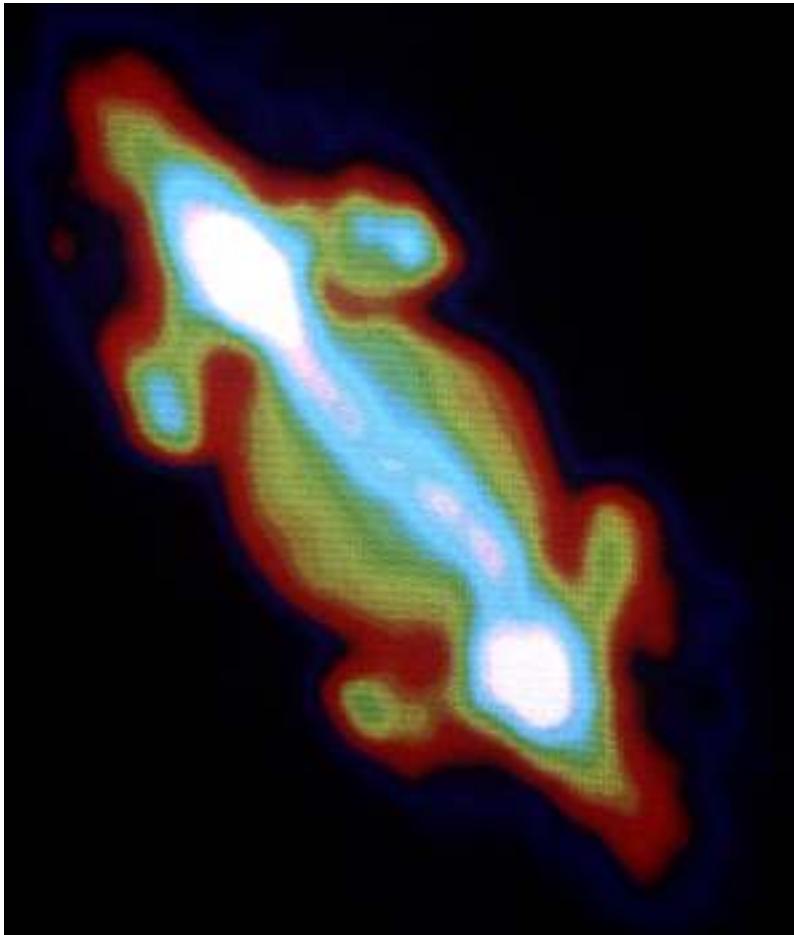


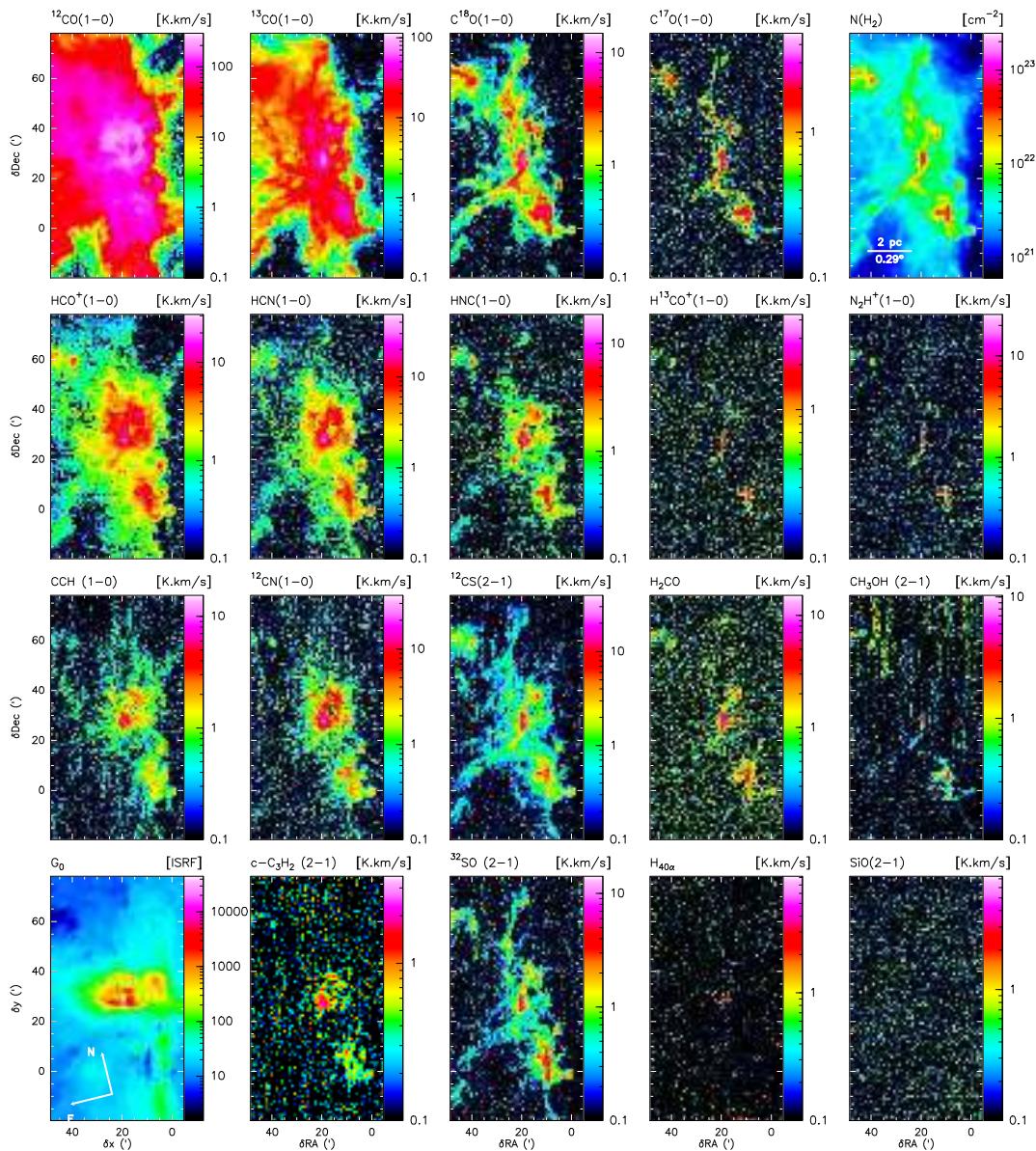
# L'Univers dans ma poche



## La radioastronomie



Laurent Pagani  
CNRS & Observatoire de  
Paris-PSL



Une région de formation stellaire dans Orion tracée en ondes radio émises par différentes molécules (CO, HCO<sup>+</sup>, HCN, N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>, C<sub>2</sub>H, CN, CS, ... en fausses couleurs).

Crédit P. Gratier et al. 2021.

