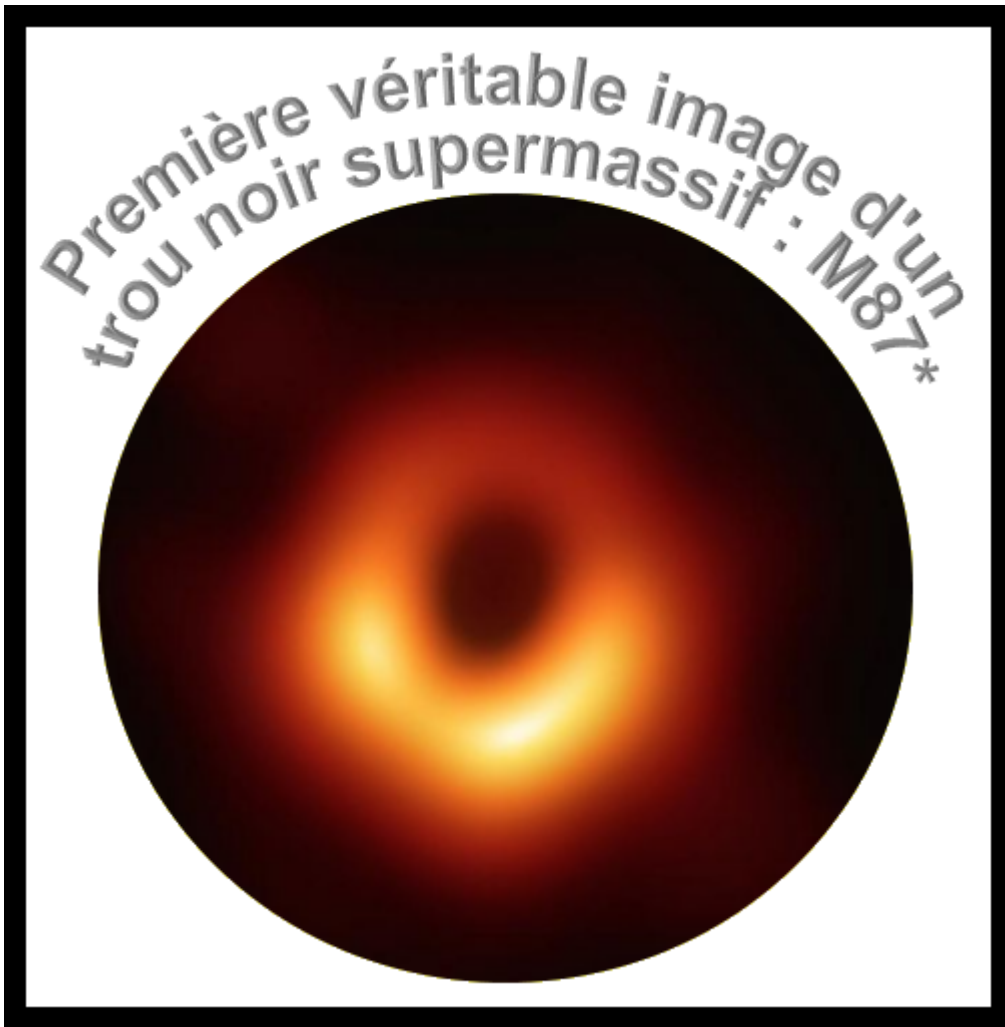
