

IRAM plateau de Bure. 2500 m d'altitude dans le département des Hautes Alpes



<http://vimeo.com/102908444>

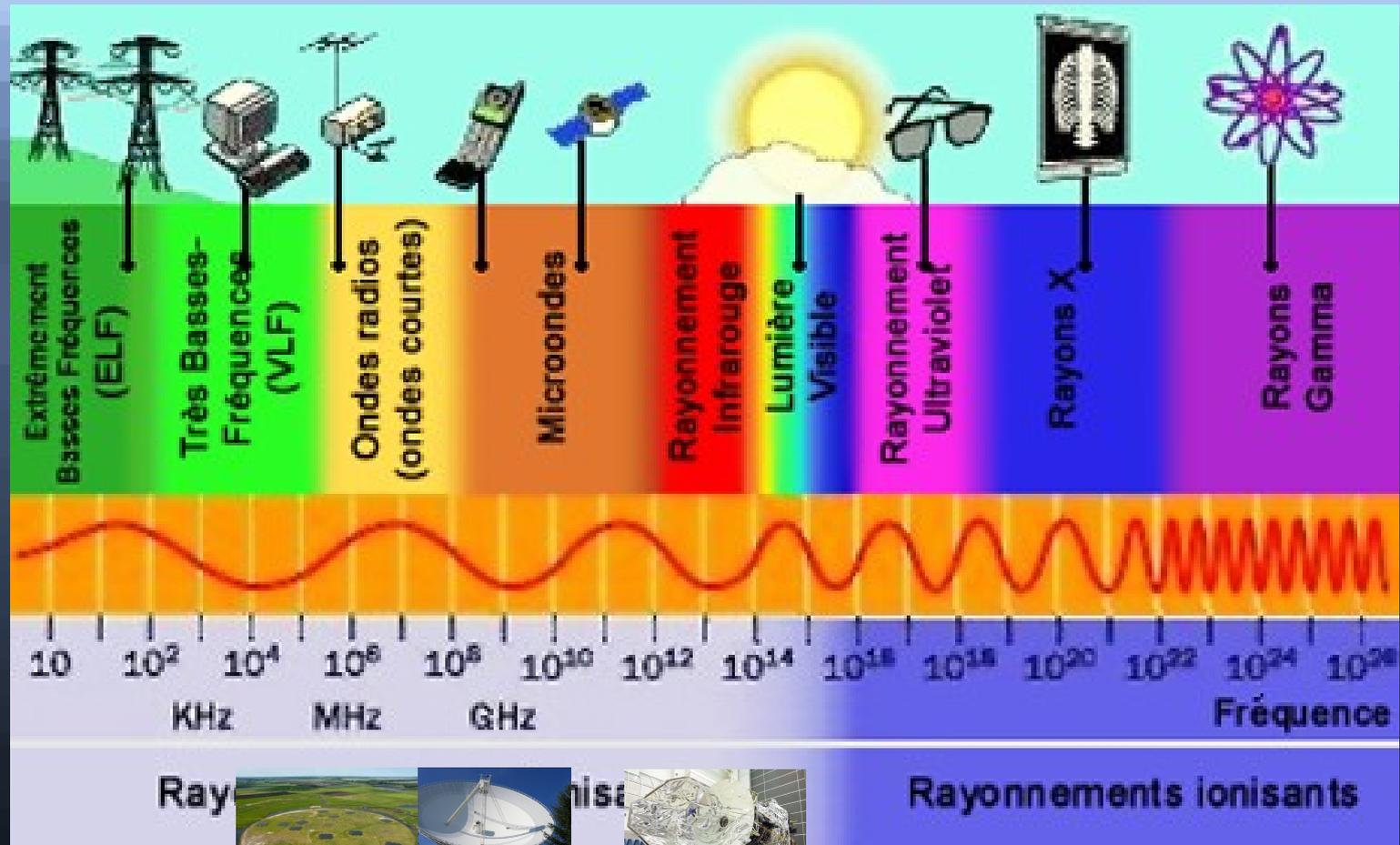


# Le radiotélescope ALMA

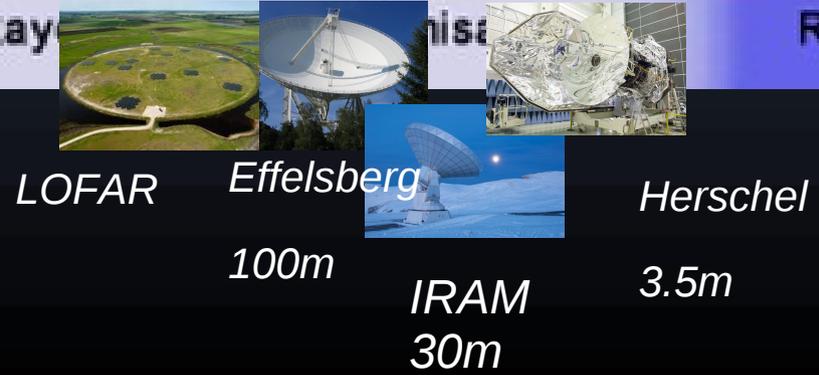


A 5000m sur le plateau d'Atacama au chili

# Le spectre électromagnétique

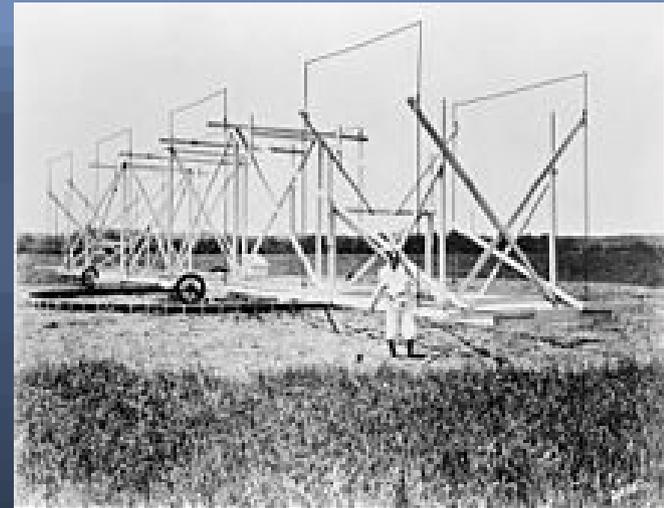


Ray nise Rayonnements ionisants



100m  
30m  
3.5m

# Les débuts de la radioastronomie - 1



Karl Jansky (1905 - 1950)  
Détection du 1er signal  
radio astronomique  
(1932)

# Les débuts de la radioastronomie -2



Grote Reber (1911 - 2002)  
1ère antenne parabolique  
(1937)

Premières cartes du ciel 1943  
– 160 MHz

# Le radiotélescope de Nançay

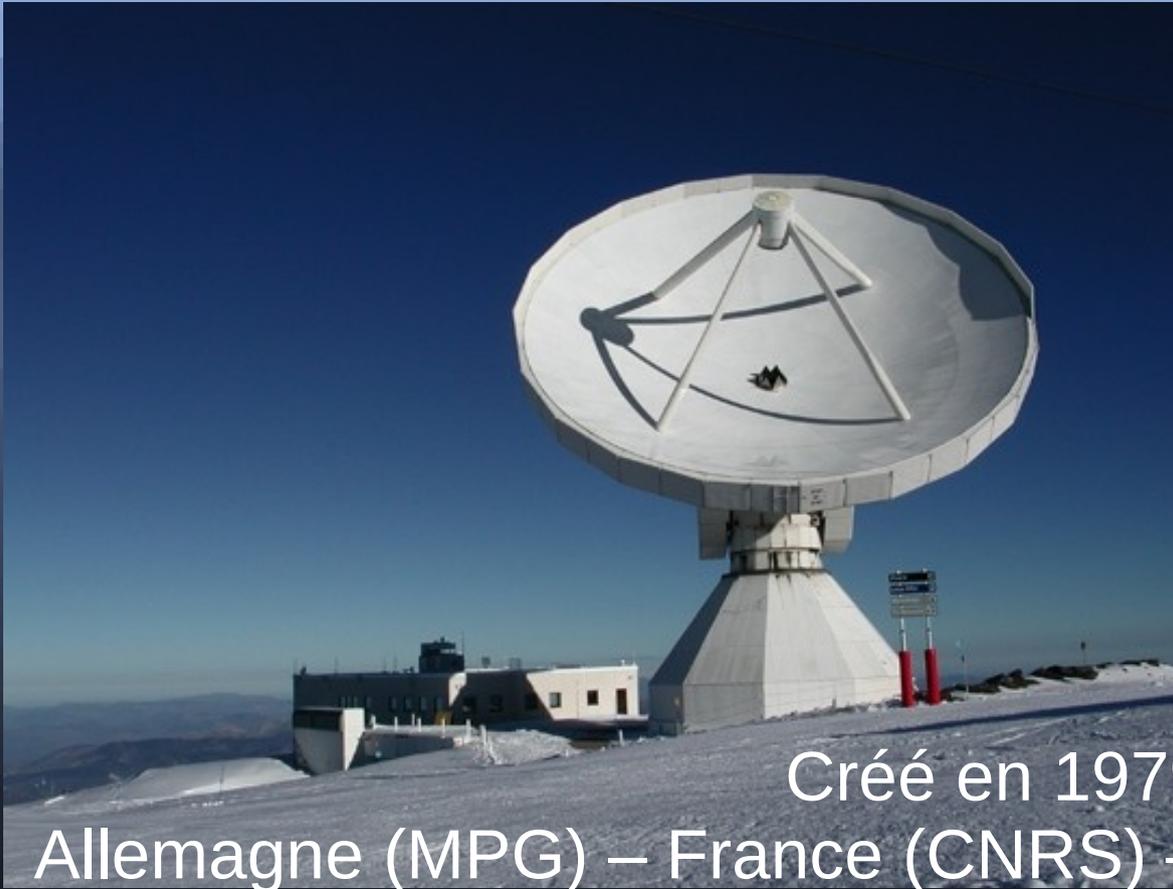


Inauguré en 1965

100m de diamètre.

Domaine des ondes centimétriques (1 à 3 GHz) : Hydrogène, radical OH, ...

# L'Institut de Radioastronomie millimétrique (IRAM)



Créé en 1979.

Allemagne (MPG) – France (CNRS) – Espagne (IGN)

Domaine des ondes millimétriques (molécules, poussières)

Deux instruments :

Le télescope de 30m (Pico Veleta, Espagne)

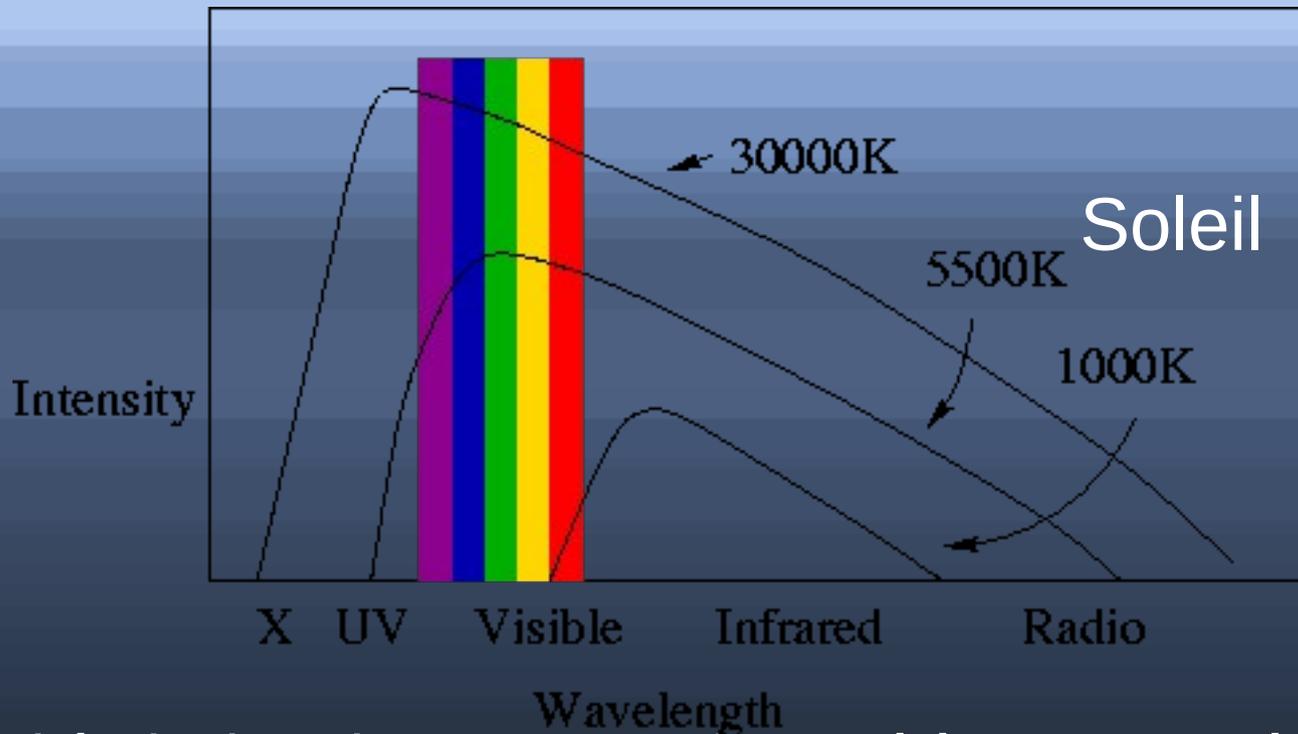
L'interféromètre du plateau de Bure (Hautes Alpes)



# L'interféromètre du plateau de Bure



# Le spectre d'un corps noir



Spectre d'émission d'un corps noir porté à une température d'équilibre (exprimée en degrés Kelvin)

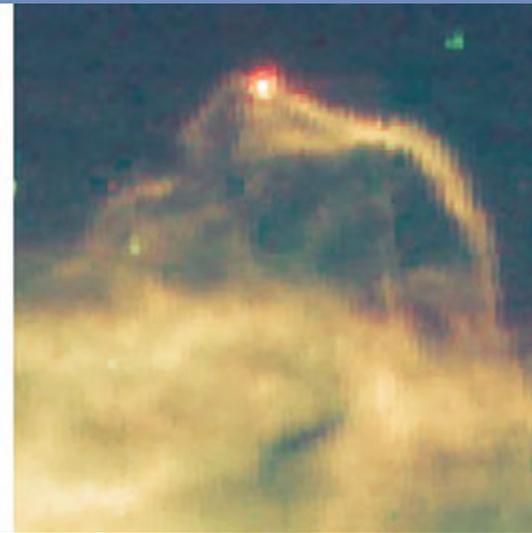
Le maximum se situe à des longueurs d'ondes d'autant plus courtes que le corps est chaud (soleil ~ 5500 K, domaine visible  $0.5\mu\text{m}$ )

