

Observer les disques protoplanétaires avec ALMA, premiers résultats

Edwige Chapillon

LAB/IRAM



© Padilla/ALMA

ALMA

ALMA spécifications :

- Early science

	Cycle 0	Cycle 1	Cycle 2
Antennes	16	32 + 9	34 + 9 + 2
Resolution	~400m	~ 1km	~ 1km (b8,9) ~ 1.5km (b3,4,6,7)
ACA, TP	non	ACA limité	ACA + TP limité
Recepteurs	3,6,7,9	3,6,7,9	3,4,6,7,8,9 (85–690 GHz)
Polarisation	non	non	limité

- Construction achevée :

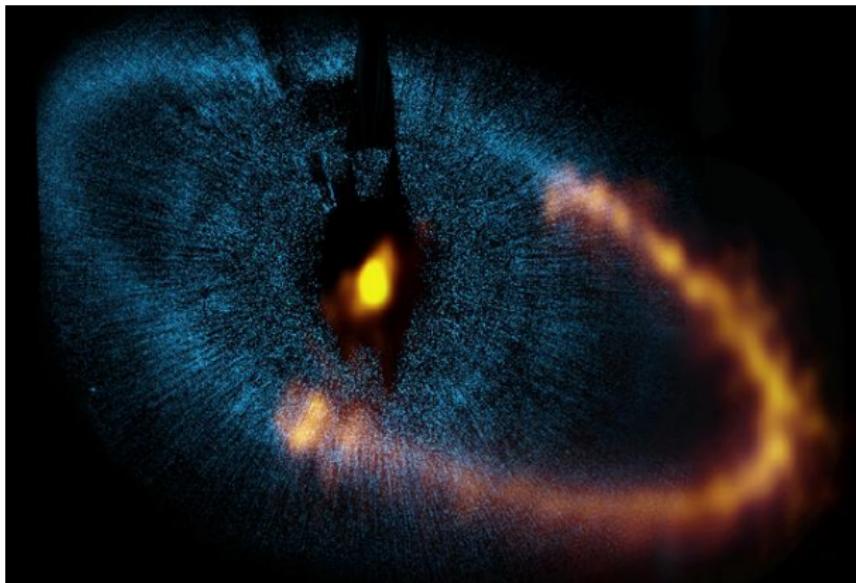
	Final
Antennes	66 (50 12m + 12 7m + 4 12m)
Resolution	~ 16km
ACA, TP	ACA + TP
Recepteurs	(1,2) 3,4,6,7,8,9,(10) (30–950 GHz)
Polarisation	totale

Résolution angulaire :
~ 2'' – –0.01''

Taille des disques
protoplanétaires :
100 – –1000UA

Première publication ALMA : Fomalhaut

Boley et al. 2012 ApJ 750L 21B



- Observation continuum à 350 GHz, $1.5 \times 1.2''$
- Anneau avec bords francs
- → confinement par des planètes

©ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) NASA/ESA Hubble Space Telescope

Disques de transition

Disques dont la distribution en poussière montre une cavité interne, la cavité pouvant encore contenir du gaz

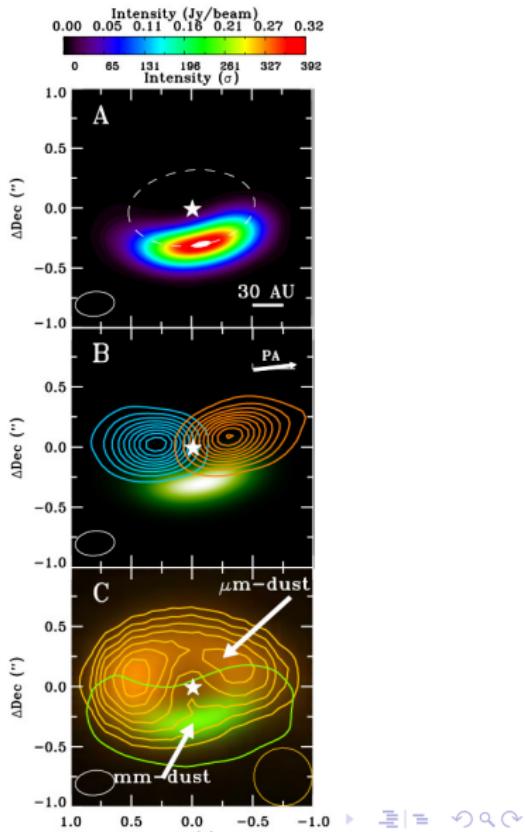
Asymétries dans les disques : Oph IRS 48