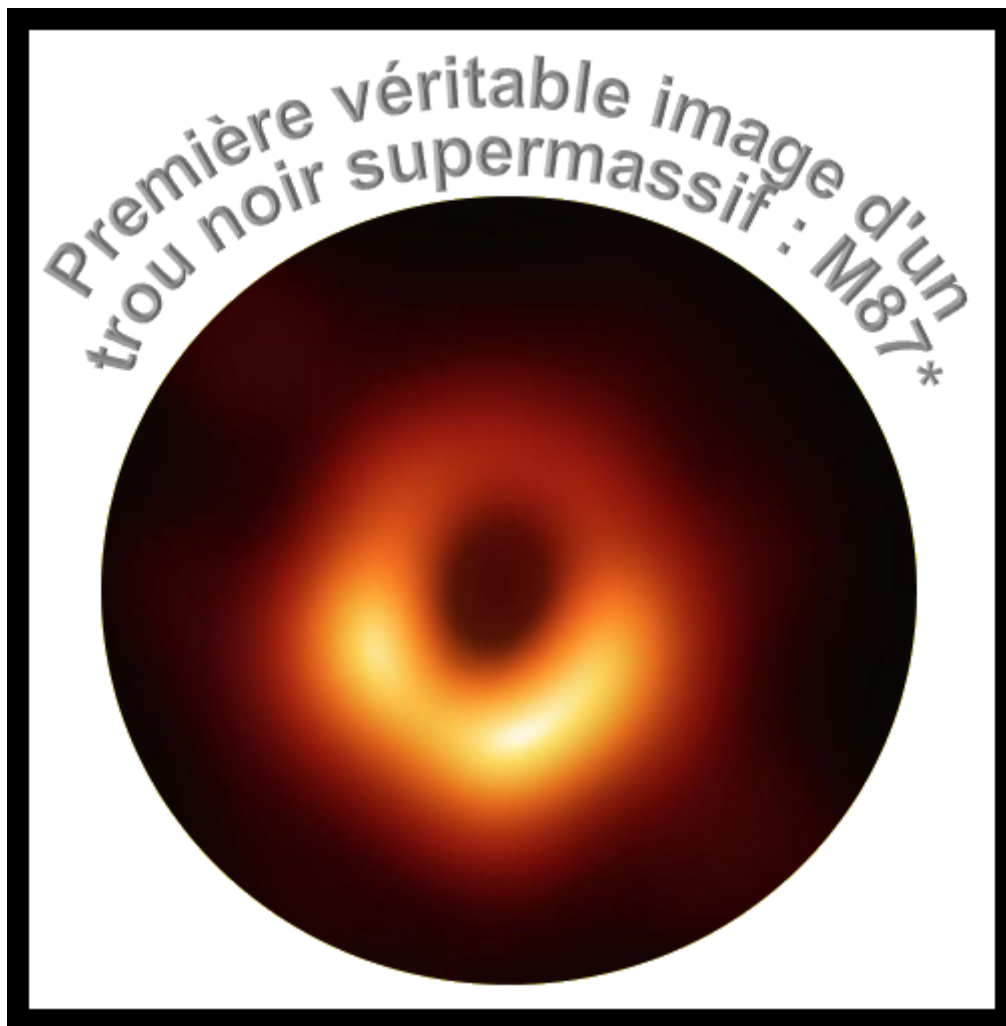


