

# Les trous noirs

Prix Nobel de Physique 2020

## Marius Ptak

Le prix Nobel de Physique 2020 a été attribué à Roger Penrose (GB) qui a montré que la formation des trous noirs est une prédiction robuste de la théorie de la relativité générale et à Reinhard Genzel (Allemagne) et Andrea Ghez (EU) pour la découverte d'un objet compact supermassif (trou noir\* associé à Sagittarius A\*) au centre de notre galaxie.

**Roger Penrose** est né le 8 août 1931 à Colchester (GB). Il a aujourd'hui 89 ans. Il a fait ses études à University College London (BSc) puis à St John's College, Cambridge (MSc, Dphil). Il obtient son doctorat en 1957 à Cambridge sur les « méthodes tensorielles en géométrie algébrique ». Il a ensuite une brillante carrière universitaire. Il enseigne les mathématiques à Birkbeck College (Londres) (1964-1973) puis dans différentes universités, St John's College, University of Texas at Austin, etc. Il est actuellement Professeur émérite à Oxford. En 1915, Albert Einstein publie pour la première fois l'équation fondamentale de la relativité générale. En 1965, à Cambridge, Roger Penrose prouve que des singularités gravitationnelles comme celles au centre des trous noirs peuvent être formées à partir de l'effondrement gravitationnel d'étoiles massives en fin de vie. Tout au long de sa carrière Roger Penrose a développé des travaux théoriques sur la relativité générale et la physique quantique et collabore très

activement avec Stephen Hawking (cosmologie et gravité quantique). Il publie de nombreux livres sur l'espace-temps, les lois de l'univers, etc. Ses travaux le font considérer comme l'un des plus grands physiciens mathématiciens actuels.

\* Le terme « trou noir » a été inventé par le physicien américain John Wheeler, en 1967, pour décrire une concentration de masse-énergie qui s'est effondrée gravitationnellement sous sa propre force d'attraction et qui est devenue si compacte que même les photons ne peuvent se soustraire à cette force gravitationnelle : rien même la lumière, ne peut s'échapper de ces trous.

**Reinhard Genzel**, est né le 24 mars 1952 à Bad Homburg vor der Höhe. Il a aujourd'hui 68 ans. Il a fait ses études de physique à l'Université de Freiburg et à celle de Bonn où il obtient son doctorat en 1978. La même année il soutient une thèse en radioastronomie préparée à l'Institut Max Planck. Il part aux Etats Unis et il est nommé professeur dans le département de Physique à Berkeley (EU). En 1986 il devient directeur de l'Institut Max Planck pour la physique extraterrestre à Garching (arrondissement de Munich). En astronomie c'est un expert des études infrarouges et submillimétriques réalisées avec le VLT (Very Large Telescope) de l'ESO (European Southern Observatory), localisé au Chili. Avec son groupe il se spécialise dans l'étude des orbites des étoiles

au centre de la voie lactée dans l'environnement de Sagittarius A\* et il démontre qu'au centre de ces orbites il y a un objet massif reconnu comme étant un trou noir supermassif de  $4.1 \pm 0.6$  millions de masses solaires. Genzel a notamment mis en évidence la présence de sursauts lumineux se produisant régulièrement au niveau du trou noir dans les longueurs d'onde infra-rouge. L'origine de ces sursauts est encore très discutée. L'astéroïde 18241 a été nommé Genzel en son honneur.

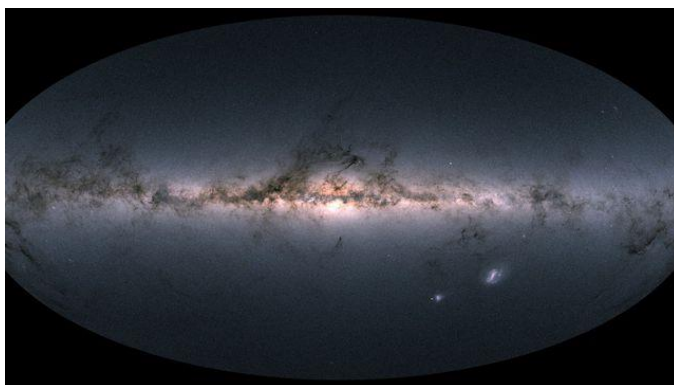
**Andrea Ghez** est née le 16 juin 1965 à New York. Elle a aujourd'hui 55 ans. Elle a fait ses études à l'Université de Chicago puis au Massachusetts Institute of Technology (jusqu'en 1987) et enfin au California Institute of Technology où elle soutient sa thèse en 1992.

Elle est nommée professeur au département de physique et d'astronomie de l'Université de Californie à Los Angeles (UCLA). En 2004, le magazine Discover l'a classée parmi les 20 scientifiques américains les plus doués de leur domaine. Elle emploie des techniques de haute résolution en infrarouge avec les deux télescopes Keck (situés à 4 145 mètres, sur le mont Mauna Kea de l'île d'Hawaï). Ces deux télescopes sont parmi les plus grands télescopes optiques et proche infrarouge en service pour étudier au centre de la voie lactée les trajectoires des étoiles et tout particulièrement celles qui se trouvent au voisinage de Sagittarius A\* (Sgr A\*) trou noir super massif  $4.1 \pm 0.6$  million de masses solaires et situé à 26 000 années-lumière de la Terre. Ces résultats confirment et améliorent ceux de Reinhard Genzel

