

# L'ITHD au LESIA

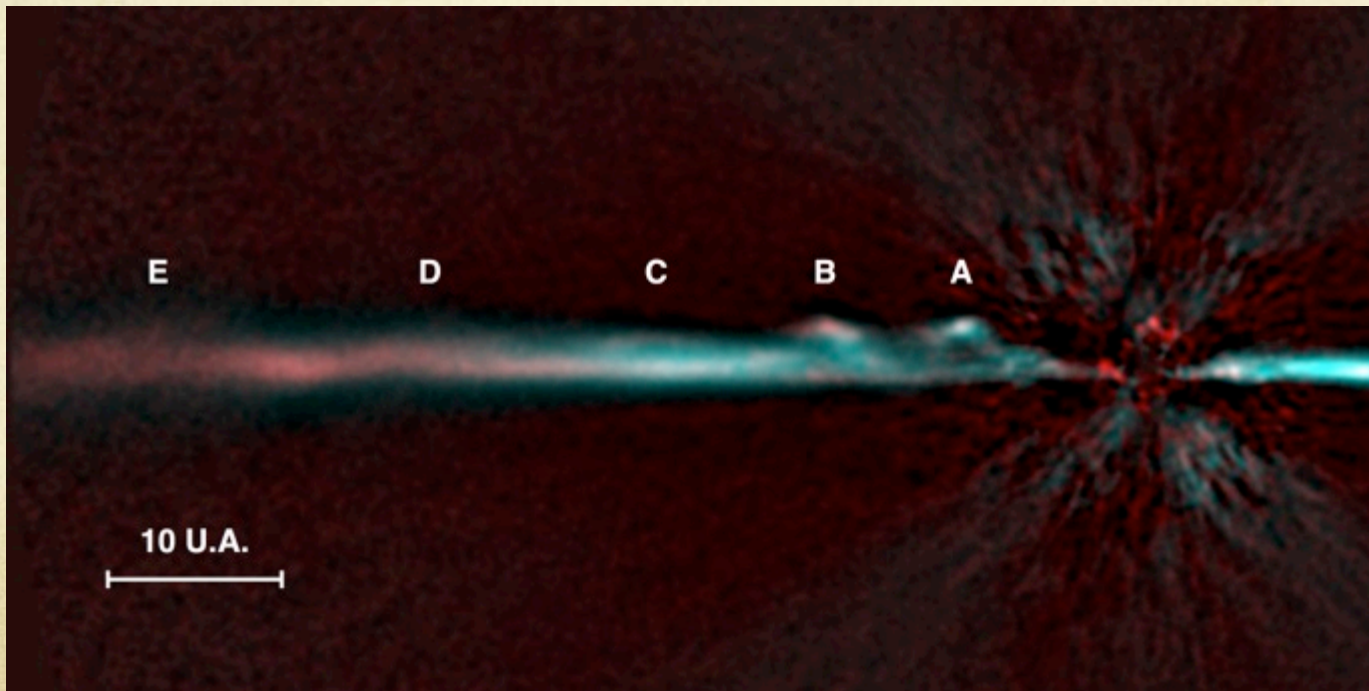


# L'ITHD au LESIA

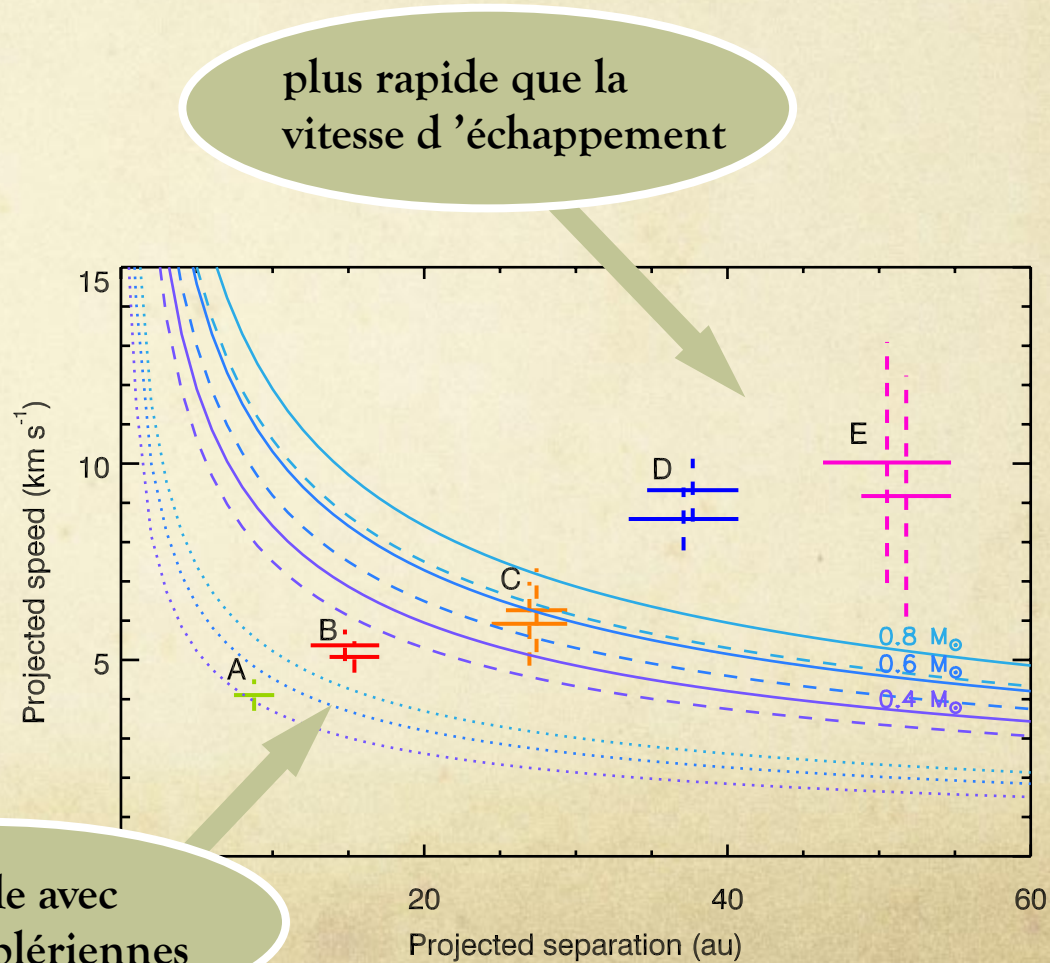
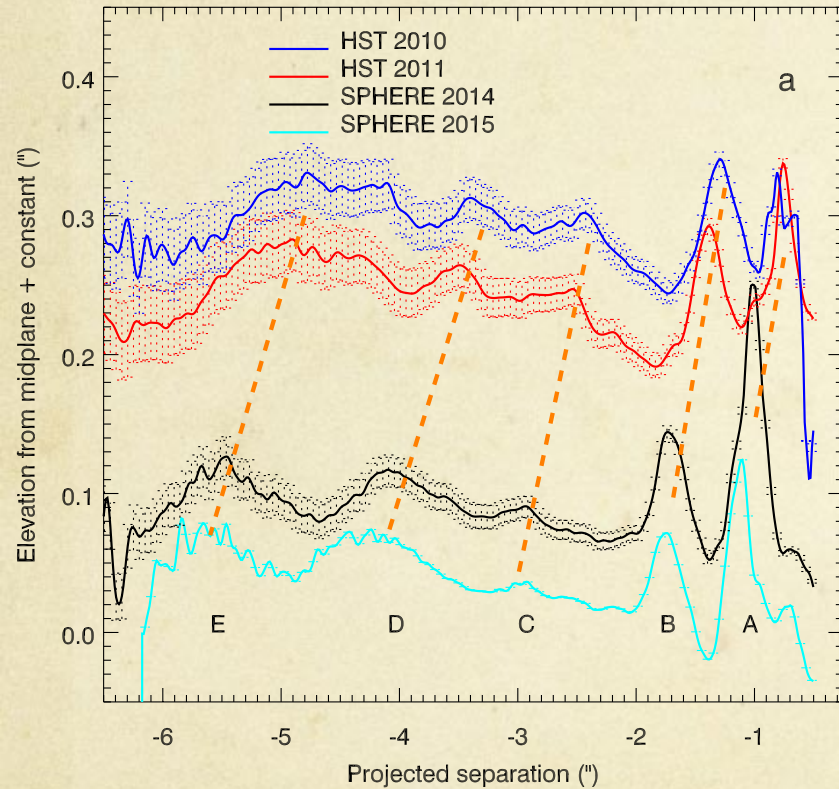
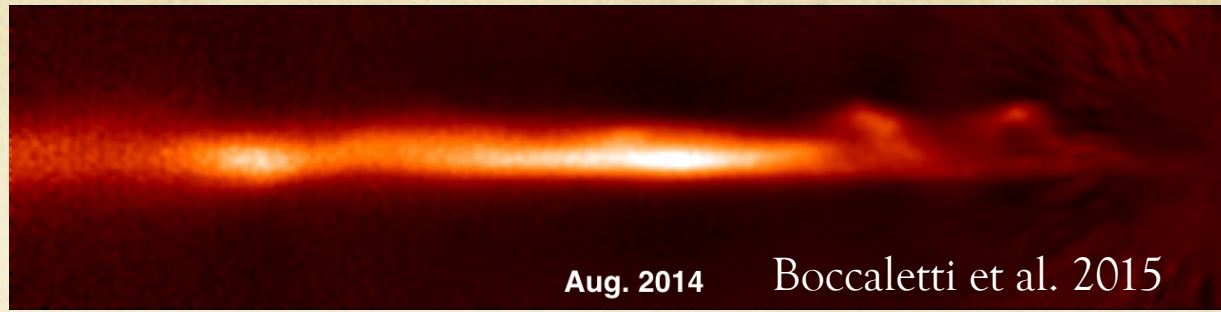
- Depuis 2000 :
  - Innovations (coronographe de phase 4 quadrants, Self-Coherent Camera, LOWFS solutions, SAM/First)
  - Bancs de R&D de laboratoire (YACADIRE, **THD**)
  - Contributions coronographiques à des instruments :
    - NACO (FQPMs)
    - **MIRI JWST**
    - **SPHERE**
    - **FIRST sur SCExAO**
    - **SCC sur PALM3000 (Palomar)**
    - **MICADO**
    - Phase A EPICS (Science + instrument SCC)
- Actuellement 7 chercheurs, 3 doctorants et 1 ingénieur pour un total d'environ 7 FTE/an (+ 2-3 Post-doctorants à venir)
- Stratégie du pôle HRAA : concept amont, prototypage laboratoire puis ciel, enfin développement d'instruments