Domaine de l'infrarouge lointain et du millimétrique : corps froids : quelques dizaines de Kelvin

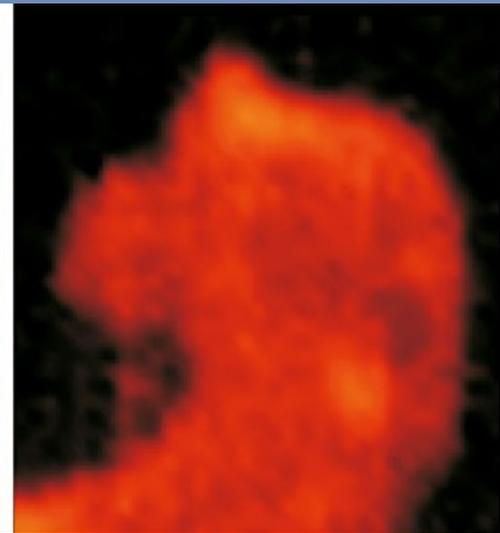
# Ce que l'on voit dans le domaine millimétrique



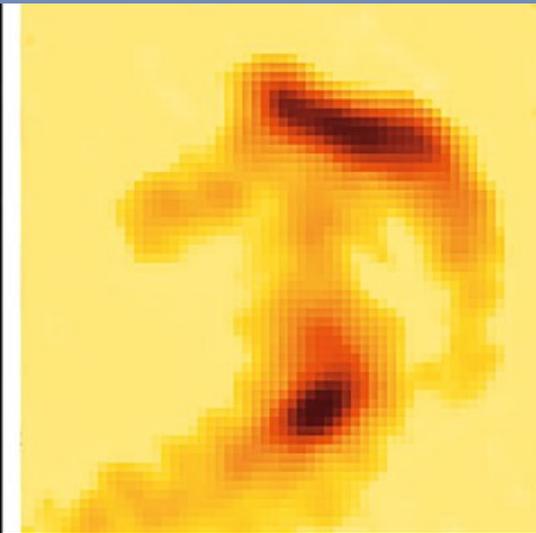
Visible



Infrarouge  
(7 microns)

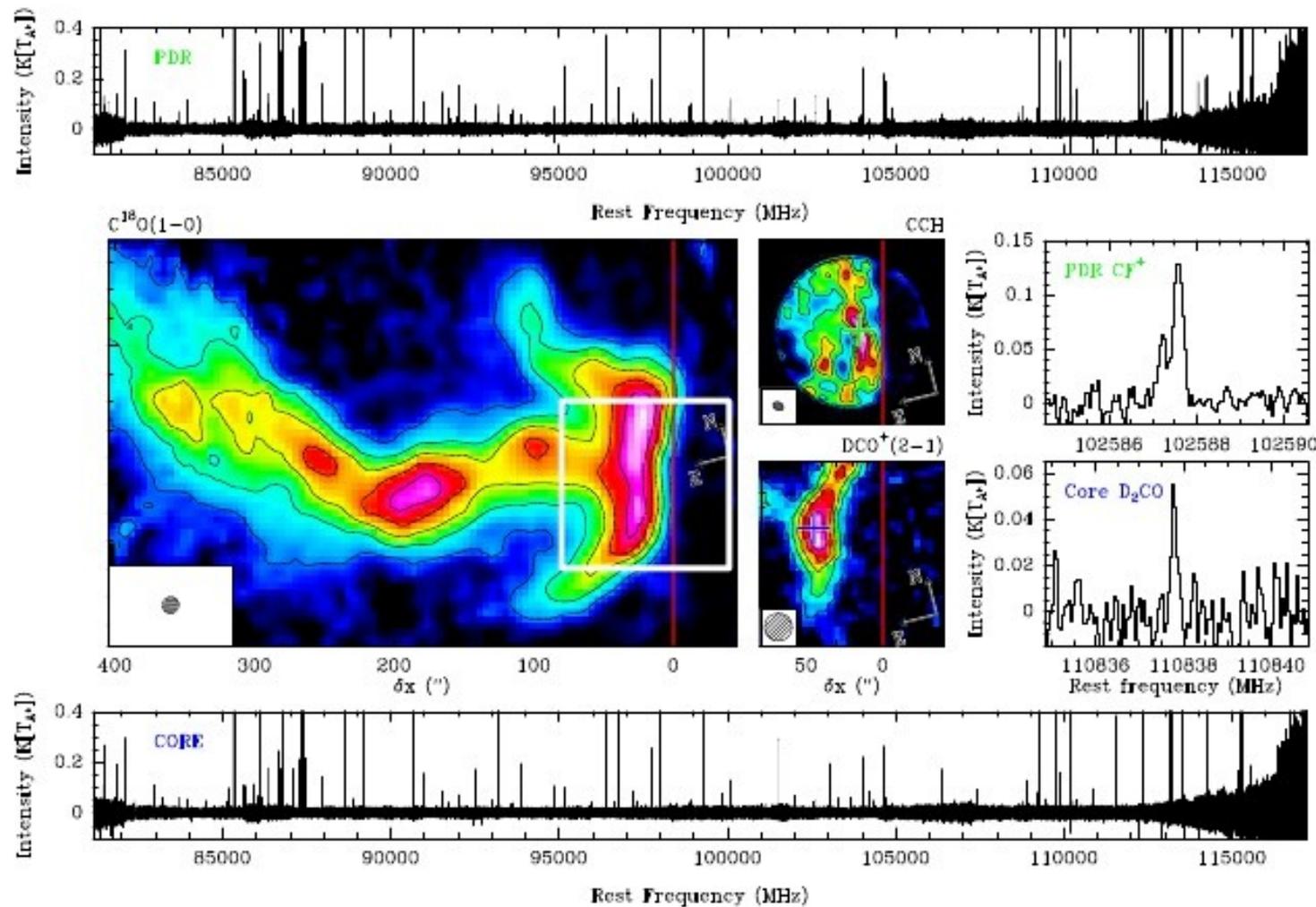


Millimétrique  
Molécules  
(CO)

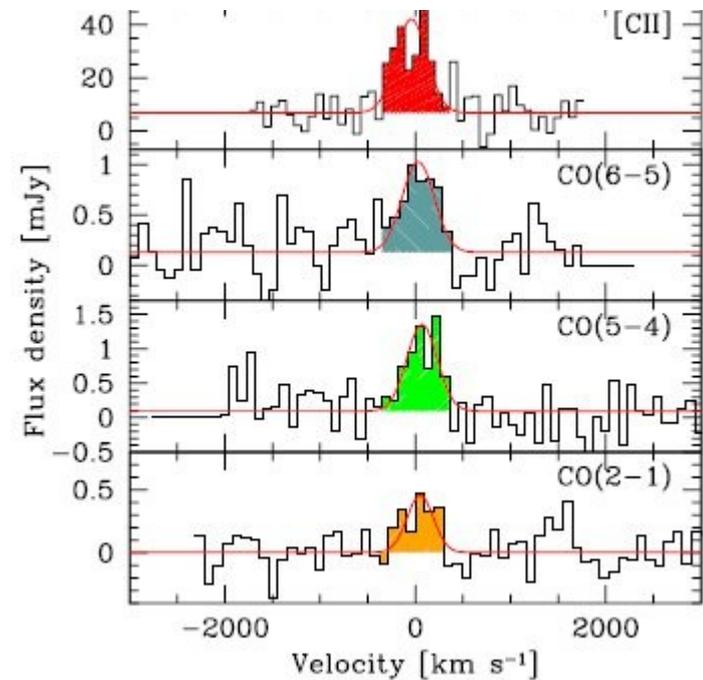
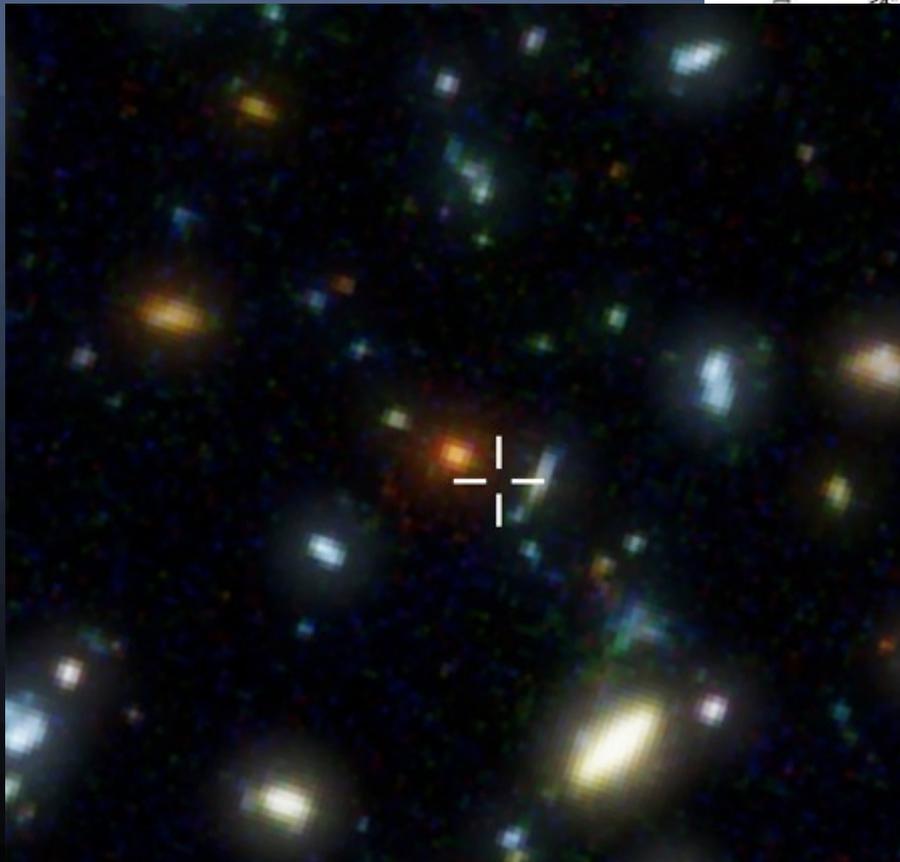
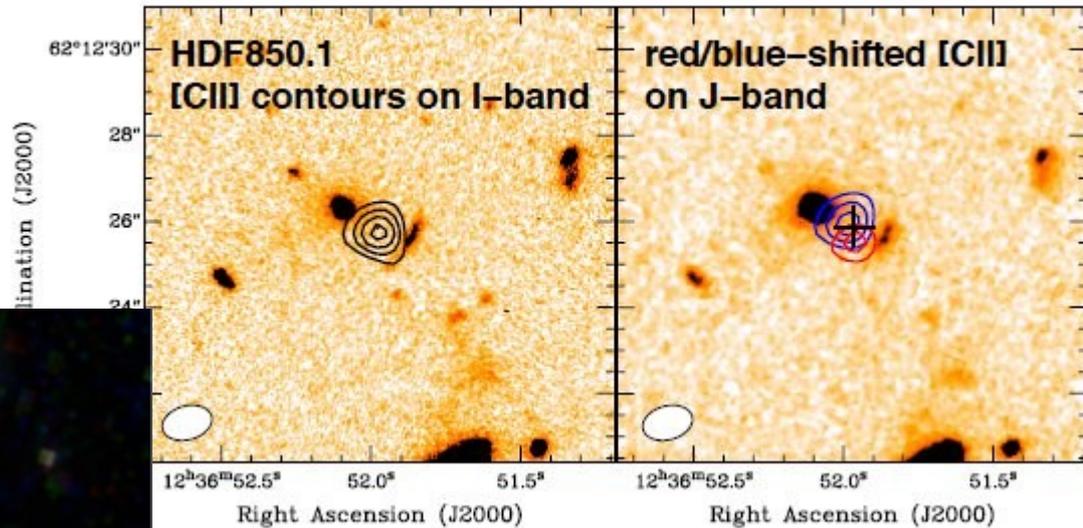


Millimétrique  
Poussières

# La variété des raies spectrales utilisée pour l'étude des sources



# Des galaxies les plus lointaines



Walter et al. 2012, Neri et al. 2014

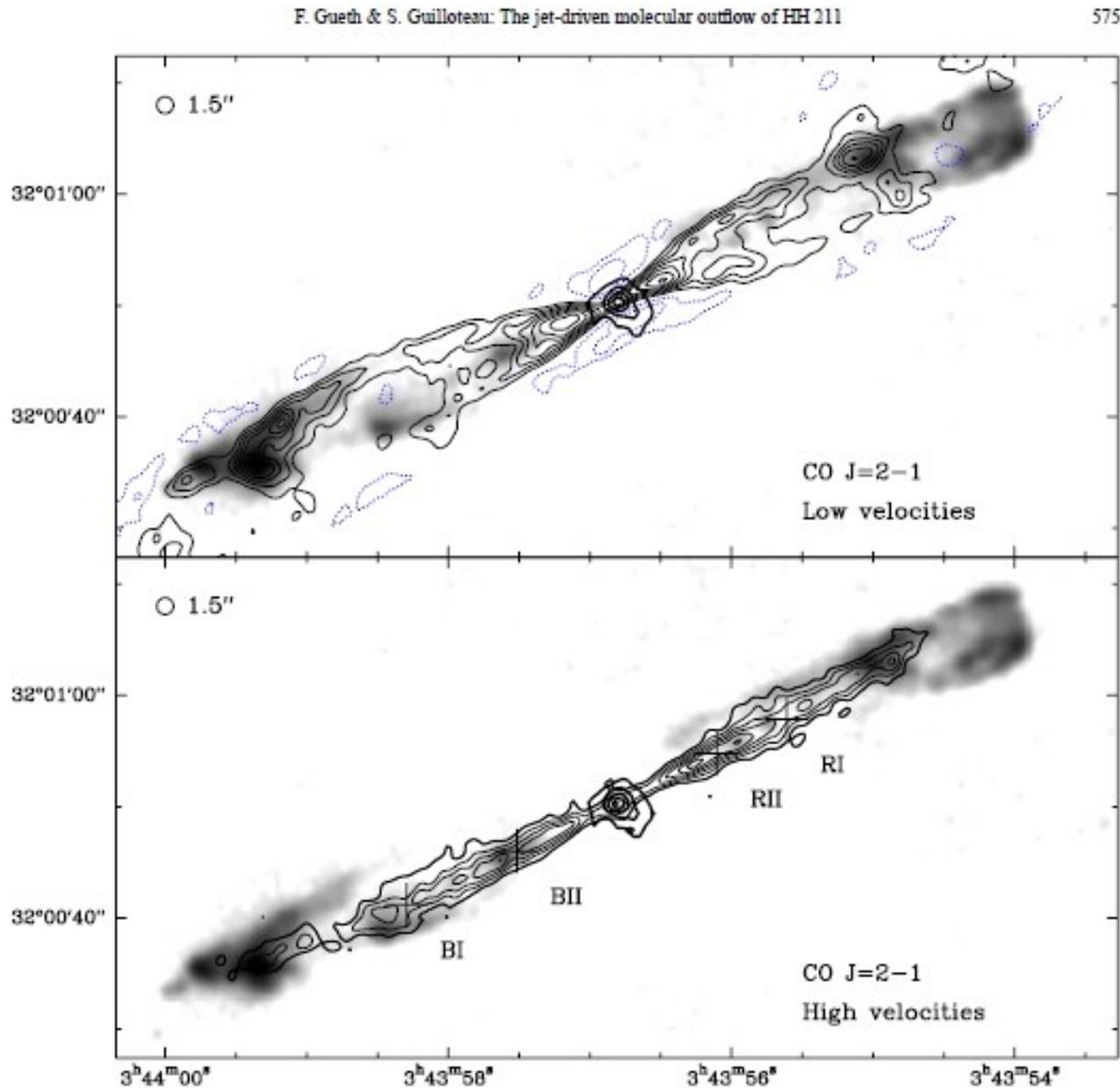
# Aux galaxies proches ...