La lumière est le plus riche des cinq messagers célestes (tuimp 43).

Longtemps, toute l'Astronomie a été basée sur ce que l'oeil pouvait voir, c'est-à-dire sur ce qui émet dans le visible. En particulier, les étoiles.

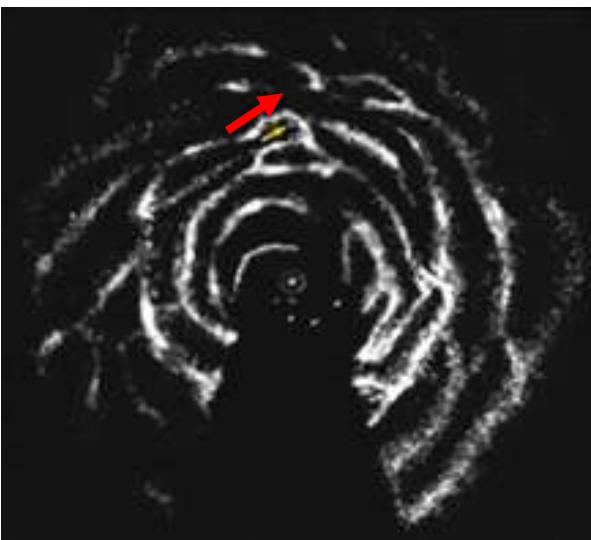
Y a-t-il d'autres corps célestes dans l'Univers que les étoiles? Des objets qui n'émettent pas dans le visible mais à d'autres longueurs d'ondes ? Par exemple en ondes radio ?