Van der Marel 2013 Science

- B9 observation ($0.3 \times 0.2''$) de Oph IRS 48 (type A)
- très forte asymétrie du disque de poussière mm (contraste ~ 130)
- anneau en CO 6-5 et poussières μm
- \rightarrow “dust trap”, compagnon(s)

A : continuum à 685 GHz. B : émission intégrée CO 6-5,

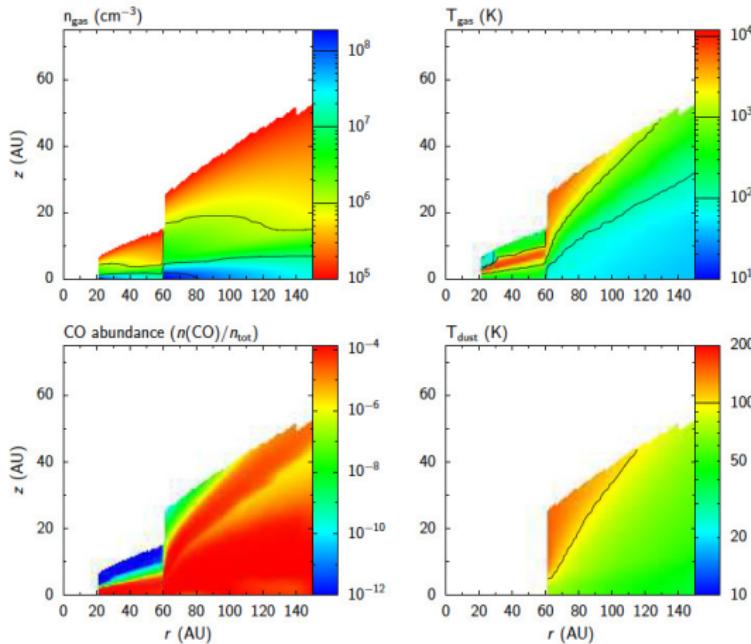
C : carte VLT/VISIR 18.7 μm



Asymétries dans les disques : Oph IRS 48

Bruderer et al 2014

- ^{12}CO 6-5 observation de Oph IRS 48
- model physico-chimique
- masse du disque de gaz
 $\sim 1.4 \times 10^{-4} M_{\odot}$
- indiquerait gaz/poussière ~ 10
- rayon interne en gaz ~ 20 AU
- companion(s)



Asymétries dans les disques : HD 142527

Casassus et al 2013 nature

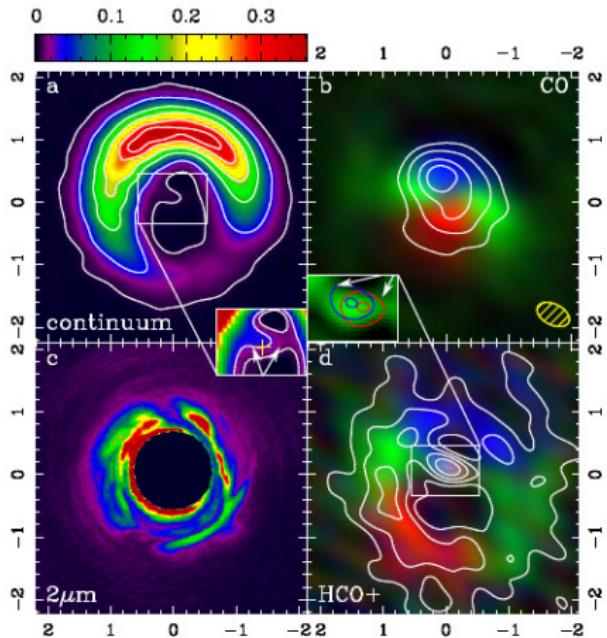


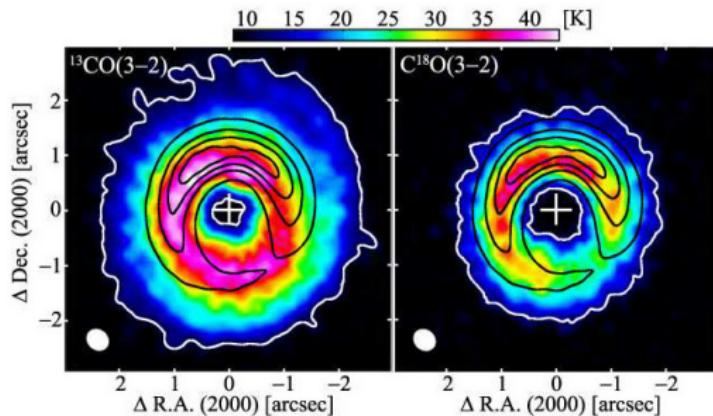
Figure 1 ALMA observations of HD 142527, with a horseshoe dust continuum surrounding a cavity that still contains gas. We see diffuse CO gas in Keplerian rotation (coded in doppler-shifted colours), and filamentary emission in HCO^+ , with non-Keplerian flows near the star (comparison models illustrative of Keplerian rotation are shown in SI). The near-IR emission abuts onto the inner rim of the horseshoe-