La galaxie d'Andromède : image visible  
et distribution du monoxyde de carbone CO

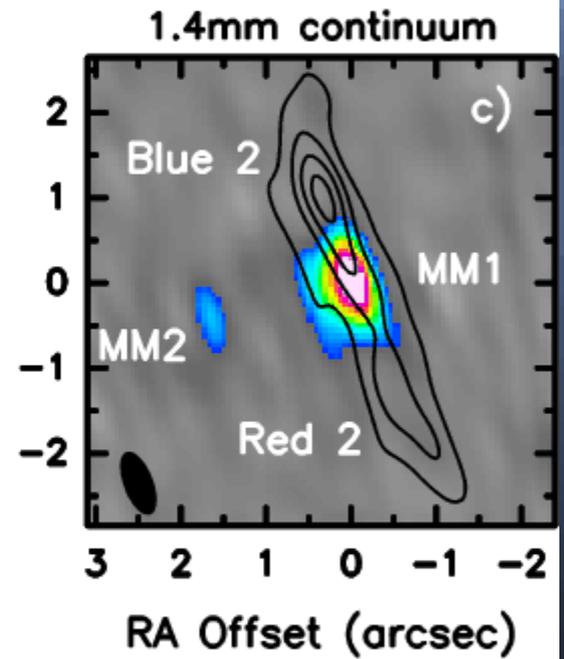
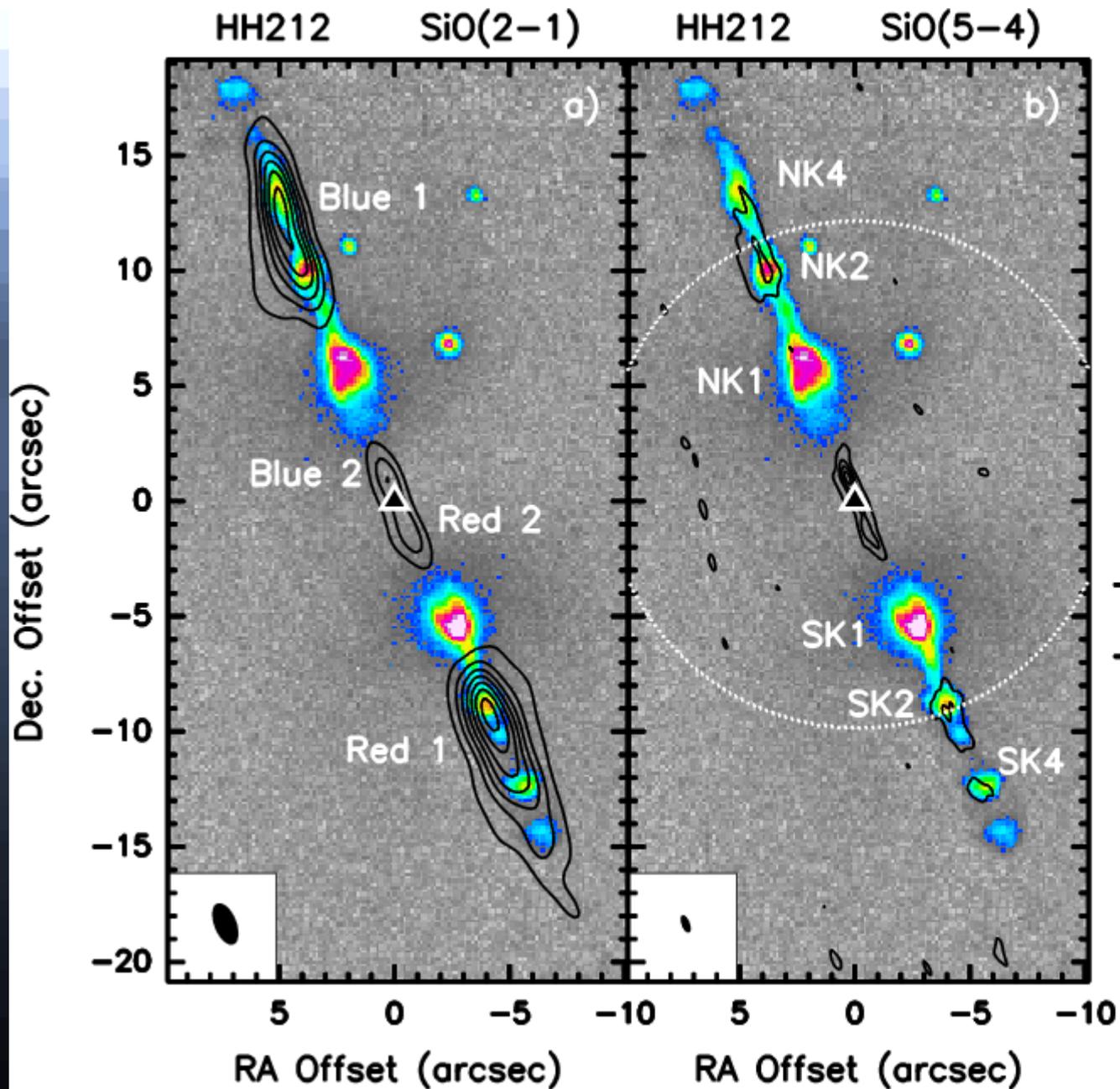
*Guélin et al.*

