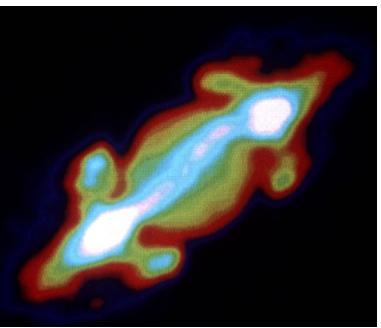


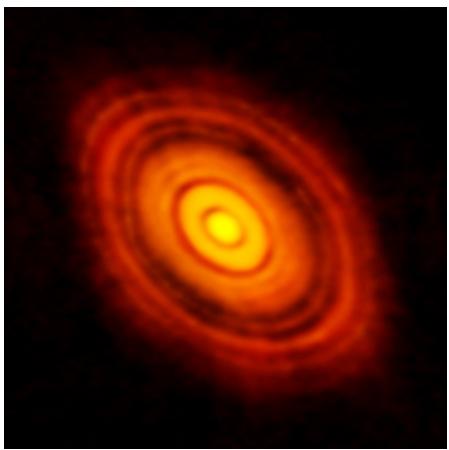
Laurent Pagani  
CNRS & Observatoire de  
Paris-PSL



## La radioastronomie



### L'Univers dans ma poche



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

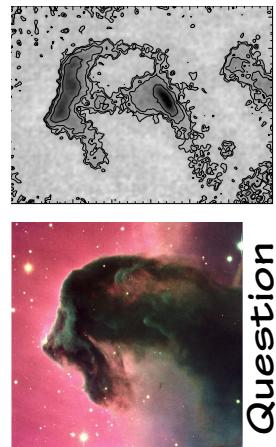
radio où l'on voit des anneaux de poussières entre lesquels apparaissent des sillons dus à des planètes en train de se former (fausses couleurs).

Crédit: ALMA.

**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°C brille dans le jaune, le corps humain à 37°C brille dans l'infrarouge à 10 µm 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 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 matériel sur leur orbite pour grossir et laisser des sillons dépourvus de poussières..

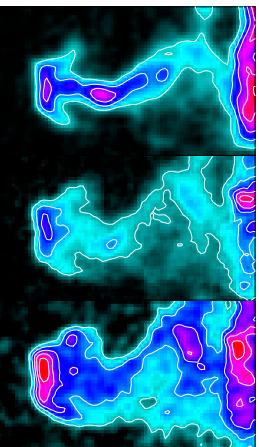
9



## Question

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

Réponse au verso.



## Hercules A

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.

Credit: 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.

**L'atome d'hydrogène**

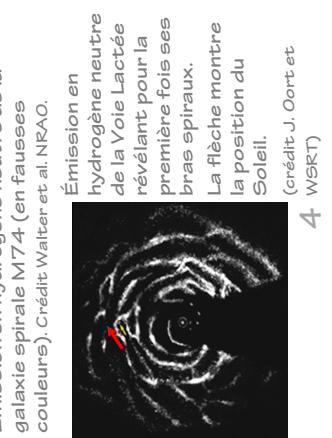
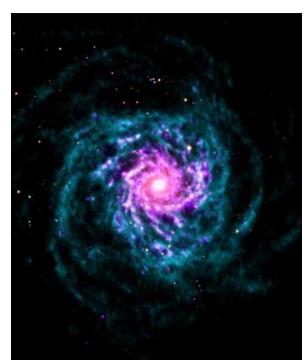
La longueur d'onde des photons est inversement proportionnelle à leur énergie et est sans rapport avec la taille de leur émetteur. Ainsi l'atome d'hydrogène bien que tout petit (il faudrait en mettre 10 milliards côte à côte pour former une ligne de 1 mètre) émet un signal à 21 cm de longueur d'onde. 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 le temps les plus reculés jusqu'à nos jours. Quand on observe les raies spectrales (voir tuimpi 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 de autres galaxies.

5

**Les radiogalaxies**

On peut observer que la plupart des galaxies sont dans un état actif. Dans certains cas une paire de jets de matière éjectée se forme. La cause de ce phénomène n'est pas encore entièrement comprise. On pense qu'en tournant, le disque d'accrétion radio passe à l'actif. Les jets se déroulent dans l'espace sur des distances millions d'années-lumière. Les jets se déroulent dans le vide intargabatique sur des distances pouvant dépasser plusieurs millions d'années-lumière.