- continuum + ^{12}CO 3-2 and HCO^+ 4-3 dans HD 142527 (HAe)
- forte asymétrie "fer à cheval" en continuum
- filament en HCO^+

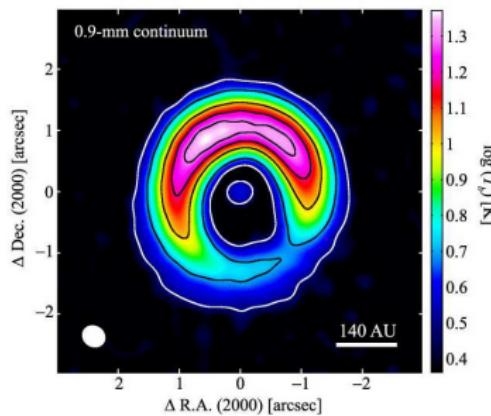
Asymétries dans les disques : HD 142527

Fukagawa et al 2013 PASJ

- continuum + ^{13}CO et C^{18}O 3-2 dans HD 142527
- anneau (en poussière et gaz) + disque interne
- forte asymétrie “fer à cheval”



contours noirs = continuum, couleur = gaz



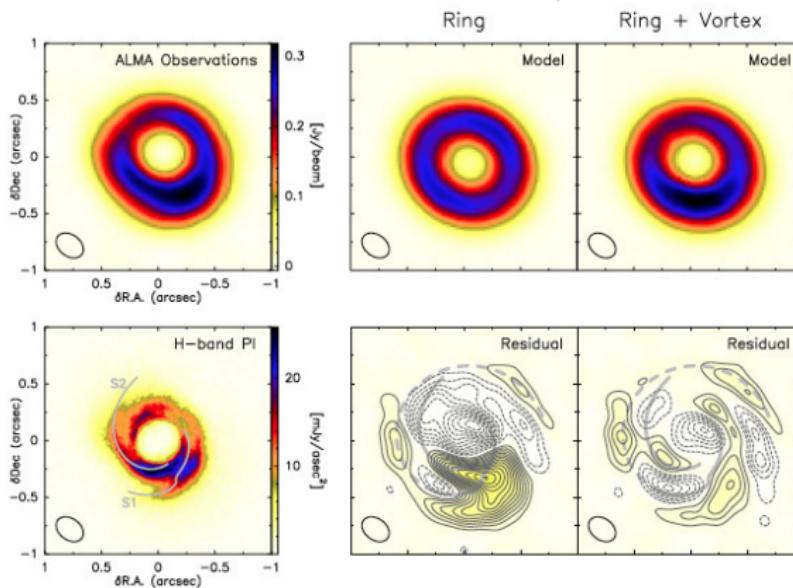
continuum

densité de surface au pic = 28g cm^{-2} → gravitationnellement instable
 ⇒ formation planétaire ?

Asymétries dans les disques : SAO 206462 et SR 21

Perez et al. 2014

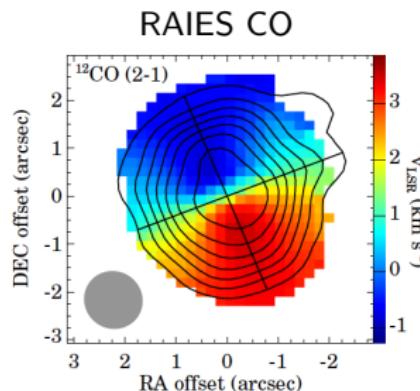
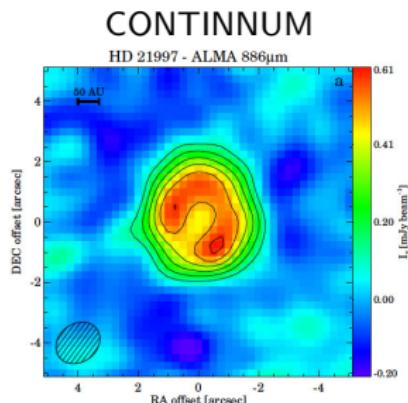
B9 observations continuum + ^{12}CO