# Résultats SPHERE

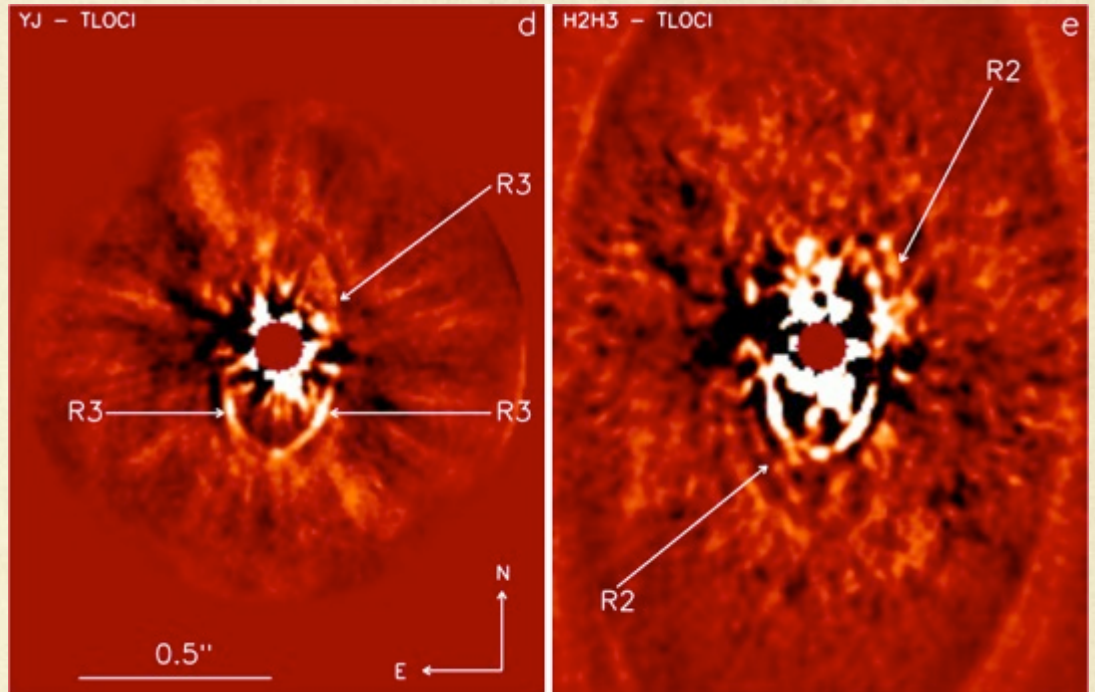
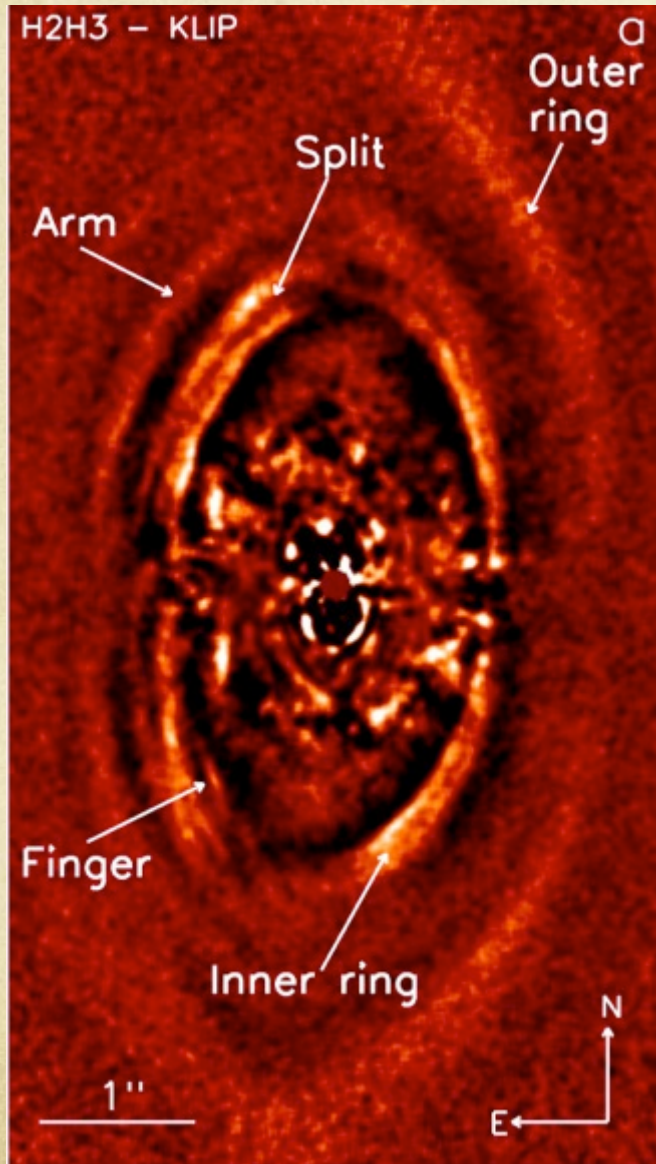
- Analyse des structures dans les disques de débris et disques protoplanétaires
- Morphologie, propriétés des grains (photométrie, spectroscopie, polarimétrie), relations disques/planètes



# Le cas AU Mic



# Autres exemples de structures



Perrot et al. 2016

Des nouveaux anneaux structurés au centre du système HD141569 (disque de transition).

Sillons de planètes ou couplage au gaz ?