# A la formation des étoiles

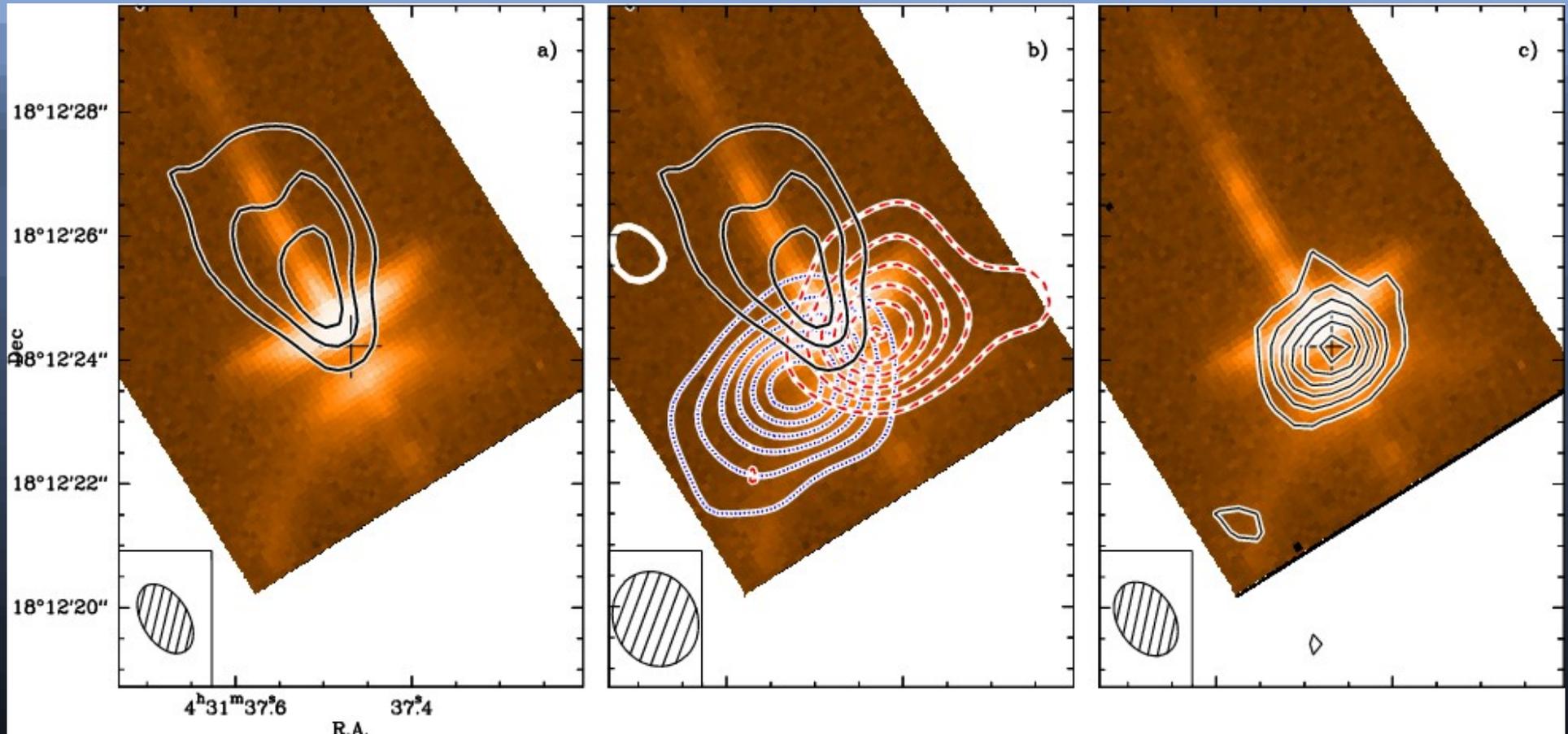


Jets  
lancés  
par la  
proto-  
étoile  
HH211

*Gueth &  
Guilloteau  
1999*

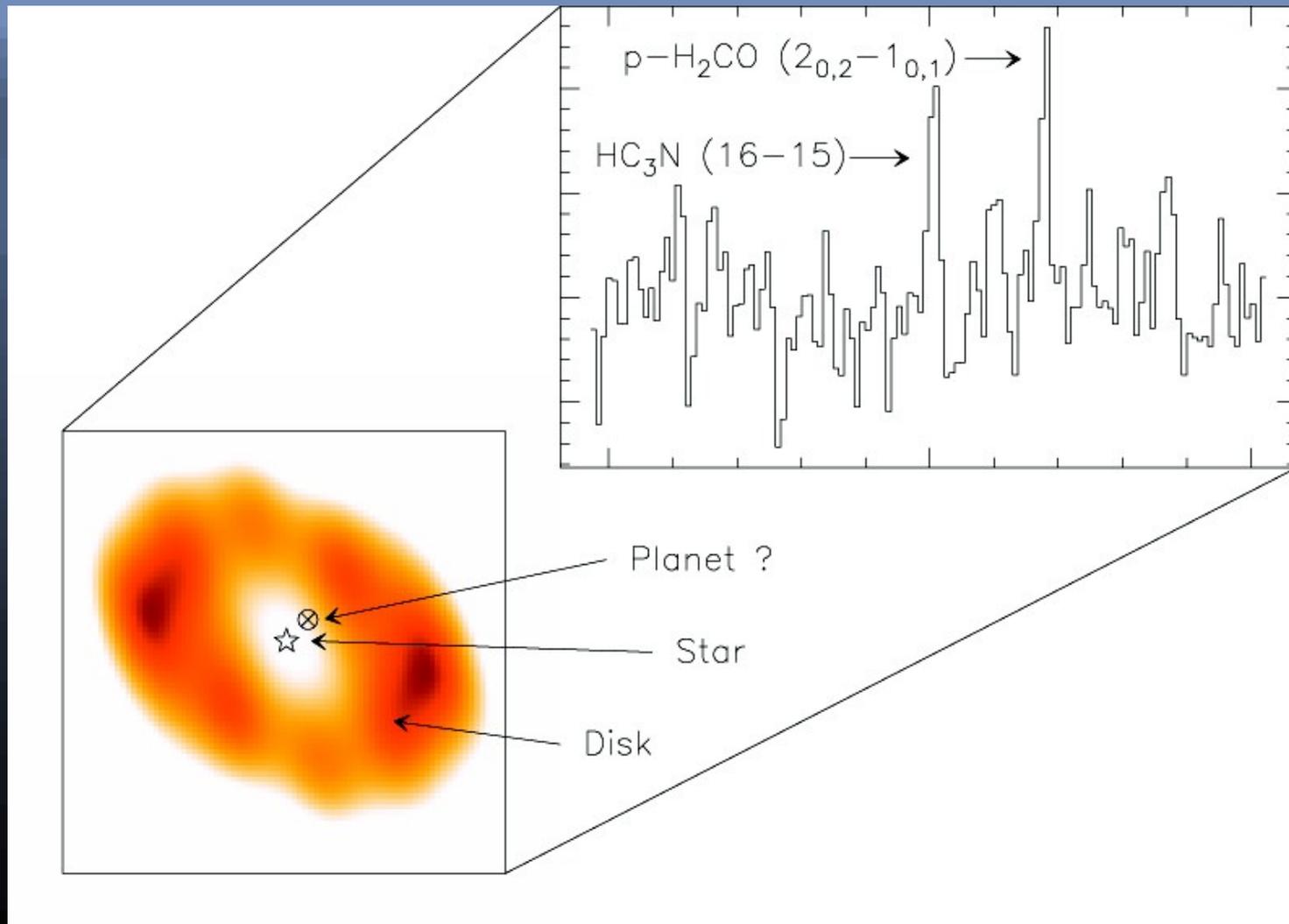


# Jets et disque en rotation



Une étoile très jeune HH 30  
*Pety et al 2006*

# Formation des planètes : Le disque protoplanétaire LkCa15

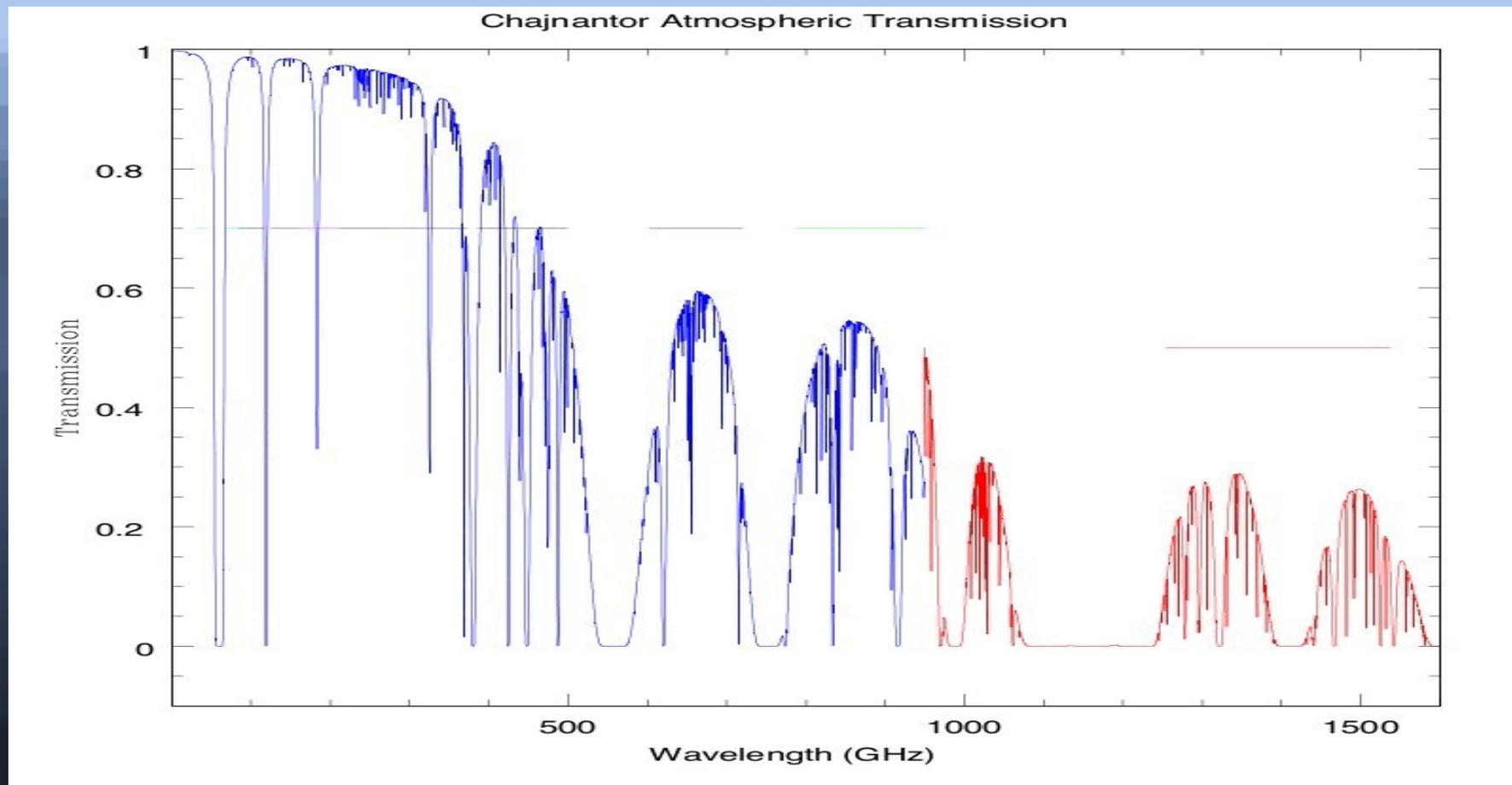


*Chapillon  
et al.  
2012*

# Les facteurs limitants

- La résolution angulaire ( $\sim \lambda/D$ ) voir des détails plus fins demande des dimensions plus grandes
  - Interféromètres avec une distance la plus grande possible entre les télescopes (de qq 10m à des km)
- La sensibilité : voir des signaux plus faibles demande une surface plus grande.
  - grand télescope ou grand nombre d'éléments de plus petite taille
  - excellente transmission atmosphérique
- La qualité d'image :
  - grand nombre d'éléments et combinaison des informations issues de plusieurs modes d'observation , plusieurs types de télescopes

# La transmission atmosphérique



Excellente dans le domaine millimétrique  
Limitée aux ondes plus courtes, par l'absorption  
atmosphérique (vapeur d'eau, oxygène notamment)

# Pourquoi ALMA ?

Spécifications scientifiques :

- Interféromètre situé à haute altitude
- Grand nombre d'antennes (66) ; diamètres 12m et 7m
- Grandes lignes de base (> 10km)

Coût très élevé (> 500 M\$)

***Construction et gestion financées en commun  
par 4 communautés :  
Europe (ESO), Amérique du Nord  
(USA+Canada), Asie (Japon, Taïwan, Corée) et  
Chili.***

# Où se trouve ALMA ?



# Le désert d'Atacama



San Pedro de Atacama. Un lieu habité depuis des millénaires grâce à la présence d'eau.

# Le site de ALMA



# Le site de contrôle et construction



# Conditions extrêmes



# Préparation et test des télescopes



May 2009  
First interferometry with 2 antennas  
at the Operations Support Facility



# Puis transport au site d'altitude







# Le petit réseau (ALMA Compact Array ; 7m de diamètre)



# Prêt pour les opérations

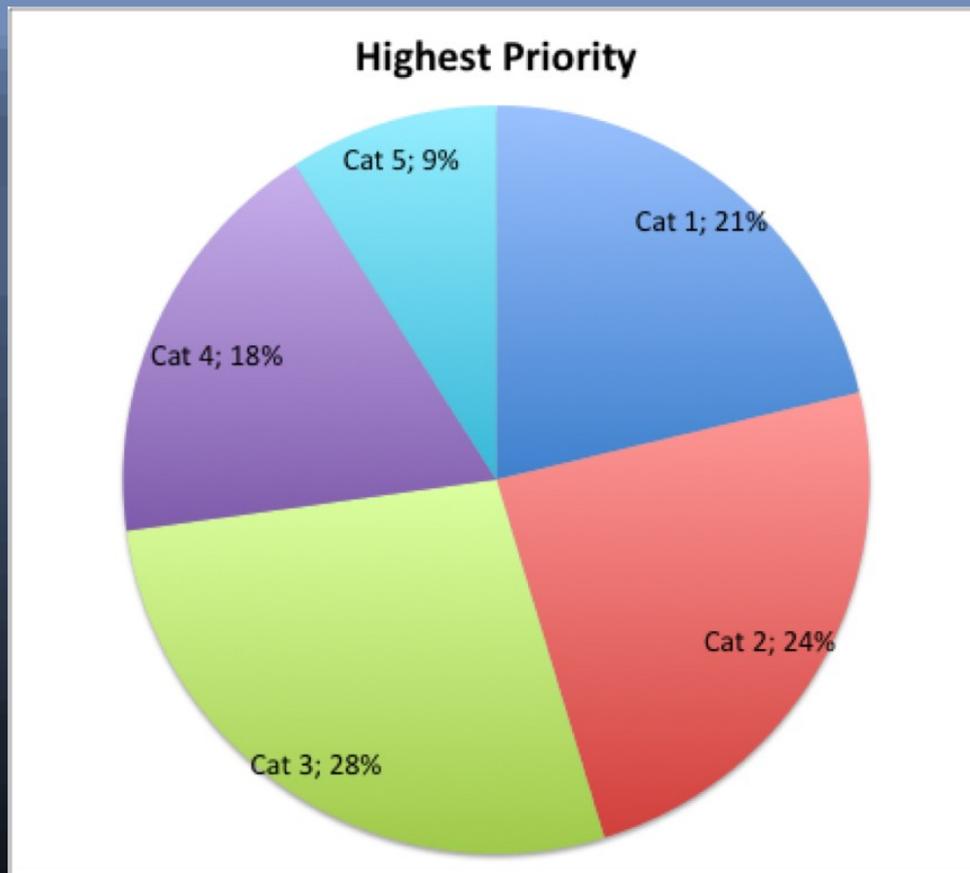


Construction étalée sur plus de 5 années

Mise en service progressive au fur et à mesure de l'assemblage des radiotélescopes pour

- permettre de premières observations scientifiques
- comprendre le fonctionnement du matériel, résoudre les problèmes
- valider les logiciels complexes utilisés pour la programmation des observations, leur traitement et analyse

# La sélection des projets, un travail d'équipe

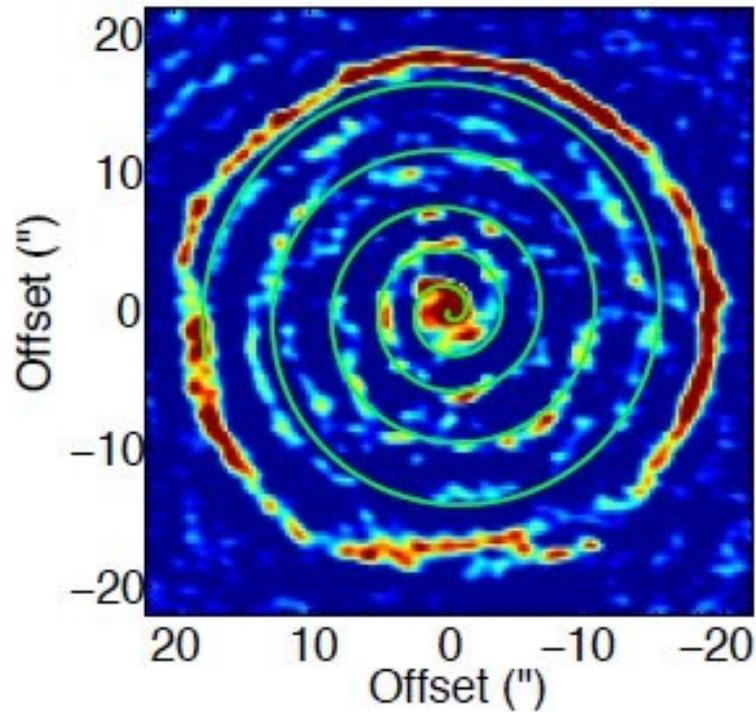


- Appels à projets ~ tous les ans
- 1400 projets soumis en 2013/2014, 353 projets prioritaires.
- 10 comités en parallèles, 78 évaluateurs ...
- Une semaine de réunion après une évaluation individuelle

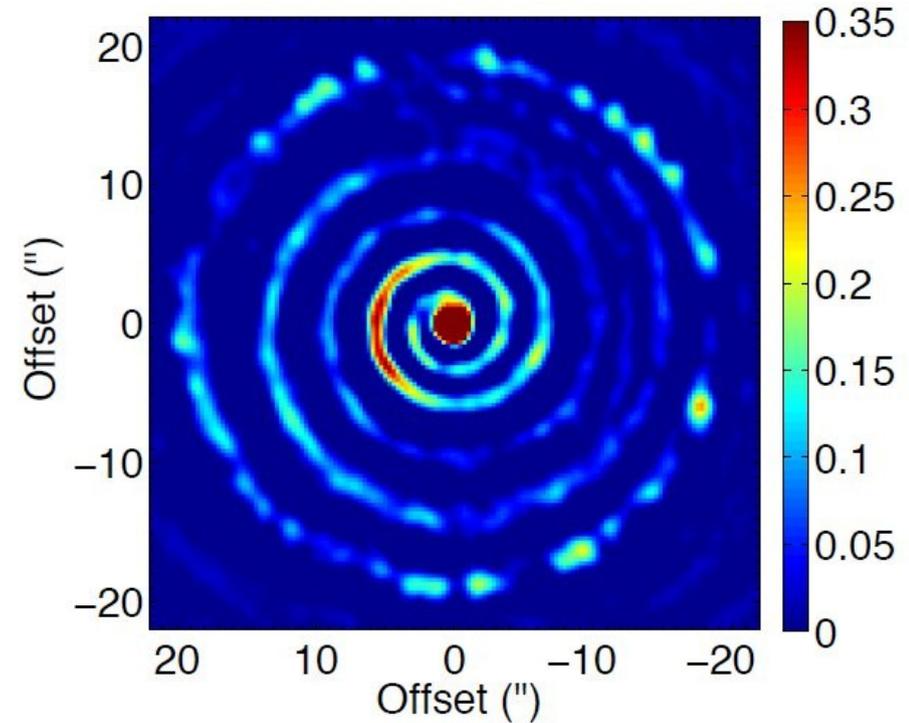
# Premiers résultats : R sculptor



Observation



Modèle



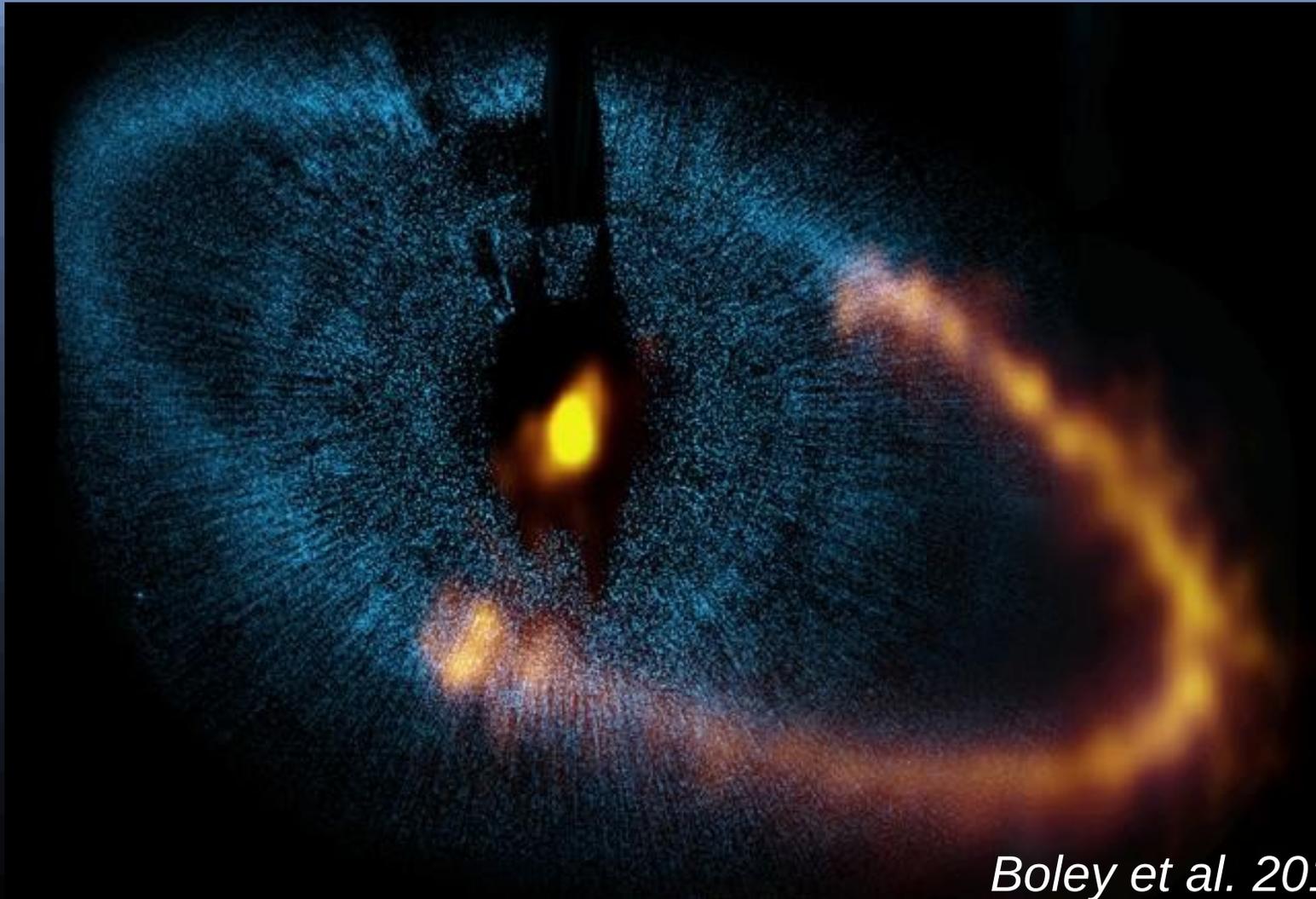
Phase Géante Rouge avec forte perte de masse.  
Sursaut d'activité associée aux période de combustion de l'Hélium.  
phase courte (quelques centaines d'années) tous les 10 000 à 50 000 ans.