# Les trous noirs, ben oui...c'est quoi au juste ? Simplement. Partie 1.

écrit par Professeur Tetenlair | 8 février 2023





## Présentation

Les trous noirs sont des énormes concentrations de matière et d'énergie dont rien ne peut s'échapper, pas même la lumière. Ils sont par définition invisibles et leur existence est démontrée par la [relativité générale](#) d'Albert Einstein en 1915.

Il en existe de toutes tailles et de toutes masses, amis passionnés, des microscopiques jusqu'aux géants (massifs et supermassifs) situés au centre de la plupart des [galaxies](#), en passant par les trous noirs stellaires ([étoiles](#)) issus de l'effondrement du cœur des étoiles les plus massives sous l'effet de leur propre gravité.

La surface d'un trou noir est appelée *horizon des événements*. Elle n'est pas matérielle et se caractérise par une taille

proportionnelle à sa masse. Un trou noir stellaire ne mesure que quelques kilomètres, mais un trou noir supermassif peut être aussi gros que notre système solaire. L'intérieur d'un trou noir pose des questions de physique fondamentale non résolues. En un mot, on n'en sait encore rien !

Au début, en 1970, comme très souvent en astronomie, les trous noirs ont été détectés indirectement, puis en 2019, victoire, la première image télescopique directe d'un trou noir supermassif situé au centre de la galaxie M87 a apporté la preuve définitive de la réalité physique de ces objets célestes.



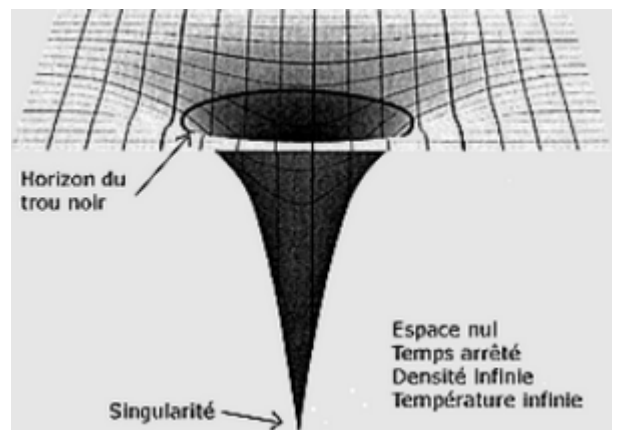
*Précision* : les trous noirs se trouvant principalement dans les galaxies, pour les nommer, on prend la nomination de la galaxie et on ajoute un petit astérisque à droite. L'image ci-dessus représente le trou noir M87\* présent dans la galaxie M87.

## Qu'est-ce qu'un trou noir ?

Ce terme de « trous noirs » est l'expression depuis 1968 de l'existence d'objets, mais invisibles.

Les propriétés gravitationnelles newtoniennes ne s'appliquent plus au niveau des trous noirs, la seule concernée est la gravitation relativiste d'Einstein. En effet, le trou noir n'est plus une masse qui attire tout avec une force irrésistible, mais est une déformation extrême de la géométrie de l'espace-temps. Selon la théorie de la relativité générale, la gravitation courbe l'espace et dévie les trajectoires des rayons lumineux, comme nous le savons.

C'est pourquoi, il est possible de visualiser cette déformation par un puits gravitationnel, creusé par les corps dans la trame même de l'espace-temps. Plus un corps est massif, plus son puits gravitationnel est profond. Le trou noir, stade ultime de l'effondrement gravitationnel, est caractérisé par un puits si profond que rien ne peut s'en échapper.

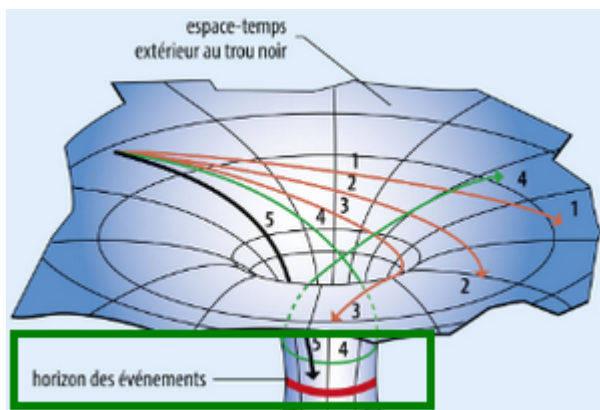


La relativité générale associe à tout corps sphérique un rayon dit « critique » (appelé aussi « rayon de Schwarzschild ») proportionnel à sa masse. Si l'ensemble du corps était confiné dans une sphère avec ce rayon, tout ce qui s'y trouve ne pourrait en sortir car cette zone est devenue un trou noir. Ainsi tout objet s'approchant à une distance inférieure au rayon de Schwarzschild ne pourra s'en échapper.