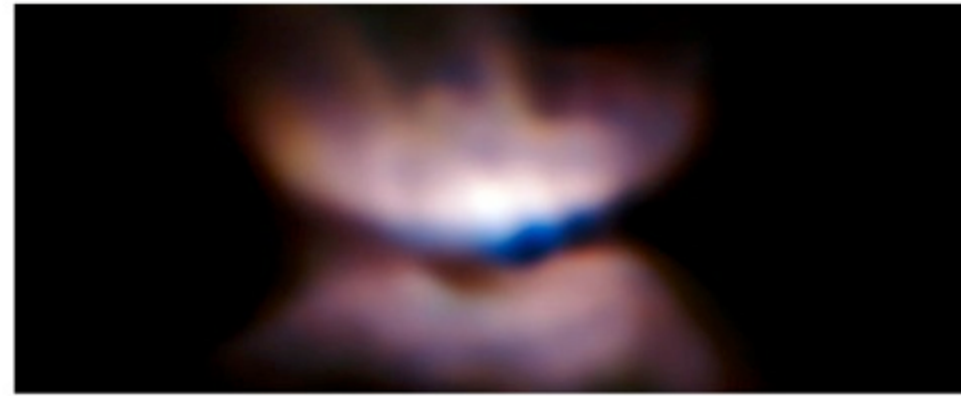
# Autres Résultats

eso1523fr — Communiqué de presse scientifique

## Un papillon céleste émerge de son cocon de poussière

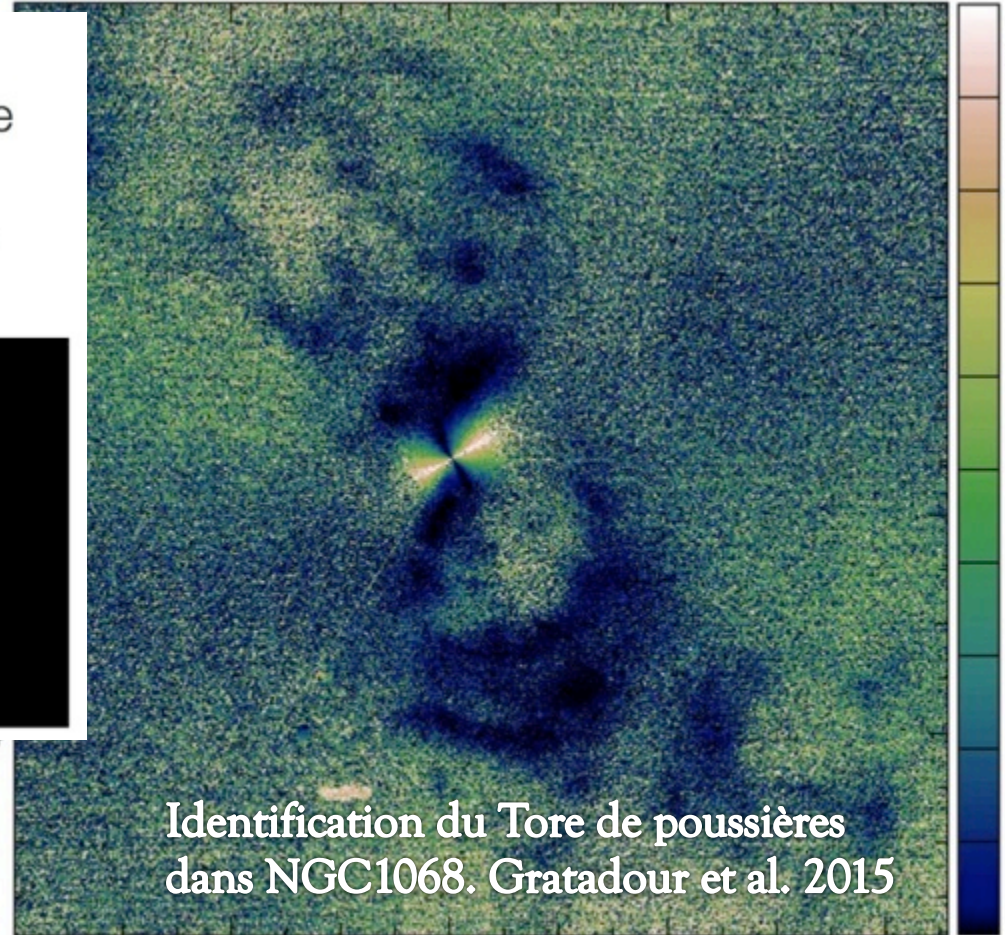
SPHERE dévoile les prémices de la formation d'une nébuleuse planétaire

10 juin 2015



Kervella et al. 2015

Difference angle with centro-symmetric 90



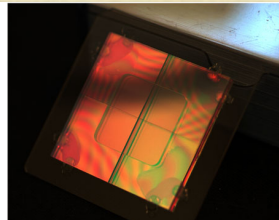
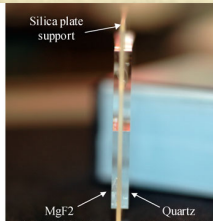
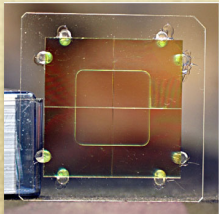
Identification du Tore de poussières dans NGC1068. Gratadour et al. 2015

4 6 8 10 4

Angular separation (")

# Expérience SPHERE

- Resp. mode **coronographique** + prototypage HW-4QPM - *collaboration LAGRANGE*
- Co-resp. **outil de simulation** (IDL CAOS)=> specs. du système + estimation des perfs. - *collaboration LAGRANGE/ONERA/IPAG/INAF/ETH*
- Design et fourniture **miroir tip/tilt** - *collaboration ONERA/IPAG*
- Fourniture du **DTTS** (pointage fin sur coronographe) - *collaboration ESO/ONERA*
- Dvpt. Banc **AIT SAXO** + participation aux tests (salle blanche bat. 18) - *collaboration ONERA*
- Tests du **Calculateur Temps Réel** - *collaboration ONERA*
- Resp. **mode SAM** + fourniture masque SAM
- Développement du code de réduction **SPECAL** - *collaboration IPAG*
- Participation aux Data Reduction Team + Observations



# Expérience SPHERE

Bande Y

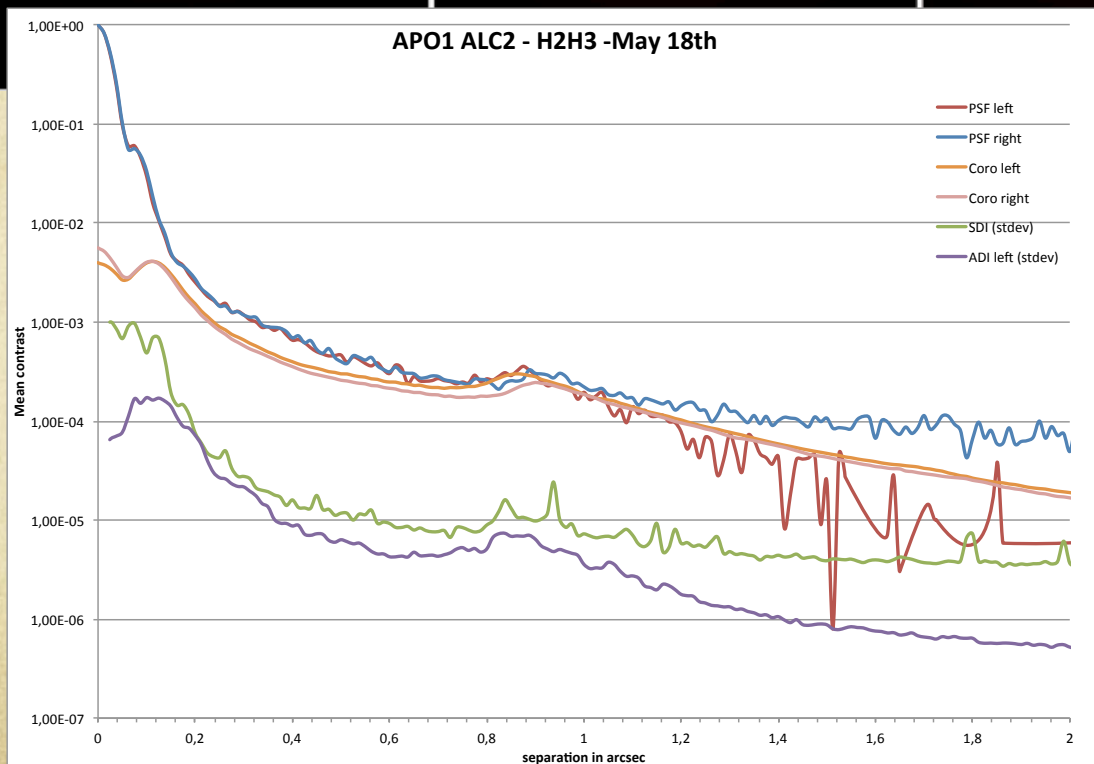
Bande J

Bande H

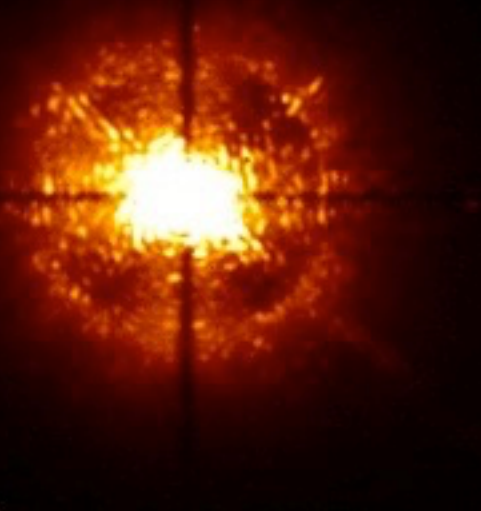
Bande Ks

corono APLC

Achromatique !!!



corono HW4QPM  
Trop sensible basse freq.