Ici l'analyse de la structure permet de déduire

- Il s'agit d'un système binaire
- Flash d'activité il y a  $\sim 1800$  ans
- Durée de ce sursaut  $\sim 200$  ans

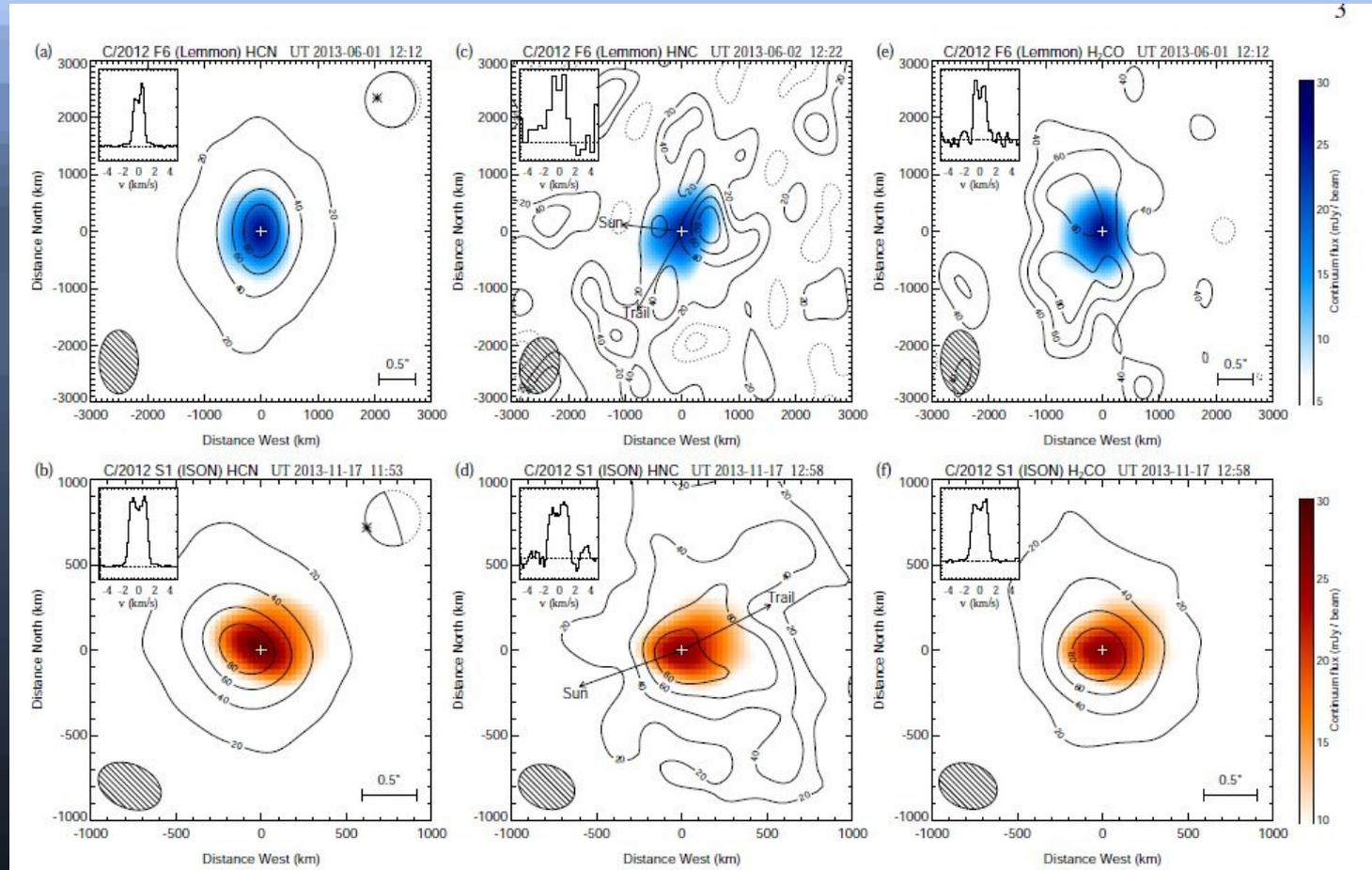
*Maercker et al. 2012*

# Le disque de débris autour de l'étoile Fomalhaut



*Boley et al. 2012*

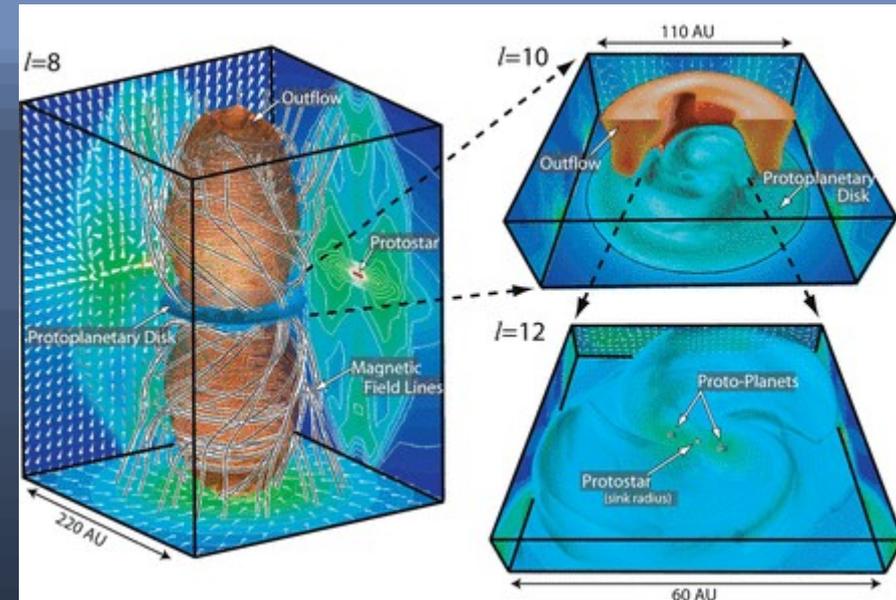
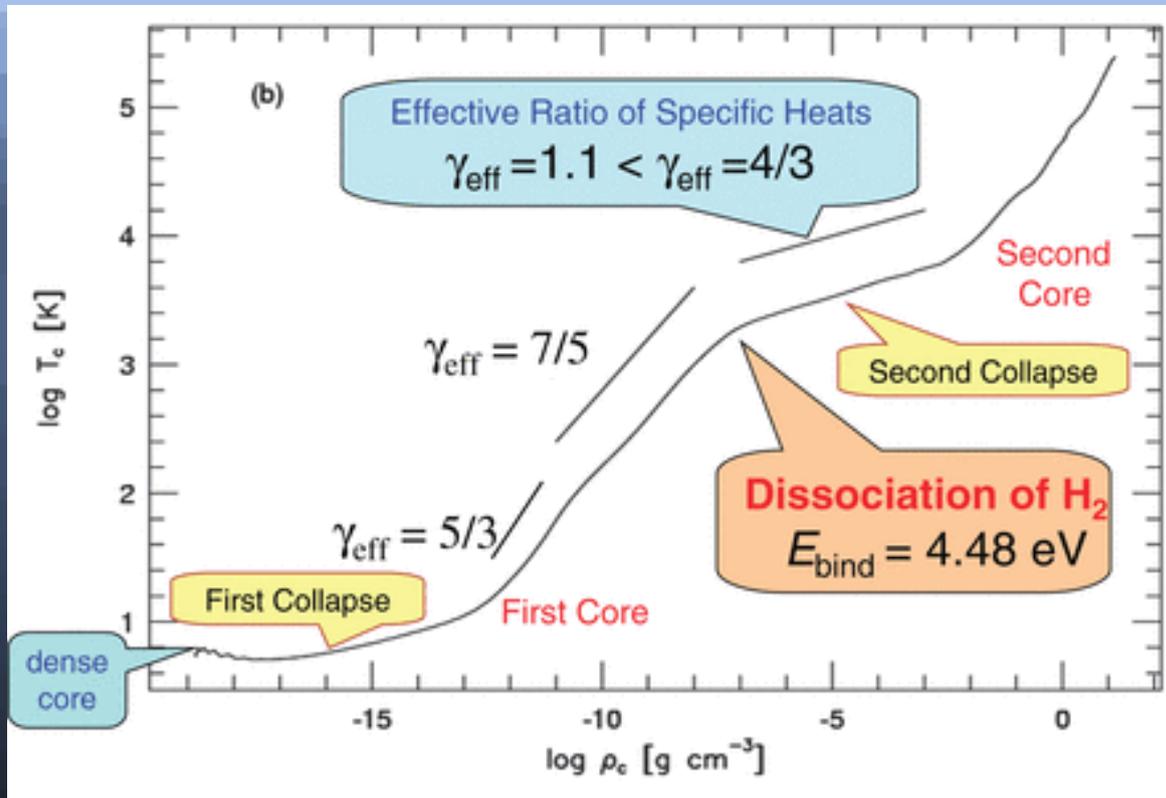
# Deux Comètes



Distribution spatiale différente : Retracer l'origine des composés volatils.

*Cordiner et al. 2014*

# Formation des étoiles

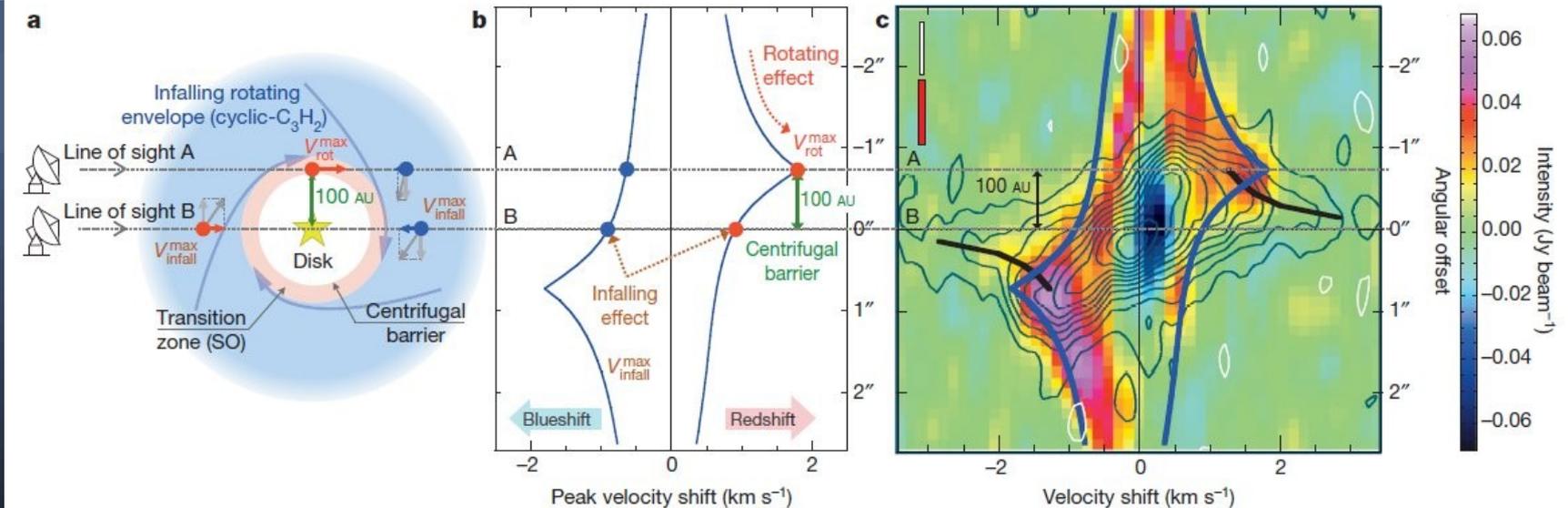
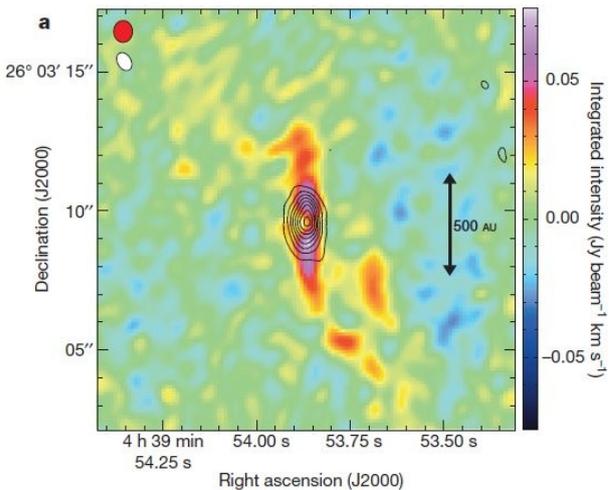


Effondrement gravitationnel : phénomène très complexe.  
Une des grandes questions de l'astrophysique