Nous savons maintenant construire des télescopes spécialisés pour détecter ces ondes (tuimp 45).

C'est ainsi que la radioastronomie, qui date de moins d'un siècle, nous a révélé des mondes insoupçonnés et fascinants. Ce mini-livre en présente quelques exemples. (Voir aussi tuimp 31 qui présente un phénomène radio spectaculaire : l'émission des pulsars qui sont des étoiles à neutron particulières).



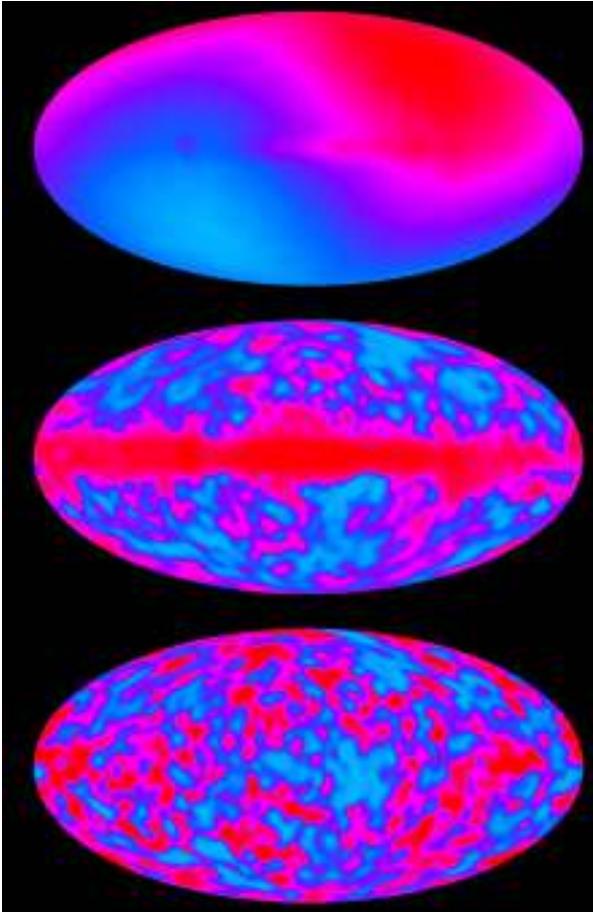
Émission en hydrogène neutre de la galaxie spirale M74 (en fausses couleurs). Crédit Walter et al. NRAO.



Émission en hydrogène neutre de la Voie Lactée révélant pour la première fois ses bras spiraux.  
La flèche montre la position du Soleil.  
(crédit J. Oort et WSRT)

# L'atome d'hydrogène

La longueur d'onde des photons est inversement proportionnelle à leur énergie et est sans rapport avec la taille de leur émetteur. Ainsi l'atome d'hydrogène bien que tout petit (il faudrait en mettre 10 milliards côte à côte pour former une ligne de 1 mètre) émet un signal à 21 cm de longueur d'onde. L'hydrogène étant l'élément le plus abondant dans l'Univers (10 fois plus abondant que l'hélium et 2000 fois plus que l'oxygène), on le voit partout. Il trace les galaxies depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours. Quand on observe les raies spectrales (voir tuimp 30) en radio, on peut utiliser l'effet Doppler pour mesurer la vitesse radiale des objets émetteurs. En modélisant la relation entre la vitesse et la distance, on peut utiliser cette émission radio pour cartographier la structure spirale de la Voie lactée et mesurer la rotation d'autres galaxies.