- anneau + vortex (15 – 28 % du flux total)
- pour SAO 206462, coïncidence marginale avec la structure spirale détectée en IR

Anneau “lisse” : HD 21997

Moor et al 2013 ApJ 777L ; Kospal et al 2013 ApJ 776



- anneau “homogène”,
- rayon interne $\sim 55\text{AU}$

- ^{12}CO et ^{13}CO 2-1 et 3-2 + C^{18}O 3-2
- pas de trou \rightarrow disque interne riche en gaz et dépourvu de poussières

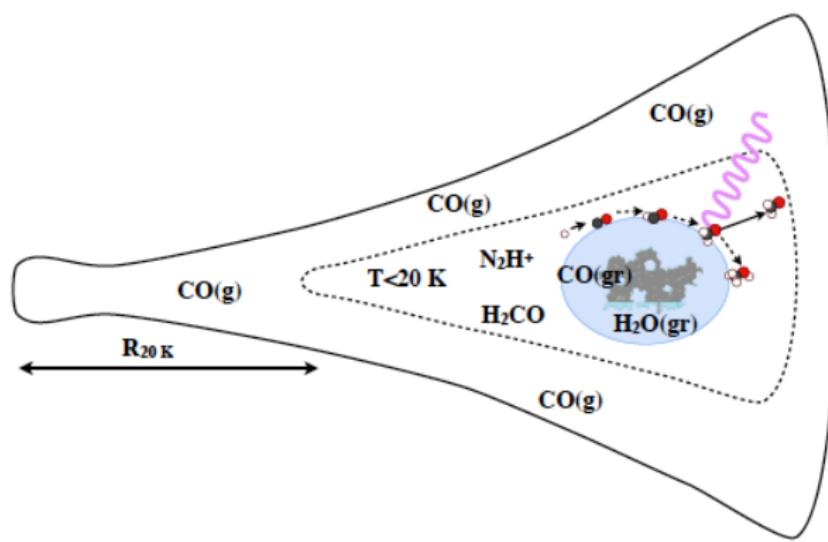
\Rightarrow Disque “hybride” : gaz primordial et poussières de seconde génération

Disques protoplanétaires

Disques riches en gaz ne présentant pas (encore ?) de cavités internes en poussières

Structure des disques de gaz

En Théorie :

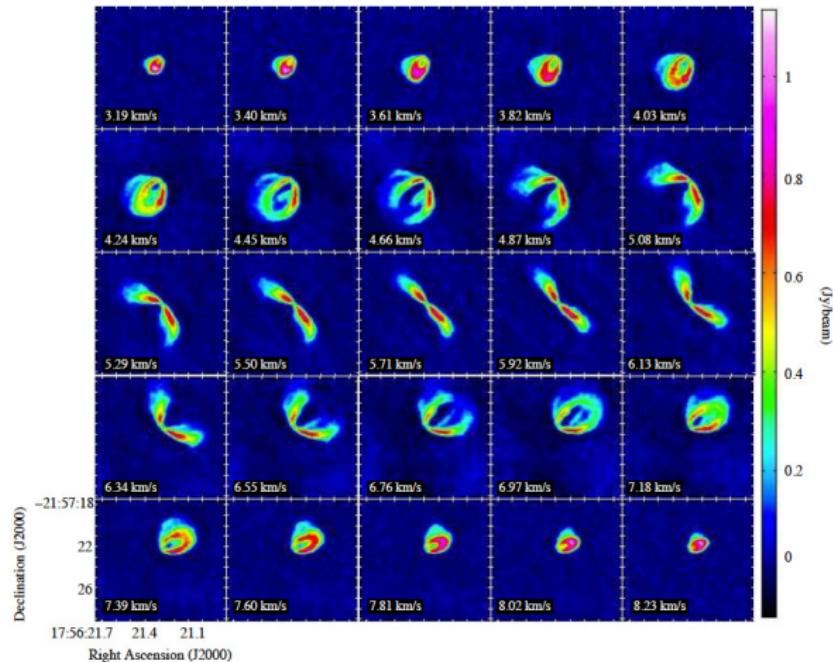


Qi et al 2013.