Le disque d'accrétion c'est à dire le disque qui entoure le trou noir de SgrA\* contient du gaz chaud à environ  $10^7$  K et du gaz froid à une température comprise entre  $10^2$  et  $10^4$  K. En 2019, une première observation de la portion froide du disque de gaz est réussie, sa température est de  $10^4$  K et il est situé à 1000 ua\* de l'horizon du trou noir. Sa rotation a pu être mise en évidence, ce qui a permis d'estimer sa masse entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  masse solaire avec une densité de  $10^5$  à  $10^6$  atomes par centimètre cube. **Les spécialistes ont indiqué qu'ils devaient encore travailler sur SgrA\* avant de dévoiler une image, car sa rotation est des milliers de fois plus rapide que celle de M87.**

\*L'**accrétion** désigne en astrophysique la constitution et l'accroissement d'un corps ou d'une structure par apport et/ou agglomération de matière, généralement en surface ou en périphérie de celui-ci. **ua** : unité astronomique : masse solaire soit  $1,988\ 92 \times 10^{30}$  kilogrammes, environ 333 000 fois la masse de la Terre

La Voie lactée (Fig.1) aussi nommée la Galaxie, est une galaxie spirale barrée qui comprend de 200 à 400 milliards d'étoiles et au



**Fig.1 : la voie lactée (image du satellite Gaia)**

minimum 100 milliards de planètes. Une galaxie spirale barrée est une galaxie spirale dont les bras spiraux n'émergent pas du centre de la galaxie, mais d'une bande d'étoiles traversant ce centre (Fig. 2)



**Fig.2 : La voie lactée**

Une équipe internationale de plus de cent chercheurs, ingénieurs et techniciens, menée par l'Institut Max Planck pour la Physique Extraterrestre de Garching en Allemagne, est sur le pont. Pour la première fois, le tout nouvel instrument Gravity a été utilisé en mode interférométrique par une équipe scientifique européenne (comprenant des astronomes de l'Observatoire de Paris) sur les télescopes de 8

mètres du Very Large Telescope (VLT) de l'ESO\*. Le 17 mai 2016, l'instrument Gravity a été pointé pour la première fois sur le centre de notre Galaxie, pour observer l'étoile S2 en orbite autour du trou noir, avec une période orbitale de 16 ans. Grâce à la très grande résolution de Gravity, les chercheurs vont pouvoir retracer les déplacements de ces "sursauts lumineux périodiques" et définir le pourtour de Sagittarius A\* et donc sa dimension.

\*Le très grand télescope de l'ESO, en anglais *Very Large Telescope (VLT)*, est un ensemble de quatre télescopes principaux (aussi appelés UT pour *Unit Telescope*) et quatre auxiliaires (appelés AT pour *Auxiliary Telescope*). Il est situé à l'Observatoire du Cerro Paranal dans le désert d'Atacama au nord du Chili, à une altitude de 2 635 m. Il permet l'étude des astres dans les longueurs d'onde allant du visible à l'infrarouge

### L'image d'un trou noir

Depuis une dizaine d'années, l'étude astronomique des trous noirs se développe et en 2019 un trou noir est photographié pour la première fois. Le 10/04/2019 dans le cadre de la collaboration "Event Horizon telescope" est publiée la première image véritable d'un trou noir niché au cœur d'une galaxie M87 située à environ 53 millions d'années-lumière de la Voie lactée (Fig. 3 et 5). Fruit d'une collaboration internationale, elle a impliqué près de deux cents chercheurs et ingénieurs sur quatre continents dont des Français de l'Iram (l'Institut de radioastronomie millimétrique dont le siège est à Grenoble). Une percée scientifique, annoncée en grande pompe, qui a fait l'objet de six articles publiés le 10 avril 2019 dans *Astrophysical Journal Letters*. C'est un résultat historique qui confirme la théorie de la relativité générale.

\*L'Event Horizon Telescope (EHT) (Fig.4) est composé de plusieurs observatoires radio, ou télescopes radio, autour du monde reliés pour créer un télescope à haute sensibilité et haut pouvoir de résolution. En utilisant le procédé d'interférométrie à très longue base, de nombreuses antennes radio indépendantes et séparées de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres peuvent être associées pour créer

un télescope « virtuel » avec un diamètre effectif équivalent à celui de la Terre.

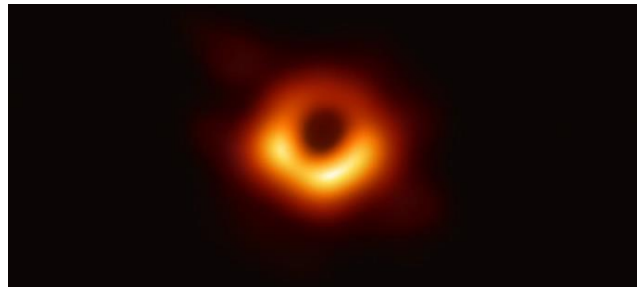


Fig. 3 : Première image (véritable) d'un trou noir, niché au cœur de la Galaxie M87 - 10/04/2019



Fig. 4 : Les huit télescopes de "Event Horizon telescope"

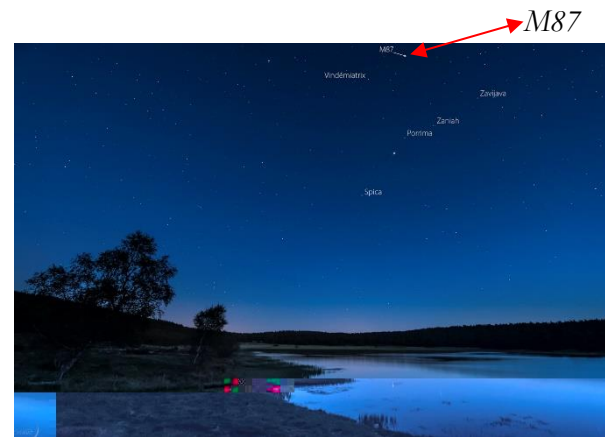


Fig. 5 : position de M87 dans le ciel

Un bel avenir est promis aux études de Sagittarius A\* et M87