Les corps célestes sont généralement très éloignés d'un tel état : ainsi, le rayon critique du Soleil n'est que de 3 kilomètres alors que son rayon réel est de 700 000 kilomètres, et celui de la Terre de 1 centimètre (son rayon réel étant de

6 371 kilomètres).

Les trous noirs sont donc des « pièges » à matière et lumière pouvant se former dans l'Univers réel par effondrement gravitationnel. Ce terme de « trou noir » a tellement marqué les esprits qu'il est devenu, avec celui de « big bang », l'une des expressions d'astrophysique les plus populaires auprès du grand public, en raison notamment de la charge de mystère et d'incompréhension qu'elle revêt.



La surface d'un trou noir n'est pas solide ni même matérielle : c'est une frontière purement géométrique délimitant une zone de non-retour. Elle est appelée « *horizon des événements* », en ce sens que tout événement susceptible de se produire au

sein du trou noir est hors de vue de tout observateur extérieur. Séparant ainsi l'intérieur du trou noir du reste de l'Univers, l'horizon des événements est de forme sphérique si le trou noir est statique, ou ellipsoïdale s'il est en rotation.

Un trou noir est souvent présenté comme un ogre cosmique dévorant tout autour de lui. En réalité, il n'attire irrésistiblement la matière que dans un rayon d'action relativement limité. Ce n'est que son environnement immédiat qui est affecté ; dès que l'on s'en éloigne quelque peu, le



trou noir se comporte comme un corps massif ordinaire. **Si, par exemple, on mettait à la place du Soleil un trou noir de même masse, la Terre continuerait à orbiter exactement comme elle le fait, sans être davantage « attirée » par les forces gravitationnelles du trou noir (la seule différence est qu'il n'y aurait plus de lumière).** Dingue, hein, ami astronome ?

Pour les trous noirs géants situés au centre des galaxies, leur influence s'étend jusqu'à plusieurs années-lumière (une a.l. = environ 10 000 milliards de kilomètres) ce qui est très peu, n'attirant que les étoiles voisines et de grandes quantités de gaz. Des étoiles peuvent être brisées par les gigantesques forces gravitationnelles du trou noir qui les compriment dans une direction et les dilatent dans d'autres, voire être « gobées comme des mouches » dans ces immenses puits de gravité. Néanmoins, le rayon d'action de ces trous noirs supermassifs reste très limité par rapport à la taille des galaxies dans lesquelles ils se trouvent.

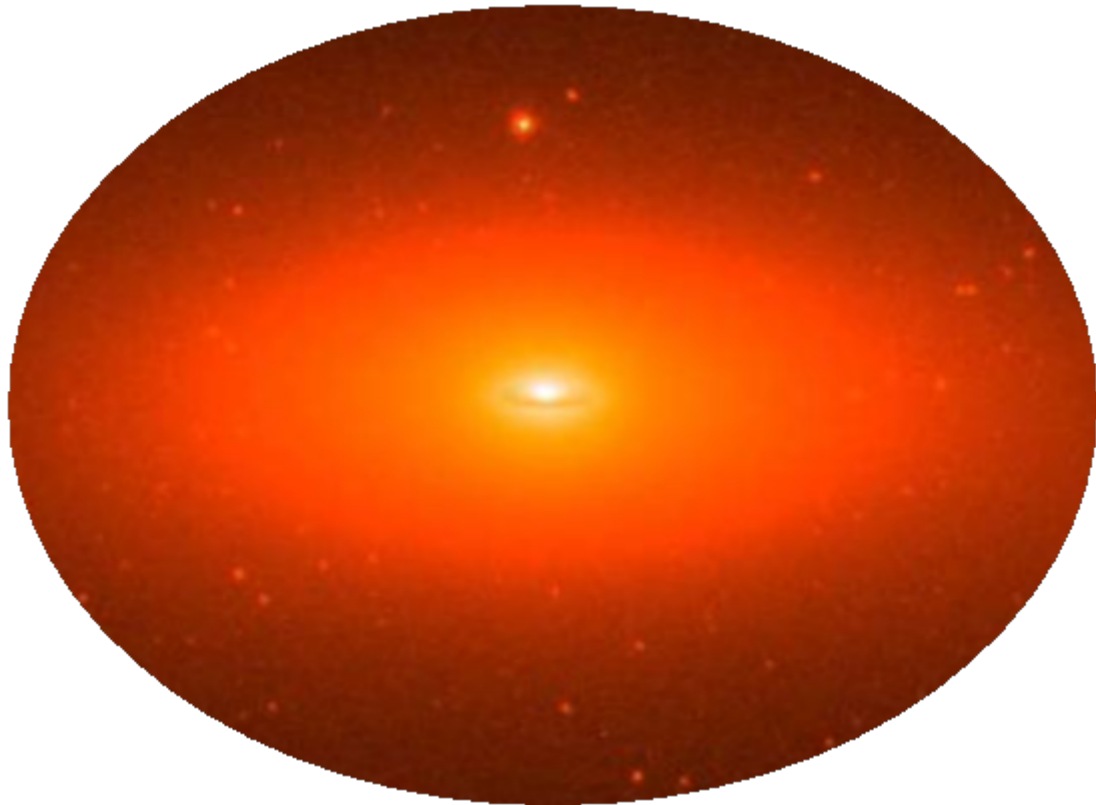
### Différents types de trous noirs et processus de formation