Structure des disques de gaz – structure verticale

de Gregorio et al 2013 A&A, Rosenfeld et al. 2013 ApJ

Observation Science Verification de HD 163296 (Herbig Ae), B6 et B7, CO et continuum



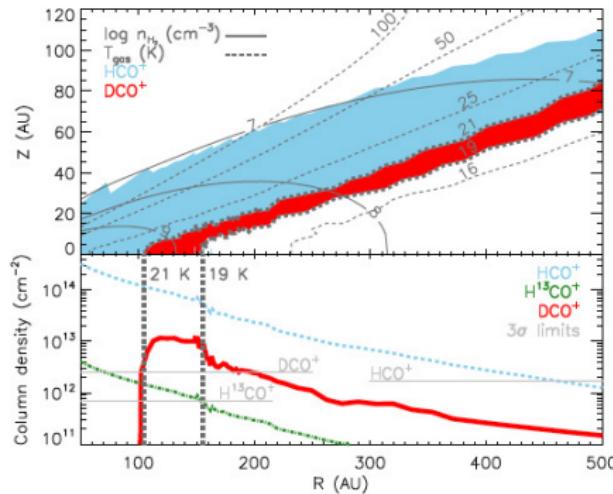
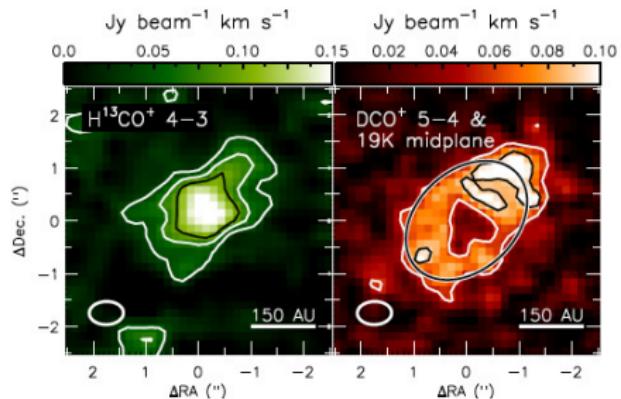
2 "couche"s de CO
→ CO déplété dans le plan du disque

^{12}CO 3-2 carte par canaux

Structure des disques de gaz – structure radiale

Mathews et al 2013 A&A

DCO^+ et HCO^+ dans HD 163296 (Science Verification)

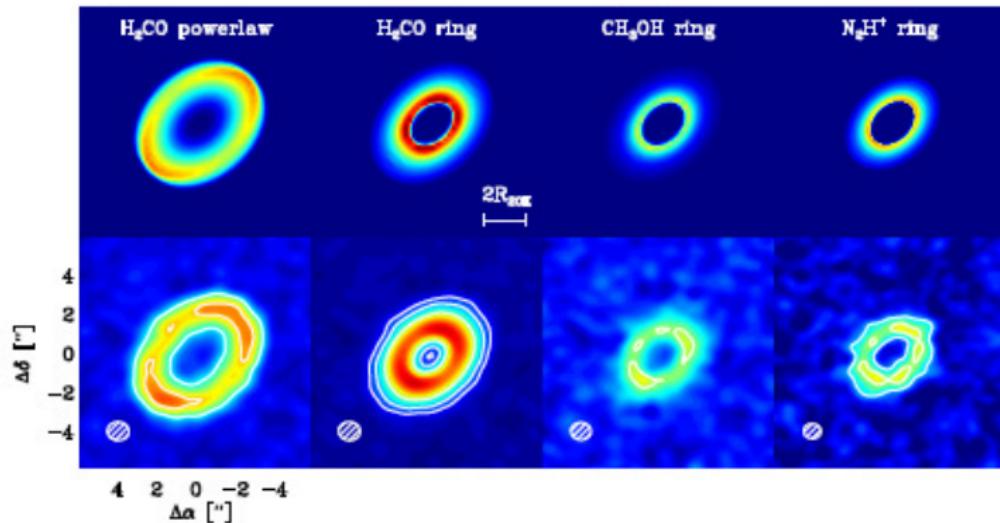


Limitte des glaces CO ~ 155 AU

En accord avec la limitte déduite des observations SMA (CO Qi et al 2011 et H₂CO Qi et al 2013)