# Coronographes MIRI/JWST

## ○ Objectifs :

- Responsable mode coronographique de MIRI/JWST:
  - Développement des 4 coronographes de MIRI/JWST (3 FQPM+ 1 Lyot)
  - Outils de simulation du mode coronographique de MIRI
  - Préparation du GTO

## ○ Ressources humaines LESIA (>10 FTE sur 10 ans):

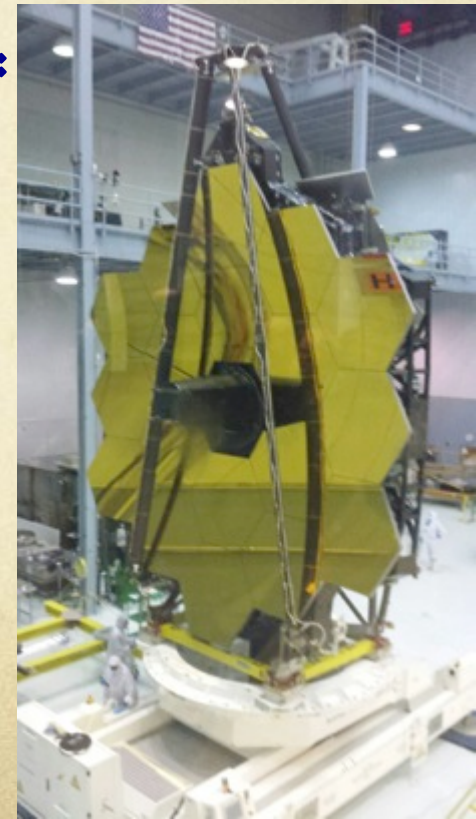
- 3 chercheurs, 2 thésitif, 6 ingénieurs

## ○ Collaborations :

- Consortium MIRI - PI Caméra : P.O. Lagage (CEA)
- CEA pour outils de simulation
- STScI pour pipeline

## ○ Calendrier :

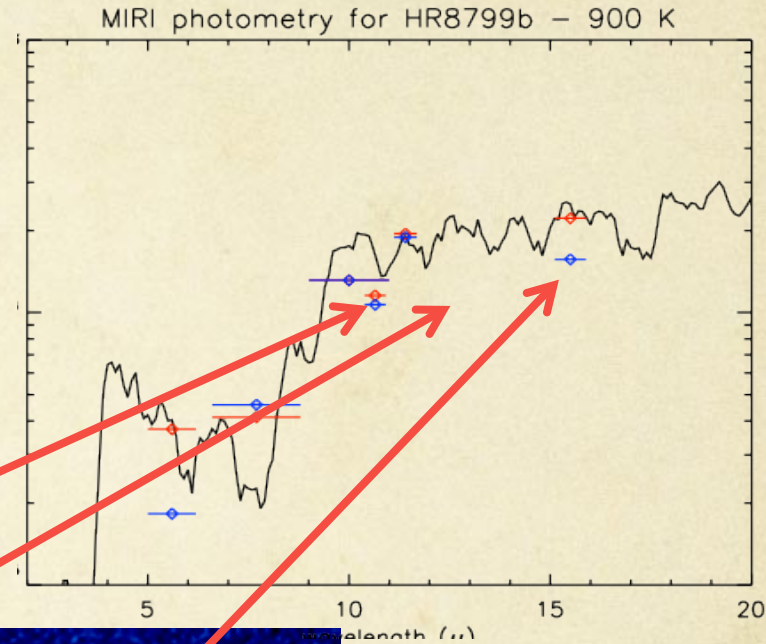
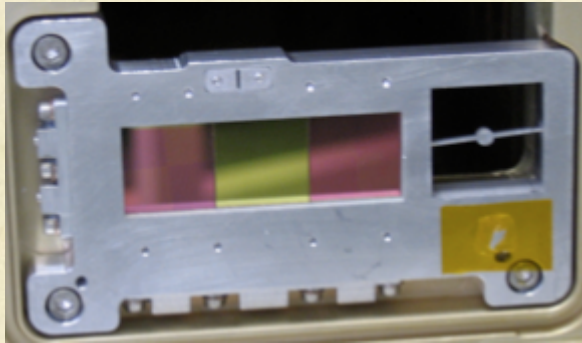
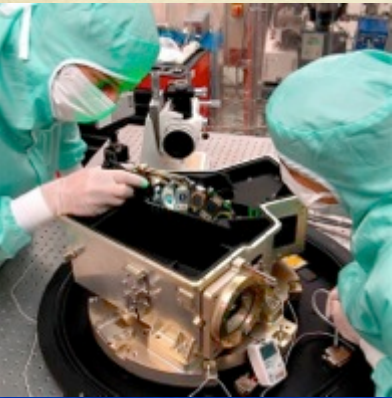
- 2012 : Livraison de MIRI
- 2018 : lancement



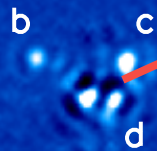
# Coronographes MIRI/JWST

## ○ Résultats principaux :

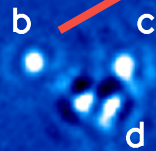
- Simulations des performances, du mode de peak-up, mesures des performances sur le simulateur de télescope au RAL, ...
- Boccaletti et al. 2005, Baudoz et al. 2006, Cavarroc et al. 2008, Boccaletti et al. 2015



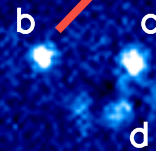
-1e-4      -5e-3      0      5e-3      1e-4



F1065C



F1140C



F1550C

Simulation du système HR8799 vu par MIRI

# Mode haut contraste de MICADO

## ○ Objectifs :

- Le mode haut contraste est l'un des 4 modes d'observation standards de MICADO (imagerie, astrométrie, spectroscopie, haut contraste)
- Figure dans les tech spec de l'instrument
- TLRs :
  - $1e-4$  @ 100 mas (goal  $5e-5$  @ 20 mas)
  - $1e-5$  @ 500 mas (goal  $5e-6$  @ 100 mas)
- Composants envisagés : masque de Lyot, 4QM, Vortex, vAPP, SAM
- Cas scientifiques
  - Orbites à 1-2 UA autour d'étoiles proches et jeunes
  - Orbites à 10-20 UA autour d'étoiles en formation
  - Disques

# Mode haut contraste de MICADO

- **Responsabilité LESIA :**
  - Simulation des performances
  - Livraison et tests des composants
- **Ressources humaines LESIA (>4 FTE sur 10 ans) :**
  - 5 chercheurs, 2 thésitifs, 1 postdoc, 3 ingénieurs
- **Collaborations :**
  - Consortium MICADO
  - Leiden pour étude en simulation du vAPP
  - Univ. Liège pour prototypage Vortex
- **Calendrier :**
  - 2015 : Kick-Off
  - 2018 : PDR
  - 2020 : FDR