En théorie, il peut exister des trous noirs de toutes tailles et de toutes masses, allant de microtrous noirs aussi petits qu'un proton (de l'ordre de 10-15 m), *mais ayant la masse d'une montagne (un milliard de tonnes)*, jusqu'à des trous noirs supermassifs aussi grands que le système solaire (quelques dizaines de milliards de kilomètres) et rassemblant l'équivalent de plusieurs milliards de Soleils, en passant par les trous noirs « ordinaires » issus de l'évolution d'étoiles, dont les tailles sont de quelques dizaines de kilomètres pour des masses comprises entre 3 et 80 MS (Masse Solaire).

Dans l'image en fausses couleurs ci-dessous prise par le télescope Hubble, on peut voir dans la constellation de Persée, à quelque 238 millions d'années-lumière de la Voie lactée, la galaxie naine NGC 1277 qui abrite, en son centre, un gigantesque trou noir dont la masse est estimée à **17 milliards de masses solaires (MS)**. C'est-à-dire, ami lecteur, que ce trou noir contient l'équivalent de 17 milliards de fois le Soleil. OK. Mais je te rappelle également qu'un seul Soleil peut contenir **1,3 millions de Terres** pour le remplir s'il était creux. Puis, je t'informe que ce trou noir gigantesque ne constitue que **14 %** de la masse totale de la galaxie NGC 1277, laquelle est une **galaxie naine**, donc une **petite galaxie** composée de 100

millions à quelques milliards d' étoiles, un nombre relativement faible par rapport aux 200 à 400 milliards d'étoiles estimés de la Voie lactée.

N'as-tu pas l'impression que l'on est vraiment petits, tout petits, tout tout petits ?



Pour que ces types très différents de trous noirs puissent réellement exister dans l'Univers, il faut cependant que des mécanismes astrophysiques plausibles expliquent leur formation.

Pour les trous noirs ordinaires, la théorie générale de l'évolution stellaire, élaborée tout au long du XXe siècle, apporte une réponse convaincante. Par suite de l'effondrement gravitationnel du cœur des étoiles lorsque tout leur combustible thermonucléaire (hydrogène, hélium...) est épuisé, l'évolution stellaire aboutit très généralement à l'expulsion plus ou moins violente de leur atmosphère gazeuse (dilution en nébuleuse planétaire ou explosion de supernova) et à la formation d'astres résiduels très condensés.