Structure des disques de gaz – structure radiale

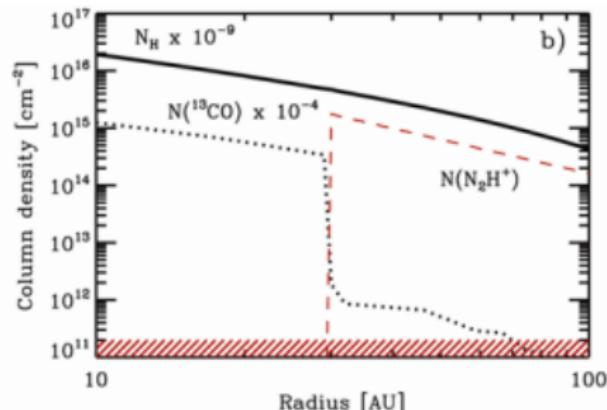
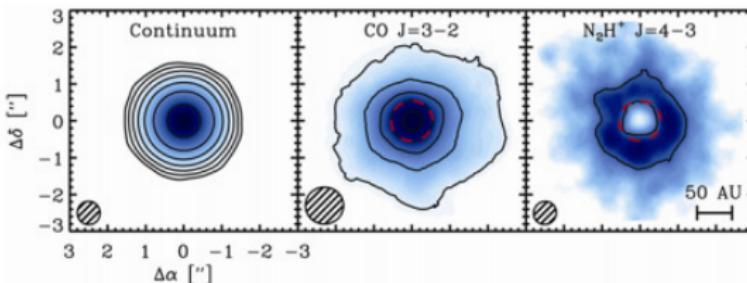
Limites des glaces de CO dans HD 163296, prédition ALMA



Qi et al 2013

Structure des disques de gaz – structure radiale

Öberg, Qi et al 2013 N₂H⁺ dans TW Hya (Science Verification)



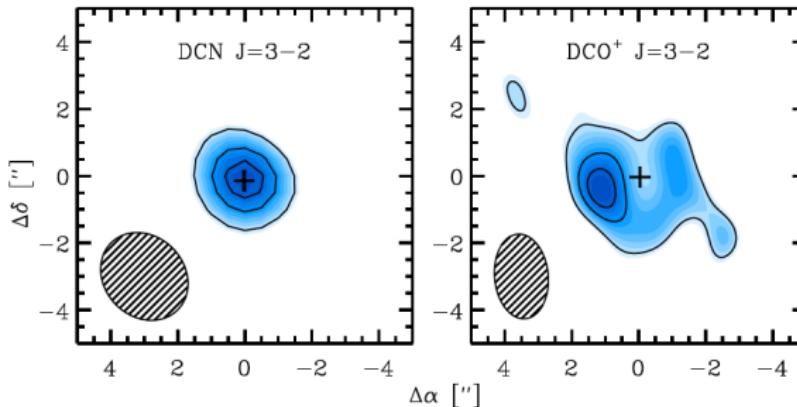
CO snow-line ~ 30 AU

Un peu de chimie – TW Hya

Öberg et al 2012

Multiple mécanisme de deutération

DCN (ALMA science verification), DCO⁺ (SMA) 3-2



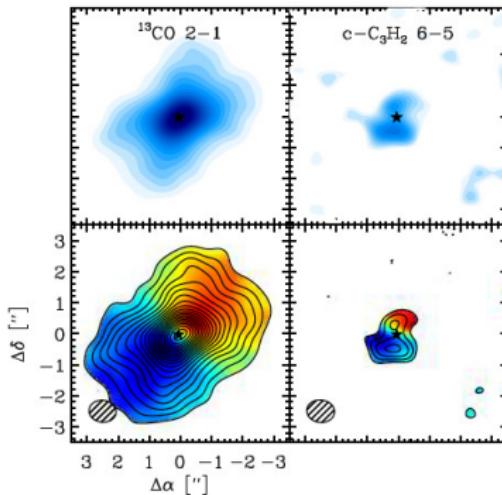
- DCN pique au centre, → dans la région chaude
Il existe une réaction de formation à $T > 30\text{ K}$ par CH_2D^+
- DCO⁺ est en anneau, formation à $T < 30\text{ K}$ avec H_2D^+

Un peu de chimie – TW Hya

Qi et al 2013

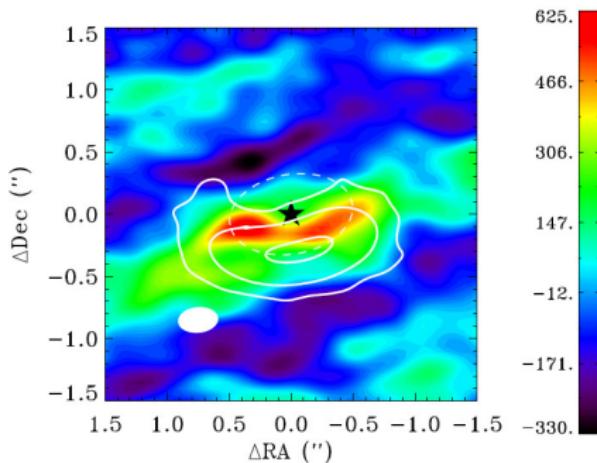
Détection de nouvelle molécules :

c-C₃H₂ dans TW Hya (Science Verification)