Modèles numériques combinant magnétohydrodynamique et gravité

# Formation des étoiles

## Le cas de L1527

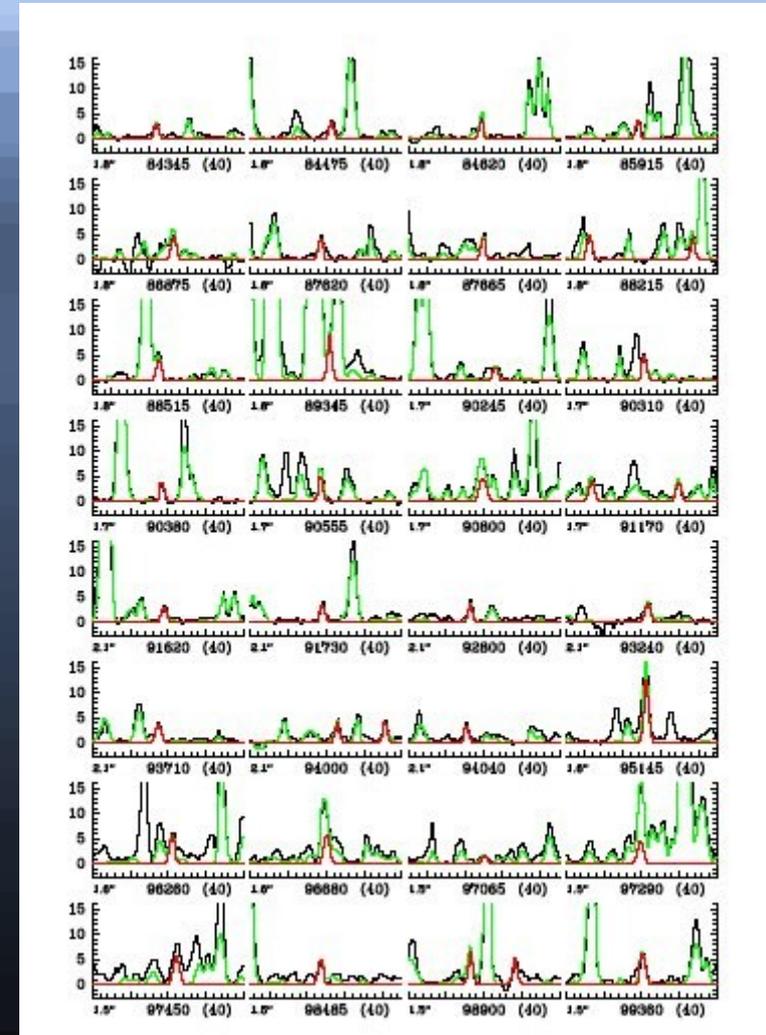
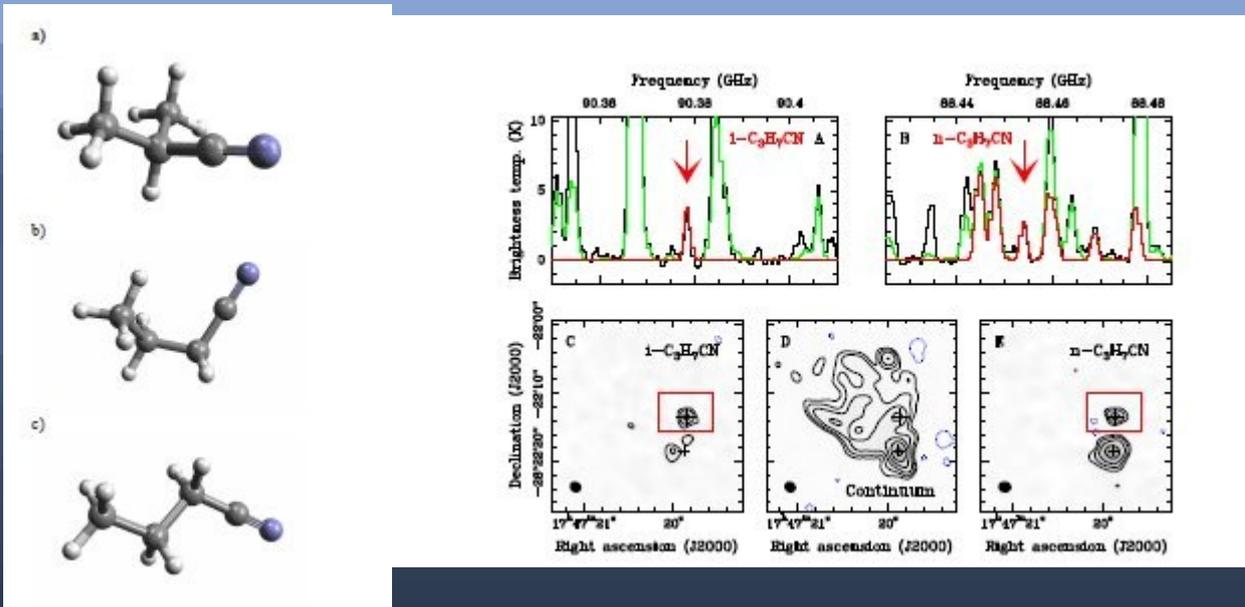


Effondrement gravitationnel : formation d'une protoétoile entourée d'un disque.

Les molécules se comportent très différemment : Sondes spécifiques du champ de vitesse et de densité ?

*Sakai et al. 2014*

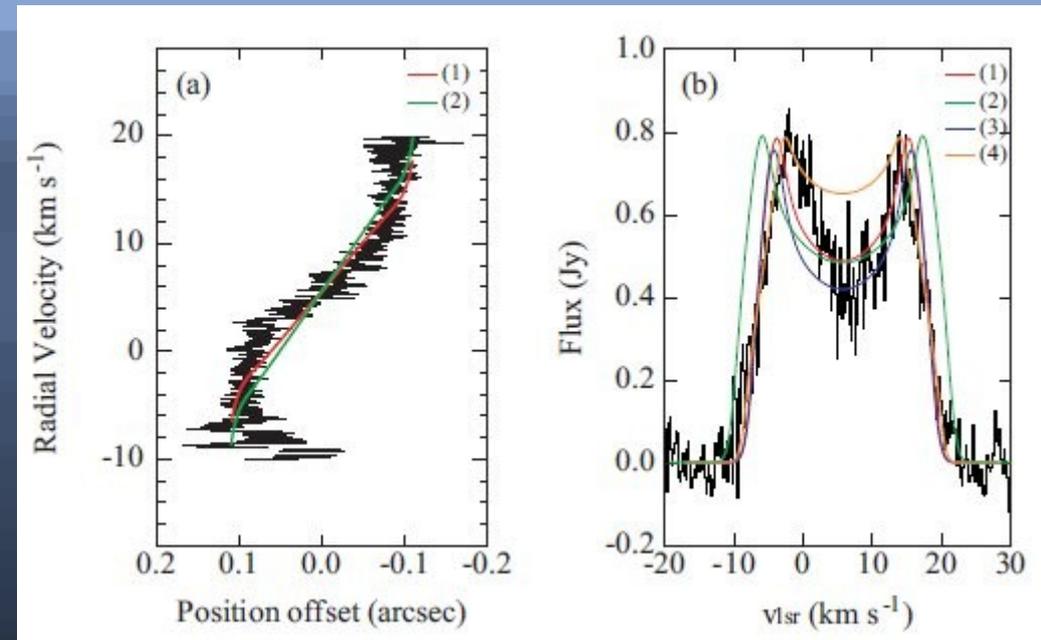
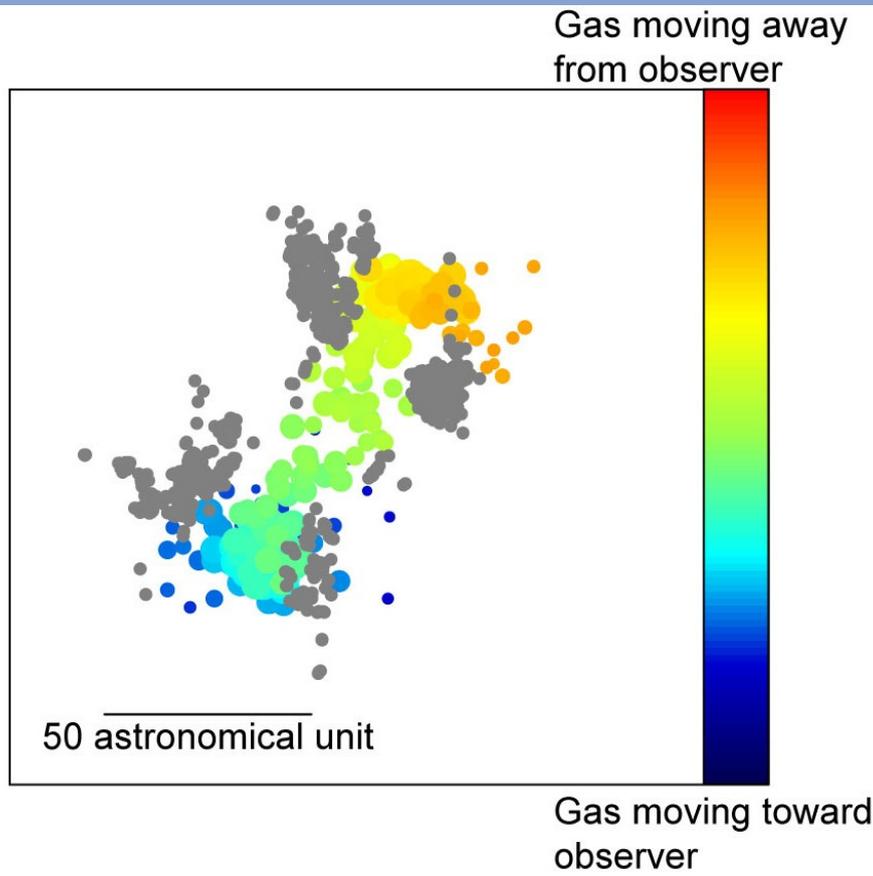
# Les molécules complexes dans les régions de formation d'étoiles



Détection de l'iso-propyl cyanide,  
une molécule « branchée »

*Belloche et al.*  
2014

# Formation des étoiles massives : le même processus que pour les étoiles de faible masse ?



Transition de la vapeur d'eau  
Effet maser

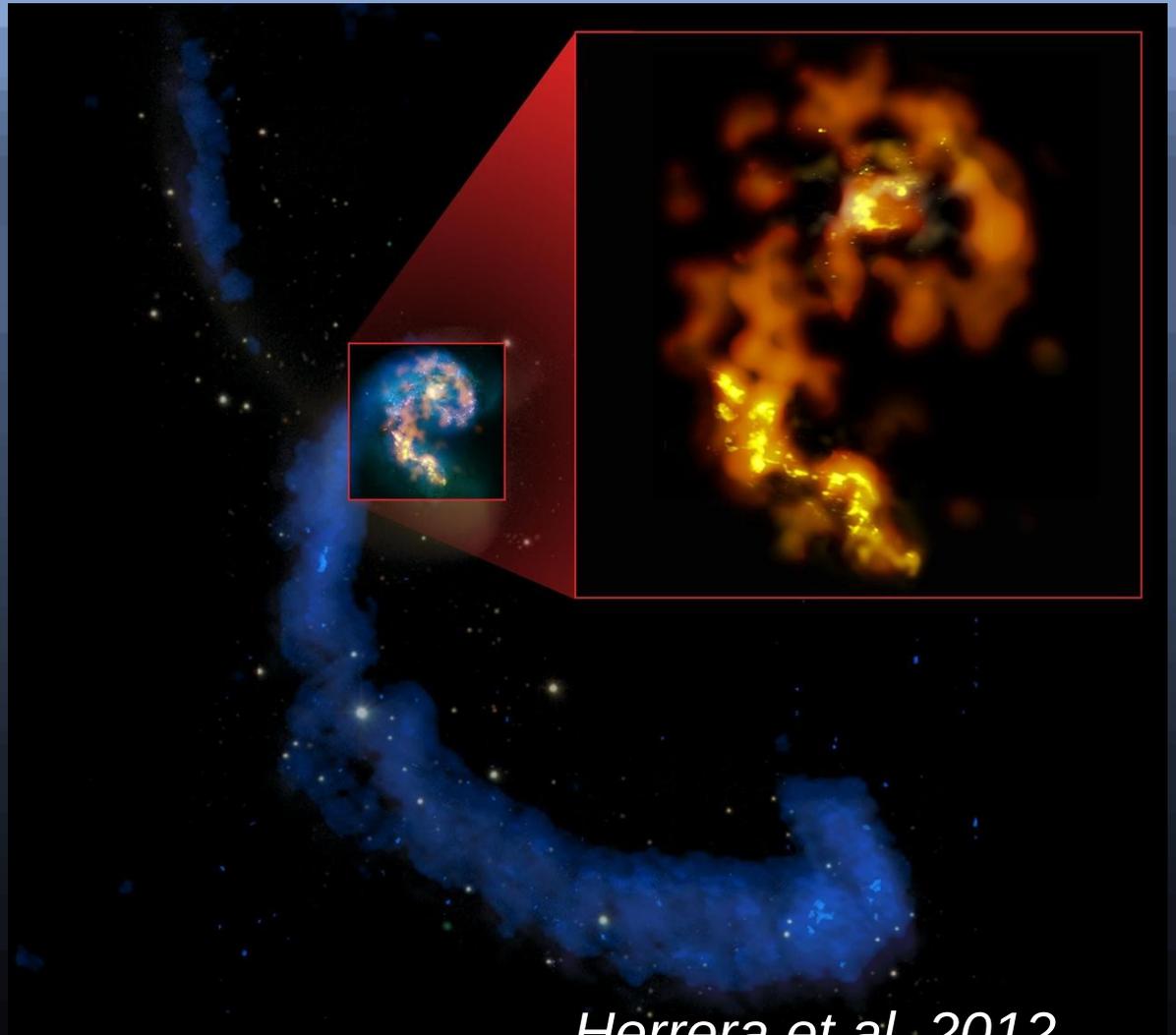
Raie très excitée  $\rightarrow$  gaz très chaud  $> 3000\text{K}$

Disque en rotation,  $\sim 100$  UA,  $7M_{\odot}$

# Galaxies en interaction

Le système NGC  
4038/4039

Intense activité  
de formation  
stellaire dans les  
noyaux et la zone  
d'interaction.  
Quel  
mécanisme ?