# Le mode haut contraste de MICADO

## Plan Focal d'entrée :

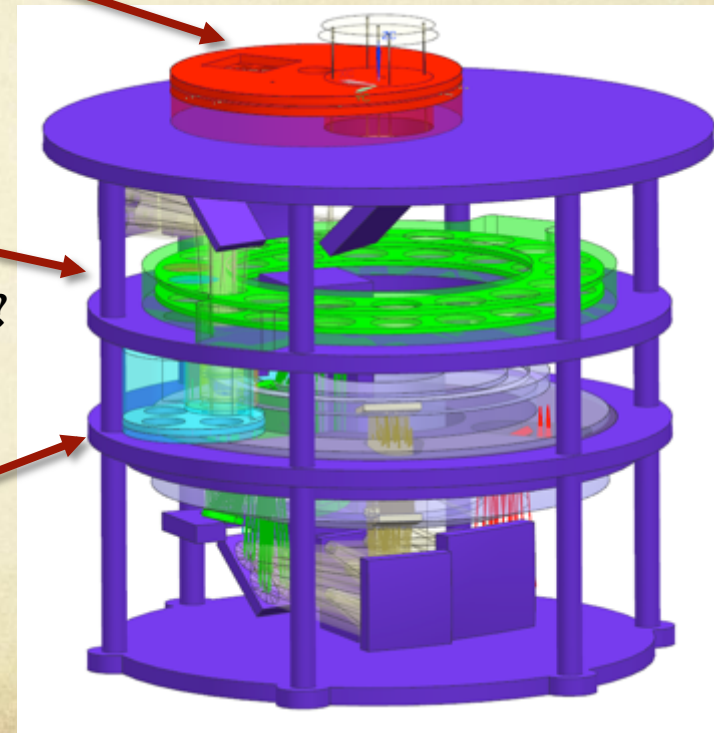
- 2 masque de Lyot classique (pas d'apodisation en amont possible)
- 1 Masque de phase (vector vortex)

## Roue à filtre :

- Filtres étroit (pas d'ADC en amont du coronographe)
- Densité neutre (photométrie hors coronographe) ?

## Diaphragme de Lyot :

- 1 à 2 diaphragmes de Lyot
  - 1 à 2 Masque pupillaire non-redondant
  - 1 à 2 Apodiseurs en plan pupille
- (autre design à l'étude pour augmenter le nombre de position en plan pupille)



# FIRST sur SUBARU

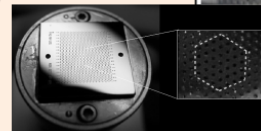
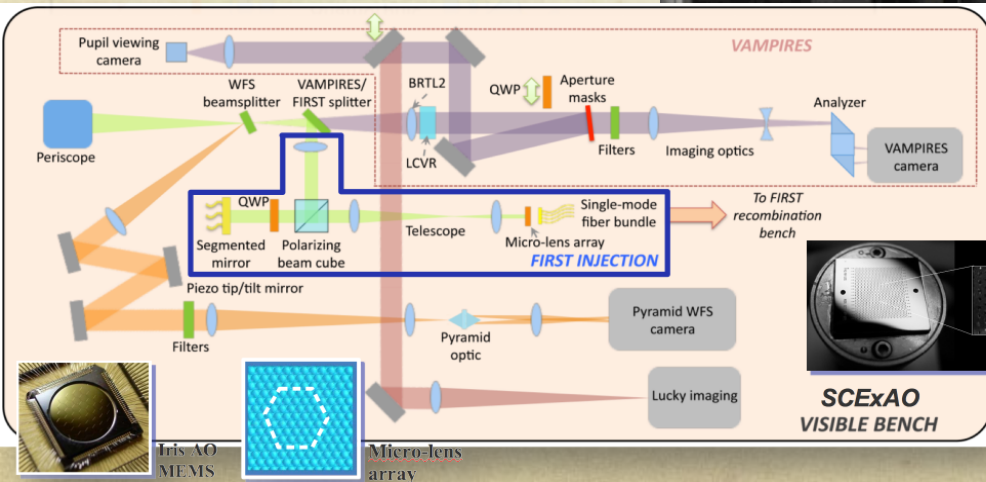
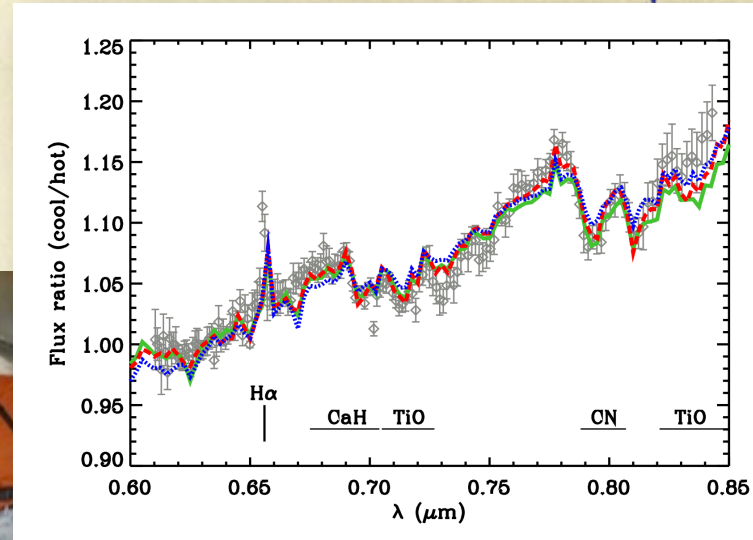
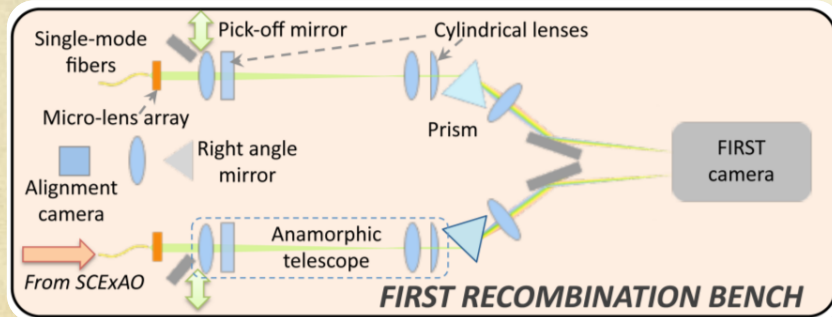
- **Objectifs :**
  - Observation astronomique avec un nouveau mode interférométrique sur un télescope de 8m
- **Ressources humaines (5 FTE sur 5 ans) :**
  - 2 chercheurs, 1 thésitif, 2 ingénieurs
- **Collaborations:**
  - SUBARU : 1 thésitif, ingénieurs du télescope
  - Univ. Liège : 1 postdoc
- **Financement :**
  - CSA, CS Obs. Paris
- **Calendrier :**
  - 2014 : Installation sur SCExAO SUBARU

# FIRST sur SUBARU

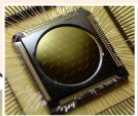


## ○ Résultats principaux :

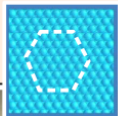
- Publi ?, un ou 2 chiffres clefs ?



Fiber bundle



Iris AO MEMS



Micro-lens array



# Self-Coherent Camera à Palomar

## ○ Objectifs :

- Self-Coherent Camera + Vortex
- Correction active des quasi-statiques sur le ciel

