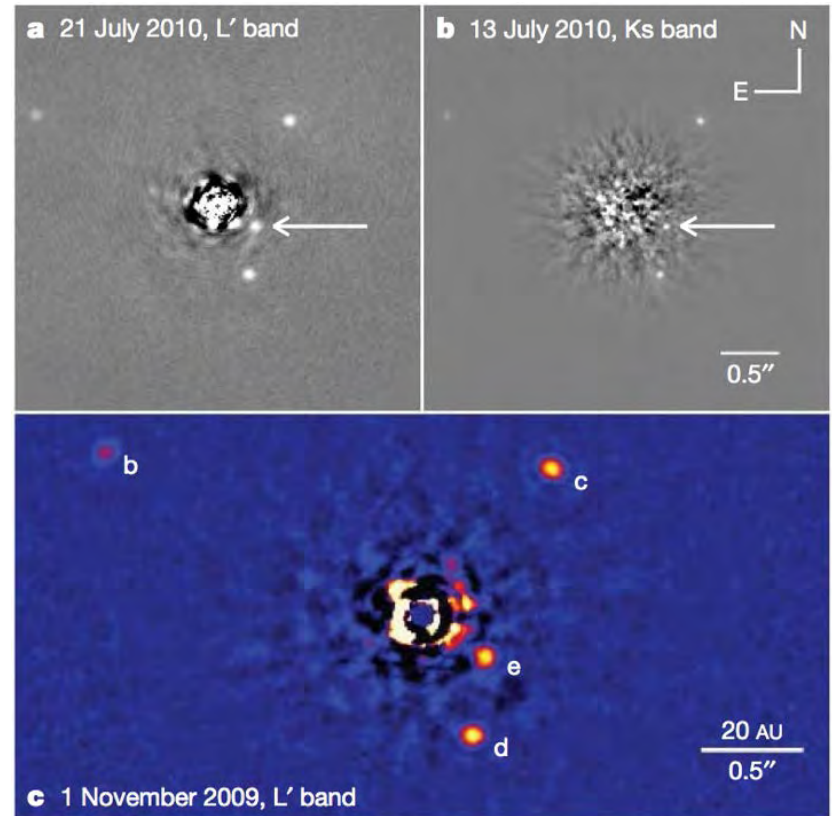
Performance de SPHERE



HR 8799, un système planétaire



Trois planètes découvertes par
Télescopes Gemini et Keck
Marois et al. en 2008