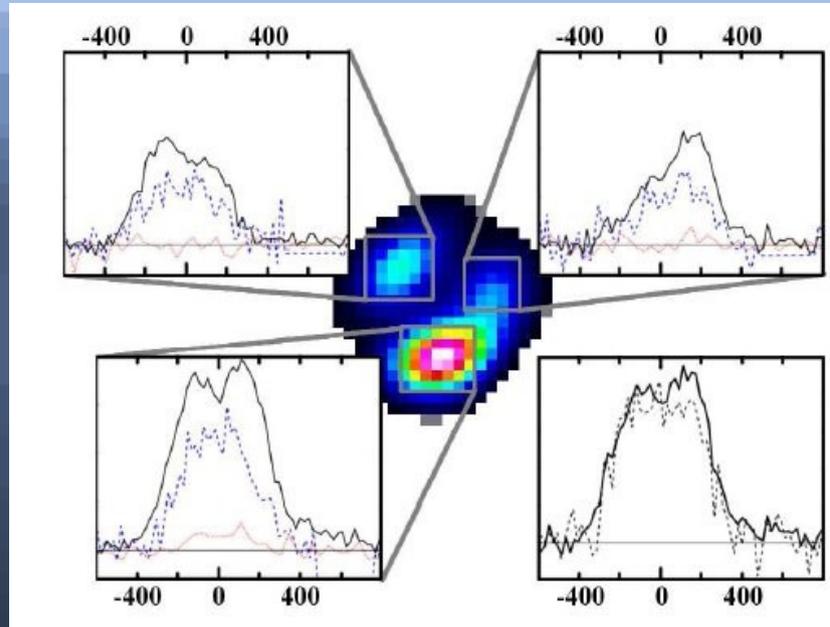
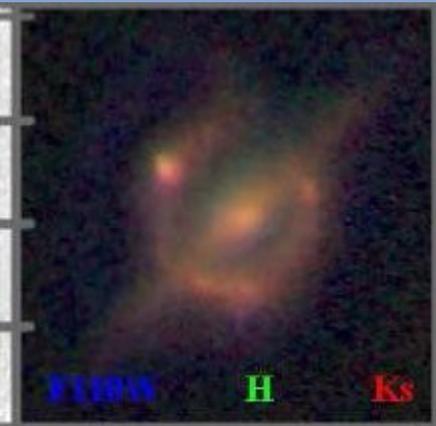


*Herrera et al. 2012*

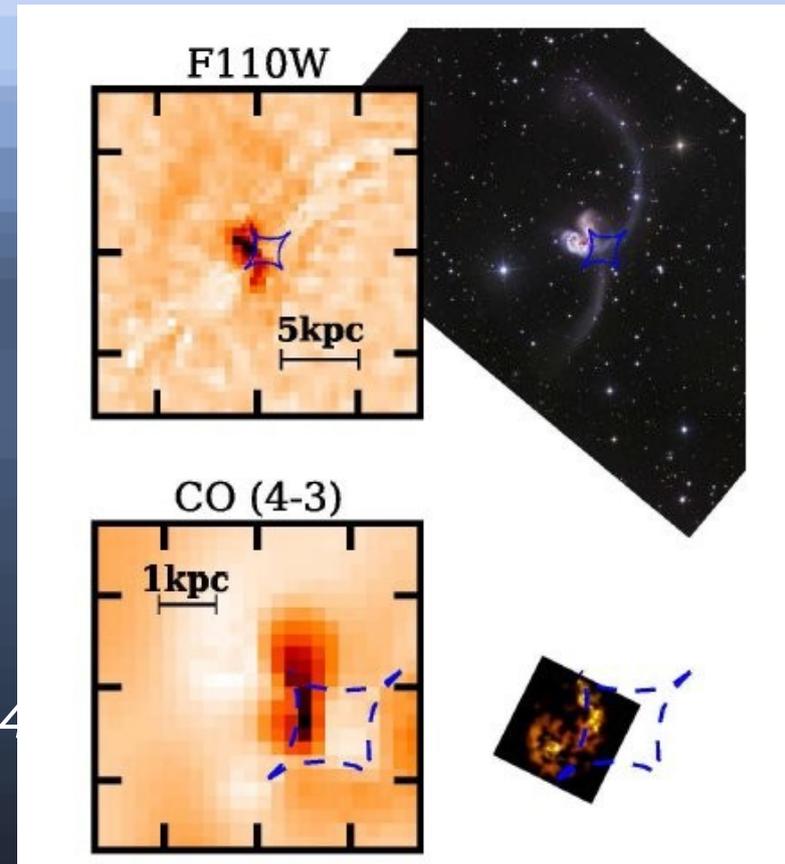
Energie  
cinétique des  
mouvements  
relatifs des  
galaxie →  
forte  
turbulence et  
chocs violents  
→ formation  
d'amas  
d'étoiles  
compacts



# A grand redshift aussi



*Belloche et al. 2014*



Galaxie en interaction à  $z \sim 1$  amplifiée par effet de lentille gravitationnelle par une galaxie d'avant plan

Modélisation soignée → propriétés dynamiques et énergétiques de la galaxie lointaine. Un analogue des antennes !

*Messias et al. 2014*



# Astrophysique de Laboratoire

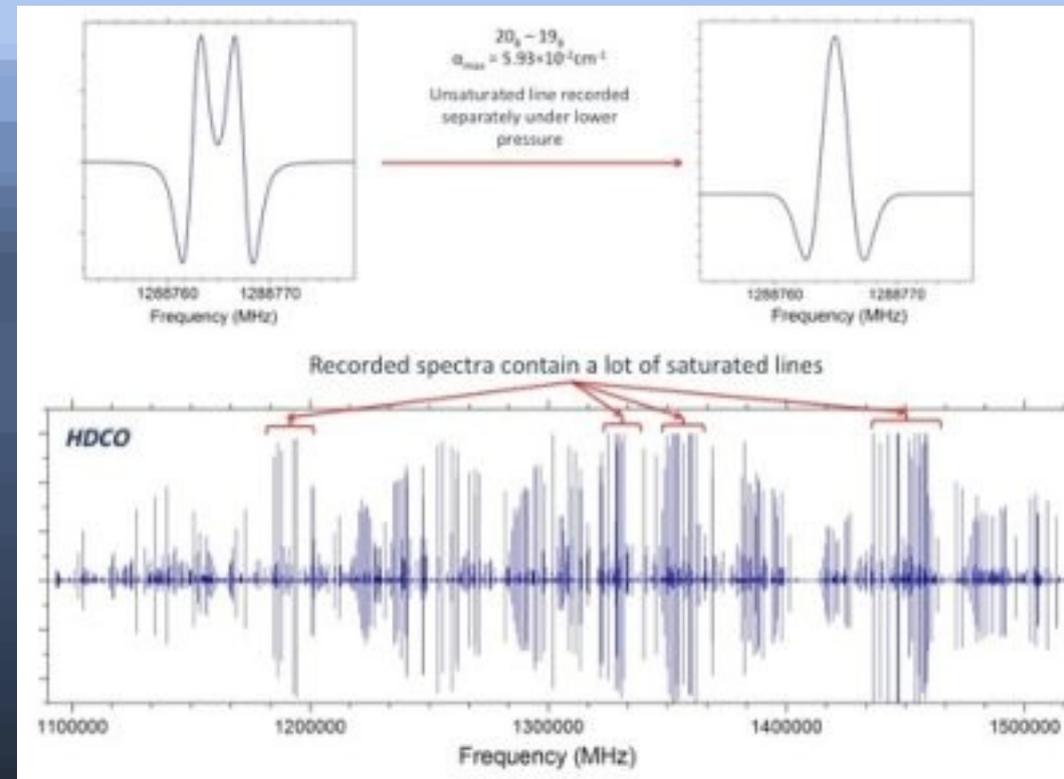
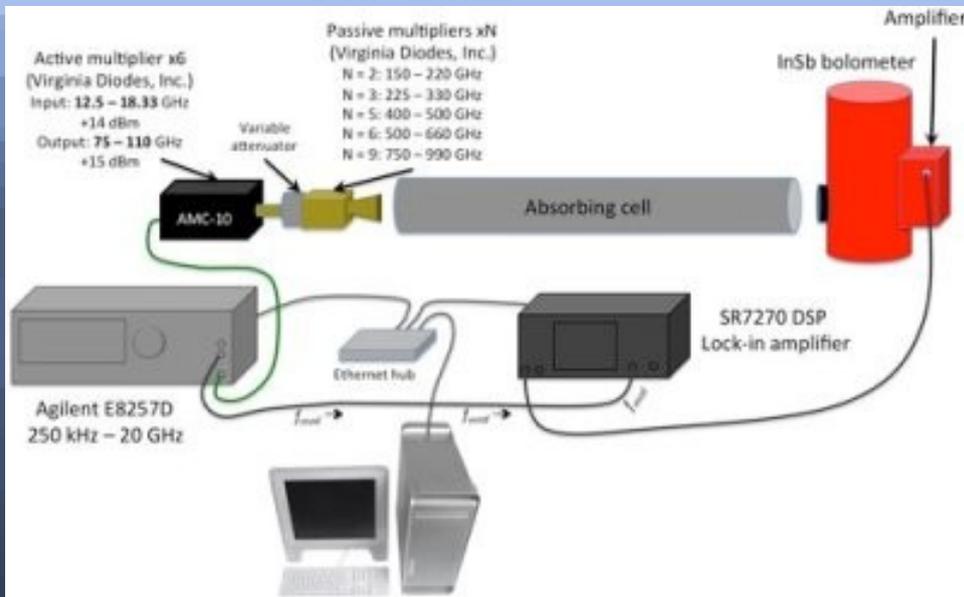
- Conditions extrêmes des milieux astrophysiques : un laboratoire naturel au delà de ce que
- Expériences de laboratoire en milieux contrôlés pour étudier les processus et mieux les comprendre
- Etudes théoriques des processus
- Nombreux défis tant pour les expériences que pour les études théoriques
- → Programme de recherche commun financé par le CNRS depuis plus de 30ans . PCMI (Physique et Chimie du Milieu Interstellaire)

*Colloque tous les 2 ans. Cette semaine à Rennes*

# Formation des molécules

- En phase gazeuse : études expérimentales et théoriques de réactions chimiques
- En phase solide : études sur les glaces
- Spectroscopie : études expérimentales et théoriques des propriétés de rotation et vibration de molécules : détection, caractérisation des milieux
- Phénomènes d'excitation par collisions entre molécules et atomes

# Spectroscopie

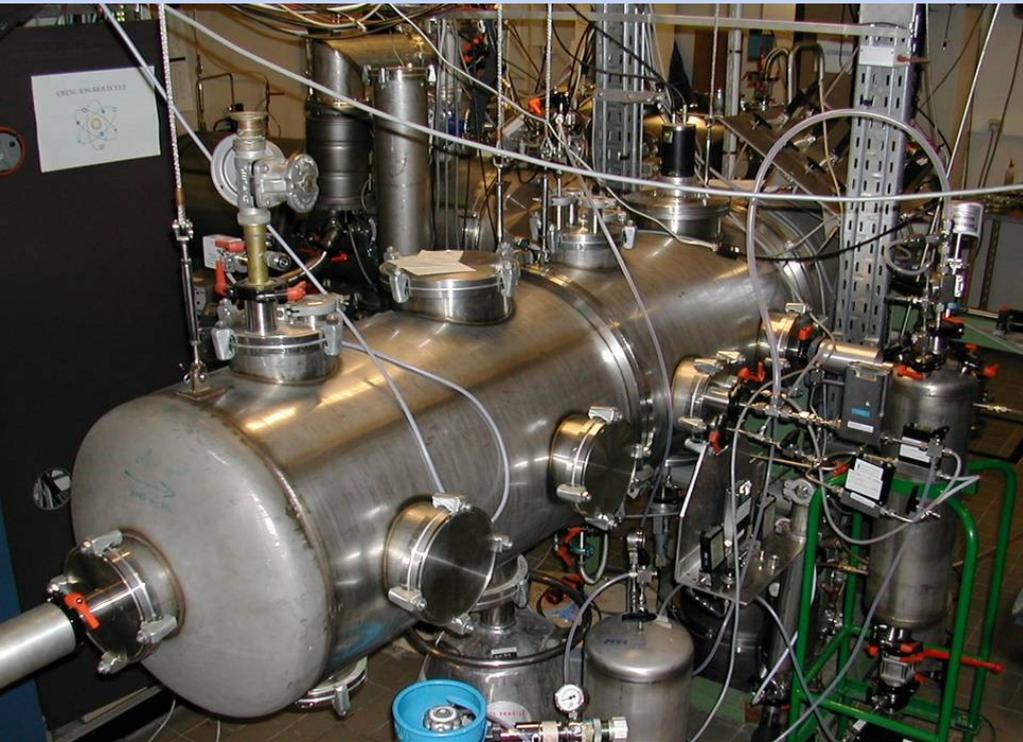


Mesure et analyse du spectre pour déterminer les caractéristiques des molécules : défi en instrumentation et pour l'interprétation et la théorie

(L. Margulès et al., Laboratoire PhLAM à Lille)

# Uniform Supersonic Expansion: CRESU

Cinétique de Réaction en Ecoulement Supersonique Uniforme  
Reaction Kinetics using a Uniform Supersonic Expansion

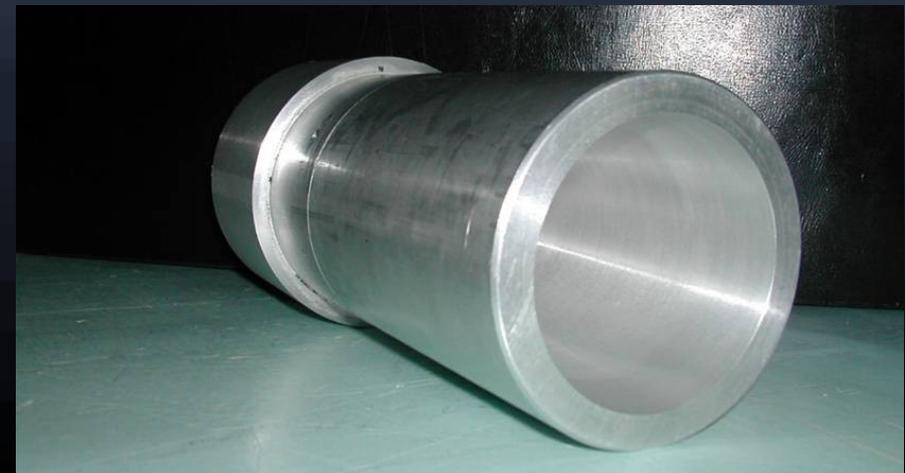


Experimental Chamber



Pumps

Laval Nozzle

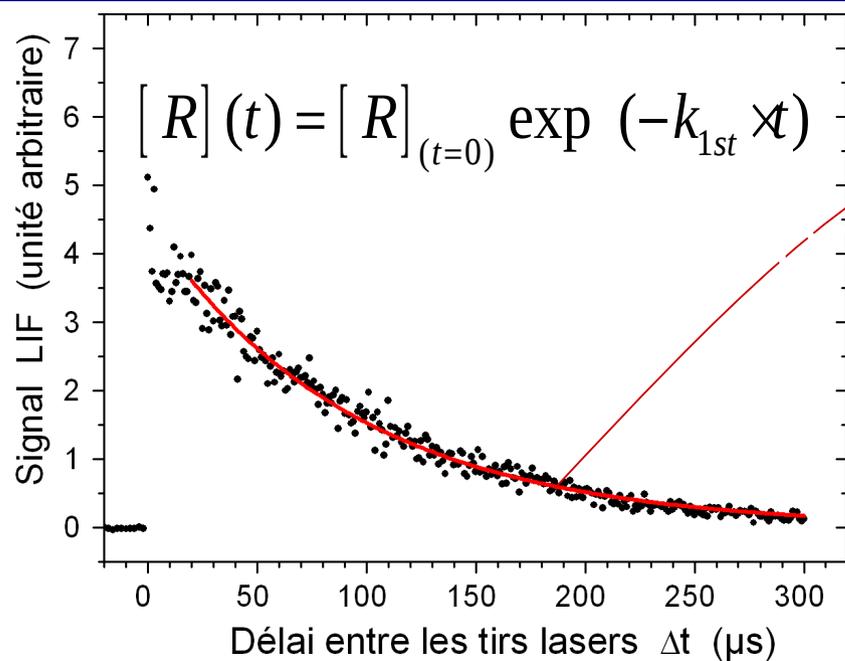


(Institut de  
physique de  
Rennes)