Un peu de chimie – Oph IRS 48

van der Marel et al 2014



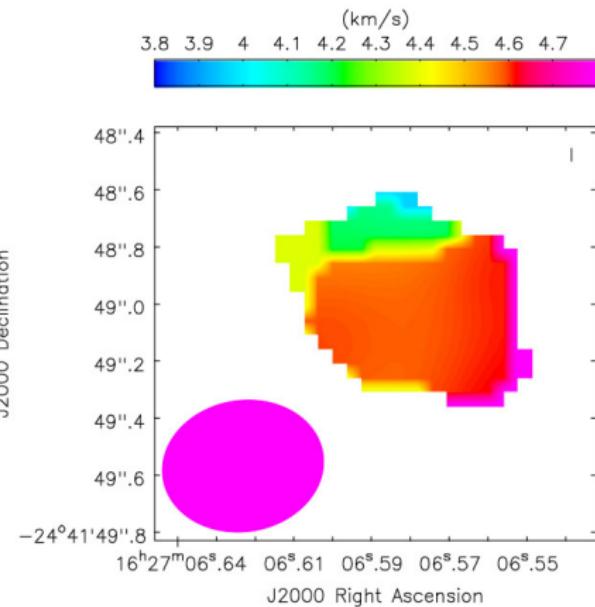
Carte d'intensité intégrée de H_2CO 9(1,8)-8(1,7) sur Oph IRS 48

- distribution spatiale corrélée avec la poussière
- pas bien reproduit par les modèles
- abondance $\sim 10^{-8} / \text{H}_2$

ρ -Oph 102

Ricci et al 2012 ApJ 761L

- Observations B3 (100 GHz) et B7 (345 GHZ) continuum + DCO⁺
- Resolution $\sim 1.7''$ B3 et $\sim 0.6''$ B9
- Disque non résolu
- Rayon externe ≤ 40 AU
- indexe spectral $\sim 2.3 \rightarrow$ grain mm
- Détection d'une composante compacte en ¹²CO 3-2 à la position de l'étoile
- Masse $\sim 0.3\%-1\%$ du disque



Résumé

ALMA

Publications : Science Verification ou Cycle 0

Augmentation :

- de la sensibilité (nombre d'antennes)
- de la résolution angulaire (ligne de base)
- de la bande passante + flexibilité du correlateur
- spectro-imagerie multi-logueur d'onde
- polarisation

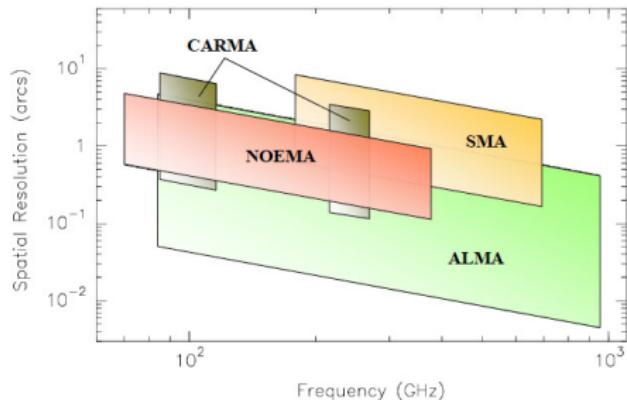
⇒

- imager les structures des disques
 - en poussière (interaction disque-planète...)
 - en gaz (condition physico-chimique...)
- structure des disques de poussières / évolution (grossissement des grains, sédimentation...)
- chercher de nouvelles molécules (étudier les disques couches par couches), survey
- meilleur analyse de la cinématique
- meilleur imagerie des disques internes, complémentarité avec l'IR/visible
- champ magnétique ?

Mais, même ALMA est limité en sensibilité

Résumé

Ne pas oublier NOEMA



À terme, sensibilité en continuum seulement 2 fois moins que (full) ALMA

Développement des modèles de disques

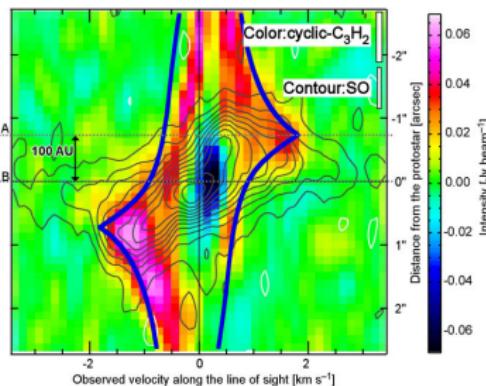
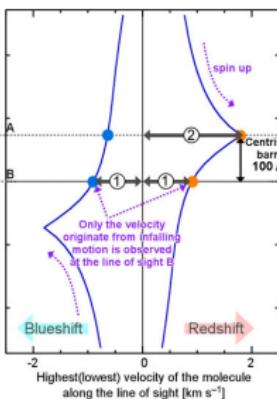
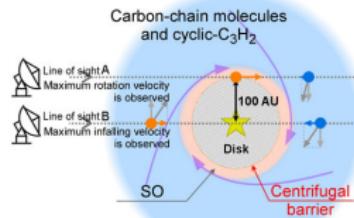
nécessaire pour pouvoir interpréter les observations (observables)
modèles physique ET chimique

MERCI !