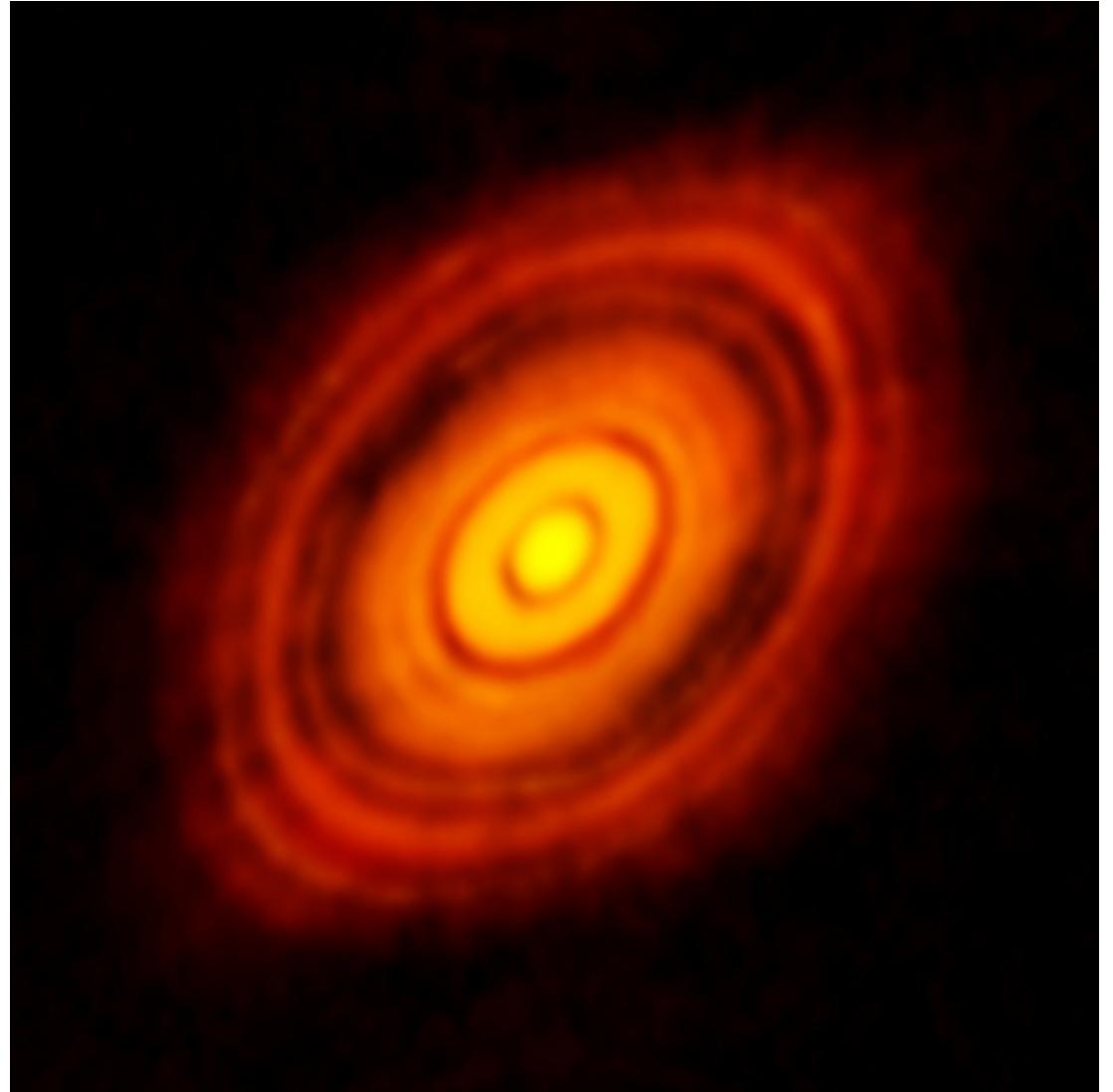


Le ciel vu par le satellite COBE en radio à 53 GHz. En haut le rayonnement cosmologique à 2.72 Kelvin (tout près du zéro absolu), bleui dans la direction de déplacement de la Voie Lactée. Au milieu, les fluctuations résiduelles lorsque l'effet de ce mouvement est supprimé. Notre Galaxie (en rouge) domine. En bas, notre Galaxie est soustraite. Les images sont en fausses couleurs.  
(Crédit NASA)

# Le « fond cosmologique » radio

L'Univers est apparu il y a 13,8 milliards d'années. Il était très dense et chaud et il est rentré en expansion (voir tuimp 12).