## ○ Ressources humaines (0.3 FTE sur 1 an) :

- Lesia: 2 chercheurs, 1 thésitif, 2 ingénieurs

## ○ Collaborations :

- Palomar: 1 chercheur, 1 thésitif, ingénieurs du télescope

## ○ Financement :

- CS Obspm, Région, CSA : 30 k€

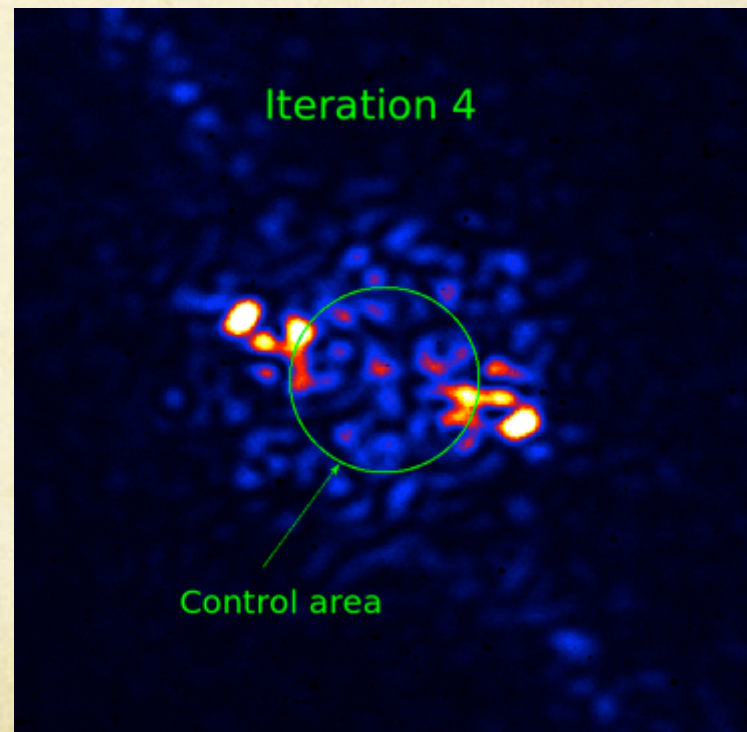
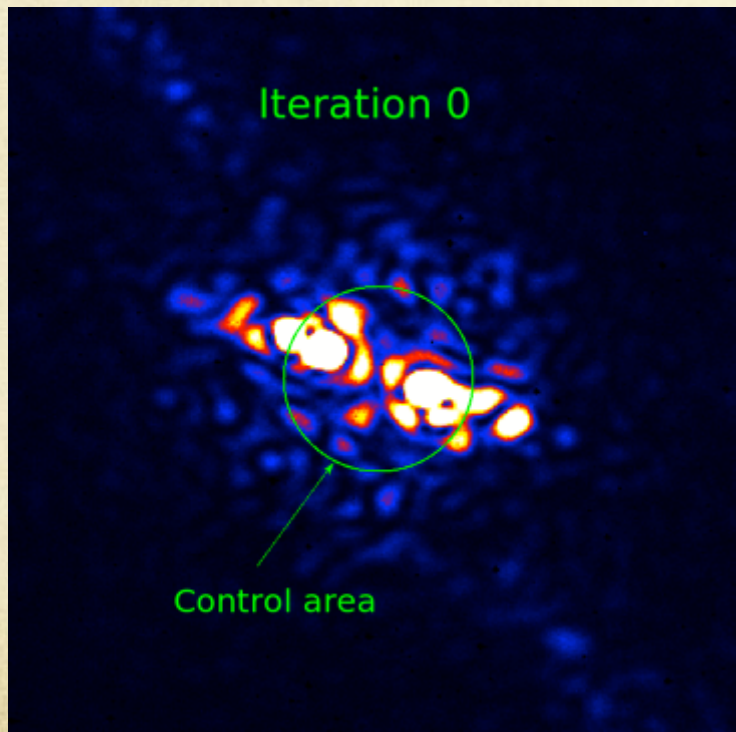
## ○ Calendrier :

- Printemps 2015 : résultats sur source interne
- Automne 2016 : run prévu sur le ciel

# Self-Coherent Camera à Palomar

## ○ Résultat principal :

- Gain en contraste d'un facteur 10 en 4 itérations sur source interne



# Spécificité de la R&D développée au LESIA

Etude amont aussi bien pour les systèmes coronographiques que pour le pupil remapping

- => Banc THD : correction à haut contraste ( $>10^7$ )
- => R&D en interférométrie pour le haut contraste
- Composants coronographiques:
  - Reproductibilité FQPM (Collaboration GEPI)
  - Dvlt. 6-Layer phase mask coronagraph (Collaboration GEPI)
  - Dvlt. Multi-Layer: 4Q++ (Collaboration ESIEE)

# Banc THD/THD2

## ○ Objectifs :

- Etude des interactions entre les performances et les composants d'un système à très haut contraste ( $> 10^7$ )
- Banc de R&D reproductible, polyvalent et ouvert aux collaborations

## ○ Ressources humaines (10 FTE sur 8 ans) :

- Lesia: 3 chercheurs, 4 thésitifs, 4 ingénieurs, 1 (+1 à venir) postdoc

## ○ Collaborations :

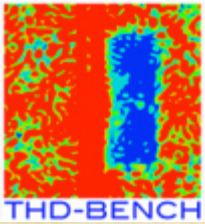
- LAM, Lagrange, ONERA, Univ. Hokkaido, NAOJ, SRON, Univ. Shanghai

## ○ Financement :

- CS Obspm, Région, CSA, CNES, ESEP : 500 k€

## ○ Calendrier :

- 2008 : Mise en place THD
- 2015 : Upgrade THD2 (2 DM) => correction phase+ amplitude
- 2016-2018 : Optimisation du contrôle phase+amplitude+ chromatisme avec plusieurs DM



# Résultats R&D sur le THD

## ○ Résultats principaux :

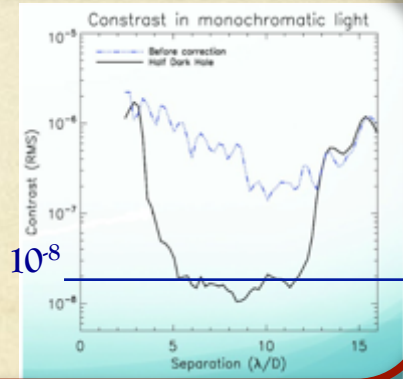
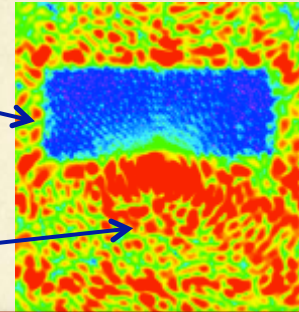
➤ Plus de 15 Publications (5 à referee ou acceptées)

➤ Résultats en monochromatiques ( $< 10$  nm)

*Contraste:  $< 2 \cdot 10^{-8}$  entre  $5 \lambda/D$  and  $12 \lambda/D$*

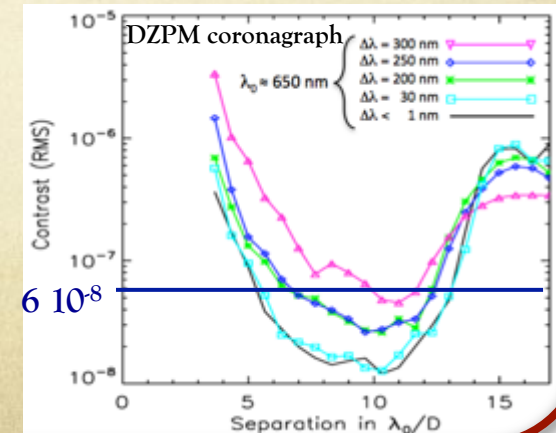
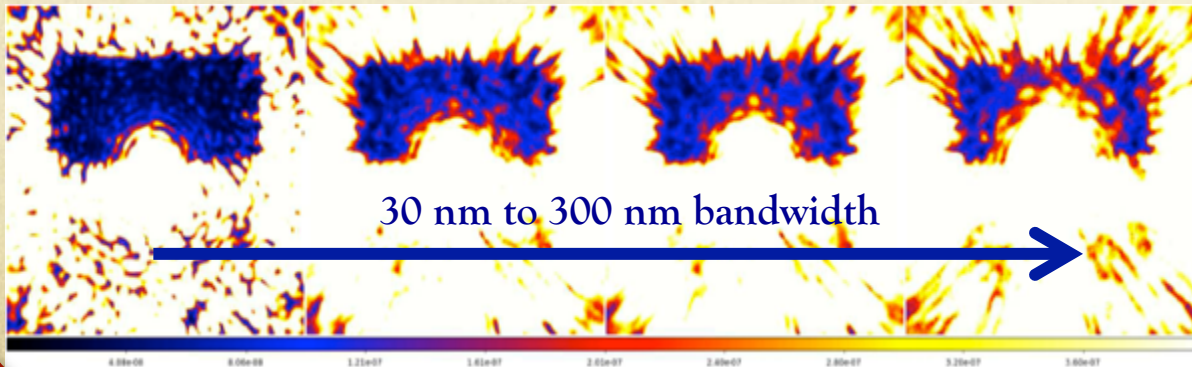
*Limitation du THD1 = erreurs d'amplitude*

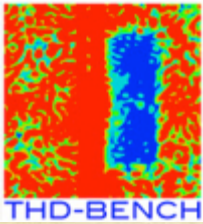
*Réduite d'un facteur  $> 20$  sur le THD2*



➤ Achromaticité du banc THD

➤ Contraste dégradé d'un facteur 3 pour 250 nm de largeur spectrale (37%)