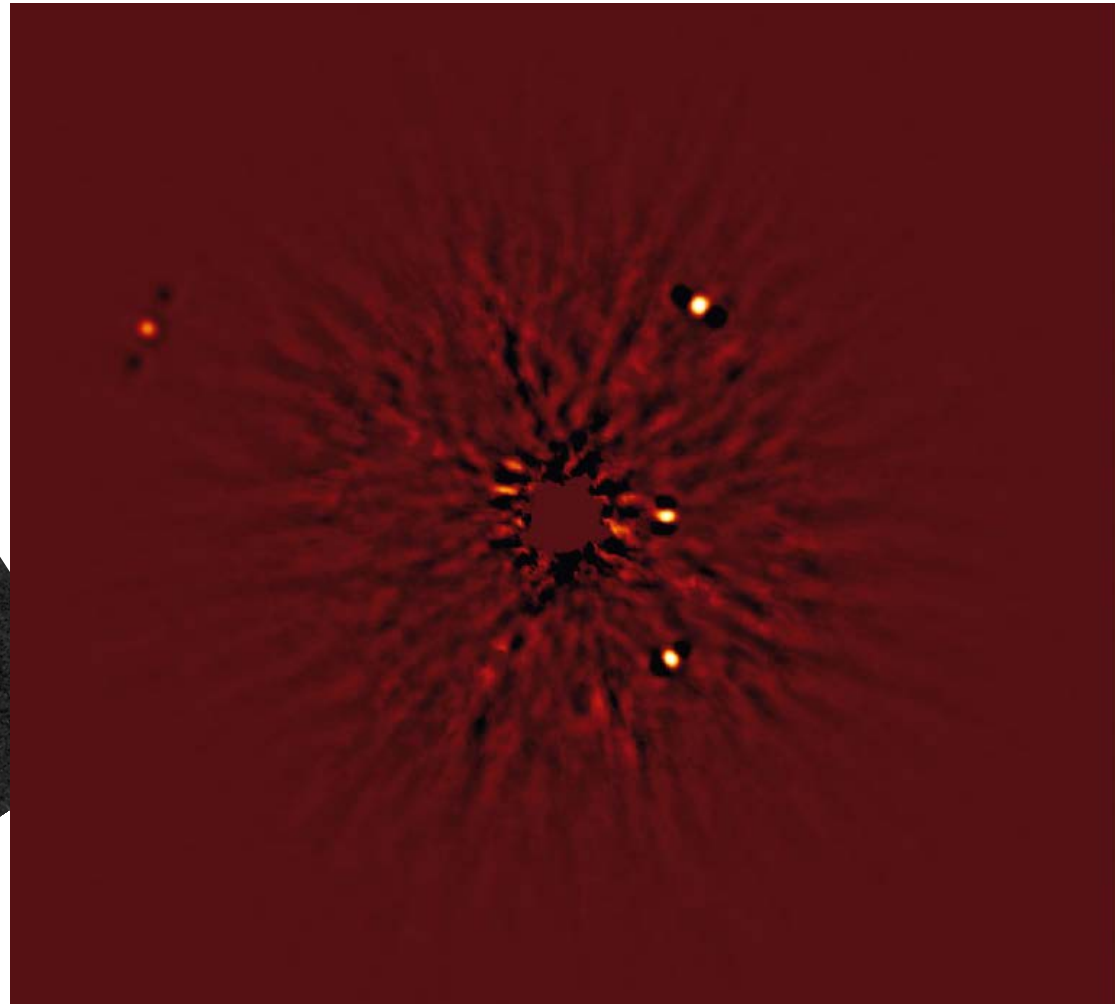
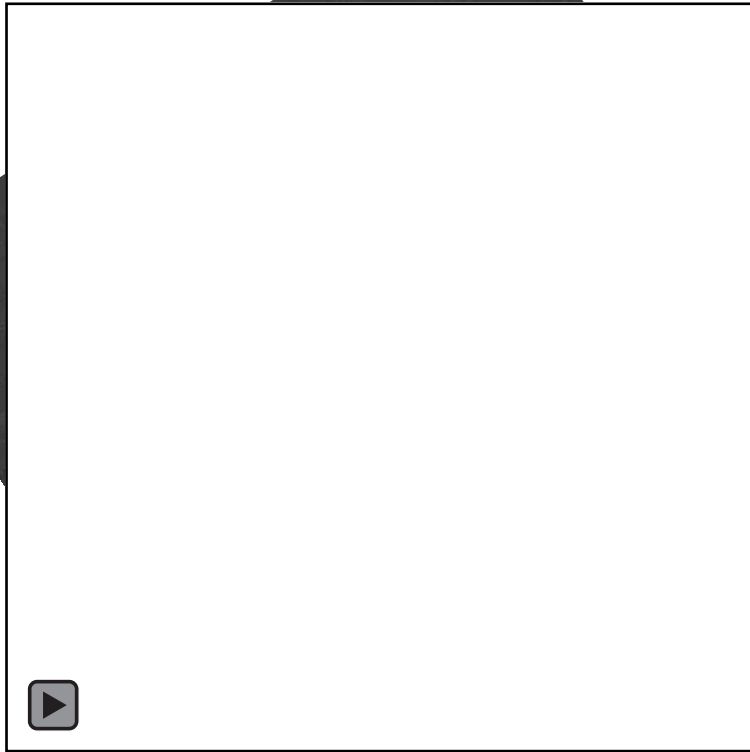
Quatrième planète découverte en 2009
Séparations de 0.38", 0.6", 0.95", 1.70"