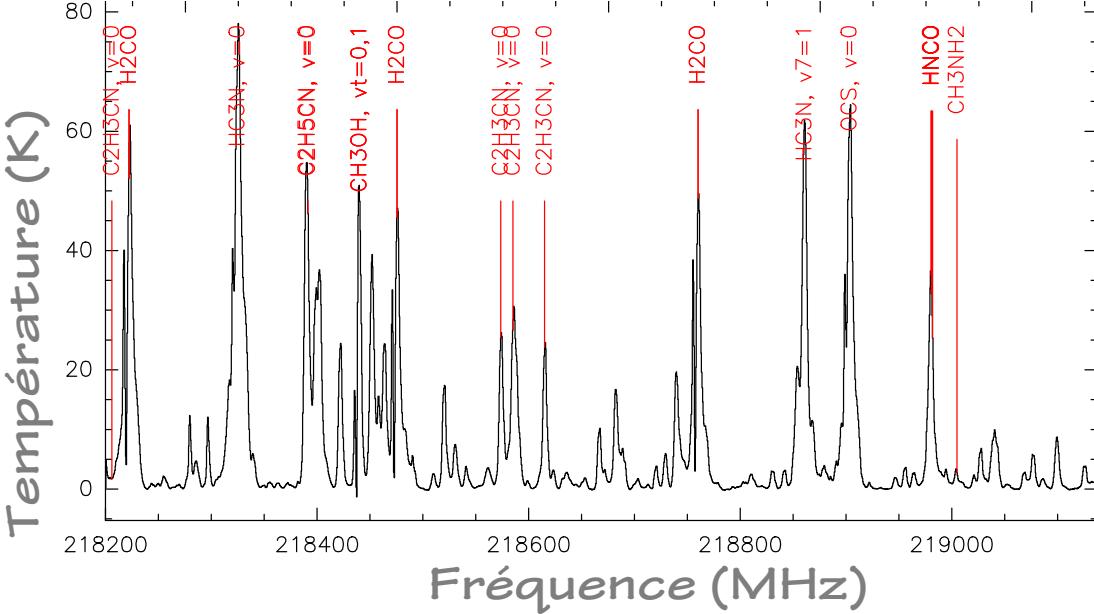
Depuis, l'énergie qu'il contenait s'est diluée dans un volume de plus en plus grand et la lumière très énergétique des débuts a laissé place à un rayonnement à 2,72 Kelvin, une température à peine supérieure au zéro absolu,. Ce rayonnement très froid n'est visible que par son émission radio isotrope. Comme la Terre, le Soleil et notre Galaxie se déplacent, ils modifient la fréquence apparente de cette émission, et on la voit se décaler vers le bleu dans la direction où nous allons et se décaler vers le rouge à l'opposé. Mesurer ce décalage permet de connaître notre direction globale et notre vitesse de déplacement qui est de 600 km/s (la Terre se déplace à 30 km/s autour du Soleil). Les fluctuations résiduelles dévoilent les embryons des grandes structures de l'Univers qui vont se former.