La position du bras spiral de la Voie lactée révélant pour la première fois ses couleurs). Crédit: W. Hartel et al. NRAO.



Émission en hydrogène neutre de la galaxie spirale M74 (entailles premières et bras spiral). La flèche montre la position du bras spiral de la Voie lactée révélant pour la première fois ses couleurs). Crédit: W. Hartel et al. NRAO.

Émission en hydrogène neutre de la Voie lactée révélant pour la première fois ses couleurs). Crédit: W. Hartel et al. NRAO.

4

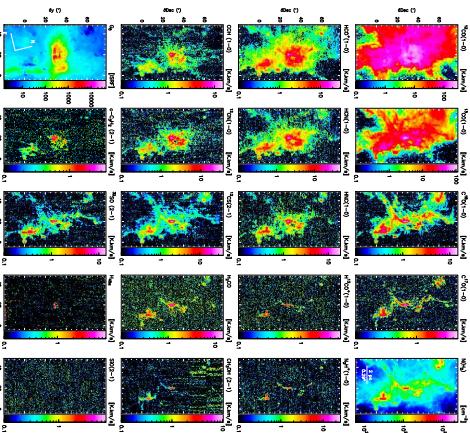
+

Le « fond cosmologique » radio

L'Univers est apparu y a 13,8 milliards d'années. Il était très dense et chaud et il est rentré en expansion (voir l'ajmp 12). Depuis, l'énergie qu'il contenait s'est dilatée

dans un volume de plus en plus grand et la luminosité 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 hésite 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.

7



Une région de formation s'étend le long d'une branche tracée en ondes radio émises par différentes molécules ( $\text{CO}$ ,  $\text{HCO}^+$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{N}_2\text{H}^+$ ,  $\text{C}_2\text{H}$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{CS}$ , ... en fausses couleurs).

c'est donc une image dans le visible!

L'Univers dans ma poche N° 46

**Pagani de l'Observatoire de Paris/CNRS et révisé par Grazyna Stasinska de l'Observatoire de Paris et Stanislaw Kortz (IRFA, Morelia, Mexique).**

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

TUIMP Creative Commons



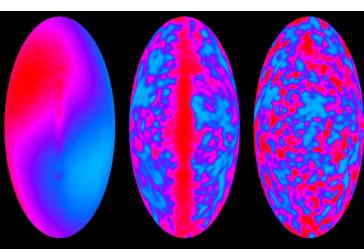
Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre visitez <http://www.tuimp.org>

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 rales de certaines molécules (C<sub>2</sub>O, SiO...) que les radiotélescopes permettent de voir. 11

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), bleu dans la direction de déplacement de la Voie Lactée. Au milieu, les fluctuations résiduelles lorsquell'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)



date de moins d'un siècle, nous a révélé des mondes insoupçonnés et fascinants. Ce mini-livre en présente quelques exemples. N'oubliez pas l'imp 3-1 qui présente un phénomène radio spectaculaire : l'émission des pulsars, qui sont des étoiles à neutron particulières).

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 (tutimp 45).

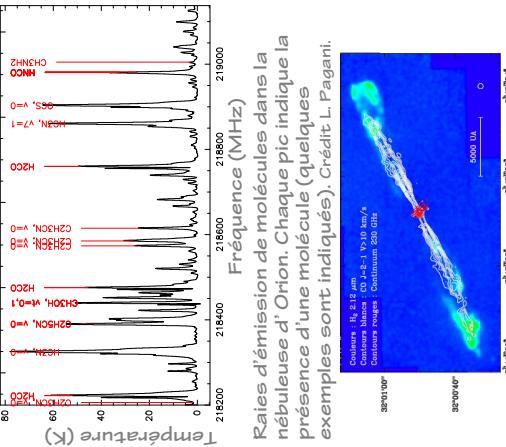
La lumière est le plus riche des clair-  
messagers célestes (tuiimp 4-3).  
Longtemps, toute l'Astronomie a été  
baseée sur ce que l'œil pouvait voir, c'est-à-dire sur ce qui émet dans le visible. En particulier, les étoiles.

Les images sont en fait  
(Crédit NASA) 6

2

crédit Projet OrionB (Pety et Gerin)

10



Emission radio de la molécule de CO (en blanc), dans les jets sortant d'une proto-étoile. Les contours rouges montrent l'émission radio de la poussière chaude, comme dans le système TTauri (fausses couleurs). Crédit: C. Bouyada.

adiot