Classe 0 L1527

Sakai et al 2014 Nature



Classe 0 VLA1623

Murillo et al 2013 A&A

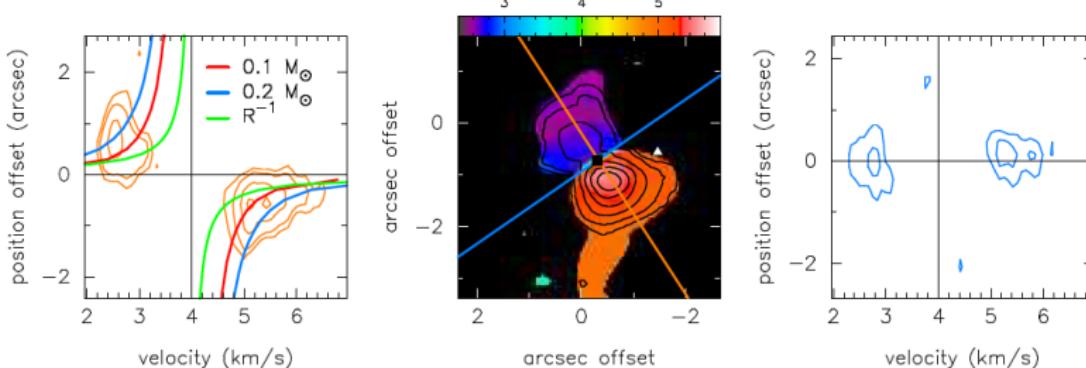
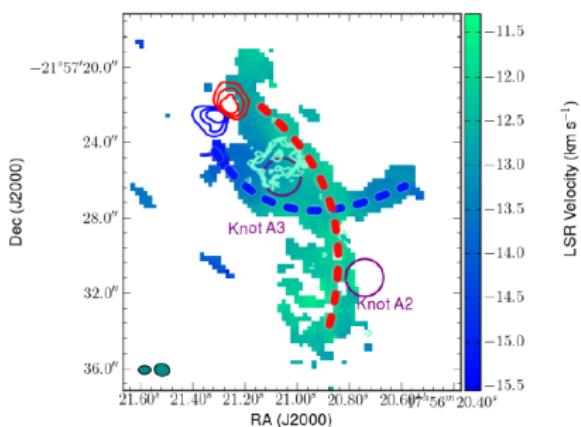


Fig. 2. Observed C¹⁸O (2-1): *Left:* Pure Keplerian rotation curves ($v \propto R^{-0.5}$, red and blue) and infall ($v \propto R^{-1}$, green) are overlaid on the PV diagram. This suggests that the emission may be rotationally supported with $M_* \sim 0.1\text{--}0.2 M_\odot$. *Center:* C¹⁸O velocity map (Moment 0, halftone) and intensity integrated (Moment 0, contours) maps. Contours are in steps of $3\sigma, 5\sigma, 10\sigma, 15\sigma, 20\sigma$ and 25σ with $\sigma = 13 \text{ mJy beam}^{-1}$. VLA1623A and B's positions are marked with a square and triangle, respectively. Orange and blue lines indicate the image-space PV diagram cuts at PA = 35° (left) and 125° (right), respectively. *Right:* Lack of velocity gradient suggests no outflow contamination on the C¹⁸O emission. In both PV diagrams contours are in steps of $3\sigma, 5\sigma, 10\sigma, 15\sigma$ where $\sigma = 19 \text{ mJy beam}^{-1}$ and the black lines indicate the systemic velocity and position of VLA1623A.

- C¹⁸O 2-1 + continuum
- 3 sources continuum
- disque en rotation képlérienne autour de VLA1623 A (rayon $\sim 150 \text{ AU}$, $M_* \sim 0.2 M_\odot$)

Outflow : HD 163296

Klaassen et al 2013 A&A



- B6 et B7 observation de HD 163296 (Science Verification)
- outflow / vent de disque en CO
- CO 3-2 pics correspondant aux "knots HH"