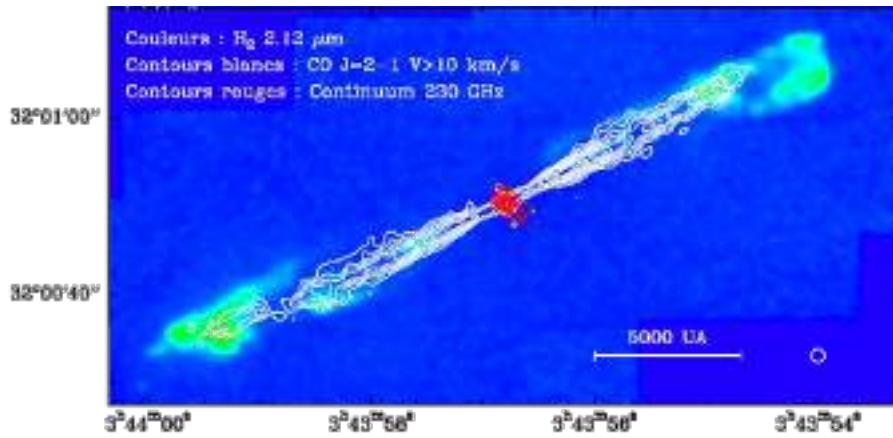
Le disque de l'étoile T Tauri, qui est une étoile en train de se former, est riche en poussières et en gaz. Voici une carte radio où l'on voit des anneaux de poussière entre lesquels apparaissent des sillons dus à des planètes en train de se former (fausses couleurs).

# Les poussières

Tout corps qui n'est pas au zéro absolu émet un rayonnement dont l'intensité et la « couleur » vont dépendre surtout de sa température. La surface du Soleil vers  $5500^{\circ}\text{C}$  brille dans le jaune, le corps humain à  $37^{\circ}\text{C}$  brille dans l'infrarouge à  $10\text{ }\mu\text{m}$  de longueur d'onde (et on peut le voir avec des lunettes à infrarouges même la nuit). Toutes les poussières interstellaires brillent. Si elles sont très froides elles ne vont briller que dans l'infrarouge lointain ou la radio. C'est ainsi qu'on a pu étudier les nuages sombres extrêmement froids (à  $10\text{ Kelvin}$ ). Quand les étoiles se forment dans les nuages, un disque de poussières et de gaz apparaît autour d'elles, dans lequel des sillons se révèlent : ce sont les futures planètes en train de se former qui récupèrent tout le matériau sur leur orbite pour grossir et laissent des sillons dépourvus de poussières..



Raies d'émission de molécules dans la nébuleuse d'Orion. Chaque pic indique la présence d'une molécule (quelques exemples sont indiqués). Crédit L. Pagani.



Émission radio de la molécule de CO (en blanc) dans les jets sortants d'une proto-étoile. Les contours rouges montrent l'émission radio de la poussière chaude, comme dans le système T Tauri (fausses couleurs),

Crédit C. Dougados.

# Les molécules

Les atomes ne peuvent émettre de la lumière que quand leurs électrons changent de niveau d'énergie (excepté pour l'hydrogène). Ces changements délivrent beaucoup d'énergie et ils émettent généralement dans le visible, l'infrarouge proche ou l'ultraviolet. Les molécules, assemblages de plusieurs atomes (au moins deux, comme CO, le monoxyde de carbone, ou trois comme H<sub>2</sub>O, l'eau), ont en plus la possibilité de vibrer ou de tourner sur elles-mêmes. Cette rotation se fait avec très peu d'énergie et les échanges d'énergie avec la lumière se font en ondes radio. On a ainsi pu détecter plus de 300 molécules différentes dans l'Univers.

Les étoiles en train de naître émettent souvent une paire de jets très visibles dans les raies de certaines molécules (CO, SO, SiO,...) que les radiotélescopes permettent de voir.