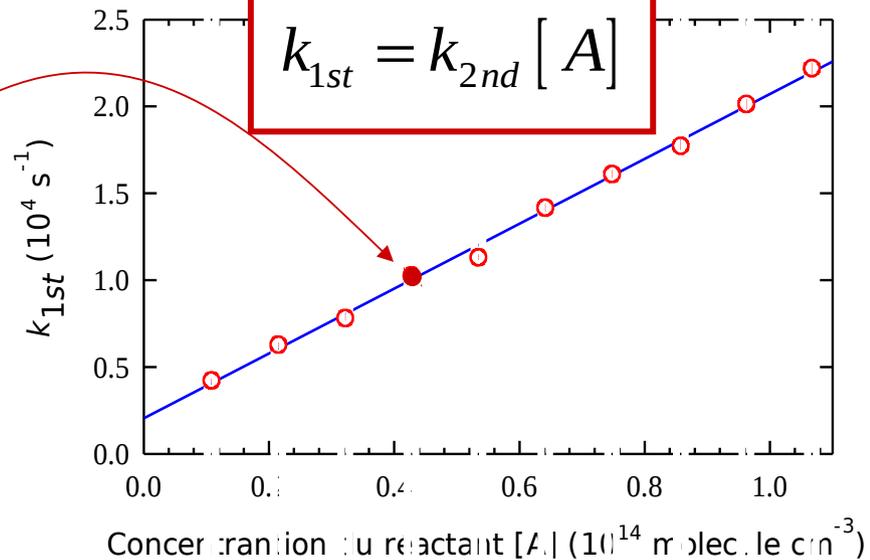
# Reaction Radical - NeutrE avec le CRESU

- Radical + A → products  $\frac{d[R]}{dt} = -k[R][A]$

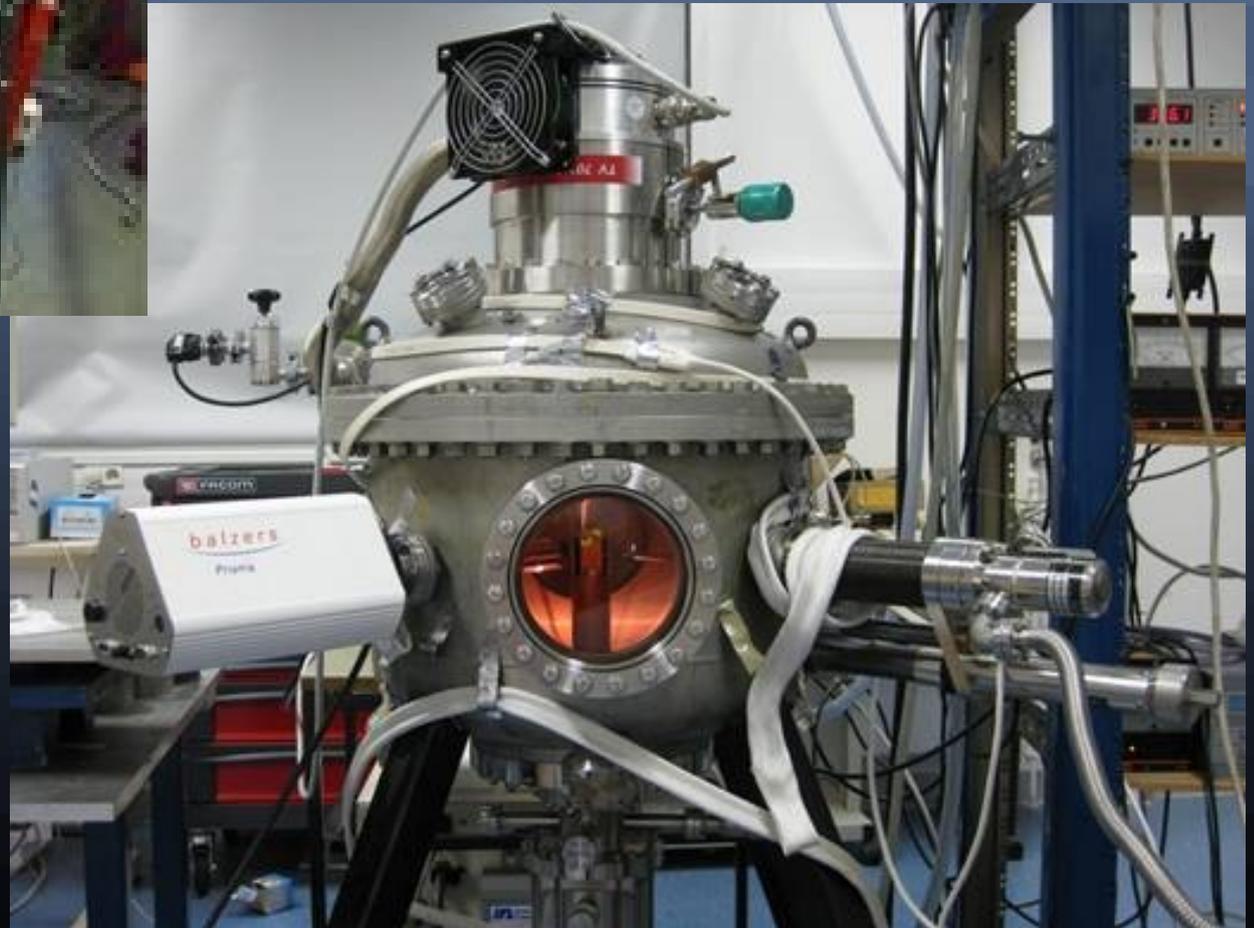
LIF decay



2<sup>nd</sup> order graph

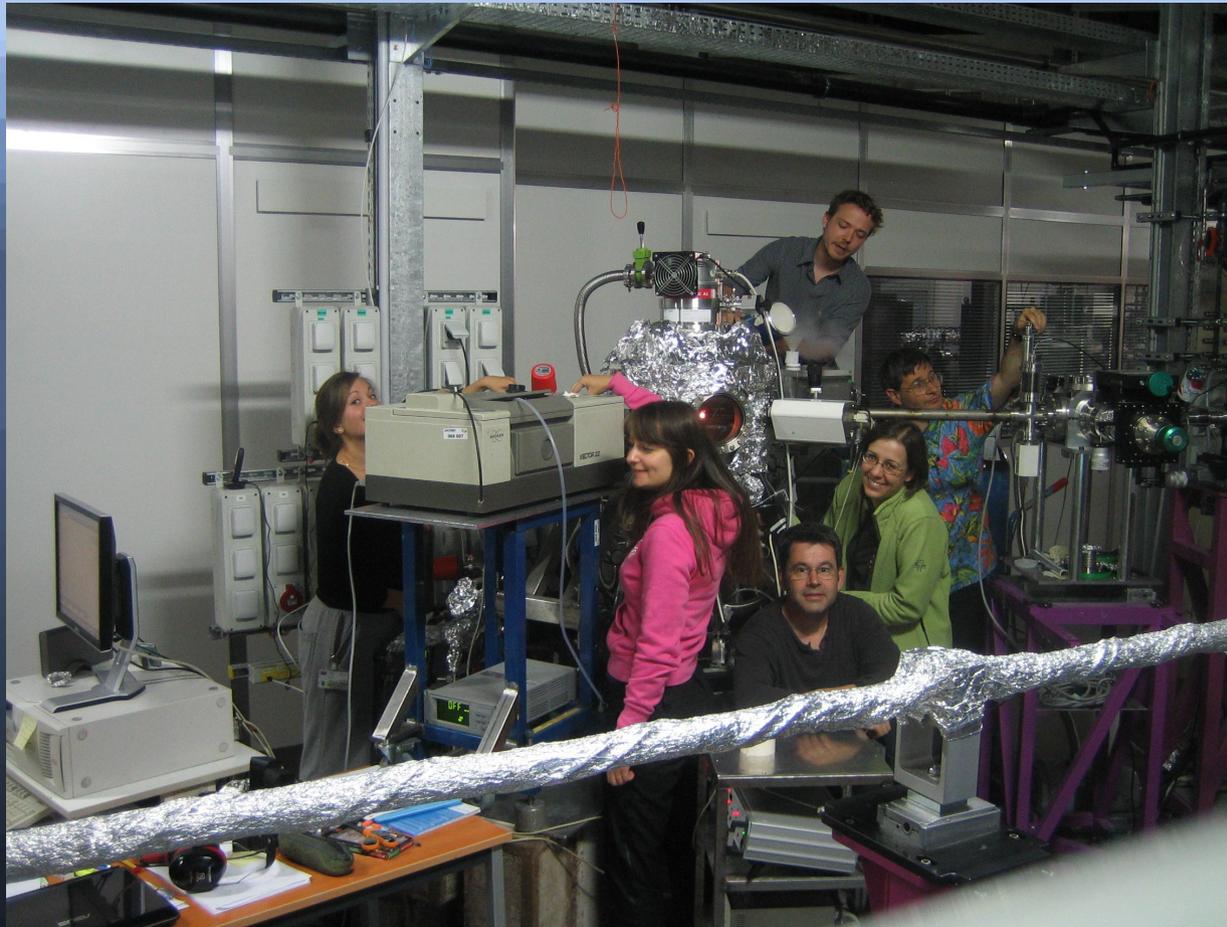


# Expériences sur les glaces



Synthèse de glaces à  
très basse température  
(10 K)

# Un travail d'équipe

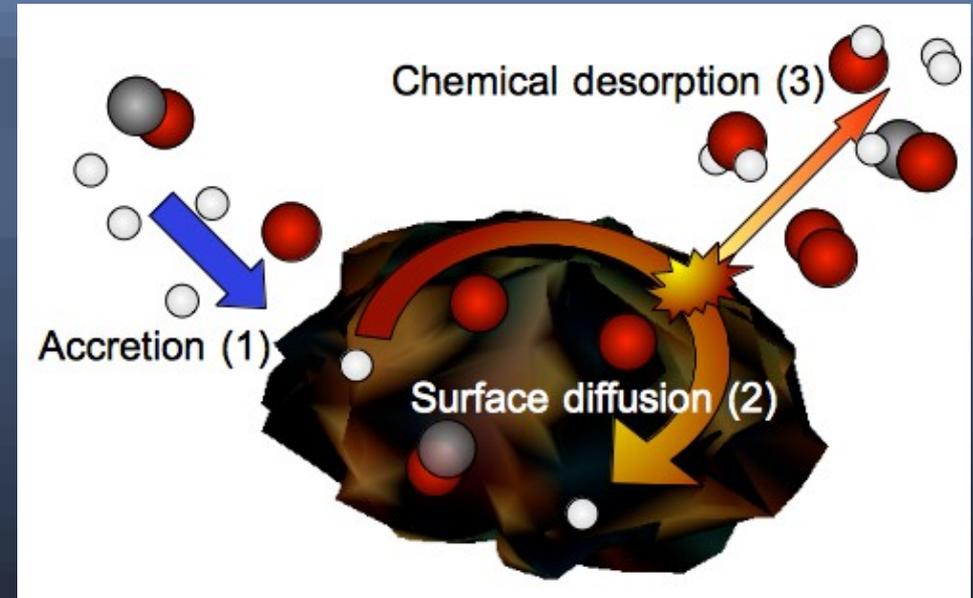
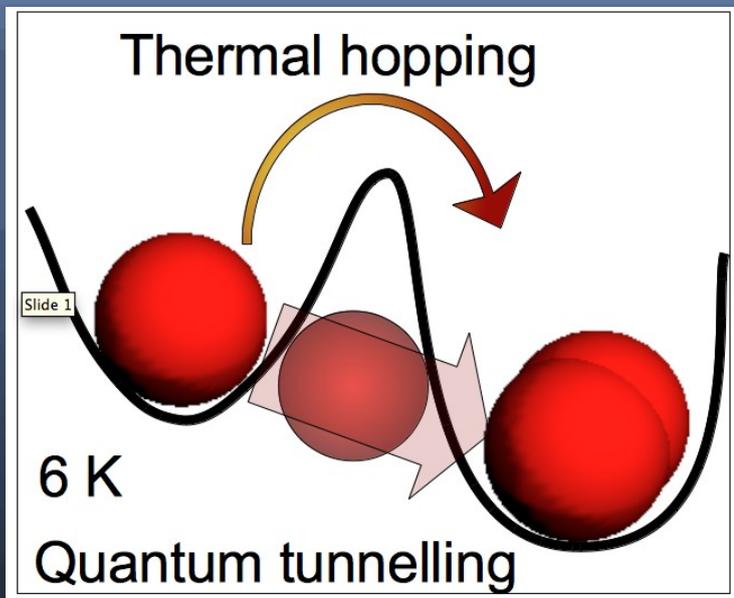


Irradiation avec le rayonnement synchrotron pour comprendre l'interaction avec le rayonnement dans l'ultra-violet lointain

J.H. Fillion *et al.*, Laboratoire LERMA à Paris

Diffusion des atomes O  
plus rapide qu'attendue

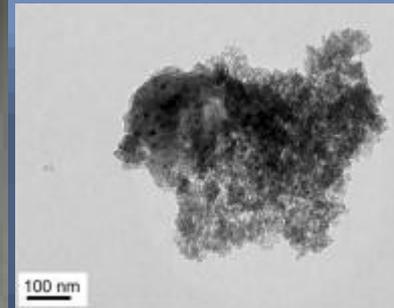
Démonstration expérimentale  
de la désorption chimique



(c) Minissale et al, PRL 2013  
L'oxydation sur les grains est un  
processus efficace qui doit être  
considéré au même titre que  
l'hydrogénation

(c) Dulieu et al, Nature Sci. Rep. 2013  
Une étape importante pour faire le lien entre la  
chimie sur les grains et les observations en  
phase gazeuse

# Etude des particules solides



Synthèse de grains nanométriques et caractérisation de leurs propriétés (expérience ESPOIRS à Toulouse, K. Demyk)

**Merci pour votre attention**