**Précision** : les quelques lignes suivantes écrites de **couleur italique bleue** donnent quelques détails supplémentaires qu'il n'est pas nécessaire de lire obligatoirement, la lecture de l'ensemble de l'article n'en sera pas perturbée. Pour continuer la lecture du présent article sans connaître ces détails, reprendre le texte de couleur noire suivant le bleu.

*Cependant, les naines blanches et les étoiles à neutrons appartiennent à cette variété étrange de corps compacts dans lesquels la matière qui les constitue est devenue suffisamment « rigide » pour stopper l'effondrement gravitationnel avant qu'un trou noir ait pu se former. À terme, plus de 99 % de toutes les étoiles doivent former des naines blanches (résidus compacts des étoiles de masse inférieure à 10 MS) ou des étoiles à neutrons (résidus d'étoiles plus massives). Cependant, deux résultats fondamentaux de l'astrophysique stipulent qu'une naine blanche ne peut pas dépasser une certaine masse critique, égale à 1,4 MS (limite dite de Chandrasekhar) et qu'une étoile à neutrons ne peut supporter son propre poids au-dessus d'une autre limite, comprise entre 2 et 3 MS (limite dite de Landau-Oppenheimer-Volkoff).*

*Or, environ une étoile sur dix mille a une masse initiale supérieure à 40 MS. Les modèles d'évolution indiquent que, au bout de quelques millions d'années seulement, ces étoiles développent un cœur de matière dense dépassant 3 MS. Dès lors, la compression gravitationnelle ne peut plus être compensée par les forces de répulsion des électrons (cas des naines blanches) ou des neutrons dégénérés (cas des étoiles à neutrons), et l'effondrement continue à écraser le cœur sur lui-même sans plus rencontrer de résistance : un trou noir de type « stellaire » se forme alors, de masse forcément supérieure à 3 MS. L'implosion du cœur s'accompagne d'une « hypernova », c'est-à-dire d'une violente éjection des couches gazeuses de l'étoile focalisées dans deux jets de plasma ultra-énergétiques.*

Les télescopes observent de brusques explosions de rayons



gamma réparties dans l'ensemble de l'Univers observable. De tels « sursauts gamma », restés longtemps mystérieux, s'interprètent désormais soit comme des explosions d'étoiles massives sous forme d'hypernova, soit comme des fusions d'étoiles à neutrons, accompagnées dans les deux cas de la formation de trous noirs stellaires.

Comme les étoiles initialement plus massives que 40 MS représentent moins d'un millièème de toutes les étoiles et que les couples d'étoiles à neutrons sont rares, on estime qu'une galaxie comme la nôtre, qui comprend de 200 à 400 milliards d'étoiles, doit avoir déjà formé quelques dizaines de millions de trous noirs stellaires.

Le centre de la plupart des galaxies abrite des trous noirs géants, rassemblant l'équivalent de millions – pour les trous noirs dits massifs – ou de milliards – pour les trous noirs dits supermassifs – de MS. Plusieurs mécanismes de formation sont envisagés.

Les trous noirs peuvent se former d'un coup, par effondrement d'un très gros amas d'étoiles, ou bien progressivement, à partir d'un trou noir stellaire qui grossit en attirant peu à peu de la matière. Pour une galaxie dont le cœur est riche en nourriture potentielle (étoiles et gaz), les calculs théoriques faits en supposant un taux d'alimentation optimal du trou noir montrent que, sur une période de 10 milliards d'années (ce qui correspond à peu près à l'âge des galaxies), un trou noir initialement stellaire peut atteindre 1 milliard de MS et devenir aussi volumineux que notre système planétaire.

Cher ami lecteur passionné, je pense qu'il y a là déjà beaucoup de renseignements à digérer. Mais l'étonnement, l'émerveillement est immense. Alors, on continuera ces explications des trous noir la prochaine fois. Ca baigne ?

Bye, bye !

Professeur Têtenlair