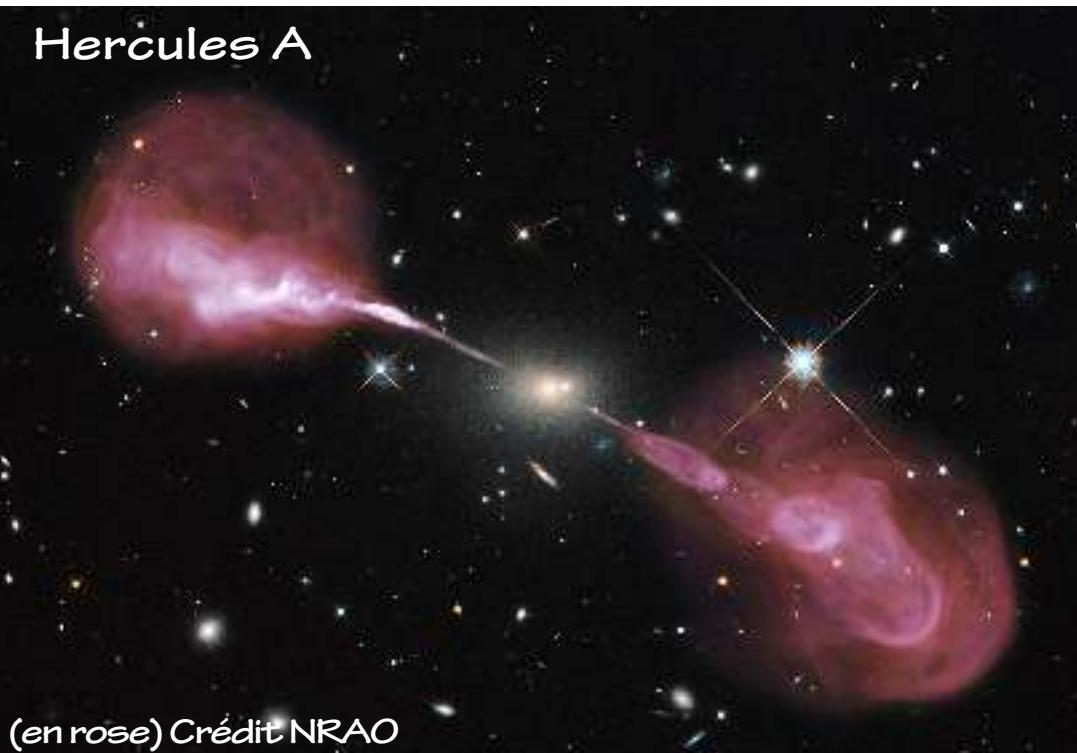
3 kpc

Une radiogalaxie dite « compacte ». C'est une galaxie elliptique rouge. L'émission radio à 4.5 GHz, représentée par des courbes de niveau en bleu, ne dépasse pas les frontières de la galaxie.

Crédit Baldi et al, 2019

La radiogalaxie Hercules A. L'image en lumière visible (en blanc) vient du Télescope Spatial Hubble. Elle est superposée avec l'image radio (en rose) obtenue par le VLA.

Hercules A



(en rose) Crédit NRAO

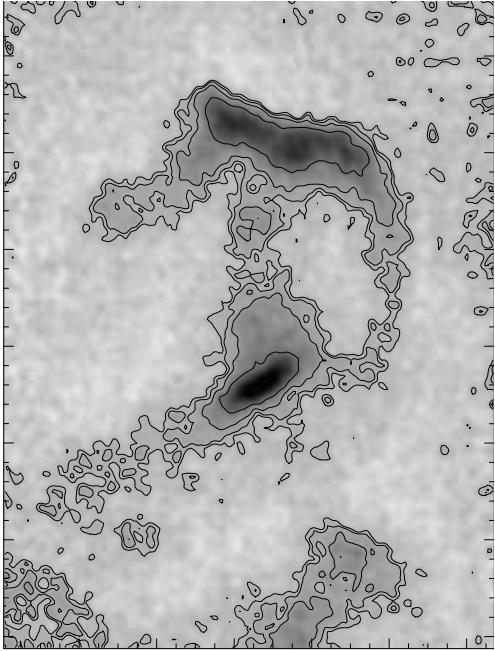
# Les radiogalaxies

On pense aujourd'hui que la plupart des galaxies ont un trou noir supermassif en leur centre. Si de la matière se trouve à proximité, ce trou noir l'accrète via un « disque d'accrétion » (voir tuimp 47). On dit que le trou noir devient « actif ».

Dans certains cas une paire de jets de matière ionisée se forme.