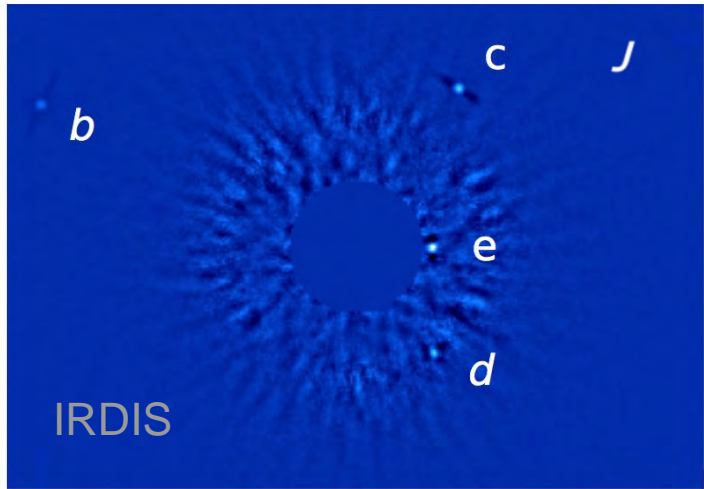
HR 8799 avec SPHERE

Systeme de quatre planètes découvertes en 2008 et 2009

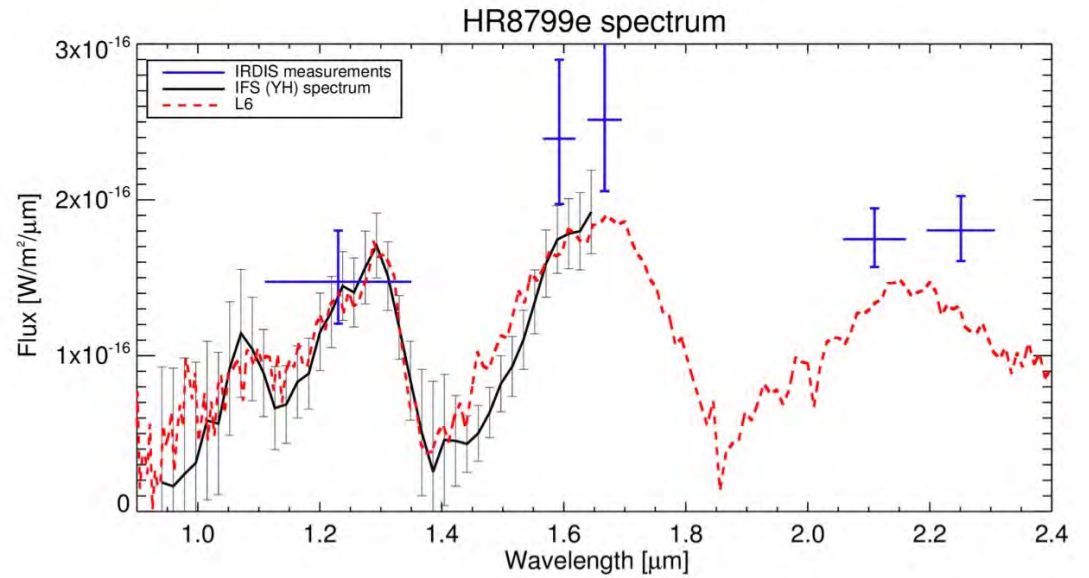
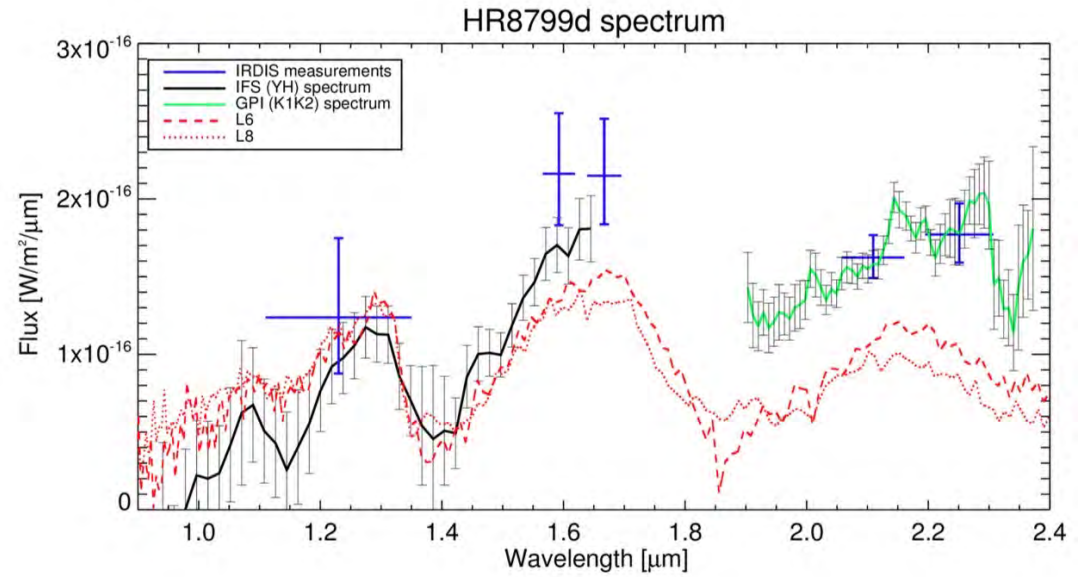
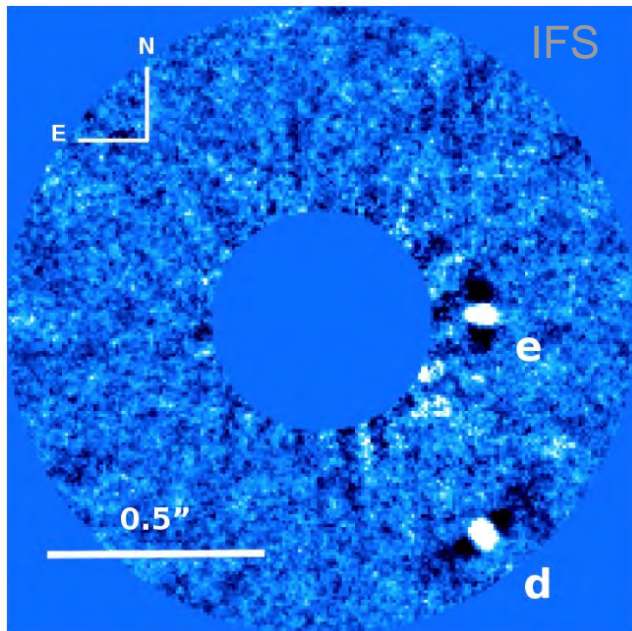
- Après traitement