# Un banc de test complet

## Module Source : du laser aux larges bandes spectrales $> 300$ nm (en visible)

- Source supercontinuum à large bande spectrale (450 to 950 nm) + roue à filtres
- Diode laser @ 638 nm & 785 nm
- Source Flat-Field @ 650 nm
- Fluxmètre, Spectromètre



## Miroirs actifs

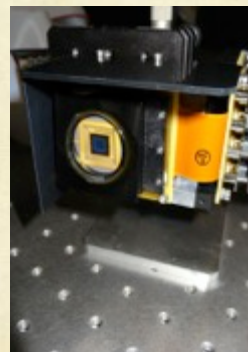
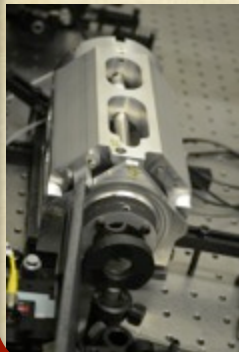
Miroir Tip Tilt  
(prototype  
SPHERE)

3 Miroirs déformables

34x34  
actionneurs

12x12  
actionneurs

32x32  
actionneurs



## Caméras & Analyse

Voie science + Self-  
Coherent Camera

Low-order  
wavefront Sensor

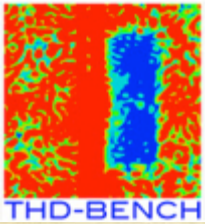
- 100 Hz
- 3 e- RON

- 500 Hz
- 18 e- RON



## Etalonnage & Suivi de l'instrument

Enregistrement simultané: images provenant des caméras, commandes appliquées aux miroirs actifs, flux total et spectre de la lumière injectée, température & humidité ( $\approx 10$  sondes), configuration du banc,...



# Polyvalent et ouvert aux collaborations

Tests of coronagraphic components	Avancement	Collaboration
Four Quadrant Phase Mask	✓	GEPI/Obs. Paris
Multi-Four Quadrant PM	✓	GEPI/Obs. Obs.
Apodized Dual Zone PM	✓	M. N'Diaye (LAM, France)
8-Octant Phase Mask	09/2015 =>	N. Murakami (Hokkaido Univ.)
Vector Vortex	09/2015 =>	J. Nishikawa (NAOJ)
6-Layers Phase Mask	09/2016 =>	Q. Cao ( Shanghai Univ.)
<b>Wavefront control</b>		
Monochromatic & Polychromatic Self-Coherent Camera	✓	Dvlpt at Paris Obs.
Amplitude & Chromatism correction	12/2015 =>	Dvlpt at Paris Obs. & Collab Lagrange
Coronagraphic diversity (COFFEE algorithm)	01/2016 =>	L. Mugnier, J.F. Sauvage (ONERA, France)
Optimization of algorithms, system study, etc...	2016 (TBC) =>	SRON (Netherlands)

# R&D en interférométrie

## ○ Objectifs :

- Utilisation des nouvelles technologies en optique guidée issues du domaine des télécommunication

## ○ Ressources humaines (10-15 FTE sur 5 ans) :

- Lesia: 2 chercheurs, 2 thésitifs, 1 ingénieurs, 2 postdoc

## ○ Collaborations :

- IPAG, Subaru

## ○ Financement :

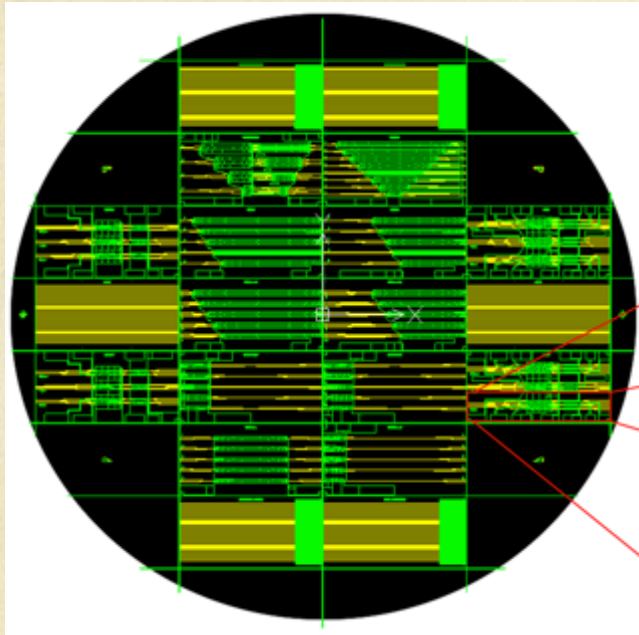
- ERC : 1.8 M€

## ○ Calendrier :

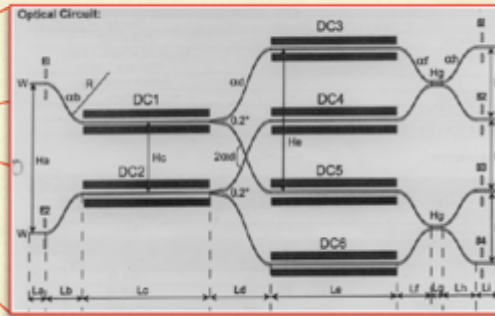
- 2015-2020



# R&D en interférométrie

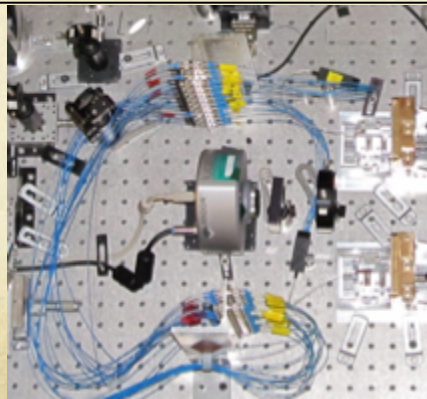


Utilisation des nouvelles technologies en optique guidée issues du domaine des télécommunication



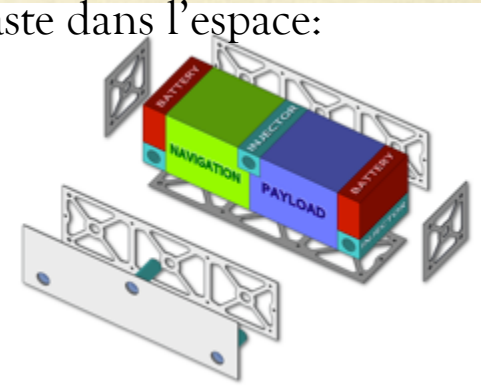
Perspectives:

Haut contraste au sol:



Utilisation sur des télescopes de 8m. Ex : SUBARU

Haut contraste dans l'espace:



Utilisation à bord de Nanosats

# Axes Prioritaires du LESIA

## Moyen terme:

- Module coronographique de MICADO
- Précurseur PCS - Upgrade SPHERE ? Autre ?

## Long terme:

- Quel ELT-PCS ?
- Coronographes spatiaux

## Moyen mis en oeuvre:

- Banc de test MICADO
- R&D THD en préparation coronographe spatiaux et ELT-PCS
- R&D ouverture diluée et optique guidée

# WFIRST-AFTA

## ○ Objectifs :

- Participation à la mission WFIRST-AFTA
  - Simulation des performances
  - Groupe scientifique (FSWG)

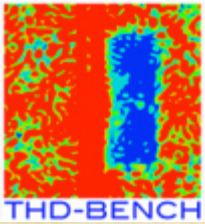
## ○ Opportunités :

- 1<sup>er</sup> instrument dédié à l'ITHD dans l'espace
- 1<sup>er</sup> DM dans l'espace

## ○ Calendrier :

- Juillet 2016: Choix de 2 représentants Européens pour WFIRST
- Participation Française => renforcer notre position en Europe en imagerie directe des planètes extrasolaires

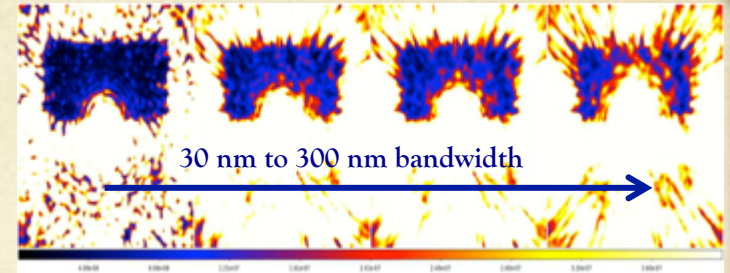




# Description du banc THD 2

## Même capacités que le THD 1:

- ✓ Design achromatique (miroirs)
- ✓ Compatible avec beaucoup de corono.
- ✓ Environnement stabilisé (pas de vide) et contrôle totalement automatisé
- ✓ Boucle de basse fréquence spatiale (tip-tilt) dédiée