La cause de ce phénomène n'est pas encore entièrement comprise. On pense qu'en tournant, le disque d'accrétion génère un champ magnétique qui concentre la matière du disque dans des jets très rapides, détectables en radio.

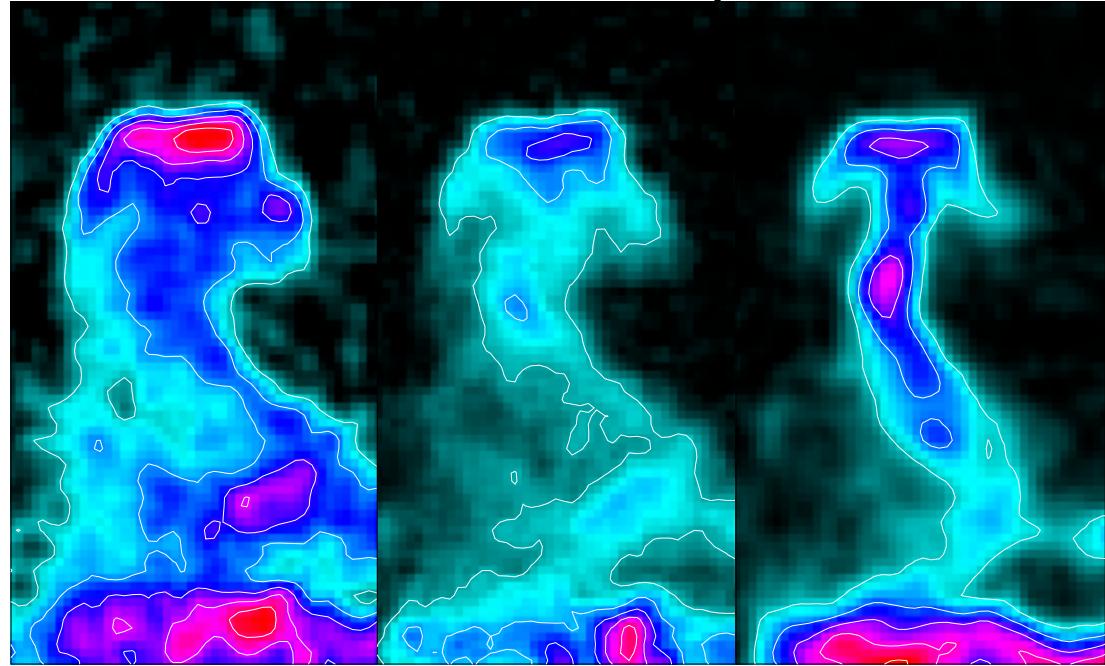
La plupart du temps la taille des jets ne dépasse pas celle de la galaxie. Mais dans certains cas l'effet est spectaculaire. Les jets s'étendent dans le vide intergalactique sur des distances pouvant dépasser plusieurs millions d'années-lumière.



# Question

Voici cinq images de la Nébuleuse de la Tête de Cheval dans Orion. Laquelle ne vient pas du domaine radio ?

Réponse au verso.



Visible



crédit ESO



Poussières



crédit  
Ward-Thompson

Réponse : on voit les étoiles,  
c'est donc une image dans le visible!

CN

HNC

$C^{18}O$

crédit Projet OrionB (Pety et Gerin)

# L'Univers dans ma poche N° 46

Ce mini-livre a été écrit par Laurent Pagani de l'Observatoire de Paris/CNRS et révisé par Grażyna Stasińska de l'Observatoire de Paris et Stan Kurtz (IRyA, Morelia, Mexique).

Image de couverture : Émission synchrotron (rayonnement émis par des électrons tournant dans un champ magnétique) de Jupiter vue à 20 cm de longueur d'onde par le radiotélescope VLA. L'émission révèle les ceintures d'électrons solaires piégés dans le champ magnétique à l'extérieur de la planète (fausses couleurs). Crédit NRAO/UAI/VLA.



Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre visiter <http://www.tuimp.org>