- Observation brut, bande H

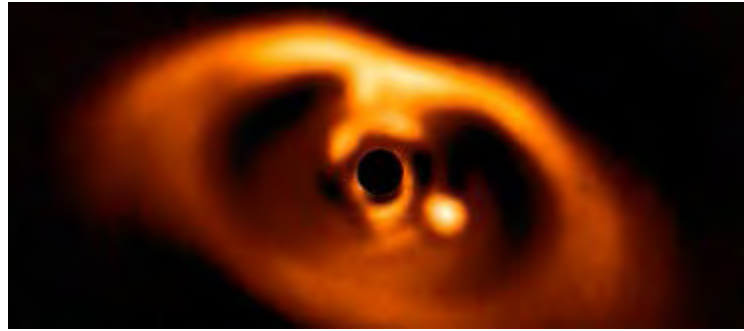




From Zurlo et al. 2016

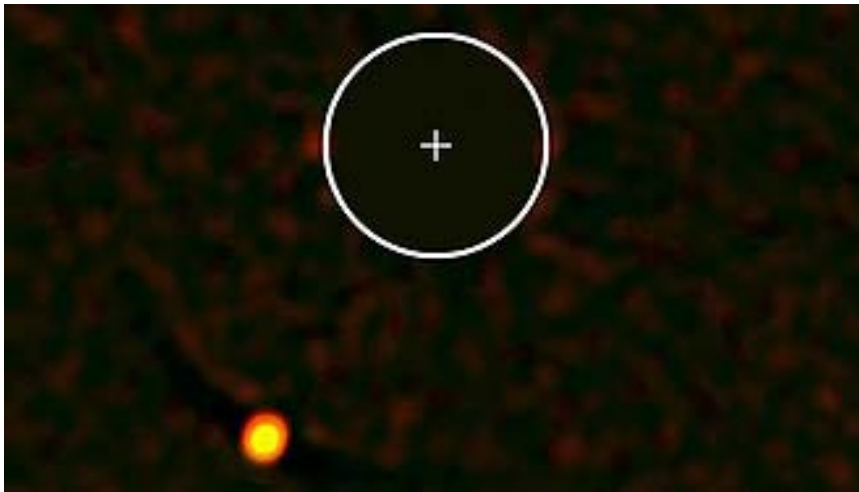


Les planètes de SPHERE



PDS 70b (2018)

Nascent exoplanet in protoplanetary disk



HIP 65426 b (2017)