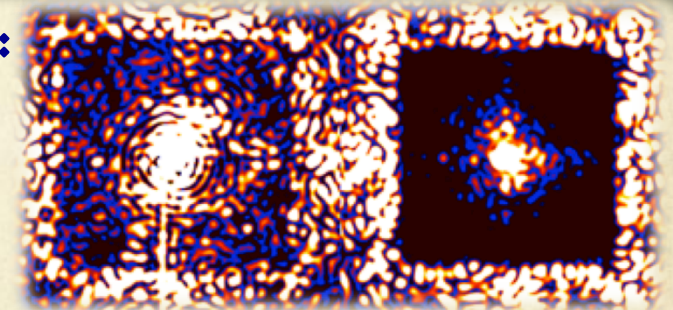


## Amélioration mise en place sur le THD 2 :

- ✓ Correction phase ET amplitude  
⇒ 3 miroirs déformables (DM)

- ✓ Meilleure stabilisation de l'environnement

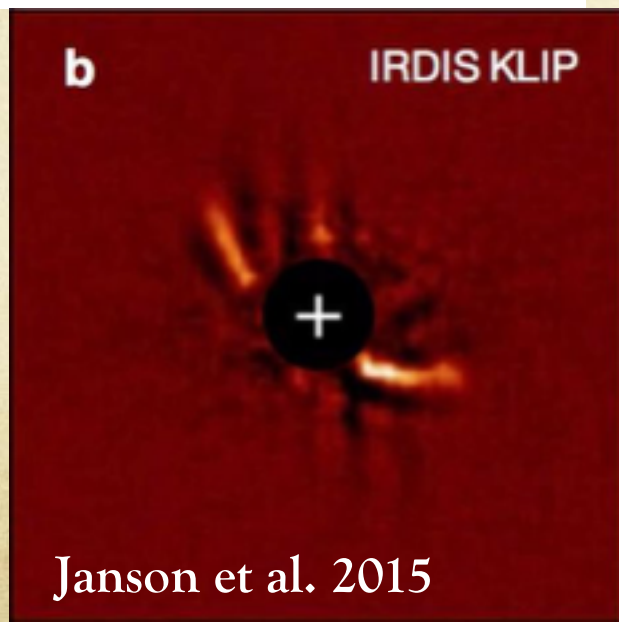
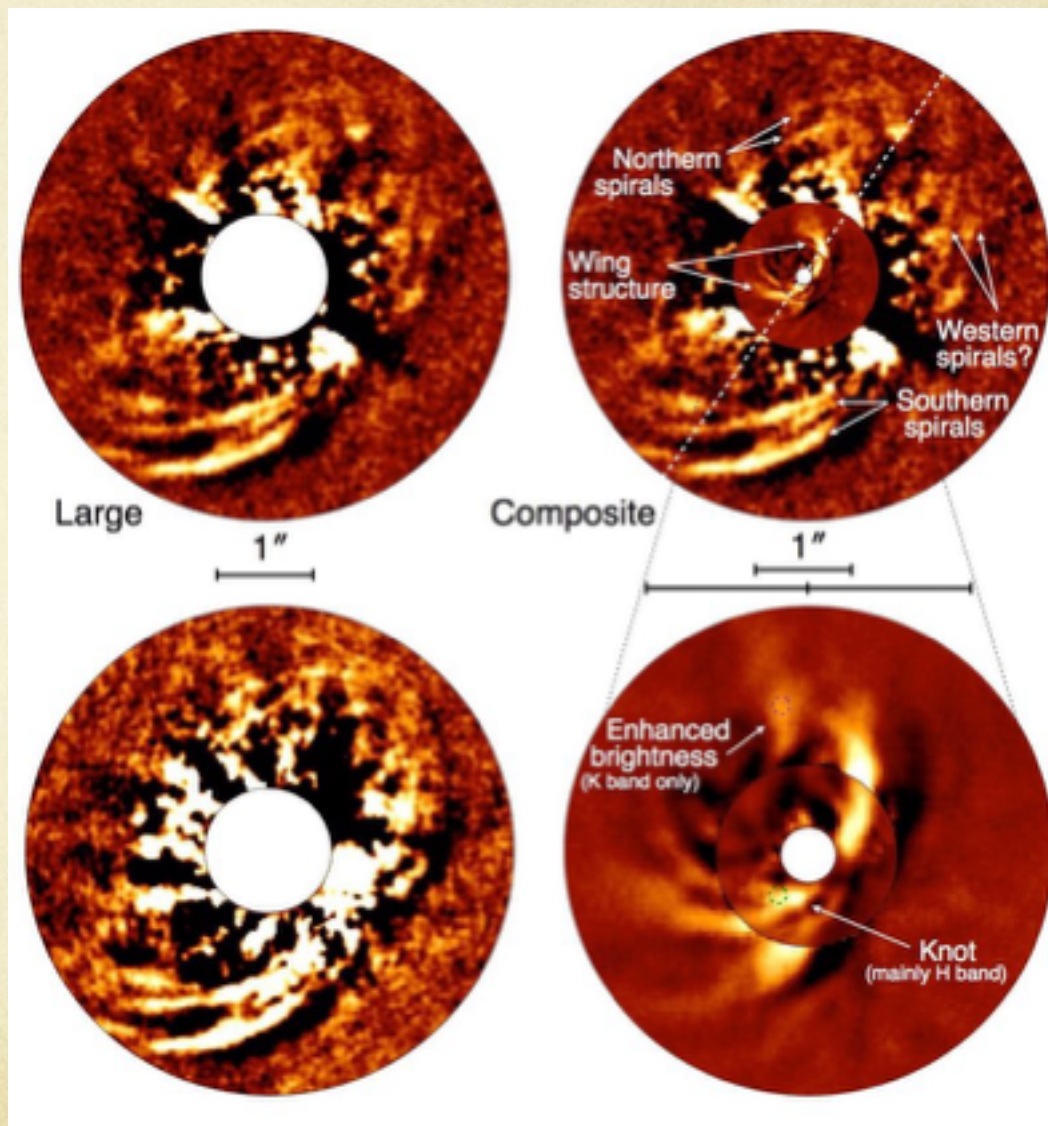
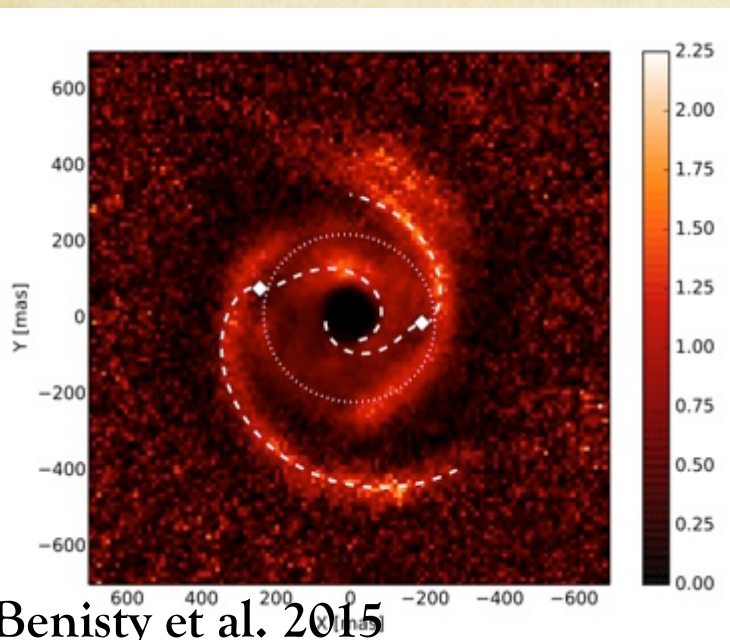
- ✓ Meilleur étalonnage et suivi des données environnementales (T°, spectre, etc)



THD 1 (1 DM)

THD 2 (avec 2 DM seulement)

# Autres exemples de structures



Garuffi et al. 2016

Janson et al. 2015