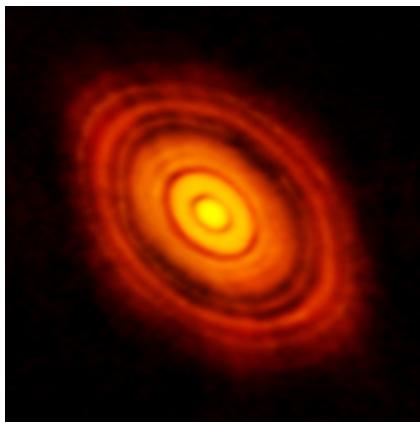


+
8
Le disque de l'étoile T Tauri, qui est une étoile en train de se former, est riche en poussières et en gaz. Voici une carte radio où l'on voit des anneaux de poussières entre lesquels apparaissent des sillons dus à des planètes en train de se former (fausses couleurs).
Crédit: ALMA

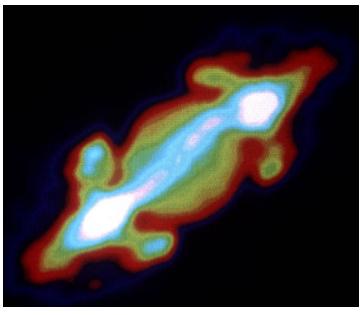


Les poussières

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 $10\ \mu\text{m}$ 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 ($\text{à }10\text{ Kelvin}$). 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 laisser des sillons dépourvus de poussières..

9
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 dûs à des planètes en train de se former (fausses couleurs).
Crédit: ALMA

L'Univers dans ma poche

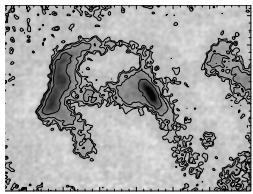


La radioastronomie



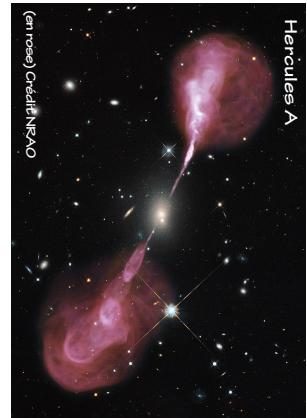
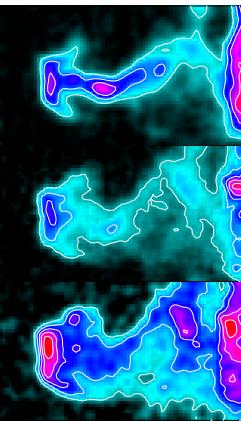
Laurent Paganini
CNRS & Observatoire de Paris-PSL

4



Question

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



Crédit: Baldi et al. 2019

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.

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.

Les radiogalaxies

On pense que la plupart des galaxies contiennent un supermassif noir l'accrète via un « phénomène d'accrétion » (voir « Un peu d'accretion »). On dit alors qu'il 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. 13

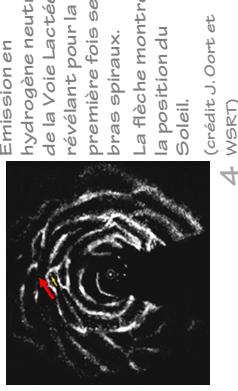
L'atome d'hydrogène

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 côté à côté pour former une ligne de 1 mètre) émet, un signal à 21 cm de longueur d'onde. L'hydrogène étant relativement le plus abondant dans l'Univers (10 fois plus abondant que l'hélium et 2000 fois plus qu'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 « Un peu d'accretion ») 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.

5



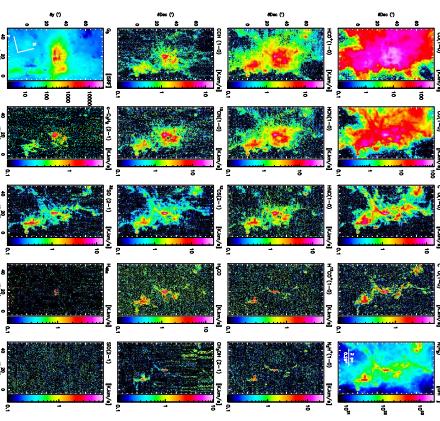
Émission en hydrogène neutre de la galaxie spirale M74 (en fausses couleurs). Crédit: Walter et al. NRAO.



4. W.E.R.

5

+



tracée en ondes radio émises par différentes molécules (CO , HCO^+ , HCN , N_2H^+ , C_2H , CN , CS ... en fausses couleurs).

2

The figure consists of three vertically stacked grayscale images of the Orion Nebula. The top image is labeled 'CN' in the bottom right corner, the middle image is labeled 'HNC' in the bottom right corner, and the bottom image is labeled 'C₁₈O' in the bottom right corner. Each image shows a complex network of bright, dense regions against a darker background, representing the spatial distribution of these specific molecules within the nebula.

TUIMP Creative Commons



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

LA planète (taussees couleures).

Ce mini-livre a été écrit par Laurent Pagant 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/JAUNLA.

L'Univers dans ma poche N° 46

La lumière est le plus riche des cinq messagers célestes (tuimp 4-3).

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 l'unité 31 qui présente un phénomène radio spectroscopique : l'émission des pulsars, qui sont des étoiles à neutrons particulières).

Nous savons maintenant construire des télescopes spécialisés pour l'étude de la radio-astronomie.

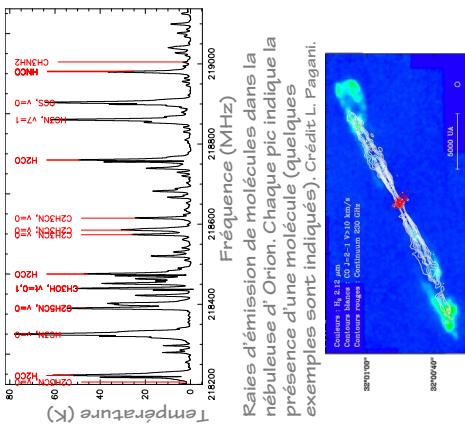
Y-a-t-il d'autres corps célestes dans l'Univers que les étoiles? Des objets qui n'émettent pas dans le visible mais à d'autres longueurs d'ondes? Par
particulier, les étoiles.

messagers célestes (fullimp 4-3). Longtemps, toute l'Astronomie a été basée sur ce que l'œil pouvait voir; c'est-à-dire sur ce qui émet dans le visible. En

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-tuimp 12). Dennis 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. Mesureure 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.



Émission radio de la molécule de CO (en gris) 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).

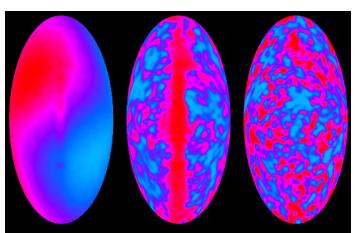
10

— 1 —

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 H₂O, 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 rails de certaines molécules (CO, 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 lorsqu'en effet de ce mouvement est supprimé. Notre Galaxie (en rouge) domine. En bas, les images sont en fausses couleurs. (Crédit NASA)