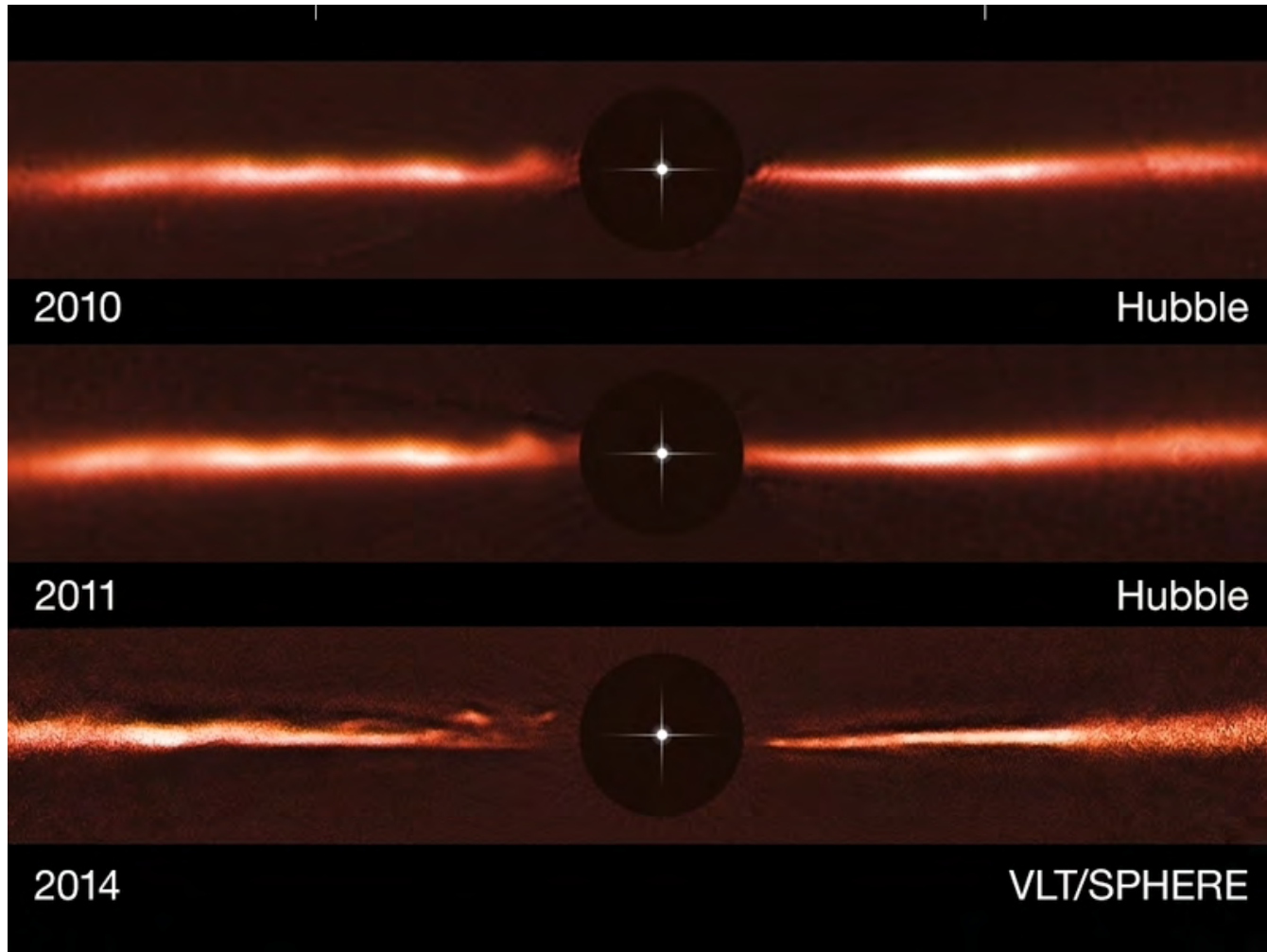
A super Jupiter exoplanet



TYC 8998-760-1 b et c (2020)


Two giant exoplanets orbiting a Sun-like star

AU Microscopii



Boccaletti et al, Nature 7 octobre 2015

Conclusions

- **SPHERE: Projet de grande importance pour la communauté**
- Livré avec retard mais pas trop
 - La concurrence US était retardé d'autant (et a moins bien marché)
- Le niveau d'ambition était en bon rapport avec la maturité technique
 - Bonne balance risque, coût, performance
- C'était le bon design pour répondre aux besoins de la communauté
 - ... et le design de l'instrument était bon 
- **L'ingénieur système a appris le métier en marchant**
- Plus de proximité avec sous-systèmes n'aurait pas fait de mal...
 - Réunions spécifiques, y compris quand « tout va bien »
 - Plus de déplacements, visites et discussions sur site
- Gérer 1000 spécifications par Excel est un peu limite
 - Outils mieux adaptés existent (DOORS et autre)
 - Nécessitent un apprentissage
 - Allez, on s'y met?